

## TAŞITLARDA TEKERLEK KİLİTLENMESİ VE KAYMASININ DURMA MESAFESİ VE KARARLILIĞA ETKİSİ

Duran ALTIPARMAK Atilla KOCA  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 06500-Ankara, Türkiye

### ÖZET

Taşıtlarda frenleme esnasında tekerleklerin kilitlenmesi ve tekerlek kaymasının olumsuz etkileri bilinmektedir. Özellikle kaygan yollarda yapılan panik frenlemede veya taşıtın ivmelenmesi sırasında, hem durma mesafesi kontrolü ve hem de direksiyon kontrolü oldukça azalmaktadır. Emniyetli bir frenleme ve kararlı bir taşıt hareketi için, ticari araçların yanısıra binek taşıtlarında da yaygın olarak ABS (Antilock Braking System) ve bu sisteme ilave olarak geliştirilen ASR (Automatic Spin Regulation) sistemi kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, ABS/ASR kullanan taşıtlarla diğer taşıtların fren performansı ve taşıt kararlılığı yönünden önemli farklılıklarını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** ABS/ASR, Kararlılık, Fren Performansı, Taşıt.

### EFFECTS OF LOCKED AND SPINNING WHEELS ON THE VEHICLE STOPPING DISTANCE AND STABILITY

### ABSTRACT

It is known that locked and spinning wheels of a vehicle during braking and acceleration have undesirable effects. Especially in case of panic braking in wet and slippery roads, the vehicle may be out of control. ABS (Antilock Braking System) and its combination of ASR (Automatic Spin Regulation) has been used for safety stopping and stability in passenger cars as well as commercial vehicles. Researches showed that the considerable differences between the vehicles with and without ABS/ASR systems in related to the stopping distance and stability.

**Key Words:** ABS/ASR, Stability, Brake Performance, Vehicle.

### 1.GİRİŞ

Bütün muhtemel şartlar için hareket halindeki taşıt fren sistemi ve yardımcı sistemlerde aranan üç özellik,  
a- Aracın kararlı, düzgün hareketi (doğrusal harekette veya dönüş sırasında)  
b- Direksiyon kontrolü,  
c- Frenlemeden sonra kısa mesafede duruş,  
olarak sıralanabilir.

Bu üç önemli özelliğin sağlanabilmesi, frenleme veya yavaşlama anında tekerleklerin kilitlenmemesine bağlıdır. Frenleme sisteminden beklenen fonksiyon, aracın özellikle kaygan yol şartlarında uygun bir

mesafede durmasını temin etmesidir. Önceleri pek fazla dikkat çekmeyen durma mesafesi, ABS uygulamalarından sonra araştırmacıların yoğun olarak üzerinde çalıştıkları bir konu olmuştur [1-4]. 1970'li yıllarda üzerinde çalışılan antilock sistemler, 1973-79 yıllarında elektronik devre ve sinyal işlemcilerin geliştirilmesiyle 1984'de kompakt hale getirilmiştir [5-8].

Yukarıda belirtilen üç önemli özelliğin yanısıra; taşıtın kaygan zeminlerde ivmelenmesi sırasında da kararlılığını muhafaza etmesi gerekir. Bu amaçla, ticari taşıtlarda kullanılan ABS sistemlerine ilave bir donanım ve yazılımla çekiş veya patinaj kontrolü sağlayan bir sistem (ASR) de geliştirilmiştir [9]. ABS/ASR birleştirilmiş sistemleri, 1987 yılından beri ticari taşıtlar için geliştirilmeye devam etmektedir [10,11]. Bu birleşik sistemle, değişik sürüş ve zemin şartlarında optimum çekiş ve kararlılık sağlamak ve tekerlek aşınmasını en aza indirmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca bu sistem, patinaj halinde motor gücünü de kontrol etmektedir [12-15].

Çeşitli yol-zemin şartlarında ABS kullanan taşıtlarla ABS'siz taşıtların fren durma mesafelerinin ve kararlılığının karşılaştırılması, fren performanslarının önemli bir göstergesi olmaktadır. Bu nedenle değişik tip ABS ve fren sistemleri kullanan taşıtların durma mesafelerini karşılaştırma çalışmaları ilgi çekmiştir. Bununla ilgili kapsamlı bir çalışma, Oppenheimer [16] tarafından gerçekleştirilmiştir.

1980'li yıllarda başlıca iki tip ABS kullanılmaktaydı. Bunlardan biri sadece arka tekerlekleri kontrol eden sistem, diğeri ise dört tekerleği ayrı ayrı kontrol eden sistemdi. Sadece arka tekerlekleri kontrol eden sistem, her ne kadar araç kararlılığını ve direksiyon kontrolünü büyük ölçüde geliştirse de, ön tekerleklerin kilitlenmesi durumunda ortaya çıkabilecek direksiyon kontrolü riskini tamamen ortadan kaldıramamıştır. Dört tekerleğin kontrol edildiği antilock fren sistemi, panik frenleme sırasında taşıta kararlılık ve direksiyon hakimiyeti sağlaması bakımından etkili bir emniyet sistemi olarak kabul edilmektedir [5,17-19].

Çeşitli ABS tasarımları ve kontrol teknikleri üzerinde de ciddi araştırmalar yapılmış, taşıtların kararlılığı ve durma mesafelerine bu değişik sistemlerin etkileri üzerinde durulmuştur. Satoh ve Shiraishi [17] geliştirdikleri tekerlek kontrol yönteminde ön ve arka tekerlekleri aynı anda kontrol etme özelliğine sahip olan basitleştirilmiş bir tekniği denemişlerdir. Bu kontrol tekniği, ön tekerleklerden alınan en az kayma sinyali ve arka tekerleklerden alınan en yüksek kayma sinyali ile ön ve arka tekerleklerin kontrolünü esas almaktadır. Dört tekerleğin ayrı ayrı kontrol edildiği tekniğin kullanılmasıyla panik frenleme süresince bile araç kararlılığının ve direksiyon hakimiyetinin korunduğu gözlenmiştir. Ancak, pürüzlü (kaba yüzeyle) yollarda ve bazı şartlarda bütün ABS sistemleri, ABS kullanmayan taşıtlara göre daha uzun durma mesafesi verebilmektedir. Daha etkili bir kayma ve kararlılık kontrolünü sağlamak üzere, klasik ABS'den daha komplike bir sistem olan LSB (limited-Slip Braking), üzerinde de çalışmalar yapılmıştır [20-22].

ABS'nin asıl fonksiyonu, ıslak zeminlerde, karlı ve buzlu yollarda ortaya çıkmaktadır. Çünkü tekerlek ile yol arasındaki sürtünme katsayısı (adhesion), kilitlenmeye etki eden ve dolayısıyla durma mesafesini belirleyen bir özelliktir [23-26]. Böyle yollarda yeterli direksiyon kontrolü, panik frenleme durumunda daha da önemlidir. Çünkü, kaygan yollarda panik frenleme, ABS'siz bir taşıt için daha uzun durma mesafesine neden olduğu gibi, direksiyon kontrolünü de tamamen ortadan kaldıracaktır.

