

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PALETLİ ARAZİ TAŞITLARININ
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. Cem AKTAŞ
(503951024)**

104137

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Teoman KURTAY

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Murat EREKE

Yrd.Doç.Dr. Ekrem TÜFEKÇİ

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Sürekli gelişen ve ilerleyen bir teknolojinin olduğu ortamda talepler genişlemekte, sürekli artış göstermektedir. İnsanlar kullandıkları ürünlerin en basitinden en karmaşığına kadar sürekli daha fazla performans beklemektedirler. Yaşanılan bu gelişim sonucunda doğal olan bu beklentilere karşı teknolojik gelişmeler de sürekli ilerlemektedir ve bu çevrim birbirini tamamlayarak sürmektedir.

Bugün asfalt yollarda ulaşım veya taşıma amaçlı kullanılan yol taşıtları toplumun hemen her kesimini ilgilendirdiğı için yaşıntımızda çok büyük önem teşkil etmektedir. Ancak birçok alanda özel olarak hazırlanmış yol şartları dışında(arazide) hareket eden ve arazi taşıtları adı verilen taşıtlar da kullanılmaktadır. Özellikle tarımla, madencilikle ve inşaatla uğraşan geniş bir insan kesimi sürekli arazi taşıtlarını kullanmak zorunda kalmaktadırlar.

Bu açıdan bakıldığında günümüzde arazi taşıtlarının da yol taşıtlarının yanısıra geniş bir kullanım alanı olduğu görölmektedir. Arazi taşıtlarının hareketleri çalıştıkları arazi özelliklerine bağlı olarak sınırlandığı için performansları da büyük bir önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada paletli arazi taşıtlarının performanslarının belirlenmesi için kullanılan yöntemler incelenmiş, örnek bir paletli arazi taşıtının performans özellikleri hesaplanmış ve bazı araç parametrelerine bağlı olarak aracın performans değerlerinin değişimi açıklanmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, yapıcı eleştiri ve tavsiyeleriyle yol gösteren Prof. Dr. Teoman KURTAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

HAZİRAN, 2001

Cem AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Paletli Arazi Taşıtlarının Tarihsel Gelişimi	2
2. ARAÇ-ARAZİ İLİŞKİSİNİN MEKANİĞİ	4
2.1. Terramekaniğin Tanımı	4
2.2. Taşıma Yüğü Altındaki Arazide Gerilim Dağılımı	4
2.3. Arazinin Tepkisinin Ölçülmesi	6
2.3.1. Basınç-Batış İlişkisi	7
2.3.2. Kesme Gerilmesi-Kesme Yerdeğiştirmesi İlişkisi	11
2.4. Paletli Araç Performansının Parametrik Analiz Yöntemleri	14
2.4.1. Paletin Hareket Direnci	14
2.4.2. Paletin Cer Kuvveti ve Kayması	17
3. ARAZİ TAŞITLARININ PERFORMANS ÖZELLİKLERİ	22
3.1. Arazi Taşıtları ve Performans Özellikleri	22
3.1.1. Çekme Performansı	22
3.1.1.1. Çekme Kuvveti ve Çekme Gücü	22
3.1.1.2. Çekme Verimi	24
3.1.2. Aracın Motor Özelliklerinin Belirlenmesi	25
3.1.2.1. Motor Özellikleri	26
3.1.2.2. İletim Özellikleri	27
3.2. Yakıt Ekonomisi	27
4. PALETLİ BİR ARAZİ TAŞITININ PERFORMANSININ HESAPLANMASINA DAİR BİR ÖRNEK	29
4.1. Kullanılan Arazi Taşıtlarının Tanıtılması	29
4.2. Örnek Hesaplama Yöntemi ve Elde Edilen Sonuçlar	30
4.2.1. Baz Alınan Araç İçin Örnek Hesaplama Yöntemi	30
4.2.1.1. Hareket Direncinin Hesaplanması	31
4.2.1.2. Cer Kuvvetinin ve Kayma Miktarının Hesaplanması	31
4.2.1.3. Araç Hızının ve Çekme Performansının Belirlenmesi	33
4.2.2. Temas Alanı Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliğinin ve Palet Uzunluğunun Değişimiyle Bulunan Performans Özellikleri	34
4.3. Sonuçlar ve Yorumlar	37
4.3.1. Temas Alanı Sabit Kalmak Üzere Aracın Palet Genişliği ve Palet Uzunluğu Değiştirilerek Bulunan Performans Özellikleri	37

4.3.2. Aynı Şartlar Altında Farklı Arazilerde Elde Edilen Performans Değerleri	40
4.3.3. Palet Tekerleğinin Yarıçapının Değişiminin Çekme Performansına Etkisi	41
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	42
KAYNAKLAR	43
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	53



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çeşitli Arazilerin Karakteristik Özellikleri.....	9
Tablo 2.2. Çeltik Tarlasından Alınan Toprak Örneklerinin Özellikleri.....	10
Tablo 4.1. Aracın Farklı Kayma Değerlerinde Oluşan Cer Kuvveti.....	32
Tablo 4.2. Kullanılan Motorun Dönme Sayısına Bağlı Olarak Oluşan Güç ve Moment Değerleri.....	32
Tablo 4.3. Örnek Alınan Aracın 1 No.'lu Arazideki Performans Hesaplamaları.....	35
Tablo 4.4. Örnek Alınan Aracın 2 No.'lu Arazideki Performans Hesaplamaları.....	36
Tablo 4.5. Örnek Alınan Aracın 3 No.'lu Arazideki Performans Hesaplamaları.....	38
Tablo 4.6. Örnek Alınan Aracın 3 No.'lu Arazide Palet Tekerleğinin Yarıçapına Bağlı Olarak Performans Hesaplamaları.....	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Sürücü-Araç-Arazi sistemi.....	2
Şekil 2.1 : İdeal bir elastoplastik maddenin davranışı.....	5
Şekil 2.2 : Paletli bir aracın performansının belirlenmesi için basitleştirilmiş bir model.....	6
Şekil 2.3 : Arazinin kesme dayanımı parametrelerini ölçmek için kullanılan dikdörtgen ve halka plakalar.....	7
Şekil 2.4 : Farklı tipteki homojen topraklar için basınç-batış ilişkileri.....	8
Şekil 2.5 : Bir paletin ve bir tekerleğin kesme işlemi.....	11
Şekil 2.6a : Dış çapı 22.2 cm olan kesme halkası kullanılarak elde edilen kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	12
Şekil 2.6b : Dış çapı 29.8 cm olan kesme halkası kullanılarak elde edilen kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi	12
Şekil 2.6c : 13.2x71.1cm boyutlarında rijit bir palet kullanılarak elde edilen kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	12
Şekil 2.7 : Kumun farklı yöntemlerle elde edilen kesme dayanımı değerleri..	12
Şekil 2.8 : Basit eksponansiyel formun kesme eğrisi.....	13
Şekil 2.9 : Çeşitli paletli araçların altındaki toprak yüzeyinden 23cm derinlikte ölçülen normal basınç dağılımı	17
Şekil 2.10 : Bir paletin altındaki kesme yerdeğiştirmesinin gelişimi.....	19
Şekil 2.11 : Bir paletin altındaki kesme geriliminin dağılımı.....	21
Şekil 3.1 : Bir araç motorunun ideal performans karakteristiği.....	26
Şekil 4.1 : Paletli bir tarım traktörünün görünüşü.....	29
Şekil A.1 : Örnek olarak alınan aracın 3 farklı arazideki kayma miktarlarının(i) temas alanı(A) sabit kalmak üzere palet genişliği(b) ve palet uzunluğu(l) ile değişimi.....	44
Şekil A.2 : Örnek olarak alınan aracın 3 farklı arazideki toplam direnç kuvvetinin(ΣR) temas alanı(A) sabit kalmak üzere palet genişliği(b) ve palet uzunluğu(l) ile değişimi.....	45
Şekil A.3 : Örnek olarak alınan aracın 3 farklı arazideki çekme kuvvetinin(F_d) temas alanı(A) sabit kalmak üzere palet genişliği(b) ve palet uzunluğu(l) ile değişimi.....	46
Şekil A.4 : Örnek olarak alınan aracın 3 farklı arazideki çekme gücünün(P_d) temas alanı(A) sabit kalmak üzere palet genişliği(b) ve palet uzunluğu(l) ile değişimi.....	47
Şekil A.5 : Örnek olarak alınan aracın 3 farklı arazideki çekme veriminin(η_d) temas alanı(A) sabit kalmak üzere palet genişliği(b) ve palet uzunluğu(l) ile değişimi.....	48
Şekil B.1 : Örnek olarak alınan aracın aynı şartlar altındaki 3 farklı arazideki kayma miktarlarının ve toplam direnç kuvvetleri değerlerinin karşılaştırılması	49

Şekil B.2 :	Örnek olarak alınan aracın aynı şartlar altındaki 3 farklı arazideki çekme kuvveti, çekme gücü ve çekme verimi değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil C.1 :	Örnek olarak alınan aracın kayma miktarının, toplam direnç kuvvetinin ve çekme kuvvetinin palet tekerleğinin yarıçapı(r) ile değişimi	51
Şekil C.2 :	Örnek olarak alınan aracın çekme gücünün ve çekme veriminin palet tekerleğinin yarıçapı(r) ile değişimi	52



SEMBOL LİSTESİ

τ	: Kesme gerilimi (kPa)
σ	: Kesme yüzeyindeki basınç (kPa)
c	: Kohezyon (kPa)
ϕ	: İç kesme direnci açısı(°)
p	: Basınç(kPa)
b	: Genişlik(m)
z	: Batma miktarı(m)
l	: Uzunluk (m)
k_c	: Basınç-batış parametresi(kN/m^{n+1})
k_ϕ	: Basınç-batış parametresi (kN/m^{n+2})
n	: Basınç-batış parametresi
j	: Kesme yerdeğiştirmesi (m)
K	: Kesme deformasyon modülü (m)
W	: Normal yük, ağırlık (kN)
R_c	: Hareket direnci (kN)
F	: Çer kuvveti (kN)
F_d	: Çekme kuvveti (kN)
A	: Alan (m^2)
i	: Kayma
r	: Tekerlek yarıçapı (m)
V	: Hız (m/s)
V_t	: Teorik hız (m/s)
V_j	: Kayma hızı (m/s)
ω	: Açısal hız (d/d)
t	: Zaman
x	: Mesafe (m)
R_{in}	: İç direnç kuvveti (kN)
ΣR	: Toplam direnç kuvveti (kN)
P	: Güç (kW)
P_d	: Çekme gücü (kW)
η	: Verim (%)
η_d	: Çekme verimi (%)
η_t	: İletim verimi (%)
η_m	: Hareket verimi (%)
η_s	: Kayma verimi (%)
M_e	: Motorun çıkış momenti (Nm)
ξ	: İletim(Çevrim) oranı
n_e	: Motorun hızı(d/d)
u_h	: Saatte harcanan yakıt miktarı (kg/h)
u_s	: Motorun spesifik yakıt tüketimi (kg/kWh)

İNDİSLER

maks : Maksimum

PALETLİ ARAZİ TAŞITLARININ PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Modern bir toplumda kara taşıtlarının önemli bir yeri vardır. Yolcuların ve ürünlerin yol taşıtlarıyla taşınması yaşantımızın önemli bir parçasını teşkil eder. Ancak tarım, inşaat, madencilik gibi alanlarda çalışan geniş bir insan kesimi özel olarak hazırlanmamış arazide hareket eden arazi taşıtlarını kullanmaktadırlar. Arazi taşıtları dizaynındaki sistematik çalışmalar II.Dünya Savaşı'ndan itibaren geniş ilgi görmüştür. İlk bölüm arazi taşıtlarının önemini ve bu konuda yapılan çalışmaların tarihçesini anlatmaktadır.

İkinci bölümün konusu "terramekanik"tir. Bir arazi taşıtının çalıştığı çevreye(araziye) bağlı olarak performansının incelenmesi terramekanik olarak bilinmektedir. Arazi taşıtları, farklı davranışlar gösteren çeşitli tipteki arazilerle karşılaşabilirler. Arazinin özellikleri arazi taşıtının hareketini sınırlar. Arazi taşıtlarının gelişimi ve dizaynı için, arazinin mekanik özellikleri ve uygulanan yüke karşı tepkisi hakkında yeterli bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu bölümde arazinin davranışının ölçümü ve değerlendirmesi ile paletli araç performansının parametrik analiz yöntemleri tartışılır.

Palet ve tekerlek arazi taşıtlarının iki temel formunu teşkil eder. Özel olarak hazırlanmamış bir arazi üzerinde hareket eden palet ve tekerleğin mekaniği hakkındaki çalışmaların amacı, dizayn parametrelerine ve arazi karakteristiklerine bağlı olarak araç performanslarının belirlenmesi için güvenilir metodlar oluşturmaktır.

Palet sisteminin performansının belirlenmesi için geliştirilen metodların en eskilerinden bir tanesi Bekker tarafından geliştirilen metoddur. Bu metoddan, paletin araziye rijit temas ettiği varsayılmıştır. Basınç-batış ve kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkileri kullanılarak paletin batma miktarı, hareket direnci, itme-kayma ilişkisi ve maksimum çekişi hesaplanmıştır.

Üçüncü bölümde arazi taşıtlarının performans özellikleri ele alınmaktadır. Arazi taşıtlarının fonksiyonel işlevlerini yerine getirebilmeleri için gerekli olan performans özelliklerini belirlemek üzere farklı kriterler oluşturulmuştur. Mesela traktörler için öncelikle çekme performansı önemlidir ve çekme kuvvetinin araç ağırlığına oranıyla, çekme gücüyle ve çekme verimiyle tanımlanabilir. Bu bölümde bir arazi taşıtının çekme performansı ve yakıt ekonomisi anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde model olarak bir traktör seçilerek performans özellikleri belirlenmektedir. Bazı performans parametreleri değiştirilerek arazi taşıtının performans özellikleri üzerindeki etkileri anlatılmaktadır. Performans özelliklerindeki değişimlerin kolaylıkla görülebilmesi için sonuçlar grafikler yardımıyla anlatılmıştır.

DETERMINING PERFORMANCES OF TRACKED OFF-ROAD VEHICLES

SUMMARY

In a modern society ground vehicles which are supported by the ground have an important role. Transporting passengers and goods by road vehicles constitutes a significant part in our life. But a wide range of human endeavors in such fields as agriculture, construction, mining use off-road vehicles over unprepared terrain. Systematic studies of the design of off-road vehicles, have attracted considerable interest since World War II. First section describes the importance and the history of the studies about off-road vehicles.

The second section has a subject called as "terramechanics". The study of the performance of an off-road vehicle in relation to its operating environment (the terrain) has known as "terramechanics". In off-road operations, various types of terrain with differing behaviour may be encountered. The properties of terrain impose limitations to the mobility of off-road vehicles. A knowledge of the mechanical properties of the terrain and its response to vehicular loading is essential to the proper development and design of off-road vehicles. In this section the measurement and characterization of the behaviour of the terrain and the methods for parametric analysis of tracked vehicle performance will be discussed.

The track and the wheel constitute two basic forms for off-road vehicles. The objective of studying mechanics of the track and of the wheel over unprepared terrain is to establish reliable methods for predicting off-road vehicles performance in relation to their design parameters and terrain characteristics.

One of the earlier methods for parametric analysis of track system performance was developed by Bekker. In this method, it is assumed that the track in contact with the terrain is similar to rigid footing. Making use of the pressure-sinkage and shear stress-shear displacement relationships track sinkage, motion resistance, thrust-slip relationship and the maximum traction of a track are determined.

In the third section the performance characteristics of off-road vehicles will be discussed. Depending on the functional requirements, different criteria are employed to evaluate the performance characteristics of various types of off-road vehicle. For example, the drawbar performance has a primer importance for tractors and it may be characterized by the ratio of drawbar pull to vehicle weight, drawbar horsepower, and drawbar efficiency. In this section the drawbar performance and fuel economy of an off-road vehicle will be discussed.

A tracked tractor will be chosen as a model and the performance characteristics of this vehicle is predicted in the fourth section. Some of the vehicle parameters will be changed and their effect to the performance characteristics of off-road vehicles is discussed. The change of performance characteristics are given by graphics for easy to understand.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 GİRİŞ

Taşıtların hareket ettikleri ortama bağlı olarak klasik bir sınıflandırılma şekli vardır. Kara taşıtları da, adlarını hareket ettikleri ortamdan alırlar. Yani kısaca karada hareket eden taşıtlara kara taşıtları adı verilir.

Bu sınıflandırma şekline göre demiryolu taşıtları da kara taşıtları arasına girmektedir ancak üzerinde hareket ettikleri rayların dışında farklı yönlerde hareket edemezler yani hareket edebilecekleri yönler raylarla sınırlandırılmıştır. Çeşitli yönlerde isteğe bağlı olarak hareket edebilen kara taşıtları ise yol taşıtları ve bu tezin konusunu oluşturan arazi taşıtlarıdır. Arazi taşıtları da adından anlaşılacağı gibi hareket etmesi için özel olarak hazırlanmış bir yola gerek kalmadan arazi şartlarında hareket edebilen taşıtlardır.

