İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞIT PARAMETRELERİNİN ÜRETİM TOLERANSLARININ SEYİR DİNAMİĞİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. İlhan GÜVEN

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : OTOMOTİV

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞIT PARAMETRELERİNİN ÜRETİM TOLERANSLARININ SEYİR DİNAMİĞİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. İlhan GÜVEN
(503901061)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali G. GÖKTAN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Metin ERGENEMAN (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Orhan DENİZ (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bilgi ve tecrübeleri ile beni bu çalışmamda destekleyen ve yönlendiren tez danışmanım Sn Prof. Dr. Ali G. GÖKTAN'a çok teşekkür ediyorum. Ayrıca araç testlerinin gerçekleşmesi için ölçümleri ile testleri gerçekleştirmemde yardımcı olan lastik üreticisi firmasına da teşekkür ediyorum.

May 2006 İlhan GÜVEN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xi

1. GİRİŞ 1

2. ARAÇ DİNAMİĞİ 3
2.1 Giriş 3
2.2 Araç Modeline Yaklaşım 4
2.2.1 İndirgenmiş Kütle 5
2.2.2 Araç Koordinat Sistemi 5
2.2.3 Hareket Değişkenleri 6
2.2.4 Sabit Koordinat Sistemi 6
2.2.5 Euler Açıları 7
2.2.6 Kuvvetler 7

3. TAŞIT DİNAMİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER 9
3.1 Tekerlek Asılışları 9
3.1.1 Toe Açısı 9
3.1.2 Camber Açısı 10
3.1.3 Camber Açısı Asimetrisi 11
3.1.4 Caster Açısı 11
3.1.5 Caster Açısı Asimetrisi 12
3.1.6 Caster İzi 12
3.1.7 Scrub Yarıçapı 12
3.1.8 Thrust Açısı 13
3.2 Lastik Karakteristikleri 13
3.2.1 Conicity ve Plysteer 13
3.2.2 Statik ve Dinamik Balansızlık 14
3.3 Araç Geometrisi 14
3.3.1 Aks Mesafesi 14
3.3.2 İz Genişliği 15
3.3.3 Ağırlık Merkezi 15

4. LASTİKLER **16**
4.1 Lastiğin Yapısı 16
4.2 Terminoloji ve Eksen Sistemi 17
4.3 Slip Açısı 18
4.4 Hizalama Momenti 19
4.5 Conicity ve Plysteer 20

5. LASTİKTEN KAYNAKLANAN ARAÇ ÇEKME PROBLEMİ **23**
5.1 Önemli Kavramlar 23
5.2 Ön Aks Etkileri 24
5.3 Araç Davranışlarının Deneysel Analizleri 29
5.3.1 Deney Prosedürleri 29
5.3.2 Sonuçların Analizi 30

6. ÖZET VE SONUÇLAR **33**

KAYNAKLAR **34**

ÖZGEÇMİŞ **35**

KISALTMALAR

CG **:** Ağırlık Merkezi **(**Center of Gravity)
SAE **:** Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1. Araç Testleri Sonuçları (60 km/h araç hızı).....…… 30

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	SAE Araç Eksen Sistemi..…….....	5
Şekil 2.2	Sabit Koordinat Sistemindeki Araç.....	7
Şekil 2.3	SAE Koordinat Sistemine Göre Lastik Kuvvet ve Momentleri.....	8
Şekil 3.1	Toe – In.....	9
Şekil 3.2	Toe – Out.....	9
Şekil 3.3	Pozitif Camber.....	10
Şekil 3.4	Negatif Camber.....	10
Şekil 3.5	Pozitif Camber.....	11
Şekil 3.6	Negatif Camber.....	11
Şekil 3.7	Caster İzi.....	12
Şekil 3.8	Scrub Yarıçapı.....	13
Şekil 3.9	Thrust Açısı.....	13
Şekil 3.10	Araç Aks Mesafesi ve İz Genişliği.....	14
Şekil 4.1	Diagonal ve Radyal Lastiklerin Yapıları.....	16
Şekil 4.2	SAE Lastik Eksen Sistemi.....	18
Şekil 4.3	Lastiğin Şekil Değişimi.....	19
Şekil 4.4	Sıfır Kayma Açısı Etrafında Lastik Yanal Kuvvet Davranışı.....	20
Şekil 4.5	Pnömatik Lastikteki Conicty.....	21
Şekil 5.1	Lastiğin Yanal Kuvvet ve Hizalama Momenti.....	23
Şekil 5.2	Yanal Kuvvet ve Hizalama Momenti Değişimleri.....	24
Şekil 5.3	Caster İzi.....	25
Şekil 5.4	Direksiyon Ekseni Momenti.....	25
Şekil 5.5	Sapma Açısının Tanımı.....	30
Şekil 5.6	Ön Aks Ortalama Yanal Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı.....	31
Şekil 5.7	Ön Aks Conicity Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı.....	31
Şekil 5.8	Eşitlik 5.12 ile Hesaplanan Ön Aks Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı.....	32

SEMBOL LİSTESİ

x	**:** Aracın Boyuna Ekseni
y	**:** Aracın Yanal Ekseni
z	**:** Aracın Aşağıya Doğru Olan Ekseni
X	**:** İleri Hareket Yönü
Y	**:** Sağa Hareket Yönü
Z	**:** Dikey Hareket Yönü
p	**:** x Ekseni Etrafındaki Hız
q	**:** y Ekseni Etrafındaki Hız
r	**:** z Ekseni Etrafındaki Hız
ψ	**:** x ekseni ile X ekseni arasındaki açı
ν	**:** Aracın hızının vektörel yönü ile X ekseni arasındaki açı
β	**:** x ekseni ile aracın hızının vektörel yönü arasındaki açı
$\mathbf{F_{x,y,z}}$	**:** Lastiğe Etkiyen Kuvvetin x, y ve z Yönündeki Bileşenleri
$\mathbf{M_{x,y,z}}$	**:** Lastiğe Etkiyen Momentin x, y ve z eksenindeki Bileşenleri
α	**:** Lastiğin Kayma Açısı
γ	**:** Camber Açısı
$\mathbf{F_{y0}}$	**:** Lastiğin Sıfır Kayma Açısındaki Yanal Kuvveti
$\mathbf{M_{z0}}$	**:** Lastiğin Sıfır Kayma Açısındaki Hizlama Momenti
$\mathbf{C_{\alpha}}$	**:** Dönüş Sertliği
$\mathbf{K_{\alpha}}$	**:** Hizalama Sertliği
e	**:** Caster İzi
$\mathbf{M_s}$	**:** Direksiyon Ekseni Momenti
λ	**:** Aracın Sapma Açısı

TAŞIT PARAMETRELERİNİN ÜRETİM TOLERANSLARININ SEYİR DİNAMİĞİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu tezde lastik karakteristiklerinin aracın iz sürüşüne olan etkileri incelenmiştir. Araç testlerinin yapılması için hafif ticari sınıf bir araç seçilmiştir. Farklı imalat prosesleri ile üretilmiş olan 10 adet 195 / 65 R15 boyutlarındaki lastikler test lastiği olarak seçilmiş, bu lastiklerin karakteristikleri "Uniformity" ve "Force And Moment" makinalarında ölçülmüştür. Aracın iz sürme sırasında yanal sapmasının, sırasıyla sıfır kayma açısındaki yanal kuvvet değeri, aks üzerindeki lastiklerin conicity değeri ve analitik inceleme sonucu ifade edilen aks yanal kuvveti ile olan ilişkisi incelenmiştir. Araç testleri için 10 adet lastiğin içinden 6 çift lastik oluşturulup, herbir çift lastik aracın ön aksına takılmıştır. Bu lastik çiftleri için, aracın ileriye doğru düz iz sürüşü sırasında, sürücünün direksiyondan hiçbir kuvvet uygulamaması durumundaki aracın yanal sapması ölçülmüştür. Araç testleri sonucunda lastik karakteristikleri ile aracın yanal sapması arasındaki korelasyon incelenmiştir.

Bu tez ile yapılan çalışma, aracın düz iz sürme yeteneğinin ön akstaki lastiklerden etkilendiğini açıkça göstermiştir. Özellikle ön akstaki lastiklerin conicity değerleri, aracın düz iz izleme hareketinden sapmasıyla doğrudan ilgilidir.

THE EFFECT OF PRODUCTION TOLERANCES OF THE VEHICLE PAREMETERS ON VEHICLE DYNAMICS

SUMMARY

In this work of thesis, the effect of the tire characteristics on the vehicle straight ahead motion has been studied. A light commercial vehicle available has been selected for this study. Ten tires of 195/65 R15 have been sampled and the characteristics of the tires have been measured at the uniformity machine and the force and moment machine. The relations among vehicle deviation, tire lateral force at zero slip angle, conicity and the axle lateral force have been investigated. Six pairs of tires have been made of ten tires for the vehicle test. Each pair of tires have been attached to the vehicle and tested for lateral deviation in the straight ahead motion with no steering input. Then, correlation between the tire charakteristics and vehicle deviation has been studied.

The study done in this thesis shows clearly that the straight ahead motion of the vehicle is influenced by the tires at the front axle. This fact is applied both to the experimantal test and to the analytical results. Especially the conicity value of the tires at the front axle is directly related to a deviation of the vehicle from its intented staight path.

1. GİRİŞ

Kaliteli otoyolların ortaya çıkışıyla birlikte ortaya çıkan otomotiv mühendisliği araştırmalarından biri de, düşük yanal ivmelerde araçların düz iz sürmelerini koruyabilmeleri üzerine yapılan çalışmalardır. Bu tür sorunlar, direksiyondan gerçekleştirilen düzeltmeler olmaksızın, aracın düz iz sürme hareketini yapamadığı durumlarda söz konusu olmaktadır. Böyle bir durumda sürücü sürüş izini korumak için direksiyonu kullanarak düzeltme hareketleri yapacak, ve bu da uzun yolculuklarda sürücünün yorulmasına neden olacaktır.

Araçların sürüş kontrolü, sürücü tarafından verilen kontrol girdilerine aracın tepkisinin bir ölçüsüdür. Girdiler, virajlarda ya da dönüşlerde direksiyon hareketleri şeklinde gerçekleşir. Bunlara ilave olarak, aracın düz bir iz sürmesi önemli bir yol tutma karakteristiğidir. Aracın düz bir izden sapmasına neden olabilecek çeşitli etkenler mevcutdur. Bu nedenler rüzgar ya da yolla ilgili nedenler olabilir. Bunlara ilave olarak sağa veya sola çekme sorunlarına aracın şasisi, lastikleri ya da direksiyon sistemi de neden olabilir. Ancak aracın ileriye doğru hareketinin dinamik simülasyonu sırasında araç genellikle, herhangi bir dış etki ya da direksiyon hareketi olmasa bile, hareket etmekte olduğu izden sapabilir. Buna neden olarak lastik karakteristiklerinin asimetrisi gösterilebilinir.

Bu çalışmada lastik yanal kuvvetinden ve moment asimetrisinden kaynaklanan etkiler ele alınmıştır. Test sürüşleri, rüzgar ya da yolun eğimi gibi harici etkilerin ihmal edilebilir büyüklüklüklerde olduğu durumlarda gerçekleştirilmiştir. Lastiğin yanal kuvveti ve hizalama momenti kayma açısının fonksiyonudur. Bu özellikler etkin kayma açılarını ve toplam aks yanal kuvvetlerini belirler. Yanal kuvvet ve hizalama momenti gibi lastik karekteristiklerinin her birinin aracın sağa veya sola çekişi üzerindeki etkisini göstermek amacıyla bu analiz gerçekleştirilmiştir.

