



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI TABANLI GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK
MEKANİK ÜRETİM ARAÇLARINDA VERİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhat AKARSU

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

ARALIK 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI TABANLI GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK
MEKANİK ÜRETİM ARAÇLARINDA VERİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serhat AKARSU
(22434982626)
ORCID: 0009-0004-3637-8168**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Orman Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY
ORCID: 0000-0001-6558-9029**

ARALIK 2025

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 22434982626 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Serhat AKARSU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İNSANSIZ HAVA ARACI TABANLI GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK MEKANİK ÜRETİM ARAÇLARINDA VERİM ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ebru BİLİCİ**
Giresun Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İnanç TAŞ
Bursa Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **Aralık 2025**
Savunma Tarihi : **25 Aralık 2025**



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

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı: Serhat AKARSU

İmzası:



ÖNSÖZ

Ormancılıkta odun üretim çalışmalarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, kullanılan mekanik araçların performansının doğru değerlendirilmesini gerektirmektedir. Modern üretim teknikleri her geçen yıl yaygınlaşmasına rağmen, özellikle zorlu arazi koşullarında sahada yapılan zaman etütlerinin hassasiyetinin düşmesi, verim analizlerinde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında, İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin sürütücü ve kesici-istifleyici gibi mekanik üretim araçlarının verimliliğinin belirlenmesinde kullanım potansiyeli araştırılmıştır. İHA kayıtları üzerinden yapılan zaman ölçümleri ve istatistiksel analizler ile çalışma zamanı ve verim üzerinde etkili olan parametreler detaylı biçimde ortaya konmuştur.

Bu tezin, mekanik odun üretiminde verim analizlerine katkı sağlayarak ülkemizde modern üretim teknolojilerinin daha etkin kullanımına destek olmasını diliyorum. Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve katkılarını esirgemeyen, çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY'a teşekkürlerimi sunarım. Yine tez ile ilgili bana katkılarından dolayı sayın Doç. Dr. Ebru BİLİCİ'ye tez ile ilgili değerli görüşlerinden yararlandığım sayın Dr. Öğr. Üyesi İnanç TAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, bana inanan ve desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Aralık 2025

Serhat AKARSU
(Orman Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Bölmeden Çıkarma Yöntemleri	2
1.1.1 İnsan gücüyle bölmeden çıkarma.....	2
1.1.2 Hayvan gücü ile bölmeden çıkarma.....	2
1.1.3 Mekanik bölmeden çıkarma yöntemleri	2
1.1.3.1 Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma	2
1.1.3.2 Sürütücü ile bölmeden çıkarma.....	4
1.1.3.3 Taşıyıcı ile bölmeden çıkarma	5
1.1.3.4 Vinçli hava hatları ile bölmeden çıkarma	6
1.2 Ağaç Kesme ve Boylama Makineleri.....	8
1.2.1 Kesici-İstifleyici.....	8
1.2.2 Hasatçı.....	9
1.3 İş Verimi.....	10
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	11
2. LİTERATÜR.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	16
3.1 Çalışma Sahalarına Ait Genel Bilgiler	16
3.2 İnsansız Hava Aracı (İHA).....	17
3.3 Mekanik Araçlar.....	18
3.4 Verim Analizleri.....	19
3.4.1 Zaman etüdü.....	20
3.4.2 İstatistik analizler	22
4. BULGULAR.....	23
4.1 Sürütücü Bulguları	23
4.2 Kesici-istifleyici Bulguları	26
5. TARTIŞMA	29
5.1 Sürütme çalışması	29
5.2 Ağaç Kesme Çalışması.....	31
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	40

KISALTMALAR

CM	: Santimetre
FPS	: Frame Per Second (Saniyedeki Kare Sayısı)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
m	: Metre
m³	: Metreküp
MP	: Megapixel
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Keşan OİM sınırlarındaki şefliklerinin orman varlığı (ha) bilgileri.....	17
Çizelge 3.2 : DJI Mavic 2 Pro İHA'ya ait teknik bilgiler.....	17
Çizelge 3.3 : Tigercat 635D sürütücünün teknik özellikleri.....	18
Çizelge 3.4 : WoodCraker C550 kesici-istifleyicinin teknik özellikleri.....	19
Çizelge 4.1 : Sürütmede bağımsız değişkenlere ait istatistiksel bulgular.....	23
Çizelge 4.2 : Sürütücünün iş aşamalarına ait istatistiksel bulgular (dakika).	23
Çizelge 4.3 : Çalışma zamanı için sürütücüye ait korelasyon analizi bulguları.	24
Çizelge 4.4 : Verim için sürütücüye ait korelasyon analizi bulguları.....	24
Çizelge 4.5 : Çalışma zamanı için sürütücüye ait Tek Yönlü Varyans Analizi.....	
sonuçları.	25
Çizelge 4.6 : Verim için sürütücüye ait Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.	25
Çizelge 4.7 : Ağaç kesiminde bağımsız değişkenlere ait istatistiksel bulgular.	26
Çizelge 4.8 : Kesici-istifleyicinin iş aşamalarına ait istatistiksel bulgular.	26
Çizelge 4.9 : Çalışma zamanı için kesici-istifleyiciye ait korelasyon analizi.....	
bulguları.....	27
Çizelge 4.10 : Verim için kesici-istifleyiciye ait korelasyon analizi bulguları.....	27
Çizelge 4.11 : Çalışma zamanı için kesici-istifleyiciye ait Tek Yönlü Varyans.....	
Analizi sonuçları.....	27
Çizelge 4.12 : Verim için kesici-istifleyiciye ait Tek Yönlü Varyans Analizi.....	
sonuçları.	28

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : At ile bölmeden çıkarma.	2
Şekil 1.2 : Tarım traktörü ile bölmeden çıkarma.	3
Şekil 1.3 : Tarım traktörü ve römark ile taşıma	3
Şekil 1.4 : Tarım traktörüne entegre Koller K300 hava hattı.	4
Şekil 1.5 : Sürütücü ile bölmeden çıkarma çalışması	5
Şekil 1.6 : Taşıyıcı ile bölmeden çıkarma	5
Şekil 1.7 : Koller K300 model kısa mesafeli hava hattı.	6
Şekil 1.8 : URUS M-III (sol) ve Tajfun MOZ 500GR model (sağ) orta mesafeli..... hava hattı.	7
Şekil 1.9 : WYSEN marka uzun mesafeli hava hattı.....	7
Şekil 1.10 : Woodcracker C550 model feller buncher.	8
Şekil 1.11 : Doosan DX 300LC ile üretim çalışması.	9
Şekil 1.12 : Sürütme sırasında İHA ile alınan görüntü.	11
Şekil 3.1 : Saros Orman İşletme Şefliğinin coğrafi konumu.	16
Şekil 3.2 : DJI Mavic 2 Pro.	17
Şekil 3.3 : Tigercat 635D model sürütücü.	18
Şekil 3.4 : WoodCraker C550 kesici-istifleyici.	19
Şekil 3.5 : Tigercat 635D model sürütücü ile sürütmenin İHA ile alınan bir..... görüntüsü.	21
Şekil 3.6 : WoodCraker C550 model kesici-istifleyici ile ağaç kesiminin İHA ile.... alınan bir görüntüsü.	22
Şekil 5.1 : Toplam ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.	29
Şekil 5.2 : Sürütme mesafesi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.	30
Şekil 5.3 : Toplam ağaç hacmi ile verim arasındaki ilişki.....	30
Şekil 5.4 : Sürütme mesafesi ile verim arasındaki ilişki.....	31
Şekil 5.5 : Ağaç boyu ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.	32
Şekil 5.6 : Ağaç çapı ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.....	32
Şekil 5.7 : Ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.....	33
Şekil 5.8 : Ağaç boyu ile verim arasındaki ilişki.....	33
Şekil 5.9 : Ağaç çapı ile verim arasındaki ilişki.	34
Şekil 5.10 : Ağaç hacmi ile verim arasındaki ilişki.	34

İNSANSIZ HAVA ARACI TABANLI GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK MEKANİK ÜRETİM ARAÇLARINDA VERİM ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, mekanik odun üretiminde kullanılan sürütücü ve kesici-istifleyici makinelerinin verimliliğinin belirlenmesinde İnsansız Hava Aracı (İHA) görüntülerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Zorlu arazi koşullarında zaman etüdü çalışmalarının sağlıklı yürütülememesi, üretim verimliliğinin doğru ölçülmesini güçleştirdiğinden, üretim faaliyetleri DJI Mavic 2 Pro model İHA ile yüksek çözünürlüklü video olarak kaydedilmiş ve görüntüler üzerinden iş aşamalarına ait zaman ölçümleri yapılmıştır.

Sürütücü için 34 döngü, kesici-istifleyici için 40 döngü değerlendirilmiş; analizlerde Pearson korelasyon testi ve doğrusal regresyon yöntemleri kullanılarak ağaç boyu, çapı, hacmi, sürütme mesafesi ve ağaç sayısının çalışma zamanı ve verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sürütme çalışmasında ortalama çalışma zamanı 4,65 dakika ve verim 73,55 m³/saat bulunmuş; sürütme mesafesi ile verim arasında negatif, toplam hacim ve mesafe ile çalışma zamanı arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

Kesici-istifleyici ile ağaç kesimi çalışmasında ortalama çalışma zamanı 26,9 saniye ve verim 73,55 m³/saat bulunmuş. Kesici-istifleyicide verim üzerinde en etkili faktörlerin ağaç boyu, çapı ve hacmi olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, İHA görüntülerinin zaman etüdü çalışmalarında yüksek doğruluk sağladığı ve saha koşullarından kaynaklanan belirsizlikleri azalttığı ortaya konmuş olup mekanik odun üretiminde verim analizleri için etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman ürünlerinin üretimi, Mekanik üretim, Sürütücü, Kesici-istifleyici, Verim, İHA.

PRODUCTIVITY ANALYSIS OF MECHANIZED HARVESTING EQUIPMENT USING UNMANNED AERIAL VEHICLE-BASED IMAGES

SUMMARY

In this study, the usability of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in determining the productivity of mechanized timber harvesting machines—specifically skidders and feller-bunchers—was investigated. Due to the difficulty of conducting accurate time studies under challenging terrain conditions, high-resolution video recordings of harvesting operations were obtained using a DJI Mavic 2 Pro UAV, and time measurements for each work phase were extracted from these recordings.

A total of 34 cycles for the skidder and 40 cycles for the feller-buncher were analyzed, and Pearson correlation analysis along with linear regression models were applied to examine the effects of tree height, diameter, volume, skidding distance, and number of trees on working time and productivity. The skidding study revealed an average working time of 4.65 minutes per cycle and an hourly productivity of 73.55 m³/hour, with significant positive relationships between working time and both total tree volume and skidding distance, and a significant negative relationship between productivity and skidding distance.

In tree felling with a feller-buncher, the average working time was 26.9 seconds and the productivity was 73.55 m³/h. For the feller-buncher, tree height, diameter, and volume were identified as the primary factors affecting productivity. The findings demonstrate that UAV-based time-study methods provide high accuracy, reduce uncertainties caused by field conditions, and offer an effective tool for productivity analysis in mechanized timber harvesting.

Keywords: Forest harvesting, Mechanized harvesting, Skidder, Feller-buncher, Productivity, UAV.

1. GİRİŞ

Orman kaynaklarından optimum verim almak ve çevre zararlarını en aza indirmek için ormancılık çalışmalarında ekonomik, çevresel ve sürdürülebilir kararlar alınmalıdır (Kovácsová ve Antalová, 2010). Orman ürünlerine olan talebin dünyada ve ülkemizde giderek artması öngörüldükçe, özellikle odun tabanlı orman ürünlerinin üretiminde modern teknikler ve teknolojik araçların kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Ormancılıkta odun tabanlı orman ürünleri üretim çalışmaları, işlerin ekonomik, güvenli, pratik ve hızlı bir şekilde yapılması amacıyla farklı teknikler kullanılarak gerçekleştirilmekte (Coşkun ve diğ., 2010). Ancak, uygun organize edilmeyen üretim çalışmaları, maliyeti artırmakta, zaman ve değer kaybına neden olmaktadır (Acar ve Şentürk, 2000).

Üretim çalışmalarında en zorlu ve maliyetli aşamalar, ağaçların kesilmesi ve ardından kesilen ağaçların bölmeden çıkarma yöntemleri ile üretim sahasından rampalara taşınmasıdır. Son dönemlerde, özellikle endüstriyel ormanlarda yürütülen bölmeden çıkarma çalışmalarında modern mekanik araçlar kullanılmaktadır (Akay ve diğ., 2016). Bu kapsamda ülkemizde kullanılan araçların arasında yer alan sürütücü (skidder) ve kesici-istifleyicinin (feller-buncher) önemli bir yer tutmaktadır (Akay ve diğ., 2017).

Mekanik üretim araçlarının, yüksek satın alma bedelleri ve ülkemizdeki yüksek yakıt fiyatları nedeniyle saatlik birim maliyetleri yüksektir (Bilici ve diğ., 2019). Bu araçların avantajlarından yararlanmak için mekanik üretim sistemlerinin verimleri dikkate alınarak planlanması gerekmektedir. Ülkemizde yeni kullanım alanı bulan modern mekanik üretim araçlarının verim değerlendirmesini konu alan bilimsel çalışmalar çok sınırlı sayıda (Bilici ve diğ., 2017; Bilici, 2021; Gülci ve diğ., 2021).

