



**BİR RADYAL YOLCU TAŞIT LASTİĞİNDE ÇELİK KORD SARIM AÇISI
VE POLYAMİD KORDLAR ARASI AÇIKLIĞIN LASTİK
PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Sıla Göksu YURTOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sıla Göksu YURTOĞLU

22/11/2024

BİR RADYAL YOLCU TAŞIT LASTİĞİNDE ÇELİK KORD SARIM AÇISI VE
POLYAMİD KORDLAR ARASI AÇIKLIĞIN LASTİK PERFORMANSINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Sıla Göksu YURTOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2024

ÖZET

Lastik performansı birden fazla parametreye bağlıdır. Lastiğin tasarımı bu parametrelerden biridir. Tasarımda değişiklikler yapılarak lastik performansı artırılabilir. Yapılan bu çalışmada lastik yapısında bulunan çelik kordların sarım açısı ve polyamid kordlar arasındaki açıklıklar değiştirilerek, bu değişimler sonucunda lastiğin temas yüzeyine, yuvarlanma direncine ve lastiğe etkiyen dış kuvvetler varyasyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Çelik kord sarımı açısı olarak 22°, 24°, 26° ve 28°, polyamid kord arasındaki açıklık olarak ise boşluksuz, 3 mm ve 5 mm açıklıklar bu çalışmada test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, çelik kord açısı arttıkça FV değerlerinde genel bir artış gözlemlenmiştir ve en düşük FV değeri 24° çelik kord açısında elde edilmiştir. Polyamid kordlardaki boşluk miktarı arttıkça FV ve RRC değerlerinde de artış görülmüştür. Temas izi alanında en düşük değer 24° çelik kord açısında tespit edilmiştir ve 28° çelik kord açısında belirgin bir artış gözlenmiştir. Polyamid kord boşlukları arttıkça temas izi alanı da artmıştır. RRC testlerinde ise en düşük değer 24° çelik kord açısında ve boşluksuz polyamid sarımlı lastiklerde elde edilmiştir. 24° çelik kord açısının FV değerleri ve temas izi alanında en iyi sonuçlar elde edildiğinden dolayı, optimum performans için 24° çelik kord açısı tercih edilebilir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak lastik performansını artıracak kombinasyonlar yapılabilir, farklı parametreler değiştirilerek daha gelişmiş tasarımlar yapılabilir.

Bilim Kodu : 93006

Anahtar Kelimeler : Lastik, çelik kord, polyamid kord, lastik performansı

Sayfa Adedi : 67

Danışman : Prof. Dr. Can ÇINAR

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE STEEL CORD WINDING ANGLE AND
THE GAP BETWEEN POLYAMIDE CORDS ON TIRE PERFORMANCE
IN A RADIAL PASSENGER CAR TIRE

(M. Sc. Thesis)

Sıla Göksu YURTOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2024

ABSTRACT

The performance of tires depends on multiple parameters. The design of the tire is one of these parameters. By making changes in the design, tire performance can be improved. In this study, the effects of changing the winding angle of the steel cords and the gaps between the polyamide cords on the tire structure were investigated. The impact of these changes on the contact surface of the tire, rolling resistance, and variations in external forces acting on the tire were examined. Steel cord winding angles of 22°, 24°, 26°, and 28°, and polyamide cord gaps of no gap, 3 mm, and 5 mm were tested in this study. According to the test results, a general increase in FV values was observed as the steel cord angle increased, with the lowest FV value obtained at a 24° steel cord angle. As the gap amount in the polyamide cords increased, increases in FV and RRC values were also observed. The lowest contact patch area was detected at a 24° steel cord angle, while a significant increase was observed at a 28° steel cord angle. As the polyamide cord gaps increased, the contact patch area also increased. In the RRC tests, the lowest value was obtained at a 24° steel cord angle and with tires with no gap polyamide winding. The 24° steel cord angle may be preferred for optimal performance, as it provides the best results in FV values and contact patch area. Based on these results, combinations that enhance tire performance can be made, and more advanced designs can be achieved by changing different parameters.

Science Code : 93006

Key Words : Tire, steel cord, polyamide cord, tire performance

Page Number : 67

Supervisor : Prof. Dr. Can ÇINAR

TEŐEKKÖR

Değerli rehberliği ile bu çalışmanın sonuçlanmasında çok bŸyŸk öneme sahip olan sayın hocam ve tez danıőmanım Prof. Dr. Can ÇINAR baőta olmak Ÿzere, deneylerimi gerçekleőtirmeme destek ve imkân sunan mŸdŸrŸm Orhan SOYDAŐ'a, őefim Reőat Can KÖSE'ye, çalışma arkadaőlarıma ve Furkan KANTER'e, hayatımın her alanında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eőim MŸrsel YURTOğLU'na ve hayatıma kattığı değer için sevgili kızım Melinda YURTOğLU'na sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MOTORLU TAŞIT LASTİKLERİ.....	3
2.1. Lastiğin Tarihçesi.....	3
2.2. Lastiğin Yapısı ve Bileşenleri.....	4
2.2.1. Sırt.....	5
2.2.2. Topuk	6
2.2.3. Ply	7
2.2.4. Çelik kordlar (Belt)	9
2.2.5. Polyamid kordlar	10
2.2.6. Yanak	11
2.2.7. Astar	12
2.3. Lastik Çeşitleri.....	12
2.3.1. Çapraz (Diagonal) lastikler	12
2.3.2. Radyal lastikler.....	13
2.4. Radyal Lastiğin Üretim Metodu.....	14

	Sayfa
2.5. Lastik İşaretlerinin Tanımları	15
2.6. Lastik Temas İzi Alanı (Footprint).....	16
2.7. Lastik Yüksek Hız Testi.....	17
2.8. Lastiğin Kuvvet Varyasyonları (Uniformite)	18
2.9. Kuvvet Varyasyonları Terminolojisi.....	18
2.10. Lastiğin Yuvarlanma Direnci Katsayısı (RRC).....	20
2.10.1. Yuvarlanma direnci katsayısı matematiksel modeli	20
3. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	23
4. MATERYAL VE METOD	31
4.1. Test Planı.....	31
4.1.1. Çelik kord sarım açısı	32
4.1.2. Polyamid kordlar arası açıklık	33
4.2. Test Koşulları.....	35
4.2.1. Yuvarlanma direnci katsayısı için test koşulları	35
4.2.2. Lastik yük varyasyonları (FV) için test koşulları.....	36
4.2.3. Lastik temas izi testi için test koşulları.....	36
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	39
5.1. Kuvvet varyasyonları sonuçları	39
5.2. Temas izi alanı sonuçları.....	43
5.3. Yuvarlanma direnci katsayısı test sonuçları	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hız ve yük indeks tablosu	16
Çizelge 4.1. İlk test planı	30
Çizelge 4.2. Kordların sarımları aralarındaki boşluklara göre yapılan testler	31
Çizelge 4.3. Yuvarlanma direnci katsayısı için deney koşulları	34
Çizelge 4.4. FV test koşulları.....	35
Çizelge 4.5. Temas alanı ölçümü için deney koşulları	36

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lastiğin yapısı.....	5
Şekil 2.2. Dört mevsim ve kış lastiği	6
Şekil 2.3. Polyamid kordların çelik kord üstüne tam sarımı.....	10
Şekil 2.4. Polyamid kordların çelik kord kenarlarına sarımı	11
Şekil 2.5. Çapraz lastik yapısı.....	13
Şekil 2.6. Radyal lastik yapısı.....	13
Şekil 2.7. Lastik üretim aşamaları.....	14
Şekil 2.8. Lastik pişirme aşaması.....	15
Şekil 2.9. Lastik üstünde bulunan işaretler	15
Şekil 2.10. İki farklı temas izi.....	17
Şekil 2.11. Radyal kuvvet ve yanal kuvvet.....	19
Şekil 2.12. Konisite.....	19
Şekil 2.13. Dinamik tekerleğin serbest cisim diyagramı	20
Şekil 4.1. Çelik kord tel sarım açısı	32
Şekil 4.2. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların boşluksuz sarımı.....	33
Şekil 4.3. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 3 mm boşluklu sarımı.....	33
Şekil 4.4. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 5 mm boşluklu sarımı.....	34
Şekil 4.5. FV test cihazı	35
Şekil 5.1. Çelik kord açısına bağlı FV değerleri grafiği	37
Şekil 5.2. 24° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği	38
Şekil 5.3. 22° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği	39
Şekil 5.4. 26° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği	39
Şekil 5.5. 28° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği	40

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. 22° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi	41
Şekil 5.7. 24° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi	41
Şekil 5.8. 26° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi	42
Şekil 5.9. 28° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi	42
Şekil 5.10. Çelik kord açısına bağlı temas izi alan değerleri grafiği	43
Şekil 5.11. 24° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	44
Şekil 5.12. 24° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	44
Şekil 5.13. 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği	45
Şekil 5.14. 22° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	46
Şekil 5.15. 22° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	46
Şekil 5.16. 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği	47
Şekil 5.17. 26° çelik kord ve 3mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	48
Şekil 5.18. 26° çelik kord ve 5mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	48
Şekil 5.19. 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği	49
Şekil 5.20. 28° çelik kord ve 3mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	50
Şekil 5.21. 28° çelik kord ve 5mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi	50
Şekil 5.22. 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği	51
Şekil 5.23. Çelik kord açısına bağlı RRC değerleri grafiği	52
Şekil 5.24. 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği	53
Şekil 5.25. 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği	54
Şekil 5.26. 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği	55
Şekil 5.27. 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Topuk iç yapısı.....	7
Resim 2.2. Yuvarlak topuk yapısı.....	7
Resim 2.3. Yanaktan deforme olmuş ve ply malzemesi ortaya çıkmış lastik.....	8
Resim 2.4. Ply malzemesi kaynaklı yanakta göçüklük ve şişkinlik hataları.....	8
Resim 2.5. Çelik kord malzemesi gözüken lastik kesiti.....	9
Resim 2.6. Üretim kaynaklı çelik kord hatası.....	10
Resim 2.7. İki farklı yanak kalınlığına sahip binek taşı lastiği.....	11
Resim 2.8. Lastik astarı	12
Resim 2.9. Yüksek hız test makinesi.....	18
Resim 4.1. Yuvarlanma direnci test makinesi	34
Resim 4.2. Temas alan izi test cihazı	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
e	Basınç merkezi ve geometrik merkez arası mesafe (m)
F_w	Tahrik kuvveti (N)
f_{ro}	Yuvarlanma direnci katsayısı
G_L	Lastiğin taşıdığı yük
G_w	Lastik ağırlığı
LF_{SY}	Saat yönünde yanıl kuvvet
LF_{SYT}	Saat yönünün tersine yanıl kuvvet
M_a	Lastiğe etkiyen aks torku
rpm	Dakikadaki devir sayısı
mph	Mil bölü saat
Psi	İnç kare başına pound
R_{ro}	Sürtünme direnci
r_w	Lastik yarıçapı (m)
W	Zemin reaksiyonu

Kısaltmalar	Açıklamalar
CON	Konisite
FV	Kuvvet varyasyonu
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
LFV	Yanal kuvvet varyasyonu
RFV	Radyal kuvvet varyasyonu
RRC	Yuvarlanma direnci katsayısı

1. GİRİŞ

Motorlu taşıtlarda performans, güvenlik ve yakıt ekonomisi tüketici beklentilerini karşılamak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Lastikler motorlu taşıtların yol ile temasını sağlayan tek nokta olarak performans, taşıt güvenliği ve yakıt tüketimi açısından kritik öneme sahiptir. Sürücüsün hızlanma, frenleme ve direksiyon çevirme gibi eylemlerini yola yansıtmakta ve aynı zamanda yoldan gelen darbelerin taşıta ve kabine olan etkilerini sönmüleyerek en aza indirmektedir. Bu nedenle, lastiklerin geliştirilmesi ve performanslarının artırılması, hem mühendislik hem de ekonomik açıdan önemli bir araştırma alanıdır.

Son yıllarda, lastik endüstrisinde malzeme bilimi ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler, performansı artırmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla yeni lastik tasarımlarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Lastik performansını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar lastiğin kullanıldığı koşullara, tasarımına ve üretim şekline bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte lastik yüzeyindeki desenler, lastiklerin içerisinde kullanılan çelik, naylon veya polyamid gibi kordlar, yanaklarının esnekliği, kauçuk karışımının bileşimi, lastik iç hava basıncı, lastiğe etkileyen yük ve kullanım hızı, çevre sıcaklığı ve yolun durumu lastiğin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Lastiğin sırt deseni, su tahliyesini ve yol tutuşunu optimize ederken, kullanılan malzemeler lastiğin dayanıklılığını ve sürüş konforunu belirler. Ayrıca, lastiğin doğru hava basıncında kullanılması, hem yakıt ekonomisinin artmasına hem de lastiğin ömrünü uzatmasına katkı sağlar.

Literatürde Karaytuğ tarafından yapılan bir çalışmada lastik iç basıncının temas alanına etkisi araştırılmıştır [1]. Mohsenimanesh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı şişirme basınçları ve yüklerinin lastik-yol temasına etkileri bilgisayar ortamında ve deneysel olarak incelenmiştir [2]. Redrouthu ve Das tarafından yapılan çalışmada lastik basıncı, lastik boyutları, hız ve yük gibi giriş parametreleri ile yuvarlanma direnci hesaplanmıştır [3].

Bu çalışmada lastik performansını doğrudan etkileyen çelik kordların sarım açısı ve polyamid kordlar arası açıklık incelenmiştir. Çelik kord ve polyamid kordlar, lastiklerin

yapısal bütünlüğünü ve performansını belirleyen önemli bileşenlerdir. Çelik kordlar, lastiğin dayanıklılığını ve yol tutuşunu artırırken, polyamid kordlar esneklik ve darbe emilimi sağlar. Çalışmanın amacı, çelik kord sarım açısı ve polyamid kordlar arası açıklığın lastik performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak analiz etmektir. Bu kapsamda, farklı çelik kord sarım açılarının ve polyamid kord açıklıklarının lastiklerin yuvarlanma direnci, aşınma dayanıklılığı ve yol tutuşu gibi performans kriterlerine etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, lastik tasarımı ve üretim süreçlerinde yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmesine katkı sağlayabilir ve lastik performansının artırılmasına yönelik önemli bilgiler sunabilir.



2. MOTORLU TAŞIT LASTİKLERİ

2.1. Lastiğin Tarihçesi

Motorlu taşıt lastiklerinin gelişimi 1839 yılında Charles Goodyear'ın ilk vulkanize lastiği keşfetmesi ile hız kazanmıştır. Vulkanize işlemi, sülfür veya benzeri katımlarla yüksek sıcaklıklarda lastiği sertleştirmekte, dayanımını artırmakta ve kauçuk yapısında bulunan yapışkanlığı azaltmaktadır [4].

Motorlu taşıt lastiklerinin gelişimindeki ikinci büyük adım ise John Boyd Dunlop tarafından 1888 yılında icat edilen ilk pnömatik lastiktir [4]. Lastik sektöründe bir devrim olarak kabul edilen bu icat, çok geçmeden binek taşıtlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu büyük adımdan sonra lastiklerin gelişimi hızlanmış, lastikler daha fonksiyonel ve verimli hale gelerek günümüzde kullandığımız lastiklere benzemeye başlamıştır.

1895 yılında André Michelin tarafından pnömatik lastiklerin ilk deneme girişimleri yapılmış fakat denemeler başarılı olamamıştır [5].

1911 yılında Philip Strauss, dış lastik ve hava dolu iç lastik kombinasyonundan oluşan lastiği icat etmiştir. Strauss'un şirketi olan Hardman Tire & Rubber Company tarafından bu lastikler ticari hale getirilmiştir [5].

1903 yılında Goodyear, büyük bir buluşa imza atarak, iç lastiksiz ilk lastiğin patentini almıştır.

1904 yılında sürücülerin kendi lastiklerini tamir etmelerine olanak tanıyan, ilk çıkarılabilir jantlı lastikler piyasaya sürülmüştür [5].

1910 yılında B. F. Goodrich Şirketi tarafından kauçuğa karbon eklenmesiyle daha uzun ömürlü lastikler icat edilmiştir. Goodrich ayrıca 1937 yılında, Chemigum adında, patentli bir maddeden yapılan ilk sentetik kauçuk ile lastikler üretmiştir [5].

Tarih boyunca bir lastikten karşılaması beklenen temel görevler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Her türlü zeminde yol tutuşunun iyi olması,

- Direksiyondan gelen tepkileri kolayca yansıtabilmesi,
- Titreşim ve sarsıntıları sürücüye yansıtmaması,
- Taşıtın ve taşıta binen yüklerin kolaylıkla taşınabilmesi,
- Yol gürültülerini taşıt kabinine yansıtmaması.

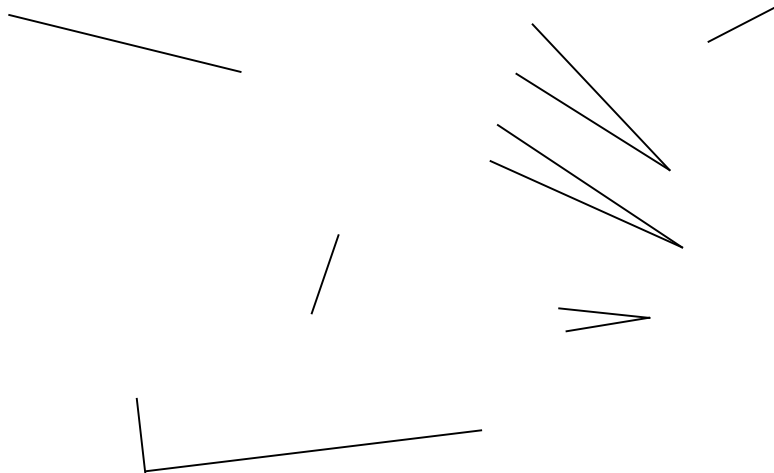
2.2. Lastiğin Yapısı ve Bileşenleri

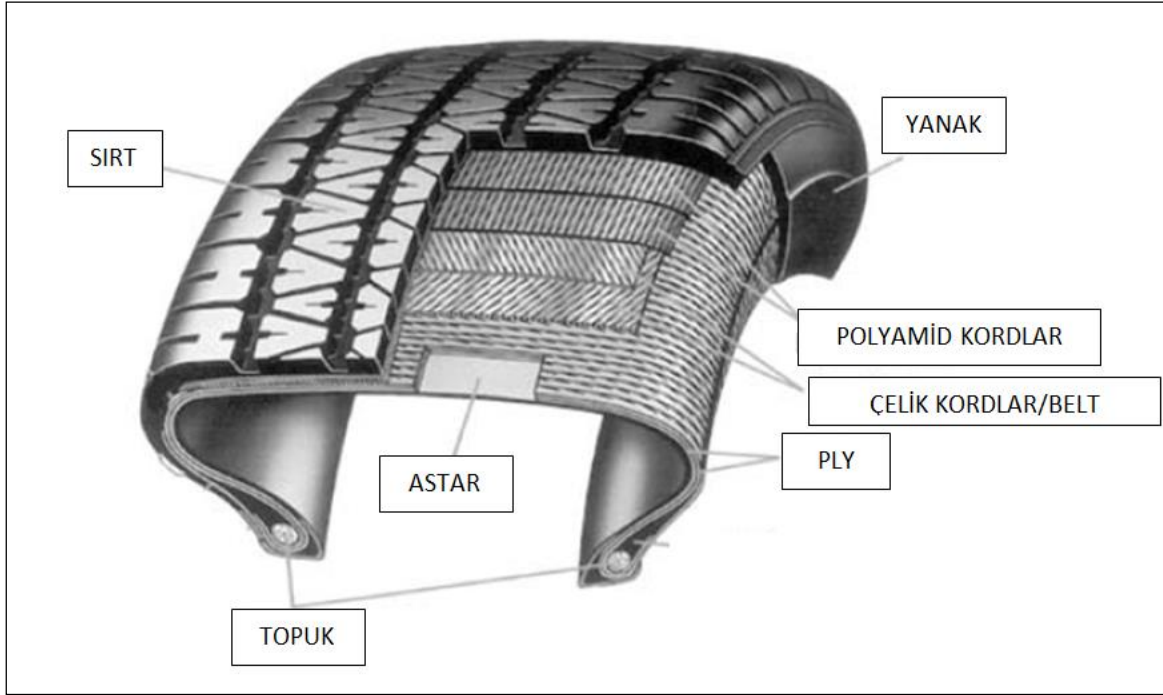
Bir lastik konumu itibariyle taşıtın yol ile arasındaki tek birleşim noktasıdır. Yalnızca kauçuk malzemeleri değil aynı zamanda içeriğinde dayanımını artıracak çelik tel, polyester ve polyamid gibi malzemeleri de bulundurmaktadır. Üreticiler, farklı bileşenleri kompoze ederek lastiğin yol tutuşunu, dış ömrünü ve yuvarlanma direncini ayarlayabilmektedir. Tüm bu malzemeler birleştirilerek yüksek sıcaklık ve basınçlarda lastiğe son şeklini veren kalıpların içerisinde pişirilme işlemi yapılır.

Lastiğin içerisinde bulunan bileşenler yaklaşık olarak aşağıda sıralandığı gibidir;

- Çelik ve naylon takviyesi %16
- Doğal veya sentetik kauçuk %18
- Karbon ve silika bileşenleri %30
- Yumuşatıcılar (yağ, reçine vb.) %10
- Vulkanizasyon işlemi için gerekli bileşenler %4
- Diğer eklentiler %2 [4]

Lastiği oluşturan yapısal malzemeler ve katmanlar Şekil 2.1’de gösterilmiştir.