Test sürüşlerinde hafif ticari sınıfından bir araç seçilmiştir. Aynı zamanda araç için uygun lastikler örneklenmiş ve bu lastiklerin herbiri lastik karakteristiklerinin belirlendiği cihazlarda ölçülmüştür. Yanal kuvvet asimetrileri yaratılacak şekilde lastik çiftleri aracın ön aksına takılarak, test sürüşleri gerçekleştirilmiştir. Bu sürüşler sırasında aracın belli bir mesafede yanal sapmaları not edilmiş ve bu sapma değerleri

ile, teorik yanal kuvvet ve lastik karakteristikleri (Conicity, Plysteer)* arasında regresyon analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için araç dinamiğinin temel kavramlarının bilinmesi gerekir. Giriş bölümü sonrası araç dinamiği ve sürüş dinamiğini etkileyen paremetreler incelenecektir.

- : Conicity ve Plysteer terimleri sıfır kayma açısında lastiğin yanal kuvvet bileşenleridir.

2. ARAÇ DİNAMİĞİ

2.1 Giriş

Motorlu araçların dinamik hareketlerini etkileyen başlıca kuvvetler, lastiklerin yol ile temas ettikleri yüzeylerde incelenir. Zeminde, pnömatik lastikler ile aracın bulunduğu zemin arasında ortaya çıkan bu kuvvet ve moment kavramları araç dinamiğini anlamada temel unsurlardır.

Konfor, viraj alma, frenleme, ve ivmelenme olarak ortaya çıkan araç tepkileri, araca uygulanan kuvvetlere bir cevaptır. Araç dinamiği çalışmalarının çoğu da bu kuvvetlerin nasıl ve niçin ortaya çıktılarının araştırılması olması gerekir. Bu performansların kontrolü için, aracın üzerine etkiyen bu kuvvetler, yol ile lastikler arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkarlar. Bu nedenle, çalıştıkları farklı zemin şartlarında oluşan bu kuvvet ve momentlerle tanımlanmış lastik davranışlarını anlamak için, ayrıntılı bir yaklaşıma ihtiyaç duyulur. Lastiklerin araçlardaki önemini anlamadan lastik performansı üzerinde çalışmak faydalı olmayacaktır. Bunun tersi de geçerlidir.

Her ne kadar yol tutma, viraj alma, dönme ve yönlendirme sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılabilinen terimler olsa bile, bu terimlerin aralarında çok ufak farklar vardır. Yön değiştirme ve yanal ivmelere maruz kalındığında, viraj alma, dönme ve yönlendirme tepkisi aracın objektif özelliklerine karşılık gelecektir. Örneğin, viraj alma yeteneği yanal ivme seviyesi ile ölçülebilir. Veya yönlendirme tepkisi yanal ivmelenme için gerekli olan "zaman" ile ölçülebilir. Diğer taraftan yol tutma, aracın sadece bilinen yeteneklerine değil, aynı zamanda sürücü ve araç bütününün sistem performansındaki sonuçlarına da bağlıdır.

Araç dinamiğinin anlaşılabilirliği deneysel ve çözümsel methodlarla daha kolaylaştırılabilinir. Deneysel çalışmalar, aracın performansının hangi yol ve şartlar altında, hangi faktörler tarafından nasıl etkilendiğini "deneme yanılma" ile gerçekleştirir. Deneysel çalışmalar yine de sıklıkla başarısızlıkla sonuçlanabilir. Aracın performansını etkileyen araç özelliklerinin veya araç dizaynındaki değişkenlerin mekaniğini anlamadan, yeni şartlar için kullanacağımız geçmiş

tecrübeler, üzerinde çalışılan sistemin içine kalıplaşmış kurallara ters düşen yeni sonuçlar ortaya çıkarabilecek bilinmeyen diğer değişkenler katabilir. Bu nedenle mühendisler çözümsel yaklaşımı desteklerler. Çözümsel yaklaşım bilinen fizik kurallarını temel alarak, çalışılan konunun mekaniğini tarif etmeye çalışırlar, ve böylece de çözümsel modeli kurmuş olurlar. Daha basit durumlarda, bu modeller cebirsel veya diferansiyel denklemeler ile temsil edilir. Bu denklemler ilgilenilen konudaki herbir araç özelliğinin rolünü değerlendirmek için olanak sağlar. Modelin varlığı önemli faktörlerin belirlenmesini de sağlayacaktır. Model ayrıca bir tahmin yeteneği sağlar, ve bununla birlikte verilen bir performans hedefine ulaşmak için gerekli değişiklikler bu modeller sayesinde belirlenebilir.

Çözümsel methodlar genellikle sadece gerçeğe yakınlaşmaya çalıştıkları için, bu methodlar da her zaman güvenilir olmayabilir. Yönetilebilir modeller sağlamak için yapılması gereken kabuller sık sık bir uygulamanın analizine istenmeyen yönde katkıda bulunabilir, bu da mühendisleri hatalara yönlendirebilir. Bu nedenle, bu hatalardan kaçınmak için, dinamik modellerin kabullerini anlamak mühendisler için çok önemlidir.

Geçmişte, çözümsel methodların eksikliklerinin nedeni, problem çözümlerindeki matematiksel limitlerdi. Bilgisayarlar bulunmadan önce, "problem" eğer basit bir forma indirgenebilirse analizler gerçekleşebiliyordu.

Günümüz bilgisayar teknolojisi ile artık, çözümsel methodların eksikliklerini aşabiliyoruz. Bugün artık, tüm bir aracın ayrıntılı modeliyle bütünleştirilmiş herbir araç parçasının davranışlarını ifade eden denklemleri birleştirmek mümkündür. Bilgisayarlar yardımıyla bu modellerin daha önceden hesaplanamayan performasları artık hesaplanabilmektedir. Ayrıca mühendisler, belirli bir özelliğin öneminden emin olamadıkları durumlarda, bu özellikleri modellerin içine daha sonradan değerlendirilmek üzere ilave edebilmektedirler. Bu da bilgisayarlar sayesinde, önemli olduğunu ve ilgilenilen konuyu etkileyebileceğini düşündüğümüz her değişkeni denklemlerin içine hiç düşünmeden ilave edebiliriz anlamına gelir.

2.2 Araç Modeline Yaklaşım

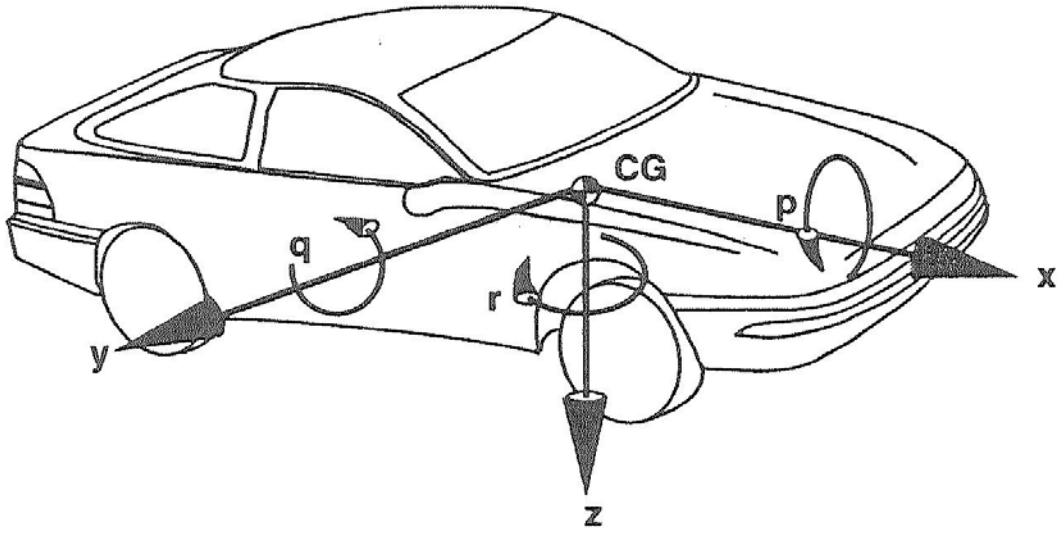
En genel anlamda araç dinamiği konusu yol üzerindeki araçların hareketleri ile ilgilenir. Bu hareketleri başlıca ivmelenme, frenleme, konfor ve viraj alma olarak tanımlalayabiliriz. Araçların bu dinamik davranışları, lastikler, yer çekimi ve aerodinamik başlıklarının etkisi ile ortaya çıkmış olan kuvvetler ile saptanır. Aracın ve onun parçalarının üzerindeki dinamik konularının çalışılması, yukarıda belirtilen

kaynakların (lastikler, yer çekimi ve aerodinamik) hangi sürüş şartlarında, hangi kuvvetleri üreteceği, ve bu kuvvetlere karşı aracın hangi tepkiyi göstereceği konusudur. Bu amaç için, hareketleri tanımlamakta kullanılacak ortak bir model için özel bir yaklaşım kurmak temel bir gerekliliktir.

2.2.1 İndirgenmiş Kütle

Motorlu bir araç, üzerine yayılmış bir şekilde bir çok parçadan oluşur, ve bu parçalar araç ile birlikte hareket ederler. Örneğin, frenleme şartlarında, tüm araç tek bir cisim gibi yavaşlar. Bu durumda araç, ağırlık merkezine indirgenmiş tek bir yığın kütle olarak temsil edilir. Aracın ivmelenme, frenleme ve dönüş hareketleri analizlerinde tek bir kütle yeterli olacaktır. Konfor analizi için ise, lastik-jant komplesini ayrı bir indirgenmiş kütle olarak ele almak gerekir. Bu durumda, gövdeyi temsil eden kütleyi "yaylanan kütle", lastik-jant gibi parçaları temsil eden kütleyi de "yaylanmayan kütle" olarak tanımlayabiliriz.

Tek kütle tanımlanmasıyla, araçlar şekil 2.1 de gösterilen ağırlık merkezinde (CG) indirgenmiş bir kütle olarak ele alınır. Ağrılık merkezindeki nokta kütle bütün hareketler için dinamik olarak aracın kendisini temsil eder.



Sekil 2.1 : SAE Araç Eksen Sistemi (Gillespie, 1994)

2.2.2 Araç Koordinat Sistemi

Araç hareketleri, aracın ağırlık merkezine yerleştirilmiş ve araçla birlikte hareket eden araç kooordinat sistemi ile tanımlanır (Şekil 2.1). SAE'ye göre bu koordinatlar;

x- Aracın boyuna olan ekseni

y- Aracın yanal ekseni

z- Aracın aşağıya doğru olan ekseni

p- x ekseni etrafındaki hız

q- y ekseni etrafındak hız

r- z ekseni etrafındaki hız

2.2.3 Hareket Değişkenleri

Aracın hareketi genellikle, hızın yeryüzü koordinat sistemine göre tanımlandığı taşıt koordinat sistemindeki hızlarla (öne doğru, yanal, dikey, x, y ve z ekseni etrafındaki hızlar) ifade edilir.

2.2.4 Sabit Koordinat Sistemi

Aracın durma veya manevra sırasındaki yörüngesi yeryüzünde sabit bir koordinat sistemine göre ifade edilir. Bu koordinat sistemi hareketin başladığı noktada, araç koordinat sistemi ile uyuşacak şekilde seçilir (Şekil 2.2).

X - İleri hareket yönü

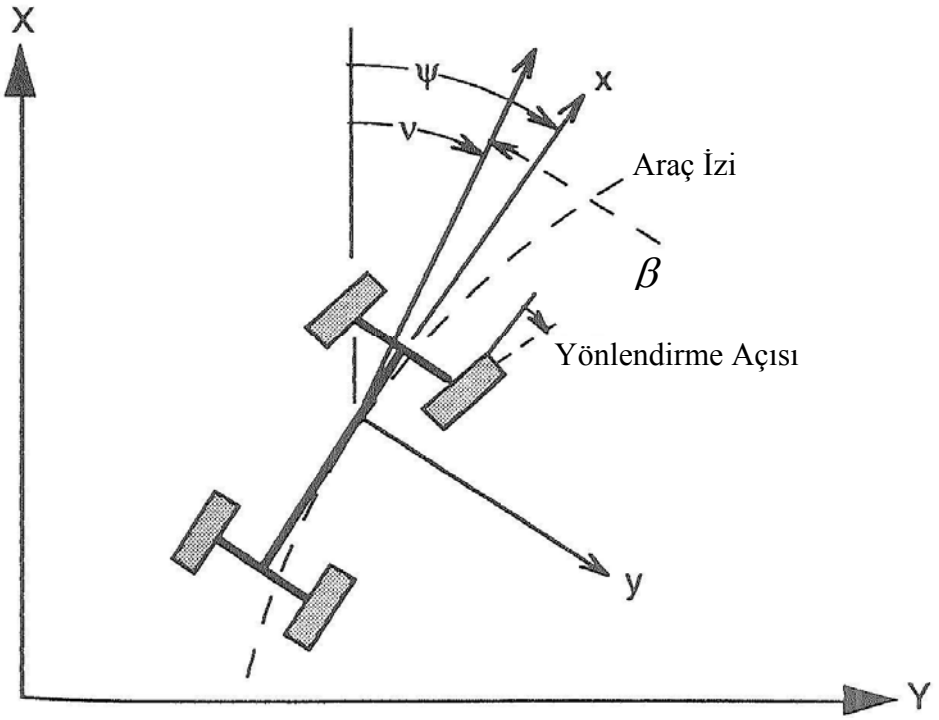
Y - Sağa hareket yönü

Z - Dikey hareket yönü (aşağı pozitif)

Ψ - x ekseni ile X ekseni arasındaki açı

ν - Aracın hızının vektörel yönü ile X ekseni arasındaki açı

β - x ekseni ile aracın hız vektörünün yönü arasındaki açı



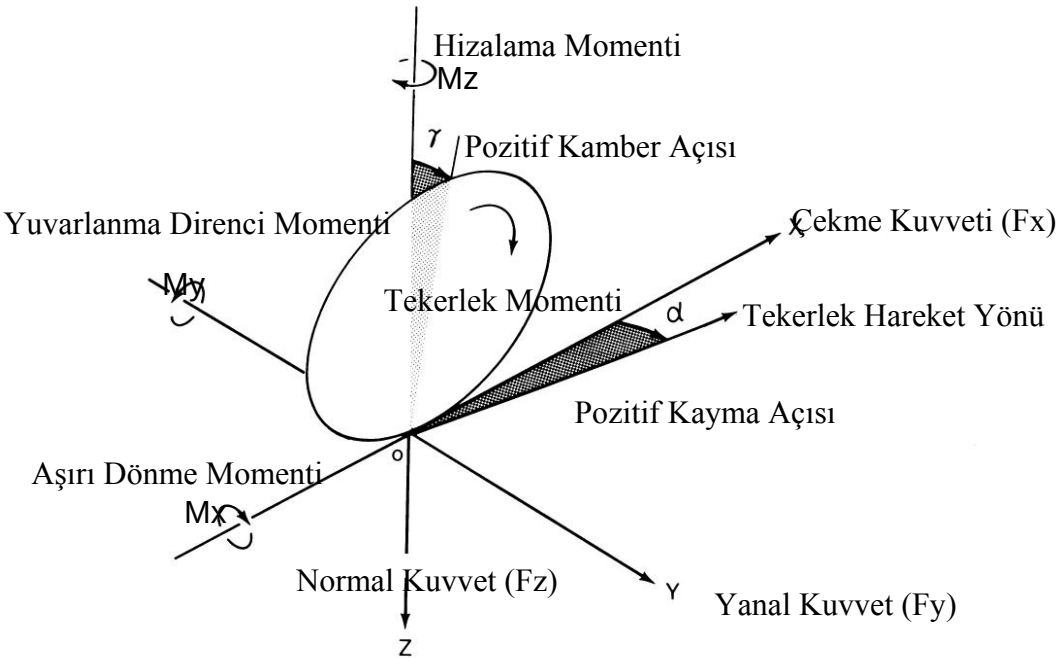
Şekil 2.2 : Sabit Koordinat Sistemindeki Araç (Gillespie, 1994)

2.2.5 Euler Açıları

Yeryüzü koordinat sistemi ile araç koordinat sistemi arasındaki bağıntı Euler açıları ile tanımlanırlar. Euler açıları, biribirlerini takip eden 3 açısal dönme kareketi ile tanımlanır. Yeryüzü koordinat sistemi araç koordinat sistemi ile aynı hizaya gelmesi için ilk önce z ekseni etrafında, sonra y ekseni etrafında , en son olarak da x ekseni etrafında döndürülür. Elde edilen bu üç açıya Euler açıları denir. Elde edilen sonuç dönüş sırasının değişimi ile farklılık göstereceği için, tanımlanmış dönüş sırasına tam olarak uymak gerekir.

2.2.6 Kuvvetler

Kuvvet ve momentler araç dinamiğinin önemli paremetreleridir. Aracın boyuna eksenindeki (x-ekseni) pozitif bir kuvvet öne doğru olandır. Lastiğin üzerindeki yük ile ilişkilendirilen kuvvet yukarı yönde etkir ve bu nedenle negatif büyüklüktedir (-z-ekseni). Bu sonuçtaki uygunsuzluk nedeniyle, SAEJ670e (Araç Dinamiği Terminolojisi) aşağıya doğru etkiyen kuvveti "Normal Kuvvet", ve bu kuvvetin negatif işaretlisini de "Dikey Kuvvet" adını verir. Bu nedenle , Dikey Kuvvet yukarı doğru pozitif işaretli lastik yükünün eşdeğeridir. Farklı ülkelerde, bu konu ile ilgili olarak kabul edilmiş farklı kabuller kullanılır (Şekil 2.3). (Gillespie, 1994)



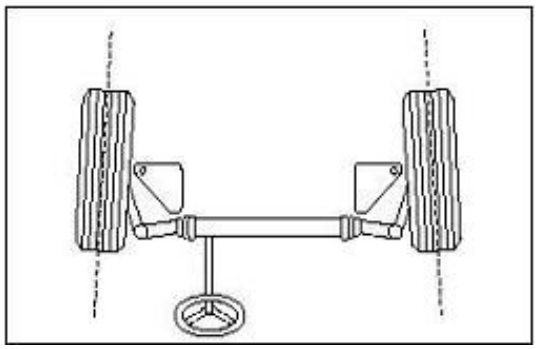
Şekil 2.3 : SAE Koordinat Sistemine Göre Lastik Kuvvet ve Momentleri

3. TAŞIT DİNAMİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

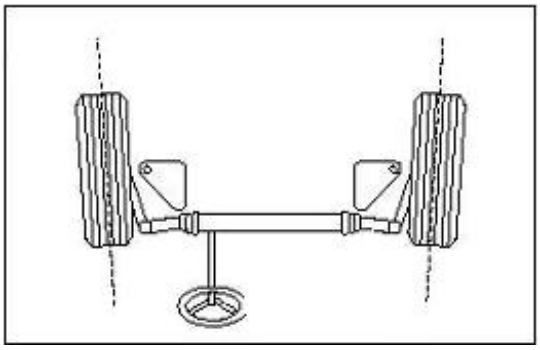
3.1 Tekerlek Asılışları

3.1.1 Toe Açısı

Toe açısı tekerleğin simetri ekseni ile araç simetri ekseni arasında kalan açıdır. Tekerlek içe doğru dönük ise (Şekil 3.1) açı değeri pozitif, dışarı doğru dönük ise (Şekil 3.2) negatiftir.



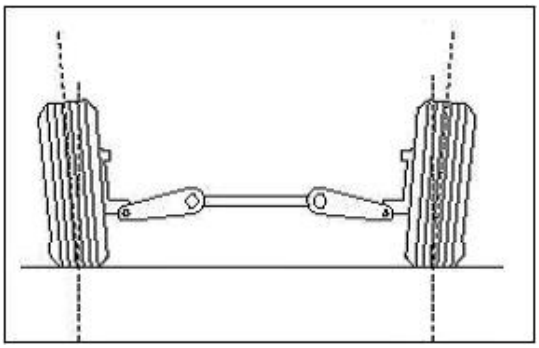
Şekil 3.1 : Toe – In (Ford M. C.)



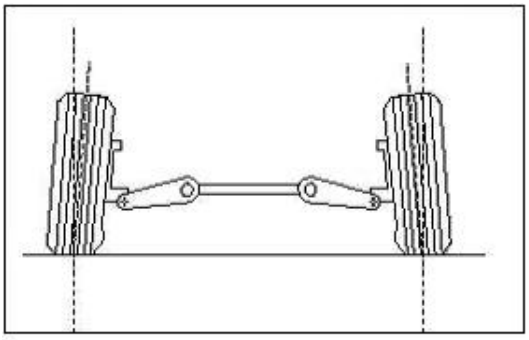
Şekil 3.2 : Toe – Out (Ford M. C.)

3.1.2 Camber Açısı

Camber açısı araca önden bakıldığında tekerlek ekseni ile düşey eksen arasındaki açıya denir. Aracın tekerleklerinin üstten dışa doğru açık olması pozitif Camber (Şekil 3.3), üstten içe doğru kapalı olması negatif Camber (Şekil 3.4) olarak adlandırılır.



Şekil 3.3 : Pozitif Camber (Ford M. C.)



Şekil 3.4 : Negatif Camber (Ford M. C.)

Pozitif Camber açısı şunlara yol açar;

- Daha küçük bir devrilme yarıçapı.
- Yataklarda daha az bir oynama.

Negatif Camber açısı ise şunlara yol açar;

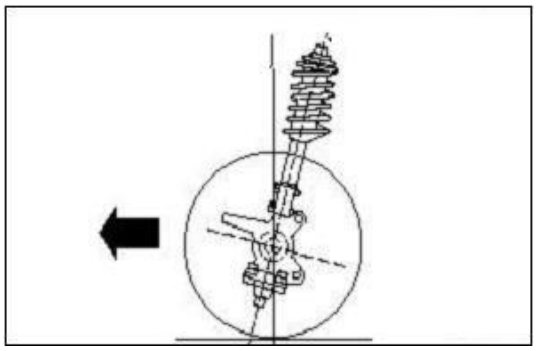
- Yanal kararlılıkta artış.
- Daha büyük bir devrilme yarıçapı.

3.1.3 Camber Açısı Asimetrisi

Sol Camber ile sağ Camber'in eşit olmaması durumunda oluşur.

3.1.4 Caster Açısı

Caster açısı aracın yan tarafından bakıldığında direksiyon mafsal aksı ile tekerleğin merkezinden geçen dikey doğru arasındaki açıdır. Caster, direksiyon aksı arkaya doğru eğik ise pozitif (Şekil 3.5), öne doğru eğik ise negatiftir (Şekil 3.6).

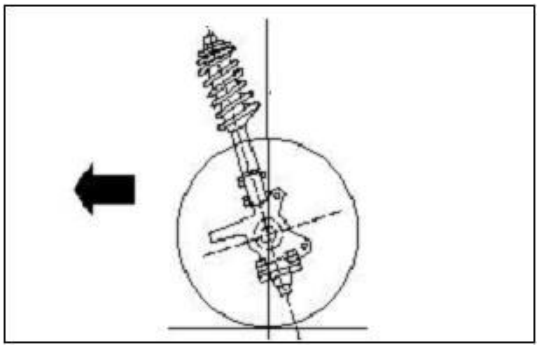


Şekil 3.5 : Pozitif Caster (Ford M. C.)

Caster açısı araç yüksekliğindeki değişimlere; özellikle arka aks yüklü olduğunda oldukça duyarlıdır.

Caster şunlara yol açar;

- Lastiklerde bir çekiş ve buna bağlı olarak daha rahat ve düzgün bir sürüş.
- Direksiyon dönüşlerinden sonra kendiliğinden merkeze gelmesi.



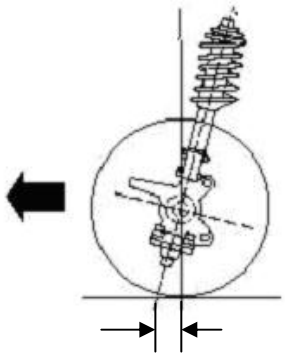
Şekil 3.6 : Negatif Caster (Ford M. C.)

3.1.5 Caster Açısı Asimetrisi

Sol Caster ile sağ Caster'ün eşit olmaması durumunda oluşur.

3.1.6 Caster İzi

Direksiyon ekseninin zemini kestiği nokta ile lastiğin zeminle temas ettiği yüzeyin merkeziyle olan mesafedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Caster İzi (Ford M. C.)

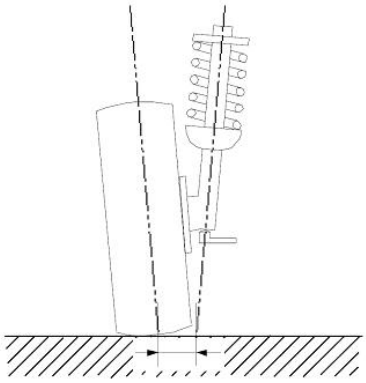
3.1.7 Scrub Yarıçapı

Yönlendirme ekseninin zeminle kesiştiği ve lastiğin merkezinin yerle temas ettiği noktaların arasında bulunan yatay mesafe (Şekil 3.8). Yönlendirme ekseninin zemin düzlemiyle kesiştiği noktanın lastiğin dışında olması durumunda yarıçap negatiftir. Pozitif Scrup yarıçapı şunlara yol açar;

- Direksiyon dönüşlerinden sonra düzgün konuma gelmesi.
- Doğrusal sürüşlerde bir kararlılık.

Negatif Scrup yarıçapı ise şunlara yol açar;

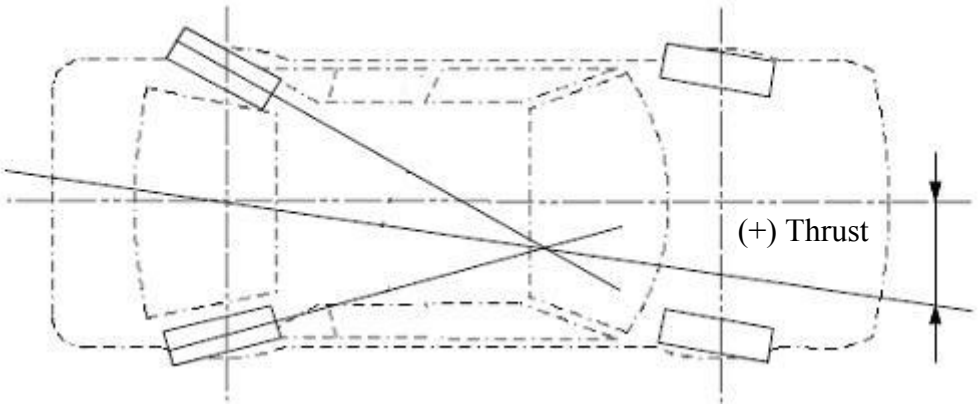
- Farklı yol yüzeyleri üzerindeki frenleme zıt direksiyon kuvveti.



Şekil 3.8 : Scrub Yarıçapı (Ford M. C.)

3.1.8 Thrust Açısı

Thrust açısı, arka tekerleklerin aracın merkez hattına göre işaret ettiği yöndür (Şekil 3.9). Pozitif Thrust açısı arka tekerleklerin sağ yönü gösterdiğinde oluşur. Negatif Thrust açısı ise arka tekerlekler sol yönü gösterdiğinde oluşur.



Şekil 3.9 : Thrust Açısı (Ford M. C.)

3.2 Lastik Karakteristikleri

3.2.1 Conicity ve Plysteer

Sıfır kayma açısında lastiğin yanal kuvvetinin bileşenleridir. İlerideki konularda bu terimler için daha fazla bilgi verilecektir.

3.2.2 Statik ve Dinamik Balansızlık

Statik balansızlık, lastiğin dönme ekseni etrafındaki eşit olmayan ağırlık dağılımından kaynaklanan dengesizliktir. Direksiyon simidinde oluşan titreşimlerin nedenlerinde biri olabilir. Dinamik balansızlık ise, lastiğin bir kenarından diğer kenarına, dişlerinin merkez hattı etrafında eşit olmayan ağırlık dağılımı olarak tarif edilebilir. Bu da direksiyon simidindeki yanal sallantıların nedenlerinden biri olarak bilinir.

3.3 Araç Geometrisi

3.3.1 Aks Mesafesi

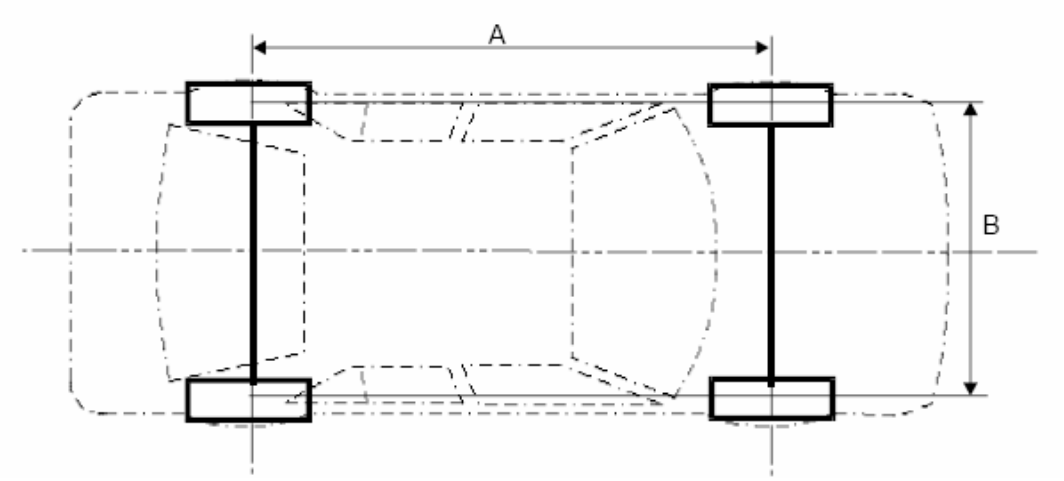
Araç tasarım yapısındayken arka tekerleklerin merkezi ile ön tekerleklerin merkezi arasındaki mesafedir (A) (Şekil 3.10).

Uzun aks mesafesinin avantajları;

- İç hacmin genişlemesi
- Araç yüklü iken yük dağılımında daha küçük bir değişim.

Kısa bir aks mesafesinin avantajları;

- İyi dönüş karakteristikleri.
- Daha küçük bir dönüş yayı.



Şekil 3.10 : Araç aks Mesafesi ve İz Genişliği (Ford M. C.)

3.3.2 İz Genişliği

Bir aksta bulunan tekerleklerin merkezleri arasındaki mesafedir (B) (Şekil 3.10).

Büyük bir iz genişliğinin avantajları:

- Dönüşler sırasında daha az devrilme eğilimi.
- Daha iyi yol tutuş
- İç hacimde genişleme.

3.3.3 Ağırlık Merkezi

Bir araç söz konusu olduğunda ağırlık merkezi, aracın kütlesini eşit olarak ikiye bölen ön ve arka aksların arasında bir noktadadır. Daha alçak ağırlık merkezinin amacı, aracın ağırlığının zemine daha yakın olması ve daha iyi bir denge ve kontrolün elde edilmesidir. (Ford M. C.)

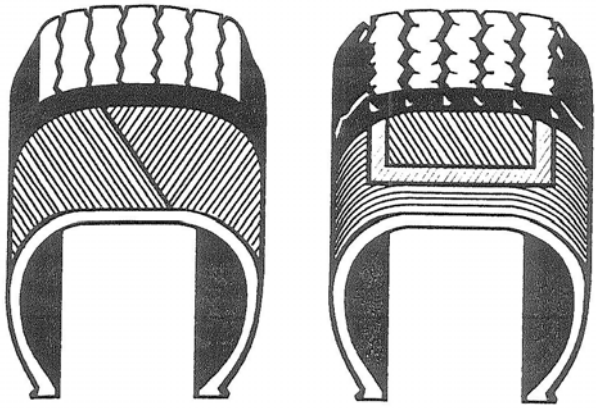
4. LASTİKLER

4.1 Lastiğin Yapısı

Araçlarda dizaylarına ve dolayısıyla imalat proseslerine göre ayrılmış 2 tip lastik kullanılır (Şekil 4.1):

- Radyal Lastikler
- Diagonal Lastikler

Avrupa'da radyal lastiklerin avantajlarının fark edildiği 1960'lı yıllara kadar diagonal lastikler Amerikan Otomotiv Endüstrisinde standart olarak kullanılırdı. Daha sonraları, lastik teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, radyal lastikler araçlarda standart olarak kullanılmaya başlanmış, ve diagonal lastiklerin yerini almışlardır.



Diagonal Lastik Radyal Lastik

Şekil 4.1 : Diagonal ve Radyal Lastiklerin Yapıları (Gillespie, 1994)

Radyal lastiğin yapısı, lastiğin çevresi boyunca bir yanağından diğer yanağına 90 derece açı ile bağlanan parelel "ply" lerden oluşur. Bu katmanlar (plies) lastiğin karkası olarak da bilinir. Bu tip yapılar (radyal) lastik yan duvarlarını son derece esnek yapar. Bu da aracın sürüşlerde konfor olarak daha iyi olması anlamına gelir.

Az da olsa, bu yapının ortaya çıkardığı olumsuz etki aracın iz dengesinde ortaya çıkarabileceği denge sorunlardır. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için lastiğin karkas yapısı ile dişleri arasına, lastiğin tüm çevresini saran çelik teller kullanılır. Bu kuşaktaki teller lastiğin dişleri ile genellikle 20 derece açı yapacak şekilde yerleştirilir. Bu kuşaklar virajlarda lastiklerin yanal sapmalarına karşı lastiği yolda düz tutarak aracın denge probleminin çözülmesine yardımcı olurlar.

Diagonal lastiklerin karkası ise en fazla 35-40 derece arasındaki açılarla bir yanaktan diğere yanağa uzanan tellerin oluşturduğu iki veya daha fazla katmandan (ply) oluşur. Tellerin açılarındaki yüksek değerler konforu artırırken, düşük açılar iz dengesi için daha iyi sonuç verirler. Her ne kadar diagonal lastikler karkasları radyal lastiklerden yanal olarak çok daha sert olmalarına rağmen, virajlarda diagonal lastiklerin dişleri daha fazla yük taşıyabililirler.

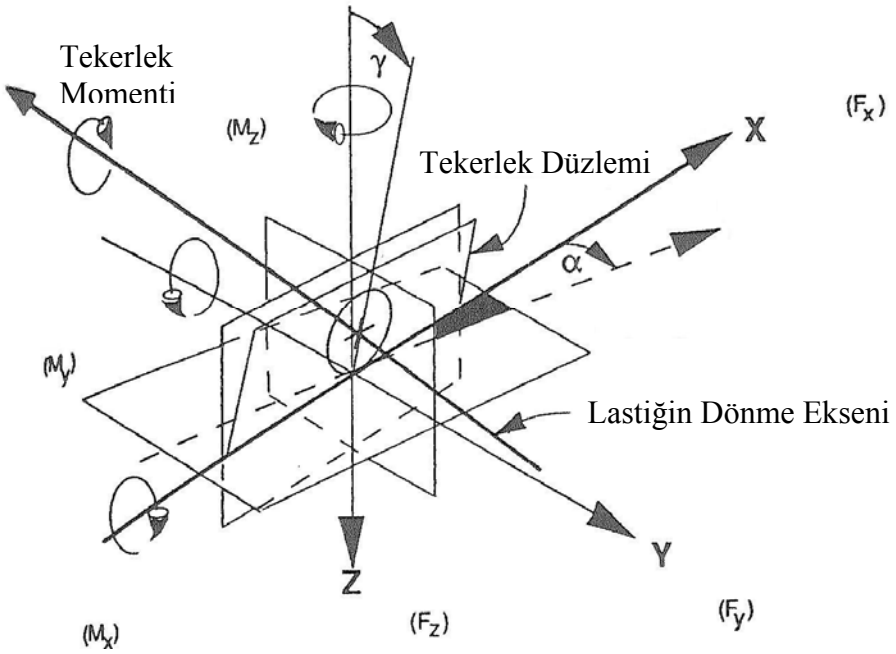
4.2 Terminoloji ve Eksen Sistemi

SAE, lastiğin karşılaştığı kuvvet, moment ve çalışma şartlarını tanımlayabilmek için şekil 4.2 de gösterilen exsen sistemini tanımlamıştır. X ekseni tekerlek düzlemi ile yol düzleminin kesiştiği arakesit boyunca ve ileriye doğru pozitif olacak şekilde gösterilen eksendir. Z ekseni aşağı doğru pozitif olacak şekilde belirlenen, yol düzlemine dik olan eksendir. Y ekseni ise, sağ el kuralı ile yönü belirlenmiş ve yol düzlemi üzerinde uzanan eksendir.

Aşağıdaki tanımlar lastiği ve eksenlerini tanımlamada önemlidir;

- Tekerlek Düzlemi: Lastiğin dönme eksenine dik olan düzlemdir.
- Tekerlek Merkezi: Tekerlek düzlemi ile lastik dönme ekseni kesişimidir.
- Lastik Temas Yüzeyinin Merkezi: Lastiğin dönme ekseninin yol düzlemine olan izdüşümü ile tekerlek düzleminin kesişimidir.
- Yüklü Yarıçap: Tekerlek düzlemindeki tekerleğin merkezinden lastiğin yol ile temas ettiği yüzeyin merkezine olan mesafedir.
- Boyuna Kuvvet (F_x): Yol düzlemi ile tekerlek düzleminin arakesitine parelel olan, ve yol tarafından lastiğe etkiyen kuvvettir.
- Yanal Kuvvet (F_y): Yol düzlemi ile tekerlek düzleminin arakesitine dik olan, yol tarafından lastiğe etkiyen kuvvettir.

- Normal Kuvvet (F_z): Yol düzlemine dik bir şekilde yolun lastiğe uyguladığı kuvvettir.
- Aşırı Dönme Momenti (M_x): Yol düzlemi ile tekerlek düzleminin arakesitine parelel olan, yol tarafından lastiğe etkiyen momenttir.
- Yuvarlanma Direnci Momenti (M_y): Yol düzlemi ile tekerlek düzleminin arakesitine dik olan, yol tarafından lastiğe etkiyen momenttir.
- Hizalama Momenti (M_z): Yol düzlemine dik olan, yol tarafından lastiğe uygulanan momenttir.
- Kayma Açısı (α): Aracın sürdüğü iz ile tekerleğin gitmek istediği yön arasındaki açıdır.
- Camber Açısı (γ): Dikey eksen ile tekerlek düzlemi arasındaki açıdır. Aracın dışına doğru olması durumunda pozitiftir.



Şekil 4.2 : SAE Lastik Eksen Sistemi (Gillespie, 1994)

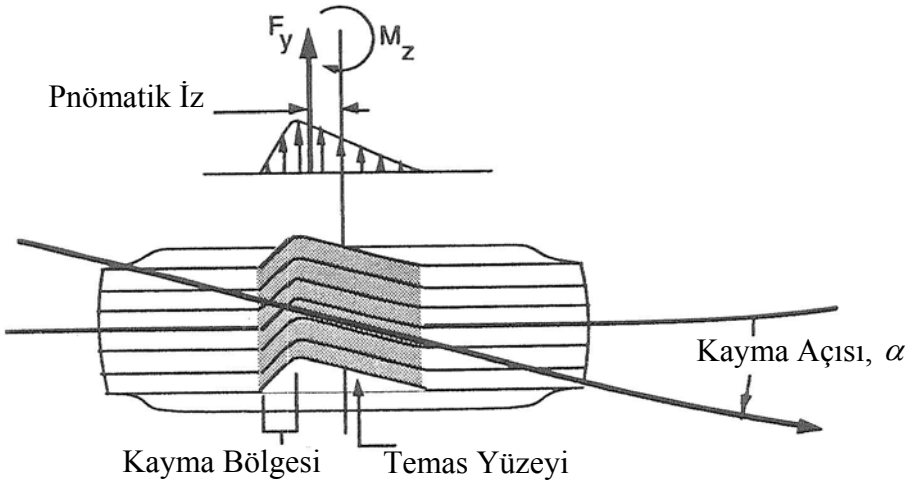
4.3 Slip Açısı

Yuvarlanan bir pnömatik lastik yanal bir kuvvete maruz kaldığında, lastik bir tarafa doğru çekme eğilimi gösterecektir. Bu arada aracın sürüş izi ile lastiğin gitmek

istediği yön arasında bir açı ortaya çıkacaktır. Bu açı kayma açısı (α) olarak bilinir (Şekil 4.3).

Lastik ilerleyip, dişleri yol ile temas etmeye başladığında, lastiğin dişleri normal pozisyonlarından sapmayacak, dişler bir yanal kuvvete maruz kalmayacaktır. Fakat, lastik hareket yönü ile açı yapacak şekilde (kayma açısı, α) daha ileri gitmeye çalışmasıyla, lastiğin dişleri yolun yüzeyi ile önceden oluşturduğu orijinal pozisyonda kalmak isteyecektir. Şekil 4.3 teki lastiğin dişlerindeki bu şekil değişiminin nedeni lastiğin taşıdığı yanal kuvvetin kendisidir.

Lastiğin temas ettiği yüzeyde oluşan asimetrik kuvvet dağılımı, lastiğin enine simetrik eksenine pnömatik iz olarak bilinen bir mesafe kadar uzaklıktan etkiyen yanal bir bileşke kuvveti ortaya çıkarır (F_y). SAE'e göre yanal kuvvet (F_y) lastiğin yol ile olan temas yüzeyinin merkezinden etkir. Bu kuvvetin pnömatik iz ile çarpılmasıyla elde edilen moment de hizalama momenti olarak bilinir (M_z).



Şekil 4.3 : Lastiğin Şekil Değişimi (Gillespie, 1994)

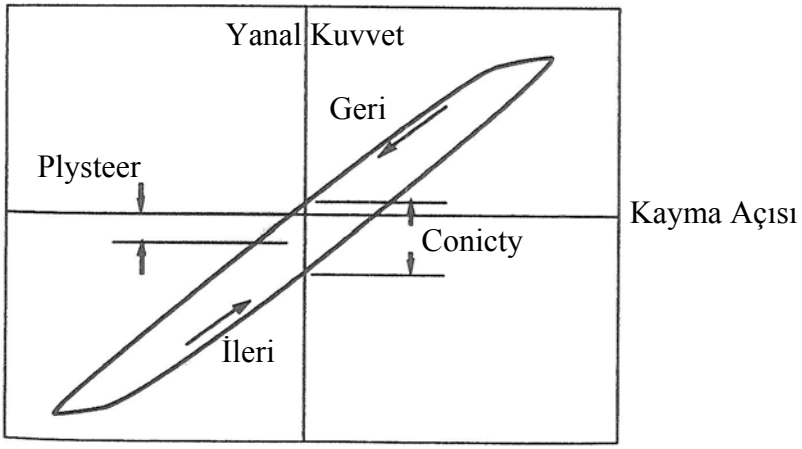
4.4 Hizalama Momenti

Belirli bir kayma açısındaki lastiğin, yol ile olan temas yüzeyindeki kuvvet vektörleri lastiğin boyuna simetri ekseni boyunca ortaya çıktıkları için, hizalama momenti dikey eksen etrafında ortaya çıkar. Her ne kadar bu moment araçtaki z ekseni etrafındaki dönmeye az katkıda bulunsa da, direksiyon sistemindeki reaksiyonlara olan etkis daha fazladır. Pozitif hizalama momenti her zaman lastiği onun gitmek istediği yöne yönlendirmeye çalıştığı unutulmamalıdır. Bu yüzden, hizalama momentinin araçta bir dengeleme etkisi vardır.

4.5 Conicity ve Plysteer

Kayma açısının sıfıra yakın olduğu bölgelerdeki lastiklerin davranışı son yıllarda çok önem kazanmıştır. Konunun önemi, sürücünün direksiyon sistemi ile fark ettiği, ve aracın doğru yöne gittiği hissinin ortaya çıkardığı vurgu ile daha fazla ön plana çıkmaktadır.

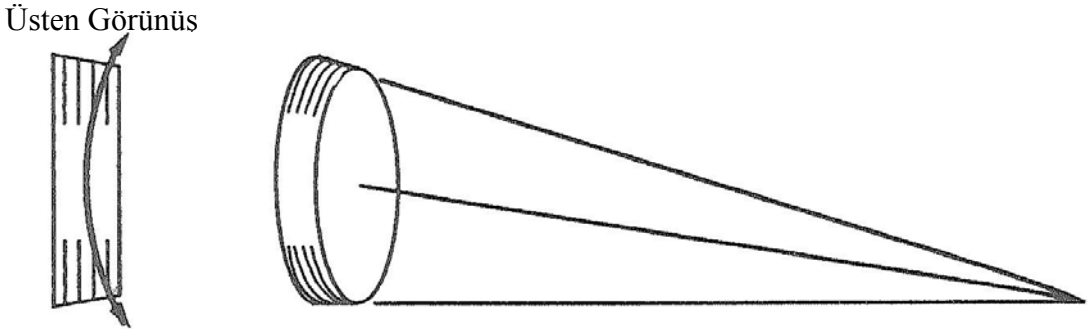
İdeal bir lastik için, sıfır yanal kuvvet, sıfır kayma açısına denk düşer. Fakat gerçek lastikler için bu doğru değildir. Gerçek lastikler için, küçük kayma açılarındaki yanal kuvvet davranışları Şekil 4.4 dekine benzer olacaktır. Bu grafikte, yanal kuvvet lastiğin her iki yönde döndürülmesi ile çizilmiştir. Bu grafikten çıkan sonuçlar, yanal kuvvet davranışının lastiğin dönüş yönünün (ileri ve geri) değişimi ile farklılık göstermesi, ve grafiğin orijinine göre simetrik olmasıdır.



Şekil 4.4 : Sıfır Kayma Açısı Etrafında Yanal Kuvvet Davranışı (Gillespie, 1994)

Lastiğin yanal kuvvet davranışını incelemek için göz önüne alınması gereken konulardan biri conicity tir. Conicty, lastiğin yapısındaki kuşakların yerleştirilmesi sırasında, bir kenarındaki çap ile diğer tarafındaki çap arasında farkın oluşması sonucunda ortaya çıkar. Adından da anlaşılacağı üzere, çaplardaki bu farkılıklar Şekil 4.5 de gösterildiği gibi lastiği konik bir şekil olarak ifade eder, ve bu şekilleri nedeniyle, serbest dönmeye maruz bırakılmış bir lastik, koninin tepe noktası etrafında bir yay çizerek yol almak isteyecektir. Lastik hangi yöne yuvarlanırsa yuvarlansın, düz bir hat takip etmeye zorlamış bu lastik, grafikte sağa doğru yönlenmiş yanal bir kuvvete maruz kalacaktır. SAE koordinat sistemi referans alındığında, lastik yukarı doğru yuvarlandığında, yanal kuvvet sağa doğru ve pozitif yönde olacaktır. Aşağı doğru yuvarlanma da ise, kuvvet yine sağa doğru, fakat lastiğin boyuna ekseni aşağı gösterdiği için yanal kuvvet negatif olacaktır. Buradan

da, lastik farklı yönlerde döndürüldüğünde, conicty sıfır kayma açısındaki yanal kuvvetteki farklar olduğu ortaya çıkıyor. Conicty lastik imalat proseslerindeki değişkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir.



Şekil 4.5 : Pnömatik Lastikteki Conicty (Gillespie, 1994)

Lastiğin kuşak katmanlarındaki tellerin açılarından kaynaklanan bir başka lastik karakteristiği de Plysteer dir. Bu kuşaklardaki belirli açılarla yerleştirilmiş bu tellerin araç sürüşlerine olan etkilerinden (yanal kuvvet) sakınmak için zıt açılı telleri içinde barındıran farklı kuşaklar lastiğin imalatında kullanılır. Ama yine de, yanal kuvvet etkisi ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu yüzden serbest yuvarlanan bir lastik hareket yönünden sapmaya eğilim gösterecektir. Lastik, şekil 4.5 de gösterildiği gibi bir yay çizme yerine, kendi merkez düzlemine göre saparak düz bir yol izleyecektir. Eğer lastik bir yönde yuvarlanıyorsa, SAE lastik eksen sisteminde sağa doğru bir yanal kuvvet yaratacaktır. Ters yönde döndürülüyorsa lastik tekrar aynı eksen sisteminde sağa doğru bir kuvvet ortaya çıkaracaktır. Bu yüzden lastiğin yanal kuvvet özellikleri kayma açısının sıfır olduğu durum veya bu değere yakın kayma açılarında ölçülür. Plysteer lastiğin tasarımına bağlı bir değişkendir. Bu nedenle, ortak bir dizayn ile üretilmiş lastiklerin Plysteer kuvveti büyüklük ve yön olarak hemen hemen aynı olacaktır.

Hem conicity hem de plysteer kuvvetinin büyüklükleri lastiğin taşıdığı dikey yüke bağlı olarak değişir. Conicty lastik basıncına daha hassas olup, lastik basınç değerlerindeki ayarlamalarla, conicity aracın dengesine olan etkisi azaltılabilir.

Conicty ve plysteer'in araç sürüşlerine olan etkilerini, direksiyon siteminde "çekme" problemi veya aracın "ötelenmesi" olarak iki başlığa ayırabiliriz. Çekmeyi, aracın düz bir iz sürüşü sağlaması için, sürücünün direksiyon simidi üzerinden sürekli bir moment uygulaması durumu olarak tarif edebiliriz. Bu momentin uygulanmaması durumunda, yani direksiyon simidi serbest bırakıldığında aracın yörüngesi bir yay

çizecek şekilde olacaktır. Ötelenme ise, direksiyon simidi serbest bırakıldığında aracın yanal sapması olarak tanımlanabilir.

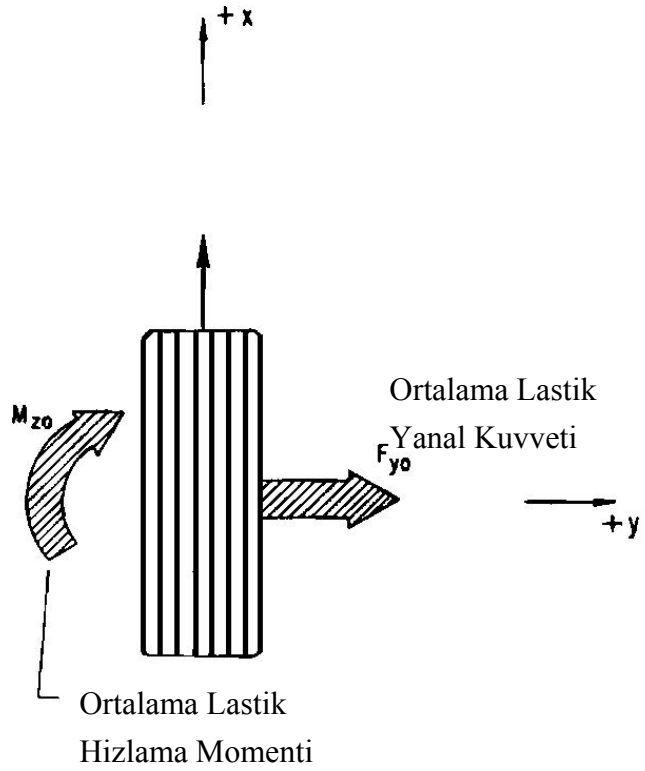
Ön aks tekerleklerindeki aşırı conicty çekme problemine neden olduğu durumlarda, direksiyon simidine uygulanan düzeltmeler sürücünün yorulmasına neden olacak, ve sürücü şikayeti ortaya çıkacaktır.

Plysteer ise aracın tüm tekerleklerine aynı yönde etkiyeceği için, araç plysteer kuvvetleri nedeniyle hafif bir ötenleme şeklinde kendini gösterebilir. Bu ötelemeyi karşılamak ve aracın düz bir iz izlemesini sağlamak için direksiyon simidine biraz döndürmek gerekebilir. (Gillespie, 1994)

5. LASTİKTEN KAYNAKLANAN ARAÇ ÇEKME PROBLEMİ

5.1 Önemli Kavramlar

Aracın çekme sorununun kaynaklarından biri sıfır kayma açısında önemli seviyelerde lastik yanal kuvvetinin ve/veya hizalama momentinin bulunmasıdır (Şek. 5.1). Bunlara lastik ortalama yanal kuvvet ve hizalama momenti adı gerilir (Lastiğin ortalama yanal kuvveti, yaygın olarak "Conicity" ve "Plysteer" olarak bilinen iki kuvvetin bileşenlerinden oluşur).



Şekil 5.1 : Lastiğin Yanal Kuvvet ve Hizalama Momenti (Topping, 1975)

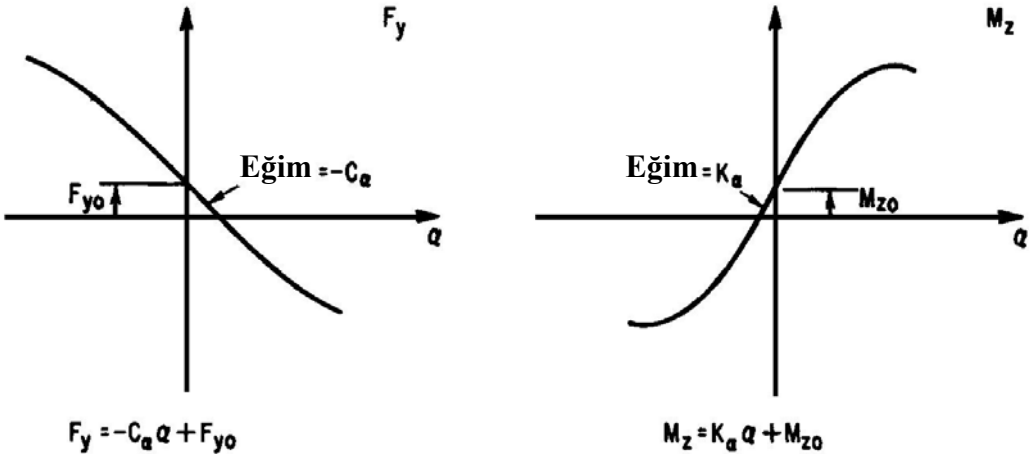
Tüm lastiklerin ortalama yanal kuvvetleri birleşerek aracı yoldan çıkarmaları beklenebilir. Diğer bir ifadeyle ortalama lastik yanal kuvveti ve hizalama momenti aynı kayma açısında sıfır olmadığından, bu parametrelerden herhangi birinin spesifikasyonlara uygun olmaması durumunda araç sağa ya da sola çekmeye eğilimli

olacaktır. Ancak gerçekte aracın sapması ile lastiğin ortalama yanal kuvvet değerleri arasında uygun bir korelasyon kurmak oldukça zordur. Bazı durumlarda "Plysteer" ile "Conicity" değerlerinden faydalanılan ampirik bir formül, uygun bir korelasyon ortaya çıkarabilir. Böyle bir formül araç çekme problemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi konusunda çok faydalı olabilir.

Bu araştırmanın dayanak noktası , yanal bir kuvvet uygulanması durumunda aracın yalnızca yana (sağa veya sola) doğru hareket etmesidir. Bu analizde bu kuvvetlerin yalnızca lastikler tarafından üretildiği kabul edilmektedir. Yol eğiminin ve rüzgar gibi faktörlerin etkileri göz ardı edilecektir. (Topping, 1975)

5.2 Ön Aks Etkileri

Sorunun analizinde, tüm aracı yolun dışına doğru yönlendirebilecek ya da zorlayabilecek lastik özelliklerine bakılması gerekir. Şek. 5.2'de yanal kuvvet (F_y) ve hizalama momenti (M_z) değerlerinin kayma açısına (α) bağlı olarak



Şekil 5.2 : Yanal Kuvvet ve Hizalama Momenti Değişimleri (Topping, 1975)

grafikleri verilmiştir. F_{y0} ve M_{z0} sıfır kayma açısında ortaya çıkan ortalama yanal kuvvet ve hizalama momentini ifade ederler. Lastiğin kuvvet ve moment eğrileri SAE'ye uygun şekilde çizilmiştir. Yanal kuvvet eğrisinin doğrusal kısmının eğimi dönüş sertliğinin negatifidir, C_α . Hizalama momenti eğrisinin doğrusal kısmının eğimi K_α ile gösterilir ve hizalama sertliği olarak ifade edilir.

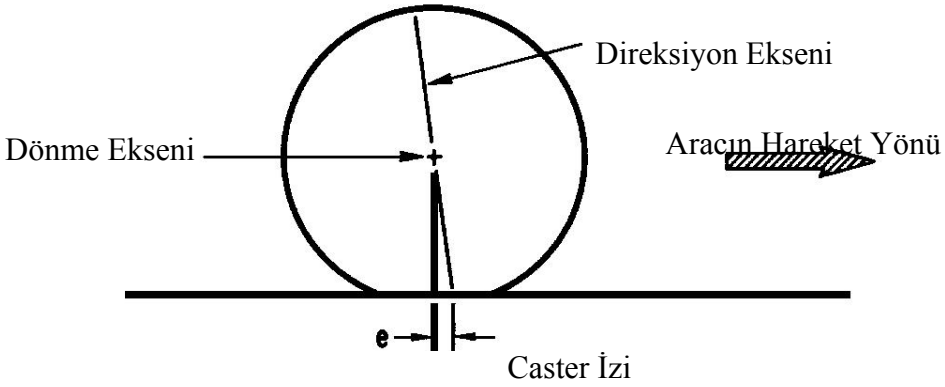
Araç çekme problemi düşük yanal ivmelerde, ve bu nedenle düşük kayma açılarında gerçekleşir. Yanal kuvvet ve hizalama momenti grafiklerindeki doğrusallık, kayma

açısının küçük değerleri için geçerlidir. Bu eğrileri açıklayan eşitlikler (Topping, 1975):

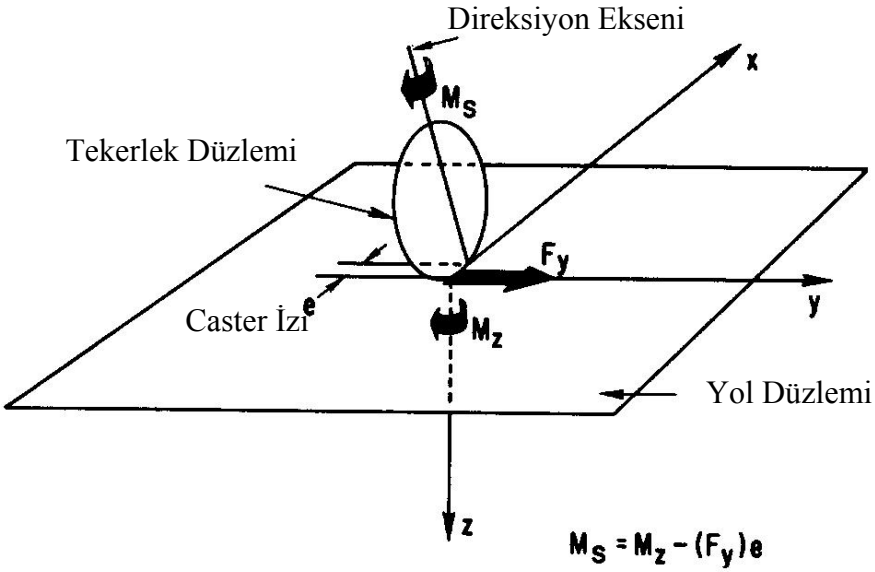
$$F_y = -C_\alpha \alpha + F_{y0} \quad \textbf{(5.1)}$$

$$M_z = K_\alpha \alpha + M_{z0} \quad \textbf{(5.2)}$$

F_{y0} ve M_{Z0} lastiğin ortalama yanal kuvvet ve hizalama momentidir. Unutulmamalıdır ki her lastiğin F_{y0} ve M_{Z0}, değeri bulunmakta, ve bu değerler lastik üreticisi firmalar tarafından "Uniformity" ve "Force And Moment" ölçüm cihazlarında ölçülmektedir.



Şekil 5.3 : Caster İzi (Topping, 1975)



Şekil 5.4 : Direksiyon Ekseni Momenti (Topping, 1975)

Yanal kuvvet ile hizalama momenti ön süspansiyonla etkileşim içinde direksiyon ekseninde bir moment oluştururlar. Şek. 5.4'teki şema, Şek. 5.3'deki süspansiyon geometrisi ile bu etkileşimin şemasıdır. Caster izi (e), lastik temas merkezi ile direksiyon ekseninin yol düzlemini kestiği nokta arasındaki mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle, hem yanal kuvvet hem de hizalama torku direksiyon ekseninde bir moment oluşturur. Bu moment, M_s , yaklaşık olarak:

$$M_s \cong M_z - F_y\,(e) \qquad \textbf{(5.3)}$$

1 ve 2 no'lu eşitlikler kullanılarak:

$$M_s = [K_\alpha\,\alpha_f + M_{z0}] - [-C_\alpha\,\alpha_f + F_{y0}]\,(e) \qquad \textbf{(5.4)}$$

Sürüş sırasında ön akstaki lastikler (sağ ve sol) direksiyon ekseni etrafında bir moment oluşturacaktır. Sağ ve sol ön lastikler için L ve R'yi kullanarak ve C_α, K_α, α_f, ve e'nin sağ ve sol için aynı olduğunu varsayarak,

$$M_{sL} = [K_\alpha\,\alpha_f + M_{z0L}] - [-C_\alpha\,\alpha_f + F_{y0L}]\,(e) \qquad \textbf{(5.5)}$$

$$M_{sR} = [K_\alpha\,\alpha_f + M_{z0R}] - [-C_\alpha\,\alpha_f + F_{y0R}]\,(e) \qquad \textbf{(5.6)}$$

Sürücü ellerini direksiyondan çektiğinde ($M_s = 0$), direksiyonda bir denge konumu söz konusu olacaktır. Denge konumunda, direksiyon sistemi üzerinde etkili olan moment sıfırdır.

Böylece,

$$M_{sL} + M_{sR} = 0 \qquad \textbf{(5.7)}$$

$$[K_\alpha\,\alpha_f + M_{z0L}]-[-C_\alpha\,\alpha_f + F_{y0L}]\,(e) + [K_\alpha\,\alpha_f + M_{z0R}]-[-C_\alpha\,\alpha_f + F_{y0R}]\,(e) = 0 \qquad \textbf{(5.8)}$$

$$(2K_\alpha + 2C_\alpha\,e)\,\alpha_f + (M_{z0L} + M_{z0R}) - (F_{y0L} + F_{y0R})\,e = 0 \qquad \textbf{(5.9)}$$

yani:

$$\alpha_f = [(F_{y0L} + F_{y0R})\,e - (M_{z0L} + M_{z0R})\,] / 2(K_\alpha + C_\alpha\,e) \qquad \textbf{(5.10)}$$

Serbest kontrol modunda ön kayma açısı, yalnızca lastik özelliklerine ve Caster izine bağlı olan bir sabittir. (Birçok araçta Caster açısı yaklaşık bir derecedir, bu da $(F_{y0L} + F_{y0R})$ e ve $2C_\alpha$ e ifadelerini göz ardı edilebilecek kadar küçük hale getirir.)

Toplam ön aks kuvveti, Y_f sol ve sağ yanal güçlerin toplamıdır:

$$Y_f = F_{yL} + F_{yR} \qquad \textbf{(5.11)}$$

$$= [-C_\alpha \alpha_f + F_{y0L}] + [-C_\alpha \alpha_f + F_{y0R}]$$

$$= -2C_\alpha \alpha_f + (F_{y0L} + F_{y0R})$$

5.10 no'lu eşitlik kullanılarak:

$$Y_f = -2C_\alpha [(F_{y0L} + F_{y0R}) e - (M_{z0L} + M_{z0R})] / 2(K_\alpha + C_\alpha e) + (F_{y0L} + F_{y0R})$$

$$= C_\alpha [(M_{z0L} + M_{z0R}) - (F_{y0L} + F_{y0R}) e] / (K_\alpha + C_\alpha e) + (F_{y0L} + F_{y0R}) \qquad \textbf{(5.12)}$$

Yani, serbest kontrol durumunda ön aks kuvveti yalnızca sıfır kayma açısındaki lastiğin ortalama yanal kuvvetine değil, aynı zamanda ortalama hizalama momentinden kaynaklanan kayma açısına da bağlıdır.

Yukarıdaki analiz sürücünün direksiyonu bırakmış olduğu durum için geçerlidir. Aynı zamanda düz bir iz sürme için, sürücünün direksiyonu kontrol ettiği ($Y_f = 0$) durumun incelenmesi de önemlidir Bu durumda ön kayma açısı, aracın düz bir izde ilerlemesi ve toplam aks kuvvetinin sıfır olması ile belirlenir. Yukarıdaki gibi,

$$Y_f = F_{yL} + F_{yR} \qquad \textbf{(5.13)}$$

$$= -2C_\alpha \alpha_f + (F_{y0L} + F_{y0R})$$

Ancak $Y_f = 0$ olduğundan:

$$-2C_\alpha \alpha_f + (F_{y0L} + F_{y0R}) = 0$$

ve

$$\alpha_f = (F_{y0L} + F_{y0R}) / 2C_\alpha \quad \textbf{(5.14)}$$

Ön kayma açısını tarif eden 5.14 nolu eşitilik sabit kontrol durumu için geçerlidir. Serbest kontrol durumundaki 5.10 no'lu eşitliğe karşılık gelir. Sabit kontrol ön kayma açısı (eşitlik 5.14), yalnızca lastiğin ortlama yanal kuvveti ve dönüş sertliği tarafından belirlenir ve, Caster izinden, lastiğin ortalama hizalama momentinden ve hizalama sertliğinden bağımsızdır.

Direksiyon sistemi üzerindeki momentin sağ ve sol tekerleklerin üzerindeki hizalama momenti toplamlarına eşit olduğu düşünürsek:

$$M_s = M_{sL} + M_{sR} \quad \textbf{(5.15)}$$

$$= (K_\alpha \alpha_f + M_{z0L}) - (-C_\alpha \alpha_f + F_{y0L}) e + (K_\alpha \alpha_f + M_{z0R}) - (-C_\alpha \alpha_f + F_{y0R}) e$$

$$= [K_\alpha (F_{y0L} + F_{y0R}) / C_\alpha] + (M_{zoL} + M_{z0R}) \quad \textbf{(5.16)}$$

5.16 no'lu eşitlikte, araç düz bir iz sürme seyir halinde ve sürücü, lastiklerin ortalama yanal kuvvetinin ve hizalama momentinin tersine hareket ederken, lastiklerin direksiyon sistemi üzerinde oluşturduğu moment verilmektedir.

Serbest kontrol koşullarında toplam aks kuvveti , 5.12 no'lu eşitlik, ve sabit kontrol direksiyon sistemi momentinin, 5.16 no'lu eşitlik, doğrudan ilişkili olduğu görülür. 16 no'lu eşitlik, 5.12 no'lu eşitlikle bölünerek şu elde edilebilir:

$$M_s (Y_f = 0) / Y_f (M_s = 0) = (K_\alpha + C_\alpha e) / C_\alpha \quad \textbf{(5.17)}$$

$$\cong K_\alpha / C_\alpha$$

Bu da eğer $M_s (Y_f = 0)$ biliniyorsa, $Y_f (M_s = 0)$ hesaplanabilmesini sağlar (Tam tersi de söz konusudur). Böylece, araç testi bir durum için gerçekleştirilir (sabit ya da serbest kontrol), ve doğrudan diğer duruma karşılık gelecek şekilde çevrilebilir. (Topping, 1975)

5.3 Araç Davranışlarının Deneysel Analizleri

Yukarıdaki analiz ile, lastikten kaynaklanan, araçların çekme sorunların incelenebileceği bir hipotez oluşturulmuştur. Sonraki bölümler, aracın yanal çekmesiyle ilgili testler yaparken karşılaşılan sorunlar üzerinedir. Bu çalışmanın sonuçları da ayrıca değerlendirilmiştir.

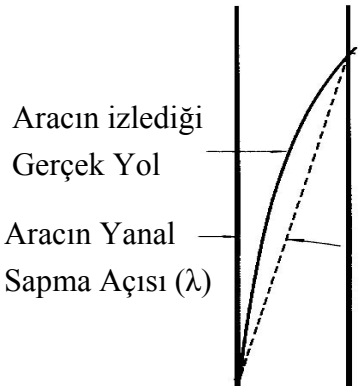
5.3.1 Deney Prosedürleri

Bu konuyla ilgili çalışma yaparken rastlanan en büyük sorun lastiğin etkilerinin izole edilmesidir. Çalışmanın sonuçlarını etkileyebilecek dış faktörler rüzgar, yoldaki eğim ve aracın sürüş dinamiğini etkileyen tekerlek asılış açılarındaki hatalardır. Bunların arasında minimize edilmesi en kolay olanı tekerlek asılış açılarındaki hizalama hatalarıdır. Ancak iyi bir tekerlek asılış açılarındaki hizalamadan sonra dahi, araçta küçük miktarlarda da olsa asimetri söz konusu olabilir.

Rüzgar ve yolun eğimi daha güç sorunlardır. Araçların çekme problemlerinin incelenmesi için yapılacak test sürüşlerini rüzgarsız günlerde gerçekleştirilmelidir. Yolun aynı bölümünde her iki yönde de hareket edilmesi rüzgar etkilerinin giderilmesine yardımcı olur. Düz, engebesiz ve eğimsiz bir yol kullanılmalıdır. Eğer yukarıdaki şartlar tam olarak sağlanamıyorsa, en az eğimli olan bölgelerde elde edilen verilerin alınması konusunda dikkatli olunmalıdır.

Deneyle ilgili diğer sorun, ölçülmesi gereken performans değişkeninin belirlenmesidir. Bu değişken aracın yana çekme eğilimleriyle doğrudan ilişkili olmalıdır. Test işlemi serbest kontrolde gerçekleştirilerek Y_f, 5.12 no'lu eşitlik, ya da sabit kontrolde gerçekleştirilerek M_s 5.16 no'lu eşitlik ile ölçülebilir. Her iki teknik için de kuvvet (ya da moment) ölçüm ekipmanları gerekmektedir. (Topping, 1975)

Daha basit bir teknik ise Şek. 5.5'te açıklanan sapmanın (λ) ölçülmesidir. Bu teknikte ortaya çıkabilecek sorun, test sürüşleri sırasında aracın yanal sapmasının ölçülmesidir. Bunun için, aracın yan tarafına bir aparat yardımıyla digital bir forograf makinası bağlanmıştır. Testin başladığı ve bittiği hat üzerine şerit metreler yerleştirilmiştir. Bu sayede başlangıç ve bitiş noktalarındaki aracın konum olarak ne kadar yer değiştirdiği ölçülmüştür.



Şekil 5.5 : Sapma Açısının (λ) Tanımı (Topping, 1975)

Bazı sınırlamalara rağmen, enstrumantasyon ve kalibrasyon gerektirmediği için, bu son teknik bu incelemede kullanılmıştır. Her lastik araç eşlemesi için yaklaşık 10 ölçüm geçekleştirildi. Çok miktarda veri alınması, deneysel tekniklerin doğasında bulunan hataları minimum seviyeye indirmiştir.

Lastikler çift olarak seçilmiştir. Ön aks etkilerini incelerken, arka aksa nötr bir çift ($Y_r = 0$) takılırken çeşitli Y_f değerlerine sahip lastik çiftleri ön aksa takıldı.

10 adet, 195/65 R15 radyal lastiğin ortalama yanal kuvvet ve hizalama momentleri lastik üreticisinin Luxembourg'da bulunan araştırma ve geliştirme merkezinde 5 km/h hız, 32 Bar basınç şartları ile ölçüldü.

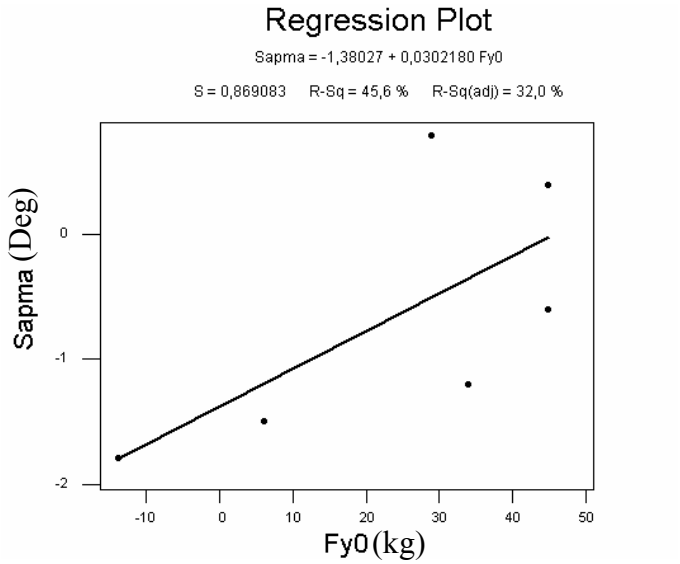
5.3.2 Sonuçların Analizi

Yol testi verilerinin incelenmesinde kullanılan teknik, araç performansı (yanal sapma) ile lastik özelliklerinin (lastiğin yanal kuvvet değerleri, lastiğin conicty kuvvet değerleri ve analitik aks kuvveti formulü sonuçları) arasındaki basit bir regresyon analiziydi. Araç performansı, yukarıda ve Şekil 5.5'te açıklandığı gibi aracın sapma açısı (λ) olarak ifade edildi. Herbir lastik çifti için aracın yanal sapması ve toplam ön aks kuvvetleri Tablo 5.1 de verilmiştir. Regresyon analizinin sonuçları da Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Araç Testleri Sonuçları (60 km/h araç hızı)

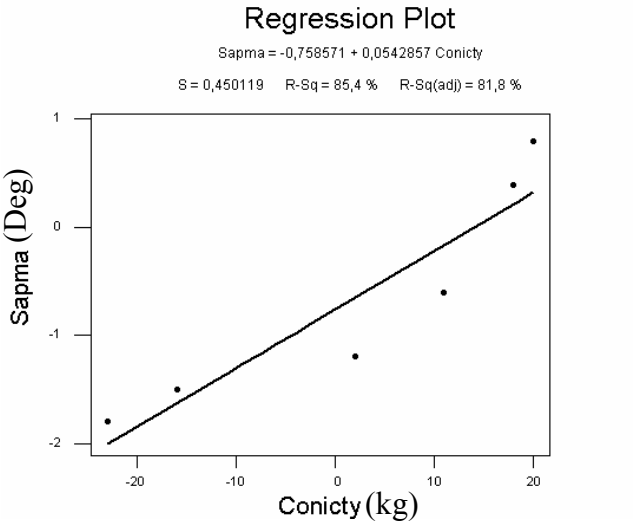
Lastik Çifti	F_{y0} (Kg)	Conicty (Kg)	Y_f (Kg)	Yanal Sapma Açısı(λ, deg)
1	29	20	36	0,8
2	45	18	27	0,4
3	45	11	16	-0,6
4	34	2	2	-1,2
5	6	-16	-18	-1,5
6	-14	-23	-7	-1,8

Araç performansı ile lastik özeliklerini ilişkilendirilmesi yönündeki ilk karşılaştırma, aracın yanal sapması ile ön akstaki lastiklerin ortalama yanal kuvvetlerinin cebirsel toplamları şeklindedir. Sonuç olarak elde edilen ilişki Şekil 5.6'da gösterilmiştir. 0,32'luk regresyon katsayısından da anlaşılabileceği gibi korelasyon yeterli değildir.



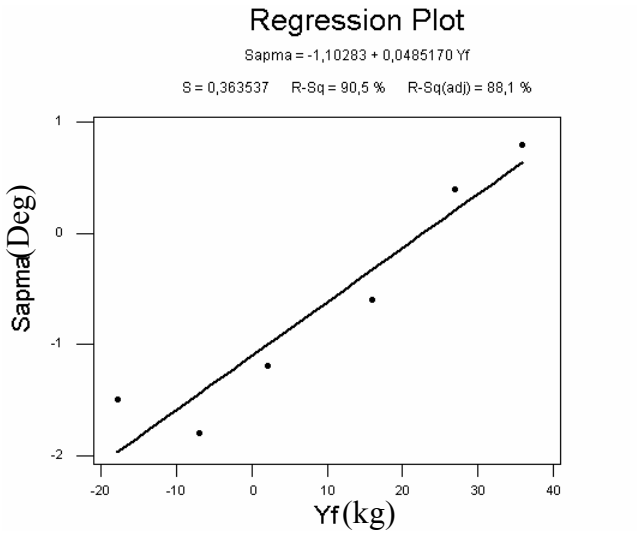
Şekil 5.6 : Ön Aks Ortalama Yanal Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı

Daha iyi bir korelasyon sonraki şekilde (Şekil 5.7) gösterilmiştir. Bu analizde Y_f, ön lastik "Conicty" kuvvetlerinin cebirsel toplamı olarak hesaplanmıştır. 0,818'lik katsayıdan da anlaşılabileceği gibi korelasyon çok daha iyidir.



Şekil 5.7 : Ön Aks Conicty Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı

Şekil 5.8'de daha önce sunulan teori ile ilişkisi gösterilmektedir. Ön aks kuvveti 5.12 no'lu eşitlikte hesaplanmıştır. Bu şekilde, 0,881'lük daha yüksek bir korelasyon elde edilmektedir. Regresyon hattının eğimi 0,049 der/kg'dir. Bu, Şekil 5.7'deki korelasyondan (0,054 der/kg) biraz daha düşüktür, bu da "conicty" yanal kuvvetinin tek başına Y_f 'nin hesaplanmasında kullanılmasının aks kuvveti değerlerini biraz daha düşürdüğünü gösterir.



Şekil 5.8 : 5.12 ile Hesaplanan Aks Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Sapma Açısı

6. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada lastik yanal kuvveti ile hizalama moment ve direksiyon sistemi geometrisi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu konular, sabit ve serbest kontrolle sürüş koşullarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Başlangıçta ön aks yanal kuvvetini ve direksiyon sistemi momentini ifade eden eşitlikler türetilmiştir.

Çalışmanın teori bölümündeki sonuçlar, farklı karekteristiklere sahip lastiklerin denendiği araç testlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sapma açısı ile ön aks kuvveti arasındaki en yüksek korelasyon bu çalışmanın teori bölümünde türetilen eşitlikte (12 nolu eşitlik) elde edilmiştir. Lastik conicity kuvvetlerine bağlı ön aks kuvvetiyle de yüksek korelasyon sağlanmıştır.

Geliştirilen teori çerçevesinde lastik kuvvet ve moment özelliklerinin analizi, beklendiği şekilde lastik conicity kuvvetine bağlı ön aks kuvveti ile beklenen gerçek ön aks kuvveti arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar lastik conicity kuvvetinin varlığını, ve lastikten kaynaklanan çekme problemlerinin tahmin edilmesinde faydalı, geçerli bir değişken olduğunu göstermiştir. Sonuçların geçerliliği, lastiklerin yanal kuvvetin bileşenleri ile söz konusu lastiklerin hizalama momenti arasındaki ilişkiye dayanır. Lastiklerin yapısındaki bir değişiklik bu ilişkiyi geçersiz kılabilir. Ancak, araç üzerindeki etkilerini tanımlamak için kullanılan analitik yaklaşımlar her zaman geçerlidir.

KAYNAKLAR

Bastow, D. and Howard, G., 1993, Car Suspension and Handling.

Gillespie, T. D., 1994, Fundemental of Vehicle Dynamics.

Tateishi, Y., Yoshimori, K. and Koide, M., 1986, The effects of the Tire Camber Angle on Vehicle Controllability and Stability, SAE 860245

Topping, R. W., 1975, Tire Inducted Steering Pull, SAE 750406

ÖZGEÇMİŞ

İlhan GÜVEN 1967 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğretimini İstanbul'da Kavacık İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra, İstanbul Haydarpaşa lisesinden 1984 yılında mezun oldu. Lise öğretimi sonrası 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 1998 yılından itibaren Ford Otosan Fabrikasında Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalışmaktadır.