



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAHÇE TRAKTÖRLERİNDE KULLANILAN
BAZI MUHARRİK LASTİKLERİN YAPISAL
VE İŞLETME ÖZELLİKLERİNİN ÇEKİ
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Şerafettin EKİNCİ

DOKTORA TEZİ

Tarım Makineleri Anabilim Dalı

Eylül-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Şerafettin EKİNCİ tarafından hazırlanan “Bahçe Traktörlerinde Kullanılan Bazı Muharrik Lastiklerin Yapısal ve İşletme Özelliklerinin Çeki Performansına Etkisi” adlı tez çalışması 06/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Fikret DEMİR

Danışman

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Üye

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

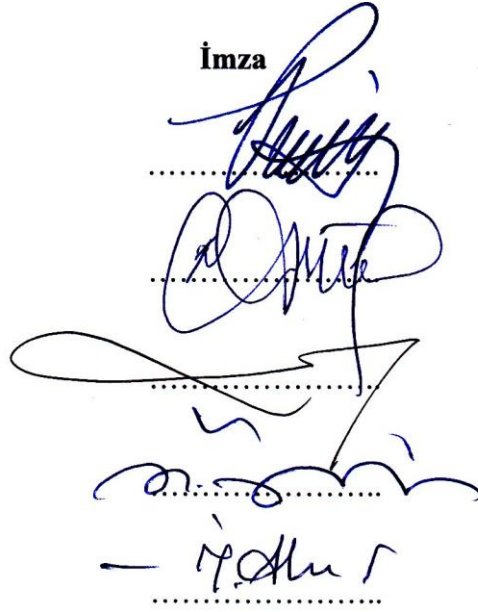
Üye

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT


Üye

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 09101013 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Şerafettin EKİNCİ
20.07.2011

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BAHÇE TRAKTÖRLERİNDE KULLANILAN BAZI MUHARRİK LASTİKLERİN YAPISAL VE İŞLETME ÖZELLİKLERİNİN ÇEKİ PERFORMANSINA ETKİSİ

Şerafettin EKİNCİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

2011, 149

Jüri

Prof. Dr. Fikret DEMİR

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Prof. Dr. Necmettin TARAÇCIOĞLU

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Bu çalışmada, bahçe traktörlerinde kullanılan radyal ve çapraz katlı muharrik lastiğin, üç farklı lastik profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının çeki performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Denemeler asfalt, stabilize ve anız tarla koşullarında yürütülmüştür. Belirtilen şartlar altında, yeterli performans verileri oluşturabilmek için, yeni bir tekerlek deney düzeneği tasarlanarak imal edilmiştir. Bir traktörün üç nokta askı sistemine bindirilmiş olan tek tekerlek deney düzeneği kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir.

Denemelerden önce, lastiklerin temas alanları, defleksiyon miktarları, asfalt ve stabilize zeminlerin kayma dirençleri ve anız tarlanın toprak özellikleri belirlenmiştir. Çeki (itme) kuvvetine bağlı olarak; patinaj değerleri % 0.8 ile % 34.1, çeki gücü değerleri 0.59 kW ile 3.85 kW, net çeki oranı değerleri 0.07 ile 0.93 ve çeki verimliliği değerleri 0.27 ile 0.93 arasında değişmiştir.

Tüm zemin koşullarında, patinaj ve çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları; lastik tipi, profil yüksekliği, dinamik aks yükü ve lastik iç basıncının, patinaj ve çeki verimliliği üzerindeki etkisinin önemli olduğu göstermiştir. ($P < 0.01$). Radyal lastikler çapraz katlı lastiklere göre, farklı işletme koşullarında, defleksiyona bağlı olarak daha büyük temas alanı vermişlerdir. Artan lastik profil yüksekliğine ve aks yüküne bağlı olarak temas alanları artarken, artan lastik iç basıncıyla azalmıştır. Radyal lastikler çapraz katlı lastiklere göre daha iyi çeki performansı sağlamışlardır. Çeki verimliliği, özellikle dinamik aks yükünün artmasıyla artarken lastik iç basıncı arttıkça, azalmıştır. Dinamik aks yükünün çeki performansı üzerindeki etkisi diğer bağımsız değişkenlere göre daha büyük olmuştur. Çeki verimliliği, radyal lastiklerin uygun profil yüksekliği, aks yükü ve iç basıncının seçilmesiyle artırılabilirliği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çeki performansı, çeki gücü, çeki verimliliği, net çeki oranı, patinaj, radyal ve çapraz katlı lastik, temas alanı

ABSTRACT

Ph.D THESIS

EFFECTS TO TRACTION PERFORMANCE OF STRUCTURAL AND WORKING CHARACTERISTICS OF SOME DRIVE TIRES USING IN HORTICULTURE TRACTORS

Şerafettin EKİNCİ

The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University
The Degree of Doctor of Philosophy in Department of Agricultural Machinery

Advisor: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

2011, 149

Jury

Prof. Dr. Fikret DEMİR

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Prof. Dr. Necmettin TARAĞCIOĞLU

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

In this study, effects on tractive performance of radial and diagonal tires at three different tire lug heights, axle loads and inflation pressures were experimentally determined. The experiments were carried out on asphalt, stabilize and stubble field conditions. To obtain sufficient performance data, a new single wheel tester was designed and manufactured. Experiments were conducted by mounting single wheel tester to a three point hitch of an agricultural tractor.

Prior to experiments, contact areas of tires, deflections amounts, slippage resistance of asphalt and stabilize and properties of stubble field were determined. Slip, drawbar power, dynamic traction ratio and tractive efficiency as a depending on drawbar pull varied from 0.8 % to 34.1 %, from 0.59 kW to 3.85 kW, from 0.07 to 0.93 and from 0.27 to 0.93 respectively.

The effects on slip and tractive efficiency of tire type, lug height, dynamic axle load and inflation pressure were found significant ($P<0.01$) by utilizing variance analysis and LSD test. Radial tires gave bigger contact area comparing with diagonal tires according to deflection at different operation circumstances. While contact areas of tires are increasing with increasing lug height and axle load, tire contact areas are decreasing with increasing tire inflation pressure. Radial tires provide better tractive performance comparing with diagonal tires. Tractive efficiency was increased especially with increasing dynamic axle load while decreasing with increasing tire inflation pressure. Dynamic axle load of tire was the major contributory factor on traction performance as compared with other independent variables. For a given drawbar pull, it was observed that the tractive efficiency of radial tire can be maximized by selecting appropriate levels of lug height, dynamic axle load and inflation pressure.

Keywords: Contact area, drawbar power, net traction ratio, radial and diagonal tires, slip, tractive efficiency, tractive performance.

ÖNSÖZ

Günümüzde, tarımsal üretimin ana güç kaynağı traktördür. Traktör güçlerindeki artışa bağlı olarak 4 çeker traktörler tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ülkemizde artan sebze ve meyve üretimine bağlı olarak küçük güçlü bahçe traktörlerinin de tarımsal üretimde yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz. Günümüzde, bahçe traktörleri gibi, küçük güçteki traktörlerin tekerleklerinde kullanılan lastiklerin, yapısal ve işletme özelliklerinin çeki performansı üzerindeki etkileri hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Çeki performansındaki değişimler, özellikle tekerlek-çalışma zemini arası ilişkilere bağlıdır. Bu nedenle, farklı işletme koşullarında, gerekli traktör çeki veriminin sağlanabilmesi için, bu ilişki ve özelliklerin bilinmesi ve çalışma koşullarına uygun yürüme organı seçiminde imalatçı ve kullanıcıyı yönlendirici bilgilerin, yapılacak çalışmalarla ortaya konması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının seçiminde, planlanmasında, denemelerin yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden en üst düzeyde faydalandığım, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kazım ÇARMAN'a şükranlarımı sunarım. Tez İzleme Komitemde yer alan, bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra deney düzeneğinin imalatında desteklerini gördüğüm, değerli hocalarım Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT, Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU ve Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin tasarım ve imalatında emeklerini esirgemeyen kıymetli teknisyenlerimiz; Eyyup UYSAL, Hüseyin AKGÜL ve Fevzi DUMAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarına maddi ve manevi destek olan, başta ağabeyim Ahmet Turan EKİNCİ olmak üzere, Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Serhat ERSOYOĞLU, Öğr. Gör. Ergün ÇİTİL, Arş. Gör. Eyüb CANLI, Arş. Gör. Osman ÖZBEK, Arş. Gör. Ali Yavuz ŞEFLEK, Hakan AYKAN, Serhat KAPLAN, Semih AYDOĞDU ve İsmail KAHRİMAN'a teşekkür ederim.

Deney materyallerimin sağlanmasında ve deney düzeneğinin imalatında emeği geçen Ümit Güven Makine Sanayi çalışanlarına ve yöneticisi Mustafa Can YÜCE'ye, Dev Hidrolik Pnömatik Hırdavat San. Tic. Ltd. Şti. yetkililerine ve Anka Kalıp ve Üretim Sanayi A.Ş. yetkililerine teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerinin yanı sıra sabır ve anlayışını esirgemeyen, Eşime, kardeşlerime ve kızım Ela'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Şerafettin EKİNCİ
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Lastiklerin Yapısı ve Çeşitleri	2
1.2. Tekerlek-Yol Etkileşimi	5
1.3. Çeki Kuvvetini Etkileyen Faktörler	12
1.4. Çeki Performansına Teoriksel Yaklaşımlar	17
1.4.1. Brixius çeki tahmin eşitlikleri	17
1.4.2. Wismer ve Luth çeki tahmin eşitlikleri	18
1.4.3. Esch çeki tahmin eşitlikleri	19
1.4.4. Rummer ve Ashmore çeki tahmin eşitlikleri	19
1.4.5. Turnage çeki tahmin eşitlikleri	20
1.4.6. Dwyer çeki tahmin eşitlikleri	20
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	22
2.1. Çeki Performansı Deney Düzenekleri	22
2.1.1. Toprak kanalında yürütülen deney düzenekleri	22
2.1.2. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzenekleri	26
2.1.3. Çeki arabalı deney düzenekleri	31
2.1.4. Çift traktörle yapılan performans deneyleri	33
2.2. Lastiklerin Defleksiyonu ve İz Düşüm Alanları	34
2.3. Çeki Performansı Deneyleri	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1. Materyal	49
3.1.1. Tek tekerlek test düzeneği	49
3.1.1.1. Tek tekerlek test düzeneği çeki kısmı	50
3.1.1.2. Tek tekerlek test düzeneği yürütme sistemi	51
3.1.1.3. Tek tekerlek test düzeneği yükleme sistemi	53
3.1.2. Test traktörü	54

3.1.3. Deney lastikleri	55
3.1.4. Zemin koşulları	55
3.2. Yöntem	56
3.2.1. Tek tekerlek test düzeneğinin tasarımı ve gerilim analizleri	56
3.2.1.1. Deney düzeneğinin modellenmesi	56
3.2.1.2. Gerilim analizlerinin yapılışı	57
3.2.2. Tekerlek çevresinin ölçülmesi	57
3.2.3. Lastiklerin iz düşüm alanlarının ölçülmesi	57
3.2.4. Çeki (itme) kuvveti ölçümü	59
3.2.5. Çalışma hızı ve patinaj ölçümleri	60
3.2.6. Çeki gücünün belirlenmesi	61
3.2.7. Çeki veriminin belirlenmesi	61
3.2.8. Net çeki oranının belirlenmesi	62
3.2.9. Lastiklerde defleksiyonun belirlenmesi	62
3.2.10. Anız ve sürülmüş tarlaya ait bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi	62
3.2.11. Asfalt, stabilize ve beton zeminlerin kayma dirençlerinin belirlenmesi	64
3.2.12. Denemenin planlanması ve yürütülmesi	66
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	67
4.1. Tek Tekerlek Test Düzeneği Gerilim Analiz Sonuçları	67
4.2. Lastiklerin Defleksiyonu ve İz Düşüm Alanlarındaki Değişim	67
4.2. Patinaja Bağlı Olarak Çeki (İtme) Kuvvetinin Değişimi	72
4.3. Net Çeki Oranına Bağlı Olarak Çeki (İtme) Gücünün Değişimi	96
4.4. Patinaja Bağlı Olarak Çeki Verimliliğinin Değişimi	116
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
5.1. Sonuçlar	140
5.2. Öneriler	141
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	149

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Temas alanı (m ²)
α	: Kayma açısı (derece)
B _n	: Hareketlilik sayısı (-)
b	: Lastik kesit genişliği (m)
C, CI	: Koni indeksi (kN/m ²)
C _n	: Hareketlilik sayısı (-)
C _R	: Hareket direnç oranı (-)
D	: Defleksiyon (%)
d	: Lastik çapı (m)
d _k	: Kanatlı kesici aletin çapı (cm)
F _t	: Tahrik kuvveti (N)
f	: Yuvarlanma direnç katsayısı (-)
G, W	: Dinamik aks yükü (N)
h	: Lastik kesti yüksekliği (m)
h _k	: Kanatlı kesici aletin kanat yüksekliği (cm)
i	: Toplam transmisyon oranı (-)
k	: Toprağın yatay kesme deformasyon modülü (-)
L	: Lastik yükü (kN)
l	: Tastik temas uzunluğu (m)
M	: Hareket direnci (kN)
M _a	: Aks torku (Nm)
M _m	: Motor momenti (Nm)
M _t	: Tekerlek dönme momenti (Nm)
MR	: Hareket direnci (N)
n	: Tekerlek devri (d/d)
N _a	: Aks gücü (kW)
N _ç	: Çeki gücü (kW)
Q, T	: Tork (Nm)
p _i	: Lastik iç basıncı (kPa)
P _ç	: Çeki kuvveti (N)
R _y	: Yuvarlanma direnci (N)
R _d	: Tarlanın yüzey düzgünlüğü (%)
r _t	: Dinamik lastik yarıçapı (m)
S	: Patinaj (%)
S _s	: Standart sapma (-)
τ	: Toprağın kesilme direnci (N/cm ²)
τ_{mx}	: Toprağın maksimum kesme gerilmesi (N/cm ²)
V	: Traktör ilerleme hızı (m/s)
v	: İlerleme hızı (km/h)
v _i	: Teorik hız (km/h)
W _R	: Lastik yük oranı (-)
z	: Batma miktarı (m)
$\eta_{ç}$: Çeki verimi (-)
η_{tr}	: Transmisyon verimi (-)
γ	: Kamber açısı (derece)
μ	: Tutunma katsayısı (-)

- δ : Defleksiyon (mm)
 ψ : Net çekme oranı (-)

Kısaltmalar

- EKS : Emniyet Katsayısı
F : F İstatistiği
GTR : Brüt Çeki Oranı (Gross Traction Ratio)
KO : Kareler Ortalaması
KT : Kareler Toplamı
LSD : En Küçük Önemli Fark (Least Significant Difference)
MRR : Hareket Direnç Oranı (Motion Resistance Ratio)
NTR : Net Çeki Oranı (Net Traction Ratio)
SD : Serbestlik Derecesi
SEM : Sonlu Elemanlar Metodu
TE : Çeki Verimi (Tractive Efficiency)
VK : Varyasyon Kaynakları

1. GİRİŞ

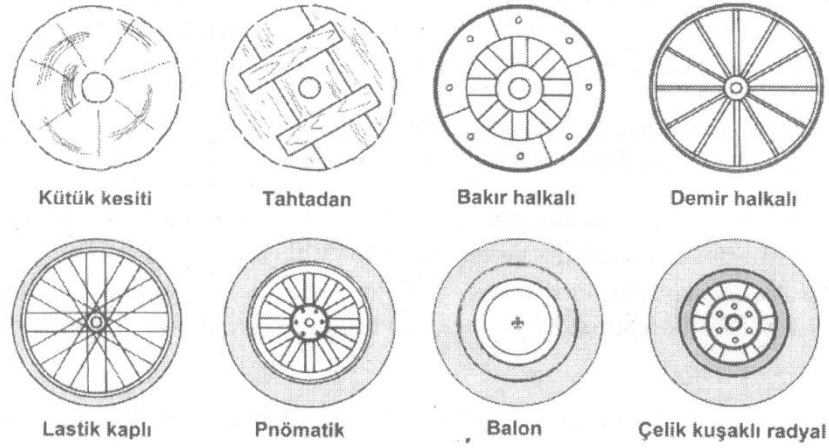
Tarımda toplam enerji tüketiminin yaklaşık %20'si traktör tarafından harcanmaktadır. Bu nedenle tarımsal mekanizasyon faaliyetlerinin verimli bir şekilde yapılabilmesi, bu alanda kullanılan pnömatik lastiklerin profil şekli ve yüksekliği gibi yapısal özelliklerinin yanı sıra, dinamik yük ve iç basınç gibi işletme karakteristiklerinin değişen toprak şartlarına göre güç üniteleriyle uyumlu seçilmesine bağlıdır. A.B.D. de tarımsal güç ünitelerinin yetersiz çeki verimleri nedeniyle yıllık yakıt kaybı 576 milyon litre olarak tahmin edilmektedir (Upadhyaya ve Wulfsohn, 1989). Araştırma sonuçları göstermiştir ki, traktör muharrik lastiklerine iletilen enerjinin %20-55'i işe dönüşmeden çeki elamanlarında kaybolmaktadır. Bu enerji sadece kaybolmamakta, aynı zamanda toprakta sıkışmaya neden olarak bitkisel üretim için önemli bir problemi doğurmaktadır (Burt ve ark., 1983; Çarman ve Aydın, 2002).

Pnömatik (hava dolmalı) lastiklerin traktörlerde kullanımı, ilerleme hızının artırılmasına imkân sağlamış ve traktör performansının gelişimine yardımcı olmuştur. Traktör muharrik lastiklerinin başlıca görevleri:

- Düşeyde, traktörün yükünü taşımak, traktörle yol arasında yay-sönüm elemanı olarak iş görmek,
- Yatayda, motor kuvvetini zemine aktarmak, muharrik kuvveti ve fren kuvvetini sağlamak, zemin üzerinde mümkün olduğunca büyük bir temas yüzeyi gerçekleştirmek olarak belirtilebilir (Öğüt, 1998).

Lastik; kauçuk, kord bezi ve çelik teller ile çeşitli kimyasal maddelerin birleşiminden oluşan ve aracın yer ile temasını sağlayan tek ve en önemli parçadır. Tekerlek, insanlığın bildiği en eski mekanik araç olarak değerlendirilmektedir.

İlk motorlu taşıtlar, at arabalarında atın yerine motorun yerleştirilmesi biçiminde elde edildiklerinden, tekerlekleri ağaçtan yapılmıştır (Şekil 1.1). Tekerleğin dışına geçirilen çelik bir halka, tekerleğin dağılmasını önlemiş ve aşınmasına karşı da direnç oluşturmuştur. Çelik halkalı tekerleğin ardından, 1890 yılına kadar, içi dolu lastik tekerlekler kullanılmıştır. Her iki tür tekerlekle de, güvenli hızlar 20-30 km/h'i geçmemiştir. Dunlop, 1888 yılında, şişirilebilen lastik (pnömatik) tekerleği geliştirmiştir. Bu buluş; konforu geliştirmesinin yanı sıra, taşıtların hızlarının yükseltilebilmesini de mümkün hale getirdiğinden, otomotiv alanında bir devrim sayılmıştır (Çetinkaya, 2005).



Şekil 1.1. Tekerleğin gelişimi (Çetinkaya, 2005)

1.1. Lastiklerin Yapısı ve Çeşitleri

Lastikler taşıtların tüm teknik özelliklerini yere aktaran önemli parçalardır. Taşıtlar fizik kurallarına göre hareket eder ve durur. Taşıtların bu hareketleri sırasında yerle temasını sağlayan tek unsur lastiklerdir. Taşıtların kontrol edilebilmesinde lastiğin önemi göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Lastiklerin başlıca görevleri şunlardır:

- Araç yükünü taşımak,
- Direksiyon ile verilen yönü izlemek,
- Motordan gelen gücü ileri/geri hareket olarak yansıtmak,
- Emniyetli bir şekilde hem ıslak hem de kuru zeminde aracı durdurmak,
- Amortisörlere yardımcı olarak sürüş keyfini artırmak.

Lastikler taşıtların sürüş güvenliği için hayati önem taşır. Yanlış basınç uygulanması, bir lastiğin yol tutuşuna ve frenlenmesine etki edebileceği gibi iç ısısının aşırı yükselerek aniden patlamasına, taşıtların hâkimiyetinin kaybolmasına sebep olabilir. Lastikler darbeleri emerek konfora da katkıda bulunurlar. Lastikler taşıtların ve yükün ağırlığını taşır, motorun yarattığı döndürme momentini yola aktararak çekiş kuvvetine dönüştürür. Yavaşlamada fren gücünü, viraj dönüşlerinde ve direksiyon kontrolünde gerekli olan yanıl kuvveti üretir. Ayrıca kendine özgü darbe emiş özellikleri sayesinde sürüşten ve zemin bozukluklarından meydana gelen kuvvetleri absorbe eder. Yol kaplamasının türü (asfalt, toprak, stabilize) ve yolun durumu (yağmur, çamur, kar, buz) ne olursa olsun, lastiğin görevi güvenli şekilde yol tutuşu sağlamak ve taşıtların sürücünün istediği yöne götürmektir. Ancak bugünün taşıtlar kullanıcıları bir lastikten güvenlik ve konforun yanında başka özellikler de beklemektedir. Modern bir lastiğin daha az

titreşim ve gürültü üretmesi, yüksek tutunma yeteneğine sahip olması ve dolayısıyla daha az yakıt tüketmesi istenmektedir. Ancak lastiğin bu özelliklerin hepsini aynı anda sağlaması imkânsızdır. Bu özelliklerden biri sağlanırken diğerinden taviz verilmesi gerekmektedir.

Tekerlek lastiklerinin yapılarında, gerekli yüksek mukavemeti karşılamak üzere naylon, rayon, polyester gibi elyaf esaslı kordlar ile çelik kordlar bulunmaktadır (Şekil 1.2). Topuk dayanımları ise çelik teller yardımıyla sağlanır. Birbirinden farklı karakterdeki bu elemanların bir arada tutulması ve hizmet anında zeminle temasın güvenle sağlanması ile yanaklardaki esneme kabiliyetinin verilmesi görevini lastik karışımı üstlenir. Lastik karışımını, doğal ve sentetik kauçuklar ile ana dolgu olarak karbon karaları oluşturur. Bunlara ilave olarak, koruyucular adı altındaki kimyasallar ile lastiğin "elastik" hale gelmesini sağlayan vulkanizasyon elemanları bulunmaktadır. Karışımın işlenmesi ve homojenliği için kimyasal yağlar kullanılır.

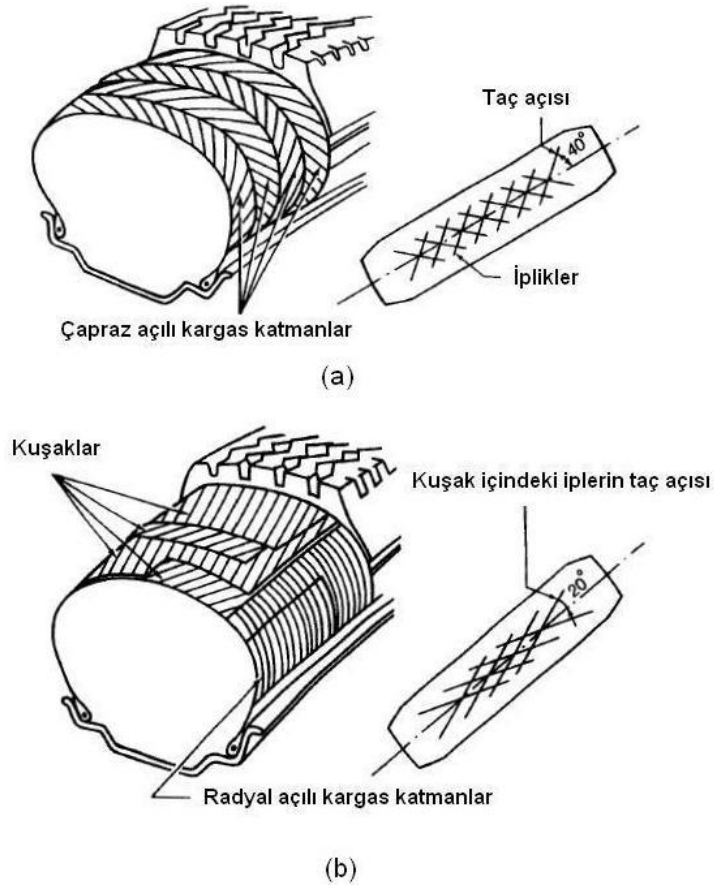


Şekil 1.2. Lastiğin yapısı (Nice, 2010)

Lastikler yapılarına, taban desenlerine, kauçuk karışımlarına ve kullanım amaçlarına göre sınıflara ayrılır. Lastiğin karkas yapısında kullanılan kord bezinin geometrisi lastiğin konvansiyonel veya radyal yapıda olmasını belirler. Konvansiyonel lastiklerde, lastiğin yapısını meydana getiren kord bezleri taç açısı olarak adlandırılan 30-40 derecelik açılarda, üst üste ve çapraz biçimde yerleştirilir (Şekil 1.3). Bu nedenle konvansiyonel lastikler çapraz katlı veya diyagonal lastikler olarak da adlandırılır. Son yıllarda otomotiv lastik teknolojisindeki gelişmeler, konvansiyonel lastiklerin terk edilip radyal lastiklerin kullanılmasına yol açmıştır.

Radyal gövdeli lastiklerin sırt gövdesi boyunca 15 ile 25 derecelik açılarla üst üste ve çapraz biçimde kuşaklar yerleştirilir. Kuşakların görevi; lastiğin mukavemetini arttırmak, taban izinin şekil değiştirmesini önlemek ve lastiğin yerle temas eden bölgesinin alanını arttırmaktır. İki tür kuşak bulunur. Birincisi, bez dokumadan üretilen 'tahrik', diğeryise tellerden üretilen 'çelik' kuşaktır. Çelik kuşağın daha dayanıklı, daha emniyetli ve yüksek hızlara daha iyi uyum sağlaması, lastik üreticilerinin bu tür lastik üretimine yönelmesine neden olmuştur.

Radyal lastiklerin konvansiyon lastiklere göre en önemli avantajları; daha esnek olmaları ve daha az ısınıp daha kolay soğumalarıdır. Bunun dışında radyal lastiklerin yerde bıraktığı taban izi çapraz lastiklerinkinden daha geniştir. Bu avantaj, radyal lastiklerin konvansiyonel lastiklere oranla yüzde 20 daha iyi yol tutmasını sağlar. Yola temas eden bölümün daha fazla oluşu nedeniyle çeki gücü ve fren güvenliği daha yüksektir. Radyal lastiklerde taban sert, yanaklar yumuşaktır; bu da lastiğin yola temas eden bölümünün sürekli olarak aynı genişlikte kalmasını sağlar. Radyal lastiklerin kat ve sırt ayrılmaları da daha dayanıklıdır. Bu ise yola tutunum başarısını artırır.



Şekil 1.3. Lastik katmanları a) Çapraz katlı b) Radyal (Wong, 2001)

1.2. Tekerlek-Yol Etkileşimi

Tekerlek-yol etkileşiminde; ideal olarak, hareketin tamamen sürtünmesiz, yolun ve tekerleğin tamamen rijit olduğu varsayılmaktadır. Bu duruma, demiryolu ulaşımında yaklaşılmaktadır. Çünkü tekerlek ve rayın her ikisi de hemen hemen rijittir. Genel olarak tekerlek-yol etkileşiminde şu dört konum söz konusu olabilir:

1. Rijit tekerlek-rijit zemin (demiryolu)
2. Rijit tekerlek-esnek zemin (çelik tekerlekli traktör)
3. Esnek tekerlek-rijit zemin (sert yolda pnömatik tekerlek)
4. Esnek tekerlek-esnek zemin (yumuşak zeminde pnömatik tekerlek)

Tekerlekle zemin arasındaki sürtünmenin bir fonksiyonu olan tutunma katsayısı birçok fiziksel değişkenlere bağlı olup kullanım durumlarına göre büyük değişiklikler göstermektedir. Örnek vermek gerekirse bu katsayı yolun; asfalt, toprak ya da beton olmasına, ıslak, kuru veya yağlı olmasına, lastiğin tasarımına ve aracın hızına göre değişiklik göstermektedir. Tutunma katsayısı (μ) ne kadar büyük olursa frenleme kapasitesi de o kadar büyümektedir. Dolayısıyla her ne kadar traktörler beton ve asfalt ortamlarda çok fazla kullanılmıyorsa da frenleri iyileştirmek için en kötü durumu göz önünde bulundurmakta yarar vardır.

Lastik sert zemin üzerinde yuvarlanmaya başladığı zaman, lastiğin karkas yapısı yer ile temas ettiği alanda şekil değiştirir. Bu şekil değiştirmenin sonucu lastiğin hareket yönündeki normal basınç, diğer taraftaki basınçtan yüksek olur. Yani normal basınç merkezi lastik ekseninden hareket yönüne doğru bir miktar kayar. Bu kayma lastik eksenine göre bir moment oluşturur ve bu momente yuvarlanma direnç momenti adı verilir. Serbest yuvarlanan bir lastik düşündüğümüzde tekerlek momenti sıfıra eşittir ve tekerleğin denge şartının sağlanması için yer ile temas ettiği noktadan bir kuvvet etki etmek zorundadır. İşte bu yatay kuvvete yuvarlanma direnç kuvveti denir. Bu kuvvetin normal yüke oranına da yuvarlanma direnç katsayısı adı verilir (Şekil 1.4). Burada R_y yuvarlanma direncini göstermektedir.

Lastik merkeziyle basınç merkezi arasındaki mesafeye e denilirse, düz yolda sabit bir hızda hareket halindeki bir tekerleğin yuvarlanma direnci için tekerlek merkezine göre momentlerin toplamı;

$$M_a + R_y \cdot r_t = F_t \cdot r_t + W \cdot e \quad (1.1)$$

yazılabilir.

$$M_a = F_t \cdot r_t \quad (1.2)$$

olduğundan;

$$R_y \cdot r_t = W \cdot e \quad (1.3)$$

$$R_y = W \frac{e}{r_t} \quad (1.4)$$

yazılabilir. Burada;

M_a : Aks torku (Nm)

F_t : Tahrik kuvveti (N)

R_y : Yuvarlanma direnci (N)

r_t : Dinamik lastik yarıçapı (m)

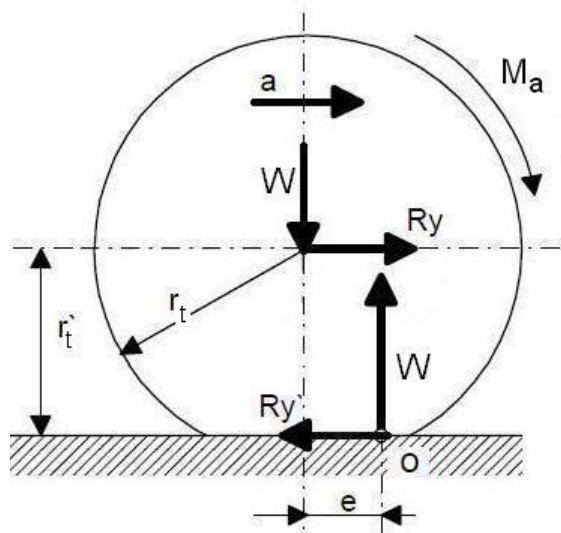
(1.4) eşitliğindeki e/r_t oranı yuvarlanma direnç katsayısı olarak tanımlanmakta ve f ile gösterilmektedir.

$$f = \frac{e}{r_t} \quad (1.5)$$

Sonuç olarak;

$$R_y = f \cdot W \quad (1.6)$$

olacaktır (Çetinkaya, 2005).



Şekil 1.4. Yuvarlanma direnci (Dwyer, 1984)

Sert zeminlerdeki yuvarlanma direncinin ana kaynağı yuvarlanma sırasında lastiğin karkas yapısındaki şekil değiştirmeden dolayı ortaya çıkan histerisizlerdir. Diğer bir deyişle lastiğe döndürmek için verdiğimiz enerjinin tamamı dönme olayı için

kullanılmamakta, bir kısmı kaybolmaktadır. Bunun yanı sıra kaymadan dolayı lastik ile yol arasındaki sürtünme, lastiğin içindeki havanın sirkülasyona (devinime) olan direnci ve lastik ile çevresindeki hava arasında oluşan fan etkisi, yuvarlanma direncinin ikincil kaynaklarıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar 125-150 km/h hızlar arasında yuvarlanma direncinin %90~95'i lastiğin yapısal histerisizlerinden, %2~10'u lastik ile yer arasındaki sürtünmeden ve %1.5~3.5'inin de hava direncinden kaynaklandığını göstermektedir. Radyal lastikteki yapısal histerisizler üzerine yapılan diğer bir deneysel çalışma ise bu histerisizleri %73'ünün profil kısmından, %13'ünün yan duvarlardan, %12'sinin omuz kısmından ve %2'sinin de topuk bölgesinden kaynaklandığını göstermektedir (Wong, 2001).

Lastiklerin yuvarlanma direnci katsayıları, birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler; taşıt hızı, lastik yapısı, taç açısı, iç basıncı, kesit oranı, lastik karışımı, profil malzemesi ve biçimi ile yol yüzeyinin durumu şeklinde özetlenebilir. Değişik yol yüzeyleri için, tipik yuvarlanma direnci katsayıları ve tutunma katsayıları, Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Yuvarlanma direnci katsayıları (Saral, 1984)

Yüzey Şekli	Yuvarlanma direnç katsayısı (f)	Tutunma katsayısı (μ)
		%15 Patinaj koşulunda
Beton	0.02	-
Tarla yolu	0.05	0.7
Bıçılmış çayır, sertçe anız	0.05-0.09	0.5
Anız	0.12-0.17	0.30-0.38
Çok nemli kumlu tın	0.15-0.25	0.20-0.30
Yumuşak ve ıslak tarla	0.20-0.35	0.10-0.20

Sert ve düzgün yüzeylerdeki yuvarlanma direnci bozuk yol şartlarına göre oldukça düşüktür. Yumuşak yüzeylerde yuvarlanma direncinin artmasının sebebi lastik temas alanındaki normal basıncın daha da öne kaymasıdır, yani lastik zemine batma miktarına göre küçük bir basamağı geçiyormuş gibi davranır. Bundan dolayı yumuşak zeminlerde çalışacak taşıtların lastiklerinin zemine batma miktarı, yani normal basınç şiddeti, azaltılmalıdır. Bunu sağlayabilmek için daha geniş lastikler kullanılabileceği gibi daha sonra da bahsedileceği gibi lastik iç basıncı azaltılarak temas alanı artırılabilir.

Taşıt lastiklerinde 1895 yılına kadar dolgu lastikler kullanılmıştır. Bu lastiklerin yuvarlanma dirençleri oldukça yüksek olmakla beraber, hareket ettirilirken karşılaşılan atalet kuvveti de oldukça büyüktür. Atalet kuvvetinin azaltılması için yapılan çalışmalar şişme lastikleri ortaya çıkartmıştır. Üretilen bu şişme lastikler 1946 yılına kadar çapraz-katlı olarak tek tip üretilmiştir. 1946 yılında Michelin firması yeni bir lastik tipi olan radyal lastiğin patentini almıştır. Bu tarihten itibaren de radyal lastiğin kullanımı bir çığ gibi büyümüştür. Günümüzde otomobillerde kullanılan lastiklerin hemen hemen tamamı radyal lastiktir. Yapılan ölçümler radyal lastiklerin yuvarlanma direnç katsayılarının çapraz- katlılara göre oldukça iyi olduğunu göstermiştir. Radyal lastiğin yuvarlanma direncinin çapraz- katlıdan düşük olmasının ana sebebi çapraz- katlı lastiklerde belirli bir açı ile döşenmiş lif tabakalarının lastiği şekil değiştirmeleri sırasında birbirleri arasında bir kayma hareketi yaparak enerji kaybına sebep olmalarıdır. Çapraz-katlı lastiklerin yuvarlanma dirençleri daha yüksek olmasına karşılık yük taşıyan araçlarda halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu lastiklerin yük kapasiteleri radyal lastiğe göre daha yüksektir. Şekil 1.5’de düz yolda belirli bir yük ve lastik iç basınç değerinde otomobillerde kullanılan çapraz-katlı ve radyal lastiklerin değişik hızlardaki yuvarlanma direnç katsayısı görülmektedir. Karkas katların sayısındaki artış, çok büyük histerisiz kayıplarına neden olmakta ve yuvarlanma direnç katsayısının artırmaktadır (Bosch, 1986). Hıza bağımlı olarak, yuvarlanma direnç katsayısını belirlemek için; deneysel veriler üzerine kurulmuş, birçok eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliklerden ikisi;

$$f = a + b \cdot v^n \quad (1.7)$$

ve

$$f = 0.01 \left(1 + \frac{v}{160} \right) \quad (1.8)$$

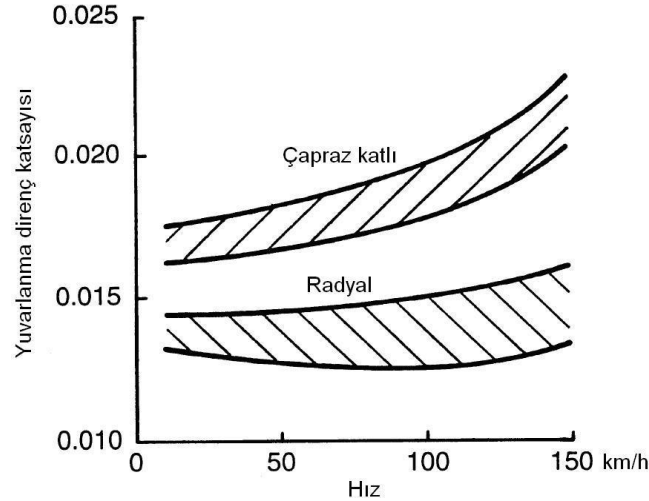
şeklindedir. Burada;

v : Otomobiller için taşıt ilerleme hızı (km/h)

a, b ve n : Belirli bir lastik, lastik iç basıncı ve lastik yükü için verilmiş katsayılarıdır (Çetinkaya, 2005).

Lastiğin üretim tipinin yanı sıra lastiğin profil kalınlığı, profil şekli, yanak kalınlığı, yanak genişliği ve çapraz- katlı lastikte katmanların sayısı da yuvarlanma direncini etkiler. Lastiğin profillerinin ve yanağının kalınlığı şekil değiştirmeyi zorlaştırdığından yuvarlanma direncinin azaltır. Lastiğin yanak yüksekliğinin azaltılması yuvarlanma direncini düşürür. Çünkü şekil değiştiren malzeme miktarı

(alan) azalır, yani daha az enerji kaybı olur. Fakat lastiğin yanak genişliğinin fazla düşürülmesi, lastiğin temel işlevlerinden olan darbeleri engelleme görevini yapamaması ile sonuçlanır.



Şekil 1.5. Radyal ve çapraz-katlı lastiklerin değişik hızlardaki yuvarlanma direnç katsayıları (Wong, 2001)

Lastik iç basıncı direk olarak lastiğin esnekliği ile ilgilidir. Yolun yumuşaklığına göre iç basıncın yuvarlanma direncine olan etkisi farklı farklıdır. Sert zeminlerde lastik iç basıncının yüksek olması yuvarlanma direncini düşürür. Bunun sebebi yüksek basınçta lastiğin şekil değiştirmesinin azalması yani yapısal histerisizlerinin azalmasıdır (Burt ve Bailey, 1982). Örneğin radyal lastiğin iç basıncını yarıya indirdiğimizde yuvarlanma direnci 1.27 katına çıkmasına karşın çapraz- katlıda bu oran 1.92'dir. Kum gibi yumuşak zeminlerde lastik iç basıncının arttırılması zemine batma miktarını arttıracığı için yuvarlanma direncini Şekil 1.6'da görüldüğü gibi arttırır.

Yuvarlanma direnç katsayısının, yük ve basınca bağımlı değişimini yaklaşık olarak veren çeşitli sayısal eşitlikler bulunmaktadır. Bu eşitliklerden birine göre;

Çapraz katlı lastikler için;

$$\frac{f'}{f} = \left(1.5 - 0.5 \cdot \frac{P'}{P}\right) \left(1.5 - 0.5 \cdot \frac{G}{G'}\right) \quad (1.9)$$

Radyal lastikler için;

$$\frac{f'}{f} = \left(1.3 - 0.3 \cdot \frac{P'}{P}\right) \left(1.3 - 0.3 \cdot \frac{G}{G'}\right) \quad (1.10)$$

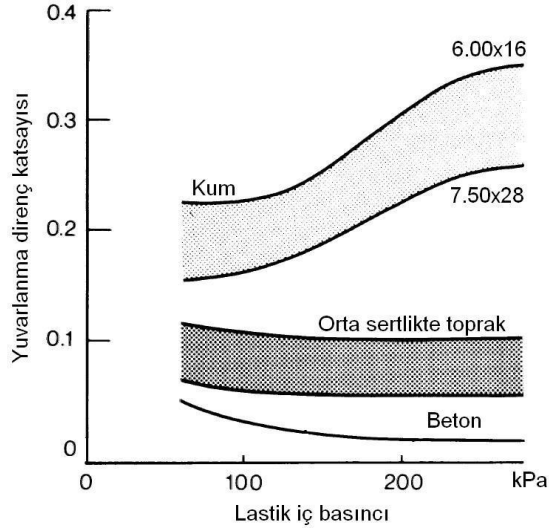
burada;

P : Lastik iç basıncı (kPa)

G : Lastik yükü (N)

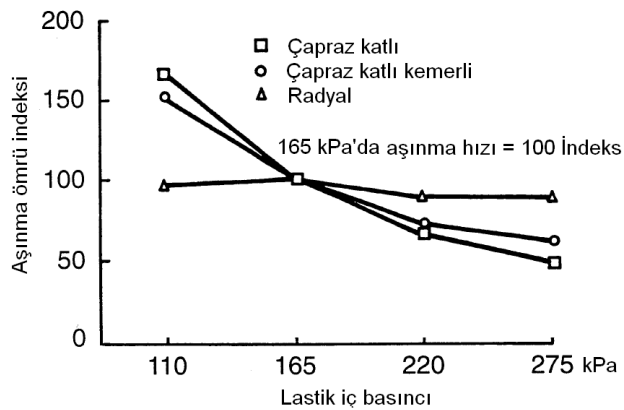
f : Herhangi bir P ' basınç ve G' yükündeki yuvarlanma direnç katsayısıdır.

f' : Yük ve basınç değişimi ile elde edilen yuvarlanma direnç katsayısıdır (Çetinkaya, 2005).



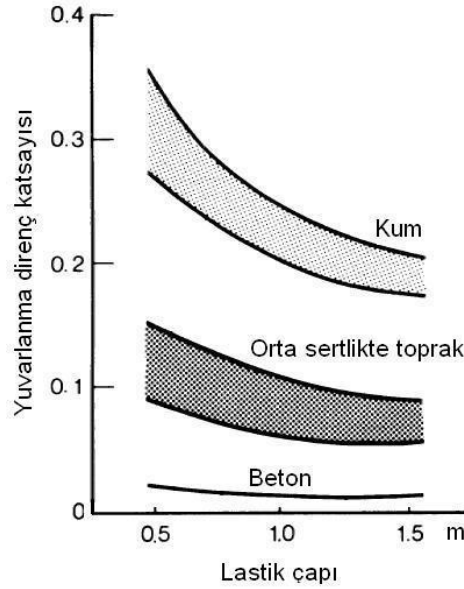
Şekil 1.6. Yuvarlanma direnç katsayısının lastik iç basıncıyla değişimi (Wong, 2001)

Lastik iç basıncı sadece yuvarlanma direncini değil lastiğin aşınma ömrünü de etkiler. Şekil 1.7'de çapraz katlı, çapraz katlı kuşaklı ve radyal lastiklerin iç basınç değerlerindeki değişimin aşınma hızına etkisi görülmektedir. Burada karşılaştırma referansı olarak 165 kPa'daki aşınma hızı kullanılmıştır. Görüldüğü gibi aşınma ömrüne lastik iç basıncının etkisi radyal lastiklere göre çapraz- katlı ve çapraz katlı kuşaklı lastiklerde daha fazladır (Wong, 2001). Aşınma ömrü indeksi; lastiğin standart şartlar altında, aşınma ömrü 100 olarak kabul edilen kontrol lastiğine göre nispi ömrünü gösterir.



Şekil 1.7. Lastik iç basıncı ile aşınma indeksinin değişimi (Wong, 2001)

Lastiğin çapı ile yuvarlanma direnç katsayısı arasındaki ilişki Şekil 1,8'de verilmiştir. Buradan sert zeminlerde lastik çapının yuvarlanma direnç katsayısı üzerinde pek de etkili olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan yumuşak zeminlerde oldukça etkilidir (Wong, 2001).



Şekil 1.8. Lastik çapının yuvarlanma direnç katsayısına etkisi (Wong, 2001)

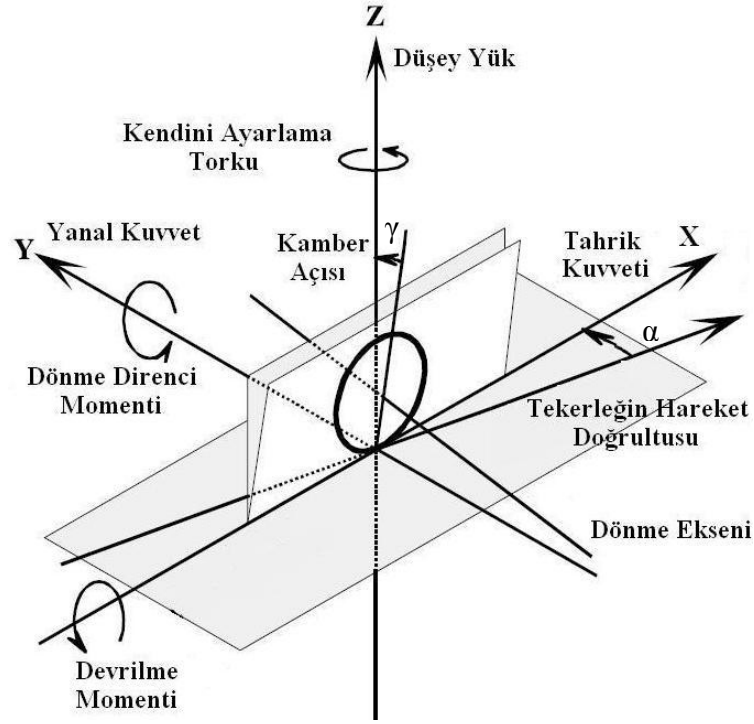
Genel olarak kullanılan bir eksen sisteminde tekerleğe etkiyen kuvvet ve momentler Şekil 1.9.'da gösterilmiştir. Tekerleğe etkiyen üç kuvvet ve üç moment bulunmaktadır. Kuvvetler;

- Uzunlamasına kuvvet, (tahrik kuvveti (F_x),
- Yanal kuvvet (F_y),
- Normal kuvvet (F_z),

Momentler ise;

- X eksenine göre, devrilme momenti (M_x),
- Y eksenine göre, yuvarlanma direnci momenti (M_y),
- Z eksenine göre, ayarlama momenti (M_z)'dir.

Hareket halindeki tekerlekle ilgili olarak, iki de önemli açı bulunmaktadır. Bunlar, kayma açısı ve kamber açısıdır. Kayma açısı (α), tekerlek düzleminin, yol yüzeyi ile arakesiti ve tekerleğin hareket doğrultusu arasındaki açıdır. Kamber açısı (γ) ise, xz düzlemi ile tekerlek düzlemi arasındaki açıdır. Lastiğin geliştirdiği yanıl kuvvet, bu iki açının fonksiyonudur (Takahashi ve ark., 2004).



Şekil 1.9. Tekerlek eksen sistemi (Takahashi ve ark., 2004)

1.3. Çeki Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Motor tarafından geliştirilen dönme momenti, muharrik tekerleklerde;

$$M_t = M_m \cdot i \cdot \eta_{tr} \quad (1.11)$$

tekerlek dönme momentini meydana getirir. Burada;

M_t : Tekerlek dönme momenti (Nm)

M_m : Motor momenti (Nm)

i : Toplam transmisyon oranı (-)

η_{tr} : Transmisyon verimidir. (-)

Tekerlek dönme momenti aynı zamanda tahrik kuvvetiyle ilişkili olarak;

$$M_t = F_t \cdot r_t \quad (1.12)$$

olur. Buradan çeki kuvveti;

$$P_\zeta = F_t - R_y \quad (1.13)$$

bağlantısı ile hesaplanabilir (Saral, 1984). Burada;

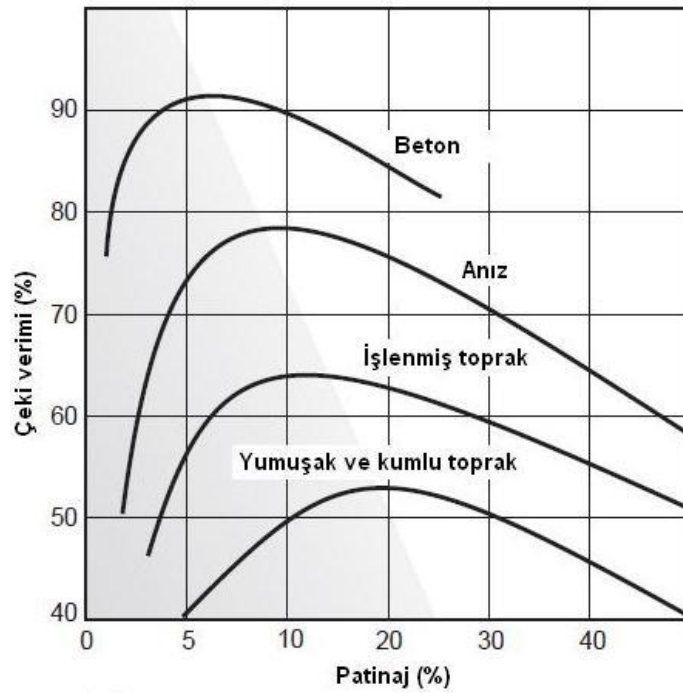
P_ζ : Çeki kuvveti (N)

F_t : Tahrik kuvveti (N)

r_t : Dinamik lastik yarıçapı (m)

R_y : Yuvarlanma direnci (N)

Genel olarak çeki kuvveti, tekerleğin toprakta meydana getirdiği temas alanı ile aks yükünün etkisi altındadır. Kum gibi yapışma kuvveti olmayan topraklarda, çeki kuvveti ağırlık artışı ile sağlanabilir. Çünkü bu koşullarda tekerleğin batma miktarı yeterli değildir. Çok rutubetli killi topraklarda sürtünme kuvveti yoktur. Bu nedenle yük artırılrsa bile toprak reaksiyonu artmaz, çeki kuvveti artışı tekerlek yüzeyinin artışı ile sağlanabilir. Ayrıca yürüme organlarının çeki yeteneğine, yuvarlanma direnci etkilidir. Yuvarlanma direnci ise tekerleğin toprakla temas alanı büyüklüğü ile ters orantılıdır. Araştırmalar maksimum çeki verimini; beton yüzeyde % 87, anızda % 74, pullukla sürülmüş tarlada % 47 olarak saptanmıştır. Çeki verimliliği pullukla işlenmiş ve anız toprak yüzeylerinde maksimum çeki yükünün yaklaşık 2/3'ünde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu nedenle çeki verimliliğinin uygun değerlerde bulunması için traktörün geliştirebileceği maksimum çeki kuvvetinin % 100'ü ile çalıştırılmasına gerek yoktur (Sabancı, 1993). Farklı yüzeylerde çeki kuvveti ve çeki verimliliği ilişkisi Şekil 1.10.'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Farklı yüzeylerde çeki kuvveti ve çeki verimliliği (Casady, 1997)

Çeki verimi çeki gücünün aks gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Çeki gücü aşağıdaki bağlantı ile hesaplanabilir;

$$N_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon} \cdot V}{1000} \quad (1.14)$$

Burada;

N_{ζ} : Çeki gücü (kW)

V : Traktör ilerleme hızıdır (m/s)

Aks gücü ise tekerlek momenti ve devrinin fonksiyonudur. (1.12) nolu eşitlikten;

$$F_t = \frac{M_t}{r_t} \quad (1.15)$$

ise ve çevresel tekerlek hızı;

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_t \cdot n}{60} \quad (1.16)$$

ise, aks gücü tahrik kuvveti ve tekerlek çevresel hızının bir fonksiyonu olarak;

$$N_a = \frac{F_t \cdot v}{1000} \quad (1.17)$$

(1.15) ve (1.16) nolu eşitliklerden;

$$N_a = \frac{M_t \cdot 2\pi \cdot r_t \cdot n}{r_t \cdot 60 \cdot 1000} \quad (1.18)$$

$$N_a = \frac{M_t \cdot n}{9549} \quad (1.19)$$

olarak aks gücü belirlenebilir.

N_a : Aks gücü (kW)

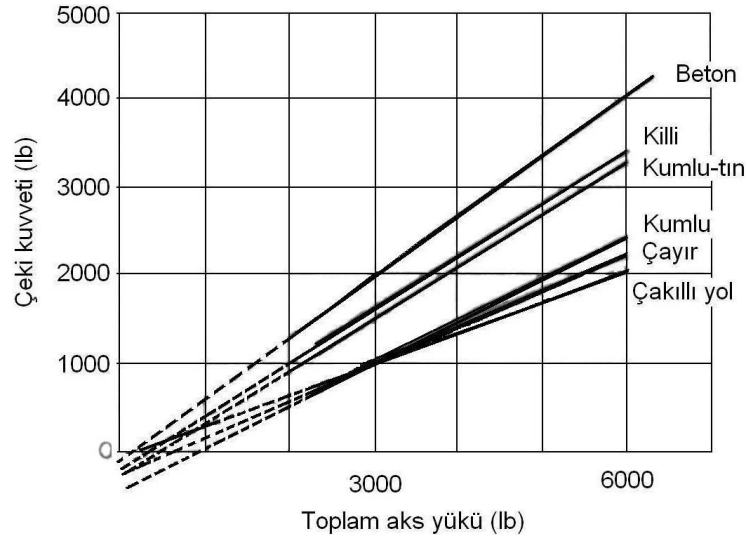
n : Tekerlek devri (d/d)

Çeki verimi (η_{ζ}) ise;

$$\eta_{\zeta} = \frac{N_{\zeta}}{N_a} \quad (1.20)$$

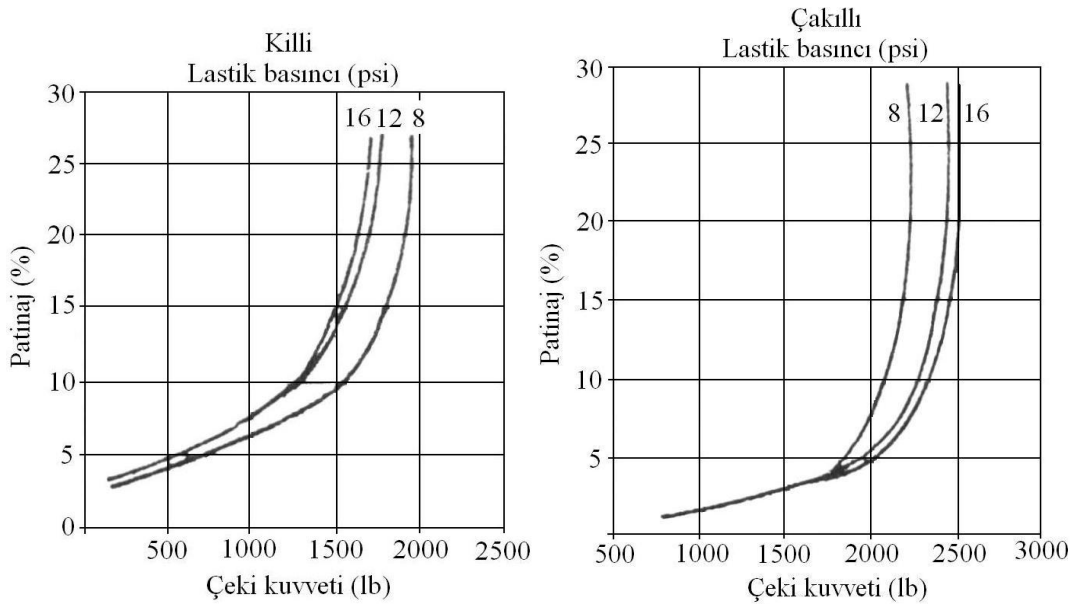
olarak elde edilebilir (Sabancı, 1993; Öğüt, 1998).

Aks yükünün değişik yüzeylerde çeki kuvveti üzerindeki etkileri Şekil 1.11'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, değişik topraklarda çeki kuvvetlerini etkileyen en önemli etken taşınan ağırlıklardır. Ayrıca patinajın %15'in üzerine çıkması, çeki kuvvetini bir miktar artırmaya karşılık, lastiklerde aşırı yıpranma oluşturmaktadır. Bu nedenle traktör çeki yeteneği, toplam ağırlıkla doğru orantılı değildir, zemin koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin aks ağırlığının etkisi çayır yüzeylere kıyasla beton zeminde çok daha yüksektir.



Şekil 1.11. Aks yükünün değişik yüzeylerde çeki kuvvetine etkileri (Sabancı, 1993)

Lastik basıncının azalması, tekerleğin toprağa batma miktarını da azaltmaktadır. Buna göre lastik basıncındaki azalış, çeki yeteneğinin artmasına sebep olur. Ancak, bu durum toprak koşullarına göre de farklılık göstermektedir. Killi toprak yüzeyinde lastik basıncı ile çeki yeteneği ters, kumlu toprakta ise doğru orantılı bir ilişki içinde değişmektedir (Şekil 1.12). Çeki yeteneğini artırmak için killi topraklarda lastik iç basıncı azaltılmalı, kumlu ve çakıllı topraklarda aks yükü artırılmalıdır. Normal koşullarda, lastik iç basıncı azaltılarak çeki yeteneği artırılabilir. Ancak bu işlem lastik ömrünü kısaltacağından zorunlu olmadıkça uygulanmamalıdır (Sabancı 1993).