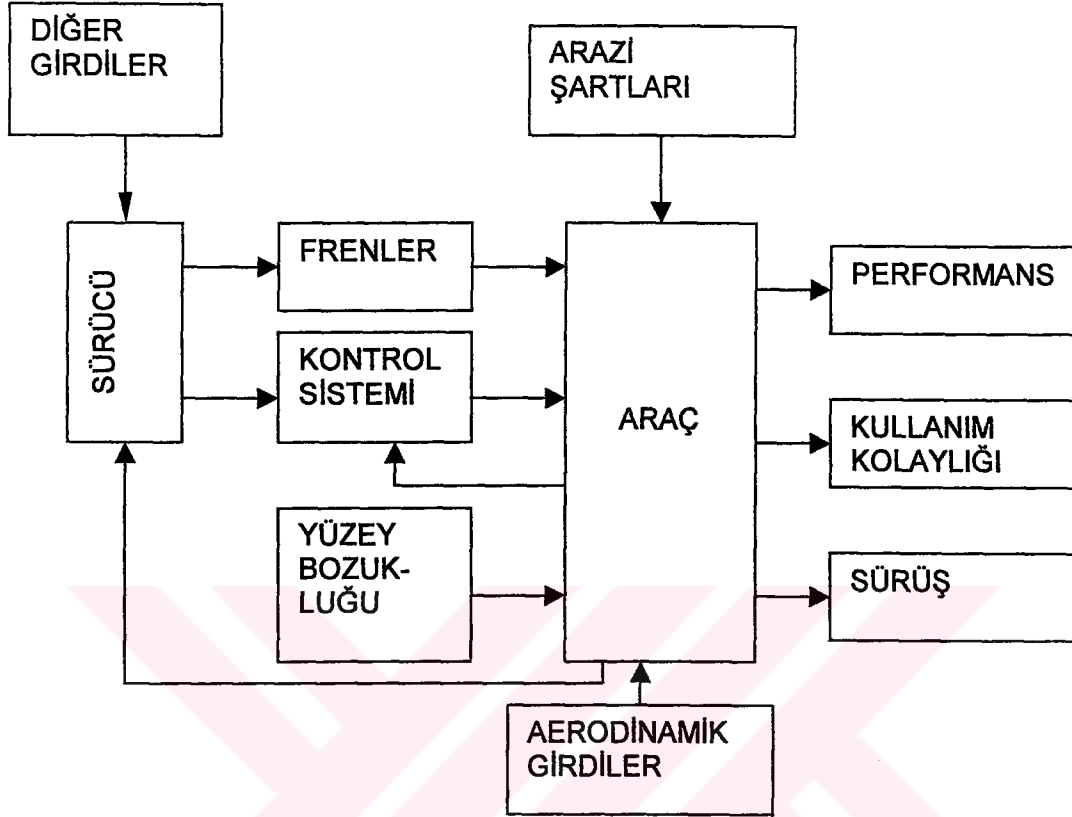
Birçok açıdan sürekli gelişmekte olan bir dünya üzerinde yaşadığımız ve taleplerin sürekli arttığı düşünüldüğünde çok çeşitli alanlarda kullanılan arazi taşıtlarının göstereceği performansın da daha iyi olmasının beklenmesi doğaldır. Bu nedenle arazi taşıtlarının performansının hesaplanması ve bu performansın hangi parametrelerden, ne şekilde etkilendiğinin bilinmesi de önem kazanmaktadır.

Arazi taşıtlarının mekaniğinin incelenmesinin temel amacı, çeşitli çalışma ortamlarına uygun araç tasarımının ve seçiminin prensiplerinin belirlenmesidir.

Genel olarak, bir arazi taşıtının özellikleri, onun performansı, kullanım kolaylığı ve sürüşü açısından tanımlanabilir. Performans özellikleri aracın arazideki kayma miktarı, hızı, çekme kuvveti, çekme verimi gibi değerleri içermektedir. Aracın kullanım kolaylığı yani aracın kavrama kabiliyeti, sürücünün talimatlarına aracın gösterdiği uyumu ve dış zorluklara karşı aracın hareketini dengeleme kabiliyetini gösterir. Sürüş özellikleri, yüzey düzgünlükleri nedeniyle araçta oluşan titreşim ve bunun yolculara ve taşınan ürünlere olan etkileriyle ilgilidir.

Bir arazi taşıtının davranışı, sürücünün, aracın ve çevrenin birbirine olan etkilerinin sonuçlarını temsil etmektedir(Şekil 1.1). Sürücünün davranışlarının, aracın

özelliklerinin ve arazinin fiziksel ve geometrik özelliklerinin anlaşılması arazi taşıtı sisteminin dizaynında ve hesaplanmasında önemlidir.[1]



Şekil 1.1 Sürücü – Araç – Arazi Sistemi

1.2 PALETLİ ARAZİ TAŞITLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Paletli taşıtların gelişimi 1770 yılında bir İngiliz olan Richard Lovell Edgeworth tarafından tasarlanan ve "taşınabilir demiryolu" olarak tanımlanan çalışmanın patent almasına dayanır.

19.yüzyıl boyunca birçok icat yapılmasına rağmen bunların hiçbiri modern anlamda bir paletli taşıt olarak kabul edilemez. Ancak 19.yüzyılın sonunda içten yanmalı motorun icadıyla birlikte bu durum hızla değişmiştir. İlk otomobiller üretilmiş ve daha sonra paletli taşıtlar da üretilerek kullanılmaya başlanmıştır. Hatta 1.Dünya Savaşı'ndan önce tarım traktörleri yapılmış ve geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak hem o dönemdeki teknolojinin yetersizliği hem de toprakla araç arasındaki ilişki hakkındaki teorik bilgi eksikliği nedeniyle kullanım alanı sınırlı kalmıştır.

Ancak 1.Dünya Savaşı esnasında tankların kullanımı ve savaştaki faydaları, araçlarla çevresi arasındaki ilişkinin çalışılmasını sağlamıştır. 1.Dünya Savaşı'ndan sonra tekerlekli ve paletli arazi taşıtları hakkında geniş çalışmalar başlamıştır.

1.Dünya Savaşı'nda kullanılan arazi taşıtları savaştan sonra tarım işlerinde kullanılmaya başlamıştır. Tarım makinalarındaki iyileştirme çabaları, araçla toprak arasındaki ilişkiyi kesin tanımlamalarla ortaya çıkarmaya başlamıştır. Hareket direnci, batma gibi kavramların farkına varılmaya başlanmıştır.

2.Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte bu çalışmalara hız verilmiştir ve günümüze kadar gelen çalışmalar devam etmektedir.[2]



BÖLÜM 2

ARAÇ-ARAZİ İLİŞKİSİNİN MEKANİĞİ (TERRAMEKANİK)

2.1 TERRAMEKANİĞİN TANIMI

Modern toplumlardaki taşımacılık faaliyetlerinde, yolcu ve ürünlerin asfalt yollarda taşınması çok önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte tarımda, madencilikte, inşaat sektöründe, askeri alanlarda çalışan geniş bir insan kesimi arazide hareket edebilen özel yoldışı taşıtlar kullanmak zorundadırlar. Yoldışı taşıtların rasyonel gelişimi ve dizaynının altında yatan prensipler hakkında yapılan sistematik çalışmalar II.Dünya Savaşı'ndan itibaren geniş ilgi görmüştür. Yoldışı bir aracın performansının çalıştığı araziye bağlı olarak incelenmesi "terramekanik" olarak bilinmektedir.[3]

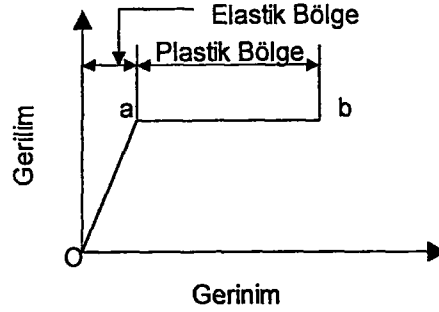
Arazi taşıtları, çöl kumundan yumuşak çamura ve kara kadar farklı davranışlardaki çeşitli tipte arazilerde hareket etmektedirler. Arazinin özellikleri, arazi taşıtlarının hareketliliğine genellikle çeşitli sınırlamalar getirir. İstenilen görevi yerine getirebilecek ve çevreye uygun arazi taşıtlarının dizaynı için, arazinin mekanik özellikleri ve terramekanik hakkında yeterli bilgi sahibi olmak gereklidir. Terramekanik arazi taşıtları için önemi uçak dizaynındaki aerodinamiğin ve gemi dizaynındaki hidrodinamiğin rolüne benzemektedir.

Belirli bir arazide, bir arazi taşıtının performansı, taşıtın araziyle nasıl temas ettiğine bağlıdır. Sonuç olarak, araç-arazi ilişkisinin mekaniğinin anlaşılması, çeşitli çalışma ortamlarına uygun olan araç konfigürasyonunun ve tasarım parametrelerinin seçiminde önemli bir yer tutmaktadır.

2.2 TAŞIMA YÜKÜ ALTINDAKİ ARAZİDEKİ GERİLİM DAĞILIMI

Doymuş kil ve yoğun kum gibi yeryüzünün önemli bir bölümünü kaplayan bazı arazi tipleri Şekil 2.1'deki gerilim-gerinim diyagramında gösterildiği gibi ideal bir elastoplastik madde gibi ele alınabilir. Arazideki gerilimin seviyesi Şekil 2.1'de "a" ile gösterildiği gibi belirli bir sınır değerini aşmadığı müddetçe arazi elastik bir davranış gösterebilir.

Topraktaki gerilim dağılımını tespit etmek için arazinin elastik bir ortam olduğu varsayılarak birçok çalışma yapılmıştır.



Şekil 2.1 İdeal bir elastoplastik maddenin davranışı

Araziye etkiyen yük, belirli bir sınır değeri olan ve Şekil 2.1’de “a” ile gösterilen düzeye eriştikten sonra, gerilimdeki küçük bir artış bile arazideki gerinim düzeyinde, plastik akışa sebep olan hızlı bir yükselişe neden olur. Plastik akışın başladığı durum öncesine “plastik denge” adı verilir. Plastik denge halinden plastik akış durumuna geçiş kütle bozulumunu temsil eder. Plastik akış ile oluşan bozulumu belirlemek için oluşturulan kriterlerden en çok kullanılanı Mohr-Coulomb’un kesme bozulumu denklemidir :

$$\tau_{maks} = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

Bu denklemde;

τ_{maks} : Arazinin kesme dayanımı

σ : Kesme yüzeyindeki normal basınç

c : Arazinin kohezyonu

ϕ : Arazinin iç kesme direnci açısı’dır.

Doymuş kil gibi bazı maddelerde kohezyon sebebiyle maddeye yük uygulanmadan parçacıklar bir arada durmaktadırlar. Bu gibi maddelerin kesme dayanımı, uygulanan yüke bağlı değildir. Bazı maddeler ise parçacıklar arasına kuvvet uygulandığında aralarında oluşan sürtünme kuvveti sayesinde bir arada tutunmaktadırlar. Kuru kum bu

tür bir maddedir ve kesme dayanımı uygulanan yüke bağlı olarak değişim gösterir. Kuru kum için 2.1 denklemi

$$\tau_{maks} = \sigma \tan \phi \quad (2.2)$$

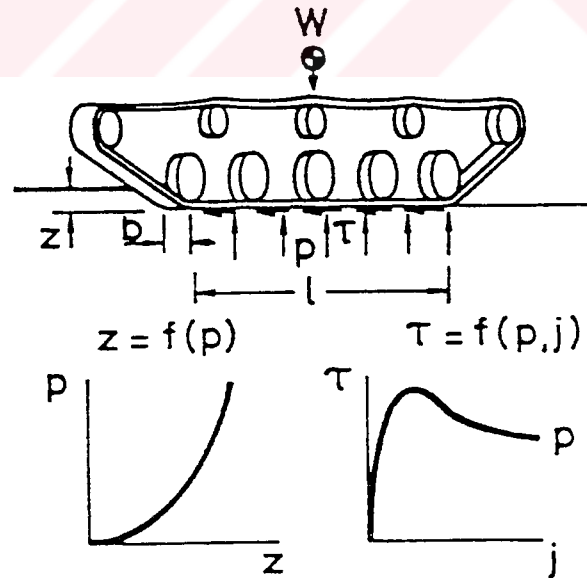
ve doymuş kil için ;

$$\tau_{maks} = c \quad (2.3)$$

olarak kabul edilebilir.

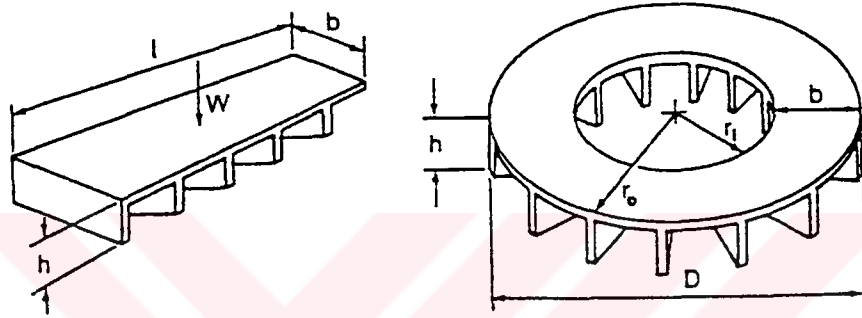
2.3 ARAZİNİN TEPKİSİNİN ÖLÇÜLMESİ

Bir arazi taşıtı çalışırken arazinin yüzeyine normal bir yük uygular. Bu durumda araca etkiyen hareket direncini arttıran bir batma oluşur(Şekil 2.2). Aynı zamanda, paletin tekerleğine veya aracın lastiğine uygulanan moment araçla arazi arasında bir kesme işlemi yaratır. Uygulanan moment aracı iter ve bununla birlikte bir kaymaya sebep olur. Arazi taşıtlarının performanslarının belirlenmesinde normal basınç-batış ilişkisinin ve kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisinin ölçülmesi çok önemlidir.



Şekil 2.2 Paletli Bir Aracın Performansının Belirlenmesi İçin Basitleştirilmiş Bir Model

Yüke karşı arazinin tepkisinin ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalardan en çok kullanılanı Bekker tarafından geliştirilen ve “bevametre tekniği” olarak bilinen çalışmadır.[2] Bu teknikte iki farklı deney seti kullanılmaktadır. Birincisi plakanın batma deneyleri diğeri ise kesme deneyleridir. Batma deneylerinde, aracın temas alanını temsil eden uygun boyuttaki bir plaka kullanılarak arazinin basınç–batış ilişkisi ölçülür. Aracın batma miktarı gibi normal basınç dağılımı da bu deneyle ölçülerek bulunur. Kesme deneylerinde ise aracın kesme işlemini temsil eden kesme halkası veya kesme plakası kullanılır(Şekil2.3).[3]



Şekil 2.3 Arazinin Kesme Dayanımı Parametrelerini Ölçmek İçin Kullanılan Dikdörtgen ve Halka Plakalar

Bu deneylerde de, kesme gerilimi–kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi ve arazinin kesme dayanımı ölçülür. Bu değerler, araçla arazi arasında oluşan kesme gerilmesi dağılımının ve cer kuvvetinin belirlenmesinde önemlidir.

2.3.1. Basınç-Batış İlişkisi

Basınç–batış verileri deneylerle bulunduktan sonra, arazi taşıtlarının performanslarının belirlenmesinde kullanılmak üzere sınıflandırılabilirler. Arazinin tipine, yapısına ve şartlarına bağlı olarak, basınç – batış ilişkisini karakterize eden farklı matematiksel fonksiyonlar kullanılmıştır.

Bu bağıntılardan bir tanesi de Bekker tarafından ortaya atılan ve homojen araziler için geçerli olan bir denklemdir. Eğer arazi homojen bir yapıya sahipse basınç–batış ilişkisi Şekil 2.4'deki formlardan bir tanesini alır ve aynı zamanda 2.4 denklemiyle de tanımlanabilir.[4]

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) z^n \quad (2.4)$$

2.4 denkleminde ;

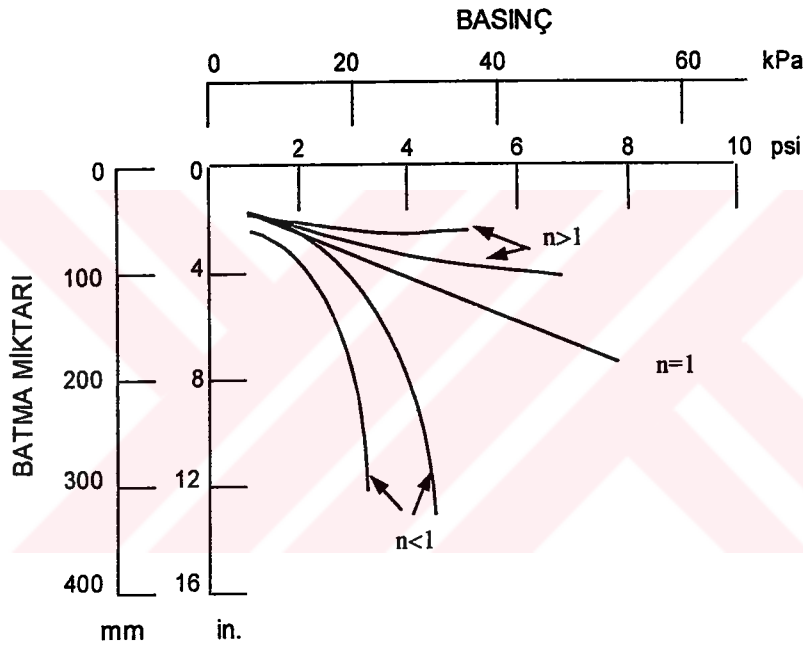
p : Araziye uygulanan basınç değeri

b : Temas alanının küçük boyutu

(dikdörtgensel bir alanın genişliği veya dairesel bir alanın yarıçapı)

z : Batma miktarı

k_c , k_ϕ ve n : Basınç – batış parametreleridir.



Şekil 2.4 Farklı Tipteki Homojen Topraklar İçin Basınç-Batış İlişkileri

Bir arazi taşıtının belirli bir arazi üzerindeki performansının belirlenebilmesi için arazinin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü taşıtın hareketini arazinin özellikleri sınırlandırmaktadır. Tablo 2.1’de çeşitli arazi tipleri için arazilerin kohezyon miktarı(c), iç kesme direnci açısı(ϕ) ve basınç-batış parametreleri(k_c, k_ϕ ve n) verilmektedir[1]. 4.bölümde yapılacak olan hesaplamalarda kolaylık sağlamak için tabloda verilen her arazi tipi için bir numara verilmiştir.