Bu çalışmada, İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen sayısal görüntülerin mekanik üretim araçlarından sürütücü ve kesici-istifleyicinin iş verimi açısından değerlendirilmesinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışmada, mekanik araçların verimli çalışma zamanı ve verim değerleri üzerinde bazı parametrelerin (ağaç boyu, ağaç çapı, ağaç sayısı, hacim, sürütme mesafesi) etkileri incelenmiştir.

1.1 Bölmeden Çıkarma Yöntemleri

1.1.1 İnsan gücüyle bölmeden çıkarma

Bölmeden çıkarma teknikleri arasında en eski ve en basit yöntem, tamamen insan gücüne dayalı olarak yapılan bölmeden çıkarmadır. Bu yöntemde hem insan gücü hem de yer çekiminden yararlanılmaktadır (Yıldırım ve Engür, 1989). Arazi eğiminin yüksek olduğu bölgelerde, ürünlerin kendi ağırlıklarıyla birleşen yerçekimi etkisinden yararlanmak mümkün olsa da; eğimin düşük olduğu ya da düz alanlarda, uygulamadaki zorluklar nedeniyle farklı bölmeden çıkarma yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir.

1.1.2 Hayvan gücü ile bölmeden çıkarma

Hayvan gücüyle sürütme esasına dayanan bölmeden çıkarma çalışmalarında genellikle at, öküz ve katır gibi çeşitli koşum hayvanları kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Bu yöntemde tercih edilecek hayvan türü; sürütme mesafesi, arazinin yapısı, çalışma hızı, taşınacak yükün ağırlığı, hayvanın çekim kapasitesi ve tür özellikleri gibi etkenler değerlendirilerek belirlenmektedir (Bayoğlu, 1996). Ormanlık alanlarda hazır bulunan sürütme yollarından faydalanılarak hayvan gücü ile bölmeden çıkarma yapılması durumunda, orman habitatına verilen zarar en aza indirilmiş olur (Acar, 2004). Ek olarak, mekanik üretim araçlarının ilk alım maliyeti veya kiralama maliyeti ve periyodik bakım maliyetinin yüksek olması nedeni ile bölmeden çıkarma işlemlerinde hayvan gücünden yararlanılmaktadır (Akay, 2005).



Şekil 1.1 : At ile bölmeden çıkarma (Özkan, 2016).

1.1.3 Mekanik bölmeden çıkarma yöntemleri

1.1.3.1 Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma

Orman üretim işlerinde kullanılacak tarım traktörlerinin motor gücü artırılarak ve gerekli ekipmanlar entegre edilerek, sürütmede, taşımada, kablo çekiminde ve vinçli

hava hattı sistemlerinde kullanılabilir (Öztürk ve Akay, 2007). Orman ürünlerinin üretildiği sahalarda, arazi eğiminin %30'un altında olduğu ya da üretim alanındaki sürütme şeridi eğiminin %0–33 arasında bulunduğu durumlarda, hazır hâle getirilen orman emvalleri tarım traktörleri kullanılarak sürütme yöntemiyle bölmeden çıkarılmaktadır (Erdaş, 2008; Türk, 2011) (Şekil 1.2). Traktörlerin manevra kabiliyeti arazi eğiminin %30'dan yüksek olduğu alanlarda azaldığından ve kaza risk oranı yükseldiğinden, üretim alanları içerisinde uygun olan mevcut yollarda durarak kablo çekimi ile bölmeden çıkarmada traktörden faydalanılmaktadır. Tarım traktörü kendisine entegre edilen treyler sayesinde taşıyıcı özelliği kazanmaktadır. Bölmeden çıkarılarak rampalara kadar taşınan ve burada istif edilen orman emvali, traktör treylere yüklenerek yakındaki orman deposuna nakliyatı gerçekleştirilmektedir (Sert, 2014) (Şekil 1.3).



Şekil 1.2 : Tarım traktörü ile bölmeden çıkarma (Büyüksakallı, 2023).



Şekil 1.3 : Tarım traktörü ve römark ile taşıma (Foto: T. Öztürk).

Tarım traktörlerinin arka tarafına monte edilen kısa mesafeli vinçli hava hatları (Koller K300 ve Tajfun MOZ 500GR gibi) bölmeden çıkarma faaliyetlerinde hava hatları ile

kombine bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1.4). Tarım traktörlerine entegre edilerek kullanılan hava hattı sistemleri ihtiyacı olan makine gücünü traktörün kuyruk milinden almakta, orman ürünlerini bir vagon aracılığı ile ana taşıma halatı üzerinde yukarı ve aşağı yönde taşıma yapabilmektedir (Öztürk ve Akay, 2007).



Şekil 1.4 : Tarım traktörüne entegre Koller K300 hava hattı (Foto: T. Öztürk).

1.1.3.2 Sürütücü ile bölmeden çıkarma

Sürütme işleminde tomruklar, sürütme zinciri veya kışkaç kullanılarak sürütücüye bağlanır ve bölmeden çekilerek çıkarılır (Şekil 1.5). Lastik tekerlekli ve paletli sürütücüler, orman ürünlerinin rampalara taşınmasında yaygın olarak kullanılan mekanik araçlardır. Aynı motor gücüne sahip paletli sürütücülerle kıyaslandığında, lastik tekerlekli sürütücülerin hem satın alma maliyeti daha düşüktür hem de orman toprağı üzerinde daha az tahribat oluştururlar. Ayrıca, tekerlekli sürütücülerin bakımının daha kolay olması ve bakım maliyetlerinin daha düşük kalması da önemli avantajlar arasında yer alır (Akay ve Yenilmez, 2008).

Sürütme işleminin daha verimli yapılabilmesi için sürütme yollarının ağaç kesiminden önce planlanması gerekmektedir. Sürütme hızını artırmak amacıyla bu yolların mümkün olduğunca düzgün ve doğrusal bir biçimde tasarlanması önem taşır. Buna göre; düz arazilerde sürütme yolları genellikle paralel ve doğrusal olurken, orta eğimli alanlarda ana sürütme yolları yan kollara ayrılmakta; dik yamaçlarda ise yollar eş yükselti eğrilerine paralel şekilde oluşturulmaktadır.



Şekil 1.5 : Sürütücü ile bölmeden çıkarma çalışması (Foto: A.E. Akay).

1.1.3.3 Taşıyıcı ile bölmeden çıkarma

Mafsallı (eklemlı) yapıya sahip üretim makineleri olan taşıyıcılar, ana gövdeye bağlı römork sistemi sayesinde kısa ve orta uzunluktaki tomrukları orman toprağına temas ettirmeden taşımaktadır (Şekil 1.6). Üretim sahasında geçici olarak istiflenen tomruklar, hidrolik yükleme kolu aracılığıyla römorka alınmakta ve rampaya ulaşıldığında tomruk kamyonlarına aktarılmaktadır. Taşıma operasyonunun verimliliğı; taşıma mesafesi, tomruk boyutları, makinenin yük kapasitesi, yükleme vincinin gücü ve arazi koşulları gibi değişkenlere bağılı olarak farklılık göstermektedir.

Taşıyıcılar, genellikle tomruk metodunun uygulandığı mekanize üretim sistemlerinde hasatçılarla birlikte kullanılmaktadır (Akay ve Yenilmez, 2008). Tomrukların toprakla temas etmeden taşınması, meşcere üzerinde oluşabilecek zararı önemli ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte, makinenin yüksek ağırlığı ve geniş taşıma kapasitesi nedeniyle, taşıma güzergâhı boyunca derin tekerlek izleri oluşabilmektedir (Akay ve diğ., 2007).



Şekil 1.6 : Taşıyıcı ile bölmeden çıkarma (Akay ve Yenilmez, 2008).

1.1.3.4 Vinçli hava hatları ile bölmeden çıkarma

Özellikle eğimin yüksek olduğu dağlık arazilerde orman ürünlerinin bölmeden çıkarılmasında vinçli hava hatları etkili ve ekonomik çözümler sunmaktadır (Erdaş, 2008). Bu yöntem ile odunda oluşacak değer ve hacim kaybının geleneksel bölmeden çıkarma yöntemlerine göre azaltması mümkündür. Hava hattı uzunluğuna göre vinçli hava hatları üç grupta sınıflandırılmaktadır (Acar, 2004):

- Kısa mesafeli mobil vinçli hava hatları, traktörle sürütmenin veya kablo vincinin kullanımına elverişli olmayan engebeli ve dik arazilerde kullanılmaktadır (Şekil 1.7). Bu sistemler, genellikle 0-300 metre arasındaki mesafelerde etkili olup, hem yamaç aşağı hem de yamaç yukarı yönde taşıma yapabilme kapasitesine sahiptir.



Şekil 1.7 : Koller K300 model kısa mesafeli hava hattı (Büyüksakallı, 2023).

Bu sistemlerde çoğunlukla bir ucu askıda taşıma yapılmaktadır. Taşıma esnasında genellikle ürünler kalın uçlarından hava hattına bağlanıp kaldırılırken ince uçları ise zemin üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak yer ile ana taşıma kablosu arasında uygun mesafe olması durumunda, ürünler tamamen askıda da taşınabilmektedir. Türkiye’de kullanılan kısa mesafeli vinçli hava hattı KOLLER K-300, MOZ 300 ve URUS M-I modelleridir.

- Orta mesafeli hava hattı: Bu sistemler, yamaç aşağı ve yamaç yukarı taşıma yapabilen, 300-800 m taşıma mesafesinde kullanılan ve meşcere zararını minimize eden vinçli hava hatlarıdır. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan orta mesafeli vinçli hava hattı URUS M-III modeli ve Tajfun MOZ 500GR modelleridir. Tajfun MOZ 500GR model hava hattı OGM tarafından satın alınmış ve 800 m’ye kadar taşıma mesafesi bulunmaktadır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 : URUS M-III (sol) ve Tajfun MOZ 500GR model (sağ) orta mesafeli hava hattı (Büyüksakallı, 2023).

- Uzun mesafeli hava hattı: Bu sistem, 2000 m'ye kadar bölmeden çıkarma faaliyeti gerçekleştiren hava hattıdır. Bu hava hattında bir kızak ve üzerine monte edilmiş motor aksamı bulunmaktadır (Şekil 1.9). Hava hattı kuruluş güzergâhının 50 m yatay bölümünde bulunan ürünler hat güzergâhına çekilmelidir. Ürünler daha sonra hat doğrultusu boyunca, arazi durumuna bağlı olarak yamaç yukarı ya da yamaç aşağı olacak şekilde taşınabilmektedir. Bu yönüyle bakıldığında kurulan bu sistem 20 hektar büyüklüğünde bir alanda bölmeden çıkarma yaparak, çevre zararını en aza indirmeyi başarmaktadır. Ülkemizde uzun zamandır WYSSSEN, BACO, HINTEREGGER, GARTNER markalı uzun mesafe hava hatları kullanılırken, günümüzde sadece GARTNER markalı hava hatları kullanılmaktadır.



Şekil 1.9 : WYSSSEN marka uzun mesafeli hava hattı (Büyüksakallı, 2023).

1.2 Ağaç Kesme ve Boylama Makineleri

Ağaç kesme ve boylama çalışmaları, odun hammaddesinin üretiminde başlangıç aşamasını oluşturur ve çoğunlukla üretim sürecinin en riskli ve en güç görevleri arasında değerlendirilir. Mekanize üretim sistemlerinde bu işlemlerde kullanılan makineler temel olarak iki gruba ayrılır: kesici-istifleyiciler (feller-buncher) ve hasatçılar (harvester). Kesici-istifleyici, bir veya birden fazla ağacı bölmeden çıkarma işleminden önce kesmek ve düzenli şekilde bir araya getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Daha gelişmiş çok amaçlı bir makine olan hasatçı ise, sahip olduğu kesici başlık sayesinde ağacı devirdikten sonra dallarını temizler, istenilen uzunluklarda tomruklara ayırır ve elde edilen tomrukları yığınlar hâlinde istifler (Akay ve Yenilmez, 2008).

1.2.1 Kesici-İstifleyici

Kesici-istifleyici, hidrolik kesici başlıkları sayesinde ağaçları dip kısımlarından keser; ardından hidrolik kolu kullanarak kesilen gövdeleri kavrar ve zemine düzenli yığınlar halinde istifleyerek bölmeden çıkarma işlemine hazır hale getirir (Miyajima ve diğ., 2021) (Şekil 1.10). Bölmeden çıkarma verimliliğini yükseltmek için, kesim yönü çoğunlukla ağaçların eğim doğrultusunda aşağıya doğru daha kolay aktarılmasını sağlayacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru olacak biçimde belirlenir.



Şekil 1.10 : Woodcracker C550 model feller buncher (Foto: A.E. Akay).

İş güvenliği açısından bakıldığında, kesici-istifleyici ile yapılan ağaç kesme işlemleri, motorlu testere kullanımına oranla çok daha güvenli bir çalışma ortamı sunmaktadır (Bell, 2002). Bunun yanı sıra, bu yöntem orman ekosistemine verilen zararı da önemli ölçüde azaltmaktadır.

Kesici-istifleyici ile bölmeden çıkarma makinesinin orman içinde çoğunlukla aynı güzergâhları kullanması, toprak sıkışmasını ve orman toprağındaki bozulmaları büyük ölçüde sınırlamaktadır (Akay ve Yenilmez, 2008). Ayrıca, kesim yönünün önceden doğru şekilde planlanması, geride kalan ağaçlarda oluşabilecek gövde yaralanmaları ile kök hasarlarını en düşük seviyeye indirmeye yardımcı olmaktadır (Han ve Kellogg, 2000).