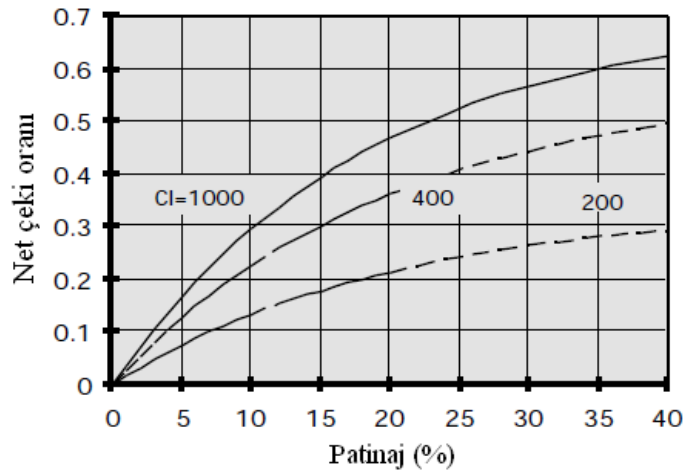


Şekil 1.12. Lastik basıncının çeki kuvvetine etkileri (Sabancı 1993)

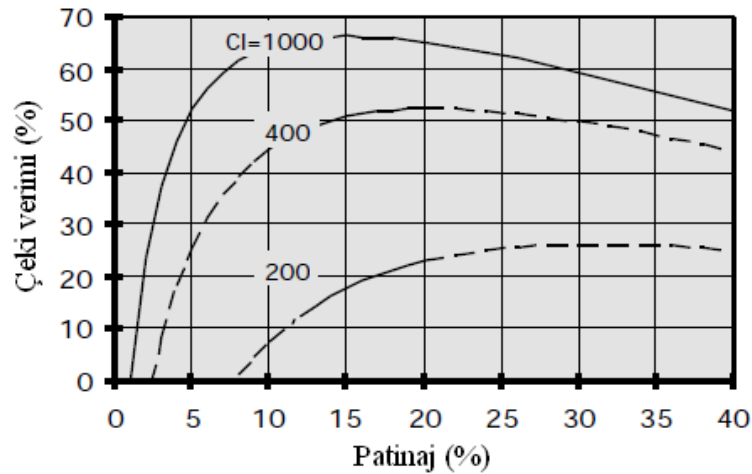
Net çeki oranı çeki kuvvetinin muharrik tekerlekler üzerindeki dinamik ağırlığa oranıdır. Yüksek bir net çeki oranı elde edilmesi çeki kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır. Ancak çok fazla bir değerde olması sıkışmaya ve tekerlek aksında aşırı gerilmelere sebep olabilir.

Net çeki oranı (çeki katsayısı)-patinaj ilişkisi Şekil 1.13'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sabit patinajda net çeki oranı değeri; toprak direnci $CI=1000$ kPa olan kuru anızda, toprak direnci $CI=200$ kPa olan nemli gevşek toprağa göre daha yüksektir. Teknik olarak net çeki oranının artırılması için değişik lastik profilleri geliştirilmiş ve radyal lastiklerin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Değişik yüzey durumlarına göre çeki verimi değişimi Şekil 1.14'de gösterilmektedir. Toprağın artan batma direncine (CI) bağlı olarak çeki veriminin arttığı saptanmıştır.



Şekil 1.13. Üç farklı yüzey durumunda çeki katsayısının değişimi (Macmillan, 2002)



Şekil 1.14. Üç farklı yüzey koşulunda patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (Macmillan 2002)

1.4. Çeki Performansına Teoriksel Yaklaşımlar

Çeki performansını belirlemek için yapılan araştırmalar neticesinde çeki karakteristiklerini tanımlamaya yönelik birçok eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliklerden literatürde en çok rastlanan modellemelerden birkaç tanesi örnek olarak verilmiştir.

1.4.1. Brixius çeki tahmin eşitlikleri

Brixius (1987), çapraz katlı lastiklerin çeki tahmin eşitlikleri isimli bir çalışmasında çeki performansı üzerine tahminler yürütebilmek için aşağıdaki eşitlikleri geliştirmiştir. Eşitliklerde kendi geliştirdiği simge ve kısaltmalar kullanılmıştır.

Hareketlilik sayısı: Tekerlek numeriği, defleksiyon oranı ve lastik çap-genişlik oranı kombinasyonundan oluşturulan bir eşitliktir. Bu eşitlik;

$$B_n = \left(\frac{CIbd}{W} \right) \left(\frac{1 + 5 \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \frac{b}{d}} \right) \quad (1.21)$$

burada;

B_n : Hareketlilik sayısı (-)

CI : Koni indeksi (kN/m^2)

b : Lastik kesit genişliği (m)

d : Lastik çapı (m)

h : Lastik kesti yüksekliği (m)

W : Dinamik aks yükü (kN)

δ : Lastik defleksiyonu, olarak vermiştir.

Brüt çeki oranı (Tork oranı): Bu oran hareketlilik sayısının bir fonksiyonudur.

$$GTR = \frac{Q}{r_t W} = 0.88 \left(1 - e^{-0.1B_n} \right) \left(1 - e^{-7.5S} \right) + 0.04 \quad (1.22)$$

GTR: Brüt çeki oranı

Q : Tork (kNm)

r_t : Dinamik lastik yarıçapı (m)

S : Patinaj (%), olarak vermiştir.

Hareket direnç oranı: Tekerlek yükünün etkisiyle tekerleğin hareketine karşı topprağın göstermiş olduğu bir dirençtir.

$$\frac{M}{W} = \frac{1.0}{B_n} + 0.04 + \frac{0.5S}{\sqrt{B_n}} \quad (1.23)$$

M : Hareket direnci (kN)

Net çeki oranı: Tekerlek yükünün etkisiyle tekerlekte oluşan net çekiği ifade eden bir eşitliklerdir.

$$NTR = \frac{P_\zeta}{W} = \frac{Q}{rW} - \frac{M}{W} \quad (1.24)$$

olarak ifade edilir. Burada

NTR: Net çeki oranı (-)

P_ζ : Çeki kuvveti (kN)'dir.

Çeki verimi: Çıkış gücünün giriş gücüne oranını ifade eder.

$$TE = \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Giriş gücü}} = \frac{\frac{P_\zeta}{W}}{\frac{Q}{r_i W}} (1 - S) \quad (1.25)$$

TE: Çeki verimi (-)

1.4.2. Wismer ve Luth çeki tahmin eşitlikleri

Wismer ve Luth (1974) yol dışı taşıt tekerleklerinin çeki tahminleri isimli çalışmalarında geliştirdikleri eşitlikler şunlardır;

Hareketlilik sayısı:

$$C_n = \frac{Cbd}{W} \quad (1.26)$$

C_n : Hareketlilik sayısı (-)

C : Koni indeksi (kN/m²)

Net çeki oranı:

$$NTR = 0.75 \left(1 - e^{-0.3C_n S} \right) - \left(\frac{1.2}{C_n} + 0.04 \right) \quad (1.27)$$

Çeki verimi:

$$TE = (1 - S) \left[1 - \frac{\frac{1.2}{C_n} + 0.04}{0.75 \left(1 - e^{-0.3C_n S} \right)} \right] \quad (1.28)$$

1.4.3. Esch çeki tahmin eşitlikleri

Esch (1987) çeki performansı tahminleri için geliştirdiği eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Net çeki oranı:

$$NTR = A \frac{\tau_{mx}}{W} \left[1 - \frac{k}{S \cdot l} \left(1 - e^{-\frac{S \cdot l}{k}} \right) \right] - \frac{MR}{W} \quad (1.29)$$

Burada;

A : Lastik temas alanı (cm²)

τ_{mx} : Toprağın kesme gerilmesi (N/cm²)

k : Toprağın yatay kesme deformasyon modülü (-)

l : Lastik temas uzunluğu (cm)

MR: Hareket direnci (N)

Çeki verimi:

$$TE = (1 - S) \left[1 - \frac{MR}{A \tau_{mx} \left[1 - \frac{k}{S \cdot l} \left(1 - e^{-\frac{S \cdot l}{k}} \right) \right]} \right] \quad (1.30)$$

1.4.4. Rummer ve Ashmore çeki tahmin eşitlikleri

Rummer ve Ashmore (1986) performans tahminleri için modelledikleri bir

eşitliğe lastik yük oranı olarak bir terim eklemiştir.

$$GTR = \frac{T}{rW} = 0.47 \left(1 - e^{-0.20C_n S}\right) + 0.28 \left(\frac{W}{W_R}\right) \quad (1.31)$$

$$\frac{R_y}{W} = -0.10 \left(\frac{W}{W_R}\right) + \frac{0.22}{C_n} + 0.20 \quad (1.32)$$

Burada;

R_y : Yuvarlanma direnci (N)

W_R : Lastik yük oranıdır. (-)

1.4.5. Turnage çeki tahmin eşitlikleri

Turnage (1972) yuvarlanma direnci ve %20 patinaj değerindeki çeki kuvvetini kullanarak ürettiği eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{R_y}{W} = 0.04 + \frac{0.020}{M - 2.5} \quad (1.33)$$

$$\frac{D_{20}}{W} = 0.80 + \frac{1.31}{M - 2.45} \quad (1.34)$$

Burada;

M: Hareketlilik sayısıdır(-)

1.4.6. Dwyer çeki tahmin eşitlikleri

Dwyer'in (1984) önerdiği eşitliklere göre hareketlilik sayısı (M);

$$M = \left(\frac{Cbd}{W}\right) \sqrt{\frac{\delta}{h}} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{2d}}\right) \quad (1.35)$$

Burada;

C : Koni indeksi (kPa)

δ : Defleksiyon (%)

b : Lastik kesit genişliği (m)

d : Lastik çapı (m)

h : Lastik kesit yüksekliği (m)

W : Aks yüküdür. (kN)

Net çeki oranı (CT) eşitliği ise;

$$C_T = (C_T)_{\max} (1 - e^{-kS}) \quad (1.36)$$

k: Kesme modülü (-)

S : Patinaj (%)

Çeki verimini;

$$TE = \frac{C_T (1 - S)}{C_T + C_R} \quad (1.37)$$

Olarak modellemiştir. Burada;

TE : Çeki verimi (-)

C_R : Hareket direnç oranıdır. (-)

Günümüzde, bahçe traktörleri gibi küçük yapıdaki traktörlerin tekerlek hızı ve patinaj şartlarındaki, lastik çeki performansı hakkında çok az bilgi vardır. Bu nedenle, bu şartlar altında yeterli veri oluşturmak için yeni bir test düzeneği tasarlanmıştır. Bir traktöre bindirilmiş, bu Tek Tekerlek Test Düzeneği (TTTD) ile; iki farklı lastik tipinin, üç farklı lastik profil yüksekliğinin, üç aks yükü ve üç farklı lastik hava basıncının farklı zemin koşullarındaki çeki performansları belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, lastikler, tekerlek zemin etkileşimi, çeki performansını etkileyen faktörler ve literatürde yer etmiş deneysel yaklaşımlara yer verilmiştir. İkinci bölümde ise, araştırmada ele alınan konular ile ilişkili olarak daha önce farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde test düzeneğinin tasarımı, imalatı ve çalışmada kullanılan materyal ve metotlar açıklanmış, dördüncü bölümde deney sonuçları verilerek tartışılmıştır. Beşinci bölümde, yüksek bir çeki performansı sağlayabilmek için en uygun lastiğin yapısal ve çalışma parametrelerinin ne olabileceği ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çeki Performansı Deney Düzenekleri

Yol dışı araçların zemin ve lastik etkileşimlerinin performans etkilerini belirlemek amacıyla geliştirilen deney düzeneklerini 4 grup altında incelemek mümkündür.

2.1.1. Toprak kanalında yürütülen deney düzenekleri

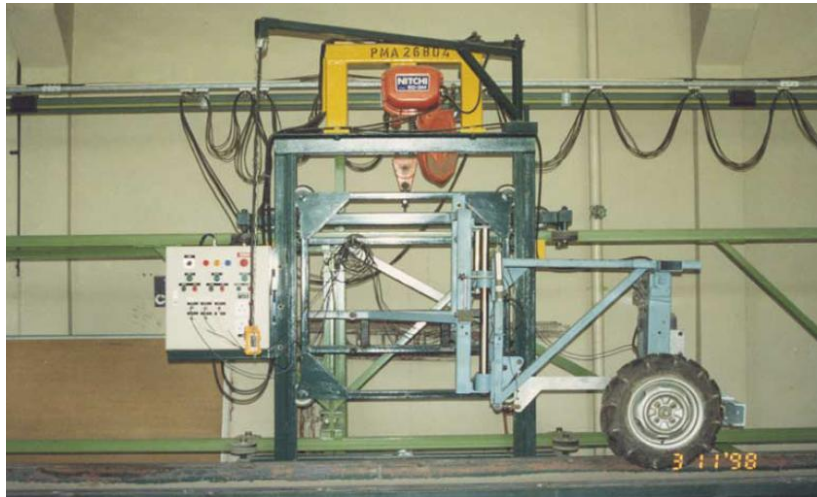
Birinci grup laboratuvar şartlarında deneme zemini olarak toprak kanalı kullanılan ve genellikle elektrik motorlarıyla tahrik edilen ve raylar boyunca hareket kabiliyetine sahip tek tekerlek test düzenekleridir. Bu düzeneklerin sakıncaları; testlerin düşük ilerleme hızlarında ve düşük lastik kayma şartlarında gerçekleşmesinden dolayı arazi şartlarında elde edilen performans verileriyle pek örtüşmemesidir. Bu veri eksiklikleri çeki performans değerlendirilmelerinde yanlış yaklaşımlara neden olmaktadır. (Upadhyaya, 1989).

Pope (1971) tekerlek hızının yuvarlanma direnci üzerindeki etkilerini araştırmak için 6m x 0.64 m x 0.23 m ölçülerindeki toprak kanalı içerisinde, imal ettiği tek tekerlek deney düzeneği kullanmıştır. Toprak kanalı için yapay killi toprağı özel olarak hazırlamıştır. Düzenek üzerine pürüzsüz çelik silindir yerleştirerek zemini sıyırıp düzenlemiştir. Düzeneği raylar üzerinde hareket edecek şekilde tasarlamış ve bir elektrik motoruyla tekerlek tahrikini verecek şekilde montajını gerçekleştirmiştir. Aks yükünü, tekerlek taşıyıcı üzerine ağırlıklar yerleştirerek elde etmiştir. Yük hücreleri (Loadcell) vasıtasıyla aks yükünü ve yuvarlanma direncini, doğrusal algılayıcı (linear transducer) ile lastik batma miktarını belirlemiştir. Deneyler sonucunda yuvarlanma direnci ve batma miktarının tekerlek hızı ile değişim karakteristiklerini incelemiştir.

Kural (1998) 7.50-16 ölçüsündeki taşıyıcı tip lastik tekerleğin yuvarlanma direnci ve toprak sıkışmasına etkilerini araştırmak için toprak kanalı içerisinde çalışan tek tekerlek deney düzeneği kullanmıştır (Şekil 2.1). Toprak kanalını killi tın tekstür sınıfı toprak ile doldurmuştur. Araştırmada kullanılan tekerleğin bağlı bulunduğu araba, kanalın iki tarafına yerleştirilmiş raylar üzerinde yürütülmüş olup, hareketini 3 fazlı 22 kW gücündeki AC motordan vermiştir. Elektrik motorundan elde ettiği dönü hareketini redüktöre vermiştir. Redüktör miline bağladığı zincir dişliye ilettiği dönü hareketini,

gerçekleştirdikleri denemeler sonucunda, yuvarlanma direnci ve kayma açısı arasında lineer bir ilişki bulmuşlardır.

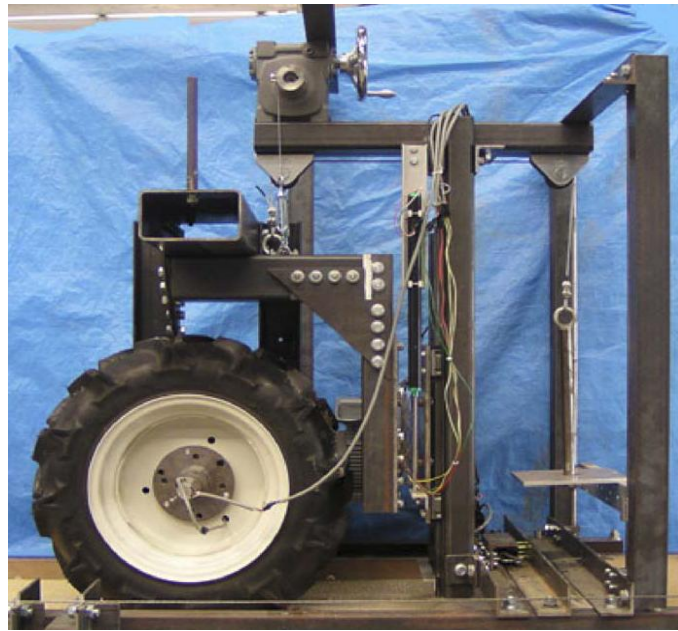
Elwaleed ve ark. (2006) yüksek profilli tarım lastiklerinin net çeki oranını belirlemek için Putra Malezya Üniversitesi Biyoloji ve Ziraat Mühendisliği Bölümü'nde toprak kanalı içinde çalışan tek tekerlek deney düzeneği kullanmışlardır (Şekil 2.2). 6.4 m x 0.6 m x 0.8 m ölçülerindeki toprak kanalında kumlu killi tın toprak kullanmışlardır. Deney lastiğini, taşıyıcı iç çerçeve içerisine yerleştirilen sertleştirilmiş dik bir şaft üzerinde serbestçe kayabilmesi için, lastik destek düzeneği üzerindeki doğrusal yataklara bağlamışlardır. Lastik destek düzeneğini, lastiğin toprak kanalında ilerlemesini ve dönmesini sağladığı gibi lastiğin toprağa batma miktarını da ölçmeye yardım edecek şekilde tasarlamışlardır. Düzeneğin tüm kontrollerini taşıyıcı üzerinde bulunan ana kontrol ünitesinden yapmışlardır. Ünite üzerindeki çeşitli sensörler vasıtasıyla yatay ve düşey kuvvetleri, lastiğin toprağa batma miktarını ve zincir dişliyle tahrik edilen sürüş sisteminin ilerlemesi ve dönüşlerini ölçmüşlerdir. Düzeneği 0.75 kW gücünde ve 1500 d/d devirde çalışan üç fazlı elektrik motoruyla tahrik etmişler ve zincir dişliye hareketi dişli kutusunda değiştirilerek iletmişlerdir. Denemeleri 5-12 ölçüsündeki tarım lastiği ile farklı lastik iç basınçları kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak net çeki oranı ve çeki verimi değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Toprak kanalında yürütülen deney düzeneği (Elwaleed ve ark., 2006)

Kawase ve ark. (2006) tarım lastiklerinin çeki performans ölçümlerini laboratuvar ortamında 3015 mm x 480 mm x 605 mm ölçülerinde kurutularak nemi alınmış kumla dolu toprak kanalı içerisinde tek tekerlek deney düzeneği ile gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.3). Deneylerde kullandıkları 545 mm çapında 126 mm

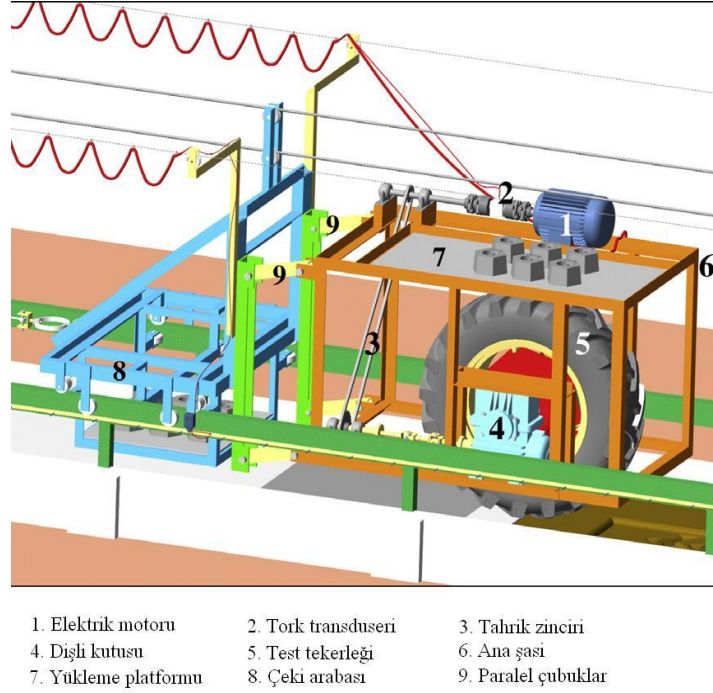
genişliğindeki lastiği, düzenekteki 750 W gücündeki 3 fazlı elektrik motoru ve 1:240 redüksiyon oranına sahip dişli kutusu vasıtasıyla tahrik etmişlerdir. Bir invertör ünitesi sayesinde motor devrini ölçmüşlerdir. Motorla tekerlek göbeği arasına yerleştirilen bir shaft üzerine strain gauge bağlayarak tekerlek torkunu belirlemişlerdir. Aks üzerindeki bir devir kodlayıcı ile tekerlek aksının devrini, lineer bir potansiyometre ile lastik batma miktarını ve lineer kılavuzla sürüş ünitesi arasına yerleştirdikleri sekiz kenar halkalı transducer ile çeki kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Farklı aks yüklerinde yaptıkları deneyler sayesinde çeki kuvveti-patinaj, tork-ilerleme mesafesi ve lastik batma miktarı-patinaj ilişkilerini belirlemişlerdir.



Şekil 2.3. Toprak kanalında yürütülen deney düzeneği (Kawase ve ark., 2006)

Tiwari ve ark. (2009) lastik performansı üzerindeki parametreleri inceleyebilmek için toprak kanalı içerisine yerleştirdikleri toprak işleme aracı, çeki kuvvet yükleme aygıtı ve çeşitli alet ve teçhizat ünitesinden oluşan tek tekerlek deney düzeneği tasarlamışlardır (Şekil 2.4). 23.5 m x 1.37 m x 1.5 m ölçülerindeki toprak kanalı içerisinde kumlu killi toprak kullanmışlardır. Bu kanal içerisinde çalışan tek tekerlek deney düzeneğini 7.46 kW gücünde 1500 d/d devrinde üç fazlı bir elektrik motoru ile tahrik etmişlerdir. Motordan aldıkları hareketi torkmetreden geçtikten sonra zincir dişli vasıtasıyla tekerlek göbeğine bağladıkları dişli kutusuna (50:1) ileterek tekerleği tahrik etmişlerdir. Düzenek üzerine yerleştirdikleri yükleme platformu üzerine ağırlıklar koyarak çeşitli aks yüklerinde çalışma imkânı sağlamışlardır. Papuç tipi frenleme

düzeneği ile tambur halat sisteminden oluşan çeki kuvveti yükleme ünitesi ile lastiğin çeki kuvvetini değiştirmişler ve halka transduser ile çeki kuvvetini ölçmüşlerdir. Tek tekerlek deney düzeneğinin toprak işleme aracını ise kesek kırma makinesi, toprak tesfiye aleti ve sıkıştırma silindirinden oluşturarak her bir ilerlemeden sonra toprak kanalında bulunan toprağı düzeltmişlerdir. Tekerlek tahrik torkunu, aks yükünü ve ilerleme hızlarını ölçerek, net çeki oranı ve çeki verimini incelemişlerdir.



Şekil 2.4. Toprak kanalında yürütülen deney düzeneği (Tiwari ve ark., 2009)

2.1.2. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzenekleri

Asfalt, beton, stabilize, anız tarla veya sürülmüş tarla koşullarında çeki performans deneyleri gerçekleştirebilmek amacıyla traktörden yarı bağımsız yada traktöre tam bağımlı tek tekerlek deney düzenekleri, toprak kanalında gerçekleştirilen deneylerin olumsuzluklarını giderebilmek için tasarlanmış ve kullanılmıştır.

Upadhyaya ve Wulfsohn (1989) Kaliforniya Üniversitesi'nde çeki performansı araştırmaları için Ziraat Mühendisliği Bölümü'nde tek tekerlek deney düzeneği geliştirmişlerdir (Şekil 2.5). Bu düzenek sayesinde tarla şartlarında deneyleri kontrol edebilmişlerdir. Deney düzeneğini 0.46 m'den 2 m çapına kadar ve maksimum 1 m genişliğinde lastikleri test edebilir şekilde tasarlamışlardır. Ayrıca bu düzeneği değişik değerlerde olmak üzere maksimum 26.7 kN aks yükü verebilecek ve 13.3 kN çeki

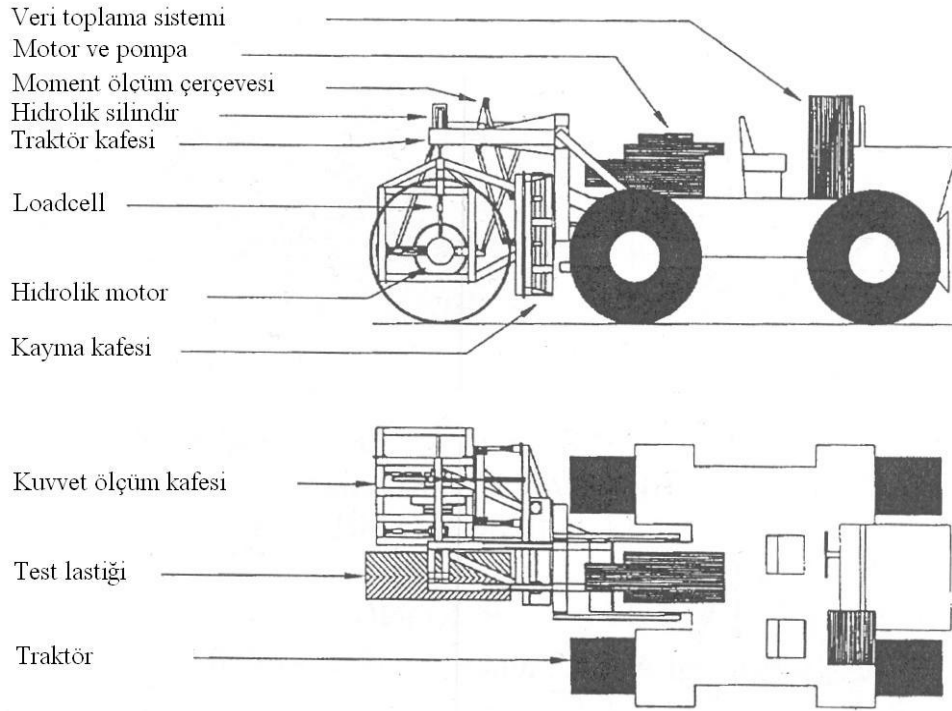
kuvveti sağlayabilecek şekilde yapmışlardır. 18.4R38, 18.4-38, 14.9R28, 14.9-28 boyutlarda ve 83-124 kPa iki farklı lastik iç basınçlarında çapraz katlı ve radyal lastikler kullanarak yaptıkları testlerde; çeki kuvvetini ve patinajı kontrol ederek, net çeki oranı ve çeki verimini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; radyal lastikler çapraz katlı lastiklerden daha iyi performans göstermiştir. Yine geniş lastikler ince lastiklerden daha iyi performans sağlamıştır. Aks yükünün artması performansı artırmıştır. Lastik iç basıncındaki değişmelerin performansa önemli bir etkisi olmamıştır.



Şekil 2.5. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzeneği (Upadhyaya ve Wulfsohn, 1989)

Shmulevich ve ark. (1996) tarla şartlarında çeki testleri yapabilmek için tek tekerlek deney düzeneği geliştirmişlerdir (Şekil 2.6). Düzeneği temelde, kuvvet ve tork ölçüm ünitesi ile hidrolik motor, hidrolik yükleme silindiri, kayma bağlantı şasisi ve traktör bağlantı şasisi gibi elemanlardan oluşan yürütme ünitesi olmak üzere iki üniteden oluşturmuşlardır. Yürütme ünitesinin temel elemanı hidrolik motorla hareketi tekerleğe iletmişler, motor ve güç şaftını yük hücreleri vasıtasıyla kuvvet ölçüm çerçevesine bağlamışlardır. Torku ölçebilmek için tork ölçüm çerçevesi içerisine yerleştirdikleri ve hidrolik motorla ilişkili kolların kuvvetlerini ve açılarını ölçerek sonlu elemanlar yöntemiyle torku hesaplamışlardır. Tekerlek aks yükünü ise hidrolik sistem içinde kullandıkları bir hidrolik silindir sayesinde test tekerleğine yüklemişlerdir. Tüm ölçüm sinyallerini toplayan, tarayan ve analog sinyalden dijital sinyale çeviren bir kartı bilgisayara yerleştirerek verileri depolamışlardır. Bu bilgisayarlı ölçüm sistemini traktöre yerleştirmişlerdir. 18.4-34 ölçüsündeki test lastiğini 110 kPa iç basınçta, kumlu

toprak zeminde test etmişler, net çeki oranının ve çeki veriminin patinajla ilişkisini incelemişlerdir.



Şekil 2.6. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzeneğinin şematik görünüşü (Shmulevich ve ark., 1996)

Shmulevich ve Osetinskya (2003) itilir/çekilir muharrik lastiklerin çeki performansını belirlemek için tüm arazi denemelerinde kullanmayı amaçladıkları tek tekerlek deney düzeneği geliştirmişlerdir (Şekil 2.7). Tek akslı hidrolik tahrikli ve yarı bağımsız çalışan bu düzeneği yükleme traktörüne bağlamışlardır. Düzeneği statik dikey yükleri ve torku uygulayabilecek şekilde inşa etmişlerdir. Ayrıca tekerlek üzerindeki dinamik yük değişimlerini, net çeki kuvvetini, tekerleğin doğrusal hızı ve açısal hızlarını da ölçmüşlerdir. Sensörlerden aldıkları verileri A/D çeviriciden geçirdikten sonra DAS-16 model karta depolamışlardır. Bu düzenekle denemelerini kumlu ve işlenmiş tarla üzerinde gerçekleştirmişlerdir. 0.8 ve 1.4 bar lastik iç basınçlarındaki 12.5-20 ölçüsündeki çapraz katlı lastikle 3.53, 5.1 ve 9.02 kN aks yüklerinde çeki deneyleri yapmışlar sonuçta net çeki kuvveti ve patinaj arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.



Şekil 2.7. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzeneği (Shmulevicha ve Osetinskya, 2003)

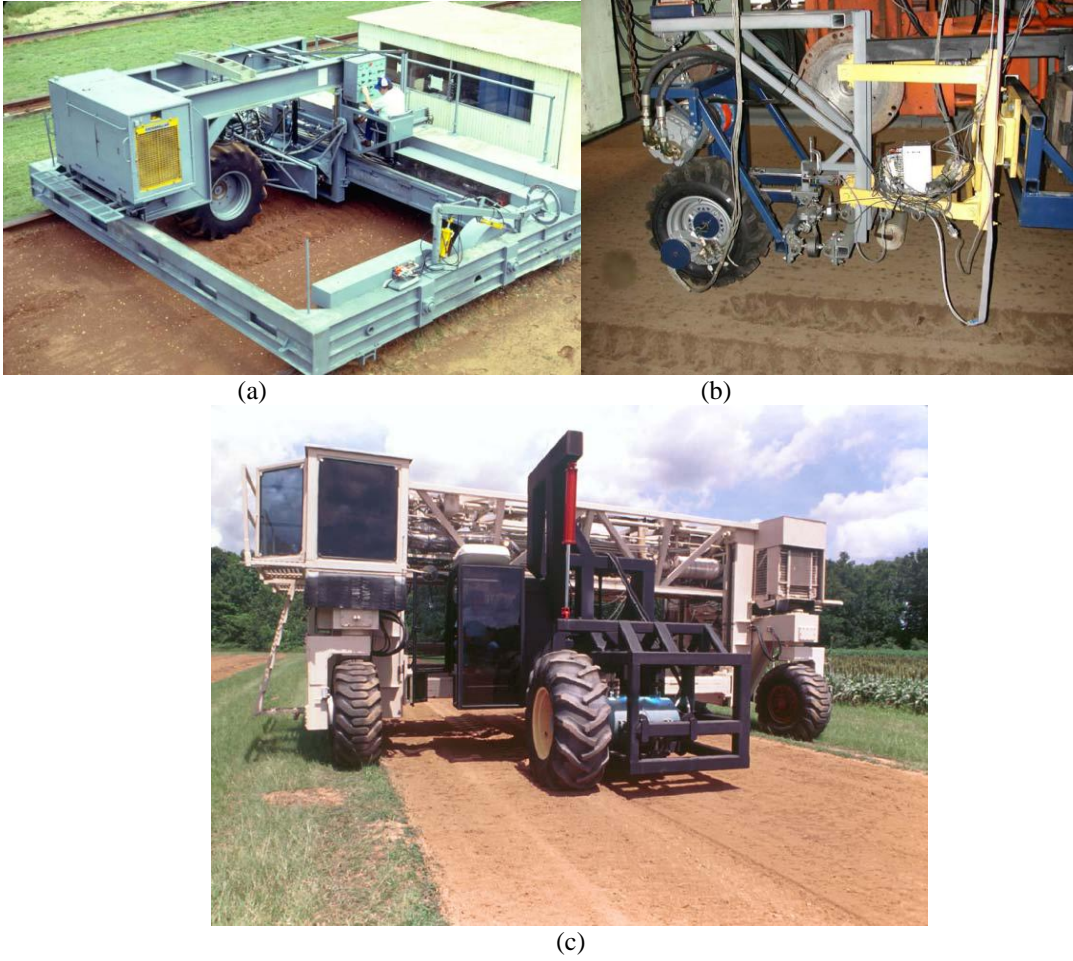
Ferhabbegović ve ark. (2005) tarım traktörlerinde kullanılan lastiklerin uzunlamasına kuvvetler altındaki patinaj davranışını incelemek için kendi geliştirdikleri tek tekerlek test düzeneği ile denemeler yapmışlardır (Şekil 2.8). Kullandıkları düzeneği 4 tekerlekli tasarlanmışlar ve yükleme traktörüne bağlamışlardır. Lastik yükünü hidrolik kontrol devresi yoluyla kontrol edilen bir hidrolik silindir ile sağlamışlardır. Lastiğin tahrikini ve kayma açısını yine aynı hidrolik kontrol devresi ile gerçekleştirmişlerdir. Kayma açısını 0° 'den 18° 'ye kadar ayarlayabilecek şekilde tasarlamışlardır. Deney lastiği üzerine iki potansiyometre yerleştirmişler ve ölçülen değerlerin farklılıklarıyla oluşan gerçek kayma açısını sağlayabilmişlerdir. Lastik kuvvetlerini piezoelektrikli tekerlek dinamometresiyle ölçmüşler ve torku hesaplamışlardır. İlerleme hızlarını ve patinaj değerlerini tekerlek şaftına bağladıkları bir kodlayıcıdan aldıkları sinyallerle belirlemişlerdir. Ultrasonik mesafe sensörü ile lastik çapını sürekli ölçmüşlerdir. Denemeleri 520/70 R 34 lastik tipiyle, 0.8 bar lastik iç basıncıyla ve 10-20 kN aks yüklerinde asfalt zeminde gerçekleştirmişler, çeki kuvvet patinaj etkileşimini incelemişlerdir.

Way (2009) çalışmasında, çeki ve toprak sıkışma araştırmaları için USDA-ARS Ulusal Toprak Dinamiği Laboratuvarı'nda geliştirilen 3 farklı tek tekerlek deney düzeneği hakkında bilgiler vermektedir.



Şekil 2.8. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzeneği (Ferhadbegović ve ark., 2005)

Bunlardan birincisi; Burt ve ark. (1980) geliştirdiği çeki performansı ve toprak sıkışması deneylerinde kullanılan tek tekerlek çeki araştırma aracıdır (Şekil 2.9.a). Arazi şartlarında denemeler yapabilen bu düzeneğe bağladıkları lastik tekerleğe hareketi bir hidrolik motor, zincir dişli ve torkmetre üzerinden iletmışlerdir. Tekerlek aks yükünü ise hidrolik bir silindir vasıtasıyla tekerlek şasisine uygulamışlardır. Tekerlek kafesi içerisinde yerleştirdikleri yük hücreleri vasıtasıyla çeki kuvvetini hidrolik silindir altına yerleştirdikleri yük hücresi ile aks yükünü ölçmüşlerdir. İkinci deney düzeneği ise Way ve Kishimoto'nun (2004) geliştirdikleri, tüm arazi taşıt lastiklerinin çeki ve hareket direnç karakteristiklerini belirlemeye yarayan ve arazide kullanılabilen tek tekerlek düzeneği olup, yapı itibariyle Burt ve ark'nın tek tekerlek düzeneğine benzemektedir (Şekil 2.9.b) Lastik tahrikini yine hidrolik motordan alan ve aynı şekilde torkmetre yerleştirilmiş bu düzenekte de kafes sistemi içerisinde bulunan yük hücreleri vasıtasıyla çeki kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Üçüncü olarak geliştirdikleri geniş çatılı çeki aracı ise Monroe ve Burt (1989) tarafından geliştirilmiş kendi yürür bir düzenektir. (Şekil 2.9.c). Geliştirilen bu 3 düzenekte farklı yapısal özellikte lastiklerle farklı aks yüklerinde farklı ilerleme hızlarında çeki deneyleri yapmışlar ve çeki performans özelliklerini belirlemişlerdir.



Şekil 2.9. Farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzenekleri a) Burt ve ark., 1980 b) Way ve Kishimoto, 2004 c) Monroe ve Burt, 1989.

2.1.3. Çeki arabalı deney düzenekleri

Çeki performans deneylerinin yapıldığı diğer bir deney düzeneği ise çeki arabası ile performans testleridir. Çekici traktöre bağlanan çeki arabası ile traktör frenlenmeye zorlanmakta ve bu şekilde çeki kuvvetleri ve patinaj değerleri belirlenmektedir.

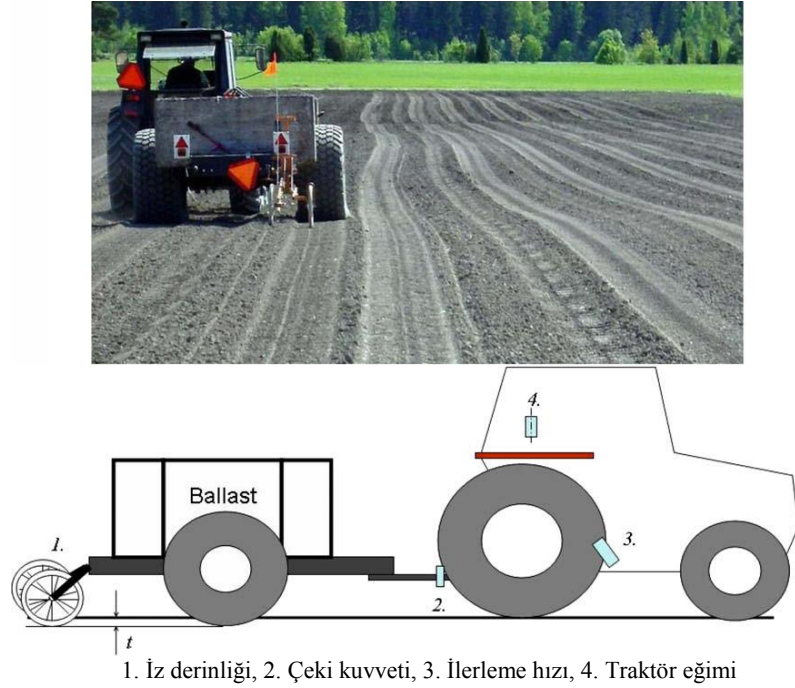
Sümer (2005) ile Küçüksarıyıldız (2006) değişik lastiklerin traktör çeki performansına etkilerini araştırmak için özel olarak hazırlanmış çeki arabası ile deneyler yapmışlardır. (Şekil 2.10). Kullandıkları çeki arabasının ön kısmında bulunan kumanda kabinini; operatör kısmı ve kumanda kısmı olarak iki kısma ayırmışlardır. Kumanda kısmına dümenleme, yakıt sayacı, fren pedalı ve üç kademeli vites kolu gibi donanımlar eklemişlerdir. Operatör kısmına ise; dizüstü bilgisayar yerleştirmek için bir bölme, konvertör ve hemen yanında jeneratöre bağlı potansiyometre bulundurmışlardır. Elektrik ihtiyacını 2 adet batarya ile sağlamışlardır. Kabinin arka üst kısmına yakıt deposu bağlamışlardır. Çeki arabasının arka kısmına da dört adet soğutma kulesi

yerleştirmişlerdir. Deneme traktöründe, yükleme işlemini yapmak için çeki arabasının güç aktarma organlarına bir jeneratör bağlamışlardır. Traktörün çeki arabasını hareketlendirmesi ile birlikte tekerlekten alınan hareketi, diferansiyele iletmişlerdir. Çeki performansını belirlemek amacı ile dinamometreyi beşik düzeni ile çeki demirine bağlamışlardır. Traktörün kuyruk mili devrini ölçen devir sensörü ve çeki arabasının arka tarafında bulunan ve ilerleme hızını ölçen tekerlek sensörü ile dinamometrede bulunan sensör verilerini çeki arabasında bulunan konvertörden geçirerek dizüstü bilgisayara aktarmışlardır. Ölçülen değerleri ise paket program yardımı ile çeki gücü, ilerleme hızı ve patinaj değerleri olarak bu bilgisayardan görüntülemişlerdir.



Şekil 2.10. Çeki arabasıyla yürütölen deney düzeneği

Kurjenluoma ve ark. (2009) işlenmiş killi toprak zeminde lastiklerin yuvarlanma direncini ve iz formasyonunu incelemek için çeki arabalı deney düzeneği kullanmışlardır (Şekil 2.11). Kullandıkları düzenekte çeki arabası içerisine beton ağırlıklar, arabanın arka kısmına lastik iz derinliğini ölçmek için ultrasonik sensör, traktör hızını belirlemek için traktör tekerleğine radarlı hız sensörü ve çeki kuvvetini ölçebilmek için çeki arabası ile traktör arasına yük hücresi yerleştirmişlerdir. Tüm sensörlerden aldıkları verileri veri toplayıcı kullanarak depolamışlardır. 5 farklı profil şekilli lastiklerle 35.4 ila 36.4 aks yüklerinde 2-11 m/s ilerleme hızlarında denemelerini gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 2.11. Çeki arabalı deney düzeneği (Kurjenluoma ve ark., 2009)

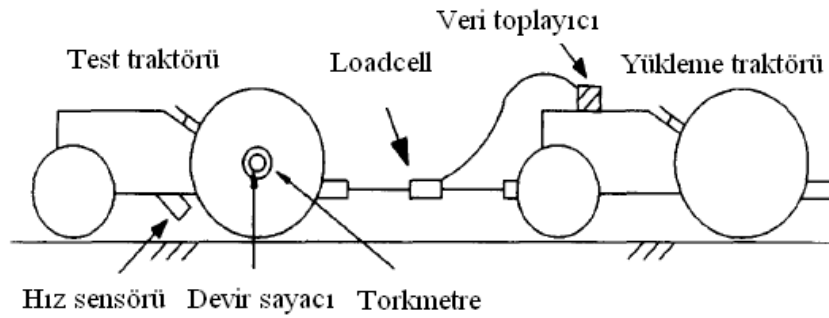
2.1.4. Çift traktörle yapılan performans deneyleri

Çeki performans karakteristiklerini belirlemenin diğer bir yöntemi ise çekici traktör ve yükleme traktörü olmak üzere 2 traktörle yapılan denemelerdir.

Burt ve ark. (1983) Aks yükünün ve lastik iç basınçlarının lastik çeki verimi üzerindeki etkilerini araştırmak için çift traktör kullanarak denemeler yapmışlardır. Kuyruk mili güç oranı 53 kW olan Massey-Ferguson 188 model test traktörü ile John Dere 4640 model yükleme arabası olarak kullanılan traktörleri üzerinde yük hücresi ve multi iletken kablo bulunan bir çubukla bağlamışlardır. Yükleme traktörü içerisine mikroişlemci tabanlı veri toplama ve kaydetme sistemi yerleştirmişlerdir. Tüm denemelerde diferansiyeli kilitlemişlerdir. Killi toprak zeminde yaptıkları çalışmada 18.4-30 çapraz katlı ve 18.4R30 radyal lastik kullanmışlar, 62-160 kPa arasında değişen dört farklı lastik iç basıncında ve 16-26 kN olmak üzere 4 farklı statik yükte denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda; verilen bir çeki kuvveti için her iki lastik tipinin çeki veriminin, uygun aks yükü ve lastik iç basıncı seçimi ile maksimize edilebileceği belirtilmiştir. Test edilen en düşük ve en büyük etkili koşullar arasında bulunan çeki verimi farklılıklarının (0.10-0.21), toprak koşulları ve lastik yapısındaki farklılıklardan kaynaklandığını, en yüksek çeki verimi değerinin elde edilmesi için, verilen bir çeki kuvvetinin geliştirilmesinde gerekli olan minimum patinaj değerinin

sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, sistem en yüksek çeki etkinliği geliştirilecek şekilde tasarlanacaksa, minimum patinajın sağlanması yerine uygun lastik basıncı ve dinamik yük değerlerinin seçilmesinin doğru olacağını vurgulamışlardır.

Lee ve Kim (1997) çapraz katlı lastiklerin iç basıncının çeki performansı üzerine etkilerini araştırmak için yaptıkları deneylerde test traktörü ve yükleme traktörü olarak yine çift traktör kullanmışlardır (Şekil 2.12). İki traktör arasına bir yük hücresi yerleştirilerek çeki kuvvetini, test traktörüne yerleştirdikleri hız sensörü ile traktör hızını, yine test traktörünün muharrrik lastiğine yerleştirdikleri devir sayacı ve torkmetre ile tekerlek devri ile torkunu ölçmüşlerdir. Bu algılayıcılardan gelen verileri veri toplayıcıya depolamışlardır. Çalışmada 13.6-28 ölçüsündeki çapraz katlı lastikle 4 farklı zeminde 40 kPa'dan 250 kPa'a kadar farklı lastik iç basınçta ve 3 farklı traktör hızında yaptıkları denemeler neticesinde net çeki oranı ve çeki verimini belirlemişlerdir.



Şekil 2.12. Çift traktörlü deney düzeneği (Lee ve Kim, 1997)

2.2. Lastiklerin Defleksiyonu ve İz Düşüm Alanları

Muharrrik tekerleğin geliştirebileceği çeki kuvveti, lastikle zemin arasındaki tutunmanın bir fonksiyonudur. Tutunmayla lastiğin iz düşüm alanı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle farklı lastik iç basınçlarında ve farklı aks yüklerinde lastiğin zemin üzerindeki iz alanı ve defleksiyonu ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Plackett (1984) tarımda kullanılan lastikler ile düz ve sert bir yüzey arasındaki temas basıncını belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Lastik profil yüksekliğinin artmasının temas alanının artmasına ve temas basıncının azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Denemelerde kullandıkları lastik iç basınçları ve aks yüklerinde, aks yükü ve lastik defleksiyonu arasında lineer bir ilişki elde etmiştir. Ayrıca lastik iç basıncının,

lastiğin karkas yapısına bağlı olarak oluşan temas basıncının iyi bir göstergesi olduğunu ifade etmiştir.

Upadhyaya ve Wulfsohn (1990), lastiğin geometrik ve defleksiyon karakteristiklerine dayanarak katı bir yüzey üzerindeki iki boyutta temas uzunluğu, temas genişliği ve alanı için matematiksel ifadeler geliştirmişlerdir. Bu ifadeler iki boyuttaki temas alanının defleksiyon değeri düşükken elips şeklinde fakat defleksiyon değeri arttıkça dikdörtgen hale geldiğini göstermiştir. Model tahminleri 16.9R38, 18.4R38 ve 24.5R32 lastikler kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla doğrulukları kanıtlanmıştır. Lastik yükü, iç basıncı ve temas izi geometrisinin etkilerini tahmin edebilmek için simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

Schwanghart (1991) toprak zeminde çalışan lastiklerin temas basıncını, temas alanını ve toprak sıkışmasını ölçmek amacıyla yaptığı bir çalışmada 12.5/80-18, 13.6-28, 16.9-34 ve 16.9-26 ölçülerinde 4 adet deney lastiği kullanmış, kumlu yumuşak toprak zeminde denemelerini gerçekleştirmiştir. Mevcut çalışmalar çok karmaşık olduğu için daha basitleştirilmiş bir çalışma yaparak çok iyi sonuçlar elde etmiştir. Sonuç itibariyle, bir tekerleğin yükü ve temas alanının büyüklüğü ile ilgili olan temas basıncının, toprak üst yüzeyinden toprağın derinliklerine ve yanlara doğru yayılmakta olduğunu belirtmiştir. Temas basıncının bu etkisi; toprağın tipine göre elastik veya plastik şekil değişimine neden olduğunu, lastik tekerleklerinin temas alanı bu şekil değişimine bağlı olarak lastik iç basıncı ile yakından ilgili olduğunu vurgulamıştır. Lastik yükündeki iki katlık artışın temas alanını %30-40 oranında artırırken, lastik iç basıncındaki iki katlık artışın ise temas alanının %70-80 oranında azalmasına neden olduğunu saptamıştır. Aynı şekilde aynı iç basınç ve aks yüklerinde temas basıncında da fazla bir değişim gözlemlenmemiş ve temas basıncının lastik ölçülerinden bağımsız olduğu kanaatine varmıştır.

Raper ve ark. (1995) lastik iç basıncı ve dinamik yüklerin toprak deformasyonu ve toprak-lastik arasındaki gerilmeleri ölçmek için bir çalışma yapmışlardır. Denemelerini kumlu ve killi iki farklı zeminde, 41 ve 124 kPa iç basınçlarda 18.4R38 radyal traktör lastiği kullanarak, 13.1 ve 25.3 kN aks yüklerinde gerçekleştirmişlerdir. Temas alanı ve toprak-lastik arası gerilmeleri ölçmek için 7 adet sensotek basınç sensörünü lastik profili üzerine yerleştirmişlerdir. Lastik iç basıncını arttırdıklarında profil genişliği azalmış fakat toprak deformasyonuna çok az bir etkisi olmuştur. Aks yükünü arttırdıklarında profil genişliği ve toprak kesit alanı deformasyonu artmıştır.

Lastik iç basıncını artırmaları temas uzunluğunun ve toplam temas alanının azalmasına aks yükünü artırmaları ise toplam temas alanının artmasına neden olmuştur.

Lee ve Kim (1997) çapraz katlı lastiklerde lastik iç basıncının çeki performansına etkilerini araştırmak için bir çalışma yapmış, 13.6-28 ölçüsündeki çapraz katlı lastiği 5 farklı lastik iç basıncında, traktör beton zemin üzerindeyken lastiğin temas izinin genişliğini (b) ve boyunu (L) ölçerek $0.78.b.L$ eşitliği kullanmışlar ve temas alanlarını hesaplamışlardır. Sonuçta lastik iç basıncında %50 değerinde bir azalmanın temas alanını %28 oranında artırdığını tespit etmişlerdir.

Abd El-Gawwad ve ark. (1999a) yol dışı taşıtlarda kullanılan lastiklerle zemin arasındaki etkileşimleri, lastiğin yapısında oluşan kuvvetlerle, lastik-toprak arasında oluşan kuvvetleri ele alarak fonksiyonel olarak incelemişlerdir. Dik profilli lastik ile zemin arasındaki normal ve kayma gerilmelerinin oluşturduğu lastik kuvvetleri ve momentleri inceleyerek tekerlek-zemin interaksiyonunu belirlemeye çalışmışlardır. Matlab bilgisayar yazılımı ile çok profilli lastik modeli oluşturmuşlardır. Bu modeli kullanarak yaptıkları çalışmalar sonucunda, dik profilli lastiklerin düz lastiklere göre daha fazla çeki performansı ve yanal kuvvet geliştirebileceğini, lastik performansı üzerinde kayma açısı ve toprak deformasyon modüllerinin önemli bir etkisi olduğunu, lastik profil yüksekliğinin ve toplam profil alanının toplam lastik yüzey alanına oranının artmasıyla lastik kuvvet ve momentlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Abd El-Gawwad ve ark. (1999b), “Lastik performansı üzerinde bombe (sehim) etkisi” isimli çalışmalarında daha önce oluşturdukları çok profilli lastik modeli ile kamber açısı verilmiş bir tekerlek için, yanal ve boyuna kaymalar sırasındaki kuvvet ve momentleri incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar; yol dışı taşıt lastiklerinin performansı üzerine kayma açısının, kamber açısının ve toprak karakterlerinin önemli etkisi olduğunu göstermiştir.

Abd El-Gawwad ve ark. (1999c), “Lastik performansı üzerinde açılı dişlerin etkisi” isimli çalışmalarında oluşturdukları çok profilli lastik modeli ile dik profilli lastiklerle açılı profile sahip lastikleri lastik-zemin ilişkisi bakımından karşılaştırmışlardır. Sonuçlar açılı profilli lastiklerin toprak deformasyonunu azalttığını ve toprak sertliğini arttırdığını, açılı profilli lastiklerin dik profilli lastiklere göre daha yüksek yanal kuvvet fakat daha düşük çeki kuvveti sergilediğini göstermiştir.

Q’Sullivan ve ark. (1999) rijit bir zemin üzerinde yaptıkları fakat yayınlamadıkları bir çalışmanın bazı parametrelerini kullanarak basitleştirilmiş bir eşitlik modellemişlerdir. Bu modele göre;

$$A = s_1bd + s_2L + s_3L/p_i \quad (2.1)$$

Burada;

A : Temas alanı (m²)

b : Lastik kesit genişliği (m)

d : Lastik çapı (m)

L : Lastik yükü (kN)

p_i : Lastik iç basıncı (kPa)

s₁, s₂ ve s₃ : Deneysel parametrelerdir.

Aynı ölçüdeki radyal ve çapraz katlı lastiklerin temas alanlarına baktıklarında radyal lastiklerin temas alanı çapraz katlı lastiklerden %20 - %50 oranında daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kumar ve Dewangan (2004) çapalama makinelerinde kullanılan 6.00-12 ölçüsündeki çapraz katlı lastiğin defleksiyon ve temas karakteristiklerini belirlemek amacıyla 80, 100, 120, 160 ve 200 kPa lastik iç basıncı ve 2.38 ve 2.87 kN arası 4 farklı lastik yükünde denemeler yapmışlardır. Lastik defleksiyonunu (0.002 cm hassasiyette) multi katman tekniğini (Upadhyaya and Wulfsohn, 1990) kullanarak ölçmüşlerdir. Çelik bir plaka merkezine yerleştirdikleri beyaz kağıt üzerine mavi karbon kağıdı yerleştirmişler, belirledikleri iç basınç ve aks yüklerinde lastik altına yerleştirdikleri beyaz kağıda mavi karbon temas alanı ölçüsünde iz yaptırmış ve bu izleri dijital yüzey ölçer kullanarak temas alanlarını hesaplamışlardır. Her bir aks yükünü uygulamaları esnasında lastiği birkaç derece çevirmişler ve aks yükünü kağıt üzerinde 5-6 saniye bekletmişlerdir. Elde ettikleri verileri kullanarak deneysel bir eşitlik elde etmişlerdir. Bu eşitliğe göre;

$$\delta = a + bp_i \quad (2.2)$$

$$A = c + dp_i \quad (2.3)$$

Burada;

δ : Defleksiyon (%)

A : Temas alanı (cm²)

p_i : Lastik iç basıncı (kPa)

a, b, c ve d: Regresyon katsayılarıdır.

Deney sonuçları incelendiğinde;

- Sabit lastik yükü altında lastik iç basıncı artınca temas alanı ve defleksiyon lineer olarak azalmış, Sabit lastik iç basıncında lastik yükü arttıkça temas alanı ve defleksiyon değeri lineer olarak artmıştır.
- Temas alanı ve defleksiyon için geliştirdikleri deneysel model, çapalama makinelerinde kullanılan lastiklerin performansını açıklayacak nitelikte olmuştur.

Raheman ve Singh (2004) 166, 186 ve 207 kPa iç basınçlarda ve 1.608, 2.099 ve 2.589 kN lastik yüklerinde, 6.00-16 ölçüsündeki traktör ön lastiğinin kumlu-killi toprak üzerinde defleksiyon ve temas alanlarını ölçmüşler ve eşitlik geliştirmişlerdir. Toprak kanalında tek tekerlek test düzeneği ile yaptıkları çalışmada düzeneği 1 m ileri hareket ettirmişler, 0.5 m geri alarak aydınlar kağıdına markalama kalem ile temas alan şeklini çizmişler daha sonra yüzey ölçer cihazıyla temas alanını ölçmüşlerdir. Defleksiyonu ise test düzeneğine yerleştirdikleri lineer pozisyon sensörü (LVTD) vasıtasıyla belirlemişlerdir. Geliştirdikleri defleksiyon denklemi şu şekilde verilmiştir.

$$\delta = 0.00418W + 0.043391P + 12.293722 \quad (2.4)$$

$$A = a_1\alpha + a_2\delta + c \quad (2.5)$$

Burada,

δ : Defleksiyon (%)

W : Lastik yükü (N)

P : Lastik iç basıncı (kPa)

A : Temas alanı (cm²)

α : Kayma açısı (derece)

a_1 , a_2 ve c: Defleksiyon katsayılarıdır.

