T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATININ PLANLANMASI

Anıl Orhan AKAY

DANIŞMAN
Prof. Dr. Murat DEMİR

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 12.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Murat DEMİR(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY
Bursa Teknik Üniversitesi
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Tolga ÖZTÜRK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Hafız Hulusi ACAR
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi

Doç. Dr. Mustafa AKGÜL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

"*Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Orman Ürünleri Nakliyatının Planlanması*" adlı bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora eğitimim boyunca bana her konuda daima destek olan ve ilgisini esirgemeyen tez danışmanım kıymetli hocam Prof. Dr. Murat DEMİR'e şükranlarımı sunarım. Tez izleme komitesinde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Tolga ÖZTÜRK'e ve Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY'a tezimin geliştirilmesine yönelik değerli katkı ve önerilerinden dolayı çok teşekkür ederim. Değerli hocam Prof. Dr. Hafız Hulusi ACAR'a da kıymetli katkı ve önerilerinden dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmalarım boyunca beni her daim motive eden ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Mustafa AKGÜL'e de ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Orman ürünü nakliyatı konusunda zaman etüdleri ile ilgili verileri elde etmeme yardımcı olan ve görev yaptığı orman ürünü tesisinin araç kantar verilerini sağlayan Yıldız Entegre AŞ'nin Kocaeli-Kartepe orman ürünü tesisi hammadde satın alma müdürü Yiğit ZEYTİNLİ'ye ve diğer çalışanlarına çok teşekkür ederim. Ayrıca araç takip sistemi aracılığı ile toplanan zaman etüdü verilerini ve nakliyat araçlarına ait teknik özellik bilgilerini sağladıklarından dolayı Kırklareli-Demirköy'de yer alan Şenay Nakliyat adlı nakliyat firmasından Eyüp ŞENAY'a ve diğer çalışanlara çok teşekkür ederim. Öte yandan orman ürünleri nakliyatı konusunda görüşlerinden yararlandığım değerli akademisyenlere, orman mühendislerine ve orman ürünleri nakliyat temsilcilerine teşekkür ederim.

Anabilim dalımız öğretim üyelerinden Prof. Dr. Hüseyin E. ÇELİK'e, Prof. Dr. Mesut HASDEMİR'e ve Doç. Dr. Necmettin ŞENTÜRK'e de ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak lisansüstü tez çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, ilgi ve desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2021 Anıl Orhan AKAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xiv**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **6**
2.1. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATI 6
2.2. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATI TESİSLERİ 9
2.3. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATINA ETKİ EDEN KOŞULLAR 10
2.4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ 13
2.5. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATINDA KULLANILAN ARAÇ TİPLERİNE İLİŞKİN TEKNİK ÖZELLİKLER 15
2.5.1. Araç Boyut ve Ağırlıklarına İlişkin Yasal Sınırlamalar 18
3. MALZEME VE YÖNTEM **24**
3.1. ARAŞTIRMA ALANININ TANITIMI 24
3.1.1. Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe Üretim Tesisinin Genel Tanıtımı 25
3.1.2. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün Genel Tanıtımı 26
3.2. ZAMAN ETÜDLERİ 28
3.3. ARAÇ TAKİP SİSTEMİ 29
3.4. ZAMAN ETÜTLERİNDE KULLANILAN ARAÇ TİPLERİNİN BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİ 35
3.5.YOL GÜZERGÂHLARINA İLİŞKİN BOYUNA EĞİMLERİN HESAPLANMASI 40
3.6. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER 42
3.6.1. Bulanık Küme ve Üçgensel Bulanık Sayılar 43
3.6.2. Bulanık AHP Yöntemi 44

3.6.3. TOPSIS Yöntemi 48
4. BULGULAR 51
4.1. YAKIT TÜKETİMİ VE VARIŞ SÜRESİNİN TAHMİN EDİLMESİ 51
4.2.BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE KRİTERLERİN AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI 61
4.3. ARAÇ ALTERNATİFLERİNİN BELİRLENMESİ 71
4.4. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYAT SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI 73
4.4.1. Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Operasyonel Performans Hesapları 77
4.4.2.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araçların Maliyet Hesapları 83
4.4.2.1. Sabit Maliyetlerin Hesaplanması 83
4.4.2.2. Değişken ve İş Maliyetlerinin Hesaplanması 89
4.4.2.3. Birim Maliyetlerin Hesaplanması 93
4.4.3.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araçların Çevresel Zararlarına İlişkin Hesaplamalar 97
4.4.3.1.TIER 1 yaklaşımı 98
4.4.1.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araç Alternatiflerinin Değerlendirilmesi 104
4.4.1.1. Tüm Alt Kriterler Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi 106
4.4.1.2. Maliyet Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi 109
4.4.1.3. Çevresel Zarar Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatiflerinin Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi 110
4.4.1.4. Operasyonel Performans Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi 113
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 115
KAYNAKLAR 123
EKLER 135
EK1: ANKET FORMU 135
EK2: ZAMAN ETÜDÜ VERİLERİ 138
ÖZGEÇMİŞ 153

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Odun hammaddesi üretimine ilişkin döngü (Öztürk, 2006; Hasdemir ve Öztürk, 2011). 6

Şekil 2.2: Türkiye'de üretim çalışmalarına göre eğim sınıfları ve tali nakliyat teknikleri ve tesisleri (Hasdemir ve Öztürk, 2011). 7

Şekil 2.3: Tali nakliyat operasyonu (Palmgren, 2005). 8

Şekil 2.4: Orman ürünleri nakliyatının genel döngüsü (Kokenge, 2011). 8

Şekil 2.5: Semi-treylerin genel görünümü (Demirci, 2019). 17

Şekil 2.6: 4 akslı 8x2 tipindeki bir kamyonun önden-yandan görünüşleri ve ölçüleri (URL-1). 19

Şekil 2.7: İki akslı 4x2 tipinde kamyon (URL-2). 21

Şekil 2.8: Üç akslı 6x4 tipinde kamyon (URL-2). 22

Şekil 2.9: Üç akslı 6x2 tipinde kamyon (URL-2). 22

Şekil 2.10: Dört akslı 8x2 tipinde kamyon (URL-2). 22

Şekil 2.11: Beş akslı yarı römorklu araç (URL-2). 23

Şekil 2.12: Beş akslı, bir römorklu katar (URL-2). 23

Şekil 3.1: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlükleri ve Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe üretim tesisinin coğrafi konumu. 24

Şekil 3.2: Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe üretim tesisinin genel görünümü (URL-3; URL-4). 25

Şekil 3.3: Araç takip sisteminin çalışma mantığı (URL-9). 30

Şekil 3.4: Araç takip sisteminin genel görünümü (URL-10). 31

Şekil 3.5: Araç takip sisteminin internet tabanlı genel görünümü. 33

Şekil 3.6: Araç takip sisteminin raporlarına ilişkin genel görünüm. 34

Şekil 3.7: 1 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-12). 35

Şekil 3.8: 2 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-13). 36

Şekil 3.9: 3 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-13) 37

Şekil 3.10: 4 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-14) ve römorku (b) (URL-13) 38

Şekil 3.11: 5 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-15) ve römorku (b) (URL-13). 39

Şekil 3.12: Araç takip sistemi tarafından alınmış koordinatlar içeren noktaların birleştirilmesiyle oluşturulmuş yol güzergâhı. 41

Şekil 3.13: Tekirdağ-İzmit yol güzergâhı boyunca çıkış ve iniş eğimleri. 41

Şekil 3.14: Çalışmaya ilişkin iş akış şeması. 42

Şekil 3.15: Üçgensel bulanık sayılar. 43

Şekil 3.16: d, $\mu M1$ ve $\mu M2$ arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D'nin ordinatı. 47

Şekil 3.17: Orman ürünleri nakliyatında en uygun araç tipinin seçimi için belirlenen kriterlere ilişkin hiyerarşik yapı. 48

Şekil 4.1: ANFIS sisteminin MATLAB R2015a yazılımındaki ara yüzü görünümü. 51

Şekil 4.2: Yakıt tüketimi tahmini ve varış süresi tahmini için oluşturulan ANFIS yapısının görünümü. 53

Şekil 4.3: Yakıt tüketimi tahmini modeli için üyelik fonksiyon tipi ve sayısının seçimi. 54

Şekil 4.4: Varış süresi tahmin modeli için üyelik fonksiyon tipi ve sayısının seçimi. 55

Şekil 4.5: Yakıt tüketimi tahmin modeli için eğitim ve test verilerinin görünümü. 56

Şekil 4.6: Varış süresi tahmin modeli için eğitim ve test verilerinin ANFIS sistemindeki görünümü. 57

Şekil 4.7: Yakıt tüketimi tahmin modelinde eğitim verisi için gerçek yakıt tüketimi ile tahmin edilen yakıt tüketimi değerleri. 59

Şekil 4.8: Yakıt tüketimi tahmin modelinde test verisi için gerçek yakıt tüketimi ile tahmin edilen yakıt tüketimi değerleri. 59

Şekil 4.9: Varış süresi tahmin modelinde eğitim verisi için gerçek varış süresi ile tahmin edilen varış süresi değerleri. 60

Şekil 4.10: Varış süresi tahmin modelinde test verisi için gerçek varış süresi ile tahmin edilen varış süresi değerleri. 60

Şekil 4.11: Değerlendirme alt kriterlerinin genel ağırlık değerleri. 71

Şekil 4.12: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin varış süresi değerleri. 79

Şekil 4.13: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yakıt tüketimi değerleri. 80

Şekil 4.14: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin varış süresi değerleri. 82

Şekil 4.15: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yakıt tüketimi değerleri. 82

Şekil 4.16: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri. 87

Şekil 4.17: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri. 89

Şekil 4.18: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin değişken maliyet değerleri. 92

Şekil 4.19: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin değişken maliyet değerleri. 93

Şekil 4.20: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin birim maliyet değerleri. 95

Şekil 4.21: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin birim maliyet değerleri. 97

Şekil 4.22: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu değerleri. 101

Şekil 4.23: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yol yüzeyi zararı riskleri. 101

Şekil 4.24: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu değerleri. 103

Şekil 4.25: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yol yüzeyi zarar riski değerleri. 103

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yolların kategorileri (Bayoğlu, 1996). 9

Tablo 2.2: Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008). 10

Tablo 3.1: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlüklerinin orman alanları (URL-6). 27

Tablo 3.2: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün 2019 yılı odun hammaddesi üretim miktarları (dikili kabuklu gövde hacmi) (m^3) (URL-7). 27

Tablo 3.3: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün 2019 yılı genel üretim miktarları (URL-7). 28

Tablo 3.4: Yıldız Entegre AŞ İzmit- Kartepe üretim tesisine ait örnek araç kantarı verisi. 29

Tablo 3.5: Araç takip sisteminin teknik özellikleri (URL-10). 32

Tablo 3.6: 1 no'lu araca ilişkin teknik özellikler. 35

Tablo 3.7: 2 no'lu araca ilişkin teknik özellikler. 36

Tablo 3.8: 3 no'lu araca ilişkin teknik özellikler. 37

Tablo 3.9: 4 no'lu araca ilişkin teknik özellikler. 38

Tablo 3.10: 5 no'lu araca ilişkin teknik özellikler. 39

Tablo 4.1: Yakıt tüketimi tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri. 52

Tablo 4.2: Varış süresi tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri. 52

Tablo 4.3: Yakıt tüketimi tahmin modeline ait üyelik fonksiyon tiplerine ait değerleri. 55

Tablo 4.4: Varış süresi tahmin modeline ait üyelik fonksiyon tiplerine ait değerleri. 56

Tablo 4.5: Yakıt tüketimi tahmin modeline ilişkin performans değerleri. 58

Tablo 4.6: Varış süresi tahmin modeline ilişkin performans değerleri 59

Tablo 4.7: Anketi değerlendiren kişilerin demografik özellikleri ve meslekleri. 61

Tablo 4.8: Dilsel değişkenler (Chang, 1996). 62

Tablo 4.9: Ana kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,019). 62

Tablo 4.10: Maliyet ana kriterine ilişkin alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,017).....62

Tablo 4.11: Çevresel zarar ana kriterine ilişkin alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,011).....63

Tablo 4.12: Operasyonel performans için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,0257).....63

Tablo 4.13: Rastgele indeks değerleri (Saaty, 1980).....64

Tablo 4.14: Ana kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin durulaştırılması.....64

Tablo 4.15: Ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlık ve genel ağırlık değerleri.....71

Tablo 4.16: 2 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık-18.000 kg).....72

Tablo 4.17: 3 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık-25.000 kg).....72

Tablo 4.18: 4 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık-32.000 kg).....72

Tablo 4.19: 5 akslı yarı römorklu (2 akslı çekici+3 akslı römork) araçlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü katar ağırlığı 40.000 kg).....72

Tablo 4.20: İbreli ve yapraklı ağaç türlerinin tam kuru yoğunlukları ve hacim ağırlık değerleri.....73

Tablo 4.21: İbreli ve yapraklı ağaçların rutubet dahil hacim ağırlık değerleri.....74

Tablo 4.22: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları.....75

Tablo 4.23: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları.....75

Tablo 4.24: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerine ilişkin özellikler.....76

Tablo 4.25: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerine ilişkin özellikler.....77

Tablo 4.26: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin ortalama varış süreleri ve yakıt tüketimi değerleri.....78

Tablo 4.27: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerinin ortalama varış süreleri ve yakıt tüketimi değerleri.....81

Tablo 4.28: Araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri.....85

Tablo 4.29: 3 akslı römork için sabit maliyet değerleri.....85

Tablo 4.30: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyetleri. 86

Tablo 4.31: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyetleri. 88

Tablo 4.32: İbreli türler için değişken maliyetlerdeki masraf değerleri, toplam değişken maliyet ve iş maliyeti değerleri. 90

Tablo 4.33: Yapraklı türler için değişken maliyetlerdeki masraf değerleri, toplam değişken maliyet ve iş maliyeti değerleri. 91

Tablo 4.34: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin verimlilik ve birim maliyet değerleri. 94

Tablo 4.35: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin verimlilik ve birim maliyet değerleri. 96

Tablo 4.36: Yakıtların net kalori değerine göre belirlenmiş net kalori değerleri (IPCC, 2006). 98

Tablo 4.37: CO_2 emisyon faktörleri (IPCC, 2006). 98

Tablo 4.38: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu ve yol yüzeyi zarar riski değerleri. 100

Tablo 4.39: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 ve yol yüzeyi zarar riski değerleri. 102

Tablo 4.40: Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen alt kriterlerin genel ağırlıkları ve yönleri. 104

Tablo 4.41: Başlangıç karar matrisi. 105

Tablo 4.42: Normalleştirilmiş matris. 105

Tablo 4.43: Ağırlıklı karar matris. 105

Tablo 4.44: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümesi. 105

Tablo 4.45: Pozitif ayrım ölçüleri. 106

Tablo 4.46: Negatif ayrım ölçüleri. 106

Tablo 4.47: Ayrım ölçülerinin hesaplanması. 106

Tablo 4.48: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans alt kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 107

Tablo 4.49: Yapraklı türler için oluşturulan senaryolar için maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans alt kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 108

Tablo 4.50: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 109

Tablo 4.51: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 110

Tablo 4.52: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için çevresel zarar kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 111

Tablo 4.53: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için çevresel zarar kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 112

Tablo 4.54: İbreli türler için oluşturulan senaryolar için operasyonel performans kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 113

Tablo 4.55: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için operasyonel performans kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması. 114

Tablo 5.1: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında ilgili kriter ağırlıklarına göre en uygun araç alternatifleri. 116

Tablo 5.2: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında ilgili kriter ağırlıklarına göre en uygun araç alternatifleri. 117

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

dk : dakika
Gg : gigagram
ha : hektar
kg : kilogram
kt : kiloton
kw : kilowatt
lt : litre
m : metre
m^3 : metreküp
t : ton
TJ : terajoule

Kısaltmalar **Açıklama**

AAP : Analitik Ağ Prosesi
AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANFIS : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi)
CBS :Coğrafi Bilgi Sistemleri
ELECTRE :Elemination and Choice Translating Reality English (Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim)
GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GPRS : General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
GSM : Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
PROMETHEE : Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (Zenginleştirme Değerlendirmeleri İçin Organizasyon Yöntemi Tercih Sıralaması)
TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Yakın Sıralama Tekniği)

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATININ PLANLANMASI

Anıl Orhan AKAY

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat DEMİR

Önemli ormancılık aktivitelerinden biri olan odun hammaddesinin üretim süreci, genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; kesim, bölmeden çıkarma (tali nakliyat) ve ana nakliyat olarak adlandırılan odun hammaddesinin depolara veya fabrikalara olan nakliyatından oluşmaktadır. Orman ürünleri nakliyatına, taşınan odun hammaddesine ilişkin karakteristikler (tür, orman ürünü miktarı, orman ürünü tipi, çap vb.), nakliyat mesafesi, mevcut yol karakteristikleri (yol tipi, geometrik standartlar vb.), operatör tecrübesi, nakliyat araçlarına ilişkin teknik özellikler ve mevsim koşulları gibi değişkenler etki edebilmektedir. Belirtilen bu değişkenler orman ürünleri nakliyatının maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans durumunu etkilemenin yanı sıra nakliyatta kullanılabilecek araç tiplerine de etki etmektedir. Bu bağlamda, birçok koşulu dikkate alarak orman ürünü nakliyat planlamasında kullanılabilecek en uygun araç alternatifinin belirlenmesi karmaşık bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ANFIS tabanlı tahmin modelleri desteği ile bulanık AHP ve TOPSIS yöntemini kullanarak elde edilen hibrid bulanık çok kriterli yöntemini bütünleştirerek belirlenecek farklı koşullardaki nakliyat senaryoları altında kullanılabilecek araç alternatiflerinden en uygununun belirlenmesi ile orman ürünleri nakliyatının planlanmasıdır. Bu açıdan çalışmada, nakliyatı gerçekleştirilecek ibreli türde orman ürünleri için 16 adet, yapraklı türde orman ürünleri için ise 16 adet olmak üzere toplam 32 adet nakliyat senaryosu oluşturulmuştur. Nakliyat senaryolarında ibreli ve yapraklı ağaç grubu için taşınacak orman ürünü miktarları 50 m^3, 100 m^3, 150 m^3 ve 200 m^3 şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca tüm taşınacak

orman ürünü miktarlarında 150 km, 200 km, 250 km ve 300 km olmak üzere toplam dört adet taşıma mesafesi uygulanmıştır. Tüm taşıma mesafeleri için ise, ortalama iniş ve çıkış yol boyuna eğimi %4 olarak seçilmiştir. Alternatif araç tipleri ise 2 akslı kamyon, 3 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 5 akslı yarı römorklu araç şeklinde belirlenmiştir. Değerlendirme kriterlerinde ise, ana kriterler maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans şeklinde belirlenmiştir. Her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterler ise, maliyet ana kriteri için; sabit maliyet, değişken maliyet, birim maliyet çevresel zarar ana kriteri için; CO_2 emisyonu, yol yüzeyi zarar riski operasyonel performans ana kriteri için; varış süresi, yakıt tüketimi ve yük kapasitesi şeklinde seçilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, ana kriterlerin altında bulunan tüm alt kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, ibreli türleri oluşturan ağaç grubu için 50 m^3 ve 100 m^3 taşınacak orman ürününe ilişkin nakliyat senaryolarında en uygun araç tipinin 4 akslı kamyon olduğu, diğer ilgili ibreli türlere ilişkin nakliyat senaryolarında ise 5 akslı yarı römorklu aracın en uygun olduğu belirlenmiştir. Yapraklı türleri oluşturan ağaç grubunu içeren nakliyat senaryolarında ise en uygun araç tipinin ise büyük çoğunlukla 5 akslı yarı römorklu araç olduğu belirlenmiştir. Maliyet ana kriterinin altında yer alan alt kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirmede ise, nakliyatı gerçekleştirilecek ibreli türlerde, 4 akslı kamyonun en uygun olduğu, yapraklı türlerde ise, 50 m^3 orman ürünü için 5 akslı römorklu aracın diğer ilgili yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında 4 akslı kamyonun en uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çevresel zarar ana kriterinin altında yer alan alt kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, ibreli türler için 50 m^3 ve 100 m^3 nakliyatı gerçekleştirilecek orman ürünü için sırasıyla 3 akslı kamyonun ve 4 akslı kamyonun en uygun olduğu, diğer ibreli türlere ait nakliyat senaryolarında ise, 5 akslı yarı römorklu aracın en uygun olduğu belirlenmiştir. Yapraklı türlerde ise çevresel zarar alt kriterleri açısından en uygun araç tipinin çoğunlukla 5 akslı yarı römorklu araç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak operasyonel performans ana kriterinin altındaki alt kriterler dikkate alındığında ise, ibreli ve yapraklı türler için oluşturulan tüm nakliyat senaryolarında en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada birçok farklı kriterin dikkate alınması orman ürünleri nakliyat planlamasında araç alternatiflerinin etkin bir şekilde seçilmesine imkân sağlamıştır. Ulaşılan tüm sonuçlar dikkate alındığında, taşınacak orman ürünlerinin miktarının ve ağaç türünün dikkate alınmasının nakliyat planlaması açısından daha yararlı olacağı görülmektedir. Gelecek çalışmalarda farklı değerlendirme kriterlerinin de dikkate alınması ve farklı çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılması ile ulaşılan sonuçlar, bu çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir.

Şubat 2021, 172 sayfa.

Anahtar kelimeler: orman yolları, sekonder transport, odun hammaddesi üretimi, bulanık mantık

SUMMARY

Ph.D. THESIS

TRANSPORTATION PLANNING OF FOREST PRODUCTS BY USING FUZZY MULTICRITERIA DECISION MAKING METHODS

Anıl Orhan AKAY

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Murat DEMİR

The process of timber harvesting, which is one of the important forestry activities, generally consisting of three stages. These stages consist of tree felling, logging and transportation of the wood raw material to warehouses or factories which is called secondary transport. Forest products transportation can be affect by the different variables such as wood raw material characteristics (species, amount of forest products, forest product type, size of forest products, etc.), transportation distance, existing road characteristics (road type, geometric standards, etc.), operator experience, technical specifications for transportation vehicles, and climate conditions. These variables may affect not only the cost, environmental effect and operational performance of forest transportation but also the types of vehicles that can be used in transportation. In this context, it is a complex issue to determine the most suitable vehicle types that can be used in forest product transportation planning, taking into account many conditions.

This study aimed to develop the transportation planning of forest products by determining the most suitable vehicle alternatives to be used in forest products transportation in different conditions of transportation scenarios integrating the hybrid fuzzy multi-criteria method obtained by using fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) method with the support of ANFIS (Adaptive Based Neuro-Fuzzy System)-based prediction models. In this respect, a total of 32 transportation scenarios were generated, 16 scenarios for coniferous forest products and 16 scenarios for broadleaved type forest products. In the transport scenarios, the amount of forest products to be transported for the coniferous and broadleaved tree group was determined as 50 m^3, 100 m^3, 150 m^3 and 200 m^3. In addition, a total of four hauling distances have been implemented as 150

km, 200 km, 250 km and 300 km for all forest products. For all hauling distances, the average longitudinal slope of up and down road was chosen as 4%. Alternative vehicle types were determined as 2-axle truck, 3-axle truck, 4-axle truck and 5-axle semi-trailer vehicle. In the evaluation process, the main criteria were determined as cost, environmental effect and operational performance. Sub-criteria under each main criterion were; fixed cost, variable cost, unit cost for cost criterion, CO_2 emission, road surface damage risk for environmental effect criterion, and arrival time, fuel consumption and payload for operational performance criterion.

According to the results obtained in the study, considering all the sub-criteria under the main criteria, the most suitable vehicle type in the transportation scenarios for 50 m^3 and 100 m^3 forest products for the tree group constituting the coniferous species was a 4-axle truck, and in other relevant coniferous transportation scenarios, it was determined that the 5 axle semi-trailer vehicle was the most suitable. In the transport scenarios involving the tree group forming broadleaved species, it has been determined that the most suitable vehicle type was mostly a 5-axle semi-trailer vehicle. In the evaluation made by considering the sub-criteria under the main criterion of cost, it was concluded that the 4-axle truck was the most suitable for the coniferous types to be transported, and the 5-axle trailer vehicle for 50 m^3 forest product in the broadleaved type, and the 4-axle truck was the most suitable for other broadleaved species transport scenarios. Considering the sub-criteria under the main criterion of environmental damage, it has been determined that a 3-axle truck and a 4-axle truck are the most suitable, respectively, for the forest product to be transported 50 m^3 and 100 m^3 for coniferous species, and a 5-axle semi-trailer vehicle is suitable for other coniferous transportation scenarios. In the case of broadleaved, it was concluded that the most suitable vehicle type in terms of environmental damage was mostly a 5 axle semi-trailer vehicle. Finally, considering the sub-criteria under the main criterion of operational performance, it was concluded that the most suitable vehicle type in all transportation scenarios for coniferous and broadleaved species was a 5-axle semi-trailer. Considering many different criteria in the study enabled effective selection of vehicle types in forest products transportation planning. Considering all the results obtained, it shows that considering the amount of forest products to be transported and tree species will be more useful in terms of transportation planning. The results obtained by considering different evaluation criteria in future studies and using different multi-criteria decision making methods can be compared with the results of this study.

February 2021, 172 pages.

Keywords: forest roads, seconder transportation, wood harvesting, fuzzy logic

1. GİRİŞ

Ormancılık faaliyetleri sonucunda orman ürünleri ve orman hizmetleri üretilmektedir. Genel olarak bakıldığında orman ürünleri odun ve odun dışı orman ürünleri olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan odun hammaddesi endüstriyel odun (yapacak odun) ve yakacak odun olmak üzere iki gruba ayrılırken, odun dışı orman ürünleri ise, bitkisel (reçine, sıla yağı, kitre, defne, palamut, sumak, melengiç, çam fıstığı, mersin, şimşir, kekik, adaçayı, meyan kökü vb.) hayvansal (su ve kara hayvanları gibi) ve mineral nitelikte (kum, taş, çeşitli madenler) olabilir (Erdönmez ve diğ., 2010).

Odun hammaddesi üretimi önemli ormancılık aktivitelerinden biri olup, çeşitli iş safhalarından oluşmaktadır. Bu iş safhaları temel olarak kesim, bölmeden çıkarma (tali nakliyat) ve ana nakliyat olarak adlandırılan odun hammaddesinin orman depolarına veya fabrikalara olan nakliyatını kapsamaktadır. Audy ve diğ. (2014), ormancılıkta nakliyat açısından tedarik zincirinin, orman ürünlerinin üretim alanından depolara veya fabrikalara taşınması, depo veya fabrikalardan da dağıtım merkezlerine ve müşterilere ulaştırılması şeklinde bir döngüye sahip olduğunu vurgulamıştır. Ana nakliyatın taşıma mesafesine bağlı olarak tali nakliyatla karşılaştırıldığında genellikle toplam maliyetin %30-50'sini oluşturduğu belirtilmektedir (El Hachemi ve diğ., 2008; Koirala ve diğ., 2016). Öte yandan odun hammaddesinin üretim alanından fabrikalara taşınması orman operasyonlarının önemli bir bileşeni olup, orman ürününün maliyetine direkt etki yaptığı ifade edilmektedir (LeDoux, 1988; Lopez ve diğ., 2010; Koirala ve diğ., 2017). Orman endüstrisinde odun hammaddesinin uzun mesafeli nakliyatı, tedarik zincirinin önemli bir bölümünü oluşturduğu ayrıca vurgulanmıştır (Nurminen ve Heinonen, 2007; Sosa ve diğ., 2015a). Türkiye'de endüstriyel odun hammaddesi üretimi, 2002 yılı öncesi 7 milyon m^3 iken piyasadaki gelişmeler ve orman ürünü sanayisinin hammadde beklentileri doğrultusunda 2015 yılında 16,6 milyon m^3'e 2019 yılında ise, 22,1 milyon m^3'e ulaşmıştır (OGM, 2016; OGM, 2019). Odun hammaddesi üretim miktarları açısından endüstriyel odun hammaddesi üretiminin artmış olması, nakliyata da doğrudan etki yaptığı söylenilebilir. Bu durum dikkate alındığında etkin bir nakliyat planlaması, müşteri taleplerinin uygun bir şekilde ve zamanında karşılanması açısından önem taşıyan bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Orman yolu kenarından, odun hammaddesi talep eden müşterilere şeklinde olan nakliyat planlanması probleminin karmaşık bir süreç olduğu, nakliyat planlamasındaki amacın da müşteri taleplerini zamanında, tatmin edici bir düzeyde karşılamak için programlar oluşturmak şeklinde olduğu belirtilmektedir (Palmgren, 2005). Ormancılıkta odun hammaddesinin nakliyat planlanması süreci stratejik, taktiksel ve operasyonel seviyede gerçekleştirilebilmektedir. Birkaç yılı kapsayan stratejik planlama süreci, filo tipinin belirlenmesi gibi kararların alındığı bir süreçtir. Taktiksel planlama süreci ise, bir ay ile bir yıl arasındaki süreci kapsarken, arz ve talep dikkate alınarak odun hammaddesi tipinin belirlenmesi gibi kararların alındığı bir süreçtir. Diğer bir planlama şekli olan operasyonel planlama süreci kısa dönemli olup, günlük veya haftalık düzeyde odun hammaddesinin nakliyatını içermektedir (Palmgrem ve diğ., 2003).

Eker (2004), operasyonel planlama kavramını hangi miktarda odun hammaddesinin hangi miktarda, ne zaman, nasıl üretileceğini, nereden, nasıl ve nereye taşınacağının, topografik/teknik, ekonomik, çevresel, ergonomik ve sosyo-ekonomik ölçütlere göre planlanması olarak ifade etmektedir. Odun hammaddesi üretimi operasyonları, operasyonel planlamada en zor organizasyonel aşamalardan birisidir. Bu süreçte alınan kararlar, orman mühendislerine tali nakliyat araçları, taşıma sistemi, teknoloji seçimi (mekanizasyon), çeşitli kısıtlayıcılara dayalı yol konumlandırması, depo yeri seçimi, ekonomik ve ekolojik kazançlar ve kayıplar ile sistemin fiziksel yapısı hakkında yol göstermektedir (Chung ve diğ., 2001). Ayrıca, Erdaş (1986) orman ürünleri üretimi, tali nakliyat ve ana nakliyat gibi ormancılık çalışmalarının, etkin bir şekilde uygulama ve tasarım gerektiren karmaşık bir sorun ve süreç olduğunu belirtmiştir. Operasyonel planlamada, çözülmeye çalışılan problem; alternatif üretim sistemleri arasından en uygununun seçilmesi ve bu seçim aracılığıyla hangi bölmede, hangi üretim metodu ve sisteminin ne zaman uygulanacağı; ürünlerin hangi yoldan hangi depoya taşınacağının bulunması ve buna bağlı olarak kaynak tahsislendirmesinin nasıl yapılacağının belirlenmesi şeklindedir (Eker ve Acar 2006). Bu bağlamda odun hammaddesinin nakliyatı operasyonel planlamanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Orman ürünlerinin uzun mesafeli nakliyatına (ana nakliyat-uzak nakliyat) etki eden birçok farklı değişken söz konusu olabilmektedir. Bu değişkenler, genel olarak mevcut yol karakteristikleri (yol tipi, yol üstyapı durumu vb.), taşıma mesafesi, taşınan odun hammaddesine ilişkin karakteristikler (tür, orman ürünü tipi, uzunluk, çap vb.), operatörün tecrübesi ve mevsimsel koşullar olarak sıralanabilir. Belirtilen bu koşullar toplam maliyeti

etkilemenin yanı sıra orman ürünleri nakliyatında kullanılabilecek araç tiplerine de etki edebilmektedir. Weintraub ve diğ. (2007), kamyonla odun hammaddesi nakliyatının en yaygın nakliyat metodu olduğunu, bunun da direkt olarak müşterilere veya endirekt olarak depo alanlarına, tren istasyonlarına veya limanlara nakliyat şeklinde olabileceğini belirtmiştir. Devlin ve diğ. (2016) ise, odun hammaddesinin nakliyatında nakliye edilen materyal tipi ve operasyonel koşullarına bağlı olarak farklı tipte kamyonların da kullanılabileceğini ayrıca ifade etmiştir. Bunun yanı sıra kamyon konfigürasyonlarının ve ağırlıklarının iyi belirlenmesinin orman ürünlerinin etkili bir şekilde nakliyatının gerçekleştirilmesine katkı yaptığı belirtilmektedir (Hamsley ve diğ., 2007; Sosa ve diğ., 2015a). Odun hammaddesinin üretim alanından depolara veya fabrikalara uygun bir zamanda taşınması odun hammaddesinin bozulmaması ve çürümemesi açısından önem taşıdığı da ayrıca vurgulanmıştır (Demir, 2004; Mousavi ve Naghdi, 2013). Bu bağlamda orman ürünleri nakliyatının orman endüstrisi, orman işletmeleri ve piyasa ile etkileşim halinde olduğu görülmektedir.

Yukarıda belirtilen birçok farklı koşulu dikkate alarak uygun bir nakliyat planlaması ile hangi araç tiplerinin daha uygun olacağı karmaşık bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda en uygun araç tipinin seçiminde birçok kriter söz konusu olduğundan çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasının problemin çözümü açısından uygun olacağı düşünülmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bu problemin çözümünde kullanımı operasyonel planlamanın etkin bir biçimde sağlanması ve müşteri taleplerinin etkin bir şekilde karşılanması açısından ayrıca önem taşımaktadır.

Bu doktora çalışmasının amacı, tahmin modelleri desteği ile bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini bütünleştirerek belirlenecek farklı koşullardaki nakliyat senaryoları altında orman ürünleri ana nakliyatında kullanılabilecek araç alternatiflerinden en uygununun belirlenmesi ile orman ürünleri nakliyatının planlanmasıdır.

Böylece, orman ürünleri nakliyatında operasyonel planlama ile araç alternatiflerinin etkin bir biçimde belirlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında tahmin modelleri yardımı ile farklı operasyonel koşulları temsil eden nakliyat senaryolarına ilişkin alternatif araçların performans değerleri elde edilecektir. Çalışmada kullanılacak yöntemler ise, Adaptive-Network based Fuzzy Inference System (ANFIS) tabanlı tahmin modelleri desteği ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi kullanılarak elde edilen hibrid bulanık çok kriterli karar verme yöntemidir.

Bu çalışmada aşağıda belirtilen üç adet araştırma hipotezi oluşturulmuştur:

H1) H_0: İbreli ve yapraklı türde orman ürünlerinin nakliyatı, araç alternatiflerinin uygunluk sıralamalarında bir farklılık oluşturmamaktadır.

H_A: İbreli ve yapraklı türde orman ürünlerinin nakliyatı, araç alternatiflerinin uygunluk sıralamalarında bir farklılık oluşturmaktadır.

H2) H_0: Araç alternatifleri arasından en yüksek yük kapasiteli araç tipi her koşulda en uygun araç tipidir.

H_A: Araç alternatifleri arasından en yüksek yük kapasiteli araç tipi her koşulda en uygun araç tipi değildir.

H3) H_0: Araç alternatiflerinin uygunluğu dikkate alınan kriterlerin türüne göre farklılık göstermemektedir.

H_A: Araç alternatiflerinin uygunluğu dikkate alınan kriterlerin türüne göre farklılık göstermektedir.

Bu tez beş ana bölümden oluşmaktadır:

"*Giriş*" bölümünde orman ürünleri nakliyatı ile ilgili genel bilgilere yer verilmiş, tez konusunun önemi, amacı ortaya konulmuş ve çalışmaya ilişkin oluşturulan araştırma hipotezlerine yer verilmiştir.

"*Genel Kısımlar*" bölümünde orman ürünleri nakliyatı ve tesisleri, orman ürünleri nakliyatına etki eden koşullar, çok kriterli karar verme yöntemleri, orman ürünleri nakliyatında kullanılabilecek araç tipleri ve araçların boyut ve ağırlıklarına ilişkin yasal birtakım sınırlamalara yer verilmiştir.

"*Malzeme ve Yöntem*" bölümünde araştırma alanının tanıtımı ile ilgili genel bilgiler, çalışmada kullanılan araç takip sisteminin çalışma sistemi ve teknik özellikleri ve çalışmada kullanılacak yöntemlere ilişkin bilgiler verilmiştir.

"*Bulgular*" bölümünde yakıt tüketimi ve varış süresi tahmin modelleri ve elde edilen sonuçlar, bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması sonucu elde edilen ana ve alt

kriterlerin ağırlıkları, oluşturulan farklı tipte nakliyat senaryoları, belirlenen nakliyat senaryolarına göre ilgili kriterlere ilişkin değerlerin hesaplanması ve nakliyat senaryolarında kullanabilecek araç tipi uygunluk sıralamalarına yer verilmiştir.

"*Tartışma ve Sonuç*" bölümünde ise çalışmada ulaşılan genel bulgulara değinilmiş, kurulan hipotezlere ilişkin değerlendirilmeler yapılmış ve çalışma diğer ilgili çalışmalarla karşılaştırılarak birtakım önerilere yer verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATI

Aykut (1985)'e göre orman ürünlerinin taşınması iki aşamadan oluşmakta olup, bunlar tali taşıma safhası olan tali nakliyat diğeri ise, çoğunluğu orman yollarında kamyonlarla gerçekleştirilen ana taşıma safhası olan ana nakliyattır. Bu bağlamda odun hammaddesinin üretim süreci ve nakliyatına ilişkin döngü Şekil 2.1'de verilmiştir.

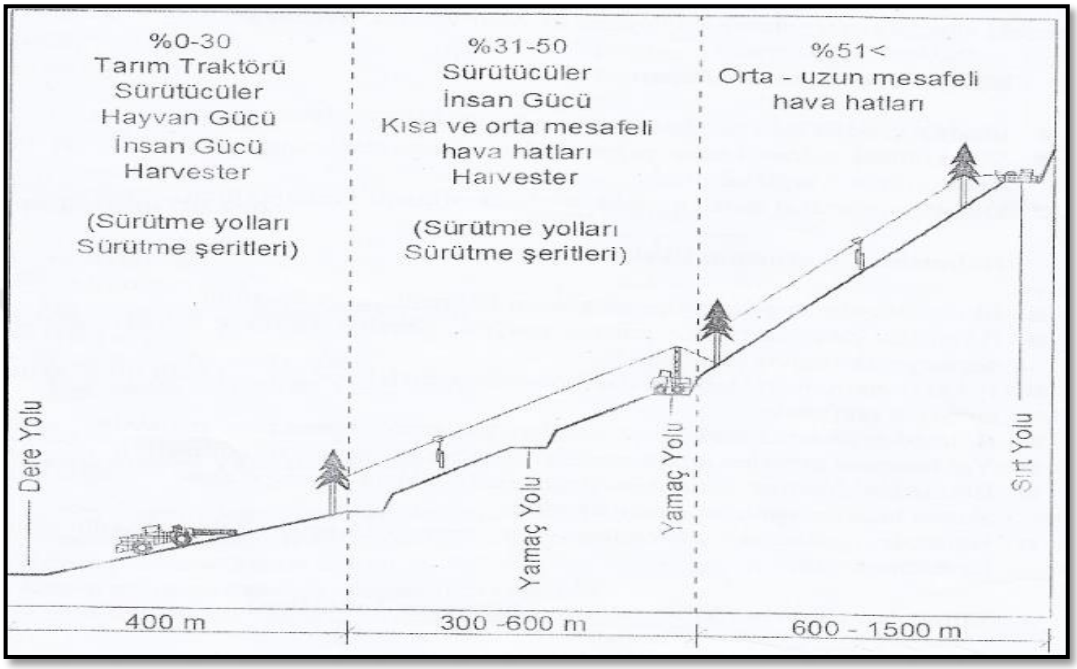


Şekil 2.1: Odun hammaddesi üretimine ilişkin döngü (Öztürk, 2006; Hasdemir ve Öztürk, 2011).

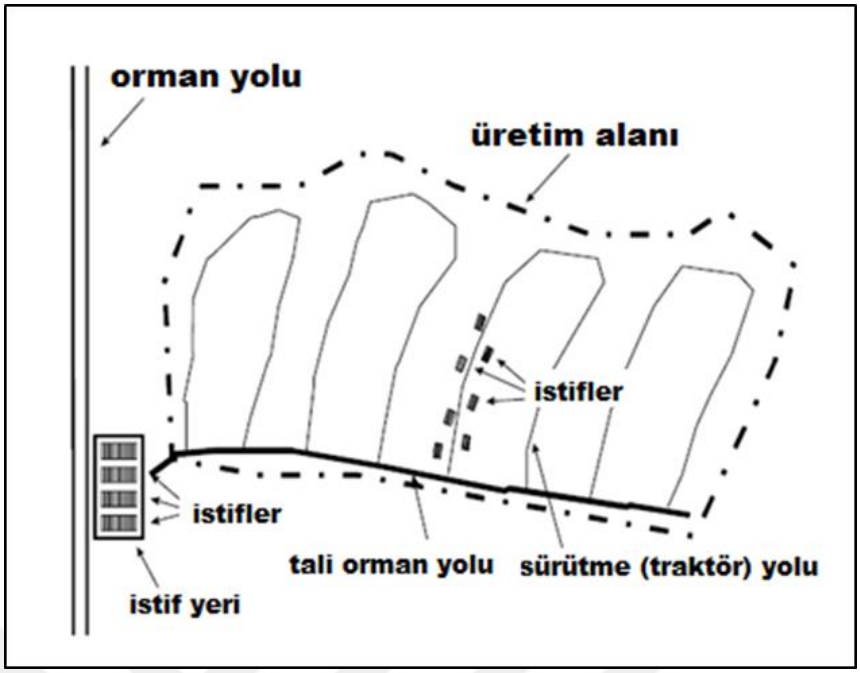
Öztürk (2003) ülkemizde tali nakliyat çalışmalarının insan, hayvan ya da makina gücünden yararlanarak gerçekleştirildiğini vurgulamıştır. Bunun yanı sıra tali nakliyatın insan gücü ile atma, taşıma, yuvarlama şeklinde, hayvan gücü kullanımında orman ürünlerinin zeminde sürütülmesi, makina kullanımında ise tarım traktörleri, özel orman traktörleri ve çeşitli hava hatları ile yapıldığını vurgulamıştır. Türkiye'de tali nakliyatta kullanılan yöntemler ve tesisler arazi eğim sınıflarına göre Şekil 2.2'de belirtilmiştir.

Acar (1994) Kümbet bölgesinde gerçekleştirdiği çalışmasında, en uygun tali nakliyat yöntemlerinin tespiti amacıyla oluşturulan nakliyat planı sayesinde bölmeden çıkarmanın daha

kısa sürede ve daha az maliyetle yapılabileceği sonucuna ulaşmıştır. Odun hammaddesinin tali nakliyat aşaması ise, genel olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekil 2.3 incelendiğinde, üretim alanında bulunan orman ürünlerinin sürütme (traktör) yolları ve tali orman yolları aracılığı ile en yakın orman yolu kenarına getirilerek istiflendiği görülmektedir.

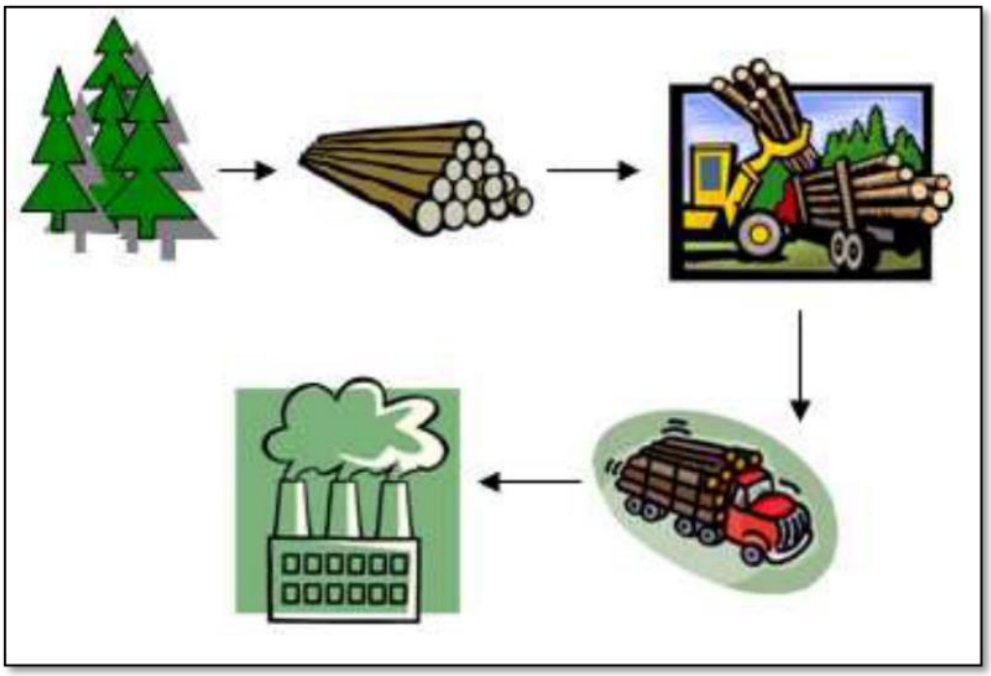


Şekil 2.2: Türkiye'de üretim çalışmalarına göre eğim sınıfları ve tali nakliyat teknikleri ve tesisleri (Hasdemir ve Öztürk, 2011).



Şekil 2.3: Tali nakliyat operasyonu (Palmgren, 2005).

Ana nakliyat olarak bilinen orman ürünlerinin fabrikalara veya depolara olan uzak nakliyatındaki döngü ise, Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, uygun yerlere istif edilen orman ürünleri taşıma araçlarına yüklenerek ve nakliyatı gerçekleştirilerek fabrika veya depo gibi merkezlere ulaştırılmaktadır.



Şekil 2.4: Orman ürünleri nakliyatının genel döngüsü (Kokenge, 2011).

2.2. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATI TESİSLERİ

Bayoğlu (1996), ormanların işletmeye açılmasında ve nakliyatın gerçekleştirilmesinde en önemli unsurun yollar olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Bayoğlu (1997), büyük çoğunlukla üzerinde kamyonla nakliyat yapılan genel bir yol ağı planlaması ile orman yolu kenarına getirilen odun hammaddesinin yine bu yollar boyunca taşınıp orman dışına çıkarmanın amaçlandığını belirtmiştir. Görcelioğlu (2003) ise, ormanlarda ana nakliyatın büyük çoğunlukla yollar üzerinde kamyonlarla, çetin dağlık arazi koşullarında ise uzun mesafeli vinçli hava hatları ile gerçekleştirildiğini ifade etmiştir. Orman ürünleri nakliyatında kamyonların yanı sıra tren, gemi veya su yolunun da kullanılabileceği ayrıca belirtilmiştir (Rönnqvist ve diğ., 2015).

Bu bağlamda orman ürünleri nakliyatında kullanılan yol kategorilerine ilişkin çeşitli fonksiyonlar ve işletmeye açma tesisleri Bayoğlu (1996)'ya göre Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Yolların kategorileri (Bayoğlu, 1996).

Yolların Kategorileri	Fonksiyonları	İşletmeye Açma Tesisleri
Devlet yolları	Ormancılık amaçları için sınırlı ölçüde faydalı olabilirler. Esas itibariyle ormanı işletmeye açan tesislerin daha yüksek standarttaki yollarla irtibatını sağlarlar.	Ana yollar İrtibat yoları
Orman yol şebekesini oluşturan kamyon yolları	Bir işletmeye açma ünitesinin bütünüyle ve eşit şekilde işletmeye açılmasını sağlar.	Orman yolları ve Orman irtibat yolları
Tali nakliyat şebekesini oluşturan tesisler	Bir işletmeye açma ünitesi içinde yer alan nakliyat planlama ünitelerinin işletmeye açılmasını sağlarlar.	Sürütme şeridi Sürütme yolu Kablo hatlar

Acar ve diğ. (2015) uzun mesafelerde özellikle bazı batı ülkelerinde kamyon ve kamyon-treylerle karayolu taşımacılığına sıklıkla başvurulduğunu ve ülkemizde de bu tip taşımacılığın zaman zaman uygulandığını belirtmiştir. Bu bağlamda Yayla (2015) karayollarının idari bir sınıflama ile dört grupta kategorize edildiğini ve bunların otoyollar, devlet yolları, il yolları ve köy yolları şeklinde olduğunu vurgulamıştır.

Orman yolları ise, Orman Genel Müdürlüğüne (OGM) ait 292 sayılı tebliğde belirtildiği üzere, genel olarak ana orman yolu, tali orman yolları (A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu)

ve traktör yolu olmak üzere üç ana kısıma ayrılmaktadır (OGM, 2008). Söz konusu bu yollara ait geometrik standartlar ise Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Tablo 2.2: Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008).

Yolun Tipi	Birimi	Ana Orman Yolu	Tali Orman Yolu				Traktör Yolu
			A TİPİ	B TİPİ			
				SBT*	NB**	EBT***	
Platform genişliği	m	7	6	5	4	3	3,5
Şerit sayısı	adet	2	1	1	1	1	1
Azami eğim	%	8	10	9	12	12	20
Asgari kurp yarıçapı	m	50	35	20	12	8	8
Şerit genişliği	m	3	3	3	3	3	3
Banket genişliği	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Hendek genişliği	m	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	
Üst yapı genişliği	m	6	5	4	3	2	
Köprü genişliği	m	7+(2X0,6)	6+(2X0,6)	5+(2X0,6)		4+(2X0,6)	

*Standartları yükseltilmiş B tipi tali orman yolu

**Normal B tipi tali orman yolu

***Ekstrem B tipi tali orman yolu

2.3. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATINA ETKİ EDEN KOŞULLAR

Odun hammaddesinin depolara veya fabrikalara ana nakliyat safhasında farklı operasyonel koşullar söz konusu olabilmektedir. Bu operasyonel koşullar genel olarak yolun eğimi ve durumu, nakledilen orman ürünü karakteristikleri (tür, hacim, ağırlık vb.), taşıma mesafesi, mevsim koşulları ve işin organizasyonu olarak belirtilebilir. Ayrıca odun hammaddesinin nem içeriği, kuru madde, katı ve birim hacim ağırlığı ve kamyon azami yük sınırlamalarının da nakliyatı yapılan orman ürününü ucuz ve etkili şekilde istenilen yere ulaştırmak için dikkate alınmasının gerekli olduğu belirtilmiştir (OECD, 2004). Belirtilen bu operasyonel koşullar ana nakliyatın verimliliğini ve maliyetini etkilemenin yanı sıra çevresel zarar durumuna da etki etmektedir. Orman ürünleri nakliyatı konusunda belirtilen operasyonel koşullarla ilgili olarak birçok farklı araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Murphy (2003), optimum yol güzergâh modeli için genel tam sayılı programlama önermiştir. Fakat bu modelin taktiksel uzun planlamada kullanılabileceğini belirtmiştir. El Hachemi ve diğ. (2008) ise, optimum yol güzergâh modeli için kısıt programlama ve doğrusal programlamaya

dayalı hibrid bir yaklaşım önermiştir. Akay ve Erdaş (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ağ modeli tabanlı Network 2001 programı yardımı ile nakliyat maliyetini minimuma indiren optimum yol güzergâhları tespit edilmiştir. Devlin ve diğ. (2008), İrlanda'da coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve global positioning system (GPS) teknolojisinden yararlanarak yol sınıfı, hız ve mesafe açısından en optimum nakliyat güzergâhının belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışkan (2008) tavlama benzetimi algoritması ve ağ analizi yöntemlerinden yararlanarak çeşitli standartlardaki odun hammaddesinin rampalardan ana depolara taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi ve taşıma ağlarının tasarımına yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yıllık taşıma maliyetlerinde %14,45'lik bir tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir. Contreras ve diğ. (2008) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, sabit ve değişken maliyetli orman nakliyatı planlama maliyetlerinin çözülmesi amacıyla için özel bir karınca kolonisi optimizasyon metodu geliştirilmiştir. Süslü (2016) tarafından yapılan çalışmada ise, CBS destekli karar destek sistemi kullanılarak hem nakliyat maliyetini minimuma indirecek hem de güvenli ulaşım sağlayan optimum güzergâh tespit edilmeye çalışılmıştır. CBS'nin nakliyat araçları için en uygun güzergâh seçiminde kullanışlı bir teknoloji olduğu belirtilmiştir (Keenan, 2008). Acar (1998), Artvin bölgesinde gerçekleştirdiği çalışmasında nakliyat modeli kullanarak ana nakliyat masraflarının azaltılabileceğini belirtmiştir.