Şekil 2.1. Lastiğin yapısı [6]

2.2.1. Sırt

Sırt, lastiğin yol ile temas ettiği kısımdır. Bu temas sırasında güvenli yol tutuşu ve yüksek performans sağlanmaktadır. Lastiğin sırt bölgesinde desen adı verilen ve lastiği çevreleyen oluk ve dişler bulunur. Bu oluk ve dişler yol teması esnasında yüksek hız, temas eden yüzey ve diğer dış etkenler sebebiyle aşınmaya çok müsait olduğundan, yüksek dayanımlı ve aşınmayı geciktirici kauçuk malzemelerden üretilmektedir. Lastik desenleri, lastiğin kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. Dört mevsim ve kışlık lastik için desen farklılıkları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Dört mevsim ve kış lastiği [7]

Kış lastikleri, aracın yol tutuşunu kış koşullarında iyileştirmek, karlı yol koşullarında kavramayı kolaylaştırmak ve maksimum çekiş gücü sağlamak amacıyla özel olarak tasarlanmaktadır. Kauçuk bileşeni $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşük sıcaklıklarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Dört mevsim lastikler ise ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde, kuru ve yarı ıslak yol koşullarında daha etkilidir. Çoğu araçta orijinal donanım olarak bulunurlar ve kar koşullarında kış lastiklerinden daha düşük bir çekiş performansı sergilerler [8].

Sırt bölgesindeki desenler genellikle simetrik değildir. Desenleri düzensiz yerleştirmenin amacı hareket sırasında farklı frekanslarda ses dalgaları oluşturarak bu dalgaların birbirlerini sönmülmesini sağlamaktır [9].

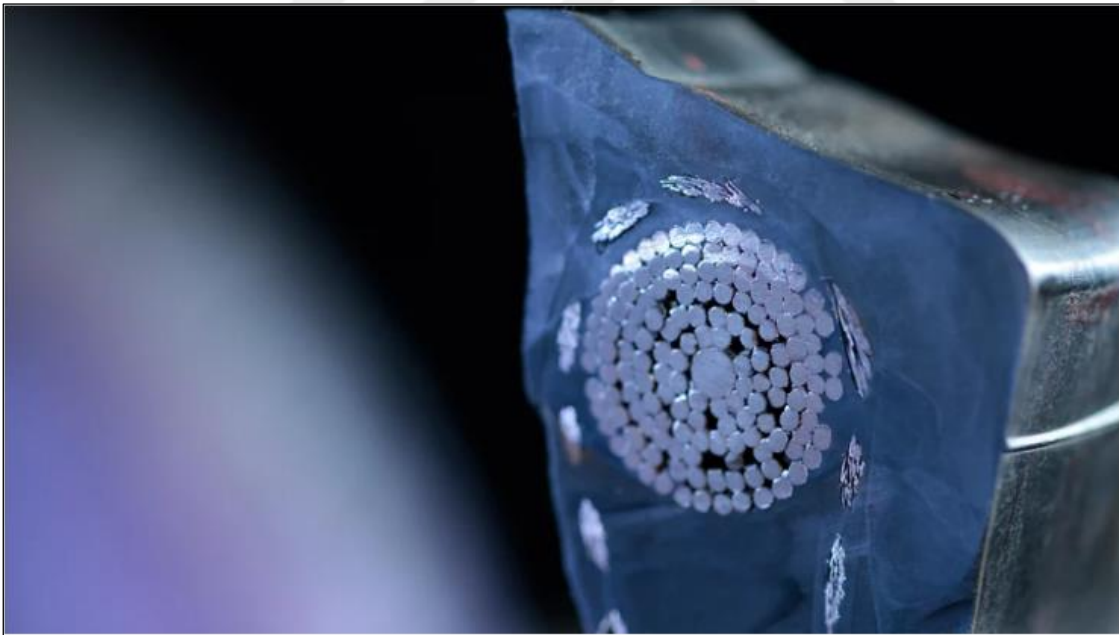
2.2.2. Topuk

Topuk, lastiğin janta sabitlenmesini sağlayan ve lastiğin janttan kaymasını önleyen bir yapıdır. Lastik topuğu, çelik tel ve dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Çelik teller kauçuk malzemesiyle kaplanmıştır. Çelik tellerin yapısı, sayısı ve konumlandırılma şekli tasarımdan tasarıma göre farklılık gösterebilmektedir. Lastikten istenen performansa göre farklılık gösteren topuk malzemesi, uygun malzeme kullanılmaması durumunda janttan çıkmaya sebebiyet vererek güvenlik sorunları oluşturabilmektedir. Resim 2.1'de topuk iç yapısı gösterilmiştir.



Resim 2.1. Topuk iç yapısı [10]

Resim 2.2’de yuvarlak topuk yapısı gösterilmiştir.



Resim 2.2. Yuvarlak topuk yapısı [11]

2.2.3. Ply

Ply, polyester ve suni ipek gibi yapay elyaflardan yapılmıştır. Lastik tasarımına bağlı olarak farklı kauçuk malzemelerinden oluşabilmektedir. Yine lastik tasarımına bağlı olarak, lastiğe eklenen adet değişmektedir. Lastiğin iskeleti görevini görmektedir [12]. Lastiğin şişirildiği durumda, iç basınca maruz kaldığında lastiğin şeklini korumasına

yardımcı olmaktadır. Lastik yanaklarına destek vererek esneklik kazandırmaya yardımcı olur. Topuk tellerinin etrafından döner ve yanak bölgesinde biter [9].

Ply malzemesi tarafından doğru desteklenmeyen lastiklerde, yanak bölgesinde maruz kaldığı basınçtan dolayı patlamalar meydana gelebilmektedir. Şekil 2.3'te yanaktan deforme olmuş ve ply malzemesi ortaya çıkmış bir lastik görülmektedir.



Resim 2.3. Yanaktan deforme olmuş ve ply malzemesi ortaya çıkmış lastik [13]

Doğru desteklenmiş fakat ply malzemesinin kendisi kusurlu olduğu durumlarda ise, lastik yanaklarında göçüklük veya şişkinlikler meydana gelebilmektedir. Şekil 2.4'te ply malzemesi kaynaklı olmuş göçüklük ve şişkinlik hataları görülmektedir.



Resim 2.4. Ply malzemesi kaynaklı yanakta göçüklük ve şişkinlik hataları [14]

2.2.4. Çelik kordlar (Belt)

Lastiğe birbirlerine çapraz olacak şekilde iki tane çelik kord malzemesi sarılmaktadır. Bu malzemeye belt ismi de verilmektedir. Çelik kord malzemenin genişliği lastikte tasarlanan sırt genişliğine göre değişmektedir. Çelik kord malzemesinin lastiğe sarılma açıları ise tasarıma göre değişiklik göstermektedir ve lastiğin performansını etkileyen unsurlardan biridir. Çelik kord yapısı, lastiğin sırt bölgesine stabilite sağlayarak yol tutuşu ve çekişe katkı sağlar [15]. Çelik kordlar, lastiği dış etkenlerden koruyarak, lastik sırtının güçlenmesini sağlamaktadır [16]. Lastiğin maruz kaldığı iç hava basıncını ve lastiğe etkiyen kuvvetleri gerekli yeterlilikte karşılayabilecek şekilde destek sağlar. Resim 2.5’de çelik kord malzemesi gözükken lastik kesiti gösterilmiştir.



Resim 2.5. Çelik kord malzemesi gözükken lastik kesiti [17]

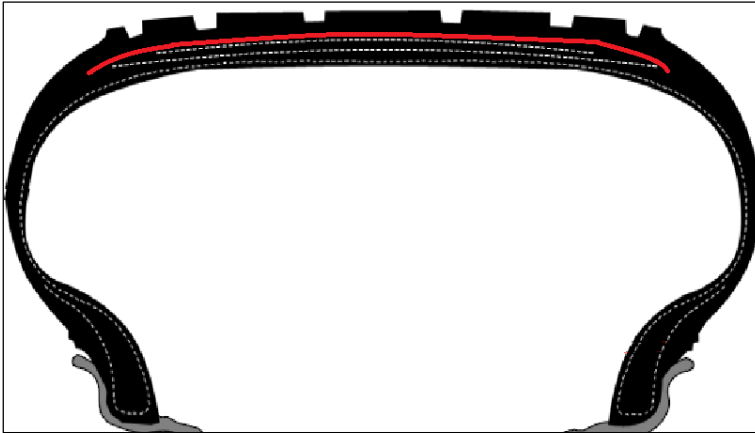
Çelik kordların, lastiğe gelen yükün büyük bir kısmını desteklemesi sebebiyle, kordlarda meydana gelen hatalar, taşıt ve sürücü güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir. Resim 2.6’da üretiminde meydana gelen hata sebebiyle iki çelik kord arasında açıklık hatası gösterilmiştir.



Resim 2.6. Üretim kaynaklı çelik kord hatası [18]

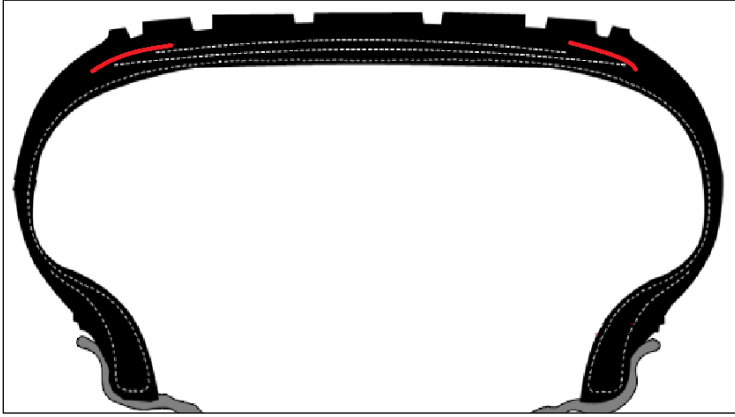
2.2.5. Polyamid kordlar

Polyamid kordlar bant şeklinde lastiğin çelik kordlarının üstüne sarılmaktadır. Özellikle yüksek hızlarda yaşanan ısınma sebebiyle genişlemeye çalışan çelik kordların birbirinden ayrılmasını önleyerek dengeli bir sürüş ve mukavemet sağlar. Ek olarak nemli bölgelerde çelik kordlarının korozyonunu önler. Yapılan tasarıma göre çelik kordları tam kapatacak şekilde sarıldığı gibi aralarında boşluklar bırakılarak veya sadece kord kenarlarına da sarılma yapılabilmektedir. Şekil 2.3’de polyamid kordların çelik kord üstüne tam sarım yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Polyamid kordların çelik kord üstüne tam sarımı

Şekil 2.4’de polyamid kordların sadece çelik kord kenarlarına sarımı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Polyamid kordların çelik kord kenarlarına sarımı

2.2.6. Yanak

Lastiklerde yanak, ply malzemesinin aşınmasına, darbe ve esnemeye bağlı yorgunluğa karşı koruma sağlar. Kauçuk malzemesi çevresel tehlikelerden kaynaklanan çatlama durumlarına karşı özel kauçuk kullanılarak elde edilmiştir. Bazı lastiklerde yol tutuşu ve stabiliteyi artırmak için yanak bölgesinde takviyeler bulunur. Lastiğin iç basıncı düşük veya sıfır olduğu durumlarda lastiğe gelen yükün desteklenmesine katkı sağlar [19].

Lastiğin yanak bölgesi yük altında viraj alırken veya yolda karşılaşılan engelleri aşarken gerekli esnemeyi sağlayarak aracın ağırlığını desteklemektedir. Lastiğin boyutları, üretim yeri, içeriği hakkında bilgiler, marka ve dekoratif şekiller bu bölgeye yazılır.

Lastiğin yanak kalınlığı tasarımına ve lastikten istenen performansa göre çeşitlilik gösterebilmektedir. Resim 2.7’de iki farklı yanak kalınlığına sahip binek taşıt lastiği gösterilmiştir.



Resim 2.7. İki farklı yanak kalınlığına sahip binek taşıt lastiği [20]

2.2.7. Astar

Astar, lastiğin iinin tamamını kaplayan bir yapıdır. Lastik içerisinde bulunan havanın lastiğin içinde tutulmasını sağlar. Kauçuk malzemesi istenen özelliklere uygun olarak hava geçirgenliği olmayan özel malzemelerden üretilir [19].

Astarda bulunan deseninin, lastiğe herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Lastik tasarımına göre bu desen farklılık gösterebilmektedir. Resim 2.8’de lastik astarı gösterilmektedir.



Resim 2.8. Lastik astarı [21]

2.3. Lastik eşitleri

Lastikler katmanlarında bulunan malzemelerin sarım şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar apraz (diagonal) ve radyal lastik olarak isimlendirilmektedir.

2.3.1. Çapraz (Diagonal) lastikler

Çapraz lastiklerde gövdeyi oluşturan her bir kat diğerinin üstüne çapraz olacak şekilde sarılmaktadır. Yaklaşık 90° açıyla bu sarım gerçekleştirilir. Geleneksel gövde yapısıdır [9]. Bu retim şeklinin avantajı sırt bölgesindeki ilave sertlik nedeniyle daha iyi aşınma ve yol tutuşu sağlanasıdır. Bununla birlikte çapraz lastiklerin üretim maliyeti yüksektir [19].



Şekil 2.5. Çapraz lastik yapısı [9]

2.3.2. Radyal lastikler

Lastik katmanları sırtın merkez çizgisine nominal olarak 90° açıyla radyal olarak sarılır. Bu lastik yapısının çeşitleri modern binek araç lastiğinde kullanılmaktadır. Radyal sarım sebebiyle yük altında daha kolay esner ve daha az ısı üretir. Düşük yuvarlanma direnci ve yüksek hız performansı sağlar. Karmaşık yapısı ise üretim maliyetini artırmaktadır [19].



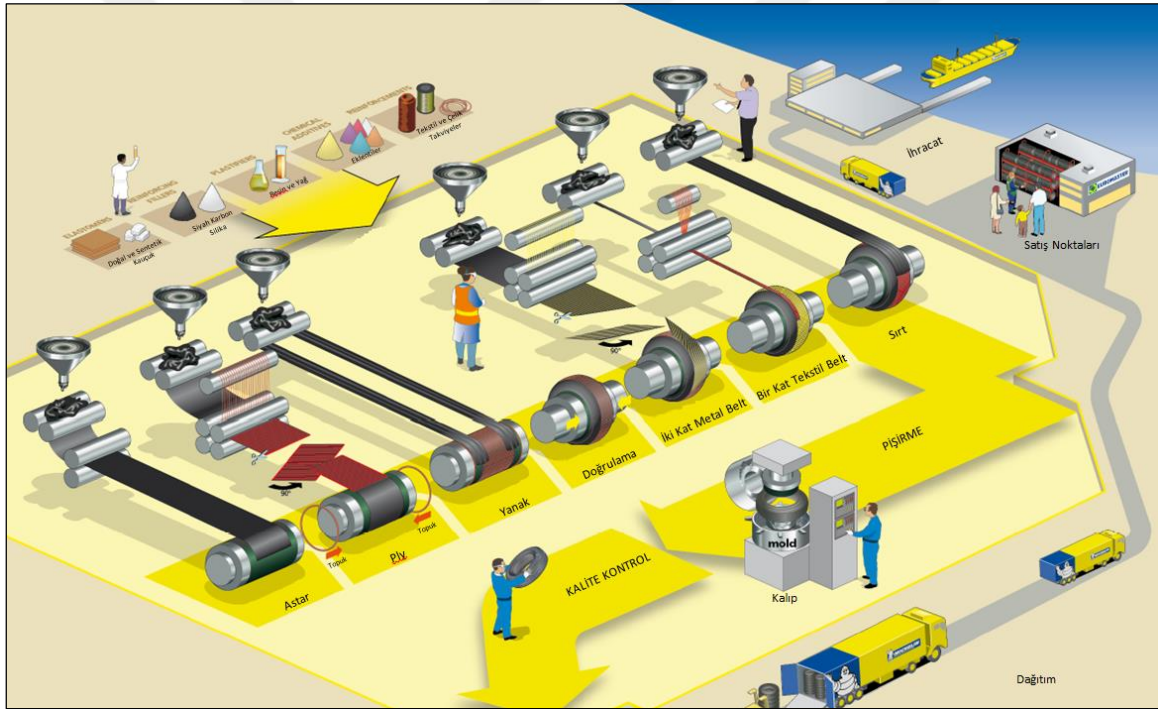
Şekil 2.6. Radyal lastik yapısı [9]

2.4. Radyal Lastiğin Üretim Metodu

Lastiklerin üretiminde 5 aşama bulunmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla;

- Malzeme tedarik süreci
- Bileşenlerin imalatı
- Lastiğin üretimi
- Vulkanizasyon
- Kalite kontrol, şeklindedir [22].

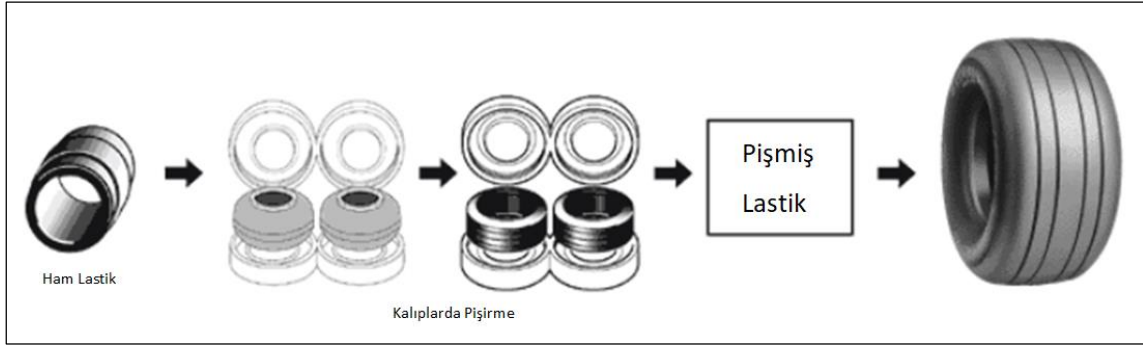
Hammaddenin tedarik edilmesiyle birlikte kauçuk malzemelerin üretimleri gerçekleştirildikten sonra yarı mamuller ortaya çıkar. Bu yarı mamuller birleştirilerek lastiğin üretimi gerçekleştirilmektedir. Lastik üretim aşamaları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Lastik üretim aşamaları [23]

Radyal lastikler iki aşamada üretilmektedir. Birinci aşamada lastiğin astar, ply, yanak ve topuk yarı mamülleri birleştirilerek karkas yani iskelet oluşturulur. İkinci aşamada lastiğin çelik kordlar, polyamid ve sırt kauçuk malzemeleri birleştirilerek ham lastik şeklini alır.

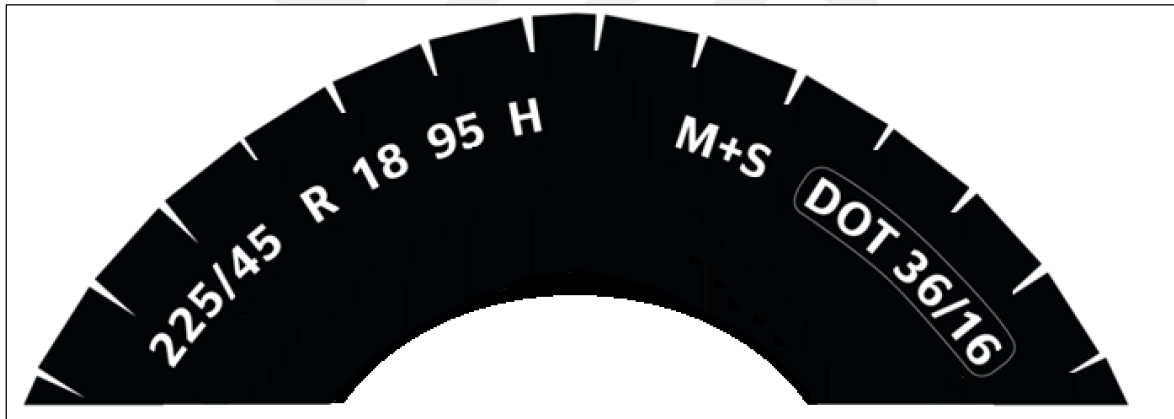
Ham lastik daha sonra pişirilmek üzere kalıplara konulur. Pişirme işlemi her lastik için özel olarak hesaplanmış basınç ve sıcaklıklarda yapılmaktadır. Şekil 2.5'te pişirme aşaması gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Lastik pişirme aşaması [24]

2.5. Lastik İşaretlerinin Tanımları

Taşıt lastiklerinin yanak kısımlarında bulunan işaretler, o lastik hakkında pek çok detaylı bilgi vermektedir. Şekil 2.6’da bir lastiğin üzerinde görülebilecek işaretler örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Lastik üstünde bulunan işaretler [25]

225/45 R18 olarak gösterilmiş kısım lastiğin ebadıdır. 225 sırt genişliğini göstermektedir. 45 lastiğin yüksekliğinin sırt genişliğine olan oranını gösteren bir ifadedir ve aspect ratio olarak da bilinir. R harfi lastiğin radyal olduğunu, 18 sayısı ise inç cinsinden jantın çapını ifade eder.

95 H ifadeleri sırasıyla lastiğin yük ve hız indekslerini ifade etmektedir. Bu hız ve yük indeksleri Avrupa ETRTO standartlarına göre lastiğin taşıyabileceği azami yükü ve bu yükü dayanabileceği en yüksek sürati belirten işaretlerdir. Çizelge 2.1’de standart sembollere karşılık gelen hız ve yükler gösterilmiştir [9].

Çizelge 2.1. Hız ve yük indeks tablosu [26]

Yük Endeksi	Lastik Başına Yük (kg)	Yük Endeksi	Lastik Başına Yük (kg)	Yük Endeksi	Lastik Başına Yük (kg)	Yük Endeksi	Lastik Başına Yük (kg)	Yük Endeksi	Lastik Başına Yük (kg)	Hız * Sembol	Hız (km/h)
62	265	75	387	88	560	101	825	114	1180	J	100
63	272	76	400	89	580	102	850	115	1215	K	110
64	280	77	412	90	600	103	875	116	1250	L	120
65	290	78	425	91	615	104	900	117	1285	M	130
66	300	79	437	92	630	105	925	118	1320	N	140
67	307	80	450	93	650	106	950	119	1360	P	150
68	315	81	462	94	670	107	975	120	1400	Q	160
69	325	82	475	95	690	108	1000	121	1450	R	170
70	335	83	487	96	710	109	1030	122	1500	S	180
71	345	84	500	97	730	110	1060	123	1550	T	190
72	355	85	515	98	750	111	1090	124	1600	H	210
73	365	86	530	99	775	112	1120	125	1650	V	240
74	375	87	545	100	800	113	1150	126	1700	W	270
										Y	300
										VR	>210
										ZR	>240
										ZR(Y)	>300

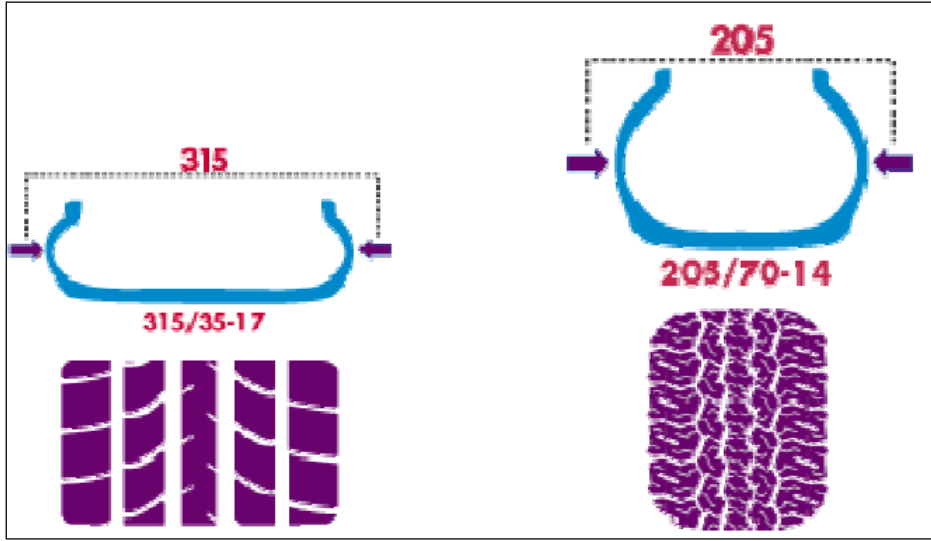
M+S ifadeleri lastiğin çamur ve kar koşullarına uygun olduğunu göstermektedir.

DOT lastiğin Department of Transportation ifadelerinin baş harflerinden oluşmakta ve ABD Ulaştırma Bakanlığı standartlarına uygun olduğu göstermektedir [9]. 36/16 ifadesi ise lastiğin üretimin tarihini belirtmekte olup, 36. haftada ve 2016 yılında üretildiğini göstermektedir.

2.6. Lastik Temas İzi Alanı (Footprint)

Lastiklerde temas izi (footprint) lastiğin temas ettiği zeminin üzerinde oluşturduğu izdir. Yani lastik sırtı ve zemin arasındaki temas alanını ifade etmektedir. Bu temas alanının genişliği ve uzunluğu ölçülerek yol tutuşu değerlendirilebilir.

Lastiğin temas izinden yola çıkarak lastik tasarımı geliştirilebilir. Şekil 2.10'da sırt genişlikleri ve en-boy oranları farklı olan iki temas izi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. İki farklı temas izi [1]

Lastiklerde temas izini değiştiren birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan bazıları lastiğin iç basıncı, lastik sırt genişliği ve lastik üretiminde kullanılan malzemelerdir. Yapılan araştırmalarda lastiklerde iç basınç artmasıyla birlikte temas yüzeyin alanında azalma gözlemlenmektedir. [1]

2.7. Lastik Yüksek Hız Testi

Lastiklerde yüksek hız testi, lastiklerin belirli hızlarda ve koşullarda nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek için yapılan bir test türüdür. Yüksek hız test cihazı lastikleri farklı hızlar, yükler ve basınçlar altında test etmek için tasarlanmış bir makinedir. Ölçülen test verilerine göre, lastik performansı ve bu performansa bağlı olarak tasarlanan lastiklerin istenen koşullarda sürüş desteği sağlayıp sağlamadığı belirlenmektedir.

Yüksek hız test makinesi, lastiği döndürmek için bir tamburu hareket ettirmek suretiyle çalışır. Resim 2.2’de yüksek hız test makinesi gösterilmiştir.



Resim 2.9. Yüksek hız test makinesi [27]

2.8. Lastiğin Kuvvet Varyasyonları (Uniformite)

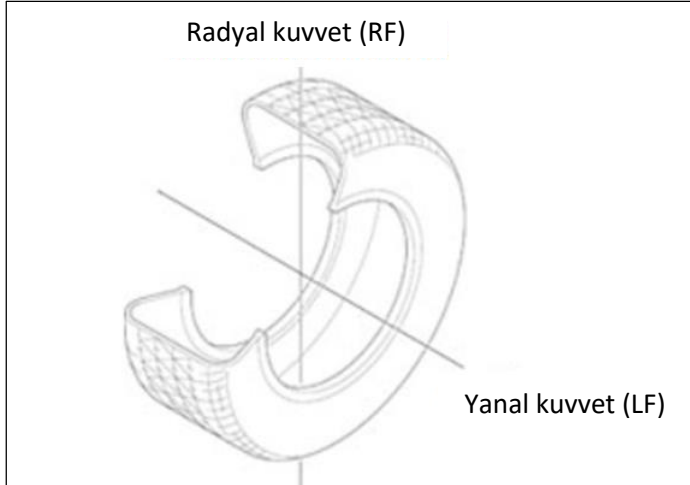
Yüksek hızlarda lastikler düzensiz şekilde deformasyona uğrar. Bu deformasyonlar sonucunda lastiğe etkiyen kuvvetlerde değişimler meydana gelir. Bu dalgalanmalar sonucunda lastiğin düzensiz hareket etmesi araçta titremeye ve sürüş konforunu azaltmaya sebep olur. Lastiğin çevresel kuvvetlerindeki değişimi kuvvet varyasyonları (uniformite) olarak adlandırılır.

Lastik kuvvet varyasyonları testi, lastik kalite değerlendirmesinin önemli bir bileşenidir. Lastikler için kuvvet varyasyonları testi, kuvvet varyasyonları parametrelerinin test edilen lastik için tasarlanan tolerans aralığı içinde olduğunu doğrulamak amacıyla gereklidir. Bu, lastik kalitesinin kullanım sırasında güvence altına alınmasını sağlar.

2.9. Kuvvet Varyasyonları Terminolojisi

Lastik kuvvet varyasyonları test edilirken bazı kuvvet parametrelerine bakılmaktadır. Bunlardan biri yanal kuvvettir (LF). Kuvvet varyasyonları makinesinde lastiğe paralel gelen kuvvetler ölçülür. Bir diğeri ise radyal kuvvetlerdir (RF). RF değerleri kuvvet varyasyonları makinesinde lastiğe dik gelen kuvvetler Newton cinsinden ölçülmektedir [28]. Kuvvet varyasyonları makinesinin ölçüm aldığı değerler aslında bu kuvvetlerin dalgalanmalarıdır. Yanal kuvvet için bu dalgalanmalara ait gösterim yanal kuvvet varyasyonları şeklinde, radyal kuvvet için ise radyal kuvvet varyasyonları şeklindedir. Radial kuvvet varyasyonu, belirli bir yük, basınç ve hız altında lastiğin bir veya daha fazla

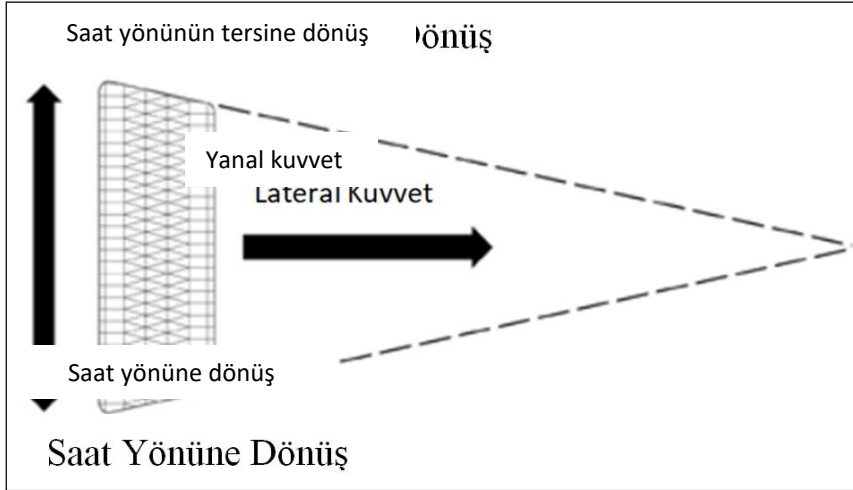
dönüş periyodu boyunca radyal kuvvetin dalgalanmasını gösterir. Yanal kuvvet varyasyonu ise yine aynı şekilde belirlenmiş bir yük, hız ve basınç altında lastiğin bir veya daha fazla dönüş periyodu boyunca iç tarafının dalgalanmasını gösterir [28]. Şekil 2.11’de lastiğe etkiyen radyal kuvvet ve yanal kuvvet gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Radyal kuvvet ve yanal kuvvet [29]

Kuvvet varyasyonları makinesinin aldığı bir diğer ölçüm ise konisite olarak adlandırılan, lastiğin koniklik değerini belirten bir parametredir. Yüksek koniklik derecesine sahip bir lastik, araca yüksek derecede direksiyon çekmesi vermektedir. Bu çekmeyi hangi kuvvetle yaptığı kuvvet varyasyonları makinesi tarafından ölçülmektedir. Bu ölçüm yanal kaymanın saat yönü ve saat yönünün tersine olan değerlerinin toplanıp ikiye bölünmesi ile oluşmaktadır (Eş. 2.1). Birimi ise Newton’dur. Şekil 2.12’de konisite gösterilmiştir.

$$CON = \frac{LF_{SYT} + LF_{SY}}{2} \quad (2.1)$$



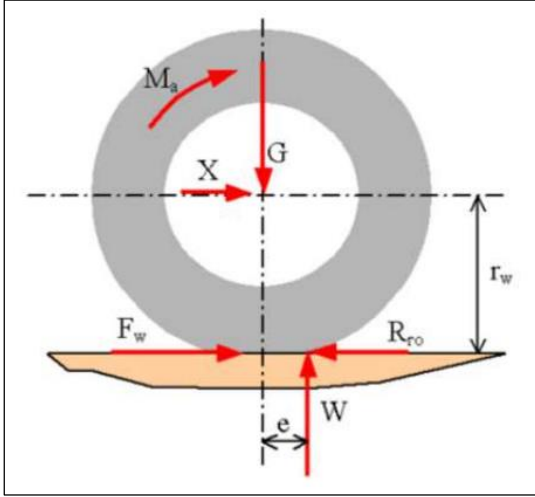
Şekil 2.12. Konisite [29]

2.10. Lastiğin Yuvarlanma Direnci Katsayısı (RRC)

Lastiklerde yuvarlanma direnci, bir aracın hareket halindeyken lastiklerin yol yüzeyine karşı koyduğu dirençtir. Bu direnç, lastiğin deformasyonu, sürtünme ve lastiğin iç yapısındaki enerji kayıpları gibi faktörlerden kaynaklanır. Yuvarlanma direnci, aracın hızını etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü bu direnç ne kadar düşükse, araç o kadar az yakıt tüketir ve daha iyi yakıt verimliliği sağlar. Lastiklerin yuvarlanma direnci, lastiklerin yapısı, lastik basıncı, hız, taşıdığı yük ve yol koşulları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Özellikle, lastik tasarımındaki gelişmeler ve teknolojik ilerlemelerle yuvarlanma direnci azaltılabilir ve yakıt verimliliği artırılabilir.

2.10.1. Yuvarlanma direnci katsayısı matematiksel modeli

Dinamik olarak hareket eden bir tekerleğe etki eden kuvvetler çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu kuvvetler arasında yerçekimi kuvveti, yatay itme kuvvetleri, sürtünme kuvvetleri ve dikey yük kuvvetleri bulunabilir. Şekil 2.13'de bir lastiğin, dönme ekseninden geçen X kuvvetinin etkisiyle hareket ettiği varsayıldığında serbest cisim diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.13. Dinamik tekerleğin serbest cisim diyagramı [4]

Bu cisim diyagramına göre lastik merkezine momentlerin toplamı Eş. 2.2’de verilmiştir.

$$M_a + R_{ro} \times r_w = F_w \times r_w + W \times e \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte, M_a lastiğe etkileyen aks torkunu, F_w ise uygulanan tahrik kuvvetini temsil etmektedir. W ise lastiğin ağırlığının ve lastiğin taşıdığı yüke karşı zeminin reaksiyonudur.

$$W = G_w + G_L \quad (2.3)$$

$$M_a = F_w \times r_w \quad (2.4)$$

$$R_{ro} \times r_w = W \times e \quad (2.5)$$

$$R_{ro} = W \times \frac{e}{r_w} \quad (2.6)$$

$\frac{e}{r_w}$ oranı yuvarlanma direnci katsayısı “ f_{ro} ” olarak tanımlanmaktadır.

$$f_{ro} = \frac{e}{r_w} \quad (2.7)$$

Bu durumda;

$$R_{ro} = f_{ro} \times W \quad (2.8)$$

olarak yazılabilir.



3. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Karaytuğ tarafından yapılan çalışmada, radyal bir yolcu lastiğinin yere basma alanının analizi yapılmıştır. Hem sayısal hem de deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmada lastiğin yükü sabit tutulurken farklı iç basınçlar için lastiğin yere temas bölgesi ölçülerek analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda lastiğin yere temas bölgesinin alanının şişirme basıncına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Lastiğin şişirme basıncı arttıkça temas bölgesinin azalmakta olduğu tespit edilmiştir [1].

Mohsenimanesh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı şişirme basınçları ve yüklerinin lastik-yol temasına etkileri incelenmiştir. Çalışmada lastik temas alanı ve lastik deformasyonu olarak fiziksel ortamda 2 farklı deney yapılmıştır. Şişirme basınçları ve yüklerinin lastik-yol temasına etkisini araştırmak için yapılan deneyde 4 farklı koşul incelenmiştir. Bu koşullar sırasıyla, 15 kN'lik bir yük ve 100 kPa'lık bir şişirme basıncı, 15 kN yük ve 250 kPa şişirme basıncı, 25 kN'lik bir yük ve 100 kPa'lık şişirme basıncı ve 25 kN'lik bir yük ve 250 kPa'lık şişirme basıncıdır. Yapılan deneyler sonucunda artan şişirme basıncı ile temas uzunluğunu azaltırken, artan yükün temas uzunluğunu artırdığı görülmüştür [2].

Temas alanı ve lastik deformasyonu analizi için ise 16.9R38 boyutlarındaki lastiğin sert beton yüzey üzerinde gerçek şartlarda ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İki yük kategorisi ve iki deneysel lastik şişirme basıncı (100 ve 250 kPa) için temas eden kısımların ana hatları siyah mürekkep kullanılarak kâğıt üstüne basılmıştır. Daha sonra görüntülerin her biri değerlendirilerek her deneysel lastik basıncı seviyelerine karşılık gelen lastik temas uzunlukları, genişliği ve lastik deformasyonları belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda da artan şişirme basıncı ile temas uzunluğu azaltırken artan yükün temas uzunluğunu artırdığı gözlemlenmiştir [2].

Redrouthu ve Das tarafından yapılan çalışmada lastik basıncı, lastik ebatı, hız ve yük gibi çeşitli giriş parametreleri ile yuvarlanma direncini hesaplayan ve en düşük yuvarlanma direncine ait lastiği seçmek için gerekli karşılaştırmaları yapan bir lastik modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan modelde tasarım parametreleri olarak park halindeki aracın lastik iç basıncı, dış yarıçapı, kesit genişliği, materyal sertliği ve jant yarıçapı belirlenmiştir. Lastik değişkenleri olarak ise normal yük, sıcaklık ve yatay hızı

belirlenmiştir. Bu parametrelere göre Matlab/Simulink üzerinden bir blok model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde şişirme basıncının 2,1 bardan 1,8 bara düşmesiyle RRC değerinde %5,6 artış elde edilmiştir. Lastik çapının %8,3 artması RRC değerini %4,84 azaltmıştır. Lastik yüzey genişliğin %50 azalması ise RRC değerini %10,4 artırmıştır [3].

Moisescu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 9.00R20 ve 9.00-20 ölçülerindeki kamyon lastikleri için karmaşık sonlu elemanlar modelleri geliştirmiştir. Yapılan araştırmada, lastiklerin radyal titreşimlerinin rezonans frekansları elde edilerek değerlendirilmiştir. Rezonans frekanslarının analizi, lastiklerin radyal model davranışının incelenmesine olanak tanımıştır. Elde edilen sonuçlar, radyal lastiğin birinci dereceden frekans dışında yarı doğrusal bir davranış sergilediğini ortaya koymuştur. Şişirme basınçları uygulanan durumda, yol temasının olmadığı bir ortamda radyal ve çapraz konstrüksiyona sahip iki farklı lastik yapısının rezonans frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, çapraz konstrüksiyona sahip lastiğin, artan dikey sertlik nedeniyle daha yüksek rezonans frekans değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir [30].

Roland ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, lastiğin yapı özelliklerinin performans parametresi, fren ve yol tutuşu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle lastik için önemli özellikler ve test parametreleri seçilmiştir. Seçilen lastikler test parametrelerine göre test edilmiştir. Lastik testleri sonucunda önemli performans farklılıklarına sahip lastikler seçilerek taşıt simülasyonu ile gerçek araç testleri gerçekleştirilmiştir. Test için seçilen 16 lastik üzerinde 6 farklı test çalışması yapılmıştır. Lastik omuz aşınması, viraj alma, kamberleme, hem viraj alma hem kamberleme ve frenleme testleri yapılmıştır. Frenleme testi 30 mil/h, viraj testleri ise 40 mil/h hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda viraj alma sertliğinin ve frenleme kuvveti katsayısının lastik yapı özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür. Ek olarak aşınmanın farklı temel lastik yapı tipleri (çapraz kat ve radyal kat) için yanal kuvvet katsayısı üzerinde zıt etkilere sahip olduğu görülmüştür [31].

Weysenhoff ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada binek araçların lastiklerinin özellikleri ve üretim hataları incelenmiştir. Üretim sürecinde karşılaşılan hatalar genellikle malzemede görülen iç, dış, yan, sırt ve omuz hataları olarak ayrılabilir. Lastiğin kararlılığı

ise gözle görülememektedir. Bu sebeple radyal kuvvet değişimi, yanal kuvvet değişimi, koniklik, kat yönlendirmesi ölçümleri yapılmaktadır. Bu araştırmaların yapılabilmesi için 3449 kilogramı geçmeyen kayıtlı binek araçlardan alınan lastik örnekleri toplanmıştır. Toplanan lastiklerde lastik kararlılığını bozan hatalar ply kabarması, ply seyrekliği, kirli kalıp sebebiyle sırtta açıklık, omuz bölgesinde kauçuk ayrılması, sırtta belt ayrılması, iç astarda açıklık, topuk bölgesinde kauçuk ayrılması, sırtta deformasyon, yabancı maddeyle pişirme işlemi olarak görülebilir. Bunlar araç güvenliğini etkileyen hatalardır. Her zaman gözle görülememektedir. Üretim sürecinde meydana gelen hatalar ise yabancı madde karışımı, ply bükülmesi, plyın bir tarafa kayması şeklinde sıralanabilir. Yapılan çalışmada analiz edilen bu kusurların lastiğin kararlılığını ve dengesini bozduğu gözlemlenmiştir. Lastiklerdeki bu hataların ve kusurların tespiti son aşamada yapılmaktadır. Bu sebeple kalite kontrole yüksek derecede önem vermek piyasayı bu hatalı lastiklerden korumak anlamına gelmektedir [18].

Cho ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, yuvarlanan bir lastiğin küçük bir engele çarpmasıyla ortaya çıkan gerilimler hesaplanmıştır. Bu hesaplamaları yapmak için 3D bir lastik modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen lastik sırtı için simetrik olamayan bir desen tercih edilmiştir. Yapılan analiz ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında sayısal değerlerin deneysel sonuçlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda karmaşık lastik yapısı sebebiyle 3D analizin sonuçlarının sınırlı olduğu değerlendirilebilir [32].