Lastik yüklerini arttırdıklarında temas alanları defleksiyonun artmasıyla birlikte artmıştır. Temas alanının, kayma açısı ve defleksiyonun bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

Çarman ve Şeflek (2005) çalışmalarında farklı zemin koşullarında, lastik profil yüksekliği ve iç basınç değerlerindeki değişimin temas alanları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 7.00-18 ölçüsünde 3 farklı profil yüksekliğine sahip lastik kullanarak 6 N sabit lastik yükünde 80, 120, 160 ve 200 kPa lastik iç basınçlarında beton ve iki farklı toprak koşulunda yaptıkları denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Beton zeminde temas alanını belirlemek için lastiği kriko yardımıyla kaldırarak belirli bir yüzeyini boyamış

ve daha sonra zemin üzerine yerleştirdikleri beyaz kağıt üzerine indirmişlerdir. Bu işlemi her seferinde lastiği 5-10 derece döndürerek 4-k defa tekrarlamışlar ve kağıt üzerinde oluşan iz alanlarını SigmaPro Scan yazılımı kullanarak hesaplamışlardır. Beton zemin üzerinde sabit yüklerde değişen lastik iç basıncında meydana gelen defleksiyonu (D) ise aşağıdaki eşitliği kullanarak belirlemişlerdir.

$$D = \left(1 - \frac{\text{Yüklü durumda lastik kesit yüksekliği}}{\text{Yüksüz durumda lastik kesit yüksekliği}} \right) \cdot 100 \quad (2.6)$$

Sonuçta lastiklerde artan defleksiyon ve lastik profil yüksekliği değerlerine bağlı olarak temas alanlarını arttığını, artan defleksiyon değerlerine bağlı olarak lastik temas alanlarının elipsten çok dikdörtgene benzediğini belirtmişlerdir.

Diserens (2009) 15 adet çapraz katlı ve radyal lastiğin temas alanlarını belirlemek için deneyler yapmıştır. Deneyleri sonucunda; lastik iç basıncında %20 lik bir artışın temas alanının %9 azalttığını belirlemiştir.

2.3. Çeki Performansı Deneyleri

Gee-Clough ve ark. (1977a), yaptıkları bir çalışmada 5 farklı profil yüksekliğine sahip 13.6-38 ebadındaki çapraz katlı lastiğin toprak zeminde çeki verimlerini belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre;

- %20 değerindeki bir patinajda profilsiz düz lastiğin net çeki oranını, diğer profilli lastiklere göre daha düşük bir değerde elde etmişlerdir.
- 20 mm üzerinde profil yüksekliği arttıkça çeki katsayısının azalmış, 35 mm ve üzeri profil yüksekliklerinde çeki oranının değişmemiştir.
- Yuvarlanma direnç katsayısının profil yüksekliği arttıkça artmıştır.
- Maksimum çeki veriminin düz lastikte elde etmişlerdir.
- Profil yüksekliği azaldıkça verimin arttığını belirtmişlerdir.

Gee-Clough ve ark. (1977b) çapraz katlı ve radyal lastiklerin farklı zemin koşullarında çeki performansını ölçmek için yaptıkları çalışmada, 13.6R38 radyal ve 13.6-38 çapraz katlı lastik kullanmışlardır. 80, 120 ve 160 kPa lastik iç basınçlarında, 13.6 kN aks yükünde denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Denemeler sonucunda; %20 patinaj değerinde 80 ve 120 kPa lastik iç basınçlarında radyal lastiklerin net çeki oranının çapraz katlı lastiklere nazaran daha yüksek değerde olduğunu

gözlemlemişlerdir. Lastik iç basıncı 120 kPa'dan 160 kPa'a çıkarıldığında tüm lastiklerde çeki oranının azaldığını belirlemişlerdir. Yuvarlanma direnç katsayısı ve çeki veriminin aynı lastik iç basıncında değişmediğini, lastik iç basıncındaki bir artışın bu değerleri artırdığını, radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre ortalama %5-8 arasında çeki avantajı sağladıklarını vurgulamışlardır.

Gee-Clough ve ark. (1977c) 13.6-38 ve 16.9-34 ebatlarındaki lastiklerin çeki verimlerini, 24 farklı zemin koşullarında lastiğin birisinin 356 mm derinliğinde çizi tabanında çalıştırıldığı ve her iki tekerleğin aynı zemin üzerinde çizi bulunmayan düzlemde çalıştırıldığı koşullarda iki yıllık periyotta çalışmalar yürüterek belirlemeye çalışmışlardır. Denemelerinde elde ettikleri verilere göre;

- Normal çeki koşullarında (toprak koni indeksi değerinin 1000 kPa'nın altında olduğu koşullar), çizi üzerinde çalışılması durumunda %20 patinaj değerindeki net çeki oranında %25, maksimum çeki oranında %14 oranında artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

- Maksimum çeki verimi değerinin ise her iki koşul için de aynı olduğu belirtmişlerdir.

- İyi çeki koşullarında ise (toprak koni indeksi değerinin 1000 kPa'nın üzerinde olduğu koşullar), çizi üzerinde çalışılması durumunda maksimum çeki katsayısında %23 oranında arttığı, %20 patinaj değerindeki çeki oranı değerinin iki koşul için de aynı olduğu, maksimum çeki veriminin ise çizi içinde çalışılması durumunda 13.6-38 lastiği için %10, 19.9-34 lastiği için %15 oranında artış gösterdiği sonuçlarına varmışlardır.

Burt ve Bailey (1982), 20.8 R 38 (8 kat) radyal traktör muharrik lastiğinin çeki performansını belirleyebilmek için tek tekerlek test düzeneği ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyleri, killi-tınlı toprak zemin üzerinde (toprak kanalı içinde), gevşek ve sert olmak üzere iki farklı toprak koşulunda yapmışlardır. Çalışmada, lastik tekerleğin çalışma verimine ilişkin değerlendirmelerin yapılabilmesi için, farklı aks yükleri ve lastik basınçlarında çeki kuvveti, ilerleme hızı, patinaj ve çeki verimi değerlerini belirlemişlerdir. Ayrıca elde edilen verileri, aks yükü ve lastik iç basıncının bir fonksiyonu olan yuvarlanma yarıçapının tanımlanmasında kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarında; uygun lastik basıncı ve aks yük seçimi ile sabit net çeki kuvvetindeki çeki veriminin artırılabilineceğini, çeki verimi artışının toprak koşullarına da bağlı olduğunu, elde edilen en kötü ve en iyi çeki verimi değerleri arasındaki farkın 0.06 ile 0.1 arasında olduğunu, maksimum çeki veriminin normal tarla koşullarına kıyasla genellikle daha yüksek aks yüklerde oluştuğunu belirtmişlerdir.

Elashry (1990) tarımda kullanılan traktör lastiklerinden geniş kesitli düşük lastik iç basıncında (70 kPa) 62x34-25 ve normal lastik iç basıncında 18.4R38 radyal lastikleri üç farklı toprak zemin şartlarında; çeki kuvveti-patinaj, çeki verimi-patinaj ve çeki gücüne net çeki oranı arasındaki ilişkileri belirlemek için deneyler gerçekleştirmiştir. Çeki kuvveti ve patinaj arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için bir eşitlik modellemiştir. Bu eşitliğe göre;

$$S = \alpha \cdot e^{\beta \cdot P} \quad (2.7)$$

Burada;

S : Patinaj (%)

P : Çeki kuvveti (N)

α , β : katsayılarıdır.

Radyal lastiklerin tüm zeminlerde patinaj değerlerinin geniş kesitli lastikten fazla olduğu, maksimum çeki verimi ve net çeki oranının geniş kesitli lastikte radyal lastiklere nazaran daha yüksek olduğu, geniş kesitli lastiğin sadece çeki verimini geliştirmeyip aynı zamanda temas basıncını da azalttığı sonuçlarına varmıştır.

Yong ve Eiyoo (1990) pnömatik lastiklerin hareket performansı üzerine deforme olmamış yol yüzeylerinin geometrik pürüzlülüğün etkilerini araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yol profillerini ölçmek için ultrasonik mesafe dedektörü kullanmışlar ve yol karakterizasyonunu, güç yoğunluğu olasılık fonksiyonu kullanarak belirlemişlerdir. Bu fonksiyon ve yüzey geometrisi verileri ile çeki kuvvetini ve çeki verimini incelemişlerdir. Denemeleri sonucunda; çeki veriminin patinaj değeri arttıkça azaldığını, lastiğin maksimum verim sağlayabilmesi için optimum olarak %2-10 patinaj gerektiğini, ilerleme direnci arttıkça çeki veriminin azaldığını ve yüzey pürüzlülük değeri arttıkça çeki veriminin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Akıncı ve Sabancı (1991) değişik aks yükleri ve lastik basıncı değerlerinin patinaj ve traktör çeki verimliliği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, beton, anız ve nadasa bırakılmış alanlarda denemeler yürütmüşlerdir. Denemelerde, çift traktör ile ölçüm yöntemi uygulamış ve deneme traktörünün belirtilen koşullarda çeki kuvveti, ilerleme hızı ve patinaj değerlerini ölçmüşlerdir. Bu değerlere göre patinaj ve etkili değişkenler arası ilişkileri incelemiş, traktör çeki yeteneği artışı ve optimum çalışma koşulları için patinaj değerlerinin istenilen sınırlarda tutulma olanaklarını belirlemişlerdir. Çalışmada sonuç olarak; zemin özelliklerine göre uygun patinaj değerinin betonda %7-8, anız ve nadasta %12-17 olduğunu, buna göre en fazla çeki gücünün sırasıyla betonda (29.1 kW), anızda (20.1 kW) ve nadasta (18.0 kW)

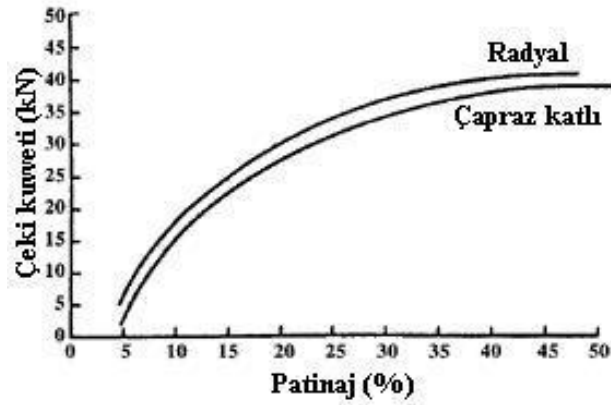
sağlanabildiğini saptamışlardır. Ayrıca, ek ağırlık ilavesinin çeki gücünde artış sağlamasına karşın beton zeminde patinaj değerlerini etkilediğini, anız ve nadasta ise patinajın azaltılması ve çeki yeteneğinin beklenen düzeydeki artışında önemli oranlarda etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Gülsoylu ve Keçecioğlu (1992) Dwyer (1984)'in araştırmalar sonucunda çeki performansını belirleyebilmek için önerdiği eşitlikleri kullanarak çeşitli traktörlerin ağırlık/güç oranlarını incelemişler ve ek ağırlık kullanımı için öneriler sunmuşlardır. Uygun patinaj sınırlarında kalmak üzere traktörün ürettiği güçten yararlanabilmek için traktöre uygun aks yükü sağlamak gerektiğini belirtmişlerdir.

Bashford ve ark. (1993) net çeki oranı ve çeki verimini, 18.4R42, 18.4R46 ve 12.4R54 ölçüsünde üç farklı lastikle, 55, 83 ve 124 kPa olmak üzere üç farklı lastik iç basıncında, sert ve yumuşak iki farklı toprak zeminde karşılaştırma yapabilmek için denemeler yapmışlardır. Sert zeminde, düşük lastik iç basınçlarında, çeki performansının arttığı, 18.4R42 ölçüsündeki lastiğin yumuşak toprak zeminde düşük lastik iç basıncında yüksek iç basınçlara göre çeki performansının yüksek olduğu, yumuşak zeminde 18.4R48 ölçüsündeki lastiğin çeki performansının iç basınç değişimleriyle çelişkili değerler verdiği, büyük çaplı lastiğin çeki performansının 124 kPa iç basınçta küçük çaplı diğer iki lastiğe nazaran daha iyi olduğu sonuçlarına varmışlardır.

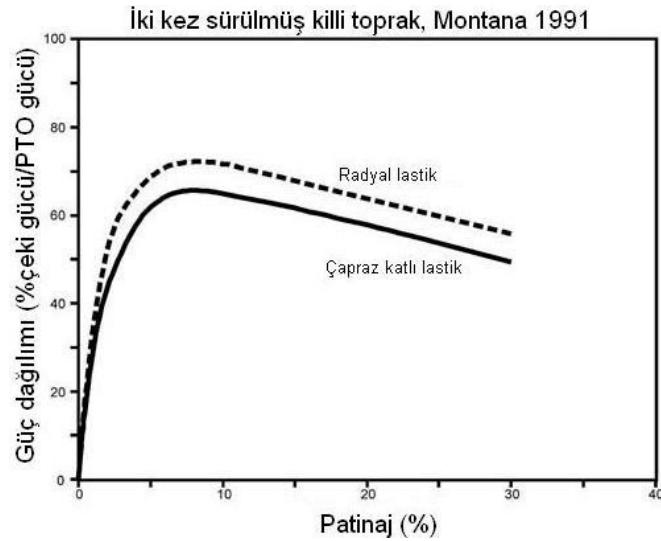
Al-hmaed ve ark. (1994) 41 adet traktör ile radyal lastiklerin çeki performansını belirleyebilmek için performans deneyleri yapmışlardır. Çalışmalarında patinaj, çeki kuvveti ve verim gibi performans parametrelerini modelledikleri bir eşitlikle değerlendirmişler ve kabul görmüş önceki deneysel çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarla diğer deneysel çalışmaların sonuçları arasında yakın ilişki bulmuşlardır.

Grisso (1995) çalışmasında 18.4-38 ve 18.4R38 ölçülerindeki çapraz katlı ve radyal lastiklerin çeki performans karakteristiklerini karşılaştırmıştır. Lastik iç basıncı ve aks yüklerinin performansa etkilerini araştırmış optimum verim için uygun lastik kullanımı için tavsiyelerde bulunmuştur. Denemeleri sonucunda elde ettiği çeki kuvveti ve patinaj grafiği Şekil 2.13'de görülmektedir.



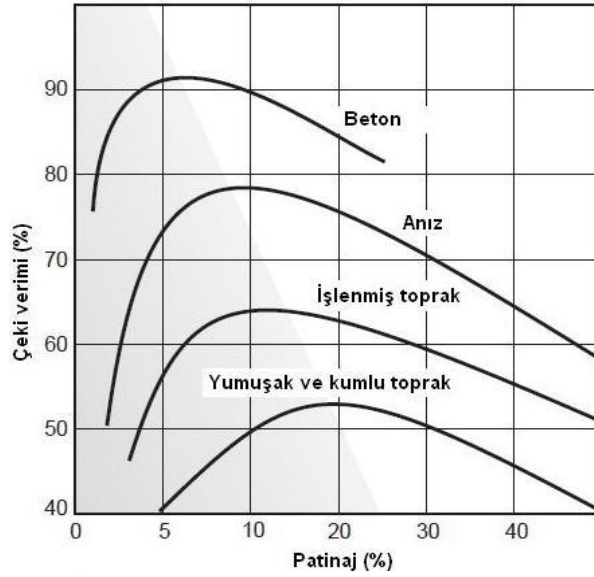
Şekil 2.13. Radyal ve çapraz katlı lastiklerin çeki kuvveti-patinaj ilişkisi (Grisso, 1995)

Turner (1995) dört tekerlektan tahrikli traktör ile tekli, çiftli ve üçlü kauçuk lastik, paletli traktör ile 2 ve 4 kauçuk kuşaklı palet kullanarak çeki performans testleri yapmıştır. Güç dağılımının etkilerini çeşitli lastik iç basıncı ve aks yükleri kullanarak, sürülmüş ve sürülmemiş iki tarla koşulunda karşılaştırmıştır. Çapraz katlı lastiklerin radyal lastiklerden daha düşük güç dağılım verimi gösterdiklerini belirtmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Radyal ve çapraz katlı lastiklerin güç dağılım verimi (Turner, 1995)

Casady (1997), traktör lastikleri ve aks yükü yönetimi isimli araştırmasında, çeki verimi, toprak sıkışması, güç yönetimi, aks yükü yönetimi ve lastik iç basıncı yönetimi hakkında bilgiler vermiş ve optimum lastik iç basıncı ve aks yükü değerlerinin nasıl belirlenebileceğine değinmiştir. Çalışmasında ele aldığı çeki veriminin zemin koşullarına göre değişimi Şekil 2.15'de görülmektedir.



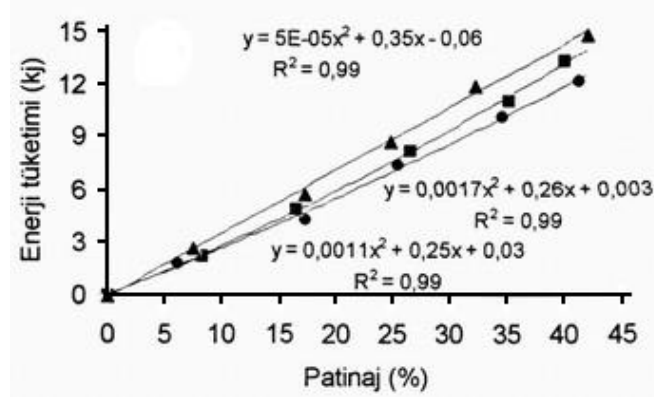
Şekil 2.15. Farklı zeminlerde çeki verimi-patinaj ilişkisi

Bashford ve Kocher (1999) üçü radyal ve ikisi çapraz katlı olmak üzere beş farklı ebattaki lastiklerin, anız ve sürülmüş olmak üzere iki farklı tarla koşullarında, çeki performanslarını karşılaştırabilmek için çalışmalar yapmışlardır. Net çeki oranı-patinaj, çeki verimi-patinaj ve çeki verimi-net çeki oranı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çeki verimi ve net çeki oranı değerleri dar lastiklerin tercih edilmesi gerekliliğini ortaya koymuşlar, her iki zeminde radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklerden daha fazla çeki performansı geliştirebileceklerini belirlemişlerdir.

Çarman (2001) 7.00-18 ölçülerindeki bir radyal lastiğin çeki performansı ve enerji tüketiminin belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada muharrrik lastiğin ilerleme hızı ve aks yüküne bağlı olarak çeki performansı değerlerini belirlemiştir. Araştırmada üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı aks yükünde, tekerleğin çeki performansını ortaya koyabilmek için net çeki oranı ve çeki verimliliği hesaplanmıştır. Farklı çalışma koşullarında elde edilen %5.6-42.0 patinaj değerlerinde çeki kuvveti 1.20-3.35 kN, net çeki oranı 0.30-0.725 ve çeki verimliliği 0.22-0.74 arasında bulmuştur. Artan patinaj değerlerine bağlı olarak lastiğin enerji tüketimi değerlerinin de arttığını ve aks yükünün enerji tüketimi üzerindeki etkisinin daha da etkili olduğunu bulmuştur (Şekil 2.15).

Sharma ve Pandey (2001) tarımsal traktörlerin çekiş gücünü en yükseğe taşımak için mümkün olan güç, hız ve ağırlıkla uygun tekerlek seçimi yapabilmek için gerçekleştirdikleri çalışmalarında, daha önceden geliştirilmiş çekiş tahmin eşitliklerini kullanarak killi kumlu topraklarda çalışan iki tekerlekten tahrikli traktörlere güç-ağırlık oranı ve optimum ağırlık çekiş oranı temelinde uygun teker seçmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonunda 35 kW a kadar olan iki tekerlekten tahrikli traktörlere takılmış olan tekerler ile takılması uygun olan tekerlerin istenen ve gerçek ağırlıkları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 1.15. Patinaja bağlı olarak enerji tüketiminin değişimi (Çarman 2001)

Çarman ve Aydın (2002), Günümüzde tarımsal üretimde, özellikle de yüksek enerji gerektiren uygulamalarda enerji tüketimini daha iyi kullanabilmek için bir uğraş olduğunu, tarım traktörlerinin, toplam tarım enerji gereksiniminin yaklaşık olarak %20 sini tükettiğini ve bu nedenle traktörlerin optimize edilmesi, enerji kayıplarının azaltılmasına yardımcı olacağını belirtmektedir. Tarımsal araçların akslarında tork üretebilme yeteneğinin dinamik aks yüküne, hıza, temas yüzeyi geometrisine ve toprak tipi ile koşullarına bağlı olduğunu savunmaktadır. Bu çalışmalarında dinamik yük ve ilerleme hızının, tarım traktörlerinde kullanılan radyal lastiklerin çeki performansı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Çeki testlerini bir toprak kanalı içerisinde çalışan tek tekerlek tarım lastik test makinesi kullanarak, 0,51 ve 1,99 m/s ilerleme hızlarında ve 4,5 ve 6 kN dinamik yükler altında yapmışlardır. Deney sonucunda; dinamik yükün yaklaşık olarak %50 oranında artırılması dinamik çeki oranında %22 ve çeki veriminde %6'lık bir artış göstermiştir. İlerleme hızının ise yaklaşık %290 artırılması net çeki oranının %5 ve çeki veriminin %1,7 artmasına neden olmuştur. Dinamik yüklerin etkisi ilerleme hızıyla karşılaştırıldığı zaman çeki performansı üzerinde daha etkili olmuştur.

Çarman ve Dünyamalıoğlu (2003) 7.00-18 ölçüsündeki traktör lastiğinin çeki performansını tahmin edebilmek için regresyon analiziyle bir model gerçekleştirmişlerdir. Koni indeksi ve tekerlek patinajının, çeşitli parametreler üzerine etkilerini analiz ettikleri bu çalışmada, toprak kanalında çalışan deney düzeneği ile elde ettikleri verileri geliştirdikleri eşitlikle değerlendirmişler ve ayrıca, Wismer ve Luth

(1974) eşitlikleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, net çeki oranını kendi ölçümlerinde 0.503 değerinde, geliştirdikleri modelle 0.502 değerinde ve karşılaştırdıkları modelle 0.597 değerinde elde etmişleridir. Bağlı hatayı kendi modellerinde %4.45, karşılaştırdıkları modelde ise %25.42 bulmuşlardır. Denemelerinde çeki verimini 0.417, modelleriyle 0.416 ve karşılaştırdıkları modelle 0.674 olarak elde etmişlerdir. Bağlı hata ise kendi modellerinde %2.35 karşılaştırdıkları modelde %80.72 olarak bulmuşlardır. En yüksek uyum iyiliği çeki verimi için kendi geliştirdikleri modelle elde etmişlerdir. Ayrıca kendi model çıktılarının, karşılaştırdıkları modelden daha ziyade, deneysel verilere daha yakın değerlerde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Degirmencioglu and Way (2004) 18.4-38 ölçüsünde çapraz katlı ve 18R38 ölçüsünde radyal iki lastiğin çeki performanslarını karşılaştırabilmek için tek tekerlek deney düzeneği ile denemeler yapmışlardır. %7.5, %15 ve %25 patinaj oranlarında ve 83, 97 ve 110 kPa lastik iç basınçlarında ve sabit bir aks yükü altında gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda; 97 kPa lastik iç basıncında ve %25 patinaj oranında radyal lastiklerin daha yüksek bir çeki verimine sahip olduklarını belirlemişlerdir.

Elwaleed ve ark. (2006) Yüksek profilli tarım lastiklerinin net çeki oranını belirlemek için kullanılan Wismer ve Luth (1974) ve Brixius (1987) eşitliklerinin doğruluğunu test etmek bir çalışma yapmışlardır. Denemelerini Malezya Putra Üniversitesi Lastik Çeki Test Tesislerinde laboratuvar ortamında killi kumlu toprak üzerinde gerçekleştirmişlerdir. 166, 193 ve 221 kPa olmak üzere üç farklı lastik iç basıncında, %0 ve %40 arasında değişen patinaj oranlarında yaptıkları çalışmada sonuç olarak Wismer-Luth ve Brixius eşitliklerinin yüksek profilli lastiklerde uygulanamayacağını, ilerleme hızının artmasıyla net çeki oranının arttığını, fakat bu artışın patinajın artmasıyla azaldığını, lastik iç basıncının 28 kPa'a düşürülmesiyle net çeki oranının azaldığını, 55 kPa basınca çıkarılınca arttığını belirlemişlerdir.

Grisso ve ark. (2006) yol dışı taşıtların çeki performanslarını tahmin edebilmek için, toprak ve lastik arasındaki interaksyonu açıklayabilecek kapasitede matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelle, çapraz katlı lastikleri Brixius (1987)'un yaptığı deneysel çalışma verileriyle, radyal lastikleri ise Al-Hamed ve ark. (1994)'nın yaptığı deneysel çalışma verileriyle karşılaştırmışlardır. Çeki performans tahminleri için geliştirdikleri ampirik model ile deneysel sonuçları karşılaştırdıkları zaman, tahminleri daha etkili olmuştur.

Küçüksarıyıldız (2006), Dört farklı aks yükü, üç farklı lastik basıncı ve dört farklı çeki kuvvetinin traktörün çeki performansını belirlemek üzere; patinaj, çeki gücü, net çeki oranı, çeki verimliliği ve özgül yakıt tüketimi değerlerini belirlemiştir. Denemelerini, beton zeminden oluşan deney pistinde yürütmüştür. Çeki kuvvetine bağlı olarak; patinaj değerleri % 0.79 ile % 23.54, çeki gücü değerleri 12.1 kVV ile 30.1 kVV, net çeki oranı değerleri 0.213 ile 1.156 ve çeki verimliliği değerleri ise 0.54 ile 0.97 arasında değişmiştir. Dinamik aks yükü, lastik basıncı ve çeki kuvvetinin; patinaj, çeki gücü ve çeki verimliliği üzerindeki etkisinin önemli olduğunu bulmuştur ($P < 0.01$).

Tiwari ve ark. (2010) yaptıkları bir çalışmada, Hindistan teknoloji enstitüsünde tek tekerlek test düzeneği ile yaptıkları (Tiwari ve ark., 2009) deneysel çalışmanın sonucunda elde ettikleri verilerle Brixius tarafından geliştirilen eşitliğe göre sonuçları karşılaştırmışlar ve bu eşitlik üzerinde çalışarak daha iyi sonuçlar verebilen bir eşitlik geliştirmişlerdir. Bu eşitliğe göre çeki oranları;

$$GRT = \frac{T}{rW} = C_1(1 - e^{-C_2 B_n})(1 - e^{-C_3 S}) + C_4 \quad (2.8)$$

Burada;

GTR: Brüt çeki oranı

T : Tork (N)

R_t : Dinamik lastik yarıçapı (m)

B_n : Hareketlilik sayısı (-)

S : Patinaj (%)

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 ve C_6 : Sabit katsayılarıdır.

$$MRR = \frac{MR}{W} = \frac{C_5}{B_n} + C_4 + \frac{C_6 S}{\sqrt{B_n}} \quad (2.9)$$

Burada;

MRR: Hareket direnç katsayısı (-9)

MR : Hareket direnci (N)

W : Aks yüküdür (N).

Smerda ve Cupera (2010) çalışmalarında, lastik iç basıncının, çeki karakteristikleri ve performans parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Denemelerini iki farklı ölçüde lastik seti ve tarla şartlarında farklı lastik iç basınçlarında gerçekleştirmişlerdir. Çeki performans ölçümlerini 5, 8 ve 10 km/h ilerleme hızlarında yapmışlardır. Ölçümleri sonucunda, net çeki oranı, çeki gücü ve patinaj

karakteristiklerini grafiksel ve matematiksel olarak belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Lastik iç basıncını 180 kPa'dan 65 ve 75 kPa'a düşürdüklerinde lastik temas izi traktörün ön lastiklerinde %24.7 arka lastiklerinde ise %31.1 artmıştır.
- Lastik iç basıncındaki bu azalma özgül yakıt tüketimini, ilerleme hızına bağlı olarak %3.4 ila %16 arasında azaltmıştır.
- Lastik iç basıncı azaldıkça çeki karakteristikleri ve yakıt tüketiminin azalması gelişmiştir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından tasarlanıp geliştirilen çeki performans deney düzenekleri incelendiğinde; toprak kanalında yürütülen deney düzenekleri, tek bir zeminde denemelere izin vermekte, farklı zeminlerde performans deneyleri yapılamamaktadır. Çeki arabalı deney düzenekleri ile çift traktörle yapılan performans deneylerinde ise traktörün her iki muharrik lastiğinde çeki geliştirildiği için, hangi lastiğin çeki performansına ne denli etkisinin olduğunu belirlemek oldukça güçtür. Bu nedenle literatürdeki deney düzenekleri içerisinde farklı zeminlerde kullanılabilen deney düzeneği, tek bir lastikle çok farklı zeminlerde performans deneyleri yapılabilme yeteneğine sahip olduğu için, çalışmamızda tercih edilmiş ve ölçüm sistemleri torkmetre ilavesi gibi değişiklikler yapılarak, benzer düzeneklere göre daha da geliştirilmiştir. Ayrıca denemelerde kullanılan deney düzeneği ülkemizde ilk kez tasarlanmış ve çeki performansı denemelerinde kullanılmıştır.

Kaynak araştırmasında rastlanan performans deneylerinde, genelde tarla şartlarında kullanılan yüksek güçteki traktörlere ait büyük çaplı lastikleri üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Bahçe traktörlerinde kullanılan lastiklerle yapılan denemeler çok azdır. Çalışmamızın özgünlüğü bahçe traktör lastiklerinin performansının belirlenmesi için deneylerin yapılmış olmasıdır.

Önceki çeki performans çalışmalarında, bağımlı ve bağımsız değişkenler kısıtlı sayıda tutulmuş olup lastik performansını belirlemede yeterlilik arz etmediği düşünüldüğünden denemelerimizde daha çok parametrelere yer verilmiştir.

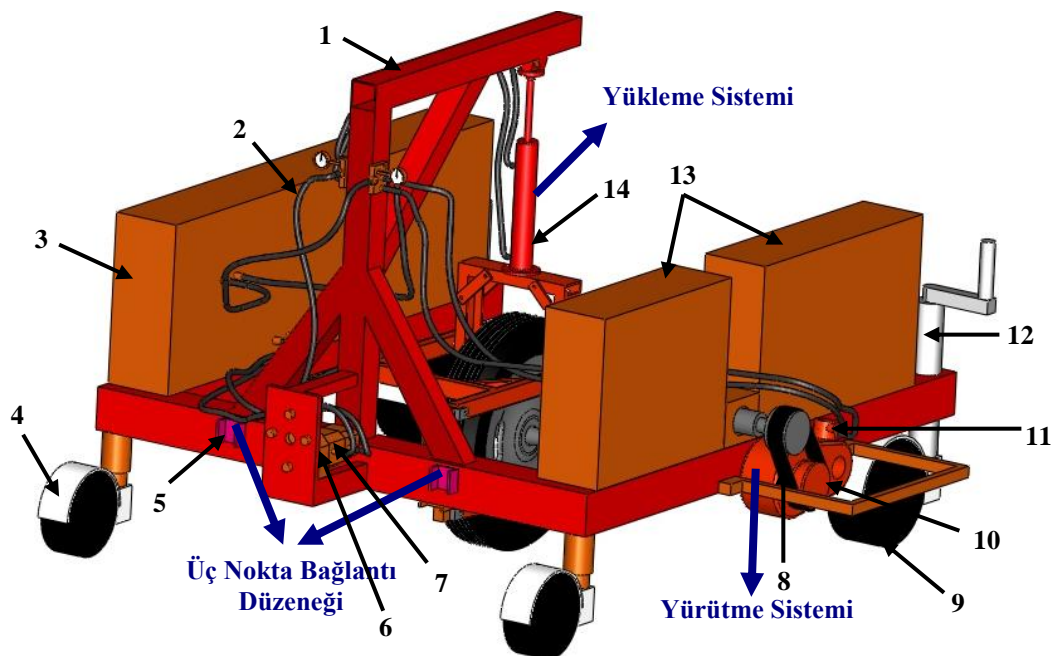
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

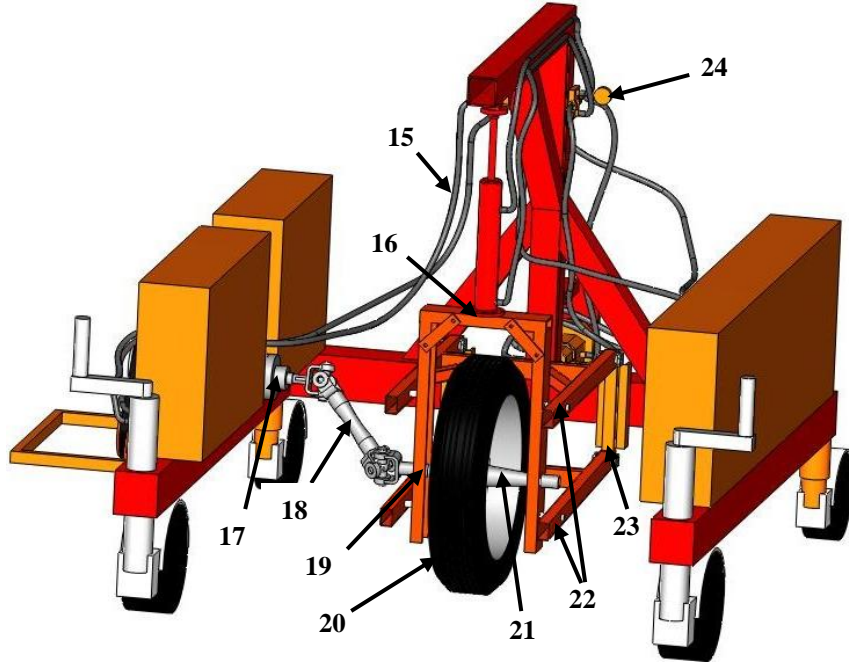
3.1.1. Tek tekerlek test düzeneği

Bu çalışmada, ülkemizde ilk kez tarafımızdan, tek tekerlek testinde kullanılabilir bir çekme düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. Bu düzenek çevresel lastik hızı, tekerlek patinajı ve dinamik tekerlek yükünü kontrol edebilmek için yeterli kapasiteye sahiptir.

Test düzeneği 3 ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.1) Birinci kısım test düzeneğinin hareket yeteneğini sağlayan ve deneyde kullanılacak traktörün üç nokta askı sistemine bağlanan çeki kısmıdır. İkinci kısım traktörün kuyruk mili çıkışına bağlı olarak çalışan hidrolik pompadan hareket alan bir hidrolik motor tarafından test tekerleğine hareket ileten yürütme sistemidir. Üçüncü kısım ise deneyler sırasında dinamik yükün test tekerleğine uygulanmasını sağlayan ve bir hidrolik silindirden oluşan yükleme sistemidir.



1. Yükleme çatısı, 2. Hidrolik geri dönüş hortumları, 3. Hidrolik deposu, 4. Ön destek tekerleği, 5. Üç nokta sistemi bağlantı kulağı, 6. Dişli kutusu, 7. Hidrolik pompa, 8. Zincir, 9. Arka denge tekerleği, 10. Redüktör, 11. Hidrolik motor, 12. Arka denge tekerleği yükseklik ayar kolu, 13. Beton denge ağırlıkları, 14. Hidrolik silindir

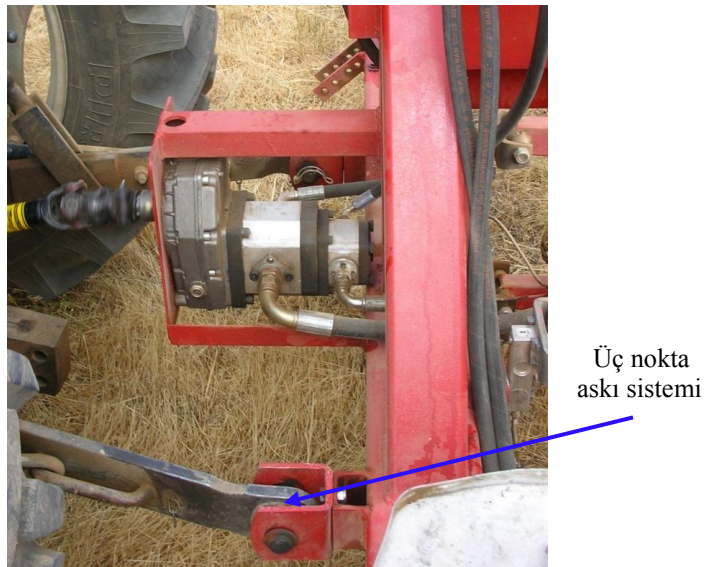


15. Hidrolik basınç hattı hortumları, 16. Yükleme sistemi yük hücresi, 17. Torkmetre, 18. Şaft, 19. Tekerlek taşıyıcı, 20. Deney lastiği, 21. Tekerlek aksı, 22. İtme kolları, 23. Çeki kuvveti ölçüm yük hücreleri, 24. Manometre

Şekil 3.1. Test düzeneği

3.1.1.1. Tek tekerlek test düzeneği çeki kısmı

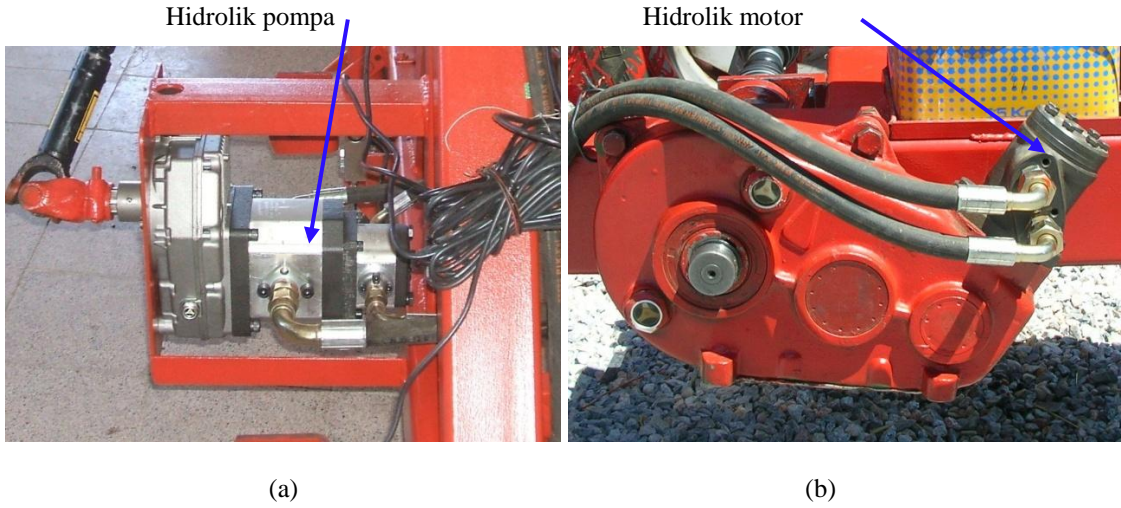
Düzenek, traktör üç nokta askı sistemine bağlanarak, çeki arabasını (traktörü) simetri ekseninde itebilme özelliğine sahiptir. Şekil 3.2’de Üç nokta askı sisteminin düzeneğe bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Üç nokta askı sisteminin düzeneğe bağlantısı

3.1.1.2. Tek tekerlek test düzeneği yürütme sistemi

Tekerlek için gerekli güç, bir hidrolik pompa ve motor vasıtasıyla sağlanmaktadır. Tek tekerlek deney düzeneğinde traktör kuyruk milinden alınan 540 d/d dönme hareketi $i=1/3$ 'lük bir dişli kutusu ile 1500 d/d'lık bir dönme hareketi elde edilerek Caproni marka (30C32x198-20C4.5x201) hidrolik pompayı (1500 d/d'da 25000 kPa basınç) ve pompadan alınan hareket ise M+S MP050 marka hidrolik motoru (50 cm^3/d , 900 d/d'da 100 Nm tork) hareketlendirmektedir. Hidrolik motor ise test tekerleğini tahrik etmektedir (Şekil 3.3). Test tekerleğinin ilerleme hızının kontrolü için hidrolik motordan alınan hareket $i=30$ 'luk bir redüktörle devir düşürülmektedir. Redüktör çıkışında tekerlek aksına giriş torkunun belirlenebilmesi amacıyla bir torkmetre (ETH DRFL-VII marka 3000 Nm kapasiteli) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Lastiğin değişen dinamik yüklenmesine ve iç basıncındaki değişime bağlı olarak meydana gelecek defleksiyonlarla (çökme) tekerleğe hareket giriş eksenine tekerlek eksenine arasındaki düşey eksen kaçıklığının karşılanabilmesi amacıyla iki nokta arasında mafsallı şaft kullanılmıştır.



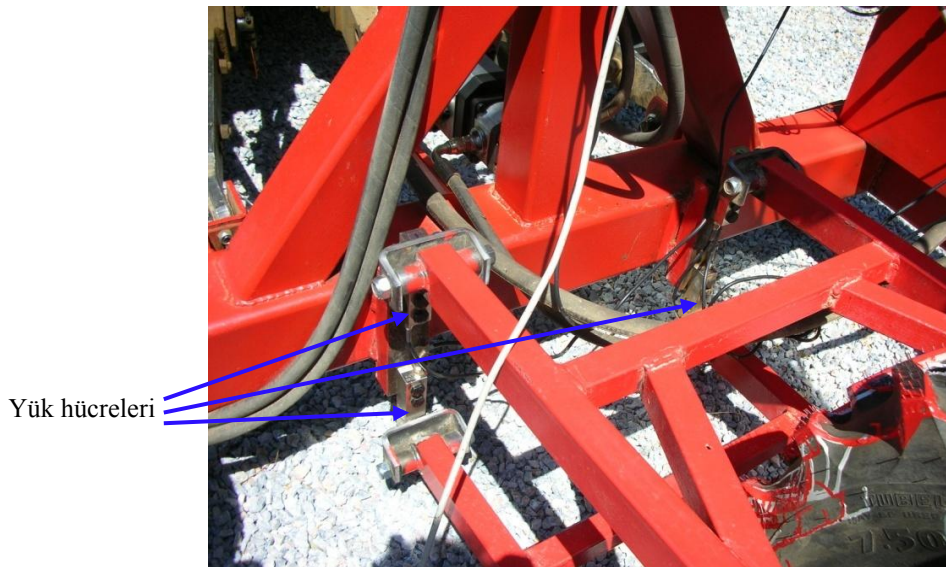
Şekil 3.3. a) Hidrolik pompa, b) Hidrolik motor



Şekil 3.4. Tork ölçümlerinde kullanılan torkmetre

Hidrolik sistemde 300 lt'lik yağ deposu kullanılmış olup depoda 273 lt yağ (0,879 kg/lt yoğunluk ve 40°C'de 46 cSt viskozite) mevcuttur. Depoda 2 adet giriş ve 2 adet çıkış rekoru ve depo içerisinde çıkışlarda 2 adet filtre vardır. Hidrolik pompa çift kademeli olup birinci kademe yürütme sistemindeki motorun tahrik edilmesi için kullanılırken ikinci kademe yükleme sistemindeki silindiri çalıştırmaktadır. Her iki sistemde deponun çıkış rekorlarından gelen iş akışkanının basıncı manometreli iki adet basınç ayar valfi ile kontrol edilmektedir.

Deneylerde çeki kuvvetinin ölçülmesinde tekerlek şasisine mafsallı olarak bağlı bulunan 4 adet tekerlek itme kolunun ana şasiye bağlantı noktasında yük hücreleri (Keli SQB-A marka 25 kN kapasiteli) kullanılmıştır (Şekil 3.5).



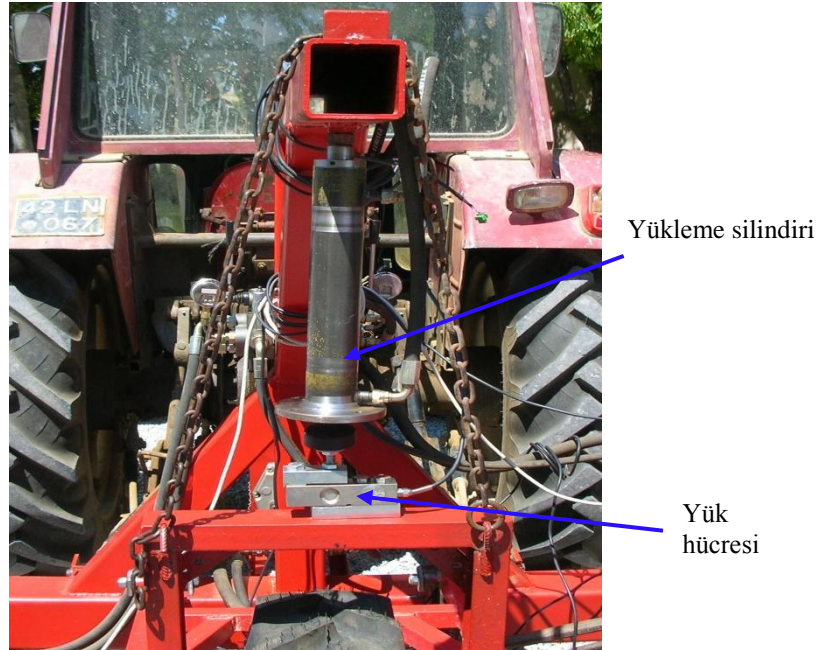
Şekil 3.5. İtme kuvveti ölçümlerinde kullanılan yük hücreleri

3.1.1.3. Tek tekerlek test düzeneği yükleme sistemi

Yükleme sistemi bir hidrolik silindir ve ayarlanabilir basınç düşürme valfinden oluşmaktadır. Belirlenen silindir 50 mm çapında ve 30 mm kurs boyunda kaynaklı özel yapım bir silindirdir. 25000 kPa basınçta 50 kN kuvvet geliştirebilme yeteneğine sahiptir.

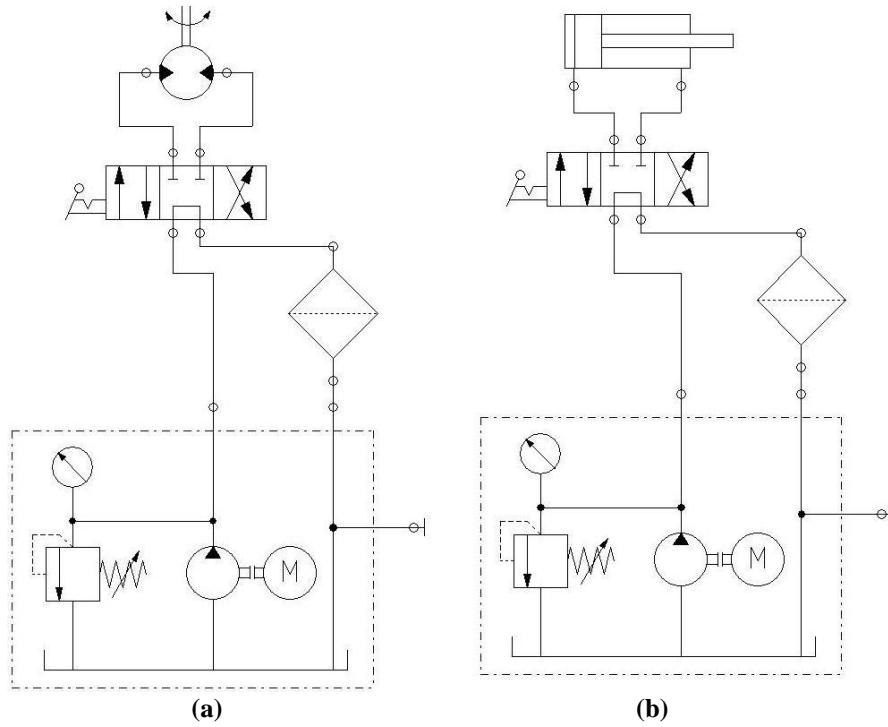
Dinamik tekerlek yükü bir hidrolik silindir bağlanarak şasiden lastiğe transfer edilmiştir ve lastik taşıyıcı şasinin üst kısmına bağlanmıştır (Şekil 3.6). Sekiz adet 50 kg'lık beton blok, uzayan silindir koluyla lastiğe yük sağlamak için şasiye bindirilmiştir. Şasiye ağırlık dahil edilmesiyle, test cihazı 8 kN'luk dinamik tekerlek yükü sağlayabilmektedir.

Test tekerleğinde farklı aks yüklerini sağlayabilecek yükleme sisteminde, hidrolik silindirle test tekerleği arasına yerleştirilen bir yük hücresi (Keli SQB-A marka 2.5 kN kapasiteli) sayesinde uygulanan dinamik yükler ölçülmüştür. Şekil 3.6'da yükleme sistemi ve yük hücrelerinin bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.6. Yükleme silindiri ve yük hücresi

Test düzeneğinin yürütme ve yükleme sisteminin hidrolik devre şemaları Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Hidrolik devre şemaları a) Yürütme sistemi, b) Yüklemesi sistemi

3.1.2. Test traktörü

Denemelerde tek tekerlek test düzeneğinde çeki arabası (frenleyici) olarak Steyr-768 traktörü kullanılmıştır. Düzeneğin ihtiyaç duyduğu kuyruk mili hareketi bu traktörden sağlanmaktadır. Ayrıca el freni kademeleri kullanılarak farklı çeki kuvvetleriyle testlerin yapılmasına imkân sağlamıştır. Traktörün teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Steyr-768 traktörün özellikleri

Model	WD 408.43
Yakıt Cinsi	Dizel
Silindir Adeti	4
Strok	100x100 mm
Güç	2200 d/d’da 64 HP (47,7 kW)
Tork	1600 d/d’da 215,6 Nm
Yakıt Depo Hacmi	83,3 lt
Üç Nokta Askı Sistemi Kaldırma Kapasitesi	2400 kg
Kuyruk Mili Devirleri	540/1000 d/d
Transmisyon	Senkromeçli 16 ileri 8 geri
Ağırlık	2757 kg
Dingil Mesafesi	213 cm
Uzunluğu	354 cm
Yüksekliği	221 cm
Dönme Yarıçapı	760 cm
Ön Tekerlek Ölçüsü	6,50-20
Arka Tekerlek Ölçüsü	13,6-36

3.1.3. Deney lastikleri

Denemeler 7.50-18 çapraz (B) ve 7.50R18 radyal (R) olmak üzere iki çeşit muharrik lastik tipi (LT) ve bu lastiklere ait 3 farklı profil yüksekliğindeki (PY) ($B_1 = 18$, $B_2 = 14$, $B_3 = 10$, $R_1 = 30$, $R_2 = 24$, $R_3 = 14$ mm) lastikler kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de deney lastiklerinin teknik özellikleri verilmiştir. Seçilen lastik ölçüleri 4 çeker tarla traktörlerin ön akslarının yanı sıra, ülkemizde yaygın olarak kullanılan 5 farklı marka bahçe traktörlerinde de kullanıldığı saptanmıştır.

Çizelge 3.2. Deney lastiklerinin teknik özellikleri

Lastik Tipi	Kat Sayısı	Kesit Genişliği (mm)	Dış Çap (mm)	Taşıma Kapasitesi (kg)	Hız Limiti (km/h)	Yük ve Hız İndeksi
7.50-18	8	205	860	950	30	106 A6
7.50R18	-	205	860	900	40	104 A8

3.1.4. Zemin koşulları

Zemin olarak asfalt yol (AY), bozulmuş asfalt zeminin zamanla çakıllaşması ile oluşan stabilize yol (SY), anız tarla (AT) ve pullukla sürülmüş kültüvatörle ikileme yapılmış tarla (ST) koşullarında deneyler yürütülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Zemin koşulları. Asfalt, stabilize, anız ve sürülmüş tarla

3.2. Yöntem

3.2.1. Tek tekerlek test düzeneğinin tasarımı ve gerilim analizleri

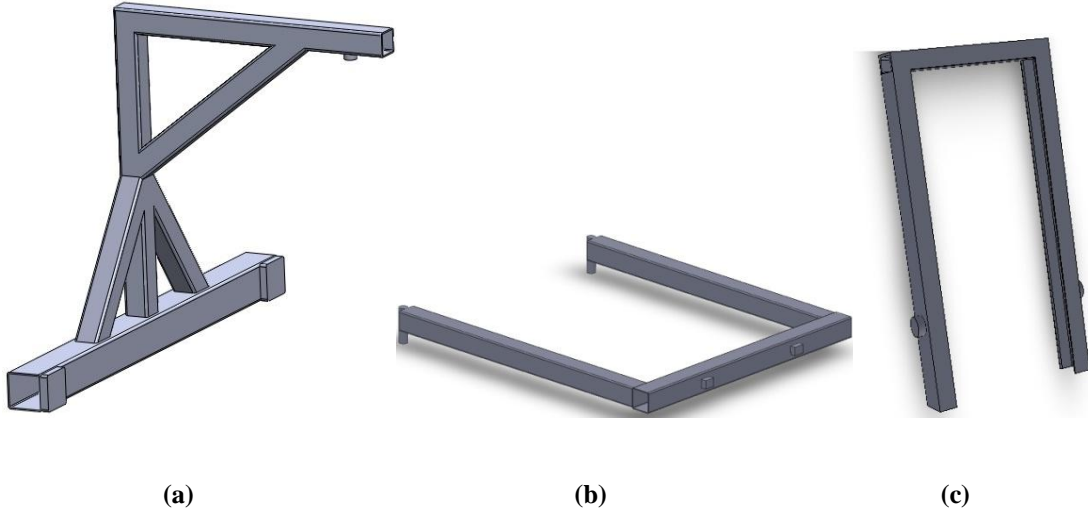
3.2.1.1. Deney düzeneğinin modellenmesi

Ana yapı kare ve dikdörtgen biçimli 4 çeşit profilden oluşmaktadır. Ana şasi 150x150x6 mm kare profilden imal edilmiştir. Yükleme ünitesini taşımak için 100x100x6 mm'lik kare profilli çelik kullanılırken, yürütme sisteminin hareketini şasiye iletmede 60x40x3 mm ebatlarında 4 adet dikdörtgen profil ve tekerlek taşıyıcı olarak 50x70x7 mm ebatında U profilli çelik kullanılmıştır. Öncelikle 24x8 mm ebadındaki çelik plaka traktörün üç nokta bağlantı sistemi için bağlantı bindirme kulakları ve ek parça olarak kullanılmıştır. Tüm profiller Çizelge 3.3'de malzeme özellikleri belirtilen S235JR yapı çeliğindedir. Düzenek kullanılmadığı zaman şasinin ön kısmını desteklemek için, şasiden yere kadar uzanan ve boyu pimlerle ayarlanabilen Ø80x600 mm ebatlarında boru ayaklar ve denge tekerlekleri ile sağlanmaktadır. Düzeneğin arka bölümünü desteklemek için 600 mm çapında bir çift küçük dolgu tekerlek kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. S235JR çeliğinin malzeme özellikleri

Özelliği	Değeri	Birimi
Elastikiyet modülü	2.100000031e+011	N/m ²
Kesme modülü	7.9e+010	N/m ²
Kütle yoğunluğu	7800	kg/m ³
Çekme mukavemeti	350000000	N/m ²
Akma mukavemeti	275000000	N/m ²
Termal genişleme katsayısı	1.1	10 ⁻⁵ /K
Termal iletkenlik	14	W/(m·K)
Özgül ısı	440	J/(kg·K)

Test düzeneğinin modellenmesi SOLIDWORKS™ 3D parametrik katı modelleme programı ile yapılmıştır (Topakçı ve ark., 2008 ve Bahadır ve ark., 2009). Düzeneğin en fazla yüklere maruz kaldığı kısımları yükleme sistemi profili, ana şasi ve tekerlek taşıyıcı profilidir. Bu nedenle gerilmelere maruz kalan bu kısımlar simülasyon için ayrı birer ünite olarak tekrar modellenmiştir. Şekil 3.9'da yükleme sistemi, ana şasi ve tekerlek taşıyıcı görülmektedir.



Şekil 3.9. Gerilmelere maruz kalan kısımlar a) Yükleme sistemi, b) Ana şasi, c) Tekerlek taşıyıcı

3.2.1.2. Gerilim analizlerinin yapılışı

Çalışma şartları göz önüne alınarak yükleme sistemi deneyler için tasarlanan 6.5 kN'luk bir aks yüküne maruz kalacağı halde gerilim analizleri için 8 kN yükte analizler gerçekleştirilmiştir. Tüm gerilim analizleri COSMOSWORKS™ sonlu elemanlar programıyla gerçekleştirilmiştir (Tönük ve Ünlüsoy, 2001; Zeytinoğlu, 2002; ve Fervers, 2004). Sünek malzemelerin değerlendirilmesinde Von-Mises gerilmeleri ise iyi sonuç veren kriterlerdir (Genç 2007). Bu nedenle kullanılan malzemenin özelliği dikkate alınarak Von-Mises kriteri seçilmiştir.

3.2.2. Tekerlek çevresinin ölçülmesi

Tekerlek çevresi her aks yükünde ve her lastik basıncında ölçülmüştür. Bunun için tekerleğin yere temas eden diş üzerine gres yağı sürülmüştür. Deney pistinde düşük hızda düz çizgide tekerleklerin 4 tur atması sağlanmıştır. Lastiğin temas noktaları mesafesi metre ile ölçülüp aritmetik ortalaması alınmıştır (Küçüksarıyıldız, 2006).