1.2.2 Hasatçı

Mekanik odun hammaddesi üretim sistemlerinde hasatçılar çoğunlukla taşıyıcı (forwarder) ile birlikte çalışacak şekilde organize edilmektedir (Şekil 1.11). Çok işlevli bir üretim makinesi olan hasatçı; ağacın kesilmesi, dallarının alınması, uygun uzunluklarda boylanması ve tomrukların düzenli şekilde istiflenmesi gibi süreçlerin tamamını gerçekleştirmektedir. Ardından, taşıyıcı bu istiflenmiş tomrukları toplayarak tomruk kamyonlarına yüklenmek üzere rampa alanlarına nakletmektedir (Akay ve Şakar, 2009). Boylama işlemi sırasında operatör, hasatçının üretim performansını yükseltmek amacıyla seksiyon uzunluklarını en uygun şekilde belirleyen optimum boylama algoritmalarına sahip yazılımlardan yararlanmaktadır (Akay ve diğ., 2007).



Şekil 1.11 : Doosan DX 300LC ile üretim çalışması (Foto: E. Bilici).

Hasatçının verimi; ağaç çapı, dal boyutları, operatör tecrübesi, arazi eğimi, zemin koşulları ve diri örtü yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Akay ve Yenilmez, 2008). Ayrıca, birim alanda kesilecek ağaç sayısı ve ağaç boyutları, hasatçı ile gerçekleştirilen üretim çalışmalarının verimin artmasına ve birim maliyetlerin düşmesine katkıda bulunmaktadır. Diğer taraftan, dik araziler hasatçı verimini olumsuz yönde etkilemekte ve bu tip zorlu çalışma koşullarında operatör tecrübesi veya motivasyonundaki eksiklikler hasatçı verimi üzerinde önemli düşüşlere neden olabilmektedir. Bu durum yalnızca işletme maliyetlerini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda orman ekosistemine zarar verme ve iş güvenliği riskini de artırmaktadır (Akay ve Şakar, 2009).

1.3 İş Verimi

Üretim çalışmalarında kullanılan mekanik araçların performansı, büyük ölçüde üretim süresi üzerindeki etkilerine göre değerlendirilir. Üretim süresinin hesaplanmasında en etkili ve yaygın kullanılan iş ölçüm yöntemi, zaman etüdüdür (Gülci, 2014). Zaman etüdü kapsamında, ölçümü yapılacak olan iş, alt aşamalara bölünerek standart tamamlanma zamanı hesaplanmış olur. Bu nedenle, değerlendirilmek istenen işin alt aşamaları oluşturan bölümlere ayrılabilmesi zaman etüdü çalışmasının uygulanması için gereklidir. Zaman etüt formları ve zaman ölçer zaman etüdünde kullanılan iki temel araçtır. Zaman etüt yöntemleri; sürekli zaman ölçme, tekrarlı zaman ölçme ve iş örnekleme olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Yıldırım, 1989). Sürekli zaman ölçme tekniğinde, iş aşamaları sürekli olarak izlenmekte ve iş aşamalarının bitiminde kronometrede okuma yapılmakta ve okunan değer kayıt altına alınmaktadır. Tekrarlı zaman ölçme tekniğinde, çalışmanın ilk aşamasında kronometre çalıştırılmakta, çalışmanın son aşamasında ise kronometre sıfırlanarak yeniden çalıştırılmak için hazır hale getirilmektedir. İş örnekleme tekniğinde takip edilen iş eşit zaman aralıkları ile izlenmekte ve o esnada yapılan iş aşamaları kayıt altına alınmaktadır (Gülci, 2014).

Ülkemizde modern üretim makinelerini konu alan verim analizi çalışmaları sınırlı sayıdadır. Enez ve Arıçak (2012) yaptıkları çalışmada ülkemizde ilk defa kullanılmaya başlanan Volvo FC2121C model hasatçının ülkemiz koşullarına olan adaptasyonunu ve hasatçının daha verimli kullanılacağı koşulları araştırılmıştır. Başka bir çalışmada, Bilici ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada Doosan DX 300IC hasatçının kızılçam sahalarında tıraşlama kesiminde verim analizini değerlendirmişler ve istatistiksel

olarak verim üzerine etkili olan faktörleri ortaya çıkarmışlardır. Bilici ve diğ. (2019) yaptıkları diğ. bir çalışmada da odun üretiminde ülkemizde ilk kez kullanılmaya başlanan WoodCraker C450 kesici-istifleyicinin performansı üzerinde etkili olan faktörleri belirlemişlerdir. Çalışmada verimi saatlik bazda hesaplamışlardır.

Ülkemizde modern mekanik üretim makinelerini konu alan tüm verim çalışmalarda zaman ölçümleri zaman kayıt cihazları (kronometre) kullanılarak iş aşamalarının makinenin çalıştığı alanda gözlemek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Orman ürünlerinin üretimi çoğu zaman dik ve güç arazi koşullarında gerçekleştiğinden, zaman analizinin sahada uygulanmasında güçlüklerle karşılaşabilmektedir. İnsansız Hava Aracı (İHA) ile üretim makinelerinin faaliyetlerine ait yüksek çözünürlüklü sayısal video görüntüleri elde ederek, bu görüntüler üzerinden yapılacak zaman analizi ölçümleri ile verim hesaplaması yapılması önemli katkılar sunacaktır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 : Sürütme sırasında İHA ile alınan görüntü (Özkan, 2016).

1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde son yıllarda topoğrafik açıdan uygun ve entansif ormancılık yapılan bölgelerde mekanik üretim araçları daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Mekanik üretim araçlarının yüksek satın alma maliyetleri ve yüksek yakıt fiyatları nedeniyle saatlik birim maliyeti yüksektir. Bu üretim araçlarından maksimum faydanın sağlanabilmesi için mekanik üretim sistemlerinin bu araçlardan en yüksek verimi elde

edecek şekilde planlanması ve amaca en uygun üretim aracının seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, İHA ile elde edilen sayısal görüntüler ve yüksek çözünürlüklü yüzey modelleri kullanılarak mekanik üretim araçlarından sürütücünün verim açısından yüksek hassasiyetlerde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çözüm aşamasında, sürütücü ile sürütme ve kesici-istifleyici ile ağaç kesme faaliyetlerine ait yüksek çözünürlüklü video görüntüleri İHA ile elde edilerek ofiste görüntüler üzerinde yürütülen zaman analizi ölçümleri ile verim hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada, ayrıca istatistiksel analizler yapılarak ağaç boyu, ağaç çapı, hacim, ağaç sayısı ve sürütme mesafesi gibi faktörlerin mekanik araçların verimli çalışma zamanı ve verim değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.



2. LİTERATÜR

Mekanik üretim yöntemleri teknik, ekonomik, çevresel ve ergonomik açıdan insan ve hayvan gücü ile üretim yöntemine göre daha verimli sonuçlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, mekanik üretim sürecinde kullanılan makinelerin başlıca avantajları arasında; tomruk üretiminde verimin artırılması, üretim süreci sonunda kesim artıklarını ormanda bırakarak orman ekosistemine organik madde sağlanması ve üretim çalışmalarında işgücü potansiyelini attırması bulunmaktadır (Akay ve Sessions, 2004).

Ülkemizde sürütme yöntemiyle bölmeden çıkarma çalışmalarında tarım traktörleri en yaygın olarak kullanılan mekanik üretim araçlarıdır. Büyüksakallı (2010), Kahramanmaraş, Andırın ve Osmaniye İşletme Şefliklerinde yaptığı çalışmada, kış aylarında yürütülen bölmeden çıkarma çalışmalarına ilişkin zaman analizi ve iş güvenliği değerlendirme açısından geleneksel bölmeden çıkarma yöntemleri (insan gücü ve hayvan gücü ile) ile tarım traktörü ile bölmeden çıkarma yöntemini kıyaslamıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre geleneksel bölmeden çıkarma yöntemi ile orman emvallerinin kontrolsüz sürütülmesi suretiyle uygulanan bölmeden çıkarma yönteminin tarım traktörü ile bölmeden çıkarmaya göre kaza riskinin, kalite ve kantite kaybının arttığını ifade etmiştir.

Bir diğer çalışmada Türk (2011), odun hammaddesi üretiminde tarım traktörü ile bölmeden çıkarmada sırasında ekonomik, teknik ve çevresel alanlarda incelemeler yapmış ve tespit edilen olumsuz yanları en aza indirecek bir sürütme modeli oluşturmuştur. Bu modelin uygulayarak tarım traktörleriyle bölmeden çıkarma çalışmalarında verimi %32,21 arttırmış ve 100 m'de 1 m³ tomruğun sürütülmesiyle, bir turda 0,10 \$ tasarruf sağlandığı vurgulanmıştır.

Akay ve diğ. (2016) Türkiye'de ilk defa bölmeden çıkarma çalışmalarında kullanılmaya başlanan Tigercat 635D sürütücüyü performans açısından değerlendirmişlerdir. Sürütme mesafesi 63 m ile 200 m arasında değişen çalışmada zaman etüdü analizi ile sahada toplam 33 döngü kaydedilmiştir. Saatlik verim 104,50 m³/saat olarak bulunmuştur. Korelasyon esti sonuçları, her bir değişken (sürütme

mesfesi, eğim, hacim) ile toplam çalışma zamanı arasında %99 güven aralığında anlamlı ($p<0,001$) bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Gülci ve diğ. (2018) tarafından Muğla İli Köyceğiz İlçesinde bulunan Karaçam meşceresinde tarım traktörü (Türk-Fiat 450) ile yapılan yokuş yukarı çekme işleminin verimlilik analizi yapılmıştır. Çalışma farklı eğimlerde (%20 ve %30) gerçekleştirilmiştir. Yöntem olarak zaman etüdü kullanılmış; iş döngüsünün her aşamasındaki süreler kronometreyle ölçülmüş ve veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bulgulara göre, %20 eğimli arazide ortalama verimlilik 5,72 m³/saat, %30 eğimde ise 4,30 m³/saat olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, %30 eğimli arazide sürütme süresinin yaklaşık %47 arttığını göstermiştir. Ayrıca, sürütülen tomruk hacmi arttıkça verimliliğin yükseldiği, ancak taşınan parça sayısının artmasının verimliliği düşürdüğü tespit edilmiştir.

Tampa ve diğ. (2024) Tanzanya’da yürüttükleri çalışmada, Sao Hill Orman Plantasyonu’nda mekanize sürütme operasyonlarının verimliliğini ve maliyetini nicel olarak belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan makine CAT 525 kavramalı sürütücüdür. Çalışmaya başlamadan önce 15x15 kare şeklinde örnek alan içerisindeki tüm dikili ağaçlar işaretlenerek numaralandırılmış ve kumpas yardımıyla ağaç çapları hesaplanmıştır. Ayrıca, hipsometre yardımı ile ağaç boyları da ölçülmüştür. Çalışma sonucunda yüklü sürütme zamanı en çok zaman alan iş aşaması olarak belirlenmiştir, Geliştirilen modeller sayesinde toplam üretken zaman, verimlilik ve maliyet anlamlı biçimde tahmin edilmiş, özellikle eğim, mesafe ve ortalama ağaç çapının belirleyici değişkenler olduğu görülmüştür. Geliştirilen modellerin farklı arazi koşullarında makine performansını önceden tahmin etmede önemli bir yönetim aracı olacağı vurgulanmıştır.

Mercata ve diğ. (2024) Bosna-Hersek’te yaptığı çalışmada ise iki farklı kesim alanında kullanılan LKT 81T ve Timberjack 240A traktörlerin uzun sürütme mesafelerindeki verimliliklerini zaman etüdüyle karşılaştırıp, sürütme mesafesi ve yük hacmi gibi faktörlerin verimlilik üzerine etkisini ortaya koymuştur. Timberjack 240A, daha fazla yük taşıma kapasitesi ve daha düşük standart zaman değerleri sayesinde 900 metreye kadar olan mesafelerde LKT 81T’ye oranla daha yüksek verimlilik sağlamıştır. Her iki makinede de uzun mesafelerin performansı belirgin şekilde düşürdüğü, ancak yol yetersizliği olan arazilerde kablo traktörlerinin hâlâ kaçınılmaz bir çözüm olduğu vurgulanmıştır.

Bilici ve diğ. (2019) ise Çanakkale’de yapılan çalışmada, iki farklı kızılçam meşceresinde yapılan üretim çalışmalarında bir kesici-istifleyicinin verimliliğini zaman-hareket analiziyle inceleyerek, özellikle ağaç çapı, boyu, eğim ve arazi yapısının üretim performansına etkisini ortaya koymuştur. İlk sahada ağaçlar tek aşamada kesilip taşınabilirken, ikinci sahada daha büyük çaplar ve daha dik–engebeli arazi nedeniyle iki aşamalı kesim gerçekleşmiş ve bu durum döngü süresini belirgin şekilde uzatarak verimliliği %32,3 azaltmıştır. Analizler, verimliliğin özellikle ağaç hacmi ve çapıyla pozitif ilişkili olduğunu, ancak eğim ve arazi yapısının makine stabilitesini ve operatör performansını düşürerek bu avantajı bastırdığını göstermiştir. Sonuç olarak, 35 cm’den büyük çaplı ağaçların ve %20’den fazla eğimin bulunduğu çok engebeli sahalardaiki aşamalı kesici-istifleyici uygulamasının verimsiz olduğu, doğru makine seçiminin arazi şartları ve ağaç boyutlarına göre yapılmasının zorunlu olduğu vurgulanmıştır.

