

## ORMAN TRAKTÖRÜ İLE SÜRÜTME SIRASINDA OLUŞAN TEKERLEK İZİ DERİNLİĞİNİN HESAPLANMASI

Abdullah E. AKAY\*

Orhan ERDAŞ

KSÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Böl., 46100 KAHRAMANMARAŞ

\* akay@ksu.edu.tr

### ÖZET

Mekanik bölmeden çıkarma sistemleri geleneksel sistemlerden daha yüksek kalite ürünler ve daha güvenli operasyon ortamı sağlarlar. Ancak, lastik tekerlekli ağır bölmeden çıkarma araçlarının orman toprağı üzerinde oluşturduğu derin tekerlek izleri, operasyonlarda aşırı gecikmeler, orman toprağının fiziksel özellikleri üzerinde ciddi etkiler ve ağaç köklerinde hasarlar gibi bazı sorunlara neden olurlar. Bu sorunların üstesinden gelmek için bölmeden çıkarma araçları tarafından oluşturulacak potansiyel tekerlek izi derinliği, bölmeden çıkarma sisteminin planlanmasından önce dikkatle hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, lastik tekerlekli orman traktöründen meydana gelen tekerlek izi derinliğini hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. Modelin doğruluğunun test edildiği arazi çalışmasının sonuçları ile modelin sonuçları uyum göstermiştir. Model, tekerlek izi derinliklerini ortalama % 9 oranında eksik hesaplamıştır. Sonuçlar düşürülmüş tekerlek iç basıncının iz derinliklerini ortalama %11 oranında azalttığını göstermiştir. Ayrıca, derin tekerlek izlerinin oluşmasındaki ana faktörlerden birinin tekerlekler üzerindeki yüklenmenin miktarı olduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mekanik üretim sistemleri, Orman traktörleri, Tekerlek izi derinliği.

## ESTIMATING RUT DEPTH DURING SKIDDING WITH A RUBBER-TIRED SKIDDER

### ABSTRACT

Mechanized harvesting systems provide higher quality products and safer operation environment than that of conventional systems. However, heavy harvesting equipment with rubber-tires generate deep ruts over forest soil, which causes several problems such as excessive delays in operations, serious impacts on physical properties of forest soil, and damages on tree roots. In order to overcome these problems, potential rut depth generated by harvesting equipment must be carefully estimated prior to harvesting system planning. In this study, a model was developed to estimate the rut dept resulted from a rubber-tired skidder. The accuracy of the model was tested in a field study where the results indicated an agreement with the results from the model. The model underestimated the rut depths with the average rate of 9%. The results indicated that reduced tire inflation pressure decreased the rut depths with the average rate of 11%. Besides, it was indicated that one of the main factors in formation of deep rut depths was the amount of wheel load.

**Keywords:** Mechanized harvesting systems, Skidders, Rut depth.

## 1. GİRİŞ

Yüksek kalite odun hammaddesi üreten, güvenli bir çalışma ortamı sağlayan, küçük rampalar gerektiren ve işçilik gereksinimini azaltan mekanik bölmeden çıkarma sistemlerine olan ilgi giderek artmaktadır (Kellogg ve Bettinger, 1994). Odun hammaddesinin kesim yerlerinden yol kenarlarında düzenlenen geçici istif yerlerine (rampa) getirilmesi anlamına gelen bölmeden çıkarma işlemini gerçekleştirmek için çeşitli tip ve özellikle bölmeden çıkarma araçları geliştirilmiştir (Erdaş, 1986). Lastik tekerlekli orman traktörleri ile orman ürünlerinin orman içinde sürütülerek rampalara ulaştırılması mekanik bölmeden çıkarma sistemlerinin en önemli prosedürlerinden biridir. Türkiye’de üretilen orman ürünlerinin yaklaşık %10’u orman traktörlerinin kullanıldığı bölmeden çıkarma sistemleri ile rampalara ulaştırılmaktadır (Erdaş, 1993).

Oldukça ağır olan orman traktörlerin lastik tekerleklerinin toprak ile temas ettiği yerlerde derin tekerlek izleri oluşmaktadır. Mekanik bölmeden çıkarma araçlarının orman toprağı üzerinde oluşturdukları zararın en objektif göstergesi olan tekerlek izi derinliği (rut depth) çeşitli olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında orman toprağının fiziksel özelliklerinde değişimler, ağaç köklerinde yaralanmalar ve bölmeden çıkarma operasyonunda gecikmeler gelmektedir. Orman toprağının sıkışması sonucu toprağın kuru özgül ağırlığı artmakta ve toprak porozitesi düşmektedir. Toprağın fiziksel özelliklerinde meydana gelen bu değişimler bitkilerde köklerin gelişmesini ve tohumların çimlenmesini olumsuz yönde etkilemektedir (Greacen ve Sands, 1980; Hildebrand, 1983; Löffler, 1985). Ağaç gövdesine yakın ve 2 cm çapa kadar olan köklerin derin tekerlek izlerinin oluşması sonucunda kırılması ile ağaçlarda oldukça büyük değerlerde hacim ve artım kayıpları meydana gelmektedir (Bredberg, 1983). Sürütme yolunda meydana gelen derin tekerlek izleri orman traktörlerinin hareket kabiliyetini azaltmakta ve operasyonda ciddi boyutlarda gecikmelere neden olarak araç verimliliğini düşürmekte ve birim maliyeti arttırmaktadır.

Tekerlek izi derinliği toprağın taşıma yeteneği, orman traktörünün aksları üzerindeki yüklenme ve lastik tekerlek iç basıncı gibi değerler arasındaki ilişkiye bağlı olarak oluşmaktadır (Nipkow, 1983). Tekerleklerin toprak üzerinde oluşturdukları temas alanı aracılığı ile akslar üzerindeki yüklenme orman toprağına zemin basıncı olarak etki yapmaktadır. Toprağın taşıma yeteneğinin yüksek olduğu durumlarda, tekerleklerin zemin üzerinde oluşturdukları temas alanı tekerlekteki sarkmanın (deflection) artmasına bağlı olarak genişlemekte ve zemin basıncı azalmaktadır (Abeels, 1983). Toprağın taşıma yeteneğinin düşük olduğu durumlarda, toprağın taşıma yeteneği değeri ile lastik tekerleklerin zemin basıncı değerleri birbirlerine eşit oluncaya kadar lastik tekerlekler orman toprağının biçimini değiştirmekte ve toprağın içine oturmaya ve gömülmeye devam etmektedir (Erdaş, 1993).

Tekerleklerin orman toprağı üzerinde oluşturduğu zemin basıncı tekerlek izi derinliğini etkileyen önemli bir faktördür (Wronski ve Humpherys, 1994). Araçların boyutları ve yük taşıma kapasiteleri arttıkça zemin basıncı değeri artış göstermektedir. Lastik tekerleklerin boyutlarındaki artış tekerleklerin toprak üzerindeki temas alanını genişletmekte ve buna bağlı olarak zemin basıncı değeri

## ORMAN TRAKTÖRÜ İLE SÜRÜTME SIRASINDA OLUŞAN TEKERLEK İZİ DERİNLİĞİNİN HESAPLANMASI

azalmaktadır (Greene ve Stuart, 1985). İç basıncın düşürülmesi tekerleklerdeki sarkmayı arttırmakta ve bu durum da tekerlek temas alanını genişleterek zemin basıncı değerini azaltmaktadır (Koger vd., 1985).

Orman ürünlerinin üretilmesi sırasında toplumun odun hammaddesi ihtiyacının karşılanması yanında doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması gerekmektedir (Acar ve Ünver, 2004). Buna göre, mekanik bölmeden çıkarma araçlarının orman ürünlerinin üretiminde uygulayıcılara sunduğu avantajların sürekliliğini sağlamak için lastik tekerleklerin oluşturduğu derin izlerin neden olduğu biyolojik ve ekonomik olumsuzlukların ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir (tolerable) boyutlara çekilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, alternatif bölmeden çıkarma araçlarının potansiyel tekerlek izi derinlikleri bölmeden çıkarma sisteminin planlanmasından önce dikkatle hesaplanmalı ve bu sonuçlara göre en uygun bölmeden çıkarma teknikleri ve araçları belirlenmelidir.

Bu çalışmada, lastik tekerlekli orman traktöründen meydana gelen tekerlek izi derinliğini hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. Model ile tekerlek izi derinliği kısıtlayıcısı dikkate alınarak, araç sefer sayısı ve lastik tekerleklerin iç basıncı gibi karar değişkenlerinin etkinlikleri incelenmiştir. Ayrıca, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Başkonuş Araştırma ve Uygulama Ormanı'nda seçilen bir örnek çalışma alanında modelin başarısı test edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Modelin Formülasyonu

Mekanik araçlar ile toprak arasında oluşan etkileşimin operasyondan önce belirlenebilmesi için arazi çalışmalarına ve laboratuvar deneylerine dayalı çok sayıda yöntem geliştirilmiştir (Baladi, 1987). Koni delici (cone penetrometer) kullanılarak Birleşik Devletler Kolordusu Mühendisleri (US Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilen yöntemin diğer yöntemlere göre, araç ve toprak arasında oluşan etkileşimi en yüksek seviyede gerçeğe uygun olarak belirlediği tespit edilmiştir (Wronski vd., 1990). Bu çalışmada geliştirilen modelde bu yöntem esas alınmıştır.

Lastik tekerleklerin topraktaki gömülme miktarı, tekerlek çapının tekerlek izi derinliğine oranı ile ifade edilen ve toprağın koni indeks (cone index) değerine, tekerleklerin zemin basıncına ve tekerlek geçiş sayısına bağlı olan birimsiz bir terimdir (Wronski ve Humpherys, 1994). Bu oran temel alınarak aşağıdaki formül geliştirilmiştir (Knight ve Freitag, 1962; Turnage, 1972):

$$z/d = 4.61n^{0.5}(CI/NGP)^{-2.6} \quad (1)$$

( $z$ =tekerlek izi derinliği (mm),  $n$ =tekerlek geçiş sayısı,  $CI$ =toprağın koni indeks değeri (kPa),  $NGP$ =tekerlek zemin basıncı (kPa)).

$$NGP = 2000W/bd \quad (2)$$

( $W$ =tekerlek üzerindeki yüklenme (Newton),  $b$ =tekerlek genişliği (mm),  $d$ =tekerlek çapı (mm)).

Bu formülde toprağın koni indeks değeri koni delici kullanılarak hesaplanan toprağın taşıma yeteneğini ifade etmektedir. Orman traktörlerinin ön ve arka akslarındaki yüklenme farklı olacağından ön ve arka tekerlekler için ayrı ayrı tekerlek izi derinlikleri hesaplanmaktadır. Ayrıca, her bir tekerlek geçişinden sonra toprağın taşıma yeteneği değişeceğinden, formülde yer alan koni indeks değeri güncelleştirilmelidir. Bunun için, Brixius (1988) tarafından tekerleklerin geçişinden sonraki ve önceki koni indeks değerlerinin oranını ilişkilendiren bir formül geliştirmiştir. Bu formüldeki güncelleştirilmiş koni indeks değeri, tekerleklerin geçişinden önceki koni indeks değerinin ve tekerleklerin hareketlilik katsayısının (mobility number) bir fonksiyonudur:

$$\frac{ACI}{BCI} = 1.0 + (1.8 \exp(-0.11B_n)) \quad (3)$$

( $AC$  =tekerlek geçişinden sonraki koni indeks değeri (kPa),  $BCI$ =tekerlek geçişinden önceki koni indeks değeri (kPa),  $B_n$ =tekerlek hareketlilik katsayısı)

Tekerlek parametrelerinin ve toprağın taşıma yeteneğinin koni indeks değeri üzerindeki birleşik etkilerinin belirlenmesi için kullanılan tekerlek hareketlilik katsayısı, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Brixius, 1988);

$$B_n = \frac{CId}{1000W} \left( \frac{1 + (5\delta / h)}{1 + (3b / d)} \right) \quad (4)$$

( $\delta$ =tekerlek sarkması değeri (mm),  $h$ =lastik tekerlek kısmı yüksekliği (mm))

Bu formüldeki tekerlek sarkması değeri, tekerleklerdeki yüklenme, normal ve düşük tekerlek iç basıncı değerleri (172.4 kPa ve 103.4 kPa) ve tekerlek boyutları arasındaki ilişkiden yararlanılarak bulunmaktadır (Koger vd., 1985). Lastik tekerlek kısmı yüksekliği ise tekerlek ve jant çapına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

## 2.2. Modelin Uygulaması

Modelin uygulaması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Başkonuş Araştırma ve Uygulama Ormanı'nda yer alan ve üzerindeki orman toprağı tahrip edilmemiş olan düz bir araştırma alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan lastik tekerlekli MB Trac 900 marka orman traktörünün teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Yük taşımaksızın orman traktörünün 5 metre uzunluğundaki sürütme yolu boyunca oluşturduğu tekerlek izi derinlikleri 10 traktör seferi için ölçülmüştür (Şekil 1). Bir traktör seferi, belirli bir başlangıç noktasından hareket eden orman traktörünün sürütme yolunu tamamlayıp aynı tekerlek izini takip etmek şartı ile geri dönerek başlangıç noktası üzerinden tekrar geçmesi ile tamamlanmaktadır. Ölçümler her bir tekerlek geçişinden sonra cetvel yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Buna göre, bir sefer için tekerlek izi derinliği, orman traktörünün ön ve arka tekerleklerinin ölçüm yapılan nokta üzerinden hem gidiş ve hem de dönüş sırasında geçişlerinden sonra oluşturdukları toplam derinliktir.

Tekerlek iç basıncının iz derinliklerinin oluşumundaki etkisini incelemek için ölçümler iki farklı tekerlek iç basıncı sınıfı için aynı toprak özelliklerine sahip iki

ORMAN TRAKTÖRÜ İLE SÜRÜTME SIRASINDA OLUŞAN TEKERLEK İZİ DERİNLİĞİNİN  
HESAPLANMASI

ayrı sürütme yolunda gerçekleştirilmiştir. Birinci ölçümde lastik tekerleklerin iç basıncı 172.4 kPa (25 psi)'iken, ikinci ölçümde iç basınç 103.4 kPa (15 psi)'a düşürülmüştür (Koger vd., 1985). Ölçümler başlamadan önce sürütme yolundaki toprağın ortalama taşıma yeteneği FieldScout SC 900 Soil Compaction Meter marka koni delici yardımıyla 215.0 kPa olarak ölçülmüştür. Bu bölümde belirtilen araç özellikleri ve toprağın taşıma yeteneği gibi bilgiler geliştirilen modelin giriş verilerini oluşturmaktadır. Modelde, kabul edilebilir tekerlek izi derinliği olarak 150 mm kullanılmıştır (Wronski ve Humpherys, 1994). Mart ayında gerçekleştirilen çalışma sırasında ortalama toprak nemi yaklaşık % 29 olarak ölçülmüştür. Toprak türü kumlu killi balçık ve üst toprak derinliği 30-40 cm olarak tespit edilmiştir. Seçilen alanda ölü örtü yoğunluğu düşüktür. Bölgedeki yıllık ortalama yağış yaklaşık 1020 mm olarak belirtilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan orman traktörünün teknik özellikleri.

Teknik özellikler	Değerler
Aracın gücü	65 kW
Toplam ağırlık	6360 kg
Yüklenme oranı	
Ön aks	% 65
Arka aks	% 35
Tekerlek boyutları	18.4-26 in (46.7-66 cm)
Yük kapasitesi	4.0 m <sup>3</sup>



Şekil 1. Orman traktörü ile orman içinde sürütme sırasında oluşan tekerlek izi derinlikleri.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Arazi çalışmalarından ve modelden elde edilen sonuçlar tekerlek iç basıncı sınıflarına göre her bir traktör seferi için Çizelge 2’de gösterilmiştir. Geliştirilen model, tekerlek izi derinliklerini arazide ölçülen değerlerden ortalama % 9 oranında eksik hesaplamıştır. Arazi ölçümlerine göre, yüksek ve düşük tekerlek iç basıncı sınıfı için kabul edilebilir iz derinliği değerine, sırası ile dört ve altı traktör seferinden sonra ulaşılmaktadır. Modelden elde edilen sonuçlara göre ise bu değere sırası ile beş ve sekiz traktör seferinden sonra ulaşılmıştır. Buna göre, modelin doğruluğunun test edildiği arazi çalışmasının sonuçları ile modelin sonuçları uyuma göstermiştir.

Çizelge 2. Arazi çalışmalarından ve modelden elde edilen sonuçlara göre iki ayrı tekerlek iç basıncı sınıfı için tekerlek iz derinlikleri (cm).

Sefer Sayısı	Arazi Çalışmaları Sonuçları		Model Sonuçları	
	Yüksek Basıncı (172.4 kPa)	Düşük Basıncı (103.4 kPa)	Yüksek Basıncı (172.4 kPa)	Düşük Basıncı (103.4 kPa)
1	12.9	10.4	9.5	8.6
2	13.8	11.6	11.7	10.5
3	14.5	12.8	13.1	11.6
4	15.3	13.7	14.2	12.5
5	15.9	14.5	15.1	13.3
6	16.4	15.2	15.8	13.9
7	17.1	15.8	16.6	14.5
8	18.2	16.4	17.2	15.0
9	18.7	16.9	17.8	15.5
10	19.1	17.4	18.3	15.9

Orman toprağı üzerinde meydana gelen tekerlek izi derinlikleri yaklaşık 10 cm ile 20 cm arasında değişmektedir. Erdaş (1993), MB Trac 900 ile benzer boyutlarda olan J.Deere 440 B marka orman traktörünün orman toprağı üzerindeki etkisini incelediği çalışmada, ortalama % 30 nem içeren killi balçık orman toprağı üzerinde yapılan denemeler sonunda, 11-19 sefer sayısından sonra tekerlek izi derinliklerinin 10 cm ile 15 cm arasında oluştuğunu bildirmiştir.

Tekerlek iç basıncının düşürülmesi ile tekerlek izi derinliklerinde yaklaşık ortalama %11 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni, düşük içbasıncın tekerlekteki sarkmayı arttırmasına bağlı olarak genişleyen tekerlek temas alanının zemin basıncı değerini azaltmasıdır. Knight ve Freitag (1962)’in gerçekleştirdiği bir çalışmada, tekerlek sarkması değerinin % 5 oranında arttırılması durumunda zemin basıncında % 10 oranında bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir.

Erdaş (1993), ormanda sürütülen orman ürününün artması durumunda orman traktörlerinin sefer sayılarının artacağını ve buna bağlı olarak da sürütme yolu boyunca farklı iz derinliklerinin oluşacağını bildirmiştir. Bu çalışmada, traktör geçişlerinden sonra toprakta meydana gelen sıkışma nedeni ile toprağın taşıma

ORMAN TRAKTÖRÜ İLE SÜRÜTME SIRASINDA OLUŞAN TEKERLEK İZİ DERİNLİĞİNİN  
HESAPLANMASI

yeteneği artış göstermiştir. Buna bağlı olarak, hem arazi çalışmalarından hem de modelden elde edilen sonuçlara göre, her bir traktör seferinden sonra oluşan tekerlek izi derinliğinin toplam derinliğe katkı miktarı giderek azalmıştır. Bu durum modelden elde edilen sonuçlar ışığında Çizelge 3’de sunulmuştur. Tekerek iç basıncının yüksek olduğu durumda, her bir traktör seferinden sonra oluşan iz derinliğinin, iç basıncın düşük olduğu durumdan daha fazla olduğu görülmüştür.

Orman traktörünün ön akslarındaki yük dağılımı oranı daha yüksek olduğundan, ön tekerleklerden orman toprağı zeminine tesir eden zemin basıncı arka tekerleklerden 33.39 kPa daha yüksek olarak hesaplanmıştır. İç basınç değerlerinin aynı olması halinde ön tekerleklerdeki sarkma değeri arka tekerleklerdekinden yaklaşık % 70 oranında daha fazla olmasına rağmen, ön tekerleklerin orman toprağı üzerinden geçişinden sonra oluşan iz derinlikleri arka tekerleklerden yaklaşık dört katı daha fazla gerçekleşmiştir. Bunun nedeni olarak, akslardaki yüklenmenin zemin basıncını arttırmasına bağlı olarak tekerlek izi derinliği oluşumunu hızlandıran etkisinin, tekerlek sarkması değerini arttırmasına bağlı olarak iz derinliği oluşumunu yavaşlatan etkisinden daha yüksek olduğu söylenebilir. Lastik tekerleklerin derin izler oluşturmasındaki ana unsurlardan biri tekerlekler üzerindeki yüklenmedir (Nipkow, 1983). Yüksek iç basınca sahip ön ve arka tekerlekler için sarkma değerleri sırası ile 65.74 ve 38.93 olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık düşük iç basınca sahip ön ve arka tekerlekler için sarkma değerleri sırası ile 75.98 ve 43.45 olarak bulunmuştur.

Bölmeden çıkarma operasyonu sırasında, sürütme yolu üzerinde kesim artıklarından (slash) oluşan bir katma yer alması durumunda tekerleklerin orman toprağı üzerindeki zemin basıncı azalacak ve toprağın taşıma yeteneği artacaktır. Wronski vd. (1990), mekanik bölmeden çıkarma araçları ile gerçekleştirilen bir operasyonda kesim artıkları katmanının zemin basıncını ortalama % 31 oranında azalttığını bildirmiştir. Wronski ve Humpherys (1994) ise kesim artıkları katmanına eklenecek her bir 10kg/m<sup>2</sup>’lik artık miktarının toprağın taşıma yeteneğini %25 oranında arttırdığını bulmuştur.

Çizelge 3. Traktör seferlerinden sonra toprağın taşıma yeteneğindeki artışa bağlı olarak azalarak artış gösteren tekerlek izi derinlikleri.

Sefer Sayısı	Tekerlek İzi Derinliğindeki Artış (cm)	
	Yüksek Basıncı (172.4 kPa)	Düşük Basıncı (103.4 kPa)
1	2.19	1.84
2	1.41	1.17
3	1.08	0.89
4	0.90	0.74
5	0.79	0.64
6	0.70	0.57
7	0.64	0.52
8	0.59	0.48
9	0.55	0.45
10	0.52	0.42

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ekonomik açıdan makul olmasının yanı sıra orman toprağına etkisi sınırlı olan bölmeden çıkarma operasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için, operasyonun dikkatle planlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, orman traktörü ile orman içinde sürütme sırasında lastik tekerleklerin oluşturduğu iz derinlikleri nedeniyle ortaya çıkan olumsuzlukların önlenmesi veya kabul edilebilir boyutlara indirilebilmesi için karar değişkenlerine bağlı olarak potansiyel iz derinliklerini operasyondan önce hesaplayan bir model geliştirilmiştir. Modelin doğruluğunun test edildiğı arazi çalışmasının sonuçları ile modelin sonuçlarının uyum içersinde olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre orman traktörü ile orman içinde sürütme operasyonunun planlanmasında dikkat edilmesi gereken unsurlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kabul edilebilir tekerlek izi derinliği kısıtlayıcısının kritik olduğu durumlarda, zemin basıncını makul seviyede tutmak için sarkma değeri daha yüksek olan düşük iç basınçlı lastik tekerlekler kullanılmalıdır.
- Taşıma yeteneğinin düşük olduğu topraklarda sürütme gerçekleştirilecekse, daha hafif orman traktörleri seçilmeli ve maksimum yükleme yapılmamalıdır.
- Akslardaki yüklenmenin orman toprağına daha az tesirini sağlamak için temas yüzeyi geniş lastik tekerlekler seçilmelidir.
- Özellikle ince taneli orman topraklarında, sürütme sırasında toprağın fiziksel özelliklerinde meydana gelen olumsuzlukları engellemek için traktör sefer sayısı toprakta maksimum sıkışmaya neden olacak sınırın altında tutulmalıdır.
- Bölmeden çıkarma operasyonunda aşırı tekerlek izi derinliklerinden meydana gelen gecikmeleri azaltmak için traktörün hareket yeteneğini azaltan tekerlek izi derinliği tespit edilmeli ve operasyon bu derinlik dikkate alınarak planlanmalıdır.
- Odun hammaddesi üretiminde açığa çıkan kesim artıkları sürütme yollarına dağıtılarak operasyon sırasında oluşacak tekerlek izi derinlikleri düşük tutulmalıdır.

Modelin doğruluğunun test edildiğı arazi çalışmasına bağlı olarak, modelin mevcut versiyonu araç sefer sayısı ve lastik tekerleklerin iç basıncı gibi karar değişkenlerini dikkate almaktadır. Ancak, modelde yapılacak küçük değişikliklerle, orman traktörünün büyüklüğü, lastik tekerleklerin boyutları, kesim artıkları, arazinin topoğrafik yapısı gibi değişkenler de kolaylıkla incelenebilir. Sonuç olarak, seçilen karar değişkenlerinin tekerlek izi derinlikleri üzerindeki etkisini hesaplayabilen bu modelin, orman traktörleri ile sürütmenin yer aldığı bölmeden çıkarma operasyonlarının planlamasında önemli bir karar destekleme aracı olabileceğı düşünülmektedir.



ORMAN TRAKTÖRÜ İLE SÜRÜTME SIRASINDA OLUŞAN TEKERLEK İZİ DERİNLİĞİNİN  
HESAPLANMASI

**KAYNAKLAR**

- Abeels, P.F., 1983. Überlegungen zur Herstellung von Reifen für Forstwirtschaftliche Fahrzeuge, Forstwirtschaftliche Centralblatt. 102: 80-86.
- Acar, H.H. ve Ünver, S., 2004. Odun hammaddesi üretiminde teknik ve çevresel açıdan zararların tespiti ile çözüm önerileri. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi. Vol I-II: 165-173.
- Baladi, G.Y., 1987. Terrain evaluation for off-road mobility. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on terrain vehicle systems, Barcelona. 1: 1-19.
- Bredberg, C.J., Wasterlund, I., 1983. Wurzel-und Bodenschaden durch Fahrzeuge, Forstwirtschaftliche Centralblatt. 102(1983): 86-98.
- Erdaş, O., 1986. Odun hammaddesi üretimi, bölmeden çıkarma ve taşıma safhalarında sistem seçimi. KTÜ Orman Fakültesi Dergisi. 9 (1-2): 91-113.
- Erdaş, O., 1993. Bölmeden çıkarma sırasında traktör kullanımının orman toprağının mekanik özelliklerine etkisi ve bunun biyolojik sonuçları. Doğa – Turkish Journal of Agricultural and Forestry. 17: 1-10.
- Greene, W.D., Stuart, W.B., 1985. Skidder and tire size effects on soil compaction. South. J. App. For. 9(3):15-157.
- Greacen, E.L., Sands, R., 1980. Compaction of forest soils: A review. Australian Journal of Soil Resources. 18: 163-189.
- Hildebrand, E.E., 1983. der Einfluss der Bodenverdichtung auf die bodenfunktionen im forstlichen Standort, forstwirtschaftliche Centralblatt. 102: 111-125.
- Kellogg, L.D., Bettinger, P., 1994. Thinning productivity and cost for a mechanized cut-to-length system in the northwest coast region of the USA. J. For. Engineering, 5 (2): 43-54.
- Knight, S.J., Freitag, D.R., 1962. Measurement of soil trafficability characteristics. Tran. ASAE, 5: 121-132.
- Koger, J.L., Burt, E.C., Bailey, A.C., 1985. Load deflection relationships for three log-skidder tires. USDA For. Serv., Southern Forest Experiment Station, Research note: SO-311.
- Löffler, H., 1985. Bodenschaden bei der Holzernte-Bedeutung und Erfassung, Der Forst-und Holzwirt. 14(15): 379-383.
- Nipkow, F., 1983. Holzrücken auf schlecht tragfähigen Waldböden: Raupe oder Breitreifen, Allgemeine Forstzeitschrift München 4 (1983):94-97.
- Turnage, G.W., 1972. Performance of soils under tire loads. Rep. No. 8. Application of test results to tire selection for off-road vehicles. US Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi. Tech. Rep. No: 3-666-8. 164 p.
- Wronski, E.B., Stodart, D.M., Humphreys, N., 1990. Trafficability assessment as an aid to planning logging operations. APPITA, 43(1): 18-22.
- Wronski, E.B., Humphreys, N., 1994. A method for evaluating the cumulative impact of ground-based logging systems on soils. J. For. Engineering, 5(2): 9-20.