3.2.3. Lastiklerin iz düşüm alanlarının ölçülmesi

Lastiklerin beton zemin üzerinde iz düşüm alanları belirlenmiştir. Denemeler farklı yüklerde (L_1 : 3.5, L_2 : 5.0 ve L_3 : 6.5 kN) 3 farklı lastik basıncında (P_1 : 290, P_2 :

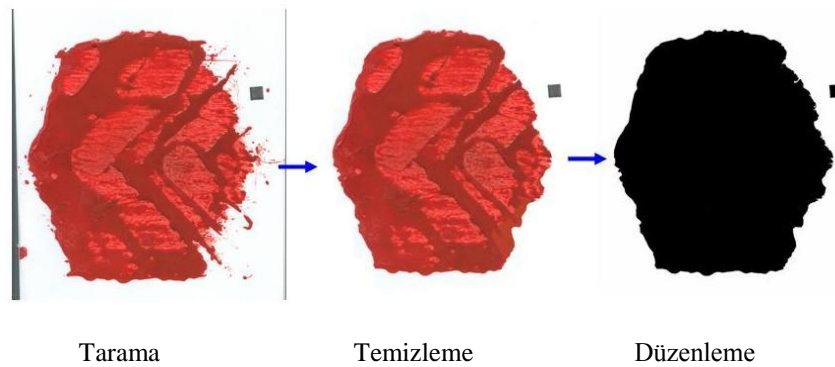
260 ve P_3 : 230 kPa) yürütülmüştür. Deneyde kullanılan lastiklere ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Lastiklerin beton zemin üzerinde iz düşüm alanlarını belirlemek amacıyla her aks yükü ve lastik basıncında, lastik kriko vasıtasıyla yerden kaldırılarak belirli bir yüzeyi boyanmış ve daha sonra zemin üzerine yerleştirilen A3 ebadındaki beyaz kağıt üzerine indirilmiştir. İz alanının kağıt üzerinde doldurulabilmesi amacıyla bu işlem her seferinde lastik 5-10° döndürülerek 4-5 kez tekrar edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Lastiklerin iz düşüm alanlarının ölçülmesi

Kâğıt üzerinde oluşan iz alanları bilgisayar ortamında SigmaPro Scan yazılımı kullanılarak saptanmıştır (Küçüksarıyıldız, 2006). İz alanı bulunan kâğıt, önce tarayıcıda taranmış, sonra MS paint yazılımıyla boya kalıntılarından temizlenmiş, daha sonra Photoshop yazılımı kullanılarak SigmaPro Scan yazılımı kullanımına hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. İz alanı hazırlama prosedürü

Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan lastiklerin fiziksel özellikleri (yüksüz durumda)

Lastik ölçüsü	Profil yüksekliği (mm)	Lastik çapı (mm)	Lastik kesit yüksekliği (mm)	Profil alanı/toplam alan
7.50-18 / 8 kat	B1 18	860	201	%22
	B2 14	852	197	
	B3 10	844	193	
7.50R18	R1 30	860	201	%23
	R2 24	848	195	
	R3 14	828	185	

3.2.4. Çeki (itme) kuvveti ölçümü

Araştırmada, çeki kuvveti değerleri, bilgisayar destekli ölçme sisteminde; tekerlek şasisi ile ana şasi arasında mafsallı olarak bağlı bulunan 4 adet profilin uç kısmına yerleştirilen yük hücreleri yardımıyla ölçülmüştür. Denemeler sırasında dört noktadan alınan çeki kuvveti değerleri veri toplayıcıya (DT 80 Datataker marka veri toplayıcıyla saniyede 2 veri alınmıştır) kaydedilmiştir (Şekil 3.12). Farklı çeki kuvvetlerinin (frenlemenin) oluşturulabilmesi amacıyla traktörün el freni mekanizmasından faydalanılmıştır.

**Şekil 3.12.** Veri toplayıcı

Denemeler esnasında yük hücreleri vasıtasıyla, dört noktadan ölçülen çeki kuvveti değerlerinin doğrulanabilmesi amacıyla, Steyr-768 traktörünün el freni mekanizmasının 5 farklı kademesinde ve farklı zemin koşullarındaki yürüme dirençleri, çift traktör kullanılarak önceden belirlenmiştir (Şekil 3.13) (Akıncı ve Sabancı, 1991; Burt ve ark., 1983; Lee ve Kim, 1997). Traktörün farklı kademelerdeki el freni mekanizması ve değişen zemin koşulları için yürüme dirençleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Çift traktör testleri

Çizelge 3.5. Steyr-768 traktörün yürüme dirençleri (çekme kuvvetleri) (kN)

Traktör el freni kademesi	Asfalt yol	Stabilize yol	Anız tarla	Sürülmüş tarla
1	0.443	0.840	1.590	3.600
2	1.265	1.486	2.015	4.200
3	1.915	2.186	2.679	4.940
4	2.330	2.586	3.031	5.335
5	2.560	2.776	3.240	5.540

Sürülmüş tarla koşullarında yürütülen çalışmada tüm kombinasyonlarda muharrik tekerlek gevşek zemin nedeniyle tutunamayarak %100 patinaja düşmüş ve çeki kuvveti geliştirememiş ve bu nedenle deneme planından çıkarılmıştır.

3.2.5. Çalışma hızı ve patinaj ölçümleri

Gerçek ilerleme hızının belirlenmesinde, deney düzeneğinin 100 m uzunluğundaki deneme alanlarına giriş ve çıkış arasında geçen süre ölçülerek belirlenmiştir. Bu süre bir kronometre ile ölçülmüştür.

Teorik hızın belirlenmesinde ise torkmetre üzerinde bulunan manyetik

algılayıcıdan alınan sinyaller yardımıyla devir ölçülmüş ve tekerleğin farklı işletme koşullarındaki (aks yükü ve iç basınç) çevresi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Patinajın belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$S = \frac{v_i - v}{v_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Burada;

S : Patinaj (%),

v_i : Teorik hız (km/h),

v : Gerçek ilerleme hızıdır (km/h).

3.2.6. Çeki gücünün belirlenmesi

Her bir kombinasyon için ölçülen çeki kuvveti ve gerçek ilerleme hızı değerleri kullanılarak çeki gücü: aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır;

$$N_{\xi} = \frac{P_{\xi} \cdot V}{1000} \quad (3.2)$$

Burada;

N_{ξ} : Çeki gücü (kW),

P_{ξ} : Çeki kuvveti (N),

V : Traktör ilerleme hızıdır (m/s).

3.2.7. Çeki veriminin belirlenmesi

Lastik tekerlekleri ile ilgili yapılan düzenlemelerin verimlilik açısından değerlendirilmesinde kullanılan diğer önemli bir parametre çeki verimidir. Çeki verimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Sabancı, 1993; Öğüt, 1998);

$$\eta_{\xi} = \frac{N_{\xi}}{N_a} \quad (3.3)$$

Burada;

η_{ξ} : Çeki verimi (-)

N_{ξ} : Çeki gücü (kW)

N_a : Aks gücüdür (kW).

Aks gücünün belirlenmesinde torkmetreden alınan tork ve devir sayısı değerleri (DT 80 Datataker marka veri toplayıcıyla saniyede 2 veri alınmıştır) dikkate alınarak

aşağıdaki eşitlikten aks gücü değerleri hesaplanmıştır;

$$N_a = \frac{T \cdot n}{9549} \quad (3.4)$$

Burada;

T : Tork metreden alınan tork değeri (Nm)

n : Tekerleğin devir sayısıdır (d/d).

3.2.8. Net çeki oranının belirlenmesi

Deney tekerleğinin net çeki oranı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Sabancı, 1993; Ögüt, 1998);

$$\psi = \frac{P_\xi}{W} \quad (3.5)$$

ψ : Net çeki oranı

P_ξ : Çeki kuvveti (kN)

W : Aks yüküdür (kN).

3.2.9. Lastiklerde defleksiyonun belirlenmesi

Beton zemin üzerinde değişen aks yükü ve iç basınca bağlı olarak lastiklerde meydana gelen defleksiyonu (D) (çökme) belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Çarman ve Şeflek, 2005);

$$D = \left(1 - \frac{\text{Yüklü durumda lastik kesit yüksekliği}}{\text{Yüksüz durumda lastik kesit yüksekliği}} \right) \cdot 100 \quad (3.6)$$

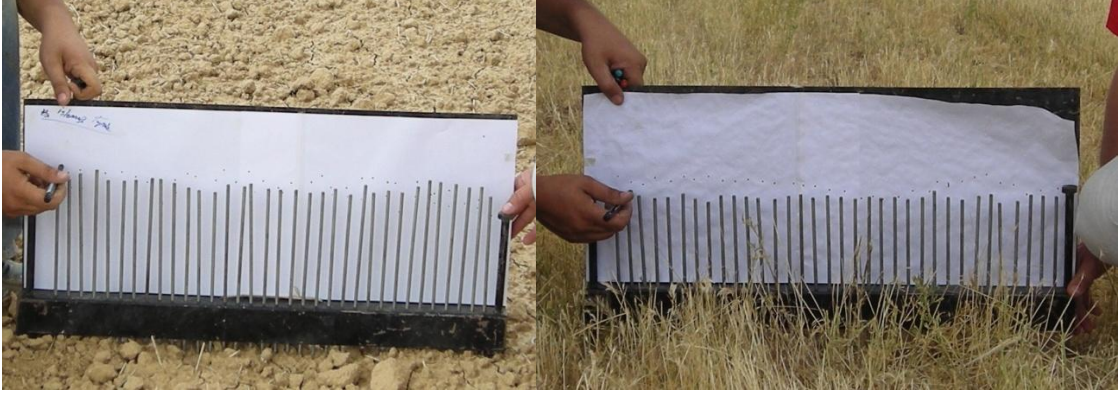
3.2.10. Anız ve sürülmüş tarlaya ait bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmalarda anız ve sürülmüş tarlanın yüzey düzgünsüzlüğünü belirlemek amacıyla çubuklu profilmetre kullanılmıştır (Şekil 3.14). Profilmetre, 1 m uzunluğundaki profil üzerine 2.5 cm aralıklarla yerleştirilmiş çubuklardan oluşmaktadır. Çalışma yönüne dik yerleştirilen profilmetreyle 2.5 cm aralıklarla yüzey profili ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla tarla yüzey düzgünsüzlüğü hesaplanmıştır (Çarman, 1997);

$$R_d = 100 \log S_s \quad (3.7)$$

R_d : Tarlanın yüzey düzgünlüğü (%)

S_s : Ölçülen değerin standart sapmasıdır.



Şekil 3.14. Sürülmüş ve anız tarlada profilmetre ile yüzey düzgünlüğü ölçümlerinin yapılması

Toprağın batma direncini ölçmek için penetrometre (Eijkelkamp marka) kullanılmıştır (Şekil 3.15). Penetrometreyle düşey doğrultuda 80 cm derinliğe kadar her 1cm'deki toprak direnci MPa olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde tepe açısı 30° ve koni taban alanı 1cm² olan koni kullanılmıştır. Ölçümler 0-20 cm'lik derinlikten alınmıştır (Çarman, 1997).



Şekil 3.15. Sürülmüş ve anız tarlada penetrometre ile batma direnci ölçümlerinin yapılması

Toprağın kesilme direncinin belirlenmesi amacıyla çapı 10 cm ve yüksekliği 12 cm olan kanatlı kesme cihazı (Beta marka) kullanılmıştır (Şekil 3.16). Kanatlı kesme aletinin ucuna takılan tork kolu 0-80 Nm ölçüm aralığına sahiptir.

Toprak işlendikten sonra ölçme aletinin 0-20 cm'lik toprak profiline çakılarak, kanatlı kesicilerin bir silindir yüzeyi boyunca uyguladığı dönme momenti torkmetre kolu üzerindeki göstergeden analog olarak okunmuştur.

Buradan elde edilen maksimum dönme momenti aşağıdaki eşitlik yardımıyla kesilme direnci olarak elde edilmiştir (Okello, 1991).

$$\tau = T / [\pi d_k^2 (h_k/2 + d_k/6)] \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

τ : Toprağın kesilme direnci (N/cm^2)

T : Maksimum dönme momenti (Nm)

d_k : Kanatlı kesici aletin çapı (cm)

h_k : Kanat yüksekliğidir (cm).



Şekil 3.16. Sürülmüş ve anız tarlada kanatlı kesme aparatı ile kesilme direnci ölçümlerinin yapılışı

Anız ve sürülmüş tarlaya ait toprağın bazı özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Toprağın bazı özellikleri

	Anızlı tarla	Sürülmüş tarla
Tekstür sınıfı		Killi-tın
Penetrasyon direnci (MPa)	2.74	0.97
Kesilme direnci (kN/m^2)	31.74	13.76
Yüzey düzgünlüğü (%)	6.09	11.70

3.2.11. Asfalt, stabilize ve beton zemin özelliklerinin belirlenmesi

Bu üç farklı zeminin özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla kayma dirençleri belirlenmiştir. Bu amaçla ASTM E303 ve BS EN 13036-4:2003 standartlarına sahip

Stanley London marka portatif kayma direnç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bir ucunda ağırlık olan bir pandül ve bunun altında numuneye sürtünen ve belirli özellikleri olan lastik bir pabuç ile bir ölçek ve göstergeden ibaret olan kayma direnci ölçüm cihazı Şekil 3.17’de görülmektedir. Ölçümler Türk Standartlar Enstitüsü’nün TS EN 1436 standardına göre yapılmıştır. Pandülün boyu bir vida ile ayarlanarak, lastik pabucun numuneye 125 mm’lik bir uzunluk boyunca sürtünmesi sağlanmıştır. Cihaz kalibrasyon ayarları bitirildikten sonra ölçüm işlemine geçilmiş, her bir zeminde 3 farklı noktadan arka arkaya 5 (beş) ölçüm alınmıştır. Aynı noktalarda yüzey ıslatılarak, ıslak yüzeyler için kayma direnci ölçümleri yapılmıştır. İlk ve son ölçümler göz ardı edilerek diğer 3 (üç) ölçümün ortalaması dikkate alınmıştır (Terzi ve ark., 2009).

Ölçümlerde literatürde çeki performans deneylerinin bir kısmı beton zemin üzerinde yapıldığından beton zeminin de kayma direnci ölçülerek asfalt zeminle mukayesesi mümkün kılınmış ve patinajı yorumlamada önemli bir referans olmuştur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.17. Kayma direnç ölçümlerinin yapılışı, a) Asfalt zemin, b) Stabilize zemin, c) Beton zemin

Asfalt, stabilize ve beton zemine ait kayma direnç değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Kongsuwan ve Phetcharat (2003) ve Asi (2007) kayma gerilmesi değerlerini ölçümlerimizle yaklaşık değerlerde elde etmişlerdir.

Çizelge 3.7. Kayma direnci değerleri

Zemin	Kayma direnci (SRT)	
	Kuru	Islak
Asfalt	85	75
Beton	55	40
Stabilize	60	48

3.2.12. Denemenin planlanması ve yürütülmesi

Denemeler, muharrrik tekerleğin yaklaşık 5 km/h'lik ilerleme hızında yürütülmüştür. Araştırmalarımızda edindiğimiz verilere göre bahçe traktörlerinin toplam ağırlıkları 1000-1380 kg arasında değişmektedir. Tekerlek başına düşen aks yükü 280-500 kg civarındadır. Aks yükü, denemelerin planlanırken bu veriler dikkate alınarak 3.5, 5 ve 6.5 kN olarak belirlenmiştir.

Çalışmada toplam 162 kombinasyon (3 farklı zemin x 2 lastik profili x 3 lastik profil yüksekliği x 3 aks yükü x 3 lastik iç basıncı) değerlendirilmeye alınmıştır. Her bir kombinasyon test traktörünün 5 farklı el freni kademesinde çalıştırılmış olup 100 m'lik mesafe içerisinde alınmıştır. Çalışmada kullanılan muharrrik lastik tipi, profil yüksekliği, aks yükü ve lastik iç basıncı gibi kontrollü değişkenlerin; patinaj, ve çeki verimi değerleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların önemli çıktığı durumlarda ise bunun hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla LSD testleri yapılmıştır (Düzgüneş ve ark. 1987). Varyans analizleri ve LSD testi sonuçlarının elde edilmesinde MINİTAB programı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Tek Tekerlek Test Düzeneği Gerilim Analiz Sonuçları

Yapılan gerilim analizleri sonucunda modeli oluşturulan tek tekerlek test düzeneğinin yük taşıyan bölgelerinde oluşan gerilmeler kabul edilebilir ölçüler dâhilindedir. Maksimum gerilmeler özellikle kaynaklı parçaların birleşim noktalarında görülmektedir. Tüm analizlerde elde edilen EKS değerleri test düzeneğinin deney koşullarında belirlenen yükleri güvenli olarak taşıyabilecek bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Modelin imal edilmesi ve deneylerin yapılması sırasında uygulanan kuvvetler neticesinde düzenekte herhangi bir hasara rastlanmamıştır. Sonlu elemanlar modelinin avantajlarından biri analiz sonuçlarının testlerden alınan sonuçlara göre daha detaylı olmasıdır. Modellemede seçilen malzeme yüksek emniyet katsayısına sahip olduğundan yüksek gerilmelerden dolayı oluşan deformasyon çok düşüktür.

Maksimum gerilmelerin elde edildiği kısımlar genellikle noktasal kısımlarda oluşması meshleme hatalarına bağlanmaktadır. Bu nedenle noktasal kısımları daha hassas yorumlayabilmek için yer yer mesh kalitesi artırılmıştır. İmalat sırasında tekerlek taşıyıcı gibi bazı parçalara destek profilleri eklenmiş, olası analiz hatalarının uygulamada beklenmedik hatalara sebep olması bertaraf edilmiştir. Analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçların örtüştüğü görülmüştür.

4.2. Lastiklerin Defleksiyonu ve İz Düşüm Alanlarındaki Değişim

Muharrik tekerleğin geliştirebileceği çeki kuvveti, lastikle zemin arasındaki tutunmanın bir fonksiyonudur. Tutunmayla lastiğin iz düşüm alanı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

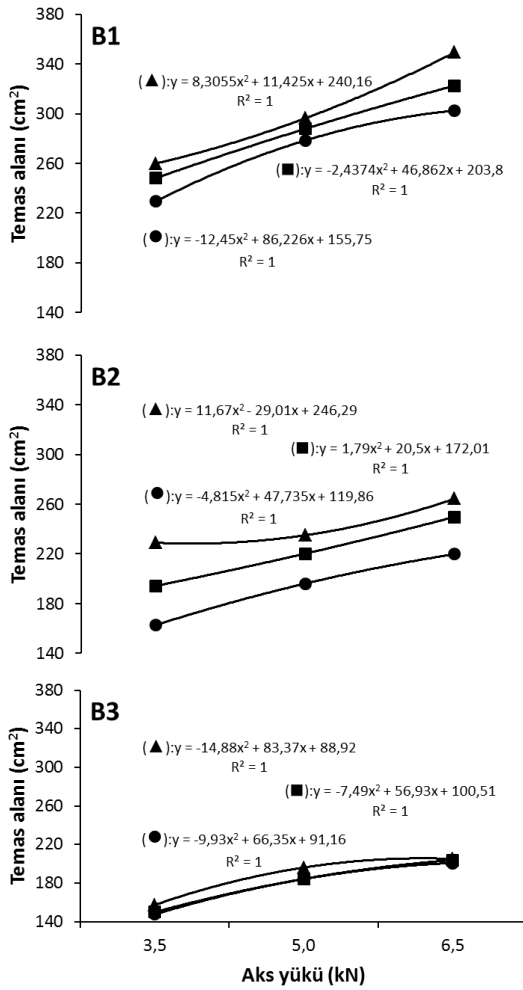
Deneylerde çapraz katlı lastiklerin değişen lastik iç basınç ve aks yükü değerlerinde iz düşüm alanları 147-349 cm² arasında değişirken radyal lastiklerin iz düşüm alanları 218-370 cm² arasında değişmiştir (Şekil 4.1-4.2). Radyal lastiklerin temas alanı, çapraz katlı lastiklerin oluşturduğu temas alanından %27.6 daha büyük elde edilmiştir. Q'Sullivan ve ark. (1999) radyal lastiklerin temas alanı çapraz katlı lastiklerden %20-%50 oranında daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lastik iç basıncındaki %26'lık bir artış çapraz katlı lastiklerde iz düşüm alanlarında ortalama %13 azalmaya neden olmuştur. Radyal lastiklerde ise iç

basınçlardaki %26'lık bir artışla iz düşüm alanlarında yaklaşık olarak %9 azalma meydana getirmiştir. Her iki lastik tipi için lastik iç basıncında %26 oranında bir artış iz düşüm alanının %10 azalmasına neden olmuştur. Schwanghart (1991) lastik iç basıncındaki iki katlık bir artışın lastik temas alanını % 70-80 azalttığını belirtmiştir. Diserens (2009) çapraz katlı lastiğin düşük aks yükünde, iç basıncında 150 kPa'dan 180 kPa'a (%20) bir artış olduğunda lastik temas alanında %9 bir azalma olduğunu saptamıştır. Ayrıca aks yükünü %70 oranında artırdığında aynı basınç varyasyonlarında temas alanı %10'dan daha küçük bir değerde gözlemlenmiştir. Raper ve ark. (1995) lastik iç basıncının artmasının, temas uzunluğunun ve toplam temas alanının azalmasına, aks yükünün artmasının ise toplam temas alanının artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Lee ve Kim (1997), lastik iç basıncında %50 değerinde bir azalmanın temas alanını %28 oranında artırdığını tespit etmişlerdir.

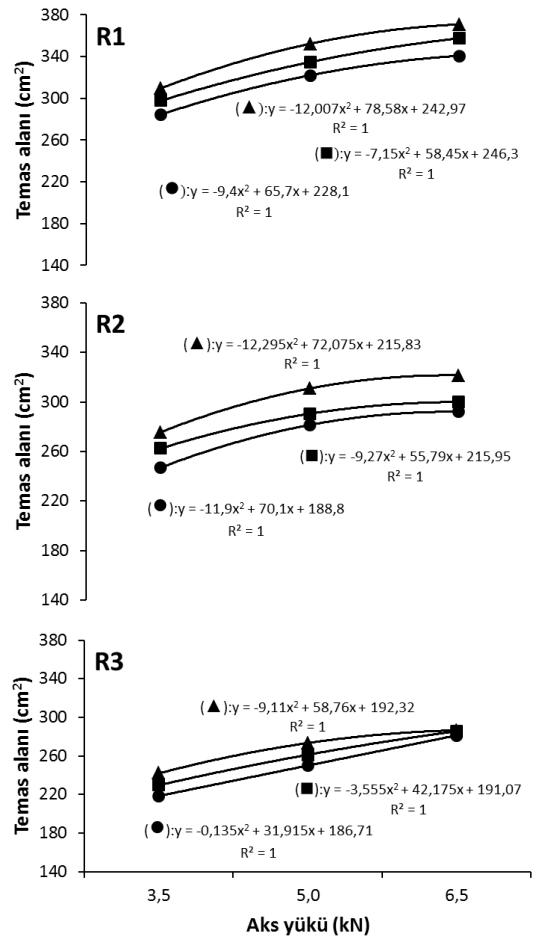
Sonuçlar değerlendirildiğinde, hafif yükler altında lastik iç basıncının artmasıyla birlikte lastiğin hacminin ve dolayısı ile temas alanı da arttığı görülmüştür. Buna lastik iç basıncının balon etkisi denir. Diğer yandan yükleme başlangıcında iç basıncın yüke karşı koymak için yetersiz kaldığını, bu yüzden lastiğin biçiminin bozulduğunu ve temas alanının arttığını söylemek mümkündür.

Lastik yükünün temas alanına etkilerine bakıldığında lastik yükündeki %86'lık bir artış iz düşüm alanlarının çapraz katlı lastiklerde %31, radyal lastiklerde ise %20'lik bir artışa neden olmuştur. Radyal lastiklerin yanakları yumuşak ve esnektir. Kuşaklar gövdeye sert bir yapı kazandırarak daha fazla ve daha homojen bir oturma yüzeyi sağlarlar. Çapraz katlı lastiklerde ise daha sert olan yanaklar ve daha yumuşak olan gövde yapısı daha az bir oturma yüzeyi sağlar. Bu nedenle çapraz katlı lastikler yük altında iken iz düşüm alanı radyal lastiklere göre daha az bir artış göstermiştir. Raheman ve Singh (2004) lastik yüklerini artırdıklarında temas alanları defleksiyonun artmasıyla birlikte arttığını ve temas alanının kayma açısı ve defleksiyonun bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.1. Çapraz katlı lastiğin beton zemin üzerindeki temas alanı

(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)



Şekil 4.2. Radyal lastiğin beton zemin üzerindeki temas alanı

(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

Artan lastik profil yüksekliğine bağlı olarak iz düşüm alanları çapraz katlı lastiklerde ortalama %70 bir artış elde edilmiştir. Radyal lastiklerde profil yüksekliği artışıyla birlikte iz düşüm alanları ortalama %37 artış göstermiştir. Lastik tipi, profil yüksekliği, iç basıncı ve lastik yükünün iz düşüm alanları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

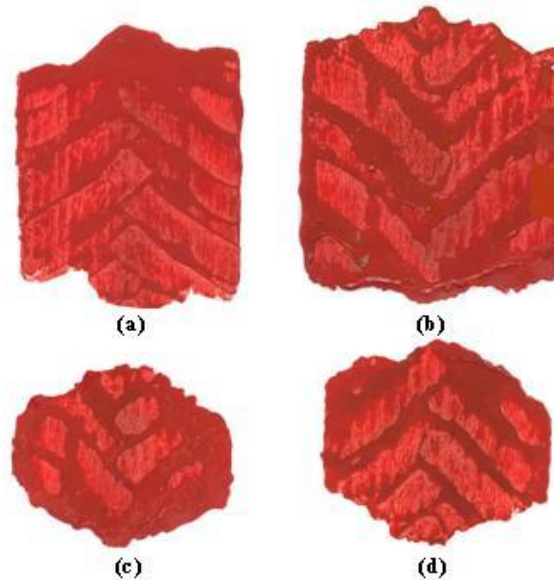
Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının iz düşüm alanları üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P < 0.01$). Çarman ve Şeflek (2005) lastik defleksiyonu ve temas alanları arasındaki ilişkiler hakkında yaptıkları bir çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Lastik temas alanları üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD test sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik tipi	1	107468.13	13664.35**
Profil yüksekliği	2	71303.03	9066.03**
Lastik iç basıncı	2	6832.47	868.73**
Lastik yükü	2	28624.46	3639.54**
** İstatiksel olarak %1 seviyesinde olması önemlidir. (P<0.01)			
Lastik tipi	Profil yüksekliği	Lastik iç basıncı	Lastik yükü
R-291.75 _a	(PY1) 219.82 _a	P ₃ - 274.11 _a	L ₁ - 230.26 _a
B-228.66 _b	(PY2) 252.87 _b	P ₂ - 259.94 _b	L ₂ - 264.11 _b
	(PY3) 307.92 _c	P ₁ - 246.56 _c	L ₃ - 286.25 _c
LSD (%5):1.083	LSD (%5):1.327	LSD (%5):1.327	LSD (%5):1.327

Plackett (1984) profil yüksekliği arttıkça lastik temas alanlarının da arttığını belirtmiştir. Abd El-Gawwad ve ark. (1999) çalışmalarında, lastik profil yüksekliğinde ve toplam profil alanının toplam lastik alanına oranındaki bir artışın yol dışı lastiklerin performansında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir.

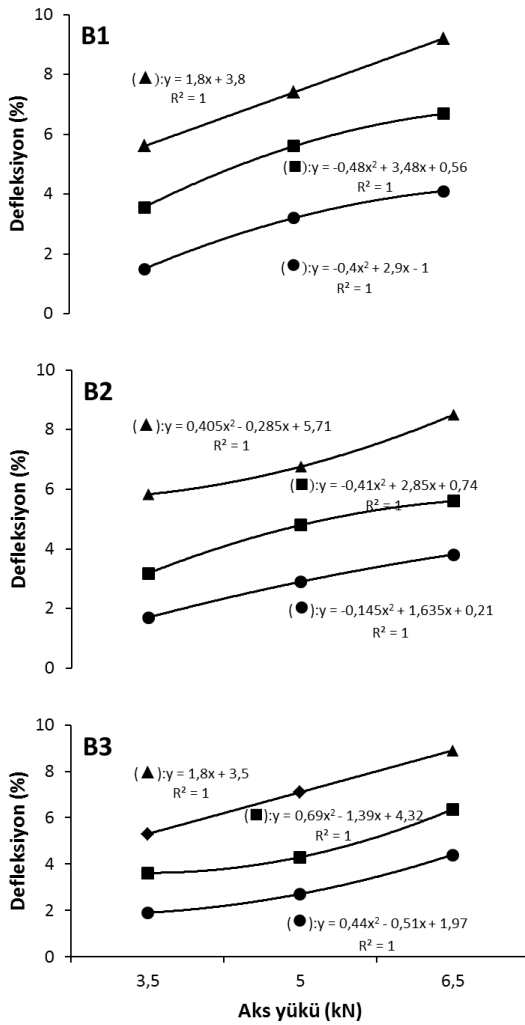
Lastik iz düşüm alan geometrileri incelendiğinde 290 kPa lastik iç basıncında alan geometrisi elips iken 230 kPa bar iç basınçta geometri dikdörtgeni andırmaktadır. Benzer olarak düşük lastik yüklerinde iz düşüm alan geometrisi elips şeklindeyken artan yüklerle birlikte geometrisi dikdörtgene benzemektedir. Ayrıca aynı basınç ve yüklerde radyal lastikler çapraz katlı lastiklere göre daha geniş bir alan oluşturmuştur (Şekil 4.3). Upadhyaya ve Wulfsohn (1990), temas alanının defleksiyon değeri düşükken elips şeklinde fakat defleksiyon değeri arttıkça dikdörtgen hale geldiğini belirtmişlerdir.



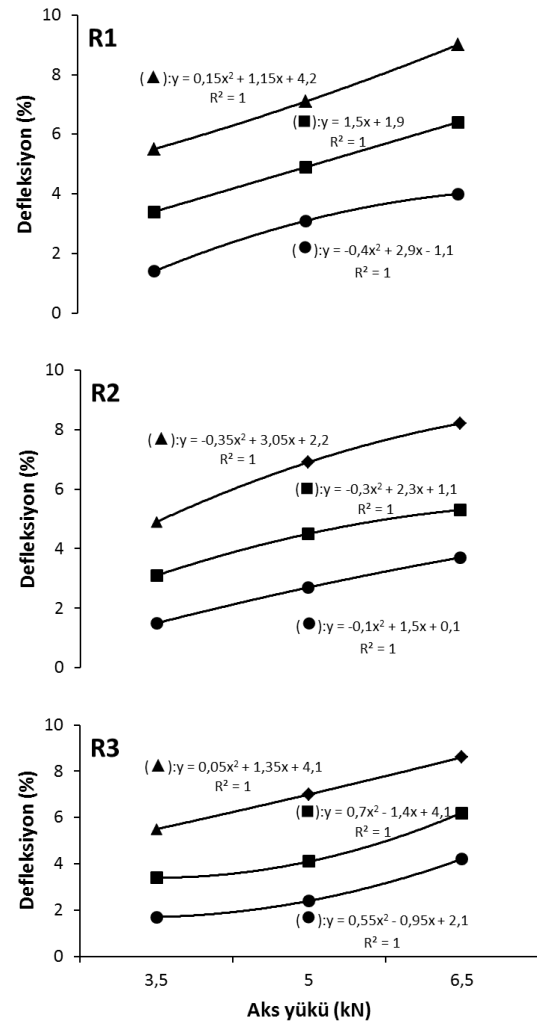
Şekil 4.3. Farklı iç basınçlarda lastik temas alanı geometrileri
a) 230 kPa, 6.5 kN, B₁ **b)** 230 kPa, 6.5 kN, R₁ **c)** 290 kPa, 3.5 kN, B₁ **d)** 290 kPa, 3.5 kN, R₁

Çalışmada muharrik tekerlek aks yükü ve iç basıncına bağlı olarak, lastiklerde % 1.4-9.2 arasında değişen defleksiyon değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.4-4.5)

Aks yükündeki %86'lık bir artış defleksiyon değerinde %77 artışa neden olmuştur. Lastik iç basıncındaki %26 değerindeki bir artış ise defleksiyonu %55 değerinde azaltmıştır. Defleksiyona bağlı olarak lastiklerin iz düşüm alanları arasındaki değişim incelendiğinde; çapraz katlı lastiklerin defleksiyon değerinde %40'lık bir artış iz düşüm alanlarının %34 artmasına neden olurken radyal lastiklerde bu artış %20 artışa neden olmuştur. Elde edilen bu sonuçlar artan defleksiyona bağlı olarak lastik temas alanları artmış ve radyal lastiklerde defleksiyon artışıyla birlikte temas alanındaki artış çapraz katlılara nazaran daha düşük değerlerde görülmüştür.



Şekil 4.4. Çapraz katlı lastiğin beton zemin üzerindeki defleksiyonu
(●:290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)



Şekil 4.5. Radyal lastiğin beton zemin üzerindeki defleksiyonu
(●:290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

Fervers (2004) 3 farklı lastik basıncında farklı aks yüklerinde defleksiyon değişimi incelemiş ve lastik iç basıncı arttıkça defleksiyonun azaldığını, aks yükü arttıkça defleksiyon değerlerinin arttığını saptamıştır.

Kumar ve Dewangan (2004) aks yükü arttıkça lastik temas alanının ve defleksiyonun arttığını, lastik iç basıncı arttıkça temas alanı ve defleksiyon değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Çarman ve Şeflek (2005) lastik defleksiyonu-temas alanı ilişkisinin değerlendirilmesi için yaptıkları çalışmada 4 farklı lastik iç basıncına bağlı olarak, üç farklı profil yüksekliğine sahip lastiklerde artan defleksiyonun lastiklerin izdüşüm alanlarını artırdığını belirtmişlerdir.

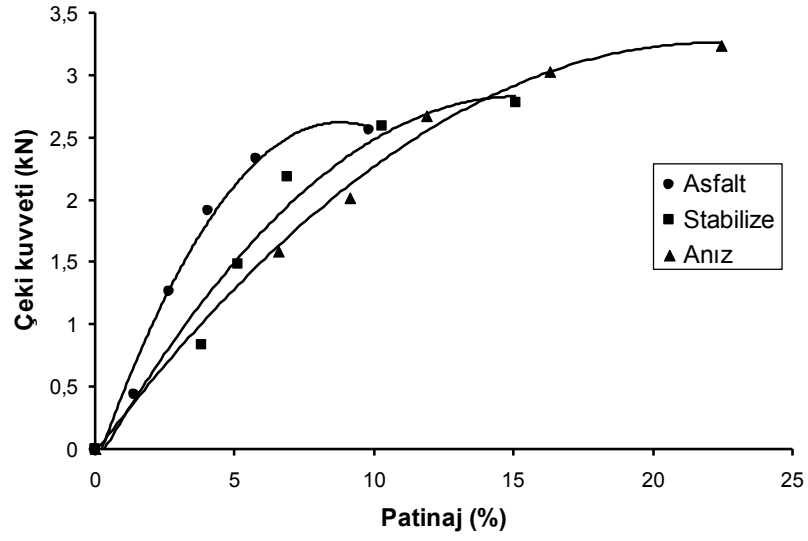
4.2. Patinaja Bağlı Olarak Çeki (İtme) Kuvvetinin Değişimi

Muharrik lastiğin değişen yapısal özellik ve işletme değerlerine bağlı olarak değişen çeki kuvvetlerinde elde edilen ortalama patinaj değerlerinin farklı zeminlerde değişimi oranı Çizelge 4.2’de verilmiştir. Asfalt zeminin yuvarlanma direnç katsayısı stabilize ve anız zeminden daha düşük değerdedir. Ayrıca tutunma katsayısı da anız ve stabilize zemine göre daha yüksek bir değerdedir. Bu nedenle asfalt zeminde elde edilen patinaj, diğerlerinden daha düşük değerdedir (Sara1, 1984). Aynı şekilde stabilize zeminin yuvarlanma direnç katsayısının anız zeminden az, tutunma katsayısı daha yüksek olması patinaj değerlerinin de daha düşük seviyelerde olmasına neden olmuştur. Tüm kombinasyonların ortalaması alınarak elde edilen çeki kuvveti-patinaj grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı zeminlerde patinaj değerleri

Zemin	Patinaj (%)	
	Çapraz katlı	Radyal
Asfalt	5.1	4.4
Stabilize	8.7	7.8
Anız	13.9	12.6

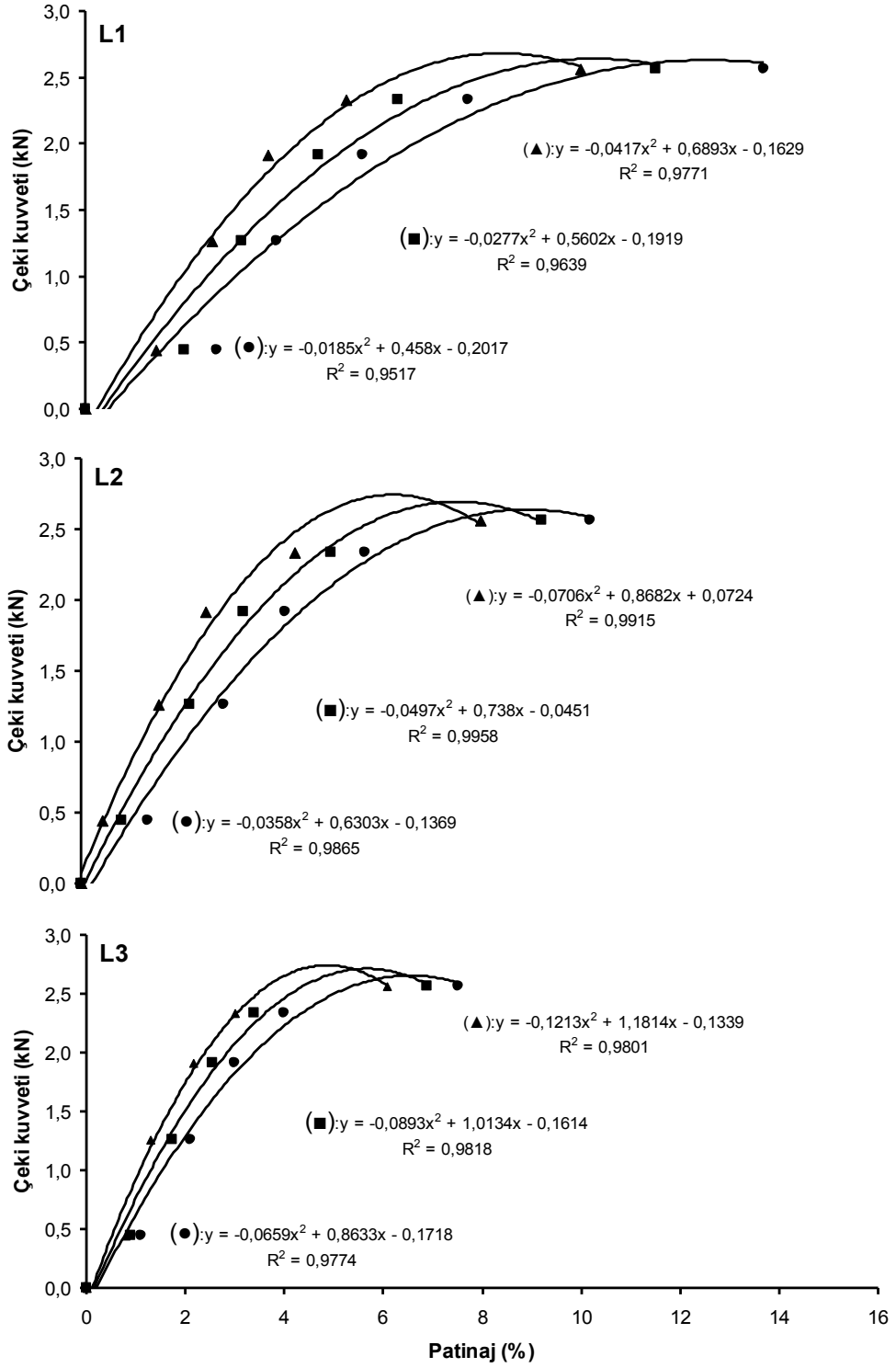
Zemin şartlarına bağlı olarak en düşük patinaj değerleri; asfalt zeminde, radyal lastik tipinde, en düşük lastik iç basıncında ve en yüksek aks yükü altında elde edilirken, en yüksek patinaj değerleri; anız tarla zemininde, çapraz katlı lastiklerde, en yüksek lastik iç basıncında ve en düşük aks yükünde meydana gelmiştir.



Şekil 4.6. Asfalt, stabilize ve anız zeminde patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi

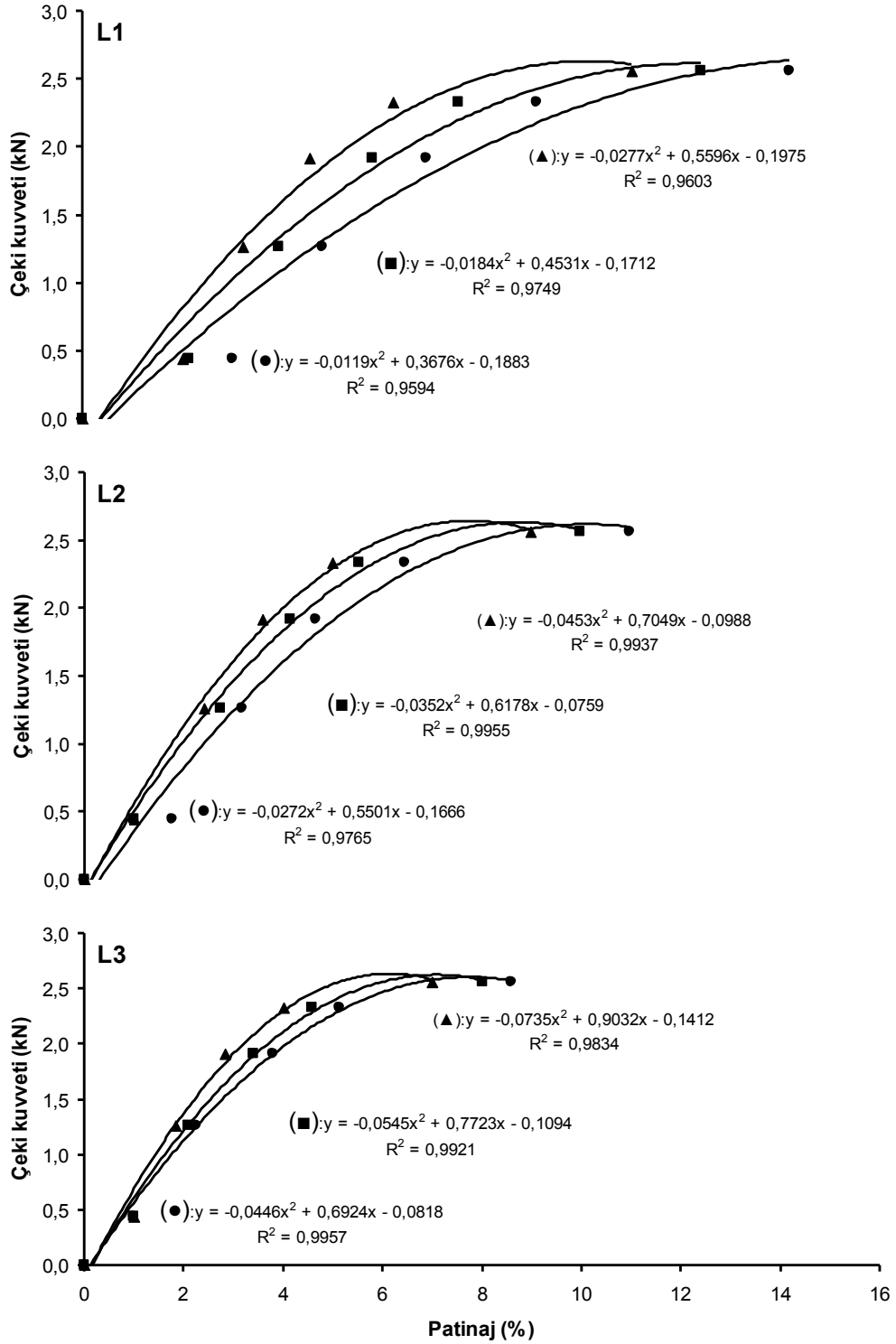
Denemeler sonucunda asfalt zeminde çalıştırılan muharrrik lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının, patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.7-4.12'de verilmiştir.

3,5, 5 ve 6,5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %32, %31 ve %23 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %44 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.7).



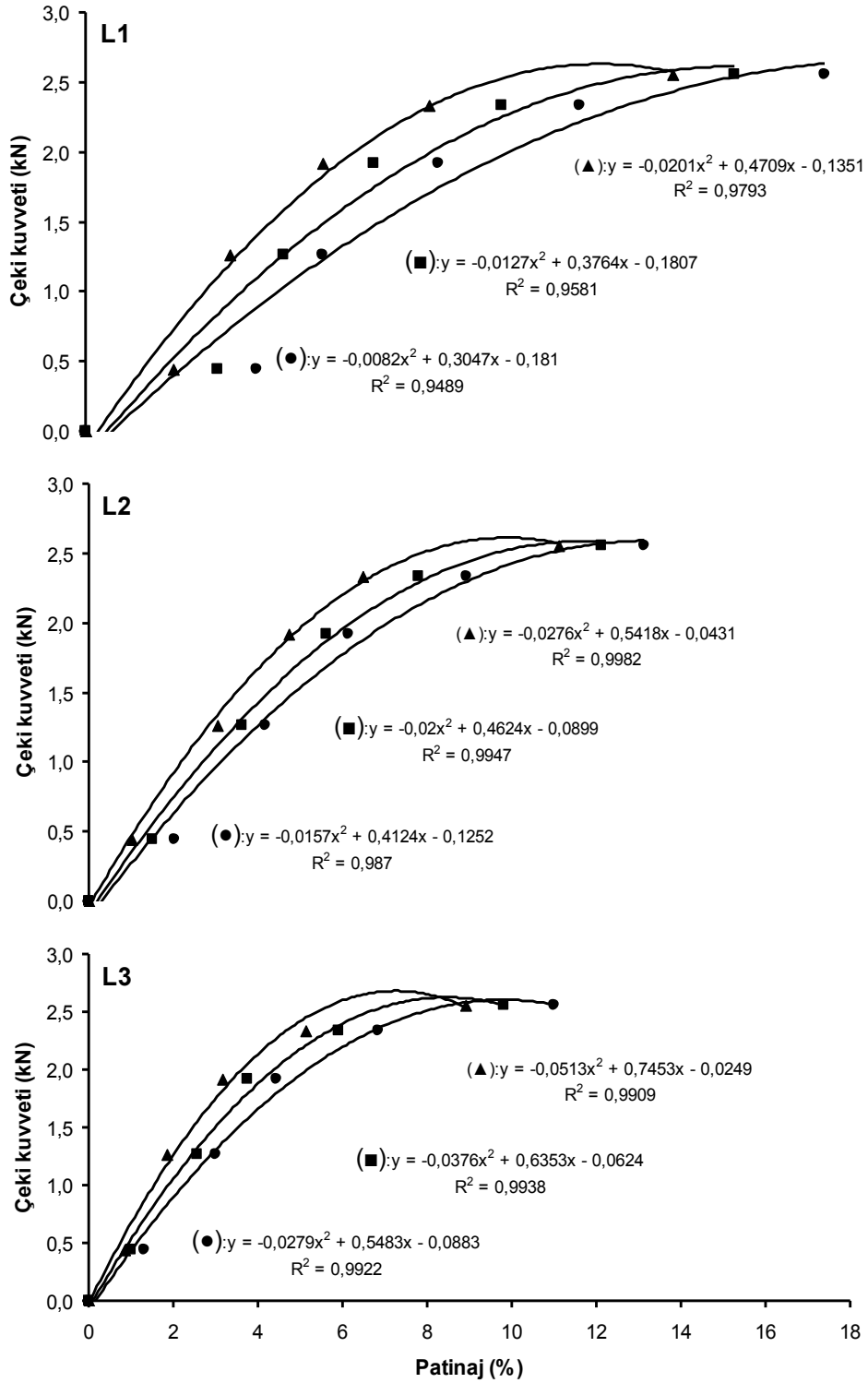
Şekil 4.7. Asfalt zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %29, %22 ve %21 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %43 azalmasına neden olmuştur (4.8).



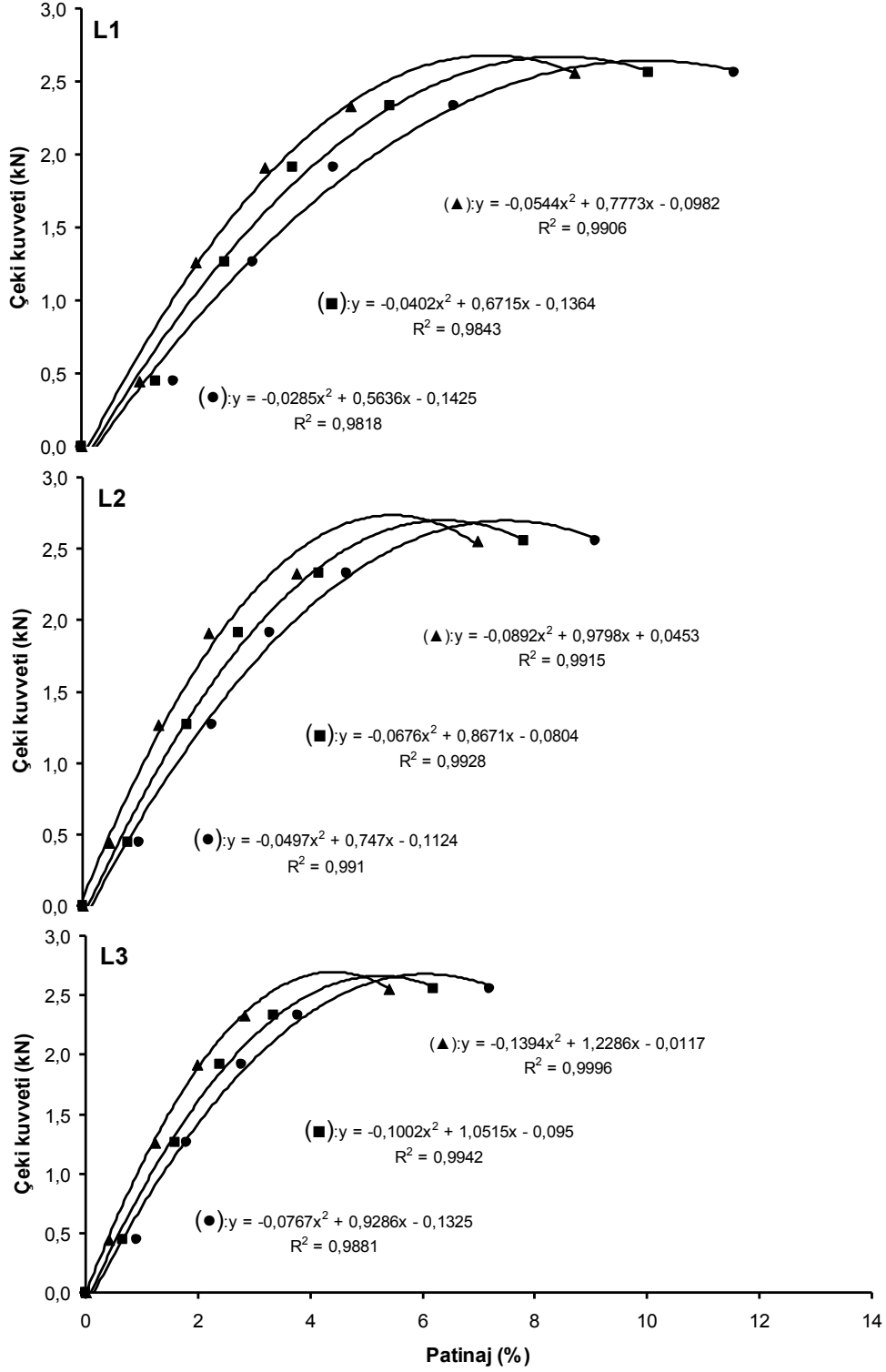
Şekil 4.8. Asfalt zeminde B₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %30, %24 ve %25 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %40 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.9).



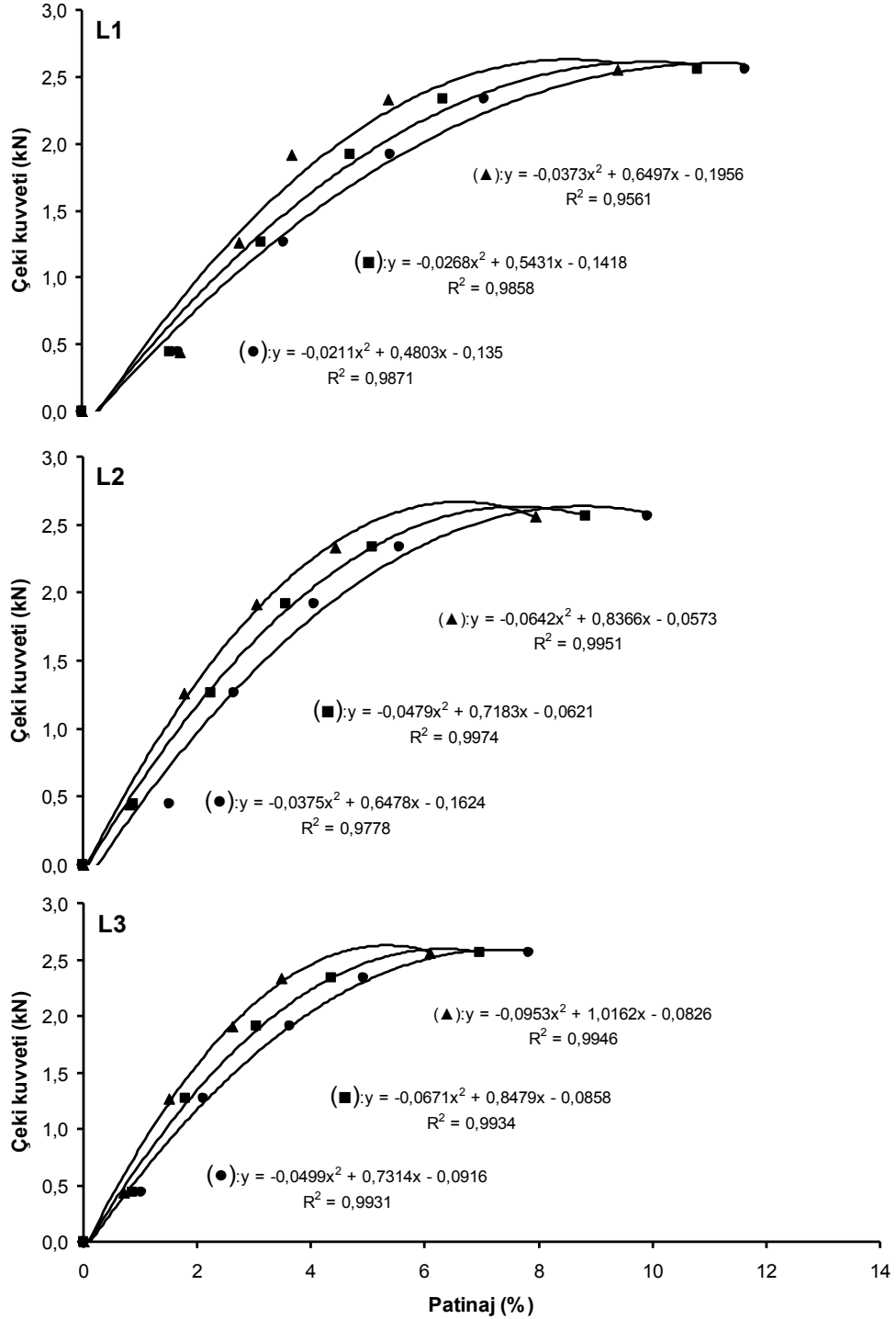
Şekil 4.9. Asfalt zeminde B₃ lastiğın patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %28, %27 ve %27 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %39 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.10).



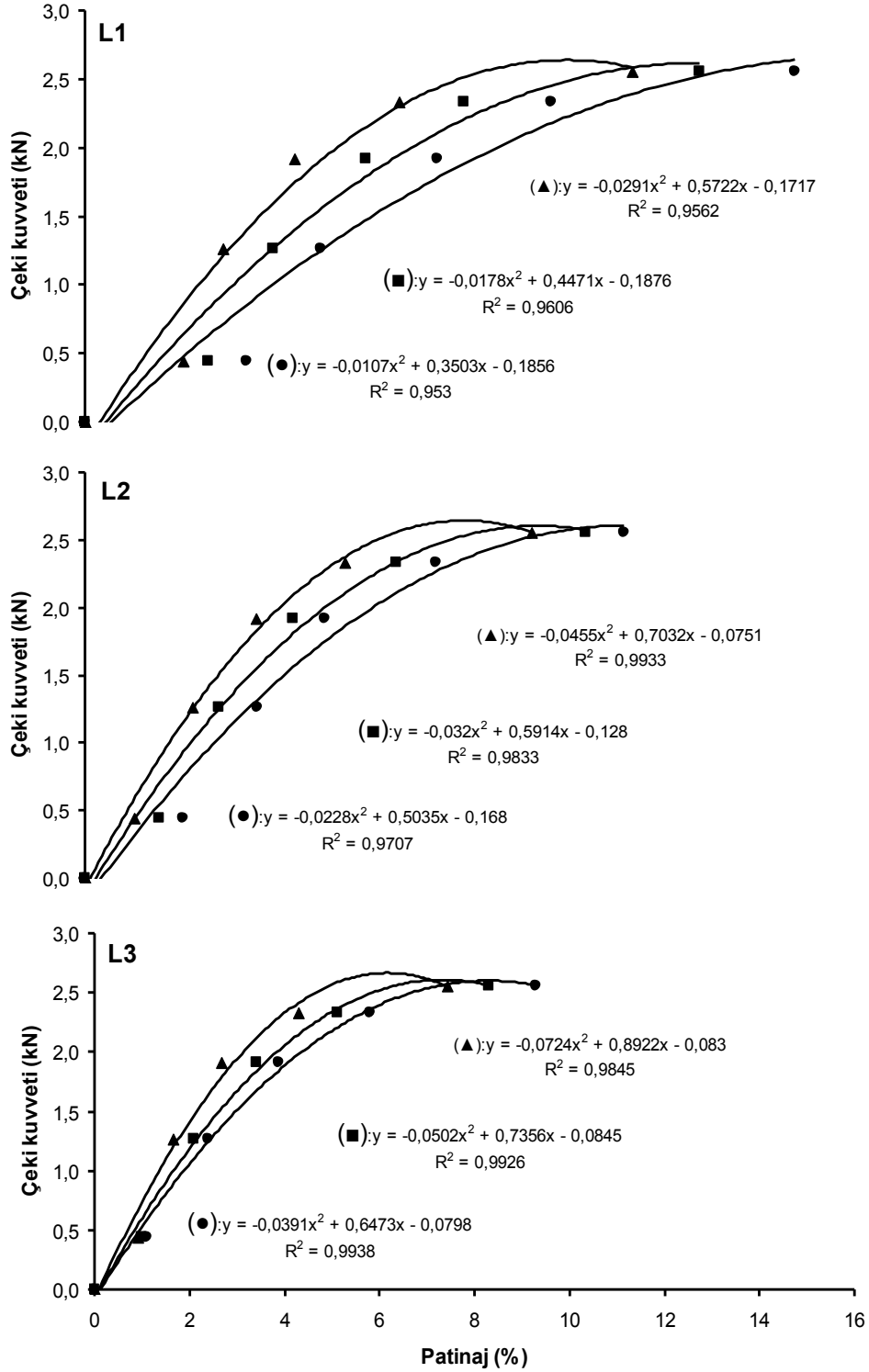
Şekil 4.10. Asfalt zeminde R₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %22, %26 ve %26 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %36 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Asfalt zeminde R₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %33, %26 ve %24 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %39 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Asfalt zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

Radyal lastikler, profil yüksekliği, aks y¼k¼ ve i basıncı kombinasyonunda, çapraz katlı lastiklere g¼re %14.7 oranında daha d¼ř¼k patinaj değerlerinde aynı çeki kuvvetini sağlamışlardır. Radyal lastiklerin temas alanı çapraz katlı lastiklerden %27.6 daha b¼y¼kt¼r. Bu nedenle, radyal lastikler, çapraz katlı lastiklere oranla daha iyi yol tutuşu sağlamıştır. Radyal lastiklerde taban sert, yanaklar yumuşaktır; bu da lastiğin yola temas eden b¼l¼m¼n¼n s¼rekli olarak aynı genişlikte kalmasını sağlamış daha d¼ř¼k patinaj değerinde daha y¼ksek çeki kuvveti geliştirebilmiştir. S¼mer (2005) beton zemin ¼zerinde radyal ve çapraz katlı lastiklerin çeki performansı deneyleri sonucunda maksimum çeki kuvvetinin %15 sabit lastik patinajı koşulunda radyal ve çapraz katlı lastikler arasında %0.7 değerinde çok d¼ř¼k bir artış olduğunu belirtmektedir.

Çapraz katlı lastiklerin profil y¼ksekliklerindeki %44 değerinde bir azalma patinajı %43 artırırken, radyal lastiklerin profil y¼ksekliđindeki %53 değerindeki bir azalma ortalama olarak patinajda %41 bir artışa neden olmuştur. Çapraz katlı lastiklerle radyal lastiklerin profil y¼ksekliđine bağlı olarak patinaj değerleri incelendiğinde, asfalt zemin şartlarında, profil y¼kseklikleri arttıa her iki lastiğinde yaklaşık patinaj değerleri sergilediği, ancak her iki lastiğin profil y¼ksekliklerinin artmasıyla bu artışa paralel olarak patinaj değerlerinin de azaldığı g¼r¼lm¼řt¼r. Deneylerimizde artan lastik profil y¼ksekliđine bağlı olarak iz d¼ř¼m alanları çapraz katlı lastiklerde ortalama %70 bir artış elde edilmiştir. Radyal lastiklerde profil y¼ksekliđi artışıyla birlikte iz d¼ř¼m alanları da artış g¼stermiřtir. İz d¼ř¼m alanının artması lastiklerin zemine daha iyi tutunmalarını sağlamış ve patinajın azalmasına neden olmuştur. Plackett (1984) artan lastik profil y¼ksekliđine bağlı olarak lastik temas alanlarının b¼y¼d¼đ¼n¼ ve radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere daha az temas basıncı verdiğini saptamıştır.

Grisso (1995), sert zemin ¼zelliklerinin radyal lastik tekerleklerin çapraz katlı lastik tekerleklere g¼re sađladđı avantajları azalttığını bildirmişlerdir. Radyal lastiklerin çeki kuvveti sert zeminde çapraz katlı lastiklere g¼re %2 daha fazlayken yumuşak zeminde %10 daha y¼ksek değerlerde olduğunu ve radyal lastiklerin daha az patinaj sađladđını belirtmiştir.

Lastik i basıncında %26'lık bir artış, patinaj değerlerinin %36.7 artmasına neden olmuştur. K¼¼ksarıyıldız (2006) beton zemin ¼zerinde yaptığı çalışmasında lastik i basıncındaki % 50'lik bir artışın, patinaj değerlerinde % 68'lik bir artışa neden olduğunu belirtmiştir. Lastik i basıncı direk olarak lastiğin esnekliği ile ilgilidir. Yolun sertliğine g¼re lastik i basıncının yuvarlanma direncine olan etkisi farklı farklıdır. Sert zeminlerde iç basıncın y¼ksek olması yuvarlanma direncini d¼ř¼r¼r. Bunun sebebi

yüksek basınçta lastiğin şekil değiştirmesinin azalması yani yapısal histerisizlerinin azalmasıdır (Burt ve Bailey, 1982). Bashford ve ark (1993) radyal lastiklerin iç basıncı arttıkça aynı patinaj değeri şartlarında, net çeki oranının azaldığını öne sürmüşlerdir. Bunların aksine, Lee ve Kim (1997) lastik iç basıncındaki değişimlerin, beton zeminde, çeki performansına herhangi bir etkisinin olmadığını savunmaktadırlar.

Artan aks yüküne bağlı olarak patinaj değerlerinin azaldığı görülmüştür. Aks yükündeki %86'lık artışa karşılık, patinaj değerlerinde %40.2'lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum artan aks yüküne bağlı olarak lastik izdüşüm alanının artması ve lastik-asfalt yüzey arasındaki tutunmanın neden olduğu söylenebilir. Ferhadbegoviç ve ark (2005) asfalt zeminde, artan aks yüküyle birlikte lastik defleksiyonu arttığı için çeki kuvveti ve patinaj arasındaki farkın arttığını belirtmişlerdir.

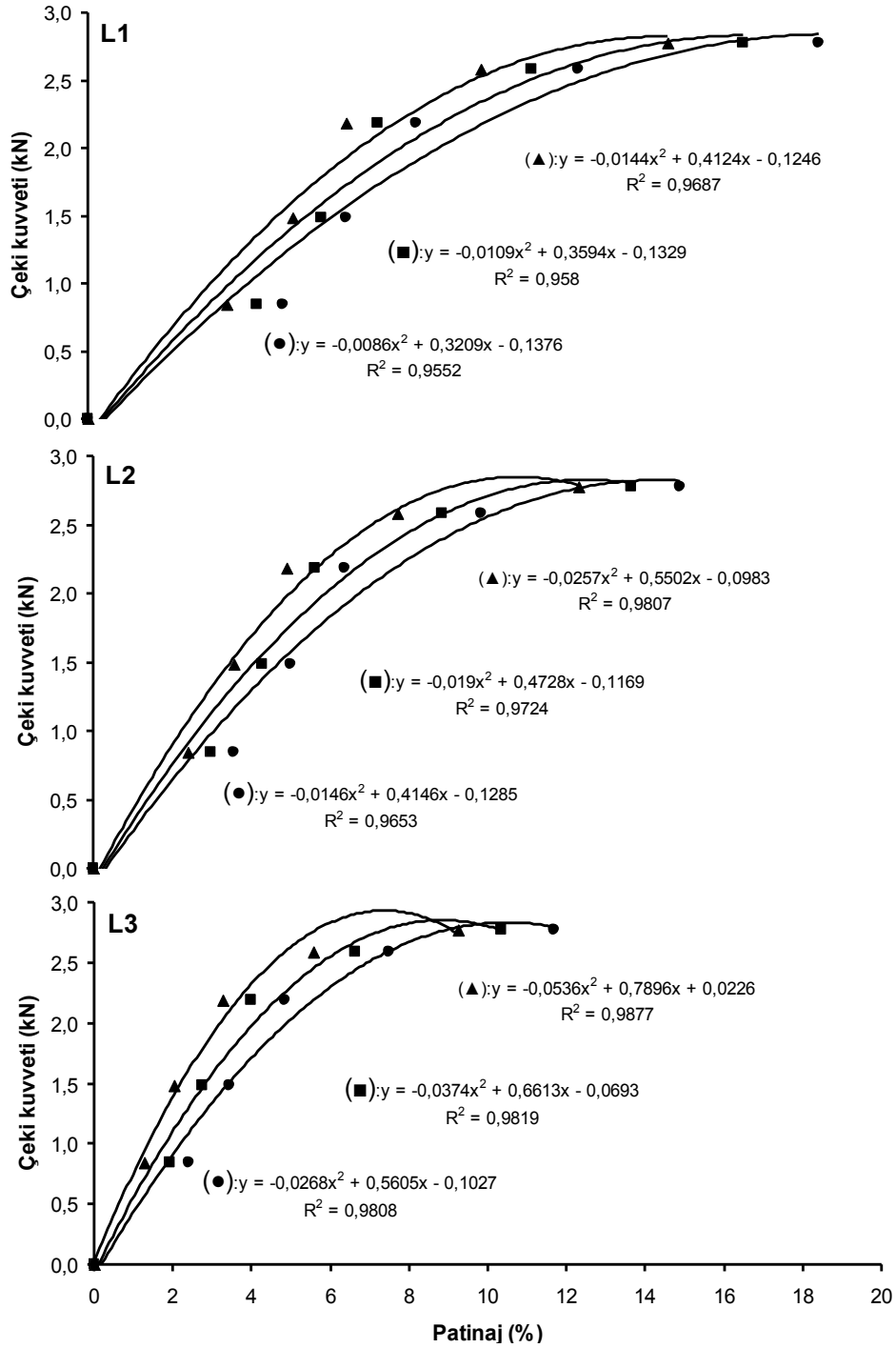
Asfalt zeminde patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının patinaj üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P < 0.01$).

Çizelge 4.3. Asfalt zeminde patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	38.08	68.00**
Profil Yüksekliği (PY)	2	66.46	112.68**
Aks Yükü (AY)	2	134.44	240.08**
İç Basıncı (Pi)	2	48.70	86.97**
LT*PY*AY*Pi	8	0.05	0.105 _{ns}
Hata	216	11.20	-
Genel	269	11.08	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli ($P < 0.01$)			
LT	PY	AY	P_i
(B) 5.114 _a	(PY1) 3.933 _a	(L ₁) 6.039 _a	(P ₁) 5.481 _a
(R) 4.363 _b	(PY2) 4.639 _b	(L ₂) 4.563 _b	(P ₂) 4.724 _b
	(PY3) 5.643 _c	(L ₃) 3.613 _c	(P ₃) 4.010 _c
LSD (%5): 0.181	0.222	0.222	0.222

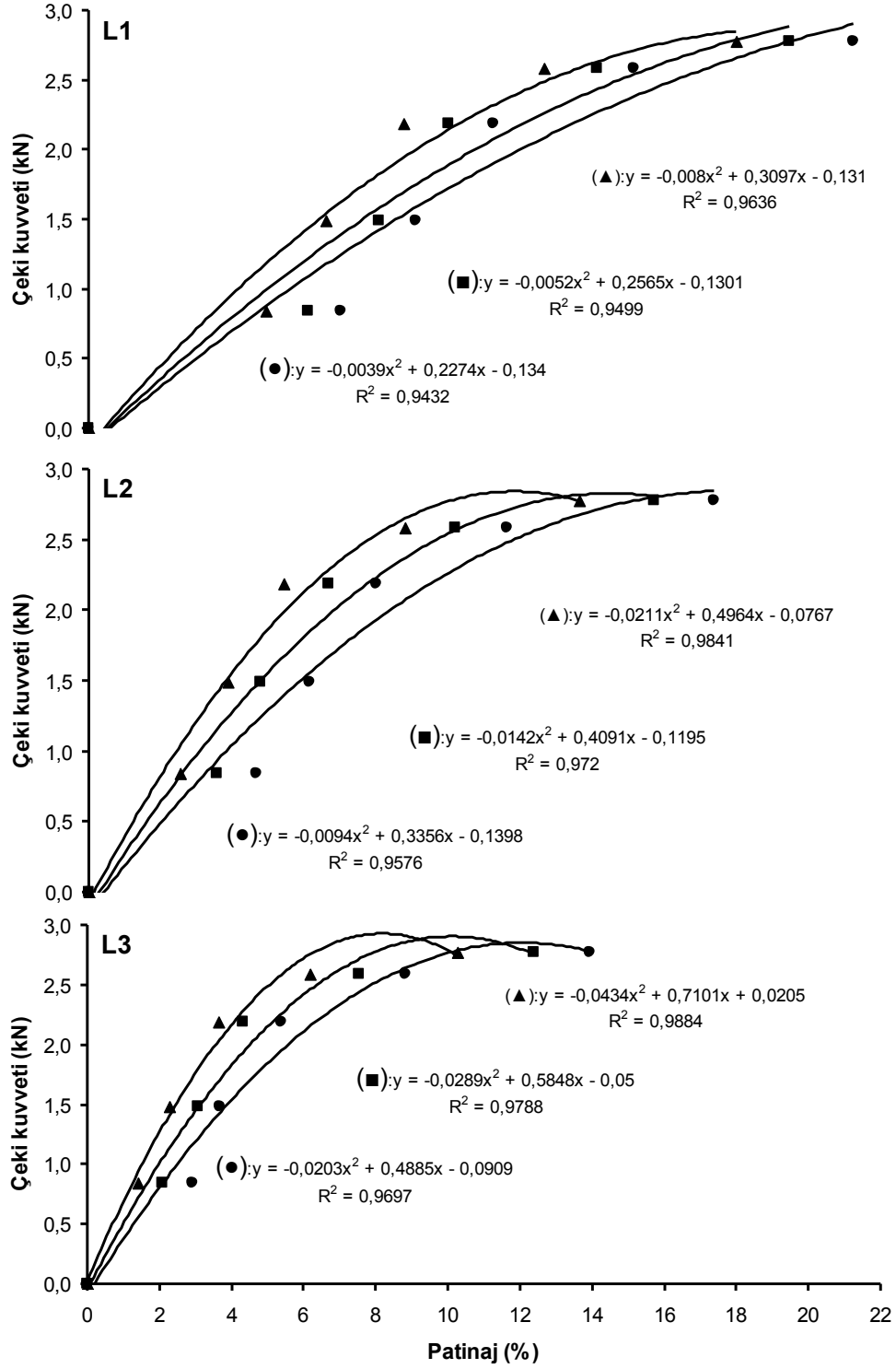
Denemeler sonucunda stabilize zeminde çalıştırılan muharrir lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının, patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.13-4.18'de verilmiştir.

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %21, %23 ve %28 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %43 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.13).



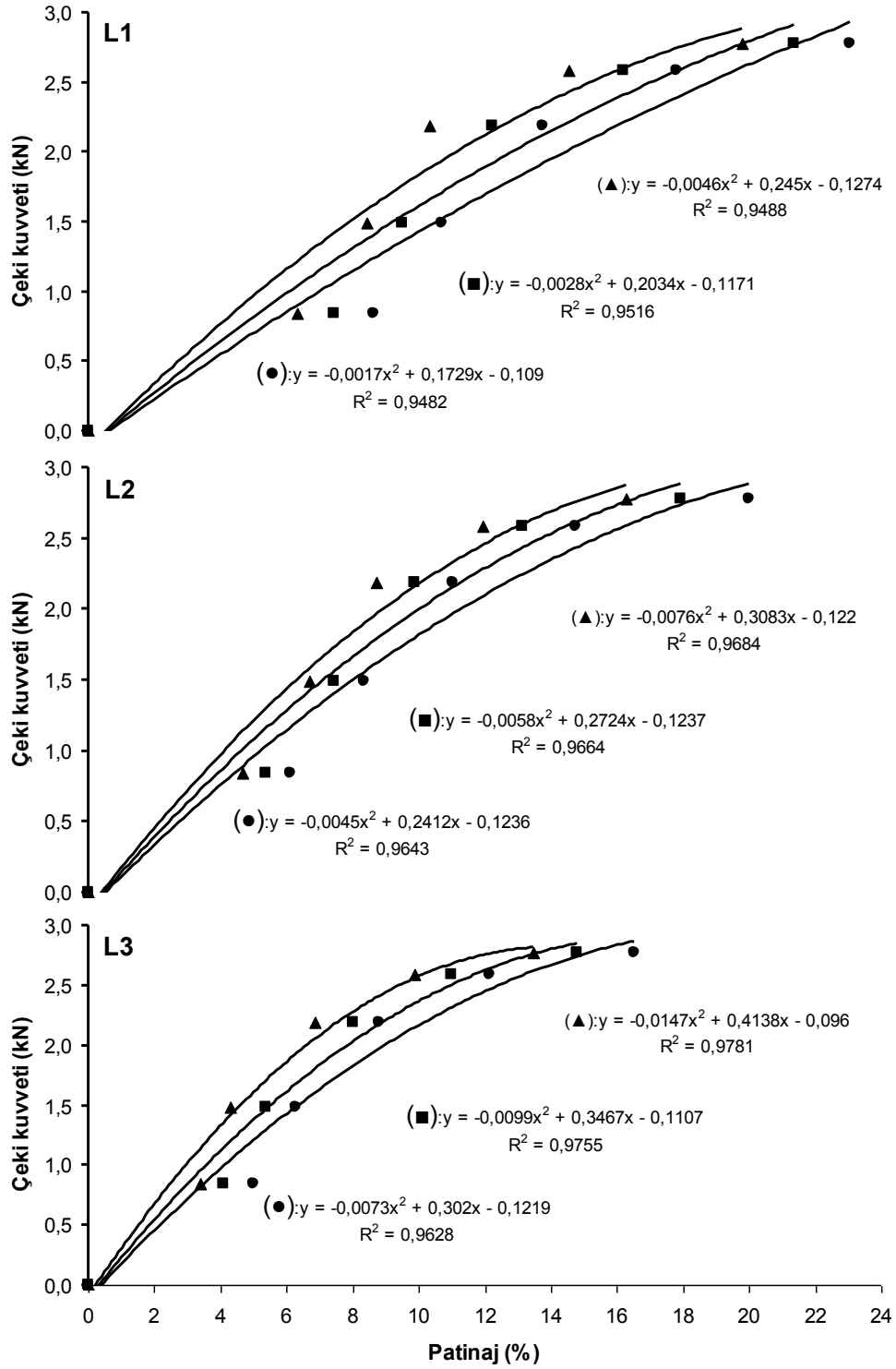
Şekil 4.13. Stabilize zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %20, %28 ve %32 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %48 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.14).



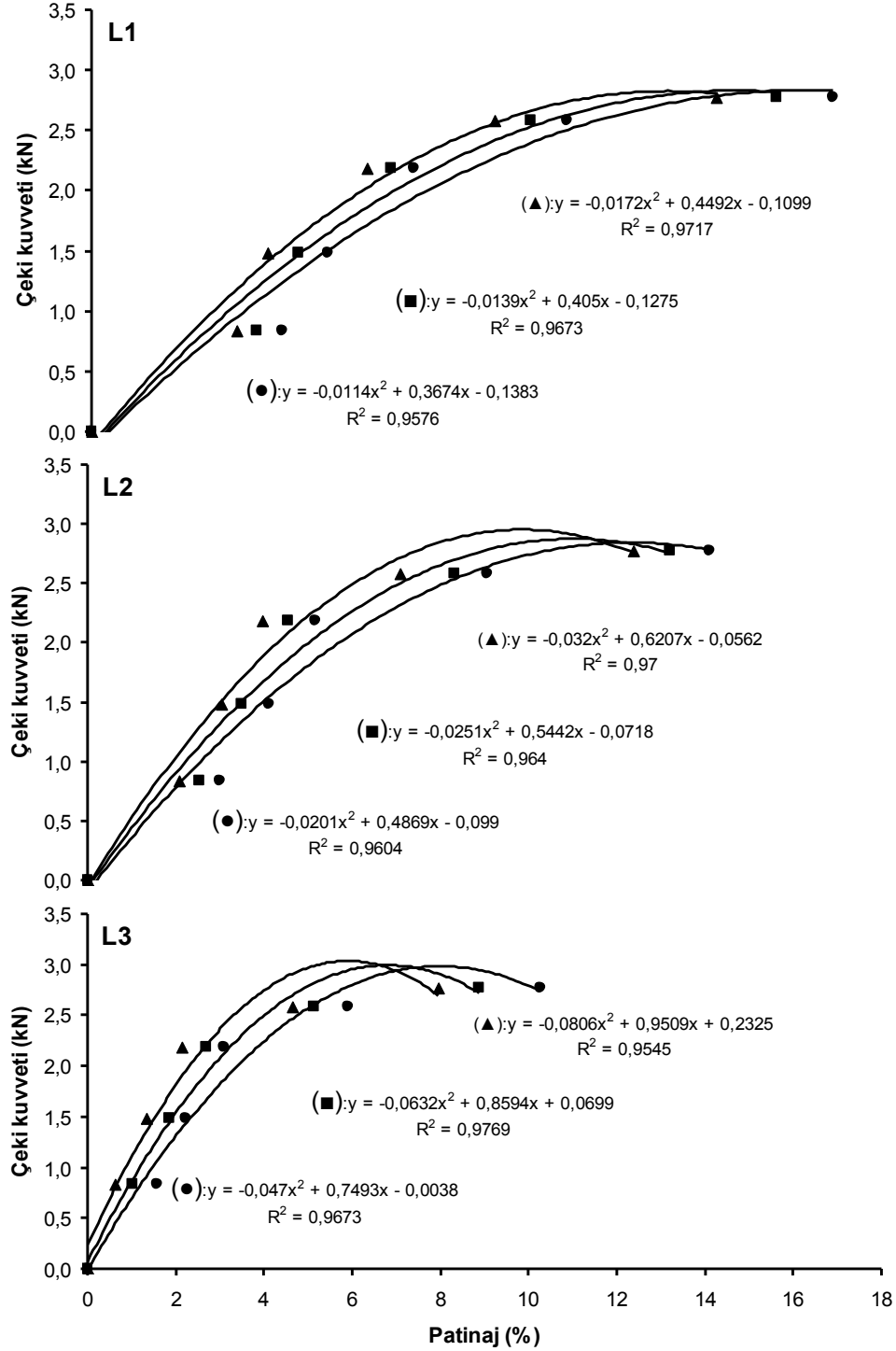
Şekil 4.14. Stabilize zeminde B₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %20, %20 ve %22 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %34 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.15).



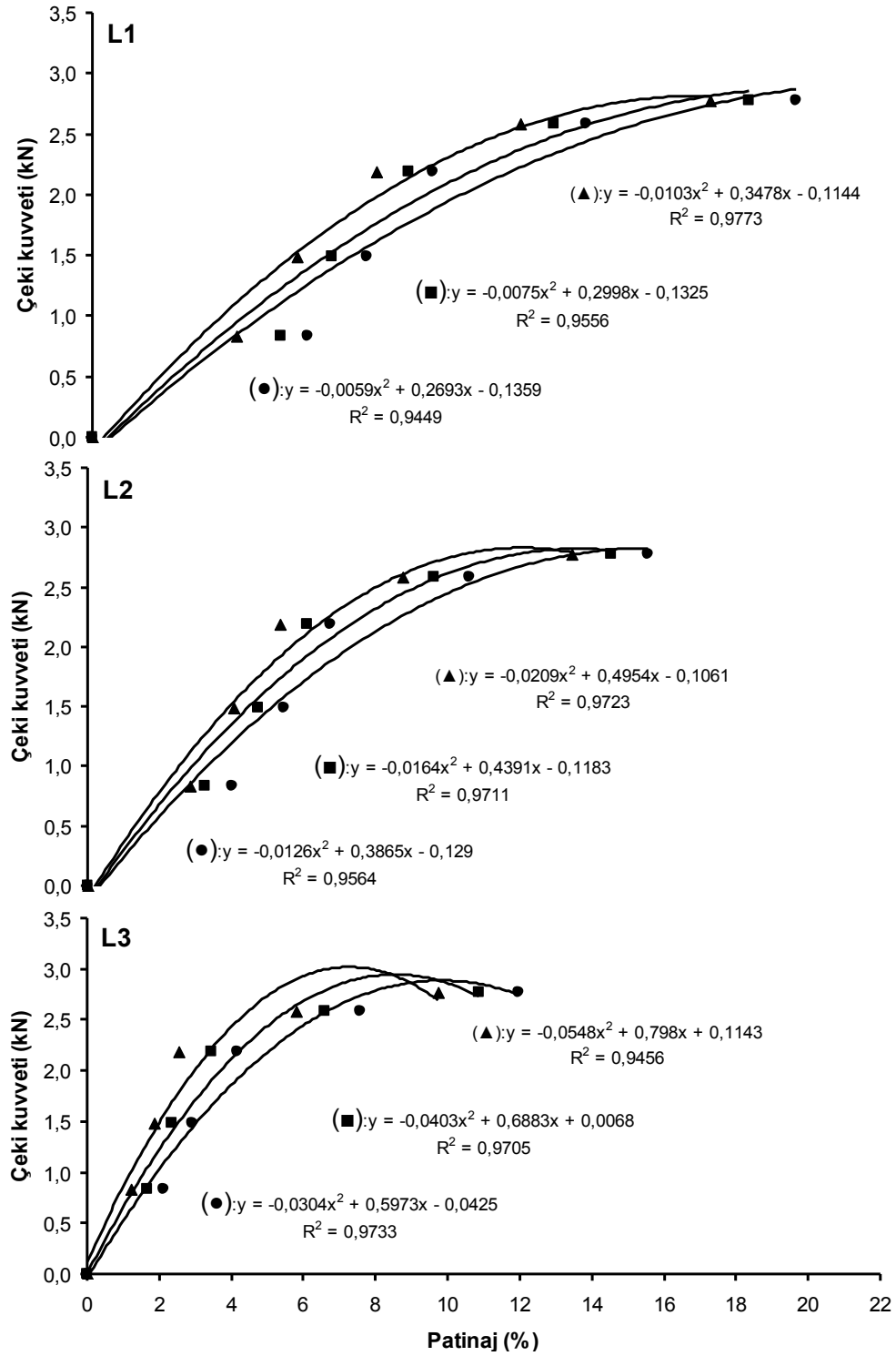
Şekil 4.15. Stabilize zeminde B₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %17, %20 ve %28 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %51 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.16).



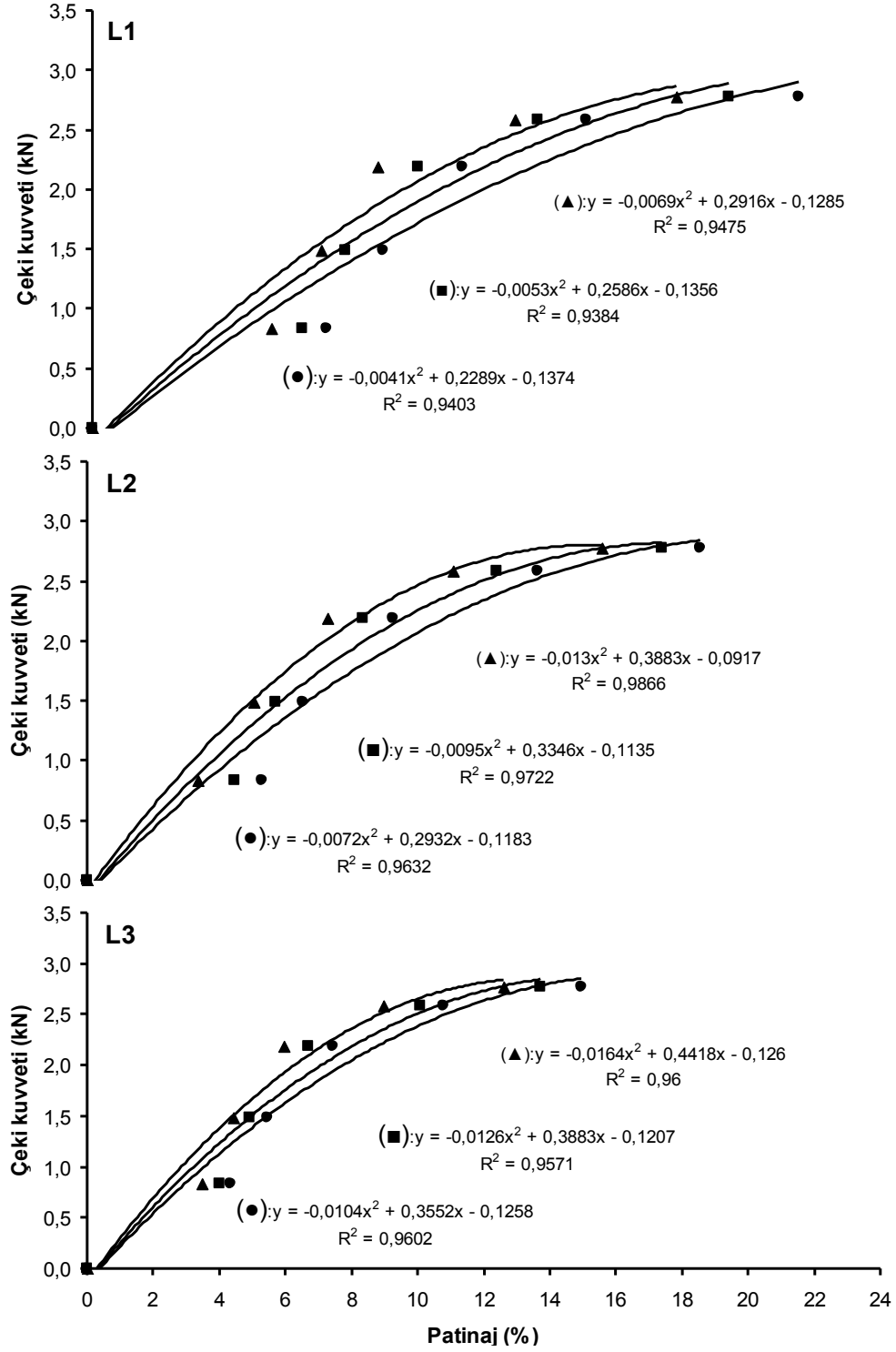
Şekil 4.16. Stabilize zeminde R₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %17, %19 ve %27 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %52 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Stabilize zeminde R₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %19, %21 ve %18 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %31 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Stabilize zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

Stabilize zeminde asfalt zemine göre patinaj değerleri; çapraz katlı lastiklerde ortalama %34 artarken radyal lastiklerde %46'lık bir artış elde edilmiştir. Stabilize zeminin yuvarlanma direnç katsayıları asfalt, beton gibi düz ve sert zeminlere göre daha fazladır (Sabancı 1993). Bu nedenle stabilize zeminde patinaj değerleri asfalt zemine göre daha fazla değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca stabilize zeminin kayma direnci asfalt zemine göre daha düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Radyal lastiklerde patinaj değerleri çapraz katlı lastiklerden yaklaşık %10 daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Gee-Clough ve ark. (1977a) radyal lastiklerin çapraz lastiklere göre ortalama %5-8 arasında çeki avantajı sağladığı vurgulanmıştır.

Lastiklerin profil yükseklikleri azaldıkça patinaj değeri artmıştır. %86 oranında artan lastik aks yüküne bağlı olarak patinaj değerlerinde çapraz katlı lastiklerde %42, radyal lastiklerde %45 azalış gözlenmiştir. %26 oranında artan lastik iç basıncına bağlı olarak sabit çeki kuvveti değerlerinde ortalama patinaj değerlerinin %27.7 arttığı gözlenmiştir. Elashry (1990) 3 farklı zemin üzerinde yaptığı performans deneylerinde kumlu toprak zeminde radyal lastiklerde %24 değerinde bir patinaj elde ederken çapraz katlı lastiklerde bu değer %33.02, killi toprak zeminde ise radyal lastiklerde %33.04 çapraz katlı lastiklerde %42.20 değerlerinde patinaj değerleri elde etmiştir.

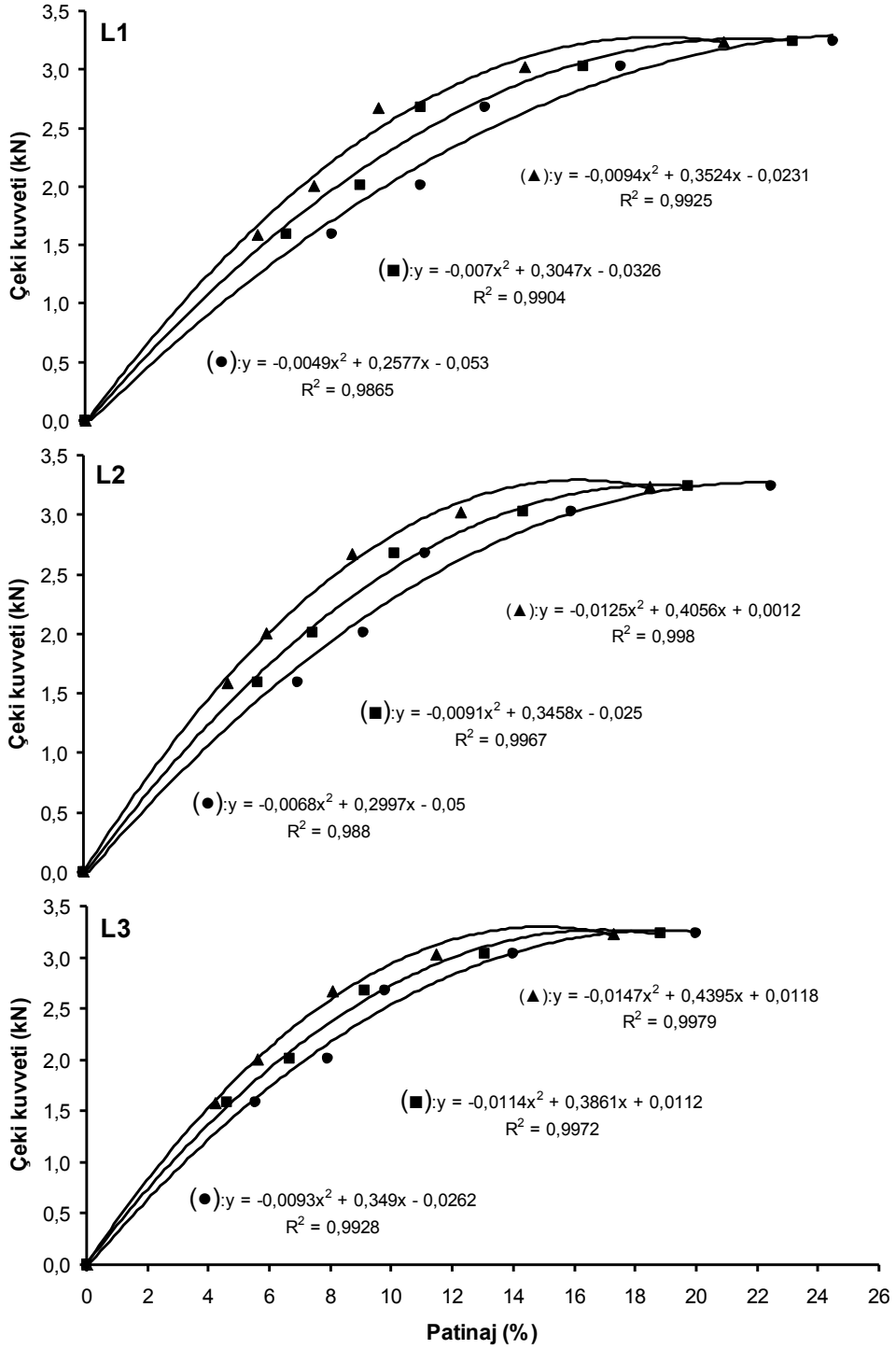
Stabilize zeminde patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının patinaj üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P<0.01$).

Çizelge 4.4. Stabilize zeminde patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	62.15	105.96**
Profil Yüksekliği (PY)	2	302.45	515.69**
Aks Yüğü (AY)	2	437.96	746.74**
İç Basınç (Pi)	2	90.67	154.59**
LT*PY*AY*P _i	8	0.109	0.186 _{ns}
Hata	216	0.586	-
Genel	269	23.62	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli ($P<0.01$)			
LT	PY	AY	P_i
(B) 8.730 _a	(PY1) 6.545 _a	(L ₁) 10.488 _a	(P ₁) 9.248 _a
(R) 7.770 _b	(PY2) 8.017 _b	(L ₂) 8.184 _b	(P ₂) 8.262 _b
	(PY3) 10.189 _c	(L ₃) 6.078 _c	(P ₃) 7.240 _c
LSD (%5) : 0.185	0.227	0.227	0.227

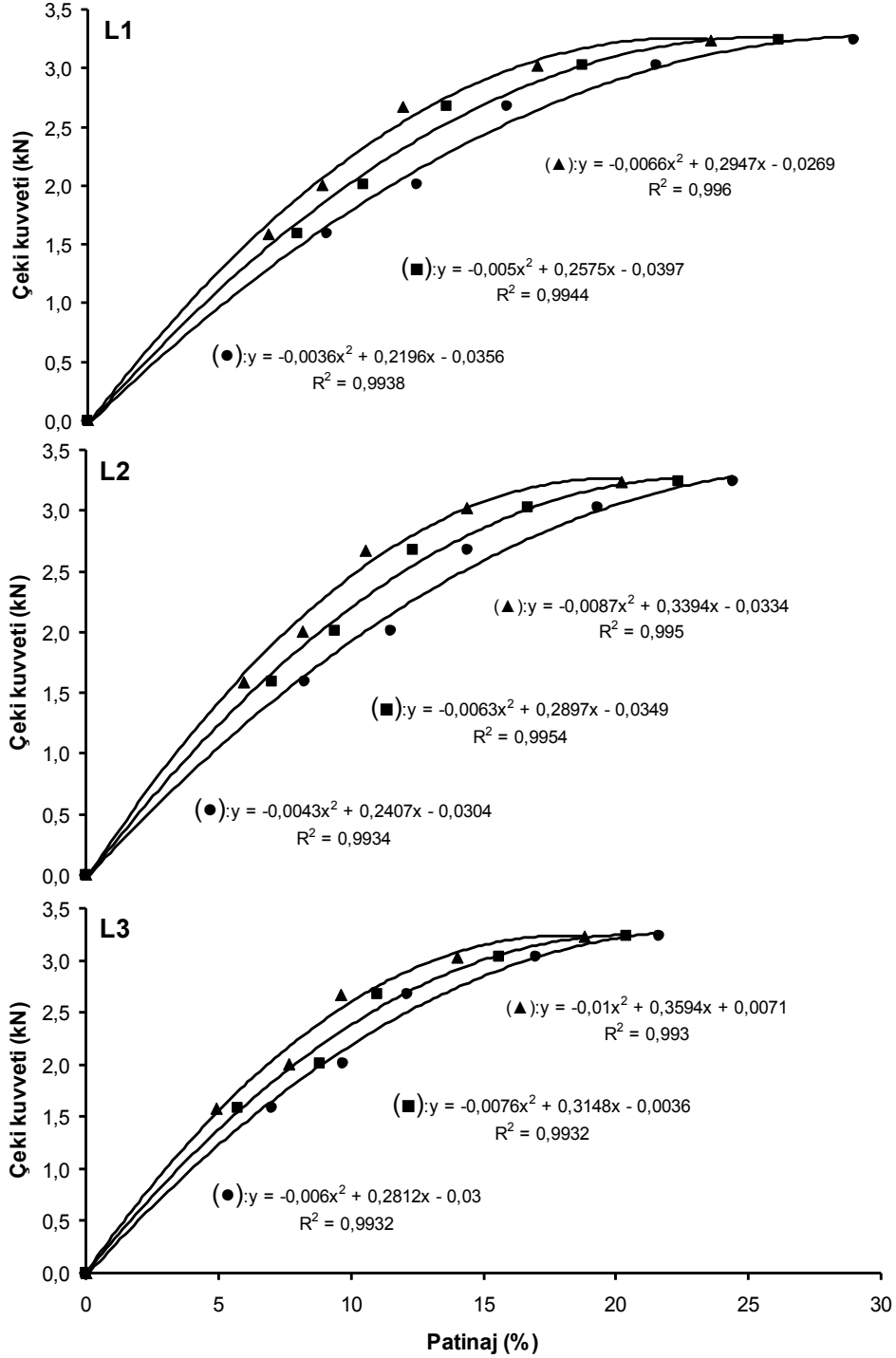
Denemeler sonucunda anız zeminde çalıştırılan muharrik lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının, patinaja bağlı olarak çeki kuvveti

değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.19-4.24'de verilmiştir. 3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %22, %24 ve %19 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %21 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.19).



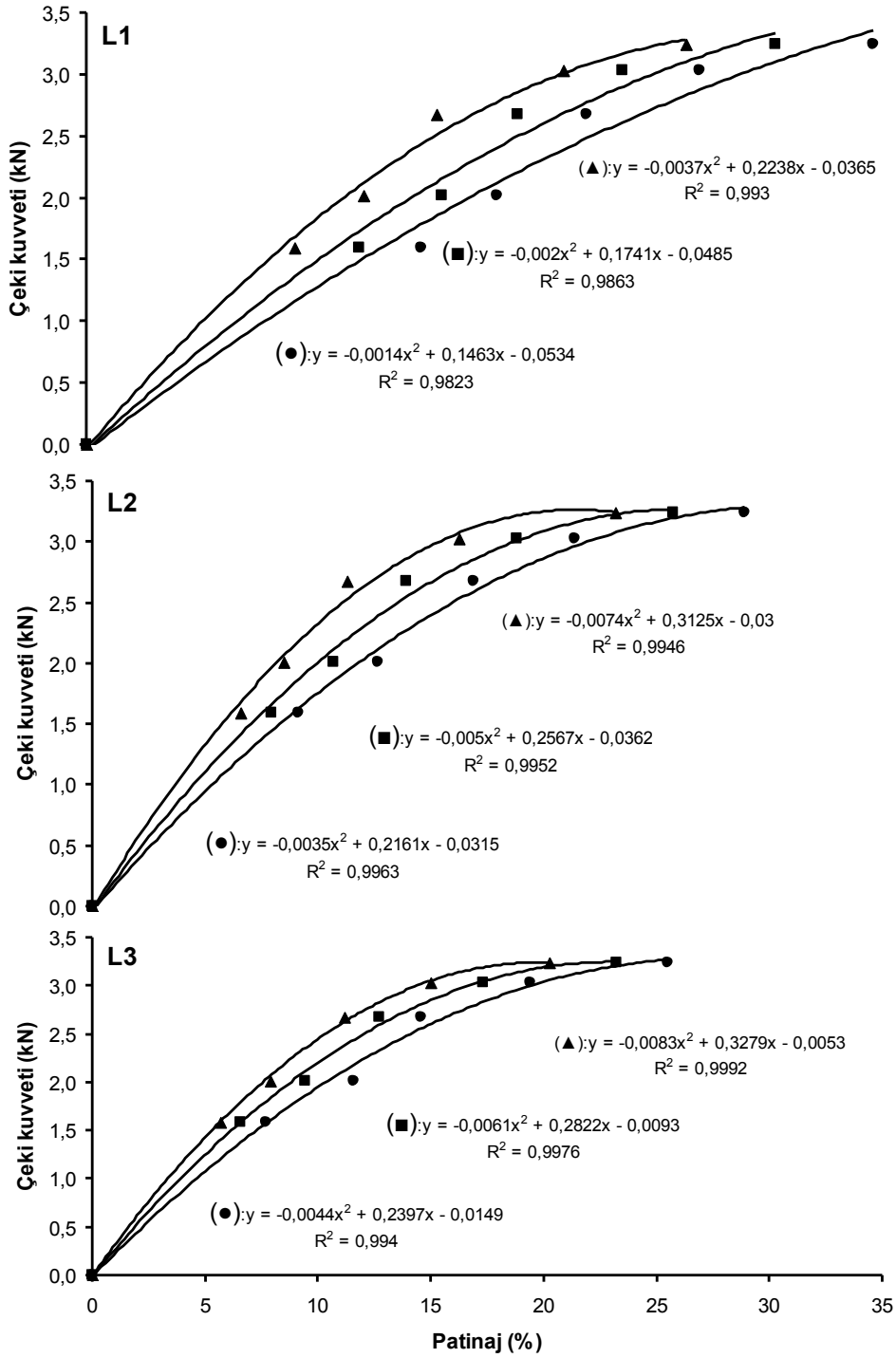
Şekil 4.19. Anız zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %23, %24 ve %19 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %21 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.20).



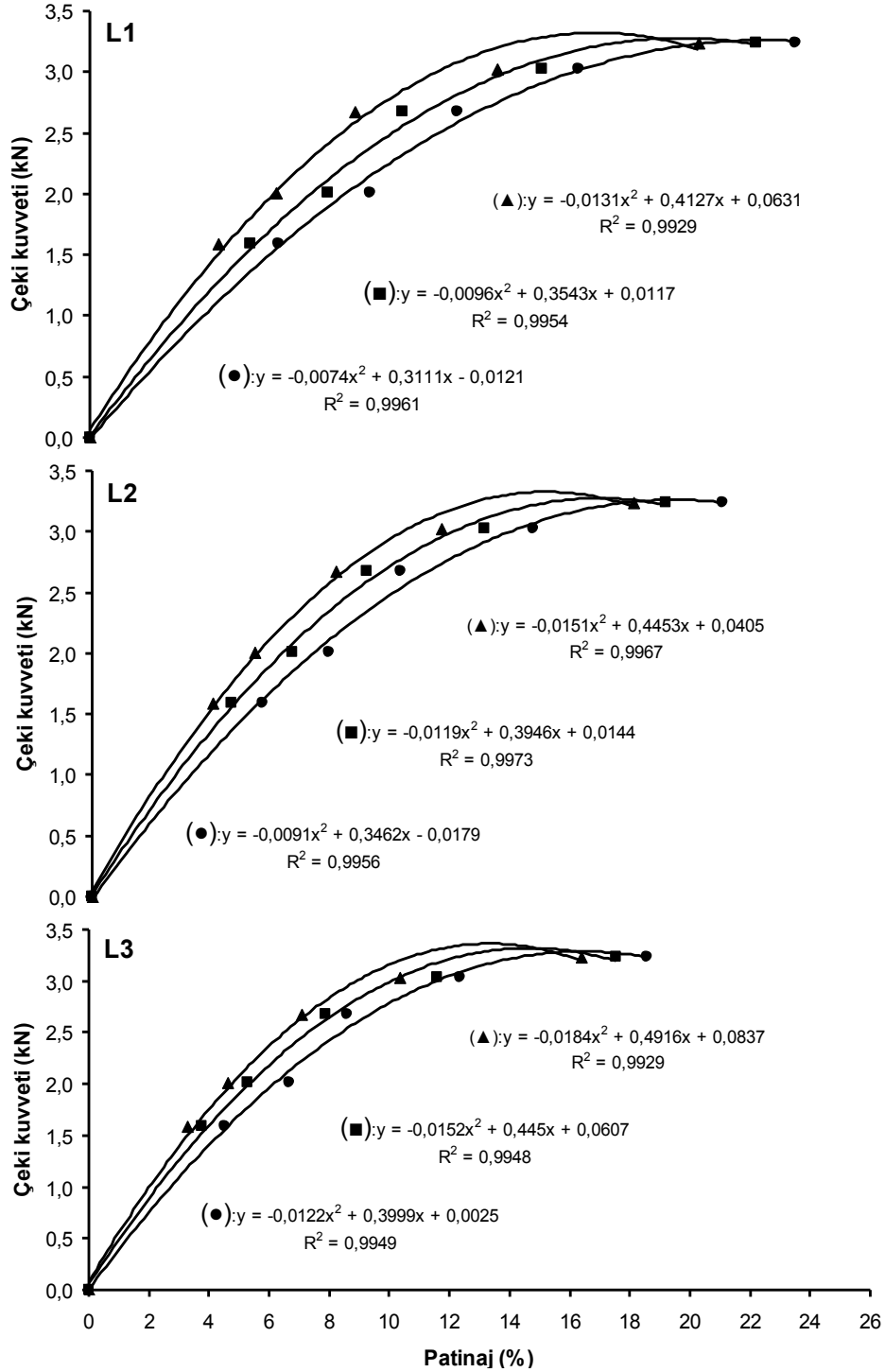
Şekil 4.20. Anız zeminde B₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %28, %26 ve %24 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %30 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.21).



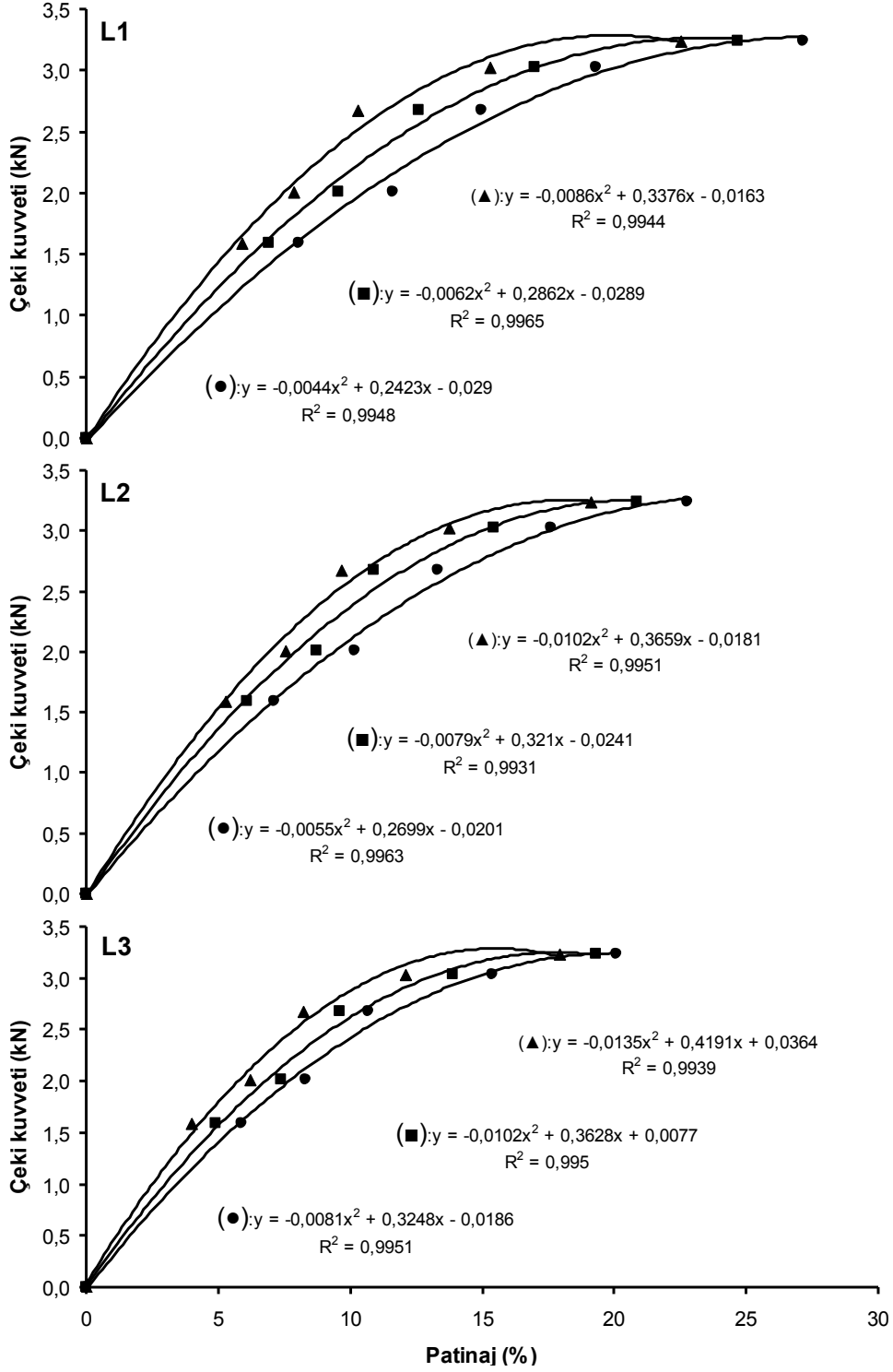
Şekil 4.21. Anız zeminde B₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %22, %21 ve %18 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %19 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.22).



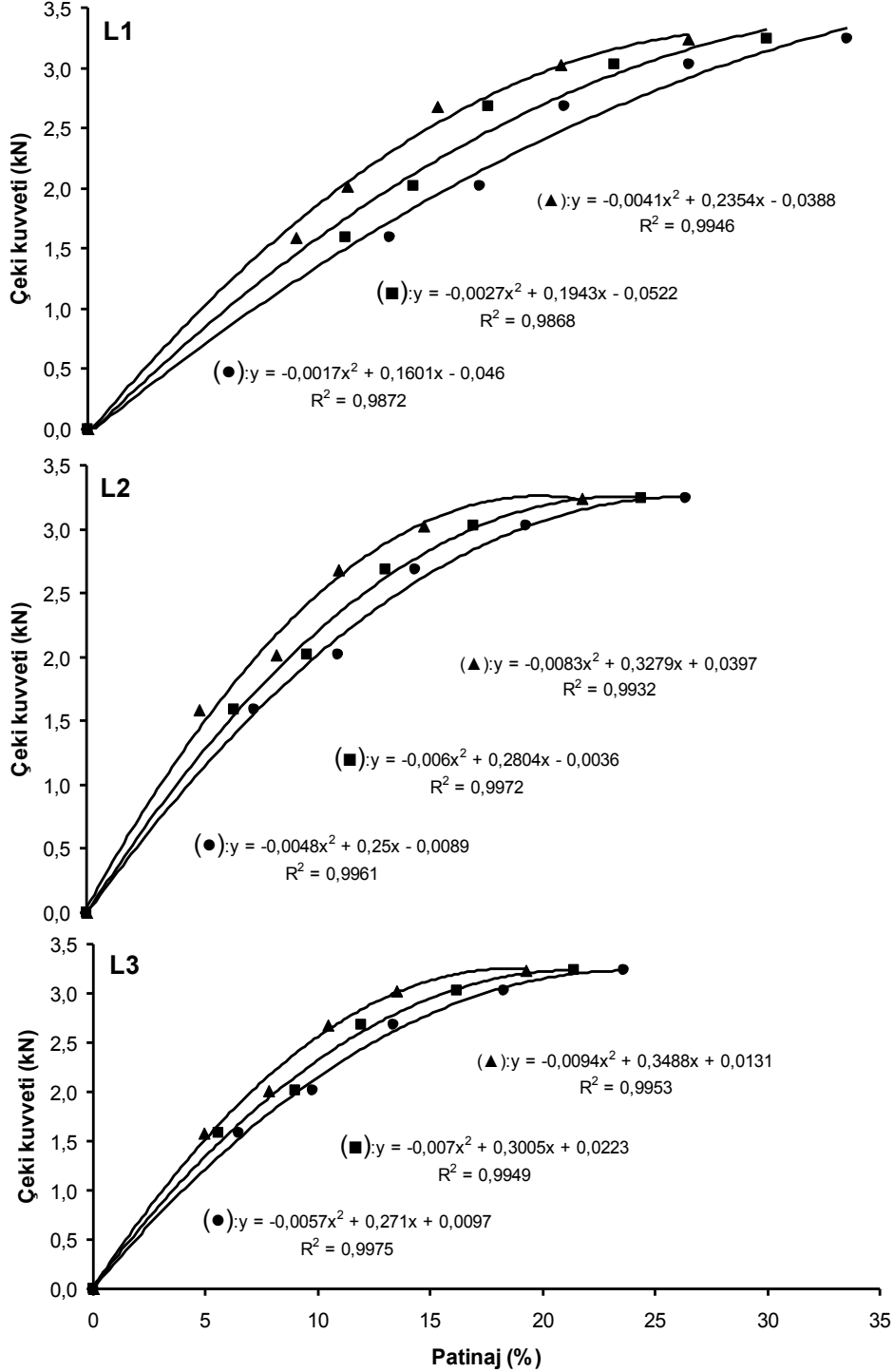
Şekil 4.22. Anız zeminde R_1 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L_1 : 3.5, L_2 : 5, L_3 : 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %24, %22 ve %20 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %22 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Anız zeminde R_2 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla patinajın %25, %23 ve %22 azalmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise patinajın %32 azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Anız zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki kuvveti değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

Anız tarla koşullarında çapraz katlı lastikler radyal lastiklerden %10.7 daha büyük patinaj oranlarında aynı çeki kuvvetini geliştirmişlerdir. Anız tarla koşullarında muharrik lastiğin yapısal ve işletme özelliklerine bağlı olarak en küçük patinaj değeri %3.3 olarak gerçekleşmiştir. Saral, (1984) %15 patinaj koşulunda beton yolun tutunma katsayısının 1'e yakın, kuru sertçe anız zeminde ise 0.5 civarında olduğunu belirtmektedir. Anız tarlada, diğer zemin koşullarına göre tutunmanın daha az olması sebebiyle aynı çeki kuvveti değerlerinde daha yüksek patinaj değerleri elde edilmiştir.

Lastiklerin profil yüksekliğindeki yaklaşık %50 oranında bir azalma, patinaj değerinin %41.7 oranında patinajın artmasına neden olmuştur. Artan profil yüksekliği lastiğin toprağa tutunmasını artırmış, düşük profil yüksekliğinde ise lastik toprağa tutunamadığından patinajın artmasına neden olmuştur.

Denemelerde %86 oranında artan aks yüküne bağlı olarak ortalama patinaj değerleri çapraz katlı lastiklerde %21, radyal lastiklerde %18 azalmıştır. Gee-Clough ve ark. (1977c), yüksek patinaj değerlerinde profil yüksekliğine bağlı olarak çeki katsayısının değişmediğini saptamışlardır. Ayrıca %20 patinaj değerinde 80 kPa lastik iç basıncında radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre daha yüksek değerlerde çeki performansı geliştirdiklerini, artan lastik iç basıncıyla çeki performansının azaldığını belirtmişlerdir.

%26 oranında artan lastik iç basıncına bağlı olarak ortalama patinaj değerlerinde çapraz katlı ve radyal lastiklerde %27'lik bir artış gözlenmiştir.

Upadhyaya ve ark (1989) killi toprak zemin üzerinde radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre daha iyi performans gösterdiklerini, büyük çaplı lastiklerin küçük çaplı lastiklere göre performansının iyi olduğunu, aks yükü artışının performansı geliştirdiğini fakat lastik iç basıncındaki artışın performansı fazla etkilemediğini belirtmişlerdir. Bashford ve Kocher (1999) anız zeminde radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre daha iyi bir çeki performansı sergilediklerini öne sürmektedir. Çarman ve Aydın (2002) aks yükü arttıkça %17 patinaj oranında çeki kuvvetinin %32 oranında arttığını bildirmektedir.