Koca tarafından yapılan çalışmada farklı yük ve hız özelliklerine sahip 3 lastik, farklı basınç ve hızlarda dinamik yarıçapa etkisini görebilmek için test edilmiştir. Statik yarıçap, lastikler taşıt dinamometresi üzerinde iken, dinamometrenin tambur merkezi ve lastiğin merkezi arasında mesafenin ölçülmesi ile bulunmuştur. Statik ve dinamik yarıçaplar ortam sıcaklığı ortalama 20 °C iken ölçülmüştür. Dinamik yarıçap ölçümü öncesinde deney yapılacak lastikler 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş, 5 dakika şasi dinamometresi üzerinde çalıştırılmıştır. Deneyde kaydedilen kararlı 3 değerın ortalaması alınmıştır. Deney lastikleri için -4, -2, nominal, +2 ve +4 psi basınç uygulanmıştır. Deneyler 20, 40, 60, 80 ve 100 km/h hızlarda gerçekleştirilmiştir. Deney sürücü ve 4 yolcuyla birlikte gerçek şartlar sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Aksa düşen yük 400 kg olarak ölçülmüştür. Yapılan deney sonucunda hız artışı ve lastik basıncı değişimine bağlı olarak dinamik yarıçapta artış gözlemlenmiştir. Fakat dinamik yarıçapın 60 km/h hızdan sonra aynı oranda artmadığı

tespit edilmiştir. Lastik çeki kuvvetinin ise dinamik yarıçapın bir fonksiyonu olduğu ve bu nedenle dinamik yarıçaptaki artışın çeki kuvvetini ve buna bağlı olarak çeki verimini azalttığı tespit edilmiştir [33].

Pelc tarafından yapılan çalışmada bir lastiğin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli çıkarılmıştır. Yapılan bu modelde lastik yol temasının dikey, yanal veya boylamsal dış kuvvetler gibi problemleri analiz edilmiştir. Kauçuğun hiperelastik özellikleri üçüncü derece polinom formundaki elastik gerinim enerji yoğunluğu fonksiyonunun kullanılmasıyla açıklanmıştır. Sıkıştırılamazlık özelliği ise Lagrange çarpanı aracılığıyla dikkate alınmıştır. Tam lastik modelinde bu tarz bir analiz karmaşık bir problemidir. Merkezi düğümün tanımlanması ve serbestlik derecelerinin tanımlanması bir kuvvet yüklendiğinde lastik-yol temas analizini mümkün kılmaktadır. Bu simülasyonlar sayesinde lastik tasarım aşamalarında analiz ve prototip geliştirilme süreçlerindeki maliyetin azaltılmasına olanak sağlanacağı belirtilmiştir [34].

Lee tarafından yapılan çalışmada, aracın düz bir yolda ilerlerken lastikte oluşan yanal kayma hareketine etkisi araştırılmıştır. Lastik analizini yapabilmek için 2 tekerlekli bir araç modeli tasarlanmış ve farklı karakteristikte lastikler kullanılmıştır. 175/70R13 boyutundaki 12 çift lastiğin koniklik değerleri tambur tipi uniformite test cihazında ölçülmüştür. Modelleme için ADAMS programı kullanılmıştır. Araç testi düz bir asfalt yolda gerçekleştirilmiş olup, testler kontrol bölgesi ile test bölgesinden oluşmaktadır. Test sürücüsü, aracı düz bir çizgiye ayarladığı kontrol bölgesinden sonra direksiyonu serbest bırakarak test bölgesinde yan kaymayı ölçmüştür. Araç hızı 80 km/s olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları, aracın düz çizgi üzerinde hareket ettiğinde, ön aks lastiklerinin lateral kuvvet ve hizalama torkunun aynı kayma açısında sıfır olması gerektiğini göstermiştir. Bu durum karmaşık bir araç dinamik simülasyonunda da geçerlidir. Ticari bir araç modeli seçilerek ADAMS yazılımı kullanılarak yapılan modelleme ve simülasyon sonuçları, basitleştirilmiş bir araç modeliyle yapılan analiz sonuçlarıyla benzer eğilimleri göstermektedir. Bu nedenle, lastik verilerini ayarlayarak ön aksın ATSP değerini sıfır yapmak, araç düz çizgi hareketi simülasyonunda lastik etkisini elimine etmek için kullanılabilir [35].

Ansorge ve Godwin tarafından yapılan çalışmada bir biçerdöverin arka lastiğinin, ön lastik/paletin geçişinden sonra toprak sıkışma miktarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Toprağa talk pudrası dökülerek toprağın yer değiştirmesi, sıkışma yoğunluğu, kuru küttele yoğunluğu ve penetrometre direnci ölçülmüştür. Lastik şişirme basıncının bu parametreler üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sıkışmayı azaltmak için daha büyük bir genel çapın, daha geniş bir lastikten daha faydalı olduğu tespit edilmiştir. Toprak yoğunluğu değişikliklerine göre temas basıncı dağılımının önemini ortaya konulmuştur. Yüklerin zeminde nasıl dağıtıldığının toplam aks yükünden daha önemli olduğu belirtilmiştir [36].

Lidenmuth tarafından yapılan çalışmada konisite ve ply steer problemlerinin taşıt performansına etkileri araştırılmıştır. Konisite lastik yan kuvvetlerini ölçerken ters yönde dönüşle yön değiştirmeyen bir kuvvet bileşenidir. Ply steer ise lastikte bulunan en dış karkas malzemesinin araç için niyet edilen düz çizgi rotasından sapmasına neden olabilecek kuvvetler üretmesidir. Tanım olarak lastik yan kuvvetlerini ölçerken ters yönde dönüşle yön değiştiren bir kuvvet bileşenidir. Yapılan testler sonucunda konisite ve ply steerin yük ve basınç değişimlerinden etkilendiği tespit edilmiştir. Konisitenin özellikle aracın ön aksında araç çekişine etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ply steer aracın çekişine doğrudan neden olmasa da sürücü tarafından fark edilmeyecek kadar ufak bir sapmaya neden olabilmektedir. Sonuç olarak, lastiklerde konisite araç performansını artırmak ve sorunsuz bir sürüş sağlamak için önem taşımaktadır [37].

Gözen tarafından yapılan çalışmada, çözüm süresi ve serbestlik derecesi en az olacak şekilde yol ile araç arasındaki kuvvet transferini sağlayan üç boyutlu bir simülasyon hazırlanmıştır. 175/65 R14 ebatlarında bir lastik referans olarak alınmıştır. Eleman sayısı kademeli olarak azaltılarak, serbestlik derecesi azaltılmış lastik modelleri elde edilmiştir. 3D lastik modellendikten sonra şişirilmiş ve rijit bir janta bağlanmıştır. şişirilmiş ve bağlanmış 3D lastik, dikey bir yük ile zemine bastırılmıştır. Bu duruma statik yük durumu denmektedir. Ardından lastik, 5 km/s hızla bir engelin üzerinden geçirilerek kısmi-statik durumu oluşturulmuştur. Sonrasında lastik, 50 km/s hızla bir engelin üzerinden geçirilerek dinamik durum oluşturulmuştur. Tüm durumlar için lastik merkezinin reaksiyon kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar çözümlerinde implicit çözücü olarak ABAQUS/Standard, explicit çözücü olarak da ABAQUS/Explicit yazılımları kullanılmıştır. Seçilen referans modelinden yola çıkılarak daha az eleman ve düğüm noktasına sahip lastik modelleri oluşturulmuş ve jantı temsil eden rijit parçanın merkezinde oluşan kuvvetler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonrasında referans modelin

eleman sayısı %85 azaltılarak referans modele benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum çözüm süresini kısaltmış ve aracın yol ile temasındaki kuvvetlerinin doğruya yakın çözülebilmesini sağlayan lastik modelinin elde edilmesini sağlamıştır [38].

Heinrich ve Klüppel tarafından yapılan çalışmada lastiğin kauçuk sürtünmesi, dış deformasyonu ve lastik çekişi araştırılmıştır. Sürtünme katsayısının yüke olan bağlılığı analiz edilmiştir. Karayollarının yüzey pürüzlülüğünün etkisi fraktal boyut, yüzeye paralel ve normal korelasyon olarak üç karakteristik yüzey tanımlayıcıyla tanımlanmıştır. Kayma esnasında lastiklerin dış deformasyonundan kaynaklanan enerji kaybının sürtünme katsayısını önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kayma esnasında yola temas lastik sırtının tamamının kaymadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak yüzeyin pürüzlülük düzeyinin sürtünme ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür [39].

Wang ve Ji tarafından yapılan çalışmada 7.00-14 16 PR bias lastiğin 2D ve 3D sonlu elemanlar modeli oluşturularak lastiğin nominal çalışma koşullarındaki yuvarlanma direnci simüle edilmiş ve sonuçlar deneysel ampirik eşitliklerle karşılaştırılmıştır. Lastiğin 2D ve 3D sonlu elemanlar modelini oluşturmak için ANSYS kullanılmıştır. Katı hedef yüzeyi ve temas yüzeyi temas çiftleri oluşturularak lastik ile jant arasındaki sürtünme katsayısı, sırt ile zemin yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı 0,7 olarak ayarlanmıştır. Çözüm için 730 kPa hava basıncı, 12,936 kN yük ve 80 km/h hız değerleri tanımlanmıştır. Simülasyon sonucunda yuvarlanma direnci 196,26 N olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değer ampirik denklemle elde edilen sonuç ile temelde uyumlu olduğu görülmüştür. Bu da kullanılan simülasyon yönteminin uygulanabilir ve makul olduğunu göstermektedir [40].

Karakuş ve Çolakoğlu tarafından yapılan çalışmada 175/70R13 ebatındaki bir lastiğin 2D sonlu elemanlar modeli oluşturularak lastiğe etkileyen düşey yük, sürtünme katsayısı ve lastiğin iç basıncının lastikteki gerilme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Zaman ve çözüm kolaylığı açısından 2D model kullanımı tercih edilmiştir. Lastiğin topuk kısmı ile jant ilişkilendirilerek sınır şartları uygulanmıştır. Daha sonra hava basıncının lastiğe etkisi incelenmek için 23, 26, 29, 32 ve 35 psi değerlerinde lastik basıncı, kuvvet etkisinin incelenmesi için ise 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 N kuvvetleri uygulanmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda iç basınçta oluşan artışın gerilim değerini bir miktar düşürdüğü tespit edilmiştir. İç basınç ve sürtünme katsayısının sabit tutulduğu durumda ise, düşey etkileyen yük miktarının arttıkça lastik geriliminin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Bu

durum, lastiğe uygulanan dikey yükün gerilmeler üzerinde iç basınçtan daha fazla etkili olduğunu ortaya koymaktadır [41].

Suyabodha tarafından yapılan çalışmada lastik basıncının ve taşıt hızının değişiminin yuvarlanma direnç kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada lastik basıncı olarak 25 psi ve 45 psi, araç hızı olarak ise 100 km/h ve 40 km/h hızları seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar 35 psi referans lastik basıncı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testler coast-down tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Bu teknik, aracı düz bir yolda belirlenmiş bir hıza hızlandırmak (bu çalışmada 100 km/h) ve aracın boşta, belirlenmiş hıza kadar yavaşlamasına izin vermek (bu çalışmada 40 km/h) ve azalan hız sırasında zamanı kaydetmeye dayanmaktadır. Test koşullarında düz zemin asfalt yol kullanılmıştır. Aerodinamik etkisini azaltmak için testler rüzgâr hızının sıfır olduğu zamanda yapılmıştır. İlk olarak araçta kullanılan 4 lastiğinde lastik basınçları 25 psi olacak şekilde ayarlanmış, daha sonra araç çalıştırılarak hızı 110 km/h olacak şekilde hızlandırılmıştır. Vites boşa alınarak aracın kendi başına 40 km/h hıza yavaşlaması sağlanmıştır. Araç istenen hıza ulaştıktan sonra 40 km/h'e düşene kadar hızın her 5 km/h değişiminde geçen süre kaydedilmiştir. Test aynı şekilde 35 psi ve 45 psi basınçları için tekrar edilmiştir. Araç hızının 100 km/h'den 40 km/h'e düşmesi için geçen süreler, sırasıyla 25 psi için 58,90 s, 35 psi için 78,69 s ve 45 psi için 85,57 s olarak ölçülmüştür. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra bu test sonuçları, 35 psi basınçlı referans lastikle karşılaştırıldığında, 25 psi basınçtaki lastiğin toplam direnç kuvvetinin referansa göre % 48,52 arttığı, 45 psi basıncındaki lastiğin ise toplam direnç kuvvetinin referans lastiğine göre % 13,46 azaldığı tespit edilmiştir [42].

DeRaad tarafından yapılan çalışmada lastiğin yuvarlanma direnci özelliklerini daha net anlamak ve yol yüzey dokusunun etkilerini değerlendirmek üzere hem laboratuvar hem de gerçek yol testleri yapılmıştır. Laboratuvar testleri özel ölçü aletleri ile donatılmış standart 67 inç laboratuvar lastik dinamometresinde gerçekleştirildi. Öncelikle bu dinamometrenin tamburu pürüzsüz bırakılarak belli bir boyutta 10 farklı radial yolcu aracı yapısının her birinde iki lastik örneği üzerinde gerçekleştirildi. Her test, 50 mph hızında, aynı yük ve şişirme basıncında gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler kararlı durum koşullarında alınmıştır. Ardından tambura 80 tane zımpara tipi dokuya sahip olan 3-M safety-walk yüzeyi uygulanmış ve lastikler aynı koşullarda tekrar test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda tambura zımpara uygulanmış olarak test edilen lastiklerin test sonuçları ortalama olarak % 5,3 daha yüksek yuvarlanma direnci kuvvetine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Yapılan yol

testinde ise 6 farklı yüzey seçilmiştir. Seçilen bu yüzeyler pürüzsüz makro-doku ve mikro-dokuya sahip özel cilalanmış bir beton yüzey (Yüzey 1), görece pürüzsüz bir makro-dokuya sahip yeni bir beton yolu (Yüzey 2), orta büyüklükte bir makro-doku ve orta-pürüzsüz mikro-doku içeren karışık agregadan oluşan bir valiz asfalt yüzey (Yüzey 3), yüzey 3'e benzer bir valiz asfalt yüzeyidir. Ancak mikro-doku, orta-pürüzsüz ve daha az yuvarlak görünmektedir (Yüzey 4), orta kaba bir makro-doku ve orta mikro-doku içeren valiz asfalt ve yüzey 3 ve 4'e oldukça benzer, ancak biraz daha fazla açığa çıkan agregat içerir bir yüzey (Yüzey 5), keskin agreganın bir mühür tabakası ile kaplanmış bir asfalt yüzey (Yüzey 6) olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu yol testleri sonucunda, yol dokusundaki pürüzlülük arttıkça lastik yuvarlanma direncinin de arttığı görülmüştür [43].

Li ve Wang tarafından yapılan çalışmada lastikteki belt malzemesinin tek bir çelik kordu üzerine etkileyen yükün boyutu ve teldeki deformasyonu üzerine ANSYS Workbench 13.0 yazılımından faydalanarak analiz yapılmıştır. Modellenen telin her iki ucu sabitlenerek meshleme işlemi yapılmıştır. Mesh işleminden sonra tele sırasıyla 100 N, 200 N ve 300 N yük uygulanmıştır. Uygulanan bu yükler neticesinde telde gözlemlenen yer değiştirme 0,46 mm, 0,60 mm ve 0,71 mm olarak yüklere oranla lineer bir artış göstermiştir. Yapılan çalışmada sonuç olarak sürüş anında lastiğe etkileyen kuvvetlerin yol koşulları, sıcaklık, basınç gibi etkenler sebebiyle farklı olabileceği ve bu çalışmanın daha fazla analiz için bir referans olabileceği belirtilmiştir [44].

4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada 205/55R16 ebatlarında bir lastik kullanılmıştır. Lastiğin yapısı 1 Ply+2 Steel+1 Polyamid şeklindedir.

Çalışmada lastik yapısında bulunan çelik kordların sarım açısı ve polyamid kordlar arasındaki açıklık değişiminin lastiğin yere temas yüzeyine, yuvarlanma direncine ve lastiğe etkiyen dış kuvvetler varyasyonlarına olan etkileri incelenmiştir.

4.1. Test Planı

Çalışmada lastikte bulunan çelik kordların sarım açısı ve polyamid kordlar arasındaki açıklıklar değiştirilerek, lastiğin temas yüzeyine, yuvarlanma direncine ve lastiğe etkiyen dış kuvvetlere olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle polyamid kordlar arasında boşluk bırakılmadan çelik kordların açısı 22°'den 28°'ye kadar 2° aralıklarla değiştirilmiştir. Çizelge 4.1'de çelik kord açısına bağlı olarak yapılan test planı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Çelik kord açısına bağlı olarak yapılan testler

	Çelik kord açısı	Polyamid kord sarımı
Test 1	22°	Boşluksuz
Test 2	24°	Boşluksuz
Test 3	26°	Boşluksuz
Test 4	28°	Boşluksuz

Çizelge 4.1'de verilen test planında belirtildiği gibi çelik kord açısına göre lastik temas izi alanı, yuvarlanma direnci ve lastiğe etkiyen dış kuvvetlerdeki varyasyonlar (LFV, RFV, CON) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan elde edilen sonuçlara göre en uygun çelik kord açılarında kordların sarımları arasında 3 mm ve 5 mm boşluk bırakılarak testler yapılmıştır. Kordların sarımları aralarındaki boşluklara göre yapılan testler Çizelge 4.2'de görülmektedir.

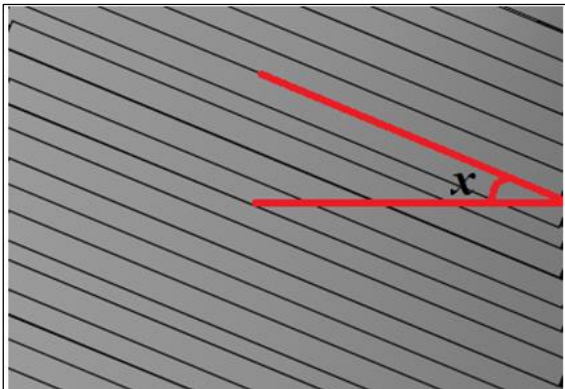
Çizelge 4.2. Kordların sarımları aralarındaki boşluklara göre yapılan testler

	Çelik kord açısı	Polyamid kord sarımı
Test 5	24°	3 mm boşluk
Test 6	24°	5 mm boşluk
Test 7	22°	3 mm boşluk
Test 8	22°	5 mm boşluk
Test 9	26°	3 mm boşluk
Test 10	26°	5 mm boşluk
Test 11	28°	3 mm boşluk
Test 12	28°	5 mm boşluk

Çizelge 4.2’de verilen test planına göre, ilk testte elde edilen sonuçlardan yola çıkarak seçilen ve en iyi sonuçlara sahip olan çelik kord açısı sabit tutularak polyamid kordların sarım aralarındaki boşluklar değiştirilmiştir. Daha sonra veri kontrolü açısından diğer çelik kord açıları için de aynı şekilde polyamid kordları arası açıklık değiştirilerek lastik temas izi alanına, yuvarlanma direnci katsayısına ve lastiğe etkileyen dış kuvvetlerdeki varyasyona etkileri araştırılmıştır.

4.1.1. Çelik kord sarım açısı

Çelik kordlar, iki ince kauçuk malzeme arasına sandviç şeklinde çelik teller konulması ile oluşmaktadır. Bu kauçuk maddenin içinde bulunan tellerin sarım açıları tasarıma göre farklılık göstermektedir. Bu tez çalışmasında amaç, tellerin sarım açılarının değişiminin lastik temas izi alanına, yuvarlanma direnç katsayısına ve lastiğe etkileyen dış kuvvetlerdeki varyasyona bir etkisi olup olmadığını analiz etmektir. Şekil 4.1’de testlerde kullanılan çelik kord malzemesindeki tellerin açısı gösterilmiştir.

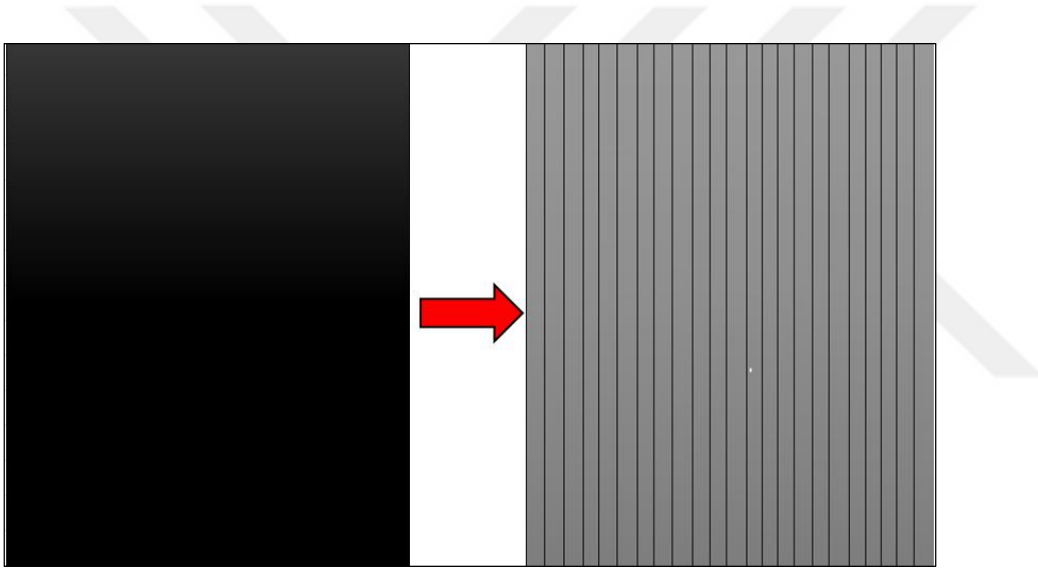


Şekil 4.1. Çelik kord tel sarım açısı

Şekil 4.1’de gösterildiği üzere x ile belirtilen açı tellerin sarım açısı olup, seri üretim standartlarında da kullanılan 22° , 24° , 26° ve 28° olarak 4 farklı açı test edilmiştir.

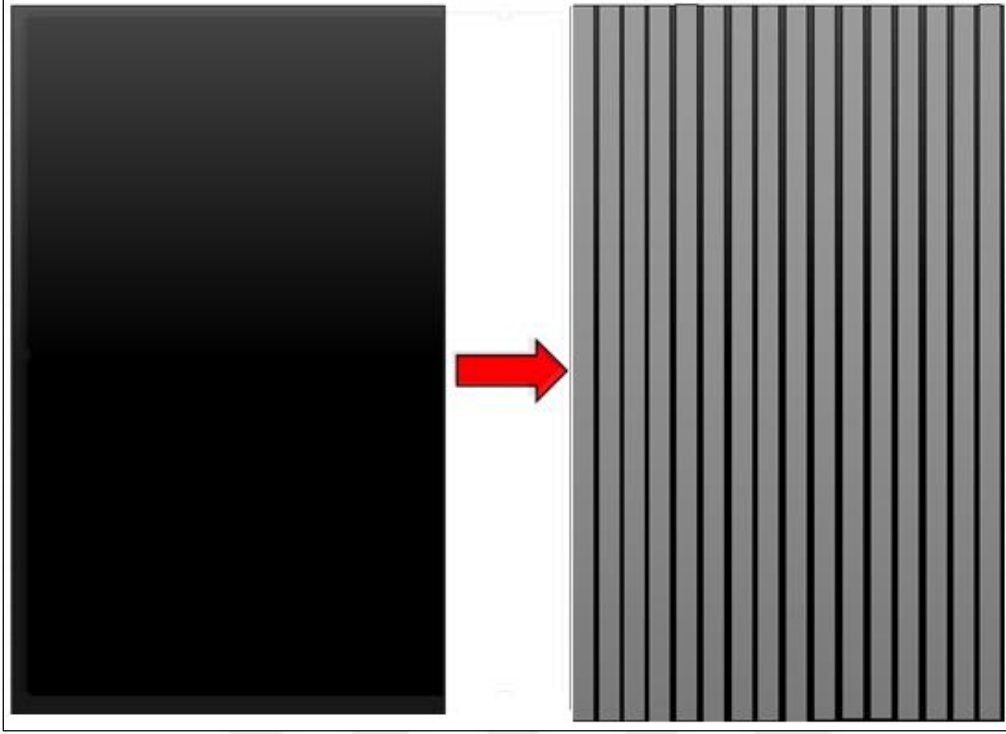
4.1.2. Polyamid kordlar arası açıklık

Lastikte bulunan polyamid kord malzemesi, çelik kord malzemesinden sonra, çelik kordların üstüne sarılmaktadır. Polyamid kordlar sarılırken standartlara göre boşluksuz, 3 mm veya 5 mm boşluklu olarak sarılabilmektedir. Lastiğin tasarımına göre de bu parametre değişmektedir. Şekil 4.2’de çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların boşluksuz sarımı gösterilmiştir.

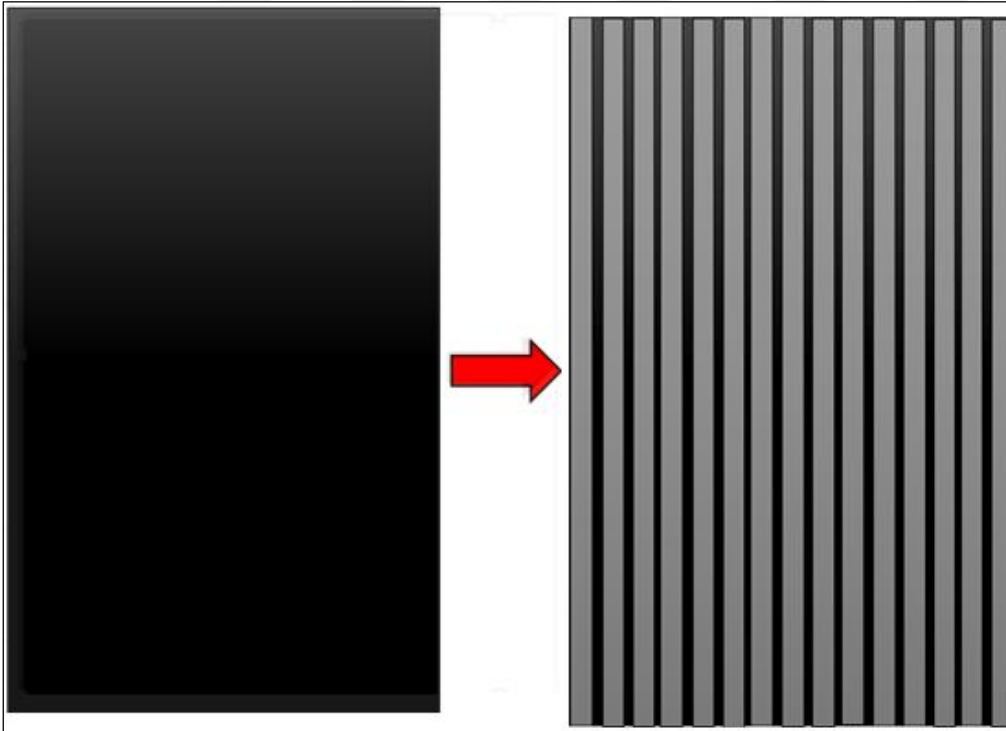


Şekil 4.2. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların boşluksuz sarımı

Şekil 4.3’de çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 3 mm boşluklu sarımı gösterilmiştir. Şekil 4.4’de de çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 5 mm boşluklu sarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 3 mm boşluklu sarımı



Şekil 4.4. Çelik kord malzemesi üzerine polyamid kordların 5 mm boşluklu sarımı

4.2. Test Koşulları

4.2.1. Yuvarlanma direnci katsayısı için test koşulları

Yuvarlanma direncinin ölçülmesinde kullanılan Kobelco marka cihaz bir tambur ve bir milden oluşmaktadır. Resim 4.1’de yuvarlanma direnci ölçümü için kullanılan bu yüksek hız test makinesi gösterilmiştir.



Resim 4.1. Yuvarlanma direnci test makinesi [45]

Yuvarlanma direnci katsayısı ölçümünde deney koşulları ISO 28580 standardına göre oluşturulmuş olup Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yuvarlanma direnci katsayısı için deney koşulları

Parametreler	Değerler
Lastik iç basıncı	210kPa
Lastik yükü	4,82 kN
Jantın iç ve dış göbeği arasındaki mesafe	6,5 inç
Lastik dönüş hızı	80 km/h
Test odası sıcaklığı	26 °C

Yuvarlanma direnci katsayısı ölçümü sırasında lastik iç basıncı 210 kPa, lastiğe verilen yük ise 4,82 kN’dur. Lastik 26 °C ortam sıcaklığı ve 80 km/h hızda test edilmiştir.

4.2.2. Lastik yük varyasyonları (FV) için test koşulları

Yük varyasyonlarının ölçülmesinde Kobelco marka cihaz kullanılmıştır. Test edilecek lastik FV makinesinde bulunan janta geçirilerek test cihazına bağlanır. Lastiğin dönüş hızı lastik ebatı ve beklenen performansa göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.5’de FV test cihazı gösterilmiştir. Deney koşulları Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.5. FV test cihazı [46]

Çizelge 4.4. FV test koşulları

Parametreler	Değerler
Lastik iç basıncı	200 kPa
Lastik yükü	4,29 kN
Jantın iç ve dış göbeği arasındaki mesafe	6,5 inç
Lastik dönüş hızı	60 km/h

FV değerlerinin ölçümü sırasında lastik iç basıncı 200 kPa, lastiğe verilen yük ise 4,29 kN'dur. Ölçüm sırasında lastik hızı 60 km/h olarak alınmıştır.

4.2.3. Lastik temas izi testi için test koşulları

Footprint alanı ölçülmesinde Shimadzu marka test cihazı kullanılmıştır. Test edilecek lastik makineye bağlı mile jantı ile beraber yerleştirildikten sonra boyanır. Boyama işleminden sonra altında bulunan tablaya lastik için seçilen uygun yük ile bastırılarak lastiğin temas alan izi çıkartılır. Bu izden yola çıkarak lastiğin temas alanı hesaplanabilir. Oluşan iz yorumlanarak yüksek hızlarda en çok hangi bölgenin aşınacağı tahmin edilebilir. Resim 4.2’de temas alan izi test cihazı gösterilmiştir.



Resim 4.2. Temas alan izi test cihazı [47]

Testlerde kullanılan parametreler Çizelge 4.5’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Temas alanı ölçümü için deney koşulları

Parametreler	Değerler
Lastik iç basıncı	230 kPa
Lastik yükü	4,22 kN
Jantın iç ve dış göbeği arasındaki mesafe	6,5 inç
Test odası sıcaklığı	26 °C

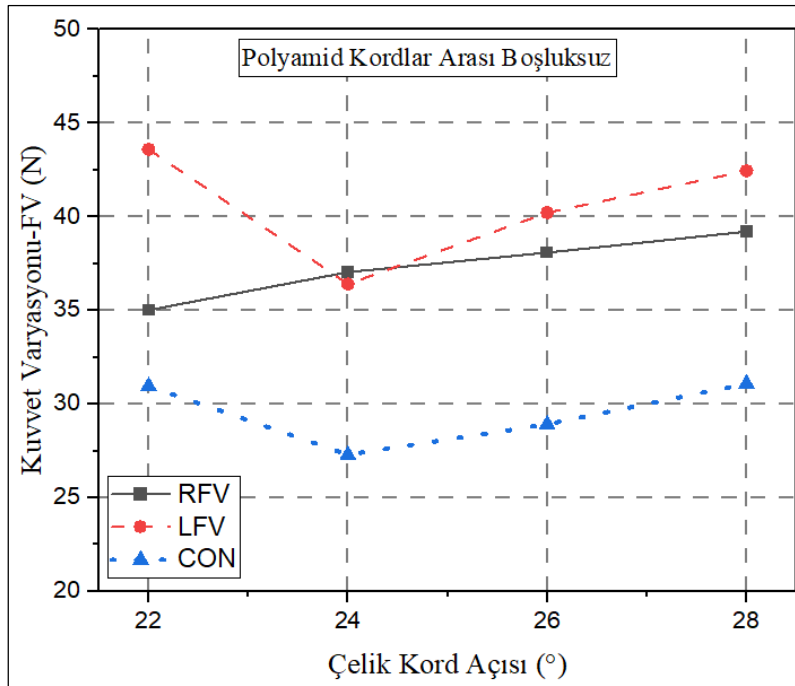
Temas alan izi testi yapılırken lastik iç basıncı 230 kPa ve lastiğe verilen yük 4,22 kN’dur.



5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Kuvvet Varyasyonları Sonuçları

Yapılan kuvvet varyasyonları testlerinde, polyamid kord açıklığını boşluksuz olarak sabit tutup çelik kord açısına bağlı FV değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda lateral kuvvet varyasyonları (LFV), radyal kuvvet varyasyonları (RFV) ve konisite (CON) değerleri grafik olarak oluşturulmuştur. Şekil 5.1’de çelik kord açısına bağlı FV değerleri grafiği gösterilmiştir.

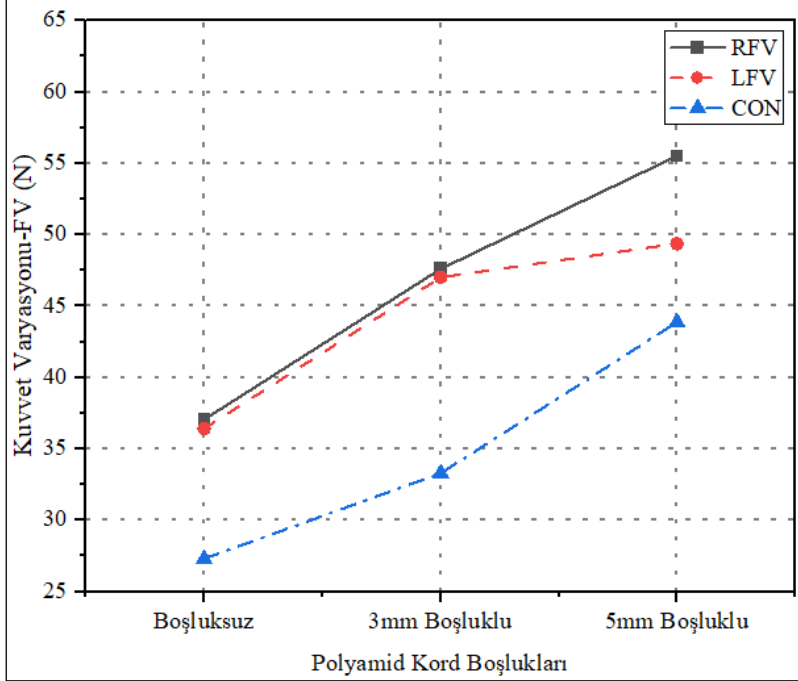


Şekil 5.1. Çelik kord açısına bağlı FV değerleri grafiği

Elde edilen test sonuçlarına göre RFV değeri çizgisinde çelik kord açısı arttıkça artış eğilimi görülmektedir. En düşük değer 22° ve en yüksek değer 28° olmak üzere aralarında %11,96 fark bulunmaktadır. LFV değeri çizgisinde ise 22° çelik kord açısı en yüksek değere, 24° çelik kord açısı ise en düşük değere sahiptir. Bu durumda LFV değerindeki artış %19,75 olarak gözlemlenmiştir. CON değeri 24° çelik kord açısında düşük değere sahip olup, en yüksek değere 28° çelik kord açısında sahip olduğu görülmüş ve %18,88 değerinde bir artış oranına sahiptir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak 24° çelik kord açısının FV değerleri açısından optimum açı olduğu tespit edilmiştir.

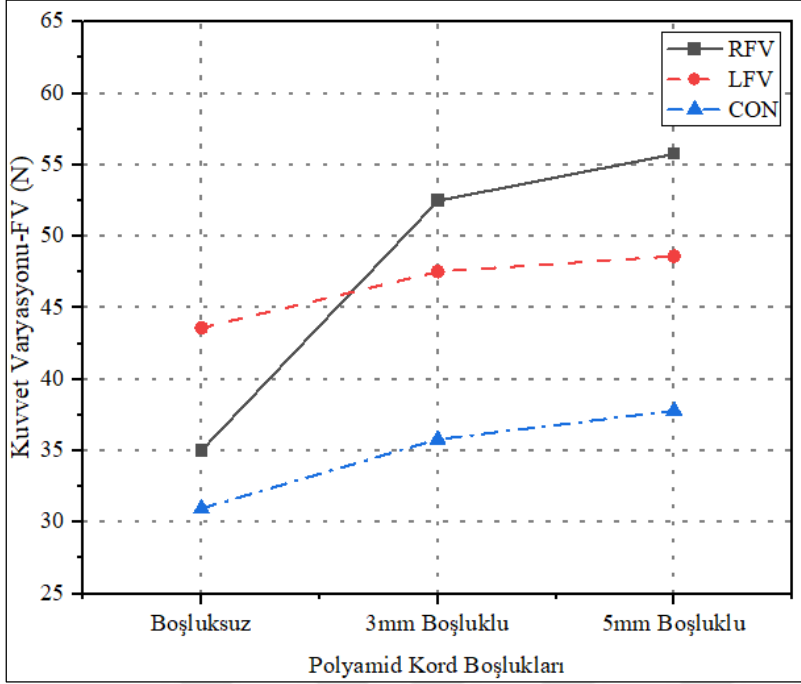
Yapılan testlerin devamında optimum çelik kord açısı seçilen 24° çelik kord açısı için polyamid kord boşuksuz sarım, 3 mm boşluklu sarım ve 5 mm boşluklu sarım olarak değiştirilmiştir. Şekil 5.2’de 24° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.2. 24° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği

24° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği incelendiğinde polyamid kordlardaki boşluk miktarı arttıkça FV değerlerinde artış gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük değerlere bakıldığında RFV değerinde %49,88, LFV değerinde %35,59, CON değerinde ise %60,72’lik bir artış tespit edilmiştir. Bu durumda polyamid kordlardaki boşluk miktarının kuvvet varyasyonlarına olan etkisi olumsuz olarak görülmüştür.

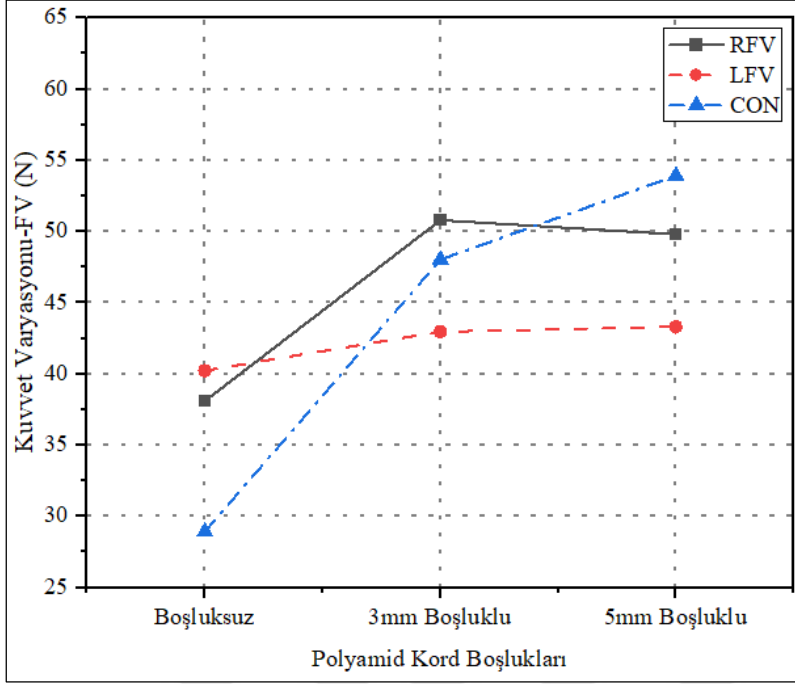
Yapılan devam testlerinde 22° ve 26° açılı çelik kordları 3 mm ve 5 mm boşluklu sarım ile üretilip test edilmiştir. Şekil 5.3’de 22° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.3. 22° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği

Yapılan testlerde polyamid kord sarımında bulunan boşluk miktarı arttıkça FV değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük değerlere bakıldığında RFV değerinde %59,23, LFV değerinde %11,48, CON değerinde ise %22,12'lik bir artış tespit edilmiştir. Bu durumda polyamid kordlardaki boşluk miktarının kuvvet varyasyonlarına olan etkisi olumsuz olarak görülmüştür.

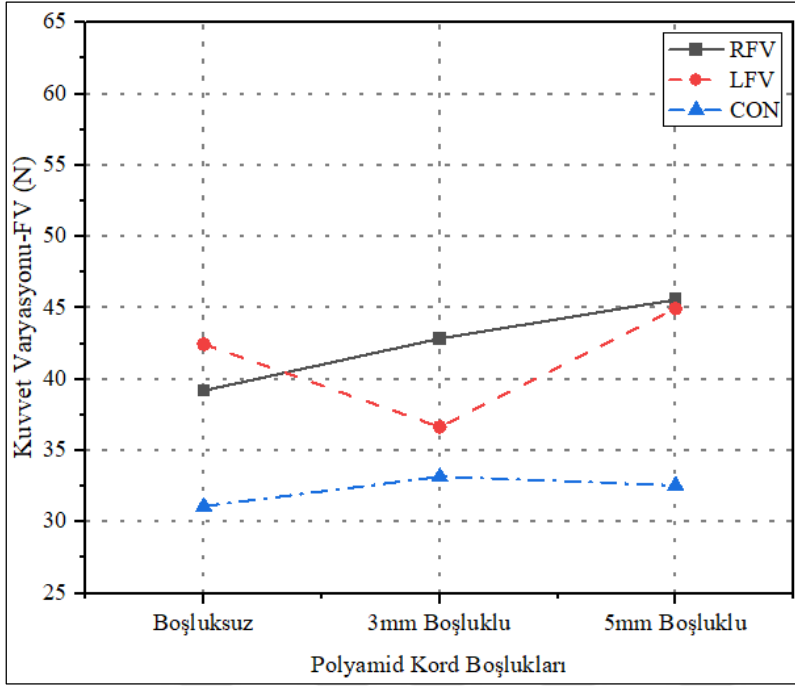
Şekil 5.4'de 26° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.4. 26° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği

En yüksek ve en düşük değerlere göre bakıldığında RFV değeri %33,37, LFV değeri %7,66 ve CON değeri %86,43 olarak artmıştır.

Yapılan devam testlerinde 28° çelik kord açısı ile 3 mm boşluklu ve 5 mm boşluklu polyamid kord ile üretilen lastiklerin FV testleri yapılmıştır. Yapılan testlerde 22°, 24° ve 26° çelik kord açılı lastiklere göre 28° çelik kord açılı lastiklerde beklenen artış gözlemlenmemiştir. Şekil 5.5’de 28° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği gösterilmiştir.

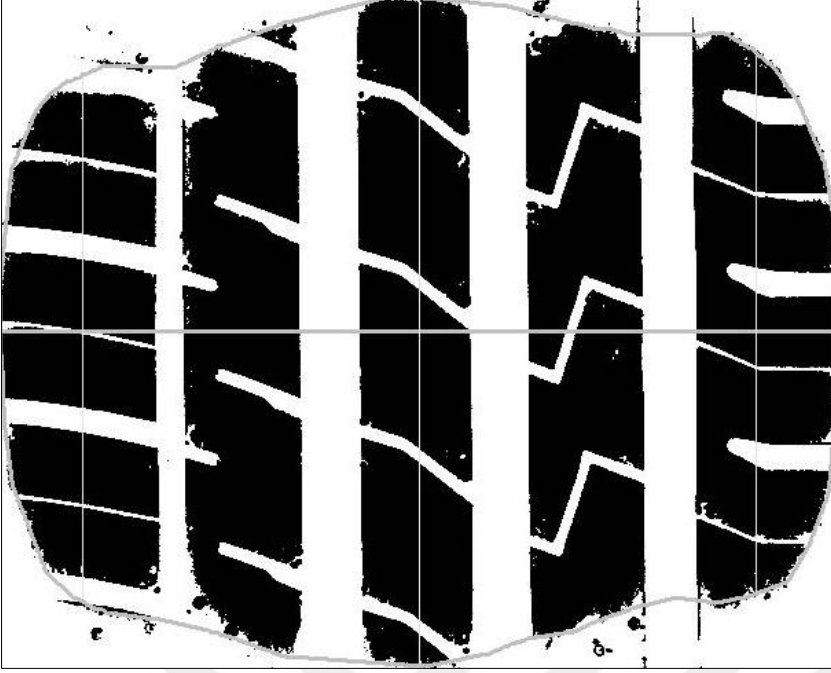


Şekil 5.5. 28° çelik kord açısı ile polyamid kord boşluğuna bağlı FV değerleri grafiği

28° çelik kord açılı lastiklerde RFV değerinde polyamid kord sarımına bağlı artış gözlemlenirken, LFV değerinde ise 3 mm boşluklu polyamid kord sarımında düşüş tespit edilmiştir. 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı ile yapılan teste ise tekrardan yükselme gözlemlenmiş ve boşluksuz sarımda görüldüğü değere kadar çıkmıştır. En yüksek ve en düşük değerlere göre bakıldığında RFV değeri %16,26, LFV değeri 3mm boşluklu durumda %13,64 kadar düşmüş daha sonra 5mm boşluklu durumda %22,65 kadar artmıştır. CON değeri ise başlangıç durumuna göre 5mm boşluklu durumda %6,69 olarak artmıştır.

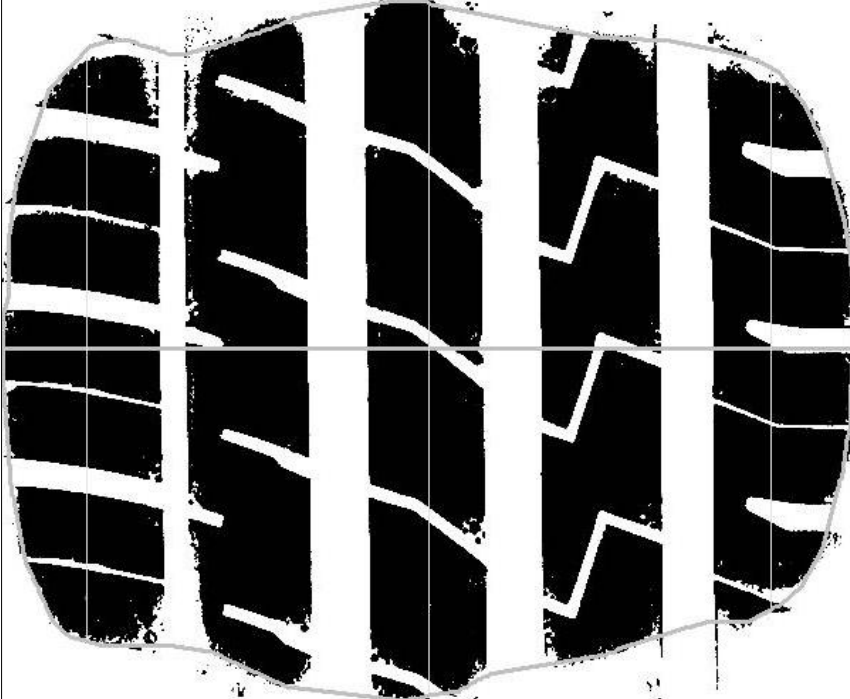
5.2. Temas İzi Alanı Sonuçları

Yapılan temas izi alanı testlerinde, ilk olarak polyamid kord açıklığını boşluksuz olarak sabit tutup çelik kord açısına bağlı temas izi alanları ölçülmüştür. Bu ölçümlerde çıkarılan temas izinin en geniş ve en yüksek olduğu bölgeler çarpımı ile alan hesabı yapılmıştır. Şekil 5.6'da 22° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



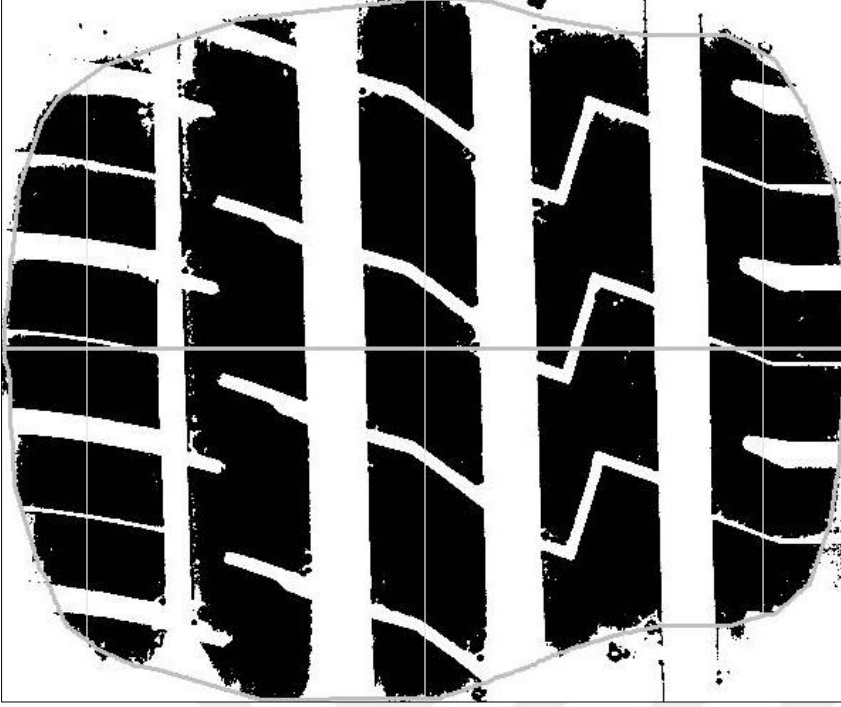
Şekil 5.6. 22° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.7’de 24° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



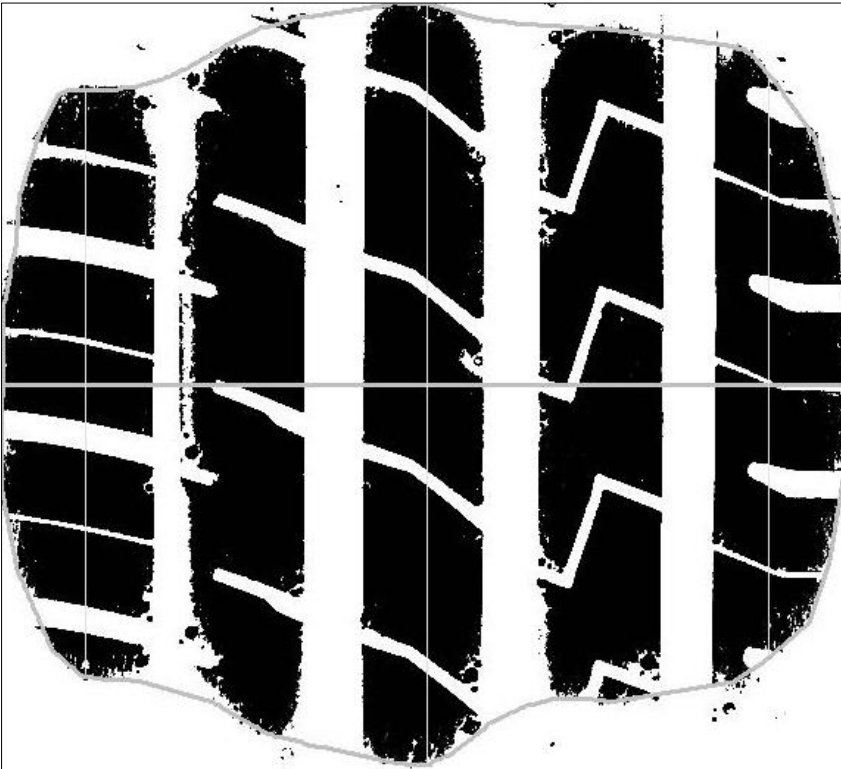
Şekil 5.7. 24° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.8’de 26° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



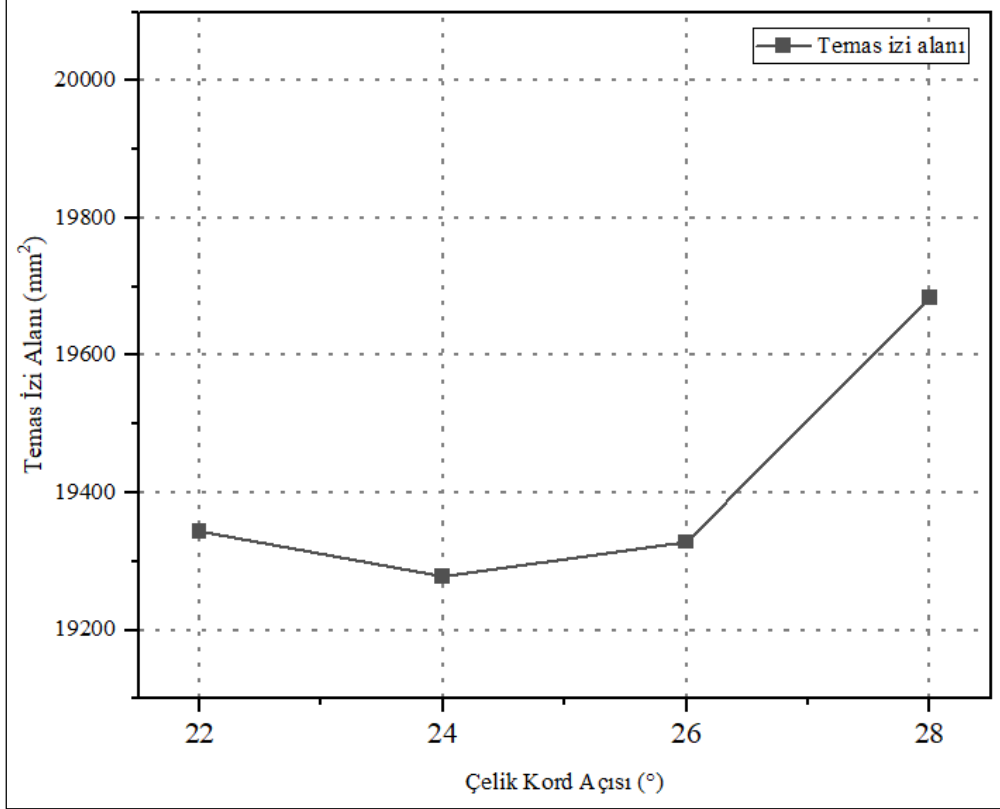
Şekil 5.8. 26° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.9'da 28° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



Şekil 5.9. 28° çelik kord ve boşluksuz polyamid kord sarımı temas izi

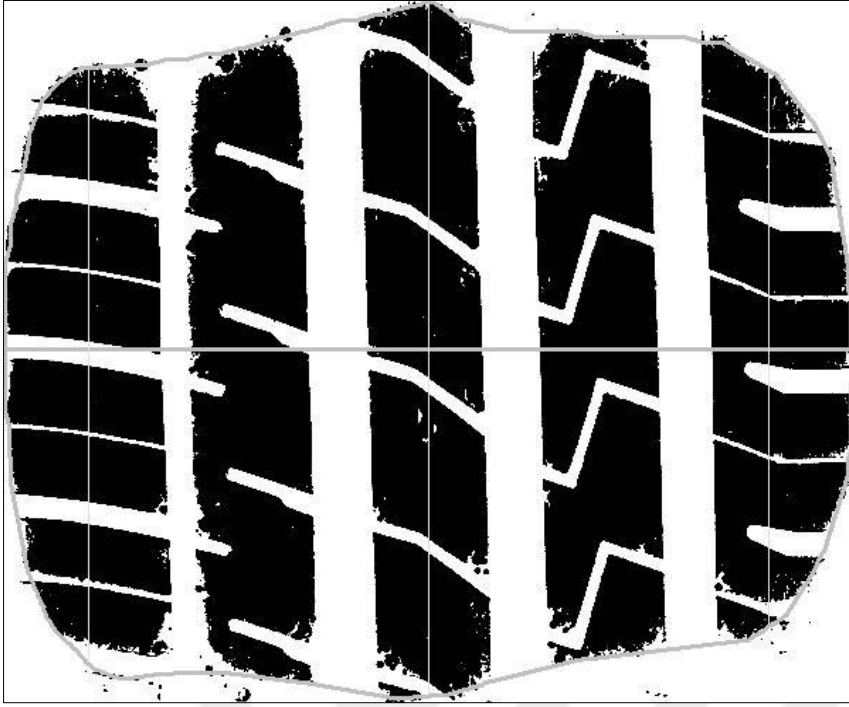
Elde edilen temas izlerinin orta noktalarındaki en geniş ve en uzun noktalar çarpılarak temas izi alanları hesaplanmıştır. 22°, 24°, 26° ve 28° çelik kord açısı ve polyamid kord sarımının boşluksuz olduğu lastikler için hesaplanan bu alanlara ait grafik Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Çelik kord açısına bağlı temas izi alan değerleri grafiği

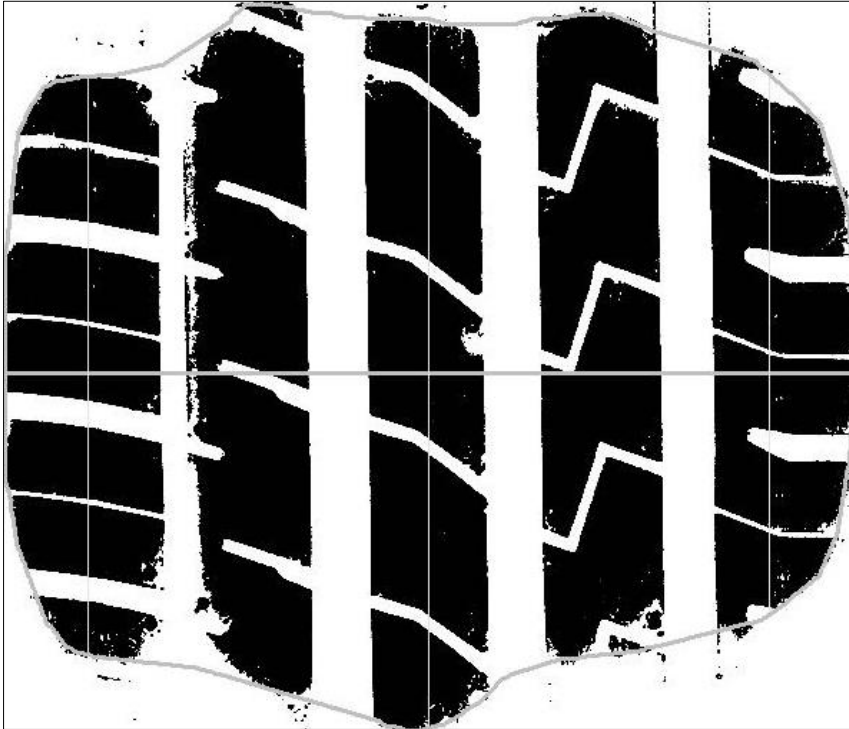
Elde edilen bu sonuçlara göre en düşük lastik temas izi alanı 24° çelik kord sarımında elde edilmiştir. 22° ve 26° çelik kord sarımlarında yakın değerler görülmüştür. 28° çelik kord sarımında ise diğer çelik kord açılarına göre belirgin bir şekilde temas izi alanında artış tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek değer açısından bakıldığında 28°'de hesaplanan değer 24°'de hesaplanan değerden %2,11 büyüktür.

Yapılan devam testlerinde öncelikli olarak 24° çelik kord sarımından başlanmıştır. Şekil 5.11'de 24° çelik kord sarımı ile birlikte 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



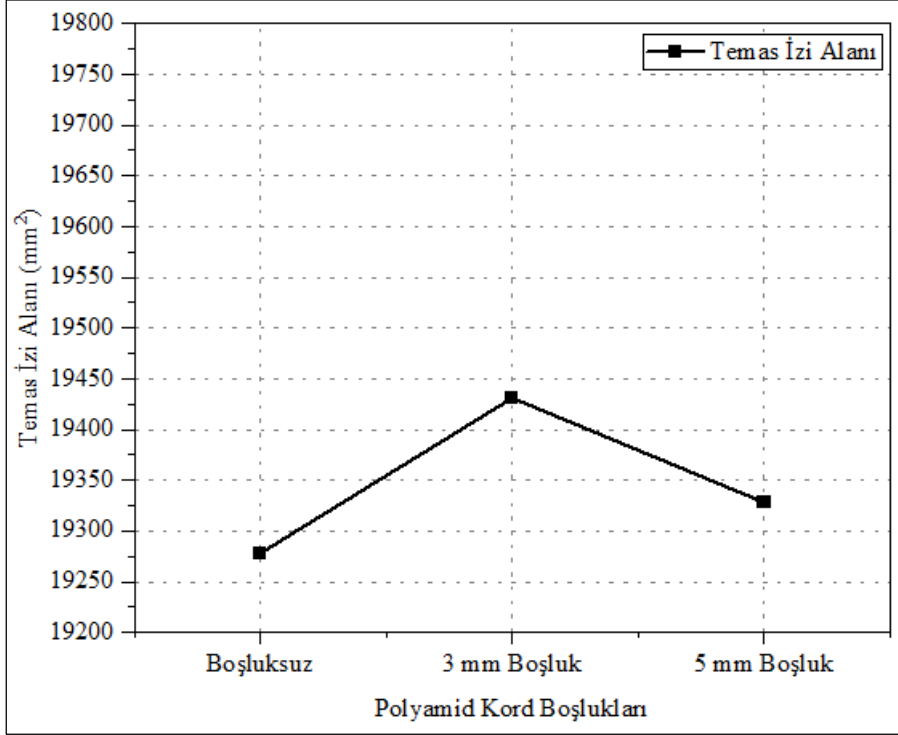
Şekil 5.11. 24° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.12’de 24° çelik kord sarımı ile 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



Şekil 5.12. 24° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

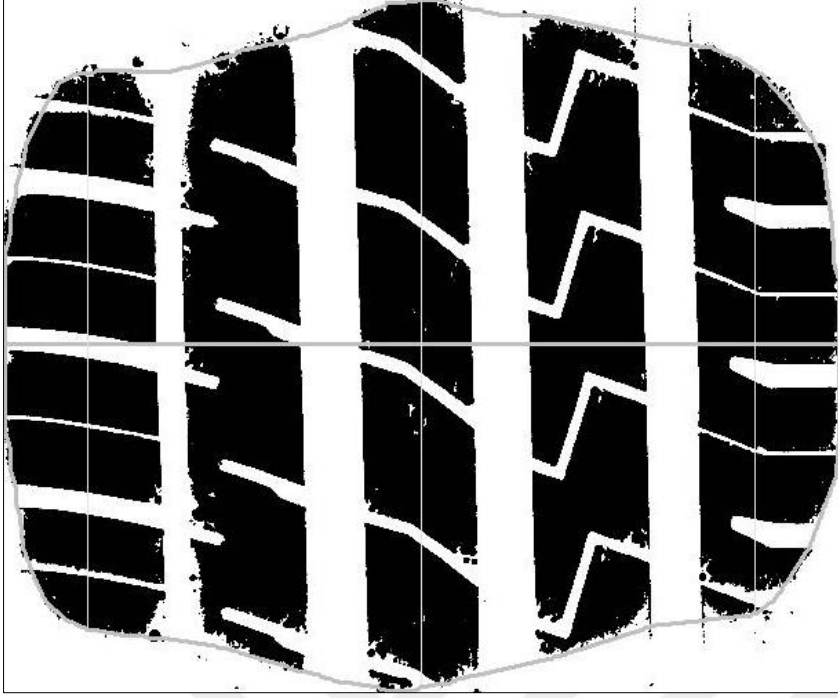
Bu temas izlerinden alınan en geniş ve en uzun orta noktalarının çarpımı ile lastiklere ait temas izi alanları hesaplanmıştır. Şekil 5.13’de 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı hesaplanan temas izi alan grafiği verilmiştir.



Şekil 5.13. 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği

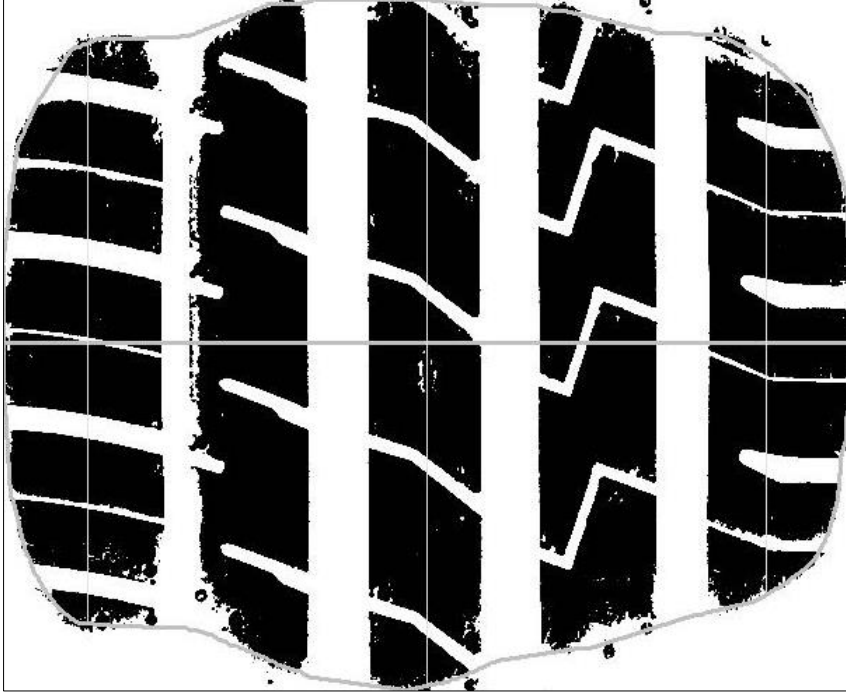
Elde edilen verilere göre, 24° çelik kord sarımı sabit tutulup polyamid kordların sarım boşlukları değiştirildiğinde, polyamid kordun boşluksuz sarımına göre 3 mm ve 5 mm boşluklu sarımların her ikisinde de artış gözlemlenmiştir. Bu artış boşluksuz sarıma göre 3 mm boşluklu polyamid sarımında %0,79, 5 mm boşluklu sarımda ise %0,26’dır.

Yapılan devam testinde ise 22° çelik kord sabit tutulmuştur. Şekil 5.14’de 22° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



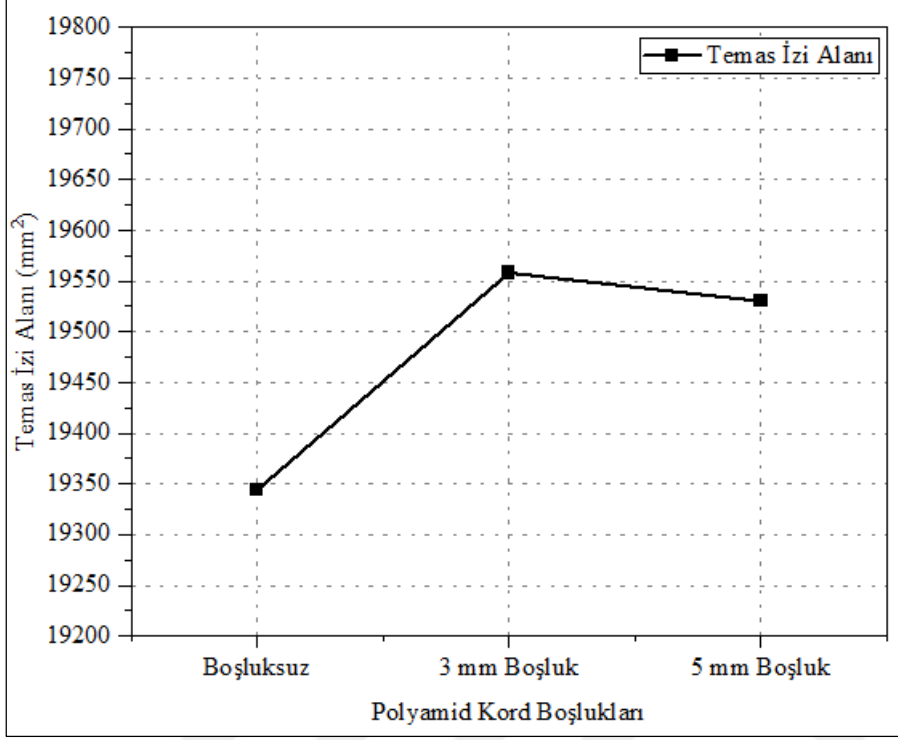
Şekil 5.14. 22° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.15’de 22° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



Şekil 5.15. 22° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.16’da 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı elde edilen temas izlerinden hesaplanan temas izi alan grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.16. 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği

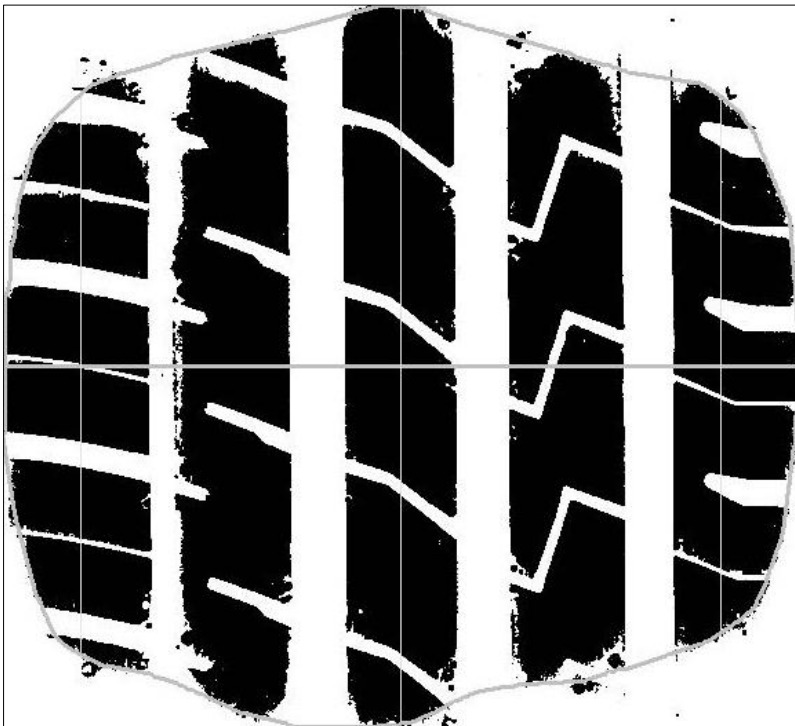
Elde edilen verilere göre, 22° çelik kord sarımı sabit tutulup polyamid kordların sarım boşlukları değiştirildiğinde, polyamid kordun boşluksuz sarımına göre 3 mm ve 5 mm boşluklu sarımların her ikisinde de belirgin şekilde artış gözlemlenmiştir. Bu artış boşluksuz sarıma göre 3 mm boşluklu sarımda %1,10 ve 5 mm boşluklu sarım da %0,96 elde edilmiştir. olduğu tespit edilmiştir. Boşluksuz sarıma göre 3 mm ve 5 mm boşluklu sarımlarda kendi aralarında birbirine yakın değerler olsa da 3 mm boşluklu sarımda diğer iki sarıma göre en yüksek temas izi alanı elde edilmiştir.

Devam testlerine 26° çelik kord açısı ile devam edilmiştir. Şekil 5.17’de 26° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



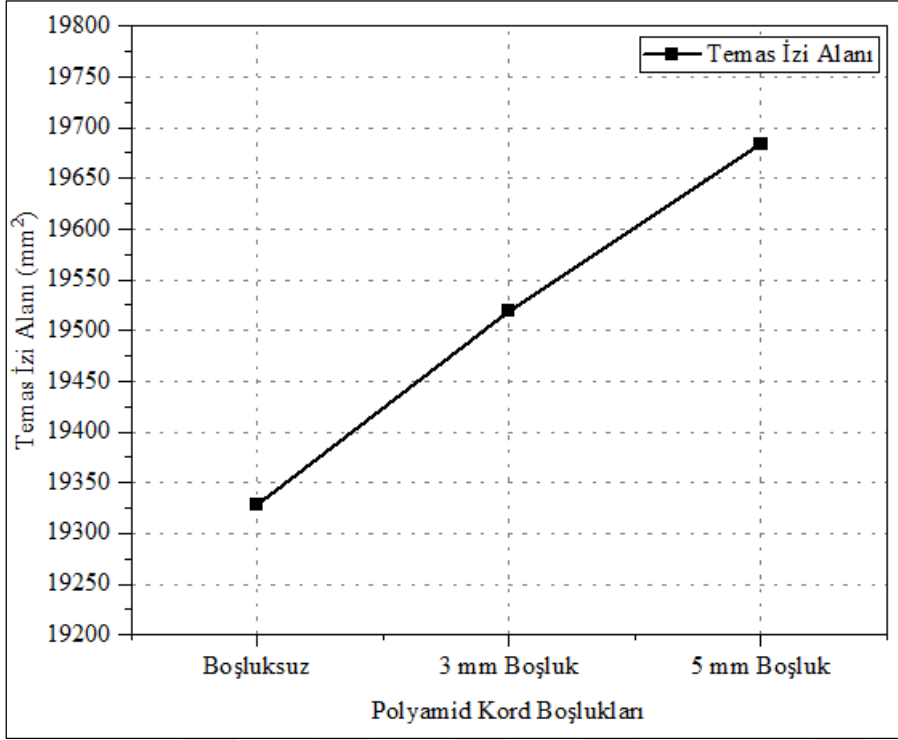
Şekil 5.17. 26° çelik kord ve 3mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.18'de 26° çelik kord ve 5mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



Şekil 5.18. 26° çelik kord ve 5mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

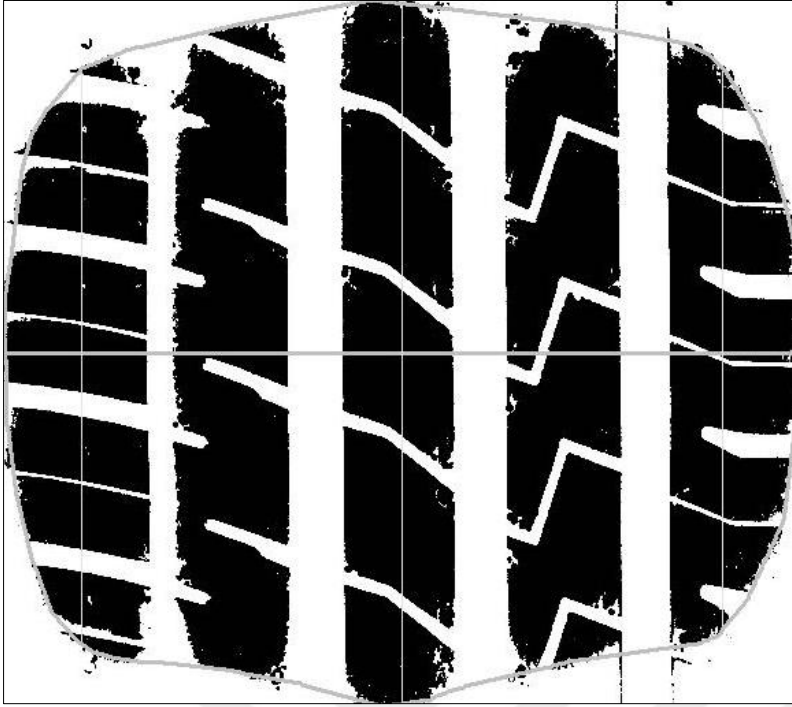
Şekil 5.19.'da 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı elde edilen temas izlerinden hesaplanan temas izi alan grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.19. 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği

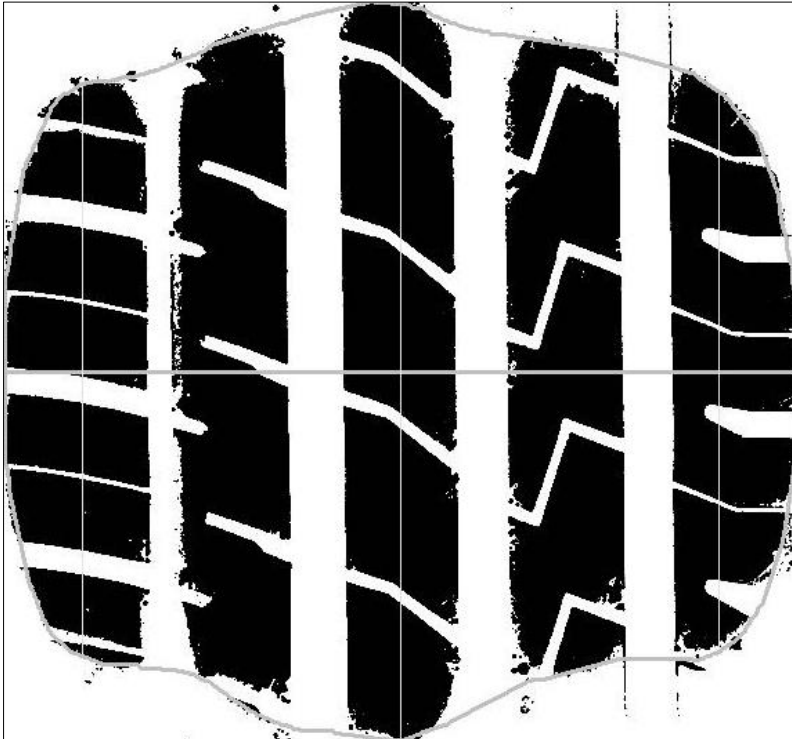
Elde edilen verilere göre, 26° çelik kord sarımı sabit tutulup polyamid kordların sarım boşlukları değiştirildiğinde, polyamid kordun boşluksuz sarımına göre 3 mm ve 5 mm boşluklu sarımların düzenli bir artış gözlemlenmiştir. Boşluksuz sarım ve 3 mm boşluklu sarımda temas alan izleri arasında %0,98 fark bulunmaktadır. En düşük temas izi alanı boşluksuz polyamid kord sarımlı lastikte, en yüksek temas izi alanı ise 5 mm boşluklu polyamid kord sarımlı lastiğin temas izi alanında olduğu gözlemlenmiştir. Aralarında %1,83'lük bir fark bulunmaktadır.

Devam testleri son olarak 28° çelik kord sarımı sabit tutularak devam edilmiştir. Şekil 5.20'de 28° çelik kord ve 3 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



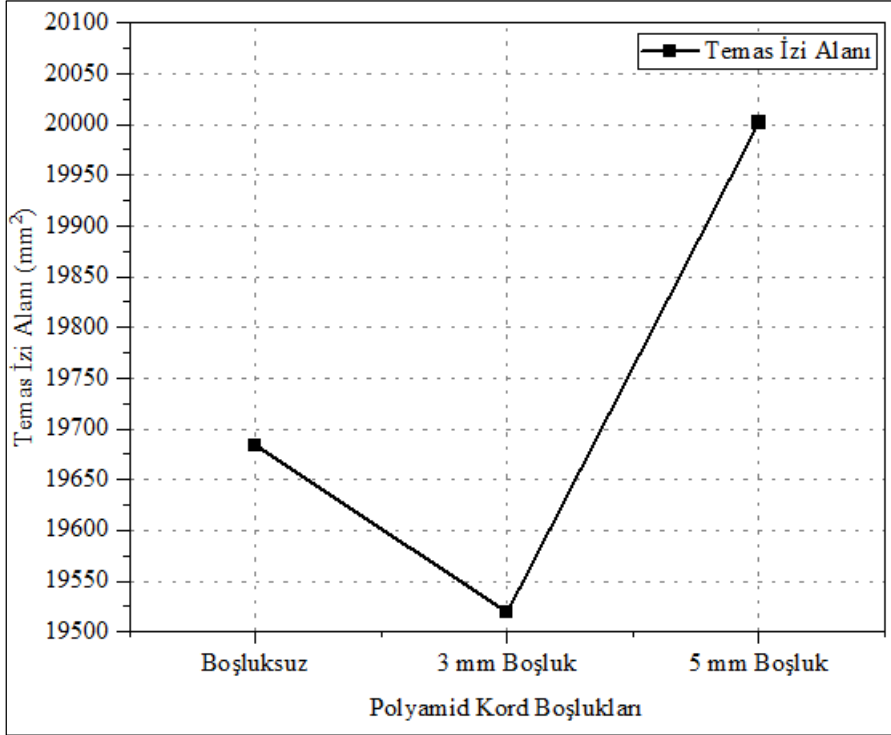
Şekil 5.20. 28° çelik kord ve 3mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.21'de 28° çelik kord ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi gösterilmiştir.



Şekil 5.21. 28° çelik kord ve 5mm boşluklu polyamid kord sarımı temas izi

Şekil 5.22’de 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı elde edilen temas izlerinden hesaplanan temas izi alan grafiği gösterilmiştir.

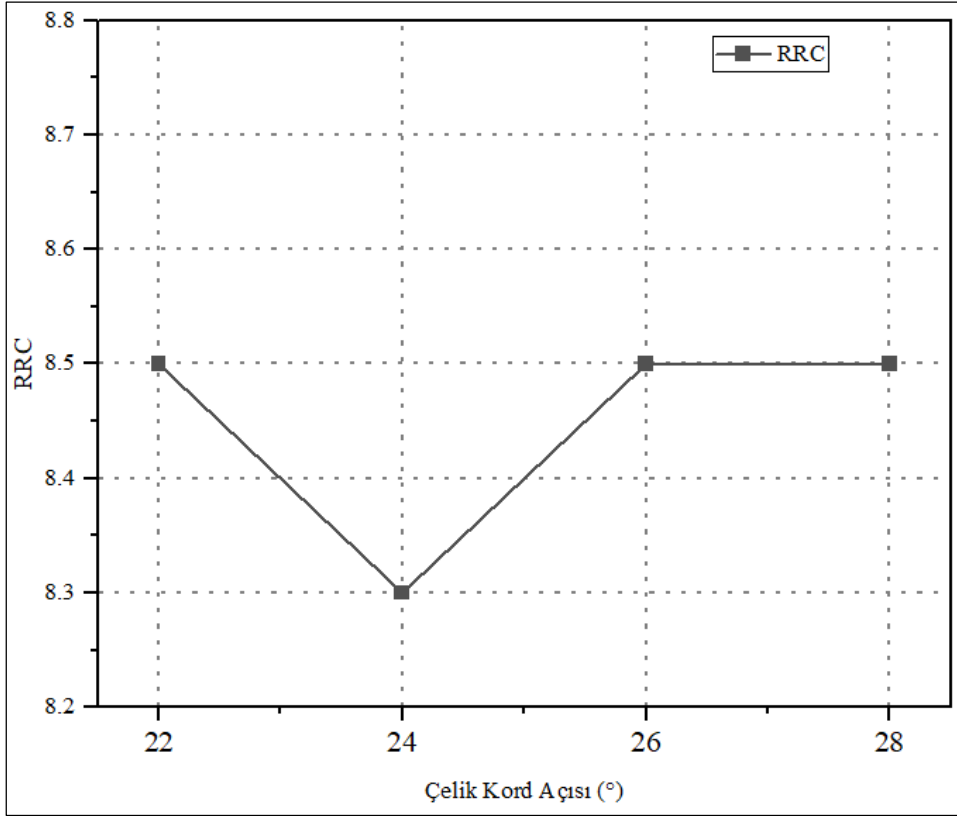


Şekil 5.22. 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı temas izi alan grafiği

Elde edilen verilere göre, 28° çelik kord sarımı sabit tutulup polyamid kordların sarım boşlukları değiştirildiğinde, 3 mm boşluklu polyamid kord sarımında tespit edilen temas izi alanı, boşluksuz polyamid kord sarımına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat 5mm boşluklu polyamid kord sarımında ise bu tutumun tam tersine, boşluksuz sarımdan daha fazla temas izi alanı hesaplanmıştır. En düşük temas izi alanı 3 mm boşluklu polyamid kord sarımlı lastikte ve boşluksuz sarıma göre %0,84 düşük, en yüksek temas izi alanı ise 5 mm boşluklu polyamid kord sarımlı lastikte ve boşluksuz sarıma göre %1,60 yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

5.3. Yuvarlanma Direnci Katsayısı Test Sonuçları

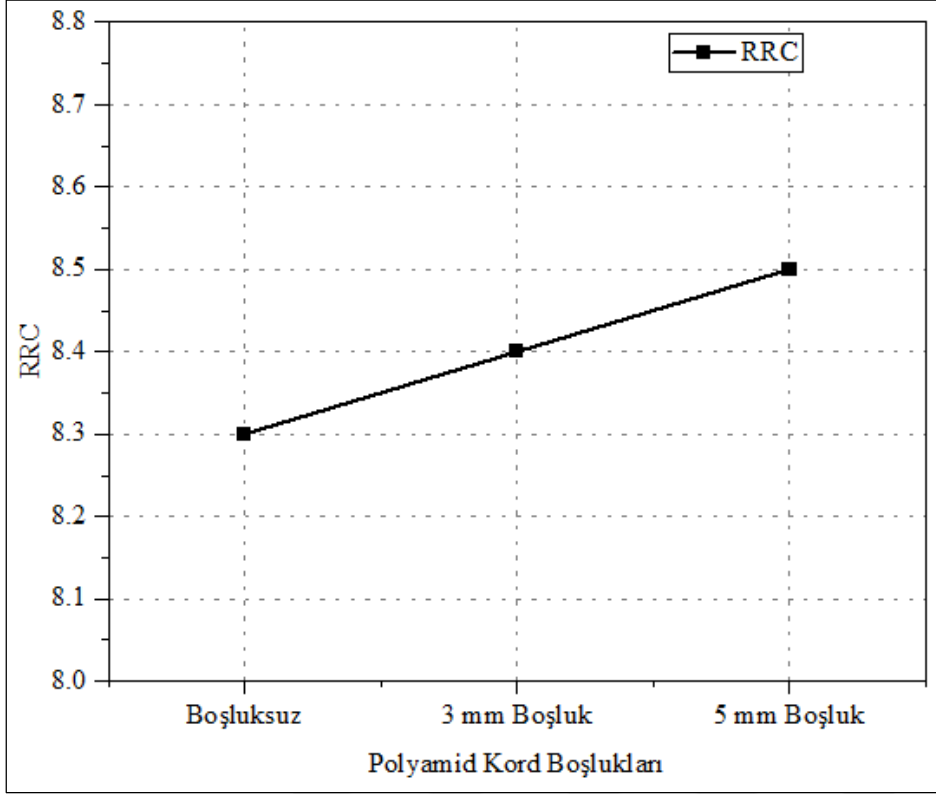
Yapılan testlerde ilk olarak polyamid kord açıklığını boşluksuz olarak sabit tutup çelik kord açısına bağlı olarak yuvarlanma direnci katsayısı (RRC) değerleri ölçülmüştür. Şekil 5.23’de 22°, 24°, 26° ve 28° çelik kord açıları için RRC değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.23. Çelik kord açısına bağlı RRC değerleri grafiği

Elde edilen RRC verilerine göre en düşük değer 24° çelik kord sarımında elde edilmiştir. 22°, 26° ve 28° çelik kord sarımlarında 24° çelik kord sarımına göre yüksek değerler gözlemlenmiştir.

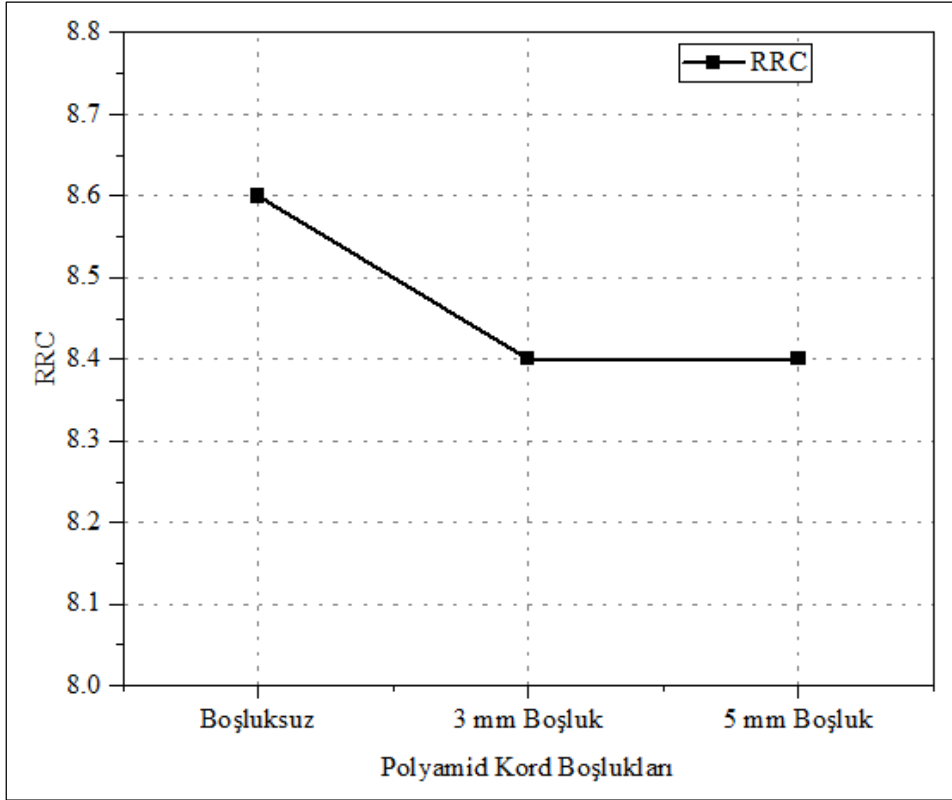
Devam testleri 24° çelik kord sabit tutulup polyamid kord sarımını değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.24'de 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.24. 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği

Yapılan 24° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC testlerinde 3 mm boşluklu polyamid sarımı ve 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklerde boşluksuz sarıma göre RRC değerleri daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek RRC değeri 5 mm boşluklu polyamid sarımlı lastiklerde, en düşük RRC değeri ise boşluksuz polyamid sarımı olan lastiklerde tespit edilmiştir.

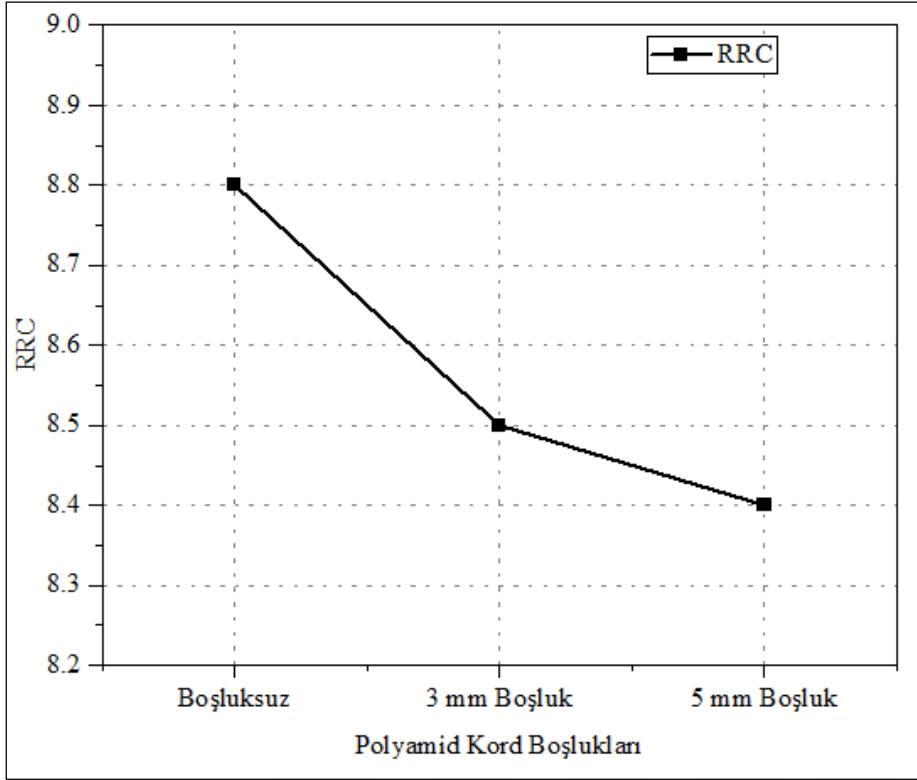
Devam testleri 22° çelik kord sabit tutulup polyamid kord sarımını değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.25’de 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.25. 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği

Yapılan 22° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC testlerinde boşluksuz polyamid kord sarımının RRC sonucu, 3 mm boşluklu polyamid sarımı ve 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 3 mm boşluklu polyamid sarımı ve 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklerin RRC değerleri arasında bir farklılık gözlemlenmemiştir.

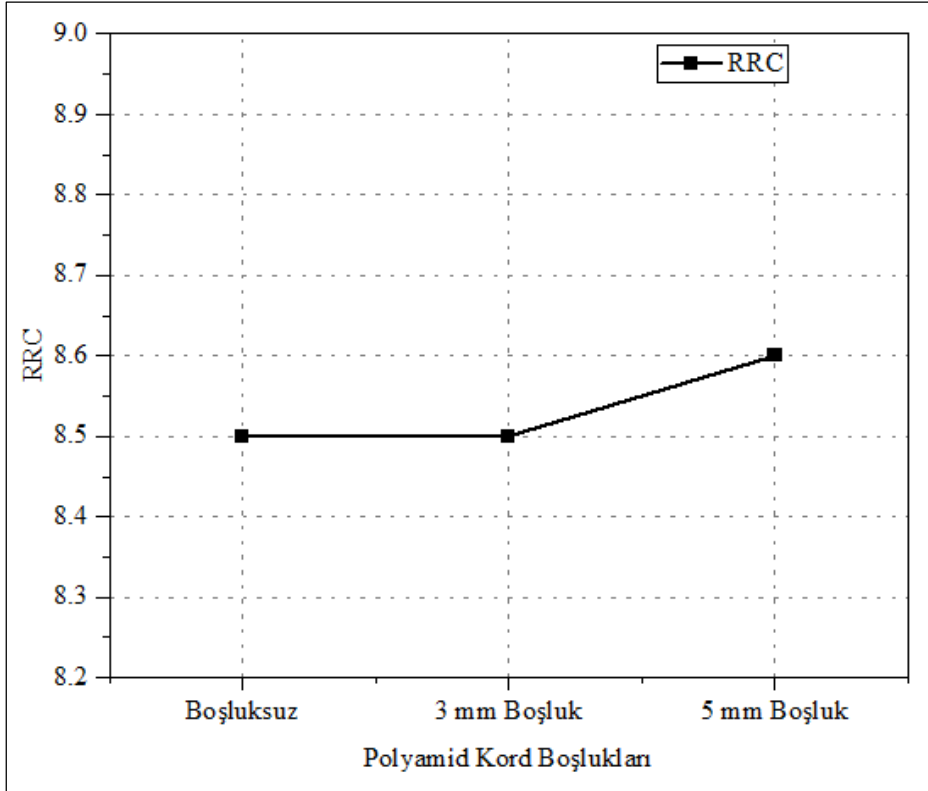
Devam testleri 26° çelik kord sabit tutulup polyamid kord sarımını değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.26'de 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.26. 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği

Yapılan 26° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC testlerinde boşluksuz polyamid kord sarımının RRC sonucu, 3 mm boşluklu ve 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük RRC değeri 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklerde tespit edilmiştir.

Devam testleri 28° çelik kord sabit tutulup polyamid kord sarımını değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.27’de 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.27. 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC değerleri grafiği

Yapılan 28° çelik kord ve polyamid kord sarımına bağlı RRC testlerinde boşluksuz polyamid kord sarımı ve 3 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklerin RRC sonuçları, 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek RRC değeri 5 mm boşluklu polyamid sarımı olan lastiklerde gözlemlenmiştir. Boşluksuz sarım ve 3 mm polyamid sarımlı lastiklerin RRC değerleri arasında bir fark tespit edilmemiştir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan testler sonucunda FV değerleri, çelik kord açısına bağlı olarak elde edilen verilere göre RFV değerinde çelik kord açısının artmasıyla artış eğilimi gözlemlendi. 22° çelik kord açısı en yüksek LFV değerine sahipken, 24° çelik kord açısı en düşük değeri gösterdi. CON değeri, 24° çelik kord açısında düşük, 28° çelik kord açısında en yüksek seviyededir.

Polyamid kord açısında bağlı olarak elde edilen verilere göre ise polyamid kordlardaki boşluk miktarı arttıkça FV değerlerinde artış gözlemlendi. 3 mm ve 5 mm boşluklu polyamid kord sarımı ile yapılan testlerde FV değerlerinde artış görüldü. 28° çelik kord açılı lastiklerde ise RFV değerinde artış ve LFV değerinde 3 mm boşluklu polyamid kord sarımında düşüş, 5 mm boşluklu sarımda yükselme tespit edildi.

Yapılan testler sonucunda temas izi alanı değerleri, çelik kord açısına bağlı olarak elde edilen verilere göre en düşük temas izi alanı 24° çelik kord sarımında elde edildi. 22° ve 26° çelik kord sarımlarında yakın değerler gözlemlendi. 28° çelik kord sarımında belirgin bir artış tespit edildi.

Polyamid kord açısında bağlı olarak elde edilen verilere göre ise 28° açılı çelik kord sarımı dışında polyamid kordlardaki boşluk miktarı arttıkça temas izi alanında artış gözlemlendi. 28° çelik kord ve 3mm boşluklu polyamid kord sarımı yapılan lastiklerde daha düşük temas izi alanı saptandı.

Yapılan testler sonucunda RRC değerleri, çelik kord açısına bağlı olarak elde edilen verilere göre en düşük RRC değeri 24° çelik kord sarımında gözlemlendi. 22°, 26°, ve 28° çelik kord sarımlarında RRC değerlerinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmedi.

Polyamid kord açısında bağlı olarak elde edilen verilere göre ise 24° çelik kord ve polyamid kord sarımında boşluk arttıkça RRC değerleri yükseldi. En yüksek RRC değeri 5 mm boşluklu polyamid sarımlı lastiklerde tespit edildi. 22° ve 26° çelik kord sarımında boşluksuz polyamid kord sarımı, 3 mm ve 5 mm boşluklu sarımlara göre daha yüksek RRC değerine sahiptir. 28° çelik kord sarımında ise 5 mm boşluklu polyamid sarımı en yüksek RRC değerine sahiptir.

Bu yapılan testlerin sonuçlarına göre 24° çelik kord açısının hem FV değerlerinde hem de temas izi alanında en düşük değerleri sunduğu göz önüne alındığında, optimum performans için 24° çelik kord açısı tercih edilebilir.

Polyamid kord boşluklarının artırılmasının FV ve RRC değerlerini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, boşluksuz veya minimal boşluklu (örneğin, 3 mm) polyamid kord sarımı tercih edilmelidir.

En düşük RRC değerine sahip lastikler yakıt verimliliği açısından avantaj sağlar. 24° çelik kord ve boşluksuz polyamid sarımı, yakıt verimliliği için en uygun kombinasyon olarak önerilmektedir.

28° çelik kord açısının yüksek temas izi alanı sağlaması, daha fazla yol tutuşu sağlasa da, yüksek RRC değerleri yakıt tüketimini artırabilir. Bu nedenle, performans ve güvenlik arasında bir denge sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Karaytuğ, B. (2009). *Footprint Analysis of Radial Passenger Tire*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
2. Mohsenimanesh, A., Ward, S. M., Gilchrist, M. D. (2009). Stress Analysis of A Multi-Laminated Tractor Tyre Using Non-Linear 3D Finite Element Analysis, *Materials and Design*, 30(4), 1124-1132.
3. Redrouthu, B. M., Das, S. (2014). *Tyre Modelling for Rolling Resistance*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology Department of Applied Mechanics.
4. Çetinkaya, S. (2017). *Taşıt Mekaniği*. (Geliştirilmiş 8. Basım). Nobel Akademik Yayıncılık. 137-138, 139, 159-160.
5. İnternet: The Inventors. Inventors: The history of tires. URL: <https://theinventors.org/library/inventors/bltires.htm>, Son Erişim Tarihi: 29.05.2024
6. Ghoreishy, M. H. R. (2008). A state of the art review of the finite element modelling of rolling tyres. *Iranian Polymer Journal*, 17(8), 571-597
7. İnternet: Open Road Auto Group. Can all-season tires be used in winter? URL: <https://blog.openroadautogroup.com/can-all-season-tires-be-used-in-winter/>, Son Erişim Tarihi: 08.02.2024
8. İnternet: Tire Doctors. All-seasons vs winter tires. URL: <https://www.tiredoctors.com/all-seasons-vs-winter-tires/>, Son Erişim Tarihi: 08.02.2024
9. Erol, D. (2011). Taşıt Lastikleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3), (37-50).
10. İnternet: TechShopMag. Protect the tire bead to protect the tire driver & technician. URL: <https://www.techshopmag.com/protect-the-tire-bead-to-protect-the-tire-driver-technician/>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2024
11. İnternet: Bekaert. Bead wire for tires. URL: <https://www.bekaert.com/en/products/automotive/exterior/bead-wire-for-tires>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2024
12. İnternet: Bridgestone. Structure of tires. URL: https://www.bridgestone.com/products/basic_knowledge/structure/, Son Erişim Tarihi: 13.02.2024
13. İnternet: TireCrunch. Tire manufacturing defects. URL: <https://tirecrunch.com/tire-manufacturing-defects/>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2024
14. İnternet: Tire Rack. What are sidewall indentations, undulations, and protrusions? URL: <https://www.tirerack.com/upgrade-garage/what-are-sidewall-indentations-undulations-protrusions>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2024

15. İnternet: USTires. What's a tire? URL: <https://www.ustires.org/whats-tire-0>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2024
16. İnternet: Hankook Tire. Tire structure. URL: <https://www.hankooktire.com/us/en/help-support/tire-guide/tire-structure.html>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2024
17. İnternet: InterEuropean. Tire section cutting brochure 2014. URL: <https://intereuropean.it/files/Tire-Section-Cutting-Brochure-2014s.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2024
18. Weysenhoff, A., Opala, M., Koziak, S., Melnik, R. (2019) Characteristics and Investigation of Selected Manufacturing Defects of Passenger Car Tires, *Transportation Research Procedia*, (40), 119-126.
19. Brewer, H. K., Clark, S. K., Gent, A. N., Gingo, J. M., Hermann, C., Hochschwender, J. M., Stephens, D. R., Walter, J. D. (2006). *The Pneumatic Tire*, U.S. Department of Transportation, 3-4,7-8
20. İnternet: ScienceABC. What do the numbers on the car tyre mean? URL: <https://www.scienceabc.com/innovation/what-do-the-numbers-on-the-car-tyre-mean.html>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2024
21. İnternet: Havoc Offroad. Nitto 420V all-season tires. URL: <https://havocoffroad.com/p/nitto-420v-all-season-tires/>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2024
22. İnternet: Continental Tires. Tire production. URL: <https://www.continental-tires.com/products/b2c/tire-knowledge/tire-production/>, Son Erişim Tarihi: 15.02.2024
23. İnternet: Michelin. How are tires made? URL: <https://www.michelinman.com/auto/auto-tips-and-advice/tires-101/how-are-tires-made>, Son Erişim Tarihi: 18.02.2024
24. İnternet: Bridgestone. Aircraft tire production process. URL: <https://www.bridgestone.com/products/aircraft/products/process/>, Son Erişim Tarihi: 18.02.2024
25. İnternet: Continental Tires. Tire markings. URL: <https://www.continental-tires.com/tr/tr/b2c/tire-knowledge/tire-markings/>, Son Erişim Tarihi: 24.02.2024
26. İnternet: LastikSatinal. Tire purchasing guide. URL: <https://www.lastiksatal.com/sayfa/www-lastiksatal-com-sayfa-index-php-dynamic-view-pid-21>, Son Erişim Tarihi: 24.02.2024
27. İnternet: Michelin Engineering and Services. Test and measurement. URL: <https://engineering-and-services.michelin.com/test-and-measurement/>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2024
28. Du, M., Sun, P., Zhou, S., Huang, H., Zhu, J. (2020). A Study on the Influence of Tire Speed and Pressure on Measurement Parameters Obtained from High-Speed Tire Uniformity Testing, *Vehicles*, 2(3), 559-573.

29. İnternet: Micro-Poise Measurement Systems. Industry terms. URL: <https://www.micropoise.com/knowledge-center/industry-terms/>, Son Erişim Tarihi: 06.03.2024
30. Moisescu, A.R, Anghelache, G., Cristea, G. (2018). Investigation of Radial Modal Behaviour Using Finite Element Analysis for Truck Tyres Without Road Contact, *Procedia Manufacturing*, 22, 99-106.
31. Roland, R.D., Rice, R.S., Kakaley, E. (1974). *Tire Properties Effects on Passenger Car Handling*, SAE, International Automobile Tire Conference, 741108, Toronto/Canada.
32. Cho, J.R., Kim, K.W., Jeon, D.H., Yoo, W.S. (2005). Transient Dynamic Response Analysis Of 3-D Patterned Tire Rolling Over Cleat, *European Journal of Mechanics A/Solids*, 24(3), 519-531.
33. Koca, A. (2007). Lastik Hava Basıncı ve Taşıt Hızının Dinamik Yarıçap Değişimine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 305-311.
34. Pelc, J. (2006). Towards Realistic Simulation of Deformations and Stresses in Pneumatic Tyres, *Applied Mathematical Modelling*, 31(3), 530-540.
35. Lee, J. (2010). Analysis of Tire Effect on the Simulation of Vehicle Straight Line Motion, *Vehicle System Dynamics, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 33(6), 373-390.
36. Ansorge, D., Godwin, R.J. (2007). The Effect of Tyres and a Rubber Track at High Axle Loads on Soil Compaction, Part 1: Single Axle-studies, *Biosystems Engineering*, 98(1), 115-126.
37. Lindenmuth, B. E. (1974). *Tire Conicity and Ply Steer Effects on Vehicle Performance*, SAE Automotive Engineering Congress, 740074, Detroit.
38. Gözen, C. (2007). *Araba Lastiklerinin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
39. Heinrich, G. Klüppel, M. (2008). Rubber Friction, Tread Deformation and Tire Traction, *Wear*, 265(7-8), 1052-1060.
40. Wang, Z., Ji, Q. (2010) Simulation of Rolling Resistance of Tire Based on ANSYS, *Advanced Materials Research*, 156-157, 592-595.
41. Karakuş, M., Çolakoğlu, M. (2007). Araba Lastiğinin Farklı Düşey Yük ve Basınçlar Altında Gerilme Analizi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 21-28.
42. Suyabodha, A. (2017). *A Relationship Between Tyre Pressure and Rolling Resistance Force Under Different Vehicle Speed*, MATEC Web of Conferences 108, 12004.

43. DeRaad, L. W. (1978). *The Influence of Road Surface Texture on Tire Rolling Resistance*, Congress and Exposition Cobo Hall, Detroit February 27-March 3, 780257.
44. Li, L., Wang, Y. (2012). The Finite Element Analysis of Steel Cord in Radial Tire's Belt Ply, *Key Engineering Materials*, 501, 495-499.
45. İnternet: Kobelco. Tire uniformity testing. URL: https://www.kobelco.co.jp/archive_e/topics/2004/12/1173535_9332.html, Son Erişim Tarihi: 19.05.2024
46. İnternet: Inmess. Tire uniformity grading machine. URL: <https://www.inmess.de/en/tire-uniformity-grading-machine-tuo/>, Son Erişim Tarihi: 25.05.2024
47. İnternet: Bara Scientific. Tire compression testing machine. URL: <https://www.barascientific.com/product/testing-machines/special-purpose-tester/tire-compression-testing-machine>, Son Erişim Tarihi: 24.05.2024



Gazili olmak ayrıcalıktır