Miyajima ve diğ. (2021) Brezilya’da yapılan çalışmada, Ökalyptüs ormanlarında yapılan kesim operasyonları sırasında iki farklı kesici-istifleyicinin verimliliğini zaman-hareket analiziyle inceleyerek, özellikle eğim, arazi örtüsü, sürütme mesafesi ve yük hacmi gibi saha faktörlerinin üretim performansına etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, zorlu arazi koşullarının makinenin hareket hızını ve manevra kabiliyetini düşürerek döngü süresini belirgin biçimde uzattığı, bunun da toplam verimliliği azalttığı ortaya konmuştur. Analizler, üretimin en çok sürütme mesafesi ve arazi eğiminden etkilendiğini; mesafe arttıkça ve eğim yükseldikçe verimliliğin düştüğünü göstermiştir. Sonuç olarak çalışma, kesici-istifleyicilerin farklı teknik özelliklerinin, okalyptüs ağaçlarının üretimi sırasında kesim operasyonunun verimliliğini ve dolayısıyla maliyetini etkilediği belirlenmiştir.

Gülci ve diğ. (2021) Çanakkale’de yapılan çalışmada, bütün ağaç kesiminde kullanılan kesici-istifleyicinin verimliliğini incelemiştir. Yapılan zaman etüdünde en fazla süre %60 ile kesilecek ağaca hareket etme aşamasında harcanmış, ortalama üretim ise oldukça yüksek bir değer olan 74.96 m³/saat olarak bulunmuştur. Ağaç çapı, boyu ve hacmi verimlilikle güçlü pozitif ilişki göstermiş; özellikle çap büyüdükçe kesim süresi ve toplam verimlilik belirgin şekilde artmıştır. Çap sınıfları arasında anlamlı farklar saptanmış, büyük çaplı ağaçlarda verimlilik en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Verimlilik tahmini için yapılan modellerde mekanik üretim çalışmalarının uygun koşullarda oldukça verimli bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Çalışma Sahalarına Ait Genel Bilgiler

Çalışma Çalışma sahası, Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) ile Keşan Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) bünyesinde yer alan Saros Orman İşletme Şefliği (OİŞ) sınırlarındaki 139 numaralı bölmeyi kapsamaktadır (Şekil 3.1). Bölmenin eğimi, IUFRO'nun ormancılıkta bölmeden çıkarma faaliyetleri için tanımladığı eğim sınıflandırmasına göre orta eğim grubunda (%21–33) yer almaktadır. Bütün ağaç yönteminin uygulandığı bölmeden çıkarma çalışmaları, Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşceresinde yürütülmüştür.

Keşan OİM, Marmara Bölgesi'nin Trakya kesiminde konumlanmakta olup, toplam alanının %28'i (66.280,6 ha) ormanlık, %72'si (165.401,5 ha) ise açıklık alanlardan oluşmaktadır. Ormanlık alanların %65'i verimli orman, %22'si bozuk orman ve %11'i ağaçsız orman alanı niteliğindedir. Bölgedeki iklim, Akdeniz ikliminin Marmara'ya özgü özellikler taşıyan bir formu olarak tanımlanmaktadır. Keşan'ın rakımı yaklaşık 100 metredir. Yıllık ortalama yağış miktarı 550–600 mm arasında değişmekte olup, mevsimsel dağılımı şu şekildedir: Çizelge 3.1'de Keşan OİM'e bağlı şefliklere ait orman varlığının alan bazındaki dağılımı sunulmaktadır (OGM, 2025). (OGM, 2025).



Şekil 3.1 : Saros Orman İşletme Şefliğinin coğrafi konumu.

Çizelge 3.1 : Keşan OİM sınırlarındaki şefliklerinin orman varlığı (ha) bilgileri (OGM, 2023).

İşletme şeflikleri	Normal orman	Bozuk orman	Toplam orman	Ormansız alan	Genel alan
Keşan	5.365,70	6.554,00	11.919,70	117.527,50	129.447,20
Çamlıca	5.443,30	470,30	5.913,60	2.389,10	8.302,70
Çınarlıdere	4.662,70	1.863,10	6.525,80	9.302,70	15.828,50
Enez	8.091,60	12.507,10	20.598,70	21.656,20	42.254,90
Korudağ	7.987,40	1.467,60	9.455,00	5.111,80	14.566,80
Saros	7.335,50	1.762,10	9.097,60	3.844,10	12.941,70
Yayla	4.943,70	929,80	5.873,50	5.552,90	11.426,40
TOPLAM	43829.9	25554	69383.9	165384.3	234768.2

3.2 İnsansız Hava Aracı (İHA)

Tez çalışmaları sırasında zaman ölçümlerinin kaydedilmesi için “DJI Mavic 2 Pro” model İHA kullanılmıştır (Şekil 3.2). Yüksek çözünürlüklü görüntü (fotoğraf için 12 MP, video için 4K) sağlama, üç eksenli “gimbal” aparatı ile rüzgârlı havalardan kaynaklanan vibrasyon etkisini önleme özelliklerine sahip olan “DJI Mavic 2 Pro”, kolay taşınabilir olması ve dayanıklı yapısıyla da yaygın olarak kullanılan insansız hava araçlarından biridir. İHA’ya ilişkin teknik bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : DJI Mavic 2 Pro (Foto: S. Akarsu).

Çizelge 3.2 : DJI Mavic 2 Pro İHA’ya ait teknik bilgiler.

Teknik özellikler	Değerler
Görüş açısı	94°
Diyafram açıklığı	2,8 /f
Sensor türü	CMOS
Sensor boyutu	1/2,3 inç
Etkin piksel	12 MP
Video çözünürlüğü	4K
Video kare hızı	30 fps
Titreşim engelleme türü	3 Eksenli
Fotoğraf çözünürlüğü	4000x3000
Ağırlık	734 gr
Maksimum uçuş süresi	17 dakika

3.3 Mekanik Araçlar

Bu çalışmada, Saros OİŞ sınırları içinde gerçekleştirilen bölmeden çıkarma faaliyetlerinde kullanılan Tigercat 635D model sürütücü incelenmiştir. 6x6 çekiş sistemine ve ergonomik kabin donanımına sahip olan bu sürütücü, yüksek verim gerektiren bölmeden çıkarma operasyonları için tasarlanmıştır (Şekil 3.3). Çalışmada ele alınan hasatçıya ait bazı teknik özellikler ise Çizelge 3.3'te sunulmaktadır.



Şekil 3.3 : Tigercat 635D model sürütücü (S. Akarsu).

Çizelge 3.3 : Tigercat 635D sürütücünün teknik özellikleri.

Özellikler	Değerler
Uzunluk	9350 mm
Aks aralığı	5105 mm
Genişlik	3330 mm
Yükseklik	3150 mm
Yerden Yükseklik	635 mm
Ağırlık	21430 kg
Motor	194 kW (260 Hp)
Kıskaç	Tigercat
Standart	1,95 m ² /3810 mm
Maksimum	2,32 m ² /3835 mm
Bıçak Genişliği	2285

Çalışma kapsamında WoodCraker C550 model kesici-istifleyici değerlendirilmiştir. Üretim çalışmaları sırasında makine kesici-başlık yardımıyla ağaçları toprağa en yakın yerden kesmekte ve hidrolik kol yardımı ile yığınlar halinde istiflemektedir (Şekil 3.4). WoodCraker C550 kesici-istifleyicinin bazı teknik özellikleri Çizelge 3.4’de sunulmuştur.



Şekil 3.4 : WoodCraker C550 kesici-istifleyici (S. Akarsu).

Çizelge 3.4 : WoodCraker C550 kesici-istifleyicinin teknik özellikleri.

Özellikler	Değerler
Ağaç çapı	450 mm
Maksimum açıklık	1600 mm
Kesici makas çapı	800 mm
Kesici başlık ağırlığı (Net-Toplam)	1500-2100 kg
Önerilen yakıt kapasitesi	80-160 lt/min
Önerilen operasyon basıncı	280 Bar
Taşıyıcı araç ağırlığı	20-25 ton

3.4 Verim Analizleri

Mekanik üretim çalışmalarında kullanılan mekanik araçların verimi zaman analizleri ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, sahada İHA ile operasyonun yüksek çözünürlüklü sayısal görüntüleri elde edilmiş ve görüntüler üzerinde yürütülen zaman analizi

ölçümleri ile verimli çalışma zamanı ve verim hesaplamaları yapılmıştır. Verim ($m^3/saat$) hesaplamak için Formül 3.1 kullanılmıştır (Gülci, 2014):

$$Verim = \frac{TH}{TS} \times 60 \quad (3.1)$$

TH = Bir döngüdeki toplam ağaç hacmi (m^3)

TS = Bir döngüdeki toplam süre (dk)

60 = Süreyi dakikadan saate çevirmek için kullanılan katsayı

Verimliliği hesaplamak için ağaç hacimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hacim hesaplamalarında, kızılçam (*Pinus brutia*) ağaç türü için Alemdağ (1962) tarafından önerilen aşağıdaki gövde hacim formülünden yararlanılmıştır:

$$V = 0,0428753 \times (d_{1.3})^{2,054628} \times (h)^{0,843735} \quad (3.2)$$

V = Ağaç hacmi (dm^3)

$d_{1.3}$ = Göğüs yüksekliği çapı (cm)

h = Ağaç boyu (m)

Arazide yapılan ölçümlerde şerit metre ve çap ölçer kullanılmıştır. Sürütme çalışmasında, her döngüde sürütülen ağaçların boyu ve çapı ($d_{1.3}$), ağaç sayısı, toplam ağaç hacmi (her döngüdeki ağaçların toplam hacmi) ve sürütme mesafesi parametreleri belirlenmiştir. Kesici-istifleyici için ise her döngüde kesilen ağaç boyu, ağaç çapı ($d_{1.3}$) ve ağaç hacmi tespit edilmiştir. Daha sonra, elde edilen veriler kullanılarak istatistiksel analizler yardımıyla bu parametrelerin mekanik araçların verimli çalışma zamanı ve saatlik verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3.4.1 Zaman etüdü

Çalışmada değerlendirilen mekanik araçların zaman ölçümünde “DJI Mavic 2 Pro” İHA kullanılarak saha görüntüleri kaydedilmiştir. Daha sonra, ofis ortamında görüntüler analiz edilerek iş aşamalarına ait zaman değerleri yüksek doğrulukla hesaplanmıştır. İHA ile yapılan uçuşlarda maksimum uçuş süresi yaklaşık 20 dakika olarak kaydedilmiştir. Kısa pil ömründen kaynaklanan zaman sınırlamasının olumsuz etkilerine karşı uçuş sürekliliğini sağlamak amacıyla dört adet yedek pil bulundurulmuştur. Sahada elde edilen görüntüler İHA’nın 128 GB’lık hafıza kartlarına kaydedilmiş ve daha sonra bilgisayar ortamında aktarılmıştır. Uçuşlar mekanik araçları en iyi görecektir ve güvenli uçuş sağlayacak irtifalarda (50 m)

gerçekleştirilmiştir. Üretim çalışmaları sırasında personelden (dinlenme, yemek, vb.) veya makineden (tamir, bakım vb.) kaynaklanan toplam kayıp zaman iş aşamalarına dahil edilmemiştir. Böylece mekanik araçların verimli çalışma zamanı hesaplanmıştır.

Çalışmada sürütme operasyonu sırasında değerlendirilen Tigercat 635D model sürütücü için iş aşamaları ölçülmüştür. Bölmeden çıkarma süreci, sürütücünün rampadan kesim alanına doğru ilerlemesiyle başlamakta ve ürünlerin rampa ya da yol kenarında sürütme kısılacından bırakılmasıyla tamamlanmaktadır. İlk aşama, sürütücünün ürünlerin istiflendiği rampa alanından hareket etmesiyle başlayıp, ürünlerin zeminde yer aldığı kesim sahasına ulaşmasıyla sona ermektedir. İkinci aşama, ürünlerin sürütücünün kısılacıyla kavranmasını kapsamaktadır. Üçüncü aşama, sürütücünün yüklü olarak kesim sahasından hareket ederek rampaya ulaşması sırasında geçen zamanı ifade etmektedir. Son aşama ise rampada ürünlerin sürütücüden boşaltılmasını kapsamaktadır. Ağaçların sürütülmesi sırasında yapılan ölçümlerde toplam 34 döngünün İHA ile video kayıtları alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Tigercat 635D model sürütücü ile sürütmenin İHA ile alınan bir görüntüsü (S. Akarsu).

Kesici-istifleyici ile ağaç kesimi çalışması WoodCraker C550 model kesici-istifleyicinin bir önceki seferde kesilen ağacı sürütme yolu kenarına bırakması ile başlamaktadır. Kesici-istifleyicinin kesilecek ağaca ulaşması ile ilk aşama tamamlanmaktadır. İkinci iş aşaması, kesici başlık ile ağacın kavranması ve ağacın kesilmesi için geçen süreyi kapsamaktadır. Son aşamada, kesilen ağacın sürütme

yoluna bırakılması ile sona ermektedir. Ağaç kesimleri sırasında yapılan ölçümlerde toplam 40 döngünün İHA ile video kayıtları alınmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : WoodCraker C550 model kesici-istifleyici ile ağaç kesiminin İHA ile alınan bir görüntüsü (S. Akarsu).

3.4.2 İstatistik analizler

Mekanik araçlar ile yürütülen üretim çalışması sırasında elde edilen verim ve zaman ölçümüne ait veriler SPSS 20.0 istatistik yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizlerde ilk olarak her iki aracın döngüsünü oluşturan iş aşamalarına ait zaman değerlerinin, bağımsız değişkenlerin, çalışma zamanı ve saatlik verimin tanımlayıcı (descriptive) istatistik değerleri (ortalama, minimum, maksimum, standart sapma) hesaplanmıştır. Sürütücü için değerlendirilecek bağımsız değişkenler, her bir döngüdeki ağaç sayısı, toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesidir. Kesici-istifleyicide ise bağımsız değişkenler ağaç çapı, ağaç boyu ve ağaç hacmidir. Çalışmada dikkate alınan bağımsız değişkenler ile araçların verimli çalışma zamanı ve saatlik verimleri arasındaki ilişkilerin araştırılması için Korelasyon Testi uygulanmıştır. Son aşamada ise, çalışma zamanı ve saatlik verimler istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu belirlenen bağımsız değişkenlere ilişkin matematiksel modellerin belirlenmesi için Regresyon Analizi uygulanmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Sürütücü Bulguları

Çalışmada Saros OİŞ’de sürütücü ile gerçekleşen bölmeden çıkarma çalışmasına ait çalışma zamanı ve verim üzerine istatistiksel analizler yürütülmüştür. Bölmeden çıkarma çalışmaları sırasında personelden veya makineden kaynaklanan kayda değer bir kayıp zaman ölçülmemiştir. Bölmeden çıkarma işlemi kapsamında sürütülen ağaçların ortalama boyu 13,6 m, ortalama çapı 36,1 cm ve ortalama hacmi 0,7 m³ olarak tespit edilmiştir. Sürütme çalışmasının zaman ve verimlilik ölçütleri üzerinde etkili olan bağımsız değişkenlere (ağaç sayısı, toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi) ilişkin tanımlayıcı istatistikler ise Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Sürütmede bağımsız değişkenlere ait istatistiksel bulgular.

Değişkenler	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ağaç sayısı	adet	5	12	8,7	2,02
Toplam ağaç hacmi	m ³	3,9	6,9	5,6	0,90
Sürütme mesafesi	m	85	350	210	66,39

Sürütme operasyonunda iş aşamalarının zaman ölçümlerine ve verime ait betimleyici istatistiksel değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sonuçlara göre, zaman ölçümleri sırasında kaydedilen toplam 34 döngüdeki iş aşamaları kendi aralarında değerlendirildiğinde, bir döngüde en fazla zaman alan aşamanın rampaya dolu dönüş için geçen zaman (2,10 dakika) olduğu ve bunu boş gidiş zamanının (1,42 dakika) takip ettiği bulunmuştur. Sürütücü ile bölmeden çıkarma çalışmasında verimli çalışma saatine göre ortalama verim 73,55 m³/saat olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.2 : Sürütücünün iş aşamalarına ait istatistiksel bulgular (dakika).

İş Aşamaları	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Boş gidiş	dakika	0,76	2,33	1,42	0,36
Yükleme	dakika	0,35	0,94	0,64	0,15
Dolu dönüş	dakika	1,33	3,10	2,10	0,45
Boşaltma	dakika	0,18	0,71	0,48	0,16
Verim	m ³ /saat	49,25	103,78	73,55	13,14

İncelenen sürütücü için verimli çalışma süresi ve saatlik verim değerleri ile belirlenen bağımsız değişkenler (ağaç sayısı, toplam hacim ve sürütme mesafesi) arasındaki ilişkiler, Pearson Korelasyon Analizi ile araştırılmıştır. Analiz bulgularına göre, çalışma zamanı ile hem toplam ağaç hacmi hem de sürütme mesafesi arasında %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Bu, hacim ve mesafe arttıkça çalışma süresinin de arttığı anlamına gelmektedir. Buna karşılık, çalışma zamanı ile ağaç sayısı arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Verimlilik açısından değerlendirildiğinde ise, toplam ağaç hacmi ile verim arasında %95 güven düzeyinde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunurken, sürütme mesafesi ile verim arasında %99 güven düzeyinde negatif yönlü güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, taşınan toplam hacim arttıkça verimin arttığını, ancak mesafe uzadıkça verimin düştüğünü göstermektedir. Ağaç sayısı ile verim arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3 : Çalışma zamanı için sürütücüye ait korelasyon analizi bulguları.

		Çalışma Zamanı	Ağaç Sayısı	Toplam Hacim	Mesafe
Çalışma Zamanı	Korelasyon	1	0,304	0,472**	0,922**
	P değeri		0,081	0,005	0,000
Ağaç Sayısı	Korelasyon	0,304	1	0,411*	0,182
	P değeri	0,081		0,016	0,303
Toplam Hacim	Korelasyon	0,472**	,411*	1	0,141
	P değeri	0,005	0,016		0,428
Mesafe	Korelasyon	0,922**	0,182	0,141	1
	P değeri	0,000	0,303	0,428	

** Korelasyon 0,01 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) istatistiksel olarak anlamlıdır.

* Korelasyon 0,05 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.4 : Verim için sürütücüye ait korelasyon analizi bulguları.

		Verim	Ağaç Sayısı	Toplam Hacim	Mesafe
Verim	Korelasyon	1	0,026	0,400*	-0,826**
	P değeri		0,883	0,019	0,000
Ağaç Sayısı	Korelasyon	0,026	1	0,411*	0,182
	P değeri	0,883		0,016	0,303
Toplam Hacim	Korelasyon	0,400*	0,411*	1	0,141
	P değeri	0,019	0,016		0,428
Mesafe	Korelasyon	-0,826**	0,182	0,141	1
	P değeri	0,000	0,303	0,428	

** Korelasyon 0,01 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) istatistiksel olarak anlamlıdır.

* Korelasyon 0,05 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) istatistiksel olarak anlamlıdır.

Korelasyon analizinden elde edilen bulgular doğrultusunda, çalışma zamanı üzerinde anlamlı etkisi olduğu belirlenen iki bağımsız değişken (toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi) ile çalışma zamanı arasındaki ilişkinin modellenmesi amacıyla Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) sonuçları, oluşturulan regresyon modelinin istatistiksel olarak %99 güven düzeyinde anlamlı olduğunu göstermiştir ($p<0,01$). Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 (Belirleme Katsayısı) değerinin 0,97 olarak hesaplanması, bağımsız değişkenlerin (toplam hacim ve mesafe) çalışma zamanındaki değişimin %97'sini açıkladığını ve modelin oldukça yüksek bir uyum iyiliğine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : Çalışma zamanı için sürütücüye ait Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	23,668	2	11,834	500,925	0,000
	Residual	0,732	31	0,024		
	Total	24,401	33			

Bağımsız Değişken: Toplam hacim, mesafe

Bağımlı Değişken: Çalışma zamanı

Verim ile ona etki eden iki temel faktör (toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi) arasındaki ilişkiyi modellemek için de Doğrusal Regresyon Analizi yöntemine başvurulmuştur. Yapılan ANOVA, kurulan bu regresyon modelinin de %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamıştır ($p<0,01$). Modelin açıklayıcılık gücünü gösteren R^2 (Belirleme Katsayısı) değeri ise 0,96 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, sürütme mesafesi ve toplam ağaç hacminin, sürütücü verimindeki değişimin %96'sını açıkladığını ve oluşturulan modelin verimi tahin etmede son derece güçlü ve güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : Verim için sürütücüye ait Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5434,504	2	2717,252	325,881	0,000
	Residual	258,483	31	8,338		
	Total	5692,987	33			

Bağımsız Değişken: ağaç sayısı, toplam ağaç hacmi, mesafe

Bağımlı Değişken: Verim

Çalışma zamanını temsil eden bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişkenlerin (x_2 = toplam hacim ve x_3 = mesafe) yer aldığı regresyon modeli aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir:

$$y = 0,402 + (0,335)x_2 + (0,011)x_3 \quad (4.1)$$

Verimi temsil eden bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişkenlerin (x_2 = toplam hacim ve x_3 = mesafe) yer aldığı regresyon modeli aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir:

$$y = 67,77 + (7,723)x_2 - (0,178)x_3 \quad (4.2)$$

4.2 Kesici-istifleyici Bulguları

Kesici-istifleyici ile ağaç kesimi sırasında çalışma zamanını ve verimi etkileyen bağımsız değişkenlere (ağaç boyu, ağaç çapı, ağaç hacmi) ait betimleyici istatistik bulgular (minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma) Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ağaç kesiminde iş aşamalarının zaman ölçümlerine ve verime ait betimleyici istatistiksel değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Sonuçlara göre, zaman ölçümleri sırasında kaydedilen toplam 40 döngüdeki iş aşamaları kendi aralarında değerlendirildiğinde, bir döngüde en fazla zaman alan aşamanın kesilecek ağaca ulaşmak için geçen zaman (11,1 saniye) olduğu ve bunu ağacı kavrama ve kesme zamanının (8,3 saniye) takip ettiği bulunmuştur. Kesici-istifleyici ile ağaç kesimi çalışmasında verimli çalışma saatine göre verim 79,93 m³/saat olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7 : Ağaç kesiminde bağımsız değişkenlere ait istatistiksel bulgular.

Değişkenler	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ağaç boyu	cm	9,8	18,2	13,2	2,17
Ağaç çapı	cm	28,0	44,0	35,3	4,78
Ağaç hacmi	m ³	0,3	1,2	0,6	0,26

Çizelge 4.8 : Kesici-istifleyicinin iş aşamalarına ait istatistiksel bulgular.

İş Aşamaları	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ağaca ulaşma	dakika	4,0	19,0	11,1	4,45
Kesme	dakika	4,0	12,0	8,3	2,14
İstifleme	dakika	3,0	13,0	7,5	2,74
Verim	m ³ /saat	46,29	136,45	79,93	19,13

Çalışmada Pearson Korelasyon Testi kullanılarak kesici-istifleyici için verimli çalışma zamanı ve saatlik verim ile bağımsız değişkenler (x_1 = ağaç boyu; x_2 = ağaç çapı ve x_3 = ağaç hacmi) arasındaki ilişki araştırılmıştır. Korelasyon analizi sonuçları, ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi gibi bireysel ağaç özellikleri ile çalışma zamanı arasında da %99 güven düzeyinde ($p < 0,01$) pozitif yönde güçlü ve anlamlı ilişkiler olduğunu göstermiştir. Verim dikkate alındığında, yine bağımsız değişkenler ile verim

arasında %99 güven düzeyinde pozitif yönde anlamlı ($p<0,01$) ilişki olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10).

ANOVA sonuçları, çalışma zamanı ile bağımsız değişkenler (muhtemelen ağaç boyu, çapı ve hacmi) arasında kurulan regresyon modelinin istatistiksel olarak %99 güven düzeyinde anlamlı olduğunu doğrulamıştır ($p<0,01$). Modelin açıklama gücünü gösteren Belirleme Katsayısı (R^2) değerinin 0,67 olarak bulunması, bu bağımsız değişkenlerin çalışma zamanındaki değişimin yaklaşık %67'sini açıkladığını ve modelin iyi düzeyde bir uyum sağladığını göstermektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.9 : Çalışma zamanı için kesici-istifleyiciye ait korelasyon analizi bulguları.

		Çalışma Zamanı	Ağaç Çapı	Ağaç Boyu	Ağaç Hacmi
Çalışma Zamanı	Korelasyon	1	0,758**	0,813**	0,774**
	P değeri		0,000	0,000	0,000
Ağaç Boyu	Korelasyon	0,758**	1	0,960**	0,966**
	P değeri	0,000		0,000	0,000
Ağaç Çapı	Korelasyon	0,813**	0,960**	1	0,970**
	P değeri	0,000	0,000		0,000
Ağaç Hacmi	Korelasyon	0,774**	0,966**	0,970**	1
	P değeri	0,000	0,000	0,000	

** Korelasyon 0,01 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) anlamlıdır.

Çizelge 4.10 : Verim için kesici-istifleyiciye ait korelasyon analizi bulguları.

		Verim	Ağaç Çapı	Ağaç Boyu	Ağaç Hacmi
Verim	Korelasyon	1	0,759**	0,720**	0,752**
	P değeri		0,000	0,000	0,000
Ağaç Boyu	Korelasyon	0,759**	1	0,960**	0,966**
	P değeri	0,000		0,000	0,000
Ağaç Çapı	Korelasyon	0,720**	0,960**	1	0,970**
	P değeri	0,000	0,000		0,000
Ağaç Hacmi	Korelasyon	0,752**	0,966**	0,970**	1
	P değeri	0,000	0,000	0,000	

** Korelasyon 0,01 anlamlılık düzeyinde (çift yönlü) anlamlıdır.

Çizelge 4.11 : Çalışma zamanı için kesici-istifleyiciye ait Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1437,892	3	479,297	24,041	0,000
	Residual	717,708	36	19,936		
	Total	2155,600	39			

Bağımsız Değişken: ağaç boyu, ağaç çapı, ağaç hacmi

Bağımlı Değişken: Çalışma zamanı

Bağımsız değişkenler (ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi) ile verim arasındaki ilişkinin ortaya konulması için yine Doğrusal Regresyon Analizi kullanılmıştır. ANOVA bulguları, kesici-istifleyici verimi ile ilgili bağımsız değişkenler arasında kurulan regresyon modelinin %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur ($p<0,01$). Modelin açıklayıcılık gücünü gösteren Belirleme Katsayısı (R^2) değerinin 0,59 olarak hesaplanması, bu bağımsız değişkenlerin kesici-istifleyici verimindeki değişimin yaklaşık %59'unu açıkladığını ve modelin orta düzeyde bir tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 : Verim için kesici-istifleyiciye ait Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8405,977	3	2801,992	17,190	0,000
	Residual	5867,978	36	162,999		
	Total	14273,955	39			

Bağımsız Değişken: ağaç boyu, ağaç çapı, ağaç hacmi

Bağımlı Değişken: Verim

Çalışma zamanını temsil eden bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişkenlerin (x_1 =ağaç boyu; x_2 =ağaç çapı ve x_3 =ağaç hacmi) yer aldığı regresyon modeli aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir:

$$y = -23,181 + (-0,785)x_1 + (1,766)x_2 - (3,105)x_3 \quad (4.3)$$

Verimi temsil eden bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişkenlerin (x_1 =ağaç boyu; x_2 =ağaç çapı ve x_3 =ağaç hacmi) yer aldığı regresyon modeli aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir:

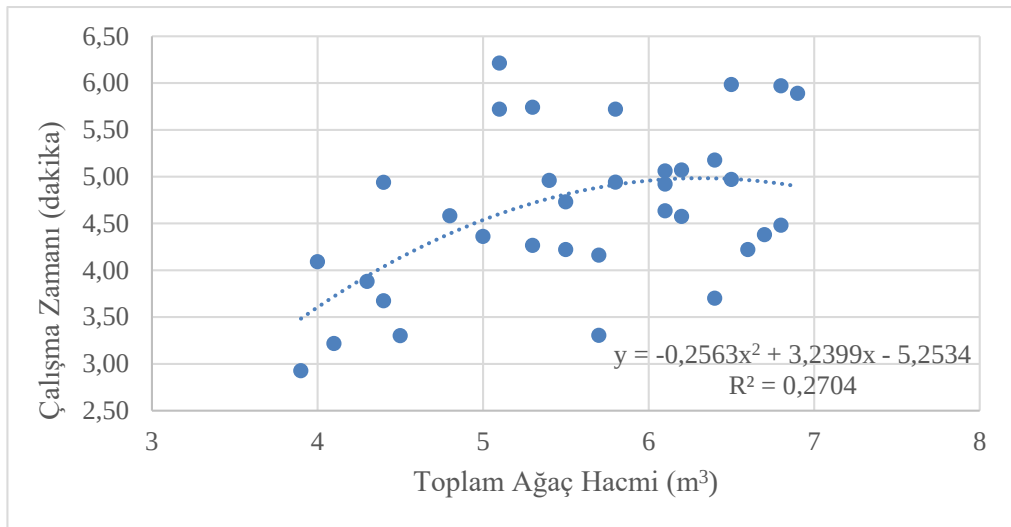
$$y = 40,092 + (5,385)x_1 - (1,586)x_2 + (40,945)x_3 \quad (4.4)$$

5. TARTIŞMA

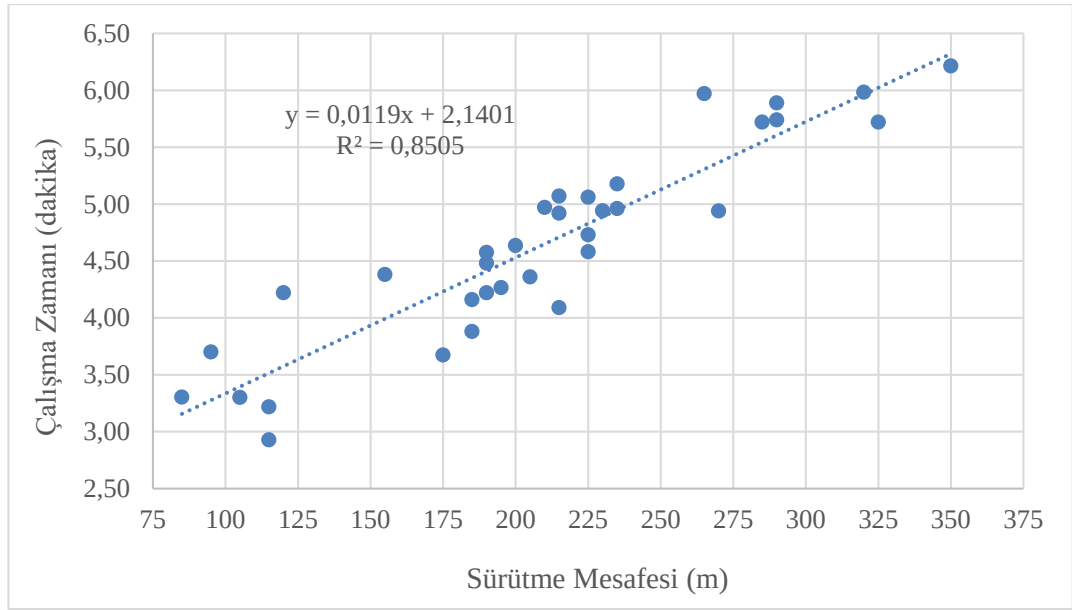
5.1 Sürütme çalışması

Saros OİŞ’de sürütücü için ortalama ağaç sayısı, bir döngüde sürütülen toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi değerleri sırasıyla 8,7, 5,6 m³ ve 210 m bulunmuştur. Bölmeden çıkarma sırasında ortalama çalışma zamanı ve verim ise sırası ile 4,65 dakika ve 73,55 m³/saat bulunmuştur. 6x6 çekiş gücüne sahip Tigercat 635G model bir sürütücü ile gerçekleştirilen bir bölmeden çıkarma çalışmasının değerlendirildiği benzer bir çalışmada (toplam ağaç hacmi: 8.07 m³, sürütme mesafesi: 210 m), Pedofsky ve Visser (2019) verimliliği yaklaşık 74,5 m³/saat olarak bulunmuştur.

Çalışma zamanı içinde en fazla zaman alan iş aşamasının, dolu sürütücünün rampaya dönüş zamanı olduğu belirlenmiştir. Benzer sürütme operasyonunun incelendiği çalışmalarda da en fazla zamanın dolu dönüş aşamasında geçtiği belirtilmiştir (Temba ve diğ., 2024). Korelasyon testi sonuçlarına göre toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi ile çalışma zamanı arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2). Akay ve diğ. (2016) sürütme mesafesindeki artışın çalışma zamanını önemli oranda arttırdığını ve her döngüdeki ağaç hacmindeki artışın da çalışma zamanı üzerinde etkili olan faktörlerden olduğunu bildirmiştir.

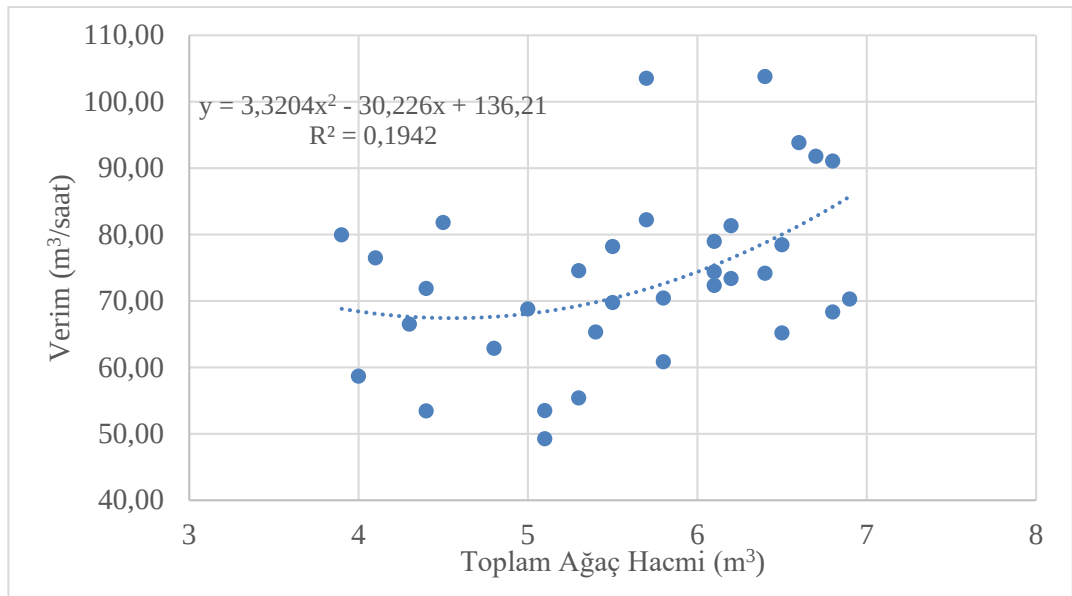


Şekil 5.1 : Toplam ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.

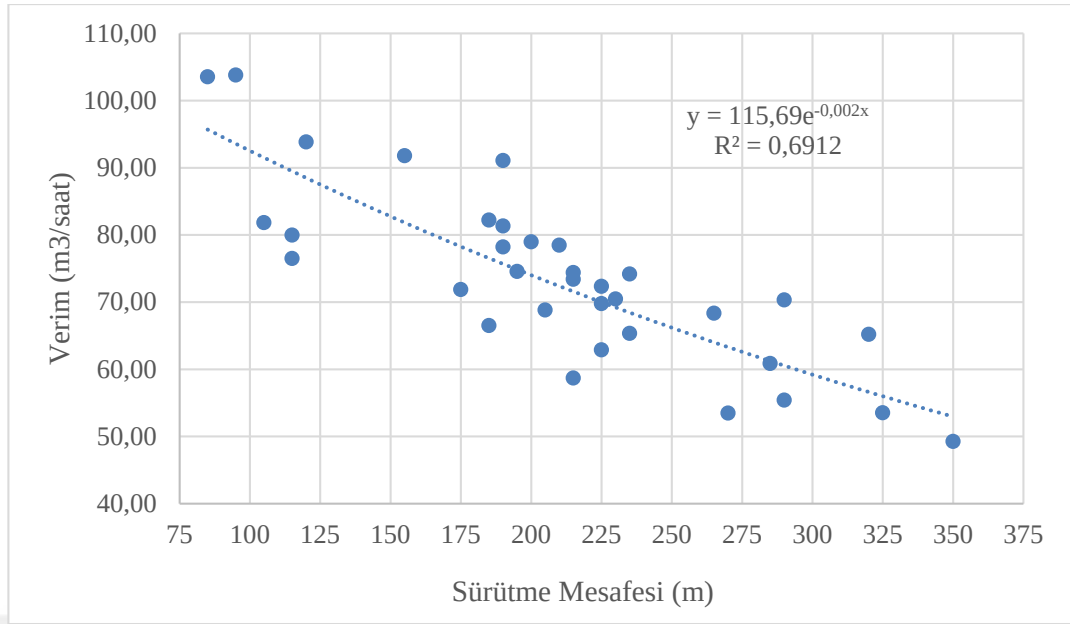


Şekil 5.2 : Sürütme mesafesi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.

Sonuçlara göre toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi ile verim arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ghaffariyan ve Brown (2013) tarafından yürütülen ve 6x6 çekiş gücüne sahip Caterpillar 545C model bir sürütücünün verimliliğinin incelendiği bir çalışmada, daha uzun sürütme mesafesinin sürütücü verimini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir. Diğer taraftan, önceki çalışmalar, her döngüde sürütülen toplam ağaç hacmindeki düşüşün verimliliği azalttığını göstermiştir (Spinelli ve diğ, 2002). Toplam ağaç hacmi ve sürütme mesafesi ile verim arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.3 : Toplam ağaç hacmi ile verim arasındaki ilişki.

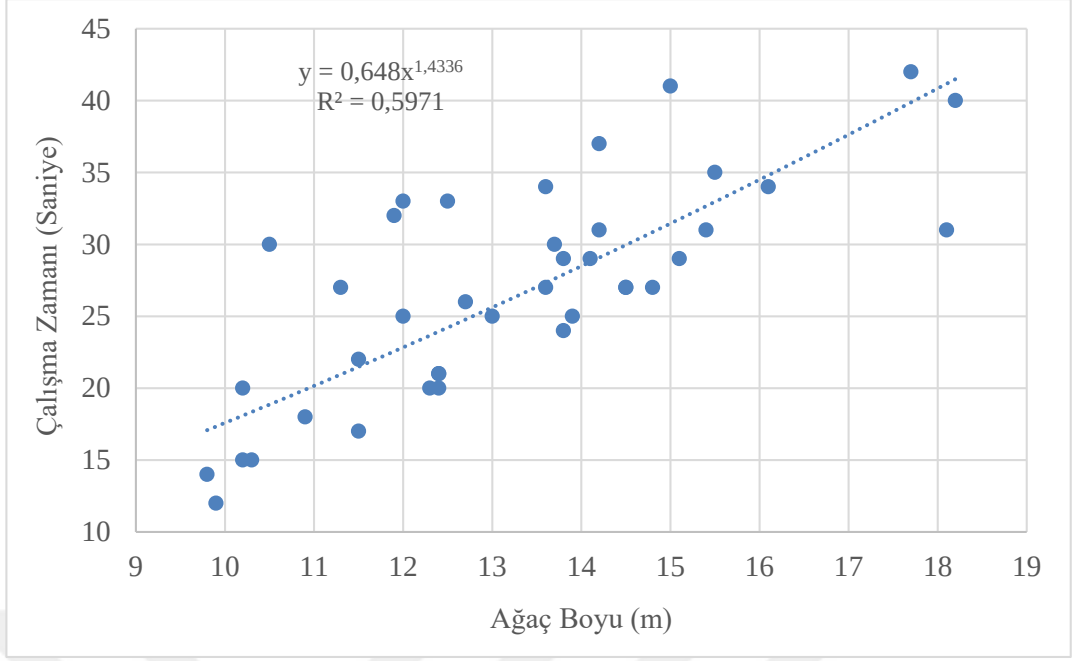


Şekil 5.4 : Sürütme mesafesi ile verim arasındaki ilişki.

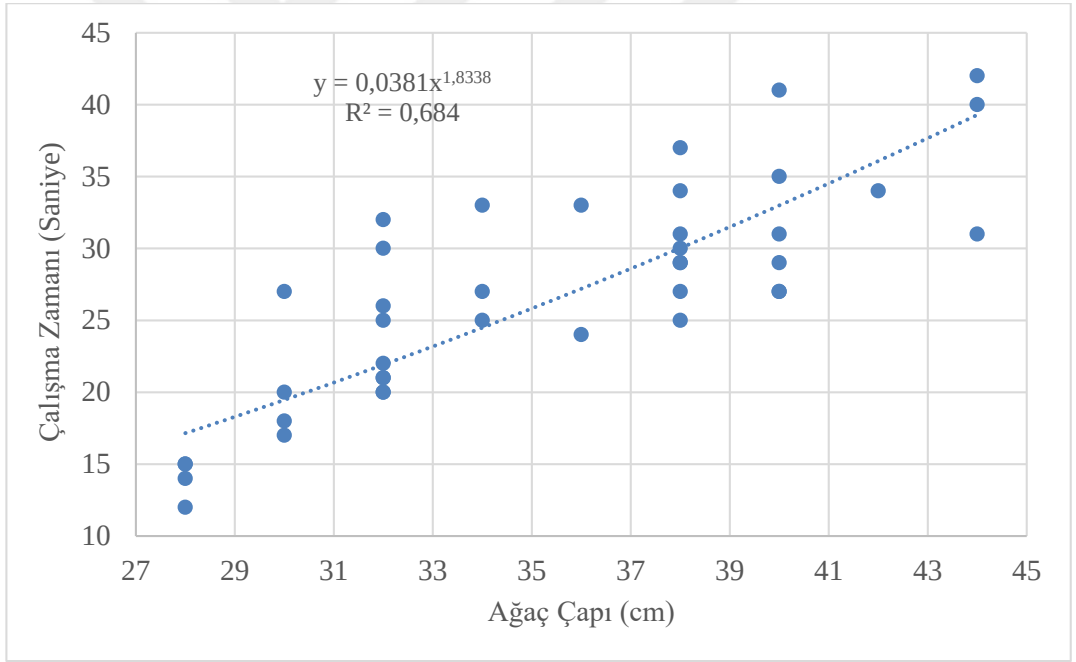
5.2 Ağaç Kesme Çalışması

Çalışma sahasında kesici-istifleyici kullanılarak kesilen ağaçların ortalama boyu, çapı ve hacmi değerleri sırası ile 13,2 m, 35,3 cm ve 0,6 m³ olarak belirlenmiştir. Ortalama çalışma zamanı ve verim ise sırası ile 26,9 saniye ve 79,93 m³/saat bulunmuştur. Çanakkale bölgesinde benzer bir kesici-istifleyici (WoodCraker C450) ile yürütülen bir çalışmada (ağaç hacmi: 0.4 m³), Gülci ve diğ. (2021) verimliliği yaklaşık 74,96 m³/saat olarak bulunmuştur.

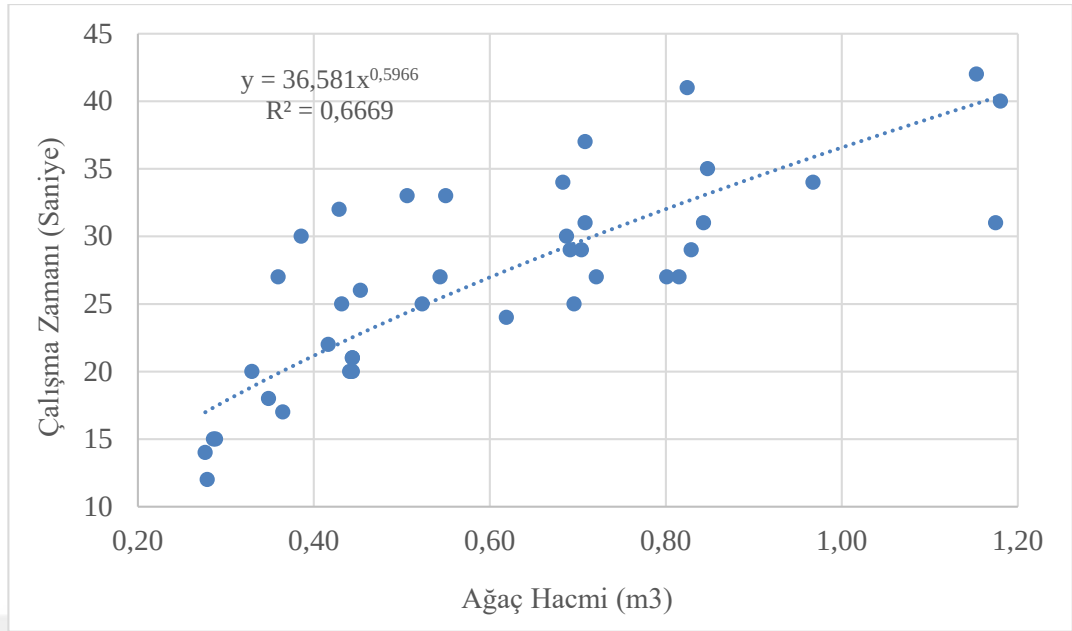
Toplam çalışma zamanı üzerinde en etkili olan iş aşamasının kesilecek ağaca ulaşım zamanı olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda da benzer durum dile getirilmiştir (Long ve diğ, 2002). Korelasyon testi sonuçlarına göre ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Spinelli ve diğ. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada da, kesici-istifleyici ile ağaç kesimi sırasında çalışma zamanı üzerinde etkili olan faktörlerin başında bu üç parametrenin geldiğini bildirmiştir. Ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.5-5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Ağaç boyu ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.

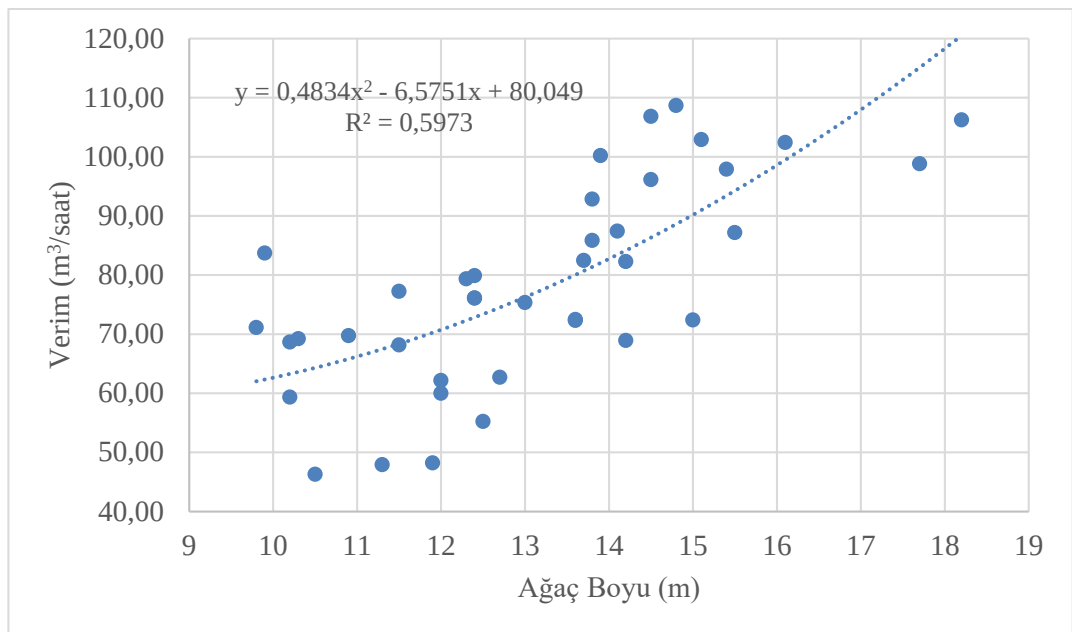


Şekil 5.6 : Ağaç çapı ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.

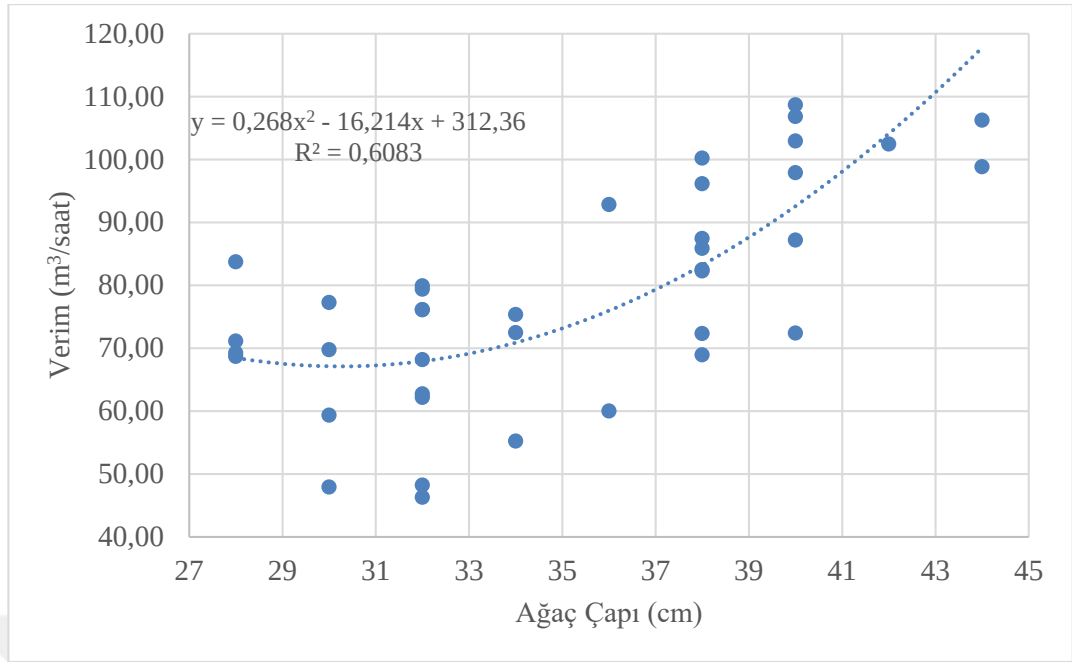


Şekil 5.7 : Ağaç hacmi ile çalışma zamanı arasındaki ilişki.

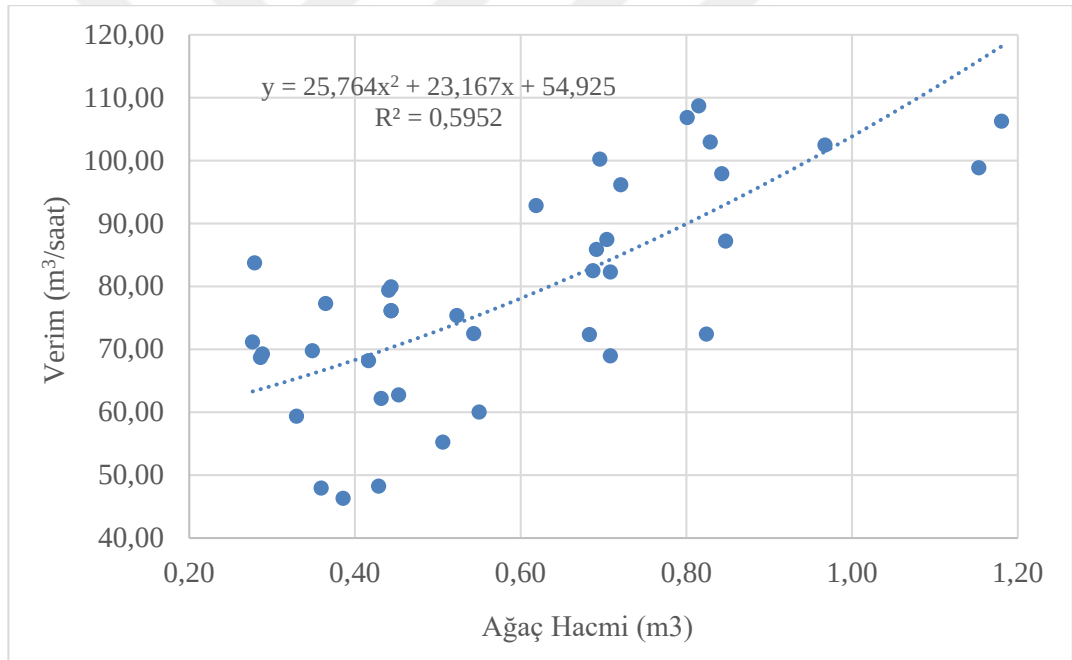
Korelasyon analizi sonuçları, kesici-istifleyici ile yapılan çalışmalarda ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi gibi özelliklerin her biri ile verim arasında pozitif yönde ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, literatürdeki mevcut çalışmalarla uyumludur. Mekanik araçlarla yapılan ağaç kesimi operasyonlarını inceleyen benzer araştırmalar da, verimlilik üzerinde en etkili faktörlerin başında ağaç çapı ve özellikle de ağaç hacminin geldiğini rapor etmiştir (Williams ve Ackerman, 2016; Miyajima ve diğ., 2021). Ağaç boyu, ağaç çapı ve ağaç hacmi ile verim arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.8-5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Ağaç boyu ile verim arasındaki ilişki.



Şekil 5.9 : Ağaç çapı ile verim arasındaki ilişki.



Şekil 5.10 : Ağaç hacmi ile verim arasındaki ilişki.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İHA tabanlı sayısal görüntüler kullanarak mekanik üretim araçlarından sürütücü ve kesici-istifleyicinin iş verimi açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çözüm aşamasında, mekanik araçların verimli çalışma zamanı ve verim değerleri üzerinde etkili olan faktörler (ağaç boyu, ağaç çapı, ağaç sayısı, hacim ve sürütme mesafesi) incelenmiştir.

İstatistiksel analizler çalışma zamanı sonuçlarının ve verim tahminlerinin, geleneksel zaman etüdü teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, İHA tabanlı video analiz yönteminin, ormancılık üretim operasyonlarında veri toplamak için geleneksel yöntemlere kıyasla bir dizi avantaj sunduğunu ortaya koymuştur. Bu avantajlar arasında, saha personeli ihtiyacının azalması, gözlemci yanlılığının minimize edilmesi, ham verinin tekrar tekrar ve farklı açılardan incelenebilme olanağı ve tüm operasyonun görsel bir arşiv olarak saklanabilmesi sayılabilir. Yöntem, özellikle kesici-istifleyici gibi karmaşık ve hızlı ardışık hareketlerden oluşan operasyon döngülerini analiz etmede son derece etkilidir. Görüntülerin yavaşlatılarak veya kare kare incelenmesi, her bir alt faaliyetin süresinin ve verimliliğinin ayrıntılı ve nesnel bir şekilde tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

Sürütme uygulaması sonuçları verim üzerinde ağaç hacmi ve sürütme mesafesinin etkili olduğunu göstermiştir. Kesici-istifleyici ile ağaç kesimi operasyonunda ise ağaç çapı, ağaç boyu ve ağaç hacminin etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırma, mekanik araçların verimini etkileyen temel faktörlerin (ağaç hacmi, sürütme mesafesi, ağaç çapı ve boyu) İHA görüntüleri üzerinden nicel olarak doğrulanabilmesinin, bu yöntemi yalnızca bir veri toplama aracı olmaktan öte, güçlü bir operasyonel etki analiz platformu haline getirdiğini göstermektedir. Bu da yöntemin, ormancılık işletmeciliğinde bilimsel ve teknolojik bir araştırma ve karar destek aracı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğuna işaret etmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda, belirli uçuş yüksekliğinde geniş görüş açısı sağlayan İHA'ların, sahada aynı anda çalışan birden fazla mekanik üretim aracının veriminin

belirlenmesindeki etkinliği araştırılmalıdır. Geniş açıda görüntü sağlayan videolar üretildikten sonra ofiste bu video görüntüleri üzerinden her aracın çalışma zamanı ve verimliliği ayrı ayrı değerlendirilebilecektir. Ayrıca, mevcut metodolojinin geçerliliğinin ve güvenilirliğinin test edilmesi için yeni çalışmalar, farklı eğim gruplarında ve engebeli arazilerde, farklı ağaç türü kompozisyonlarına (rneğin, karışık meşcereler) sahip meşcerelerde gerçekleştirilebilir. Bunların yanı sıra, İHA görüntülerinin, İHA'ya entegre LiDAR verileri veya araçlardan telematik sistemlerle alınan anlık yakıt tüketimi, motor yükü gibi operasyonel verilerle bütünleştirilmesi halinde, yalnızca zaman-verim analizini değil, aynı zamanda yakıt verimliliği, emisyon analizi ve makine sağlığı izleme gibi daha kapsamlı değerlendirmelere de olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmada elde edilen çıktıların ve sunulan metodolojinin Orman Genel Müdürlüğünün ilgili birimleri tarafından kullanılması durumunda, çalışmada değerlendirilen üretim makinelerinin saatlik birim maliyetlerinin hesaplanmasında yüksek doğrulukta elde edilecek veriler önemli katkı sağlayacaktır. Yöntem, gerekli düzenlemeler yaptıktan sonra ormancılıkta kullanılan diğer makinelerin saatlik verim hesaplanmasında da kullanılabilecek özelliktedir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda, ülkemizde kullanılan veya kullanılma potansiyeli olan modern mekanik araçların saatlik verim hesaplamaları yapılmalıdır. Böylece, mekanik üretim araçlarının verim değerleri hızlı ve doğru olarak hesaplanarak, en uygun makine seçimi yapılmasına katkı sağlanacaktır.

Bununla birlikte, İHA görüntülerinin potansiyeli, verimlilik analiziyle sınırlandırılmamalıdır. Aynı görsel veri, iş güvenliği değerlendirmeleri için de kullanılabilir. Operatör davranışları, makine kullanımı sırasındaki güvenli mesafeler ve potansiyel tehlikeli durumların analiz edilmesi, bu yöntemin ormancılıkta iş kazalarının nlenmesine yönelik proaktif bir araç olarak kullanılmasının yolunu açabilir.

Son olarak, İHA kullanmanın önemli bir dezavantajı, kısa pil ömründen dolayı sınırlı uçuş süresine sahip olmasıdır. Ancak zaman analizi çalışmalarında dijital video görüntüleri alırken İHA'nın hareket etmesine gerek olmayacağından, sabit bir pozisyonda havada asılı kalırken yerdeki bir güç kaynağına kablo ile bağlanarak uçuş süresi sorunu çözülebilir.

KAYNAKLAR

- Acar, H.H., Şentürk, N.** (2000). Dağlık orman alanlarındaki üretim çalışmalarında mekanizasyon, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: B* 46, 77–94.
- Acar, H.H.** (2004). *Ormancılıkta Transport Ders Notları*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Akay, A.E., Sessions, J.** (2004). Identifying the factors influencing the cost of mechanized harvesting equipment, *Journal of Science and Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University*, 7 (2), 65.
- Akay, A.E., Serin, H., Erdas, O.** (2007). Orman ürünlerinin üretiminde optimum boylama yönteminin uygulanması. Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler, 17-19 Ekim 2007, İstanbul.
- Akay, A.E., Yenilmez, N.** (2008). Kuzey Amerika’da Orman Ürünlerinin Üretiminde Kullanılan Üretim Makineleri. Orman Mühendisleri Odası, *Orman Mühendisliği Dergisi*. 45 (1-3), 24-28.
- Akay, A.E., Şakar, D.** (2009). Mekanik Üretim Makinelerinden Hasatçı: Teknik Özellikleri ve Performans Değerlendirmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi. Özel Sayısı*. (2), 422-428.
- Akay, A.E., Özkan, D., Bilici, E.** (2016). Assessing productivity and work safety of a mechanized logging operation, *The International Forestry Symposium (IFS 2016)*, December 7-11, Kastamonu.
- Akay, A.E., Bilici, E., Taş, İ., Özkan, D.** (2017). Türkiye ormancılığında mekanik üretim araçlarının kullanımı: Çanakkale örneği, *IV. UlusalOrmancılık Kongresi*, 14-15 Kasım, Antalya.
- Alemdağ, İ.Ş.** (1962). Türkiye’deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara, 160 s.
- Bayoğlu, S.** (1996). *Orman Nakliyatı Planlanması*, İ.Ü. Yayınları, No:3941, İstanbul.
- Bell, J.L.** (2002). Changes in logging injury rates associated with use of feller-bunchers in West Virginia. *Journal of Safety Research*, 33 (4), 463–471.
- Bilici, E., Akay, A.E., Abbas, D.** (2017). An evaluation of a fully mechanized forest harvesting operation in Bursa, Turkey, *ISFOR 2017 International Symposium on New Horizons in Forestry*, 18-20 October. Isparta.
- Bilici, E., Akay, A.E., Abbas, D.** (2019). Assessing the effects of site factors on the productivity of a feller buncher: A time and motion analysis, *Journal of Forestry Research*, 30, 1471–1478.

- Bilici, E.** (2021). Investigation of feller-buncher performance using weibull distribution, *Forests*, 12 (3), 284.
- Büyüksakallı, H.** (2010). *Doğu Akdeniz yöresinde kış üretimi (erken üretim) olanakları, uygulamaları ve geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Büyüksakallı, H.** (2023). *İnsansız hava aracı ile elde edilen sayısal görüntüler kullanılarak mekanik üretim araçlarının verim ve toprak deformasyonu açısından değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Coşkun, K., Eroğlu, H., Özkaya, M.S., Çetiner, K., Bilgin, F.** (2010). Artvin Orman Bölge Müdürlüğü odun hammaddesi üretim çalışmalarının mekanizasyon açısından değerlendirilmesi, *III Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Cilt II, 587-597, 20-22 Mayıs, Artvin
- Enez, K., Arıca, B.** (2012). Ağaç hasat makinesine ait teknik ve çalışma koşullarının değerlendirilmesi, *Journal of Science and Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University*, Special Issue, 108-114.
- Erdaş, O.** (2008). *Transport Tekniği Kitabı*. KSÜ Rektörlüğü, Kahramanmaraş, 130/20, 554.
- Ghaffariyan, M.R., Acuna, M., Brown, M.** (2019). Machine productivity evaluation for harvesters and forwarders in thinning operations in Australia, *Silva Balcanica*, 20 (2), 13-25.
- Gülci, N.** (2014). *Üretim planlamasında hassas ormancılık üzerine araştırmalar*. (Doktora Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Gülci, S., Halit Büyüksakallı, H., Taş, İ., Akay, A.E.** (2018). Productivity analysis of timber skidding operation with farm tractor. *European Journal of Forest Engineering*, 4 (1), 26-32.
- Gülci, N., Yüksel, K., Gülci, S., Serin, H., Bilici, E., Akay, A.E.** (2021). Analysis of a feller-buncher productivity: a case study of whole-tree harvesting from Marmara region, Turkey. *Ann. For. Res.*, 64 (1), 99-110.
- Han, H.S. ve Kellogg, L.D.** (2000). Damage characteristics in young-growth stands from mechanized thinning operations. *Forest Products Journal*, 50 (9), 85-94.
- Kováčsová, P., Antalová, M.** (2010). Precision Forestry - Definition and Technologies. *Journal of Forestry Society of Croatia*, 134 (11-12), 603-611.
- Long C., Wang J., Mcneel J., Baumgras J.** (2002). Production and cost analysis of a feller-buncher in central Appalachian hardwood forest. Council on Forest Engineering Proceedings, 25th Annual Meeting, Forest Engineering Challenges, 16-20 June, Auburn, Alabama.
- Miyajima, R.H., Fenner, P.T., Batistela, G.C., Simões, D.** (2021). Effect of Feller-Buncher Model, Slope Class and Cutting Area on the Productivity and Costs of Whole Tree Harvesting in Brazilian Eucalyptus Stands. *Forests*, 12, 1092.

- OGM** (2023). *Orman Genel Müdürlüğü, Türkiye Orman Varlığı*. Erişim: <https://www.ogm.gov.tr>
- OGM** (2025). *Orman Genel Müdürlüğü, Türkiye Orman Varlığı*. Erişim: <https://www.ogm.gov.tr>
- Özkan, D.** (2016). *Tigercat 635D sürütücü kullanılarak gerçekleştirilen bölmeden çıkarma çalışmalarının verim ve iş güvenliği açısından değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Öztürk, T. ve Akay, A. E.** (2007). Tarım traktörlerinin orman ürünlerinin üretiminde kullanılmak üzere modifiye edilmesi, *Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler*, 17-19 Ekim. İstanbul.
- Pedofsky, M., Visser, R.** (2019). Assessment of Winch-Assist Skidder Case Study in Gisborne, New Zealand. Christchurch: University of Canterbury, 30.
- Sert, M.** (2014). *Dağlık Arazilerde Bölmeden çıkarma çalışmalarında kullanılan mobil vinç sisteminin verim ve ekolojik açılardan değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Spinelli, R., Hartsough, B.R., Owende, P.M.O., Ward, S.M.** (2002). Productivity and cost of mechanized whole-tree harvesting of fast-growing Eucalypt stands. *International Journal of Forest Engineering*, 13 (2), 49-60.
- Spinelli R., Magagnotti N., Lombardini C.** (2020). Lowinvestment fully mechanized harvesting of shortrotation poplar (*Populus spp.*) plantations. *Forests*, 11 (5), 502.
- Temba, G.P., Mauya, E.W., Migunga, G.A.** (2024) Productivity and Costs of Mechanized Skidding operations at Sao Hill Forest Plantation, Tanzania, *Forest Science and Technology*, 20 (1), 91-103,
- Türk, Y.** (2011). *Ormancılıkta endüstriyel odun hammaddesinin tarım traktörleriyle bölmeden çıkarılmasında sürütme şeritlerinin optimizasyonu*. (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yıldırım, M., Engür, O.** (1989). Ormanda bölmeden çıkarma, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B*, 39 (4), 84-89.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serhat AKARSU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, AÇÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 Temmuz – Akarsu Mühendislik Ormancılık ve Danışmanlık (Kurucu)-aktif devam ediyor.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER: