

Yangın Sonrası Orman Hasat Operasyonlarında Kesici İstifleyici Makinesinin Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Feller-Buncher Productivity in Post-Fire Forest Harvesting Operations

Tolga ÖZTÜRK¹, Rahmi YILMAZ^{2*}

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı, İstanbul

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman İnşaatı Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Artvin

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1929197

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Rahmi YILMAZ

e-mail:

rahmiyilmaz84@artvin.edu.tr

Gönderilme tarihi/Submission date

13.04.2026

Kabul tarihi/Acceptance date

26.06.2026

Yayımlanma tarihi/Publication date

19.08.2026

Anahtar kelimeler:

Verimlilik

Yangın

Feller-buncher

Kesme

Keywords:

Productivity

Fire area

Feller-buncher

Cutting

Öz

Türkiye’de son yıllarda orman yangın sayıları ve yanan alan miktarlarında büyük bir artış meydana gelmiştir. Ekosistem dengesi üzerinde insan varlığının meydana getirdiği olumsuz etkiler, sıcaklığın artması, hava olaylarında meydana gelen büyük değişimler nedeniyle orman ekosisteminde de büyük olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir. Yanan orman alanlarında bulunan odun ürününün en kısa zamanda alandan çıkarılması ve bir yıl içinde yanık sahaların tekrar ağaçlandırılabilmesi için gerekli çalışmaların hızlı ve ekonomik bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışma Karabük bölgesinde 2025 yılı yaz aylarında meydana gelen orman yangını sahalarında gerçekleştirilmiştir. Yanan alanlardaki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde Caterpillar 330 6C marka ekskavatöre monteli Woodcracker feller-buncher ile yapılan kesim çalışmaları incelenmiştir. Kesim çalışmalarında yanık sahada bulunan ağaçlar dip kısmından kesilerek yol kenarına istif edilmiştir. Çalışmanın sonucunda feller-buncher ağaç kesme makinesinin verimliliği bulunmuştur. Sonuçlara göre makinenin ortalama verimi 18.25 m³/sa olarak belirlenmiştir. Ortalama bir ağaç kesme ve taşıma döngüsü yaklaşık 46.92 saniye sürmüştür. Feller-buncher gibi kesim makineleri özellikle büyük yanık sahaların boşaltılmasında büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Abstract

In recent years, there has been a significant increase in both the number of forest fires and the extent of burned areas in Türkiye. The negative impacts of human activity on ecosystem balance—such as rising temperatures and major changes in weather patterns—have also led to serious adverse effects on forest ecosystems. It is essential that the necessary operations be carried out quickly and economically in order to remove wood products from burned forest areas as soon as possible and to enable the reforestation of these sites within one year. This study was conducted in forest fire areas that occurred in the Karabük region during the summer of 2025. Cutting operations carried out in black pine (*Pinus nigra* Arnold.) stands in burned areas were examined using a Wood Cracker feller-buncher mounted on a Caterpillar 330 6C excavator. During the cutting operations, the trees in the burned area were cut at the base and stacked along the roadside. As a result of the study, the productivity of the feller-buncher cutting machine was determined. According to the results, the average productivity of the machine was found to be 18.25 m³/h. The average tree cutting and extraction cycle lasted 46.92 seconds. Feller-buncher-type cutting machines provide a significant advantage, especially in clearing large burned areas. In areas where slope is not excessively steep, the use of such harvesting machines in forestry is important in terms of productivity, environmental impact, and operational time.

GİRİŞ

Ülkemizde odun hammaddesine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için odun üretim çalışmalarına hız verilmiştir. Ancak üretim faaliyetlerinde mekanizasyonun kullanılması artık bir tercih değil, zorunluluk haline gelmiştir. Mekanizasyon; verimliliğin artırılması, zaman tasarrufu sağlanması, çevresel etkilerin azaltılması ve iş güvenliğinin iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanında, özellikle ülkemizde son yıllarda artan orman yangınları ve yanan büyük alanlarda mekanizasyonun kullanılması açısından bizlere önemli bir gerekçe sunmaktadır. Ülkemizde yanan orman alanlarının bir yıl içerisinde boşaltılarak

ağaçlandırma çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Yanan alanlar ve ürün miktarı çok olduğunda bu alanların üretime açılması büyük bir iş gücünü gerektirmektedir. Bu gibi alanlarda yeni makinelerin kullanılması ve mekanizasyona gidilmesi işgücüne destek olacak ve yeni alternatifler sunacaktır. Mekanizasyon sadece alandaki verimliliği artırması yanında, çevresel etkinin minimuma indirilmesi, çalışmalara hız kazandırması, iş kaza risklerini düşürmesi gibi olumlu etkileri de beraberinde getirecektir. Bunun yanında, mekanizasyon maliyeti arttıracığından planlama gibi kriterlerinin de göz önüne alınmasına gerek duyulmaktadır. Makine seçimlerinin uygun yapılması verimliliği arttıracaktır (Wang vd., 2004). Verimliliği arttırıcı bir diğer faktör yöneticilerin üretim ve transport planlarını en iyi şekilde yapması ve yönetmesidir (Bilici vd., 2018). Ağaçların kesimi ve tüm diğer süreçler odun üretim çalışmalarının verimliliğini ve ekonomikliğini etkilemektedir (Berry vd., 2025). Kesici-İstifleyici (Feller-buncher), hasat makinesi (Harvester), sürütücü (Skidder) ve taşıyıcı (Forwarder) gibi ormancılık ekipmanlarına sahip olmak ve bunları işletmek maliyetleri yükseltmektedir. Yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle karlılığı sağlamak için ormancılık işletmelerinin verimli bir şekilde yönetimi büyük önem taşımaktadır (Hiesl ve Benjamin, 2013).

Ormancılıkta üç farklı üretim metodu bulunmaktadır. Bunlar; tomruk yöntemi, bütün gövde yöntemi, bütün ağaç yöntemidir. Tomruk yönteminde ağaçlar bulunduğu yerde kesildikten ve dalları-tepesi alındıktan sonra belli boylarda tomruklara bölünerek bölmeden çıkarılmaktadır. Bütün gövde yönteminde kesilen ağacın dalları-tepesi alındıktan sonra bölümlere ayrılmadan bir bütün halinde bölmeden çıkarılmaktadır. Bütün ağaç yönteminde ise ağaç kesildikten sonra üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan bölmeden çıkarılmaktadır (Gülci, 2014; Öztürk, 2004). Bütün gövde ve bütün ağaç yöntemlerinde ürünün bölmeden çıkarılmasında mutlaka makine gücü gerekmektedir. Makine gücü ile yapılan üretimde verimlilik; meşçere özellikleri, ağaç özellikleri, topoğrafya, orman yollarının durumu, operatör deneyimi, makine özellikleri ve teknik sınırlamalar gibi faktörlerin (Lagesor 1997; Visser vd., 2009; Alam vd., 2013) yanında eğim, toprak türü, alan hassasiyeti, hacim, silvikültürel müdahalelerden de etkilenmektedir (Lopes vd., 2008; Soman vd., 2019).

