

# Taşıt Süspansiyon Sistemi Çeşitleri ve Ön Düzen Geometrisine Etkileri

**Yakup PUTGÜL, Duran ALTIPARMAK**

Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

(Geliş / Received : 05.07.2015 ; Kabul / Accepted : 14.07.2015)

## ÖZ

Taşıtlarda sürüş güvenliği ve konforunun sağlanması ön düzen ve süspansiyon sistemlerinin uyum içinde çalışmasına bağlıdır. Taşıt süspansiyonlarının ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve taşıtın kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Süspansiyon sistemi, aynı zamanda tekerleklerden gelen yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımını da sağlamalıdır.

Bu çalışmada, araç dinamik hareketi, güvenliği ve konforu ele alınarak tasarlanan ön düzen ve süspansiyon geometrisinin yapısal özellikleri incelenmiştir. Süspansiyon sistemlerinin taşıt hareketleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Farklı mekanizmalar incelenmiş ve bunların birbirlerine göre üstün ve eksik yönlerinin neler olduğu belirlenmiştir. Tüm bu çalışmaların sonucunda ideal bir ön düzen geometrisinde ve süspansiyon sisteminde bulunması gereken nitelikler ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Süspansiyon mekanizması, taşıt dinamiği, yol tutuşu, kararlılık

# Vehicle Suspension System Types and Their Effects on Front Axle Geometry

## ABSTRACT

Ensuring driving safety and comfort in vehicles depends on the front axle geometry and suspension system which work in harmony. The main task of the vehicle suspension is to provide a good ride and handling performance, to ensure steering control during return and to respond well to the vehicle's controlled force. The suspension system must also ensure to isolate of high-frequency vibrations from the road wheels.

In this study; vehicle movement dynamics, structural characteristics and arrangement of the front suspension geometry designed by considering the safety and comfort were investigated. Effects of the suspension system on vehicle movements were researched. Different mechanisms have been examined and it was determined that what are the advantages and disadvantages comparing each other. As a result of this study it has put forward the necessary characteristics for an ideal front axle geometry and suspension system.

**Keywords:** Suspension mechanism, vehicle dynamics, vehicle handling, stability

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süspansiyon sistemi, araç şasesi ve tekerlekler arasında yer alan ve yay, amortisör, burç, çubuk, bağlantı ve kollarından oluşan bir sistemdir.

Süspansiyon sistemi gövdeyi akslar üzerinde tutan elemandır. Gerek araç dinamiğinden kaynaklanan gerekse yoldaki düzensizliklerden meydana gelen hareketleri sönmüleyen süspansiyon sisteminin görevleri şu şekilde özetlenebilir [1]:

- Araç gövdesinin yolun bozucu etkisinden izole edilmesi ve bu sayede aracın konfor özelliklerinin artırılması: Bu özellik genelde aracın gövdesinin hareketi ile ilişkilendirilir. Aynı zamanda aracın yalpalama hareketlerinin kontrol altına alınması da süspansiyonun konfora yönelik görevlerinden birisidir

[2,3].

- Aracın gerek düz gerek düzgün olmayan yol şartlarında ayrıca hızlanma ve fren sırasında yol tutuş özelliklerinin sağlanması: Bu özellik ise dikey kuvvetlerin etkisi sonucunda meydana gelen tekerleğin şekil değiştirmesi ile ilgilidir. Şekil değişiminin azaltılması araçta daha iyi yol tutuşu, çekiş, fren ve dönme özellikleri sağlayacaktır [2,3].
- Aracın statik ağırlığını dengelemek: Bu özellik süspansiyon stroku ile ilgilidir.

Aynı zamanda süspansiyonun yüksek frekanslı titreşimleri sönmüleme gibi bir özelliği vardır. Bu sayede araçta meydana gelebilecek gerek gürültü, gerekse yorulma gibi dayanım unsurlarının geliştirilmesinde süspansiyonun önemli bir etkisi bulunmaktadır. Süspansiyon sisteminin ana elemanlarını oluşturan yaylar statik ağırlıkları taşıırken damperler de bozucu etkilerin oluşturduğu enerjiyi soğurur. Yay bilindiği üzere düşey yer değiştirme (salınım) ile orantılı bir kuvvet oluştururken,

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: yakupputgul@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 195-202

damperlerden meydana gelen tepki kuvveti ise hareketin hızı ile ilgilidir [1].

Süspansiyon tasarımına ilk olarak, yolcular için arzu edilen sürüş konfor şartları ve taşınacak olan yükün dayanabileceği titreşim aralığı düşünülerek başlanmalıdır. Taşıtın sürüş esnasında yapması tahmin edilen sürüş hareketleri de tasarım aşamasında bunlarla eşleştirilebilir [4].

Süspansiyon sistemi, taşıtın alt sistemi olduğu için, tasarıma başlamadan önce kararlaştırılması gereken birkaç parametre vardır. Bunlar, tekerlek izi, dingil açıklığı, kütle, maksimum hız, maksimum eğim, 0-100 km/h hızlanma süresi, minimum dönüş açısı, direksiyon simidinin dış yarıçapı ve tekerlek genişliğidir [5].

Süspansiyon sistemi, hızlanma, frenleme, viraj alma, bozuk zeminde ilerleme gibi farklı çalışma şartlarında gerekli olan güvenliği ve konforu sağlamalıdır.

Çeşitli parçalar, yaylar, damperler, tekerlek sertliği, burç sertliği, bağlantılar, onların geometrik ilişkileri ve süspansiyon tipi aracın dinamik davranışlarını çok etkiler [6].

Taşıt süspansiyonlarının ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve taşıtın kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Süspansiyon sistemi, aynı zamanda tekerleklerden gelen yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımını da sağlamalıdır [7,8].

Otomobillerin ilk üretildiği yıllarda sabit akslı ön süspansiyon sistemleri kullanılmaktaydı. Bu sistem çok dayanıklı ve orta ve ağır yük taşıtlarında hala kullanılmakta olan bir sistemdir. Sabit akslı sistemin en büyük dezavantajı ise sürüş kalitesindeki eksikliklerdir. Bir tekerlek tümseğe çarptığında veya çukura düştüğünde, ortaya çıkan kuvvet karşı taraftaki tekerleğe aks üzerinden direkt olarak iletilmektedir. Bu da sürüş konforunu olumsuz etkilemektedir. Buna karşılık, bu sistem birçok taşıtta arka süspansiyon sistemi olarak günümüzde de kullanılmaktadır [9].

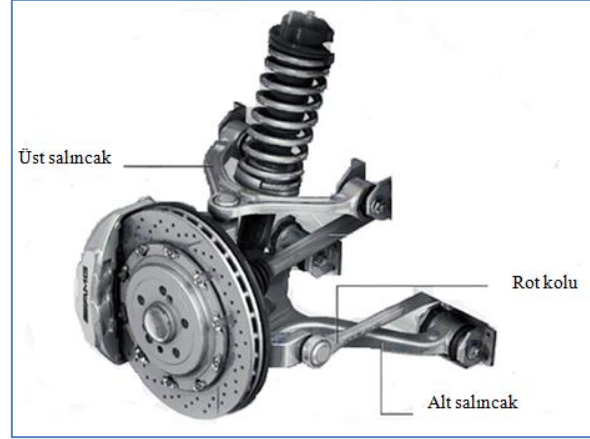
Günümüz otomobillerinde, serbest süspansiyon sistemlerinin farklı modelleri kullanılmaktadır. Serbest süspansiyonlarda her bir tekerlek ayrı bir sistem ile kontrol edilmektedir. Bunun sonucunda da yol yüzeyindeki düzensüzlüklere rağmen daha konforlu bir sürüş elde edilebilmektedir. Ayrıca, diğer tekerleğin hareketi ne olursa olsun, aracın dengesinin korunmasını sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, serbest süspansiyonlar aracın sürüş ve yol tutuş kalitesini geliştirmekte ve lastiklerin ömrünü uzatmaktadır [10].

## 2. ÇİFT SALINCAKLI SÜSPANSİYON (DOUBLE-WISHBONE SUSPENSION)

Bu süspansiyon sistemi araç şasesine dönebilir şekilde yataklanmış olup, dış uçları küresel mafsallarla aks poyrasında oynak olarak yataklanmış iki salıncaktan meydana gelmektedir. Salıncaklar arasında ise halka şeklinde yay bulunmaktadır. Tekerlek yukarı ve aşağı doğru hareket ettikçe, her iki salıncak da aynı şekilde yukarı

ve aşağı doğru hareket etmekte ve bu salıncaklar arasında bulunan yay da uzayıp kısalmaktadır [10].

Taşıt tipinden bağımsız olarak, çift salıncaklı süspansiyonun ana parçaları benzer olarak, üst salıncak, alt salıncak, döner pim, yay, damper ve tekerlektir. Direksiyon sistemi süspansiyon sistemini etkilediği için, iki sistem birlikte düşünülmelidir. Direksiyon sistemi özet olarak, krameyer, bağlantı çubuğu ve direksiyon kolundan oluşur [5].



Şekil 1. Çift salıncaklı süspansiyon (Double-wishbone suspension)

Bu süspansiyon sistemi, yolcuların konforu ve kabul edilebilir bir sertlik dahilinde sürüş için tasarlanmıştır. Konfor, günümüz taşıtlarında önemi gittikçe artan bir özellik olmaktadır. Bu yüzden, bu süspansiyonun odak noktası da konfordur. Çift salıncaklı süspansiyon günümüzde, BMW X5, Benz M-Class, Audi Q7 vb. gibi yüksek sınıf taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat konfor, pahalı taşıtlara özel olmamalıdır. Otomobil fiyatlarının sürekli düşmesiyle birlikte, çift salıncaklı süspansiyon gelecekte aile otomobillerinde de görülecektir. Çift salıncaklı süspansiyon, birkaç farklı parçadan etkilendiği için, bu parametrelerin dikkatli bir şekilde dengelenmesiyle başarı elde edilmektedir [5].

Bu süspansiyon modeli, hafiflik ve istenmeyen karşılıklı tekerlek etkisinin engellenmesi konusunda oldukça başarılıdır. Bu başarı, taşıtın şasesine monte edilmiş olan ve her iki kenarında yer alan enine salıncaklar sayesinde elde edilmektedir [11].

Bu süspansiyon sisteminde salıncakların farklı uzunlukta olması, tekerleklerin yukarı ve aşağı hareketlerinin dengelenmesini sağlar. Örneğin, ön tekerlekler bir tümseğe çarptığında, tekerlekler yukarı doğru ani hareket yaparlar. Bu hareketi dengelemek için, üstteki salıncak daha kısa olarak tasarlanmıştır. Böylece sarsıntı sebebiyle izlediği kavis alt salıncaktan daha kısadır. Bu tekerleğin üst kısmının taşıtın içine doğru eğilmesine sebep olur. Bu sayede tekerleğin sürünerek aşınmasına neden olan yan hareketi önlenmiş olur ve bunun sonucunda tekerlek aşınmaları azaltılmış olur [12].

Çift salıncaklı süspansiyonun en büyük faydası, salıncakların birbirlerine göre olan durumları ile ani dönme

merkezi arzu edilen her yüksekliğe getirilebilir. Yön verici kolların kamber açısı değişimi ile iz değişimine tesir edebilir. Farklı uzunluklardaki salıncıklar tekerleklerin yaylanmasında bir kamber açısı değişimine sebep olmakta ve araç gövdesinin devrilme eğilimi nedeniyle viraj dışındaki tekerlekteki pozitif kamber açısı değişimine karşı gelecek şekilde tesir etmektedir [11].

### 3. MACPHERSON SÜSPANSİYON (MACPHERSON SUSPENSION)

MacPherson süspansiyon sistemi, günümüz yolcu taşıtlarında yaygın olarak kullanılmakta olan serbest süspansiyon sistemlerindedir. Bu süspansiyon sistemi, Earles S. MacPherson tarafından 1949 yılında Ford şirketinde geliştirilmiştir. Sadeliği ve düşük maliyeti nedeniyle, otomotiv mühendisleri, bu sistemin kinematik ve kinetik özelliklerini derinlemesine incelemektedirler [13].

MacPherson tipi ön süspansiyon sistemi aracın gövdesine, yay, amortisör ve lastik takozlar vasıtası ile bağlıdır. Birçok yol darbesi, bu yay-amortisör sayesinde emilmektedir [14].

MacPherson tip süspansiyon sistemi çift salıncaklı süspansiyon sisteminin özel bir durumu olarak düşünülebilir. Bu sistemde üst salıncak yerine, kayabilir bir destek vardır [15].

Buna karşılık, yukarıya doğru uzatılmış dayanak için çamurlukta bir oynak nokta bulunmakta ve bu kuvvetlendirilerek eğilmeye karşı mukavim bir titreşim söndürücüsü olarak şekillendirilmiş ve piston çubuğu elastik bir yatak yardımıyla karoseriye sabitlenmiştir [16].



Şekil 2. MacPherson süspansiyon (MacPherson suspension)

Yaylı ayaklar, tahrik edilen akslarda biraz değişik bir şekilde kullanılmakta ve tahrik edilen aksların serbest olarak geçişini sağlayabilmek için dayanağın üst kısmı ile sabit bir şekilde bağlanmıştır. Her durumda çift salıncaklı askı sistemine göre iki salıncığın kullanılmaması sağlanmıştır [16].

MacPherson tip süspansiyon sistemi, özellikle küçük ve orta büyüklükteki araçlarda yaygın olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Dünya'da yaygın olarak kullanılan bu

sistem, önden çekişli araçlar için mükemmel bir çözümdür [17].

MacPherson ön süspansiyon sistemi, sade yapısı, hafifliği, az yer kaplaması ve düşük maliyeti sebebiyle küçük araçlarda oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir [10].

Günümüzde, önden çekişli araçların büyük çoğunluğu MacPherson tip süspansiyon modeliyle satışa sunulmaktadır. MacPherson'ın ana avantajı, süspansiyon ve tekerlek kontrolünü sağlayan tüm parçaların, tek bir montajda birleştirilebiliyor olmasıdır [18].

MacPherson süspansiyon sistemi, enine motorlar için çok büyük avantaj sağlar ve bundan dolayı önden çekişli araçlarda yaygın olarak kullanılır. Bağlantı noktalarının gövde üzerinde ayrı olması nedeniyle, tekparçalı yapılar ile iyi uyumludur. Yapıda parça sayısının az olmasının da çok büyük avantajları vardır ve süspansiyon yükleri gövde üzerinde daha geniş bir alana yayılabilir [6].

Bu süspansiyon sisteminin faydalı yönü, iki salıncak yatağının tasarrufunun sağlanmasının yanında imalat yönünden meydana gelen hataların tesirinin az olması ve normal olarak yapılan kamber açısı ayarından vazgeçilebilmesidir. Bunlara ilaveten ekonomik bir imalat şekli ile çok az bir yer gereksinimini burada belirtmek gerekir. Hatalı yönü kuvvetlerin çamurluğa iletilmesidir. Bu nedenle çamurluğun veya iç sacın kuvvetlendirilmesi şarttır. Yoldan gelen gürültülerin izolasyonu bazı zorluklar yaratmakta ve oturağın lastiklere yataklanması mümkün olmamaktadır. Yüksek ani dönme merkezine yalnızca yaylı ayağın ve alt salıncığın oldukça eğik bir şekilde yerleştirilmesi ve büyük bir açıklıkla ulaşılabilir. Ani dönme merkezi zannedildiği gibi çift salıncaklı askı sistemlerinden daha yüksek olmayıp bilakis artan yüklemeye ile kuvvetli bir şekilde alçalmaktadır [16].

MacPherson tip süspansiyonun ön aksta kullanılması halinde araç gövdesinin yaylandırılması çift salıncaklı sistemde olduğu gibi boyuna yönde alt salıncığa tespit edilmiş olan torsiyon çubuk yayları ile veya amortisör ayağının üst kısmında karoserideki yay tablası ile amortisör borusu arasına yerleştirilmiş bulunan helisel yaylarla yapılmaktadır [16].

MacPherson tip süspansiyonun avantajları yanında, eğik karakterli yapısı nedeniyle de birçok zorluğu mevcuttur. Ancak yapısındaki esnekliğin araç dinamiklerine olumlu katkısı bulunmaktadır. Bu esneklik, başta kamber açısı olmak üzere, süspansiyon geometrisini etkilemektedir. Bunun da aracın kullanımı ve sürüş güvenliği üzerinde etkisi vardır. Kamber açısındaki değişim, özellikle virajlarda aracın tutunmasını etkilemektedir [17].

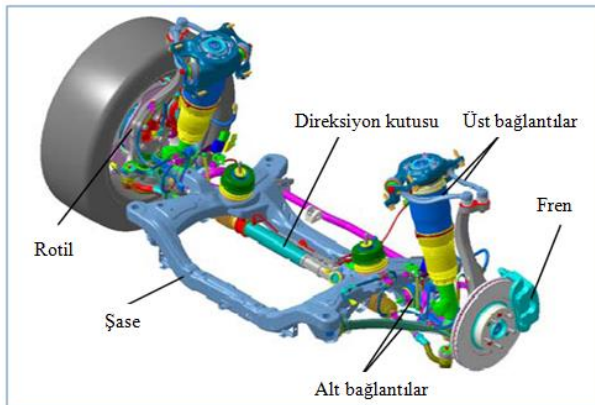
MacPherson tip süspansiyon tasarımında, dinamik kamber açısındaki değişimin aşırıya kaçmasını önlemek amacıyla, yapıdaki sapmayı göz önünde bulundurmaktadır. Eğer bu dinamik değişim aşırı olursa, taşıt kullanımı ve kararlılığı olumsuz etkilenir [17].

#### 4. ÇOK KADEMELİ SÜSPANSİYON (MULTI-LINK SUSPENSION)

Çok kademeli süspansiyon, serbest süspansiyon sistemlerinde kullanılan, iki veya daha fazla yanıl kol, bir veya daha fazla da uzunlamasına kol bulunan taşıt süspansiyon modelidir. Bu süspansiyon modelinin net olarak belirlenmiş bir tipi olmadığı için, yapısını tarif etmek biraz zordur. Farklı tasarımlar çok farklı geometrilere ve karakterlere sahip olabilmektedir. Örneğin BMW'nin geliştirdiği çok kademeli süspansiyon modeli "Z" harfine benzemektedir ve adına "Z askılı" süspansiyon modeli demiştir ve çok iyi bir yol tutuşu sunmaktadır. Honda'nın Accord modelinde kullandığı çok kademeli model ise çift salıncaklı süspansiyon modeline beşinci kontrol kolunun eklenmesi yöntemiyle geliştirilmiş bir modeldir. Audi'nin A4 modelinde kullandığı sistemde de dört adet kontrol kolu bulunmaktadır ve adına "Quadralink" süspansiyon modeli demiştir. Görünüş olarak çift salıncaklı süspansiyon modeline benzemektedir ancak dönme momentinden kaynaklanan yönlendirme etkisini ortadan kaldırmaktadır [19].

Çok kademeli süspansiyon sisteminin çift salıncaklı sistemden daha iyi bir yol tutuşu sağladığı kesin olarak söylenemez. Çünkü hala spor arabaların çoğunda ve en iyi yarış araçlarında çift salıncaklı süspansiyon modeli kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çok kademeli süspansiyonun hem yol tutuşu hem de kapladığı alan açısından en iyi birleşimi sunduğu görülmüştür ve bu yüzden binek taşıtlarda gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir [19].

Çok kademeli süspansiyon sistemi tasarımcılara aynı taşıt üzerinde hem iyi bir sürüş hem de iyi bir yol tutuşunu bir arada sunabilme fırsatını vermektedir. Bu sistem taşıtın daha esnek olmasına izin vermektedir ve böylece farklı yol şartlarında ön düzen açılarında meydana gelen değişimlere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Fakat pahalı ve karmaşık bir sistemdir. Bu sebeple daha çok orta ve üst sınıf araçlarda kullanılmaktadır.

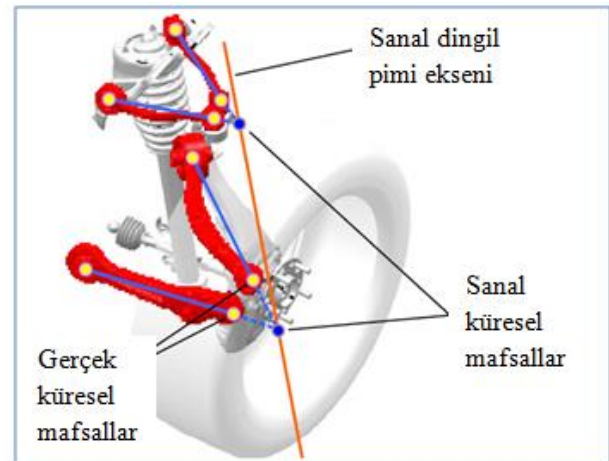


Şekil 3. Çok kademeli süspansiyon modeli (Multi-link suspension model) [36]

Şekil 3.'te Hyundai'nin Genesis modeli için geliştirdiği ön süspansiyon modeli bulunmaktadır. Sistem iki adet üst bağlantı, iki adet alt bağlantı ve bir adet rot kolundan

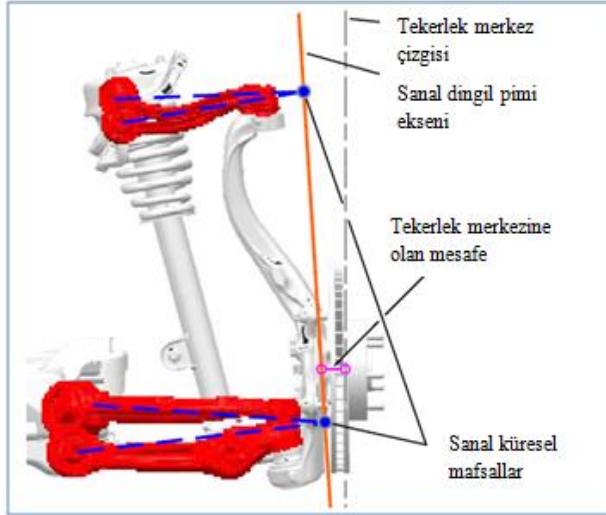
meydana gelmektedir. Çift salıncaklı sistem ve MacPherson sistemiyle karşılaştırıldığında tamamen değiştirilmiş bir yapıya sahiptir. Üst ve alt kontrol kolları ikiye adet bağlantı olacak şekilde bölünmüştür. MacPherson ve çift salıncaklı süspansiyona göre tasarım açısından daha çok serbestliği vardır. Buna karşılık bağlantı sayılarındaki artış nedeniyle sistemin sürtünme katsayısında artış olmuştur. Bu sürtünme de sürüş ve yol tutuş kalitesini olumsuz etkileyen bir durumdur. Bu nedenle tasarım aşamasında sürtünmeyi kontrol altına alacak bir strateji düşünülmelidir [20].

Üst ve alt kontrol kolu yerine çift bağlantılar kullanımının performans üzerinde bazı avantajları bulunmaktadır. Birinci avantajı sürüş kararlılığıdır. Dingil pimi eksenini çift salıncaklı sistemde üst ve alt küresel mafsallara göre hesaplanmaktadır. MacPherson'da ise alt küresel mafsallara göre hesaplanmaktadır. Çok kademeli modelde ise Şekil 4.'te görüldüğü gibi alt ve üst bağlantıların uzantılarının kesişiminde yer alan iki sanal küresel mafsala göre hesaplanır. Sanal dingil pimi eksenini dönüş manevrası sırasında hareket eder; çünkü sanal mafsallar da rotiller üzerinde yer alan küresel mafsallar ile birlikte hareket etmektedir. Bundan dolayı, ön süspansiyonun kaster açısı gibi yönlendirmeyle ilgili karakteristikleri de manevra sırasında değişim gösterir [21, 22].



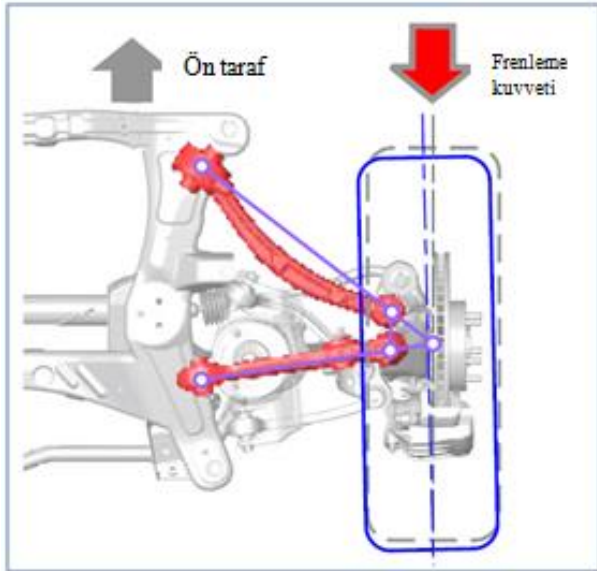
Şekil 4. Sanal dingil pimi eksenini (Axes of swivel pin) [20]

Çift bağlantı kullanımının ikinci avantajı ise tekerleklerden gelen titreşimlerin azaltılmasıdır. Sanal dingil pimi eksenini sanal küresel mafsallar üzerinden geçtiği için fiziksel yapıdan bağımsız olarak ayarlanabilir. Şekil 5.'te sanal dingil pimi eksenini ve onun tekerlek merkezine olan mesafesi görülmektedir. Dingil pimi ekseninin tekerlek merkezine olan mesafesi çift mafsallı olarak azaltılabilir. Çünkü dingil pimi eksenini ile tekerlek merkezi arasındaki mesafe azaltılırsa, tekerleklerdeki asimetriden ya da düzgün olmayan yollardaki sürüş sırasında meydana gelen titreşimler azaltılabilir. Tek mafsallı bulunan çift salıncaklı süspansiyonda ya da MacPherson tip süspansiyonda ise rotiller üzerinde yer alan küresel mafsalların fiziksel yapısı dingil pimi eksenini ile tekerlek merkezi arasındaki mesafenin ayarlanmasını kısıtlamaktadır [20].



Şekil 5. Dingil pimi eksenini ve onun tekerlek merkezine olan mesafesini (Distance between swivil pin axes and centre of wheel) [20]

Üçüncü avantajı sürüş hissiyatındaki artıştır. Geliştirilen süspansiyon sisteminde uzunlamasına kuvvetlere göre tekerleğin hareketi, diğer süspansiyon sistemleriyle karşılaştırıldığında daha büyüktür. Çünkü alt bağlantıların yapısı Şekil 6.'da görüldüğü gibi dört çubuk mekanizmasına benzer yapıdadır. Bu yüzden bağlantıların konumu dış kuvvetler sebebiyle değiştirilir ve bu sürüş hissiyatını artırır çünkü darbeyi emme kapasitesi alt kontrol kolu sabit olan yapılara göre daha yüksektir[20].



Şekil 6. Frenleme esnasındaki Toe-in açısı (Toe-in angle when braking) [20]

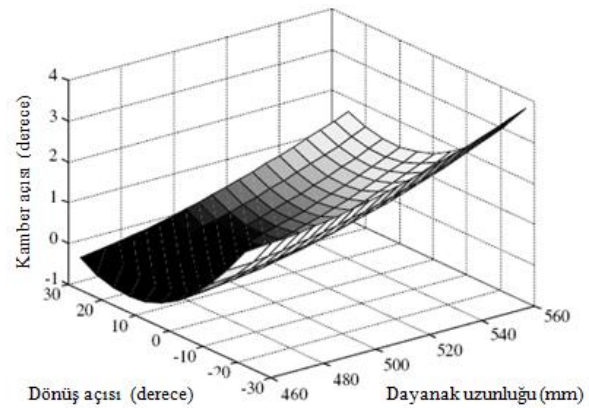
## 5. FARKLI SÜSPANSİYON SİSTEMLERİNİN TAŞIT HAREKETİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF DIFFERENT SUSPANSION SYSTEM ON VEHICLE MOVEMENT)

Taşıtlarda ön düzen geometrisi ve süspansiyon sistemi bir bütündür. Taşıtların hareketine etkileri de birbirinden bağımsız olarak düşünülemez. Taşıtların hareketleri üzerinde süspansiyon sisteminin yapısından kaynaklanan farklı etkiler bulunmaktadır. Fakat bu etkiler süspansiyon modellerine göre değişiklik göstermektedir.

MacPherson tip süspansiyonun eğik karakterli yapısı nedeniyle de birçok zorluğu mevcuttur. Ancak yapısındaki esnekliğin araç dinamiklerine olumlu katkısı da bulunmaktadır. Bu esneklik, başta kamber açısı olmak üzere, süspansiyon geometrisini etkilemektedir. Bunun da aracın kullanımı ve sürüş güvenliği üzerinde etkisi vardır[17].

Süspansiyonun esnek yapısı nedeniyle kamber açısında meydana gelen değişim, özellikle dönüş sırasında taşıtların yol tutuşunu ve kararlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Eğer bu değişim gereğinden fazla olursa sürüş güvenliği açısından istenmeyen durumlar oluşabilir. Taşıtların dönüş sırasında meydana gelen bu değişikliğe yanıt olarak taşıtların tekrar düz doğrultuya geri getirmek durumundadır. Taşıtların vermiş olduğu bu tepki sürücünün panik yapmasına ve taşıtların kontrolünü kaybetmesine sebep olabilir. Bu etkileri minimuma düşürmek için tasarım sırasında sadece malzeme dirençleri değil, yapının tamamının maruz kaldığı eğilme açıları da dikkate alınmalıdır[17].

Ancak şu da unutulmamalıdır ki kamber açısındaki değişimi minimum seviyede tutacak şekilde tasarlandığında, kaster ve toe açısındaki değişim artabilir. Bu nedenle tasarım yapılırken, taşıtların kullanım amacı ve sınıfına göre hangi parametre daha önemliyse ona uygun bir yaklaşımla hareket edilmelidir [13].

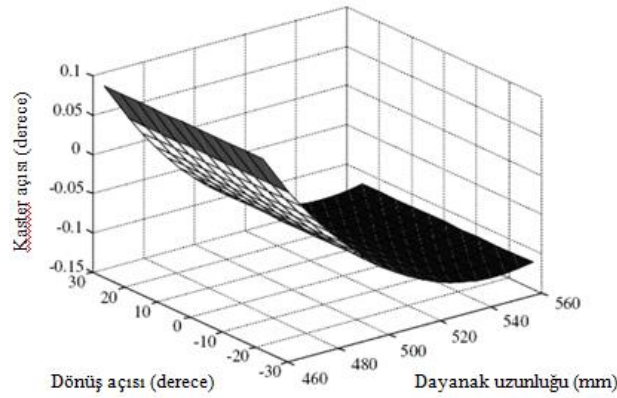


Şekil 7. Dönüş açısı ve dayanak uzunluğundaki değişime göre kamber açısının değişimi (Changes of camber angles for the length of strut and turning angle) [23]

Şekil 7.'de MacPherson tip ön süspansiyon modelinde, 0-30 derece arasındaki dönüş açıları, dayanak uzunluğunun 460 mm'den 560 mm'ye çıkartılması duru-

munda kamber açısının nasıl etkilendiği gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere dönüş açısında meydana gelen değişim kamber açısının değişimini artırmaktadır. Ayrıca dayanak uzunluğunun artması da yine kamber açısındaki değişimde artış meydana getirmektedir.

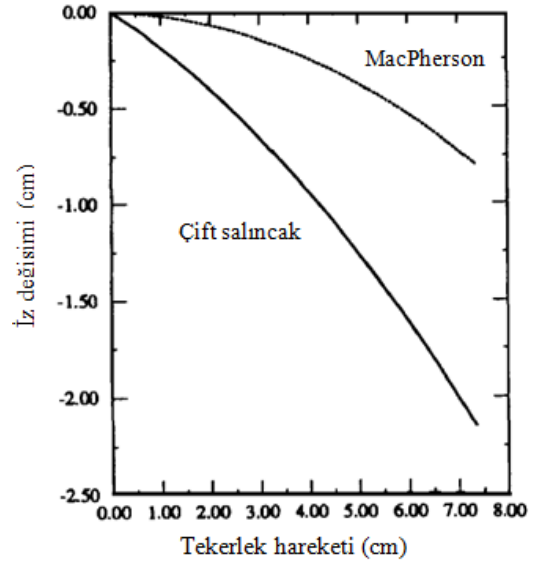
Şekil 8.'de MacPherson tip ön süspansiyon modelinde, 0-30 derece arasındaki dönüş açıları, dayanak uzunluğunun 460 mm'den 560 mm'ye çıkartılması durumunda kaster açısının nasıl etkilendiği gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere dönüş açısında meydana gelen değişimin kaster açısı üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak dayanak uzunluğunun artması ise kaster açısını etkilemektedir. Dayanak uzunluğunun 460 mm'den 480 mm'ye kadar artışı kaster açısındaki değişimi azaltmıştır; fakat 480 mm'den 560 mm'ye kadar olan artışı ise kaster açısındaki değişimin negatif yönde artmasına sebep olmuştur.



Şekil 8. Tekerleğin dönüş açısı ve dayanak uzunluğuna göre kaster açısının değişimi (Changes of caster angles for the length of strut and turning angle) [23]

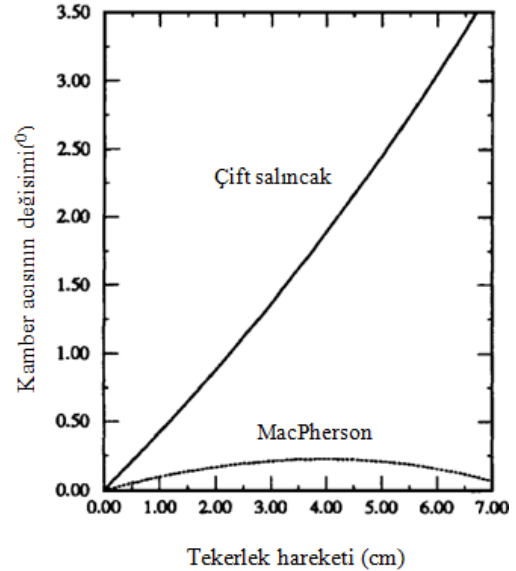
Çift salıncaklı süspansiyonda salıncakların birbirlerine göre olan durumları ile ani dönme merkezi arzu edilen her yüksekliğe getirilebilir. Salıncakların kamber açısı değişimi ile iz değişimine tesir edebilir. Farklı uzunluklardaki salıncaklar tekerleklerin yaylanmasında bir kamber açısı değişimine sebep olmakta ve araç gövdesinin devrilme eğilimi nedeniyle viraj dışındaki tekerlekteki pozitif kamber açısı değişimine karşı gelecek şekilde tesir etmektedir [11].

Şekil 9.'da tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasında meydana gelen iz değişimi gösterilmiştir. Şekilde tekerleğin yukarı yönlü hareketi arttıkça iz değişiminin de negatif yönde arttığı görülmektedir. Ancak MacPherson süspansiyon sistemine sahip modelin iz değişimi, çift salıncaklı süspansiyona sahip modelin ancak üçte biri kadardır.



Şekil 9. Tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasındaki iz değişimi (Track changing for the wheel vertical movement) [24]

Şekil 10.'da tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasında kamber açısında meydana gelen değişim gösterilmiştir. Şekilde tekerleğin yukarı yönlü hareketi arttıkça kamber açısında da değişim olduğu görülmektedir. Burada MacPherson süspansiyon sistemine sahip modelin kamber açısı değişimi sınırlı olurken, çift salıncaklı süspansiyona sahip modelde meydana gelen değişim sürekli artış göstermiştir. Şekilde de görüldüğü üzere MacPherson süspansiyona sahip modelin kamber açısı değişimi, çift salıncaklı süspansiyonun yaklaşık %8'i kadardır.



Şekil 10. Tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasındaki kamber açısının değişimi (Camber changing for the wheel vertical movement) [24]

Şekil 9. ve şekil 10.'da görülen iz değişimi ve kamber açısı değişimine bakarak MacPherson süspansiyonun çift salıncaklı süspansiyona göre daha iyi bir yol tutuşu ve sürüş kararlılığı performansı gösterdiğini söylemek doğru olmaz. Bu şekillerden, temel alınan modele MacPherson tip süspansiyonun daha uygun olduğu sonucuna varabiliriz. Ayrıca farklı süspansiyon modellerinin, aynı koşullar altında farklı tepkiler verdiği söyleyebiliriz. Bu da taşıtın yapısı, tipi, kullanım amacı ve taşıttan beklenen performansa göre en uygun süspansiyonu seçmenin ve taşıtı bu doğrultuda tasarılmanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu durum sadece süspansiyon sistemi için değil ön düzen geometrisi ve direksiyon sistemi için de geçerlidir.

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada araç dinamik hareketi, güvenliği ve konforu ele alınarak tasarlanan ön düzen geometrisinin ve farklı süspansiyon sistemlerinin yapısal özellikleri incelenerek, ideal bir ön düzen ve süspansiyon sisteminin nasıl olması gerektiği ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Çift salıncaklı süspansiyon modeli konforlu bir sürüş için tasarlanmıştır. Hafiflik ve istenmeyen karşılıklı tekerlek etkisinin engellenmesi konusunda oldukça başarılı bir sistemdir. Aynı zamanda salıncakların farklı uzunlukta olması, tekerleklerin yukarı-aşağı hareketlerinin dengelenmesini ve tekerlek aşınmalarının azaltılmasını sağlamaktadır.

Çift salıncaklı süspansiyon sisteminde, tekerlek hareketinden bağımsız olarak, tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki dik temas çok iyi bir şekilde korunur. Böylece tekerleğin yol yüzeyine temas alanının maksimum olması sağlanır. Bu da taşıtın yol tutuş performansını artırmaktadır. Çünkü, iyi bir yol tutuşu ve viraj performansı için tekerleklerdeki kamber açısı değişiminin minimum seviyede olması gerekir. Bunun için de tekerleklerin her türlü yol koşulunda ve tekerlek hareketinde yere maksimum seviyede temas etmesi diğer bir deyişle yol ile arasındaki dik pozisyonunu koruması gerekir. Çift salıncaklı süspansiyon bu açıdan bakıldığında, kamber açısı kontrolünde çok üstün bir performans göstermektedir. Kamber açısının kontrolü taşıt güvenliği açısından da önemli bir konudur. Ancak, maliyeti yüksek ve geniş bir montaj alanına ihtiyaç duyan bir sistemdir. Bu sebeplerden dolayı, yarış araçlarında, spor arabalarda ve üst sınıf sedan araçlarda tercih edilmekte olan bir süspansiyon modelidir.

MacPherson tip süspansiyon sistemi, sade yapısı, düşük maliyeti ve az yer kaplaması sebebiyle dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Dayanak dikey konumlandırılmıştır ve bu sebepten dolayı az yer kaplamaktadır. Az yer kaplaması, özellikle motoru ve şanzımanı ön tarafta konumlanmış önden çekişli küçük ve orta sınıf araçlarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Parça sayısının az olması süspansiyon yüklerinin gövde üzerinde geniş bir alana yayılmasını sağlamaktadır. Ancak, bu basit tasarım çift salıncaklı süspansiyon modeli kadar iyi bir yol tutuşu sunamamaktadır. Bunun sebebi

ise, gövdedeki devrilme etkisi ve tekerlek hareketleri kamber açısında değişime neden olmaktadır. Bu da tekerleğin yol ile temasını azalttığı için yol tutuşu düşmektedir. Bu sebeple spor araçlarda tercih edilmemektedir. Ayrıca yüksek yapısı, yüksek bir çamurluk ve kaput hattı gereksinimi doğurmaktadır. Bu da spor otomobil tasarımlarında çok istenen bir durum değildir.

Çok kademeli süspansiyon modelinin ise, performans açısından diğer ikisinin arasında olduğu söylenebilir. MacPherson tip süspansiyon modeline göre daha iyi bir yol tutuşu sağlasa da, onun kadar sade ve maliyeti düşük değildir. Ancak çift salıncaklı süspansiyon modeli kadar üstün bir performans sunduğu da söylenemez. Günümüzde birçok spor otomobili ve yarış araçlarında hala çift salıncaklı süspansiyon modeli kullanılıyor olması da bunun bir göstergesidir. Ancak hem iyi bir yol tutuşu hem kapladığı alan açısından düşünüldüğünde iyi bir karışım sunmaktadır. Bu sebepten dolayı orta üst sınıf sedan araçlar için uygun bir modeldir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak, ideal bir ön düzen geometrisinde ve süspansiyon sisteminde bulunması gereken özellikler;

- Taşıtın statik ağırlığını dengelemelidir,
- Yol darbelerini emerek, sürücü ve yolcular üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmalıdır,
- Direksiyon kontrolünü sürdürürken, şiddetli frenlemeden dolayı şase üzerinde meydana gelen büyük zorlanmaları azaltmalıdır,
- Direksiyon kontrolü ve tekerlek hizasının korunmasını sağlamalıdır
- Mümkün olduğunca az yer kaplamalıdır,
- Hafif olmalıdır,
- Bir tekerleğin hareketi diğer tekerleğin hareketini etkilememelidir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Emekli, M.E., "Hafif ticari bir araç için yarı aktif süspansiyon sistemi tasarımı", *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Türkiye, 1-133 (2008).
- [2] Rajamani, R., "Vehicle dynamics and control", *Springer*, New York, (2006).
- [3] Isermann, R., "Mechatronic systems fundamentals", *Springer*, New York, (2005).
- [4] Fenton, J., "Handbook of Automotive Powertrain and Chassis Design", *Professional Engineering Publishing*, London, 162 (1998).
- [5] Zhang, Z., Yu, J., "Design process of a double wishbone suspension", *SAE Technical Paper Series*, China, 1-9 (2008).
- [6] Eskandari, A., Mirzadeh, O., "Optimization of a McPherson suspension system using the design of experiments method", *SAE Technical Paper Series*, Michigan, 1-8 (2006).
- [7] Smith, J.H., "An introduction to modern vehicle design", *SAE International*, (2002).

- [8] Birch, T., "Automotive suspension and steering system", CENGAGE Delmar Learning; 3 edition, (1998).
- [9] Halderman, J. D., Mitchell, Jr. C. D., "Automotive Steering, Suspension and Alignment", *Prentice Hall, Upper Saddle River*, New Jersey, Columbus, Ohio, 152 (2004).
- [10] Crouse, W. H., Anglin, D.L., "Automotive Brakes, Suspension and Steering", *Macmillan/McGrawHill*, New York, 112-133 (1992).
- [11] Reimpell, J., Stoll, H., Betzler, J. W., "The Automotive Chassis, 2<sup>nd</sup> ed.", *Oxford: Butterworth Heinemann*, England, 1-85, 266-306 (2001).
- [12] Webster, J., "Automotive Suspension, Steering and Brakes", *California State University*, Long Beach, 41-68 (1987).
- [13] Habibi, H., Shirazi, K. H., Shishesaz, M., "Roll ster minimization of McPherson-strut suspension system using genetic algorithm method", *Mechanism and Machine Theory* **43**, Iran, 57-67 (2008).
- [14] Özdalyan, B., "Bilgisayar benzeşimi ile ön süspansiyon sisteminin kinematik analizi", *Teknoloji, sayı 3-4*, Zonguldak, 1-8 (2001).
- [15] Milliken, W. F., Milliken, D. L., "Race Car Vehicle Dynamics", *Society of Automotive Engineers, Inc.*, ABD, 632-635 (1995).
- [16] Demirsoy, M., "Motorlu Araçlar, Cilt 2, 3. Baskı", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 273-329 (2005).
- [17] Turini, J. R., Vannuci, S. N., "Design characteristics of McPherson Suspensions", *SAE Technical Paper Series*, Brasil, 1-6 (1997).
- [18] Colombo, D., Gobbi, M., Mastinu, G., Pennati, M., "Analysis of unusual McPherson suspension failure", *Elsevier*, Italy, 1000-1010 (2009).
- [19] İnternet : Wan, M., "AutoZine Technical School – Suspension", *Autozine.org*, [http://www.autozine.org/technical\\_school/tech\\_index.html](http://www.autozine.org/technical_school/tech_index.html) (2015).
- [20] Kim, S.P., Lee, J.K., Oh, Y.H., Lee, U.K., "The development of Multi-link suspension for Hyundai Genesis", *SAE Technical Paper Series*, Hyundai Motor Company, 1-6 (2009).
- [21] Lee, U.K., Ahn, B.E., "A method to analyze 'The imaginary kingpin axis' in Multi-link type suspension system", *SAE Technical Paper Series*, Hyundai Motor Company, 1-18 (1993).
- [22] Suh, C.H., "Suspension analysis with instant screw axis theory", *SAE Technical Paper Series*, University of Colorado, 1-9 (1991).
- [23] Mantaras, D. A., Luque, P., Vera, C., "Development and validation of three-dimensional kinematic model for the McPherson steering and suspension mechanisms", *Mechanism and Machine Theory*, Spain, 603-619 (2004).
- [24] Beard, J.E. Waggenspack, W.N., "Kinematic and dynamic comparisons of Double A-arm and MacPherson strut suspensions systems", *SAE Technical Paper Series*, Worldwide Passenger Car Conference and Exposition, Dearborn, Michigan, 1-8 (1993).