Tablo 2.1 Çeşitli Arazilerin Karakteristik Özellikleri

Arazi No	Arazi Tipi	Nem Oranı (%)	n	k_0		k_0		c		ϕ Derece
				lb/in^{n+1}	kN/m^{n+1}	lb/in^{n+2}	kN/m^{n+2}	lb/in^2	kPa	
01	Kuru Kum (LLL)	0	1.10	0.10	0.99	3.90	1528.43	0.15	1.04	28.0°
02	Killi toprak	38	0.50	12.00	13.19	16.00	692.15	0.60	4.14	13.0°
03	Kar (A.B.D.)		1.60	0.07	4.37	0.08	196.72	0.15	1.03	19.7°
04	Ağır Kil	25	0.13	45.00	12.70	140.00	1555.95	10.00	68.95	34.0°
05	Zayıf kil	22	0.20	45.00	16.43	120.00	1724.69	10.00	68.95	20.0°
06	Verimli Toprak	26	0.30	5.30	2.79	6.80	141.11	2.00	13.79	22.0°
07	Verimli Yayla Toprağı	51	1.10	7.50	74.60	5.30	2080.00	0.48	3.30	33.7°
08	Kar (Isveç)		1.44	0.30	10.55	0.05	66.08	0.87	6	20.7°

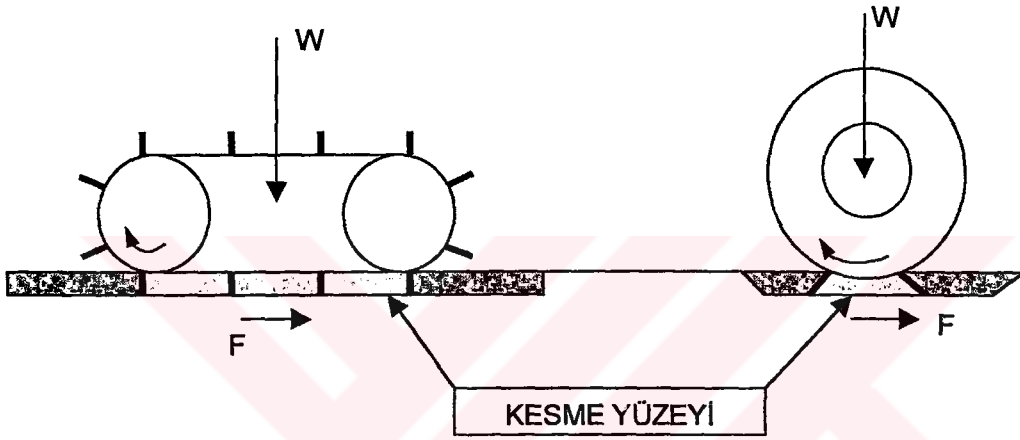
Farklı tipteki arazilerin özelliklerini belirlemek için yapılan bir çalışmada Çin Halk Cumhuriyeti'nin güneyinde 1974-1983 yılları arasında 100'ün üzerinde çeltik tarlasından alınan toprak örnekleri test edilmiştir. Bu örneklerin kesme dayanımını belirlemek için içerdikleri su, toprak ve kil miktarına göre kohezyon miktarları ve iç kesme direnci açıları belirlenmiştir. Bu örneklerden 16 tanesi karakteristik özellikleriyle birlikte Tablo 2.2'de gösterilmektedir.[11]

Tablo 2.2 Çeltik Tarlasından Alınan Toprak Örneklerinin Özellikleri

Toprak Örneklerinin Kaynakları	Su Yüzdesi (%)	Kum Yüzdesi (%)	Kil Yüzdesi (%)	Kohezyon (kPa)	İç Kesme Direnci Açısı (°)
Chengdu, Sichuan	57.8	19.9	28.8	1.40	30.9
Guanghan, Sichuan	32.2	3.3	34.4	3.07	30.8
Jianyang, Sichuan	47.5	10.4	40.6	3.00	26.6
Baxian, Sichuan	58.5	15.9	35.7	4.90	15.5
Yueyang, Hunan	52.3	7.1	32.1	4.71	18.2
Wuhan, Hubei	61.1	4.7	59.3	4.61	17.1
Wuhu, Anhui	58.1	4.9	35.1	4.54	19.5
Chaoxian, Anhui	35.2	1.1	60.1	6.76	15.6
Wujin, Jiangsu	34.7	3.0	50.3	7.55	2.8
Guanyun, Jiangsu	58.2	1.0	68.3	8.63	15.0
Songjiang, Shanghai	54.0	6.5	39.1	4.47	14.5
Chongming, Shanghai	47.6	0.1	51.2	5.16	15.1
Haikou, Guangdong	35.0	46.0	30.0	3.04	24.1
Kaili, Guizhou	46.2	12.8	47.6	3.60	24.2
Guiyang, Guizhou	67.8	9.4	53.8	3.73	14.6
Kuming, Yunnan	61.2	24.9	45.5	10.99	0.2

2.3.2 Kesme Gerilmesi-Kesme Yerdeğiştirmesi İlişkisi

Bir palete ya da tekerleğe bir moment uygulandığında, araçla arazi arasında Şekil 2.5' de gösterildiği gibi bir kesme işlemleri başlar. Araçtaki itişin ve kaymanın miktarının bulunması için arazinin kesme gerilmesi–kesme yerdeğiştirmesi ilişkisine ihtiyaç duyulur ve bu ilişki de bevametre tekniği kullanılarak ölçülebilir. Şekil 2.6'da kum için farklı kesme araçları kullanılarak belirlenen kesme gerilmesi–kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi gösterilmektedir.[5]

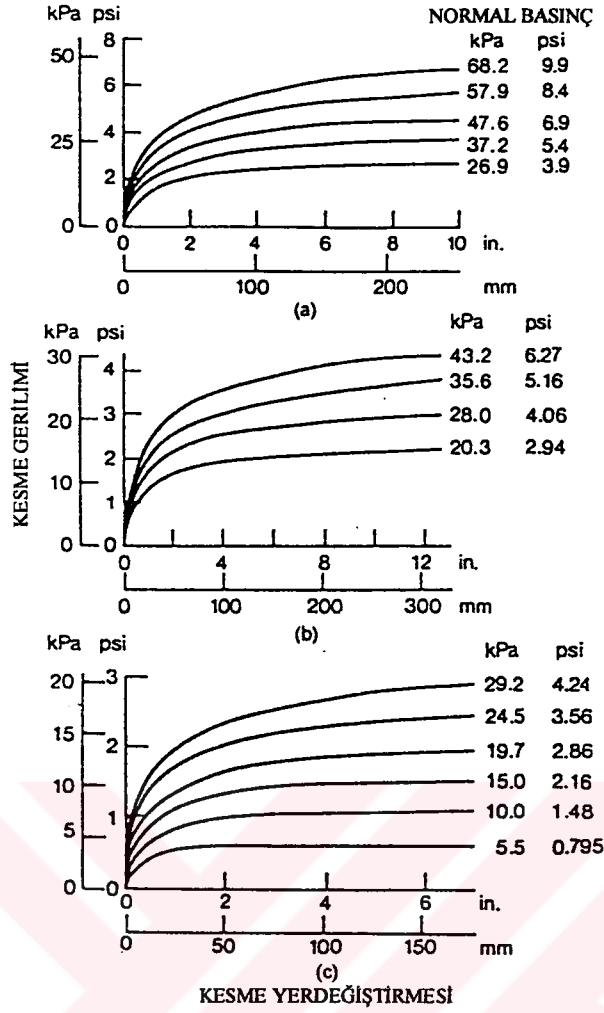


Şekil 2.5 Bir Paletin ve Bir Tekerleğin Kesme İşlemi

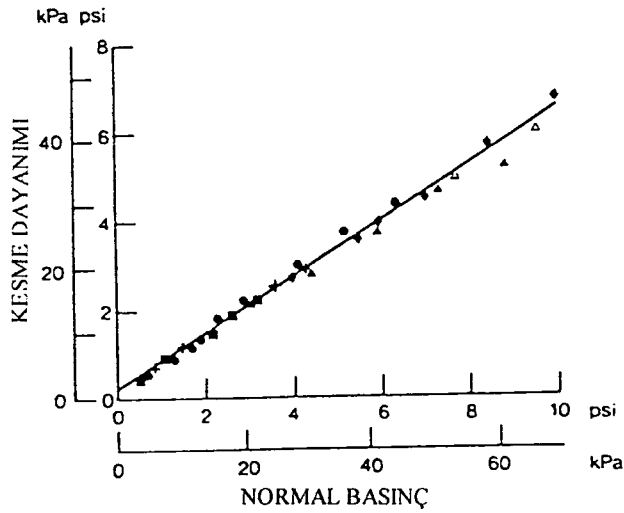
Eğer bir araziye uygulanan normal basınca karşılık arazide oluşan maksimum kesme gerilmesi bir grafik üzerinde işaretlenirse Şekil 2.7' deki gibi bir doğru elde edilebilir. Bu doğrunun eğimi iç kesme direnci açısını(ϕ) belirler. Doğrunun, kesme gerilimi eksenini kestigi nokta ise arazinin kohezyonunu(c) verir.

Şekil 2.7'de verilen sonuçlar kesme kutusu, kesme halkası, dikdörtgen kesme plakası ve rijit bir palet gibi farklı kesme araçları kullanılarak elde edilen kesme dayanımı değerlerini içermektedir.[1]

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre üç tip kesme gerilmesi–kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi gözlenmiştir. Kil, kum, kar gibi yeryüzünde çok sık rastlanılan ve en çok kullanılan arazi tiplerinde kesme gerilmesi ile kesme yerdeğiştirmesi arasındaki



Şekil 2.6 (a) Dış çapı 22.2cm olan Kesme Halkası kullanılarak
 (b) Dış çapı 29.8cm olan Kesme Halkası kullanılarak
 (c) 13.2x71.1cm boyutlarında rijit bir palet kullanılarak elde edilen
 Kesme Gerilimi-Kesme Yerdeğiştirmesi İlişkisi



Şekil 2.7 Kumun Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Kesme Dayanımı Değerleri

ilişki Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Şekil 2.8'den de görüleceği gibi kesme gerilmesi başlangıçta kesme yerdeğiştirmesindeki artışla hızlı bir yükseliş göstermektedir, daha sonra kesme yerdeğiştirmesinin artışıyla sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu tip kesme gerilmesi–kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi Janosi ve Hanamoto tarafından eksponansiyel bir fonksiyon olan 2.5 denklemiyle ifade edilmiştir[10].

$$\tau = \tau_{\text{maks}} (1 - e^{-j/K}) \quad (2.5)$$

2.5 denkleminde 2.1 denklemiyle belirtilen τ_{maks} yerine konulursa;

$$\tau = (c + \sigma \tan \phi)(1 - e^{-j/K}) \quad (2.6)$$

denklemini bulunur. Bu denklemde ;

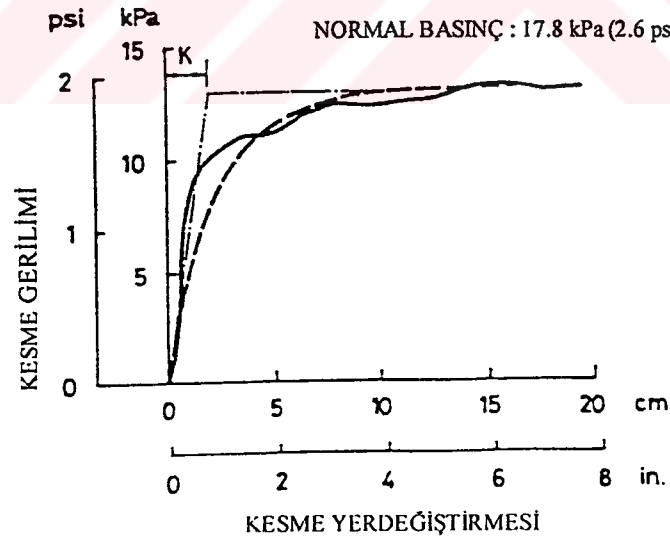
τ : Kesme gerilmesi

j : Kesme yerdeğiştirmesi miktarı

c : Arazinin kohezyonu

ϕ : Arazinin iç kesme direnci açısı

K : Kesme deformasyon modülü'dür.



Şekil 2.8 Basit Eksponansiyel Formun Kesme Eğrisi

K değeri, maksimum kesme gerilmesinin oluşması için gerekli olan kesme yerdeğiştirmesinin büyüklüğünün ölçüsü olarak düşünülebilir. K 'nın değeri kar için 2.5-5cm arasında değişmektedir[2].

2.4 PALETLİ ARAÇ PERFORMANSININ PARAMETRİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Arazi taşıtları paletli ve tekerlekli arazi taşıtları olarak iki ayrı grupta incelenebilir. Özel olarak hazırlanmamış bir arazi üzerinde hareket eden palet ve tekerleğin mekaniği hakkındaki çalışmalar çok önemlidir. Amaç, dizayn parametrelerine ve arazi karakteristiklerine bağlı olarak araç performanslarının belirlenmesi için güvenilir metodlar oluşturmaktır.

Palet sisteminin performansının belirlenmesi için geliştirilen metodların en eskilerinden bir tanesi Bekker tarafından geliştirilen methoddur. Bu methodda, paletin araziye rijit temas ettiği varsayılmıştır. Bevametre tekniği ile ölçülen arazinin basınç-batış ilişkisi kullanılarak paletin batması ve arazinin sıkışması sonucu oluşan hareket direnci belirlenir. Arazinin kesme gerilimi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi ve kesme dayanımı kullanılarak paletin itme-kayma ilişkisi ve maksimum cer kuvveti hesaplanır.

2.4.1 Paletin Hareket Direnci:

Paletli bir aracın araziye batmasıyla birlikte araç arazide hareket ettikçe aracın paletiyle arazi arasında basınç ve kesme gerilimi oluşur[7]. Eğer aracın ağırlık merkezi paletin temas bölgesinin orta noktasına yerleştirildiyse, normal basınç dağılımı üniform olarak düşünülebilir (Şekil 2.2). Diğer taraftan, eğer aracın ağırlık merkezi öne ya da arkaya doğruysa, yamuk formunda bir batış dağılımı gözlenir[1].

Temas alanında üniform bir temas basıncına sahip paletin araziye batma miktarını bulmak için Bekker tarafından geliştirilen 2.4 denklemi kullanılabilir. Bu denklem kullanılarak bulunan batma miktarı (z_o) aşağıdaki 2.7 denklemiyle gösterilmektedir.

$$z_o = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{W/bl}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} \quad (2.7)$$

Bu denklemde;

p : Normal basınç

W : Normal yük

b : Paletin araziye temasta olduğu genişlik

l : Paletin araziye temasta olduğu uzunluk'dur.

Araziyi sıkıştırarak b genişliğinde, l uzunluğunda ve z_0 derinliğinde bir iz yaratmak için yapılan iş miktarını bulmak için 2.8a denklemindeki iş tanımında 2.4 denklemini yerine konularak aşağıda verilen 2.8c denklemine ulaşılır:

$$I_s = bl \int_0^{z_0} p dz \quad (2.8a)$$

$$= bl \int_0^{z_0} (k_c/b + k_\phi) z^n dz \quad (2.8b)$$

$$= bl(k_c/b + k_\phi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right) \quad (2.8c)$$

Eğer 2.8 denkleminde, 2.7 denkleminde tanımlanan batma miktarı (z_0) yerine konulursa 2.9 denklemindeki iş tanımı elde edilir.

$$I_s = \frac{bl}{(n+1)(k_c/b + k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{bl} \right)^{(n+1)/n} \quad (2.9)$$

Bir paletin yatay doğrultuda l uzunluğu kadar çekilmesi durumunda, arazinin sıkışması nedeniyle oluşan hareket direncinin (R_c) büyüklüğüne eşit olan kuvvet tarafından yapılan iş l uzunluğunda bir iz yapmak için düşey yönde yapılan işe eşitlenebilir.

$$R_c l = \frac{bl}{(n+1)(k_c/b + k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{bl} \right)^{(n+1)/n} \quad (2.10)$$

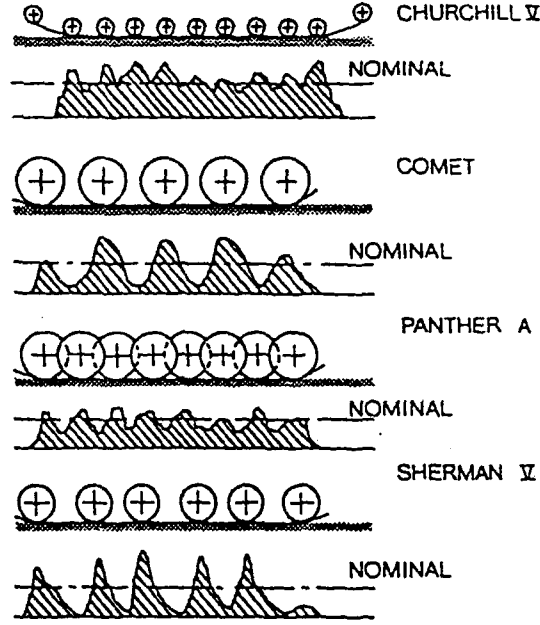
2.10 denkleminde hareketle aşağıda 2.11 denkleminde verilen hareket direnci ifadesi bulunur:

$$R_c = \frac{b}{(n+1)(k_c/b + k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{bl} \right)^{(n+1)/n} \quad (2.11)$$

Bu denklem, Bekker'in basınç-batış ilişkisine dayanarak, düzenli basınç dağılımına sahip bir paletin araziye sıkıştırmasına bağlı olan hareket direncinin hesaplanmasını sağlar.

Tarımda ve inşaat endüstrisinde düşük hızlarda kullanılan, daha uzun palet adımına sahip olan ve daha fazla sayıda ancak küçük çaplı tekerleği olan paletli araçların paletlerinin rijit basma yüzeyine sahip oldukları söylenebilir. Bu tip taşıtlarda tekerleklerin altındaki normal basınç genellikle keskin tepeler oluşturmaz. Bununla birlikte, yüksek hızlar için tasarlanan paletli taşıtların (paletli askeri taşıtlar gibi) rijit bir basma yüzeyine sahip oldukları varsayımı gerçekçi değildir. Yüksek çalışma hızlarını elde etmek için, hız değişimlerini ve titreşimleri azaltmak için daha kısa palet adımlarının olması önemlidir. Ancak, aracın büyük engelleri geçebilme kabiliyetine sahip olması için yeterli süspansiyon hareketi olan büyük tekerlekler ihtiyacı duyulur. Daha az sayıda (5-7) büyük çaplı tekerleklerin ve kısa palet adımlarının kullanılması sonucu, paletin altındaki normal basınç dağılımı dengeli olmaz ve tekerleklerin altında önemli basınç tepeleri gözlenir. Şekil 2.9'da farklı tasarım özelliklerine sahip paletli araçların altındaki arazi yüzeyinden 0.23m. derinlikte ölçülen basınç dağılımları görülmektedir[8]. Şekil 2.9'dan daha az sayıdaki, büyük çaplı ve daha kısa palet adımı paletli askeri taşıtlar için tepe basınç değerinin ortalama zemin basıncından çok daha fazla olduğu görülebilir. Bu tip paletli araçlar için, yukarıdaki (2.7) ve (2.10) denklemleri aracın batma miktarı ve hareket direnci için gerçekçi sonuçlar vermeyecektir.[1]

Paletli bir arazi taşıtının hareketini arazinin özellikleri sınırlandırmaktadır. Basınç-batış ilişkisi kullanılarak bulunan ve (2.10) denklemiyle hesaplanabilen hareket direnci aracın performans hesaplamalarında oldukça önemlidir. Bunun yanında arazinin kesme gerilmesi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisi de paletli bir arazi taşıtının maksimum cer kuvvetinin ve kayma miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bölüm 2.4.2'de paletli bir arazi taşıtında arazinin kesme dayanımına bağlı olarak oluşabilecek maksimum cer kuvveti ve bu cer kuvvetinin sonucunda da aracın arazideki kayma miktarının belirlenmesi anlatılmaktadır.



Şekil 2.9 Çeşitli Paletli Araçların Altındaki Toprak Yüzeyinden 23cm Derinlikte Ölçülen Normal Basınç Dağılımı[8]

2.4.2 Paletin Cer Kuvveti ve Kayması

Bir paletteki cer kuvveti Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi arazinin kesilmesiyle oluşur. Palet tarafından oluşturulabilecek maksimum cer kuvveti (F_{maks}) arazinin kesme dayanımı(τ_{maks}) ve temas alanı (A) ile hesaplanabilir.

$$F_{maks} = A\tau_{maks} \quad (2.12)$$

2.1 denklemindeki kesme dayanımı ifadesi 2.12 denkleminde yerine konularak maksimum cer kuvvetinin ifadesi;

$$\begin{aligned} F_{maks} &= A (c + p \tan\phi) \\ &= Ac + W \tan\phi \end{aligned} \quad (2.13)$$

olarak bulunur. Bu denklemden;

A : Paletin temas alanı

c, ϕ : Arazinin kohezyonu ve iç kesme direnci açısı'dır.

Kuru kum gibi sürtünmeli bir toprakta kohezyon miktarı düşük olduğundan “c” değeri ihmal edilebilir, bu durumda maksimum cer kuvveti aracın ağırlığına bağlıdır. Araç ne kadar ağır olursa oluşacak cer kuvveti de o kadar fazla olur. Paletin boyutları maksimum cer kuvvetine etki etmez. Kuru kum için iç kesme direnci açısı en fazla 35° olabilir. Bu nedenle kuru kumda bir aracın maksimum cer kuvveti yaklaşık olarak araç ağırlığının %70'i kadardır. Doymuş kil gibi kohezif bir toprakta iç kesme direnci açısının(ϕ) değeri düşüktür ve maksimum cer kuvveti öncelikle paletin temas alanına bağlıdır; aracın ağırlığının etkisi düşüktür. Bu nedenle, böyle bir durumda paletin boyutları çok önemlidir. Temas alanı arttıkça paletin yaratacağı itme de artar.

2.13 denkleminin sadece paletli bir araç için maksimum cer kuvvetinin belirlenmesinde kullanılabileceği unutulmamalıdır. Aracın performans hesabında, bütün çalışma aralığında paletin kaymasıyla oluşan itme dağılımının değişiminin hesaplanması gerekir. Kesme gerilimi kesme yerdeğiştirmesinin bir fonksiyonu olduğundan, itmeyle kayma arasındaki ilişkiyi belirlemek için paletin altındaki kesme yerdeğiştirmesinin gelişiminin incelenmesi önemlidir. Şekil 2.10'da paletin altında çeşitli noktalarındaki kesme yerdeğiştirmesi şematik olarak gösterilmiştir. 1 noktasında palet araziyle yeni temasa geçmektedir. 2,3,4,5 noktalarında aynı kesme yerdeğiştirmesi oluşmaz çünkü bu noktalar araziye belli bir süredir kesmektedirler. Yatay kesme yerdeğiştirmesinin miktarı(j) temas uzunluğu boyunca artar ve temas bölgesinin arkasında maksimum değerine ulaşır. Bir paletin altındaki kesme yerdeğiştirmesinin sayısal olarak incelenmesi için öncelikle paletin kayma miktarı(i) tanımlanmalıdır. Bu tanım 2.14 denklemiyle verilir:

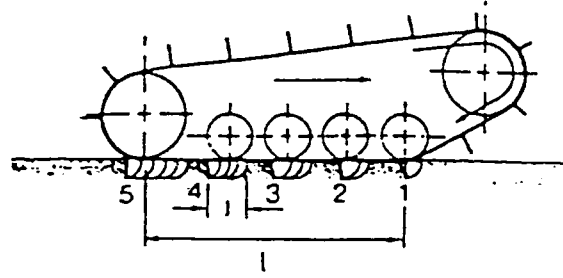
$$i = 1 - \frac{V}{r\omega} = 1 - \frac{V}{V_t} = \frac{V_t - V}{V_t} = \frac{V_j}{V_t} \quad (2.14)$$

Bu denklemde;

V : Paletin ileri yöndeki gerçek hızı

V_t : Açısal hız(ω) ve zincir dişlisi adım dairesinin yarıçapı (r) ile hesaplanabilen teorik hız.

V_j : Zemine göre paletin kayma hızı'dır.



Şekil 2.10 Bir Paletin Altındaki Kesme Yerdeğiştirmesinin Gelişimi

V_j paletin araziyle temasta olduğu her noktada aynıdır ve teorik hızla(V_t) gerçek hız arasındaki fark olarak tanımlanır[9]. Araç kayarken V_j hızı, aracın hareketine ters yönde olacaktır. Diğer taraftan araç kızıklama yaparken, V_j aracın hareketiyle aynı doğrultuda olacaktır. Temas alanının ön noktasından x mesafe kadar arkadaki bir noktada kesme yerdeğiştirmesi 2.15 denklemleriyle ifade edilmiştir:

$$j = V_j t \quad (2.15)$$

2.15 denklemindeki t değeri, $t = x / V_t$ (Noktanın araziyle temasta olduğu süre)'dir. Bu değer 2.15 denkleminde yerine konularak kesme yerdeğiştirmesi tanımlanabilir:

$$j = \frac{V_j x}{V_t} = ix \quad (2.16)$$

Bu formül düz bir paletin altındaki kesme yerdeğiştirmesinin temas alanının önünden arkasına doğru lineer olarak arttığını gösterir (Şekil 2.11). Kesme gerilmesinin oluşumu kesme yerdeğiştirmesiyle ilişkili olduğundan, temas alanı boyunca kesme gerilmesi dağılımı bulunabilir. Örneğin, temas alanının ön tarafından x mesafe kadar arkadaki bir noktada oluşan kesme gerilmesini hesaplamak için önce bu noktadaki kesme yerdeğiştirmesinin 2.16 denklemi yardımıyla hesaplanması gerekir. Kesme deneylerinden elde edilen kesme gerilmesi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisini gösteren Şekil 2.8'deki değerler veya 2.6 denklemi kullanılarak bu noktadaki kesme gerilmesi hesaplanabilir. Örnek olarak, belirli bir arazide verilen bir kayma değerinde bir paletin altındaki kesme gerilmesi dağılımı Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Belirli bir kayma

değerinde palet tarafından oluşan toplam cer kuvveti Şekil 2.11'deki kesme gerilmesi eğrisinin altında kalan alanla gösterilmektedir. Bunun yanında, kesme gerilmesi-kesme yerdeğiştirmesi ilişkisini tanımlamak için 2.6 denklemi kullanılırsa paletin toplam cer kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F = b \int_0^l \tau \, dx$$

$$= b \int_0^l (c + p \tan \phi) (1 - e^{-x/K}) \, dx \quad (2.17)$$

2.17 denklemi bir paletin cer kuvvetinin diğer faktörlerin yanında temas alanındaki basınç dağılımına bağlı olduğunu göstermektedir. Uniform bir basınç dağılımı olması durumunda basınç(p) mesafeden(x) bağımsızdır ve $p=W/bl$ olarak tanımlanır.

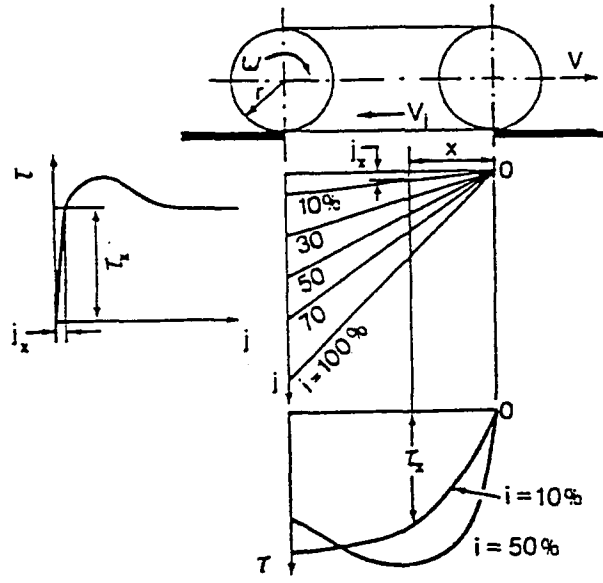
Bu durumda, toplam cer kuvveti;

$$F = b \int_0^l \left(c + \frac{W}{bl} \tan \phi \right) (1 - e^{-x/K}) \, dx = (Ac + W \tan \phi) \left[1 - \frac{K}{l} (1 - e^{-l/K}) \right] \quad (2.18)$$

olarak bulunur.

2.18 denklemi, cer kuvveti, aracın dizayn parametreleri, arazi özellikleri ve paletin kayması arasındaki fonksiyonel ilişkiyi vermektedir[1].

Kayma miktarının %100 olması durumunda ise 2.18 denklemiyle 2.13 denklemiyle aynı hali alır.



Şekil 2.11 Bir Paletin Altındaki Kesme Geriliminin Dağılımı

BÖLÜM 3

ARAZİ TAŞITLARININ PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

3.1 ARAZİ TAŞITLARI ve PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

Arazi taşıtlarının fonksiyonel işlevlerini yerine getirebilmeleri için gerekli olan performans özelliklerini belirlemek üzere farklı kriterler oluşturulmuştur. Mesela, traktörler için, ana fonksiyon değişik tipteki araç ve makinayı çekmektir. Bu sebeple traktörler için öncelikle çekme performansı ilgi alanıdır. Çekme performansı, çekme kuvvetinin araç ağırlığına oranıyla, çekme gücüyle ve çekme verimiyle tanımlanabilir. Bunun dışında taşıma amaçlı arazi taşıtlarında, taşıma verimliliği genellikle performans hesabında temel kriter olarak kullanılır. Askeri araçlar içinse, belli bir bölgedeki iki nokta arasında gerekli olan maksimum çalışma hızı hareketliliklerinin hesaplanmasında bir kriter olarak kullanılabilir.

Her ne kadar farklı arazi taşıtlarının performanslarını belirlemek için farklı kriterler kullanılsa da, bütün arazi taşıtlarının yerine getirmesi gereken ilk fonksiyon özel olarak hazırlanmamış yol şartlarında hareket edebilmeleridir.

3.1.1 Çekme Performansı

Bir arazi taşıtının çekme performansının belirlenebilmesi için öncelikle aracın çekme kuvveti, çekme gücü ve çekme verimi değerlerinin bilinmesi gerekir.

3.1.1.1 Çekme Kuvveti ve Çekme Gücü

Traktörler gibi çekme işlemi için tasarlanan arazi taşıtlarının çekme performansı çok önemlidir. Çünkü çekme performansı aracın çeşitli tipteki iş makinalarını (tarım aletleri, inşaat ve toprak kaldırma gereçleri gibi) çekme ve itme yeteneğini ifade eder. Çekme kuvveti, araca etkiyen cer kuvveti(F) ile yine araca etkiyen direnç kuvvetleri toplamının (ΣR) farkına eşittir.

$$F_d = F - \Sigma R \quad (3.1)$$

Bir aracın motorunun ve iletim özelliklerinin bilinmesi durumunda aracın hızı ve cer kuvveti hesaplanabilir. Ancak arazi taşıtlarında maksimum cer kuvveti genellikle araç-arazi ilişkisinin özellikleriyle sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte araca etkiyen cer kuvveti ile araçta bir itme ve bu itmenin sonucunda da kayma oluşur. Bu sebeple çekme kuvveti ve araç hızı kaymanın bir fonksiyonudur[1].

Bir arazi taşıtına etkiyen direnç kuvvetleri aracın iç direnci, engel aşma direnci, araç-arazi etkileşimi sonucunda oluşan direnç ve aerodinamik dirençtir.

İç Direnç : Tekerlekli araçlarda, iç direnç lastiklerdeki histerizis kayıplarından oluşur. Paletli araçlarda paletin iç direnci ve süspansiyon sistemi etkili olabilir. Palet-süspansiyon sistemindeki iç direncin kompleks yapısı nedeniyle iç direnci belirlemek için yeterli doğrulukta bir analitik yöntem oluşturmak çok zordur. İlk yaklaşım olarak, Bekker tarafından geliştirilen 3.2 denklemi paletli bir aracın iç direncinin ortalama değerini(R_{in}) hesaplamakta kullanılabilir[4].

$$R_{in} = W(222+3V) \quad (3.2)$$

Bu denklemdeki;

- R_{in} : İç direnç kuvveti
- W : Araç ağırlığı
- V : Araç hızı'dır.

Araç-Arazi ilişkisine bağlı oluşan direnç: Bu direnç arazi taşıtlarına etkiyen en önemli dirençtir. Aracın özel olarak hazırlanmamış yoldaki hareket kabiliyetinin büyük ölçüde hesaplanmasını sağlamaktadır. Arazinin sıkışmasından kaynaklanan direnç etkisini de kapsar. Bu direnç kuvvetinin nasıl hesaplandığı 2.Bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Engel aşma direnci: Arazi şartlarında çalışan araçlar, kütük,taş gibi engellerle karşılaşabilirler. Engel aşma direnci, direnç kuvveti(genellikle değişik büyüklüklerde ve

belirli bir yükseklikte zemine paralel olarak etkiyen) olarak düşünülebilir. Bu direnç kuvveti yer düzeyinden çok yukarıda etkirse, önemli bir yük hareketine neden olan bir moment yaratır. Özellikle askeri araçlar gibi engel aşması gerekli olan araçlarda aracın hareketindeki denklemlerde hesaba katılmalıdır. Genelde, engel aşma direncinin değeri deneylerden elde edilir.

Aerodinamik direnç: 48km/h(30mph)'ın altındaki hızlarda çalışan yol dışı araçlarda aerodinamik direnç önemli bir faktör değildir. Askeri araçlar gibi daha yüksek hızlar için dizayn edilen araçların performans hesaplarında aerodinamik direnç de hesaba katılabilir.

Aerodinamik direnç katsayısı genelde aracın şekline bağlıdır. Savaş tankları gibi ağır şartlarda çalışan araçlarda aerodinamik direnç katsayısı $C_D \approx 1.0$ 'dir ve ön alan 6 ila 8m²'dir.

Yukarıdaki direnç kuvvetlerine ek olarak, aracın eğimli bir yüzeye tırmanması gerektiği durumlarda tırmanma direnci hesaba katılmalıdır. Özellikle tankların 30° (%58) eğime kadar tırmanmaları gerekir.

Çekme gücü:

Çekme kuvveti ve araç hızının çarpımı çekme gücü olarak adlandırılır ve aracın potansiyel verimliliğini temsil eder.

$$P_d = F_d V = (F - \Sigma R) V_t (1 - i) \quad (3.3)$$

3.1.1.2 Çekme Verimi :

Arazi taşıtının motor gücünün ne kadarını çekme gücü olarak kullanabildiğinin tanımlanması için, genellikle çekme verimliliği kullanılır. Çekme gücünün(P_d), motorun verdiği güce(P) oranıyla tanımlanır.

$$\eta_d = \frac{P_d}{P} = \frac{F_d V}{P} = \frac{(F - \Sigma R) V_t (1 - i)}{P} \quad (3.4)$$

Motorun verdiği güç tekerlekte ulaşılabilen güç ve iletim verimliliği η_t cinsinden tanımlanabilir:

$$P = \frac{FV_t}{\eta_t} \quad (3.5)$$

3.5 denklemini 3.4 denkleminde yerine koyarak, çekiş verimliliğinin tanımı 3.6a ve 3.6b denklemleriyle verilebilir:

$$\eta_d = \frac{(F - \Sigma R)}{F} (1 - i) \eta_t = \frac{F_d}{F} (1 - i) \eta_t \quad (3.6a)$$

$$\eta_d = \eta_m \eta_s \eta_t \quad (3.6b)$$

Burada;

$\eta_m = F_d/F$ (hareket verimliliği) ve

$\eta_s = (1-i)$ (kayma verimliliği) 'dir.

Hareket verimliliği cer kuvvetinin çekme kuvvetine dönüşmesindeki kayıpları içerir. Sabit bir değere sahip olan hareket direnci için hareket verimliliği (η_m) çekme kuvvetinin artmasıyla artar.

Kayma verimliliği güç kayıplarını ve aynı zamanda aracın kaymasıyla aracın hızındaki azalmayı karakterize eder. Genellikle kayma, arazide hareket eden arazi taşıtlarının güç kayıplarındaki temel kaynaktır. Bu nedenle kaymanın azaltılması, arazi taşıtlarının çalışma verimliliğinin artırılmasında büyük bir öneme sahiptir.

3.1.2. Aracın Motor ve İletim Özelliklerinin Belirlenmesi :

Bir arazi taşıtının performansını iki faktör sınırlandırmaktadır. Birincisi araç-arazi ilişkisinde oluşabilecek maksimum cer kuvveti değeri, diğeri de motorun belirli bir iletim değerinde sağlayabileceği cer kuvveti değeridir. Bu değerlerden küçük olanı aracın performans potansiyelinin hesaplanmasını sağlar.

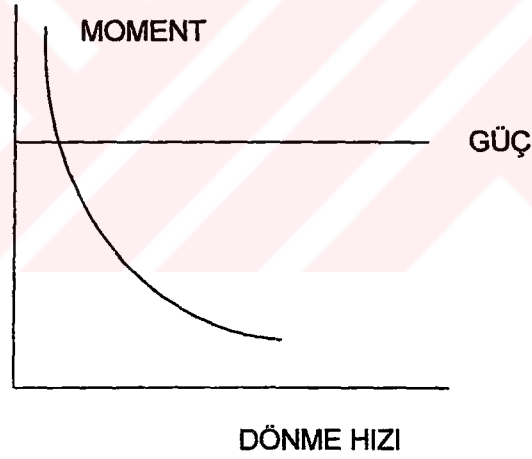
Bir arazi taşıtının performans değerlerinin hesaplanabilmesi için doğal olarak motor ve iletim özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu bölümde, bir aracın motor ve iletim özellikleri bilindiği takdirde araca etkiyen cer kuvvetinin ve motorun dönme sayısına bağlı olarak araçta oluşacak hızın nasıl hesaplandığına kısaca değinilmiştir.

3.1.2.1 Motor Özellikleri :

Bir aracın motorunun özelliklerini belirleyen üç önemli parametre vardır. Bunlar;

1. Motorun dönme sayısı
2. Motorun çıkış momenti
3. Motorun çıkış gücü

Bir motorun ideal performans özeliği motorun çıkış gücünün dönme hızına bağlı olmaksızın sürekli sabit olmasıdır. Bu durumda aracın çıkış momenti motorun dönme hızına bağlı olarak hiperbolik olarak değişir(Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Bir Araç Motorunun İdeal Performans Karakteristiği

Güç-moment-hız karakteristikleri ideale yakın olan motorlar vardır. İçten yanmalı motorlar ise daha kötü performans özelliklerine sahip olmasına rağmen yüksek güç/ağırlık oranı, yakıt ekonomisi, ucuzluğu gibi nedenlerle otomotiv uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. İçten yanmalı motorlara alternatif olabilecek gaz türbinli motorlar, Rankine çevrimli dıştan yanmalı motorlar, karma güç kullanan sistemler gibi çalışmalar yapılmaktadır[12].

Bir araca etkiyen cer kuvvetinin hesaplanabilmesi için, araç motorunun gücü, momenti ve dönme sayısının yanında aracın iletim özelliklerinin de bilinmesi gereklidir.

3.1.2.2. İletim Özellikleri :

Bir araçtaki iletim, motorun gücünün tekerleklerle ulaşması sırasında kullanılan sistemleri kapsar. Bu iletim oranı araçtan istenilen özelliklere göre belirlenir.

Motor ve iletim özelliklerine bağlı olarak bir araca etkiyen cer kuvveti 3.7 denklemi ile hesaplanabilir :

$$F = \frac{M_e \xi_o \eta_t}{r} \quad (3.7)$$

3.7 denkleminde;

M_e : Motorun dönme momenti

ξ_o : İletim oranı

η_t : İletim verimi

r : Tekerleğin yarıçapı'dır.

Motorun dönme hızıyla araç hızı arasındaki ilişki de 3.8 denklemiyle tanımlanabilir

$$V = \frac{2\pi r n_e}{\xi_o} (1-i) \quad (3.8)$$

3.8 denklemindeki

n_e : Motorun dönme sayısı(d/d)

i : Araçta oluşan kayma miktarı'dır.

3.2 YAKIT EKONOMİSİ

Arazi taşıtlarının yakıt ekonomisi, sadece motorun yakıt tüketimi özelliklerine bağlı değildir. Aynı zamanda iletim özellikleri, iç ve dış direnç kuvvetleri, çekme kuvveti ve

Çalışma hızına da bağlıdır. Toplam direnç kuvvetleri, çekme kuvveti ve araç hızı bilindiği takdirde gerekli motor çıkış gücü 3.9 denklemi yardımıyla hesaplanabilir.

$$P = \frac{(\Sigma R + F_d)V}{(1-i)\eta_t} \quad (3.9)$$

Motor ıkış gücü bulunduktan sonra bir saatte harcanan yakıt miktarı ise 3.10 denklemi yardımıyla bulunur.

$$u_h = Pu_s \quad (3.10)$$

3.10 denklemindeki u_s motorun spesifik yakıt tktim miktarıdır. Motorun birim güç başına bir saatte harcadığı yakıt miktarını kilogram cinsinden ifade eder.

Belirli bir arazideki hareket direnci ve aracın kayma miktarı, g gereksinimini etkiler ve büyük ölçüde aracın dizaynına bağlıdır. Sonuç olarak bir arazi taşıtının çekme performansı aracın arazi şartlarındaki yakıt ekonomisini önemli ölçüde etkilemektedir.

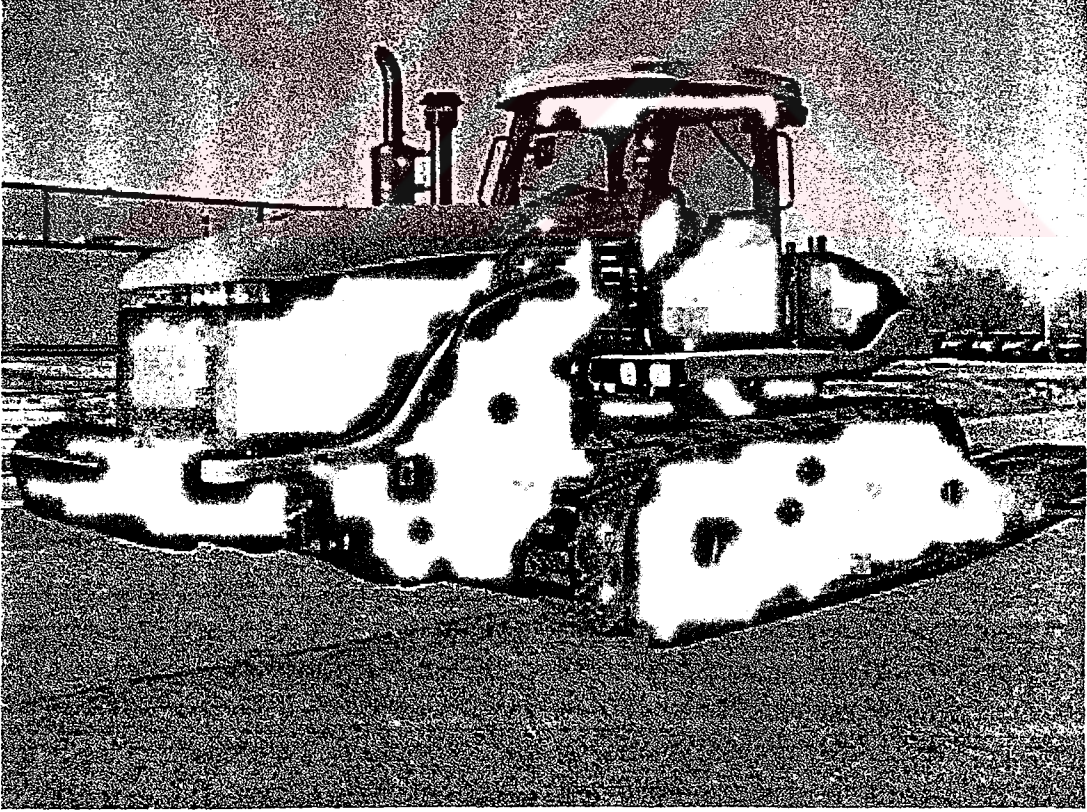
BÖLÜM 4

PALETLİ BİR ARAZİ TAŞITININ PERFORMANSININ HESAPLANMASINA DAİR BİR ÖRNEK

4.1 KULLANILAN ARAZİ TAŞITININ TANITILMASI:

Bir arazi taşıtının performansının belirlenmesinde kullanılan formüllerin tanımı verildikten sonra bu bölümde ise bir arazi taşıtının performansının belirlenmesine dair sayısal bir örnek yapılmıştır.

Bu uygulamanın yapılabilmesi için öncelikle bir arazi taşıtının teknik özellikleri belirlenmelidir. Bu tezde örnek olarak kullanılmak üzere bir firmaya ait paletli bir tarım traktörü baz alınmıştır(Şekil4.1). Ancak bu arazi taşıtının teknik özellikleri aynen alınmamış, bazı değerler de kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Paletli Bir Tarım Traktörünün Görünüşü

4.2 Örnek Hesaplama Yöntemi ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada ilk önce, araç için belirlenen değerlerle aracın performansının nasıl hesaplandığına dair bir örnek yapılmıştır. Daha sonra aracın temas alanı ve diğer özellikleri sabit tutularak palet genişliği ve palet uzunluğu değerleri değiştirilmiş ve bu değerlerin değişiminin aracın performansına olan etkileri belirlenmiştir. Bu işlem üç farklı arazi tipi için tekrarlanarak farklı arazilerdeki değişimlerin tespit edilebilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde arazilerin birbirleriyle karşılaştırılması imkanı da elde edilmiştir.

Sabit temas alanında palet genişliği ve palet uzunluğu değiştirilerek elde edilen veriler tablolandıktan sonra bir başka araç parametresi olan palet tahrik tekerleğinin yarıçapı değiştirilerek bu değişimin araç performansına etkileri de elde edilmiştir.

Bütün bu değişimler sonucunda arazi taşıtının performans hesabında kullanılan parametrelerin değerleri tablolar ve grafikler yardımıyla gösterilmiştir.

4.2.1 Baz Alınan Araç için Örnek Hesaplama Yöntemi

Bu bölümde bir arazi taşıtının performansının belirlenmesinde izlenen yolu gösterebilmek için örnek olarak belirlenen araç üzerinde yapılan hesap uygulamaları anlatılmaktadır.

Araç Özellikleri	:
Ağırlık(W)	: 18598kg = 182.26kN
Motor gücü	: 410hp/306kW
Seçilen değerler	:
Palet Genişliği(b)	: 0.635m.
Palet Uzunluk (l)	: 3.15m x 2
Temas Alanı(A)	: 4.00m ²
Tekerlek Yarıçapı(r)	: 0.47m
Çevrim Oranı(ξ)	: 16.0
İletim verimi (η _i)	: 0.85
Seçilen Arazi Tipi	: 1 No'lu arazi.(Tablo 2.1)

4.2.1.1 Hareket Direncinin Hesaplanması

Hareket direncinin belirlenebilmesi için öncelikle aracın araziye batma miktarının bulunması gerekmektedir :

Batma miktarı(z_0) 2.7 denklemi kullanılarak;

$$z_0 = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{182.26/4.00}{0.99/0.635 + 1528.43} \right)^{1/1.1} = (0.030)^{0.909} = 0.041\text{m}$$

olarak bulunur. Araca etkiyen en önemli direnç kuvveti ise hareket direncidir.

Hareket direnci ise;

$$R_c = 2b(k_c/b + k_\phi) \frac{z_0^{n+1}}{n+1} = \frac{2 \times 0.635 \times 1528.99 \times 0.041^{2.1}}{2.1} = 1.13\text{kN}$$

olarak bulunur.

4.2.1.2 Cer Kuvvetinin ve Kayma Miktarının Hesaplanması

Belirli kayma değerleri için oluşan cer kuvvetini bulmak için 2.18 denklemi kullanılır.

$$F = (2blc + W \tan \phi) \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-il/K}) \right] = F_{maks} \left[1 - \frac{K}{il} (1 - e^{-il/K}) \right]$$

Cer kuvvetinin belirlenebilmesi için öncelikle arazinin müsaade ettiği maksimum cer kuvvetinin belirlenmesi gerekmektedir ve 2.13 denklemi kullanılarak bulunabilir:

$$F_{maks} = 2 \times 0.635 \times 3.15 \times 1.04 + 182.26 \times 0.532 = 101.12\text{kN}$$

Maksimum cer kuvveti(F_{maks}) belirlendikten sonra 2.18 denklemi yardımıyla çeşitli kayma değerlerine göre cer kuvveti(F) hesaplanabilir:

Sözgelimi %3'lük bir kayma değeri ($i=3$) için bulunan F_{maks} değeri yukarıdaki denklemde yerine konulursa:

$$F = 101.12 \left[1 - \frac{0.05}{0.03 \times 3.15} \left(1 - e^{-0.03 \times 3.15 / 0.05} \right) \right] = 55.70 \text{ kN.}$$

bulunur. Bu şekilde hesaplanan, çeşitli kayma miktarlarında oluşabilecek cer kuvveti değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Aracın Farklı Kayma Değerlerinde Oluşan Cer Kuvveti

Kayma miktarı i (%)	Oluşan kuvvet değerleri F (kN)
1	26.10
2	43.63
3	55.70
4	64.22
5	70.40

Motordan gelen cer kuvvetinin hesaplanabilmesi için motorun çıkış momentinin bilinmesi gerekmektedir. Motorun dönme sayısına bağlı olarak oluşan güç ve moment değerleri de Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Kullanılan Motorun Dönme Sayısına Bağlı Olarak Oluşan Güç ve Moment Değerleri

Motorun dönme sayısı n_e (rpm)	Motorun verdiği güç P (hp/kW)	Motorun çıkış momenti M_e (Nm)
1500	390 / 292	1859
1800	410 / 306	1623
2100	410 / 306	1391

Tablo 4.2’de verilen değerlere göre araca etkiyen cer kuvveti motorun çeşitli dönme sayılarına bağlı olarak belirlenebilir. 3.7 denklemi yardımıyla motor 1500 devirde dönerken oluşan cer kuvveti;

$$F = \frac{M_e \xi \eta_t}{r} = \frac{1859 \times 16 \times 0.85}{0.47} = 53.79 \text{ kN}$$

olarak bulunur.

Araca etkiyen cer kuvvetinin değeri belli iken bu cer kuvvetinde araçta oluşan kayma miktarı Tablo 4.1 yardımıyla enterpolasyon yapılarak bulunabilir. Araca etkiyen cer kuvveti 53.79kN iken araçta oluşan kayma miktarı ;

$$i = \frac{53.79 - 43.63}{55.70 - 43.63} \times 100 = \%2.84$$

olarak bulunur.

4.2.1.3 Araç Hızının ve Çekme Performansının Belirlenmesi

Araçta oluşan kayma miktarı %2.84 olarak bulunduktan sonra aracın ulaşacağı hız 3.8 denklemi yardımıyla hesaplanabilir. Araç hızı

$$V = \frac{2\pi n_e}{\xi_0} (1-i) = \frac{1500 \times 2 \times 3.14 \times 0.47}{16} (1 - 0.0284) \times 0.06 = 16.13 \text{ km/h}$$

olarak bulunur.

Bu hız değerinde oluşacak iç direnç kuvveti ise 3.2 denklemi yardımıyla hesaplanabilir:

$$R_{in} = W(222 + 3V) = 18598/1000 [222 + (3 \times 16.13)] = 5.03 \text{ kN}$$

ve toplam direnç kuvveti de

$$\Sigma R = R_c + R_{in} = 1.13 + 5.03 = 6.16 \text{ kN}$$

olarak bulunur.

Çekme kuvvetinin değeri 3.1 denklemi kullanılarak,

$$F_d = F - \Sigma R = 53.79 - 6.16 = 47.63 \text{ kN}$$

ve çekme gücünün değeri de 3.3 denklemi kullanılarak

$$P_d = F_d \times V = 47.63 \times 16.13 / 3.6 = 213 \text{ kW}$$

hesaplanabilir.

Aracın çekme performansının hesabında bir başka önemli değer olan çekme verimi de 3.bölümde anlatıldığı gibi hesaplanabilir:

Hareket verimi:

$$\eta_m = (F_d/F) \times 100 = (47.63/53.79) \times 100 = \%88.6$$

Kayma verimi:

$$\eta_s = (1-i) \times 100 = (1-0.0284) \times 100 = \%97.16$$

olarak bulunduktan sonra çekme verimini bulmak için 3.6b denklemi kullanılır:

$$\eta_d = (\eta_t \times \eta_s \times \eta_m) \times 100 = 0.85 \times 0.9716 \times 0.886 \times 100 = \%73.1$$

4.2.2 Temas Alanı Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği ve Palet Uzunluğu Değerlerinin Değişimiyle Bulunan Performans Özellikleri

Aracın temas alanı ve diğer özellikleri sabit tutularak palet genişliği ve palet uzunluğu değerleri değiştirilmiş ve farklı arazi tipleri için elde edilen performans özelliklerinin değerleri Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3'de kuru kum için bulunan değerler gösterilmektedir. Hesaplama yapılırken motorun üç farklı dönme sayısındaki cer kuvvetleri dikkate alınmıştır. Aynı şekilde sırasıyla killi toprak ve kar(A.B.D.) şartlarında aracın göstereceği performans özellikleri tablolanmıştır.

Elde edilen değerlerin daha açık bir şekilde görülerek yorumlanabilmesi için grafiklerle gösterimi Ek-A'da verilmiştir. Farklı arazi tiplerinin karşılaştırmasını yapabilmek için ise bu değerler arazilere göre düzenlenerek Ek-B'de grafiklerle gösterilmiştir.

Palet uzunluğu ve palet genişliğinin değişimiyle performans özelliklerinin ne şekilde değiştiği gösterildikten sonra aracın bir başka değişken parametresi olan tekerlek yarıçapı değiştirilerek aynı performans özellikleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 4.6'da detaylı olarak gösterilmektedir. Bu tablodaki değerlerin de daha kolay

Tablo 4.3 Örnek Alınan Aracın 1No.'lu Arazideki Performans Hesaplamaları

Motor hızı (n_a) (rpm)	Cer Kuvveti (F) (kN)	Kayma Miktarı (i) (%)	Araç hızı (V) (km/h)	Direnç kuvveti (ΣR) (kN)	Çekme Kuvveti (F_d) (kN)	Çekme Gücü (P_d) (kW)	İletim Verimi (η_d) (%)	Kayma Verimi (η_s) (%)	Hareket Verimi (η_m) (%)	Çekme Verimi (η_d) (%)
1500	53.79	2.84	16.13	6.16	47.63	213	85.0	97.16	88.6	73.1
1800	46.96	2.28	19.47	6.34	40.62	220	85.0	97.72	86.5	71.8
2100	40.25	1.81	22.82	6.53	33.72	213	85.0	98.19	83.8	69.9
1500	53.79	3.41	16.04	6.38	47.41	211	85.0	96.59	88.1	72.4
1800	46.96	2.72	19.38	6.57	40.39	217	85.0	97.28	86.0	71.1
2100	40.25	2.15	22.74	6.75	33.50	211	85.0	97.85	83.2	69.2
1500	53.79	3.95	15.95	6.60	47.19	209	85.0	96.05	87.7	71.6
1800	46.96	3.15	19.30	6.79	40.17	215	85.0	96.85	85.5	70.4
2100	40.25	2.52	22.66	6.97	33.28	209	85.0	97.48	82.7	68.5

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.635m$
 $l = 3.15m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.889m$
 $l = 2.25m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

Tablo 4.4 Örnek Alınan Aracın 2 No'lu Arazideki Performans Hesaplamaları

Motor hızı (n_a) (rpm)	Cer Kuvveti (F) (kN)	Kayma Miktarı (l) (%)	Araç hızı (V) (km/h)	Direnç kuvveti (ΣR) (kN)	Çekme Kuvveti (F_d) (kN)	Çekme Gücü (P_d) (kW)	İletim Verimi (η_d) (%)	Kayma Verimi (η_s) (%)	Hareket Verimi (η_m) (%)	Çekme Verimi (η_d) (%)
1500	53.79	19.30	13.40	5.03	48.76	181	85.0	80.70	90.6	62.2
1800	46.96	8.60	18.21	5.30	41.66	211	85.0	91.40	88.7	68.9
2100	40.25	4.84	22.12	5.52	34.73	213	85.0	95.16	86.3	69.8
1500	53.79	23.21	12.75	5.03	48.76	173	85.0	76.79	90.6	59.2
1800	46.96	9.70	17.99	5.32	41.64	208	85.0	90.30	88.7	68.1
2100	40.25	6.20	21.80	5.54	34.71	211	85.0	93.80	86.2	68.8
1500	53.79	26.97	12.12	5.03	48.76	164	85.0	73.03	90.7	56.3
1800	46.96	11.53	17.63	5.34	41.62	204	85.0	88.47	88.6	66.7
2100	40.25	7.35	21.54	5.55	34.70	208	85.0	92.65	86.2	67.9

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.635m$
 $l = 3.15m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.889m$
 $l = 2.25m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

incelenebilmesi için grafiklerle gösterimi Ek-C'de verilmektedir.

4.3 SONUÇLAR VE YORUMLAR :

4.3.1. Temas Alanı Sabit Kalmak Üzere Aracın Palet Genişliği ve Palet Uzunluğu Değiştirilerek Bulunan Performans Özellikleri

1. Şekil A.1'den de görülebileceği gibi her üç arazide yapılan hesaplamalar sonucunda paletli bir arazi taşıtında temas alanı sabit kalmak üzere palet genişliğinin artması ve palet uzunluğunun azalması sonucunda araçta oluşacak kayma miktarı artmaktadır.

Temas alanı sabit kaldığı için aracın araziye batma miktarının sabit kaldığı varsayılabilir. Bu durumda arazinin müsaade ettiği maksimum cer kuvvetinin değeri de sabittir. Aracın motorunun uyguladığı cer kuvveti de değişmediği için 2.18 denkleminde de görüleceği gibi palet uzunluğunun azalmasıyla kayma miktarı artacaktır.

2. Şekil A.2'de paletli bir arazi taşıtına etkiyen direnç kuvvetlerinin toplam değerinin aracın araziye olan temas alanı sabit kalmak üzere palet genişliği ve palet uzunluğu ile değişimi verilmektedir. Sabit temas alanında palet genişliğinin artması ve palet uzunluğunun azalması sonucunda toplam direnç kuvveti artmaktadır.

Ancak bu artışın oranı arazilere göre farklılıklar göstermektedir. Toplam direnç kuvvetini oluşturan hareket direnci ve iç dirençdir. Hareket direnci palet genişliğinin artması nedeniyle artacaktır. Ancak hareket direncindeki artışın oranı araziye göre farklılık göstermektedir. İç direnç ise aracın hızına bağlıdır. Bir önceki maddeden görüleceği gibi bu durumda kayma miktarının artması hızın azalmasına ve dolayısıyla iç direncin de azalmasına neden olur. Sonuç olarak hareket direnci artarken iç direnç azalacaktır. Arazinin özelliklerine göre araca etkiyen toplam direnç kuvvetinin değişimi farklılık göstermektedir. Şekil A.2'deki 2 No.'lu arazideki artış oranı da diğer iki arazideki artış oranlarına göre oldukça azdır.

3. Şekil A.3'de ise yine palet uzunluğu ve palet genişliğinin değişimiyle çekme kuvvetindeki değişim gösterilmektedir. Çekme kuvvetinin değeri 3.1 denkleminde

Tablo 4.5 Örnek Alınan Aracın 3 No'lu Arazideki Performans Hesaplamaları

Motor hızı (n_m) (rpm)	Cer Kuvveti (F) (kN)	Kayma Miktarı (l) (%)	Araç hızı (V) (km/h)	Direnç kuvveti (ΣR) (kN)	Çekme Kuvveti (F_d) (kN)	Çekme Gücü (P_d) (kW)	İletim Verimi (η_d) (%)	Kayma Verimi (η_s) (%)	Hareket Verimi (η_m) (%)	Çekme Verimi (η_d) (%)
1500	53.79	7.73	15.32	13.71	40.08	171	85.0	92.27	74.5	58.4
1800	46.96	4.69	18.99	13.92	33.04	174	85.0	95.31	70.4	57.0
2100	40.25	3.35	22.47	14.11	26.14	163	85.0	96.65	64.9	53.3
1500	53.79	8.93	15.12	15.49	38.30	161	85.0	91.07	71.2	55.1
1800	46.96	5.93	18.74	15.69	31.27	163	85.0	94.07	66.6	53.2
2100	40.25	3.98	22.32	15.89	24.36	151	85.0	96.02	60.5	49.4
1500	53.79	9.86	14.97	17.26	36.53	152	85.0	90.14	67.9	52.0
1800	46.96	7.10	18.51	17.46	29.50	152	85.0	92.90	62.8	49.6
2100	40.25	4.67	22.16	17.66	22.59	139	85.0	95.33	56.1	45.5

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.635m$
 $l = 3.15m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.889m$
 $l = 2.25m$
 $r = 0.47$
 $\xi = 16.0$

Tablo 4.6 Örnek Alınan Aracın 3 No'lu Arazide Palet Tekerleğinin Yarıçapına Bağlı Olarak Performans Hesaplamaları

Motor hızı (n_m) (rpm)	Cer Kuvveti (F) (kN)	Kayma Miktarı (I) (%)	Araç hızı (V) (km/h)	Direnç kuvveti (ΣR) (kN)	Çekme Kuvveti (F_a) (kN)	Çekme Gücü (P_a) (kW)	İletim Verimi (η_d) (%)	Kayma Verimi (η_s) (%)	Hareket Verimi (η_m) (%)	Çekme Verimi (η_d) (%)
1500	66.20	14.41	12.70	15.35	44.85	158	85.0	85.59	74.5	54.2
1800	52.55	7.74	16.43	15.55	37.00	169	85.0	92.26	70.4	55.2
2100	45.04	6.05	19.51	15.73	29.31	159	85.0	93.95	65.1	52.0
1500	53.79	8.93	15.12	15.49	38.30	161	85.0	91.07	71.2	55.1
1800	46.96	5.93	18.74	15.69	31.27	163	85.0	94.07	66.6	53.2
2100	40.25	3.98	22.32	15.89	24.36	151	85.0	96.02	60.5	49.4
1500	48.62	6.12	17.24	15.60	33.02	158	85.0	93.88	67.9	54.2
1800	42.45	4.46	21.06	15.82	26.63	156	85.0	95.54	62.7	50.9
2100	36.38	3.33	24.86	16.03	20.35	140	85.0	96.67	55.9	46.0

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.42m$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.47m$
 $\xi = 16.0$

$A = 4.00m^2$
 $b = 0.762m$
 $l = 2.625m$
 $r = 0.52m$
 $\xi = 16.0$

de görüleceği gibi araca etkiyen cer kuvvetinin sabit olması durumunda çekme kuvvetinin değişimi toplam direnç kuvvetlerinin değişimine bağlıdır. Çekme kuvvetinin değeri toplam direnç kuvvetinin artmasıyla azalır, azalmasıyla artar.

4. Şekil A.4'de çekme gücündeki değişim gösterilmektedir. Çekme gücü; çekme kuvveti ve araç hızının bir fonksiyonudur. Artan palet genişliği ve azalan palet uzunluğu ile kayma miktarı artacağından araç hızı da azalacaktır. Aynı durumda toplam direnç kuvvetleri de artış gösterdiğinden çekme kuvveti de azalacak ve buna bağlı olarak çekme gücü de azalacaktır.
5. Şekil A.5'te çekme verimindeki değişim gösterilmektedir. Aracın motor gücü motorun dönme sayısı sabit oldukça değişmeyeceğinden, 3.4 denkleminde de görülebileceği gibi çekme verimi de çekme gücünün artmasıyla artar; azalmasıyla azalır.

4.3.2. Aynı Şartlar Altında Farklı Arazilerde Elde Edilen Performans Değerleri

Aynı şartlar altındaki değişik tipteki arazilerde elde edilen performans değerlerinin karşılaştırılması Ek-B'de verilmiştir. Buna göre;

1. Şekil B.1'den görüleceği gibi 2 No.'lu arazide oluşan kayma miktarı diğer iki araziye göre oldukça fazladır. Arazilerdeki kayma miktarını belirleyen en önemli faktör iç kesme direnci açısıdır(ϕ). İç kesme direnci açısı küçüldükçe arazide oluşan kayma miktarı artar. 2 No.'lu arazinin iç kesme direnci açısı diğer iki arazi tipine göre oldukça düşüktür.
2. Toplam direnç kuvveti daha önce de bahsettiğimiz gibi arazinin özelliklerine göre değişmektedir. Çekme kuvveti de toplam direnç kuvvetiyle ters orantılı biçimde değişir.
3. Çekme gücü ve çekme verimi değerleri ise Şekil B.2'de verilmiştir. 2 No.'lu arazinin çekme kuvveti değerleri diğerlerine göre yüksek olmasına rağmen bu arazide oluşan kayma miktarı daha yüksek olduğundan aracın hızı da azalacaktır. Bu sebeple 2 No.'lu arazideki çekme gücü ve çekme verimi 1 No.'lu araziye göre daha düşüktür.

4.3.3 Palet Tekerleğinin Yarıçapının Değişiminin Çekme Performansına Etkisi

Palet Tekerleğinin Yarıçapındaki değişimle araç performans değerlerinin değişimi Ek-C'de verilmiştir. Palet tekerleğindeki değişim araca etkiyen cer kuvvetinin ve araç hızının değişmesine sebep olur. Tekerlek yarıçapının artması cer kuvvetinin değerini azaltırken araç hızını artırır.

Bu durumda kayma miktarı ve çekme kuvveti doğal olarak azalırken iç direncin artması nedeniyle toplam direnç kuvveti de artar.

Ancak Şekil C.2'de tekerlek yarıçapının artmasıyla çekme kuvveti azalmasına rağmen çekme gücünün ve çekme veriminin motorun 1500d/d'da döndüğü durumda arttığı görülmektedir. Bunun sebebi çekme gücünün araç hızına da bağlı olmasıdır. Aynı durumda araç hızındaki artışın oranı çekme kuvvetindeki azalışın oranından daha yüksektir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tezde yapılan incelemeler sonucunda arazi taşıtlarının performanslarının belirlenmesinde arazinin özelliklerinin önemi açıkça görülmektedir. Bölüm 4’de anlatılan örnek çalışma sonucunda, aracın özelliklerinin aynı olduğu durumda arazi tipine bağlı olarak performans özelliklerinin değiştiği görülmektedir. Arazinin özellikleri aracın hareketini sınırlandırmaktadır.

Ancak yine aynı çalışmadan taşıtın bazı teknik özelliklerindeki değişikliklerin, performans özelliklerini de değiştirebileceği görülmektedir. Buradan arazinin özelliklerine göre araç özelliklerinde yapılacak değişikliklerle aracın arazideki performansının da değiştirilebilmesi mümkün gözükmektedir.

Bu çalışma sonucunda, bir arazi taşıtının dizaynında araç-arazi ilişkisinin mekaniğinin yani “terramekaniğin” önemi anlaşılmaktadır. Terramekaniğin iyi anlaşılmasıyla farklı çalışma ortamlarına uygun arazi taşıtı tasarımı ve seçimi yapılabilir.

Bu çalışmada üzerinde durulmayan ancak çalışmanın başlangıcında arazi taşıtının özelliklerinin tanımında verilen aracın kullanım kolaylığı ve sürüş özellikleri de aracın performans özellikleri gibi önemli kavramlardır. Aracın performansının iyi olması bazı durumlarda yeterli değildir. Aracın tasarımı esnasında bu özelliklerin de dikkate alınması gerekmektedir.

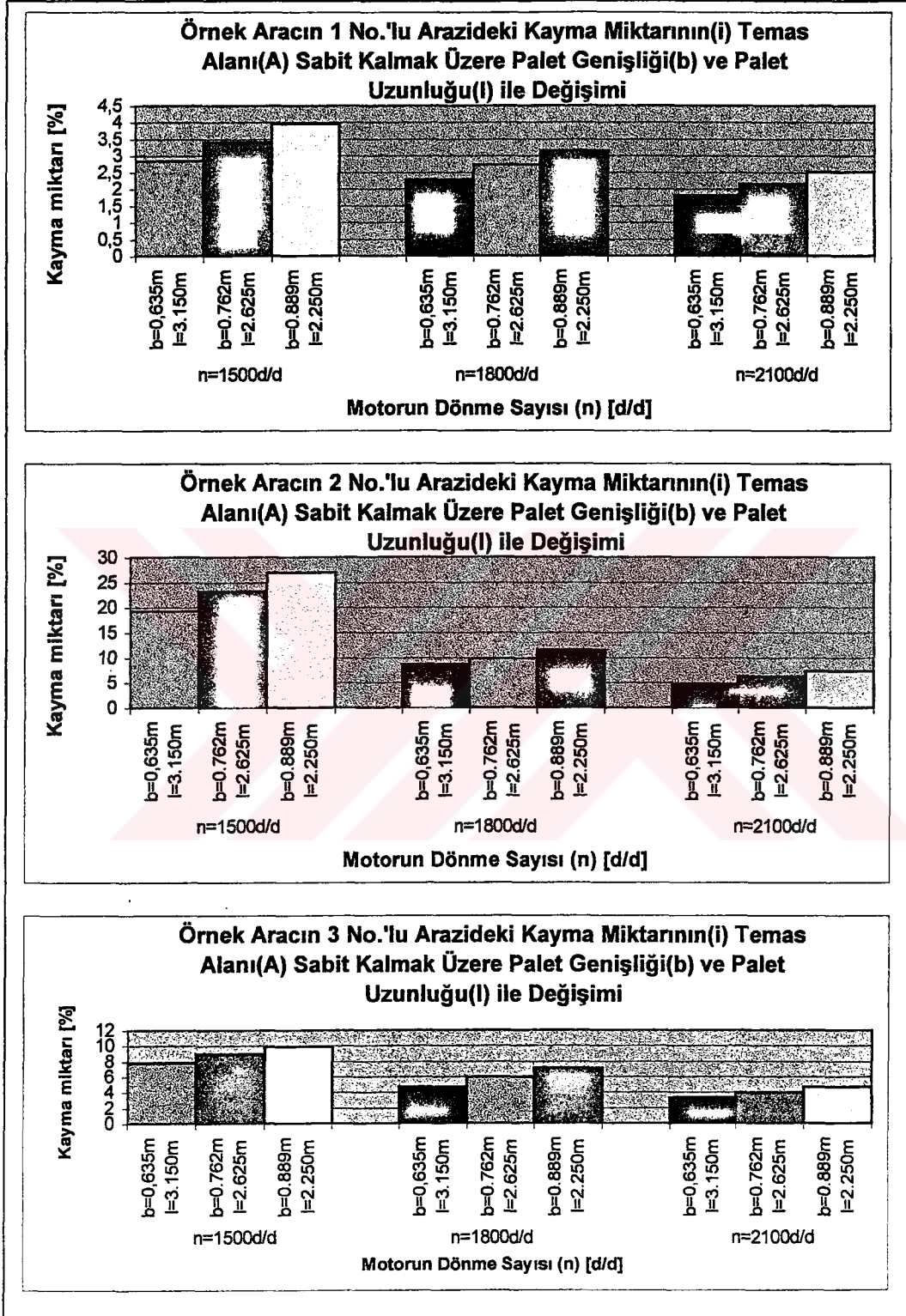
Yapılan çalışmada paletin araziyle rijit temas ettiği ve paletin altındaki basınç dağılımının uniform olduğu varsayılmıştır. Bölüm 2.4.1’de anlatıldığı gibi düşük hızlarda kullanılan paletli arazi taşıtlarında bu varsayım kabul edilebilir. Ancak yüksek hızlarda çalışan paletli taşıtlar(askeri taşıtlar gibi) için ayrı bir çalışma yapılması gerekir.

KAYNAKLAR

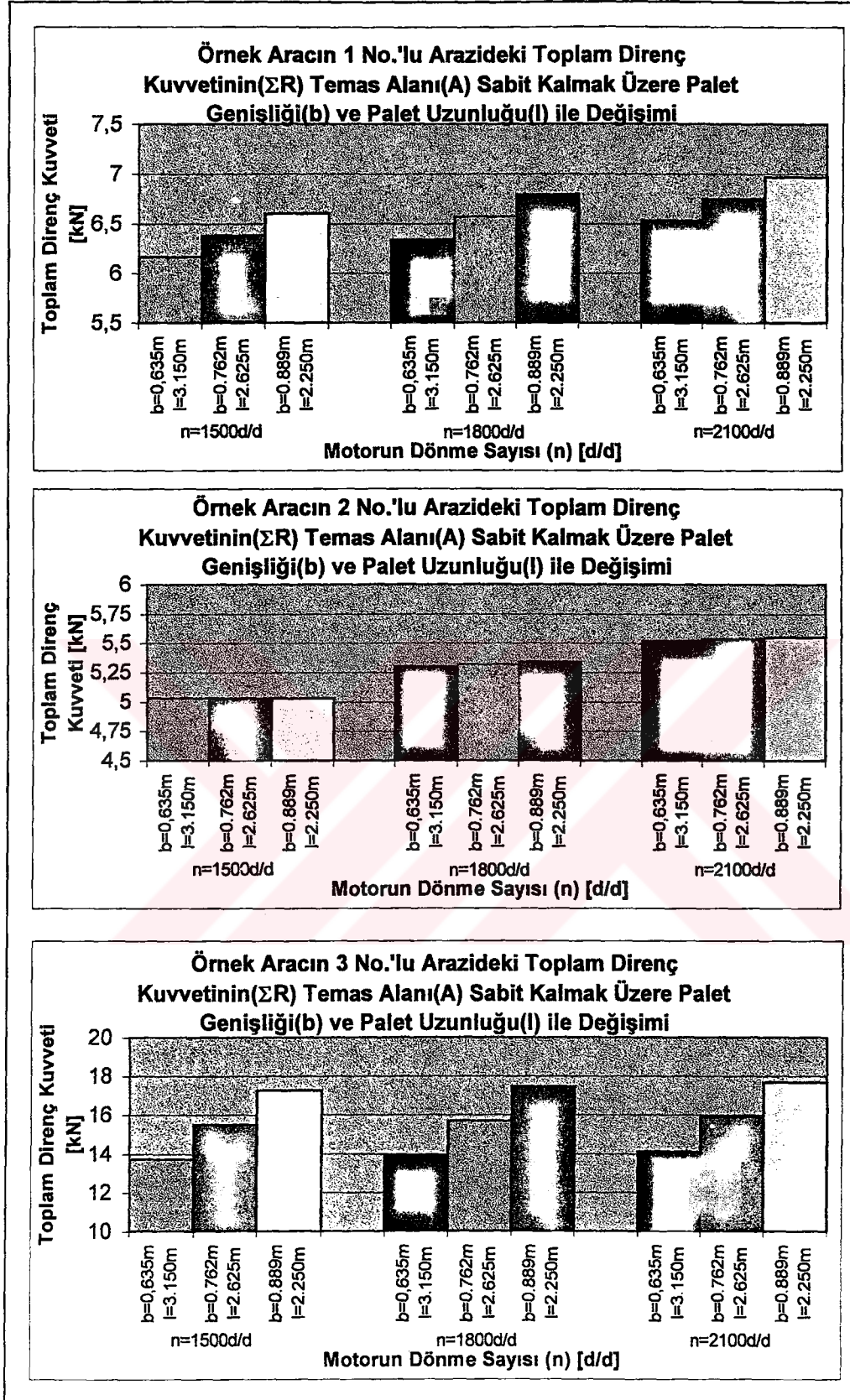
- [1] **Wong, J. Y.**, 1993. Theory of ground vehicles, John Wiley & Sons, INC, .New York
- [2] **Le, Anh Tuan**, 1999. Modeling and control of tracked vehicles, *PhD Thesis*, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, The University of Sydney
- [3] **Wong, J. Y.**, 1989. Terramechanic and off-road vehicles, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [4] **Bekker, M. G.**, 1969. Introduction to terrain-vehicles systems, University of Michigan Press, Ann Arbor
- [5] **Wills, B.M.D.**, 1963. The measurement of soil shear strength and deformation moduli and a comparison of the actual and theoretical performance of a family of rigid tracks, *J.of Agricultural Engineering Research*, 8,4
- [6] **Harrison, W.L.**, 1975. Vehicle performance over snow, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Technical Report 268
- [7] **Van Wyk, D.J., Spoelstra, J., de Klerk, J.H.**, 1996. Mathematical modelling of the interaction between tracked vehicle and the terrain, *Appl. Math. Modelling*, 20, 839
- [8] **Rowland, D.**, 1972. Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance, *Proc. 4th Int. Conf. Of the International Society for Terrain Vehicle Systems*, Stockholm, Sweeden
- [9] **Ferretti, G., Girelli, R.**, 1999. Modelling and simulation of an agricultural tracked vehicle, *J.of Terramechanics*, 36, 139-158
- [10] **Janosi, Z., Hanamoto B.**, 1961. The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils, *Proc. Of the 1st International Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems*, Torino, Italy
- [11] **Changying, Ji., Junzheng, Pan**, 2000. Fuzzy prediction of soil strength based on water content and composition, *J.of Terramechanics*, 37, 57-63
- [12] **Agres R.V., Mc Kenna R.P.**, 1972. Alternatives to the Internal Combustion Engine, The John Hopkins University Press, Baltimore

EKLER

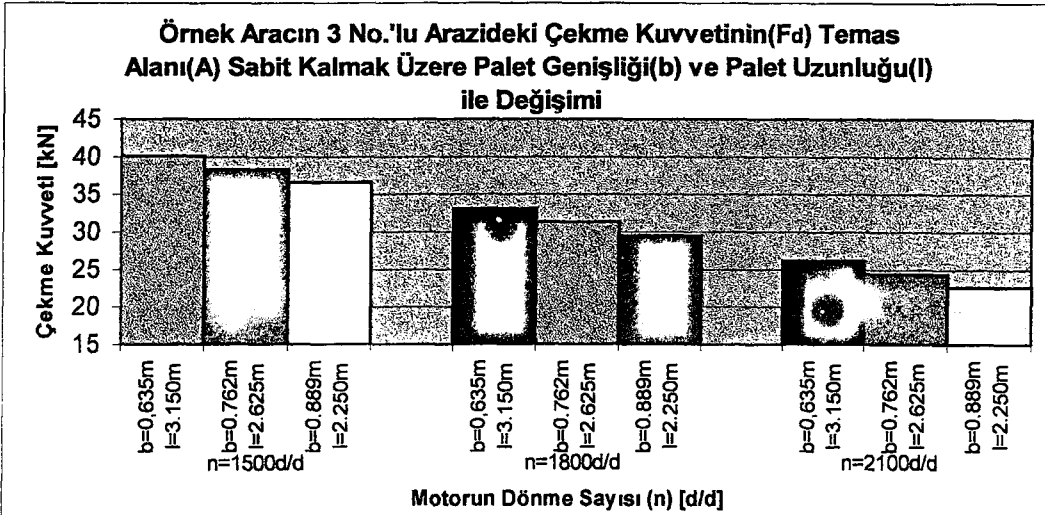
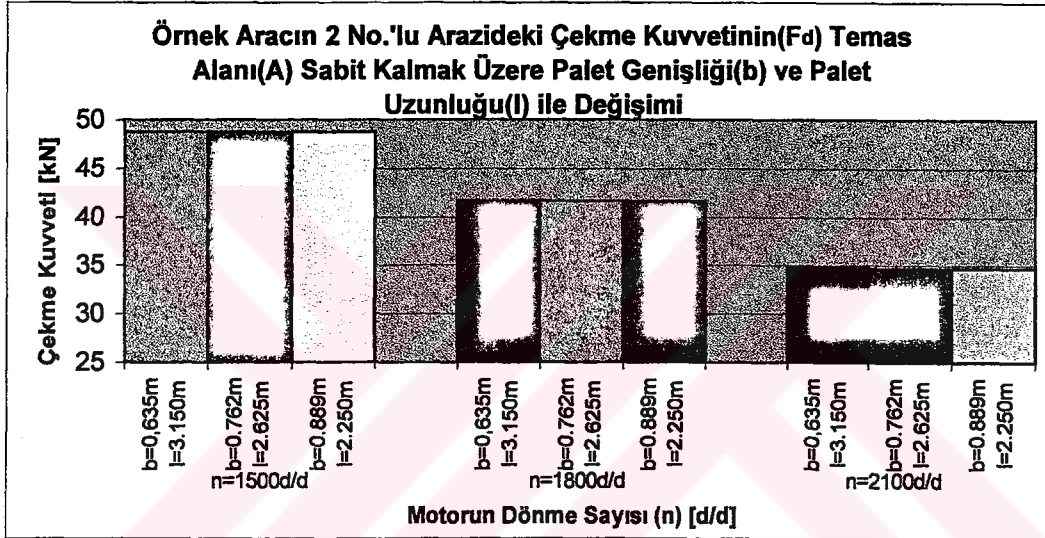
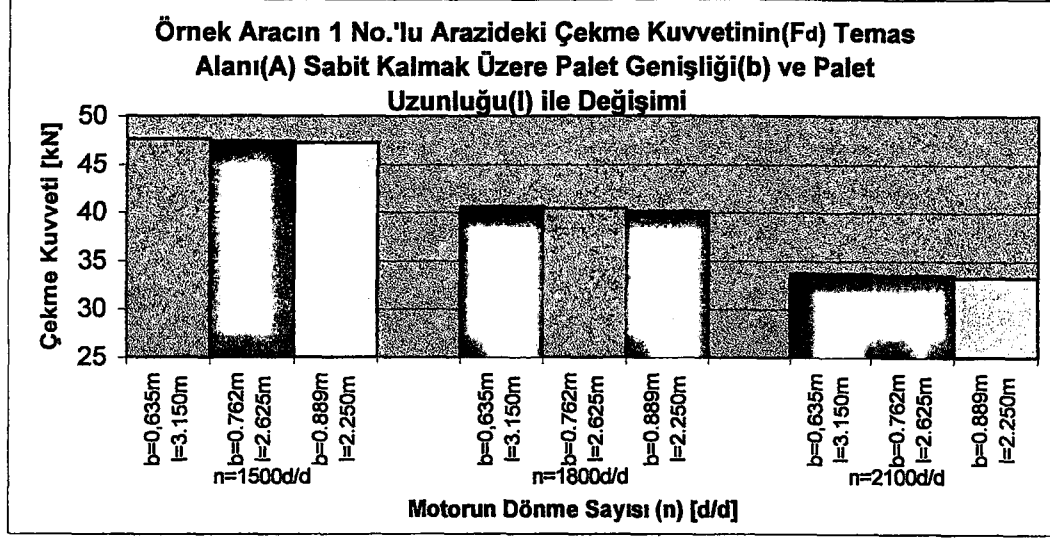
EK-A



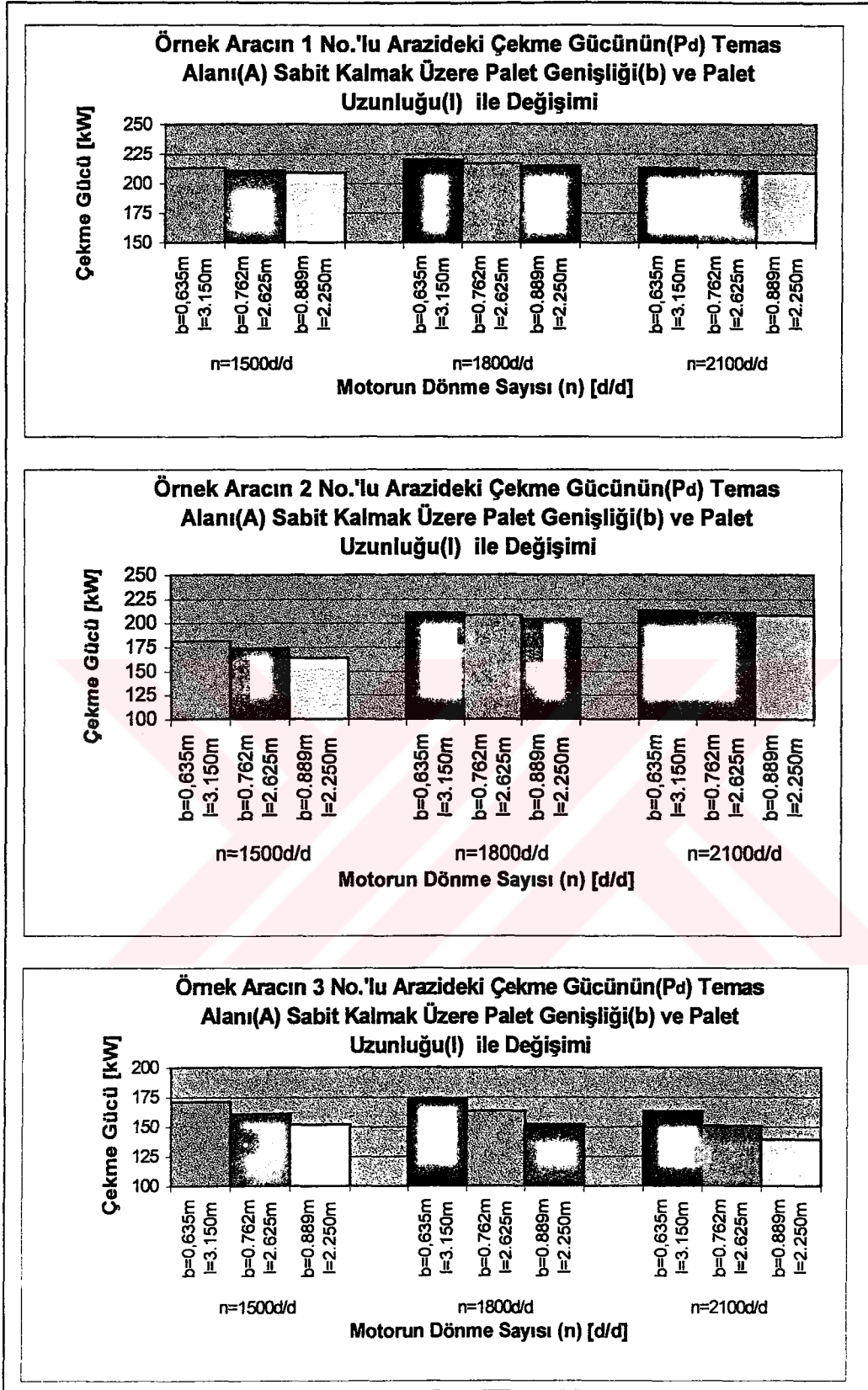
Şekil A.1 Örnek Olarak Alınan Aracın 3 Farklı Arazideki Kayma Miktarlarının(i) Temas Alanı(A) Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği(b) ve Palet Uzunluğu(l) ile Değişimi



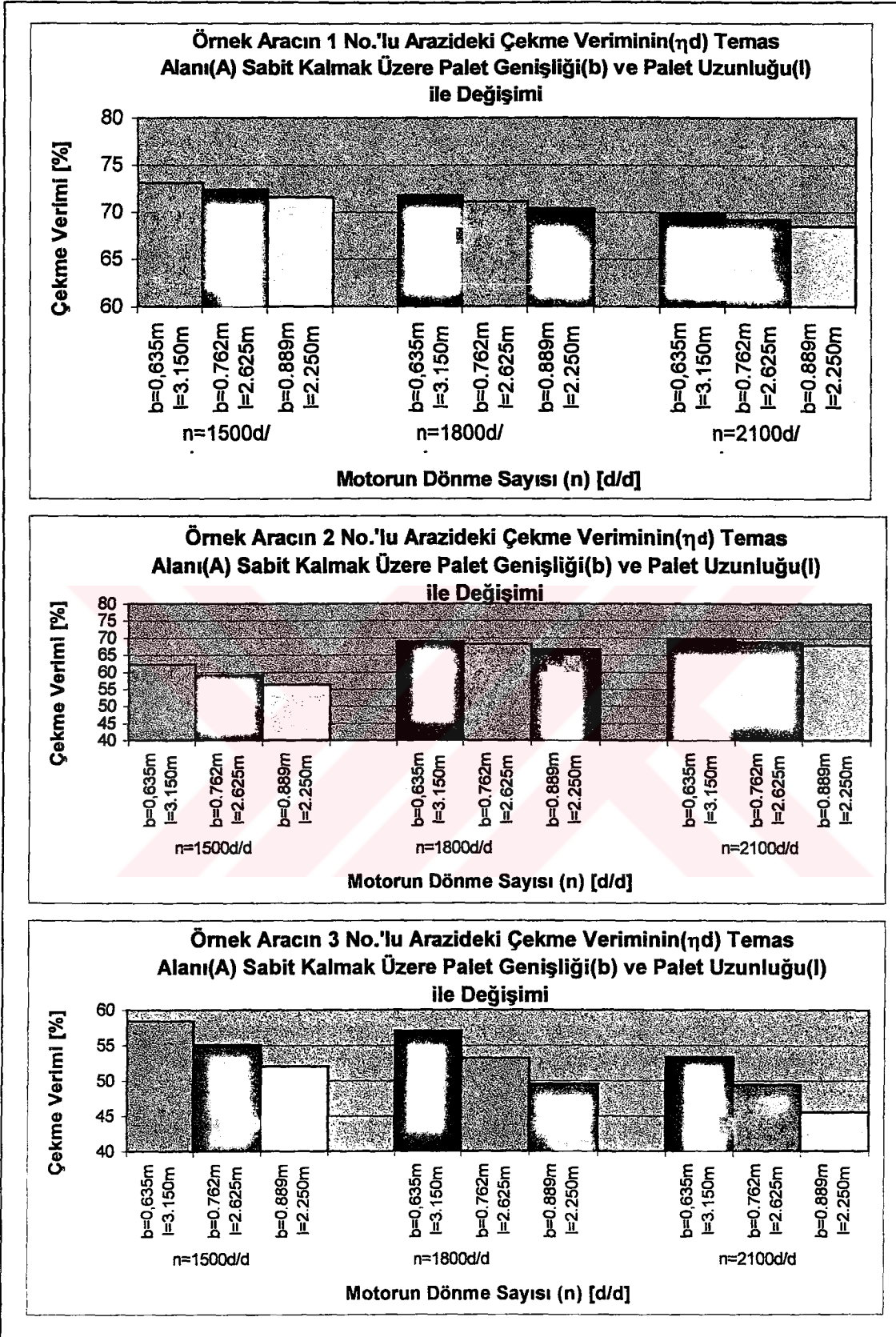
Şekil A.2 Örnek Olarak Alınan Aracın 3 Farklı Arazideki Toplam Direnç Kuvvetinin(ΣR) Temas Alanı(A) Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği(b) ve Palet Uzunluğu(l) ile Değişimi



Şekil A.3 Örnek Olarak Alınan Aracın 3 Farklı Arazideki Çekme Kuvvetinin(F_d) Temas Alanı(A) Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği(b) ve Palet Uzunluğu(l) ile Değişimi

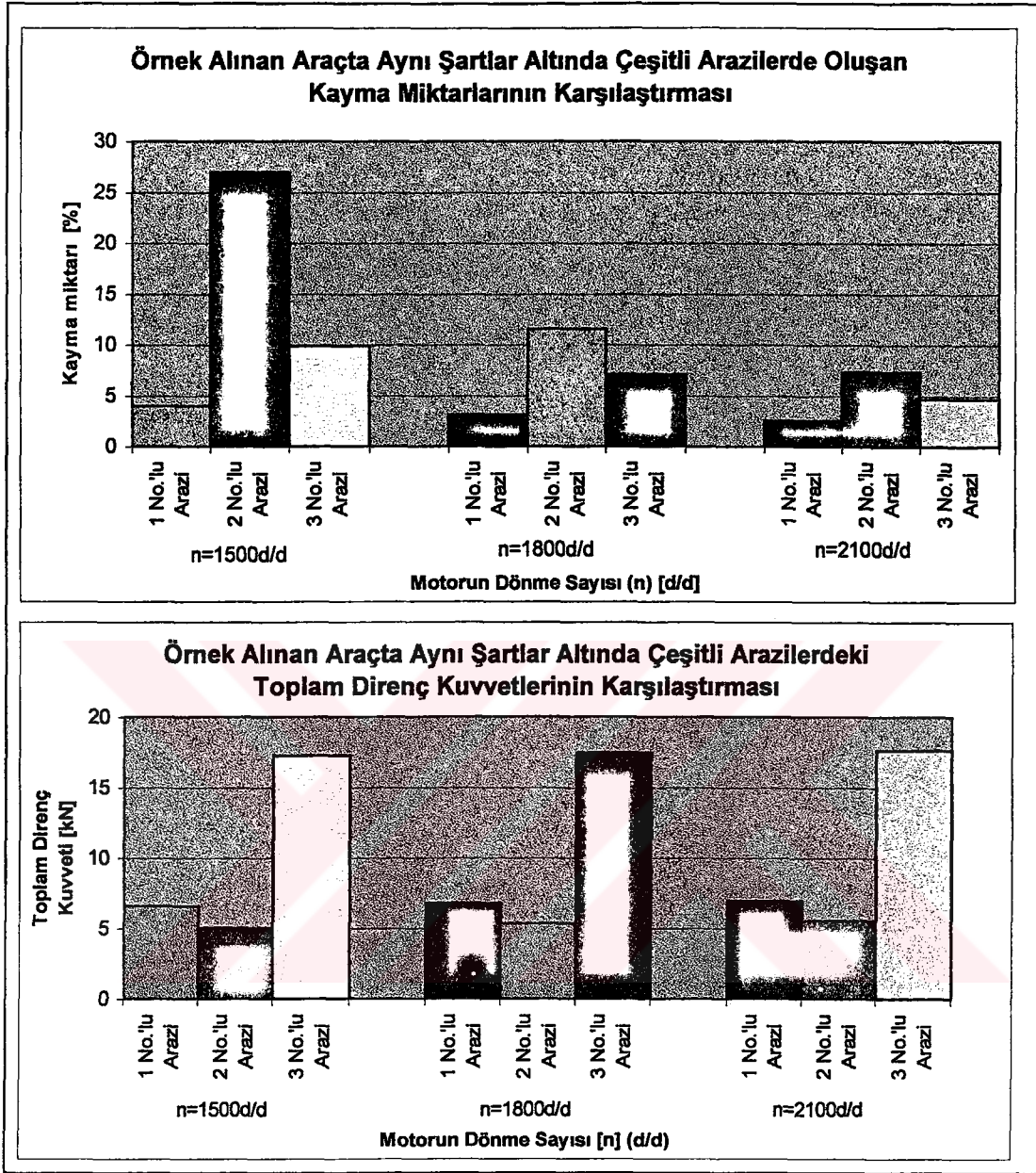


Şekil A.4 Örnek Olarak Alınan Aracın 3 Farklı Arazideki Çekme Gücünün(P_d) Temas Alanı(A) Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği(b) ve Palet Uzunluğu(l) ile Değişimi

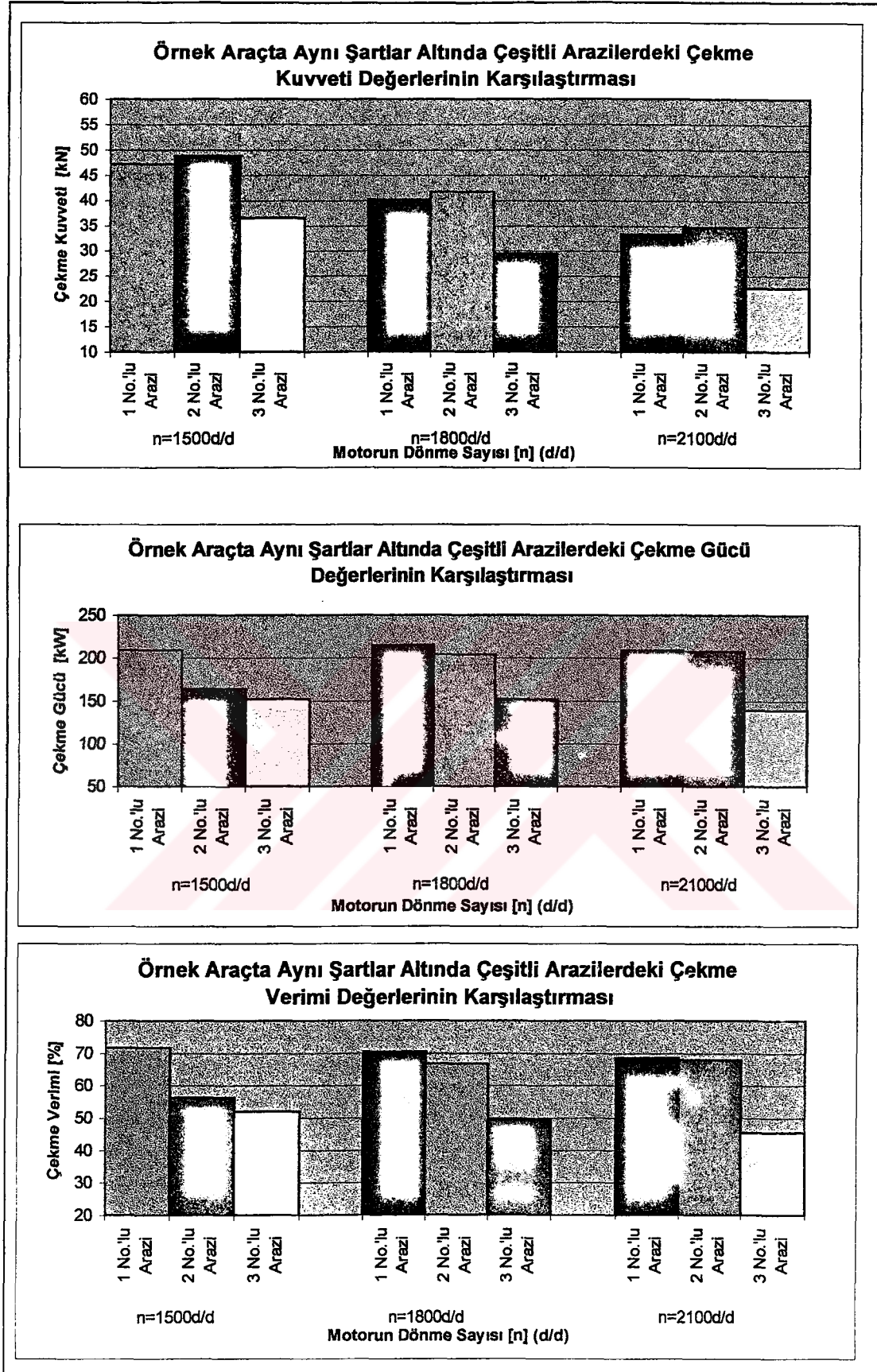


Şekil A.5 Örnek Olarak Alınan Aracın 3 Farklı Arazideki Çekme Veriminin(η_d) Temas Alanı(A) Sabit Kalmak Üzere Palet Genişliği(b) ve Palet Uzunluğu(l) ile Değişimi

EK-B

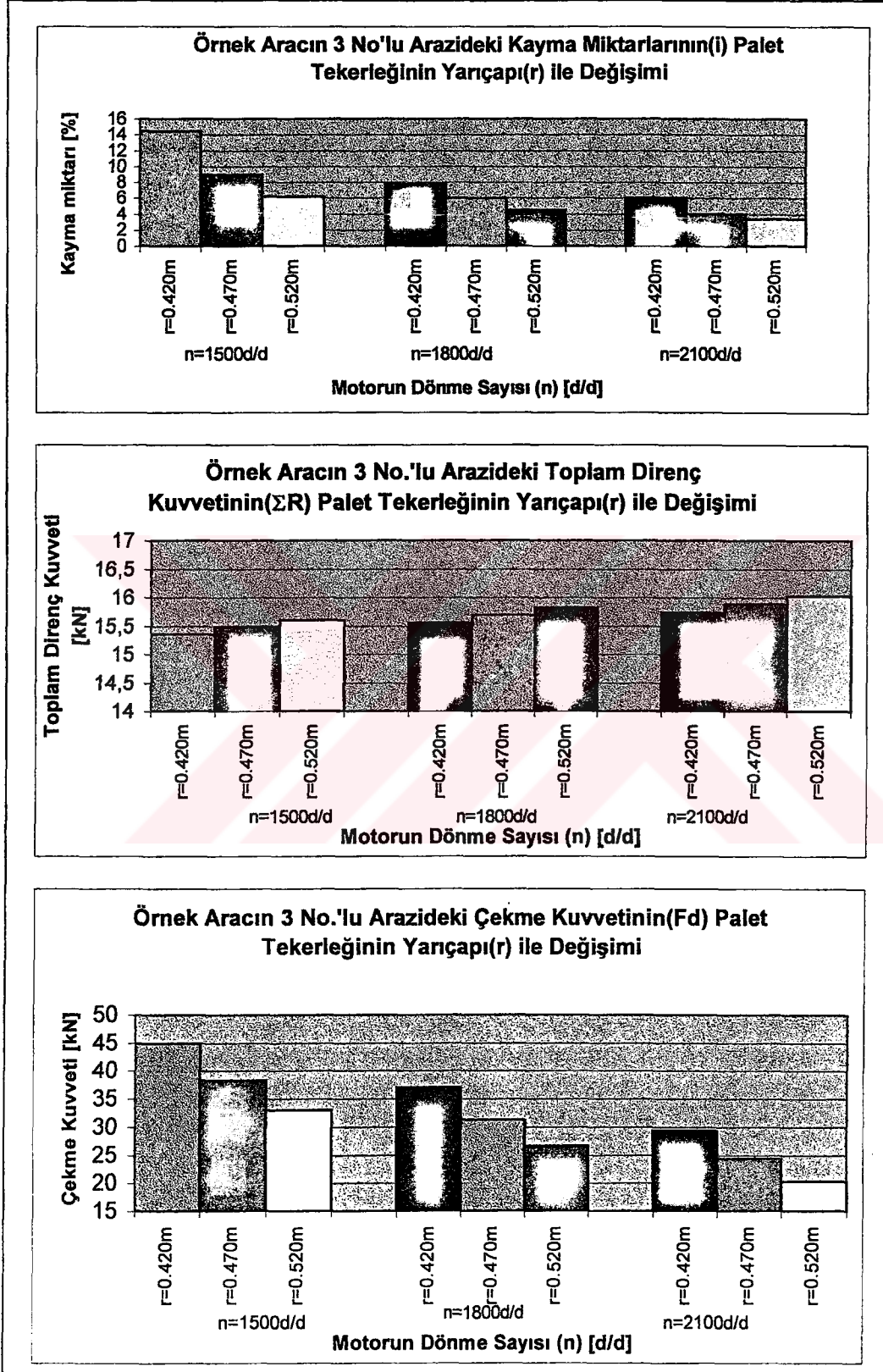


Şekil B.1 Örnek Olarak Alınan Aracın Aynı Şartlar Altındaki 3 Farklı Arazideki Kayma Miktarlarının ve Toplam Direnç Kuvveti Değerlerinin Karşılaştırılması

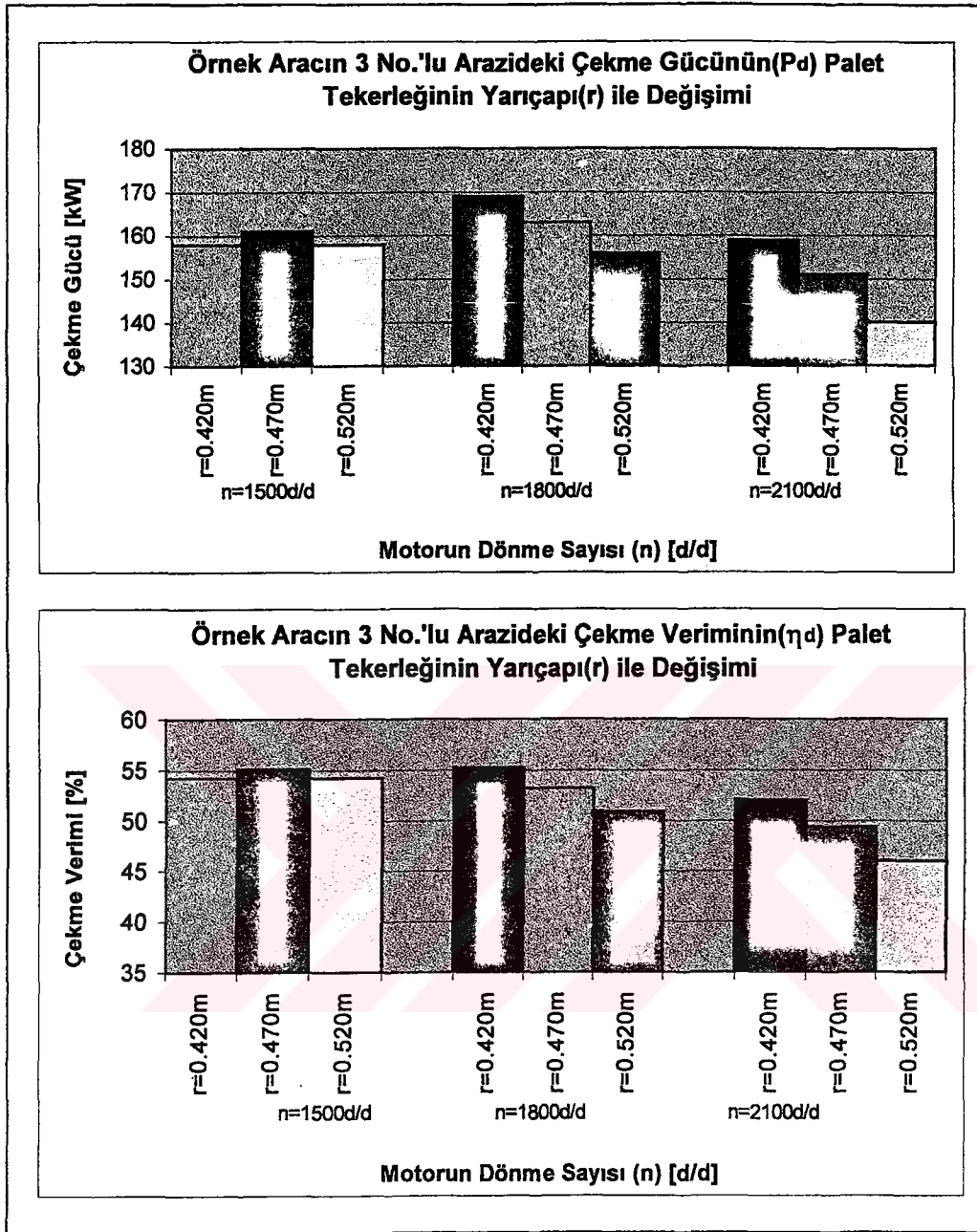


ŞekilB.2 Örnek Olarak Alınan Aracın Aynı Şartlar Altındaki 3 Farklı Arazideki Çekme Kuvveti, Çekme Gücü ve Çekme Verimi Değerlerinin Karşılaştırılması

EK - C



Şekil C.1 Örnek Olarak Alınan Aracın Kayma Miktarının, Toplam Direnç Kuvvetinin ve Çekme Kuvvetinin Palet Tekerleğinin Yarıçapı(r) ile Değişimi



Şekil C.2 Örnek Olarak Alınan Aracın Çekme Gücünün ve Çekme Veriminin Palet Tekerleğinin Yarıçapı(r) ile Değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Cem Aktaş, 1973 yılında Eskişehir’de doğmuş; 1991 yılında Eskişehir Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde öğrenimine başlamıştır. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’nden Makina Mühendisi ünvanını alarak mezun olmuş ve yine İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilimdalı Enerji Programı’nda yüksek lisans çalışmasına başlamıştır.

1997-1999 yılları arasında BEKO Elektronik A.Ş. Ar-Ge Bölümü’nde Mekanik Tasarım Mühendisi olarak çalışmış, askerlik görevini tamamladıktan sonra Mercedes-Benz Türk A.Ş. Kamyon Geliştirme Bölümü’nde Tasarım Mühendisi olarak göreve başlamıştır ve yaklaşık bir senedir bu görevini sürdürmektedir.