Feller-buncher, lastik tekerlekli veya paletli, bir kesim başlığına sahip olan, ağaçları bölme içerisinde kestikten sonra kesme kolu yardımıyla kestiği ağaçları bir bütün halinde en yakın orman yolu veya sürütme yolu kenarına yan yana istif edebilen makinelerdir (Magagnotti vd., 2012). Lastik tekerlekli olan feller-buncher makineleri 19°'ye kadar, paletli olanlar ise 27°'ye kadar yamaç eğimlerinde çalışabilmektedirler. Son yıllarda Avusturalya ve Yeni Zelanda'nın bazı bölgelerinde daha dik arazilerde bu makinelerin kullanımı denenmeye başlanmıştır (Acuna vd., 2011). Bu makineler yokuş aşağı çalışmalarda oldukça dengeli olup, devrilme riskinin az olması ve yük kaldırma kapasitesinin yüksekliği nedeniyle belli avantajlara sahiptir (McDonald, 1999).

Ülkemizde feller-buncher ve harvester gibi tam mekanize hasat makineleri ormancılık yüklenici firmaları tarafından minimum düzeyde kullanılmaktadır (Gülci vd., 2021). Son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan bu ağaç kesme makineleri üzerine Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmaların sayısı hâlen sınırlıdır (Enez ve Arıca, 2012; Bilici vd., 2018; Gülci vd., 2021). Bununla birlikte, tam mekanize odun üretim sistemlerinin verimliliği, yakıt tüketimi, maliyet analizi ve çevresel etkileri üzerine uluslararası ölçekte çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Özellikle Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya'daki çalışmalarda feller-buncher ve harvester makinelerinin üretim verimliliğinin; meşçere yapısı, göğüs çapı, eğim, sürütme mesafesi, operatör deneyimi ve çalışma organizasyonu gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir (Wang vd., 2004; Vitorelo vd., 2011; Labelle ve Lemmer, 2019; Lahrson vd., 2022). Ayrıca zaman-etüdü yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen araştırmalarda makinelerin çevrim süreleri, saatlik üretim miktarları, yakıt tüketimleri ve çevresel performansları ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir (Ghaffariyan vd., 2015; Tolosana vd., 2018; Zhang vd., 2016).

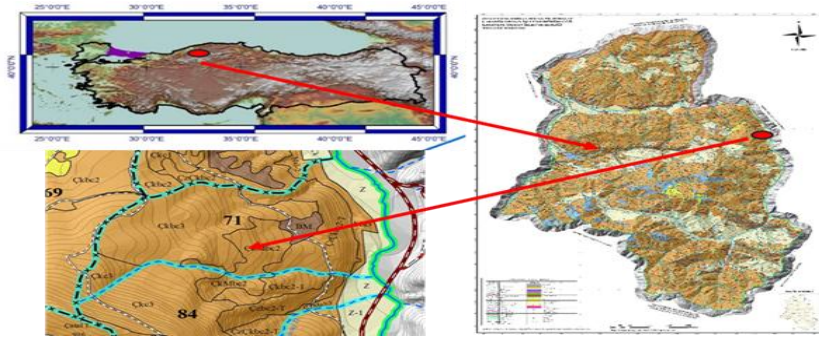
Son yıllarda özellikle yangın sonrası odun üretimi ve biyokütle hasadı çalışmalarında feller-buncher sistemlerinin operasyonel etkinliği ve sürdürülebilir ormancılık açısından sağladığı avantajlar üzerinde durulmaktadır (Schweier vd., 2015; Berry vd., 2025). Ormancılıkta odun üretim çalışmalarında kullanılan makinelerin verimlilikleri genellikle zaman etütleri ile belirlenmekte olup, bu amaçla sürekli zaman ölçümü, iş örnekleme ve çevrim zamanı analizleri gibi farklı teknikler kullanılmaktadır. Arazi çalışmalarında makinelerin sefer başına ve saatlik üretim miktarlarının yanı sıra yakıt tüketimleri, çevresel etkileri ve çalışma performansları da değerlendirilmektedir. Bu çalışmada Temmuz-Ağustos 2025 aylar içerisinde büyük bir orman yangını geçiren Karabük bölgesindeki yanık sahalarda ağaçların feller-buncher ile kesim çalışmaları incelenmiştir. Yapılan çalışmanın iş döngüsü belirli aşamalara bölünerek makinenin verimliliği zaman etütleriyle belirlenmiştir. Belirlenen değerler ile makinenin yanık sahalardaki verimliliği belirlenmiş olup yapılanın bu çalışmanın sonucuna bağlı olarak çeşitli öneriler getirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Alanı

Bu çalışma, Karabük Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Karatepe Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Karatepe Orman İşletme Şefliği 11625 ha ormanlık, 4155 ha orman içi ve dışı açıklık, iskân, tesis ve ziraat arazisi olmak üzere toplam 15780 hektardır. Şeflik plan ünitesinin toplam serveti 1837712,0 m³ ve toplam artımı 68938,0 m³'dür. Bölge; 41° 10' 55" - 40° 58' 38" kuzey enlemleriyle, 32° 38' 28" - 32° 49' 36" doğu boylamları arasında yer almaktadır (OGM, 2024) (Şekil 1). Plan ünitesinin en düşük rakımlı yeri; Cemaller Mahallesi Soğanlıçay'ın geçtiği bölge olup rakımı 300 metredir. En yüksek yeri ise Dikmen Tepesi olup rakımı 1551 metredir. Şeflik arazisi zamanla oluşan kalkerin fliş halinde olan ana sahrasından oluşmaktadır. Bu fliş kalker içinde numilitli kalker, kaba kalker taneleri, kum ve gips karışmaktadır. Bu bakımdan şeflik toprakları az killi gipsli, kumlu kalker topraklarından oluşmaktadır. Plan ünitesinin asli ağaç türlerini; Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), Meşe (*Quercus* sp.) ve Adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) oluşturmaktadır (OGM, 2024). Çalışmanın yapıldığı 71 nolu bölmenin büyüklüğü 99.5 ha'dır. Bölme içerisinde kesim yapılan alan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) sahalarıdır.

Arazi çalışmaları Kasım 2025 tarihinde yapılmıştır. Temmuz-Ağustos 2025 tarihinde olan Karabük yangını sonrası etkilenen yanık sahalardaki Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlarının feller-buncher kesim makinesi ile kesilmesi ve alanda yol kenarına kadar getirilmesi çalışmaları incelenmiştir. Meşçere içerisinde feller-buncher ile kesilen ağaçlar bulunduğu yerden makine yardımıyla en yakın yol kenarına yan yana sıralanmıştır. Feller-buncher kesim makinesi bir Caterpillar 330 6C model ekskavatöre monte edilmiştir. Aracın kesme kolu Woodcracker C650 modelidir. Bumakinelerin teknik özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Çizelge 1. Caterpillar 330 6C model ekskavatörün teknik özellikleri (URL-1)

Teknik Özellikler	Birim	Teknik Özellikler	Birim
Motor gücü (kW)	150	Kova (m ³)	1.54
Motor	Cat C7.1 turbo	Yakıt deposu (lt)	474
Çalışma ağırlığı (kg)	30900	Kule dönüş yarıçapı (mm)	3130
Bom uzanma (m)	6.15	Palet ölçüsü (mm)	2590
Maks. kazı derinliği (mm)	7260	Nakliye genişliği (mm)	3190
Silindir hacmi (lt)	7.01	Klima	Mevcut
Maks. basınç (kPa)	35000	Yürüme aksamı	Palet

Çizelge 2. Woodcracker C650 kesme aparatının teknik özellikleri (URL-2)

Teknik Özellikler	Birim
Yumuşak ağaç kesme çapı (mm)	700
Sert ağaç kesme çapı (mm)	650
Kavrayıcı açıklığı (mm)	1720
Makas açıklığı (mm)	1070
Ağırlık (kg)	3050
Tavsiye edilen işletme basıncı (bar)	300
Tavsiye edilen motor hacmi performansı (l/dak)	300
Taşıyıcı taşıtın çalışma esnasındaki ağırlığı (t)	28-40

**Şekil 2.** Caterpillar ekskavatör ve woodcracker ağaç kesme aparatı

Yöntem

Çalışma alanı olan yanık sahalarda Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde bütün ağaç yöntemi ile üretim gerçekleştirilmiştir. Meşçere içerisinde feller-buncher ile kesilen ağaçlar en yakın yol kenarına yan yan olacak şekilde sıralanmıştır. Feller-buncher ağacı kesme aparatı ile keserek havaya kaldırmış, askıda olacak şekilde taşıyarak yol kenarına getirmiş ve istif etmiştir. Kesilen ağaçların 1.30 m göğüs yüksekliğinden çapları kumpas yardımıyla ve boyları çelik metre yardımıyla ölçülmüştür. Feller-buncher kesme makinesinin meşçere içerisinde kesilecek olan ağaca gidiş mesafesi ve istif alanına dönüşü esnasındaki mesafeler çelik metre yardımıyla belirlenmiştir. Saha içerisinde çalışma operatör ve operatör yardımcısı olmak üzere iki işçi tarafından yürütülmüştür. Operatörün üç yıllık deneyimi mevcuttur. Arazi çalışmalarında ağaç kesme faaliyetlerinin takip edilmesi amacıyla her bir iş aşamasına ait süre ölçümlerinin kaydedilmesi için bir zaman etüdü formu geliştirilmiştir.

Ağaç Kesme Çalışmalarında Zaman Etütlerinin Yapılması

Ağaç kesme çalışmasında verimliliğin belirlenmesinde genellikle çalışma süresine bağlı olarak değerlendirme yapılmaktadır (Gibson ve Rodenberg, 1975; Öztürk vd., 2024; Yılmaz vd., 2025). Zaman etüdü çalışmalarında makinenin ağaca hareketi, ağacın kesilmesi, kesilen ağacın yol kenarına taşınması ve ağacın istif edilmesi için geçen süreler çalışmada esas alınmıştır. Ağaç kesme ve taşıma sürecinde incelenen iş aşamaları ayrı ayrı belirlenmiştir. Yanık saha içerisinde toplam 30 adet ağaç kesimi üzerinde zaman etütleri yapılmıştır. Bütün ağaç şeklindeki ağaçlar yol kenarına özellikle yan yana sıralanmıştır. Burada işçiler tarafından dalları ve tepesi alınan ağaçlar boyplanarak taşımaya elverişli hale getirilmiştir. Daha sonraki aşamada yol kenarında tomruk veya sanayi odunu olarak hazırlanan ürünler sekonder transport ile alandan kamyonlar yardımıyla taşınmıştır.

Bu çalışmada bir ağacın kesilmesi için arazide harcanan zamana bakıldığında ağaca hareket zamanı, kesme zamanı, taşıma zamanı, bırakma zamanı olmak üzere dört iş aşamasından oluşmaktadır. Tüm bu aktivitenin başlangıç-bitişinin ölçülmesi ve kaydedilebilmesi amacıyla dijital bir kronometre kullanılmıştır. Zaman ölçümleri, sürekli zaman ölçme yöntemi kullanılarak saniye cinsinden ölçülmüştür (Öztürk vd., 2024). İlk ağaç için mesafe, kesim alanı girişinden itibaren başlanarak belirlenmiştir. Zaman etütleri yapılırken öncelikle zaman kayıpları için zaman etüdü formunda bir sütun oluşturulmuştur. Ancak etüt esnasında herhangi zaman kaybı görülmemiştir. Bundan dolayı çalışmaya zaman kaybı değeri eklenmemiştir.

İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri R (R Core Team) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, normallik analizleri, korelasyon matrisi oluşturulması, varyans analizi (ANOVA) ve çoklu doğrusal regresyon modellemeleri R programlama ortamında yürütülmüştür. Normallik varsayımının test edilmesinde Lilliefors düzeltmeli Kolmogorov–Smirnov testi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiler Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin üretim verimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kurulan çoklu doğrusal regresyon modelinde katsayıların anlamlılığı t-testi ile değerlendirilmiş, modelin genel uygunluğu F-testi ile test edilmiştir. Çoklu doğrusal bağlantı problemi VIF (Variance Inflation Factor) değerleri ile kontrol edilmiştir. Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.01$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tanımlayıcı İstatistikler

Üretim operasyonları sırasında ölçülen değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3'te verilmiştir. Analiz edilen değişkenler göğüs çapı, tomruk boyu, hacim, yürüyüş mesafeleri ve üretim çevrim süresini oluşturan zaman bileşenlerinden oluşmaktadır.

Çizelge 3. Tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Çap (cm)	9.00	36.00	22.73	6.44
Boy (m)	5.00	15.00	10.88	2.63
Hacim (m ³)	0.02	0.52	0.23	0.12
Ağaca yürüme mesafesi (m)	3.00	20.00	8.57	3.57
Geriye yürüme mesafesi (m)	0.00	16.00	4.20	4.56
Ağaca yürüme zamanı (sn)	5.20	25.30	14.23	4.53

Geriye yürüme zamanı	0	17.14	4.39	4.86
Kesme zamanı (sn)	3.00	29.65	9.64	5.22
Bırakma zamanı (sn)	3.00	14.73	11.37	5.68
Toplam zaman (sn)	19.88	63.48	39.64	11.10
Verim (m ³ /saat)	1.50	66.28	22.73	13.97

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlarının kesildiği yangın sahasındaki sonuçlara göre kesilen ağaçların göğüs çapı 9 – 36 cm arasında değişmekte olup ortalama 22.73 cm’dir. Tomruk boyları 5 – 15 m arasında değişmekte olup ortalama tomruk boyu 10.88 m olarak belirlenmiştir. Taşınan tomruk hacmi 0.02–0.52 m³ arasında değişmekte olup ortalama 0.23 m³tür. Kesici-istifleyici makinesinin kesilecek ağaca doğru kat ettiği mesafe ortalama 8.57 m, ağacın yol kenarına istif edildikten sonra geri dönerken kat edilen geri dönüş mesafesi ise 4.20 m olarak hesaplanmıştır. Ortalama ağaca yürüyüş zamanı 14.23 sn’dir. Kesme zamanı ortalama 9.64 sn, kesilen ağacı havaya kaldırıp istife kadar taşıma ve istife bırakma zamanı ise 11.37 sn olarak belirlenmiştir. Ortalama üretim çevrim süresi 39.64 sn olup buna karşılık üretim verimi ortalama 22.73 m³/saat olarak hesaplanmıştır. Toplam çevrim süresi bileşenleri değerlendirildiğinde, kesme süresinin toplam zamanın yaklaşık %24.32’sini, hareket süresinin %47.99’ünü ve bırakma süresinin ise %28.69’ünü oluşturduğu belirlenmiştir. Verilerin dağılım özelliklerini belirlemek amacıyla Lilliefors düzeltmeli Kolmogorov–Smirnov normallik testi uygulanmış olup, sonuçlar Çizelge 4’te verilmiştir.

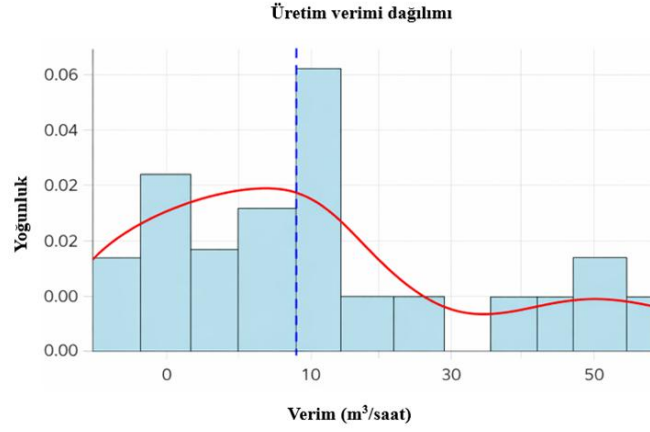
Çizelge 4. Kolmogorov–Smirnov normallik testi

Değişken	D değeri	p değeri	Dağılım
Çap	0.193	0.0059	Normal değil
Boy	0.151	0.0787	Normal
Hacim	0.0069	0.972	Normal
Ağaca yürüme mesafesi	0.144	0.116	Normal
Geriye yürüme mesafesi	0.288	<0.001	Normal değil
Ağaca yürüme zamanı	0.114	0.404	Normal
Geriye yürüme zamanı	0.283	<0.001	Normal değil
Kesme zamanı	0.148	<0.094	Normal
Bırakma zamanı	0.173	0.022	Normal değil
Toplam zaman	0.098	0.652	Normal
Verim	0.138	0.154	Normal

Sonuçlara göre boy, hacim, ağaca yürüme mesafesi, ağaca yürüme zamanı, kesme zamanı, toplam zaman ve üretim verimi değişkenleri normal dağılım göstermektedir ($p>0.05$). Buna karşılık çap, geriye yürüme mesafesi, geriye yürüme zamanı ve bırakma zamanı değişkenleri normal dağılım varsayımını sağlamamaktadır ($p<0.05$). Bu durum, üretim operasyonlarının arazi koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle yangın sonrası sahalarda ağaçların düzensiz dağılım göstermesi, bazı ağaçların devrilmiş veya yanmış durumda olması, topoğrafik farklılıklar ve makinenin yol kenarına yönelme zorunluluğu çevrim sürelerinde farklılıklara neden olabilmektedir. Ayrıca operatör hareketleri ve ağaç hacimlerindeki değişkenlik de üretim sürecindeki zaman bileşenlerinin heterojen bir yapı göstermesine yol açmıştır. Özellikle geriye yürüme ve bırakma aşamalarındaki değişkenlik, makinenin her çevrimde farklı mesafe ve konumlarda çalışmasından kaynaklanmaktadır.

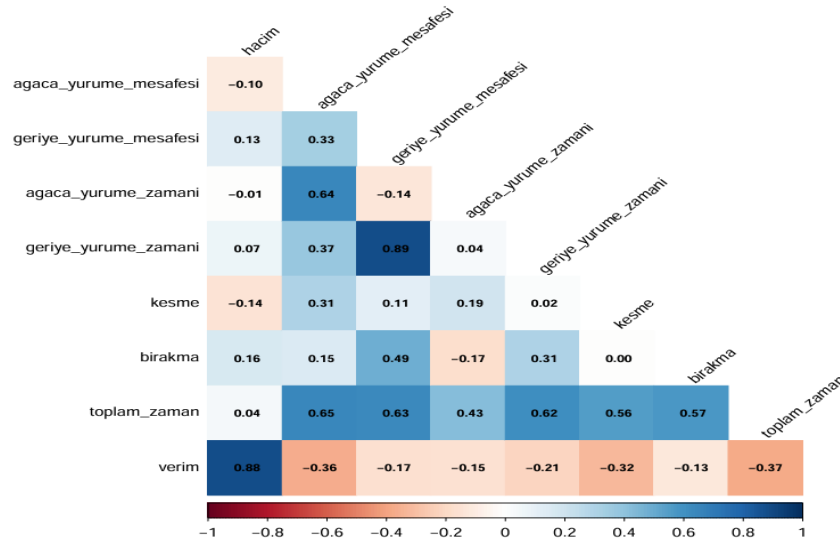
Üretim veriminin dağılımı incelendiğinde, verinin sağa çarpık bir yapı sergilediği ve normal dağılım varsayımını tam olarak karşılamadığı görülmüştür. Dağılımın büyük bölümü düşük ve orta verim değerlerinde yoğunlaşırken,

daha yüksek verim değerleri daha seyrek gözlenmiştir. Ayrıca dağılımda birden fazla tepe noktasının bulunması, veri setinin heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu heterojen yapı; yangın sonrası sahalarda ağaçların konumsal düzensizliği, farklı çap ve hacim değerleri, arazi eğimindeki değişimler ve operatörün çalışma performansındaki farklılıklardan kaynaklanabilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Üretim verimi dağılımı

Değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır (Şekil 4). Analiz sonuçlarına göre üretim verimi ile taşınan hacim arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır ($r=0.88$). Buna karşılık üretim verimi ile ağaca yürüme mesafesi ($r=-0.36$), kesme zamanı ($r=-0.32$) ve toplam çevrim süresi ($r=-0.37$) arasında negatif ilişkiler belirlenmiştir. Ayrıca geriye yürüme zamanı ile geriye yürüme mesafesi arasında oldukça güçlü pozitif bir ilişki tespit edilmiştir ($r=0.89$). Operasyon süresini oluşturan zaman bileşenleri incelendiğinde toplam çevrim süresi ile ağaca yürüme mesafesi ($r=0.65$), geriye yürüme mesafesi ($r=0.63$), geriye yürüme zamanı ($r=0.62$), bırakma zamanı ($r=0.57$) ve kesme zamanı ($r=0.56$) arasında pozitif ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, özellikle hareket mesafeleri ve operasyon sürelerindeki artışın toplam çevrim süresini uzattığını, buna bağlı olarak da üretim verimini düşürdüğünü göstermektedir.



Şekil 4. Korelasyon ısı haritası

Bağımsız değişkenlerin üretim verimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla ANOVA analizi yapılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Üretim verimi için bağımsız değişkenlere ait ANOVA sonuçları

Değişken	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
Hacim	1	4391	4391	150.153	<0.001
Ağaca yürüme mesafesi	1	423	423	14.465	<0.001
Kesme zamanı	1	84	84	2.884	0.002
Hata	26	760	29	–	–

Sonuçlara göre modelde yer alan hacim ve ağaca yürüme mesafesi değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.01$). Kesme zamanı değişkeni ise üretim verimi üzerinde etkili olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$). En yüksek açıklayıcı etkiye sahip değişken hacim olup, bunu ağaca yürüme mesafesi izlemektedir. Özellikle hacim değişkeninin yüksek F değeri ($F = 150.153$), üretim verimi üzerindeki en baskın faktör olduğunu göstermektedir. Buna karşılık ağaca yürüme mesafesindeki artışın üretim verimini negatif yönde etkilediği belirlenmiştir (Çizelge 5).

Etki büyüklüğü analizi, bağımsız değişkenlerin üretim verimi üzerindeki etkilerinin yalnızca istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değil, aynı zamanda bu etkinin büyüklüğünü ve açıklayıcılık düzeyini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu analiz sayesinde hangi değişkenlerin üretim sürecinde daha baskın rol oynadığı ortaya konulabilmektedir. Etki büyüklüğü analizi sonuçlarına göre üretim verimindeki varyasyonun büyük bölümü hacim değişkeni tarafından açıklanmaktadır ($\eta^2 = 0.777$). Bu sonuç, hacmin üretim verimi üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ağaca yürüme mesafesi değişkeninin etki büyüklüğü orta düzeyde bulunmuş ($\eta^2 = 0.075$) olup, operasyonel hareket mesafelerinin verim üzerinde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Kesme zamanı değişkeninin etki büyüklüğü ise düşük düzeyde kalmıştır ($\eta^2 = 0.015$). Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, üretim verimini belirleyen temel faktörün taşınan hacim olduğu, buna karşılık operasyonel hareket mesafelerinin ikincil düzeyde etkili olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Etki büyüklüğü analizi

Değişken	SS	η^2	Etki büyüklüğü
Hacim	4391	0.777	Çok büyük
Ağaca yürüme mesafesi	423	0.075	Orta
Kesme zamanı	84	0.015	Küçük

Sonuçlar üretim sürecindeki varyasyonun büyük ölçüde hacim (%57.6) ve yürüme zamanı (%19.3) tarafından açıklandığını göstermektedir. Üretim verimini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7. Regresyon analizi

Değişken	β	Std. Hata	t	p	VIF
Sabit	11.182	3.702	3.020	<0.005	–
Hacim (V)	97.135	8.6421	11.535	<0.001	1.06
Ağaca yürüme mesafesi (Ys)	-0.925	0.296	-3.120	<0.004	1.13
Kesme zamanı (Ks)	-0.346	0.204	-1.698	0.101	1.01

Regresyon analizi sonuçlarına göre model genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Modelde yer alan değişkenler incelendiğinde, üretim verimi üzerinde en güçlü etkiye sahip değişkenin hacim olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$). Hacimde meydana gelen artış üretim verimini pozitif yönde etkilemektedir. Buna göre taşınan hacimdeki 1 m^3 'lük artışın üretim verimini yaklaşık $97.13 \text{ m}^3/\text{saat}$ artırdığı belirlenmiştir. Ağaca yürüme mesafesi değişkeni üretim verimi üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahiptir ($p = 0.004$). Ağaca ulaşmak için kat edilen mesafenin artması, çevrim süresini uzatarak üretim verimini düşürmektedir. Buna göre ağaca yürüme mesafesindeki her 1 m 'lik artış üretim veriminde yaklaşık $0.93 \text{ m}^3/\text{saat}$ azalmaya neden olmaktadır. Kesme zamanı değişkeni ise üretim verimi üzerinde negatif etki göstermesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$). Bu durum, kesme süresindeki değişimin verim üzerindeki etkisinin diğer değişkenlere göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

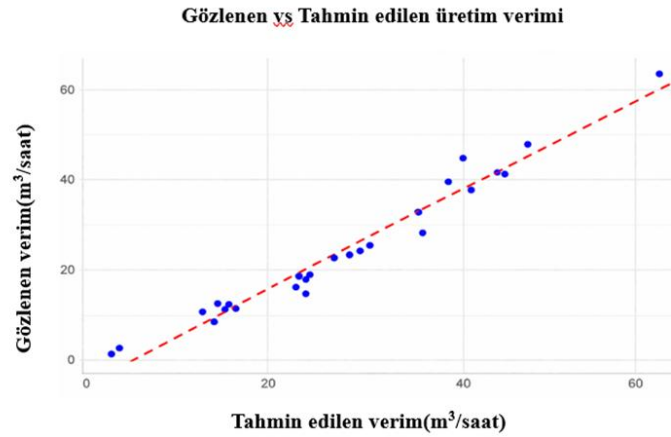
Regresyon analizi sonuçlarına göre üretim verimi modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Verim} = 11.182 + 97.135 \cdot \text{Hacim} - 0.925 \cdot \text{Ağaca Yürüme Mesafesi} - 0.346 \cdot \text{Kesme Zamanı}$$

Burada;

- Verim: Üretim verimi (m^3/saat)
- Hacim: Taşınan ağaç hacmi (m^3)
- Ağaca Yürüme Mesafesi: Makinenin ağaca ulaşmak için kat ettiği mesafe (m)
- Kesme Zamanı: Ağacın kesilmesi için geçen süre (sn)

Model sonuçlarına göre hacim değişkenindeki artış üretim verimini pozitif yönde etkilerken, ağaca yürüme mesafesi ve kesme zamanı değişkenlerindeki artış üretim verimini negatif yönde etkilemektedir. Gözlenen ve tahmin edilen üretim verimi değerlerinin karşılaştırılması sonucunda veri noktalarının büyük ölçüde 1:1 doğrusu etrafında dağıldığı görülmüştür. Bu durum geliştirilen modelin üretim verimini yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir (Şekil 5). Küçük sapmalar arazi koşulları, operatör performansı ve çevresel faktörlerden kaynaklanabilmektedir.



Şekil 5. Gözlenen ve tahmin edilen üretim verimi

Bu çalışmada elde edilen bulgular, feller-buncher kesim makinesinin yanık sahalardaki üretim performansını hem zaman etütleri hem de istatistiksel analizler üzerinden kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Ortalama üretim veriminin $22.73 \text{ m}^3/\text{saat}$ düzeyinde gerçekleşmesi, makinenin özellikle orta eğimli ve operasyonel erişilebilirliği yüksek alanlarda makul bir üretim aracı olduğunu göstermektedir. Ortalama çevrim süresinin 39.64 saniye olması, makinenin kesme–taşıma–istifleme döngüsünü kısa sürede tamamlayabildiğini ve operasyonel sürekliliğin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, üretim sürecine etki

eden değişkenlerin geniş bir varyasyon aralığına sahip olduğu görülmektedir. Özellikle hacim değişkeninin 0.02–0.52 m³ arasında değişmesi, üretim ortamının heterojen yapısını yansıtmaktadır. Buna paralel olarak üretim veriminin de 1.50–66.28 m³/saat arasında değişmesi, operasyon koşullarının verimlilik üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Normallik testi sonuçları, üretim sürecine ait birçok değişkenin normal dağılım göstermediğini ortaya koymuştur. Bu durum, ormancılık üretim faaliyetlerinin doğası gereği standart olmayan ve çevresel faktörlere oldukça duyarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle kesme zamanı, bırakma zamanı ve verim gibi değişkenlerde gözlenen sapmalar, operatör davranışı, arazi koşulları ve ağaç özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Korelasyon analizi sonuçları, üretim veriminin en güçlü şekilde taşınan hacim ile ilişkili olduğunu ($r=0.88$) ortaya koymuştur. Buna karşılık yürüyüş zamanı ve toplam çevrim süresi ile verim arasında negatif ilişkiler tespit edilmiştir (sırasıyla $r=-0.15$ ve $r=-0.37$). Bu bulgular, üretim sisteminde zaman kayıplarının doğrudan verim düşüşüne neden olduğunu açıkça göstermektedir. ANOVA ve etki büyüklüğü analizleri, üretim verimindeki varyasyonun büyük ölçüde hacim ve ağaca yürüme mesafesi tarafından açıklandığını ortaya koymuştur. Bu durum, üretim verimliliğinin temel olarak taşınan materyal miktarı ve operatörün hareket süresi tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Çoklu doğrusal regresyon modeli sonuçlarına göre model istatistiksel olarak oldukça güçlüdür ($R^2=0.865$) ve üretim verimindeki değişimin büyük bir kısmını açıklamaktadır. Modelde hacim değişkeni verimi pozitif yönde etkilerken, ağaca yürüme zamanı ve kesme zamanı negatif etki göstermektedir.

TARTIŞMA

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular üretim verimliliğinin artırılmasında özellikle operasyonel sürelerin azaltılması ve birim hacmin artırılmasının kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, kesici-istifleyici makinelerinin uygun planlama ve saha koşullarında yüksek performans gösterebileceğini açıkça ortaya koymaktadır.

Ferreira vd. (2025) tarafından Brezilya Bahin eyaletindeki okaliptüs plantasyonlarında yapılan çalışmada makinenin bir seferlik döngü süresi 47 sn ve ortalama verimliliği 110.18 m³/sa olarak bulunmuştur. Miyajima vd. (2021) tarafından Brezilya Sao Paula bölgesindeki okaliptüs plantasyon alanlarında yapılan diğer bir çalışmada düz alanlarda verim 109.0 m³/saat olarak bulunmuştur. Okaliptüs plantasyon sahalarında yapılan bu ve benzeri çalışmalarda ağaçlar bir sıra düzenin de kesildiği ve makinenin yürüme zamanları yüksek olmadığı için verim yüksek çıkmıştır. Berry vd. (2025) tarafından Avusturalya Quennsland’da çam plantasyonlarında yapılan diğer bir çalışmada verim 382 m³/saat olarak belirlenmiştir. Bu alanda ağaç çapları 35-55 cm aralığında değişmekte ve ağaç hacimlerinin yüksek olmasının verimi de arttırdığı görülmüştür. Yine Avusturalya Port Arthur bölgesindeki radiata çamı (*Pinus radiata*) plantasyon sahalarında Alam vd. (2013) tarafından iki eğim sınıfında çalışmalar yapılmış ve makinenin verimleri düşük eğimlerde 97 m³/saat, yüksek eğimli alanlarda 73 m³/saat olarak belirlenmiştir. Amerika’nın Alabama bölgesinde Klepac (2013) tarafından yapılan çalışmalarda ince çaplı (7-25 cm aralığında) plantasyon sahalarında makine verimi 77.9 m³/saat olarak belirlenmiş olup, ağaç çaplarının 49 cm’e kadar çıktığı kalın çaplı meşçerelerde verimin 118.7 m³/saat’e yükseldiği bulunmuştur. Ağaç hacminin artması feller-buncher gibi kesme makinelerinin verimini de artırdığı görülmektedir. Bunun yanında üretim alanında motor gücünün ve kesme başlığının teknik özelliklerinin farklı olması nedeniyle de verim değerlerindeki değişimin açıklanabileceği belirtilmiştir.

Anderson ve Evans (1996)’ın Kanada merkez Alberta’da yaptıkları çalışmada 22-36 cm göğüs çapına ve 0.32-0.97 m³ hacme sahip Huş ağacı meşçerelerinde verimin 59.4-93.8 m³/sa arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Brezilya’nın Goias bölgesinde okaliptüs meşçerelerinde yapılan diğer bir çalışmada ise makinenin verimliliği 40 – 84 m³/saat arasında değişiklik göstermiştir (Fernandes vd., 2011).

Ülkemizde Bilici vd. (2018) tarafından Çanakkale bölgesindeki kızılçam meşçerelerinde yapılan kesim çalışmalarında eğimin düşük olduğu bölgelerde verim $118 \text{ m}^3/\text{saat}$ olması yanında eğimin yüksek olduğu alanlarda makinenin verimi $80 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak bulunmuştur. Eğimin yüksek olduğu alanlarda verimin %32.3 düştüğü belirlenmiştir. Yine ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada, Gülcü vd. (2021) tarafından Çanakkale Lapseki bölgesindeki sahilçamı meşçerelerinde ortalama verim yaklaşık $75 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak bulunmuştur. Kesici-istifleyici makinesinin çalışırken oluşan toplam bir döngüsünün %60'ını alan içerisindeki hareket süresi, %29'unu kesme süresi ve %11'ini ise istif oluşturma süresinden oluştuğunu belirlemiştir. Bu çalışmada kesici-istifleyici makinesinin ortalama üretim verimi $22.73 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak belirlenmiştir. Ortalama üretim çevrim süresi ise 39.64 sn olarak hesaplanmıştır.

Çevrim süresini oluşturan iş aşamaları incelendiğinde, ağaca ve geri dönüş hareket sürelerinin toplam çevrim zamanının yaklaşık %47.99'unu oluşturduğu belirlenmiştir. Kesme zamanı toplam çevrim süresinin yaklaşık %24.32'sini oluştururken, ağacın taşınarak istife bırakılması aşaması ise yaklaşık %28.69'luk paya sahip olmuştur. Sonuçlar, toplam çevrim süresinin büyük bölümünün makinenin hareket faaliyetlerinden kaynaklandığını göstermektedir. Gülcü vd. (2021) yaptığı çalışma ile kıyaslandığında kesme süresi oranlarının birbirine yakın olduğu alan içerisindeki hareket süresinin bu çalışmada biraz daha düşük çıktığı görülmektedir. Kesilen ağacın taşınarak istif edilme süresi bu çalışmada daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni makinenin ağacı bırakmak için yapılan birçok seferde yol kenarına doğru yönelmesidir. Bundan dolayı ve ayrıca ağaç hacimlerinin diğer çalışmalara göre biraz daha düşük olması sebebiyle bu çalışmanın verimi diğer çalışmalara nazaran düşük olarak görülmektedir.

Bu çalışmada kesici-istifleyici makinesinin ortalama üretim verimi $22.73 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak belirlenmiştir. Ortalama üretim çevrim süresi ise 39.64 sn olarak hesaplanmıştır. Çevrim süresini oluşturan iş aşamaları incelendiğinde ağaca ve geri dönüş hareket sürelerinin toplam çevrim zamanının yaklaşık %47.99'unu oluşturduğu belirlenmiştir. Kesme zamanı toplam çevrim süresinin yaklaşık %24.32'sini oluştururken, ağacın taşınarak istife bırakılması aşaması yaklaşık %28.69'luk paya sahip olmuştur. Sonuçlar, toplam çevrim süresinin büyük bölümünün makinenin hareket faaliyetlerinden kaynaklandığını göstermektedir. Gülcü vd. (2021) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında kesme süresi oranlarının birbirine yakın olduğu, ancak hareket süresinin bu çalışmada biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşılık istife bırakma süresinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun temel nedeni, makinenin kesilen ağacı bırakmak için her çevrimde yol kenarına yönelmek zorunda kalmasıdır. Ayrıca çalışma alanındaki ağaç hacimlerinin diğer çalışmalara göre daha düşük olması da verim değerinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Korelasyon analizi sonuçlarına göre toplam çevrim süresini en fazla etkileyen değişkenlerin ağaca yürüme mesafesi ($r=0.65$), geriye yürüme mesafesi ($r=0.63$) ve geriye yürüme zamanı ($r=0.62$) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bırakma zamanı ($r=0.57$) ve kesme zamanı ($r=0.56$) ile toplam çevrim süresi arasında da pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, toplam operasyon süresinin büyük ölçüde makinenin hareket faaliyetlerinden etkilendiğini göstermektedir. Özellikle ağaca ulaşma ve geri dönüş mesafelerindeki artışın toplam çevrim süresini önemli ölçüde uzattığı belirlenmiştir.

Üretim verimi ile değişkenler arasındaki ilişkiler incelendiğinde hacim ile verim arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki bulunduğu ($r=0.88$), buna karşılık ağaca yürüme mesafesi ($r=-0.36$), kesme zamanı ($r=-0.32$) ve toplam çevrim süresi ($r=-0.37$) ile verim arasında negatif ilişkiler olduğu görülmüştür. Bu durum, ormancılık operasyonlarında zaman yönetiminin ve hareket optimizasyonunun üretim performansı üzerindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır. Özellikle makinenin gereksiz hareketlerinin azaltılması ve operasyon mesafelerinin optimize edilmesi, üretim veriminin artırılmasına önemli katkı sağlayabilmektedir. Bu bulgular, Wang vd. (2004)

tarafından vurgulanan operasyonel planlama ve mesafe optimizasyonunun verimlilik üzerindeki etkileriyle paralellik göstermektedir.

Çalışmada elde edilen en önemli sonuçlardan biri, taşınan hacmin üretim verimi üzerindeki baskın etkisidir. Korelasyon analizi ($r=0.88$), etki büyüklüğü analizi ($\eta^2=0.777$) ve regresyon analizleri birlikte değerlendirildiğinde, hacmin üretim verimliliği üzerinde belirleyici bir faktör olduğu açıkça ortaya konmuştur. Bu durum, daha büyük hacimli ağaçların kesilmesi halinde birim zaman başına üretim miktarının arttığını göstermektedir. Benzer şekilde Alam vd. (2013), ağaç boyutu ve hacminin makine verimliliği üzerinde önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.

Regresyon modeli sonuçlarına göre model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F = 55.83$; $p < 0.001$). Modelin açıklayıcılık düzeyi oldukça yüksek olup üretim verimindeki değişimin yaklaşık %86.6'sını açıklamaktadır ($R^2=0.8656$). Regresyon analizine göre hacim değişkeni üretim verimini pozitif ve güçlü şekilde etkilerken ($\beta=97.135$; $p<0.001$), ağaca yürüme mesafesi üretim verimini negatif yönde etkilemektedir ($\beta=-0.925$; $p=0.004$). Kesme zamanı değişkeni ise negatif etki göstermesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). ANOVA sonuçlarına göre hacim ve ağaca yürüme mesafesi değişkenleri üretim verimi üzerinde anlamlı etkiye sahip bulunmuştur ($p<0.01$). En yüksek açıklayıcı etkiye sahip değişken hacim olup ($F=150.153$), bunu ağaca yürüme mesafesi izlemektedir. Etki büyüklüğü analizi sonuçlarına göre üretim verimindeki varyasyonun büyük bölümü hacim değişkeni tarafından açıklanmaktadır ($\eta^2=0.777$). Ağaca yürüme mesafesi değişkeninin etki büyüklüğü orta düzeyde bulunurken ($\eta^2=0.075$), kesme zamanı değişkeninin etki büyüklüğü düşük düzeyde kalmıştır ($\eta^2=0.015$). Bu sonuçlar, üretim verimini belirleyen temel faktörün taşınan hacim olduğunu, operasyonel hareket mesafelerinin ise ikincil düzeyde etkili olduğunu göstermektedir. Verim dağılımının sağa çarpık ve heterojen bir yapı göstermesi, saha koşullarının standart olmadığını ve operasyonel performansın değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum özellikle yanık sahalarda karşılaşılan düzensiz ağaç dağılımı, topoğrafik farklılıklar ve operatör etkisi gibi faktörlerle açıklanabilmektedir. Visser vd. (2009), bu tür sistemlerde optimum çalışma koşullarının sağlanmasının ("sweet spot") verimlilik açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, kesici-istifleyici makinelerinin özellikle büyük yanık sahaların hızlı bir şekilde üretime açılmasında önemli avantajlar sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, verimliliğin maksimum düzeye çıkarılabilmesi için makine hareketlerinin optimize edilmesi, uygun meşçere koşullarının seçilmesi ve operatör deneyiminin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, eğimin çok yüksek olduğu alanlarda makine kullanımının sınırlı olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu bulgular, Acuna vd. (2011) tarafından bildirilen eğim ve stabilite sınırlamaları ile de uyumludur.

Bu çalışma, Türkiye’de yanık sahalarda mekanize kesim sistemlerine ilişkin sınırlı sayıdaki çalışmalara katkı sağlamakta olup, gelecekte yapılacak araştırmalar için önemli bir veri tabanı oluşturmaktadır. Özellikle farklı eğim sınıfları, farklı ağaç türleri ve alternatif üretim sistemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar, bu alandaki bilgi birikimini daha da geliştirecektir.

TEŞEKKÜR/BİLGİLENDİRME

Çalışmanın arazi safhasında destek olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma Nur YILMAZ ve Yüksek Lisans öğrencisi Sayın Beyza KANDİŞ’e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Acuna, M., Skinnell, J., Evanson, T., & Mitchell, R. (2011). Bunching with a self-levelling feller-buncher on steep terrain for efficient yarder extraction. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 521-531.
- Alam, M., Acuna, M., & Brown, M. (2013). Self-levelling feller-buncher productivity based on LIDAR derived slope. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(2), 273-281.
- Anderson, B., & Evans, C.M. (1996). Harvesting overmature aspen stands in central Alberta. *Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC)*, Special Report SR-112, Canada.
- Berry, M., Strandgard, M., Ghaffariyan, M., & Mitchell, R. (2025). Assessment of machine productivity for a feller-buncher, processor, and harvester: a case study in the southern pine plantations of Queensland, Australia. *International Journal of Forest Engineering*, 36(3), 31-323. <https://doi.org/10.1080/14942119.2025.248860>
- Bilici, E., Akay, A.E., & Abbas, D. (2018). Assessing the effects of site factors on the productivity of a feller-buncher: a time and motion analysis. *Journal of Forest Research*, 30(4), 1471-1478. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0696-4>
- Enez, K., & Arıca, B. (2012). Assessment of technical and working conditions of a harvester. *Journal of Science and Engineering*, Special Issue:108-114.
- Fernandes, H.C., Lopes, S.E., Teixeira, M.M., Rinaldi, P.C.N., & Fernandes, P.S. (2011). Avaliação técnica e econômica de um "feller-buncher" operando em diferentes produtividades. *Revista Engenharia na Agricultura (REVENG)*, 19(3), 210-218.
- Ferreira, F.A.C., Lima, C.F., Minette, L.J., Lima, R.C.A., Freitas, L.C., Lima, F.A., Souza, L.M.R., Schettini, L.S., Silva, A.A., Silva, L.F., Junior, P.P.A., Leite, E.S., & Oliveira, L.C.F. (2025). Modelling as a tool for predicting the productive capacity of wood harvesting: approach of feller buncher and harvester. *Revista Arvore*, 49. <https://doi.org/10.53661/18069088202549263941>
- Ghaffariyan, M.R., Apolit, R., & Kuehmaier, M. (2015). Analysis and control of fuel consumption rates of harvesting systems: a review of international studies. *Industry Bulletin*.
- Gibson, D.F., & Rodenberg, J.H. (1975). Time study techniques for logging systems analysis. USDA Forest Service, General Technical Report INT-25, 8-12.
- Gülci, N. (2014). *Researches on precision forestry in forest planning* (PhD Thesis). Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Forestry, Kahramanmaraş.
- Gülci, N., Yüksel, K., Gülci, S., Serin, H., Bilici, E., & Akay, A.E. (2021). Analysis of feller-buncher productivity: a case study of whole-tree harvesting from Marmara Region, Turkey. *Annals of Forestry Research*, 64(1), 99-110. <https://doi.org/10.15287/afr.2020.2033>
- Hiesl, P., & Benjamin, J.G. (2013). Applicability of international harvesting equipment productivity studies in Maine, USA: a literature review. *Forests*, 4, 898-921. <https://doi.org/10.3390/f4040898>
- Klepac, J. (2013). Performance of a tracked feller-buncher with a shear head operating in small-diameter pine. Council on Forest Engineering Annual Meeting, COFE2013, 07-10 July 2013, Montana, USA: 1-9.
- Labelle, E.R., & Lemmer, K.J. (2019). Selected environmental impacts of forest harvesting operations with varying degree of mechanization. *Croatian Journal of Forest Engineering*.
- Lagesor, H. (1997). Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *Journal of Forest Engineering*, 8(2), 7-14. <https://doi.org/10.1080/08435243.1997.10702699>
- Lahrsen, S., Mologni, O., & Magalhães, J. (2022). Key factors influencing productivity of whole-tree ground-based felling equipment commonly used in the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Forest Research*.
- Lopes, S.E., Fernandes, H.C., Santos, N.R., & Rinaldi, P.C.N. (2008). Technical and economical evaluation of slasher, operating under different productivities. *Sci. For.*, 36, 215-222.
- Magagnotti, N., Spinelli, R., Güldner, O., & Erler, J. (2012). Site impact after motor-manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. *Biosyst. Eng.*, 113, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.008>
- McDonald, A.J. (1999). Harvesting systems and equipment in British Columbia. *FERIC Handbook*, ISSN 0707-8355, No. HB-12.
- Miyajima, R.H., Fenner, P.T., Batistela, G.C., & Simoes, 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. <https://doi.org/10.3390/f12121680>
- OGM. (2024). Karatepe Orman İşletme Şefliği Amenajman Planı.
- Öztürk, T. (2004). Ülkemiz dağlık mıntıka ormanlarında orman ürünlerinin değişik tipte orman hava hatlarıyla taşınması üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A54(1), 165-185.
- Öztürk, T., Yer, M.B., & İnan, M. (2024). Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) plantasyon alanlarında motorlu testere ile kesimde zaman tüketimi, verimlilik ve maliyet analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 26(3), 196-210. <https://doi.org/10.24011/barofd.1411824>
- Schweier, J., Spinelli, R., Magagnotti, N., & Becker, G. (2015). Mechanized coppice harvesting with new small-scale feller-bunchers. *Biomass and Bioenergy*, 81, 421-428.
- Soman, H., Kizha, A.R., & Roth, B.E. (2019). Impacts of silvicultural prescriptions and implementation of best management practices on timber harvesting costs. *Int. J. For. Eng.*, 30, 14-25. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1562691>

- Tolosana, E., Spinelli, R., Aminti, G., & Laina, R. (2018). Productivity, efficiency and environmental effects of whole-tree harvesting in Spanish coppice stands using a drive-to-tree disc saw feller-buncher. *Croatian Journal of Forest Engineering*.
- Vitorelo, B., Han, H.S., & Elliot, W. (2011). Productivity and cost of integrated harvesting for fuel reduction thinning in mixed-conifer forest. *Forest Products Journal*, 61(8), 664–668.
- Visser, R., Spinell, R., Saathof, J., & Fairbrother, S. (2009). Finding the “Swet-Spot” of mechanised felling machines. In: *Proceedings of USA: 32nd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering (COFE)*, Kings Beach, CA, p.10.
- Yılmaz, R., Acar, M., & Öztürk, T. (2025). New Holland TD100D tarım traktörünün odun sürütme operasyonlarındaki verimliliği: bir inceleme ve analiz. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 326-333. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1723983>
- Wang, J., Long, C., & Meneel, J. (2004). Production and cost analysis of a feller-buncher and grapple skidder in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal*, 54(12), 159-167.
- URL1. https://www.cat.com/tr_TR/products/new/equipment/excavators/medium-excavators/126533.html
- URL2. <https://www.westtech.at/tr/prod/woodcracker-c/>
- Zhang, F., Johnson, D.M., Wang, J., & Yu, C. (2016). Cost, energy use and GHG emissions for forest biomass harvesting operations. *Energy*, 114, 1053–106288.