## 2. ABS'DE UYGULANAN KONTROL TEKNİKLERİ

Tekerleklerin kontrol edilmesi, frenleme esnasında sağ ve sol tekerleklerde meydana gelebilecek kilitlenmeyi önlemek amacıyla frenleme torklarının kontrol edilmesidir. Yeterli direksiyon kontrolü ve taşıt kararlılığı için değişik kontrol teknikleri önerilmiştir [17,27,28]. Bu amaçla, iki veya dört kanallı ABS sistemleri ve bu sistemlerde uygulanan üç değişik kontrol tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler:

**1. Bağımsız kontrol tekniği:** Sağ ve sol tekerleklerin frenleme torklarının bağımsız olarak kontrol edildiği tekniktir. Bu tip ABS sistemleri genellikle 4 kanallıdır. 2 kanallı tipleri ise, genellikle dört tekerlekten çekişli (4WD) araçlarda çapraz kontrol için uygulanmaktadır.

**2. Select-low (düşük duyarlı) kontrol tekniği:** Sağ ve sol taraftaki tekerleklerin aynı anda kontrol edilmesidir. Bu kontrol tekniğinde, tekerleklerden alınan sinyallerden ilk kilitlenme eğilimi gösteren

tekerleğin durumuna göre her iki tekerleğin de devre basıncı kontrol edilir. Bu durumda tekerleğin birinde optimum frenleme kuvvetinden daha düşük bir frenleme kuvveti meydana gelebilir.

**3. Select-high (yüksek duyarlı) kontrol tekniği:** Her iki taraftaki tekerleklerin kilitlenmeden sonra aynı anda kontrolünü esas alır. Böyle bir kontrol tekniğinde, bir taraftaki tekerleğin kilitlenmesi önlenirken diğer taraftaki tekerlek halihazırda kilitlenmiş olabilir. Geçici de olsa bu kilitlenme araç kontrolünü olumsuz etkileyecektir.

Yukarıda belirtilen üç teknikten genellikle ilk ikisi kullanılmaktadır. Yani, ya ön tekerlekler bağımsız, arka tekerlekler düşük duyarlı (select-low) tekniğine göre; ya da ön tekerlekler yüksek duyarlı (select-high), arka tekerlekler ise düşük duyarlı (select-low) tekniğine göre kontrol edilmektedir. Bu kontrol tekniği, özellikle önden çekişli araçlar için tavsiye edilmektedir. Yüksek duyarlı (select-high) kontrol yöntemi dört tekerlek için kullanılmamaktadır. Çünkü tekerleklerden birinin kısa bir süre için kilitlenmesi, o tekerlekteki yanal kuvveti azaltarak direksiyon kontrolü ve taşıt kararlılığını olumsuz yönde etkileyecektir.

Yüksek duyarlı kontrol tekniğinin kullanıldığı bir taşıtta eğer yol yüzeyi sürtünme katsayısı ( $\mu$  tutunma katsayısı) diğer tarafa göre daha düşük ise  $\mu$ 'nün düşük olduğu tarafın geçici olarak kilitlenmesine neden olabilir. Dönüşlerde ise iç tekerlek üzerine gelen yükün azalması dolayısıyla yol yüzeyi homojen sürtünme katsayısına sahip olsa bile bu tekerleklerde kilitlenme görülebilir.

Bu tekniğin uygulanmasında taşıt kararlılığı ve direksiyon kontrolü az da olsa olumsuz yönde etkilenmekte; buna karşılık durma mesafesi, özellikle pürüzlü yollarda daha kısa olmaktadır [17,27].

### 3. ABS ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kilitlenmeyi önleyen tertibat (ABS), frenleme sırasında, tekerlekle yol arasındaki kaymayı hesaplayarak belirli bir değerin üzerine çıkmış kayma şartlarında devreye girer. Bunun için, hız sensörleri vasıtasıyla ölçülen her bir tekerleğin hızı ile bunların ortalamasından elde edilen taşıt hızı esas alınmaktadır. Ancak, frenleme esnasında dört tekerleğin de aynı anda ve aynı derecede kilitlenme eğilimi göstermesi durumunda, taşıt hızının, dolayısıyla da kaymanın tam olarak hesaplanması mümkün değildir [29]. Özellikle arka ve ön aksın her ikisinin hareket verdiği taşıtlarda, buzlu yollarda dört tekerleğin de aynı anda bloke olması mümkündür. Bu durumda hız sensörlerinden gelen bilgi, tekerlek hızına bağlı olarak belirlenen taşıt hızının tayinini imkansız kılacaktır. Bu nedenle ABS kontrollerinin sadece kaymaya bağlı değil, ivmeye bağlı olarak da yapılması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen sensörler vasıtasıyla taşıt hızının doğrudan ölçülmesi mümkün olabilmektedir [30].

ABS çalışma şartlarını belirleyen bazı standart değerler aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

$$\lambda > \lambda_0 \quad (1)$$

$$a_w < a_0 \quad (2)$$

Burada ( $\lambda$ ) tekerlek kayma oranı; ( $\lambda_0$ ) referans kayma oranı; ( $a_w$ ) tekerlek çevresel ivmesi; ( $a_0$ ) ise referans standard tekerlek çevresel ivmesidir.

$$\lambda = 1 - (V_w / V) \quad (3)$$

(3) numaralı eşitlikte verilen kayma değeri, ABS için hesaplanır. Burada ( $V_w$ ) tekerlek çevresel hızını (m/s), ( $V$ ) ise taşıt hızını (m/s) ifade etmektedir.

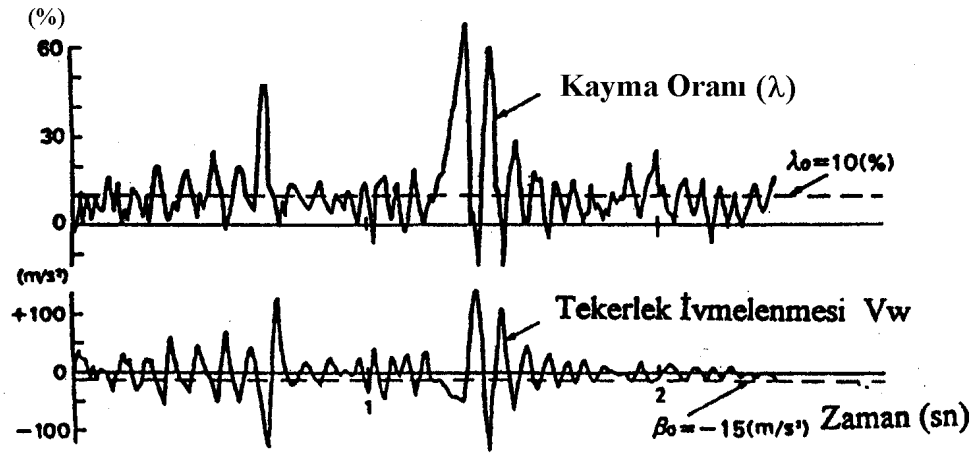
Genellikle referans standartlar

$$\lambda_0 = \% 10 \quad (4)$$

$$a_0 = -9.8 \sim -15 \text{ m/s}^2 \quad (5) \text{ arasında değişir.}$$

Pürüzlü yüzeyli bir yolda, lastik tekerlek tırnakları ve yol yüzeyi arasında frenleme sırasında meydana gelen değişken temaslar sonucu değişken tekerlek hızları ortaya çıkmaktadır. Şekil 1'de çok pürüzlü bir yolda ABS'siz denenen test aracında 100 N'luk pedal kuvveti için ortaya çıkan tekerlek hız değişimleri ve kayma değerleri ( $\lambda$  ve  $a_w$ ) görülmektedir. Burada kilitlenmeyi önlemek için en fazla 100 N'luk pedal kuvveti tatbik edilmiştir. Şekil 1'den de anlaşılacağı gibi (1) ve (2) numaralı formülle gösterilen ABS çalışma şartları, bu deneyde ABS'siz ve kilitlenme olmadan yapılan frenlemeyle bile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, halihazırda

kullanılan bir ABS'nin pürüzlü bir yolda kilitlenme şartları oluşmadan bile tekerleklerdeki frenleme torkunu kontrol ederek durma mesafesini uzatabileceği görülmektedir [17].



Şekil 1. Tekerlek kayma oranı ve ivmesinin zamana bağlı değişimleri [17]

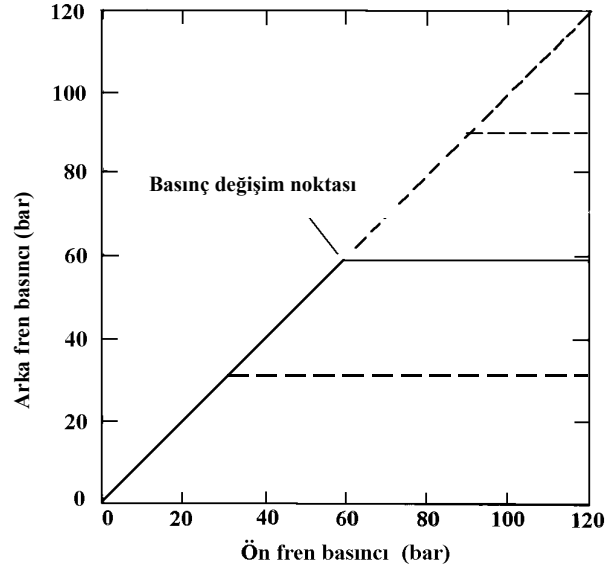
#### 4. TAŞITLARDA FRENLEME VE DURMA MESAFESİ

##### 4.1 Fren Basıncı Dağılımı

Pratikte dört tekerlekli bir otomobilin bütün tekerleklerinin aynı ölçüde tutunma/sürtünme değerine ulaşması ve eşit olarak optimum frenleme sağlaması mümkün değildir. Çünkü aracın frenlemesi esnasında aracın yükünün ön tarafa kayması nedeniyle ön tekerleklere daha yüksek, arka tekerleklere ise daha düşük fren basıncı gereklidir. Ancak fren merkez silindirinden ayak pedalı vasıtasıyla ön ve arka tekerleklere iletilen fren basıncı eşit olmaktadır. Bunun yanı sıra her tekerleğin aynı tutunma-zemin şartlarında bulunması nadiren rastlanan bir durumdur.

Bütün düşük tutunma katsayılı frenlemelerde ön tekerlekler, yüksek tutunma katsayılı frenlemelerde ise arka tekerlekler diğerlerinden daha önce kilitlenme eğilimi göstermektedir. Optimum frenleme performansını gerçekleştirmek için taşıtların başlıca iki yük durumunda denenmesi gerekir : a) sadece sürücünün bulunduğu yük şartı, b) tam yüklü durum. Her iki durum için çok farklı fren basıncı dağılımlarına ihtiyaç vardır. Çeşitli frenleme yönergeleri, arka tekerleklerin çeşitli yavaşlama ivmelerinde kilitlenmesini yasaklamıştır. Arka tekerleklerin kilitlenmesini önlemek amacıyla, yüksek frenleme ivmelerinde, otomobillerde basınç düzenleme valfleri büyük ticari taşıtlarda yüke duyarlı valfler kullanılmaktadır [5,31].

Şekil 2'de görüldüğü gibi ön ve arka fren basınçları, taşıtın yük şartlarına göre değişiklik göstermektedir. İdeal fren basınç dağılımı ile gerçek fren basınç dağılımı arasındaki fark, özellikle tam yüklü araçlarda daha da fazladır. Bu farklılık, gerçek fren performansının ideal optimum frenleme ile karşılaştırmalı olarak tahminini ortaya koyar ve yol-yüzey şartları ve diğer faktörlere bağlı olarak çok büyük değişiklik gösterebilir. Mesela belirli yol-yüzey şartlarında gerçek durma mesafesi, ideal durma mesafesine çok yakın olabilir [16].



Şekil 2. Ön ve arka fren basıncı değişimleri

#### 4.2 Durma Mesafesi

Belirli bir hızla hareket eden taşıtın gerek panik frenleme, gerekse normal frenleme anından duruncaya kadar aldığı yol, durma mesafesi olarak tanımlanabilir. Frenlemeden sonra taşıtın durma ve yavaşlama sürecinde etkili bir faktör olan toplam frenleme süresi; reaksiyon süresi, aktif frenleme süresi ve serbest bırakma süresi olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan reaksiyon süresi, başlangıç intikal süresi ile fren basıncının oluşması süresinin toplamı olarak değerlendirilebilir. Reaksiyon süresinin kısaltılmasına yönelik yapılan incelemelerde, yavaşlama ivmesinin ve dolayısıyla durma mesafesinin nasıl kılalacağı gösterilmiştir [27,32,33].

( $V$ ) İlk hızı ile hareket eden bir taşıt için durma mesafesi aşağıdaki gibi formülize edilebilir :

$$S_D = a \cdot V + bV^2 \quad (6)$$

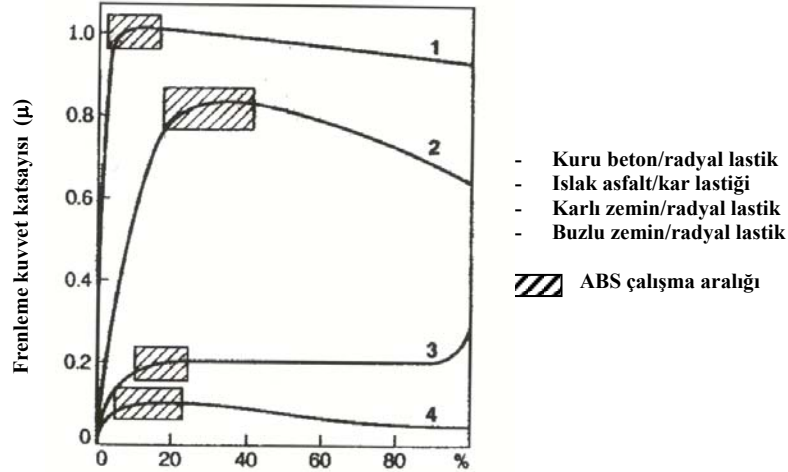
Burada  $S_D$  durma mesafesi,  $V$  taşıt ilk hızı,  $a$  ve  $b$  sabitlerdir.

Eşitlikteki ilk terim reaksiyon süresi ile ilgilidir. Durma mesafesini etkileyen bu terim, sürücünün belirli bir zamanda pedal kuvvetini uygulama kabiliyetine ve fren sisteminin bu kuvvete cevap vermesine bağlıdır. Ancak aynı veya benzer tip araçların karşılaştırılmasında reaksiyon süresi dikkate alınacak kadar önemli olmayabilir.

İkinci terim  $bV^2$  ise yavaşlama ivmesi ile ilgili terimdir. Teorik olarak en kısa durma mesafesi, maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Ancak tekerleklerden biri veya birkaçının kilitlenmesi durumunda maksimum yavaşlama ivmesi elde edilemeyebilir.

Tekerleklerin kilitlenmesi ve buna bağlı olarak durma mesafesinin değişmesi, tekerlek-yol arasındaki sürtünme katsayısına (adhesion) ve frenleme kuvveti dağılımına bağlıdır. Optimum durma mesafesinin değişik yol ve zemin şartlarında analiz edilebilmesi için frenlenen lastik tekerlek üzerinde meydana gelen kuvvetlerin ve yol-tekerlek arasındaki sürtünme veya tutunma karakteristiklerinin anlaşılması gerekir [23]. Şekil 3'de tekerlek kayma oranı ile yanıl kuvvet katsayısı ve frenleme kuvveti katsayısı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, frenleme başladığında frenleme kuvvetini oluşturan fren basıncı ve frenleme kuvveti artar, taşıt hızı azalır. Taşıt hızı ile tekerlek hızı arasındaki fark (brake slip) maksimum sürtünme katsayısı/kayma değerine ulaşmaya kadar yükselir. Bu da kararlı ve kararsız bölge arasındaki limiti

gösterir. Bu maksimum frenleme kuvvetinden sonra frenleme basıncı artsa bile yol ile tekerlek arasında meydana gelen frenleme veya tutunma kuvvetinde bir artış olmaz. Kaymanın (0) olduğu yerde tekerlek yanall kuvveti optimum değerde, maksimum frenleme kuvvetinin meydana geldiği yerde ise yeterli değerdedir. Ancak % 100 kayma anında, yani tekerleğin tam olarak kilitlendiği sırada yanall kuvvet ihmal edilecek kadar azdır. Bu durum, ön tekerleğin kilitlenmesi halinde direksiyon hakimiyetinin; arka tekerleğin kilitlenmesi halinde ise taşıtın doğrusal kararlı hareketinin kaybolacağını göstermektedir. Kilitlenme anındaki tutunma (adhesion), maksimum frenleme kuvvetinin meydana geldiği tutunma değerinden daha düşüktür. İyi bir ABS, frenleme kuvvetini sürekli olarak maksimum tutunma civarında muhafaza eden sistemdir.



Şekil 3. T Frenleme kayması ( $\lambda$ ) ı karakteristiği [34]

Fren performansını belirlemek amacıyla yapılan çeşitli karşılaştırmalar için değişik fren durma mesafeleri de tanımlanmıştır. Bunlar ;

**a) Sürücüye bağlı durma mesafesi:** Sürtünme katsayısı/kayma eğrisinin dört tekerlek için en üst noktada bulunduğu, yani dört tekerleğin de kilitlenme başlangıcına geldiği anda "ideal durma mesafesi" elde edilebilir. Bu da, aracın herhangi bir yüklenme durumunda sadece dört tekerleğin aynı anda optimum frenleme performansına sahip olduğu yol şartlarında mümkün olabilir. Bunun dışındaki şartlarda ya ön tekerlekler, ya da arka tekerlekler birbirinden farklı anlarda kilitleneceğinden, optimum frenleme performansı sağlanamaz. İşte bu şartlarda, sürücünün elde ettiği duruş mesafesi "sürücüye bağlı durma mesafesi" olarak adlandırılır.

Şekil 3'de görülen tipik bir sürtünme/kayma eğrisinden anlaşılacağı gibi, yukarıda sözü edilen durma mesafesini sağlamada uygulanan frenlemenin artırılması tekerleklerden biri veya daha fazlasının kilitlenmesine yol açacak ve frenleme performansı düşecektir. Buna bağlı olarak da direksiyon kontrolü azalacaktır. Durma mesafelerinin ABS'li ve ABS'siz araçlar için karşılaştırıldığı testlerde, sürücünün becerisi özellikle kaygan yollarda çok önemlidir. Sürücüye bağlı durma mesafesinin tespiti, standartlara ve yönergelere uygunluğun tespiti için de kullanılmaktadır.

**b) Kilitlenmiş tekerleklerle durma mesafesi :** Genellikle panik frenleme esnasında pedal kuvvetine bağlı olarak frenleme basıncını kontrol etmek mümkün değildir. Bu durumda tekerleklerin kilitlenmesi kaçınılmazdır. Durma mesafesi, yol şartlarına göre farklılık gösterse de, özellikle arka tekerleklerin kilitlenmesi sonucu aracın yön değiştirmesi veya tamamen dönmesi gibi olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu sırada direksiyon kontrolü de tamamen ortadan kalkmaktadır.

**c) ABS durma mesafesi :** ABS, acil durumlarda maksimum fren pedal kuvvetinin uygulanması halinde araç kararlılığını, direksiyon kontrolünü sağlayarak aracın makul bir mesafede durmasını sağlar. Bazı şartlar için kilitlenmiş tekerleklere nazaran durma mesafesini de kısaltır. Ancak, ABS'nin araç durma mesafesini kısaltmadaki etkinliği, frenleme kuvveti dağılımına, yol-tekerlek tutunma karakteristiğine ve ABS verimine bağlıdır.

#### 4.3 Durma Mesafesine Etki Eden Faktörler

Durma mesafesine etki eden birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları;

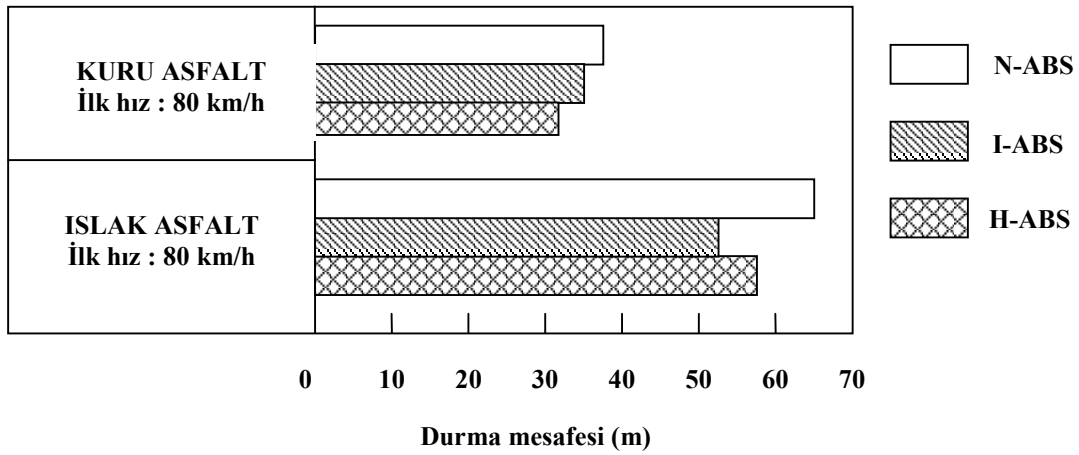
- a- Fren sistemi ile ilgili faktörler,
- b- Tekerlek/Yol-zemin şartları ve çevre şartları ile ilgili faktörler,
- c- Sürücü ile ilgili faktörler olarak sıralanabilir.

Ön ve arka tekerleklerin kontrol yöntemlerindeki değişikliğin ve yol-zemin şartlarının durma mesafesi ve taşıt kararlılığına etkileri yapılan deneylerle açıkça ortaya konulmuştur [16,17].

Denemelerde kullanılan üç değişik taşıtın özellikleri:

- a) N-ABS : ABS kullanılmayan taşıt,
- b) H-ABS: Yüksek duyarlı (Select-high) tekniğinin ön tekerleklerde, düşük duyarlı (select-low) tekniğinin arka tekerleklerde uygulanması,
- c) I-ABS : Bağımsız kontrol tekniğinin ön tekerleklerde, düşük duyarlı (Select-low) tekniğinin arka tekerleklerde uygulanması.

Bu üç tekniğin kullanıldığı taşıt için değişik yol şartlarında alınan durma mesafeleri, Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Değişik kontrol teknikleri için bulunan durma mesafeleri [17]

Şekil 4'de görüldüğü gibi, kuru asfalt yolda yapılan deneyde I-ABS ve H-ABS kullanan taşıtların durma mesafeleri birbirine çok yakın ve N-ABS'ye göre daha kısadır. Islak beton yolda 80 km/h ilk hızda H-ABS I-ABS'ye göre daha uzun mesafede durmaktadır. Buna karşılık, ABS'siz bir taşıta göre de % 10 kadar daha kısa durma mesafesine sahiptir. Ancak, pürüzlü yol şartlarında, ABS'siz bir araç ABS'li araca göre daha kısa durma mesafesi verebilir. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

a) Normal, düzgün yüzeyli bir yolun aksine pürüzlü bir yolda yol ile lastik tekerlek arasındaki sürtünme (tutunma) katsayısı çok yüksek olduğundan, kilitleme anındaki tekerlek en yüksek tutunma katsayısı ile yüzeye sürtünürken, aracın daha kısa mesafede durmasını sağlayarak ABS ile kontrol edilen tekerleklere göre daha etkili bir frenleme ortaya koymaktadır.

b) ABS'nin pürüzlü yüzeylerde tekerlekleri kontrol etmesi sırasında, sürekli değiştirilen tekerlek devri, yani zaman zaman azaltılan frenleme kuvveti dolayısıyla durma mesafesi daha uzun olmaktadır. Ancak, "yüksek duyarlı" olarak bilinen ve her iki taraftaki tekerleği kilitlemeden sonra kontrol eden teknikte daha kısa durma mesafesi sağlanabilir.

Maksimum frenleme kuvvetini ve buna bağlı olarak durma mesafesini etkileyen en önemli faktör, yol ile tekerlek arasındaki tutunma katsayısıdır. Değişik yol yüzeylerinin etkisi ile, Şekil 3'de de görüldüğü gibi farklı sürtünme/kayma eğrileri oluşmaktadır. Zemin şartlarına göre çok farklı frenleme kuvveti katsayısı ortaya çıkmaktadır. Tutunmanın düşük olduğu ortamda, ister ABS'li isterse ABS'siz taşıt olsun, istenilen kısa durma mesafesini elde etmek mümkün değildir. Ancak, kaygan yol şartlarında ABS'li bir araç, tekerleklerin kızaklanması önlediği için optimum frenleme ve tutunma sağlayacağından daha kısa durma mesafesi verecektir. Yol-tekerlek tutunma değerlerini ve buna bağlı durma mesafelerini etkileyen diğer şartlar, tekerleklere gelen düşey yükler, tekerlek dış derinliği, zemindeki su seviyesi gibi faktörlerdir.



#### 4.4 ABS Performansını Değerlendirme Esasları

ABS kullanan bir taşıt ile ABS kullanmayan taşıtın frenleme performansını karşılaştırmak için başlıca iki yöntem kullanılır :

a) Aynı taşıt üzerinde ABS'li ve ABS'siz yapılan testler : Değişik yol şartlarında ve taşıt hızlarında yapılan bu testlerde karşılaştırma yapabilmek için iki önemli parametre dikkate alınmalıdır. Bunlardan birincisi, ABS'siz taşıtta sürücüye bağlı olarak değişen frenleme kuvveti dağılımı; ikinci parametre ise ABS verimidir. Eğer ABS performansı ABS'siz taşıta göre çok yüksek görünüyorsa bu durum, ABS'siz taşıtta gerçek frenleme kuvveti dağılımının iyi olmadığını gösterir. Bunun tersi gerçekleştiğinde ise ABS'siz taşıtta frenleme kuvveti dağılımının iyi olduğu söylenebilir. Ancak bu, ABS veriminin düşük olduğu anlamına gelmez. Sağlıklı bir değerlendirme için değişik yol şartlarında değişik test ve ölçümlere ihtiyaç duyulabilir [16].

b) Değişik taşıtlar ve yol-yüzey şartlarında yapılan testler : Bu tür testlerde ABS'li ve ABS'siz taşıtların karşılaştırılması için yine iki parametre dikkate alınır. Bunlarda ilki, tekerlekle yol yüzeyi arasında oluşan en yüksek tutunma faktörü/kilitlenmiş tekerlekte oluşan tutunma faktörü oranıdır. Diğer parametre ise ABS verimidir. Test sonuçları, ABS kullanan taşıtın ABS'siz taşıta göre daha uzun mesafede durduğunu gösteriyorsa, bunun iki nedeni olabilir : 1- ABS verimi düşüktür, 2- ABS'siz taşıtta kilitlenmiş tekerlekler ile yol arasındaki tutunma faktörü çok yüksektir. Bu, çok pürüzlü yollarda görülebilecek bir sonuçtur.

Genellikle en yüksek/kilitlenmiş tekerlek tutunma katsayısı oranı 1/1 ile 2/1 arasında değişmektedir. Eğer ABS'siz taşıtta belirli bir yüzeyde kilitlenmiş tekerleğin tutunma faktörü ABS'li taşıt tekerleğinde meydana gelen tutunma faktörüne eşit veya daha yüksekse ABS'siz taşıt daha kısa bir mesafede durabilecektir.

Bu tür deneylerin, tecrübeli sürücülerle ve durma mesafesi ölçme standartlarına uygun olarak hazırlanmış taşıtlarla yapılması gerekmektedir. Ancak bu şekilde fren performansının bir göstergesi olan fren durma mesafesi hakkında anlamlı sonuçlar elde edilebilir.

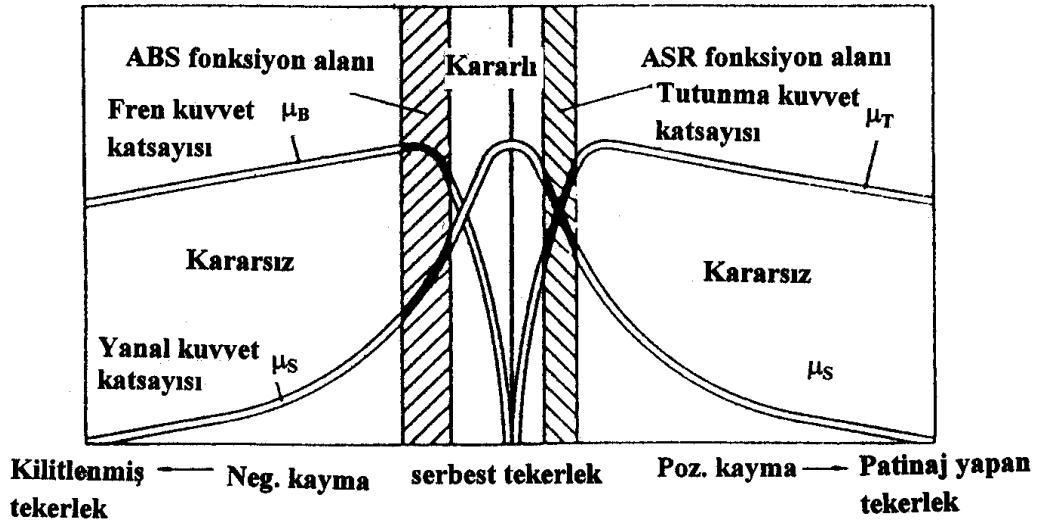
### 5. TAŞIT KARARLILIĞI

#### 5.1 Taşıt Kararlılığını Etkileyen Faktörler

1970'li yılların başında, bazı Avrupa ülkelerinde ticari taşıtlar için ABS kullanma mecburiyeti getirilmiştir. Ağır taşıtların kararlılığını sağlamak amacıyla, hareket ileten tekerlekler için basit ve güvenilir bir ABS sistemi olan, Rockwell olarak bilinen antilock tasarımı ve kontrol tekniği üzerinde durulmuştur [35]. 4 ve 6 kanallı ABS sistemleri, havalı fren sistemine sahip kamyon, otobüs ve çekicilerde 1981'den beri kullanılmaktadır. Daha etkili kararlılık sağlamak için Wabco firmasının geliştirdiği ASR sistemi de ABS ile birlikte uygulanmıştır. Sadece bir tekerleğin patinaj yapması halinde birkaç valf ve işletici yardımıyla bunu önlemek mümkün olabilir. Ancak, bütün hareket veren tekerleklerin kayması halinde motor gücünün düşürülmesine ihtiyaç vardır. Bu anlamda ASR'nin fonksiyonu, kaygan yollarda etkili bir kararlılık için çok önemlidir [10]. Ağır ticari taşıtlarda, yüklü ve yüksüz şartlardaki büyük farklılıklar nedeniyle ABS/ASR sistemlerinin beraberce uygulanması taşıt emniyeti açısından büyük önem taşımaktadır [36]. Taşıt kararlılığını optimum seviyede tutmak amacıyla, ABS'ye ilave olarak aynı anda kullanılan ASR sistemlerinin frenleme ve ivmelenme anındaki frenleme kuvvet katsayısı-yanal kuvvet katsayısının kayma oranına göre değişim eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Burada, taşıtın kararlı hareketinin tekerlek kilitlenmesini ve patinajını önlemek suretiyle nasıl sağlandığı görülmektedir [9].

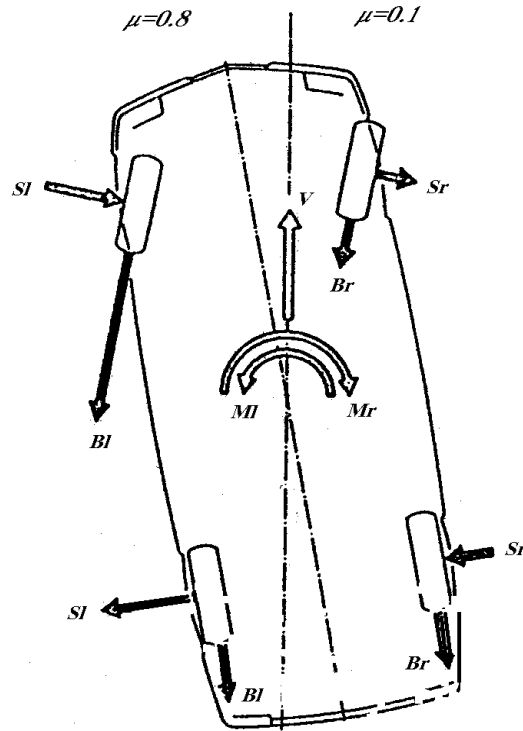
Farklı sürtünme katsayılarında ikiye ayrılmış yolda frenleme yapan taşıtın yön değiştirmesi veya yalpalaması kaçınılmazdır. Sürekli bir frenleme operasyonunda sürtünme katsayısının büyük olduğu tarafa doğru (araç düşey eksenini etrafında oluşan moment dolayısıyla) yalpa veya çekme meydana gelecektir. Bu yön değiştirme veya yalpa momentini kısmen ortadan kaldırmak için, sürtünme kuvvetinin yüksek olduğu tekerlek fren basıncını kontrol eden bir teknik geliştirilmiştir. Bosch firması tarafından ilk defa 1984'de uygulanan bu tekniğin taşıt kararlılığı üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir [28]. Böyle bir kontrolün olmadığı ABS'li bir taşıtta meydana gelen yalpa momenti ve yön değiştirme Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada değişik yol sürtünme katsayılarında ( $\mu = 0.8$  ve  $\mu = 0.1$ ) ikiye ayrılmış olan yolda,  $V$  taşıt hızında tekerleklerde meydana gelen frenleme kuvvetleri  $B$ , yanal kuvvetler  $S$  ve sol tarafa doğru oluşan yalpa momentine ( $MI$ ) karşılık taşıtı tekrar kararlı pozisyona getirmeye çalışan moment ( $Mr$ ) gösterilmiştir.



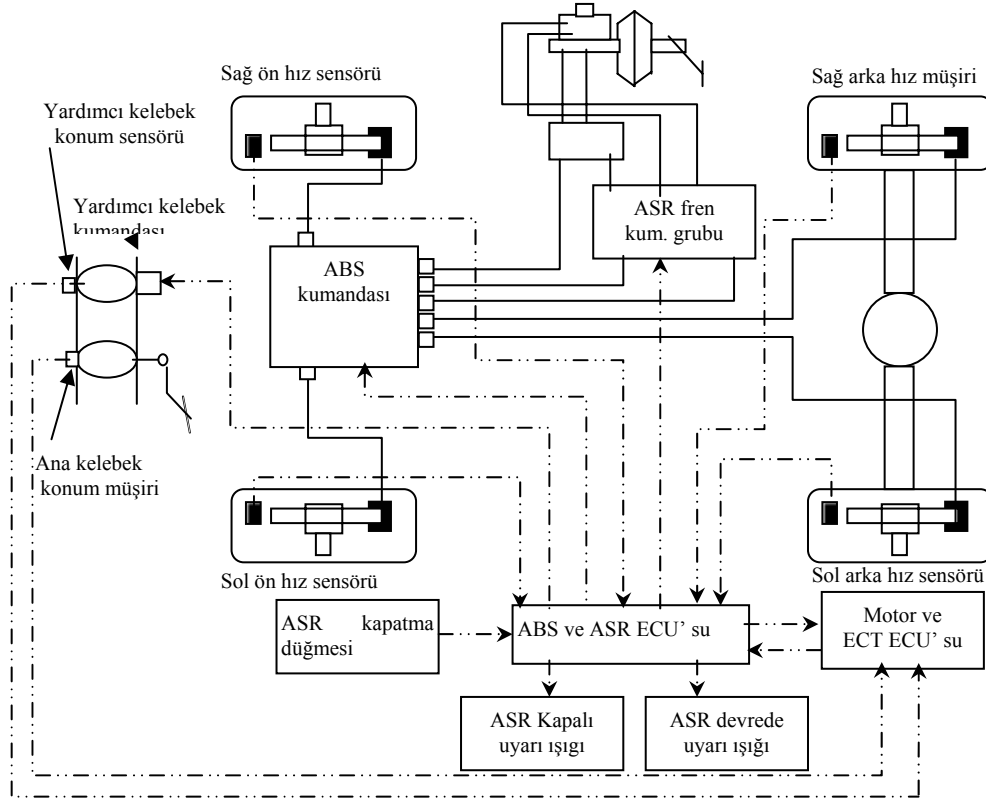


Şekil 5. Frenleme-Tutunma ve yanal kuvvet katsayılarının kaymaya göre değişimi

Ticari taşıtlarda kullanılmak üzere ABS/ASR sistemlerine ilave olarak; devre basıncını düzenlemek, fren sisteminde çeşitli kontrolleri sağlamak amacıyla elektronik kontrol sistemi geliştirilmiştir. Yol ve trafik emniyeti için önem taşıyan bu sisteme ilave bazı alt sistemler eklenebilmektedir. Mesela, retarder, römorklar için kaplin-tork kontrolü, fren balatası kontrolü gibi ilave fonksiyonlar sağlanabilmektedir [37].



Şekil 6. Değişik yüzey kalitesindeki yolda frenleme etkisi [28]



Şekil 7. ABS, ASR ve Motor Torkunun Kontrol Edildiği Sistemin Şematik Görünüşü

Taşıtın güvenliği, hem frenleme ve hem de ivmelenme anında etkili bir şekilde sağlanmazsa, taşıtın savrulması sonucu her türlü olumsuz şartlara zemin hazırlanmış olacaktır. Bu nedenle, özellikle kaygan yol şartlarında ABS/ASR sistemlerinin beraberce kullanılması, çok etkili aktif güvenlik sağlayacaktır. Hem patinajı, hem de kilitlenmeyi önleyen böyle bir kombinasyon, şematik olarak Şekil 7'de görülmektedir [38]. Böyle bir kontrol sisteminin kullanıldığı ticari taşıtlarda motor torku da kontrol edildiğinden taşıtın kararlılığı ön plana çıkmaktadır. Kaygan zeminde patinaj yapan tekerleklerden biri diğerine göre daha yüksek hızda dönebilir. Bu durumda sistem, her iki tekerleğin hızını eşitleyecek şekilde yüksek hızlı tekerleği daha fazla frenleyecek ve aynı zamanda yüksek motor gücünü düşürecek kumanda mekanizmasına sahiptir.

## 6. SONUÇ

Taşıt fren sisteminin en önemli fonksiyonları; her türlü yol şartlarında (özellikle kaygan yollarda) kısa durma mesafesi ve düz veya dönüş hareketlerinde kararlılık (direksiyon kontrolü) sağlamasıdır. Bunun için, tekerleklerin kilitlenmeden frenleme yapmasına imkan veren ABS ve ivmelenme sırasında tekerlek kaymasını (patinajı) kontrol eden ASR sistemleri kullanılmalıdır. Günümüz binek taşıtlarında kullanımı yaygınlaşan ABS sistemlerine küçük bir ilave donanım ve yazılımla taşıt kararlılığında daha etkili bir sonuç almak mümkündür. ABS/ASR sistemlerinin beraberce ele alınması, frenleme ve ivmelenme sırasında taşıta uygun bir durma mesafesi sağlamanın yanı sıra, kararlılık ve çekiş şartlarının optimum hale getirilmesi avantajını da sağlar [9]. Taşıtın aktif kontrolünü sağlayan bu sistemlerin maliyeti taşıt fiyatının % 5 veya % 10'u kadardır [39].

Durma mesafesi, bir taşıtın fren performansının önemli bir göstergesidir. Değişik fren sistemlerinin verimlerini belirlemek amacıyla fren durma mesafelerinin karşılaştırılmasına ilişkin deneyler faydalı sonuçlar ortaya koymaktadır. Ancak daha sağlıklı değerlendirmeler yapmak için aynı taşıt ve aynı tekerleklerle yapılan deneylerin bile değişik yol-zemin şartlarında tekrarlanması gerekebilir.

Arka frenlerin durma mesafesine etkisi, otomobillerde ve özellikle önden çekişli araçlarda nispeten daha azdır. Arka tekerleklerin kilitletmesinin, araç kararlılığı üzerinde çok önemli olumsuz etkisi vardır. Bu nedenle; ön tekerlekler için yüksek duyarlı (select-high), arka tekerlekler için düşük duyarlı (select-low) kontrol tekniğinin kullanıldığı ABS, yeterli taşıt kararlılığı ve direksiyon kontrolü sağladığı gibi pürüzlü yollarda nispeten durma mesafesini kısaltma özelliğine de sahiptir [17]. Ancak günümüz binek taşıtlarında, yukarıda belirtilen kontrol tekniğinin kullanıldığı ABS'lerin yanı sıra ön tekerleklerin bağımsız, arka tekerleklerin ise düşük duyarlı teknikle kontrol edildiği ABS'ler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Taşıt kararlılığı ve durma mesafesi, büyük ticari taşıtlarda daha büyük önem taşımaktadır. ABS/ASR sistemlerinin yanı sıra, ilave elektronik kontrol sistemleri, bu tür taşıtlarda daha etkili ve olumlu sonuçlar vermektedir. Ülkemizde, diğer Avrupa ülkelerinde olduğu gibi, güvenliğin önemli unsurları olan bu donanımların zorunlu olarak kullanımını sağlayacak düzenlemelere ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

- 1- Sturm, R. , "Brakes and ABS on Four Wheel Drive Vehicles", **SAE Paper** No:880321.
- 2- Ingram, B., Oppenheimer, P., "Safer Braking Systems", **ImechE Automobile Proceedings**, V.187, 10/73, pp.87-97, 1973.
- 3- Newton, W.R., Riddy, F.T., "Evaluation Criteria for Low-Cost Antilock Brake Systems for FWD Passenger Cars", **SAE Paper** No:840464.
- 4- Rouse, J.A., "The Distribution of Braking in Road Vehicles", **ImechE symposium on the Control of Vehicles During Braking and Cornering**, pp.80-90, 1963.
- 5- Bleckmann, H. W., Burgdorf, J., von Grünberg, H. E., Timkner, K., Weise, L., "The First Compact 4-Wheel Anti-Skid System with Integral Hydraulic Booster", **SAE Paper** No: 830483.
- 6- Leiber, H., Czinczel, A., "Antiskid System for Passenger Cars with a Digital Electronic Control Unit", **SAE Paper** No:790458.
- 7- Mcintyre, S.M., "Two Functions, One Microcontroller Four-Wheel ABS and Ride Control Using 80C196KB, **SAE Paper** No:881138.
- 8- Bosch Automotive Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition, SAE ISBN 0-89883-518-6.
- 9- Gerstenmeier, J., "Traction Control (ASR)-An Extension of the Anti-Lock Braking System (ABS)", **SAE Paper** No: 861033.
- 10- Petersen, E., Quicke, K., "New Antilock Systems for Commercial Vehicles Realized with Single-Chip Microcomputers", **Wabco Westinghouse GmbH, Hanover, ImechE Paper** C205/81.
- 11- -Maisch, W., Jonner, W.D., Sigl, A., "ASR-Traction Control-A Logical Extension of ABS", **SAE Paper** No: 870337.
- 12- Klein, H.C., "Anti-lock Brake Systems for Passenger Cars, State of the Art, **SAE Paper** No: 865139.
- 13- Reinecke, E., "An Anti-lock System with Extended Safety and Control System Functions", **Int. J. Of Vehicle Design**, V.6, nos 4/5, pp.561-566, 1985.
- 14- Petersen, E., Reinecke, E., Liermann, P., "Anti-Lock Braking System (ABS) with Integrated Drive Slip Control (ASR) for Commercial Vehicles", **SAE Paper** No: 861961.
- 15- Decker, H., Emig, R., Schramm, H., "Traction Control (ASR) for Commercial Vehicles, A Further Step Towards Safety on Our Roads", **SAE Paper** No: 872272.
- 16- Oppenheimer, P. , "Comparing Stopping Capability of Cars with and without Antilock Braking Systems (ABS)", **SAE Paper** No: 880324.
- 17- Satoh M., Shiraishi, S., "Performance of Antilock Brakes with Simplified Control Technique", **SAE Paper** No: 830484.
- 18- Leiber, H., Czinczel, A., "Four Years of Experience with 4-Wheel Antiskid Brake Systems (ABS)", **SAE Paper** No:830481.
- 19- Robinson, B.J. Duffin, A.R., "The Performance and Reliability of Anti-lock Braking Systems", **Braking of Road Vehicles, ImechE**, London, 1993.
- 20- McLoughlin, J.H., "Limited Slip Braking", **Anti-lock Braking Systems for Road Vehicles, IMechE**, London, 1985.
- 21- Hardy, M.S.A., Cebon, D., "Influence of Heavy Vehicle Suspensions on ABS Performance", SAE 932990, SP-1002, 1993.
- 22- Hardy, M.S.A., Cebon, D., "An Investigation of Anti-lock Braking Systems for Heavy Goods Vehicles", **ImechE, J. Automotive Engineering**, 1995.

- 23- Hoffman, D.D., "The Corvette Acceleration Slip Regulation (ASR) Application with Preloaded Limited Slip Differential", **SAE Paper** No:920642.
- 24- Robson, J.D., "Road Surface Description and Vehicle Response", **Int. J. of Vehicle Design**, 1, pp.23-35, 1979.
- 25- Bernard, J.E., Segel, L. and Wild, R.E., "Tire Force Generation During Combined Steering and Braking Maneuvers", **SAE Paper** No: 770852.
- 26- Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Paterson, W.D.O., "Guidlines for Conducting and Calibrating Road Surface Measurements", **World Bank, Technical Paper** 46, 1986.
- 27- Decker, H., Emig, R., Grauel, I., Engfer, O., "State of the Art and Future Prospects of Braking Control in Europe", **SAE Paper** No: 861962.
- 28- Jonner, W., Czincel, A., "Upgrade Levels of the Bosch ABS", **SAE Paper** No: 860508.
- 29- Gökten, A.G., Güney, A., Ereke, M., Taşıt Frenleri, İ.T.Ü. **Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı**, İstanbul, 1995.
- 30- Saito, H., Sasaki, N., Nakaura, T., Kume, M., Tanaka, H., Nishikawa, M., "Acceleration Sensor for ABS", **SAE Paper** No: 920477.
- 31- Heisler, H., "Advanced Vehicle Technology" ISBN: 0-7131-3660-X, London, 1989.
- 32- Hofer, G., Goebels, H., "Anti-skid System for Commercial Vehicles", **Bosch Technischer Bericht** 7, p.40-49.
- 33- Oppenheimer, P., "Antilock Braking Regulations", **SAE Paper** No: 860507.
- 34- Brake Systems. Bosch GmbH, 1995.
- 35- Kramer, D., Roper, D., Trachman, E., "Drive Axle Antilock for Heavy Vehicle Stability", **SAE Paper** No: 871572.
- 36- Gohring, E., "Electronic Traction Control System ASR and its Integration in the Anti-Lock Braking Systems ABS to form a Safety System "ABS/ASR" for Commercial Vehicles", **SAE Paper** No: 881137.
- 37- Wrede, J., Decker, H., "Brake by Wire for Commercial Vehicles", **SAE Paper** No: 922489.
- 38- Toyota Eğitim Kitabı, 1995
- 39- Hattwig, P., "Cost-Benefit Analysis of Simplified ABS", **SAE Paper** No: 850053.