Öztürk (2005) tarafından, Artvin bölgesinde gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, üç akslı üç farklı marka kamyon tarafından gerçekleştirilen taşımalar sonucunda ortalama verim ibreli tomruklar için 19,155 m^3/sefer, yapraklı yakacak odun için 26 ster/sefer olarak hesaplanmıştır. Svenson ve Fjeld (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yol eğimi ve pürüzlülüğünün artmasının kamyonların yakıt tüketimini artırdığı belirtilmiştir. Han ve Murphy (2012) ise, taşınan orman ürünü tipinin taşıma hızını ve nakliyat maliyetini etkilediğini vurgulamıştır. Mousavi ve Naghdi (2013) tarafından damperli ve şasili iki tip kamyonun zaman tüketimi ve verimliliğini tespiti amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, şasili kamyonların damperli kamyonlara göre daha verimli olduğu bulunmuştur. Manzone ve Balsari (2015) yonga levha nakliyatında traktör-treyler ve farklı tipte kamyonları enerji tüketimi ve ekonomik maliyet açısından kıyaslamıştır. Elde edilen sonuçlara göre özellikle 20 km'nin altındaki mesafelerde kullanılan araç tiplerinin km başına birim maliyetlerinin yüksek olduğunu ve yaklaşık 5 euro olduğunu belirtmiştir. Manzone ve Calvo (2017) yonga levha taşınmasında mevsim ve trafik koşullarının verimlilik, enerji tüketimi ve CO_2 emisyonuna olan etkisini incelemek amacıyla

gerçekleştirdiği çalışmasında kamyon ve traktör araçlarını karşılaştırmıştır. Yapılan analizler sonucu, özellikle kuru yol koşullarında kamyonun traktörden daha etkili olduğu bulunmuştur. Irdla ve diğ. (2016) ise, Estonya'da odun yonga taşınmasında farklı akslardaki kamyonları verimlilik ve maliyet açısından kıyaslamıştır. Trzcinski ve diğ. (2018) tarafından ortaya konulan bir çalışmada odun hammaddesinin nakliyatında farklı kamyonların toplam ağırlıkları ve aks yüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre belirli mevsimlerde toplam ağırlıklar ve aks yükleri açısından kamyonların önemli farklılık gösterdiği bulunmuştur. Karabenli (2018) ise orman yolu standartlarının yükseltilmesinin, orman ürünlerinin ekonomik değeri ve uzak nakliyat üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla Network 2001 yazılımından yararlanarak bir çalışma yapmıştır.

Çevresel zarar durumu ele alındığında ise, Sosa ve diğ. (2015a) tarafından yapılan çalışmada ağır yüklü kamyonların yollarda üst yapı zararını artırdığı vurgulanmıştır. Öte yandan kamyonlarla yapılan nakliyatın Dünya'daki CO_2 emisyonunun yaklaşık %22'sini oluşturduğu belirtilmektedir (McKinnon ve Piecyk, 2009; Liimatainen ve Pöllanen, 2010). Odun hammaddesi tedarik aktiviteleri emisyon sorunlarından iklim değişikliğine kadar farklı çevresel problemlere yol açmakta olduğu farklı araştırmalarda ayrıca belirtilmiştir (Palender, 1995; Palender, 1998; Handler ve diğ., 2014). Palender (2016) ise, farklı ağırlık sınırı olan kamyonları çevresel fayda açısından karşılaştırmıştır. Yang ve diğ. (2008) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, ağır tonajlı kamyonların yol bozulması, kısa araç ömrü, araç manevra kabiliyetindeki kısıtlamalar ve trafik güvenliği gibi çeşitli problemlere sebep olduğu belirtilmiştir.

Operasyon koşulları ve ilgili literatürden de anlaşılacağı üzere, mevcut operasyon koşullarına uyum sağlayabilecek araç tiplerinin belirlenmesinde birçok farklı kriterin söz konusu olduğu görülmektedir. Bununla ilgili olarak nakliyatı gerçekleştirilen ham madde tipi ve farklı operasyonel koşullara bağlı olarak farklı tipte kamyonların kullanılabileceği çeşitli araştırmalarda belirtilmiştir (Mousavi, 2009; Koirala ve diğ., 2016; Rönnqvist ve diğ., 2015). Sosa ve diğ. (2015a)'ya göre bu farklılık, aks sayıları, aks aralıkları, dara ağırlıkları ve ön akstaki motorla ilgili durumdan kaynaklanmaktadır. Lautala ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, araç boyutlarının uygun seçimi, doğru aks oranı ve arzu edilen maksimum araç hızının yakıt performansını artırmak için gerekli olduğu belirtilmiştir. Öte yandan kamyonların genel ve yakıt performansının; tasarım, hız, aks sayısı, treyler tipi ve

uzunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği ayrıca vurgulanmıştır (Tufts ve diğ., 2005; Geisler ve diğ., 2016).

2.4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme yöntemleri, insanların farklı kriterler içeren karmaşık konularda daha iyi seçim yapmalarını kolaylaştırmak için ortaya konulmuştur (Zeng ve diğ., 2013). Nicel ve nitel kriterler esas alınarak çok kriterli karar verme yöntemleri ile karar seçeneklerinden en iyisinin seçimi sağlanmaktadır (Cho, 2003). Çok kriterli karar verme yöntemleri iş dünyasında, mühendislikte ve diğer insan faaliyetlerinde karşılaşılan karmaşık problemleri çözme niteliğine sahip olduğu belirtilmiştir (Achillas ve diğ., 2013).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde uygulama sürecinin üç temel adımdan oluştuğu belirtilmektedir (Triantaphyllou, 2000; Özbek, 2017). Bu adımlar aşağıda sıralanmıştır:

-İlgili kriter ve alternatiflerin belirlenmesi,

-Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve alternatiflerin bu kriterlere göre değerlendirilmesi,

-Sayısal değerleri belirlenen yönteme göre analiz ederek her bir alternatifin sıralamasının belirlenmesi.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (AAP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Elemination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) gibi yöntemler çok kriterli karar verme problemlerinde yaygın kullanılan yöntemler olarak literatürde yer almaktadır (Erginel ve diğ., 2010).

AHP, Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü problemlerin yapılandırılması, ölçülmesi ve sentezine yönelik bir metodolojidir. AHP, birçok probleme uygulanabilen bir yöntemdir ve özellikle de birçok kriterin olduğu kompleks durumlarda alternatifler arasından seçim yapma problemlerine uygulanmaktadır (Saaty, 1980; Forman ve Gass, 2001). AHP' nin güçlü yönü, ikili karşılaştırma imkânı tanımasıdır (Liu ve Hai, 2005). Öznel veya soyut kriterlerin bir hiyerarşiye göre belirlenmesi ve düzenlenmesi özel bir değer taşır. Hiyerarşide hedefler, ana ve alt kriterler ile alternatifler yer alır (Saaty, 1988). Russo ve Comanho (2015) AHP yönteminin üretim, tekstil, petrol, elektronik, eğitim, sağlık, havayolu gibi birçok alanda kullanıldığını

belirtmiştir. Problemleri, elemanlar arasındaki ilişkileri ve yönlerini tanımlayarak bir ağ şeklinde ifade eden AAP yöntemi ise ağ yapısından dolayı doğrudan ilişkilendirilmemiş elemanlar arasında olabilecek dolaylı etkileşimler ve geri bildirimleri de dikkate almaktadır (Saaty, 1996). Özbek (2017) ise, AAP yönteminin nicel bilgiler yanında nitel bilgilerinde değerlendirmesini sağlayan AHP'nin genel formu olduğunu belirtmiştir.

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi ise, alternatiflerin kriterlere göre değerlendirildiği ve en iyi çözümün, ideal çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıklara göre belirlendiği çok kriterli karar verme metodudur. Bu yöntem; karar verilen alternatif için pozitif ideal çözümün en kısa mesafesi ve negatif ideal çözümün en uzak mesafesi ilkesine dayanmaktadır (Chen, 2000). Pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan seçenek en iyi seçenek olarak belirtilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981; Cheng ve diğ., 2002). Behzadian ve diğ. (2012), TOPSIS yönteminin tedarik zinciri yönetimi ve lojistik, mühendislik ve üretim sistemlerinin tasarımı, işletme ve pazarlama yönetimi, enerji yönetimi, sağlık, güvenlik ve çevre yönetimi gibi farklı disiplinlerde kullanıldığını belirtmiştir.

Son yıllarda çok kriterli karar verme yöntemlerinin simülasyonla bütünleştirilerek de kullanıldığı literatürde görülmektedir (Azadeh ve diğ., 2008; Rabelo ve diğ., 2007; Azadeh ve diğ., 2016). Akad ve Gedizoğlu (2011), var olan ya da yapılması planlanan bir sistemi gözlemlemek için yararlanılan en verimli yöntemlerden bir tanesi, belki de en önemlisinin simülasyon adı verilen yöntem olduğunu belirtmenin yanı sıra sistemin farklı koşullar altında nasıl çalışacağının simülasyon aracılığıyla tahmin edilebilmesi imkânının olduğunu vurgulamıştır. Öte yandan Göçken ve diğ. (2018) ise, tedarik zinciri yönetiminde başarısını kanıtlayan yöntemlerden birinin simülasyon olduğunu ve simülasyonun sistem performansının dinamik çevre koşullarında birçok değişkene bağımlı olarak nasıl sonuçlar verdiğini gözlemlememize olanak sağladığını vurgulamıştır.

Birçok disiplinde olduğu gibi ormancılık disiplininde de son yıllarda klasik çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak farklı araştırmaların yapıldığı literatürde görülmektedir. Bununla ilgili olarak Ghajar ve Najafi (2012) yaptıkları çalışmada klasik AAP yöntemini kullanarak sürdürülebilir bir orman yönetimi açısından üretim metotlarını değerlendirmiştir. Jaafari ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise aynı yöntem kullanılarak en iyi tali nakliyat yöntemi seçilmiştir. Gülci (2014) ise klasik AHP yönteminden yararlanarak hassas ormancılık amaçları doğrultusunda tali nakliyat yöntemlerinin seçimi ile ilgili bir çalışma

yapmıştır. Ghaffariyan ve Brown (2013), farklı bir klasik çok kriterli karar yöntemi olan Phomethee yönteminin etkili üretim metodunun seçiminde kullanabileceğini belirtmiştir.

Gerçek yaşamda, birçok karar problemi belirsiz ve kesin olmayan bilgiler içerdiğinden bu bilgilere dayalı kurulan modeller problemleri tam ve doğru olarak ifade edememektedir. Bu nedenle karar sürecinin, belirsiz ve kesin olmayan bilgilere dayalı model kurulabilmesini sağlaması gerekir (Saremi ve diğ., 2009). Fakat klasik çok kriterli karar yöntemlerinde, kriterlerin ağırlıklarının ve önem derecelerinin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Fakat kesin veriler gerçekte karşılaşılan problemleri modellemede yetersiz kalmaktadır. Bulanık çok kriterli karar yöntemleri ise kriterleri ve alternatifleri değerlendirmede sözel değişkenleri kullanma olanağı sunmanın yanında, kesin olmayan verileri sayısallaştırarak etkin sonuçlar vermektedir (Karakaşoğlu, 2008).

Bulanık mantık ilkeleri, belirsizliği açıklama yeteneği açısından üstünlüğü ile öne çıkmaktadır. Bir bulanık küme, her bir elemanı 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip bir fonksiyon ile tanımlanmaktadır (Zadeh, 1965). Son yıllarda bulanık kümelerin, çok kriterli karar verme sürecine dâhil edilmesiyle bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ortaya çıkmıştır (Gültaş, 2007).

2.5. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYATINDA KULLANILAN ARAÇ TİPLERİNE İLİŞKİN TEKNİK ÖZELLİKLER

Bayoğlu (1997), orman ürünleri nakliyatında kamyon ve lastik tekerlekli traktörlerin kullanıldığını belirtirken, bunun yanı sıra kullanılan araçların araç ağırlıkları bakımından ağır taşıtlar grubuna girdiğini ve bu araçlarda arka dingil (aks) de ikişer tekerlek bulunduğunu ifade etmiştir. Öte yandan orman ürünleri nakliyat sürecinde taşınan odun hammaddesi tipi ve operasyonel koşullara bağlı olarak farklı tipte kamyonların da kullanılabileceği ayrıca belirtilmiştir (Devlin ve diğ., 2016). Acar ve diğ. (2015) ise, ülkemizde orman ürünleri nakliyatında en fazla tercih edilen araç tipinin kamyonlar oluğunu, zaman zaman da kamyon-treylerin orman ürünleri nakliyatında kullanıldığını belirtmiştir. Treylerler çeşitli büyüklüklerde olmakla beraber bir akslı, iki akslı, üç akslı veya dört akslı olabilmektedir.

"*Karayolu Trafik Yönetmeliği*" tanımlar bölümüne bakıldığında ise, araç tanımının "*karayollarında kullanılabilen motorlu, motorsuz ve özel taşıtlar ile iş makineleri ve lastik tekerlekli traktörlerin genel adıdır*" şeklinde ifade edildiği görülmektedir. Yine aynı

yönetmelikte yer alan “kamyon”, “çekici”, “römork”, “yarı römork” ve “hafif römork”a ilişkin tanımlamalar da aşağıda belirtilmiştir (Anon., 1997):

Kamyon: *“İzin verilen azami ağırlığı 3,5 tondan fazla olan ve yük taşımak için imal edilmiş araçtır.*”

Çekici: *“Römork ve yarı römorkları çekmek için imal edilmiş ve yük taşımayan motorlu araçtır.*”

Demirci (2019), ayrıca çekiciler için kullanılan TIR kavramının yanlış bir ifade şekli olduğunu belirtmiş ve TIR ifadesinin Birleşmiş Milletler bünyesinde 15 Ocak 1959’da imzalanan bir anlaşma (*Transport Internationaux Routiers*) olduğunu bildirmiştir.

Römork: “*Motorlu araçla çekilen insan veya yük taşıma için imal edilmiş motorsuz araçtır.*”

Yarı Römork: “*Bir kısmı motorlu taşıt veya araç üzerinde oturan, taşıdığı yükün ve kendi ağırlığının bir kısmı motorlu araç tarafından taşınan römorktur.*”

Hafif Römork: “*Azami yüklü ağırlığı 0,75 tonu geçmeyen römork veya yarı römorktur*”

Bu tanımlamaların yanı sarı Erdaş (1997) ise, “*yarı römorklu araç*” tanımı olarak çekici araç ile çekilen yarı römorkun teşkil ettiği araç dizisi şeklinde ifade etmiştir.

Römork yerine günümüzde nakliyat sektöründe treyler ifadesi de sıkça kullanılmaktadır. Karayolu taşımacılığının 1970’li yıllarda gelişmesiyle birlikte Amerikan yapımı “*dorsey trailer*” markalı semi-treyler Türk taşımacılarının filolarına ilk araç olarak girmiş ve treyler ismi nakliye sektöründe yaygın olarak kullanılmıştır. Teknik olarak ise, treyler bir çekicinin arkasında yük taşımaya yarayan açık ya da kapalı araçlardır şeklinde ifade edilmektedir. Semi-treyler (yarı römork) ise bir motora sahip çekici araç tarafından çekilen taşıyacağı yükün özelliklerine göre tasarlanıp imal edilen en az bir akslı ve çekildiği araca king adlı araçla bağlanan bir karayolu taşıtı olarak tanımlanmaktadır (MEB-MEGEP, 2011). Semi-treylerin genel görünümü ise Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5: Semi-treylerin genel görünümü (Demirci, 2019).

Yaygın olarak kullanılan treyler çeşitleri ise üç sınıfta toplanmakta olup, bunlar aşağıda verilmiştir (MEGEP-MEB, 2011):

1) Kuru yük semi-treyler,

2) Optima treyler,

3) Jumbo treyler.

Karayolları Trafik Yönetmeliğinde araç sınıfları incelendiğinde ise, genel olarak araç sınıflarının yedi sınıfta yer aldığı görülmekte olup bunlara ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir (Anon., 1997):

L sınıfı: İki ve üç veya dört tekerlekli motorlu araçlardır.

M sınıfı: En az dört tekerlekli ve yolcu taşımasında kullanılan motorlu araçlardır.

N sınıfı: En az dört tekerlekli ve yük taşımasında kullanılan motorlu araçlardır.

O sınıfı: Bir motorlu araç tarafından çekilen römork veya yarı römork motorsuz yük taşıma araçlarıdır.

Özel Amaçlı Taşıt: Yolcu veya yük taşımak üzere özel bir işlevi yerine getirmek için kullanılan M, N ve O sınıfı motorlu araçtır.

T sınıfı: Tarım ve ormancılık traktörleri

G sınıfı: Arazi taşıtları

"*Motorlu Araçlar ve Römorkları ile Bunların Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerinin Tip Onayı ve Piyasa Gözetimi ve Denetimi Hakkında Yönetmelik"* hükümlerinde ise kamyon sınıfı araçların N2 veya N3 araç kategorisine girmekte iken, çekici sınıfı araçların ise N1, N2 veya N3 kategorilerine girdiği görülmektedir. Diğer bir araç tipi olan römorkların ise O kategorisinde yer aldığı belirtilmiştir (Anon., 2020). Bu kategorilere ait tanımlamalar ise aşağıda verilmiştir:

N1 kategorisi: "*Yük taşımasında kullanılan ve azami ağırlığı 3,5 tonu aşmayan motorlu araçlardır.*"

N2 kategorisi: "*Yük taşımasında kullanılan ve azami ağırlığı 3,5 tonu aşan, ancak 12 tonu aşmayan motorlu araçlardır.*"

N3 kategorisi: "*Yük taşımasında kullanılan ve azami ağırlığı 12 tonu aşan motorlu araçtır.*"

O1 kategorisi: "*Azami ağırlığı 0,75 tonu aşmayan römorklardır.*"

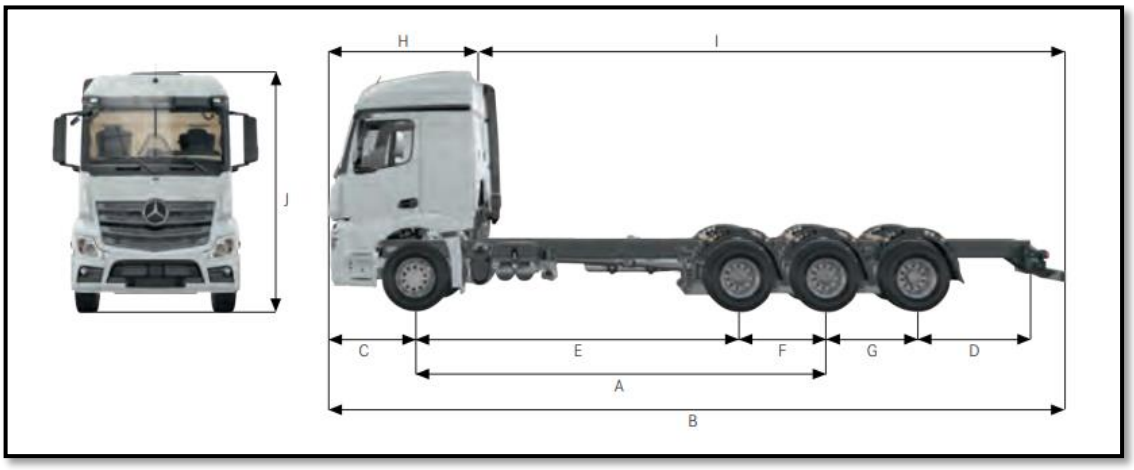
O2 kategorisi: "*Azami ağırlığı 0,75 tonu aşan, ancak 3,5 tonu aşmayan römorklardır.*"

O3 kategorisi: "*Azami ağırlığı 3,5 tonu aşan, ancak 10 tonu aşmayan römorklardır."*

O4 kategorisi: "*Azami ağırlığı 10 tonu aşan römorklardır."*

2.5.1. Araç Boyut ve Ağırlıklarına İlişkin Yasal Sınırlamalar

Bayoğlu (1997), tomruk nakliyatı gerçekleştiren kamyonların orman yollarını kullandıktan sonra genellikle devlet yolları üzerinde de nakliyata devam etmeleri nedeniyle tonaj sınırlamasına uyma zorunluluğu olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda "*Karayolu Trafik Yönetmeliği*" ve "*Araçların Yüklenmesine İlişkin Ölçü ve Usuller ile Tartı ve Boyut Ölçüm Toleransları Hakkında Yönetmelik*" kapsamındaki sınırlamalar, orman ürünleri nakliyatında da dikkate alınmalıdır. Nakliyat aracı boyutlarına ilişkin ayrıntıların görülebilmesi amacıyla örnek olarak 4 akslı 8x2 tipinde bir kamyonun önden-yandan görünüşleri ve ölçüleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6: 4 akslı 8x2 tipindeki bir kamyonun önden-yandan görünüşleri ve ölçüleri (URL-1).

A: Aks mesafesi

B: Araç uzunluğu

C: Ön sarkıntı

D: Arka sarkıntı

E: 1. ve 2. akslar arasındaki mesafe

F: 2. ve 3. akslar arasındaki mesafe

G: 3. ve 4. akslar arasındaki mesafe

H: Kabin uzunluğu

I: Faydalı şasi boyu uzunluğu

J: Araç yüksekliği

"*Karayolu Trafik Yönetmeliği*" ve "*Araçların Yüklenmesine İlişkin Ölçü ve Usuller ile Tartı ve Boyut Ölçüm Toleransları Hakkında Yönetmelik*" hükümlerine göre araçlara ilişkin boyut ve ağırlıklarıyla ilgili sınırlamalar Tablo 2.3, Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da belirtilmiştir (Anon., 1997; Anon., 2012).

Araç azami toplam ağırlıkları orman ürünleri nakliyatı açısından değerlendirildiğinde, iki akslı motorlu araç ve römorkların 18 ton, üç akslı motorlu araçların 25 ton, dört akslı araçların 32 ton, diğer araçların ise azami toplam ağırlıklarının ise 38-40 ton arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Araç azami toplam ağırlıkları.

TOPLAM AĞIRLIKLAR	
İki akslı motorlu araçlar ve römorklarda	18 ton
Üç akslı motorlu araçlarda*	25 t (26 t*)
Üç akslı yarı römorklu araçlarla mafsallı otobüslerde	28 ton
Dört akslı motorlu araçlarda	32 ton
Dört akslı römorklu ve yarı römorklu araçlarda	36 ton
Dört akslı yarı römorklu araçlarda yarı römork aks grubu ağırlığı 20 ton olan araçlarda	38 ton
Beş veya daha çok akslı yarı römorklu veya römorklu katarlarda	40 ton
12 m boyutunda ISO Konteyner taşıyan iki veya üç akslı yarı-römorka sahip üç akslı motorlu araçlarda	44 ton

*Tahrikli aksın, çift lastikle ve havalı süspansiyon sistemi ile veya 97/27/AT Yönetmeliğinde tanımlandığı gibi eşdeğer kabul edilen bir süspansiyon sistemi ile donatılmış olduğu veya her bir tahrikli aksın çift lastikli olduğu ve her bir aksın azami ağırlığının 9,5 tonu aşmadığı durumlarda 26 tondur.

Tablo 2.4: Azami araç aks ve aks grubu ağırlıkları.

Aks ağırlığı en çok;	
Tahriksiz tek akslarda	10 ton
Tahrikli tek akslarda	11,5 ton
İki akslı motorlu araçlarda aks grubu ağırlığı en çok;	
Akslar arası mesafe 1m'den az ise (d<1m)	11,5 ton
Akslar arası mesafe 1 m ile 1,3 m arası ise (1 m ≤ d<1,3 m)	16 ton
Akslar arası mesafe 1,3 ile 1,8 m arası ise (1,3 m ≤ d<1,8 m)	18 ton
Akslar arası mesafe 1,3 m ile 1,8 m arası ise (1,3 m ≤ d<1,8 m)	19 ton
İki akslı römork ve yarı römorklarda aks grubu ağırlığı en çok;	
Akslar arası mesafe 1 m'den az ise (d<1 m)	11 ton
Akslar arası mesafe 1 m ile 1,3 m arası ise (1 m ≤ d<1,3 m)	16 ton
Akslar arası mesafe 1,3 ile 1,8 m arası ise (1,3 m ≤ d<1,8 m)	18 ton
Akslar arası mesafe 1,8 m veya daha büyük ise (1,8 m ≤ d)	
Üç akslı aks grubu ağırlık en çok;	
Akslar arası mesafe 1,3 m veya daha az ise (d ≤ 1,3 m)	21 ton
Akslar arası mesafe 1,3 m ile 1,4 m arası ise (1,3 m < d ≤ 1,4 m)	24 ton

Araç azami genişlik değerleri ve araç azami yükseklik değerleri orman ürünleri nakliyatı açısından değerlendirildiğinde ise araç genişliğinin 2,55 m, araç yüksekliğinin ise 4 m olduğu görülmektedir (Tablo 2.5). Son olarak araç azami uzunlukları incelendiğinde ise römork, yarı

römork, römorklu kamyon ve iki römorklu katarlarda araç azami uzunluklarının sırasıyla 12 m, 16,50 m, 18,75 m ve 22 m şeklinde olduğu görülmektedir (Tablo 2.6).

Tablo 2.5: Araç azami genişlik ve yükseklik değerleri.

AZAMİ GENİŞLİK	
Araçların azami genişliği	2,55 m
Frigorifik taşıtların yalnız frigorifik yapılarında	2,60 m
Belediyelere ait troleybüsler	2,65 m
AZAMİ YÜKSEKLİK	
Araçların azami yüksekliği	4 m

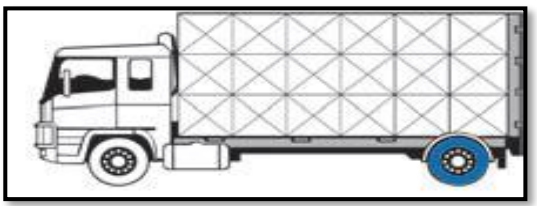
Tablo 2.6: Araç azami uzunlukları.

AZAMİ UZUNLUKLAR	
Otobüs dışındaki motorlu araçlarda	12,00 m
Römorklarda	12,00 m
İki akslı otobüslerde	13,50 m
İkiden çok akslı otobüslerde	15,00 m
Yarı römorklu araçlarda	16,50 m
Mafsallı (körüklü) otobüslerde	18,75 m
Römorklu otobüslerde	18,75 m
Römorklu kamyonlarda	18,75 m
İki römorklu katarlarda	22,00 m

Orman ürünleri nakliyatı sürecinde kullanılan bazı araç tipleri ve bunlara ilişkin azami ağırlıklar ve azami uzunluklar aşağıda sıralanmıştır:

1) İki akslı kamyon

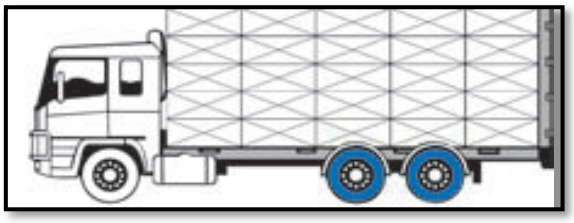
İki akslı kamyonun azami yüklü ağırlığı 18 ton olup, azami uzunluğu ise 12 m'dir. Şekil 2.7'de iki akslı kamyonun genel görünümü gösterilmiştir.



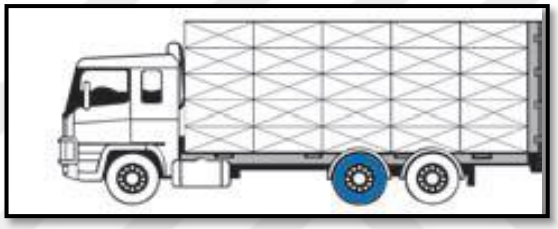
Şekil 2.7: İki akslı 4x2 tipinde kamyon (URL-2).

2) Üç akslı kamyon

Üç akslı kamyonun azami yüklü ağırlığı 25 ton olup, azami uzunluğu ise 12 m'dir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da sırasıyla 6x4 tipinde ve 6x2 tipinde iki farklı üç akslı kamyonun genel görünümleri gösterilmiştir.



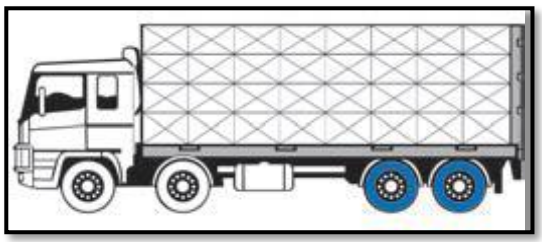
Şekil 2.8: Üç akslı 6x4 tipinde kamyon (URL-2).



Şekil 2.9: Üç akslı 6x2 tipinde kamyon (URL-2).

3) Dört akslı kamyon

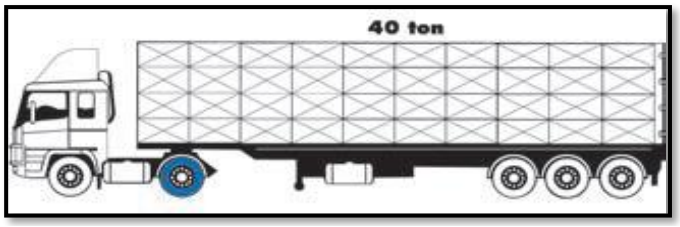
Dört akslı kamyonun azami yüklü ağırlığı 32 ton olup, azami uzunluğu ise 12 m'dir. Şekil 2.10'da 8x2 tipindeki 4 akslı kamyonun genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Dört akslı 8x2 tipinde kamyon (URL-2).

4) Beş veya altı akslı yarı römorklu araç

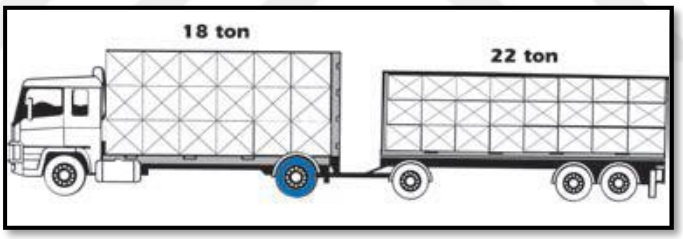
Beş veya altı akslı yarı römorklu araçlarda azami yüklü katar ağırlığı 40 ton olup, azami uzunluk ise 16,50 m'dir. Şekil 2.11'de beş akslı yarı römorklu bir aracın genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Beş akslı yarı römorklu araç (URL-2).

5) Beş veya altı akslı bir veya iki römorklu katar

Beş veya altı akslı, bir veya iki römorklu kataın azami yüklü katar ağırlığı 40 ton olup, azami uzunluğu ise 18,75 m'dir. Şekil 2.12'de beş akslı, bir römorklu kataın genel görünümü gösterilmiştir.

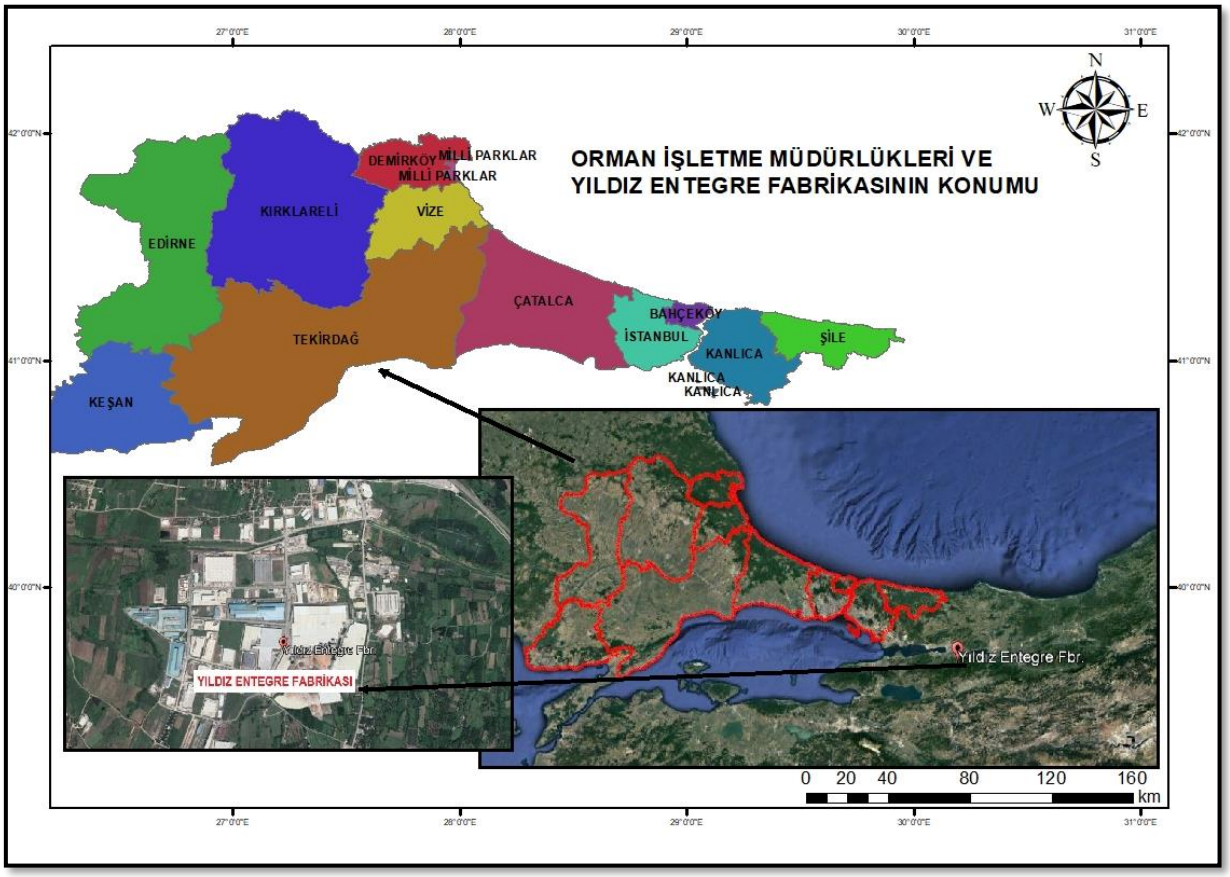


Şekil 2.12: Beş akslı, bir römorklu katar (URL-2).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ARAŞTIRMA ALANININ TANITIMI

Araştırma alanı, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı, orman işletme müdürlükleri sınırları içerisindeki orman alanları ile İzmit-Kartepe'de bulunan Yıldız Entegre AŞ'ye ait orman ürünleri üretim tesisini kapsamaktadır. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlükleri ve Yıldız Entegre AŞ'ye ait İzmit-Kartepe üretim tesisinin coğrafi konumları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlükleri ve Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe üretim tesisinin coğrafi konumu.

3.1.1. Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe Üretim Tesisinin Genel Tanıtımı

Yıldız Entegre AŞ, Türkiye'nin en büyük 50 sanayi şirketinden birisi olup, Dünya'da orman ürünleri sektöründe ilk 10 şirket arasında yer almaktadır. Toplamda yedi üretim tesisi ile 1.725.000 m² kurulu alanda toplam 12.000 m^3/gün levha üretim kapasitesine sahiptir. Yıldız Entegre AŞ Türkiye, farklı tipte orman ürünleri üretmektir. Bu ürünler MDF, MDF lam, sunta, suntalam, laminat parke, boyalı levha (mdf, sunta), kapak panel, lak panel, mdf kapı, kapı paneli, emprenyeli dekor kâğıdı ile tutkaldan oluşmaktadır (URL-3).



Şekil 3.2: Yıldız Entegre AŞ İzmit-Kartepe üretim tesisinin genel görünümü (URL-3; URL-4).

Kocaeli MDF fabrikası ise; dünyanın tek çatı altında kurulan en büyük MDF kompleksine sahip bir fabrikadır (Şekil 3.2). Fabrika 384.120 m² arazi üzerinde olup, 4.200 m³ günlük üretim kapasitesi ile mdf, mdflam, laminat parke boyalı levha (mdf), kapak panel, lak panel, mdf kapı, kapı paneli ve emprenyeli kağıt üretimi gerçekleştirilmektedir (URL-3).

3.1.2. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün Genel Tanıtımı

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü; İstanbul, Adapazarı, İzmit, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerini kapsayacak şekilde 07.02.1951 tarihinde kurulmuştur. 1963 yılından sonra 7 Orman Bölge Şefliğine sahip Keşan Orman İşletme Müdürlüğü ayrılmış olup İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün söz konusu tarih de ormanlık sahası 707.502 hektardır. Bu sahanın %2,1'i ibreli ağaç türü ve %97,7 oranıyla büyük bir kısmı da yapraklı ağaç türleri ile kaplıdır. Yapraklı ağaç türleri içerisinde meşe türleri %83 oranı ile başta gelmektedir. Bunu sırasıyla kayın, gürgen ve kestane meşcereleri takip etmektedir. İbreli ağaç türlerinin ise %100'üne yakın bir kısmını saf ve karışık kızılçam meşcereleri oluşturmaktadır (URL-5).

Yıllar itibariyle sınırlarında birtakım değişiklikler olmuş, günümüzdeki mevcut sınırları ise İstanbul, Kırklareli, Tekirdağ ilerinin tamamı ile Edirne İlinin Edirne Merkez, Lalapaşa, Süleoğlu, Havsa, Uzunköprü ve Meriç İlçelerini kapsamaktadır. Kuzeyde Karadeniz ve Bulgaristan, güneyde Marmara Denizi, doğusunda Sakarya Orman Bölge Müdürlüğü, batısında Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü, Yunanistan ve Bulgaristan ile çevrilidir (URL-5).

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında 10 adet orman işletme müdürlüğü yer almaktadır. Bu orman işletme müdürlükleri Bahçeköy, Çatalca, Kanlıca, İstanbul, Demirköy, Şile, Kırklareli, Vize, Edirne ve Tekirdağ şeklindedir (URL-5) (Şekil 3.1). İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki orman alan miktarları, bağlı olduğu orman işletme müdürlüklerine göre Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1'de görüldüğü üzere toplam orman alanları değerlendirildiğinde en yüksek orman alanına sahip orman işletme müdürlüğünün Vize Orman İşetme Müdürlüğü olduğu, en az toplam orman alanına sahip orman işletme müdürlüğünün ise, Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğü olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlüklerinin orman alanları (URL-6).

Orman İşletme Müdürlüğü	Normal Orman (ha)	Bozuk Orman (ha)	Toplam Orman (ha)	Ormansız Alan (ha)	Genel Alan (ha)
Bahçeköy	10.764	10.764	10.764	10.764	10.764
Çatalca	104.929	2.476	107.404	148.194	255.598
Kanlıca	19.757	2.163	21.919	60.017	81.937
İstanbul	38.851	1.187	40.039	61.734	101.773
Demirköy	51.867	7.961	59.828	18.554	78.382
Şile	68.115	36.139	104.253	524.250	628.503
Kırklareli	73.908	1.667	75.576	8.837	84.412
Vize	76.969	33.470	110.439	344.564	455.003
Edirne	66.212	5.496	71.708	32.628	104.335
Tekirdağ	25.245	16.320	41.565	341.279	382.844

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne ait ağaç sınıflarına göre odun hammaddesi üretim miktarlarına ilişkin bilgiler ise, 2019 yılı için Tablo 3.2'de verilmiştir. İbreliler ve yapraklılar üretim miktarları açısından değerlendirildiğinde, yapraklıların ibrelilerden daha fazla üretime sahip olduğu görülmektedir. Genel toplam üretim miktarı değerine bakıldığında ise, üretimin yaklaşık olarak 1,3 milyon m^3 olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün 2019 yılı odun hammaddesi üretim miktarları (dikili kabuklu gövde hacmi) (m^3) (URL-7).

İbreliler	Odun üretimi (m^3)	Yapraklılar	Odun üretimi (m^3)
Sedir	0	Meşe	578.931
Ardıç	0	Gürgen	12.600
Kızılçam	30.572	Kayın	318.674
Sarıçam	109	Kavak	10.296
Karaçam	81.181	Kızılağaç	1.453
Ladin	0	Diğer yapraklılar	81.926
Göknar	0	**Toplam (yapraklı)**	1.003.880
Diğer ibreliler	161.975		
Toplam (ibreli)	273.837		
Genel toplam (m^3) (ibreli+yapraklı)			1.277.717

Ayrıca ilgili orman bölge müdürlüğüne ilişkin genel odun hammaddesi üretim miktarları ise, 2019 yılı için Tablo 3.3'te verilmiştir. Odun hammaddesi üretim miktarları değerlendirildiğinde, Tablo 3.3'te görüldüğü üzere 2019 yılında endüstriyel odun üretiminin 1.134.130 m^3 olduğu, yakacak odun üretiminin ise 433.297 ster olduğu görülmektedir.

Tablo 3.3: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünün 2019 yılı genel üretim miktarları (URL-7).

Bölge Müdürlüğü	Endüstriyel Odun Üretimi (m^3)	Yakacak Odun Üretimi (ster)
İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü	1.134.130	433.297

3.2. ZAMAN ETÜDLERİ

Çalışmada orman ürünleri nakliyatında farklı koşullara bağlı olarak oluşan nakliyat araçlarının yakıt tüketimi ve varış sürelerine ilişkin değerleri tahmin etmek için öncelikli olarak zaman etütleri yapılmıştır. İlgili zaman etütlerindeki nakliyatlarda yol güzergâhları, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlüklerinin (Demirköy, Bahçeköy, Çatalca, İstanbul, Kanlıca, Şile, Tekirdağ, Kırklareli, Vize, Edirne ve Keşan) ilgili orman alanlarından Yıldız Entegre AŞ'nin İzmit-Kartepe'de bulunan orman ürünleri tesisine doğrudur. İlgili yol güzergâhlarının ortalama olarak %3'lük bölümün orman yolu (ham yol), diğer kalan bölümleri ise asfalt+stabilize yol şeklindedir.

Sosa ve diğ. (2015b), klasik zaman etüdü çalışmalarının fazla zaman tükettiğini ve pahalı olduğunu belirtirken, filo yönetim sistemlerinin nakliyat aktivitelerinin otomatik olarak uzun dönem boyunca kaydetmek için olanak sağladığını ve sürücüye kayıt için minimal düzeyde ihtiyaç olduğunu ifade etmiştir. İlgili literatür incelendiğinde, CBS tabanlı araç takip sistemlerinin orman ürünleri nakliyatında farklı çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir (Sikanen ve diğ., 2005; Devlin ve diğ., 2008; Holzleitner ve diğ., 2011; Sosa ve diğ., 2015b). Bu nedenle bu çalışmada orman ürünü nakliyatına ilişkin zaman etüdleri araç takip sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

İlgili zaman etütleri 2019 yılına ait Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarını kapsamaktadır. Bu zaman etütlerinde toplanan temel veriler ise, taşıma mesafesi (km), varış süresi (dk), maksimum hız (km/saat), ve toplam yakıt tüketimi (lt) verilerinden oluşmaktadır. Belirtilen bu veriler, merkezi Demirköy/KIRKLARELİ'de bulunan Şenay Nakliyat adlı nakliyat firmasının sahip olduğu farklı tiplerdeki nakliyat araçlarında bulunan, Global

Positioning System (GPS) tabanlı araç takip sistemi (Seyir Araç Takip Sistemi markalı) tarafından kayıt altına alınan verilerden elde edilmiştir. İlgili verilere araç takip sisteminin ait olduğu internet sitesinden ulaşılmıştır (URL-8) Öte yandan ilgili nakliyat araçları orman ürünleri tesisine ulaştıklarında burada bulunan araç kantarı tarafından tartılmakta olup, nakliyat araçlarının dara ağırlıkları (kg) ve yükle birlikte toplam ağırlıkları (kg) ölçülmektedir. Bu bilgilere ek olarak nakliyat aracının taşımış olduğu orman ürünü bilgisi (ağaç türü, ürün tipi vb.) ve orman ürününün geldiği yer bilgisi (orman işletme müdürlüğü adı) de kayıt altına alınmaktadır. Söz konusu kantar ve orman ürünü bilgileri Yıldız Entegre AŞ'ye ait İzmit-Kartepe tesisinden elde edilmiştir. Söz konusu araç kantar bilgilerinin bir örneği Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Yıldız Entegre AŞ İzmit- Kartepe üretim tesisine ait örnek araç kantarı verisi.

TARTIM GİRİŞ TARİHİ	**TARTIM GİRİŞ SAATİ**	**TARTIM ÇIKIŞ TARİHİ**	**TARTIM ÇIKIŞ SAATİ**	**MALZEME**		
14.05.2019	23.29:00	15.05.2019	00.45:05	TAHSİS ODUNU-MEŞE		
NET MİKTAR	**1. TARTIM**	**2.TARTIM**	**TARTIM TÜRÜ**	**PLAKA**	**ÖLÇÜ BİRİMİ**	**NET MİKTAR**
29.300	44.700	15.400	MG	-	KG	29.300
FİRMA	**GELDİĞİ YER**	**İRSALİYE NO**	**DORSE PLAKA**	**OLCUM ID**	**SÖFÖR ADI**	
ŞENAY NAKLİYAT-Y. ENTEGRE	BAHÇEKÖY	098610	-	28025	-	
İÇERİDE KAL.DAKİKA	**ATB NO**	**SÜREÇ**	**ODHACIM**	**ODSTER**	**İÇERİDE KAL.DAKİKA**	
1:16	-	1	0,000	54	1:16	

Araç kantarından sağlanan yukarıda verilen veriler ve GPS tabanlı araç takip sisteminden sağlanan veriler araçlara göre gruplandırılarak MS Excel tablosu haline getirilmiştir. Zaman etüdlerinden elde edilen toplam farklı veri sayısı 276 adet olup, beş farklı nakliyat aracı kullanılmıştır. Elde edilen tüm nakliyat verilerine ilişkin değerler araç numaralarına göre ekler kısmında verilmiştir.

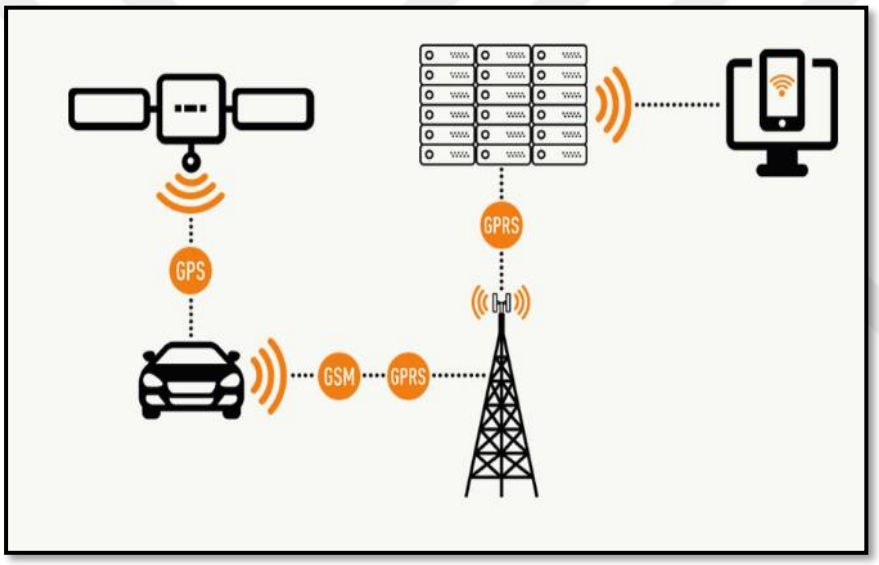
3.3. ARAÇ TAKİP SİSTEMİ

Araç takip sistemi GPS, GSM (Global System for Mobile Communications) / GPRS (General Packet Radio Service), sayısal haritalar ve özel yazılımlardan oluşan bir sistemdir (Şekil 3.3).

Söz konusu bu sistemin genel çalışma mantığına ilişkin adımlar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir (URL-9).

1) Araçlara takılan mobil veri cihazları (M2M), GPS uydularından aldıkları bilgileri (uydu sinyalinin gönderildiği gerçek zaman ve uydunun sinyal gönderildiği anda yörüngedeki konumu) GSM/GPRS şebekesi üzerinden kontrol ve iletişim merkezine aktarmaktadır. Konum ve zaman bilgileri dışında da bağlı sensörlerle sıcaklık/soğukluk gibi telemetri bilgileri de sistem üzerinden okunabilmektedir.

2) Gelen bilgiler mobil sistem sunucularına kaydedilmekte ve kullanıcılar sistem üzerinden her türlü veriye ulaşabilmektedir.



Şekil 3.3: Araç takip sisteminin çalışma mantığı (URL-9).

Çalışmada kullanılan araç takip sisteminin genel görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir. Araç takip sistemine ait teknik özellikler ise Tablo 3.5'te verilmiştir.

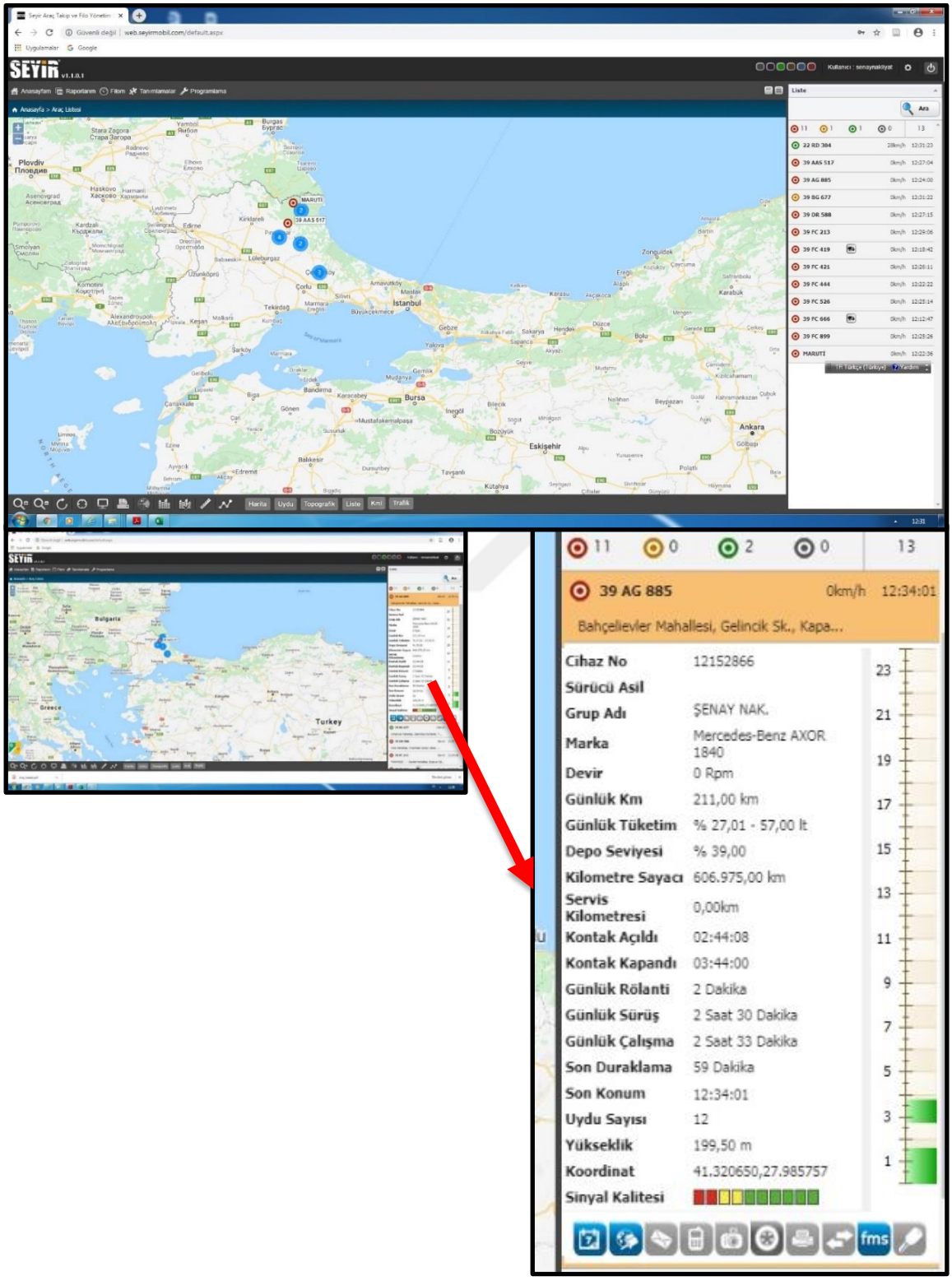


Şekil 3.4: Araç takip sisteminin genel görünümü (URL-10).

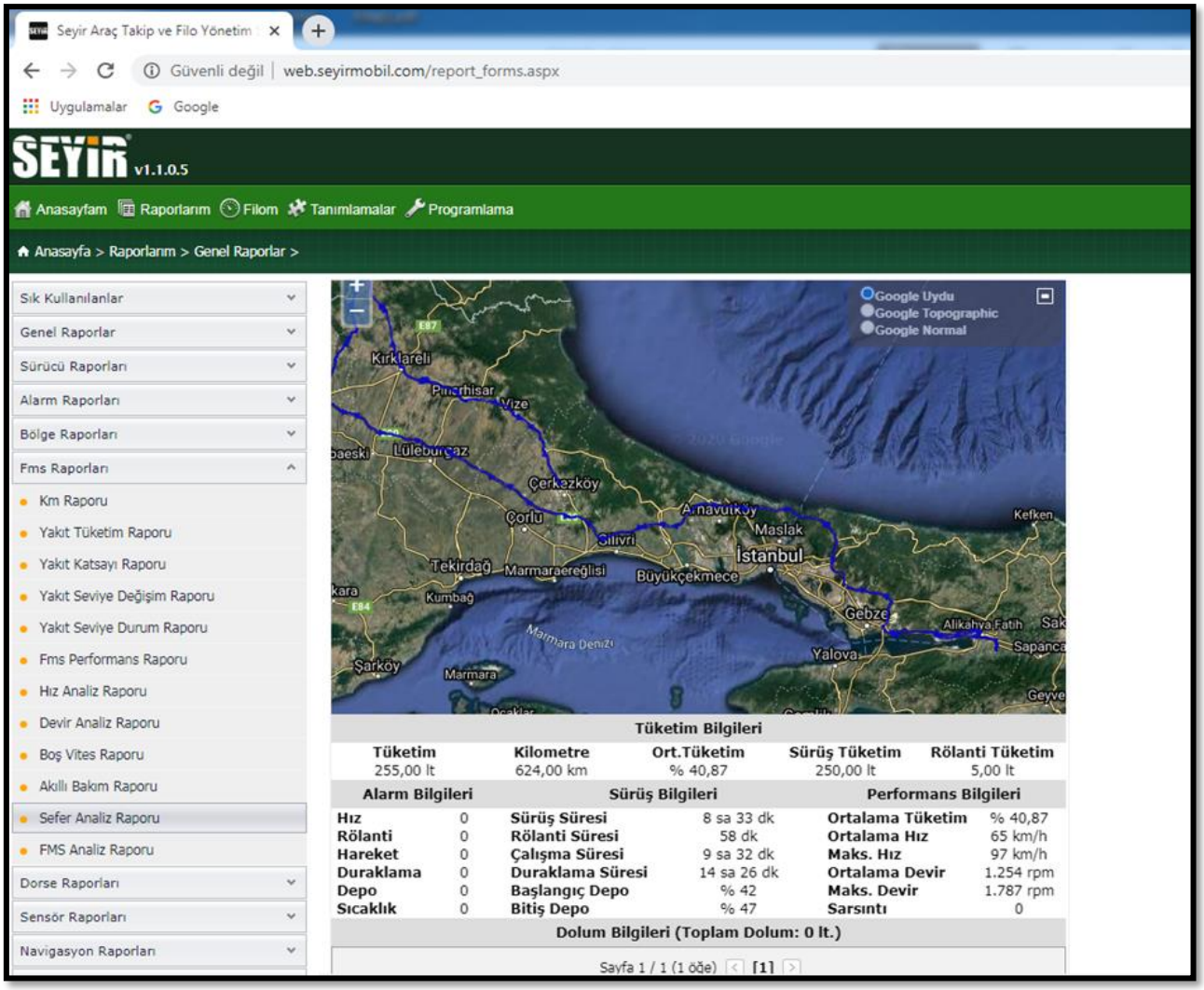
Tablo 3.5: Araç takip sisteminin teknik özellikleri (URL-10).

Model	SYR FM10 (Filo Yönetim Sistemi)	**Ledler**	Kontak, GSM, GPS, Wifi / Bluetooth
Boyutlar	102 x 83 x 23 mm	**Besleme**	9- 36 VDC / max.36 VDC 70 mA (ortalama), 250 mA (tepe noktası) Aşırı Akım Koruma, Aşırı Voltaj Koruma Sıcaklık Koruma
Ağırlık	102 gr	**Batarya**	Li-Ion 380 mA/h
Gsm modem	U-Blox GSM 900 / 1800 MHz Class 4 (2W) @ 900 MHz Class 1 (1W) @ 1800 MHz -109 dBm @ 900 MHz -109 dBm @ 1800 MHz GPRS class 10 Mobil station class B Coding scheme 1 to 4 PBCCH	**Sensörler**	Bosch 3 Eksen İvme ve 3 Eksen Jiroskop Hareket Sensörü Simkart Müdahale Sensörü Kapak Müdahale Sensörü Dahili Cihaz Sıcaklık Sensörü Akü Voltajı Tespiti,
Gsm anten	Dahili	**Hafıza**	256 MB (Max.16 GB)
Gps modem	U-Blox 72 Kanal -167 dBm Doğruluk: Pozisyon 2,5 m, SBAS 2,0 m GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L10F BeiDou B1I, GALILEO E1B/C	**Wifi/bluetooth**	Opsiyonel
Gps anten	Dahili	**Yazılım güncelleme**	Var (FOTA, USB, Wifi / Bluetooth)
Giriş/Çıkış Portları	1 x Kontak Girişi 3 x Dijital Giriş (2xNegatif, 1xPozitif) 1 x Dijital Çıkış (1xNegatif) 1 x Motor Blokaj (1xNegatif) 1 x Uart 1 x RS232 Destek 1 x Sürücü Tanıma Birimi 2 x CAN 1 x I2C 1 x Tachograph 1 x Sıcaklık Sensör Portu (Max. 4 sensör) 1 x USB	**Desteklenen Canbus standartları**	SAEJ1939 FMS Mercedes Canbus

İlgili araç takip sisteminin internet tabanlı genel görünümü ve raporlama bölümü görünümleri sırasıyla Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5: Araç takip sisteminin internet tabanlı genel görünümü.



Şekil 3.6: Araç takip sisteminin raporlarına ilişkin genel görünüm.

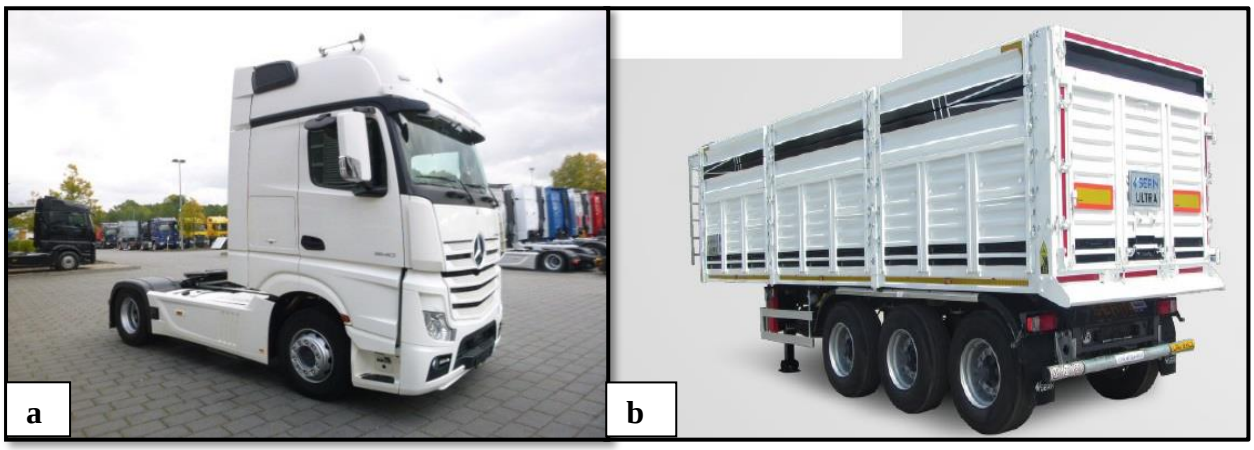
3.4. ZAMAN ETÜTLERİNDE KULLANILAN ARAÇ TİPLERİNİN BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Çalışmada orman ürünleri nakliyatına ilişkin zaman etüdlerinde beş akslı yarı römorklu araç tipinde beş ayrı araç kullanılmıştır. Bu araçlara ilişkin marka-model ve teknik özellikler ise sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1 no'lu aracın teknik özellikleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Tablo 3.6 incelendiğinde çekici ve römorkun boş ağırlıklarının sırasıyla 7.500 kg ve 6.560 kg şeklinde olduğu, çekici maksimum yüklü katar ağırlığının ise, 40.000 kg ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. 1 no'lu araca ilişkin genel görünümler Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.6: 1 no'lu araca ilişkin teknik özellikler.

Araç no	1
Çekici marka ve modeli	Mercedes Axor 1840 LS E5 (4x2) (2015)
Çekici boş ağırlık	7.500 kg
Çekici maksimum yüklü ağırlık	18.000 kg
Çekici maksimum yüklü katar ağırlığı (yasal)	40.000 kg
Çekici azami güç	295 kw (401 ps)
Römork marka ve modeli	SERİN ULTRA
Römork boş ağırlık	6.560 kg
Römork iç net uzunluk	8,20 m
Römork dış net uzunluk	9,40 m
Römork iç net genişlik	2,44 m
Römork dış net genişlik	2,55 m

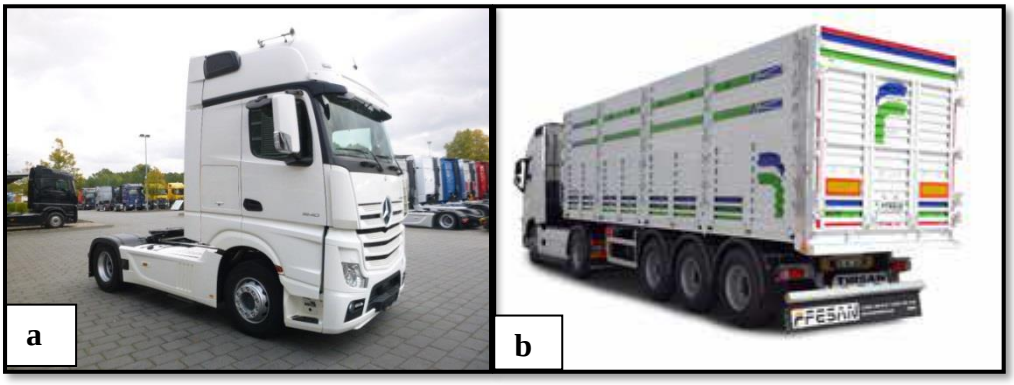


Şekil 3.7: 1 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-12).

2 no'lu aracın teknik özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir. Tablo 3.7 incelendiğinde, çekici ve römorkun boş ağırlıklarının sırasıyla 7.500 kg ve 6.750 kg şeklinde olduğu ve çekici maksimum yüklü katar ağırlığının ise, 40.000 kg ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. 2 no'lu araca ilişkin genel görünümler Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.7: 2 no'lu araca ilişkin teknik özellikler.

Araç no	2
Çekici marka ve modeli	Mercedes Axor 1840 LS E5 (4x2) (2013)
Çekici boş ağırlık	7.500 kg
Çekici maksimum yüklü ağırlık	18.000 kg
Çekici maksimum yüklü katar ağırlığı (yasal)	40.000 kg
Çekici azami güç	295 kw (401 ps)
Römork marka ve modeli	Fesan 8600 DD 4M3
Römork boş ağırlık	6.750 kg
Römork iç net uzunluk	8,60 m
Römork iç net genişlik	2,43 m
Römork dış net genişlik	2,55 m
Römork kapak yüksekliği	1,00 m

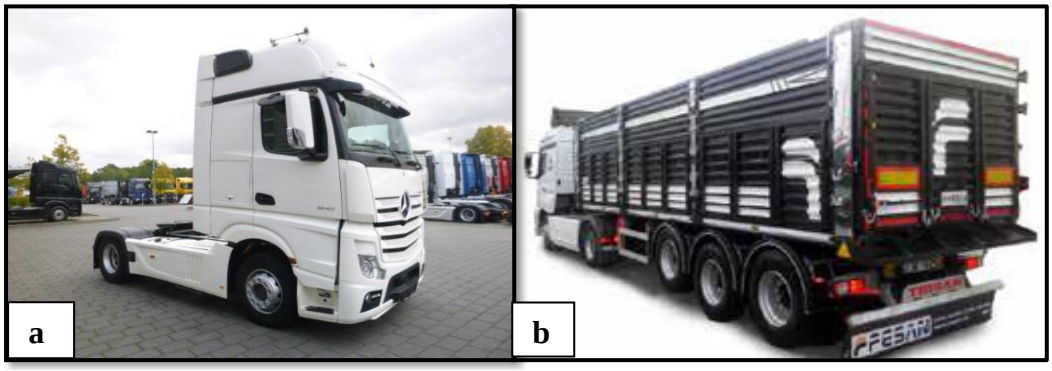


Şekil 3.8: 2 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-13).

3 no'lu aracın teknik özellikleri ise Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde, çekici ve römorkun boş ağırlıklarının sırasıyla 7.500 kg ve 7.000 kg şeklinde olduğu ve çekici maksimum yüklü katar ağırlığının ise, 40.000 kg ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. 2 no'lu araca ilişkin genel görünümler Şekil 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.8: 3 no'lu araca ilişkin teknik özellikler.

Araç no	3
Çekici marka ve modeli	Mercedes Axor 1840 LS E5 (4x2) (2013)
Çekici boş ağırlık	7.500 kg
Çekici maksimum yüklü ağırlık	18.000 kg
Çekici maksimum yüklü katar ağırlığı	40.000 kg
Çekici azami güç	295 kw (401 ps)
Römork marka ve modeli	Fesan 8350 VD3
Römork boş ağırlık	7.000 kg
Römork iç net uzunluk	8,60 m
Römork iç net genişlik	2,43 m
Römork dış net genişlik	2,55 m
Römork kapak yüksekliği	0,95 m

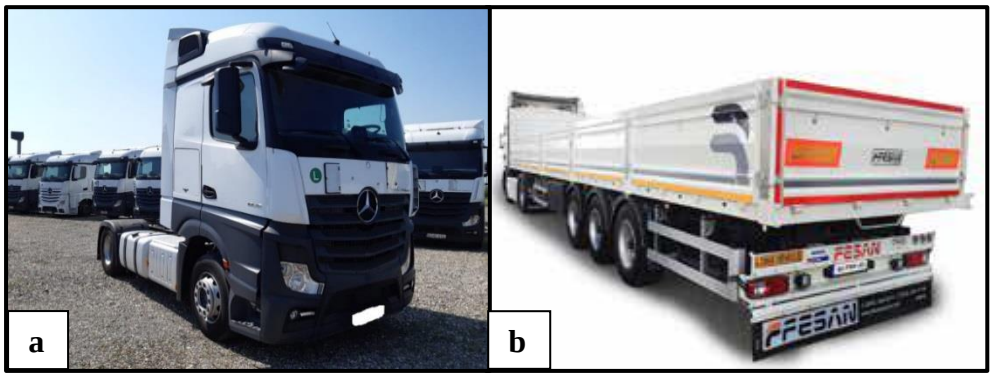


Şekil 3.9: 3 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-11) ve römorku (b) (URL-13)

4 no'lu aracın teknik özellikleri Tablo 3.9'da verilmiştir. Tablo 3.9 incelendiğinde, çekici ve römorkun boş ağırlıklarının sırasıyla 8.100 kg ve 6.500 kg şeklinde olduğu ve çekici maksimum yüklü katar ağırlığının ise, 40.000 kg ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. 4 no'lu araca ilişkin genel görünümler Şekil 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.9: 4 no'lu araca ilişkin teknik özellikler.

Araç no	4
Çekici marka ve modeli	Mercedes Actros 1845 LS E6 (4x2) (2018)
Çekici boş ağırlık	8.100 kg (%90 dolu yakıt deposu- 75 kg ağırlıklı şoför dahil)
Çekici maksimum yüklü ağırlık	18.000 kg
Çekici maksimum yüklü katar ağırlığı (yasal)	40.000 kg
Çekici azami güç	330 kw (449 ps)
Römork marka ve modeli	Fesan S700 MC
Römork boş ağırlık	6.500 kg
Römork iç net uzunluk	13,60 m
Römork iç net genişlik	2,44 m
Römork dış net genişlik	2,55 m
Römork kapak yüksekliği	0,90 m

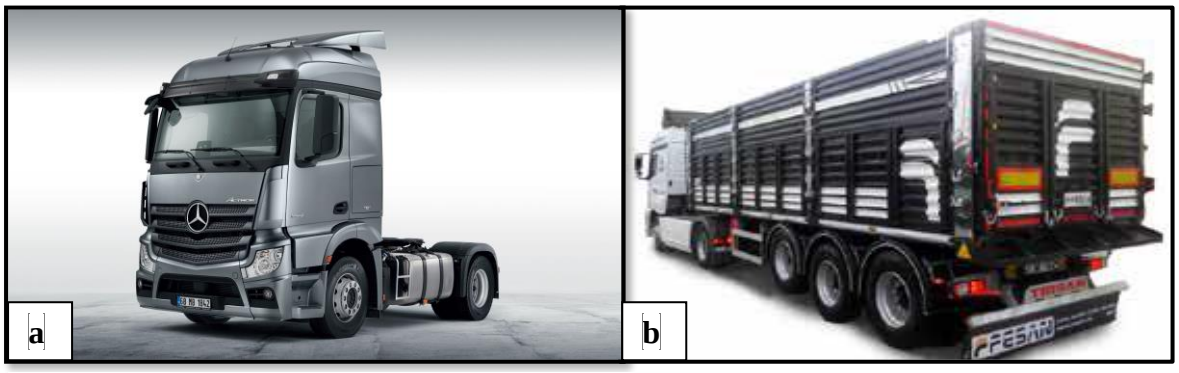


Şekil 3.10: 4 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-14) ve römorku (b) (URL-13)

Son olarak zaman etüdlerinde kullanılan 5 no'lu araca ilişkin teknik özellikler ise Tablo 3.10'da verilmiştir. Tablo 3.10 incelendiğinde çekici ve römorkun boş ağırlıklarının sırasıyla 7.630 kg ve 7.000 kg şeklinde olduğu, çekici maksimum yüklü katar ağırlığının ise, 40.000 kg ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. 5 no'lu araca ilişkin genel görünümler Şekil 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.10: 5 no'lu araca ilişkin teknik özellikler.

Araç no	5
Çekici marka ve modeli	Mercedes Actros 1842 LS E6 (4x2) (2018)
Çekici boş ağırlık	7.630 kg (%90 dolu yakıt deposu- 75 kg ağırlıklı şoför dahil)
Çekici maksimum yüklü ağırlık	18.000 kg
Çekici maksimum yüklü katar ağırlığı (yasal)	40.000 kg
Çekici azami güç	310 kw (421 ps)
Römork marka ve modeli	Fesan 8.350 VD3
Römork boş ağırlık	7.000 kg
Römork iç net uzunluk	8,60 m
Römork iç net genişlik	2,43 m
Römork dış net genişlik	2,55 m
Römork kapak yüksekliği	0,95 m

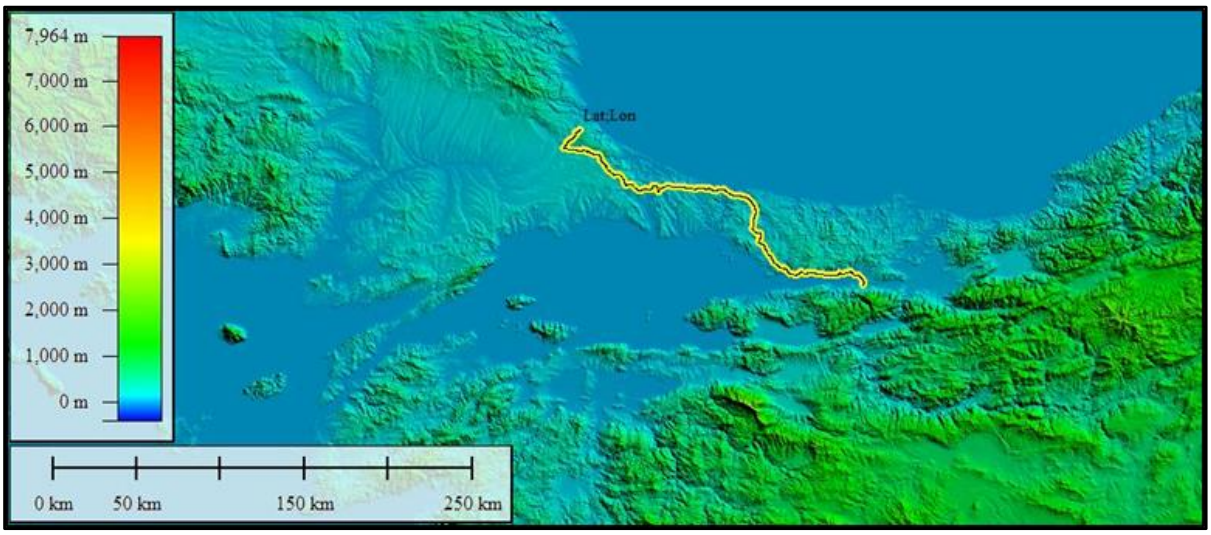


Şekil 3.11: 5 no'lu nakliyat aracının çekicisi (a) (URL-15) ve römorku (b) (URL-13).

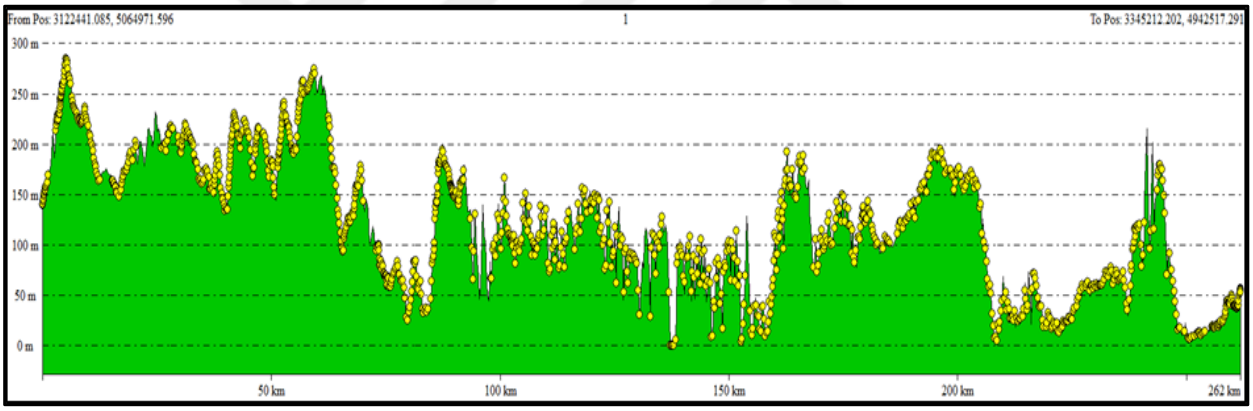
3.5.YOL GÜZERGÂHLARINA İLİŞKİN BOYUNA EĞİMLERİN HESAPLANMASI

Araç takip sisteminden sağlanan veriler toplandıktan sonra, orman ürünleri nakliyatının gerçekleştirildiği yol güzergâhlarının boyuna eğim değerleri hesaplanmıştır. Yol boyuna eğim hesaplamaları; ortalama çıkış eğimi (%) ve ortalama iniş eğimi (%) şeklinde yapılmıştır. İlgili yol eğimlerinin hesaplanmasında Global Mapper 20 yazılımından yararlanılmıştır. Yol güzergâhlarına ilişkin koordinat değerleri, orman ürünleri nakliyatını gerçekleştirilen araçlar içerisinde yer alan GPS tabanlı araç takip sisteminden Microsoft Office Excel tabanlı olarak elde edilmiştir. Ancak yol güzergâhı boyunca alınan ilgili koordinat değerlerinin coğrafi koordinat sistemine sahip [enlem ve boylam şeklinde (latitude and longitude)] olduğu, yükseklik değerlerinin bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle ilgili koordinat değerleri Global Mapper 20 yazılımında bulunan 30 m çözünürlüğe sahip SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) tabanlı sayısal yükseklik modeli (SYM) verisiyle çakıştırılarak ilgili noktaların eğim analizinde kullanmak üzere yükseklik değerleri (kot bilgileri) elde edilmiştir. Daha sonra araç takip sisteminde bulunan GPS tarafından yol güzergâhı boyunca alınmış ilgili noktalar "*crite new line feature selected points*" komutuyla birleştirilip yol güzergâhı elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise "*path profile*" komutu yardımıyla eğim analizleri yapılmıştır. Toplamda farklı operasyonel koşullarda (taşıma mesafesi, nakliyatı gerçekleştirilen aracın ağırlığı, orman ürünü ağırlığı vb. koşullar) nakliyatı gerçekleştirilmiş 276 adet yol güzergâhının boyuna eğimleri hesaplanmıştır.

Elde edilen boyuna eğim değerleri Microsoft Office Excel tabanlı olarak kaydedilmiştir. Daha sonra ise eğimler Microsoft Office Excel programında çıkış eğimi ve iniş eğimi olarak gruplandırılmış ve ortalama değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.12'de örnek olarak yol boyunca GPS tarafından alınmış noktaların birleştirilmesiyle oluşturulmuş yol güzergâhı (Tekirdağ-İzmit yol güzergâhı) yer almaktadır. Şekil 3.13'te ise Tekirdağ-İzmit güzergâhı boyunca yolun çıkış ve iniş eğimleri grafik şeklinde gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu örnek olarak verilen yolun ortalama çıkış ve ortalama iniş eğimleri sırasıyla %5,24 ve %5,04 olarak elde edilmiştir. Tüm yol güzergâhlarına ilişkin boyuna eğim değerleri ekler kısmında verilmiştir.



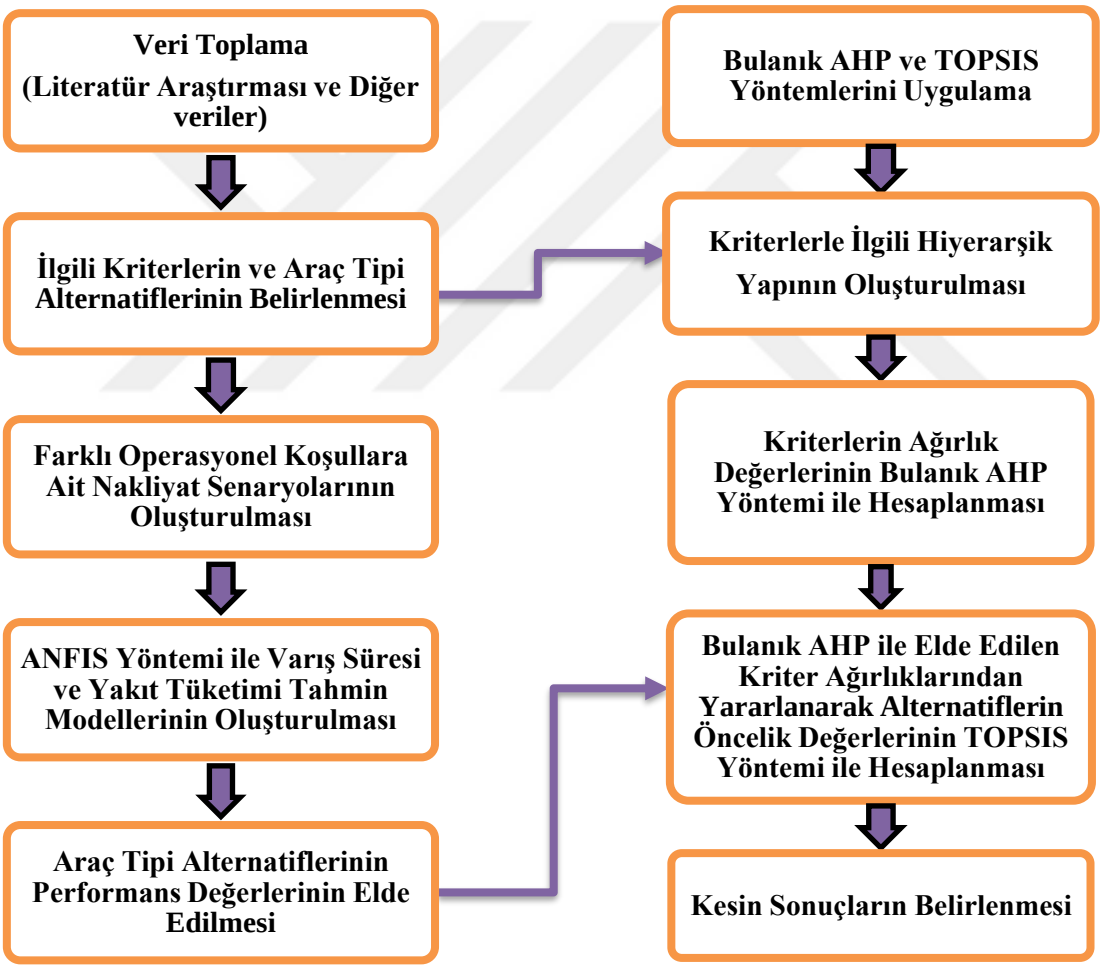
Şekil 3.12: Araç takip sistemi tarafından alınmış koordinatlar içeren noktaların birleştirilmesiyle oluşturulmuş yol güzergâhı.



Şekil 3.13: Tekirdağ-İzmit yol güzergâhı boyunca çıkış ve iniş eğimleri.

3.6. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Çalışmada bulanık tabanlı hibrid çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. Bulanık AHP yöntemi ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi beraber kullanılarak bulanık tabanlı hibrid bir karar verme yöntemi elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulacak farklı nakliyat senaryolarına göre, alternatif nakliyat araçlarının yakıt tüketimi ve varış süresi değerlerini tahmin etmek için ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Çalışmaya ilişkin iş akış şeması Şekil 3.14'te verilmiştir.



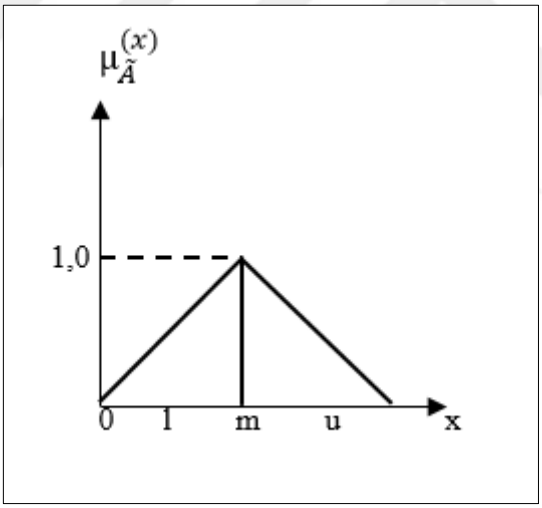
Şekil 3.14: Çalışmaya ilişkin iş akış şeması.

3.6.1. Bulanık Küme ve Üçgensel Bulanık Sayılar

Zadeh (1965)'e göre bulanık küme yaklaşımında her nesne 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanmaktadır. $\mu_{\tilde{A}}^{(x)}$, R→ [0,1] olmak üzere $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki x elemanlarının üyelik fonksiyonudur (Van Laarhoven ve Pedrycz, 1983). Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu Denklem 3.1'de belirtilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}^{(x)} = \begin{cases} l \le x \le m & ise \quad \frac{(x-l)}{(m-l)} \\ m \le x \le u & ise \quad \frac{(u-x)}{(u-m)} \\ x > u \; veya \; x < 1 & ise \quad 0 \end{cases} \tag{3.1}$$

m üçgensel bulanık sayının $\mu_A^{(m)} = 1$ olduğu değer, *u* ve *l* ise bulanık sayının üst ve alt destek değerleridir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Üçgensel bulanık sayılar.

İki üçgensel bulanık sayı aşağıdaki gibi M_1 ve M_2 sayı olmak üzere bulanık sayılar için temel aritmetik işlemler Denklem 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ $\quad M_2 = (l_2, m_2, u_2)$

İki bulanık sayının toplanması

$$\widetilde{A_1} \oplus \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) \tag{3.2}$$

$$= (l_1+l_2, m_1+m_2, u_1+u_2)$$

İki bulanık sayının çarpılması

$\widetilde{A_1} \otimes \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2)$ (3.3)

$= (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$

$l_i > 0 \quad m_i > 0 \quad u_i > 0$

İki bulanık sayının çıkarılması

$\widetilde{A_1} \ominus \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2)$ (3.4)

$= (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2)$

İki bulanık sayısının bölünmesi

$\widetilde{A_1} \oslash \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \oslash (l_2, m_2, u_2)$ (3.5)

$= (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2)$

Bulanık sayının tersinin alınması

$\tilde{A}_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$ (3.6)

$li > 0, mi > 0, ui > 0$

3.6.2. Bulanık AHP Yöntemi

AHP çift karşılaştırmalar yoluyla işlem yapan bir ölçüm teorisidir. Karşılaştırmalar yapılırken nitelik bakımından bir öğenin ölçümünü temsil eden mutlak yargı ölçeği kullanılır. Saaty (1994)'e göre AHP yönteminin genel uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır:

1) Karar probleminin tanımlanması,

2) Belirlenen karar kriterlerinin sıralanması ve hiyerarşik yapının oluşturulması,

3) İlgili kriterler dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması,

4) Matris öncelik vektörünün hesaplanması,

5) İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıklarının hesaplanması,

6) Ağırlıkların belirlenerek sonuca ulaşılması.

Birçok gerçek durumda, insan değerlendirmelerinin dilsel yargıları genellikle belirsizdir ve kesin değerlerle temsil etmek gerçekçi değildir (Ishizaka ve Labib, 2011). Bu gibi problemleri çözmek için belirsizliğin arttığı AHP ile bulanık teoriyi birleştirmek önerilmiştir (Vinodh ve diğ., 2014). Klasik çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir diğeri olan TOPSIS yöntemin de bulanık mantık ile birleştirilerek bulanık TOPSIS yönteminin geliştirildiği görülmektedir (Chen, 2000).

AHP yöntemi uzman görüşlerini dikkate alsa da insani düşünme tarzını temsil edememektedir (Kahraman ve diğ., 2003). Bu olumsuz durum dikkate alınarak Zadeh (1965) bulanık küme teorisini sayısal bilgilerin olmadığı kesinlik içermeyen problemleri çözmek ve insan davranışlarını belirtmek amacıyla dilsel ifadelerin kullanıldığı matematiksel bir teori olarak ifade etmektedir.

Bulanık AHP yönteminin AHP yönteminden farkı kıyaslama oranlarının bir değer aralığında verilmiş olmasıdır (Bender ve Simonovic, 2000). Ayrıca Zhu ve diğ. (1999) bulanık AHP yönteminin çoğunlukla kesin ve net değerler yerine ara değerleri kullanarak problemi daha doğru değerlendirilmesine olanak sağladığını belirtmiştir. İlgili literatür incelendiğinde farklı bulanık AHP yöntemlerinin bulunduğu görülmektedir (Van Laarhoven ve Pedrcyz, 1983; Buckley, 1985; Chang, 1996). Van Laarhoven ve Pedrcyz (1983) üçgen bulanık sayıları kullanarak bulanık oranları kıyaslamıştır. Buckley (1985) karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini trapezodial üyelik fonksiyonu ile belirlemiştir. Diğer bir yöntemde Chang (1996) ikili karşılaştırmalar için üçgensel bulanık sayıları ve ikili karşılaştırmaların mertebe değerlerinin belirlenmesinde genişletilmiş mertebe analiz yöntemini kullanarak farklı bir yaklaşım sağlamıştır. Bu çalışmada Chang (1996) genişletilmiş mertebe analiz yöntemi kullanılmıştır.

Chang (1996) genişletilmiş mertebe analiz yöntemine göre Bulanık AHP adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir:

$X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ nesneler setini ve $U = \{u_1, u_2, ..., u_m\}$ amaçlar setini göstermek üzere alınan her nesne ve her amaç (g_i) için sırasıyla büyüklük analizi gerçekleştirilir. Bu nedenle her nesne için m adet mertebe analiz değeri elde edilir.

$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \ldots\ldots\ldots, M_{gi}^m$ i=1,2,…..,n

Tüm M_{gi}^j'ler, (j = 1, 2, …,m) üçgen bulanık sayılardır.

Adım 1: Bulanık yapay büyüklük değeri, i. nesneye göre Denklem 3.7 ile tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j]^{-1} \quad (3.7)$$

$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j$ elde etmek için m boyut analiz değerine Denklem 3.8 bulanık toplama değeri uygulanır.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^{n} l_j, \sum_{j=1}^{n} m_j, \sum_{j=1}^{n} u_j) \quad (3.8)$$

Ayrıca, $[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^J]^{-1}$ elde etmek için Denklem 3.9'dan yararlanarak M_{gi}^j (j=1, 2,..,m) değerine bulanık toplam değeri uygulanır.

$$[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j] = (\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i) \quad (3.9)$$

Denklem 3.8'deki vektörün tersi ise Denklem 3.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.

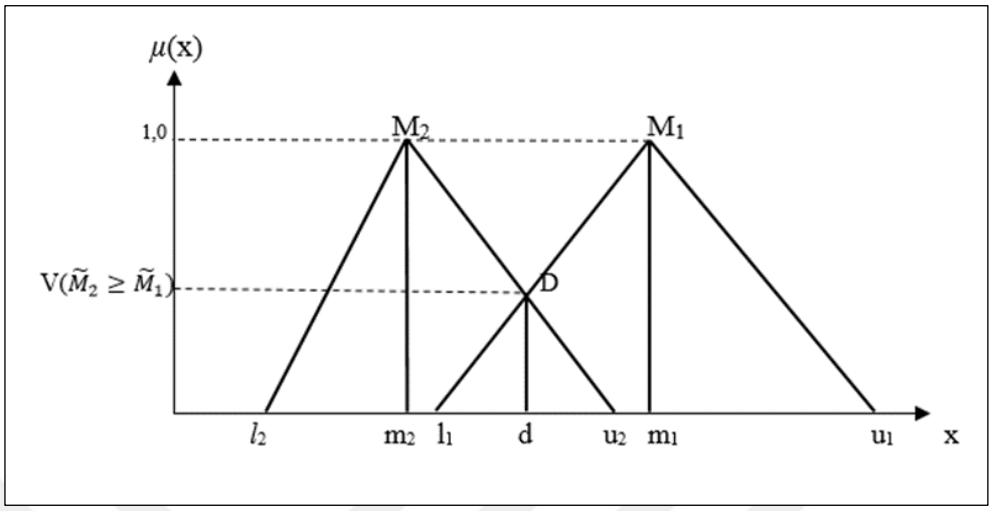
$$[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}) \quad (3.10)$$

Adım 2: $M_2 = (l_2, u_2, m_2) \geq (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır (Denklem 3.11 ve Denklem 3.12).

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup [\min(\mu_{M_1}{}^{(X)}, \mu_{M_2}{}^{(y)}] \quad \text{veya} \quad y \geq x \quad (3.11)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt\,(M_2 \cap M_1) = \mu\, M_2\,(d) = \begin{cases} 1 & eğer\ m_2 \geq m_1 \\ 0 & eğer\ l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & diğer\ hallerde \end{cases} \quad (3.12)$$

d, μM_1 ve μM_2 arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D'nin ordinatıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: d, μM_1 ve μM_2 arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D'nin ordinatı.

Adım 3: Bir konveks sayı M'in, k konveks bulanık sayıdan M_i(i=1, 2,…k) daha büyük olması için olabilirlik derecesi Denklem 3.13 ile tanımlanır.

$V(M \geq M_1 \geq M_2, \ldots, M_i) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } ,\ldots, \text{ ve } (M \geq Mi)] = \min V(M \geq Mi)$

$i=1, 2, \ldots, k$ (3.13)

$d'(Ai) = \min V(Si \geq Sk)$

k=1, 2, … , n için k≠i olmak üzere ağırlık vektörü Denklem 3.14 gibi verilir.

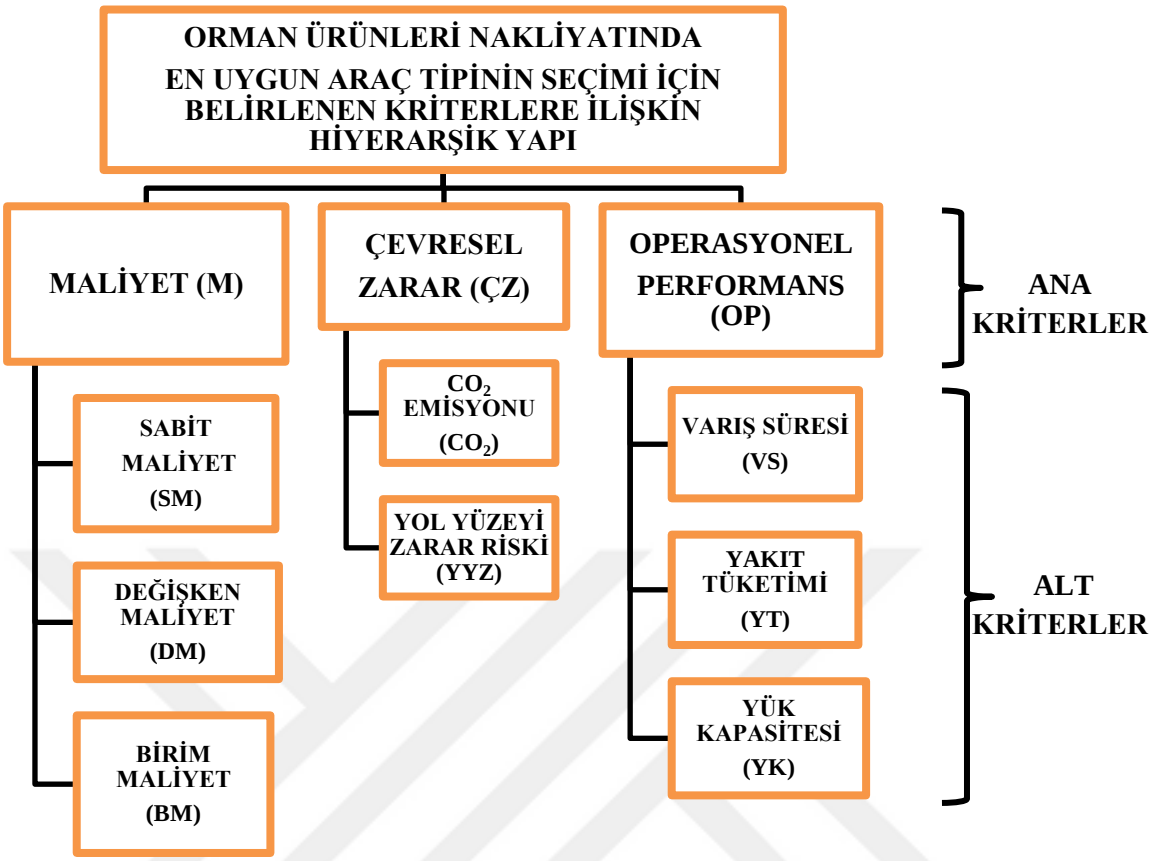
$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T$ (3.14)

A_i (i = 1, 2, …, n) olmak üzere Ai n elementlidir.

Adım 4: Normalizasyon işlemi ile normalize edilen ağırlık vektörü Denklem 3.15 ile elde edilmektedir.

$W = (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T$ (3.15)

Çalışmada orman ürünleri nakliyatında en uygun araç tiplerinin seçiminde etkili olan kriterlerin hiyerarşik yapısı ana kriterler ve alt kriterler şeklinde Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17: Orman ürünleri nakliyatında en uygun araç tipinin seçimi için belirlenen kriterlere ilişkin hiyerarşik yapı.

3.6.3. TOPSIS Yöntemi

Tez kapsamında kullanılacak olan diğer çok kriterli karar verme yöntemi olan TOPSIS yöntemi ise 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından önerilmiştir (Hwang ve Yoon, 1981). TOPSIS yönteminde negatif ideal çözüm ve pozitif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanmakta ve negatif ideal çözüme en uzak, pozitif ideal çözüme en yakın mesafede olan alternatif karar seçeneği olarak tanımlanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981; Cheng ve diğ., 2002). İlgili yöntemde kriterler arasında fayda veya maliyet ayrımı yapılmaktadır (Janic, 2003). TOPSIS yöntemi altı adımdan oluşmakta olup uygulama adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir (Jahanshahloo ve diğ., 2006):

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

M karar noktası sayısını n ise değerlendirme faktör sayısını belirtmektedir.

Adım 2: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin (*R*) Oluşturulması

Normalize edilmiş karar matrisi Denklem 3.16 ile oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \quad (i= 1,\dots;m \text{ ve } j=1,\dots,n) \qquad (3.16)$$

R normalize edilmiş matris aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

İ= 1,2, 3, , m**;** j= 1,2,3,…,n

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ile kriterlerin ağırlıkları çarpılarak V matrisi elde edilir.

V matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$

Adım 4: Pozitif İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Ölçülerin Oluşturulması

Bu adımda ağırlıklandırılmış matriste her bir kolonda yer alan maksimum ve minimum değerler Denklem 3.17 ve 3.18 kullanılarak elde edilmektedir.

Pozitif ideal çözümün bulunması ve negatif ideal çözümün bulunması

A^* = $\{v_1^*, v_2^*, \ldots, v_n^*\}$ (maksimum değerler)

A^- = $\{v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^-\}$ (minumum değerler)

$$A^* = \left\{\left(\underset{i}{maxV_{ij}}\middle| j \in J\right), \left(\underset{i}{minV_{ij}}\middle| j \in J'\right\}\right. \quad (3.17)$$

$$A^- = \left\{\left(\underset{i}{minV_{ij}}\middle| j \in J\right), \left(\underset{i}{maxV_{ij}}\middle| j \in J'\right\}\right. \quad (3.18)$$

J fayda fonksiyonunu belirtirken, J' ise maliyet fonksiyonunu belirtmektedir.

Adım 5: Ayrım Ölçülerinin Hesaplanması

Euclidian uzaklık yaklaşımından yararlanılarak, her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme kriteri değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmaları bulunmaktadır. Ayrım ölçümlerinin hesaplanmasında Denklem 3.19 ve Denklem 3.20'den yararlanılmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad i = 1, 2, \ldots, n \quad (3.19)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad i = 1, 2, \ldots, n \quad (3.20)$$

Adım 6: Yakınlık Katsayısının Bulunması

Yakınlık katsayısı Denklem 3.21 ile bulunmaktadır.

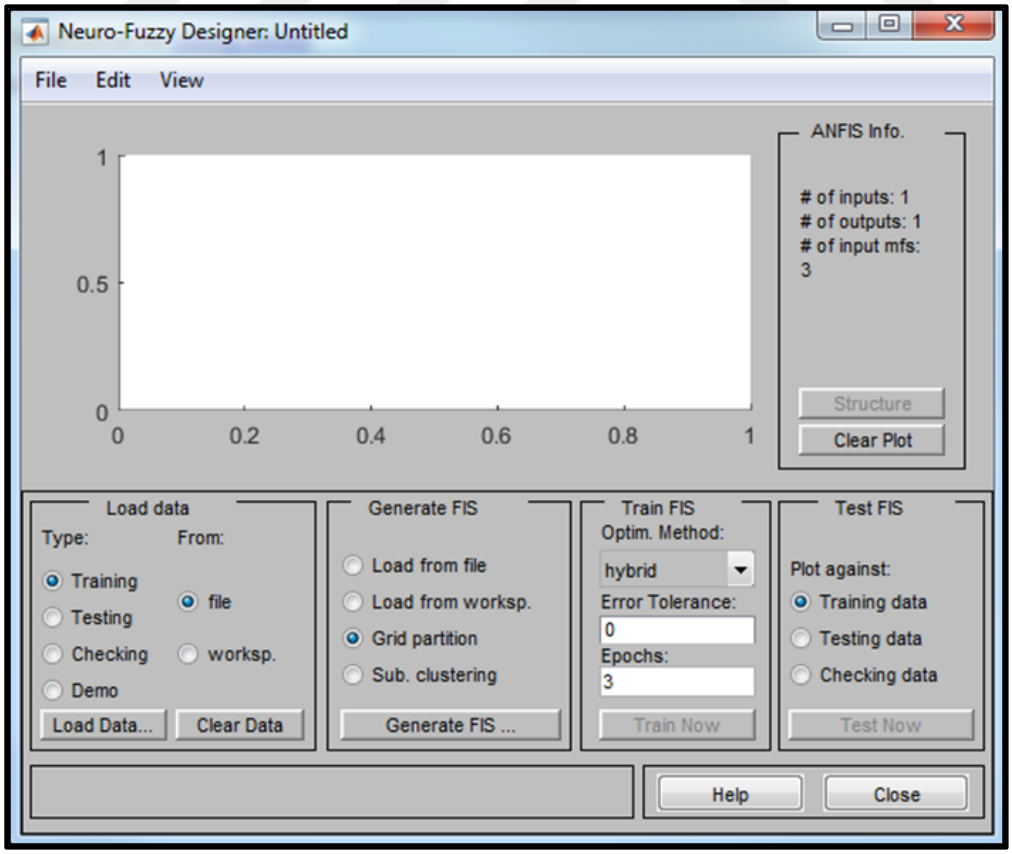
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \qquad i=1, 2, \ldots, m \quad (3.21)$$

Burada elde edilen C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ arasında yer almaktadır. *C*i = 1 ilgili karar noktasının pozitif ideal çözüme yakın, Ci = 0 olması ise negatif ideal çözüme yakın olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle CC_i değeri 1'e yaklaştıkça, alternatif Ai pozitif ideal çözüme daha yakın olmakta ve negatif ideal çözümden uzaklaşmaktadır. En son olarak elde edilen değerler büyüklüklerine göre sıralanarak alternatiflerin önem değeri belirlenir.

4. BULGULAR

4.1. YAKIT TÜKETİMİ VE VARIŞ SÜRESİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Operasyonel performans kriterlerinden daha önce belirlenmiş olan "*varış süresi*" ve "*yakıt tüketimi*" kriterlerinin farklı operasyonel koşullardaki nakliyat senaryolarında (taşıma mesafesi, orman ürünü miktarı, yol boyuna eğimleri vb.) kullanılabilmesi için, ilgili kriterlerin tahmin edilmesine yönelik tahmin modelleri oluşturulmuştur. Tahmin modellerini oluşturmak amacıyla "*Adaptive-Network based Fuzzy Inference System (ANFIS)*" (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) yönteminden yararlanılmıştır. ANFIS yöntemi ilk defa Jang (1993) tarafından önerilen bir yöntemdir. ANFIS yönteminde bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri beraber kullanılmaktadır. ANFIS yöntemi bir yöntemin üstünlüğü diğerinin zayıflığının üstesinden gelmesinden dolayı farklı alanlarda kullanılma olanağına sahiptir (Jang ve diğ., 1997; Kim ve Kasabov, 1999). İlgili yöntemin uygulanmasında MATLAB R2015a yazılımı kullanılmıştır. ANFIS sisteminin MATLAB R2015a yazılımındaki ara yüzü Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: ANFIS sisteminin MATLAB R2015a yazılımındaki ara yüzü görünümü.

Svenson (2011), odun hammaddesinin uzak nakliyatında kullanılan araçların yakıt tüketiminin ağırlık, hız, yol yüzeyi, operatör, kamyon konfigürasyonu, yol üzerinde bulunan kurplar gibi birçok faktörden etkilendiğini belirtmiştir. Benzer şekilde varış süresi de bu gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmada tahmin modellerinde belirli faktörler (giriş değişkenleri olarak) dikkate alınmıştır.

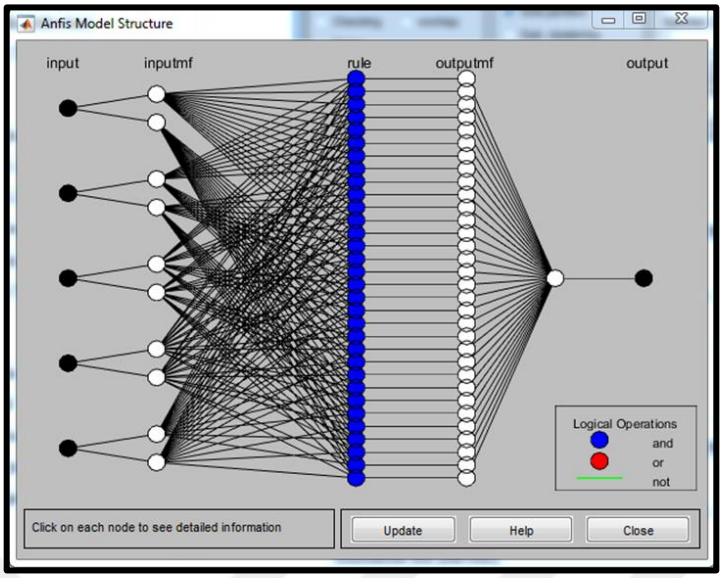
Yakıt tüketimi ve varış süresinin tahmini için iki ayrı tahmin modeli oluşturulmuştur. Her iki tahmin modeli için ANFIS yapısı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yakıt tüketimi tahmini ve varış süresi tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Her iki tahmin modelinde de giriş değişkenleri olarak taşıma mesafesi (km), araç+orman ürünü ağırlığı (kg), yol çıkış eğimi (%), yol iniş eğimi (%) ve maksimum hız (km/saat) kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Yakıt tüketimi tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri.

Eğitim verisi: 193 adet **Test verisi:** 83 adet	
Giriş değişkenleri	**Çıkış değişkeni**
Taşıma mesafesi (km)	Yakıt tüketimi (lt)
Araç boş ağırlığı (kg) + orman ürünü ağırlığı (kg)	
Yol çıkış eğimi (%)	
Yol iniş eğimi (%)	
Maksimum hız (km/saat)	

Tablo 4.2: Varış süresi tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri.

Eğitim verisi: 193 adet **Test verisi:** 83 adet	
Giriş değişkenleri	**Çıkış değişkeni**
Taşıma mesafesi (km)	Varış süresi (dk)
Araç boş ağırlığı (kg)+orman ürünü ağırlığı (kg)	
Yol çıkış eğimi (%)	
Yol iniş eğimi (%)	
Maksimum hız (km/saat)	



Şekil 4.2: Yakıt tüketimi tahmini ve varış süresi tahmini için oluşturulan ANFIS yapısının görünümü.

İlgili veriler analiz edilmeden önce Denklem 4.1'de verilen minimum-maksimum normalizasyon yöntemi vasıtasıyla [0-1] aralığına dönüştürülmüştür.

$$X_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (4.1)$$

X_0 = Orijinal değer

X_n = Normalize edilmiş değer

X_{min} = Değerler kümesinin minimumu

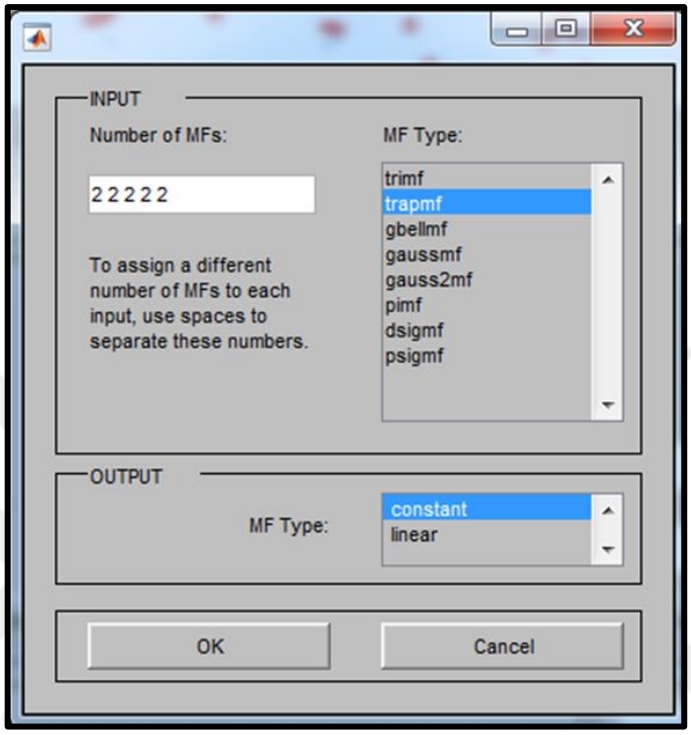
X_{max} = Değerler kümesinin maksimumu

Daha sonra ise normalizasyon değerleri Denklem 4.2 yardımıyla gerçek değerlerine dönüştürülerek ANFIS yöntemi tarafından tahmin edilen değerler gerçek değerlerle kıyaslanmıştır.

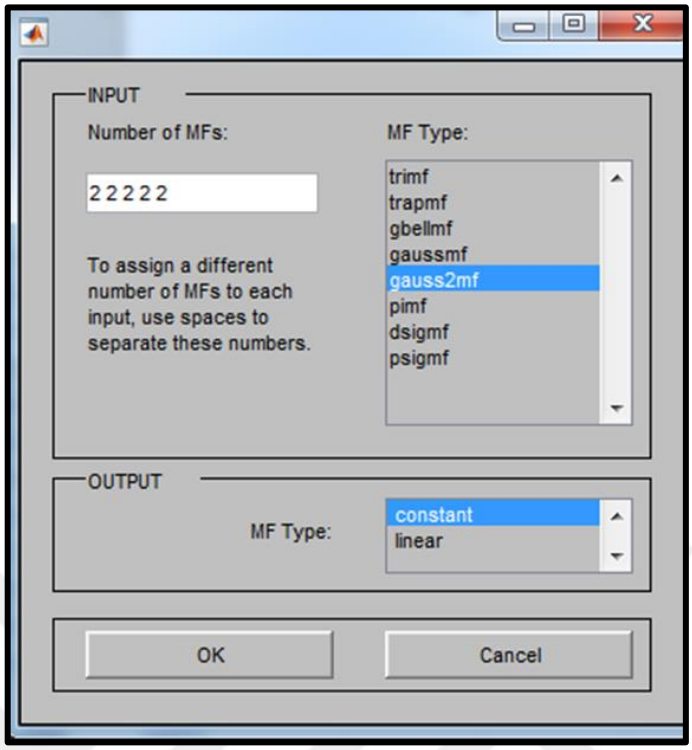
$$X_{gerçek} = (X_{max} - X_{min}).X_n + X_{min} \quad (4.2)$$

Tahmin modellerinde kullanılan veri sayısı toplam 276 adet olup, ekler kısmında kullanılan araçlara göre ayrı ayrı verilmiştir. Toplam veri sayısının rastgele olarak %70'i eğitim verisi geri kalan %30'u ise test verisi olarak çalışmada kullanılmıştır. ANFIS yönteminde iterasyon sayısı her iki tahmin modeli için de 50 olarak uygulanmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak ise hibrid yaklaşım kullanılmıştır. Her iki tahmin modeli içinde farklı üyelik fonksiyon tipleri ve sayıları

(3-3-3-3-3 / 2-2-2-2-2 / 3-2-3-2-3 / 2-2-3-2-3 / 3-4-2-2-2) denenmiştir. Üyelik fonksiyon sayılarının ve tipinin seçimi yakıt tüketimi ve varış süresi modeli için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Yakıt tüketimi tahmini modeli için üyelik fonksiyon tipi ve sayısının seçimi.

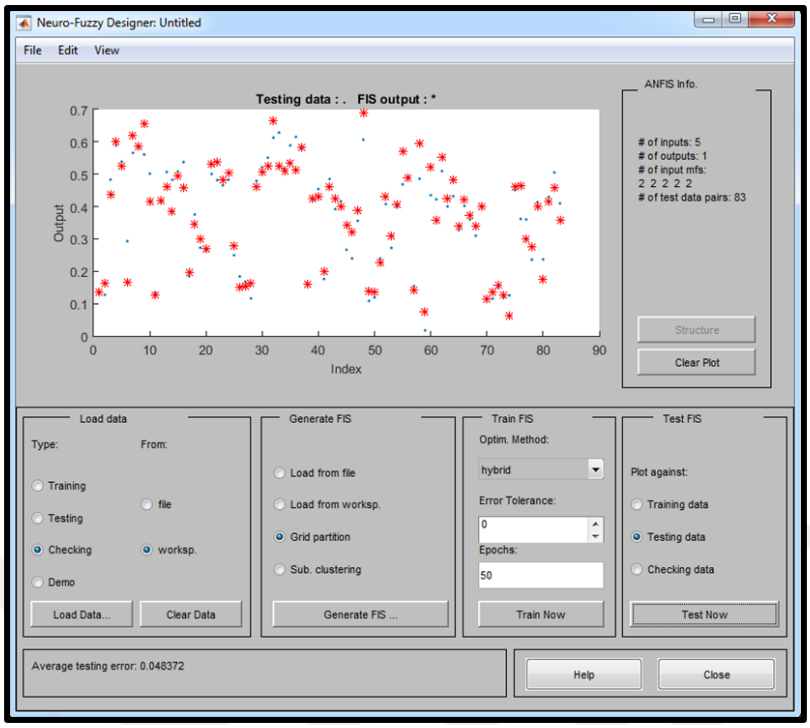


Şekil 4.4: Varış süresi tahmin modeli için üyelik fonksiyon tipi ve sayısının seçimi.

Yakıt tüketimi ve varış süresi tahmin modelleri için eğitim ve test verilerinin ANFIS'teki görünümleri sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda en az RMSE hatası veren üyelik fonksiyonu tipi ve sayısı kullanılmıştır. Yakıt tahmin modeline ilişkin en az test verisi hata değeri veren yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Tablo 4.3). Varış süresi tahmin modeline ilişkin ise en az test verisi hata değeri veren Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.3: Yakıt tüketimi tahmin modeline ait üyelik fonksiyon tiplerine ait değerleri.

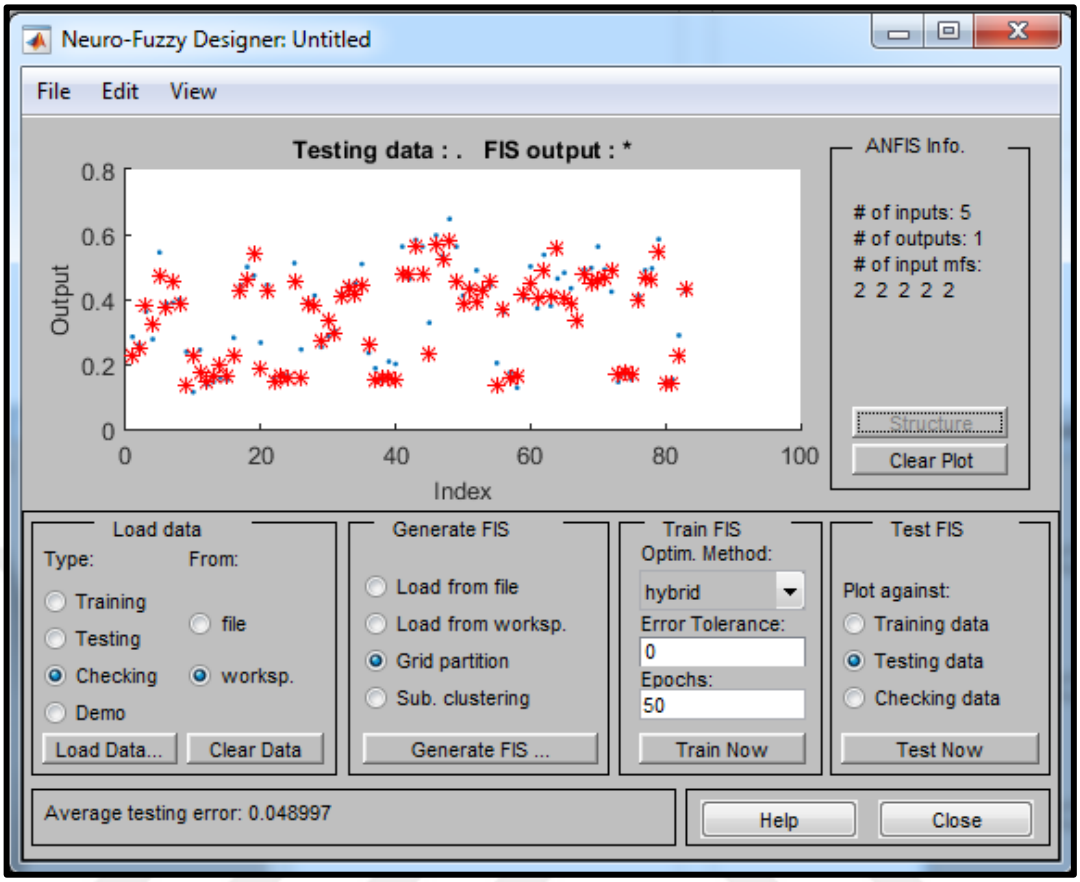
Yakıt tüketimi modeli (2 2 2 2 2)			
Üyelik fonksiyon tipi (mf)		**Eğitim Verisi Hata Değeri (RMSE)**	**Test Verisi Hata Değeri (RMSE)**
Üçgen üyelik fonksiyonu	trimf	0,037588	0,053792
Yamuk üyelik fonksiyonu	trapmf	0,038039	0,048372
Çan şekilli üyelik fonksiyonu	gbellmf	0,035936	0,049264
Gauss üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	gaussmf	0,036189	0,051989
Gauss üyelik fonksiyonu	gauss2mf	0,036281	0,050497
Pi üyelik fonksiyonu	pimf	0,038436	0,055337
Sigmoid üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	dsigmf	0,037497	0,058358
Sigmoid üyelik fonksiyonu	psigmf	0,037497	0,058358



Şekil 4.5: Yakıt tüketimi tahmin modeli için eğitim ve test verilerinin görünümü.

Tablo 4.4: Varış süresi tahmin modeline ait üyelik fonksiyon tiplerine ait değerleri.

Varış süresi modeli (2 2 2 2 2)			
Üyelik fonksiyon tipi (mf)		**Eğitim Verisi Hata değeri (RMSE)**	**Test Verisi Hata değeri (RMSE)**
Üçgen üyelik fonksiyonu	trimf	0,060612	0,055803
Yamuk üyelik fonksiyonu	trapmf	0,061536	0,161400
Çan şekilli üyelik fonksiyonu	gbellmf	0,054931	0,050261
Gauss üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	gaussmf	0,054936	0,049054
Gauss üyelik fonksiyonu	gauss2mf	0,054297	0,048997
Pi üyelik fonksiyonu	pimf	0,056089	0,102680
Sigmoid üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	dsigmf	0,055140	0,060590
Sigmoid üyelik fonksiyonu	psigmf	0,055140	0,060590



Şekil 4.6: Varış süresi tahmin modeli için eğitim ve test verilerinin ANFIS sistemindeki görünümü.

Tahmin modellerinde performans göstergeleri olarak "*ortalama karesel hata (MSE)*", "*ortalama hata kareleri toplamı kökü (RMSE)*", "*ortalama mutlak yüzde hata (MAPE)*" ve "*belirlilik katsayısı (R^2)*" kullanılmıştır. Kullanılan bu performans göstergelerine ilişkin Denklemler sırasıyla 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da belirtilmiştir.

a) Ortalama karesel hata (Mean Square Error - MSE)

$$\text{MSE} = \frac{\Sigma(y_1 - y_2)^2}{n} \tag{4.3}$$

b) Ortalama hata kareleri toplamı kökü (Root Mean Squared Error - RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\Sigma(y_1 - y_2)^2}{n}} \tag{4.4}$$

c) Ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE)

$$\text{MAPE} = \frac{\Sigma\left|\frac{(y_1 - y_2)}{y_1}\right|}{n} \text{x100 (\%)} \quad (4.5)$$

y_1 = gerçek değer y_2 = tahmini değer n = gözlem sayısı

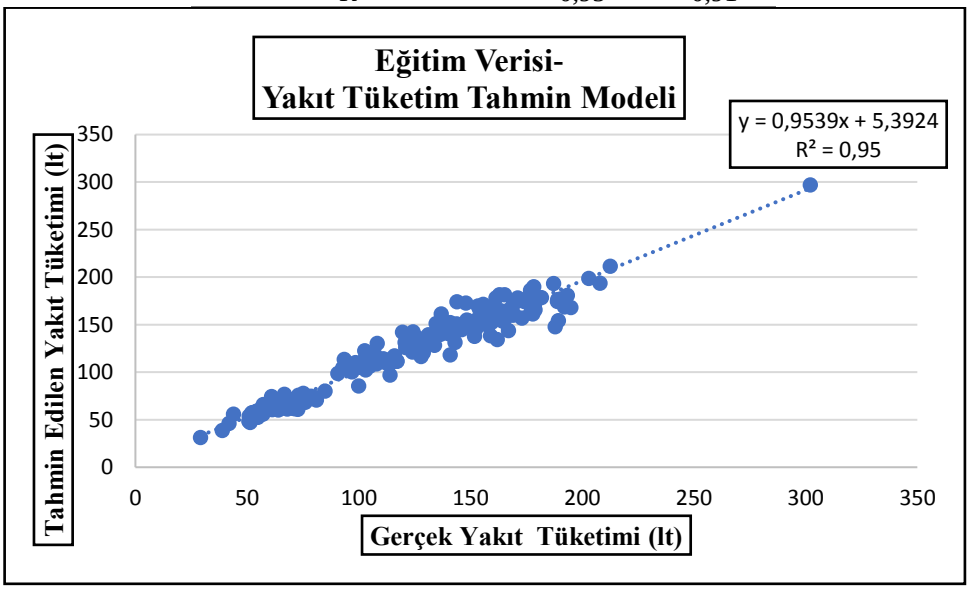
d) R^2 belirlilik katsayısı

$$R^2 = \left[\frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2\ \Sigma(y-\bar{y})^2}}\right]^2 \quad (4.6)$$

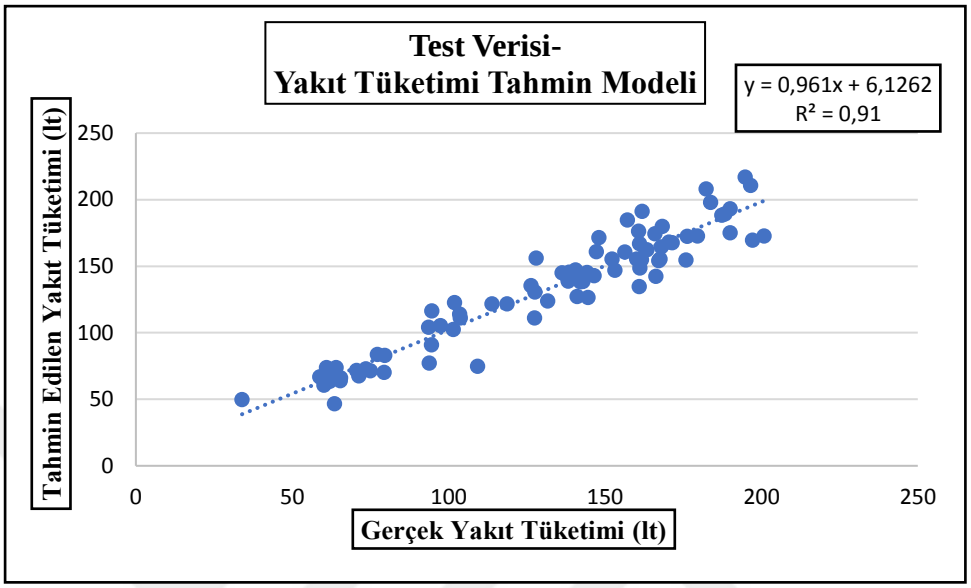
Yakıt tüketimi için oluşturulan tahmin modeli için elde edilen performans göstergelerine ilişkin değerler Tablo 4.5'te verilmiştir. Elde edilen değerlere göre ortalama mutlak yüzde hata değeri ve R^2 belirlilik katsayısı değerleri eğitim verisi için sırasıyla %6,4 ve 0,95 test verisi için ise, %8,3 ve 0,91 şeklindedir. Şekil 4.7 ve Sekil 4.8'de ise, ilgili modele ilişkin eğitim ve test verisi için R^2 değerleri grafikler halinde gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Yakıt tüketimi tahmin modeline ilişkin performans değerleri.

Yakıt tüketimi tahmin modeli	Eğitim verisi	Test verisi
MSE	105,66	174,33
RMSE	10,27	13,20
MAPE	%6,4	%8,3
R^2	0,95	0,91



Şekil 4.7: Yakıt tüketimi tahmin modelinde eğitim verisi için gerçek yakıt tüketimi ile tahmin edilen yakıt tüketimi değerleri.

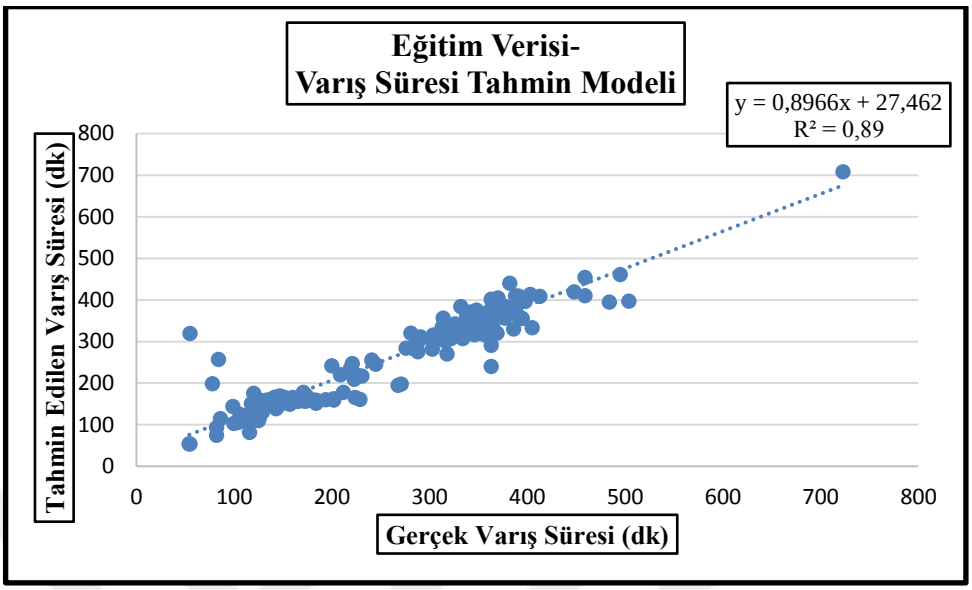


Şekil 4.8: Yakıt tüketimi tahmin modelinde test verisi için gerçek yakıt tüketimi ile tahmin edilen yakıt tüketimi değerleri.

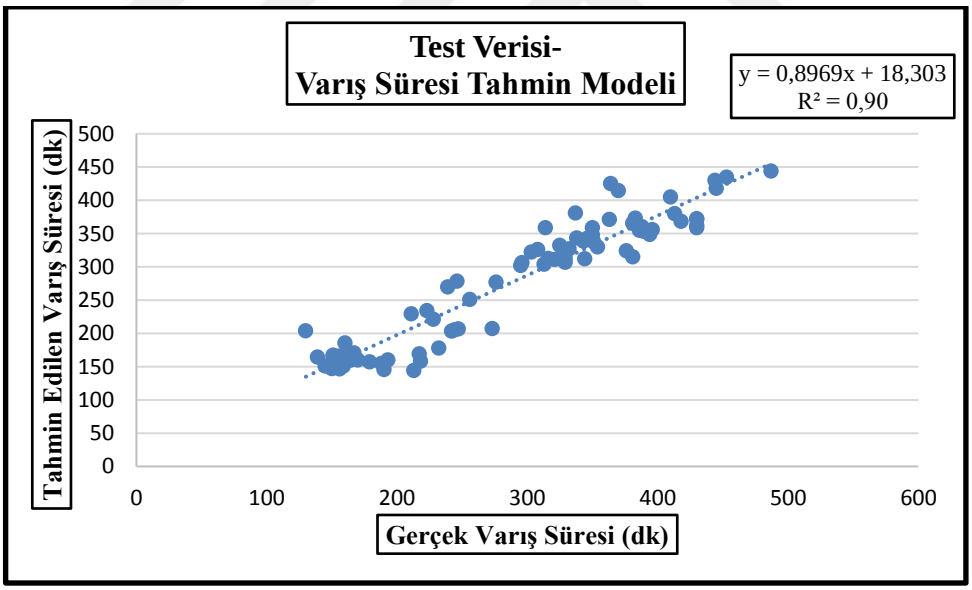
Varış süresi tahmini için elde edilen performans göstergeleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Elde edilen değerlere göre ortalama mutlak yüzde hata değeri ve R^2 belirlilik katsayısı değerleri eğitim verisi için sırasıyla %6,9 ve 0,89 test verisi için ise %9,3 ve 0,90 şeklindedir. Şekil 4.9 ve Sekil 4.10'da ise ilgili modele ilişkin R^2 değerleri eğitim ve test verisi için grafikler halinde gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Varış süresi tahmin modeline ilişkin performans değerleri

Varış süresi Tahmin modeli	Eğitim Verisi	Test Verisi
MSE	1.319,50	1.074,48
RMSE	36,32	32,77
MAPE	%6,9	%9,3
R^2	0,89	0,90



Şekil 4.9: Varış süresi tahmin modelinde eğitim verisi için gerçek varış süresi ile tahmin edilen varış süresi değerleri.



Şekil 4.10: Varış süresi tahmin modelinde test verisi için gerçek varış süresi ile tahmin edilen varış süresi değerleri.

4.2.BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE KRİTERLERİN AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI

Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Microsoft Office Excel tabanlı anket formu hazırlanmıştır. İlgili anket formu konu hakkında ilgili olan kişilerle paylaşılarak görüşleri alınmıştır. Hazırlanan söz konusu anket formu ekler kısmında verilmiştir. Toplamda 33 kişinin (23 adet konusunda uzman akademisyen, sekiz adet orman mühendisi ve iki adet orman ürünleri nakliyatı taşımacılığı yetkilisi) görüşünden yararlanılmıştır. Anketi değerlendiren uzman kişilerin demografik özellikleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Uzman kişilerin kriterleri değerlendirmesi amacıyla kullandıkları ilgili ölçekler ise Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Uzman görüşleri geometrik ortalama metodu ile birleştirilmiştir. Uzman görüşlerinin birleştirilmesinden sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 4.7: Anketi değerlendiren kişilerin demografik özellikleri ve meslekleri.

Demografik Özellikler	**Anketi Değerlendiren Kişilerin Meslekleri**					
	Uzman Akademisyenler (22 kişi erkek-1 kişi kadın)		**Orman Mühendisleri** (6 kişi erkek-2 kişi kadın)		**Orman Ürünleri Nakliyat Taşımacılığı Yetkilisi** (2 kişi erkek)	
Yaş	20-40	11 kişi	30-40	2 kişi	30-40	2 kişi
	40-60	11 kişi	40-50	6 kişi		
	>60	1 kişi				
Mesleki Tecrübesi (Yıl)	3-10	6 kişi	0-10	2 kişi	10-15	2 kişi
	10-20	10 kişi	10-30	5 kişi		
	20-40	7 kişi	>30	1 kişi		

Tablo 4.8: Dilsel değişkenler (Chang, 1996).

Dilsel İfadeler	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önemli	1, 1, 1	1, 1, 1
Eşite yakın daha önemli	1/2, 1, 3/2	2/3, 1, 2
Biraz daha önemli	1, 3/2, 2	1/2, 2/3, 1
Çok daha önemli	3/2, 2, 5/2	2/5, 1/2, 2/3
Pek çok daha önemli	2, 5/2, 3	1/3, 2/5, 1/2
Tamamen daha önemli	5/2, 3, 7/2	2/7, 1/3, 2/5

Bulanık AHP yöntemine ilişkin hesaplamalar Microsoft Office Excel 2016 yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlgili yöntemde ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının belirlenmesinde gerekli olan maksimum öz değerlerin hesaplanmasında ise, MATLAB R2015a yazılımından yararlanılmıştır. Toplamda dört adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri ana kriterler için Tablo 4.9'da her bir ana kriterlerin altında bulunan alt kriterler için ise, Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.9: Ana kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,019).

ANA KRİTERLER	Maliyet			Çevresel Zarar			Operasyonel Performans		
Maliyet	1	1	1	0,74	0,96	1,25	0,83	1,07	1,33
Çevresel Zarar	0,8	1,04	1,35	1	1	1	1,05	1,32	1,64
Operasyonel Performans	0,75	0,93	1,20	0,60	0,75	0,95	1	1	1

Tablo 4.10: Maliyet ana kriterine ilişkin alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,017).

MALİYET ANA KRİTERİ	Sabit Maliyet			Değişken Maliyet			Birim Maliyet		
Sabit Maliyet	1	1	1	0,59	0,76	1,01	0,52	0,65	0,84
Değişken Maliyet	0,99	1,31	1,69	1	1	1	0,67	0,83	1,07
Birim Maliyet	1,19	1,53	1,92	0,93	1,20	1,49	1	1	1

Tablo 4.11: Çevresel zarar ana kriterine ilişkin alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,011).

ÇEVRESEL ZARAR ANA KRİTERİ	CO_2 Emisyonu			Yol Yüzeyi Zarar Riski		
CO_2 Emisyonu	1	1	1	0,79	1,01	1,31
Yol Yüzeyi Zarar Riski	0,76	0,99	1,26	1	1	1

Tablo 4.12: Operasyonel performans için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi (CR=0,0257).

OPERASYONEL PERFORMANS ANA KRİTERİ	Varış Süresi			Yakıt Tüketimi			Yük Kapasitesi		
Varış Süresi	1	1	1	0,66	0,85	1,13	0,53	0,67	0,93
Yakıt Tüketimi	0,88	1,17	1,51	1	1	1	0,75	0,98	1,28
Yük Kapasitesi	1,07	1,49	1,88	0,78	1,02	1,33	1	1	1

Uzman görüşleri doğrultusunda elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Tutarlılık oranlarına ilişkin hesaplama yapılmadan önce ikili karşılaştırma matrisleri Denklem 4.7 kullanılarak (Kwong ve Bai, 2003) durulaştırılmıştır. Tutarlılık oranlarının hesaplanmasında ise Denklem 4.8 ve 4.9'dan yararlanılmıştır. Tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması durumunda ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu kabul edilmektedir (Saaty, 1980).

$$M = (l+4m+u)/6 \tag{4.7}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.8}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max}-1}{n-1} \tag{4.9}$$

Tutarlılık oranın hesaplanmasında gerekli olan rastgele değer indeksi değerleri ise Tablo 4.13'te verilmiştir.

CR = Tutarlılık oranı

CI = Tutarlılık indeksi

RI = Rastgele değer indeksi n= Matris boyutu λmax = Maksimum özdeğer

Tablo 4.13: Rastgele indeks değerleri (Saaty, 1980).

Karar Alternatifleri	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Rastgele Değer İndeksi	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

İlk ikili karşılaştırma matrisi olanı olan ana kriterlerin karşılaştırılmasına ilişkin oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranın hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Öncelikli olarak ilgili karşılaştırma matrisi Denklem 4.9 yardımıyla durulaştırılmış ve elde edilen değerler Tablo 4.14'te verilmiştir. Daha sonra ise Denklem 3.8 ve 3.9 değerleri kullanılarak tutarlılık oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre (0,019) karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması nedeniyle tutarlı olduğu görülmektedir. Diğer ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlık oranları benzer şeklinde bulunmuştur.

Tablo 4.14: Ana kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin durulaştırılması.

ANA KRİTERLER	Maliyet	Çevresel Zarar	Operasyonel Performans
Maliyet	1	0,97	1,07
Çevresel Zarar	1,05	1	1,32
Operasyonel Performans	0,94	0,76	1

$CI = \frac{3,0229-3}{3-1} = 0,01145$

$CR = \frac{0,01145}{0,58} = 0,01974$

$CR<0,10$

Çalışmada kullanılan Chang (1996) genişletilmiş mertebe analiz yönteminin uygulanması tez kapsamı için sırasıyla aşağıda verilmiştir. İlk olarak ana kriterlerin ağırlıklarının bulunabilmesi için oluşturulmuş birinci ikili karşılaştırma matrisi için ilgili uygulama adımları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

Öncelikle, ilgili yöntemde 1. adım kullanılarak maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans ana kriterlerinin sentetik derece değerleri hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

$S_M = (2,57, 3,03, 3,58) \otimes (7,78, 9,08, 10,72)^{-1}$

$S_M = (2,57/10,72, 3,03/9,08, 3,58/7,78)$

S_M = (0,23, 0,33, 0,46)

$S_{ÇZ}$ = (2,85, 3,36, 3,99) ⊗ (7,78, 9,08, 10,72)$^{-1}$

$S_{ÇZ}$ = (2,85/10,72, 3,36/9,08, 3,99/7,78)

$S_{ÇZ}$ = (0,26, 0,37, 0,51)

S_{OP} = (2,36, 2,69, 3,15) ⊗ (7,78, 9,08, 10,72)$^{-1}$

S_{OP} = (2,36/10,72, 2,69/9,08, 3,15/10,72)

S_{OP} = (0,22, 0,29, 0,40)

İkinci aşama olarak ilgili ana kriterlere ilişkin her ikili sentetik değeri için M2= (l_2, m_2, u_2) ≥M1 (l_1, m_1, u_1) 'in olabilirlik dereceleri 2.adım'dan yararlanarak bulunmuş ve aşağıda verilmiştir.

$m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ koşulunu sağlayan durumlar aşağıdaki şekildedir.

$V(S_M \geq S_{OP}) = 1$

$V(S_{ÇZ} \geq S_M) = 1$

$V(S_{ÇZ} \geq S_{OP}) = 1$

$l_1 \geq u_2$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ koşulunu sağlayan durum bulunmamaktadır.

Diğer durumlar için,

$V(S_M \geq S_{ÇZ}) = (0,26-0,46) / ((0,33-0,46)- (0,37-0,26)) = 0,84$

$V(S_{OP} \geq S_M) = (0,23-0,40) / ((0,29-0,40)- (0,33-0,23)) = 0,81$

$V(S_{OP} \geq S_{ÇZ}) = (0,26-0,40) / ((0,29-0,40)- (0,37-0,26)) = 0,65$ değerleri elde edilmiştir.

Üçüncü aşama olarak ise, bir konveks sayı M'nin, k konveks bulanık sayıdan Mi (i=1, 2,…k) daha büyük olması için olabilirlik dereceleri adım 3'ten yararlanarak aşağıda gösterilmiştir.

Min$V$ ($S_M \geq S_{ÇZ}$, S_{OP}) = 0,84

Min$V$ ($S_{ÇZ} \geq S_M$, S_{OP}) = 1

Min$V$ ($S_{OP} \geq S_M$, $S_{ÇZ}$) = 0,65

Son olarak ise ağırlık vektörü W'= (0,84, 1, 0,65) şeklinde bulunmuştur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise her bir ağırlığın toplam ağırlığa bölünmesiyle elde edilmiştir.

$W = (0,84/2,49, 1/2,49, 0,65/2,49) = (0,33, 0,40, 0,26)^T$

Benzer şekilde Bulanık AHP işlem adımları kullanılarak diğer oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinde yer alan ilgili kriterlerin ağırlık değerleri de hesaplanmıştır. Ana kriterlerden birincisi olan maliyet kriterinin altında yer alan alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi için yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

1.adım kullanılarak sabit maliyet, değişken maliyet ve birim maliyet için bulanık sentetik dereceleri hesaplanmış ve aşağıda sıralanmıştır:

$S_{SM} = (2,11, 2,41, 2,85) \otimes (7,89, 9,29, 11,03)^{-1}$

$S_{SM} = (2,11/11,03, 2,41/9,29, 2,85/7,89)$

$S_{SM} = (0,19, 0,25, 0,36)$

$S_{DM} = (2,66, 3,14, 3,76) \otimes (7,89, 9,29, 11,03)^{-1}$

$S_{DM} = (2,66/11,03, 3,14/9,29, 3,76/7,89)$

$S_{DM} = (0,24, 0,33, 0,47)$

$S_{BM} = (3,12, 3,74, 4,41) \otimes (7,89, 9,29, 11,03)^{-1}$

$S_{BM} = (3,12/11,03, 3,74/9,29, 4,41/7,89)$

$S_{BM} = (0,28, 0,40, 0,55)$

2. adım kullanılarak ilgili alt kriterlere ilişkin her ikili sentetik değeri için ilgili ölçütlerin M2= (l_2, m_2, u_2) ≥ M1 (l_1, m_1, u_1) 'in olabilirlik dereceleri aşağıda sıralanmıştır:

$m_2 \geq m_1$ için V(M2≥M1) = 1 koşulunu sağlayan durumlar aşağıdaki şekildedir.

$V(S_{DM} \geq S_{SM}) = 1$

$V(S_{BM} \geq S_{SM}) = 1$

$V(S_{BM} \geq S_{DM}) = 1$

$l_1 \geq u2$ için V(M2≥M1) = 0 koşulunu sağlayan durum bulunmamaktadır.

Diğer durumlar için hesaplanan değerler ise aşağıda verilmiştir.

$V(S_{SM} \geq S_{DM})$ = (0,24-0,36) / ((0,25-0,36) -(0,33-0,24)) = 0,60

$V(S_{SM} \geq S_{BM})$ = (0,28-0,36) / ((0,25-0,36) -(0,40-0,28)) = 0,35

$V(S_{DM} \geq S_{BM})$ = (0,28-0,47) / ((0,33-0,47) -(0,40-0,28)) = 0,75

3. adım kullanılarak bir konveks sayı M'nin, k konveks bulanık sayıdan Mi(i=1, 2,…k) daha büyük olması için olabilirlik dereceleri aşağıda gösterilmiştir.

$\text{MinV}(S_{SM} \geq S_{DM}, S_{BM})$ = 0,35

$\text{MinV}(S_{DM} \geq S_{SM}, S_{BM})$ = 0,75

$\text{MinV}(S_{BM} \geq S_{SM}, S_{DM})$ = 1

Son olarak 4. adım kullanılarak ağırlık dereceleri hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

Ağırlık vektörü W'= (0,35, 0,75, 1) şeklinde bulunmuştur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise her bir ağırlığın toplam ağırlığa bölünmesiyle elde edilmiştir.

$W = (0,35/2,10 , 0,75/2,10 , 1/2,10) = (0,16, 0,35, 0,47)^T$

Ana kriterlerden ikincisi olan çevresel zarar kriterinin altında yer alan alt kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi için yapılan hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir:

1. adım kullanılarak CO_2 emisyonu ve yol yüzeyi zarar riski alt kriterleri için sentetik dereceleri hesaplanmış ve aşağıda sıralanmıştır.

$S_{CO2} = (1{,}79, 2{,}01, 2{,}31) \otimes (3{,}55 , 4{,}00, 4{,}57)^{-1}$

$S_{CO2} = (1{,}79/4{,}57, 2{,}01/4{,}00, 2{,}31/3{,}55)$

$S_{CO2} = (0{,}39, 0{,}50, 0{,}65)$

$S_{YYZ} = (1{,}76, 1{,}99, 2{,}26) \otimes (3{,}55, 4{,}00, 4{,}57)^{-1}$

$S_{YYZ} = (1{,}76/4{,}57, 1{,}99/4{,}00 , 2{,}26/3{,}55)$

$S_{YYZ} = (0{,}38, 0{,}49, 0{,}63)$

2. adım kullanılarak ilgili alt kriterlere ilişkin her ikili sentetik değeri için M2= (l_2, m_2, u_2)≥M1 (l_1, m_1, u_1)'in olabilirlik dereceleri aşağıda verilmiştir.

$m_2 \geq m_1$ için V(M2≥M1) = 1 koşulunu sağlayan durumlar aşağıdaki şekildedir.

$V(S_{CO2} \geq S_{YYZ}) = 1$

$l_1 \geq u_2$ için V(M2≥M1) = 0 koşulunu sağlayan durum bulunmamaktadır.

Diğer durumlar için hesaplanan değer ise aşağıda verilmiştir.

$V(S_{YYZ} \geq S_{CO2}) = (0{,}39\text{-}0{,}63) / ((0{,}49\text{-}0{,}63) \text{-}(0{,}50\text{-}0{,}39)) = 0{,}98$

3. adım kullanılarak bir konveks sayı M'nin, k konveks bulanık sayıdan Mi(i=1,2,…k) daha büyük olması için olabilirlik dereceleri aşağıda gösterilmiştir.

$\text{Min}V(S_{CO2} \geq S_{YYZ}) = 1$

$\text{Min}V(S_{YYZ} \geq S_{CO2}) = 0{,}98$

4. adım kullanılarak ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ağırlık vektörü W'= (1, 0,98) şeklinde bulunmuştur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise her bir ağırlığın toplam ağırlığa bölünmesiyle elde edilmiştir.

$W = (1/1,98, 0,98/1,98) = (0,50, 0,49)^T$

Ana kriterlerden sonuncusu olan operasyonel performans ana kriteri için oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi için yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir:

1. adım kullanılarak varış süresi, yakıt tüketimi ve yük kapasitesi alt kriterleri için bulanık sentetik değeri hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir.

$S_{VS} = (2,19, 2,52, 3,06) \otimes (7,68, 9,18, 11,07)^{-1}$

$S_{VS} = (2,19/11,07, 2,52/9,18, 3,06/7,68)$

$S_{VS} = (0,19, 0,27, 0,39)$

$S_{YT} = (2,63, 3,15, 3,79) \otimes (7,68, 9,18, 11,07)^{-1}$

$S_{YT} = (2,63/11,07, 2,52/9,18, 3,06/7,68)$

$S_{YT} = (0,23, 0,34, 0,49)$

$S_{YK} = (2,85, 3,51, 4,22) \otimes (7,68, 9,18, 11,07)^{-1}$

$S_{YK} = (2,85/11,07, 3,51/9,18, 4,22/7,68)$

$S_{YK} = (0,25, 0,38, 0,54)$

2. adım kullanılarak her ikili sentetik değeri için M2= $(l_2, m_2, u_2) \geq$ M1 (l_1, m_1, u_1) 'in olabilirlik dereceleri aşağıda verilmiştir.

m2≥m1 için V(M2≥M1) = 1 koşulunu sağlayan durumlar aşağıdaki gibidir.

$V(S_{YT} \geq S_{VS}) = 1$

$V(S_{YK} \geq S_{VS}) = 1$

$V(S_{YK} \geq S_{YT}) = 1$

$l_1 \geq u_2$ için V(M2≥M1) = 0 koşulunu sağlayan durum bulunmamaktadır.

Diğer durumlar için yapılan hesaplamalar aşağıdadır.

$V(S_{VS} \geq S_{YT}) = (0,23\text{-}0,39) / ((0,27\text{-}0,39) - (0,34\text{-}0,23)) = 0,69$

$V(S_{VS} \geq S_{YK}) = (0,25\text{-}0,39) / ((0,27\text{-}0,39) - (0,38\text{-}0,25)) = 0,56$

$V(S_{YT} \geq S_{YK}) = (0,25\text{-}0,49) / ((0,34\text{-}0,49) - (0,38\text{-}0,25)) = 0,85$

3. adım kullanılarak bir konveks sayı M'nin, k konveks bulanık sayıdan Mi(i=1,2,…k) daha büyük olması için olabilirlik dereceleri aşağıda gösterilmiştir.

$\text{Min}V(S_{VS} \geq S_{YT}, S_{YK}) = 0,56$

$\text{Min}V(S_{YT} \geq S_{VS}, S_{YK}) = 0,85$

$\text{Min}V(S_{YK} \geq S_{VS}, S_{YT}) = 1$

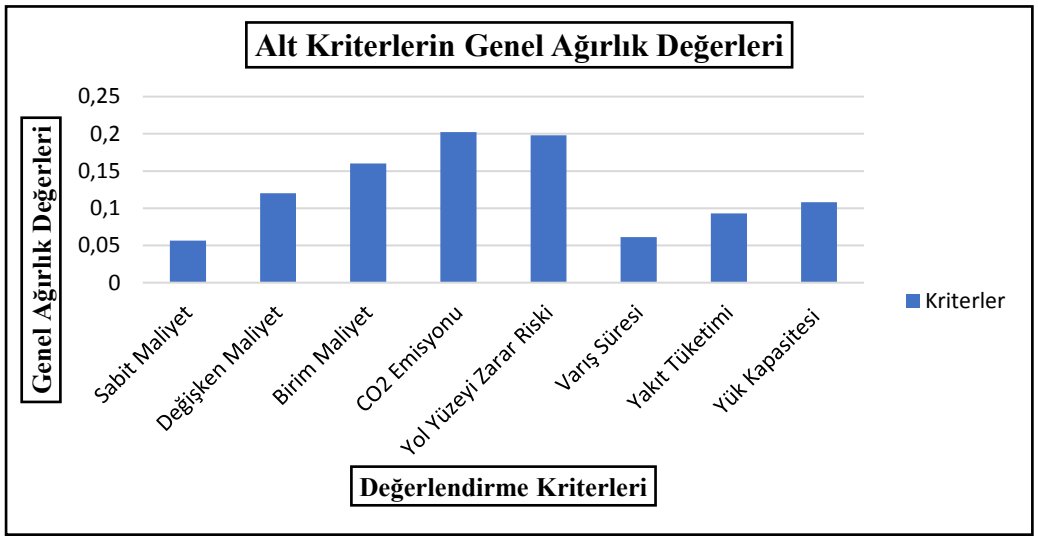
4.adım kullanılarak ağırlık vektörü W = (0,56, 0,85, 1) şeklinde bulunmuştur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise her bir ağırlığın toplam ağırlığa bölünmesiyle elde edilmiştir.

$W = (0,56/2,42,\ 0,85/2,42,\ 1/2,42) = (0,23,\ 0,35,\ 0,41)^T$

Yapılan hesaplamalar sonucu ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlık değerleri toplu olarak Tablo 4.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ana kriterlerden en önemli kriterin çevresel zarar kriteri olduğu diğerlerinin ise önem sırasına göre maliyet ve operasyonel performansın olduğu görülmüştür. Alt kriterler değerlendirildiğinde ise maliyet ana kriterine ilişkin alt kriterlerden en önemlisinin birim maliyet olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çevresel zarar ana kriterine ilişkin alt kriterlerde ise en önemli kriterin CO_2 emisyonu olduğu belirlenmiştir. Ana kriterlerden üçüncüsü olan operasyonel performans ana kriterine ilişkin alt kriterlerde ise en önemli kriterin yük kapasitesi olduğu belirlenmiştir. En son olarak da alt kriterlerin ağırlıkları bulunduğu ana kriterlerin ağırlıklarıyla çarpılmış ve genel ağırlık değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.15, Şekil 4.11).

Tablo 4.15: Ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlık ve genel ağırlık değerleri.

Ana kriterler	Ağırlıklar	Alt kriterler	Ağırlıklar	Genel ağırlıklar
Maliyet	0,3371	Sabit Maliyet	0,1671	0,0563
		Değişken Maliyet	0,3571	0,1203
		Birim Maliyet	0,4757	0,1603
Çevresel Zarar	0,4004	CO_2 Emisyonu	0,5050	0,2022
		Yol Yüzeyi Zarar Riski	0,4950	0,1981
Operasyonel Performans	0,2624	Varış Süresi	0,2331	0,0611
		Yakıt Tüketimi	0,3543	0,0929
		Yük Kapasitesi	0,4125	0,1082



Şekil 4.11: Değerlendirme alt kriterlerinin genel ağırlık değerleri.

4.3. ARAÇ ALTERNATİFLERİNİN BELİRLENMESİ

Nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç tipi alternatifleri orman ürünleri nakliyatında kullanılan araç tipleri dikkate alınarak "***2 akslı (4x2) kamyon***", "***3 akslı (6x2) kamyon***", "***4 akslı (8x2) kamyon***" ve "***5 akslı yarı römorklu araç (çekici (2 akslı)+römork (3 akslı)***" şeklinde gruplandırılmıştır. Bu kapsamda orman ürünleri nakliyatında yaygın olarak kullanılan araç markaları dikkate alınmış ve bunların ortalama satın alma değerleri (katma değer vergisi (KDV) ve özel tüketim vergisi (ÖTV) dahil) ve teknik özellikleri çalışmada kullanılmıştır (Tablo 4.16, Tablo 4.17, Tablo 4.18 ve Tablo 4.19). İlgili tablolardan görüldüğü üzere, ortalama olarak bakıldığında satış fiyatı ve yük taşıma kapasitesi en yüksek olan araç tipinin 5 akslı yarı römork tipinde araç olduğu, en düşüğünün ise 2 akslı kamyon olduğu görülmektedir.

Tablo 4.16: 2 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık-18.000 kg).

Araç Tipi (2 akslı-4x2)/Marka	Satış Fiyatı Tarihi	Satış Fiyatı (₺)	Satış Fiyatı* ($)	Yük Kapasitesi (kg)	Boş Ağırlık (kg)
BMC Kamyon Tgr 1829	31.08.2019	473.709,00	81.393,30	11.302	6698
FORD Kamyon 1842	04.12.2019	532.445,00	92.760,45	10.380	7620
FORD Kamyon 1833 Dc	04.12.2019	477.900,00	83.257,84	10.950	7050
Ortalama		**494.684,67**	**85.803,86**	**10.877**	**7.122,66**

Tablo 4.17: 3 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık- 25.000 kg).

Araç Tipi (3 akslı-6x2)/Marka	Satış Fiyatı Tarihi	Satış Fiyatı (₺)	Satış Fiyatı* ($)	Yük Kapasitesi (kg)	Boş Ağırlık (kg)
BMC Kamyon Tgr 2532	31.08.2019	540.000,00	92.783,51	16.850	8.150
FORD Kamyon 2542 Hr	04.12.2019	529.080,00	92.174,22	15.775	9.225
FORD Kamyon 2533 Hr	04.12.2019	505.440,00	88.055,75	17.056	7.944
FORD Kamyon 2642 Hr	04.12.2019	599.205,00	104.391,11	16.870	9.130
MERCEDES Kamyon 26232	31.12.2019	549.727,00	92.391,09	16.650	8.350
Ortalama		**544.690,40**	**93.959,14**	**16.640,2**	**8.559,8**

Tablo 4.18: 4 akslı kamyonlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü ağırlık-32.000 kg).

Araç Tipi (4 akslı-8x2) / Marka	Satış Fiyatı Tarihi	Satış Fiyatı (₺)	Satış Fiyatı* ($)	Yük Kapasitesi (kg)	Boş Ağırlık (kg)
BMC Kamyon Tgr 3232	31.08.2019	550.250,00	94.544,67	22.445	9.555
FORD Kamyon 3233S Hr	04.12.2019	537.680,00	93.672,40	22.195	9.805
MERCEDES Kamyon Actros 3232 L	31.12.2019	649.688,00	109.191,26	22.500	9.500
MERCEDES Kamyon Actros 3242 L	31.12.2019	722.737,00	121.468,40	21.950	10.050
Ortalama		**615.088,75**	**104.719,20**	**22.272,5**	**9.727,5**

Tablo 4.19: 5 akslı yarı römorklu (2 akslı çekici+3 akslı römork) araçlar için satış fiyatı ve teknik özellikler (azami yüklü katar ağırlığı 40.000 kg).

Araç Tipi (2 akslı çekici) / Marka	Satış Fiyatı Tarihi	Satış Fiyatı (₺)	Satış Fiyatı* ($)	Yük Kapasitesi (kg)	Boş Ağırlık (kg)
BMC Çekici 1846 4x2	31.08.2019	656.188,00	112.747,08	-	7.678
FORD Çekici FMAX 4x2	04.12.2019	729.680,00	127.121,95	-	7.553
FORD Çekici 1848T 4x2	04.12.2019	660.240,00	115.024,39	-	7.666
MERCEDES Actros Çekici 1842 4x2	31.12.2019	723.848,00	121.635,13	-	7.635
MERCEDES Actros Çekici 1845 LS 4x2	31.12.2019	780.318,00	131.145,88	-	8.050
Ortalama		**710.054,80**	**121.538,89**	**-**	**7.716,4**
Araç tipi (3 akslı römork)	**Satış Fiyatı Tarihi**	**Satış Fiyatı (₺)**	**Satış Fiyatı* ($)**	**Yük Kapasitesi (kg)**	**Boş Ağırlık (kg)**
3 akslı römork	31.12.2019	**91.000,00**	**15.268,45**	**26.433,6**	**5.850**

*Satış fiyatının dolara dönüştürülmesinde ilgili tarihteki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası döviz kuru esas alınmıştır.

4.4. ORMAN ÜRÜNLERİ NAKLİYAT SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI

Orman ürünleri nakliyat senaryolarında taşınacak orman ürünü miktarları, ağaç türü açısından ibreli ve yapraklı olarak iki gruba ayrılmıştır. İbreli ve yapraklı ağaç türlerinin belirlenmesinde çalışma alanındaki ağaç türleri ve odun hammaddesi üretim miktarları dikkate alınmıştır (Tablo 3.2). Buna uygun olarak, ibreli ağaç grubunda, ağaç türleri olarak "*Pinus nigra* (Karaçam)" ve "*Pinus brutia* (Kızılçam)" türleri seçilirken, yapraklı ağaç grubunda ise ağaç türleri olarak "*Quercus robur*/*Qurceus patrea* (Saplı Meşe/Sapsız Meşe)" ve "*Fagus orientalis* (Doğu Kayını)" seçilmiştir. Daha sonra ise her bir ağaç türünün "*tam kuru yoğunluk"* değerinden yararlanarak "*hacim ağırlık*" değerleri elde edilmiştir. Hacim ağırlığı değerlerinin elde edilmesinde Denklem 4.10 kullanılmıştır.

$$R = \frac{D_0}{1+0{,}28D_0} \text{ (Bozkurt ve Erdin, 2011)} \qquad (4.10)$$

R = Hacim ağırlığı (g/cm^3)

D_0 = Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)

Elde edilen hacim ağırlık değerleri Tablo 4.20'de verilmiştir. İlgili sonuçlar değerlendirildiğinde ortalama olarak ibreli türlerin 457 kg/m^3, yapraklı türlerin ise 527,5 kg/m^3 değere sahip olduğu görülmektedir. İbreli ve yapraklı ağaç türlerindeki rutubet oranları da göz önüne alınarak ibreli ve yapraklı ağaç türleri için rutubet dahil ağırlık değerleri ise Tablo 4.21'de verilmiştir. Rutubet dahil ağırlıkların bulunmasında ise Denklem 4.11 kullanılmıştır. Rutubet miktarları ibreli ağaç grubu için %35, yapraklı ağaç grubu için %87 olarak alınmıştır (Bozkurt ve Erdin, 2011). Elde edilen sonuçlara göre ortalama olarak yapraklıların ibrelilere göre daha ağır oldukları görülmüştür (Tablo 4.21).

Tablo 4.20: İbreli ve yapraklı ağaç türlerinin tam kuru yoğunlukları ve hacim ağırlık değerleri.

İbreli türler	**Tam Kuru Yoğunluk (g/cm^3)**	**Hacim Ağırlık Değeri (g/cm^3)**	**Hacim Ağırlık Değeri (kg/m^3)**	**Yapraklı türler**	**Tam Kuru Yoğunluk (g/cm^3)**	**Hacim Ağırlık Değeri (g/cm^3)**	**Hacim Ağırlık Değeri (kg/m^3)**
Pinus brutia (Kızılçam)	0,53	0,461	461	*Fagus orientalis* (Doğu Kayını)	0,59	0,506	506
*Pinus nigra (*Karaçam)	0,52	0,453	453	*Quercus robur*/ *Qurceus patrea* (Saplı Meşe/ Sapsız Meşe)	0,65	0,549	549
Ortalama			457	**Ortalama**			527,5

Ağırlık = Hacim x Hacim ağırlık x (1+Rutubet miktarı yüzdesi/100) (4.11)

Tablo 4.21: İbreli ve yapraklı ağaçların rutubet dahil hacim ağırlık değerleri.

Ağaç Grubu	Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Rutubet Dahil Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Ağaç Grubu	Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Rutubet Dahil Hacim Ağırlık (kg/m^3)
İbreli türler (Ortalama)	457	616,95	Yapraklı türler (Ortalama)	527,5	986,42

Çalışma alanımızdaki zaman etüdlerindeki orman ürünleri nakliyatlarındaki taşıma mesafeleri ve yol boyuna eğimi değerleri (çıkış eğimi ve iniş eğimi) belirlenen nakliyat senaryolarında dikkate alınmıştır. Buna uygun olarak, nakliyat senaryolarında taşıma mesafeleri 150 km, 200 km, 250 km ve 300 km olarak belirlenirken, boyuna eğim değerleri ise ortalama olarak %4 iniş eğimi ve %4 çıkış eğimi olarak belirlenmiştir. Taşınacak orman ürünü türünün tomruk olduğu varsayılmıştır. Maksimum hız sınırı olarak ise kamyon ve çekici araçlar için Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından belirlenen azami üst hız sınırı olan 90 km/saat tercih edilmiştir (URL-16). Araçların yük kapasitelerinin belirlenmesinde ise yasal olarak belirtilen azami yüklü ağırlıklar göz önüne alınmıştır. İlgili orman ürünleri nakliyat senaryoları ibreli ve yapraklı ağaç grubu için sırasıyla Tablo 4.22 ve Tablo 4.23'te verilmiştir. İbreliler ve yapraklılar için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerine ilişkin gerekli araç adetleri ve araç alternatiflerinin nakliyat senaryosu boyunca oluşturdukları toplam ağırlıklar (yüklü+yüksüz) ise sırasıyla Tablo 4.24 ve Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.24'te görüldüğü üzere ibreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında gerekli araç adetleri araçların yük kapasite değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, ilk dört senaryoda gerekli araç adedinin en yüksek olduğu araç tipinin 2 akslı kamyon (3 adet), en düşük olduğu araç tiplerinin ise birbirine eşit olan 3 akslı kamyon (2 adet), 4 akslı kamyon (2 adet) ve 5 akslı yarı römorklu araç (2 adet) şeklinde olduğu görülmüştür. Sonraki dört nakliyat senaryosunda ise gerekli araç adedinin en yüksek olduğu araç tipinin 2 akslı kamyon (6 adet), en düşük olduğu araç tipinin ise birbirine eşit olan 4 akslı kamyon (3 adet) ve 5 akslı yarı römorklu (3 adet) araç şeklinde olduğu görülmüştür. Son olarak diğer nakliyat senaryolarında ise gerekli araç adedinin en yüksek olduğu araç tipinin 2 akslı kamyon (9 adet-12 adet) en düşük olduğu araç tipinin ise 5 akslı yarı römorklu araç (4 adet-5 adet) şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.22: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları.

SENARYO NO (İBRELİLER)	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Orman Ürünü Miktarı (m^3-kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş ve Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,50 kg)	150	4-4	90
2			200	4-4	90
3			250	4-4	90
4			300	4-4	90
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4-4	90
6			200	4-4	90
7			250	4-4	90
8			300	4-4	90
9		150 m^3 (92.542,50 kg)	150	4-4	90
10			200	4-4	90
11			250	4-4	90
12			300	4-4	90
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	4-4	90
14			200	4-4	90
15			250	4-4	90
16			300	4-4	90

Tablo 4.23: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları.

SENARYO NO (YAPRAKLILAR)	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Orman Ürünü Miktarı (m^3-kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş ve Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 kg)	150	4-4	90
2			200	4-4	90
3			250	4-4	90
4			300	4-4	90
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	4-4	90
6			200	4-4	90
7			250	4-4	90
8			300	4-4	90
9		150 m^3 (147.963,75 kg)	150	4-4	90
10			200	4-4	90
11			250	4-4	90
12			300	4-4	90
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4-4	90
14			200	4-4	90
15			250	4-4	90
16			300	4-4	90

Tablo 4.24: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerine ilişkin özellikler.

SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)		**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)		**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)		**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı)+ Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)	
	Gerekli Araç Adedi (filo)	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**
1	3	73.584,14	2	65.086,7	2	69.757,5	2	85.112,3
2	3	73.584,14	2	65.086,7	2	69.757,5	2	85.112,3
3	3	73.584,14	2	65.086,7	2	69.757,5	2	85.112,3
4	3	73.584,14	2	65.086,7	2	69.757,5	2	85.112,3
5	6	147.168,62	4	130.173,4	3	120.060	3	143.092,2
6	6	147.168,62	4	130.173,4	3	120.060	3	143.092,2
7	6	147.168,62	4	130.173,4	3	120.060	3	143.092,2
8	6	147.168,62	4	130.173,4	3	120.060	3	143.092,2
9	9	220.753,10	6	195.260,1	5	189.817,5	4	201.072,1
10	9	220.753,10	6	195.260,1	5	189.817,5	4	201.072,1
11	9	220.753,10	6	195.260,1	5	189.817,5	4	201.072,1
12	9	220.753,10	6	195.260,1	5	189.817,5	4	201.072,1
13	12	294.337,58	8	260.346,8	6	240.120	5	259.052
14	12	294.337,58	8	260.346,8	6	240.120	5	259.052
15	12	294.337,58	8	260.346,8	6	240.120	5	259.052
16	12	294.337,58	8	260.346,8	6	240.120	5	259.052

Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları gerekli araç adedi açısından araç tipi alternatifleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde ise, ilk dört nakliyat senaryosunda gerekli araç adedinin en yüksek olduğu araç tipinin 2 akslı kamyon (5 adet) en düşük olduğu araç tipinin ise birbirine eşit olan 4 akslı kamyon (2 adet) ve 5 akslı yarı römorklu araç (2 adet) olduğu görülmektedir. Diğer nakliyat senaryolarında ise, gerekli araç adedinin en yüksek olduğu araç tipinin 2 akslı kamyon (9 adet-14 adet-19 adet), en düşüğünün ise 5 akslı yarı römorklu araç (4 adet-6 adet-8 adet) olduğu görülmüştür (Tablo 4.25).

Tablo 4.25: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerine ilişkin özellikler.

SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)		**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)		**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)		**5 akslı yarı römorklu araç [(Çekici (2 akslı)+ Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)	
	Gerekli Araç Adedi (filo)	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**	**Gerekli Araç Adedi (filo)**	**Yüklü+ Yüksüz Ağırlık (kg)**
1	5	120.549,21	3	100.679,4	2	107.686,25	2	103.586,05
2	5	120.549,21	3	100.679,4	2	107.686,25	2	103.586,05
3	5	120.549,21	3	100.679,4	2	107.686,25	2	103.586,05
4	5	120.549,21	3	100.679,4	2	107.686,25	2	103.586,05
5	9	226.103,94	6	201.358,8	5	195.917,5	4	207.172,1
6	9	226.103,94	6	201.358,8	5	195.917,5	4	207.172,1
7	9	226.103,94	6	201.358,8	5	195.917,5	4	207.172,1
8	9	226.103,94	6	201.358,8	5	195.917,5	4	207.172,1
9	14	347.402,65	9	302.038,2	7	284.148,75	6	310.758,15
10	14	347.402,65	9	302.038,2	7	284.148,75	6	310.758,15
11	14	347.402,65	9	302.038,2	7	284.148,75	6	310.758,15
12	14	347.402,65	9	302.038,2	7	284.148,75	6	310.758,15
13	19	467.952,20	12	402.717,6	9	372.380	8	414.344,2
14	19	467.952,20	12	402.717,6	9	372.380	8	414.344,2
15	19	467.952,20	12	402.717,6	9	372.380	8	414.344,2
16	19	467.952,20	12	402.717,6	9	372.380	8	414.344,2

4.4.1. Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Operasyonel Performans Hesapları

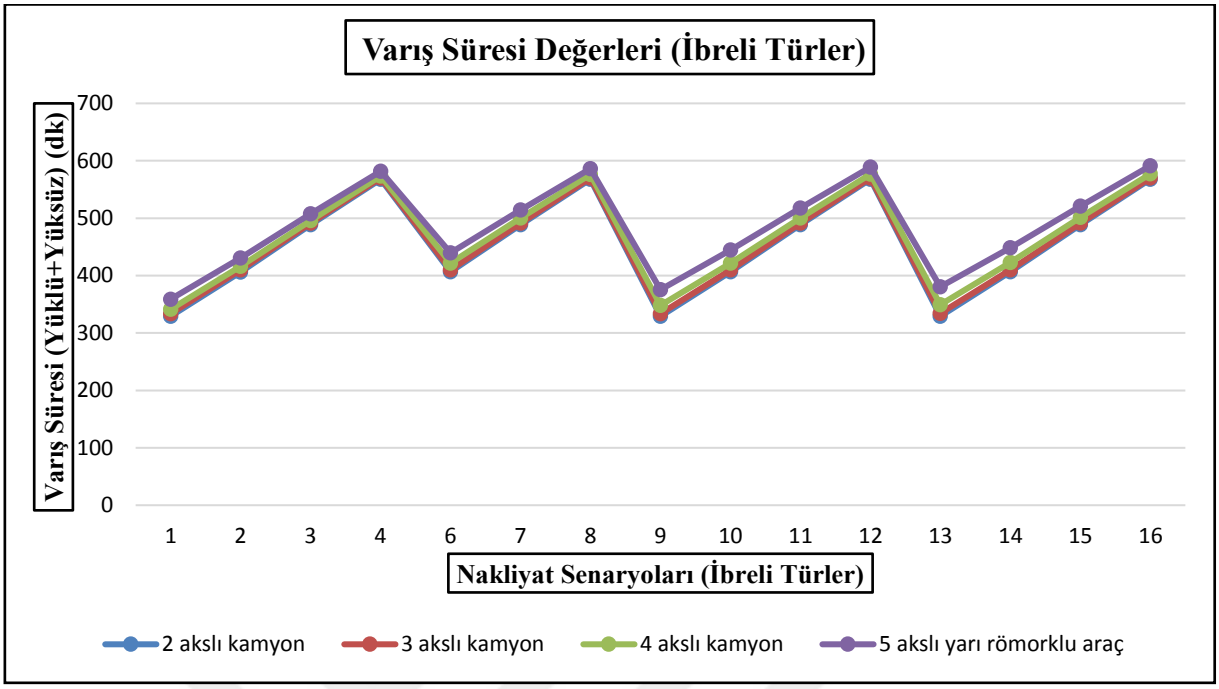
Varış süresi ve yakıt tüketimi değerleri ANFIS tabanlı tahmin modellerinden yararlanarak elde edilmiştir. Nakliyat senaryoları genel olarak değerlendirildiğinde, yapraklı türler açısından oluşturulan nakliyat senaryolarında araç tiplerinin ibreli türler açısından oluşturulan nakliyat senaryolarına göre yakıt tüketimi ve varış süresi açısından daha yüksek değere sahip olduğu söylenilebilir.

İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında filo halindeki araçların toplam yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında ilk dört senaryoda 2 akslı kamyonun yakıt tüketiminin diğer araç tiplerinden daha fazla olduğu, diğer alternatif araç tiplerinin ise birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Sonraki dört nakliyat senaryosunda ise en yüksek yakıt tüketimi değerine sahip olan araç tipinin 2 akslı kamyon olduğu, bunu ise 3 akslı kamyonun takip ettiği

görülmektedir. Diğer araç tiplerinin ise birbirine yakın değerlere sahip olup, daha düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer ibreli türlere ait nakliyat senaryolarında ise, sıralamanın büyükten küçüğe doğru 2 akslı kamyon, 3 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 5 akslı yarı römorklu araç şeklinde olduğu görülmektedir (Tablo 4.26, Şekil 4.13).

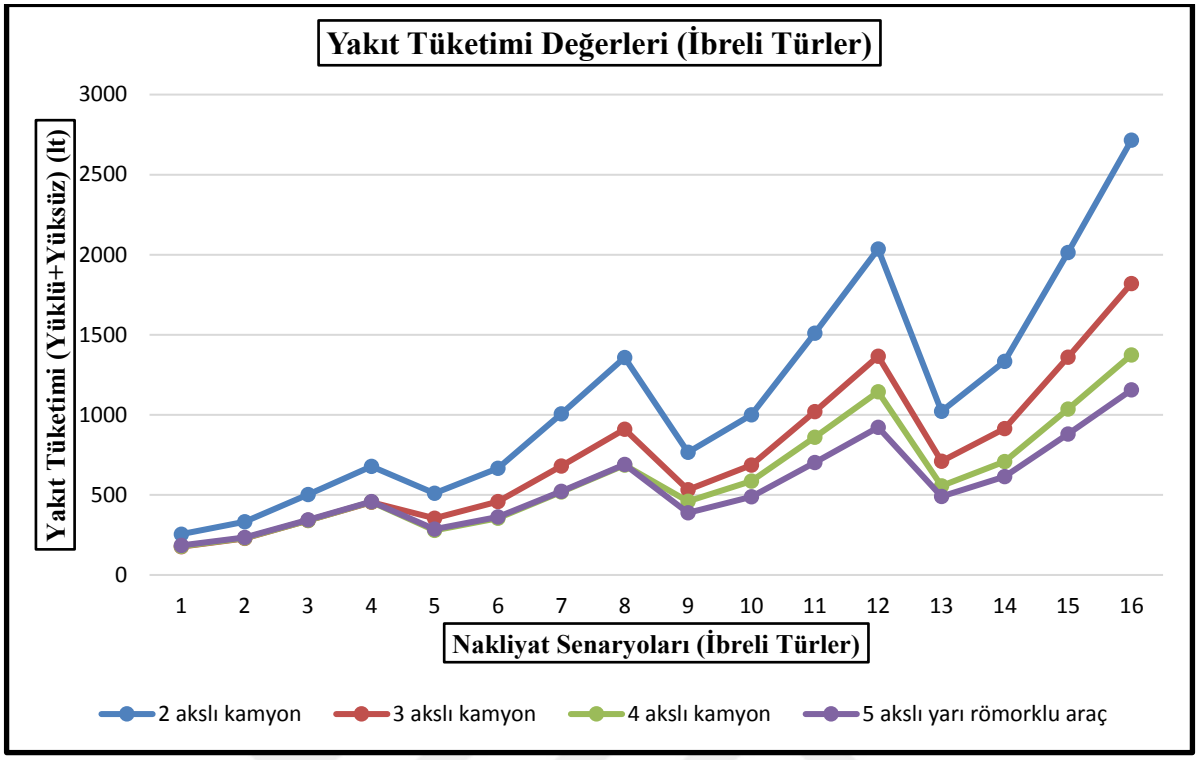
Tablo 4.26: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin ortalama varış süreleri ve yakıt tüketimi değerleri.

SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**
1	3	254,92	329,30	2	177,03	333,57	2	179,18	341,25	2	184,59	358,89
2	3	333,15	406,36	2	228,36	409,89	2	230,25	416,23	2	235,03	430,78
3	3	502,93	488,47	2	339,75	491,20	2	341,10	496,10	2	344,51	507,37
4	3	678,56	567,94	2	454,98	569,90	2	455,77	573,42	2	457,77	581,51
5	6	510,50	329,33	4	354,84	333,72	3	278,01	347,74	3	286,72	369,32
6	6	666,86	406,39	4	457,40	410,01	3	353,54	421,59	3	361,23	439,41
7	6	1.006,27	488,48	4	679,998	491,29	3	517,48	500,25	3	522,97	514,07
8	6	1.357,36	567,95	4	910,260	569,97	3	687,07	576,40	3	690,28	586,35
9	9	766,06	329,35	6	532,10	333,84	5	459,71	347,95	4	388,65	375,36
10	9	1.000,58	406,41	6	685,955	410,12	5	586,01	421,76	4	487,26	444,37
11	9	1.509,60	488,50	6	1.019,89	491,37	5	860,17	500,38	4	701,30	517,90
12	9	2.036,16	567,97	6	1.365,32	570,03	5	1.143,77	576,50	4	922,71	589,07
13	12	1.021,63	329,37	8	709,386	333,95	6	556,47	349,28	5	490,94	380,31
14	12	1.334,29	406,42	8	914,528	410,21	6	707,48	422,86	5	613,60	448,46
15	12	2.012,94	488,51	8	1.359,79	491,44	6	1.035,25	501,24	5	879,86	521,06
16	12	2.714,96	567,97	8	1.820,40	570,08	6	1.374,31	577,11	5	1.155,28	591,34



Şekil 4.12: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin varış süresi değerleri.

Varış süreleri değerlendirildiğinde ise ibreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç tiplerinin filo olarak ortalama varış sürelerinin birbirine yakın olmakla beraber sıralamanın büyükten küçüğe doğru, 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.26, Şekil 4.12).

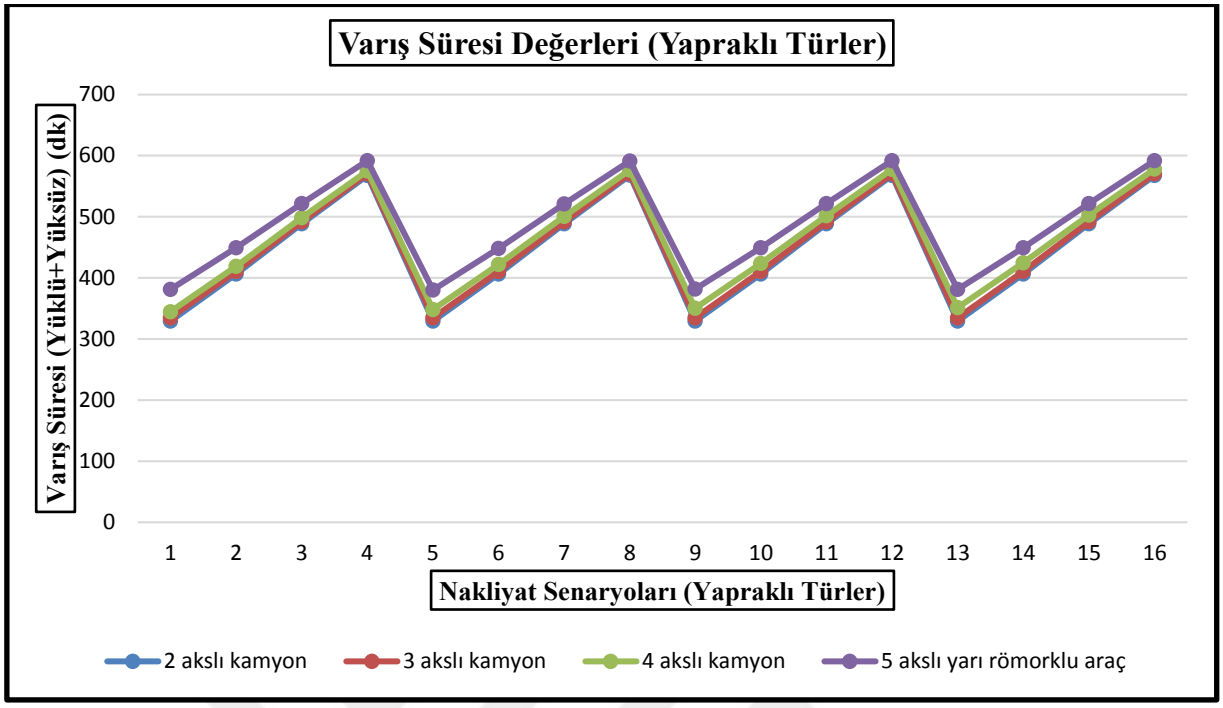


Şekil 4.13: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yakıt tüketimi değerleri.

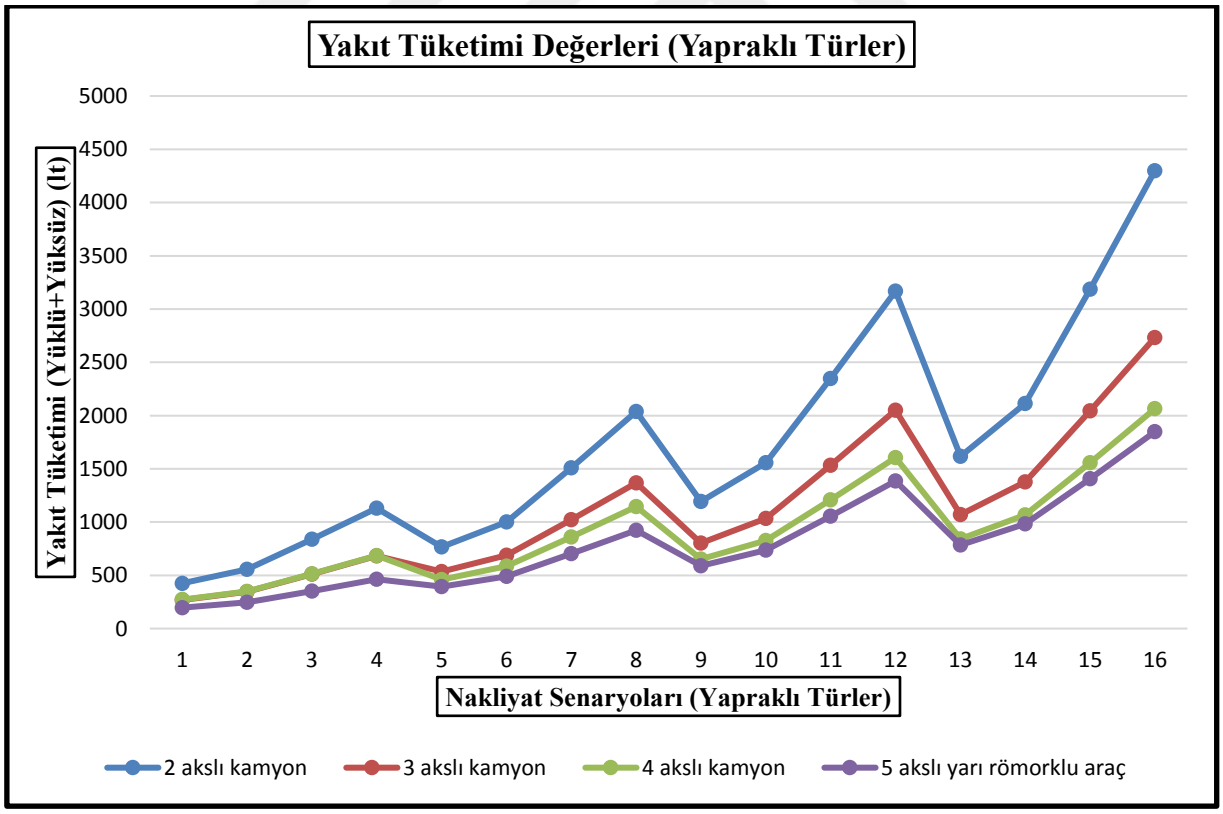
Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarına ilişkin araç tipi alternatiflerinin yakıt tüketimleri genel olarak değerlendirildiğinde ise, araç yakıt tüketiminin en fazla 2 akslı kamyonda olduğu, bunu sırasıyla 3 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 5 akslı yarı römorklu aracın takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.27, Şekil 4.15). Varış süreleri değerlendirildiğinde ise yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç tiplerinin varış sürelerinin birbirine yakın olmakla beraber sıralamanın büyükten küçüğe doğru 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmektedir (Tablo 4.27, Şekil 4.14).

Tablo 4.27: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında kullanılabilecek araç alternatiflerinin ortalama varış süreleri ve yakıt tüketimi değerleri.

SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Yakıt Tüketimi (lt) (Yüklü+ Yüksüz)**	**Ortalama Varış Süresi (dk) (Yüklü+ Yüksüz)**
1	5	425,3	329,25	3	267,78	334,63	3	272,13	344,77	2	196,27	381,06
2	5	555,63	406,33	3	344,50	410,77	3	348,34	419,13	2	245,35	449,08
3	5	838,49	488,44	3	511,03	491,88	3	513,77	498,35	2	351,88	521,54
4	5	1.131,09	567,92	3	683,30	570,39	3	684,90	575,04	2	462,07	591,68
5	9	766,69	329,48	6	535,56	334,63	5	461,20	348,28	4	392,65	380,23
6	9	1.001,14	406,52	6	689,01	410,77	5	587,33	422,03	4	490,80	448,39
7	9	1.510,00	488,58	6	1.022,07	491,88	5	861,11	500,59	4	703,83	521,01
8	9	2.036,39	568,02	6	1.366,60	570,39	5	1.144,3	576,65	4	924,19	591,30
9	14	1.192,01	329,40	9	803,35	334,63	7	651,47	350,08	6	589,13	381,58
10	14	1.556,77	406,45	9	1.033,51	410,77	7	827,39	423,51	6	736,33	449,51
11	14	2.348,50	488,54	9	1.533,11	491,88	7	1.209,2	501,74	6	1.055,8	521,87
12	14	3.167,49	567,99	9	2.049,90	570,39	7	1.604,1	577,47	6	1386,3	591,92
13	19	1.617,95	329,41	12	1.071,13	334,64	9	842,00	351,61	8	785,69	381,45
14	19	2.112,96	406,46	12	1.378,02	410,77	9	1.067,66	424,78	8	981,94	449,40
15	19	3.187,39	488,54	12	2.044,14	491,88	9	1.557,47	502,73	8	1.407,90	521,79
16	19	4.298,82	567,99	12	2.733,20	570,39	9	2.064,15	578,18	8	1.848,53	591,86



Şekil 4.14: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin varış süresi değerleri.



Şekil 4.15: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yakıt tüketimi değerleri.

4.4.2.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araçların Maliyet Hesapları

Nakliyat senaryoları ve araç tipleri alternatifleri dikkate alınarak ana kriterlerden birisi olan maliyete ilişkin hesaplamalar yapılmıştır. Maliyet hesaplamaları "*sabit maliyetler*", "*değişken maliyetler*" ve "*birim maliyetler*" olmak üzere üç ana bölümde yapılmıştır. Birim maliyet değeri, iş maliyetini de kapsadığı için ayrıca bir maliyet alt kriteri olarak çalışmada dikkate alınmamıştır. İlgili maliyet hesapları Miyata (1980) ve Session (1986)'da belirtilen yaklaşımlara göre yapılmıştır. Sabit maliyetler ve değişken maliyetlerin saatlik olarak hesaplanmasında "*programlanmış makine saati (scheduled machine hour)*" 2000 saat olarak alınmıştır. Makine kullanım oranı (utilization rate) ise %85 olarak varsayılmıştır. Dolayısıyla "*prodüktif makine saati (productive machine hour)*" ise makine kullanım oranından 1700 saat olarak bulunmuş ve ilgili hesaplamalarda kullanılmıştır.

4.4.2.1. Sabit Maliyetlerin Hesaplanması

Sabit maliyetlerin hesaplanmasında, "*amortisman masrafı*", "*faiz masrafı*", "*sigorta masrafı*" ve "*vergi masrafı*" hesapları yapılmıştır. İlgili hesaplamalarda Denklem 4.12 ve 4.13'ten yararlanılmıştır.

Amortisman Hesabı

$$D = \frac{S-H}{N} \qquad (4.12)$$

D = Amortisman ($)

S = Başlangıçtaki yatırım maliyeti ($)

H = Hurda değeri ($)

N = Ekonomik yıl

Hurda değeri hurda oranı ile satın alma fiyatının çarpılması ile bulunmaktadır.

DR= 1/N

DR= Yıl başına amortisman oranı

Sabit maliyetlerin hesaplanmasında araç ekonomik yılı olarak Hazine ve Maliye Bakanlığı Gelir İdaresi Başkanlığı tarafından ağır yük kamyonları ve çekici sınıfı araçlar için belirlenen ekonomik süre (faydalı ömür) olan **5 yıl** değeri kullanılmıştır (URL-17). Buradan

yıl başına düşen amortisman oranının %20 olarak elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle hurda değeri, donanımın başlangıçtaki yatırım maliyetinin %20'si alınarak hesaplanmıştır.

Faiz, sigorta ve vergi masraflarının hesaplanmasında ise öncelikle "*yıllık ortalama yatırım maliyeti"* Denklem 4.13 yardımıyla bulunmuştur.

$$YYort = \frac{((S-H)(N+1))}{2N}+H \quad (4.13)$$

YYort = Yıllık ortalama yatırım maliyeti ($)

S = Başlangıçtaki yatırım maliyeti ($)

H = Hurda değeri ($)

N = Ekonomik yıl

Yıllık ortalama yatırım maliyeti hesaplandıktan sonra Miyata (1980)'de belirtilen yaklaşıma göre, ***yıllık ortalama yatırım maliyetinin, %14,75'i alınarak faiz hesabı, %3'ü alınarak sigorta masrafı ve %3'ü alınarak vergi masrafı*** ilgili araç tipleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sabit maliyet türlerinden biri olan faiz hesaplamasında kullanılan faiz oranının belirlenmesinde 2018, 2019 ve 2020 yıllarındaki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankasının faiz oranının ortalaması olan %14,75 değeri kullanılmıştır (URL-18). Araç tipi alternatiflerinin sabit maliyet değerleri Tablo 4.28 ve Tablo 4.29'da verilirken, ibreli türler ve yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarındaki gerekli olan araç adetleri (filo) için hesaplanan sabit maliyetler ise sırasıyla Tablo 4.30 ve Tablo 4.31'de verilmiştir. Araç tipi alternatiflerinin sabit maliyetleri bireysel olarak değerlendirildiğinde, en yüksek sabit maliyetin 5 akslı yarı römork tipindeki aracın olduğu diğerlerinin ise sırasıyla 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.28: Araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri.

	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
	2 akslı kamyon (4x2)		**3 akslı** kamyon (6x2)		**4 akslı** kamyon (8x2)		**5 akslı** yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)] **Çekici (2 akslı) (römork hariç)**	
	(₺)	($)	**(₺)**	($)	**(₺)**	($)	**(₺)**	($)
Ortalama satın alma fiyatı	494.684,67	85.803,86	544.690,40	93.959,14	615.088,75	104.719,20	710.054,80	121.538,89
Ortalama yıllık yatırım maliyeti	336.385,57	58.346,63	370.389,47	63.892,21	418.260,35	71.209,06	482.837,26	82.646,44
Ortalama yıllık yatırım maliyeti (saatlik)	197,87	34,32	217,87	37,58	246,03	41,88	284,02	48,61
SABİT MALİYETLER								
a)Amortisman (yıllık)	79.149,55	13.728,62	87.150,46	15.033,46	98.414,20	16.755,07	113.608,77	19.446,22
a)Amortisman (saatlik)	**46,56**	**8,08**	**51,26**	**8,84**	**57,89**	**9,85**	**66,82**	**11,43**
b) Faiz (yıllık)	49.616,87	8.606,13	54.632,45	9.424,10	61.093,40	10.503,34	71.218,50	12.190,35
b) Faiz (saatlik)	**29,19**	**5,06**	**32,13**	**5,54**	**36,29**	**6,17**	**41,89**	**7,17**
c) Sigorta (yıllık)	10.091,57	1.750,40	11.111,68	1.916,77	12.547,81	2.136,27	14.485,12	2.479,39
c) Sigorta (saatlik)	**5,94**	**1,03**	**6,53**	**1,12**	**7,38**	**1,25**	**8,52**	**1,45**
d) Vergi (yıllık)	10.091,57	1.750,40	11.111,68	1.916,77	12.547,81	2.136,27	14.485,12	2.479,39
d) Vergi (saatlik)	**5,94**	**1,03**	**6,53**	**1,12**	**7,38**	**1,25**	**8,52**	**1,45**
Toplam sabit maliyet (saatlik) (a+b+c+d) ($)		**15,19**		**16,64**		**18,54**		**21,52**

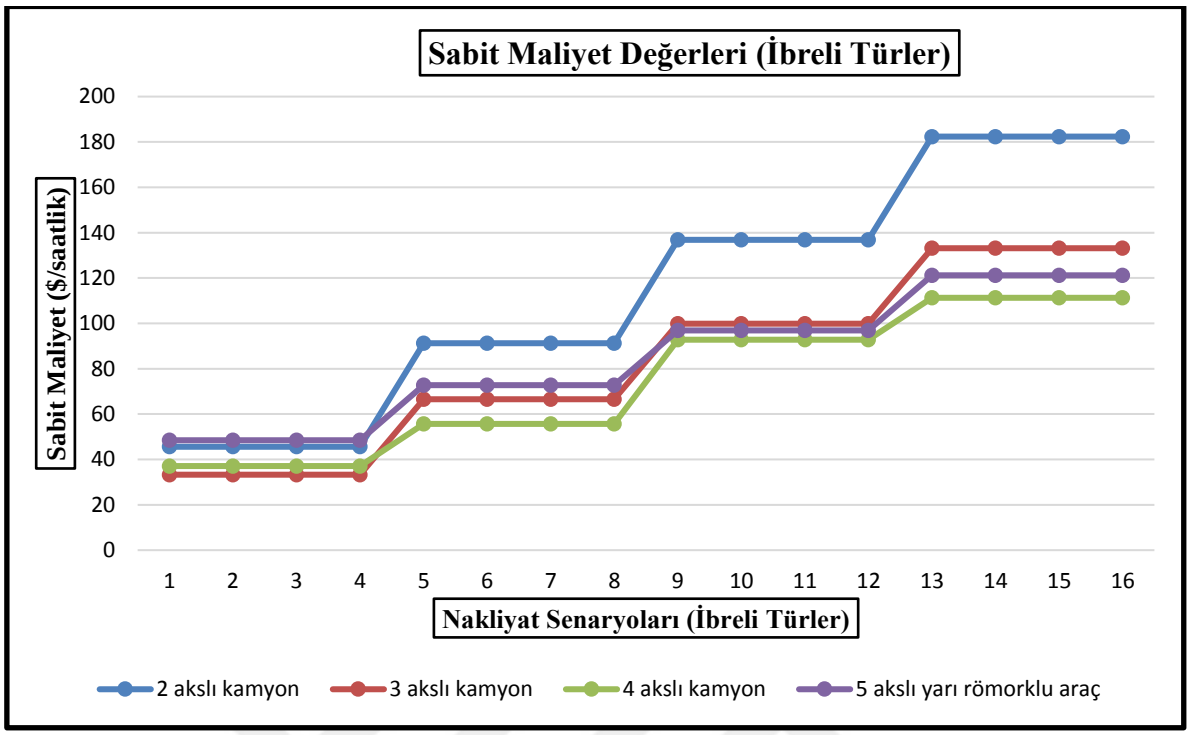
Tablo 4.29: 3 akslı römork için sabit maliyet değerleri.

3 akslı römork		
	(₺)	**($)**
Satın alma fiyatı	91.000,00	15.268,45
Ortalama yıllık yatırım maliyeti	61.880,00	10.382,55
Ortalama yıllık yatırım maliyeti (saatlik)	**36,4**	**6,11**
SABİT MALİYETLER		
a) Amortisman (yıllık)	14.560,00	2.2442,95
a) Amortisman (saatlik)	**8,56**	**1,44**
b) Faiz (yıllık)	9.127,3	1.534
b) Faiz (saatlik)	**5,36**	**0,90**
c) Sigorta (yıllık)	1.856,40	312
c) Sigorta (saatlik)	**1,09**	**0,18**
d) Vergi (yıllık)	1.856,40	312
d) Vergi (saatlik)	**1,09**	**0,18**
Toplam sabit maliyet (saatlik) ($) (a + b + c + d)		**2,71**

İbreli türlere ilişkin nakliyat senaryoları için ilk dört senaryoda en yüksek sabit maliyetli araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu bunu sırasıyla 2 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 3 akslı kamyonun izlediği görülmektedir. Sonraki nakliyat senaryolarında ise en yüksek sabit maliyetli araç tipinin 2 akslı kamyon olduğu en düşük sabit maliyetli araç tipinin ise 4 akslı kamyon olduğu görülürken, diğer araç alternatifleri nakliyat senaryolarındaki taşınacak ürün miktarına göre değişkenlik göstermektedir (Tablo 4.30, Şekil 4.16).

Tablo 4.30: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyetleri.

SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(15,19$)**		**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(16,64$)**		**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(18,54$)**		**5 akslı yarı römorklu araç [(Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(24,23$)**	
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**
1	3	45,59	2	33,28	2	37,09	2	48,47
2	3	45,59	2	33,28	2	37,09	2	48,47
3	3	45,59	2	33,28	2	37,09	2	48,47
4	3	45,59	2	33,28	2	37,09	2	48,47
5	6	91,18	4	66,56	3	55,64	3	72,71
6	6	91,18	4	66,56	3	55,64	3	72,71
7	6	91,18	4	66,56	3	55,64	3	72,71
8	6	91,18	4	66,56	3	55,64	3	72,71
9	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
10	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
11	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
12	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
13	12	182,36	8	133,13	6	111,28	5	121,19
14	12	182,36	8	133,13	6	111,28	5	121,19
15	12	182,36	8	133,13	6	111,28	5	121,19
16	12	182,36	8	133,13	6	111,28	5	121,19

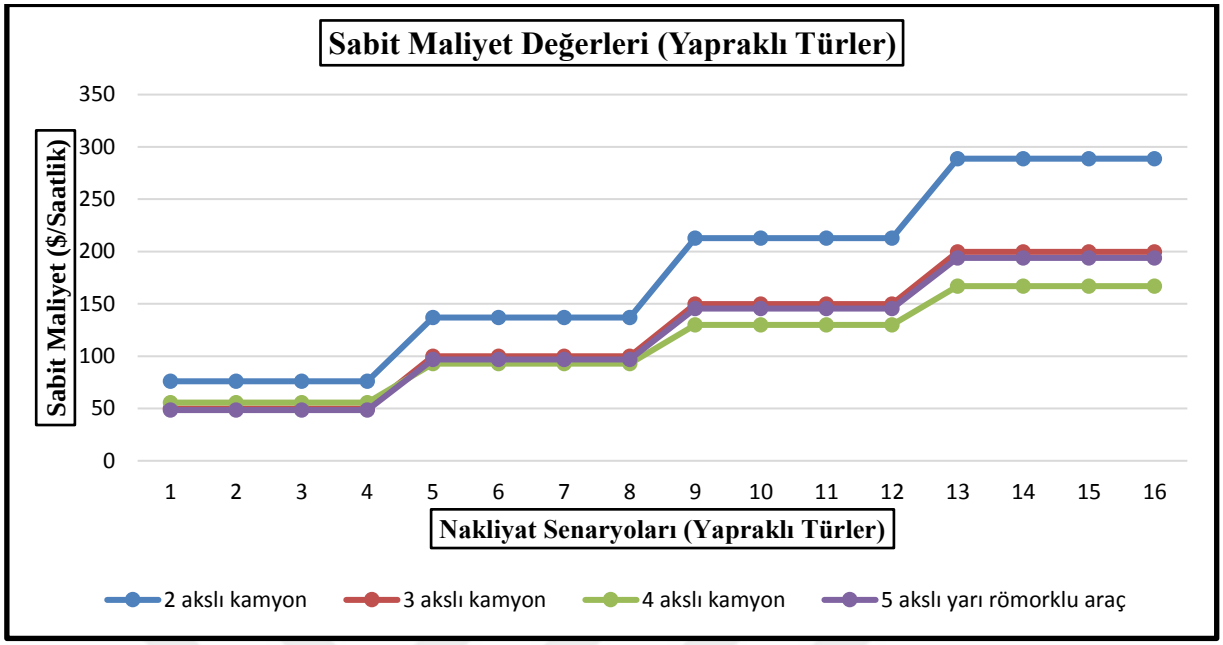


Şekil 4.16: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri.

Yapraklı türlere ilişkin tüm nakliyat senaryolarında en yüksek sabit maliyetli araç tipinin 2 akslı kamyon olduğu, diğer araç tipleri sıralama açısından değerlendirildiğinde ise, ilk dört nakliyat senaryosunda sıralamanın büyükten küçüğe doğru 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 5 akslı yarı römorklu araç şeklinde olduğu; diğer nakliyat senaryolarında ise sıralamanın ise, 3 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç ve 4 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmektedir (Tablo 4.31, Şekil 4.17).

Tablo 4.31: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyetleri.

SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(15,19$)**		**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(16,64$)**		**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(18,54$)**		**5 akslı yarı römorklu araç [(Çekici (2 akslı)+ Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg) *Sabit Maliyet Saatlik* **(24,23$)**	
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam Saatlik Sabit Maliyet ($)**
1	5	75,98	3	49,92	3	55,64	2	48,47
2	5	75,98	3	49,92	3	55,64	2	48,47
3	5	75,98	3	49,92	3	55,64	2	48,47
4	5	75,98	3	49,92	3	55,64	2	48,47
5	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
6	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
7	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
8	9	136,77	6	99,85	5	92,73	4	96,95
9	14	212,76	9	149,77	7	129,83	6	145,43
10	14	212,76	9	149,77	7	129,83	6	145,43
11	14	212,76	9	149,77	7	129,83	6	145,43
12	14	212,76	9	149,77	7	129,83	6	145,43
13	19	288,75	12	199,70	9	166,9	8	193,91
14	19	288,75	12	199,70	9	166,9	8	193,91
15	19	288,75	12	199,70	9	166,9	8	193,91
16	19	288,75	12	199,70	9	166,9	8	193,91



Şekil 4.17: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin sabit maliyet değerleri.

4.4.2.2. Değişken ve İş Maliyetlerinin Hesaplanması

Değişken ve iş maliyetlerinin hesaplanmasında Miyata (1980) ve Session (1986)'da belirtilen yaklaşımlardan yararlanılmıştır. Değişken maliyetlere ilişkin masraflar olan "*yakıt masrafı*", "*yağ masrafı*", "*tekerlek masrafı*" ve "*tamir ve bakım masrafları*" nakliyat senaryolarına göre araç alternatifleri açısından hesaplanmıştır (Tablo 4.32 ve Tablo 4.33). Yakıt masrafının hesaplanmasında 1 litre dizel yakıt fiyatı 5,78 ₺ (1,15 $) (1 Ocak 2018-2019-2020 yılları döviz kuru ortalaması esas alınmıştır) olarak alınmıştır. Yağ masrafı ise yakıt masrafının %10'u olarak alınmıştır (Session, 1986). Tekerlek masrafının bulunmasında ise Session (1986)'da belirtilen saatlik değer olan 2,40$ alınmıştır. Bakım ve tamir masrafları ise benzer şekilde Session (1986)'da saatlik olarak hesaplanan amortisman değerinin 1,5 katı olarak alınmıştır. Değişken maliyet için masraf değerleri, toplam değişken maliyetler ve iş maliyetleri ibreli türler ve yapraklı türler için sırasıyla Tablo 4.32 ve Tablo 4.33'te verilmiştir.

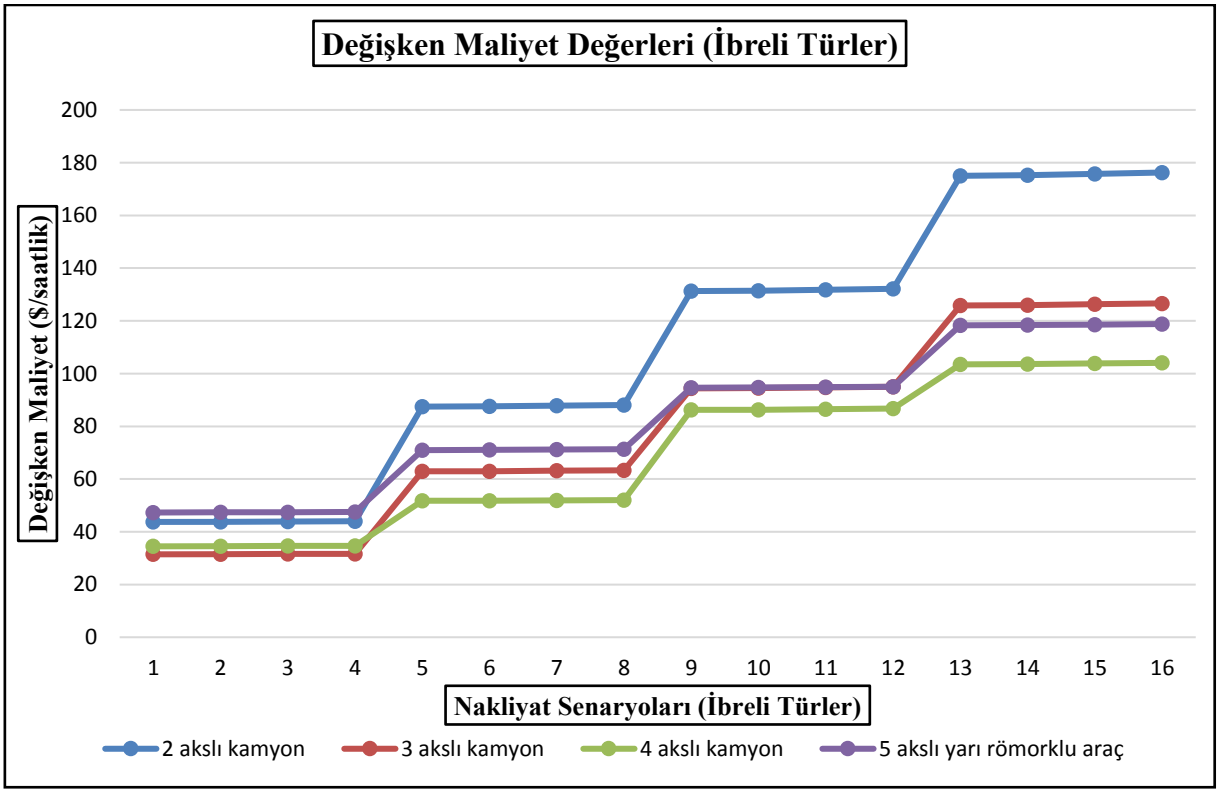
Tablo 4.32: İbreli türler için değişken maliyetlerdeki masraf değerleri, toplam değişken maliyet ve iş maliyeti değerleri.

SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ																							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)						**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)						**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)						**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)					
	Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**					
	Yakıt masrafı	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**
1	0,17	0,01	7,2	36,36	43,74	24,70	0,1	0,01	4,8	26,52	31,45	16,4	0,12	0,01	4,8	29,55	34,48	16,4	0,12	0,01	9,6	37,57	47,31	16,47
2	0,22	0,02	7,2	36,36	43,80	24,70	0,1	0,01	4,8	26,52	31,48	16,4	0,15	0,01	4,8	29,55	34,52	16,4	0,15	0,01	9,6	37,57	47,35	16,47
3	0,34	0,03	7,2	36,36	43,93	24,70	0,2	0,02	4,8	26,52	31,57	16,4	0,23	0,02	4,8	29,55	34,60	16,4	0,23	0,02	9,6	37,57	47,43	16,47
4	0,45	0,04	7,2	36,36	44,06	24,70	0,3	0,03	4,8	26,52	31,65	16,4	0,30	0,03	4,8	29,55	34,68	16,4	0,30	0,03	9,6	37,57	47,51	16,47
5	0,28	0,02	14,4	72,72	87,49	49,41	0,2	0,02	9,6	53,04	62,90	32,9	0,18	0,01	7,2	44,32	51,73	24,7	0,19	0,01	14,4	56,36	70,98	24,70
6	0,37	0,03	14,4	72,72	87,61	49,41	0,3	0,03	9,6	53,04	62,98	32,9	0,23	0,02	7,2	44,32	51,78	24,7	0,24	0,02	14,4	56,36	71,03	24,70
7	0,56	0,05	14,4	72,72	87,86	49,41	0,4	0,04	9,6	53,04	63,14	32,9	0,35	0,03	7,2	44,32	51,91	24,7	0,35	0,03	14,4	56,36	71,15	24,70
8	0,76	0,07	14,4	72,72	88,13	49,41	0,6	0,06	9,6	53,04	63,31	32,9	0,46	0,04	7,2	44,32	52,03	24,7	0,46	0,04	14,4	56,36	71,28	24,70
9	0,34	0,03	21,6	109,08	131,25	74,11	0,3	0,03	14,4	79,56	94,35	49,4	0,31	0,03	12	73,87	86,21	41,1	0,26	0,02	19,2	75,15	94,64	32,94
10	0,45	0,04	21,6	109,08	131,42	74,11	0,4	0,04	14,4	79,56	94,47	49,4	0,39	0,03	12	73,87	86,31	41,1	0,32	0,03	19,2	75,15	94,71	32,94
11	0,68	0,06	21,6	109,08	131,80	74,11	0,6	0,06	14,4	79,56	94,71	49,4	0,58	0,05	12	73,87	86,51	41,1	0,47	0,04	19,2	75,15	94,87	32,94
12	0,91	0,09	21,6	109,08	132,19	74,11	0,9	0,09	14,4	79,56	94,97	49,4	0,77	0,07	12	73,87	86,72	41,1	0,62	0,06	19,2	75,15	95,04	32,94
13	0,51	0,05	28,8	145,44	175,00	98,82	0,4	0,04	19,2	106,08	125,80	65,8	0,37	0,03	14,4	88,65	103,46	49,4	0,33	0,03	24	93,94	118,31	41,17
14	0,67	0,06	28,8	145,44	175,23	98,82	0,6	0,06	19,2	106,08	125,96	65,8	0,47	0,04	14,4	88,65	103,57	49,4	0,41	0,04	24	93,94	118,40	41,17
15	1,02	0,10	28,8	145,44	175,73	98,82	0,9	0,09	19,2	106,08	126,29	65,8	0,70	0,07	14,4	88,65	103,82	49,4	0,59	0,05	24	93,94	118,59	41,17
16	1,37	0,13	28,8	145,44	176,26	98,82	1,2	0,12	19,2	106,08	126,63	65,8	0,92	0,09	14,4	88,65	104,07	49,4	0,78	0,07	24	93,94	118,80	41,17

Tablo 4.33: Yapraklı türler için değişken maliyetlerdeki masraf değerleri, toplam değişken maliyet ve iş maliyeti değerleri.

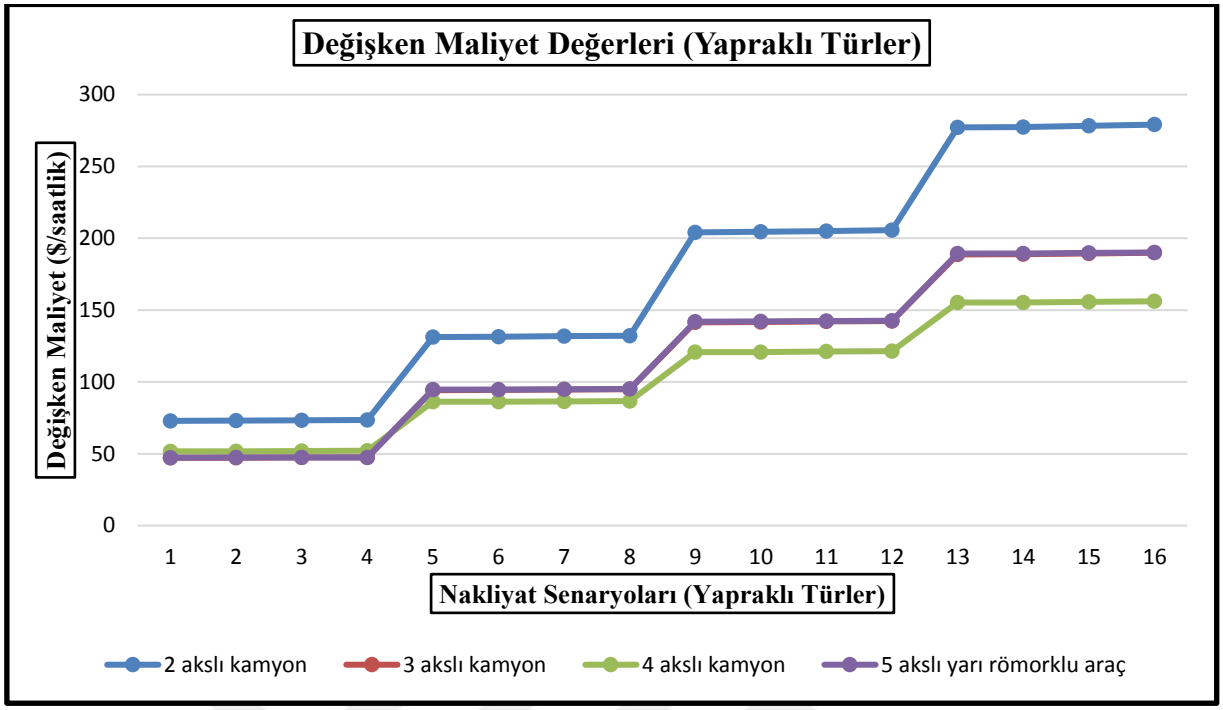
SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ																							
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)						**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)						**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)						**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)					
	Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**						**Değişken Maliyet ve İş Maliyeti (saatlik) ($)**					
	Yakıt masrafı	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**	**Yakıt masrafı**	**Yağ masrafı**	**Tekerlek Masrafı**	**Tamir ve Bakım Masrafı**	**Toplam Değişken Maliyet**	**İş Maliyeti**
1	0,28	0,02	12	60,6	72,91	41,17	0,1	0,01	7,2	39,78	47,17	24,7	0,18	0,01	7,2	44,32	51,72	24,70	0,13	0,01	9,6	37,57	47,32	16,47
2	0,37	0,03	12	60,6	73,01	41,17	0,2	0,02	7,2	39,78	47,23	24,7	0,23	0,02	7,2	44,32	51,78	24,70	0,16	0,01	9,6	37,57	47,36	16,47
3	0,56	0,05	12	60,6	73,22	41,17	0,3	0,03	7,2	39,78	47,36	24,7	0,34	0,03	7,2	44,32	51,9	24,70	0,23	0,02	9,6	37,57	47,43	16,47
4	0,76	0,07	12	60,6	73,44	41,17	0,4	0,04	7,2	39,78	47,48	24,7	0,46	0,04	7,2	44,32	52,03	24,70	0,31	0,03	9,6	37,57	47,52	16,47
5	0,51	0,05	21,6	109,0	131,2	74,11	0,3	0,03	14,4	79,56	94,35	49,4	0,31	0,03	12	73,87	86,21	41,17	0,26	0,02	19,2	75,15	94,64	32,94
6	0,67	0,06	21,6	109,0	131,4	74,11	0,4	0,04	14,4	79,56	94,47	49,4	0,39	0,03	12	73,87	86,31	41,17	0,33	0,03	19,2	75,15	94,72	32,94
7	1,02	0,10	21,6	109,0	131,8	74,11	0,6	0,06	14,4	79,56	94,72	49,4	0,58	0,05	12	73,87	86,51	41,17	0,47	0,04	19,2	75,15	94,87	32,94
8	1,37	0,13	21,6	109,0	132,1	74,11	0,9	0,09	14,4	79,56	94,97	49,4	0,77	0,07	12	73,87	86,72	41,17	0,62	0,06	19,2	75,15	95,04	32,94
9	0,80	0,08	33,6	169,6	204,1	115,2	0,5	0,05	21,6	119,34	141,53	74,1	0,44	0,04	16,8	103,42	120,7	57,64	0,39	0,03	28,8	112,73	141,97	49,41
1	1,05	0,10	33,6	169,6	204,4	115,2	0,6	0,06	21,6	119,34	141,70	74,1	0,55	0,05	16,8	103,42	120,84	57,64	0,49	0,04	28,8	112,73	142,08	49,41
1	1,58	0,15	33,6	169,6	205,0	115,2	1,0	0,10	21,6	119,34	142,08	74,1	0,81	0,08	16,8	103,42	121,12	57,64	0,71	0,07	28,8	112,73	142,31	49,41
1	2,14	0,21	33,6	169,6	205,6	115,2	1,3	0,13	21,6	119,34	142,46	74,1	1,08	0,10	16,8	103,42	121,41	57,64	0,93	0,09	28,8	112,73	142,56	49,41
1	1,09	0,10	45,6	230,2	277,0	156,4	0,7	0,07	28,8	159,12	188,71	98,8	0,56	0,05	21,6	132,97	155,2	74,11	0,53	0,05	38,4	150,31	189,29	65,88
1	1,42	0,14	45,6	230,2	277,4	156,4	0,9	0,09	28,8	159,12	188,94	98,8	0,72	0,07	21,6	132,97	155,36	74,11	0,66	0,06	38,4	150,31	189,44	65,88
1	2,15	0,21	45,6	230,2	278,2	156,4	1,3	0,13	28,8	159,12	189,44	98,8	1,05	0,10	21,6	132,97	155,73	74,11	0,95	0,09	38,4	150,31	189,75	65,88
1	2,90	0,29	45,6	230,2	279,0	156,4	1,8	0,18	28,8	159,12	189,95	98,8	1,39	0,13	21,6	132,97	156,11	74,11	1,25	0,12	38,4	150,31	190,08	65,88

İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç tiplerinin değişken maliyet değerleri değerlendirildiğinde, Tablo 4.32 ve Şekil 4.18'den görüldüğü üzere, ilk dört nakliyat senaryosunda araç değişken maliyetlerinin birbirine yakın olmakla beraber, en yüksek değişken maliyetin 5 akslı yarı römorklu araç tipinde olduğu görülmektedir. Diğer nakliyat senaryolarında ise genel olarak değişken maliyet değerlerinin araç tipleri açısından belirgin farklılık gösterdiği, 2 akslı kamyonun en fazla değişken maliyete, 4 akslı kamyonun ise en düşük değişken maliyete sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.18: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin değişken maliyet değerleri.

Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç tiplerinin değişken maliyetleri değerlendirildiğinde ise Tablo 4.33 ve Şekil 4.19'da görüldüğü üzere, belirgin bir biçimde 2 akslı kamyonun diğer araç tiplerinden daha fazla değişken maliyete sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük değişken maliyete sahip araç tipinin ise ilk dört senaryoda 5 akslı yarı römorklu araç olduğu diğer senaryolarda ise 4 akslı kamyon olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin değişken maliyet değerleri.

4.4.2.3. Birim Maliyetlerin Hesaplanması

Birim maliyetlerin hesaplanması için öncelikli olarak, oluşturulan nakliyat senaryolardaki alternatif araç tiplerinin verimlilikleri araç yük kapasiteleri ve taşınan ağaç türleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yükleme ve boşaltma süreleri olarak ise, Seçkin (1982)'de elde edilen süreler kullanılmıştır. Yükleme süresi olarak 3,71 dk/m^3, boşaltma süresi olarak da 2,59 dk/m^3 değeri alınmıştır. Verimliliklerin hesaplanmasında Denklem 4.14'ten yararlanılmıştır. Elde edilen verimlilik değerleri ibreli türler ve yapraklı türler için sırasıyla Tablo 4.34 ve Tablo 4.35'te verilmiştir.

$$\text{Verimlilik (m}^3\text{/saat)} = \frac{60\ x\ V}{t_{ykl}+t_{yks}+t_{yük}+t_{boş}} \qquad (4.14)$$

V = Taşınan orman ürünü hacmi (m^3)

t_{ykl} = Yüklü varış zamanı (dk)

t_{yks} = Yüksüz varış zamanı (dk)

$t_{yük}$ = Yükleme zamanı (dk) $t_{boş}$ = Boşaltma zamanı (dk)

Yüklü varış süreleri ve yüksüz varış süreleri ANFIS tabanlı tahmin modellerinden elde edilmiştir (Tablo 4.26 ve Tablo 4.27). Birim maliyetler ise saatlik olarak aşağıdaki Denklem 4.15 ve Denklem 4.16 kullanılarak hesaplanmıştır.

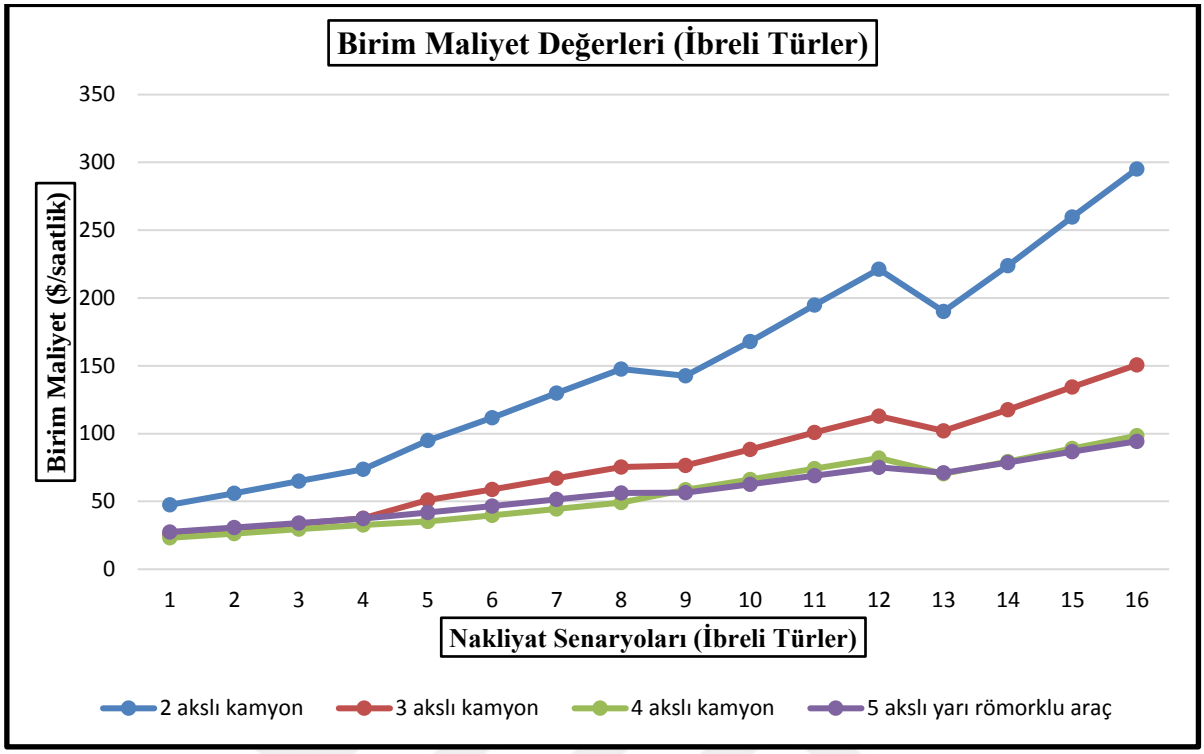
$$\text{Birim Maliyet (\$/m}^3\text{)} = \frac{\text{Sistem Maliyeti } (\$/sa)}{\text{Verimlilik } (m^3/sa)} \quad (4.15)$$

$$\text{Sistem Maliyeti (\$/saat)} = \text{Sabit Maliyet (\$/saat)} + \text{Değişken Maliyet (\$/saat)} + \text{İş Maliyeti (\$/saat)} \quad (4.16)$$

İbreli türler ve yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için elde edilen birim maliyet değerleri Tablo 4.34 ve Tablo 4.35'te belirtilmiştir. İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında belirgin olarak 2 akslı kamyonun en yüksek birim maliyet değerine sahip olduğu görülmüştür. En düşük birim maliyet değerine sahip araç türünün ise ilk sekiz senaryoda 4 akslı kamyonun sonraki sekiz senaryoda ise, 5 akslı yarı römorklu aracın en düşük birim maliyet değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.34, Şekil 4.20).

Tablo 4.34: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin verimlilik ve birim maliyet değerleri.

SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**
1	3	2,40	47,51	2	3,18	25,53	2	3,80	23,17	2	4,08	27,51
2	3	2,04	55,93	2	2,76	29,43	2	3,36	26,21	2	3,66	30,68
3	3	1,76	64,90	2	2,42	33,60	2	2,99	29,48	2	3,30	34,05
4	3	1,55	73,78	2	2,16	37,69	2	2,70	32,68	2	3,01	37,36
5	6	2,40	95,03	4	3,18	51,07	3	3,76	35,12	3	4,02	41,89
6	6	2,04	111,86	4	2,76	58,87	3	3,33	39,68	3	3,62	46,53
7	6	1,76	129,80	4	2,42	67,21	3	2,97	44,53	3	3,27	51,55
8	6	1,55	147,56	4	2,16	75,38	3	2,69	49,21	3	3,00	56,23
9	9	2,40	142,56	6	3,18	76,60	5	3,76	58,54	4	3,98	56,41
10	9	2,04	167,80	6	2,76	88,30	5	3,33	66,13	4	3,59	62,56
11	9	1,76	194,71	6	2,42	100,81	5	2,97	74,21	4	3,26	68,94
12	9	1,55	221,34	6	2,16	113,07	5	2,69	82,02	4	2,99	75,23
13	12	2,40	190,08	8	3,18	102,14	6	3,75	70,44	5	3,95	71,05
14	12	2,04	223,73	8	2,76	117,74	6	3,33	79,36	5	3,57	78,64
15	12	1,76	259,61	8	2,42	134,42	6	2,97	89,06	5	3,24	86,71
16	12	1,55	295,13	8	2,16	150,76	6	2,69	98,42	5	2,98	94,35

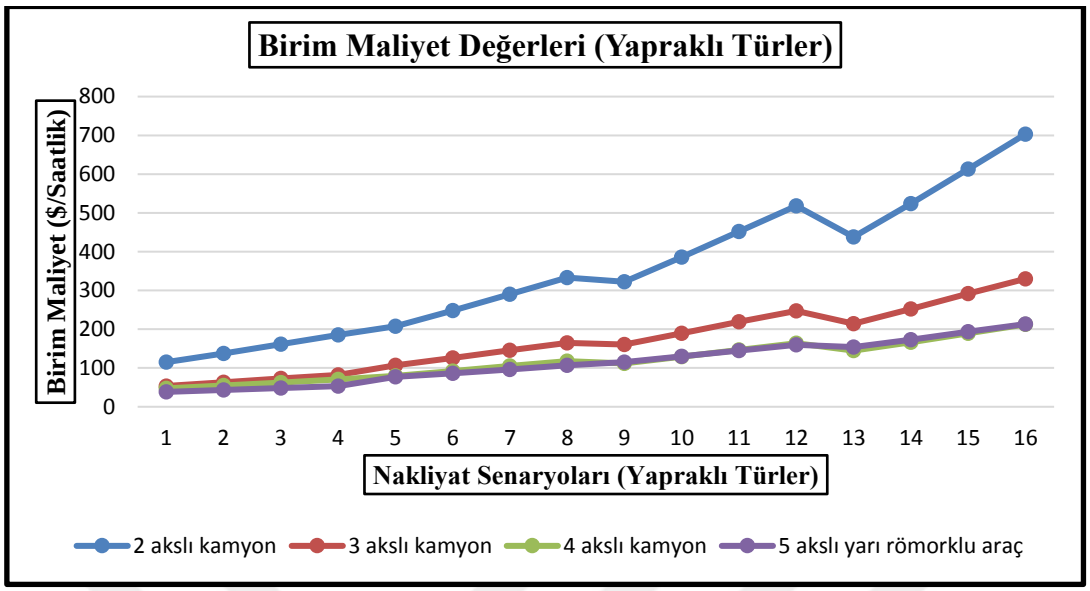


Şekil 4.20: İbreli türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin birim maliyet değerleri.

Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında belirgin olarak 2 akslı kamyonun en yüksek birim maliyet değerine sahip olduğu görülmüştür. En düşük birim maliyet değerine sahip araç türünün ise ilk on iki senaryoda 5 akslı yarı römorklu aracın, sonraki dört senaryoda ise 4 akslı kamyonun en düşük birim maliyet değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.35 ve Şekil 4.21)

Tablo 4.35: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin verimlilik ve birim maliyet değerleri.

SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (filo)	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Verimlilik (m^3/saat)**	**Toplam Saatlik Birim Maliyet ($)**
1	5	1,65	115,19	3	2,27	53,66	3	2,78	47,50	2	2,92	38,44
2	5	1,38	137,80	3	1,93	63,14	3	2,41	54,82	2	2,60	43,19
3	5	1,18	161,34	3	1,67	73,04	3	2,11	62,68	2	2,32	48,44
4	5	1,03	185,05	3	1,48	82,51	3	1,88	70,41	2	2,11	53,30
5	9	1,65	207,36	6	2,27	107,32	5	2,76	79,75	4	2,92	76,89
6	9	1,38	248,05	6	1,93	126,28	5	2,40	91,76	4	2,60	86,39
7	9	1,18	290,42	6	1,67	146,09	5	2,10	104,96	4	2,33	96,47
8	9	1,03	333,09	6	1,48	165,02	5	1,88	117,36	4	2,11	106,60
9	14	1,65	322,56	9	2,27	160,98	7	2,75	112,06	6	2,92	115,34
10	14	1,38	385,87	9	1,93	189,43	7	2,39	129,00	6	2,59	130,08
11	14	1,18	451,77	9	1,67	219,14	7	2,10	146,95	6	2,32	145,32
12	14	1,03	518,15	9	1,48	247,54	7	1,88	164,30	6	2,11	159,91
13	19	1,65	437,76	12	2,27	214,64	9	2,74	144,61	8	2,92	153,79
14	19	1,38	523,68	12	1,93	252,57	9	2,38	166,56	8	2,60	172,78
15	19	1,18	613,11	12	1,67	292,19	9	2,09	189,84	8	2,32	193,77
16	19	1,03	703,2	12	1,48	330,05	9	1,87	212,38	8	2,11	213,21



Şekil 4.21: Yapraklı türlere ait nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin birim maliyet değerleri.

4.4.3.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araçların Çevresel Zararlarına İlişkin Hesaplamalar

CO_2 miktarlarının belirlenmesinde ise "*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)" tarafından önerilen TIER I yaklaşımı kullanılmıştır. Yol yüzeyi zarar riski (nakliyat araçlarının kendi ağırlıkları ve yükle birlikte oluşturdukları ağırlığa bağlı olarak yol yüzeyinde tekerlek izi oluşumları, çatlamalar, deformasyonlar, çukur oluşumu şeklinde oluşan vb. zararlar) ise, nakliyat senaryolarında kullanılan araç tipleri alternatiflerinin filo şeklinde yüklü+yüksüz şekilde oluşturdukları ağırlıklarının, tüm alternatif araçların yüklü+yüksüz toplam ağırlıklarına bölünmesi ile oran şeklinde elde edilmiştir. Örneğin ibreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında 1. nakliyat senaryosu için 2 akslı aracın yol yüzeyi zarar riskinin elde edilişi Denklem 4.17'de gösterilmiştir.

$$\text{Yol Yüzeyi Zarar Riski} = \frac{2\ akslı\ kamyonun\ yüklü+yüksüz\ ağırlığı}{Tüm\ alternatif\ araçların\ yüklü+yüksüz\ ağırlıkları\ toplamı} \qquad (4.17)$$

$$= \frac{73.584,14}{293.540,6} = 0,25$$

4.4.3.1.TIER 1 yaklaşımı

TIER I yaklaşımı, araç parkı, işletme koşulları, yakıt tüketimi, emisyon faktörleri, araçların teknoloji düzeyi gibi hususlarda ayrıntılı verinin mevcut olmadığı durumlarda CO_2 ve diğer sera gazı emisyonlarının belirli ölçüde tahmin edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş, bir ülkede ne kadar yakıt kullanılıyorsa onunla orantılı olarak ortaya çıkacak olan emisyonun hesaplanabileceği prensibine göre uygulanan bir yöntemdir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

TIER I yaklaşımının aşamaları aşağıda verilmiştir (Pekin, 2006):

1. Her sektöre ait yakıt tüketim değerleri belirlenir,

2. Belirlenen yakıt tüketim değerinin enerji içeriği bulunur (Tablo 4.36),

3. Her yakıt grubu için uygun karbon emisyon faktörleri seçilir ve bu değer kullanılarak yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunur (Tablo 4.37),

4. Eğer varsa, ürünlerde depolanan karbon miktarı bulunur,

5. Yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarı bulunur ve böylece tamamen yanmaya katılan karbon değerine ulaşılır,

6. CO_2'in moleküler ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı yardımıyla, CO_2 miktarı belirlenir.

Tablo 4.36: Yakıtların net kalori değerine göre belirlenmiş net kalori değerleri (IPCC, 2006).

Yakıt	Dönüşüm Faktörü (TJ/G_g)	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)
Benzin	44,3	44,80
Dizel Yakıt (Motorin)	43,0	43,33
LPG	47,3	47,31

Tablo 4.37: CO_2 emisyon faktörleri (IPCC, 2006).

Yakıt	Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Emisyon Faktörü (t C/TJ)
Benzin	69.300	18,9
Dizel Yakıt (Motorin)	74.100	20,2
LPG	63.100	17,2

Aşağıdaki bulunan 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22 no'lu Denklemler kullanılarak TIER I yaklaşımı sonucu CO_2 miktarına ulaşılmaktadır.

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/kt]} \quad (4.18)$$

$$\text{Karbon İçeriği [t C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [t C/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \quad (4.19)$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [t C]} \times 10^{-3} \quad (4.20)$$

Karbon Emisyonu [Gg C] = Karbon İçeriği [Gg C] x Karbon Oksitlenme Oranı (4.21)

Karbon oksitlenme oranı değerleri petrol ürünlerinde, sıvı yakıtlar (benzin, motorin vb.) için 0,990, gaz yakıtlarda (LPG, vb.) ise 0,995 oranındadır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

CO_2 Emisyonu [GgCO_2] = Karbon Emisyonu [Gg C] x (44/12) (4.22)

CO_2 molekül ağırlığı: 44 g/mol Karbonun molekül ağırlığı: 12

CO_2 emisyonunun hesaplanmasında dizel (motorin) yakıtın yoğunluğu 0,89 kg/lt olarak alınmıştır.

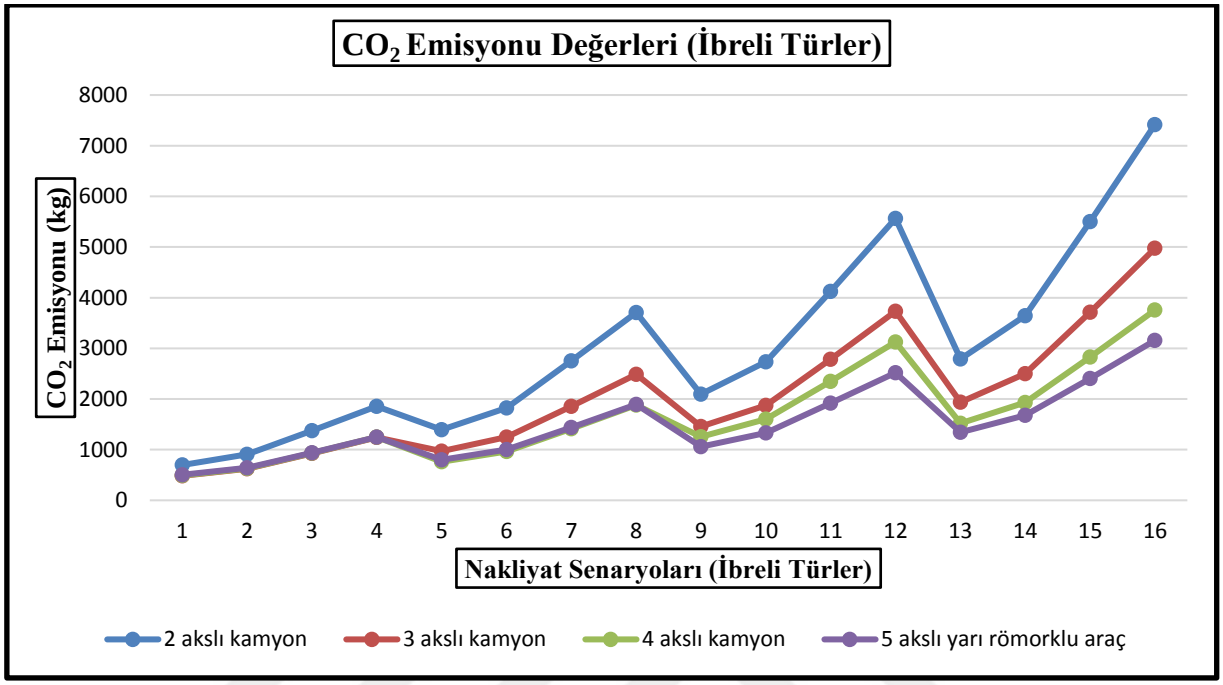
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ibreli türler ve yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için elde edilen CO_2 emisyonları ve yol yüzey zarar riskleri Tablo 4.38 ve Tablo 4.39'da sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.38: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu ve yol yüzeyi zarar riski değerleri.

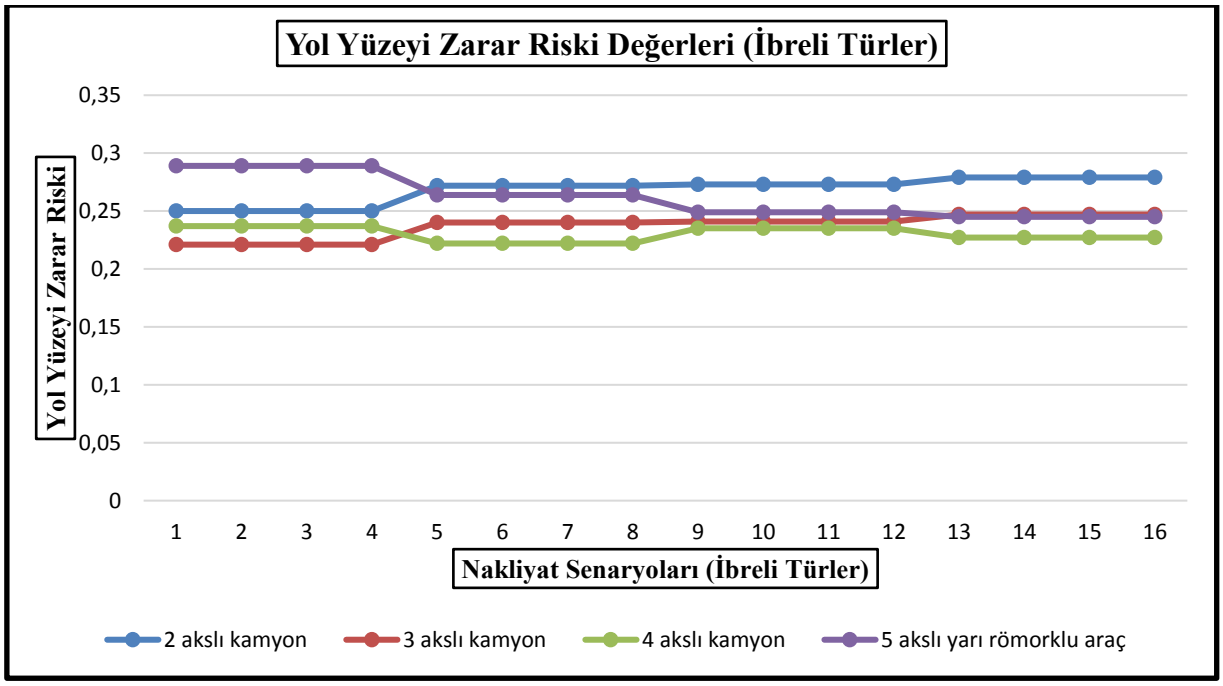
SENARYO NO (İBRELİ TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı yarı römorklu araç [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**
		Yüklü+Yüksüz	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**
1	3	696,54	0,250	2	483,74	0,221	2	489,61	0,237	2	504,38	0,289
2	3	910,31	0,250	2	623,97	0,221	2	629,15	0,237	2	642,20	0,289
3	3	1.374,22	0,250	2	928,350	0,221	2	932,04	0,237	2	941,36	0,289
4	3	1.854,11	0,250	2	1.243,21	0,221	2	1.245,37	0,237	2	1.250,81	0,289
5	6	1.394,89	0,272	4	969,593	0,240	3	759,659	0,222	3	783,44	0,264
6	6	1.822,15	0,272	4	1.249,80	0,240	3	966,036	0,222	3	987,05	0,264
7	6	2.749,54	0,272	4	1.858,03	0,240	3	1.413,98	0,222	3	1.428,98	0,264
8	6	3.708,87	0,272	4	2.487,20	0,240	3	1.877,36	0,222	3	1.886,13	0,264
9	9	2.093,20	0,273	6	1.453,93	0,241	5	1.256,11	0,235	4	1.061,95	0,249
10	9	2.733,99	0,273	6	1.874,30	0,241	5	1.601,24	0,235	4	1.331,40	0,249
11	9	4.124,86	0,273	6	2.786,75	0,241	5	2.350,35	0,235	4	1.916,25	0,249
12	9	5.563,62	0,273	6	3.730,63	0,241	5	3.125,26	0,235	4	2.521,24	0,249
13	12	2.791,51	0,279	8	1.938,33	0,247	6	1.520,52	0,227	5	1.341,44	0,245
14	12	3.645,83	0,279	8	2.498,86	0,247	6	1.933,13	0,227	5	1.676,62	0,245
15	12	5.500,18	0,279	8	3.715,52	0,247	6	2.828,73	0,227	5	2.404,14	0,245
16	12	7.418,38	0,279	8	4.974,08	0,247	6	3.755,17	0,227	5	3.156,71	0,245

İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında en yüksek CO_2 emisyonuna sahip araç tipinin 2 akslı kamyon olduğu görülmüştür. En düşük CO_2 emisyonuna sahip olan araç tipinin ise tüm nakliyat senaryoları değerlendirildiğinde genel olarak 5 akslı yarı römorklu araç olduğu görülmektedir. Yol yüzeyi zarar riskleri ibreli türler için oluşturulmuş nakliyat senaryoları

değerlendirildiğinde ise, araç tiplerinin nakliyat senaryolarına göre risk değerlerinin farklılık gösterdiği görülmüştür (Tablo 4.38, Şekil 4.22, Şekil 4.23).



Şekil 4.22: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu değerleri.



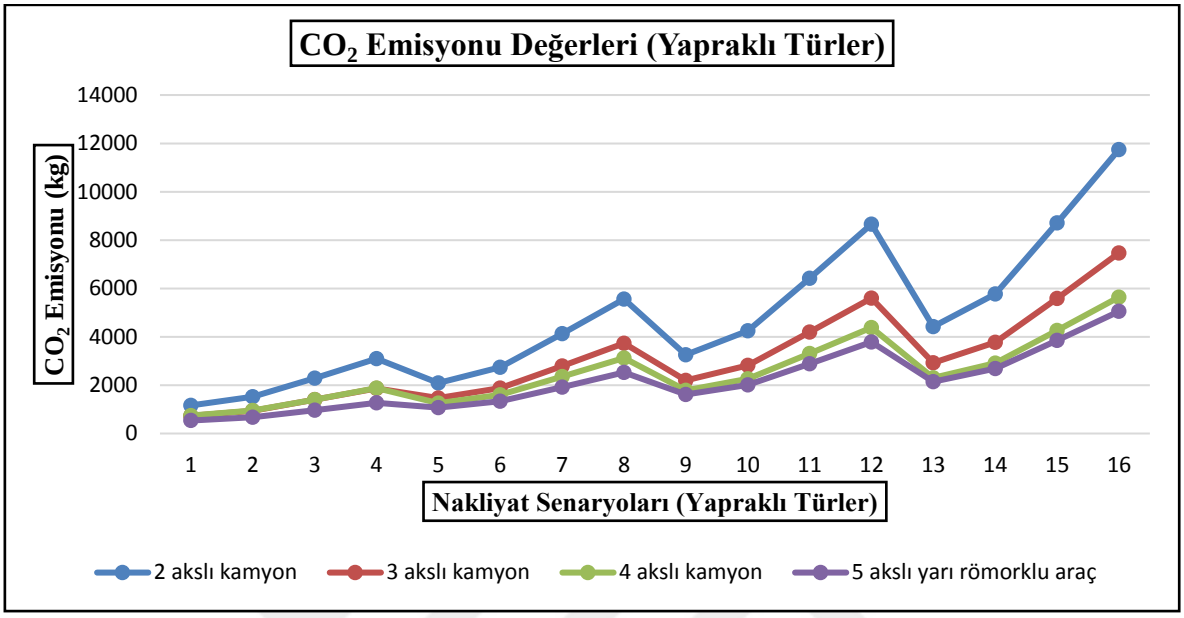
Şekil 4.23: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yol yüzeyi zararı riskleri.

Tablo 4.39: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 ve yol yüzeyi zarar riski değerleri.

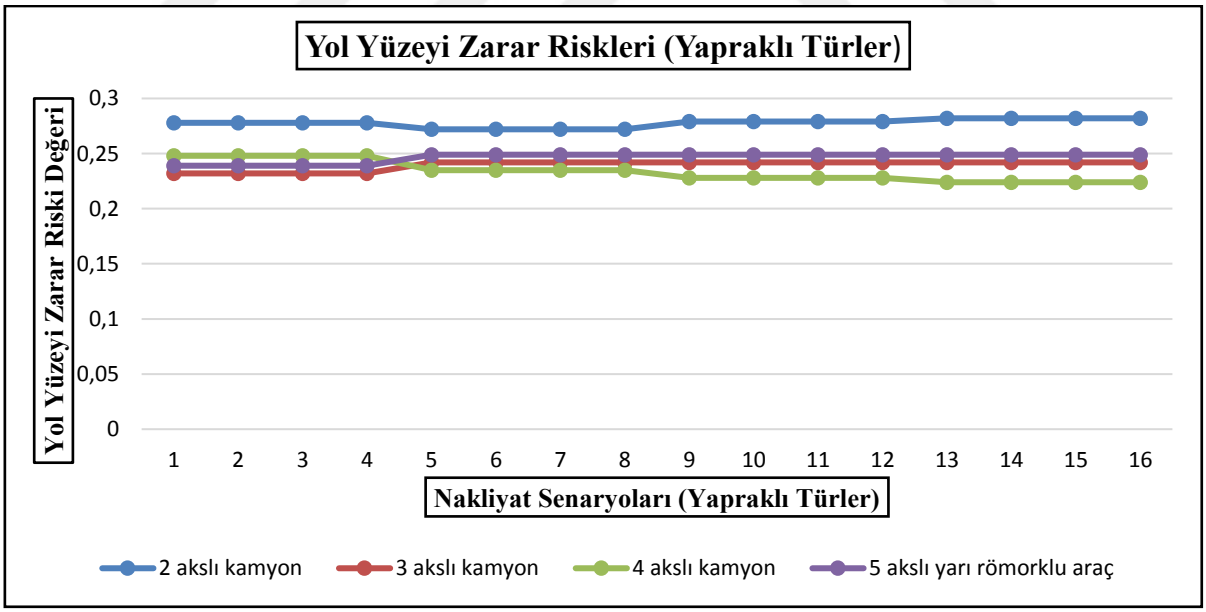
SENARYO NO (YAPRAKLI TÜRLER)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ											
	2 akslı (4x2) (Kamyon) Yük Kapasitesi (10.877 kg)			**3 akslı (6x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (16.440,2 kg)			**4 akslı (8x2) (Kamyon)** Yük Kapasitesi (22.272,5 kg)			**5 akslı *yarı römorklu araç* [Çekici (2 akslı) + Römork (3 akslı)]** Yük Kapasitesi (26.433,6 kg)		
	Gerekli Araç Adedi (Filo)	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Gerekli Araç Adedi (Filo)**	**Toplam CO_2 (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**
		Yüklü+Yüksüz	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**		**Yüklü+Yüksüz**	**Yüklü+Yüksüz**
1	5	1.162,09	0,278	3	731,69	0,232	3	743,58	0,248	2	536,30	0,239
2	5	1.518,20	0,278	3	941,33	0,232	3	951,83	0,248	2	670,41	0,239
3	5	2.291,10	0,278	3	1.396,35	0,232	3	1.403,85	0,248	2	961,48	0,239
4	5	3.090,62	0,278	3	1.867,05	0,232	3	1.871,44	0,248	2	1.262,58	0,239
5	9	2.094,93	0,272	6	1.463,38	0,242	5	1.260,19	0,235	4	1.072,89	0,249
6	9	2.735,52	0,272	6	1.882,66	0,242	5	1.604,84	0,235	4	1.341,06	0,249
7	9	4.125,94	0,272	6	2.792,71	0,242	5	2.352,92	0,235	4	1.923,15	0,249
8	9	5.564,26	0,272	6	3.734,11	0,242	5	3.126,76	0,235	4	2.525,27	0,249
9	14	3.257,06	0,279	9	2.195,08	0,242	7	1.780,10	0,228	6	1.609,74	0,249
10	14	4.253,73	0,279	9	2.823,99	0,242	7	2.260,76	0,228	6	2.011,95	0,249
11	14	6.417,05	0,279	9	4.189,07	0,242	7	3.304,07	0,228	6	2.884,97	0,249
12	14	8.654,88	0,279	9	5.601,17	0,242	7	4.383,31	0,228	6	3.788,06	0,249
13	19	4.420,90	0,282	12	2.926,77	0,242	9	2.300,69	0,224	8	2.146,84	0,249
14	19	5.773,47	0,282	12	3.765,32	0,242	9	2917,29	0,224	8	2.683,06	0,249
15	19	8.709,26	0,282	12	5.585,43	0,242	9	4255,65	0,224	8	3.846,96	0,249
16	19	11.746,10	0,282	12	7.468,23	0,242	9	5640,10	0,224	8	5050,94	0,249

Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında ilk dört senaryoda genel olarak 5 akslı yarı römorklu aracın CO_2 emisyonunun diğer araç tiplerinden daha düşük olduğu, bunu 3 akslı kamyon ve 4 akslı kamyonun birbirine yakın değerlerle izlediği, en yüksek CO_2 emisyonun ise 2 akslı kamyonda olduğu görülmüştür. Diğer nakliyat senaryolarında ise, sıralamanın büyükten küçüğe doğru 2 akslı kamyon, 3 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 5 akslı yarı römork şeklinde oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Yol yüzeyi zarar riski değerleri incelendiğinde ise, tüm senaryolarda en yüksek zarar riskinin 2 akslı kamyon olduğu görülmüştür. Diğer araç tipleri değerlendirildiğinde ise ilk dört senaryoda en düşük yol yüzeyi zarar riski olan aracın 3 akslı

kamyon olduğu diğer nakliyat senaryolarında ise, 4 akslı kamyon olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.39, Şekil 4.24, Şekil 4.25).



Şekil 4.24: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin CO_2 emisyonu değerleri.



Şekil 4.25: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında araç alternatiflerinin yol yüzeyi zarar riski değerleri.

4.4.1.Nakliyat Senaryolarında Kullanılacak Araç Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile ilgili kriterlerin ağırlıkları ve genel ağırlıkları öncelikli olarak elde edilmiştir. Daha sonra ise elde edilen kriterlerin ağırlıkları araç alternatiflerini sıralamak için (Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution) TOPSIS yöntemi ile birleştirilerek hibrid bir bulanık çok kriterli karar yöntemi oluşturulmuştur. Örnek olarak da ibreli türler için oluşturulan 1. nakliyat senaryosu için tüm alt kriterler dikkate alınarak yapılan araç alternatiflerini sıralamak için hesaplama adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda alt kriterlerden yük kapasitesi fayda olarak diğer alt kriterler ise, maliyet şeklinde dikkate alınmıştır (Tablo 4.40). Araç alternatiflerine ilişkin ilk olarak ilgili alt kriterlere göre başlangıç karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.41). Daha sonra ise ilgili normalizasyon yöntemi kullanılarak karar matrisi normalleştirilmiştir (Tablo 4.42). Bulanık AHP yöntemi sonucu elde edilen kriter ağırlıklarından yararlanarak ağırlıklandırılmış matris oluşturulmuştur (Tablo 4.43). Bir sonraki aşamada ise pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümesi ve pozitif ve negatif ayrım ölçüleri hesaplanmıştır (Tablo 4.44, Tablo 4.45 ve Tablo 4.46). Son olarak araç alternatiflerinin ayrım ölçüleri hesaplanmış ve alternatiflerin sıralaması yapılmıştır (Tablo 4.47).

Tablo 4.40: Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen alt kriterlerin genel ağırlıkları ve yönleri.

	KRİTER AĞIRLIKLARI							
	Sabit Maliyet ($)	**Değişken Maliyet ($)**	**Birim Maliyet ($)**	**CO_2 Emisyonu (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski**	**Varış Süresi (dk)**	**Yakıt Tüketimi (lt)**	**Yük Kapasitesi (kg)**
Ağırlık	0,0563	0,1203	0,1603	0,2022	0,1981	0,0611	0,0929	0,1082
Yön	-	-	-	-	-	-	-	+

Tablo 4.41: Başlangıç karar matrisi.

BAŞLANGIÇ KARAR MATRİSİ								
Araç Alternatifleri	**Sabit Maliyet ($)**	**Değişken Maliyet ($)**	**Birim Ürün Başına Maliyet ($)**	**CO_2 Emisyonu (kg)**	**Yol Yüzeyi Zarar Riski (Oran)**	**Varış Süresi (dk)**	**Yakıt Tüketimi (lt)**	**Yük Kapasitesi (kg)**
2 akslı kamyon	45,59	43,74	47,51	696,54	0,25	329,3	254,92	10.877
3 akslı kamyon	33,28	31,45	25,53	483,74	0,221	333,57	177,03	16.440,2
4 akslı kamyon	37,09	34,48	23,17	489,61	0,237	341,25	179,18	22.272,5
5 akslı yarı römorklu araç	48,47	47,31	27,51	504,38	0,289	358,89	184,59	26.433,6
Karesi	6.911,01	6.329,39	4.202,63	1.213.289,496	0,25	464.961,02	162.502,76	1.583.388.770
Karekök	83,13	79,55	64,82	1101,49	0,50	681,88	403,11	39.791,81

Tablo 4.42: Normalleştirilmiş matris.

Araç Alternatifleri	**NORMALLEŞTİRİLMİŞ MATRİS**							
2 akslı kamyon	0,54	0,54	0,73	0,63	0,49	0,48	0,63	0,27
3 akslı kamyon	0,40	0,39	0,39	0,43	0,44	0,48	0,43	0,41
4 akslı kamyon	0,44	0,43	0,35	0,44	0,47	0,50	0,44	0,55
5 akslı yarı römorklu araç	0,58	0,59	0,42	0,45	0,57	0,52	0,45	0,66

Tablo 4.43: Ağırlıklı karar matris.

Araç Alternatifleri	**AĞIRLIKLI KARAR MATRİSİ**							
2 akslı kamyon	0,03	0,06	0,11	0,12	0,09	0,02	0,05	0,02
3 akslı kamyon	0,02	0,04	0,06	0,08	0,08	0,02	0,04	0,04
4 akslı kamyon	0,02	0,05	0,05	0,08	0,09	0,03	0,04	0,06
5 akslı yarı römorklu araç	0,03	0,07	0,06	0,09	0,11	0,03	0,04	0,07

Tablo 4.44: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümesi.

POZİTİF İDEAL ÇÖZÜM KÜMESİ (PİÇ) VE NEGATİF İDEAL ÇÖZÜM KÜMESİ (NİÇ)								
PİÇ	0,02	0,04	0,05	0,08	0,08	0,02	0,04	0,07
NİÇ	0,03	0,07	0,11	0,12	0,11	0,03	0,05	0,02

Tablo 4.45: Pozitif ayrım ölçüleri.

Araç Alternatifleri	POZİTİF AYRIM ÖLÇÜLERİ							
2 akslı kamyon	0,0001	0,0003	0,0036	0,0015	0,0001	0,0000	0,0003	0,0018
3 akslı kamyon	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007
4 akslı kamyon	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
5 akslı yarı römorklu araç	0,0001	0,0006	0,0001	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000

Tablo 4.46: Negatif ayrım ölçüleri.

Araç Alternatifleri	NEGATİF AYRIM ÖLÇÜLERİ							
2 akslı kamyon	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
3 akslı kamyon	0,0001	0,0006	0,0030	0,0015	0,0007	0,0000	0,0003	0,0002
4 akslı kamyon	0,0001	0,0004	0,0036	0,0014	0,0004	0,0000	0,0003	0,0010
5 akslı yarı römorklu araç	0,0000	0,0000	0,0024	0,0012	0,0000	0,0000	0,0003	0,0018

Tablo 4.47: Ayrım ölçülerinin hesaplanması.

Araç Alternatifleri	AYRIM ÖLÇÜLERİNİN HESAPLANMASI						
S*		**S-**		**C***		**SIRALAMA**	
2 akslı kamyon	0,0883	2 akslı kamyon	0,0166	2 akslı kamyon	0,1586	2 akslı kamyon	**4**
3 akslı kamyon	0,0277	3 akslı kamyon	0,0802	3 akslı kamyon	0,7427	3 akslı kamyon	**2**
4 akslı kamyon	0,0140	4 akslı kamyon	0,0847	4 akslı kamyon	0,8576	4 akslı kamyon	**1**
5 akslı yarı römorklu araç	0,0392	5 akslı yarı römork araç	0,0757	5 akslı yarı römorklu araç	0,6585	5 akslı yarı römork araç	**3**

Benzer şekilde diğer nakliyat senaryoları da ilgili yöntem kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar edilmiştir.

4.4.1.1. Tüm Alt Kriterler Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi

Öncelikli olarak ibreli türler ve yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları araç alternatifleri açısından tüm alt kriterler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. İlk olarak ibreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları değerlendirildiğinde, 50 m^3 orman ürünü taşınmasına ait nakliyat senaryosunda tüm taşıma mesafeleri için en uygun araç tipinin 4 akslı kamyon olduğu, diğer araç tipi alternatiflerinin ise uygunluk sıralarına göre 3 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmektedir. Taşınacak orman ürününün 100 m^3 olduğu tüm taşıma mesafelerine ilişkin nakliyat senaryolarında ise, en uygun araç tipinin

4 akslı kamyon olduğu, diğer en uygun araç tipi alternatiflerinin ise uygunluk sıralamalarına göre 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmektedir. Son olarak 150 m^3 ve 200 m^3 orman ürününün taşınması ait tüm taşıma mesafelerini içeren nakliyat senaryolarında ise en uygun araç tiplerinin uygunluk sıralamalarının 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.48).

Tablo 4.48: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans alt kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2 (kamyon)		3 akslı (6x2) (kamyon)		4 akslı (8x2) (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,5 kg)	150	4-4	**90**	0,1586	**4**	0,7427	**2**	0,8576	**1**	0,6585	**3**
2			200	4-4	**90**	0,1530	**4**	0,7469	**2**	0,8627	**1**	0,6743	**3**
3			250	4-4	**90**	0,1485	**4**	0,7506	**2**	0,8671	**1**	0,6878	**3**
4			300	4-4	**90**	0,1455	**4**	07528	**2**	0,8698	**1**	0,6963	**3**
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4-4	**90**	0,0285	**4**	0,6507	**3**	0,9110	**1**	0,8027	**2**
6			200	4-4	**90**	0,0189	**4**	0,6531	**3**	0,9140	**1**	0,8135	**2**
7			250	4-4	**90**	0,0121	**4**	0,6550	**3**	0,9166	**1**	0,8222	**2**
8			300	4-4	**90**	0,0074	**4**	0,6563	**3**	0,9182	**1**	0,8277	**2**
9		150 m^3 (92.542,5 kg)	150	4-4	**90**	0,0326	**4**	0,6492	**3**	0,8528	**2**	0,9327	**1**
10			200	4-4	**90**	0,0215	4	0,6458	3	0,8511	2	0,9393	1
11			250	4-4	**90**	0,0136	**4**	0,6416	**3**	0,8483	**2**	0,9436	**1**
12			300	4-4	**90**	0,0083	**4**	0,6399	**3**	0,8473	**2**	0,9460	**1**
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	4-4	**90**	0,0334	**4**	0,6225	**3**	0,8867	**2**	0,9200	**1**
14			200	4-4	**90**	0,0222	**4**	0,6204	**3**	0,8854	**2**	0,9264	**1**
15			250	4-4	**90**	0,0141	**4**	0,6167	**3**	0,8828	**2**	0,9308	**1**
16			300	4-4	**90**	0,0008	**4**	0,6151	**3**	0,8816	**2**	0,9332	**1**

Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları tüm alt kriterler açısından değerlendirildiğinde ise, 50 m^3, 100 m^3 ve 150 m^3 olarak taşınacak orman ürünü için oluşturulan nakliyat senaryoları tüm taşıma mesafelerinde, en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu, diğer araç tiplerinin ise uygunluk sıralamalarının 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. Son olarak 200 m^3 orman ürünü taşınmasına ait nakliyat senaryosu için ise, 150 km, 200 km ve 250 km taşıma mesafelerinde en uygun araç tipi sıralamasının sırasıyla 4 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. Ancak 300 km taşıma mesafesinde ise, araç alternatifi uygunluk sıralamasının 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.49).

Tablo 4.49: Yapraklı türler için oluşturulan senaryolar için maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans alt kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2) (kamyon)		3 akslı (6x2 (kamyon)		4 akslı (8x2) (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 kg)	150	4-4	90	0,0329	**4**	0,7035	**3**	0,7588	**2**	0,9614	**1**
2			200	4-4	90	0,0218	**4**	0,6988	**3**	0,7570	**2**	0,9707	**1**
3			250	4-4	90	0,0139	**4**	0,6944	**3**	0,7539	**2**	0,9764	**1**
4			300	4-4	90	0,0085	**4**	0,6927	**3**	0,7526	**2**	0,9795	**1**
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	4-4	90	0,0350	**4**	0,6536	**3**	0,8593	**2**	0,9326	**1**
6			200	4-4	90	0,0231	**4**	0,6490	**3**	0,8563	**2**	0,9397	**1**
7			250	4-4	90	0,0147	**4**	0,6440	**3**	0,8517	**2**	0,9443	**1**
8			300	4-4	90	0,0090	**4**	0,6429	**3**	0,8501	**2**	0,9468	**1**
9		150 m^3 (147.963,75 *kg*)	150	4-4	90	0,0336	**4**	0,6659	**3**	0,8968	**2**	0,9075	**1**
10			200	4-4	90	0,0224	**4**	0,6636	**3**	0,8957	**2**	0,9141	**1**
11			250	4-4	90	0,0143	**4**	0,6597	**3**	0,8933	**2**	0,9185	**1**
12			300	4-4	90	0,0087	**4**	0,6583	**3**	0,8922	**2**	0,9210	**1**
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4-4	90	0,0324	**4**	0,6688	**3**	0,9101	**1**	0,8941	**2**
14			200	4-4	90	0,0216	**4**	0,6668	**3**	0,9100	**1**	0,9011	**2**
15			250	4-4	90	0,0138	**4**	0,6641	**3**	0,9087	**1**	0,9058	**2**
16			300	4-4	90	0,0085	**4**	0,6641	**3**	0,9082	**2**	0,9085	**1**

4.4.1.2. Maliyet Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi

Maliyet ana kriterinin altında yer alan tüm alt kriterler dikkate alınarak yapılan nakliyat senaryolarına ilişkin değerlendirme sonuçları ibreli türler için Tablo 4.50'de yapraklı türler için ise Tablo 4.51'de verilmiştir. İbreli türler maliyet tüm alt kriterleri açısından değerlendirildiğinde, 50 m^3 orman ürünü taşınmasına ilişkin nakliyat senaryosu için tüm taşıma mesafelerinde araç tipi uygunluk sıralamalarının 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. 100 m^3, 150 m^3 ve 200 m^3 orman ürünü taşınmasına ilişkin nakliyat senaryoları için ise, tüm taşıma mesafelerinde araç tipi uygunluk sıralamalarının 4 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.50).

Tablo 4.50: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3) (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2) (kamyon)		3 akslı (6x2) (kamyon)		4 akslı (8x2 (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,5 kg)	150	4-4	90	0,0828	**4**	0,9117	**2**	0,9237	**1**	0,6366	**3**
2			200	4-4	90	0,0787	**4**	0,9006	**2**	0,9269	**1**	0,6601	**3**
3			250	4-4	90	0,0751	**4**	0,8926	**2**	0,9296	**1**	0,6777	**3**
4			300	4-4	90	0,0722	**4**	0,8870	**2**	0,9315	**1**	0,6903	**3**
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,7264	**3**	1	**1**	0,7827	**2**
6			200	4-4	90	0	**4**	0,7270	**3**	1	**1**	0,7959	**2**
7			250	4-4	90	0	**4**	0,7274	**3**	1	**1**	0,8055	**2**
8			300	4-4	90	0	**4**	0,7274	**3**	1	**1**	0,8130	**2**
9		150 m^3 (92.542,5 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,7721	**3**	0,9768	**1**	0,9406	**2**
10			200	4-4	90	0	**4**	0,7623	**3**	0,9681	**1**	0,9434	**2**
11			250	4-4	90	0	**4**	0,7539	**3**	0,9604	**1**	0,9457	**2**
12			300	4-4	90	0	**4**	0,7487	**3**	0,9560	**1**	0,9474	**2**
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,7274	**3**	1	**1**	0,9239	**2**
14			200	4-4	90	0	**4**	0,7241	**3**	0,9954	**1**	0,9271	**2**
15			250	4-4	90	0	**4**	0,7189	**3**	0,9874	**1**	0,9297	**2**
16			300	4-4	90	0	**4**	0,7150	**3**	0,9811	**1**	0,9317	**2**

Yapraklı türler maliyet tüm alt kriterleri açısından değerlendirildiğinde ise 50 m^3 orman ürünü taşımasına ilişkin nakliyat senaryosu için tüm taşıma mesafelerinde 5 akslı yarı römorklu araç tipinin en uygun olduğu görülürken, bunu sırasıyla 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı

kamyonun izlediği görülmüştür. Diğer taşınacak olan orman ürünü miktarları 100 m^3, 150 m^3 ve 200 m^3 için oluşturulan nakliyat senaryolarında tüm taşıma mesafelerinde ise en uygun araç tipinin 4 akslı kamyon olduğu görülürken, bunu sırasıyla 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyonun izlediği sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.51)

Tablo 4.51: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için maliyet kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktar (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2) (kamyon)		3 akslı (6x2) (kamyon)		4 akslı (8x2) (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,8148	**3**	0,8714	**2**	0,9982	**1**
2			200	4-4	90	0	**4**	0,8024	**3**	0,8681	**2**	0,9985	**1**
3			250	4-4	90	0	**4**	0,7953	**3**	0,8659	**2**	0,9992	**1**
4			300	4-4	90	0	**4**	0,7912	**3**	0,8630	**2**	0,9995	**1**
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,7725	**3**	0,9793	**1**	0,9435	**2**
6			200	4-4	90	0	**4**	0,7600	**3**	0,9685	**1**	0,9460	**2**
7			250	4-4	90	0	**4**	0,7513	**3**	0,9587	**1**	0,9479	**2**
8			300	4-4	90	0	**4**	0,7487	**3**	0,9550	**1**	0,9494	**2**
9		150 m^3 (147.963,75 *kg*)	150	4-4	90	0	**4**	0,7653	**3**	1	**1**	0,9096	**2**
10			200	4-4	90	0	**4**	0,7630	**3**	1	**1**	0,9137	**2**
11			250	4-4	90	0	**4**	0,7581	**3**	0,9951	**1**	0,9163	**2**
12			300	4-4	90	0	**4**	0,7549	**3**	0,9885	**1**	0,9184	**2**
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,7553	**3**	1	**1**	0,8927	**2**
14			200	4-4	90	0	**4**	0,7539	**3**	1	**1**	0,8985	**2**
15			250	4-4	90	0	**4**	0,7533	**3**	1	**1**	0,9018	**2**
16			300	4-4	90	0	**4**	0,7550	**3**	1	**1**	0,9045	**2**

4.4.1.3. Çevresel Zarar Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatiflerinin Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi

Çevresel zarar alt kriterleri dikkate alınarak yapılan nakliyat senaryolarına ilişkin değerlendirme sonuçları ibreli türler için Tablo 4.52'de yapraklılar için ise Tablo 4.53'te

verilmiştir. Öncelikli olarak ibreli türlere ilişkin nakliyat senaryoları değerlendirildiğinde 50 m^3 taşınacak orman ürünü için oluşturulan nakliyat senaryosunda, tüm taşıma mesafelerinde en uygun araç tipinin 3 akslı kamyon olduğu görülürken, bunu sırasıyla 4 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç ve 2 akslı kamyonun izlediği görülmektedir. 100 m^3 taşınacak orman ürününe ilişkin nakliyat senaryosunda ise en uygun araç tipinin tüm taşıma mesafelerinde 4 akslı kamyon olduğu görülürken, bunu sırasıyla 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon izlemiştir. Diğer taşınacak orman ürünü miktarları olan 150 m^3 ve 200 m^3 ait nakliyat senaryolarına ait tüm taşıma mesafelerde ise, en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu görülürken diğer uygun araç tiplerinin ise sırasıyla 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.52).

Tablo 4.52: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için çevresel zarar kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2) (kamyon)		3 akslı (6x2) (kamyon)		4 akslı (8x2 (kamyon)		5 akslı yarı *römorklu araç* çekici [(2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,5 kg)	150	4-4	90	0,2748	**4**	1	**1**	0,8706	**2**	0,5649	**3**
2			200	4-4	90	0,2674	**4**	1	**1**	0,8757	**2**	0,5849	**3**
3			250	4-4	90	0,2596	**4**	1	**1**	0,8808	**2**	0,6049	**3**
4			300	4-4	90	0,2557	**4**	1	**1**	0,8832	**2**	0,6143	**3**
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,6668	**3**	1	**1**	0,7847	**2**
6			200	4-4	90	0	**4**	0,6661	**3**	1	**1**	0,7952	**2**
7			250	4-4	90	0	**4**	0,6654	**3**	1	**1**	0,8053	**2**
8			300	4-4	90	0	**4**	0,6650	**3**	1	**1**	0,8101	**2**
9		150 m^3 (92.542,5 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,6288	**3**	0,8170	**2**	0,9259	**1**
10			200	4-4	90	0	**4**	0,6213	**3**	0,8125	**2**	0,9293	**1**
11			250	4-4	90	0	**4**	0,6136	**3**	0,8080	**2**	0,9329	**1**
12			300	4-4	90	0	**4**	0,6100	**3**	0,8058	**2**	0,9346	**1**
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,5902	**3**	0,8815	**2**	0,9135	**1**
14			200	4-4	90	0	**4**	0,5845	**3**	0,8746	**2**	0,9173	**1**
15			250	4-4	90	0	**4**	0,5787	**3**	0,8675	**2**	0,9212	**1**
16			300	4-4	90	0	**4**	0,5758	**3**	0,8641	**2**	0,9231	**1**

Yapraklı türler çevresel zarar açısından değerlendirildiğinde ise, 50 m^3 orman ürünü için oluşturulan nakliyat senaryosuna ait tüm taşıma mesafelerinde en uygun araç tipinin sırasıyla 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon, 4 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. 100 m^3 orman ürünü için ise, tüm taşıma mesafelerinde en uygun araç tiplerinin sırasıyla 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. 150 m^3 orman ürünü için ise 150 km taşıma mesafesinde en uygun araç tiplerinin sırasıyla 4 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. Diğer taşıma mesafelerinde ise sıralamanın 5 akslı yarı römorklu araç, 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmüştür. Son olarak taşınacak orman ürünü miktarı 200 m^3 değerlendirildiğinde ise, en uygun araç tipi sıralamalarının tüm taşıma mesafelerinde 4 akslı kamyon, 5 akslı yarı römorklu araç, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.53).

Tablo 4.53: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için çevresel zarar kriterlerine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2) (kamyon)		3 akslı (6x2) (kamyon)		4 akslı (8x2) (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 *kg*)	150	4-4	90	0	**4**	0,6997	**2**	0,6678	**3**	0,9657	**1**
2			200	4-4	90	0	**4**	0,6917	**2**	0,6672	**3**	0,9672	**1**
3			250	4-4	90	0	**4**	0,6835	**2**	0,6666	**3**	0,9687	**1**
4			300	4-4	90	0	**4**	0,6796	**3**	0,6663	**2**	0,9694	**1**
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,6256	**3**	0,8217	**2**	0,9250	**1**
6			200	4-4	90	0	**4**	0,6188	**3**	0,8155	**2**	0,9287	**1**
7			250	4-4	90	0	**4**	0,6118	**3**	0,8092	**2**	0,9326	**1**
8			300	4-4	90	0	**4**	0,6085	**3**	0,8062	**2**	0,9344	**1**
9		150 m^3 (147.963,7 *5 kg*)	150	4-4	90	0	**4**	0,6502	**3**	0,9007	**1**	0,8981	**2**
10			200	4-4	90	0	**4**	0,6432	**3**	0,8931	**2**	0,9028	**1**
11			250	4-4	90	0	**4**	0,6360	**3**	0,8853	**2**	0,9076	**1**
12			300	4-4	90	0	**4**	0,6326	**3**	0,8815	**2**	0,9099	**1**
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4-4	90	0	**4**	0,6598	**3**	0,9355	**1**	0,8843	**2**
14			200	4-4	90	0	**4**	0,6528	**3**	0,9274	**1**	0,8894	**2**
15			250	4-4	90	0	**4**	0,6457	**3**	0,9192	**1**	0,8946	**2**
16			300	4-4	90	0	**4**	0,6422	**3**	0,9152	**1**	0,8971	**2**

4.4.1.4. Operasyonel Performans Alt Kriterleri Açısından Araç Alternatif Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi

Operasyonel performans alt kriterleri dikkate alınarak yapılan nakliyat senaryolarına ilişkin değerlendirme sonuçları ibreli türler için Tablo 4.54'te yapraklı türler için ise Tablo 4.55'te verilmiştir. İbreli türler ve yapraklı türler için tüm taşınacak ürün miktarları ve tüm taşıma mesafeleri için oluşturulan nakliyat senaryolarında en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu görülmüştür. Diğer araç alternatiflerine ilişkin uygunluk sıralamalarının ise 4 akslı kamyon, 3 akslı kamyon ve 2 akslı kamyon şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.54: İbreli türler için oluşturulan senaryolar için operasyonel performans kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2 (kamyon)		3 akslı (6x2 (kamyon)		4 akslı (8x2 (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,5 kg)	150	4-4	90	0,0545	**4**	0,4646	**3**	0,7578	**2**	0,9345	**1**
2			200	4-4	90	0,0373	**4**	0,4699	**3**	0,7605	**2**	0,9550	**1**
3			250	4-4	90	0,0244	**4**	0,4763	**3**	0,7634	**2**	0,9727	**1**
4			300	4-4	90	0,0152	**4**	0,4796	**3**	0,7648	**2**	0,9838	**1**
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4-4	90	0,0644	**4**	0,4637	**3**	0,7886	**2**	0,9320	**1**
6			200	4-4	90	0,0440	**4**	0,4678	**3**	0,7928	**2**	0,9535	**1**
7			250	4-4	90	0,0287	**4**	0,4731	**3**	0,7971	**2**	0,9704	**1**
8			300	4-4	90	0,0179	**4**	0,4758	**3**	0,7992	**2**	0,9817	**1**
9		150 m^3 (92.542,5 kg)	150	4-4	90	0,0712	**4**	0,4571	**3**	0,7576	**2**	0,9287	**1**
10			200	4-4	90	0,0487	**4**	0,4590	**3**	0,7588	**2**	0,9512	**1**
11			250	4-4	90	0,0316	**4**	0,4620	**3**	0,7596	**2**	0,9683	**1**
12			300	4-4	90	0,0197	**4**	0,4634	**3**	0,7599	**2**	0,9802	**1**
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	4-4	90	0,0759	**4**	0,4540	**3**	0,7794	**2**	0,9240	**1**
14			200	4-4	90	0,0520	**4**	0,4552	**3**	0,7815	**2**	0,9479	**1**
15			250	4-4	90	0,0338	**4**	0,4574	**3**	0,7830	**2**	0,9661	**1**
16			300	4-4	90	0,0211	**4**	0,4586	**3**	0,7837	**2**	0,9788	**1**

Tablo 4.55: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryoları için operasyonel performans kriterine göre en uygun araç alternatiflerinin sıralanması.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş -Çıkış Eğimi (%)	Maksimum Hız (km/saat)	ARAÇ ALTERNATİFLERİ							
						2 akslı (4x2 (kamyon)		3 akslı (6x2 (kamyon)		4 akslı (8x2 (kamyon)		5 akslı yarı römorklu araç [çekici (2 akslı)+ römork (3 akslı)]	
						değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra	değer	sıra
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 *kg*)	150	4-4	90	0,0763	**4**	0,4959	**3**	0,7054	**2**	0,9236	**1**
2			200	4-4	90	0,0522	**4**	0,4986	**3**	0,7036	**2**	0,9477	**1**
3			250	4-4	90	0,0340	**4**	0,5023	**3**	0,7016	**2**	0,9659	**1**
4			300	4-4	90	0,0212	**4**	0,5041	**3**	0,7006	**2**	0,9787	**1**
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	4-4	90	0,0780	**4**	0,4555	**3**	0,7587	**2**	0,9219	**1**
6			200	4-4	90	0,0534	**4**	0,4578	**3**	0,7596	**2**	0,9465	**1**
7			250	4-4	90	0,0347	**4**	0,4614	**3**	0,7600	**2**	0,9652	**1**
8			300	4-4	90	0,0217	**4**	0,4632	**3**	0,7601	**2**	0,9782	**1**
9		150 m^3 (147.963,75 *kg*)	150	4-4	90	0,0781	**4**	0,4726	**3**	0,7827	**2**	0,9218	**1**
10			200	4-4	90	0,0535	**4**	0,4751	**3**	0,7853	**2**	0,9464	**1**
11			250	4-4	90	0,0348	**4**	0,4787	**3**	0,7853	**2**	0,9651	**1**
12			300	4-4	90	0,0217	**4**	0,4806	**3**	0,7885	**2**	0,9782	**1**
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4-4	90	0,0770	**4**	0,4809	**3**	0,7919	**2**	0,9229	**1**
14			200	4-4	90	0,0528	**4**	0,4835	**3**	0,7955	**2**	0,9471	**1**
15			250	4-4	90	0,0343	**4**	0,4871	**3**	0,7985	**2**	0,9656	**1**
16			300	4-4	90	0,0214	**4**	0,4889	**3**	0,7999	**2**	0,9785	**1**

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ortaya konulan bu çalışmada, bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanarak, farklı koşullar içerecek şekilde oluşturulan nakliyat senaryolarına göre en uygun araç tiplerinin belirlenmesi ve orman ürünleri nakliyat planlamasının etkin bir şekilde sağlanması amaçlanmıştır. Orman ürünü nakliyat senaryolarında ibreli ve yapraklı ağaç grupları için taşınacak orman ürünü miktarları 50 m^3, 100 m^3, 150 m^3 ve 200 m^3 şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca tüm taşınacak orman ürünü miktarlarında 150 km, 200 km, 250 km ve 300 km olmak üzere toplam dört adet taşıma mesafesi uygulanmıştır. Tüm taşıma mesafeleri için ise, ortalama iniş ve çıkış yol boyuna eğimi %4 olarak seçilmiştir. Buna göre ibreli türler için 16 adet, yapraklı türler için ise 16 adet olmak üzere toplamda 32 adet nakliyat senaryosu oluşturulmuştur. Nakliyat senaryolarında dikkate alınması gereken ana kriterler olarak maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans belirlenmiştir. Ana kriterlerin alt kriterleri olarak ise, maliyet ana kriteri için; sabit maliyet, değişken maliyet, birim maliyet; çevresel zarar ana kriteri için CO_2 emisyonu, yol yüzeyi zarar riski ve operasyonel performans ana kriteri için ise varış süresi, yakıt tüketimi ve yük kapasitesi dikkate alınmıştır.

Çalışmada kullanılan ilgili yöntemler sonucu elde edilen bulgulara göre, ana kriterlerin ağırlık değeri sıralamalarının büyükten küçüğe doğru sırasıyla çevresel zarar (0,4004), maliyet (0,3371) ve operasyonel performans (0,2624) şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Alt kriterlere gelince ağırlık değeri sıralamalarının ise büyükten küçüğe doğru maliyet ana kriteri için; birim maliyet (0,4757), değişken maliyet (0,3571) ve sabit maliyet (0,1671) çevresel zarar ana kriteri için; CO_2 emisyonu (0,5050) ve yol yüzeyi zarar riski (0,4950) ve operasyonel performans ana kriteri için ise yük kapasitesi (0,4125), yakıt tüketimi (0,3543) ve varış süresi (0,2331) şeklinde oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Alt kriterlerin genel ağırlık değerlerinin ise, sabit maliyet (0,0563), değişken maliyet (0,1203), birim maliyet (0,1603), CO_2 emisyonu (0,2022), yol yüzeyi zarar riski (0,1981), varış süresi (0,0611), yakıt tüketimi (0,0929) ve yük kapasitesi (0,1082) şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Belirlenen nakliyat senaryolarında, araç alternatiflerinin yakıt tüketimi ve varış süresi değerlerini tahmin etmek için, araç takip sistemi aracılığıyla zaman etüdü verileri toplanmış ve toplanan verilerden ANFIS tabanlı tahmin modelleri oluşturulmuş ve bu modellerden yararlanılmıştır. Oluşturulan nakliyat senaryolarında öncelikle araç alternatifleri sıralamalarını belirlemek için maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans ana kriterlerine ilişkin tüm alt kriterlerin genel ağırlık değerleri

dikkate alınarak bulanık hibrid çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra ise her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterlerin ağırlık değerleri ayrı ayrı dikkate alınarak da sonuçlar ayrıca ortaya konulmuştur (Tablo 5.1, Tablo 5.2).

Tablo 5.1: İbreli türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında ilgili kriter ağırlıklarına göre en uygun araç alternatifleri.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	DİKKATE ALINAN KRİTER AĞIRLIKLARI			
				Tüm alt kriterlerin genel ağırlıkları	Maliyet ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları*	Çevresel zarar ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları**	Operasyonel performans ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları***
				EN UYGUN ARAÇ ALTERNATİFİ			
1	İBRELİ TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-616,95 kg/m^3)	50 m^3 (30.847,5 kg)	150	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	3 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
2			200	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	3 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
3			250	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	3 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
4			300	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	3 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
5		100 m^3 (61.695 kg)	150	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
6			200	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
7			250	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
8			300	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
9		150 m^3 (92.542,5 kg)	150	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
10			200	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
11			250	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
12			300	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
13		200 m^3 (123.390 kg)	150	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
14			200	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
15			250	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
16			300	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç

***Sabit maliyet, değişken maliyet, birim maliyet**

****CO_2 emisyonu, Yol yüzeyi zarar riski**

*****Varış süresi, yakıt tüketimi, yük kapasitesi**

Tablo 5.2: Yapraklı türler için oluşturulan nakliyat senaryolarında ilgili kriter ağırlıklarına göre en uygun araç alternatifleri.

SENARYO NO	Taşınacak Orman Ürünü Ağaç Grubu	Taşınacak Ürün Miktarı (m^3)-(kg)	Taşıma Mesafesi (km)	DİKKATE ALINAN KRİTER AĞIRLIKLARI			
				Tüm alt kriterlerin genel ağırlıkları	Maliyet ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları*	Çevresel zarar ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları**	Operasyonel performans ana kriterinin altında bulunan alt kriterlerin ağırlıkları***
				EN UYGUN ARAÇ ALTERNATİFİ			
1	YAPRAKLI TÜRLER (Rutubet dahil hacim ağırlık-986,42 kg/m^3)	50 m^3 (49.321,25 kg)	150	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
2			200	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
3			250	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
4			300	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
5		100 m^3 (98.642,5 kg)	150	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
6			200	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
7			250	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
8			300	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
9		150 m^3 (147.963,75 kg)	150	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
10			200	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
11			250	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
12			300	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç	5 akslı yarı römorklu araç
13		200 m^3 (197.285 kg)	150	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
14			200	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
15			250	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç
16			300	5 akslı yarı römorklu araç	4 akslı kamyon	4 akslı kamyon	5 akslı yarı römorklu araç

***Sabit maliyet, Değişken maliyet, Birim maliyet**

****CO_2 emisyonu, Yol yüzeyi zarar riski**

*****Varış süresi, Yakıt tüketimi, Yük kapasitesi**

Elde edilen sonuçlara göre, tüm ana kriterler için belirlenen alt kriterler dikkate alındığında, ibreli türler için belirlenen nakliyat senaryolarında taşıma mesafesinin araç tipi uygunluk sıralamalarına etki etmediği, 50 m^3 ve 100 m^3 taşınacak orman ürünü miktarına ait nakliyat senaryolarında ise, en uygun araç tipinin 4 akslı kamyon olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak diğer taşınacak orman ürünü miktarları değerlendirildiğinde ise, daha yüksek yük kapasitesine olan 5 akslı yarı römork tipinde aracın en uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapraklı türlere ilişkin oluşturulan nakliyat senaryolarında ise büyük çoğunluğunda 5 akslı yarı römorklu araç tipinin en uygun olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum çalışmadaki yapraklı ağaç grubunun ibreli ağaç grubundan hacim ağırlık (yoğunluk) olarak daha ağır olması ve rutubet miktarı açısından da daha fazla rutubet içermesi sonucu, gerekli olacak araç adetlerinin artmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Buna bağlı olarak da maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans değerlerinde araç tipleri açısından farklılık oluştuğu ayrıca düşünülmektedir. Çalışmada ulaşılan sonucu destekleyen nitelikte, Tymendorf ve Trzcinski (2020) odunun yoğunluğu ve nem içeriğinin yükün miktarına önemli ölçüde etki ettiğini ifade etmiştir. Sosa ve diğ. (2015c) tarafından yapılan çalışmada ise, nem içeriğinin kamyonun verimliliğini etkilediğini ve toplam taşınan ürün miktarını azalttığını belirtilmiştir. Benzer şekilde Murphy ve diğ. (2012) odundaki su miktarının azalması yük başına daha az su ve daha fazla odundan kaynaklı nakliyat maliyetlerini azalttığını belirtmiştir. Kanzian ve diğ. (2016) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, nem içeriğinin %40'dan %30'a düşmesi kâr miktarını artırdığını ve atmosfere verilen sera gazı emisyonunu ise azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ana kriterlerden biri olan maliyet ana kriterlerin altında yer alan sabit maliyet, değişken maliyet ve birim maliyet alt kriterleri dikkate alınarak yapılan araç tipi uygunluk sıralamalarında ise, ibreli türler için belirlenen nakliyat senaryolarında 4 akslı kamyonun daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapraklı türlere ilişkin nakliyat senaryoları değerlendirildiğinde ise taşınacak ürün miktarı olan 50 m^3 orman ürünü için en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç olduğu, diğer nakliyat senaryolarında ise en uygun araç tipinin 4 akslı kamyon olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmaya benzer nitelikte Laitila ve diğ. (2016), daha yüksek maksimum yüklü ağırlığa sahip 48 ton semi-treyler ile 60 ton ve 69 ton kamyon-treyleri bütün ağaç yonga ve tali nakliyat artığı yonga taşınmasında maliyet açısından kıyaslaması üzerine bir çalışma yapmış ve 69 tonluk aracın maliyet açısından daha uygun olduğu bulunmuştur. Ancak, Prinz ve diğ. (2019) tarafından yapılan benzer bir çalışmada azami yüklü ağırlığı 52 ton, 60 ton ve 69 tona sahip farklı tipte kamyon-treylerler karşılaştırılmış ve %54'lük nem içeriğinde 52 tonluk kamyon-treylerin 60 tonluk kamyon treylerden daha az maliyetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun artan nem içeriğinin ve odun yoğunluklarının artmasının daha düşük yük kapasiteli araçlarda rekabete neden olduğu ayrıca belirtilmiştir. Han ve Murphy (2011) ise, farklı tipte odun biyomasının yükleme ve boşaltma zamanlarını etkileyen farklı materyal boyutları ve yüklerinden kaynaklı toplam kamyon maliyetlerini etkilediğini vurgulamıştır.

Ayrıca optimal maliyet etkili nakliyat seçeneğinin taşınan materyal tipinin nem içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini ifade etmiştir. Zamora ve diğ. (2013) nakliyat maliyetinin taşıma mesafesi ve kamyon sayılarından doğrudan etkilendiğini belirtmiştir. Asikainen (2010) ise gerekli kamyon sayılarının artmasının nakliyat maliyetlerini etkilediğini ifade etmiştir. Yukarıda özetlenen araştırmalar dikkate alındığında, bu çalışmadaki ibreli ve yapraklı ağaç grubunun hacim ağırlık ve rutubet değerlerindeki farklılık, taşınacak odun hammaddesi miktarları ve araç yük kapasitelerindeki farklılıklarından dolayı gerekli olan araç adetlerini etkilemekte, bunun sonucunda da belirtilen maliyet türlerinde farklılıklar oluşabilmektedir. Bu durum farklı araç alternatifleri uygunluk sonuçlarının maliyet alt kriterleri açısından elde edilmesinin olası nedeni olduğu varsayılabilir.

Diğer bir ana kriter olan çevresel zarar ana kriterinin altında yer alan CO_2 emisyonu ve yol yüzeyi zarar riski dikkate alınarak yapılan araç tipi uygunluk sıralamalarında ise, ibreli ve yapraklı ağaç grubu açısından birtakım farklılıklar tespit edilmiştir. İbreli türler açısından 50 m^3 ve 100 m^3 taşınacak orman ürün miktarı için, en uygun araç tipinin sırasıyla 3 akslı kamyon ve 4 akslı kamyon olduğu, diğer nakliyat senaryolarında ise en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç tipi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İbreli türlerde oluşan bu durum, yapraklı türlere kıyasla hacim ağırlık olarak daha hafif olmaları sonucu, özellikle taşınacak ürün miktarlarının daha az olduğu durumlarda 5 akslı yarı römorklu araca kıyasla daha az yük kapasiteli araç seçilmesi halinde yükle birlikte toplam ağırlık olarak daha az ağırlık oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak da daha az yol yüzeyi zararı ve yakıt tüketimine bağlı olarak da daha az CO_2 emisyonu elde edilmesi olasıdır. Yapraklılara ilişkin nakliyat senaryolarında ise, durumun büyük çoğunlukla en uygun araç tipinin 5 akslı yarı römorklu araç şeklinde olduğu görülmektedir. Bu durumumun ortaya çıkmasında yapraklıların daha ağır ve rutubetli olması nedeniyle daha yüksek yük kapasiteli araç tipinde gerekli araç adedinin daha az olmasına bağlı toplamdaki yakıt tüketiminin daha düşük olması ve buna bağlı olarak da CO_2 emisyonu düşüklüğü elde edilmesi olduğu düşünülmektedir. Bununla ilgili olarak Klvac ve diğ. (2013) kamyonların yakıt tüketiminin çevresel kirliliğe sebep olan sera gazı emisyonlarını artırdığını belirtmiştir. Ayrıca bu çalışma sonucu ile benzer nitelik gösteren Busenius ve diğ. (2015) tarafından ortaya konulan bir çalışmada araçlar için maksimum izin verilebilir ağırlığın 40 tondan 44 tona çıkarılması durumunda sera gazı emisyonlarının %13'lük bir azalışa neden olduğu belirtilmiştir. Sosa ve diğ. (2015a) ise aks yükü ve üst yapı arasında güçlü bir fonksiyon olduğunu yükteki küçük artışların büyük üst yapı zararını artırdığını belirtmektedir.

Son olarak operasyonel performans ana kriterinin altındaki alt kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde ise, ibreli türlerde ve yapraklı türlerde 5 akslı yarı römorklu araç tipinin kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca diğer alternatif araç uygunluk sıralamalarının ise, büyük yük kapasiteli araç tipinden küçük yük kapasiteli araç tipine doğru olduğu görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında 5 akslı yarı römorklu araç tipinin yük kapasitesinin daha büyük olması dolayısıyla taşıma için gerekli araç adedinin azalması ve buna bağlı olarak toplamdaki yakıt tüketiminin azalması ve verimliliğin artması olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada oluşturulan araştırma hipotezlerine ilişkin sonuçlar aşağıda verilmiştir:

H1) Tüm alt kriterlerin ve her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterlerin ayrı ayrı değerlendirildiği nakliyat senaryolarında ibreli ve yapraklı ağaç grubu için araç alternatif uygunluk sıralamalarında bir farklılık olduğu, (**H_{1A}**)

H2) Tüm alt kriterlerin ve her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterlerin ayrı ayrı dikkate alındığı nakliyat senaryolarında her koşulda en uygun araç alternatifinin en yüksek yük kapasiteli araç alternatifi olmadığı, **(H_{2A})**

H3) Tüm alt kriterlerin ve her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterlerin ayrı ayrı dikkate alındığı nakliyat senaryolarında elde edilen araç alternatif uygunluk sıralamalarının farklılık gösterdiği, **(H_{3A})**

sonuçlarına ulaşılmıştır.

Ortaya konulan bu çalışmada maliyet, çevresel zarar ve operasyonel performans ana kriterlerinin altında bulunan tüm alt kriterlerin dikkate alınmış olması nakliyat planlamasında araç tiplerinin etkin bir şekilde belirlenmesine imkân sağlamıştır. Ayrıca her bir ana kriterin altında bulunan alt kriterler de dikkate alınarak nakliyat senaryolarının ayrı ayrı değerlendirilmiş olması amaca göre farklılığın ortaya konulması açısından önem taşımaktadır.

Tüm alt kriterler açısından sonuçlar ibreli ve yapraklı ağaç grubu açısından genel olarak değerlendirildiğinde, araç alternatiflerinde birtakım farklılıklar bulunmakla beraber, büyük çoğunlukta daha yüksek yük kapasiteli olan 5 akslı yarı römork tipinde aracın daha uygun

olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda çalışmada ulaşılan sonuçlar, Türkiye'de gerçekleştirilen orman ürünleri nakliyatı açısından, mevcut orman yolu koşulları (geometrik standartları, üst yapı durumu vb.) açısından da değerlendirilmelidir. Bu durumla ilgili olarak Akgül ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada uzun boylu araçların yetersiz kurp boyutlarından dolayı orman yollarında manevra zorluklarına maruz kaldıkları belirtilmiş ve orman yollarında dinamik kurp genişlikleri analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra mevcut yasal olarak izin verilen toplam araç ağırlıkları da orman ürünleri nakliyatı açısından değerlendirilmelidir.

Öte yandan çalışmada elde edilen sonuçlara göre, taşınacak orman ürünlerinin miktarını ve ağaç türünün dikkate alınmasının nakliyat planlaması açısından daha yararlı olacağı görülmektedir.

Bununla ilişkili olarak, nakliyatı gerçekleştirilen çalışma alanındaki ağaç türleri hacim ağırlık bakımından ve mevsim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilecek rutubet miktarları açısından değerlendirilerek planlama buna uygun yapılmalıdır. Bu sayede yasal olarak izin verilen maksimum araç ağırlıklarının aşılmasının önüne geçilmesi açısından önem taşımaktadır.

Çalışma sonuçları bir başka açıdan da araç alternatiflerinin önem derecelerinin bilinmesi nedeniyle eldeki mevcut imkânlara göre daha iyi bir araç seçimi sağlanması imkânı oluşturacaktır. Orman ürünleri nakliyat planlamasının karmaşık bir konu olması ve buna bağlı olarak da birçok koşulu dikkate almanın gerekli olduğu düşünülürse, en uygun araç tipinin kullanılması açısından ve nakliyat planlamasının buna göre yapılması açısından katkı sağlayacağı ayrıca düşünülmektedir. Genel bir değerlendirme olarak da orman ürünleri nakliyat planlamasında bulanık tabanlı AHP-TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımının sağlanması, planlayıcıların doğru ve etkili kararlar alabilmeleri açısından uygun olacağı düşünülmektedir. Öte yandan çalışmada kullanılan GPS tabanlı araç takip sisteminin benzer nakliyat planlama çalışmalarında kullanılmasının zaman etüdü çalışmalarının etkin bir şekilde yapılmasına imkân sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda farklı değerlendirme kriterlerinin de dikkate alınması ve farklı çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılması ile ulaşılan sonuçlar, bu çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu çalışmada araç tipi alternatiflerinin oluşturulmasında, araç marka ve tipleri nakliyatta yaygın olarak kullanılan araçlar ve markalar açısından genel olarak belirlenmiştir. Bu nedenle orman işletme müdürlüğü amaçları, eldeki işletme imkânları, taşınacak orman

ürünü boyutları (uzunluk, çap vb.), mevcut yol koşulları, kullanılan üretim metotları gibi unsurlar da göz önünde bulundurularak araç alternatifleri çeşitlendirilebilir. Ayrıca orman ürünleri nakliyat senaryolarında mevsimsel koşullar, farklı yol güzergâhları gibi durumlar da göz önünde bulundurularak farklı nakliyat senaryoları oluşturulabilir. Bu sayede maliyet, çevresel zarar riski ve operasyonel performans açısından araç alternatiflerinin durumları biraz daha ayrıntılı ortaya konulabilir ve oluşturulacak ilgili nakliyat senaryolarına göre araç alternatiflerinin uygunluk durumları daha etkin bir şekilde elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, H.H., 1994, *Ormancılıkta Transport Planları ve Dağlık Arazide Orman Transport Planlarının Oluşturulması*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Acar, H.H., 1998, Artvin orman işletme müdürlüğünde kamyonla nakliyat giderlerinin transport modeli ile minimize edilmesi, *Journal of agriculture and forestry*, 22 (5), 491-497.

Acar, H.H., Akay, A.E ve Gümüş, S., 2015, *Ormancılıkta Mekanizasyon*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, Trabzon, ISBN: 978-975-6983-76-8.

Achillas, C., Moussiopoulos, N., Karagiannidis, A., Banias, G. and Perkoulidis, G., 2013, The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review, *Waste management & research*, 31 (2), 115-129.

Akad, M. ve Gedizlioğlu, E., 2011, Toplu taşıma türü seçiminde simülasyon destekli analitik hiyerarşi yaklaşımı, *İTÜ dergisi/d*, 6 (1), 88-98.

Akay, A.E. ve Erdaş, O., 2007, Orman ürünlerinin nakliyatının planlanmasında ağ (Network) modeli yaklaşımı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi dergisi*, 57 (2), 1-20.

Akgul, M., Demir, M. and Akay, A.E., 2017, Analyzing dynamic curve widening on forest roads, *Journal of forestry research*, 28 (2), 411-417.

Anon., 1997, *Karayolları Trafik Yönetmeliği*, Resmî Gazete Tarihi ve Sayısı: 18.07.1997-23053.

Anon., 2012, *Araçların Yüklenmesine İlişkin Ölçü ve Usuller İle Tartı ve Boyut Ölçüm Toleransları Hakkında Yönetmelik*, Resmi Gazete Tarihi ve Sayısı: 08.11.2012-28461.

Anon., 2020, *Motorlu Araçlar ve Römorkları İle Bunların Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerinin Tip Onayı ve Piyasa Gözetimi ve Denetimi Hakkında Yönetmelik*, Resmi Gazete Tarihi ve Sayısı: 14.05.2020 – 31127.

Asikainen, A., 2010, Simulation of stump crushing and truck transport of chips, *Scandinavian journal of forest research*, 25 (3), 245-250.

Audy, J.F., Marques A.S., Rönnqvist M., Epstein R. and Weintraub A., 2014, *Transportation and routing*, The management of industrial forest plantations, In: Borges J.G, Chapter 8, Springer, The Netherlands, 269–295.

Aykut, T., 1985, Orman ürünlerinin taşınmasında mekanizasyon ve verimler, *Ormancılıkta mekanizasyon ve verimliliği I. ulusal sempozyumu*, 8-12 Temmuz 1985 Bolu, 130-158.

Azadeh, A., Ghaderi, S. F. and Izadbakhsh, H., 2008, Integration of dea and ahp with computer simulation for railway system improvement and optimization, *Applied mathematics and computation*, 195 (2), 775-785.

Azadeh, A., Salehi, V., Jokar, M. and Asgari, A., 2016, An integrated multi-criteria computer simulation-AHP-TOPSIS approach for optimum maintenance planning by incorporating operator error and learning effects, *Intelligent ındustrial systems*, 2 (1), 35-53.

Bayoğlu, S., 1996, *Orman Nakliyatının Planlanması*, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-404-438-4.

Bayoğlu, S., 1997, *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları*, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-404-430-9.

Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M. and Ignatius, J., 2012, A state-of the-art survey of TOPSIS applications, *Expert systems with applications*, 39 (17), 13051-13069.

Bender, M.J. and Simonovic, S.P., 2000, A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty, *Fuzzy sets and systems*, 115 (1), 35-44.

Bozkurt, A.Y, ve Erdin, N., 2011, *Ağaç Teknolojisi*, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi, İstanbul, ISBN: 978-975-404-900-8.

Buckley, J. J., 1985, Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy sets and systems*, 17 (3), 233-247.

Busenius, M., Engler, B., Smaltschinski, T. and Opferkuch, M., 2015, Consequences of increasing payloads on carbon emissions–an example from the Bavaria State Forest Enterprise (BaySF), *Forestry Letters*, 108 (8), 7-14.

Çalışkan, E., 2008, *Orman Yol Ağı Üzerinde Odun Hammaddesi Taşınmasının Tavlama Benzetimi Yöntemi İle Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chang, D.Y., 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European journal of operational research*, 95 (3), 649-655.

Chen, C.T., 2000, Extensions of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment, *Fuzzy sets and systems*, 114, 1-9.

Cheng, S., Chan, C.W. and Huang, G.H., 2002, Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management, *Journal of environmental science and health part A*, 37 (6), 975-990.

Cho, K.T., 2003, Multi criteria decision methods: an attempt to evaluate and unify, *Mathematical and computer modeling*, 37 (9-10), 1099–1119.

Chung, W., Sessions, J. and Heineman, R.H., 2001, Optimization of Cable Harvesting Equipment Placement and Road Locations Using Digital Terrain Models, *Workshop on New Trends with Cable Systems Extraction at Mountainous Terrain*, 18 – 24 Haziran 2001 Ossiach, Avusturya.

Contreras, M.A., Chung, W. and Jones, G., 2008, Applying ant colony optimization metaheuristic to solve forest transportation planning problems with side constraints, *Canadian journal of forest research*, 38 (11), 2896-2910.

Demir, M., 2004, Orman ürünlerinin üretimi ve taşınması sırasında meydana gelen kayıplar ve çözüm önerileri, *Journal of the faculty of forestry Istanbul University*, 54 (1), 91-104.

Demirci, E., 2019, *Lojistik İlkeleri Ders Notları*, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, İstanbul.

Devlin, G., Sosa, A. and Acuna, M., 2016, *Solving the woody supply chain for Ireland's expanding biomass sector: A case study*, In biomass supply chains for bioenergy and biorefining, ln: Bo Holm-Nielsen, J., Ehimen, E.A, Chapter 15, Elsevier Woodhead Publishing, ISBN: 978-1-78242-366-9, 333-355

Devlin, G.J., Mcdonnell, K. and Ward, S., 2008, Timber haulage routing in Ireland: an analysis using GIS and GPS, *Journal of transport geography*, 16 (1), 63-72.

Eker, M. ve Acar, H.H., 2006, Ormancılıkta odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama modelinin geliştirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi*, 10 (2), 235-248.

Eker, M., 2004, *Odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama modelinin geliştirilmesi*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

El Hachemi, N., Gendreau, M. and Rousseau, L.M., 2008, Solving a log-truck scheduling problem with constraint programming, *5th International conference on ıntegration of aıand or techniques in constraint programming for combinatorial optimization problems, lecture notes in computer science*, 2008 Berlin, Heidelberg, Springer, 293-297.

Erdaş, O., 1986, Odun hammaddesi üretimi, bölmeden çıkarma ve taşıma safhalarında sistem seçimi, *KTÜ Ormaıı Fakültesi dergisi*, 9 (1-2), 91-113.

Erdaş, O., 1997, *Orman Yolları Cilt I-II*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, ISBN: 975 6983-02-07.

Erginel, N., Çakmak, T. ve Şentürk, S., 2010, Numara Taşınabilirliği Uygulaması Sonrası Türkiye'de GSM Operatör Tercihlerinin Bulanık TOPSIS İle Belirlenmesi, *Anadolu Üniversitesi bilim ve teknoloji dergisi*, 11 (2), 81-93.

Erdönmez, C., Özden, S., Atmış., Akesen, A., Ekizoglu, A. ve Kuvan, Y., 2010, *Ormancılık Politikası*, Türkiye Ormancılar Derneği Özdoğan Matbaa, Ankara, ISBN: 978-9944-0048-3-1.

Forman, E.H. and Gass, S.I., 2001, The analytic hierarchy process—an exposition, *Operations research*, 49 (4), 469-486.

Geisler, E., Rittenhouse, C.D. and Rissman, A.R., 2016, Logger perceptions of seasonal environmental challenges facing timber operations in the upper midwest, *Society & natural resources*, 29 (5), 540-555.

Ghaffariyan, M.R. and Brown, M., 2013, Selecting the efficient harvesting method using multiple-criteria analysis: A case study in southwest Western Australia, *Journal of forest science*, 59 (12), 479-486.

Ghajar, I. and Najafi, A., 2012, Evaluation of harvesting methods for sustainable forest management (SFM) using the analytical network process (ANP), *Forest policy and economics*, 21, 81-91.

Göçken, M., Boru, A. ve Dosdoğru, A.T., 2018, İki aşamalı tedarik zincirinde eş zamanlı stok kontrolünün ve tedarikçi seçiminin simülasyon optimizasyonu yaklaşımı ile analizi, *Karaelmas fen ve mühendislik dergisi*, 8 (1), 1-10.

Görcelioğlu, E., 2003, *Orman Yolları-Erozyon İlişkileri*, İstanbul Üniversitesi Basın ve Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-404-707-3.

Gülci, N., 2014, *Üretim planlamasında hassas ormancılık üzerine araştırmalar*, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gültaş İ., 2007, Endüstri *mühendisliği eğitiminde matematik ders içeriklerinin belirlenmesinde bahp yöntemi ile çözüm önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hamsley, A.K., Greene, W.D., Siry, J.P. and Mendell, B.C, 2007, Improving timber trucking performance by reducing variability of log truck weights. *Southern journal of applied forestry*, 31 (1), 12-16.

Han, S.K. and Murphy, G., 2011, Trucking productivity and costing model for transportation of recovered wood waste in Oregon, *Forest products journal*, 61 (7), 552-560.

Han, S.K. and Murphy, G., 2012, Predicting loaded on-highway travel times of trucks hauling woody raw material for improved forest biomass utilization in Oregon, *Western journal of applied forestry*, 27 (2), 92-99.

Handler, R.M., Shonnard, D. R., Lautala, P., Abbas, D. and Srivastava, A., 2014, Environmental impacts of roundwood supply chain options in Michigan: life-cycle assessment of harvest and transport stages, *Journal of cleaner production*, 76, 64-73.

Hasdemir, M. ve Öztürk, T., 2011, *Orman Transport Tekniği (Ders Notları-basılmamış)*, İstanbul.

Holzleitner, F., Kanzian, C. and Stampfer, K., 2011, Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager, *European journal of forest research*, 130 (2), 293-301.

Hwang C.L. and Yoon K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-540-10558-9.

IPCC, 2006, *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Institute for Global Environmöental Strategies, Hayama-Kanagawa-Japan.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual*, Chapter 1 pp 4-44, 62-98, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic CoOperation and Development, International Energy Agency, Paris.

Irdla, M., Padari, A. and Muiste, P., 2016, The alternatives of transport of wood chips in Estonian conditions–a case study, *Baltic forestry*, 22 (2), 163-168.

Ishizaka, A. and Labib, A., 2011, Review of the Main Developments in The Analytic Hierarchy Process, *Expert systems with applications*, 38 (11), 14336-14345.

Jaafari, A., Najafi, A. and Melón, M.G., 2015, Decision-making for the selection of a best wood extraction method: An analytic network process approach, *Forest policy and economics*, 50, 200-209.

Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. and Izadikhah, M., 2006, An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data, *Applied mathematics and computation*, 175 (2), 1375-1384.

Jang, J.S., 1993, ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23 (3), 665-685.

Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997, Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence, *IEEE Transactions on automatic control*, 42 (10), 1482-1484.

Janic., 2003, Multicriteria Evaluation of High-Speed Rail, Transrapid Maglev and Air Pessenger Transport in Europa, Transportation Planning&Tecchnology, 26 (6), 491-512.

Kahraman, C., Cebeci, U. and Ulukan, Z., 2003, Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP, *Logistics information management*, 16 (6), 382-394.

Kanzian, C., Kühmaier, M. and Erber, G., 2016, Effects of moisture content on supply costs and CO_2 emissions for an optimized energy wood supply network, *Croatian journal of forest engineering: journal for theory and application of forestry engineering*, 37 (1), 51-60.

Karabenli S.T., 2018, *Orman Yolu Standartlarının Yükseltilmesinin Orman Ürünlerinin Toplam Ekonomik Değeri ve Uzak Nakliyat Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karakaşoğlu N., 2008, *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Keenan, P., 2008, Modelling vehicle routing in GIS, *Operational research*, 8 (3), 201-218.

Kim, J. and Kasabov, N., 1999, HyFIS: adaptive neuro-fuzzy inference systems and their application to nonlinear dynamical systems, *Neural Networks*, 12 (9), 1301-1319.

Klvač, R., Kolařík, J., Volná, M. and Drápela, K., 2013, Fuel consumption in timber haulage, *Croatian journal of forest engineering: journal for theory and application of forestry engineering*, 34 (2), 229-240.

Koirala, A., Kizha, A.R. and Roth, B., 2016, Forest trucking industry in maine: a review on challenges and resolutions, *In proceedings of the 39th annual meeting of the council on forest engineering*, 19–21 September 2016 Vancouver, Canada, 1-9.

Koirala, A., Kizha, A.R. and Roth, B.E., 2017, Perceiving major problems in forest products transportation by trucks and trailers: A cross-sectional survey, *European journal of forest Engineering*, 2017 (3), 23-34.

Kokenge, K.S., 2011, *Opportunities and challenges for decision support systems in log truck scheduling and dispatching*, Thesis (M.Sc.), Oregon State University.

Kwong, C. K. and Bai, H., 2003, Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach, *IIE transactions*, 35 (7), 619-626.

Laitila, J., Asikainen, A. and Ranta, T., 2016, Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland, *Biomass and bioenergy*, 90, 252-261.

Lautala, P. T., Hilliard, M. R., Webb, E., Busch, I., Hess, J. R., Roni, M. S., Hilbert, J., Handler, M.R, Bittencourt, R., Amir V. and Laitinen, T., 2015, Opportunities and challenges in the design and analysis of biomass supply chains, *Environmental management*, 56 (6), 1397-1415.

LeDoux, C.B., 1988, Impact *of timber production and transport costs on stand management*, US Department of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station, United States.

Liimatainen, H. and Pöllänen, M., 2010, Trends of energy efficiency in Finnish road freight transport 1995–2009 and forecast to 2016, *Energy policy*, 38 (12), 7676-7686.

Liu, F.-H.F. and Hai, H.L., 2005, The voting analytic via hierarchy process method for selecting supplier, *International journal of production economics*, 97 (3), 308-317.

Lopez, J., De La Torre, R. and Cubbage, F., 2010, Effect of land prices, transportation costs, and site productivity on timber investment returns for pine plantations in Colombia, *New forests*, 39 (3), 313-328.

Manzone, M. and Balsari, P., 2015, The energy consumption and economic costs of different vehicles used in transporting woodchips. *Fuel*, 139, 511-515.

Manzone, M. and Calvo, A., 2017, Woodchip transportation: climatic and congestion influence on productivity, energy and CO_2 emission of agricultural and industrial convoys, *Renewable energy*, 108, 250-259.

McKinnon, A.C. ve Piecyk, M.I., 2009, Measurement of CO_2 emissions from road freight transport: A review of UK experience, *Energy policy*, 37 (10), 3733-3742.

MEGEP-MEB, 2011, *Ulaştırma Hizmetleri Alanı Karayolu Taşımacılığı*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

Miyata, E.S., 1980, *Determining fixed and operating costs of logging equipment*, General Technical Report NC-55. St. Paul, MN: US Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 55.

Mousavi, R. and Naghdi, R., 2013, Time consumption and productivity analysis of timber trucking using two kinds of trucks in northern Iran, *Journal of forest science*, 59 (5), 211-221.

Mousavi, R., 2009, *Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log vs. long-log*, Thesis (PhD), University of Joensuu Faculty of Forest Sciences.

Murphy G., 2003, Reducing trucks on the road through optimal route scheduling and shared log transport service, *Southern journal of applied forestry*, 27 (3), 198-205.

Murphy, G., Kent, T. and Kofman, P. D., 2012, Modeling air drying of Sitka spruce (Picea sitchensis) biomass in off-forest storage yards in Ireland, *Forest products journal*, 62 (6), 443-449.

Nurminen, T. and Heinonen, J., 2007, Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland, *Silva fennica*, 41 (3), 471-487.

OECD, 2004, *Biomass and Agriculture: sustainability, markets and policies*, OECD, Paris.

OGM, 2008, 292 sayılı tebliğ: Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2016, Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetleri 2016 raporu, https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/EgitimDokumanlari/%C4%B0%C5%9Fletme%20ve%20Pazarlama%20Dairesi%20Ba%C5%9Fkanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1/2016%20Oduna%20Dayal%C4%B1%20Orman%20%C3%9Cr%C3%BCnlerinin%20%C3%9Cretim%20ve%20Pazarlama%20Faaliyetleri.pdf , [Ziyaret tarihi: 6 Ağustos 2020]

OGM, 2019, Orman Genel Müdürlüğü 2019 yılı faaliyet raporu, https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/FaaliyetRaporu/Orman%20Genel%20M%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC%202019%20Y%C4%B1l%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu.pdf, [Ziyaret tarihi: 6 Ağustos 2020]

Özbek, A., 2017, *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve excel ile problem çözümü*, Seçkin Yayınevi, Ankara, ISBN: 978-975-02-4513-8.

Öztürk, T., 2003, Çukur üretim alanında bölmeden çıkarma çalışmaları üzerine bir araştırma, *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi dergisi*, 1 (2), 103-110.

Öztürk, T., 2005, Artvin bölgesinde kamyonla nakliyatın incelenmesi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi dergisi*, 55 (2), 63-74.

Öztürk, T., 2006, Türkiye'de Odun Üretiminin İş Aşamaları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi dergisi*, 56 (2), 109-121.

Palander, T., 1995, Local factors and time-variable parameters in tactical planning models: A tool for adaptive timber procurement planning, *Scandinavian journal of forest research*, 10 (1-4), 370-382.

Palander, T., 1998, *Tactical models of wood-procurement teams for geographically decentralized group decision making*, Thesis (Ph.D.), University of Joensuu Faculty of Forest Sciences.

Palander, T., 2016, Environmental benefits from improving transportation efficiency in wood procurement systems, *Transportation research part d: transport and environment*, 44, 211-218.

Palmgren, M., 2005, *Optimal Truck Scheduling: Mathematical Modeling and Solution by the Column Generation Principle*, Thesis (Ph.D.), Linköpings Universitet, Institute of Technology.

Palmgren, M., Rönnqvist, M. and Värbrand, P., 2003, A solution approach for log truck scheduling based on composite pricing and branch and bound, *International transactions in operational research*, 10 (5), 433-447.

Pekin, M.A., 2006, *Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Prinz, R., Väätäinen, K., Laitila, J., Sikanen, L. and Asikainen, A., 2019, Analysis of energy efficiency of forest chip supply systems using discrete-event simulation, *Applied Energy*, 235, 1369-1380.

Rabelo, L., Eskandari, H., Shaalan, T. and Helal, M., 2007, Value chain analysis using hybrid simulation and AHP, *International journal of production economics*, 105 (2), 536-547.

Rönnqvist, M., D'Amours, S., Weintraub, A., Jofre, A., Gunn, E., Haight, R. G., Martell, D., Murray, A.T., and Romero, C., 2015, Operations research challenges in forestry: 33 open problems, *Annals of operations research*, 232 (1), 11-40.

Russo, F.S.M.R. and Camanho, R., 2015, Criteria in AHP: a systematic review of literatüre, *Procedia computer science*, 55, 1123-1132.

Saaty T.L., 1988, *What is the Analytic Hierarchy Process?*. In: Mitra G., Greenberg H.J., Lootsma F.A., Rijkaert M.J., Zimmermann H.J, Springer, Berlin-Heidelberg, ISBN:978-3-642-83557-5, 109-121.

Saaty, T.L., 1980, *The analytic hierarquic process*, Pittsburg: RWS Publications.

Saaty, T.L., 1994, How to make a decision: the analytic hierarchy process, *Interfaces*, 24 (6), 19-43.

Saaty, T.L., 1996, *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, RWS Publications.

Saremi, M., Mousavi, S.F. and Sanayei, A., 2009, TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment, *Expert systems with applications*, 36 (2), 2742-2749.

Seçkin, Ö.B., 1982, *Orman Nakliyatında Yükleme ve Boşaltma İşleri Üzerine Araştırmalar*, İstanbul, İÜ Yayın No: 2905, O.F. Yayın No: 310.

Sessions, J., 1986, *Cost Control in Logging and Road Construction*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Sikanen, L., Asikainen, A. and Lehikoinen, M., 2005, Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS, *Biomass and Bioe*nergy, 28 (2), 183-191.

Sosa, A., Acuna, M., McDonnell, K. and Devlin, G., 2015c, Controlling moisture content and truck configurations to model and optimise biomass supply chain logistics in Ireland, *Applied energy*, 137, 338-351.

Sosa, A., Klvac, R., Coates, E., Kent, T. and Devlin, G., 2015a, Improving log loading efficiency for improved sustainable transport within the Irish forest and biomass sectors, *Sustainability*, 7 (3), 3017-3030.

Sosa, A., McDonnell, K. and Devlin, G., 2015b, Analysing performance characteristics of biomass haulage in Ireland for bioenergy markets with GPS, GIS and fuel diagnostic tools, *Energies*, 8 (10), 12004-12019.

Süslü, H.E., 2016, *Orman ürünleri nakliyatının planlanması amaçlı CBS tabanlı karar destek sisteminin geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Svenson, G., 2011, The impact of road characteristics on fuel consumption for timber trucks, *Proceedings of the 4th Forest Engineering Conference: Innovation in Forest Engineering – Adapting to Structural Change*, 5-7 April 2011 White River South Africa, Department of Forest and Wood Science, Stellenbosch University, 172.

Svenson, G. and Fjeld, D., 2016, The impact of road geometry and surface roughness on fuel consumption of logging trucks, *Scandinavian journal of forest research*, 31 (5), 526-536.

Triantaphyllou, E., 2000, *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*, Springer US, ISBN: 978-0-7923-6607-2.

Trzciński, G., Moskalik, T. and Wojtan, R., 2018, Total weight and axle loads of truck units in the transport of timber depending on the timber Cargo, *Forests*, *9* (4), 164.

Tufts, R., Gallagher, T., McDonald, T. and Smidt, M., 2005, Let's talk trucking: Truck performance and fuel consumption, Forest Resources association, 1-6.

Tymendorf, Ł. and Trzciński, G., 2020, Multi-Factorial Load Analysis of Pine Sawlogs in Transport to Sawmill, *Forests*, 11 (4), 366.

Van Laarhoven, P. J. and Pedrycz, W., 1983, A fuzzy extension of Saaty's priority theory, *Fuzzy sets and Systems*, 11 (1-3), 229-241.

Vinodh, S., Prasanna, M. and Prakash, N.H., 2014, Integrated fuzzy ahp–topsıs for selecting the best plastic recycling method: a case study, *Applied mathematical modelling*, 38 (19), 4662-4672.

Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T. and Epstein, R., 2007, *Handbook of Operation Research in Natural Resources*, Springer, New York.

Yang, S., Liu, T. and Cheng, Y., 2008, Automatic measurement of payload for heavy vehicles using strain gages, *Measurement*, 41, 491–502.

Yayla, N., 2015, *Karayolu Mühendisliği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN: 978-975-511-287-1

Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy Sets, *Information and control*, 8 (3), 338–353.

Zamora-Cristales, R., Boston, K., Sessions, J. and Murphy, G., 2013, Stochastic simulation and optimization of mobile chipping economics in processing and transport of forest biomass from residues, *Silva Fennica*, 47 (5), 1-21.

Zeng, Q.L., Li, D.D. and Yang, Y.B., 2013, VIKOR method with enhanced accuracy for multiple criteria decision making in healthcare management, *Journal of medical systems*, 37 (2), 9908.

Zhu, K.J., Jing, Y. and Chang, D.Y., 1999, A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP, *European journal of operational research*, 116 (2), 450-456.

URL-1 *Mercedes Benz yeni Actros 2020 araç kataloğu,* https://testkamyoncdnpanel.blob.core.windows.net/files/pdf/actros-actrosbrosurler2020302-small.pdf?sv=2019-12-12&ss=bfqt&srt=sco&sp=rwdlacupx&se=2030-09-02T15:45:30Z&st=2020-09-02T07:45:30Z&spr=https&sig=QkR%2B9LzofEMI%2BNi3s3QLoY2YLRv7Oup8J97HBHBS4ag%3D, [Ziyaret Tarihi 3 Ağustos 2020].

URL-2 *Araçlara ilişkin yasal ölçü ve ağırlıklar*, https://docplayer.biz.tr/346913-21-ekim-2004-tarihli-25620-say-l-arac-mal-tadil-ve-montaj-hakk-nda-yonetmelik-olcu-ve-a-rl-klar-floyle-tan-mlamaktad-r.html, [Ziyaret Tarihi 1 Mart 2020].

URL-3 *Yıldız Entegre AŞ Kartepe tesisi*, https://www.yildizentegre.com/tr/tesisler/kartepe-tesisi, [Ziyaret Tarihi 5 Ağustos 2020].

URL-4 *Yıldız Entegre AŞ üretim tesisleri*, https://www.yildizentegre.com/tr/tesisler, [Ziyaret Tarihi 5 Ağustos 2020].

URL-5 *İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü genel tanıtım bilgileri*, https://istanbulobm.ogm.gov.tr/Sayfalar/Kurulusumuz/GenelBilgiler.aspx, [Ziyaret Tarihi 2 Ağustos 2020].

URL-6 *İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanlarına ilişkin bilgiler*, https://istanbulobm.ogm.gov.tr/Sayfalar/Ormanlarimiz/OrmanVarligi.aspx, [Ziyaret Tarihi 2 Ağustos 2020].

URL-7 *İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü odun hammadesi üretim miktarları*, https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/UretimSatisveStokFaaliyetleri/Forms/AllItems.aspx, [Ziyaret Tarihi 30 Ekim 2020].

URL-8 Seyir araç takip ve filo yönetim sistemi, http://web.seyirmobil.com/, [Ziyaret Tarihi 10 Temmuz 2019].

URL-9 *Araç takip sistemi nedir?,* https://www.seyirmobil.com/sayfa/arac-takip-sistemi-nedir, [Ziyaret Tarihi 7 Ağustos 2020].

URL-10 *Araç takip sistemi ürünleri*, https://www.seyirmobil.com/urunler/syrfm10#, [Ziyaret Tarihi 7 Ağustos 2020].

URL-11 *Mercedes Axor 1840 LS E5 (4X2) çekici*, https://www.truckstore.com/TR/tr/detail/10567S0225/MercedesBenz20ACTROS.html/#/all=all&currency=TRY&manufacturer=Mercedes-Benz&modelName=ACTROS&page=2&type=1845&vehicleType=Tractor%20units [Ziyaret Tarihi 5 Mayıs 2020].

URL-12 *Serin ultra marka römork tipleri,* http://serin.com.tr/Turkey/TR/Ultra-Damper/91/Ultra-8200-mm/53 [Ziyaret Tarihi 5 Mayıs 2020]

URL-13 *Fesan marka römork tipleri*, https://www.fesanmakina.com/upload/ekatalog/tr/fesan_tr.pdf, [Ziyaret Tarihi 3 Haziran 2020].

URL-14 *Mercedes Actros 1845 LS E6 (4x2) çekici*, https://www.truckstore.com/TR/tr/search/#/all=all&currency=TRY&manufacturer=Mercedes-Benz&page=0&vehicleType=Tractor%20units, [Ziyaret Tarihi 3 Haziran 2020].

URL-15 https://roadstars.mercedes-benz.com/content/dam/mercedes-benz-trucks/tr_TR/products/services/actros/Actros_Brosur_Eyl%C3%BCl_2017.pdf [Ziyaret Tarihi 04 Haziran 2020].

URL-16, *Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Türkiye'de araçların uyması gereken hız sınırları*,https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/HizSinirlari.aspx, [Ziyaret Tarihi 03 Haziran 2020].

URL-17, *Gelir İdaresi Başkanlığı amortisman oranları*, https://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/user_upload/Yararli_Bilgiler/amortisman_oranlari.pdf [Ziyaret Tarihi 2 Mayıs 2019].

URL-18, *Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası faiz oranları*, https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Merkez+Bankasi+Faiz+Oranlari/faiz-oranlari, [Ziyaret Tarihi 2 Mayıs 2020].

EKLER

EK1: ANKET FORMU

AÇIKLAMA: Aşağıda sunulan ***ikili karşılaştırmalar için uygun kutucuğa önem derecesine göre (X) işareti koyunuz.*** "***Eğer sol tarafta yer alan bir kriter sağ taraftaki kriterden daha önemli ise, işaretlemenizi "EŞİT OLARAK ÖNEMLİ" değerinin sol tarafına yapınız***." "***Eğer sağ tarafta yer alan bir kriter sol taraftaki kriterden daha önemli ise, işaretlemenizi "EŞİT OLARAK ÖNEMLİ" değerinin sağ tarafına yapınız."***
NOT: İlgili anketin hassas ve eksiksiz bir biçimde doldurulması oldukça önem taşımaktadır. İlginiz ve desteğiniz için teşekkür ederiz. **Arş. Gör. Anıl Orhan AKAY** Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Murat DEMİR**

ANKETİ CEVAPLAYININ	
Yaşı	
Mesleği	
Mesleki tecrübesi (yıl)	
Cinsiyeti	

ANA KRİTERLER

Sol kriter daha önemli ise sol taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.							*Sağ kriter daha önemli ise sağ taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.*					
TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	**KRİTERLER**	**EŞİT OLARAK ÖNEMLİ**	**KRİTERLER**	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ
					MALİYET		ÇEVRESEL ZARAR					
					MALİYET		OPERASYONEL PERFORMANS					
					ÇEVRESEL ZARAR		OPERASYONEL PERFORMANS					

MALİYET ALT KRİTERLERİ

Sol kriter daha önemli ise sol taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.							*Sağ kriter daha önemli ise sağ taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.*					
TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	**KRİTERLER**	**EŞİT OLARAK ÖNEMLİ**	**KRİTERLER**	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ
					SABİT MALİYET (Faiz, Sigorta, Amortisman)		DEĞİŞKEN MALİYET (Yakıt-Yağ-Tekerlek masrafı)					
					SABİT MALİYET (Faiz, Sigorta, Amortisman)		BİRİM MALİYET (Birim ürün başına maliyet)					
					DEĞİŞKEN MALİYET (Yakıt-Yağ-Tekerlek masrafı)		BİRİM MALİYET (Birim ürün başına maliyet)					

ÇEVRESEL ZARAR ALT KRİTERLERİ

Sol kriter daha önemli ise sol taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.							*Sağ kriter daha önemli ise sağ taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.*					
TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	**KRİTERLER**	**EŞİT OLARAK ÖNEMLİ**	**KRİTERLER**	EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ	BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	ÇOK DAHA ÖNEMLİ	PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ
					CO_2 EMİSYONU		YOL YÜZEYİ ZARAR RİSKİ					

OPERASYONEL PERFORMANS KRİTERLERİ

Sol kriter daha önemli ise sol taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.							*Sağ kriter daha önemli ise sağ taraftaki hücrelerden birine (X) işareti koyunuz.*					
TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ	**PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ**	**ÇOK DAHA ÖNEMLİ**	**BİRAZ DAHA ÖNEMLİ**	**EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ**	**KRİTERLER**	**EŞİT OLARAK ÖNEMLİ**	**KRİTERLER**	**EŞİTE YAKIN DAHA ÖNEMLİ**	**BİRAZ DAHA ÖNEMLİ**	**ÇOK DAHA ÖNEMLİ**	**PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ**	**TAMAMEN DAHA ÖNEMLİ**
					VARIŞ SÜRESİ		YAKIT TÜKETİMİ					
					VARIŞ SÜRESİ		YÜK KAPASİTESİ					
					YAKIT TÜKETİMİ		YÜK KAPASİTESİ					

EK2: ZAMAN ETÜDÜ VERİLERİ

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)+ Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Kayın (59 ster)	28.680	43.360	266	-5,04	5,24	244	98	124
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Kayın (30,59 m^3)	28.980	43.880	267	-4,98	5,10	228	104	121
VİZE	İZMİT	**1**	Çam (54 ster)	34.980	49.860	286	-4,84	4,49	296	94	140
VİZE	İZMİT	**1**	Çam (49 ster)	30.600	45.520	267	-4,75	4,79	239	97	116
KEŞAN	İZMİT	**1**	Çam (59 ster)	25.180	39.740	448	-3,47	3,59	418	98	208
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Kayın (51 ster)	32.680	47.440	319	-4,45	4,83	313	90	152
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (60 ster)	29.360	44.040	342	-4,59	4,68	314	104	178
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Meşe (55 ster)	32.740	47.040	357	-3,86	3,86	321	97	159
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Meşe (52 ster)	29.100	43.760	401	-4,03	4,00	314	101	173
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Meşe (55 ster)	32.100	46.800	357	-3,92	3,92	313	93	167
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Meşe (56 ster)	29.460	44.060	399	-3,97	4,02	341	95	179
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (50 ster)	28.660	43.440	212	-5,83	5,94	99	97	100
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Çam (56 ster)	26.560	41.360	201	-5,88	6,02	104	89	85
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (60 ster)	28.240	43.000	253	-5,06	5,11	78	91	114
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Meşe (55 ster)	28.020	42.740	259	-5,28	5,25	120	99	114
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Meşe (55 ster)	28.280	42.820	255	-5,40	5,52	126	97	117
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Meşe (52 ster)	25.300	39.960	256	-5,29	5,30	147	104	112
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Çam (55 ster)	35.400	50.160	369	-3,78	3,87	55	102	162

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
VİZE	İZMİT	**1**	Çam (60 ster)	34.480	49.280	270	-4,89	5,01	84	97	134
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Kayın (53 ster)	28.220	42.840	144	-6,17	6,08	54	72	61
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Kayın (60 ster)	37.220	51.860	395	-4,04	4,31	55	71	177
KANLICA	İZMİT	**1**	Çam (56 ster)	21.250	35.850	99	-4,21	4,41	106	91	42
KANLICA	İZMİT	**1**	Kayın (53 ster)	29.250	44.100	110	-4,51	4,46	114	97	52
KANLICA	İZMİT	**1**	Meşe (54 ster)	34.800	49.500	133	-5,32	5,18	213	90	71
KANLICA	İZMİT	**1**	Meşe (54 ster)	32.100	46.700	122	-4,45	4,55	130	88	51
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (57 ster)	23.700	38.300	249	-4,84	4,90	217	89	101
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (57 ster)	29.720	44.200	165	-5,32	5,12	145	90	73
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (59 ster)	32.150	46.900	151	-5,56	5,54	151	90	72
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (60 ster)	34.250	48.850	153	-5,56	5,80	160	89	75
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (55 ster)	31.850	46.300	154	-5,64	5,78	155	90	73
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Meşe (48 ster)	27.900	42.600	255	-5,11	5,03	242	91	108
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Kayın (55 ster)	31.850	46.540	308	-4,34	4,48	288	98	141
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Kayın (19,350 m^3)	24.150	38.550	344	-3,90	3,98	291	90	133
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Meşe (30 ster)	26.500	41.150	253	-5,33	5,12	212	94	105
VİZE	İZMİT	**1**	Çam (58 ster)	36.000	50.650	278	-4,73	4,80	285	90	129
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (52 ster)	31.600	46.150	339	-4,52	4,86	330	91	169
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Kayın (55 ster)	28.700	43.250	388	-4,38	4,70	332	94	170
KIRKLARELİ	İZMİT	**1**	Kayın (56 ster)	33.700	48.300	101	-4,39	4,59	82	91	44
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Kayın (56 ster)	30.550	45.150	381	-4,12	4,70	342	91	163
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (35,250 m^3)	31.000	45.550	381	-3,96	4,39	326	97	164

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)+ Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (53 ster)	26.850	41.350	247	-4,88	4,87	200	95	97
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (53 ster)	24.500	39.150	258	-5,03	5,22	268	91	111
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Kayın (30,981 m^3)	31.300	46.000	274	-5,01	5,00	231	90	128
TEKİRDAĞ	İZMİT	**1**	Kayın (27,942 m^3)	33.800	48.350	271	-5,02	5,09	363	104	140
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Kayın (36,000 m^3)	36.800	51.550	344	-4,18	4,39	350	90	188
KEŞAN	İZMİT	**1**	Çam (56 ster)	23.860	38.460	420	-3,87	3,96	388	99	189
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (35,250 m^3)	35.440	50.140	380	-4,60	4,96	370	93	203
ÇATALCA	İZMİT	**1**	Meşe (64 ster)	25.750	40.250	222	-5,14	5,12	232	91	114
DEMİRKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (34,500 m^3)	32.450	47.000	344	-4,37	4,79	351	91	177
İSTANBUL	İZMİT	**1**	Çam (60 ster)	26.950	41.450	169	-6,92	6,99	159	90	71
İSTANBUL	İZMİT	**1**	Çam (55 ster)	27.400	41.800	162	-6,68	6,54	163	99	67
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (53 ster)	29.050	43.550	171	-5,95	5,76	164	93	73
BAHÇEKÖY	İZMİT	**1**	Meşe (52 ster)	29.600	44.150	172	-6,18	6,24	146	91	76
ŞİLE	İZMİT	**1**	Meşe (50 ster)	33.750	48.500	134	-5,00	5,25	129	98	68
KANLICA	İZMİT	**1**	Meşe (60 ster)	30.300	44.800	85	-4,92	5,23	82	97	39
ŞİLE	İZMİT	**1**	Meşe (52 ster)	33.200	47.750	132	-4,73	4,37	117	106	64
ŞİLE	İZMİT	**1**	Çam (50 ster)	23.550	37.950	163	-4,49	4,72	173	101	81

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (33,026 m^3)	34.820	50.420	404	-3,85	3,89	395	99	153,8
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (27,210 m^3)	30.180	45.660	351,6	-3,79	3,87	304	90	135,7
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (55 ster)	35.040	50.600	374,6	-3,86	4,04	351	90	155,7
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (60 ster)	27.020	42.660	394,9	-3,96	4,09	362	91	153,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (54 ster)	35.140	50.720	357,6	-3,64	3,81	334	92	152,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (53 ster)	34.640	50.140	362,3	-3,81	3,85	359	95	136,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	32.300	47.840	362,3	-3,78	3,84	336	89	141
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (58 ster)	29.120	44.520	406,7	-3,96	3,96	396	94	155,8
ÇATALCA	İZMİT	**2**	Meşe (50 ster)	27.680	43.260	213,2	-5,44	5,62	218	103	90,7
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	34.120	49.760	362	-3,73	3,92	316	94	146,2
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (60 ster)	36.620	52.140	358,1	-3,67	3,86	329	96	141,8
ÇATALCA	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	29.780	45.440	251,3	-4,76	4,75	223	90	103,1
ÇATALCA	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	25.780	41.500	255,4	-4,95	4,75	246	94	96,5
TEKİRDAĞ	İZMİT	**2**	Meşe (52 ster)	29.780	45.480	256,9	-4,75	4,86	256	98	117,2
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Çam (53 ster)	36.640	52.060	378,9	-3,66	3,74	332	96	158
VİZE	İZMİT	**2**	Çam (63 ster)	36.800	52.440	277,6	-4,72	4,89	303	94	125,6
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (57 ster)	31.300	46.840	170,9	-6,19	6,19	163	95	66,7
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	31.280	47.060	170,9	-6,17	6,34	158	90	66,2
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	30.020	45.660	170,7	-6,44	6,34	134	96	66,7
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (60 ster)	30.560	46.100	173,1	-6,24	5,89	160	102	71,4

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)+ Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (57 ster)	26.460	42.200	170,7	-6,06	6,23	148	96	62,2
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (60 ster)	31.760	47.320	153,6	-5,49	5,66	165	95	72,2
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (57 ster)	32.550	48.300	152,5	-5,83	6,18	167	98	68,3
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (50 ster)	31.850	47.450	156	-5,89	5,76	174	95	74,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Kayın (57 ster)	31.450	46.850	410,4	-3,71	3,73	350	99	162,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Çam (56 ster)	32.000	47.500	386	-3,74	3,65	354	96	152,7
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (32,074 m^3)	33.650	49.300	394	-3,90	4,02	394	98	165
ÇATALCA	İZMİT	**2**	Meşe (57 ster)	23.550	39.300	250,3	-4,88	4,96	211	98	92,9
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (58 ster)	30.250	45.850	163,9	-5,35	5,23	179	94	69,6
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (54 ster)	29.300	44.700	167,2	-5,95	5,91	155	96	68,8
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (54 ster)	27.800	43.500	167,6	-5,59	5,86	193	94	66,8
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (60 ster)	32.700	48.250	154,8	-5,52	5,62	188	95	70,2
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (55 ster)	28.600	44.300	174,6	-5,79	5,56	184	96	71,6
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (52 ster)	29.100	44.700	174,2	-5,56	5,52	184	102	72,7
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (55 ster)	26.900	42.600	148,2	-5,75	5,45	142	94	62
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (56 ster)	29.400	45.050	164,5	-5,79	5,70	142	95	61
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (32,205 m^3)	34.200	49.750	165,5	-5,59	5,70	137	96	65,4
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (54 ster)	26.250	41.950	151,4	-5,52	5,45	202	92	64
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (54 ster)	24.300	39.850	148,5	-5,66	5,31	160	95	57,1
BAHÇEKÖY	İZMİT	**2**	Kavak (60 ster)	25.600	41.000	151,5	-5,39	5,42	168	99	59,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (56 ster)	34.150	49.850	335	-4,24	4,89	365	96	159,7
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (50 ster)	33.600	49.300	357,7	-4,05	4,00	334	91	143,7

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)+ Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (33,019 m^3)	37.000	52.700	410,8	-4,04	4,40	504	95	190,6
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Çam (53 ster)	33.300	48.850	385,6	-3,79	3,80	362	96	149,2
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (35,174 m^3)	36.250	51.800	409,2	-4,31	4,28	448	95	195
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (32,486 m^3)	38.250	53.850	405,8	-4,00	4,45	484	94	193,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Meşe (54 ster)	33.450	48.950	433,4	-4,07	4,47	459	95	187,3
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (35,250 m^3)	34.450	50.000	396,8	-4,01	4,46	430	95	176,8
TEKİRDAĞ	İZMİT	**2**	Çam (60 ster)	31.900	47.550	370	-4,36	4,30	363	96	161,1
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (35,250 m^3)	39.600	55.350	350	-4,74	5,02	444	94	190
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (34,500 m^3)	32.600	48.250	358,8	-4,51	4,80	430	95	176,3
ÇATALCA	İZMİT	**2**	Kayın (28.986 m^3)	31.100	46.550	226	-4,10	3,97	273	95	109,2
TEKİRDAĞ	İZMİT	**2**	Çam (50 ster)	22.650	38.150	447,9	-4,30	4,36	453	95	183,7
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Kayın (27,384 m^3)	36.000	51.650	357,5	-4,72	5,19	410	95	188,4
DEMİRKÖY	İZMİT	**2**	Meşe (27,441 m^3)	32.900	48.450	411	-4,53	4,72	487	95	182,3
KIRKLARELİ	İZMİT	**2**	Kayın (32,679 m^3)	32.800	48.350	372,5	-3,99	4,09	405	99	166,2
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (18,263 m^3)	26.250	41.700	162,6	-6,14	6,09	158	96	65,3
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (55 ster)	27.600	43.100	162,9	-5,64	5,44	163	94	68
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (29,663 m^3)	20.950	36.400	167,2	-6,11	6,09	140	96	61,3
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (57 ster)	32.100	47.700	152,9	-5,50	5,44	173	92	67,9
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (53 ster)	28.600	44.300	156,7	-6,18	6,50	152	95	64,8
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Çam (64 ster)	27.600	43.250	172	-6,35	6,24	156	96	67,1
İSTANBUL	İZMİT	**2**	Meşe (60 ster)	28.150	43.800	172,1	-6,16	6,41	142	96	66,6

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Çam (52 ster)	23.340	38.960	166,5	-6,10	6,02	152	90	64,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Kayın (28,755 m^3)	28.840	44.580	361	-4,10	4,15	413	86	159,6
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (55 ster)	32.440	48.180	362,1	-3,64	3,87	318	94	141,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (60 ster)	25.640	41.300	397,5	-4,06	4,30	430	94	160,7
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (54 ster)	33.020	48.680	359,1	-3,85	3,89	329	94	142,5
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (55 ster)	31.840	47.540	397,9	-3,78	3,92	346	99	167,6
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (55 ster)	34.120	49.780	327,3	-4,31	4,45	381	94	160,9
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (56 ster)	31.400	47.060	397,1	-3,72	3,78	343	94	168
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (56 ster)	30.200	45.660	412,4	-3,91	3,92	350	104	175,9
ÇATALCA	İZMİT	**3**	Çam (56 ster)	26.280	41.980	202,8	-5,82	5,91	190	92	79,6
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (52 ster)	31.580	47.080	341,4	-3,96	3,94	295	102	131,7
ÇATALCA	İZMİT	**3**	Meşe (56 ster)	27.360	42.780	256,1	-4,99	5,11	223	92	103,7
ÇATALCA	İZMİT	**3**	Meşe (57 ster)	27.780	43.340	252,6	-4,76	4,74	219	90	101,5
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (57 ster)	31.460	47.020	351,4	-3,76	3,87	314	100	143,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (53 ster)	35.660	51.300	367,2	-3,89	3,88	326	90	149
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Çam (55 ster)	37.700	53.380	369,3	-3,82	3,93	335	90	158,3
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (52 ster)	30.000	45.540	168,2	-6,03	5,84	172	105	70,8
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (55 ster)	30.460	45.920	170	-6,25	6,37	137	89	67,2

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (55 ster)	30.060	45.920	171,4	-6,30	6,20	145	89	66,8
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (56 ster)	28.160	43.820	154,1	-5,48	5,76	174	89	66,2
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (59 ster)	34.150	49.900	152,8	-5,80	5,95	146	92	69,5
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (50 ster)	28.950	44.700	155,8	-5,77	5,98	164	89	69
KANLICA	İZMİT	**3**	Çam (35,904 m^3)	27.100	42.650	110,4	-4,31	4,45	143	89	51,4
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Kayın (57 ster)	29.850	45.700	406,6	-3,74	3,84	350	92	165,9
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Çam (56 ster)	33.700	49.450	397,9	-3,62	3,75	351	87	160,7
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Çam (54 ster)	33.500	49.150	382,4	-3,86	3,89	347	91	156,3
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (30,693 m^3)	31.850	47.600	389,8	-4,26	4,14	362	90	161
ÇATALCA	İZMİT	**3**	Meşe (57 ster)	26.600	42.350	251,2	-4,77	4,91	209	90	97,4
BAHÇEKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (59 ster)	30.050	45.750	178,1	-6,53	6,58	157	90	79,4
BAHÇEKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (52 ster)	30.800	46.550	173	-5,47	5,57	170	91	75
BAHÇEKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (55 ster)	26.450	42.200	145,6	-5,54	5,61	139	91	60,9
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Çam (60 ster)	35.250	50.700	373,4	-3,93	3,83	325	91	160,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Meşe (26,298 m^3)	33.800	49.600	410,4	-3,67	3,88	389	92	174
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Kayın (55 ster)	31.500	47.200	364,7	-3,87	4,03	303	91	143,9
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (54 ster)	33.350	48.950	400	-4,18	4,24	413	92	192,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Kayın (8424)	33.650	49.250	314,1	-4,57	4,17	308	94	134,7
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (58 ster)	33.500	49.050	382,3	-4,57	4,17	364	90	178,6
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (48 ster)	32.450	48.000	388,3	-4,23	4,48	388	91	174,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (51 ster)	30.100	45.800	345,4	-4,26	4,58	365	91	164,6

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (55 ster)	29.650	45.150	390,1	-4,47	4,78	376	91	178,3
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (37,500 m^3)	36.550	52.100	396,3	-4,00	4,38	373	91	189,1
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (55 ster)	30.650	46.150	385,1	-3,95	4,54	364	92	169,3
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (48 ster)	31.700	47.250	390,3	-4,06	4,41	354	94	171,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (35,250 m^3)	35.900	51.550	384,9	-3,84	4,47	354	92	179,6
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (34,500 m^3)	36.250	51.850	397	-4,08	4,87	395	90	196,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (30,591 m^3)	39.400	55.000	397,7	-3,87	4,34	383	92	200,8
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Meşe (35,250 m^3)	33.100	48.750	347,6	-4,42	4,87	386	92	170,4
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (35,250 m^3)	35.000	50.550	357,1	-4,36	4,77	430	90	190
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (35,250 m^3)	34.450	50.100	363,6	-4,34	4,59	383	90	197,2
DEMİRKÖY	İZMİT	**3**	Kayın (35,250 m^3)	34.550	50.050	398	-4,08	4,57	337	91	187,3
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (61 ster)	33.200	49.000	155	-6,46	6,57	151	90	73,5
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Kayın (63 ster)	35.350	51.050	155,5	-6,09	6,26	167	90	78,6
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (60 ster)	33.650	49.150	154,9	-5,85	5,93	156	90	74,7
İSTANBUL	İZMİT	**3**	Meşe (50 ster)	30.600	46.100	162,6	-5,67	6,00	229	91	81,1
KIRKLARELİ	İZMİT	**3**	Çam (61 ster)	33.700	49.250	571,2	-4,77	4,68	723	92	302,2

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer (Kartepe/İzmit)	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi Ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
KEŞAN	İZMİT	**4**	Çam (82 ster)	37.900	53.160	510,3	-3,66	3,59	495	95	212,57
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Kayın (41,096 m^3)	41.300	56.700	422	-3,92	3,96	388	94	159,88
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (65 ster)	41.420	56.780	383,3	-3,93	4,16	339	93	148,37
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	41.920	57.180	344,6	-4,67	5,04	398	90	171,27
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	43.020	58.140	366,5	-3,87	4,02	318	90	138,17
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (67 ster)	42.300	57.580	366,6	-3,77	4,14	325	91	134,68
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	41.740	57.000	370,5	-4,05	4,02	340	95	144,24
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	43.380	58.660	371,1	-4,15	4,21	362	94	153,16
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	30.260	45.900	214,4	-5,70	5,64	184	92	77,26
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (77 ster)	39.600	54.740	418,5	-4,08	4,08	363	99	161,63
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	39.840	54.860	368,4	-3,83	3,96	376	95	136,27
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (77 ster)	41.960	57.280	330,7	-4,28	4,35	344	92	142,94
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Meşe (67 ster)	34.320	49.400	279,7	-4,61	4,70	276	93	101,92
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Meşe (70 ster)	35.080	50.200	257,7	-4,78	4,78	221	95	94,62
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	34.260	49.380	328	-4,15	4,39	319	92	126,38
TEKİRDAĞ	İZMİT	**4**	Meşe (51 ster)	33.520	48.460	281,3	-4,76	4,75	276	91	102,67
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Çam (70 ster)	35.720	50.980	350,2	-4,18	4,32	386	92	143,65
VİZE	İZMİT	**4**	Çam (79 ster)	44.220	59.280	283,2	-4,72	4,90	315	90	130,3
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (67 ster)	33.860	48.880	422,9	-4,09	3,98	368	96	147,99
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Kayın (67 ster)	35.960	51.120	411,9	-3,77	3,99	340	92	143,96

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer (Kartepe/İzmit)	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi Ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (75 ster)	41.940	57.060	326,9	-4,26	4,43	346	91	135,71
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (37 ster)	41.400	57.500	397,2	-3,99	4,12	367	92	158,36
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (64 ster)	42.100	58.250	333,9	-4,25	4,31	329	91	136,6
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (44,044 m^3)	44.400	60.450	341,4	-4,41	4,69	381	91	167,39
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (39,147 m^3)	42.950	59.000	340,9	-4,49	4,54	385	91	154,12
KEŞAN	İZMİT	**4**	Çam (74 ster)	31.950	48.000	489,1	-3,77	3,73	445	93	194,82
BAHÇEKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (78 ster)	33.800	49.850	150,7	-5,48	5,58	150	93	58,77
BAHÇEKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (78 ster)	34.650	50.850	154,2	-5,58	5,91	156	94	61,69
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Kayın (38.729)	39.600	55.650	237	-3,90	3,91	247	91	94,46
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Kayın (74 ster)	43.300	59.450	353,6	-4,23	4,27	338	91	140,53
TEKİRDAĞ	İZMİT	**4**	Meşe (68 ster)	33.300	49.300	262,9	-4,65	4,89	241	93	103,54
VİZE	İZMİT	**4**	Çam (78 ster)	48.350	64.500	292,2	-4,81	4,65	320	90	138,24
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Meşe (65 ster)	37.050	53.250	365,3	-4,24	4,81	375	90	157,14
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (38,208 m^3)	47.100	63.100	403,6	-4,12	3,85	379	93	163,42
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Çam (74 ster)	51.950	68.100	361,5	-4,19	4,30	391	90	189,47
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Meşe (37,849 m^3)	46.250	62.350	407,4	-4,02	4,03	377	94	169,55
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (45,997 m^3)	45.650	61.900	341	-4,27	4,78	371	98	163,58
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (47,107 m^3)	47.550	63.800	286,7	-4,40	4,77	285	91	130,77
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Meşe (78 ster)	28.500	44.800	273,2	-4,79	4,81	288	94	107,27
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Kayın (35.024 m^3)	34.550	50.750	392,7	-4,35	4,55	391	94	161,39
ÇATALCA	İZMİT	**4**	Meşe (80 ster)	28.450	44.500	267,8	-5,37	5,43	224	92	93,48

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer (Kartepe/İzmit)	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Yakıt Tüketimi (lt)
DEMİRKÖY	İZMİT	**4**	Kayın (36,307 m^3)	39.100	55.350	366,3	-4,96	5,31	459	92	181,86
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Çam (70 ster)	41.750	58.050	382	-4,37	4,58	403	93	165,33
BAHÇEKÖY	İZMİT	**4**	Meşe (74 ster)	40.650	56.700	180,7	-6,75	6,60	171	92	75,27
BAHÇEKÖY	İZMİT	**4**	Çam (45,922 m^3)	34.050	50.000	181,4	-6,88	6,70	163	97	71,26
KIRKLARELİ	İZMİT	**4**	Kayın (41,668 m^3)	42.550	58.800	425,9	-4,15	4,45	382	96	161,83
KANLICA	İZMİT	**4**	Çam (30,160 m^3)	23.250	39.300	95,16	-4,50	4,36	100	91	33,94

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Toplam Yakıt Tüketimi (lt)
KEŞAN	İZMİT	**5**	Çam (56 ster)	25.260	40.780	437,9	-3,69	3,58	370	107	147,99
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (28.040 m^3)	30.900	46.460	352,5	-4,04	4,31	369	104	144,51
KEŞAN	İZMİT	**5**	Çam (58 ster)	28.200	43.720	446,5	-3,86	4,07	374	102	168,31
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (59 ster)	31.640	47.220	393,2	-4,15	4,15	338	103	138,49
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (56 ster)	31.440	47.160	339,2	-4,63	5,17	354	103	147,17
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	32.320	47.820	357	-3,75	3,88	301	108	118,65
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	33.240	48.840	356,8	-3,82	3,98	288	102	108,3
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (56 ster)	28.380	43.940	405,9	-3,71	3,92	363	100	136,97
TEKİRDAĞ	İZMİT	**5**	Meşe (52 ster)	30.860	46.460	255,7	-4,71	4,89	245	100	102,58
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Çam (54 ster)	38.300	53.880	407,7	-3,93	4,01	386	104	151,88
İSTANBUL	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	31.280	46.900	170,3	-6,23	6,14	150	97	57,31
İSTANBUL	İZMİT	**5**	Meşe (56 ster)	31.200	46.940	169,8	-6,25	6,21	141	105	54,55
İSTANBUL	İZMİT	**5**	Meşe (55 ster)	30.580	46.160	169,9	-6,40	6,23	137	109	53,88
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	28.600	44.260	397,8	-4,06	4,47	379	110	132,44
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (29 ster)	33.860	49.400	164,9	-5,63	5,81	147	103	52,66
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (57 ster)	31.250	46.750	406,8	-3,78	3,81	353	108	124,37
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (57 ster)	32.450	47.950	408,3	-3,93	4,00	348	106	138,95
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Çam (56 ster)	34.550	50.050	389,5	-3,97	4,09	339	114	127,57
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (58 ster)	32.600	48.200	355,2	-3,79	3,92	322	107	113,8
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Çam (57 ster)	32.150	47.750	379,5	-3,88	4,08	325	103	138,22

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Toplam Yakıt Tüketimi (lt)
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (57 ster)	31.150	46.650	166,2	-5,62	5,56	157	102	60,12
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (59 ster)	31.750	47.550	174,2	-5,67	5,75	202	110	60,69
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (60 ster)	31.250	46.850	176,8	-5,56	5,71	181	109	70,51
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (55 ster)	32.800	48.350	173,6	-5,59	5,84	167	104	61,98
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (52 ster)	30.250	46.000	173,8	-5,79	5,56	168	109	63,5
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (55 ster)	30.450	46.050	177,5	-5,99	5,73	181	104	64,74
KEŞAN	İZMİT	**5**	Çam (51 ster)	31.650	47.300	426,8	-3,77	3,86	361	107	154,32
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (26,181 m^3)	27.050	42.750	169,2	-6,02	5,99	194	113	58,81
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Çam (56 ster)	33.450	49.050	384,2	-3,76	4,06	313	103	131,29
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	34.200	49.950	364,7	-3,87	4,01	281	110	126,45
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (25 ster)	34.850	50.300	416,6	-4,04	3,83	369	111	142,2
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (51 ster)	34.200	49.850	359,1	-3,86	3,91	307	99	126,74
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (33,840 m^3)	34.050	49.650	405,4	-3,74	3,94	338	105	119,63
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Çam (57 ster)	33.400	49.100	384,7	-3,84	3,85	350	107	120,77
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Kayın (52 ster)	29.800	45.600	317,5	-4,35	4,67	309	107	98,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (33.085)	36.050	51.650	402,7	-3,78	3,96	377	98	152,2
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (55 ster)	28.350	44.150	343	-4,59	4,89	339	104	127,97
TEKİRDAĞ	İZMİT	**5**	Çam (55 ster)	27.200	42.950	325	-3,98	4,06	363	105	127,5
ÇATALCA	İZMİT	**5**	Meşe (57 ster)	25.250	41.050	260,8	-5,09	4,83	318	96	93,6
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (37,500 m^3)	36.400	52.100	342,4	-4,31	4,88	348	114	142,09
ÇATALCA	İZMİT	**5**	Kayın (30,710 m^3)	32.670	48.250	225,3	-4,03	4,06	271	96	93,84

Nakliyatı Yapılan Orman Ürününün Yeri/Orman İşletme Müdürlüğü	Taşıma Yapılan Yer	Araç No	Taşınan Orman Ürünü Ağaç Cinsi ve Hacmi (m^3-ster)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg)	Orman Ürünü Ağırlığı (kg) + Araç Ağırlığı (kg)	Taşıma Mesafesi (km)	Ortalama İniş Eğimi (%)	Ortalama Çıkış Eğimi (%)	Taşıma Süresi (dk)	Maksimum Hız (km/saat)	Toplam Yakıt Tüketimi (lt)
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (36,000 m^3)	31.750	47.550	412	-4,31	4,42	388	116	146,5
DEMİRKÖY	İZMİT	**5**	Kayın (33,393 m^3)	37.900	53.700	412,6	-4,07	4,39	370	105	167,22
KIRKLARELİ	İZMİT	**5**	Meşe (31,720 m^3)	38.300	54.000	407	-3,87	4,06	342	112	141,08
İSTANBUL	İZMİT	**5**	Çam (60 ster)	26.550	42.050	165,8	-6,44	6,71	171	108	55,16
İSTANBUL	İZMİT	**5**	Çam (55 ster)	26.800	42.350	161,9	-6,08	5,97	140	107	52,09
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	30.050	45.500	176,1	-6,52	6,63	152	103	59,05
BAHÇEKÖY	İZMİT	**5**	Meşe (53 ster)	30.100	45.750	168,6	-6,07	5,99	142	102	57,66
ŞİLE	İZMİT	**5**	Meşe (50 ster)	33.300	49.100	132,6	-5,08	5,15	125	100	53,6
ŞİLE	İZMİT	**5**	Meşe (50 ster)	33.250	48.950	132,4	-4,84	5,02	118	114	54,8
ŞİLE	İZMİT	**5**	Meşe (52 ster)	33.850	49.750	132,5	-5,18	5,06	116	103	54,88
ŞİLE	İZMİT	**5**	Meşe (54 ster)	33.100	48.800	132,6	-5,04	4,93	126	102	55,5
KANLICA	İZMİT	**5**	Çam (45 ster)	24.800	40.350	89,59	-4,32	3,87	86	112	29,24
ŞİLE	İZMİT	**5**	Meşe (52 ster)	29.050	44.750	132,5	-5,26	5,30	118	111	50,81

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Anıl Orhan AKAY
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Orman Fakültesi
Bölümü	Orman Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Makale ve Bildiriler

SCI, SSCI ve AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Akay, A.O., Akgul, M., Demir, M. and Acar, H.H., 2020, Analysis of factors associated with the amount of forest road reconstruction activity in Turkey: Autoregressive distributed lag modelling approach, *Forest ecology and management*, 458, 117800.

2. Yurtseven, H., Çoban, S., Akgul, M. and Akay, A.O., 2019, Individual tree measurements in a planted woodland with terrestrial laser scanner, *Turkish journal of agriculture and forestry*, 43 (2), 192-208.

3. Yurtseven, H., Akgul, M., Akay, A.O., Akburak, S., Cıgizoglu, H.K., Demir, M., Ozturk, T. and Eksi, M., 2019, High accuracy monitoring system to estimate forest road surface degradation on horizontal curves, *Environmental monitoring and assessment*, 191 (1), 32.

4. Akgul, M., Akburak, S., Yurtseven, H., Akay, A.O., Cigizoglu, H.K., Demir, M., Ozturk, T. and Eksi, M., 2019, Potential Impacts of Weather and Traffic Conditions on Road Surface Performance In Terms of Forest Operations Continuity, *Applıed ecology and environmental research*, 17 (2), 2533-2550.

5. Akay, A.O., Akgul, M. and Demir, M., 2018, Determination of Temporal Changes on Forest Road Pavement wıth Terrestrial Laser Scanner, *Fresenius environmental bulletin*, 27 (3), 1437-1448.

6. Akay, A.O., Demir, M. and Akgul, M., 2018, Assessment of risk factors in forest road design and construction activities with fuzzy analytic hierarchy process approach in Turkey, *Environmental monitoring and assessment*, 190 (9), 561.

7. Akgul, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Demir, M., Cigizoglu, H.K., Oztürk T., Eksi M. and Akay, A.O., 2017, Short Term Monitoring of Forest Road Pavement Degradation Using Terrestrial Laser Scanning, *Measurement*, 103, 283-293.

Diğer Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Şentürk, N., Akgül, M., Öztürk, T. ve Akay, A.O., 2018, Orman Yollarında Kazı-Dolgu Miktarlarının Hesaplanmasında Topografik Harita Tabanlı Geleneksel Yöntem ile Bilgisayar Destekli Yöntemin Karşılaştırılması, *Bartın Orman Fakültesi dergisi*, 20 (3), 618-626.

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

1. Yurtseven, H., Akgul, M., Akburak, S., Cigizoglu, H.K., Demir M., Öztürk T., Eksi M. and Akay A.O., In Sıtu Monitoring of Forest Road Surface with Terrestrial Laser Scanner, *Formec 2017- Innovation the Competitive Edge: From Research to Impact in the Forest Value Chain*, 25-29 September 2017 Brasov-Romania, 293-293.

2. Yurtseven, H., Demir, M., Akgul, M. and Akay, A.O., Comparison of Drone Based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Forest Road Surface Modeling, *1st International Symposium of Forest Engineering and Technologies (FETEC 2016*), 2-4 June 2016 Bursa-Turkey, 22-22.