Farklı lastik tipi, farklı lastik iç basıncı ve aks yüklerinde yaptıkları çalışmalarıyla; Al-Hamed ve ark (1994), Sümer (2005), Elwaleed ve ark (2006), Grisso ve ark. (2006), Tiwari ve ark.(2009), Smerda ve Cuphera (2010) denemelerimizle benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Anız tarla koşullarında patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil

yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının patinaj üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P<0.01$).

Çizelge 4.5. Anız zeminde patinaj değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

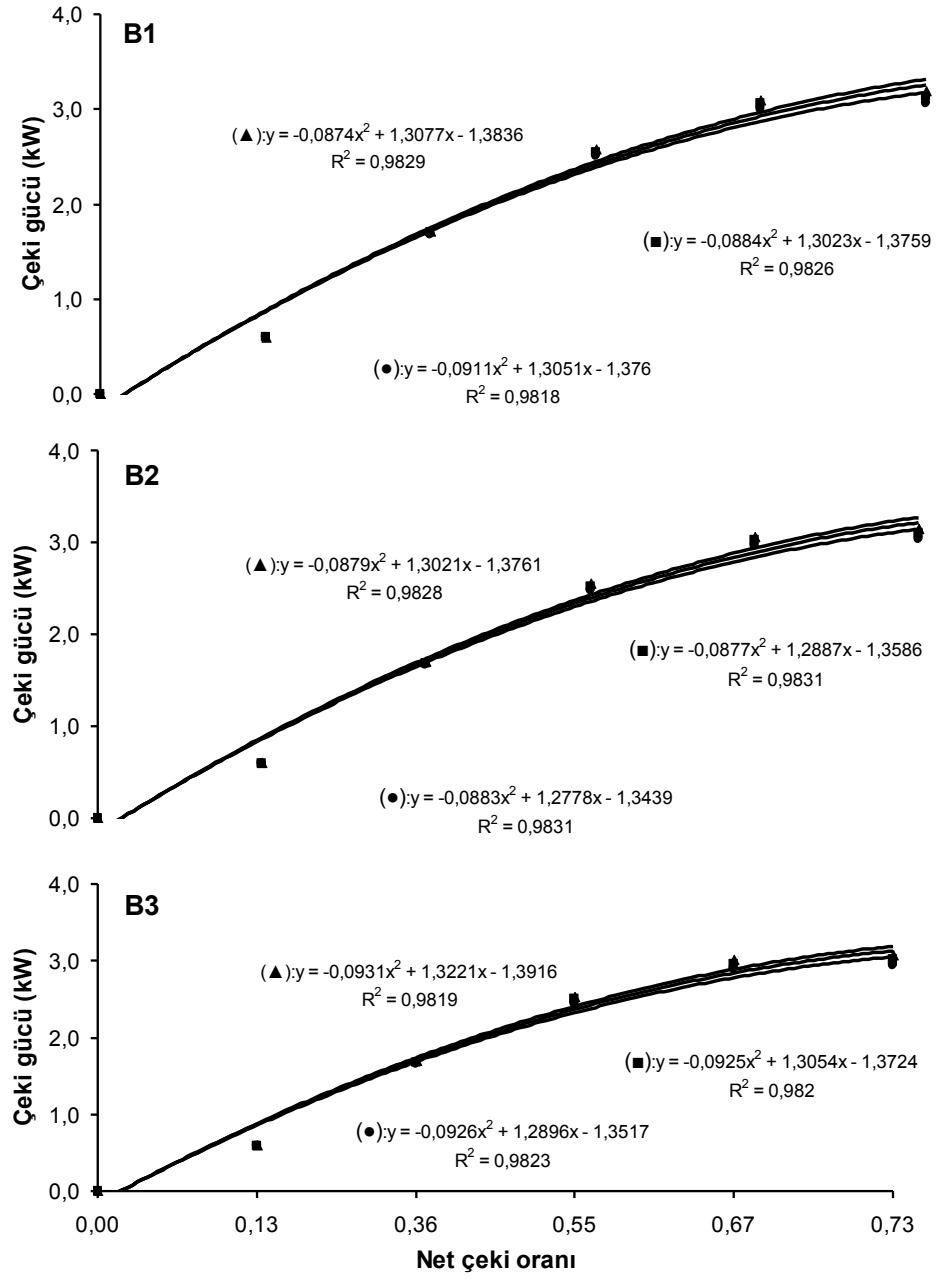
V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	121.47	184.33**
Profil Yüksekliği (PY)	2	477.51	724.65**
Aks Yüğü (AY)	2	354.15	537.44**
İç Basıncı (P _i)	2	256.37	389.06**
LT*PY*AY*P _i	8	0.116	0.176 _{ns}
Hata	216	0.659	-
Genel	269	41.25	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli ($P<0.01$)			
LT	PY	AY	P _i
(B) 13.925 _a	(PY1) 11.040 _a	(L ₁) 15.426 _a	(P ₁) 14.943 _a
(R) 12.584 _b	(PY2) 13.070 _b	(L ₂) 12.801 _b	(P ₂) 13.252 _b
	(PY3) 15.640 _c	(L ₃) 11.537 _c	(P ₃) 11.568 _c
LSD (%5) : 0.196	0.24	0.24	0.24

4.3. Net Çeki Oranına Bağlı Olarak Çeki (İtme) Gücünün Değişimi

Denemeler sonucunda farklı zemin koşullarında çalıştırılan muharrir lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının, net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.25-4.42'de verilmiştir. Net çeki oranı zemin koşulları, lastik tipi, profil yüksekliği, iç basıncı ve lastiğin aks yüküne bağlı olarak 0.07 ile 0.93 arasında değişmiştir. Net çeki oranı aks yükündeki artışa bağlı olarak yaklaşık %45 azalmıştır.

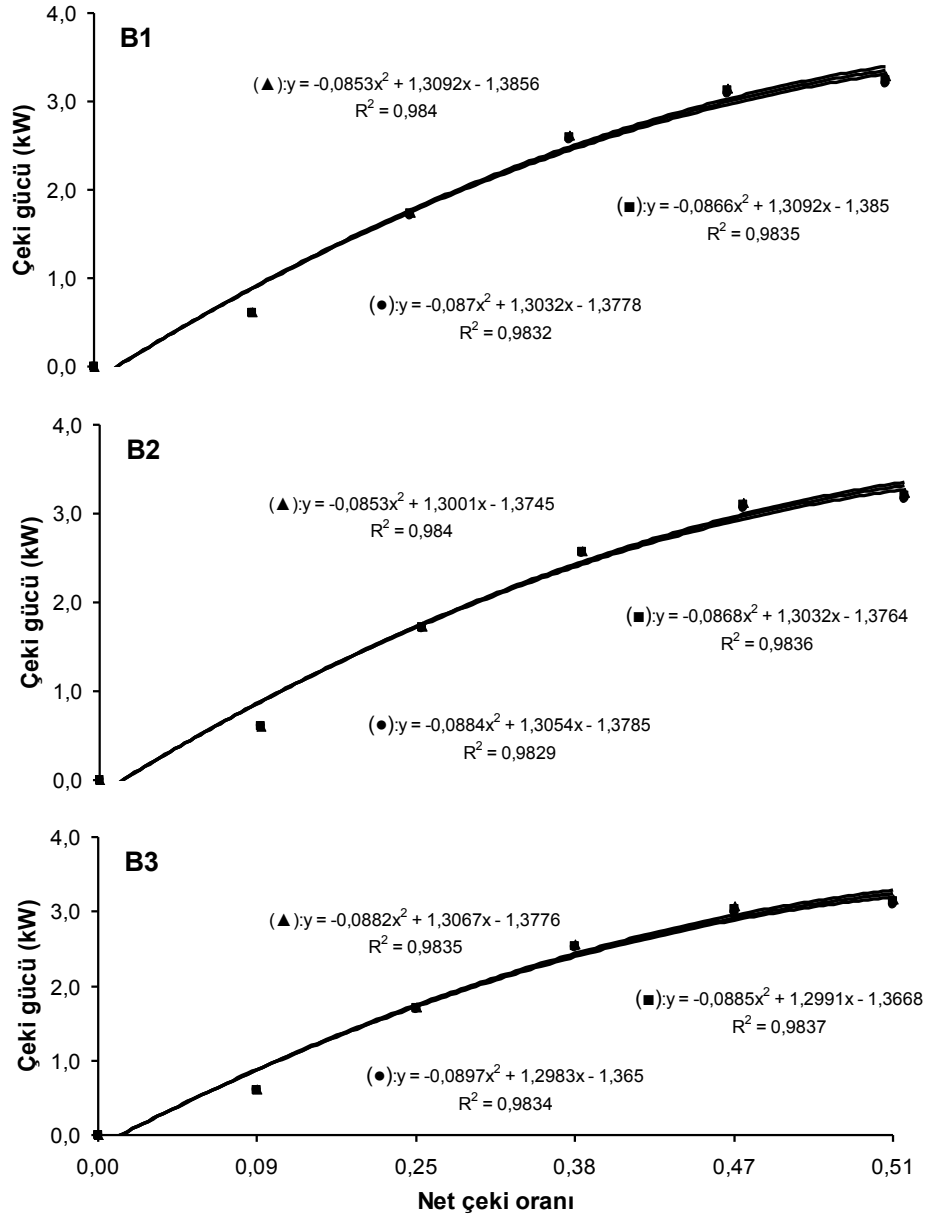
Asfalt zemine ait net çeki oranı-çeki gücü grafikleri Şekil 4.25-4.30'da görülmektedir.

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %3, %3 ve %4 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %3 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.25).



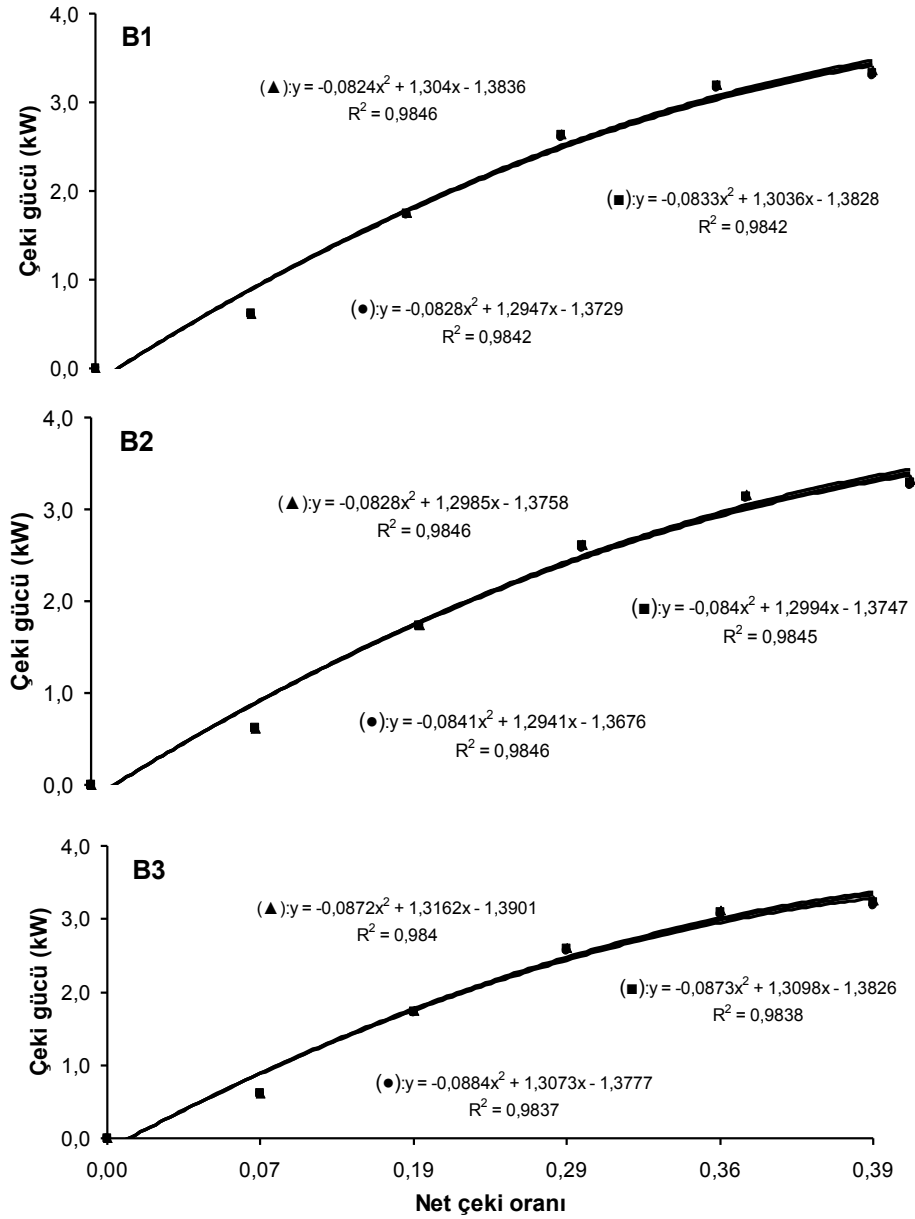
Şekil 4.25. Asfalt zeminde 3.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %2 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.26).



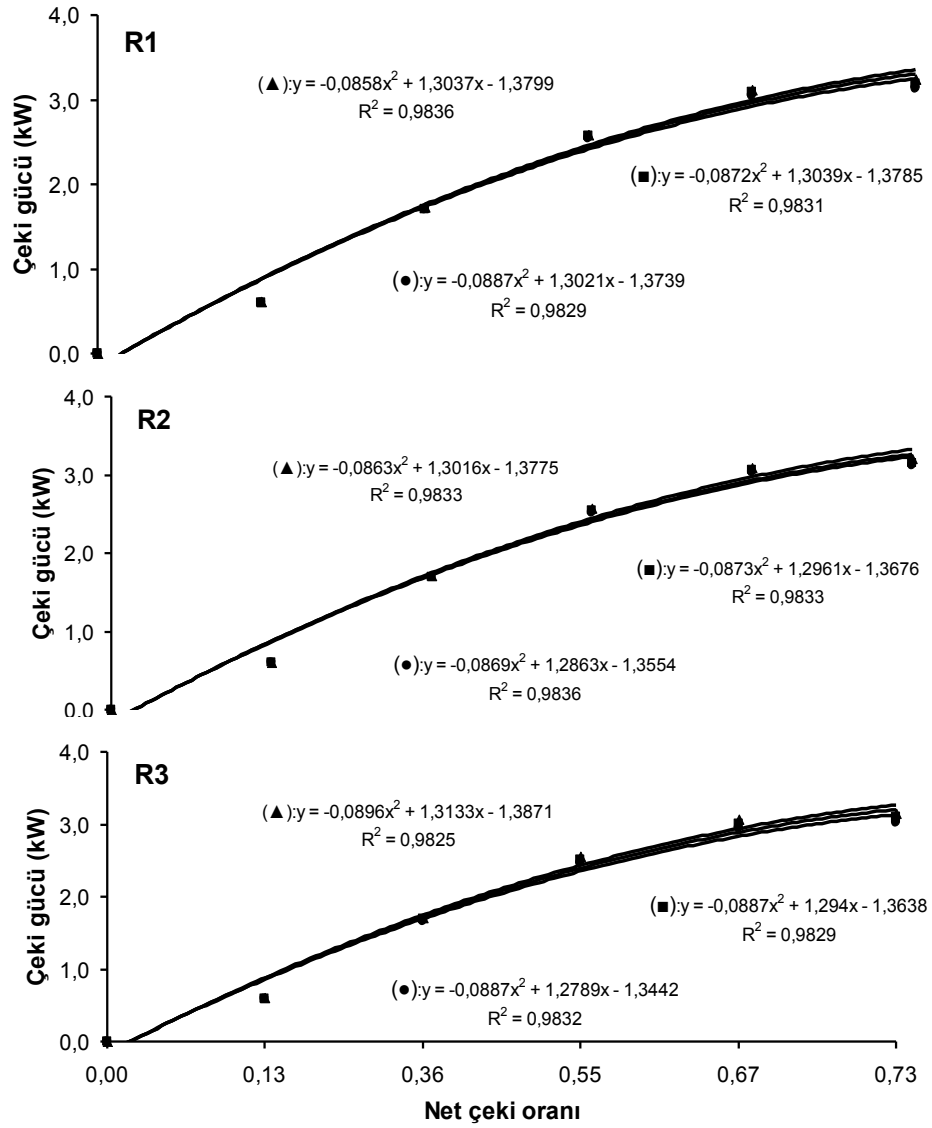
Şekil 4.26. Asfalt zeminde 5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %1, %1 ve %2 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.27).



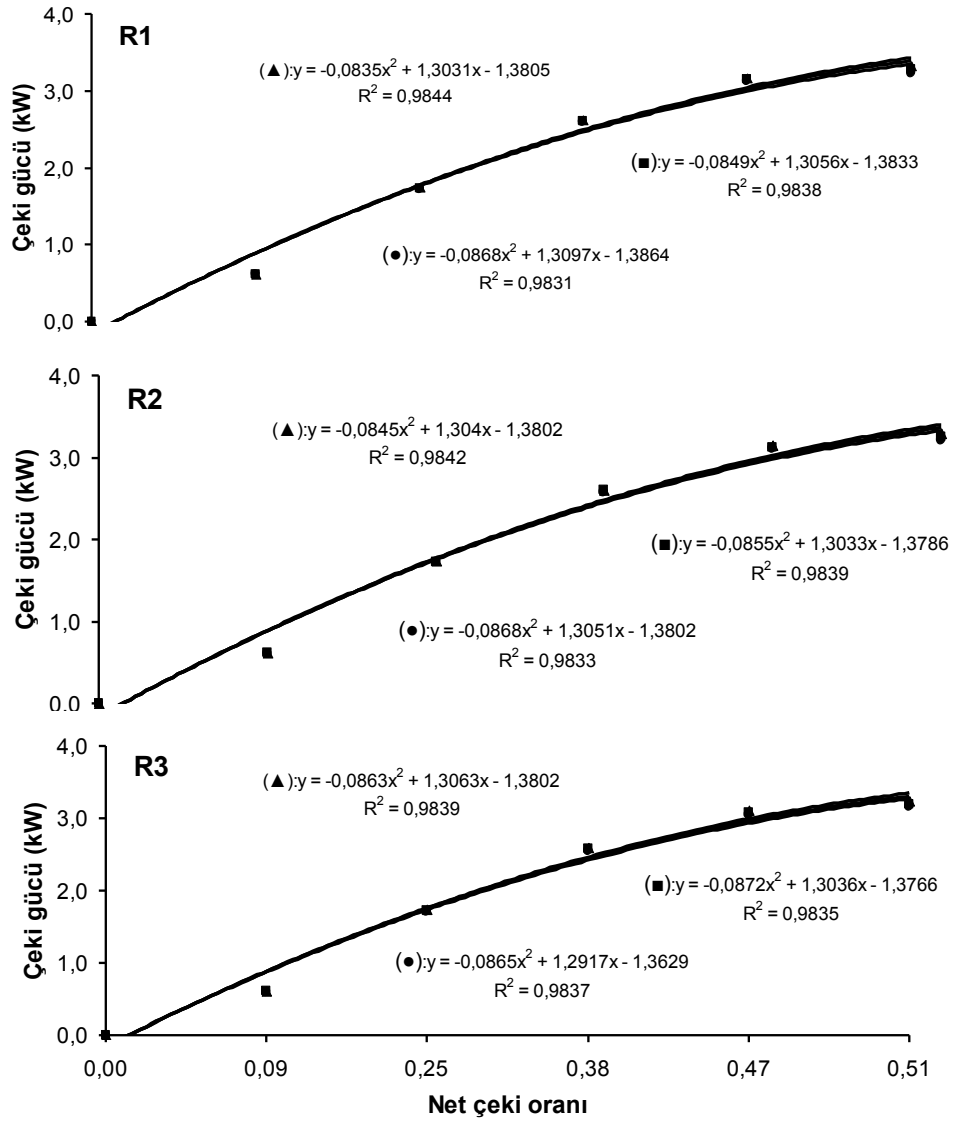
Şekil 4.27. Asfalt zeminde 6.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %4 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.28).



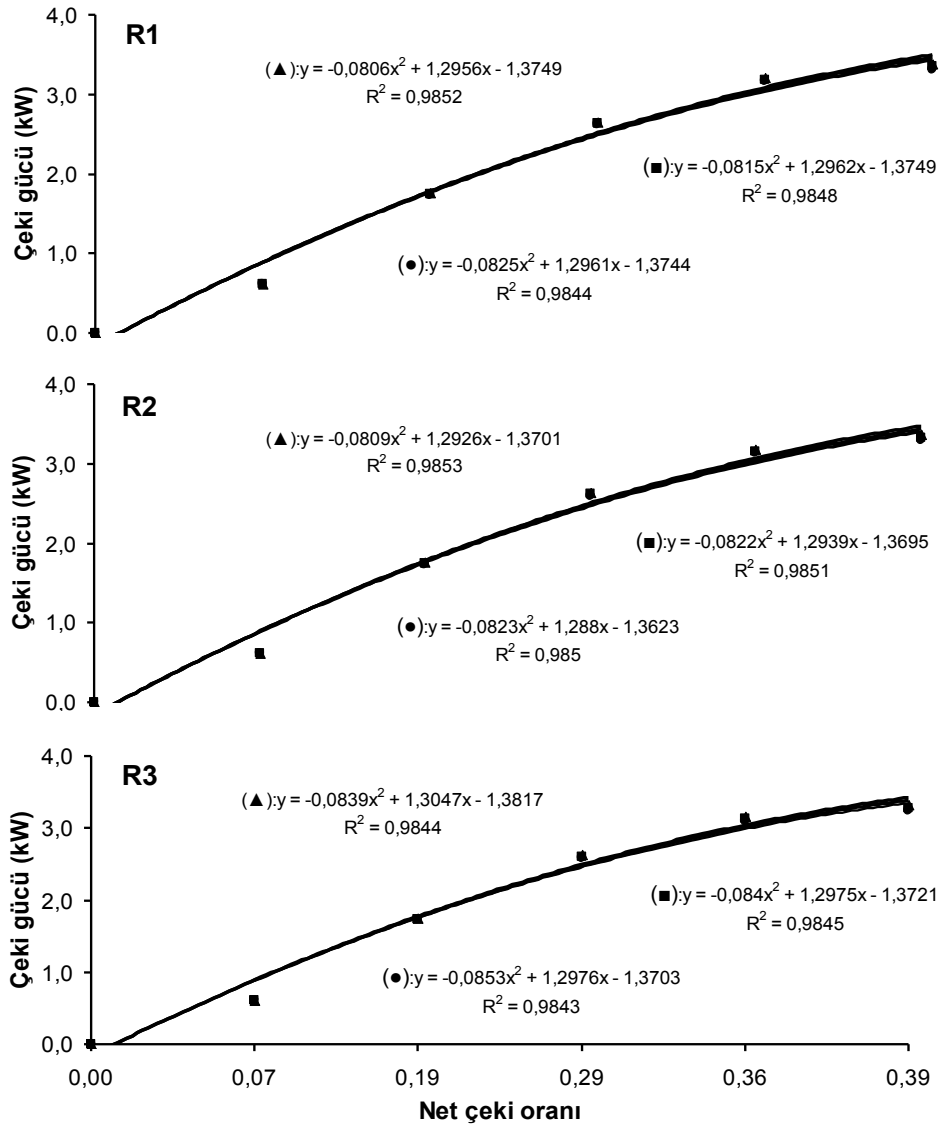
Şekil 4.28. Asfalt zeminde 3.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %2 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Asfalt zeminde 5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %1, %2 ve %2 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.39-0.73 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Asfalt zeminde 6.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

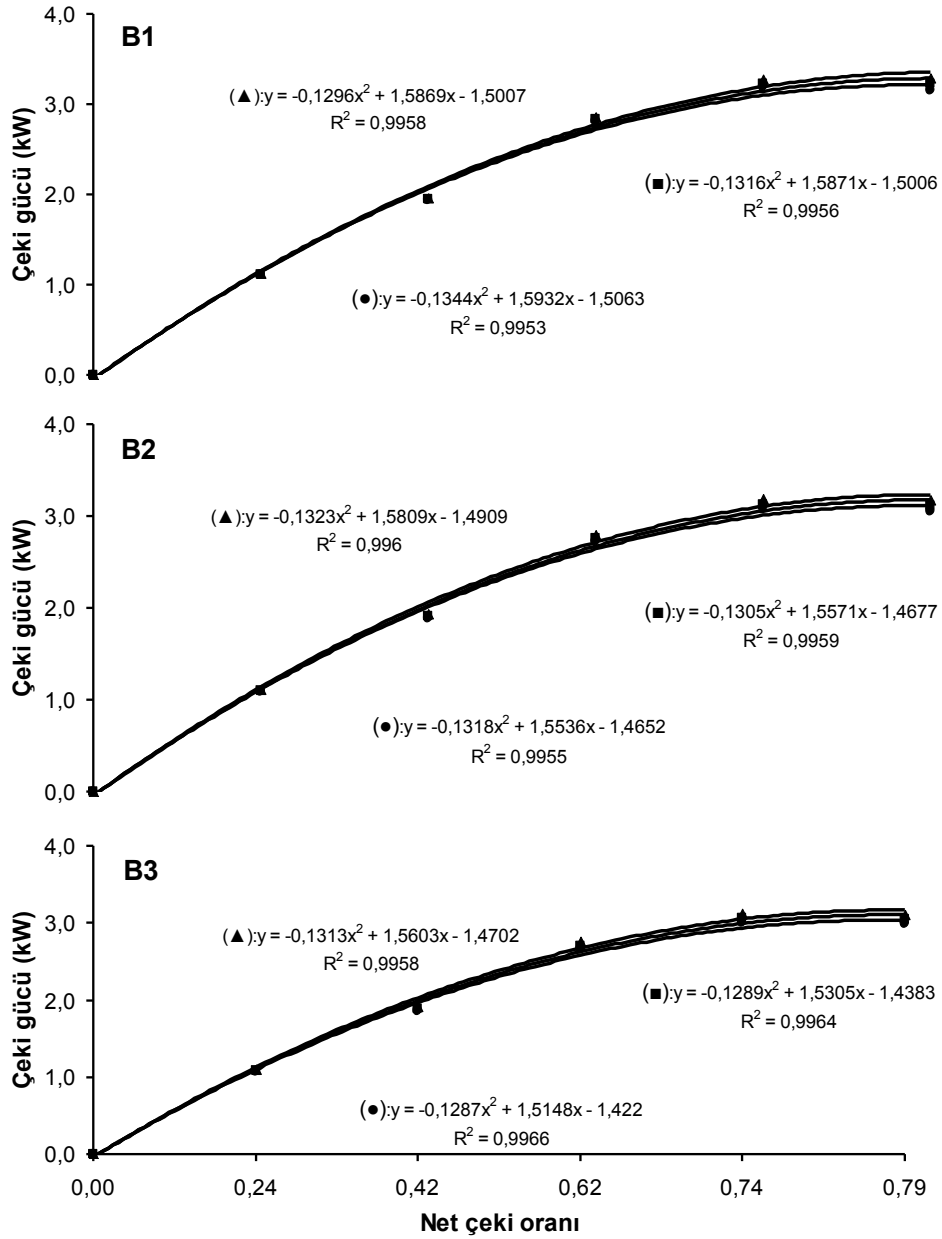
Asfalt zeminde çapraz katlı ve radyal lastiklerin net çeki oranına bağlı olarak geliştirdikleri çeki güçlerinde %1 oranında değişme gerçekleşmiştir. Sümer (2005) beton zemin üzerinde radyal ve çapraz katlı lastiklerin geliştirdikleri çeki gücü arasında %1 değerinde bir fark gözlemlemiş ve maksimum çeki gücü üzerinde; çapraz katlı-radyal lastik tekerlek uygulamalarına bağlı belirgin bir değişimin olmadığını bildirmiştir. Stabilize ve anız zeminde çapraz katlı lastiklerin geliştirdiği çeki gücü radyal lastiklere göre daha düşük (%3) değerlerde gerçekleşmiştir.

Lastik iç basınçlarında %20 değerinde bir azalma, asfalt zeminde çapraz katlı ve radyal lastiklerde %2, stabilize zeminde %3 ve anız zeminde %5 oranında artışa neden olmuştur. Özellikle asfalt zeminde lastik iç basıncındaki değişim fazla önemli olmamakla birlikte diğer zeminlerde dikkate değer veriler elde edilmiştir. Turner (1995) radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre daha fazla çeki gücü geliştirdiklerini lastik iç basıncında %43 değerinde bir artışın çeki gücünü %7 oranında azaldığını belirtmektedir. Küçüksarıyıldız (2006) lastik iç basıncındaki değişimin çeki gücünü önemli oranda etkilemediğini bildirmiştir.

Çeki gücü çeki kuvveti ve gerçək ilerleme hızının bir fonksiyonudur. Bu nedenle Denemelerde teorik hız ile gerçək hız arasındaki fark olan patinaj değerleri aks yükü arttıkça azalma eğilimi göstermiştir. Aks yükünün artması çeki gücünün de artmasına neden olmuştur. Smerda ve Cupera (2010) fazla transfer edilen çeki kuvvetinin çeki gücünü ve çeki performansını artırdığını belirtmişlerdir. Gülsoylu ve Keçecioğlu (1992) uygun patinaj sınırlarında kalmak üzere traktörlerin ürettiği güçten yararlanmanın, traktörlerin aks ağırlığı ile doğrudan ilgili olduğunu söylemektedirler.

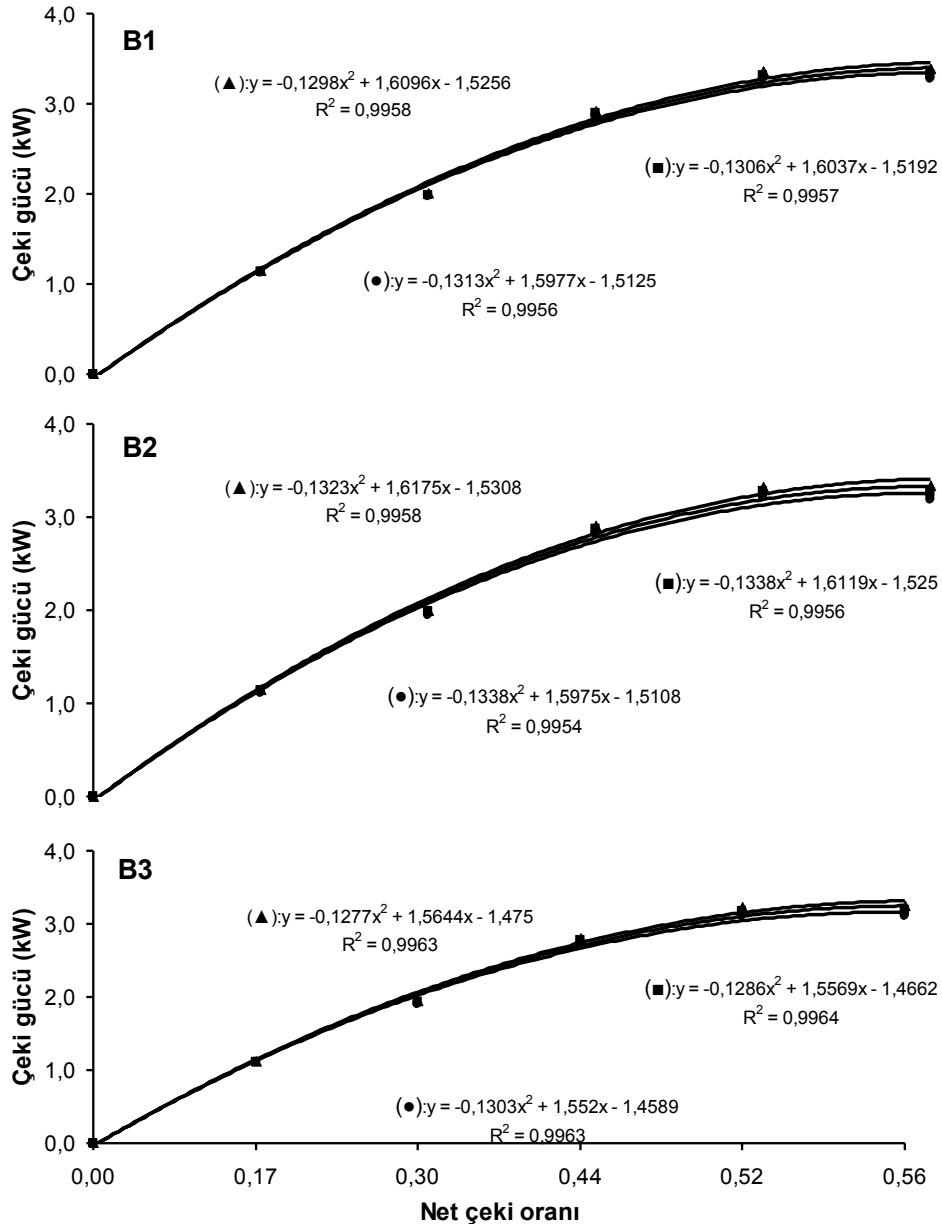
Stabilize zemine ait net çeki oranı-çeki gücü grafikleri Şekil 4.31-4.36'da görülmektedir.

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %3, %3 ve %4 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.31).



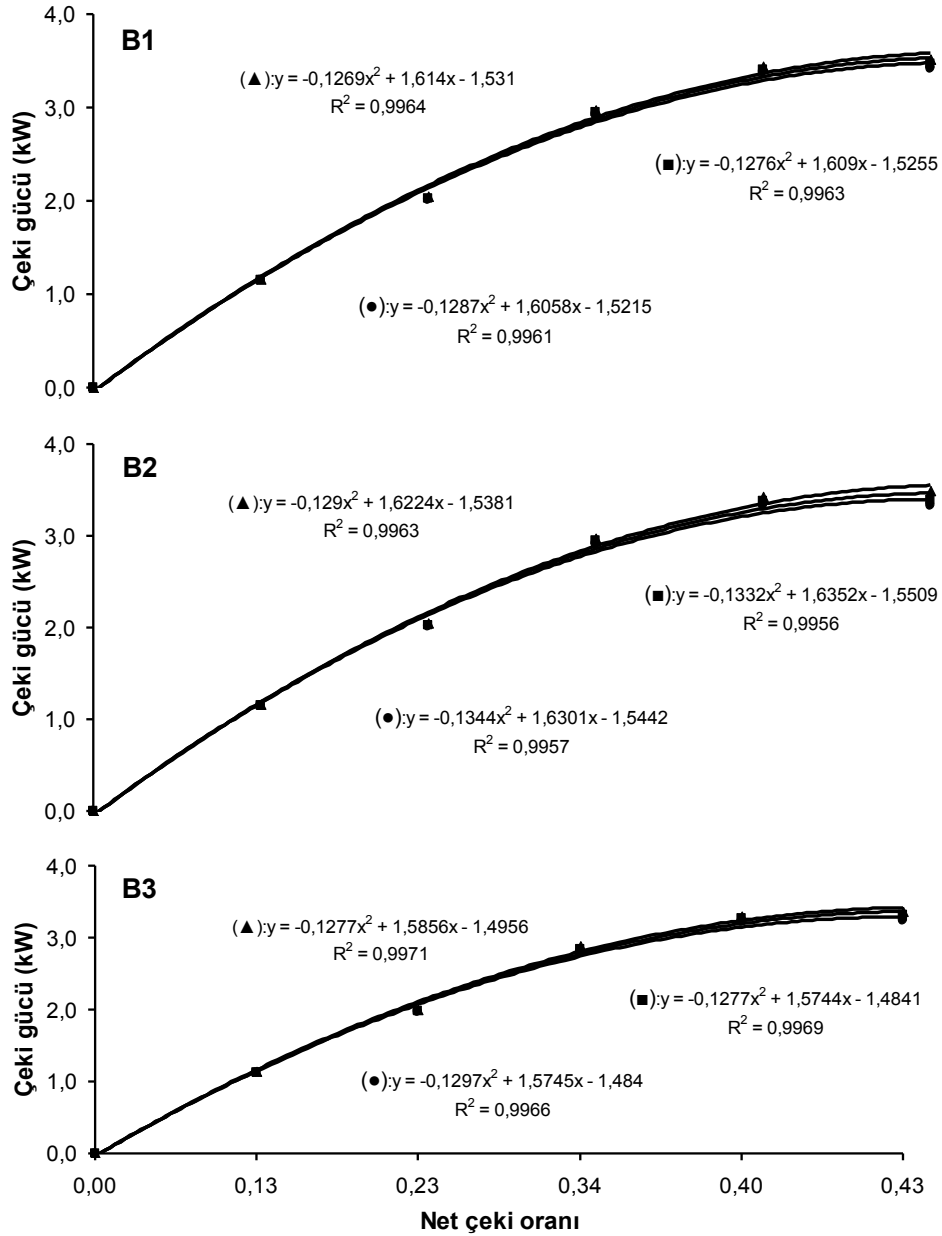
Şekil 4.31. Stabilize zeminde 3.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %4 ve %3 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.32).



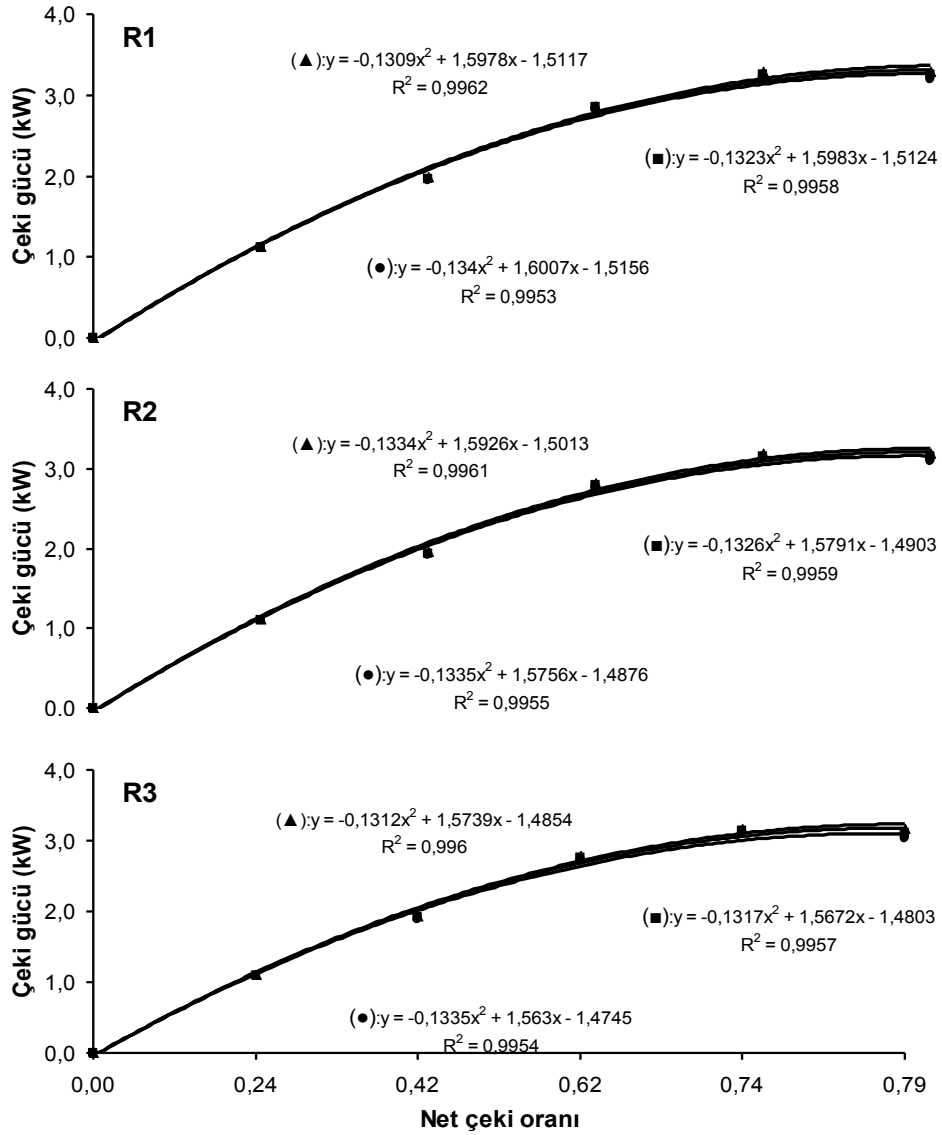
Şekil 4.32. Stabilize zeminde 5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %3 ve %3 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.33).



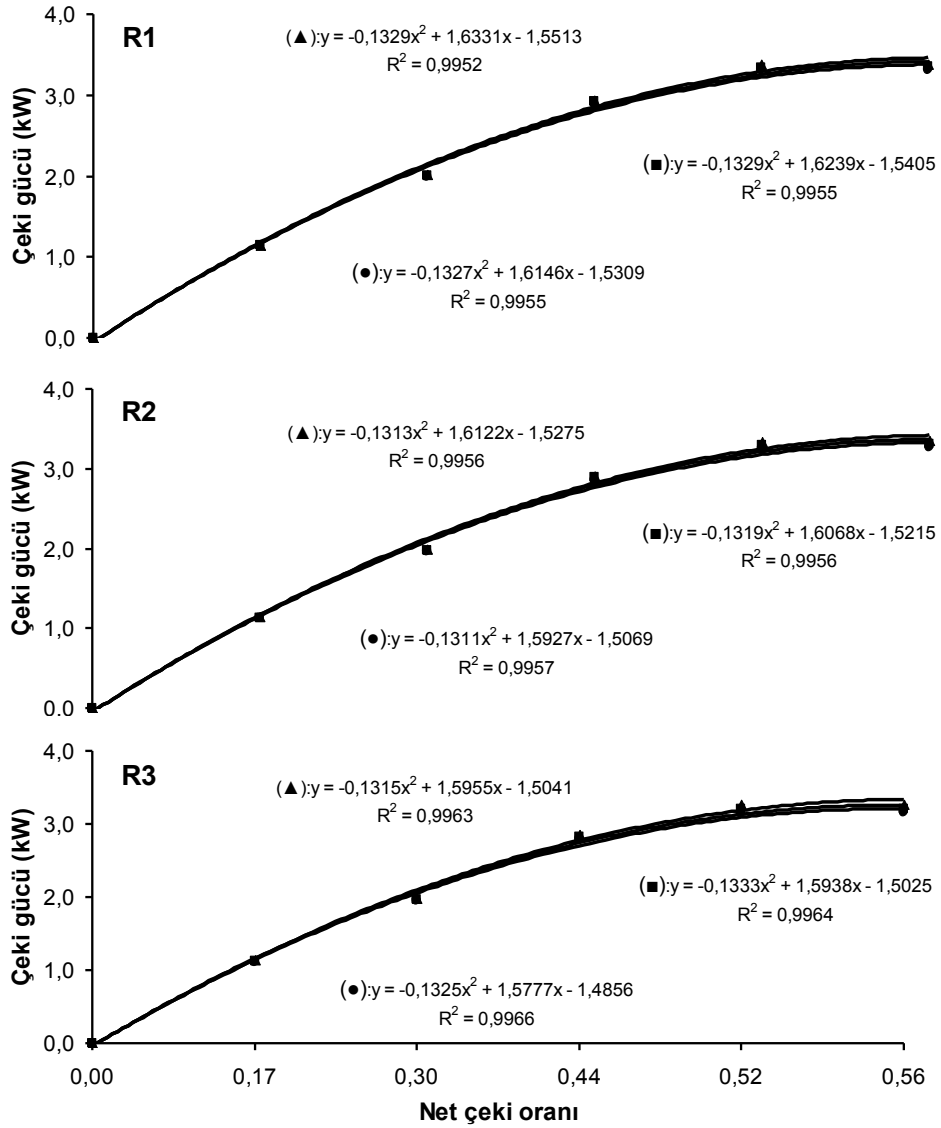
Şekil 4.33. Stabilize zeminde 6.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %3 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.34).



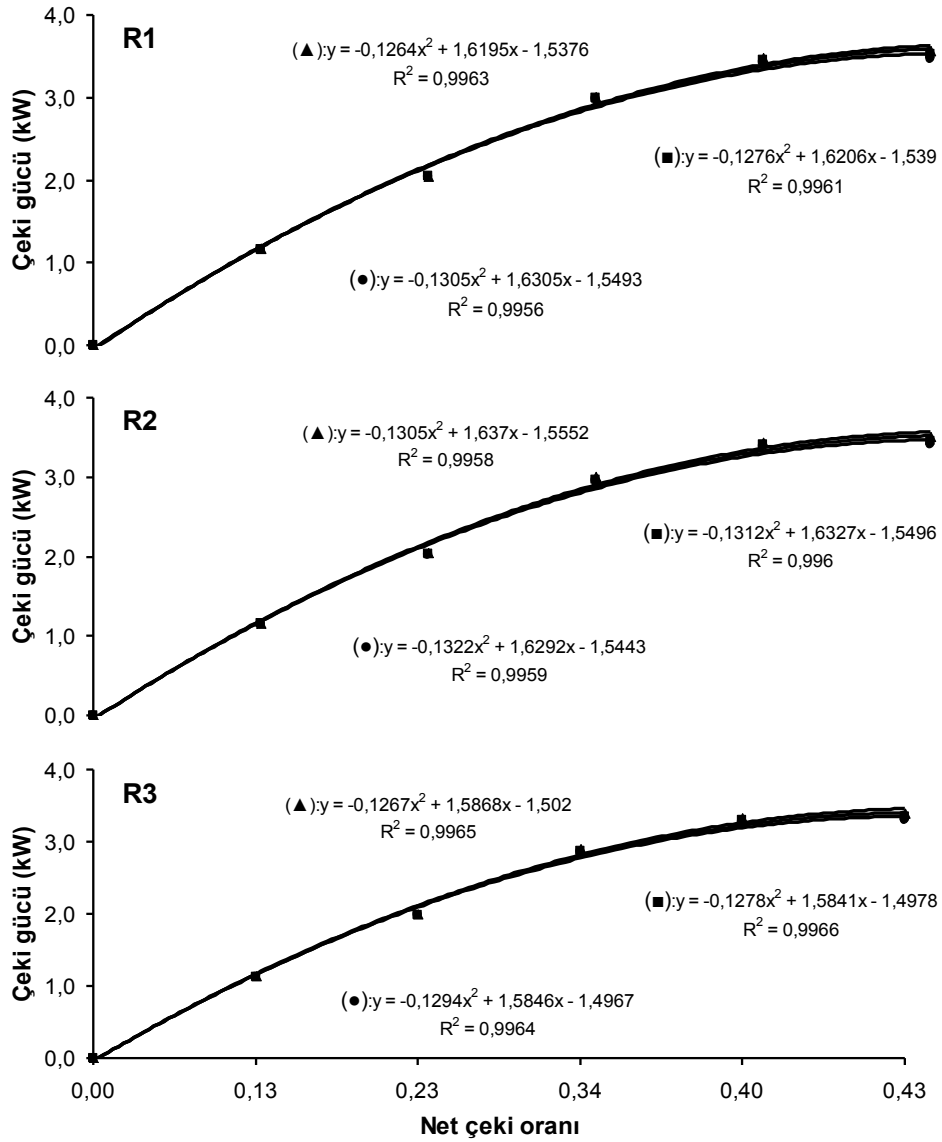
Şekil 4.34. Stabilize zeminde 3.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %3 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.35).



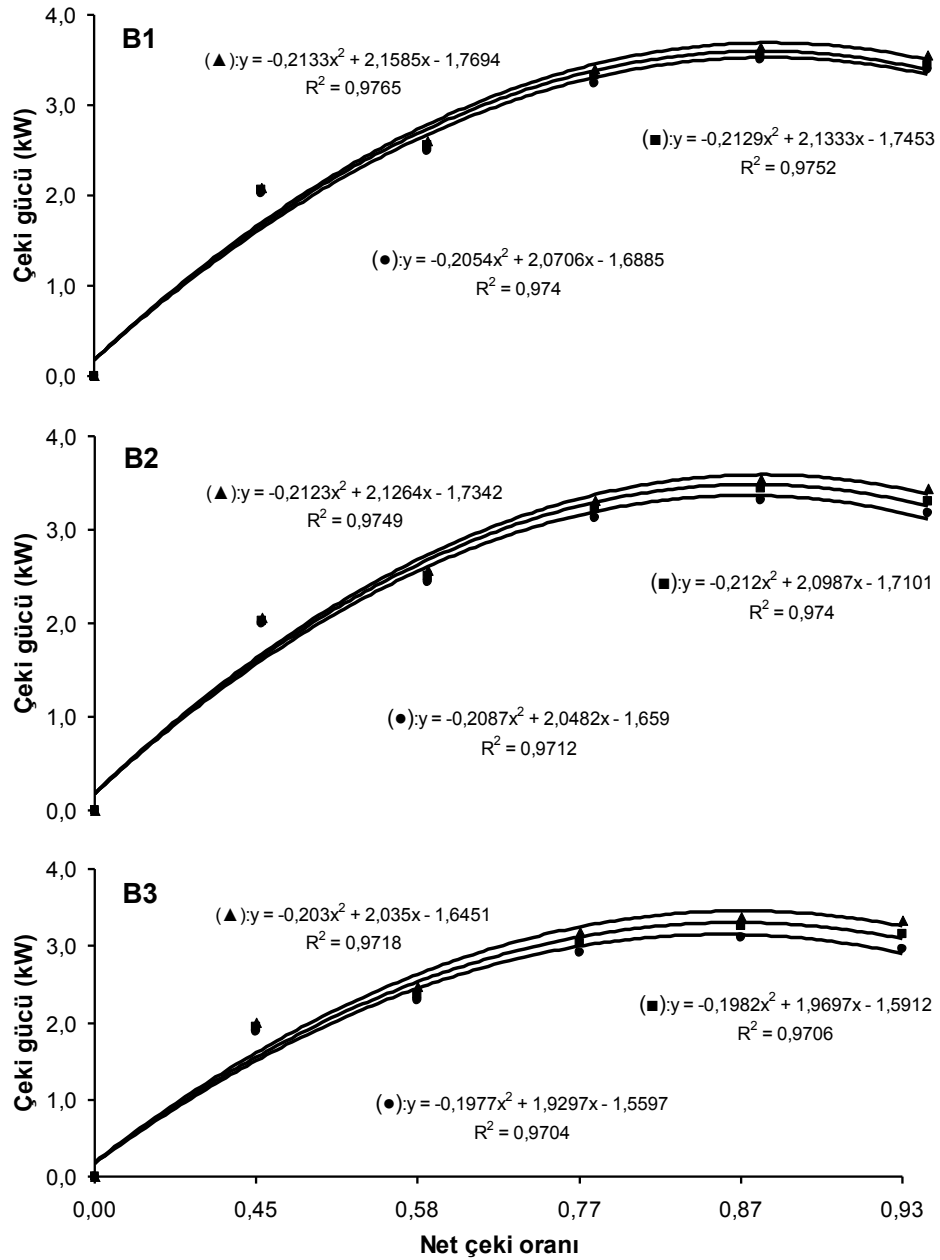
Şekil 4.35. Stabilize zeminde 5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2, %2 ve %2 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.43-0.74 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.36).



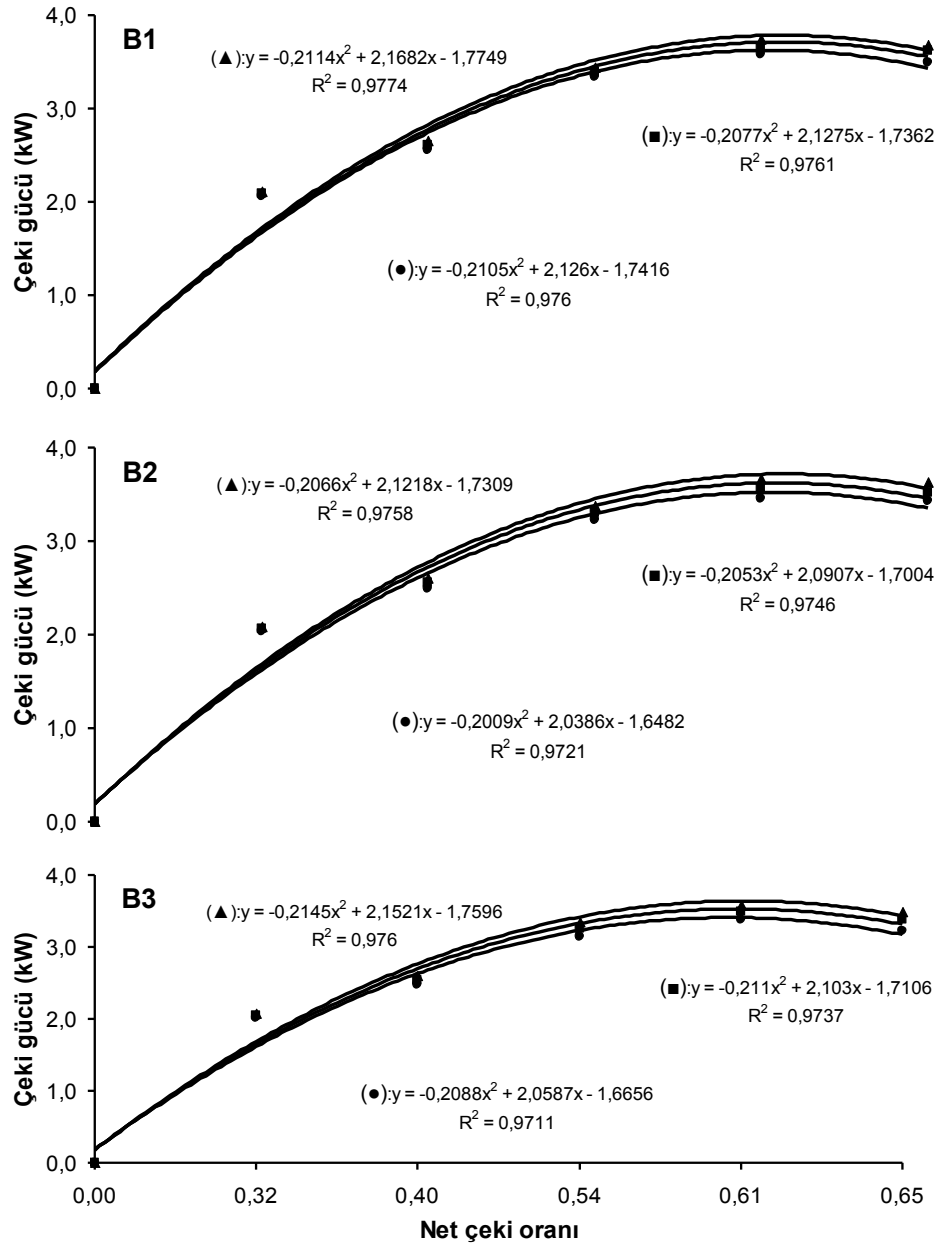
Şekil 4.36. Stabilize zeminde 6.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %4, %6 ve %9 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %9 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir. (Şekil 4.37)



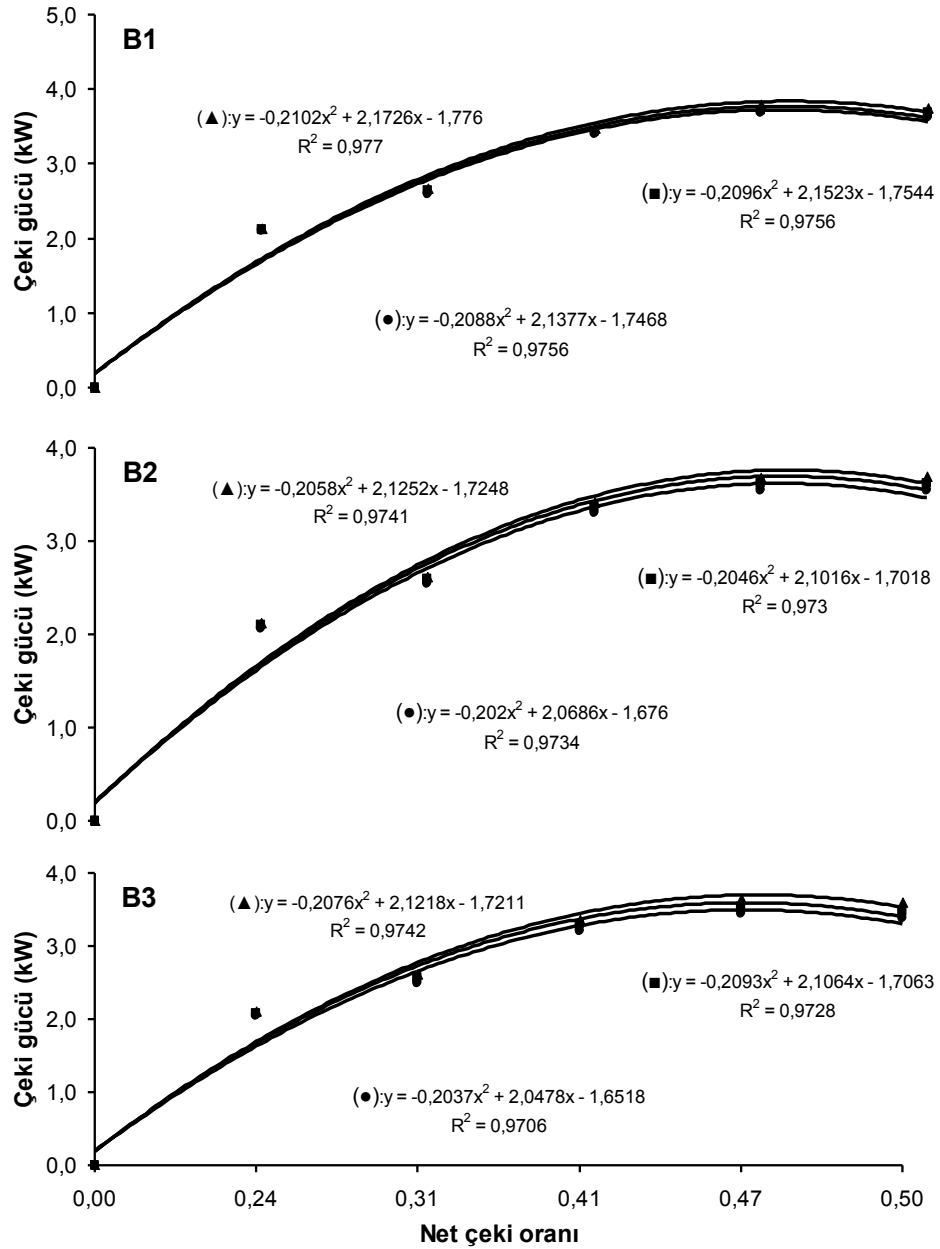
Şekil 4.37. Anız zeminde 3.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %4, %5 ve %6 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir. (Şekil 4.38)



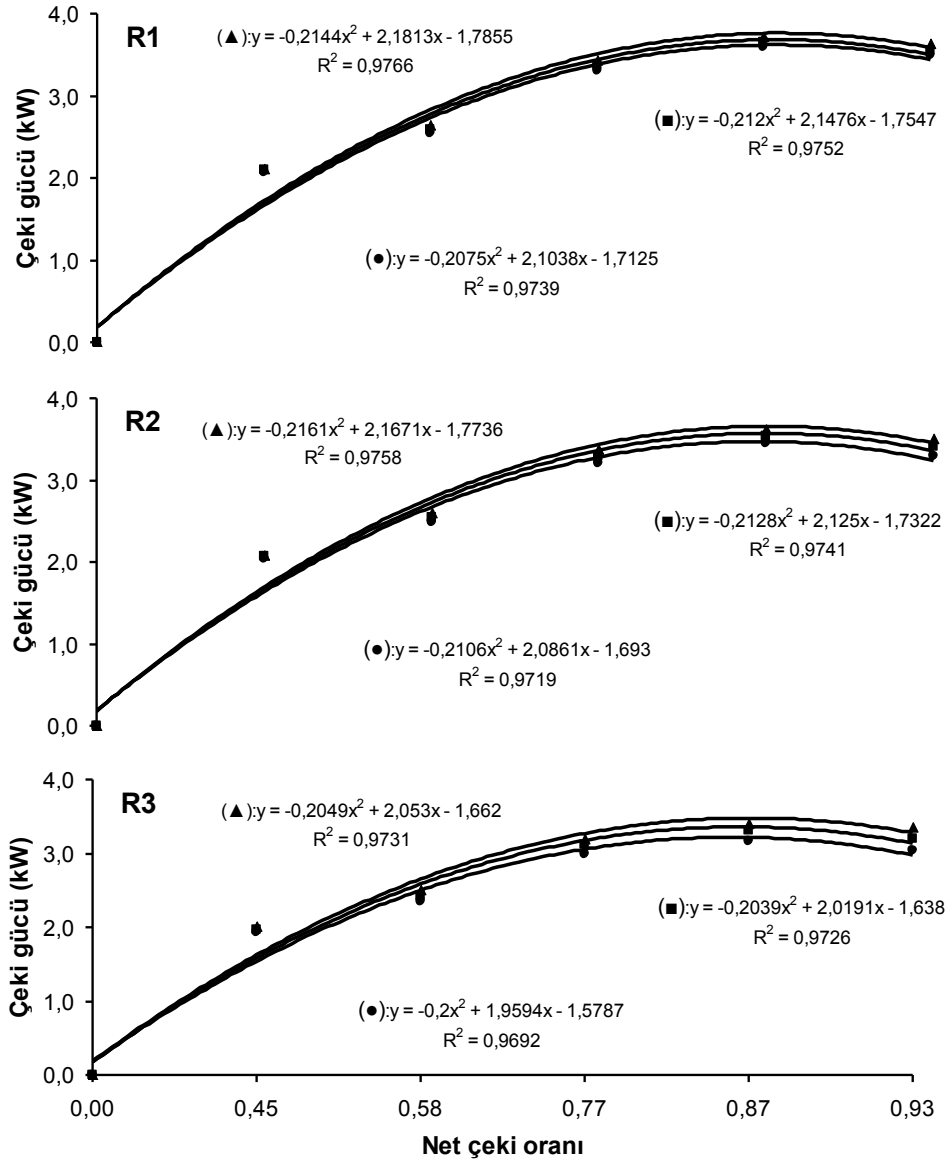
Şekil 4.38. Anız zeminde 5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

18, 14 ve 10 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %3, %4 ve %5 artmasına, profil yüksekliğindeki %80 artış çeki gücünün %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir. (Şekil 4.39).



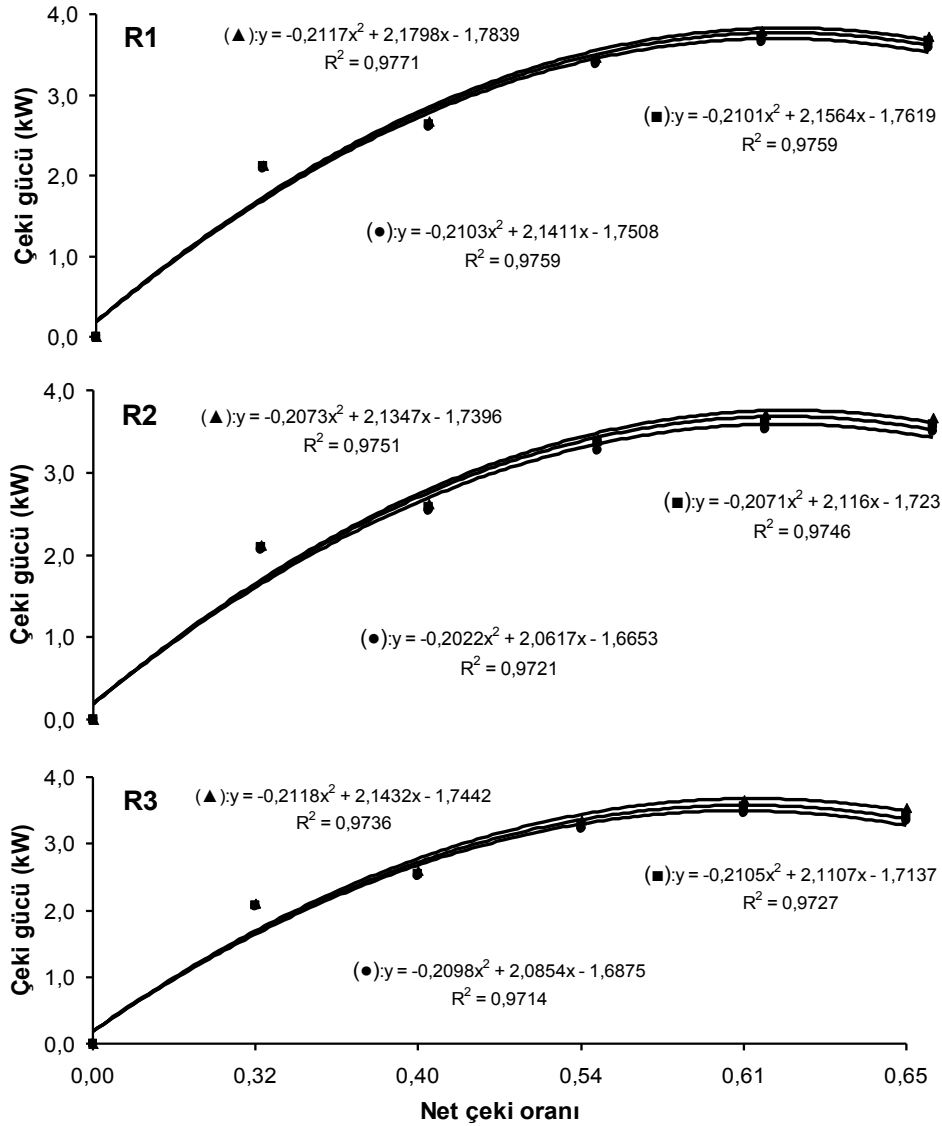
Şekil 4.39. Anız zeminde 6.5 kN aks yükünde çapraz katlı lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, B₁: 18, B₂: 14, B₃: 10mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %4 %5 ve %8 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %9 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.40).



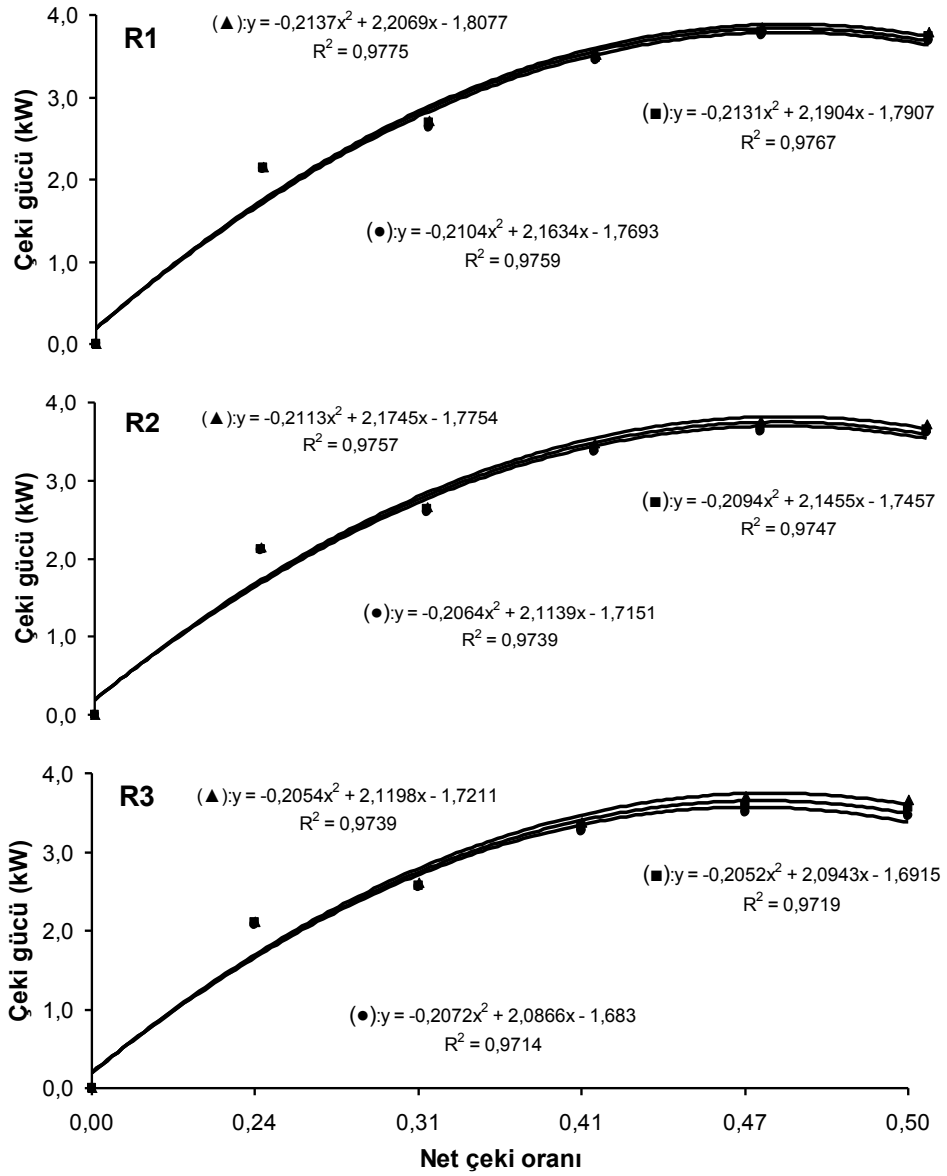
Şekil 4.40. Anız zeminde 3.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %3 %4 ve %5 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Anız zeminde 5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

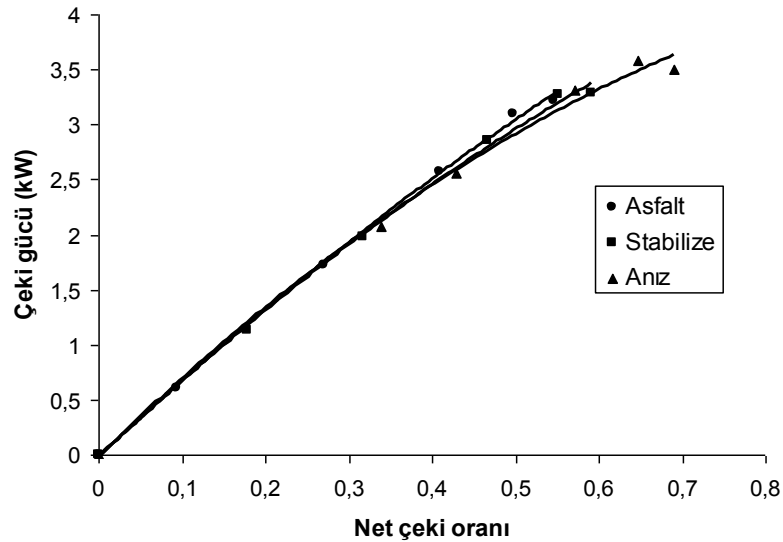
30, 24 ve 14 mm profil yüksekliklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki gücünün %2 %3 ve %4 artmasına, profil yüksekliğindeki %114 artış çeki gücünün %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum güç 0.47-0.87 net çeki oranı değerleri arasında elde edilmiştir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Anız zeminde 6.5 kN aks yükünde radyal lastiğin net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, R₁: 30, R₂: 24, R₃: 14mm)

Farklı kombinasyonlarda çeki oranının 0.39 ila 0.87 aralığında maksimum çeki gücü elde edilmiştir. Çeki gücü 0.59 kW ile 3.71 kW arasında değişmiştir. Çarman (2001) maksimum çeki gücüne 0.5-0.65 arasındaki net çeki oranı değerlerinde ulaşmıştır. Elashry (1990), farklı toprak koşullarında geniş ve geleneksel lastiklerle yaptığı çalışmada maksimum çeki gücünü geniş lastiklerde 0.4-0.6, geleneksel lastiklerde ise 0.5-0.7 net çeki oranlarında elde etmiştir. Denemelerde maksimum çeki gücü (3.85kW) anız tarla koşulunda, R1L3P3 kombinasyonunda elde edilmiştir.

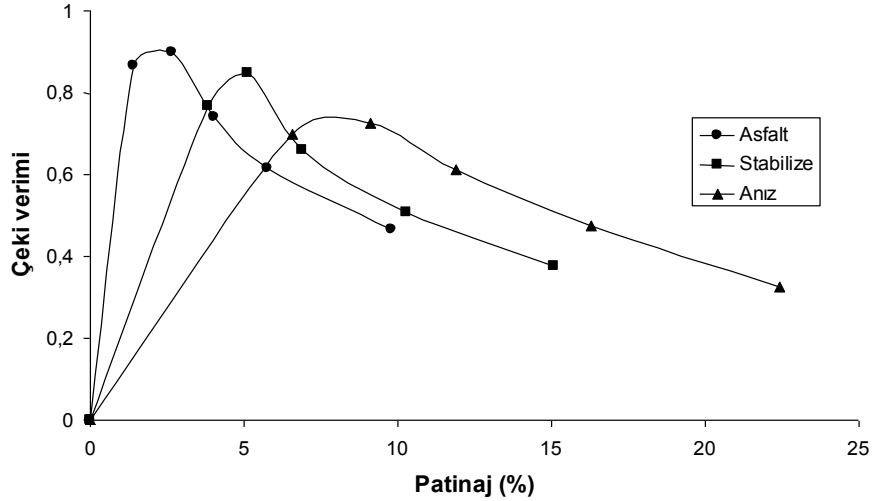
Zemin şartları dikkate alındığında stabilize zeminde çeki gücü asfalt zemine göre her iki lastik türünde de %12 değerinde bir artış gözlenmişken bu değer anız zeminde asfalt zemine göre çapraz katlı lastiklerde %33, radyal lastiklerde ise %35 artmıştır. Anız zeminde geliştirilen çeki kuvvetine bağlı olarak çeki gücünde artmıştır. Şekil 4.43'de 3 farklı zemine ait net çeki oranına bağlı çeki gücü grafiği verilmiştir.



Şekil 4.43. Asfalt, stabilize ve anız zeminde net çeki oranına bağlı olarak çeki gücü değişimi

4.4. Patinaja Bağlı Olarak Çeki Verimliliğinin Değişimi

Üç farklı zeminde muharrik lastiğin değişen yapısal özellik ve işletme değerlerine bağlı olarak değişen patinaj değerlerinde çeki verimliliği değerlerinin 0.27-0.93 arasında değiştiği saptanmıştır. Şekil 4.44'de tüm kombinasyonların ortalaması alınarak elde edilen her üç zemine ait patinaja bağlı çeki verimi değişim grafiği görülmektedir.

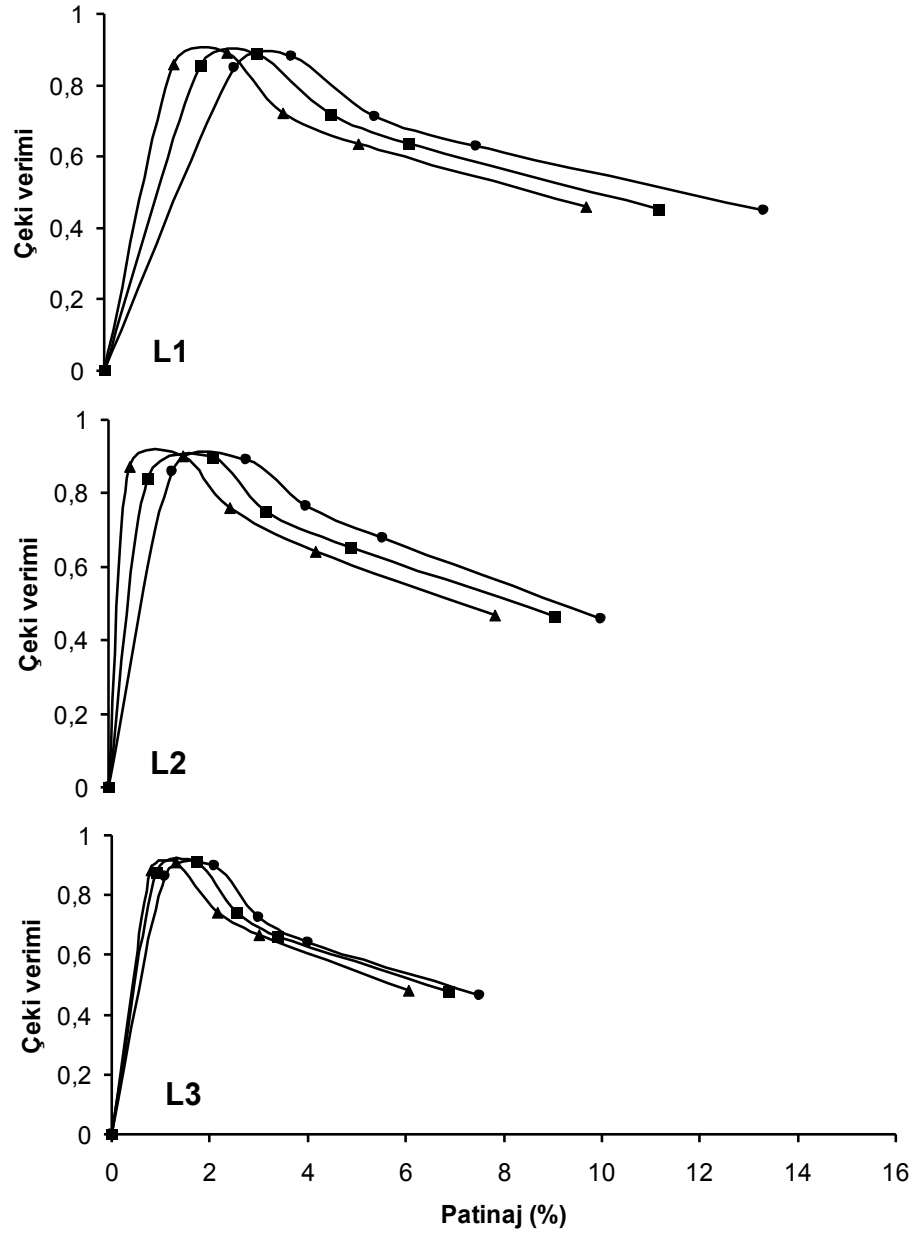


Şekil 4.44. Asfalt, stabilize ve anız zeminlerde patinaja bağlı olarak çeki verimi değişimi

Asfalt zeminde maksimum çeki verimi %93 iken stabilize zeminde %89 ve anız zeminde %78 civarındadır. Zeminin yuvarlanma direnç katsayısı arttıkça aks torku ve dolayısıyla aks gücü de arttığı için verimin azalmasına neden olmuştur. Casady (1997) çeşitli zeminlerde yaptıkları çalışmada çeki verim değerlerini beton zeminde yaklaşık %93, anız zeminde yaklaşık %78 işlenmiş toprak zeminde ise yaklaşık %64 olarak elde etmiş ve çeki veriminin yuvarlanma direnç katsayısı ile patinaj tarafından sınırlandığını bildirmiştir. Sabancı (1993) çeki veriminin beton zeminde %87, anız zeminde %74 ve pullukla sürülmüş toprak zeminde ise %47 olduğunu belirtmiştir.

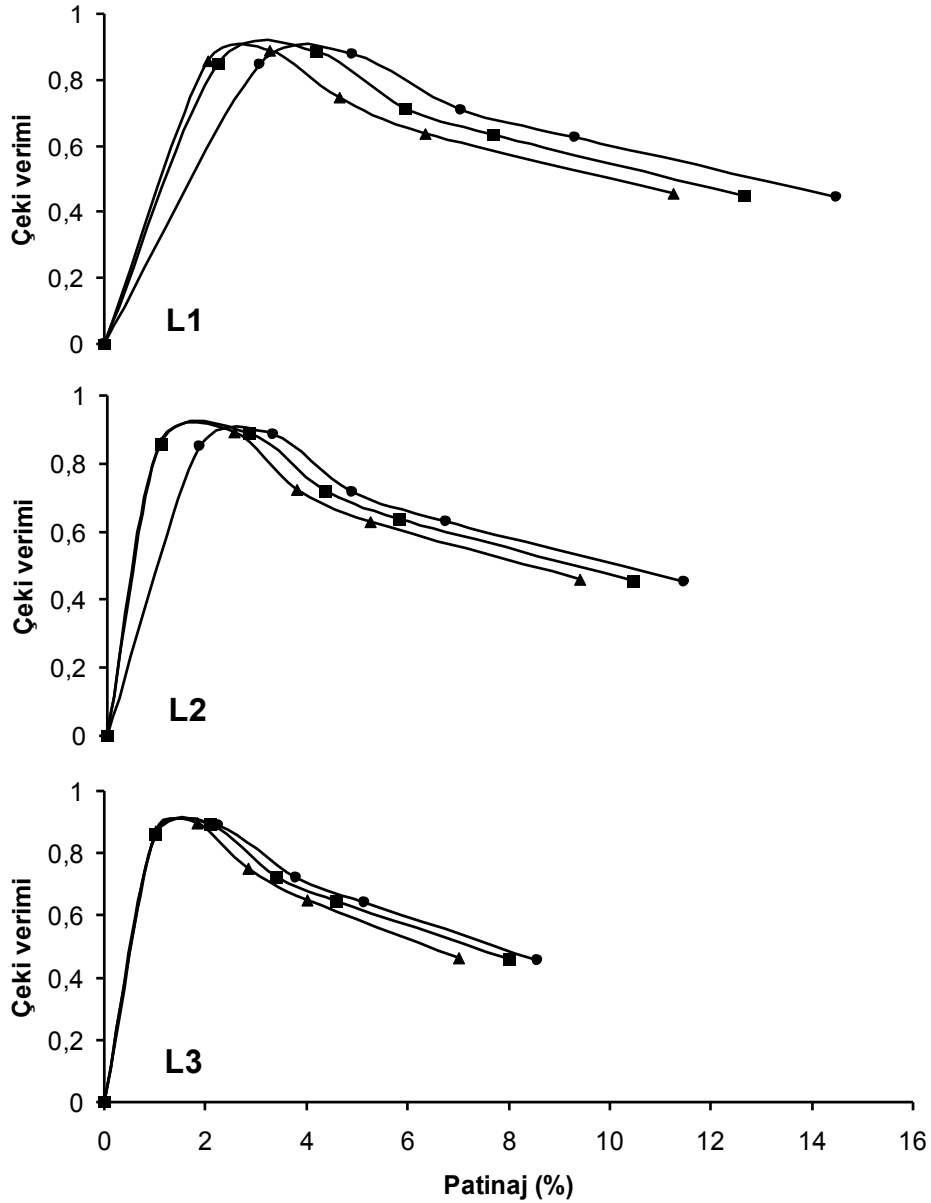
Asfalt zeminde farklı yapısal ve işletme parametrelerine sahip muharrik lastiğin patinaja bağlı olarak çeki verimliliğinin değişimi Şekil 4.45-4.50'de verilmiştir.

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %0 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %3 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.3-3.8 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.45).



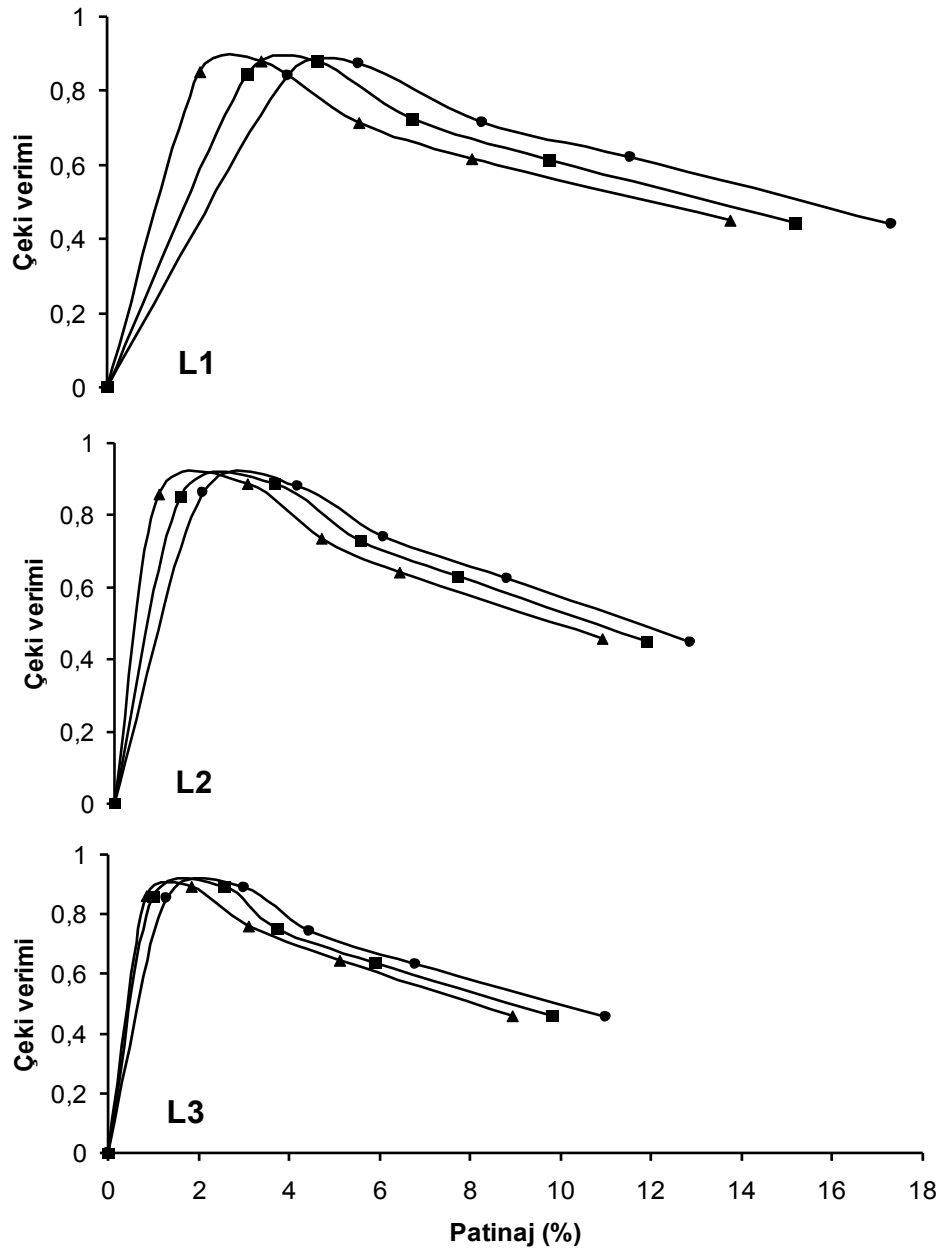
Şekil 4.45. Asfalt zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %2 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.8-4.8 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.46).



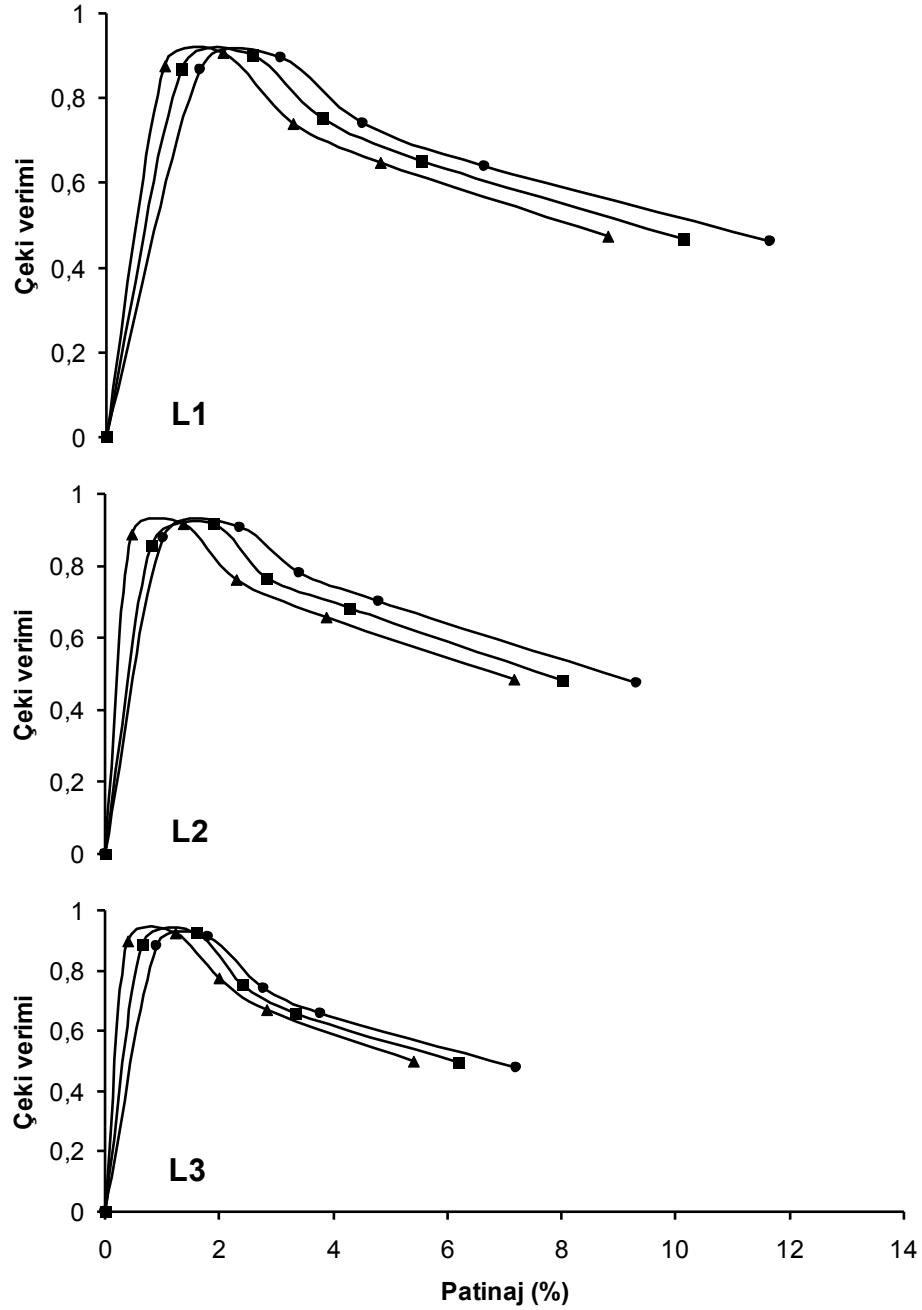
Şekil 4.46. Asfalt zeminde B₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %1, %1 ve %1 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %3 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.8-5.4 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.47). Asfalt zeminde çapraz katlı lastiklerde, lastik iç basınç değişimlerinin çeki verimini çok az etkilediği, aks yükünün daha fazla çeki verimine etkisinin olduğu grafiklerden de açıkça görülmektedir.



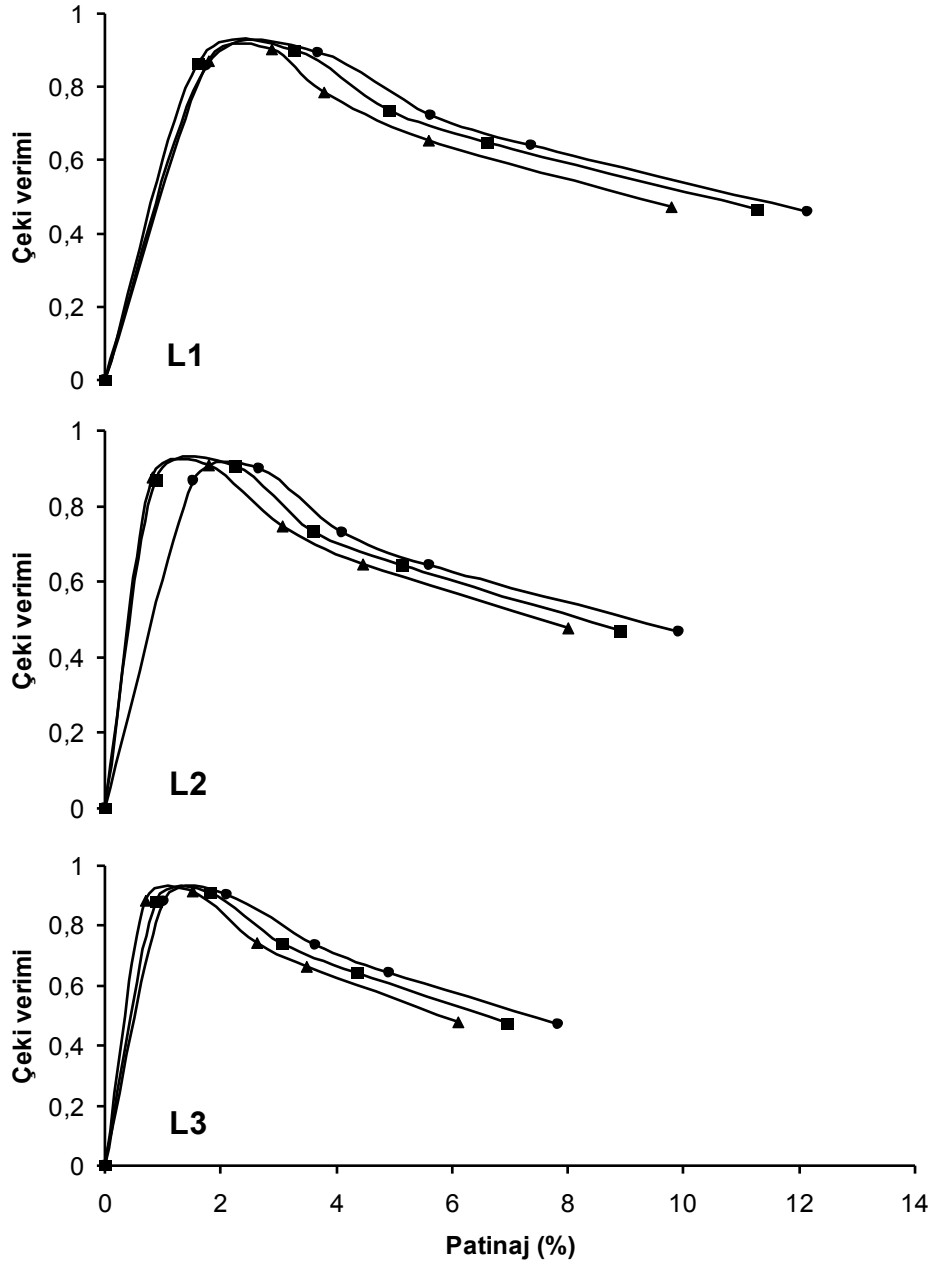
Şekil 4.47. Asfalt zeminde B₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %0 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.2-3 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.48).



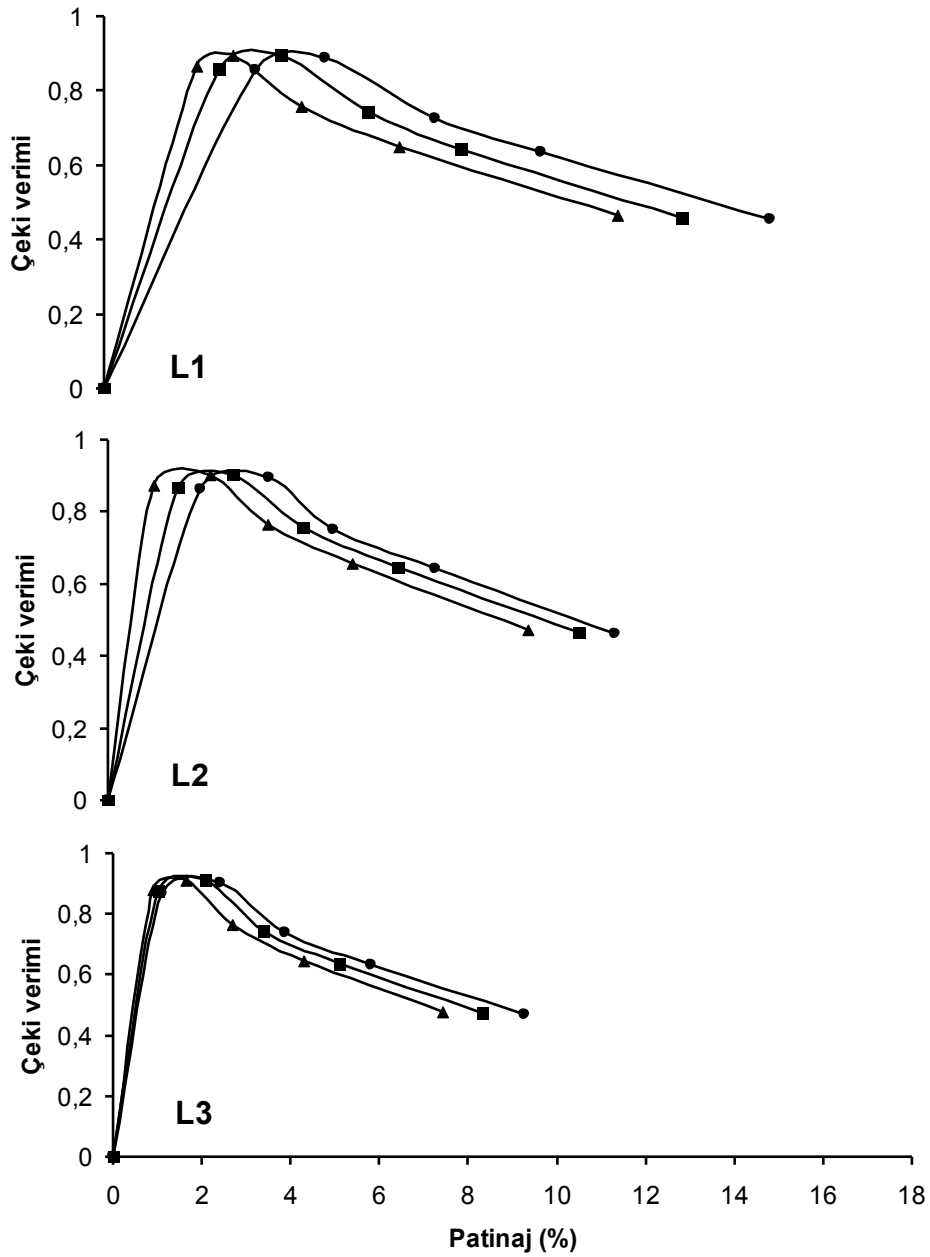
Şekil 4.48. Asfalt zeminde R_1 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L_1 : 3.5, L_2 : 5, L_3 : 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %3, %2 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %1 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.5-3.6 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.49).



Şekil 4.49. Asfalt zeminde R₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %1 ve %1 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %2 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.6-4.8 patinaj ve 0.19-0.36 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.50). Asfalt zeminde radyal lastiklerin iç basıncındaki değişim aks yükü artışına nazaran çeki verimini biraz daha fazla etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.50. Asfalt zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

Radyal lastiklerde ortalama çeki verimi çapraz lastiklere göre %2 daha fazla bulunmuştur. Sümer (2005), beton zemin üzerinde yaptığı deneylerde radyal lastik kullanımının çapraz lastik tekerlek kullanımına kıyasla, küçük avantajlar sağladığını saptamıştır. Lastik iç basıncında %20 oranında bir azalma çeki veriminin %2 artmasına neden olmuştur. Bashford ve ark. (1993) sert zeminde lastik iç basıncındaki artışın çeki verimini azalttığını belirtmişlerdir. Artan lastik aks yüküne bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinde %2'lük bir artış gözlenmiştir. Küçüksarıyıldız (2006), beton zemin üzerinde yaptığı denemelerinde, artan aks yüküne bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinin % 4.03 arttığını ifade etmiştir.

Lastik profil yüksekliği arttıkça çeki verimi %2 oranında artmıştır. Gee-clough ve ark. (1977) profil yüksekliğinin artmasının yuvarlanma direnç katsayısına ve çeki verimine önemli etkisinin olduğunu söylemektedir.

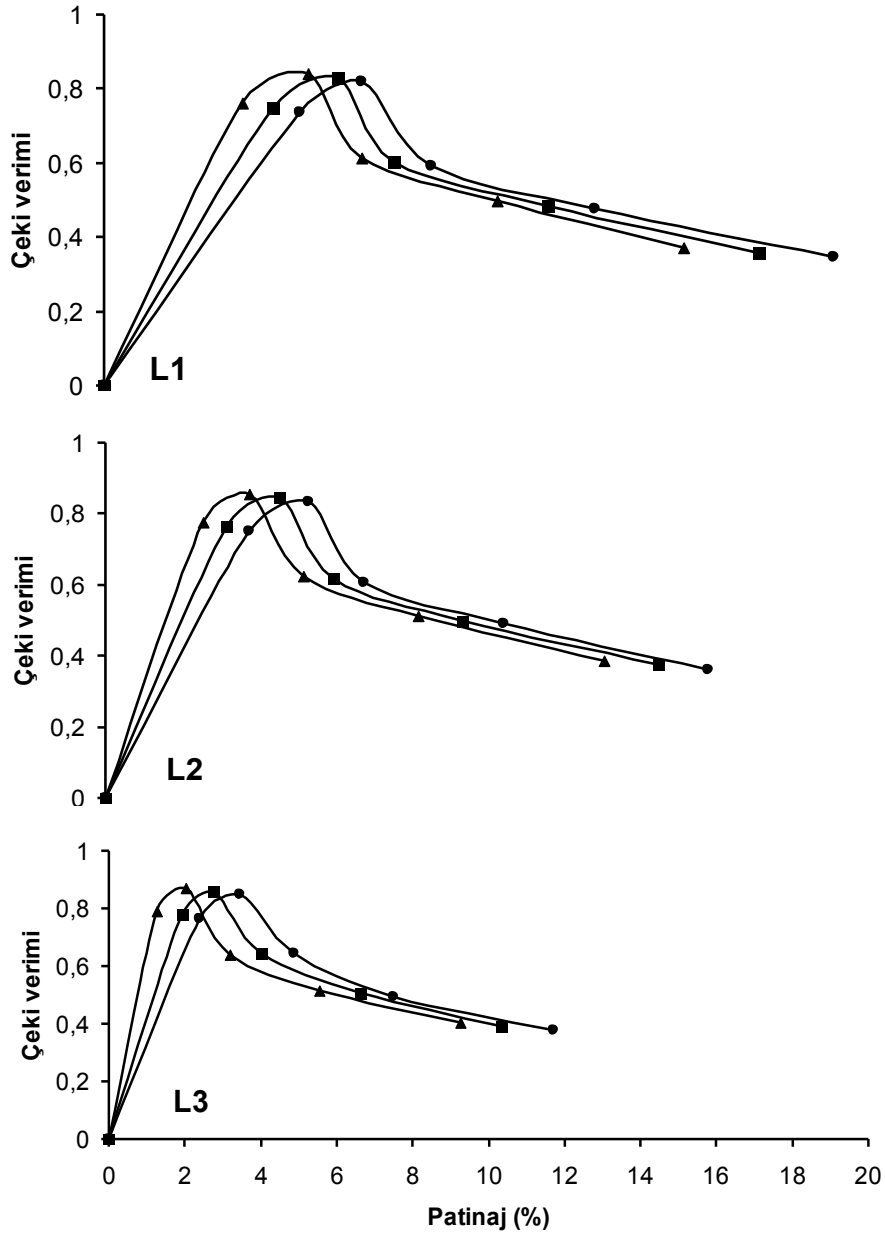
Asfalt zeminde çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının çeki verimliliği üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P < 0.01$).

Çizelge 4.6. Asfalt zeminde çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	0.015	227.51**
Profil Yüksekliği (PY)	2	0.004	59.01**
Aks Yüğü (AY)	2	0.005	74.33**
İç Basınç (Pi)	2	0.003	43.21**
LT*PY*AY*P _i	8	0.00	0.275 _{ns}
Hata	216	0.00	-
Genel	269	0.025	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli ($P < 0.01$)			
LT	PY	AY	P_i
(B) 0.716 _a	(PY1) 0.731 _a	(L ₁) 0.715 _a	(P ₁) 0.718 _a
(R) 0.731 _b	(PY2) 0.720 _b	(L ₂) 0.725 _b	(P ₂) 0.723 _b
	(PY3) 0.718 _c	(L ₃) 0.729 _c	(P ₃) 0.729 _c
LSD (%5) : 0.002	0.002	0.002	0.002

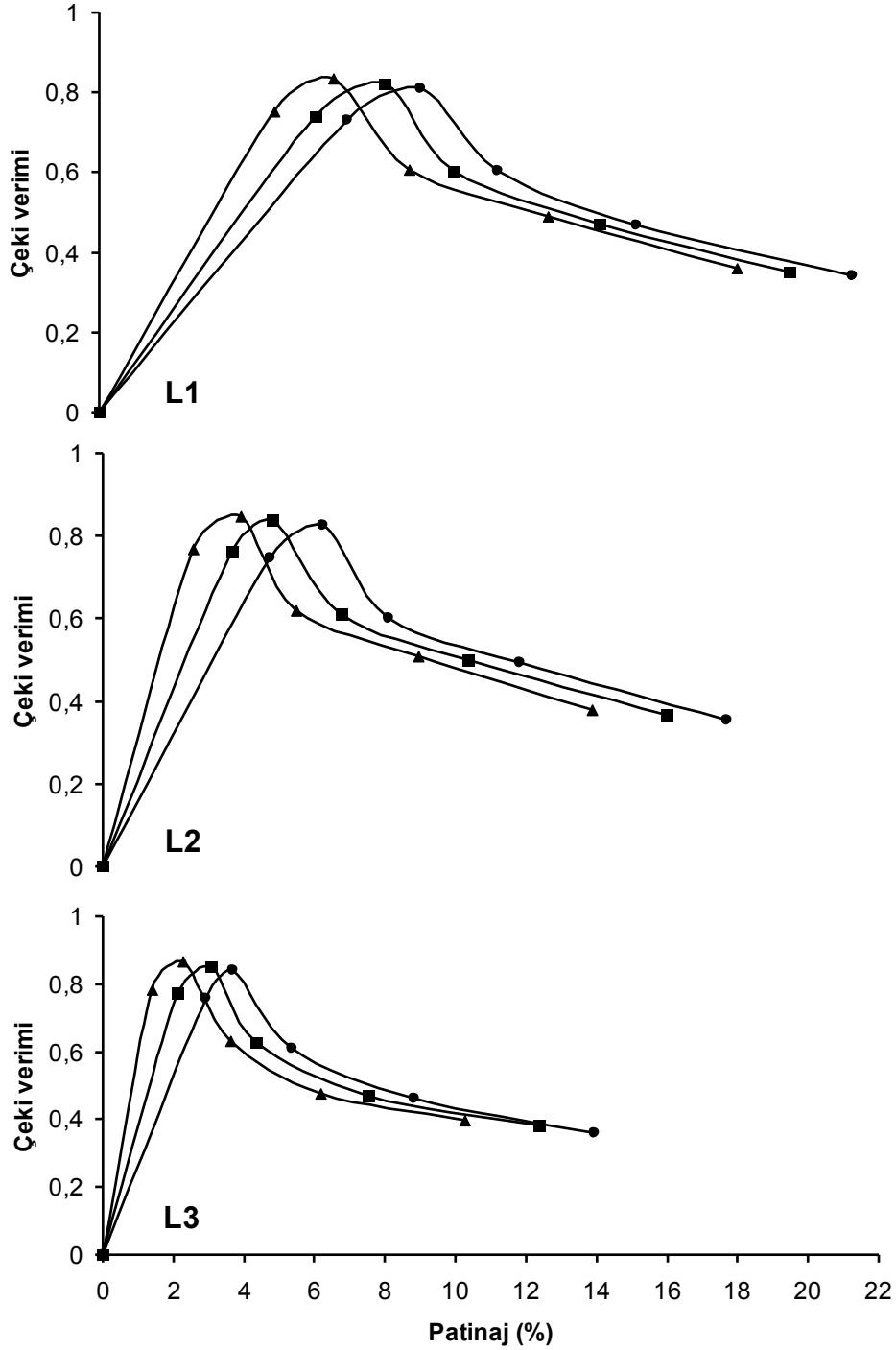
Stabilize zeminde farklı yapısal ve işletme parametrelerine sahip muharrik lastiğin patinaja bağlı olarak çeki verimliliğinin değişimi Şekil 4.51-4.56'de verilmiştir.

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %4, %4 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %2-6.4 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.51).



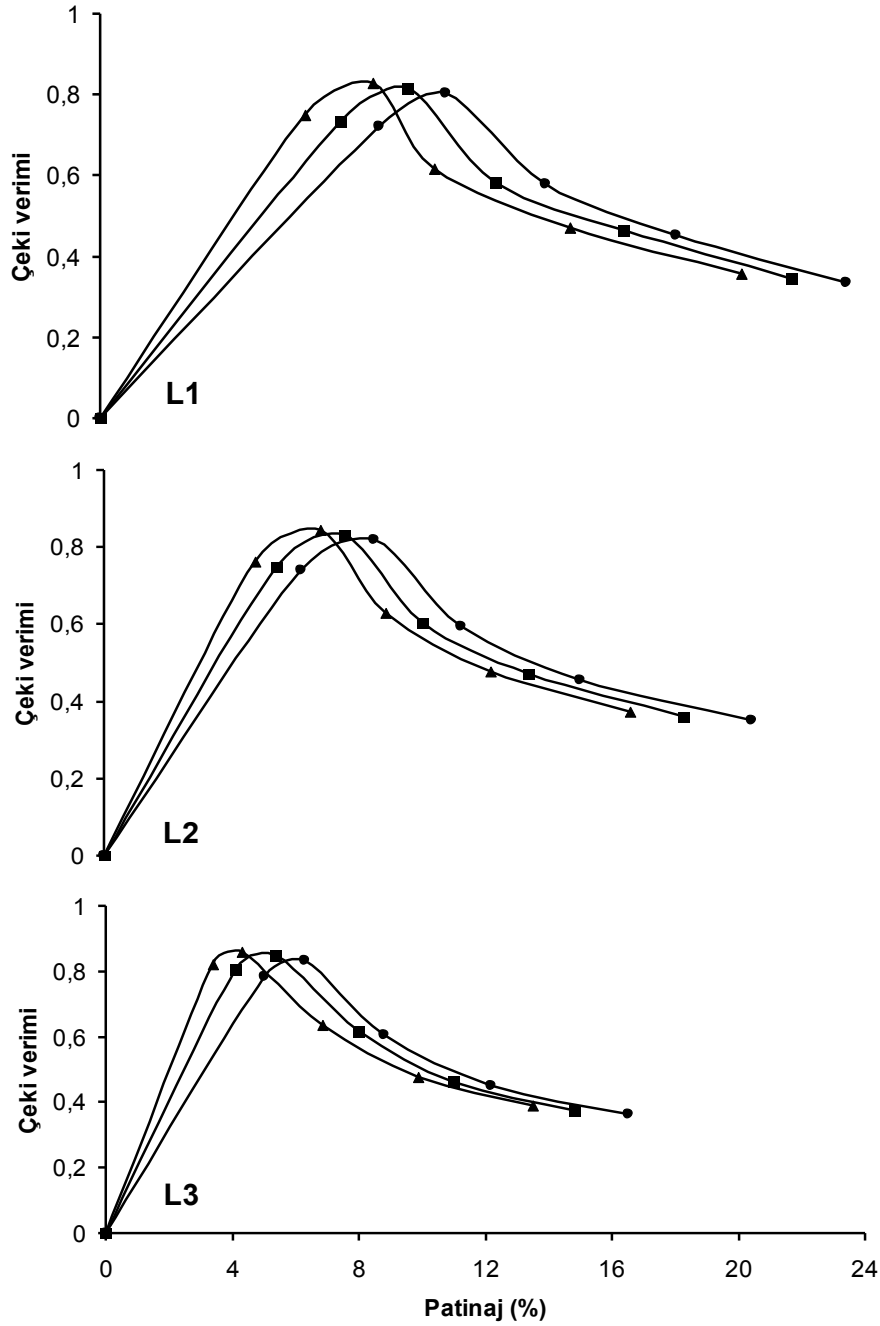
Şekil 4.51. Stabilize zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %3, %3 ve %4 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %3 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %2.3-8.9 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.52).



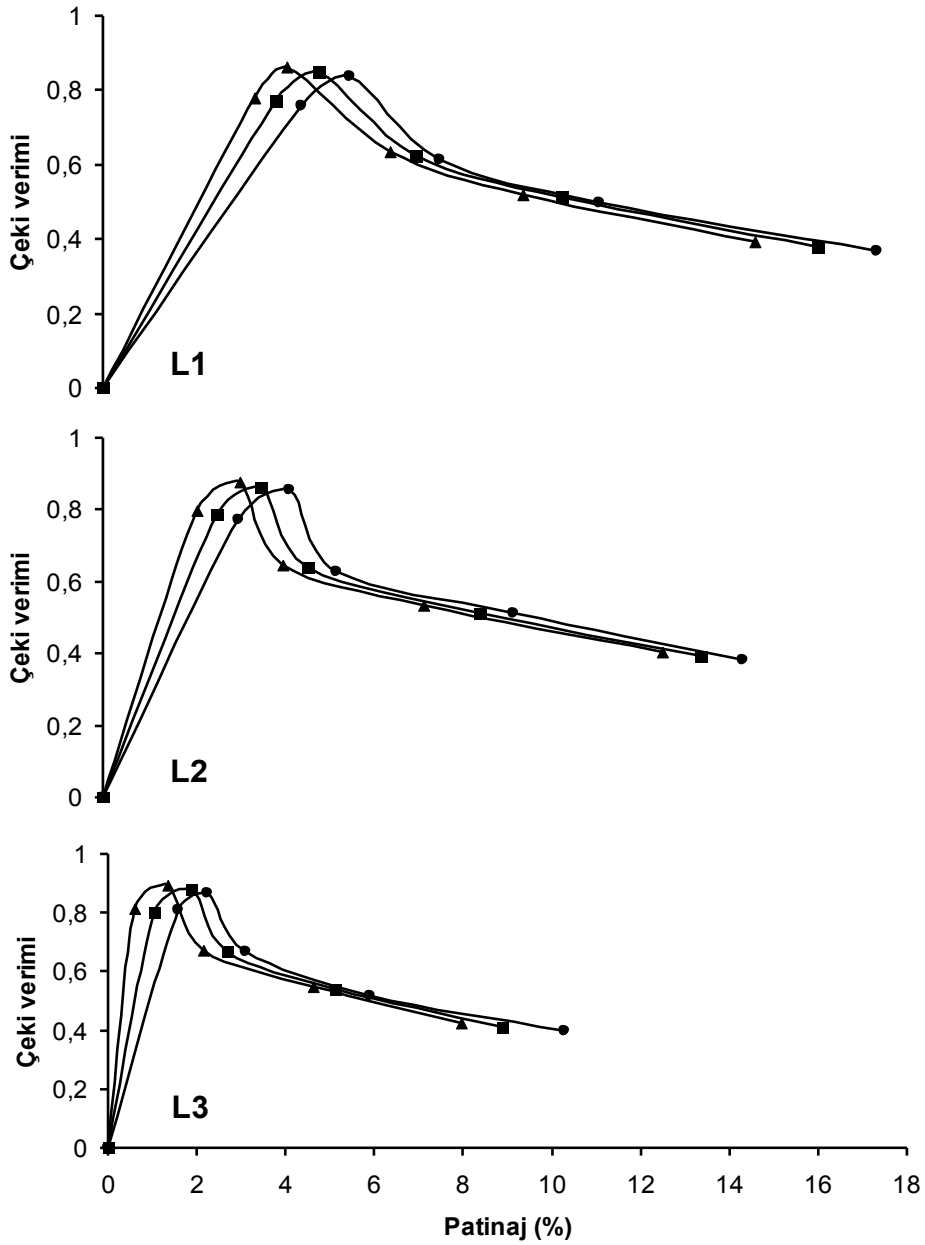
Şekil 4.52. Stabilize zeminde B₂ lastiğın patinaja bağılı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %5, %5 ve %5 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %6 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %4.3-10.5 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.53). Stabilize zeminde hem lastik iç basınçlarındaki değişimin, hem de aks yükündeki artışın, çeki verimi üzerinde yaklaşık aynı oranda etkili olduğu görülmektedir.



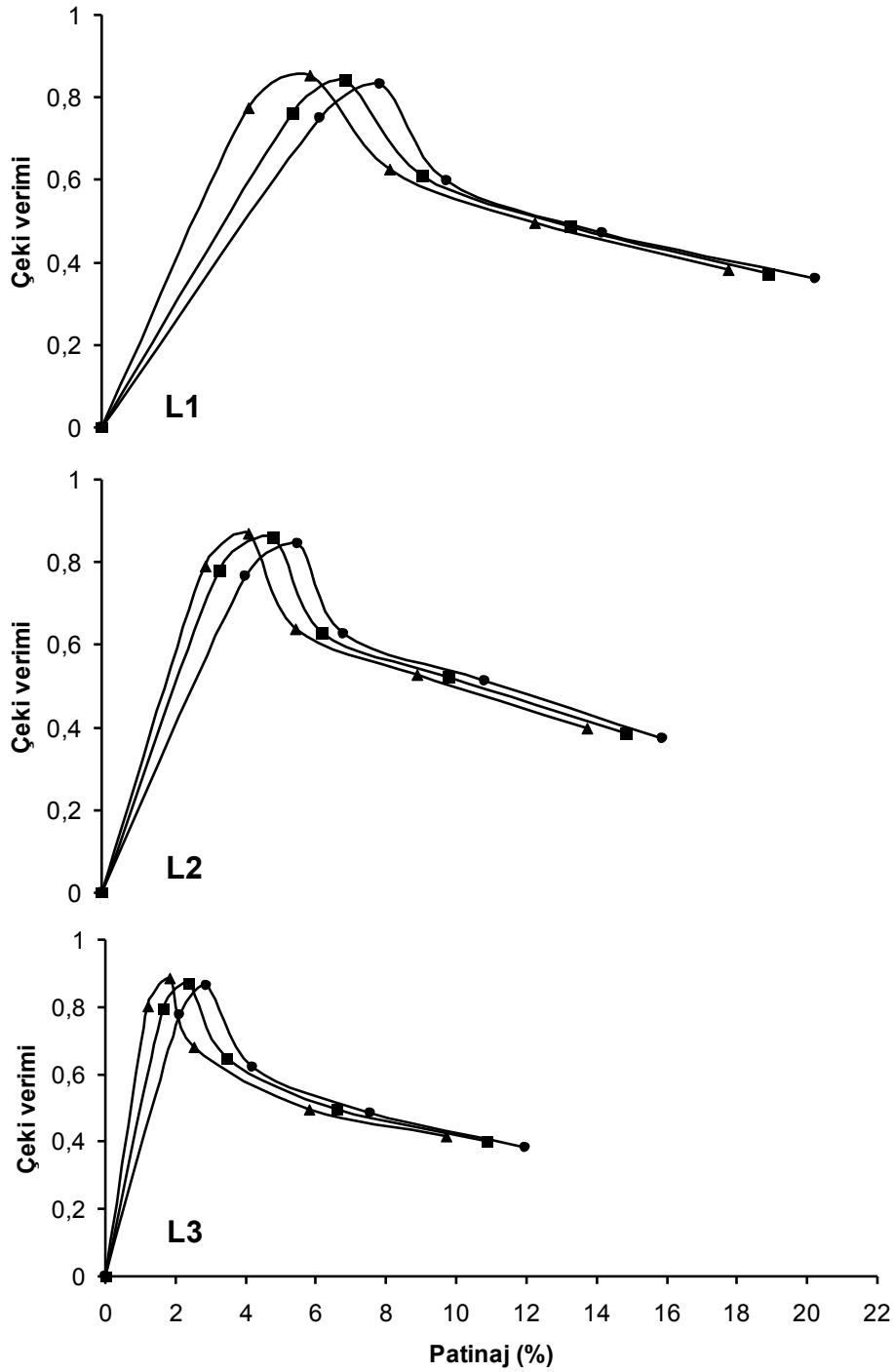
Şekil 4.53. Stabilize zeminde B₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %4, %4 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.3-5.4 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.54).



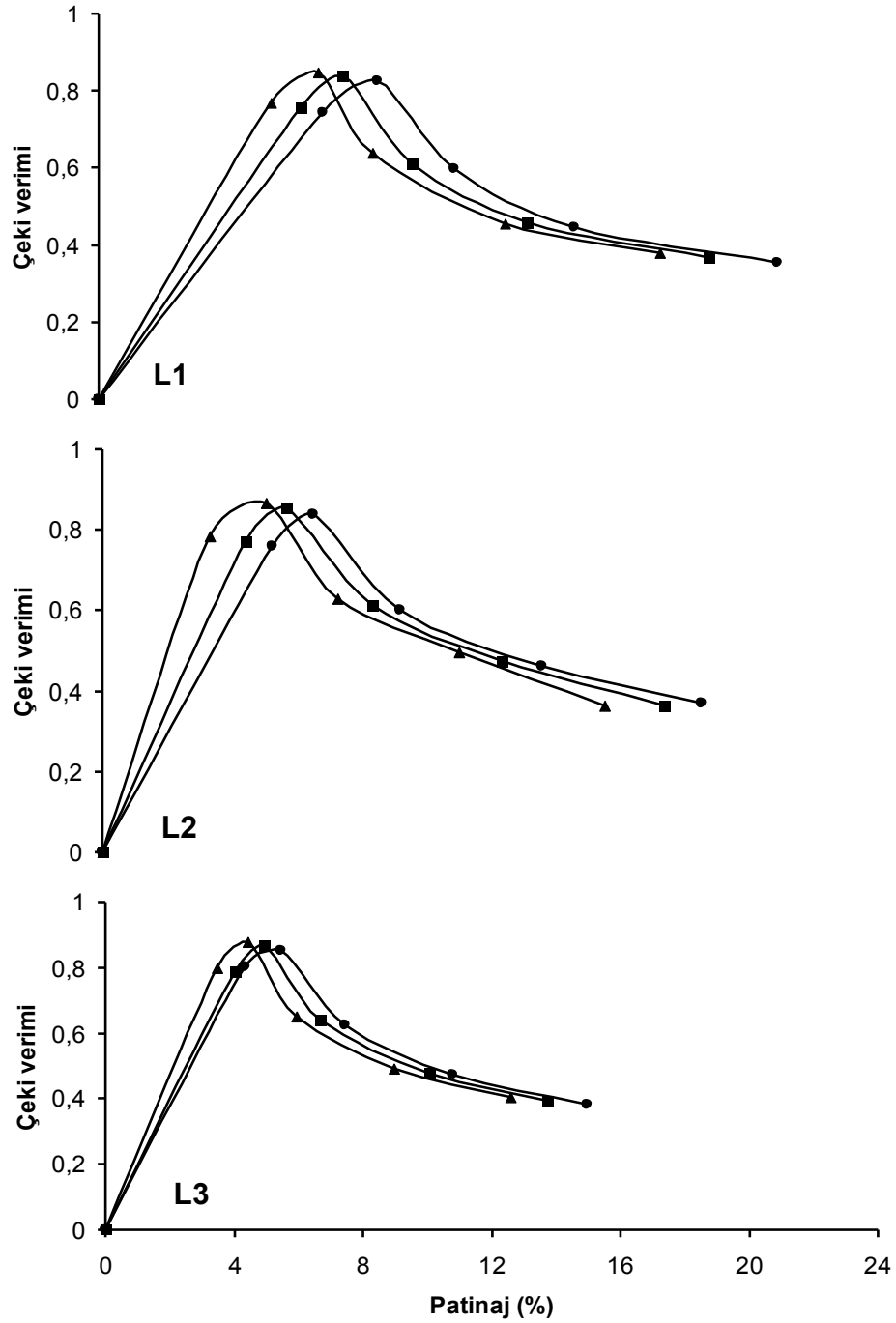
Şekil 4.54. Stabilize zeminde R_1 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L_1 : 3.5, L_2 : 5, L_3 : 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %4, %4 ve %5 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %4 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %1.8-7.6 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Stabilize zeminde R_2 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L_1 : 3.5, L_2 : 5, L_3 : 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %4, %4 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %4.4-8.8 patinaj ve 0.23-0.42 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.56). Stabilize zeminde lastik iç basınçları ve aks yükü değişimi verimi aynı oranda etkilemiştir.



Şekil 4.56. Stabilize zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

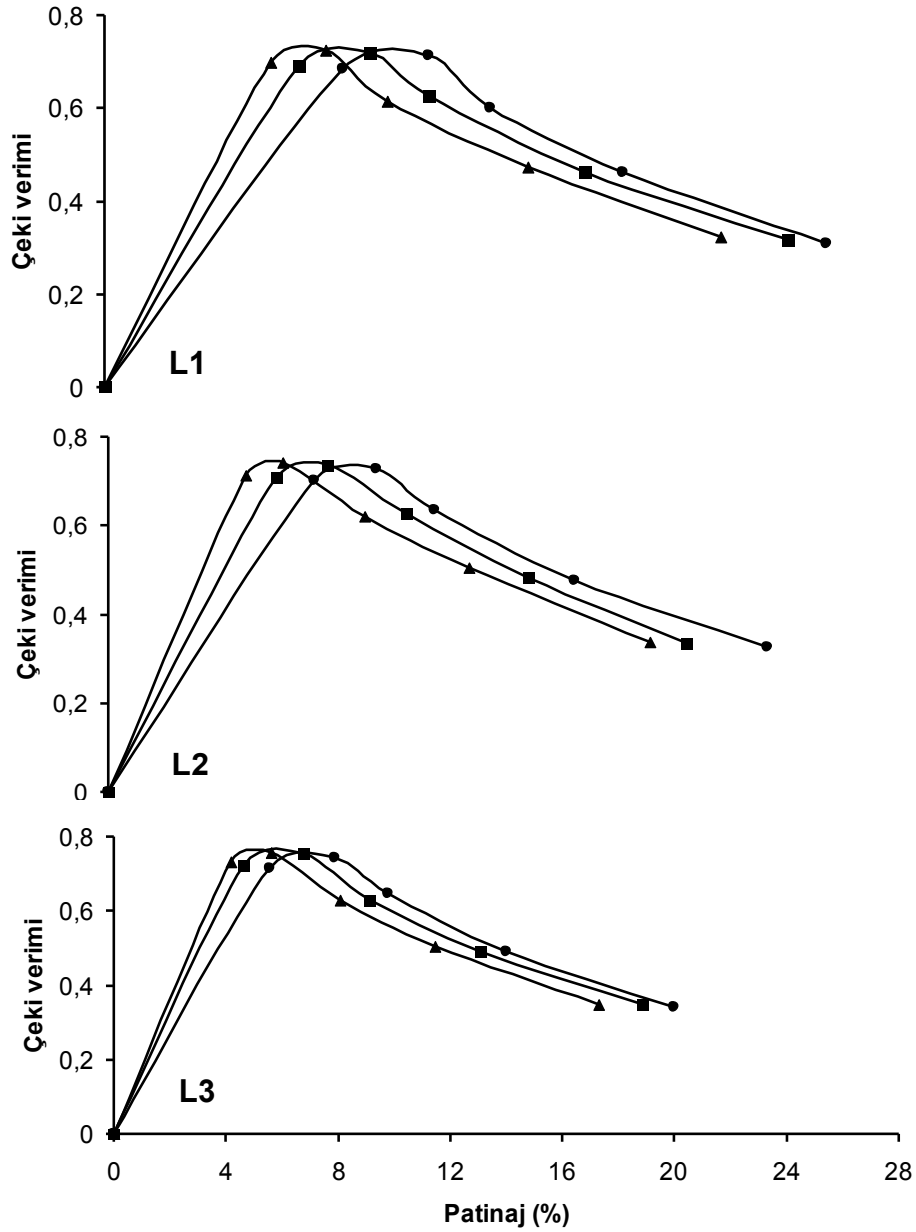
Stabilize zeminde çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil yüksekliğinin, aks yükünün ve lastik iç basıncının patinaj üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P<0.01$). Çeki verimliliği, daha büyük iz düşüm alanına sahip radyal lastikte yaklaşık %3 daha fazla bulunmuştur. Artan lastik aks yüküne bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinde %5’lik bir artış gözlenmiştir. Artan lastik iç basıncı ve lastik profil yüksekliğine bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinin yaklaşık %4 azaldığı gözlenmiştir. Maksimum çeki verimi stabilize zeminde %89 olarak radyal lastikte elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Stabilize zeminde çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	0.022	207.33**
Profil Yüksekliği (PY)	2	0.008	74.54**
Aks Yüğü (AY)	2	0.018	168.46**
İç Basıncı (Pi)	2	0.012	11.73**
LT*PY*AY*Pi	8	0.00	0.089 _{ns}
Hata	216	0.00	-
Genel	269	0.031	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli ($P<0.01$)			
LT	PY	AY	Pi
(B) 0.613 _a	(PY1) 0.631 _a	(L ₁) 0.607 _a	(P ₁) 0.610 _a
(R) 0.631 _b	(PY2) 0.621 _b	(L ₂) 0.622 _b	(P ₂) 0.621 _b
	(PY3) 0.613 _c	(L ₃) 0.636 _c	(P ₃) 0.633 _c
LSD (%5) : 0.003	0.003	0.003	0.003

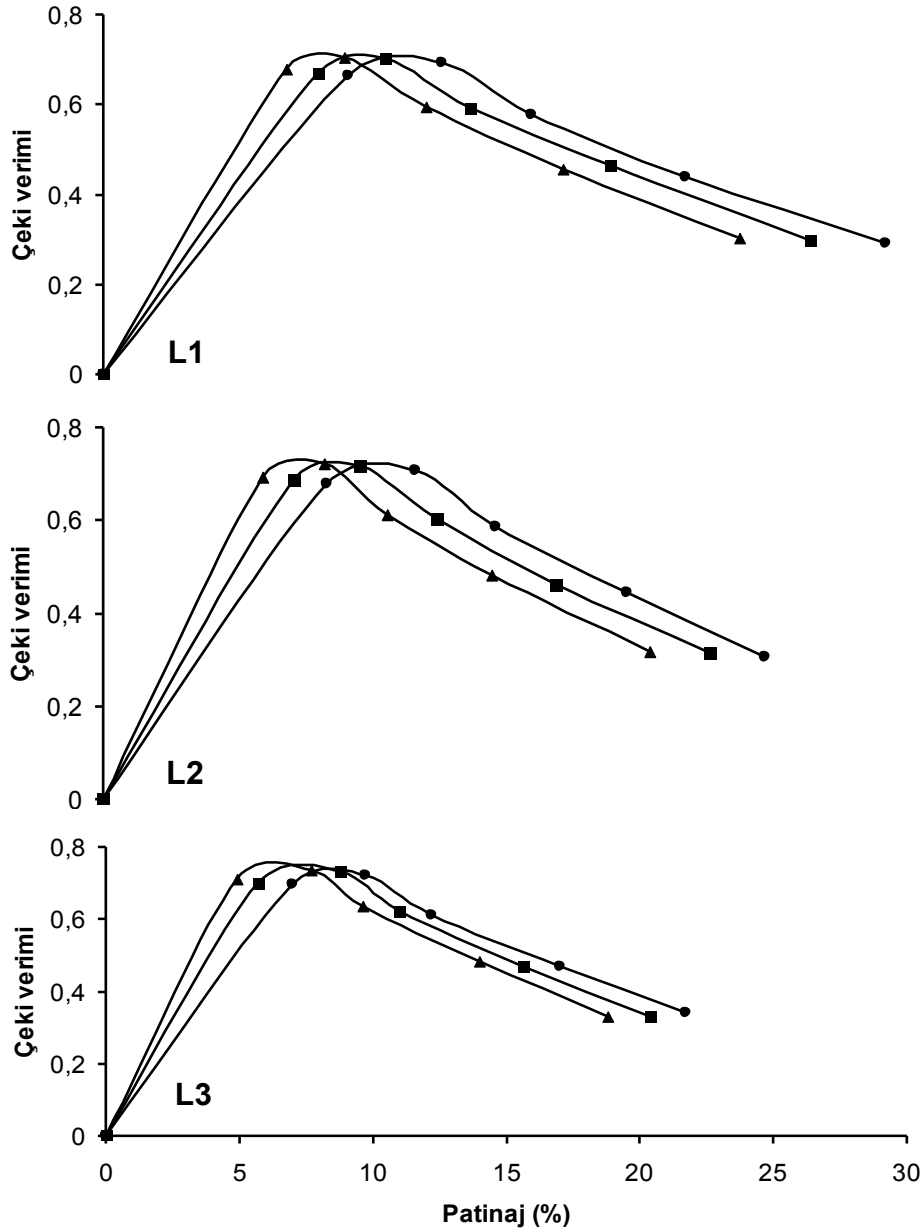
Anız zeminde farklı yapısal ve işletme parametrelerine sahip muharrrik lastiğin patinaja bağlı olarak çeki verimliliğinin değişimi Şekil 4.57-4.62’de verilmiştir.

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %3, %2 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %5.6-11 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.57).



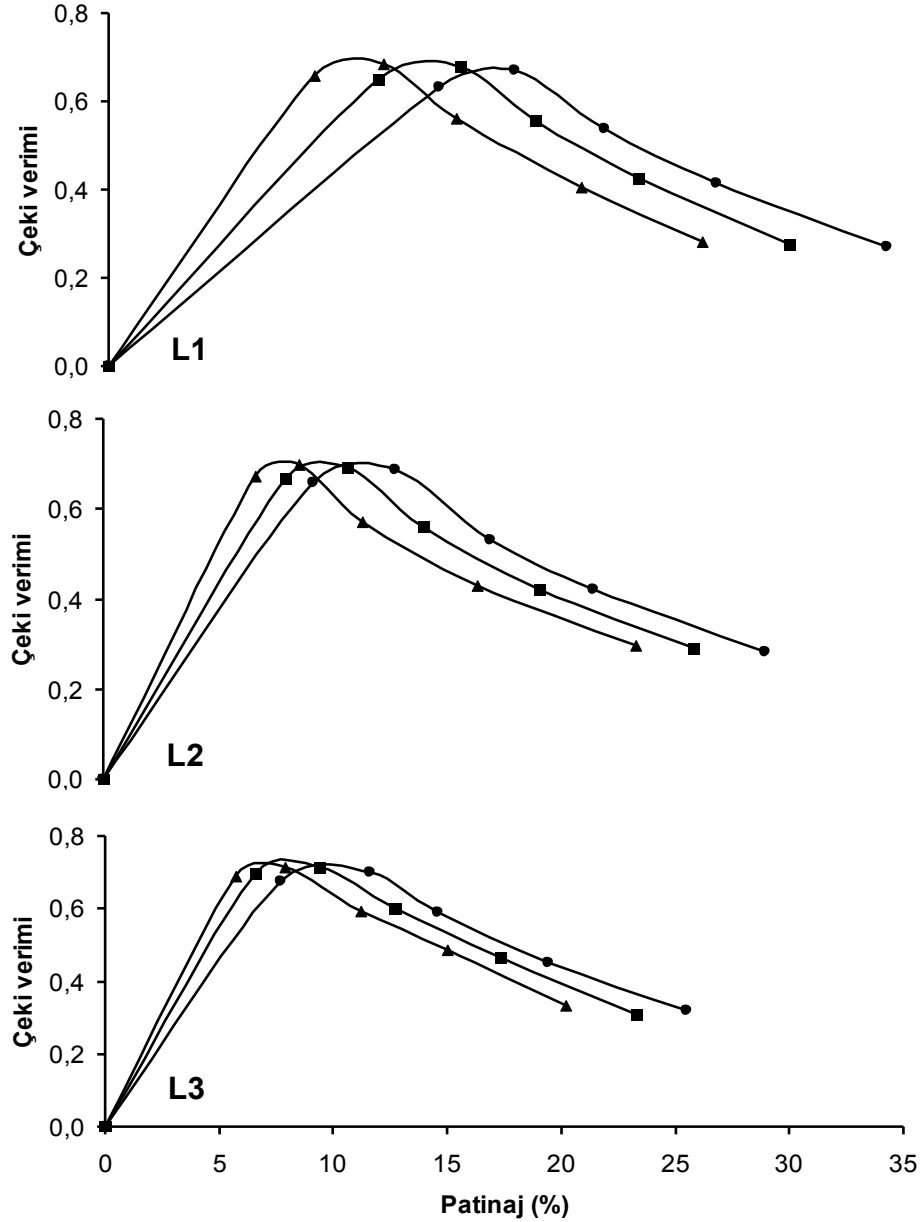
Şekil 4.57. Anız zeminde B₁ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %3, %3 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %6 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %7.7-12.5 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.58).



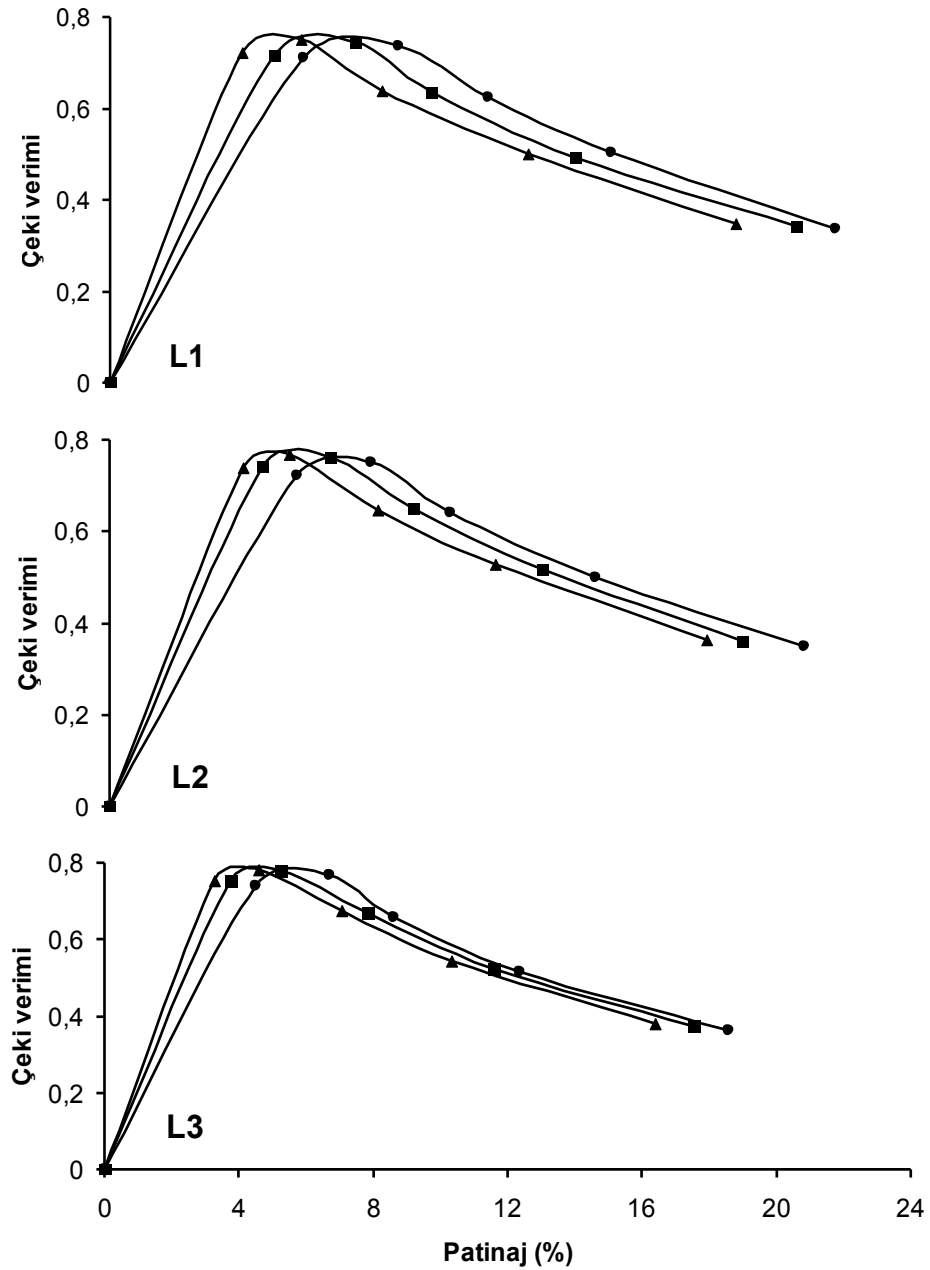
Şekil 4.58. Anız zeminde B₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %3 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %8 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %7.9-17.8 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.59). Anız tarla şartlarında, lastik iç basınçlarındaki değişimin verime etkisi az iken, aks yükünün artışıyla birlikte çeki verimi artmıştır.



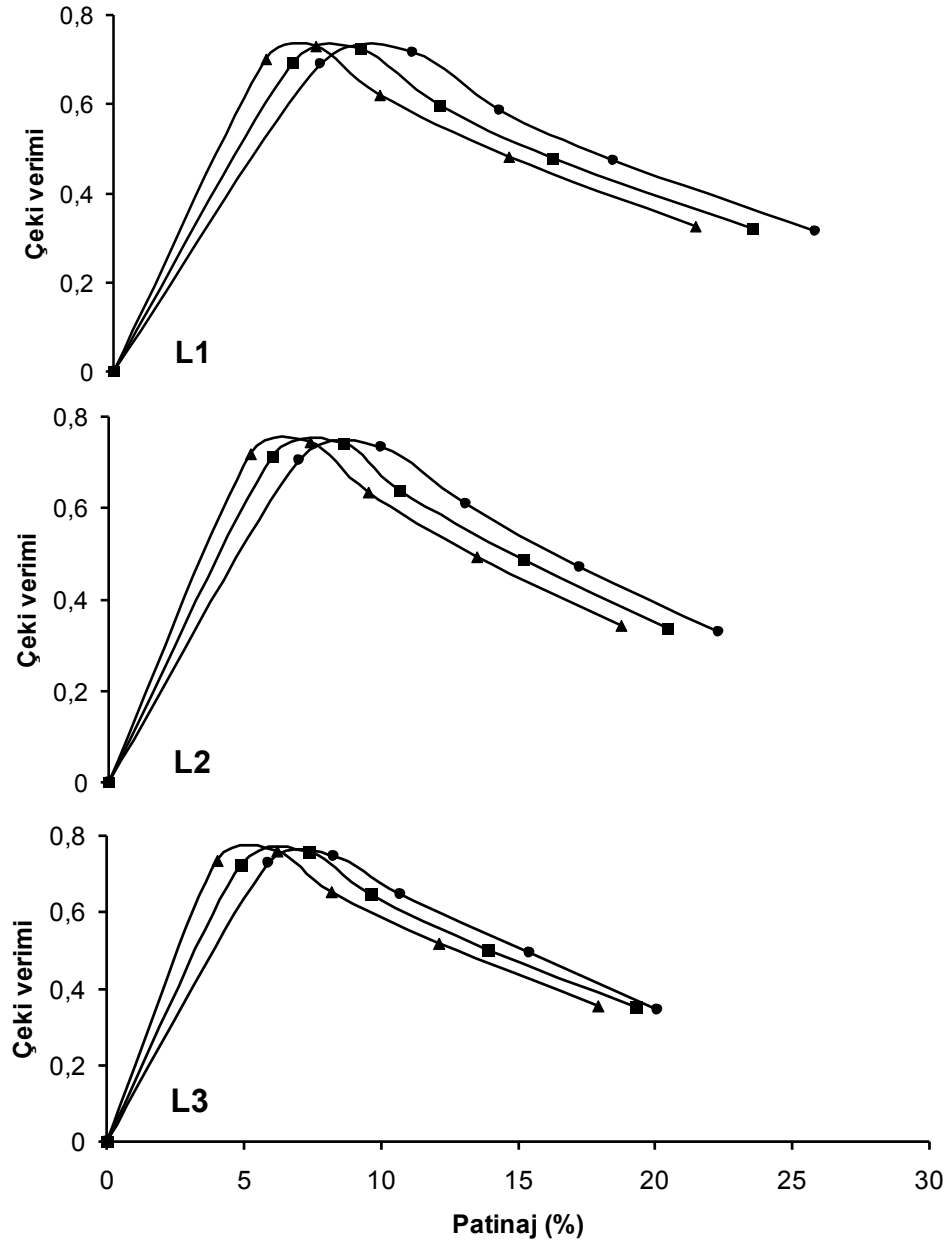
Şekil 4.59. Anız zeminde B₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %2, %3 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %5 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %4.6-8.8 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.60).



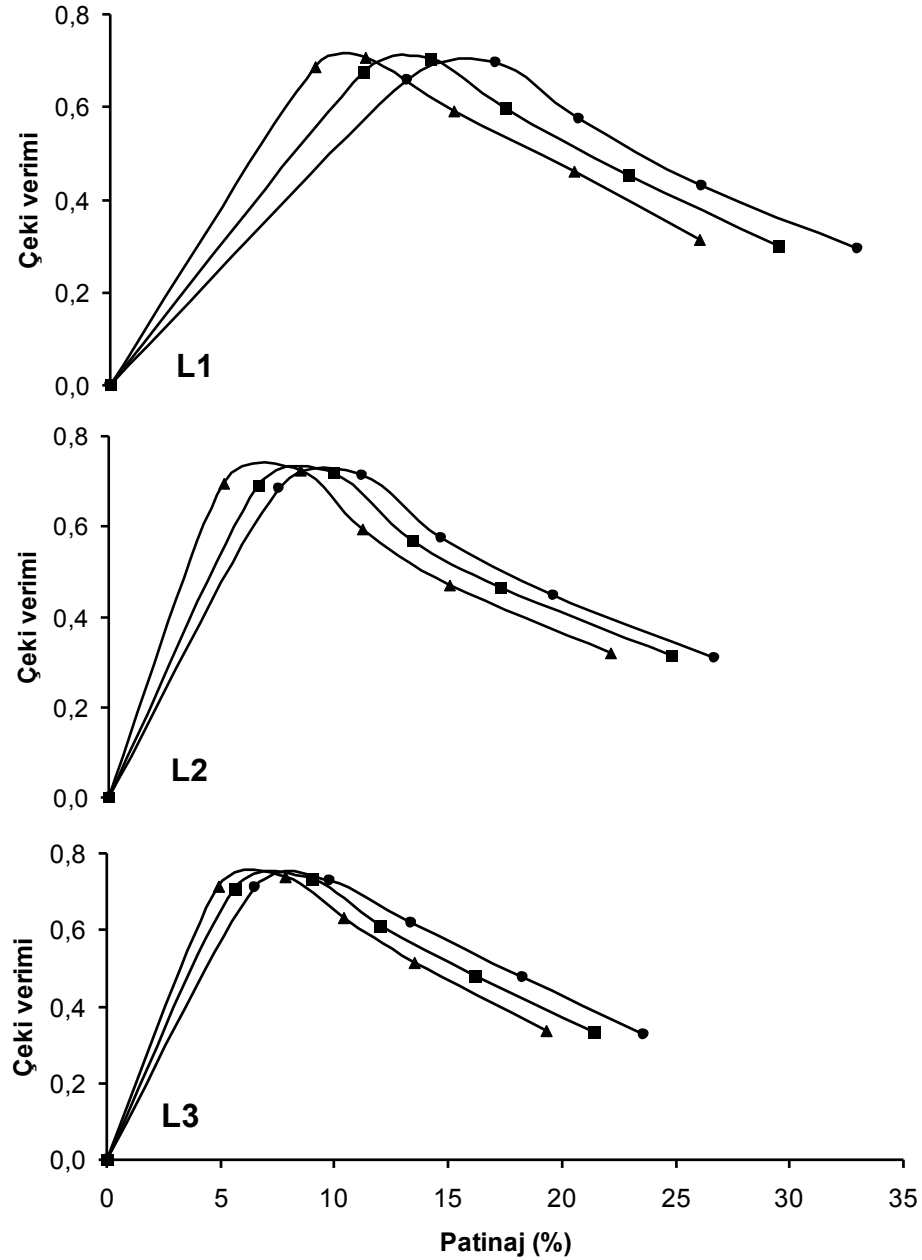
Şekil 4.60. Anız zeminde R_1 lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L_1 : 3.5, L_2 : 5, L_3 : 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %3, %3 ve %2 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %6 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %6.2-11.4 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.61. Anız zeminde R₂ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi
(●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

3.5, 5 ve 6.5 kN lastik yüklerinde; lastik iç basıncında %20 değerindeki bir azalma, sırasıyla çeki veriminin %5, %3 ve %3 artmasına, lastik yükündeki %86 değerindeki bir artış ise çeki veriminin %6 artmasına neden olmuştur. Maksimum verimler; %7.8-16.6 patinaj ve 0.31-0.58 net çeki oranı değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.62).



Şekil 4.62. Anız zeminde R₃ lastiğin patinaja bağlı olarak çeki veriminin değişimi (●: 290, ■: 260, ▲: 230 kPa, L₁: 3.5, L₂: 5, L₃: 6.5 kN)

Anız tarla şartlarında radyal lastiklerin çeki verimi çapraz katlı lastiklerden %5 değerinde daha fazla bir değerdedir. Radyal lastiklerde aynı lastik iç basıncı ve aynı aks yükünde patinaj miktarı çapraz katlı lastiklere göre daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Değirmencioğlu ve Way (2004) çeki veriminin lastik iç basıncı ve patinajın bir fonksiyonu olduğunu, maksimum verimin en düşük basınçta ve %7.5 patinaj değerinde elde edildiğini, patinaj arttıkça çeki veriminin azaldığını, radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre daha fazla çeki verimi sağladıklarını belirtmişlerdir. Özellikle profil yüksekliğinde artışın anız zeminde çeki verimine etkisi büyük olmuştur.

Lastik iç basınçlarındaki %20 değerinde bir azalma çeki veriminin %3 artmasına neden olmuştur. Elwaleed ve ark. (2006) lastik iç basıncında %13 oranında bir azalmanın çeki verimini %2 artırdığını söylemektedirler. Yong ve Eiyoo (1990) lastik iç basıncındaki artışın çeki verimini %6-8 arasında azalttığını bildirmişlerdir.

Maksimum çeki verimliliği çalışma koşullarına bağlı olarak % 4.6-17.8 patinaj değerleri arasında gerçekleşmiştir. Akıncı ve Sabancı (1991), anız ve nadasta en uygun patinaj değerinin %12-17 arasında olduğunu saptamışlardır.

Denemelerde artan aks yüküne bağlı olarak ortalama çeki verimliliği değerleri %6 artmıştır. Aks yükünün artması lastiğin toprağa tutunmasını artırmış ve patinajı düşürmüştür. Burt ve ark. (1983) aks yükü arttıkça çeki veriminde arttığını söylemektedirler. Çarman ve Aydın (2002) aks yükünün %50 oranında artmasının çeki verimini %6 artırdığını bildirmişlerdir.

Anız tarla koşullarında muharrik lastiğin yapısal ve işletme özelliklerine bağlı olarak en küçük çeki verimliliği değeri 0.27 olarak elde edilmiştir. Anız tarla koşullarında çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları lastik tipinin, profil yüksekliğinin, iç basıncın ve aks yükünün çeki verimliliği üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir ($P < 0.01$).

Çizelge 4.8. Anız zeminde çeki verimliliği değerleri üzerinde yapılan varyans analizi ve LSD testi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Lastik Tipi (LT)	1	0.044	834.991**
Profil Yüksekliği (PY)	2	0.044	845.287**
Aks Yüğü (AY)	2	0.026	497.970**
İç Basınç (Pi)	2	0.005	97.233**
LT*PY*AY*Pi	8	0.00	0.643 _{ns}
Hata	216	0.00	-
Genel	269	0.023	-
** İstatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli (P<0.01)			
LT	PY	AY	Pi
(B) 0.555 _a	(PY1) 0.590 _a	(L ₁) 0.552 _a	(P ₁) 0.560 _a
(R) 0.581 _b	(PY2) 0.569 _b	(L ₂) 0.566 _b	(P ₂) 0.565 _b
	(PY3) 0.545 _c	(L ₃) 0.586 _c	(P ₃) 0.575 _c
LSD (%5) : 0.002	0.002	0.002	0.002

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Sonuç olarak, denemelerde ele alınan kontrollü değişkenlerden lastik tipi, lastik profil yüksekliği, aks yükü ve lastik iç basıncının farklı zemin koşullarındaki değişen patinaj, net çeki oranı ve çeki verimliliği değerleri üzerindeki etkileri aşağıda gibi özetlenebilir:

- Deneylerde kullanılan radyal lastikler çapraz lastiklere göre farklı işletme koşullarında defleksiyona bağlı olarak % 28 daha büyük iz düşüm alanı vermişlerdir
- Artan lastik profil yüksekliğine ve aks yüküne bağlı olarak iz düşüm alanları artarken, artan lastik iç basıncıyla azalmıştır. Aks yükündeki %86'lık bir artış defleksiyon değerinde %77 artışa neden olmuştur. Lastik iç basıncındaki %26 değerindeki bir artış ise defleksiyonu %55 değerinde azaltmıştır.
- Farklı zemin koşullarında kontrollü değişkenlerin, değişen çeki kuvveti değerlerine bağlı olarak elde edilen patinaj değerleri üzerindeki etkilerinin önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$). Her üç zemin koşulu içinde sabit çekme kuvvetinde en büyük patinaj B3L1P1 kombinasyonunda, en düşük ise R1L3P3 kombinasyonunda elde edilmiştir. Anız tarla koşulunda lastiğin tutunmasının diğer zemin koşullarına göre yetersiz olması sebebiyle ortalama patinaj en yüksek olmuştur.
- Çapraz lastiklerde aynı çeki kuvveti değerleri radyal lastiğe göre %13 daha büyük patinaj değerlerinde elde edilmiştir. Buna bağlı olarak %2.7 daha yüksek aks gücü gereksinimi meydana gelmiştir.
- Tüm yüzeylerde artan lastik aks yüküne bağlı olarak patinajda yaklaşık %36'lık bir azalma belirlenmiştir. Kontrollü değişkenlerden aks yükünün patinaj üzerindeki etkisinin daha önemli olduğu söylenebilir.
- Artan lastik profil yüksekliğiyle ortalama patinaj %32 azalırken, artan lastik iç basıncıyla ortalama patinaj %31 artmıştır.
- Net çeki oranı zemin koşullarına ve lastiğin aks yüküne bağlı olarak 0.07 ile 0.93 arasında değişmiştir. Net çeki oranı aks yükündeki artışa bağlı olarak yaklaşık %45 azalmıştır.

- Farklı kombinasyonlarda net çeki oranının 0.39 ila 0.87 aralığında maksimum çeki gücü elde edilmiştir. Net çeki oranı ile çeki gücü arasında fonksiyonel bir ilişki bulunmuştur.
- Maksimum çeki gücü (3.85 kW) anız tarla koşulunda, R1L3P3 kombinasyonunda elde edilmiştir. Mevcut lastiğin tek çeker bir traktörde kullanılması koşulunda, toplam transmisyon kayıpları da dikkate alındığında 10kW'lık motor gücüyle uyumlu çalışabileceği saptanmıştır.
- Üç farklı zeminde muharrrik lastiğin değişen yapısal özellik ve işletme değerlerine bağlı olarak, değişen patinaj değerlerindeki çeki verimliliği değerleri 0.27-0.93 arasında bulunmuştur.
- Maksimum çeki verimliliği asfalt zeminde %93, stabilize zeminde %89 ve anız tarla koşulunda ise %78 değerlerinde elde edilmiştir.
- Maksimum çeki verimliliği asfalt zeminde %1.2-5.4, stabilize zeminde %1.3-10.5 ve anız tarla koşulunda ise %4.6-17.8 patinaj değerleri arasında elde edilmiştir.
- Çeki verimliliği radyal lastiklerde yaklaşık %3.3 daha büyük bulunmuştur. Her üç zemin koşulunda da lastik tipinin çeki verimliliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.01$).
- Azalan lastik profil yüksekliğine bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinde küçük azalmalar olmasına karşın, lastik profil yüksekliğinin çeki verimliliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.01$).
- Artan lastik aks yüküne bağlı olarak ortalama çeki verimliliği %4.3 artmıştır. Her üç zemin koşulunda da aks yükünün çeki verimliliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.01$).
- Artan lastik iç basıncına bağlı olarak çeki verimliliği değerlerinde küçük azalmalar olmasına karşın, lastik iç basıncının çeki verimliliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

5.2. Öneriler

Radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklere göre sağladığı avantajlar çalışmamızda elde edilen veriler ışığında tüm parametreler için görülmektedir. Benzer şekilde, önceki çalışmalarda da; radyal lastiğin çeki performansının çapraz katlı lastiklere oranla daha yüksek olduğu sonuçlarına varılmıştır. Aynı zamanda, radyal lastiklerin ömrü daha uzun

ve titreşimleri sönümleme özelliği de dikkate alındığında radyal lastikler çapraz katlı lastiklerden daha kullanışlı olduğu görülmektedir (Sümer, 2005). Ancak radyal lastiklerin satın alma bedellerinin çapraz katlı lastiklere nazaran yüksek oluşu, çiftçinin daha ziyade çapraz katlı lastik tercih etmelerine neden olmaktadır. Radyal lastiklerin performansa katkıları dikkate alındığında maliyet arasındaki fark geri kazanılabilir.

Araştırmalarımız sırasında, benzer ölçülerde lastik kullanan beş farklı marka bahçe traktörünün motor gücü – lastik uyumu dikkate alındığında, iki farklı marka traktörde motor gücünün yetersiz kaldığı, diğer 3 farklı marka traktörde ise motor güçlerinin yüksek fakat kullanılan lastiklerin geliştirebilecekleri çeki güçlerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu traktörlerde motor güçlerinin yaklaşık %30-45'i çeki gücüne dönüşebilmektedir. Bu traktörlerde motor gücü verimli kullanılmadığından yakıt tüketimleri de artmaktadır.

Asfalt zeminde radyal ve çapraz katlı lastik kullanımının diğer zeminlere göre çok fazla bir avantaj sağladığı söylenemez. Daha ziyade taşımaya yönelik tarım işlerinde her iki lastikte birbirine yakın performans özelliği ile tercih edilebilir. Anız tarla koşullarında yüksek performansları sayesinde radyal lastikler tercih sebebi olabilir. Çapraz katlı lastiklerin yanaklarının stabil olması nedeniyle meyilli ve orman arazileri için kullanımı önerilebilir.

Dinamik aks yükünün artmasıyla toprak sıkışması da artmaktadır. Denemelerde her iki lastik tipi için, çeki performansının aks yüküyle orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu nedenle tarımsal faaliyetlerde optimum bir aks yükünün seçilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca daha güçlü traktör kullanımı yerine, lastik tipi, profil yüksekliği, iç basıncı ve aks yükü gibi parametrelerin iyi seçilerek, mevcut traktör gücünü daha verimli kullanılması da önerilmektedir.

Lastik profil yüksekliğini azalması çeki veriminin düşmesine neden olmaktadır. Elde edilen sonuçlar lastik üreticilerinin lastik profil tasarımlarının uygun olduğunu göstermektedir. Lastikler aşındıkça lastiğin tutunma katsayısının azaldığı ve çeki veriminin düştüğü konusunda kullanıcıların bilgilendirilmesi bakımından çalışma sonuçlarımızın incelenmesi önerilmektedir.

Küçük boyutlarda lastik ölçülerinin kullanıldığı bahçe traktörleri gibi yol dışı araçların çeki performansı üzerinde dünyada çok az çalışma ve bilgi mevcuttur. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda lastik ölçüsünün, profil şeklinin ve benzeri özelliklerinin, farklı zemin koşullarındaki yuvarlanma direnci ve çeki performansı değerlerinin belirlendiği çalışmalar önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Gawwad, K. A., Crolla, D. A., Soliman, A. M. A., El-Sayed, F. M., 1999a, Off-road tyre modelling I: the multi-spoke tyre model modified to include the effect of straight lugs, *Journal of Terramechanics*, 36, 3-24.
- Abd El-Gawwad, K. A., Crolla, D. A., Soliman, A. M. A., El-Sayed, F. M., 1999b, Off-road tyre modelling II: effect of camber on tyre performance, *Journal of Terramechanics*, 36, 25-38.
- Abd El-Gawwad, K. A., Crolla, D. A., Soliman, A. M. A., El-Sayed, F. M., 1999c, Off-road tyre modelling III: effect of angled lugs on tyre performance, *Journal of Terramechanics*, 36, 63-75.
- Akıncı, İ. ve Sabancı, A., 1991, Türkiye’de traktörlerin farklı koşullarda iş başarıları. *13. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, Konya, 125-128.
- Al-Hamed, S. A., Grisso, R. D., Zoz, F. M., Von Bargen, K., 1994, Tractor performance spreadsheet for radial tires, *Computers and Electronics in Agriculture*, 10, 45-62.
- Asi, I. M., 2007, Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes, *Building and Environment*, 42, 325-329.
- Bahadır, M., Şeflek, A. Y., Çarman, K., Sonmete, M. H., 2009, Harman makinalarındaki batör milinin sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5 (2), 161-165.
- Bashford, L. L., Al-Hamed, S., Jenane, C., 1993, Effects of tire size and inflation pressure on tractive performance, *American Society of Agricultural Engineers*, 9 (4), 343-348.
- Bashford, L. L. and Kocher, M. F., 1999, Wide tires, narrow tires, *International OFF-Highway&Powerplant Congress*, Indiana, 1-7.
- Bosch, R., 1986, Automotive Handbook, *Robert Bosch GmbH*, Germany.
- Brixius, W. W., 1987, Traction prediction equations for bias ply tires, *ASAE Paper No, 87-1622. St. Joseph (MI) 49085-9659: ASAE*.
- Burt, E. C., Reaves, C. A., Bailey, A. C., Pickering, W. D., 1980, A machine for testing tractor tires in soil bins. *Transactions of the ASAE*, 23 (3), 546-552.
- Burt, E. C. and Bailey, A. C., 1982, Load and inflation pressure effects on tires, *Transactions of the ASAE*, 25 (4), 881-884.
- Burt, E. C., Lyne, P. W. L., Meiring, P., Keen, J. F., 1983, Balast and inflation effects on tire efficiency, *Transactions of the ASAE*, 26 (5), 1352-1354.
- Casady, W. W., 1997, Tractor tire and ballast management, *University Extension, University of Missouri Columbia*, G1235, 1-4.

- Çarman, K., 1997, Effect of different tillage systems on soil properties and wheat yield in middle anatolia, *Soil & Tillage Research*, 40, 201-207.
- Çarman, K., 2001, 7.0-18 Ölçülerindeki bir radyal lastiğin çeki performansı ve enerji tüketiminin belirlenmesi, *S.Ü. Araştırma Fonu Proje No:99-021*, Konya.
- Çarman, K. and Aydın, C., 2002, Load and velocity effects on tire, *International Conference on Agricultural Engineering*, Budapest.
- Çarman, K. and Dünyamalıoğlu, F., 2003, Modelling tractive performance for drive wheel, *Mathematical & Computational Applications*, 8 (1), 49-54.
- Çarman, K. ve Şeflek, A. Y., 2005, Lastik defleksiyonu-temas alanı ilişkisinin değerlendirilmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1 (1), 49-54.
- Çetinkaya, S., 2005, Taşıt mekaniği, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 93-120.
- Degirmenciuglu, A. and Way, T. R., 2004, Tractive performance comparison of radial-ply and bias-ply agricultural tractor drive tires, *Journal of Yugoslav Scientific Society of Agricultural Engeering*, 10 (1-4), 1-8.
- Diserens, E., 2009, Calculating the contact area of trailer tyres in the field, *Soil & Tillage Research*, 103, 302-309.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., Gürbüz, F., 1987, Araştırma Deneme Metotları (İstatistik Metotları II), *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Yayın No:1021, Ankara.
- Dwyer, M. J., 1984, The tractive performance of wheeled vehicles, *Journal of Terramechanics*, 21(1), 19-34.
- Elashry, E. R., 1990, The tractive characteristics of a wide low pressure tire and conventional tire under different soil conditions, 4. *Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi*, Adana, 824-837.
- Elwaleed, A.K., Yahya, A., Zohadie, M., Ahmad, D., Kheiralla, A. F., 2006a, Effect of inflation pressure on motion resistance ratio of a high-lug agricultural tyre, *Journal of Terramechanics*, 43, 69-84.
- Elwaleed, A.K., Yahya, A., Zohadie, M., Ahmad, D., Kheiralla, A. F., 2006b, Net traction ratio prediction for high-lug agricultural tyre, *Journal of Terramechanics*, 43, 119-139.
- Esch, J. H., 1987, Tractive performance of rubber belt track and four Wheel drive agricultural tractors. *Unpublished M.S. Thesis, University of Nebraska*.
- Ferhadbegović, B., Brinkmann, C., Kutzbach, H. D., 2005, Dynamic longitudinal model for agricultural tyres, *Proceedings of the 15th International Conference of the ISTVS Hayama*, Japan, 1-13.

- Fervers, C. W., 2004, Improved FEM simulation model for tire–soil interaction, *Journal of Terramechanics*, 41, 87-100.
- Gee-clough, D., Mcallister, M., Evernden, D.W., 1977a, Tractive performance of tractor drive tyres, I. The effect of lug height, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 373-384.
- Gee-clough, D., Mcallister, M., Evernden, D.W., 1977b, Tractive performance of tractor drive tyres, II. A comparison of radial and cross-ply carcass construction, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 385-395.
- Gee-clough, D., Mcallister, M., Evernden, D.W., 1977c, Tractive performance of tractor drive tyres, III. Running in the furrow Bottom, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 396-404.
- Genç, İ., 2007, 4 Kademeli Paserellannın Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 33-34.
- Grisso, R., 1995, Radial tractor tires performance that counts, *University of Nebraska-Lincoln Extension Publications*, 1-8.
- Grisso, R., Perumpral, J., Zoz, F., 2006, An empirical model for tractive performance of rubber-tracks in agricultural soils, *Journal of Terramechanics*, 43, 225-236.
- Gülsoylu, E. ve Keçecioglu, G., 1992, Optimum traktör çeki performansı için ağırlık/güç oranının çeşitli traktörlerde incelenmesi, *14. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, Samsun, 337-345.
- Kawase, Y., Nakashima, H., Oida, A., 2006, An indoor traction measurement system for agricultural tires, *Journal of Terramechanics*, 43, 317-327.
- Kongsuwan, S. and Phetcharat, S., 2003, Rubber asphalt composition and application in road pavement, *Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering (RSID4)*, Bangkok, Thailand, 1-10.
- Kumar, P. G. V. and Dewangan, K. N., 2004, Deflection and contact characteristics of a power tiller tyre, *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, January, 1-8.
- Kural, H., 1998, Tarım makinalarında kullanılan 7.50-16 taşıyıcı tip lastik tekerleğin yuvarlanma direnci ve toprak sıkışmasına etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 38-40.
- Kurjenluoma, J., Alakukku, L., Ahokas, J., 2009, Rolling resistance and rut formation by implement tyres on tilled clay soil, *Journal of Terramechanics*, 46, 267-275.
- Küçüksarıyıldız, H., 2006, Traktörlerde çeki performansı üzerine bazı faktörlerin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 17-21.

- Lee, D. R. and Kim, K. U., 1997, Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires, *Journal of Terramechanics*, 34 (3), 187-208.
- Macmillan, R. H., 2002, The mechanics of tractor - implement performance, *University of Melbourne*, Melbourne, 1-165.
- Monroe, G. E. and Burt, E. C., 1989, Wide frame tractive vehicle for controlled-traffic research, *Applied Eng. in Agric.*, 5 (1), 40-43.
- Nice, K., 2011, How tires work [online], <http://auto.howstuffworks.com/tire1.htm> [Ziyaret Tarihi: 21 Ekim 2010].
- Okello, J. A., 1991, A review of soil strength measurement techniques for prediction of terrain vehicle performance, *Journal of Agriculture Engineering Research*, 50, 129-155.
- O'Sullivan, M. F., Henshall, J. K., Dickson, J. W., 1999, A simplified method for estimating soil compaction, *Soil & Tillage Research*, 49, 325-335.
- Öğüt, H., 1998, Tarım traktörleri, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No;23*, Konya, 126-133.
- Özgöz, E. ve Okursoy, R., 2001, Lastik tekerlekli traktörlerde lastik basıncı ile toprak sıkışıklığı arasındaki ilişkiler, *20. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, Şanlıurfa, 130-133.
- Plackett, C. W., 1984, The ground pressure of some agricultural tyres at low load and with zero sinkage, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 19, 156-166.
- Pope, R. G., 1971, The effect of wheel speed on rolling resistance, *Journal of Terramechanics*, 8 (1), 51-58.
- Raheman, H. and Singh, R., 2004, Steering forces on undriven tractor Wheel, *Journal of Terramechanics*, 40, 161-178.
- Raper, R. L., Bailey, A. C., Burt, E. C., Way, T. R., Liberati, P., 1995, Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses, *Transactions of the ASAE*, 38 (3), 685-689.
- Rummer, R and Ashmore, C., 1986, Factors affecting the rolling resistance of rubber-tired skidders, *ASAE Paper # 86-1611. St. Joseph (MI) 49085: ASAE*.
- Sabancı, A., 1993, Tarım traktörleri, *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:46, Ders Kitapları Yayın No: 9*, Adana.
- Saral, A., 1984, Tarım traktörleri, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No; 948*, Ankara, 152-187.
- Scwanghart, H., 1991, Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil, *Journal of Terramechanics*, 28 (4), 309-318.

- Sharma, A. K. and Pandey, K .P., 2001, Matching tyre size to weight, speed and power available for maximising pulling ability of agricultural tractors, *Journal of Terramechanics*, 38, 89-97.
- Shmulevich, I., Ronai, D., Wolf, D., 1996, A new field single wheel tester, *Journal of Terramechanics*, 33 (3), 133-141.
- Shmulevich, I. and Osetinskya, A., 2003, Traction performance of a pushed/pulled drive wheel, *Journal of Terramechanics*, 40, 33-50.
- Smerda, T. and Cupera, J., 2010, Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance - Energetic indicators of a tractor set, *Journal of Terramechanics*, 47, 395-400.
- Sümer, S. K., 2005, Değişik lastik ve tekerlek düzenlemelerinin traktör çeki verimine etkileri üzerinde bir araştırma, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 91-140.
- Takahashi, T., Hada, M., Oyama, K., Sakai, H., 2004, New model of tire overturning moment characteristics and analysis of their influence on vehicle rollover behavior, *Vehicle System Dynamics*, 42 (1-2), 109-118.
- Terzi, S., Karaşahin, M., Saltan, M., Tuncuk, M., Ertem, F.S., Yılmaz, A., Varış, M., Taciroğlu, M., 2009, Birden fazla tabakalı sathi kaplamaların fiziksel özelliklerinin araştırılması, *5.Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara.
- Tiwari, V. K., Pandey, K .P., Sharma, A. K., 2009, Development of a tyre traction testing facility, *Journal of Terramechanics*, 46, 293-298.
- Tiwari, V. K., Pandey, K .P., Pranav, P. K., 2010, A review on traction prediction equations, *Journal of Terramechanics*, 47, 191-199.
- Topakçı, M., Çelik, H.K., Yılmaz, D., Akıncı, İ., 2008, Stress analysis on transmission gears of a rotary tiller using finite element method, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 155-160.
- Tönük, E. ve Ünlüsoy, Y. S., 2001, Otomobil lastiklerinin yan kuvvet karakteristiklerinin sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi. *Mühendis ve Makine*, 42 (494), 16-20.
- Turnage, G. W., 1972, Tire selection and performance prediction for off-road wheeled vehicle operations, In: Proceedings of the fourth int conf on terrain vehicle systems, vol. 1; p61.
- Turner, R. J., 1995, Comparison of two and four track machines to rubber tire tractors in prairie soil conditions, *International OFF-Highway&Powerplant Congres*, Wisconsin, 1-14.
- Upadhyaya, S. K. and Wulfsohn, D., 1989, An overview of traction research at University of California, Davis, *California Agriculture*, March-April, 15-17.

- Upadhyaya, S. K. and Wulfsohn, D., 1990, Relationship between tire deflection characteristics and 2D-tire contact area, *Transactions of the ASAE*, 33 (1), 25-30.
- Wismer, R. D. and Luth H. J., 1974, Off-road traction prediction for wheeled vehicles, *Transactions of the ASAE*, 17 (14), 8-10.
- Wong, J. Y., Theory of ground vehicles, 2001, 3, *John Wiley & Sons*, Canada, 3-87.
- Way, T. R. and Kishimoto, T., 2004, Interface pressures of a tractor drive tyre on structured and loose soils, *Biosystems Engineering*, 87 (3), 375-386.
- Way, T. R., 2009, Three single wheel machines for traction and soil compaction research, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 11, 1-24.
- Yong, R. N. and Eiyoo, F., 1990, Road surface roughness and tyre performance, *Journal of Terramechanics*, 27 (3), 219-239.
- Zeytinoğlu, M., 2002, Sonlu elemanlar yöntemi ile pulluk deve boynunun mukavemet analizi üzerine bir araştırma, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 169-176.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şerafettin Ekinci
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas 1971
Telefon : 0 332 223 3338
Faks : 0 332 241 2179
e-mail : sekinci@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Sivas Teknik Lisesi, Sivas	1990
Üniversite	: Gazi Üniversitesi, Çankaya, Ankara	2001
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2005
Doktora	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1992-1994	Türk Demir Döküm Yetkili Servisi	Servis Teknisyeni
1995-1996	Sivas Milli Eğitim Müdürlüğü	Vekil Öğretmen
1998-2001	Yaşa-Yaldız Sürücü Kursları	Usta Öğretici

UZMANLIK ALANI

Otomotiv, Taşıt Mekaniği, Mekatronik

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Ekinci, Ş., Akdemir A., Düzcükoğlu H., 2006, "Tuz Banyosunda Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliği Üzerindeki Aşınmaya Etkisi" 11. Uluslararası Malzeme Srempozyumu, 629-633, Denizli. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Ekinci, Ş., Akdemir, A., 2011, "Nitrürlenmiş AISI 4140 Çeliline Uygulanan Yükün Aşınma Hızına Etkisi" Teknik Online Dergisi, 10 (1), 38-52. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Ekinci, Ş., Akdemir, A., Demirci, M. T., 2011, "Effect of Surface Roughness of Salt Bath Nitrated AISI 4140 to the Wear Rate" 6. International Advanced Technologies Symposium, 431-435, Elazığ. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Ekinci, Ş., Çarman, K., 2011, "Effects on Tire Contact Area of Tire Structural and Operational Parameters" 6. International Advanced Technologies Symposium, 171-174, Elazığ. (Doktora tezinden yapılmıştır)