

Süspansiyon Sistemleri



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Süspansiyon sistemi (askı donanımı)

Süspansiyon (askı), taşınan yolcular veya yük ile zemin arasındaki bütün organlardır.

Bu terim, elastik yaylar, amortisörler, mafsallar, lastikler ve koltuklarla birlikte yük ve darbe tesirleriyle şekil değiştiren tekerlek ve şasiyi de içermektedir.

Süspansiyon sistemleri şu üç ana grupta değerlendirilebilir:

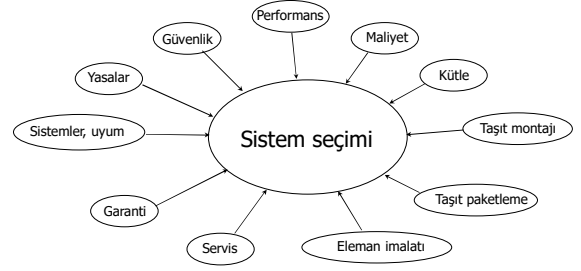
1. Bağımlı süspansiyon
2. Bağımsız süspansiyon
3. Yarı bağımlı süspansiyon

Süspansiyon sistemi...

Süspansiyon sisteminin fonksiyonları

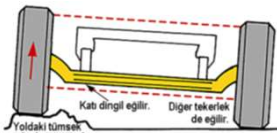
- Tekerlek/lastiği taşıta tutturmak ve tekerlek hareket geometrisini uygulamak
- Taşıtın yaylanan ağırlığını ve yükünü taşımak
- Yol titreşimlerini sönmölemek, konforlu sürüş sağlamak
- Güvenli ve tahmin edilebilir dönüş, frenlenme ve hızlanma (iyi kullanım) sağlamak
- Kullanıcıya keyifli sürüş niteliği sağlamak
- Düşük maliyet, düşük kütle, yüksek katılık ve iyi güvenilirliğe/ömre sahip olmak

Süspansiyon tasarımına etkiyen faktörler

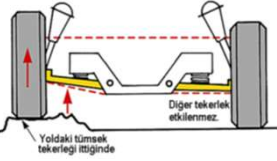


Süspansiyon sistemleri

- **Süspansiyon sistemleri**, konumlarına göre **ön** veya **arka**, tiplerine göre de **katı** veya **bağımsız** olarak sınıflandırılır.
- **Bağımlı (katı) süspansiyon** (sol ve sağ tekerlekler arasında katı bağlantı)
 - Hotchkiss süspansiyon
 - Dört mafsallı (four-link) süspansiyon
 - de Dion süspansiyon
- **Bağımsız süspansiyon** (sol ve sağ tekerlekler ayrılmış)
 - Kısa-uzun kol (short-long arm-SLA) süspansiyon
 - MacPherson destek
 - İzleyen kol (trailing arm) süspansiyon
 - Çok mafsallı (multi-link) süspansiyon
 - Swing Arm süspansiyon



Bağımlı süspansiyon

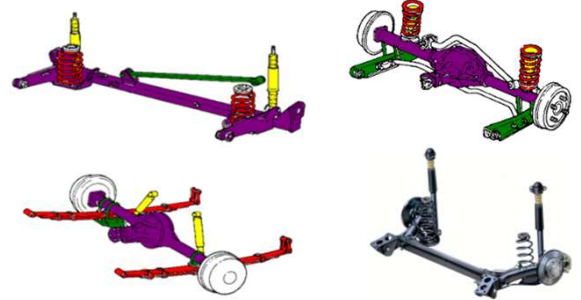


Bağımsız süspansiyon

Bağımlı süspansiyonlar

Bağımlı süspansiyonlarda sol ve sağ tekerlekler arasında katı bağlantı bulunmaktadır.

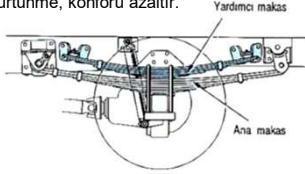
Bir tekerlek yoldaki bir tümseğe çıktığında oluşan yukarı hareket, diğer tekerleğin bir miktar eğilmesine sebep olur.



Bağımlı süspansiyonlar...

Hotchkiss (yaprak yaylarla katı kiriş) süspansiyon...

- Dingil, düşey olarak hareket edebilecek, yatay olarak katı olacak biçimde, uzunlamasına yaprak yaylara şasiye bağlanmıştır. Yaylar şasiye bir tarafta pimli diğer tarafta küpeli bağlanmıştır. Bu, yüke bağımlı olarak yay uzunluğunun değişmesine izin verir.
- Basit ve sağlam yapısı nedeniyle genellikle orta ve ağır yük altında çalışan ticari araçların arka süspansiyonlarında kullanılır.
- Hafif yüklerde ana makas çalışırken, varsa, ağır yüklerde yardımcı makas da devreye girer.
- Dingil yaprak yaylarla yerleştirilir. Helezon yaylardaki gibi olmakla birlikte, yapraklar arasındaki ilave sürtünme, konforu azaltır.



Bağımlı süspansiyonlar...

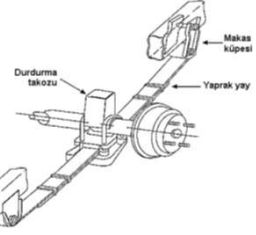
Hotchkiss (yaprak yaylarla katı kiriş) süspansiyon

■ Avantajları:

- Çok az parça ile basitlik
- Uzun ömür, düşük maliyet
- İmalat ve montaj kolaylığı
- Güçlülük
- Yüksek yük taşıma kapasitesi

■ Dezavantajları:

- Artan yaylanan ağırlık, zayıf tekerlek kontrolü
- Diğer süspansiyon tiplerine göre fazla yer kaplama



Bağımlı süspansiyonlar...

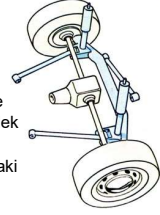
- **Dört mafsallı süspansiyon**, dingilin sağa-sola ve ileri-geri hareketini önleyen fakat aşağı-yukarı hareketine izin veren mafsallı, bağımlı, tahrikli veya tahriksiz bir ön veya arka süspansiyon sistemidir.
- Taşıt gövdesi, dolaylı biçimde destek kollarına mafsallarla monte edilen destekle taşınır.
- Sistemde, dingili yerinde tutmak üzere şasinin pivot noktalarına bağlanan, her iki tarafta önden arkaya ikişerden dört adet çubuk mafsallı kullanılır.
- Dört mafsallı süspansiyon, arka dingil için oldukça kompakt bir biçimde tasarlanır. Bu, dört tekerlektan tahrik için daha uzun yer değişimine müsaade eder.
- Bu tasarım, dingilin, belirli bir eksende caster ve pinyon açılarının etkisini azaltacak biçimde hareketine izin verir.
- Sistemde, dingili merkezde tutmak için ayrıca bir de çeki çubuğu kullanılır.



Bağımlı süspansiyonlar...

■ De Dion süspansiyon, bağlantı tüplü bağımsız arka süspansiyon sistemidir.

- Sistem, süspansiyonun ne kadar saptığına bağlı olmaksızın, doğru camber açısını korumaktadır.
- Tipik uygulamada, birbiri içinde teleskopik olarak hafifçe kayabilen iki tüp ve bunlara katı kollarla bağlanan tekerlek göbeklerinden oluşmaktadır.
- İz kontrolü, göbekleri diferansiyelle bağlayan sabit boydaki yarı millerle yapılır.
- Tork reaksiyonu taşıt çerçevesi tarafından karşılanır ve böylece taşıtın yaylanmayan kütlesi azaltılır.



U biçimli elemanlarla De Dion dingil.
Üst çerçeve, motor/transmisyon için yardımcı ikinci çerçeve.

Bağımlı süspansiyonlar...

Watts mafsallı

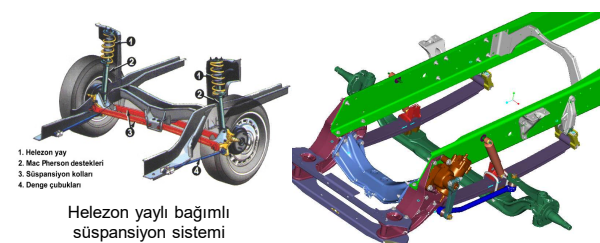
Arka süspansiyonun bir parçasıdır. Tasarımın avantajı, süspansiyonun çalışması süresince dingili taşıt gövdesinin ortasında tutmak için kullanılır. Bir watts mafsallı bir pivot noktasından arka dingile tutturulurken, kolları taşıt gövdesine civatalanır.

Taşıt gövdesi yukarı-aşağı hareket ederken, pivot noktası da bir çizgi boyunca yukarı-aşağı hareket eder. pivot noktası da bir çizgi boyunca hareket ettiğinden, dingili taşıtın tam altında tutar.



Bağımlı süspansiyonlar...

Helezon veya paralel yaprak yaylarla katı kiriş, tahriksiz dingil



Bağımlı süspansiyonlar...

▪ Burulma kirişi (torsion beam, twist beam) bağımlı tahriksiz

Basit bir yapısı vardır ve konforlu bir sürüş sağlar.

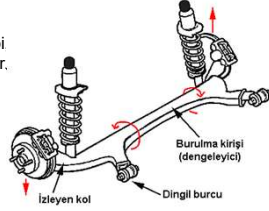
İzleyen kollu süspansiyonda olduğu gibi yaylar sadece dikey kuvvetleri destekler. Hafif taşıtların arka süspansiyonunda kullanılır.

Taşıtın bir tekerleği yolda küçük bir engebe ile karşılaşır, süspansiyon sadece o tarafta bağımsız süspansiyon gibi çalışır. Bu özelliğiyle sisteme yarı bağımsız süspansiyon da denebilir.

Engebe büyükçe olduğunda, diğer taraftaki tekerlek de etkilenerek bağımlı süspansiyon gibi davranır. Çapraz dingil tekerleklerin önünde olduğundan, burulma çubuklarına belirli bir iş uygular.

Bu sayede, yukarıda belirtilen görevini sürdürürken, aynı zamanda devrilme önleyici çubuk gibi de davranır.

Bazı taşıtlarda ilave bir devrilme önleyici çubuk da kullanılır.

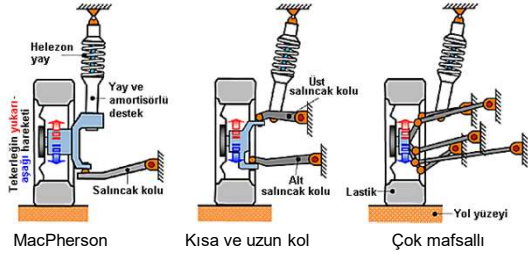


Bağımsız süspansiyonlar

- Bağımsız süspansiyonda rijit dingil kaldırılır ve sistem bir tekerleğin diğer tekerlekten bağımsız olarak yukarı aşağı hareketine müsaade eder.
- Herbir tekerlek, kollar, çubuklar, yay ve amortisör aracılığıyla şasiye veya taşıtın rijit bir yerine bağlanır.
- Bu sistemlerde, deformasyonlar esnasında tekerleklerden birinin düşey hareketi diğerine etki etmez.
- Bağımsız ön süspansiyonda, küresel mafsalların kullanımıyla her tekerlek için ayrı salınım merkezleri oluşturulur. Çalışması sırasında, küresel mafsallar, yol yüzeyinin etkisine bağlı olarak tekerlek ve ona bağlı elemanların salınım hareketleri yapabilmelerine, yukarıya aşağıya hareket edebilmelerine, sağa ve sola dönmelerine imkan verir.
- Modern taşıtlarda kullanımı en yaygın olan süspansiyon tipidir.

Bağımsız süspansiyonlar...

Çeşitli bağımsız süspansiyon tipleri



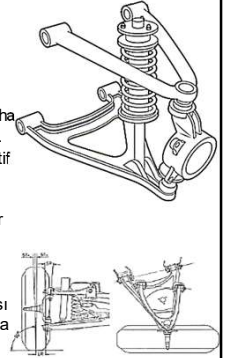
Bağımsız süspansiyonlar...

▪ **Kısa ve uzun kol** (çift lades kemiği - SLA) süspansiyonda, tekerlek konumlarını kontrol etmek için farklı boylarda iki salıncak kolu kullanılır.

▪ Ön dingil, MacPherson destekli dingile benzetmekle birlikte, motor kompartımanında daha az yer gerektirir ve montaj yüksekliği daha azdır.

▪ Çift lades kemiği biçimli ön dingil, küçük bir pozitif yönlendirme kaçıklığına imkan vermektedir. Yönlendirme kaçıklığı, yönlendirme eksenine ile lastiğin yere temas noktası arasındaki mesafedir ve direksiyon kararlılığı açısından bu mesafenin sıfır veya biraz negatif değerleri tercih edilmektedir.

▪ Salıncak kollarının uygun uzunluklarda yapılması sonucu, iz değişimi ve camber değişimleri en aza indirilebilmektedir.



Bağımsız süspansiyonlar...

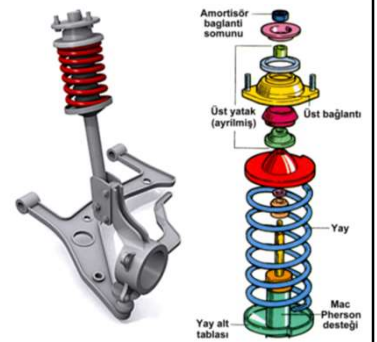
▪ **Kısa ve uzun kol** (çift lades kemiği - SLA)...

- Hemen hemen tüm yarış otomobili ön süspansiyonlarında kullanılır.
- Birçok binek taşıtları ve kamyonetlerde de kullanılmaktadır: Lincoln LS, Ford F150, Honda Accord, Cadillac CTS.
- - MacPherson desteğe göre daha fazla eleman
- - Elemanlar MacPhersona göre daha karmaşık (mafsallar)
- + tekerlek geometrisinin kontrolü iyi (caster, camber, toe)
- + yapısal ve elastomerik uyumların iyi kontrolü
- + iyi yük taşıma kapasitesi; MacPherson'daki bükmeye kuvvetine karşı, elemanların çoğu çekme/basma kuvvetleriyle yüklenir.



Bağımsız süspansiyonlar...

- **MacPherson destek ön süspansiyon**, bir amortisör, helikon yay ve bir de üst sönümlenme elemanından oluşmaktadır.
- MacPherson destek, üst salıncak kolunun yerini alır.
- Ön tekerlek grubunu taşıta birleştirmek için sadece MacPherson destek ve alt kontrol kolu gereklidir.
- Yüksek dayanımlı hafif malzemelerin kullanımı, yaylanmayan kütleli azaltarak performans ve sürüş konforunu artırır.

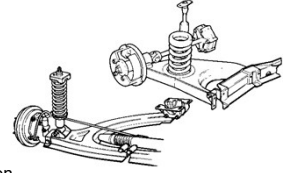


Bağımsız süspansiyonlar...

- **MacPherson destek...**
 - Küçük ve ucuz otomobillerde yaygın olarak kullanılır.
 - Spor otomobillerde (Porsche Boxster), orta boy sedanlarda (Jaguar X-Type, Toyota Camry) ve otomobil-tabanlı SUV larda (BMW X5) da kullanılmaktadır.
 - + Çift lades kemiğine oranla daha az eleman
 - + Basit tasarımlı elemanlar
 - - Camber eğrisi lades kemiğinkine kadar esnek değil
 - - Destekteki sürtünme sorun oluşturabilir.

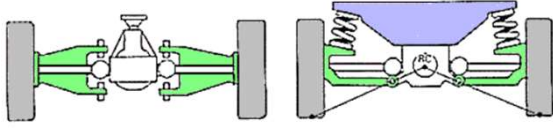
Bağımsız süspansiyonlar...

- **İzleyen kol bağımsız süspansiyon**
 - Arka tekerlekler bağımsız yapılarak, taşıt dört tekerlekten bağımsız süspansiyonlu hale getirilebilir.
 - Ön süspansiyonda kullanıldığında, iz genişliği ve caster açısındaki çok az değişimle sabit iz genişliğini korur.
 - Tekerlek göbeği (porya) milini taşıyan ve salıncak (veya pivot) çatalı olarak bilinen salınan kolun üstüne bir helezon yay ve amortisör bağlanmıştır.
 - Tekerlek yukarıya-aşağıya hareket ettikçe, yayı kurar ve açar.
 - Bazı tasarımlarda helezon yay yerine bir burulma çubuğu kullanılır.
 - Küçük ve ucuz otomobillerde yaygın olarak kullanılır.



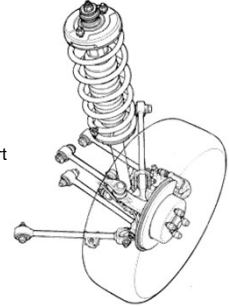
Bağımsız süspansiyonlar...

- **Salınan kol (swing arm) süspansiyon**
 - Salınan kol, izleyen kolun bir alternatifidir.
 - Tekerlek yukarıya-aşağıya hareket ettikçe, yayı kurar ve açar. Bazı tasarımlarda helezon yay yerine bir burulma çubuğu kullanılır.
 - Çoğu modern motosiklet ve ATV'nin arka süspansiyonunun ana bileşenidir.



Bağımsız süspansiyonlar...

- **Çok mafsallı** (beş bağımsız mafsal)
 - Katı üst ve alt lades kemiğinin katı kolları yerine ayrılmış kollar dışında temel prensip aynıdır.
 - Mafsallar, lades kemiği biçimi oluşturmak üzere kısa aksın alt ve üstüne bağlanmıştır.
 - Kısa aks yönlendirme için döndüğünde, dört mafsala tork uygulayarak süspansiyonun geometrisini değiştirir.



Bağımsız süspansiyonlar...

- **Çok mafsallı** (beş bağımsız mafsal)..
 - En sofistike ve dönüş esnekliği mafsal ve kol kombinasyonlarıyla ya da sadece beş bağımsız mafsalla sağlanmaktadır.
 - Yaygın bir düzenleme, yandan yana tekerlek konumu için üç yanal mafsal, ön-arka kısıtlama için bir uzunlamasına mafsal ve hassas yönlendirme ayarı için bir toe kontrol mafsalı biçimindedir.
 - Çok mafsal yaklaşımı, uygun düşey ve uzunlamasına esneklikle, yüksek yanal kararlılık ve istenen toe değişikliği sağlar.
 - Çok mafsal aynı zamanda frenleme ve hızlanma sırasındaki dalma çıkmalara daha iyi direnme sağlamak amacıyla tasarlanır.



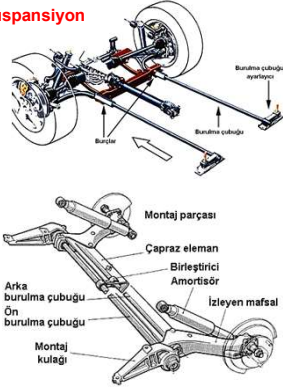
Bağımsız süspansiyonlar...

- **Çok mafsallı** (beş bağımsız mafsal)
 - Orta büyük sedanlarda ve SUV'larda kullanılır: Lincoln LS, Ford Contour, Cadillac CTS, BMW 5-serisi.
 - Eleman basitliği ve performans avantajları nedeniyle giderek popülerleşmektedir.
 - + Basit elemanlar, çoğunlukla iki kuvvet elemanı
 - + Çift lades kemiğindeki gibi iyi tekerlek pozisyon kontrolü
 - + Şikayetler yarı yarıya azalıyor (uzunlamasına ve yanal).
 - - Diğer süspansiyon tiplerinden daha çok eleman
 - - Eleman sayısına bağlı olarak montaj toleransları diğer süspansiyonlardan daha fazla

Bağımsız süspansiyonlar...

Burulma çubuğu (torsion bar) ön süspansiyon

- Burulma çubuğu süspansiyon (ya da burulma yayı süspansiyon), ana taşıyıcı yay olarak burulma çubuğu kullanan süspansiyondur ve **burulma kirişli arka süspansiyonla** karıştırılmamalıdır.
- Burulma çubuğu sisteme uzunlamasına veya enine monte edilir. Bir ucu taşıt gövdesine, diğer ucu süspansiyon alt mafsalına bağlanır.
- Çubuk, taşıt bir engelden geçerken burulur, sonra orijinal konumuna dönerek taşıtı normal sürüş yüksekliğine getirir.
- Sistemin en kullanışlı özelliklerinden biri, ayarlanabilir oluşudur.



Diğer süspansiyon sistemleri...

Boji süspansiyon

Bojiler, yol veya arazide giden, üzerlerine bindirilen konteyner römork veya taşıt gövdelerini taşıyan dört tekerlekli küçük, üstü düz arabacıklardır. Boji süspansiyonda esas olarak yaprak yaylar kullanılır. Bu süspansiyon, iki dingilin tork çubuklarıyla bağlanmasıyla elde edilen tek bir ünedir.

Esas olarak demiryolu vagonlarının altında kullanılırlar. Taşıtın altındaki bir mille taşıta bağlanırlar.

Bu tip süspansiyon, taşıtın çok daha ağır yükleri özellikle bozuk yollarda, bir tek dingile oranla çekiş yeteneğini kaybetmeden taşımasını sağlar.

Yoldaki bir bozukluktan dolayı bojinin bir tekerleği yukarıya veya aşağıya hareket ederse, yay mafsal mili üzerinde döner ve her iki ucu esneyerek yol darbesini absorbe eder.



Süspansiyon elemanları

- Mafsallar
- Salıncak kolları (kontrol kolları)
- Alt çerçeve
- Stabilizör sistemi (denge çubuğu)
- Yaylar, amortisörler ve destekleri
- Yataklar ve frenleme elemanları
- Burçlar ve küresel mafsallar

Süspansiyon elemanları...

- Mafsallar:** Dönen elemanları süspansiyon elemanlarına tutturmak, yükü yoldan gövdeye dağıtmak amacıyla kullanılırlar.
- Düsey, yan ve uzunlamasına yükler mafsallar tarafından taşınır.
- Mafsallar, "tekerlek taşıyıcı", "porya taşıyıcı", "mil" veya "dikme" olarak da bilinir.



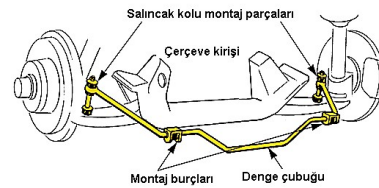
Süspansiyon elemanları...

- Salıncak kolları (kontrol kolları):** Ön aksı şasiye tutturmak, tekerlek yüklerine tepki vermek, ve doğru süspansiyon geometrisi için ön aksa kılavuzluk etmek amacıyla kullanılır.
- ör. Camber, Caster, Toe, SAI (Steering Axis Inclination), vb.
- Alt kontrol kolu tekerlekten gelen yan ve uzunlamasına yüklerin çoğunu taşır.



Süspansiyon elemanları...

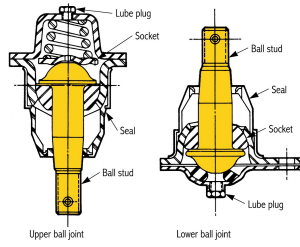
- Denge çubuğu:** Devrilme önleyici (stabilizör) çubuk, mafsal ve burçlarla alt salıncak kollarını gövdeye bağlar ve dönüşlerde taşıtın yana devrilme riskini azaltır.
- Aynı zamanda, istenen düzeyde devrilme yetersiz yönlendirmesi üretmek amacıyla da kullanılır.
- Denge çubuğu alt bağlantı burçlarında düşey yüklemeye vardır.



Süspansiyon elemanları...

Burçlar ve küresel mafsallar

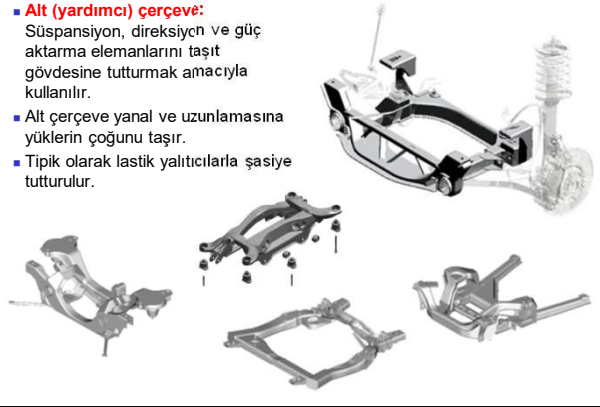
- Burçların fonksiyonu, yol sıçratmalarını ve yüksek frekanslı titreşimlerini absorbe etmek; aynı zamanda güvenli kullanım için süspansiyon elemanlarına hassas konumlandırma sağlamaktır.
- Küresel mafsalların fonksiyonu direksiyon mekanizmasının bir kısmı olarak veya yüksek hassasiyette kullanım gerektiğinde (spor otolar), yüksek katılıkla mafsalsal hareketine müsaade etmektedir.



Süspansiyon elemanları...

Alt (yardımcı) çerçeve:

- Süspansiyon, direksiyon ve güç aktarma elemanlarını taşıyıcı gövdesine tutturmak amacıyla kullanılır.
- Alt çerçeve yan ve uzunlamasına yüklerin çoğunu taşır.
- Tipik olarak lastik yalıtıcılarla şasiye tutturulur.

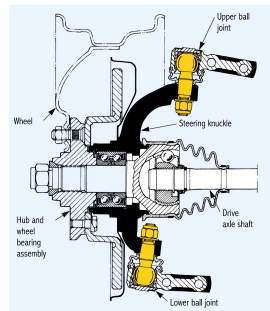


Süspansiyon elemanları...

Burç



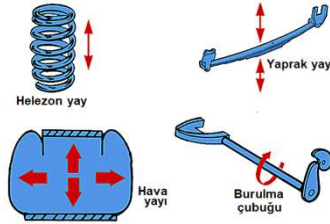
Küresel mafsalsal



Süspansiyon elemanları...

Yaylar, amortisörler ve destekleri

- Yayın fonksiyonu taşıyıcı ağırlığını desteklemektir.
- Amortisörün fonksiyonu (damper) yoldan iletilen enerjiyi absorbe ederek yaylanan kütle titreşimlerini azaltmaktır.
- Destekçinin fonksiyonu yan ve düşey yükleri taşımaktır.



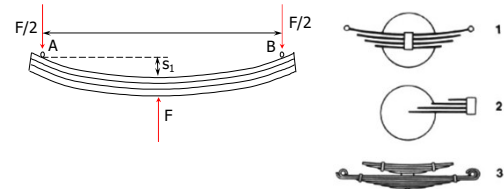
Süspansiyon elemanları...

Süspansiyon yayları

- Süspansiyonun en önemli elemanları yaylardır ve genel olarak iki tipte yay kullanılır.
- Eğilme yayları:** katlar halinde yaprak yaylar, eğilmeye eşit dayanım gösterecek şekilde düzenlenmiş farklı uzunluktaki yapraklar
- Burulma yayları:** Helisel yaylar ve burulma çubukları
- Hava yayları:** Özel sentetik lastikten yapılmış ve hava ile doldurulmuş silindirik biçimli elemandır. Lastik silindirdeki havanın basıncı, elemana yay etkisi sağlar.

Yaprak yaylar

- Yaprak yay,** A ve B desteklerine oturan ve ortadan F yükü ile yüklenmiş bir ters kirişe benzetilebilir.



Yaprak yaylar...

- Sehim:** F yükü altındaki yayın uç noktalarının yer değiştirme miktarına veya burulma çubuklarında, çubuğa bağlı bulunan levyenin ucundaki hareket miktarına "sehim" denir. İncelenecek olan yaylarda sehim F yükü ile orantılıdır.

$$s = e \cdot F \quad s: \text{sehim}$$

$$e = \frac{s}{F} \quad e: \text{esneklik (esnekliğin tersi "rijitlik")}$$

$$F: \text{yük}$$

Yaprak yaylar...

Statik sehim:

$$s_0 = e \cdot F_0$$

F_0 : statik yük, taşıt ağırlığının bir yaya gelen kısmı

Tekerlekler bir engeli aşarken yaylar bir miktar daha esner ve bunların toplam sehim s_1 olur.

Bu sırada her bir yayın topladığı enerji:

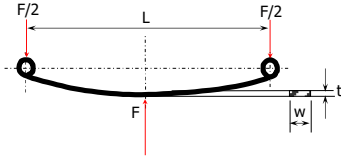
$$W = \int F ds = \int \frac{s ds}{e} = \frac{1}{e} \int s ds = \frac{s_1^2 - s_0^2}{2e}$$

Yayın yeni gerilmesi

$$F_1 = \frac{s_1}{e}$$

$$F = F_1 - F_0 \text{ (şasiye iletilen ilave yük)}$$

Tek yaprak



Simetrik yüklenen tek yaprak yay için, eğilme denklemleri yardımıyla maksimum eğilme momenti

$$M_b = \frac{LF}{8}$$

F : yay yükü

L : küpeler arasındaki mesafe (yay uzunluğu)

w : yaprakların genişliği

n : yaprak sayısı

t : yaprak kalınlığı

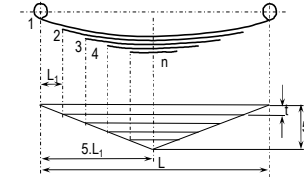
I_y : yaprakların düzlemsel atalet momentleri

E : elastisite modülü (çelik için 240000 N/mm²)

$$s = \frac{FL^3}{4Ewt^3} = \frac{FL^3}{77EI_y}$$

Eşit kalınlık ve muhtelif boyda yapraklar

1, 2, 3, ..., n deki katlarda tehlikeli kesitler mevcuttur. Bunlara ait eğilme momenti ve gerilme değerleri sırasıyla



$$M_{b1} = \frac{F}{2} L_1 \dots M_{bn} = \frac{F}{2} (L_1 + \dots + L_n)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{3FL_1}{wt^2} \dots \sigma_{bn} = \frac{3F(L_1 + \dots + L_n)}{nwt^2}$$

Yaprakların uçları arasındaki mesafeler

$$L_1 = L_2 = \dots = L_n$$

ise,

$$\sigma_{b1} = \sigma_{b2} = \dots = \sigma_{bn}$$

olur.

$$L = 2(L_1 + L_2 + \dots + L_n)$$

olduğuna göre her bir kattaki birleşik gerilme

$$\sigma_{bc} = \frac{3FL}{2nwt^2}$$

Eşit kalınlık ve muhtelif boyda yapraklar...

Eşit kalınlıkta yapraklar kullanıldığında, yaprakların uçları arasındaki mesafeler

$$l = \frac{L}{2n}$$

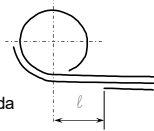
Kesmeye ve tahmini zor olan yan tesirlere dayanımı artırmak için ikinci yaprak mesnede kadar uzatılır ve katların hesabında bu yaprak düşünülmez. Bu durumda yaprakların uçları arasındaki mesafe

$$l = \frac{L}{2(n-1)}$$

Ana yaprak ve varsa takviye yaprağı, değeri F/2 olan kesme kuvvetinin etkisindedir. Kesme gerilmesi

$$\tau_{s1} = \frac{F}{2A}$$

A : kesit alanı, (ana kat için A = w.t, takviye kati için A = 2.w.t)



Eşit kalınlık ve muhtelif boyda yapraklar...

Yaprakların hepsinin boyu aynı ve L olsaydı sehim

$$s = \frac{FL^3}{48EIn} = \frac{FL^3}{4Enwt^3}$$

Yaprak boyları farklı olan yaylarda bu ifade bir k katsayısı ile çarpılarak yeterli yaklaşım sağlanır.

$$s = k \frac{FL^3}{4Enwt^3}$$

Sağlanacak esneklik bilindiğine göre yayın hesabı w, t ve n'in belirlenmesinden ibarettir. Buna göre uygulamada bulunan yaylarla karşılaştırma yapılarak boyutlardan biri örneğin w genişliği seçilebilir.

Takviye yaprağı sayısı	Toplam yaprak sayısı	k
0	herhangi	1,5
1	6 dan az 6 - 9 9 dan çok	1,35 1,4 1,45
2	8 dan az 8 - 11 11 den çok	1,3 1,35 1,4

Eşit kalınlık ve muhtelif boyda yapraklar...

Yaprak kalınlığı

$$w = \frac{kL^2\sigma}{6Es}$$

Yaprak sayısı

$$n = \frac{3FL}{2wt^2\sigma}$$

Statik yük altındaki gerilmenin hesabı için (kullanılan madenin kalitesine göre) 400...600 N/mm² lik bir güvenlik gerilmesi kabul edilebilir.

Yayın darbeler altındaki mümkün olan maksimum gerilmesinin elastiklik sınırını (900...1000 N/mm²) aşım aşmadığı kontrol edilmelidir.

Maksimum gerilme yay oturduğu (şasiye çarptığı) zaman meydana gelir ve bu da yayda müsaade edilebilecek sehimin tespitini sağlar.

Yaprak boyutları

Yaprakların genişliği minimum 50 mm den maksimum 140 mm ye kadardır. Genişlikler, 80 mm ye kadar 5 mm, 80 mm den sonra 10 mm aralıklarla düzenlenmiştir. Yaprakların kalınlığı, 6 ve 22 mm arasındaki bir tam sayı ile gösterilmektedir. Kalınlık için, genişliğin 1/5 ini aşmaması önerilmektedir.

Genişlik mm	Kalınlık mm					
40	6	8	10			
50	6	8	10			
60	6	8	10	12		
70		8	10	12	14	
80		8	10	12	14	16
100		8	10	12	14	16
120		8	10	12	14	16
140		8	10	12	14	16

ÖRNEK

Bir taşıtın ön yaprak yayı için aşağıdaki değerler verilmiştir:
F= 4000 N/mm² esneklik e= %1,2 mm/N L= 900 mm
Gerilme σ_{bmax} = 450 N/mm² yaprak boy katsayısı k= 1,4
E= 240000 N/mm²
Yaprak sayısı ve boyutlarını belirleyiniz.

ÇÖZÜM

Sehim

$$s = e \times F = 0,012 \times 4000 = 48 \text{ mm}$$

Yaprak genişliği

$$w = \frac{kL^2\sigma}{6Es} = \frac{1,4 \cdot 900^2 \cdot 450}{6 \cdot 240000 \cdot 48} = 7,4 \text{ mm}$$

Yaprak sayısı

$$n = \frac{3FL}{2wt^2\sigma} = \frac{3 \cdot 4000 \cdot 900}{2 \cdot 50 \cdot 4,4^2 \cdot 450} = 4,8$$

Helisel (helezon) yaylar

Yayın esneme miktarı (sehim)

$$s = \frac{8FD_m^3n}{Gd^4}$$

Burulma gerilmesi

$$\tau_t = \frac{8FD_m}{\pi d^3}$$

Tel çapı

$$d = \sqrt[3]{\frac{8FD_m}{\pi\tau}}$$

Sarım sayısı

$$n = \frac{sGd^4}{8FD_m^3}$$

Yük altında uzunluk

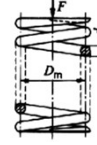
$$L_1 = n \cdot d + n \cdot b$$

Serbest uzunluk

$$L = L_1 + F \cdot e = L_1 + s$$

Maksimum yük altındaki sehim

$$s = \frac{F}{2}e$$



F : yay yükü, N

D_m : ortalama sarım çapı, mm

n : sarım sayısı

G : kesme modülü

(sıcak şekillendirilmiş yaylarda ≈ 78500 N/mm²)

soğuk şekillendirilmiş yaylarda ≈ 81400 N/mm²)

d : tel çapı, mm

b : sarımlar arası boşluk, mm

e : esneklik, mm/N

ÖRNEK

Bir taşıtın aşağıdaki karakteristiklere sahip yaylarını kontrol ediniz.
Kangal çapı= 134 mm tel çapı= 13 mm sarım sayısı= 9
F= 2900 N'luk yük altındaki yükseklik 265 mm
dingildeki maksimum yük= 7350 N G= 80000 N/mm²

ÇÖZÜM

Esneklik

$$e = \frac{s}{F} = \frac{8D_m^3n}{Gd^4} = \frac{8 \cdot 134^3 \cdot 9}{80000 \cdot 13^4} = 0,056 \text{ mm/N}$$

serbest durumdaki yükseklik

$$L = L_1 + F \cdot e = 265 + 2900 \cdot 0,056 = 427,4 \text{ mm}$$

ÇÖZÜM...

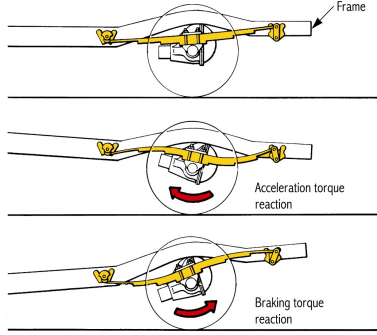
Maksimum yük altındaki sehim

$$s = \frac{F}{2}e = \frac{7350}{2} \cdot 0,056 = 205,8 \text{ mm}$$

Maksimum yük altındaki gerilme

$$\tau_t = \frac{8FD_m}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 7350 \cdot 121}{\pi \cdot 13^3} = 1030,82 \text{ N/mm}^2$$

Yaprak yay sarılma etkisi



Burulma çubukları

Burulma çubukları, adından da anlaşılacağı gibi burulmaya çalışan çubuk yaylardır.

Açısal esneklik

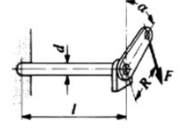
$$\sin \alpha = \frac{e}{r}$$

Çubuğun çapı

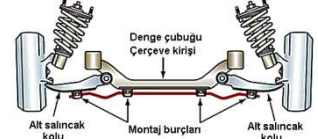
$$d = \sqrt[3]{\frac{16Fr}{\pi\tau_t}}$$

Çubuğun uzunluğu

$$l = \frac{Gd^4\alpha_d}{576Fr}$$



Denge çubuğu, mafsallarla alt salıncak kollarına bağlanır.



ÖRNEK

3000 N yükü taşıyan ve % 4 esneklik veren bir burulma çubuğunun boyutlarını hesaplayınız. Kabul edilen gerilme = 450 N/mm², levye kolun uzunluğu r = 400 mm dir.

ÇÖZÜM

Açısal esneklik

$$\sin \alpha = \frac{e}{r} = \frac{0,04}{400} = 0,0001 \quad \alpha = 0,00573^\circ / N$$

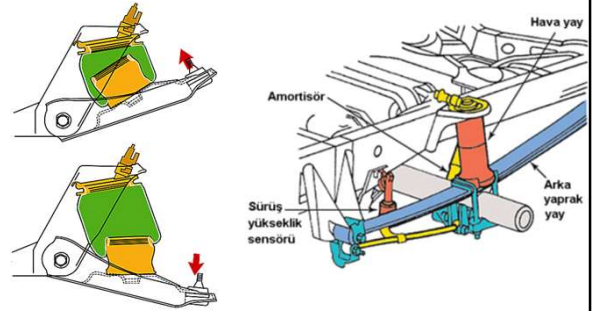
3000 N için burulma açısı

$$\alpha_d = 0,00573 \cdot 3000 = 17,19^\circ$$

Çubuğun çapı $d = \sqrt[3]{\frac{16Fr}{\pi\tau_t}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3000 \cdot 400}{\pi \cdot 450}} = 23,78 \approx 24 \text{ mm}$

Çubuğun uzunluğu $l = \frac{Gd^4\alpha_d}{576Fr} = \frac{8000 \cdot 24^4 \cdot 17,19}{576 \cdot 3000 \cdot 400} = 660 \text{ mm}$

Hava yaylar



Bir süspansiyonun özellikleri

- Yol çıkıntılı ile tekerlekler arasındaki darbelerle ortaya çıkan enerji mümkün olduğu kadar az olmalıdır.
- Bu enerjinin bir kısmı amortisörler ve yaylar tarafından alınmaktadır.
- Geriye kalan enerjinin asılmış bulunan kısımlara ancak yolcular tarafından kolayca tahammül edebilecek bir frekansta iletilmesi gerekir.

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler

- Hassasiyet** Yaprak yaylar, yaprakların birbiri üzerinde kaymasından doğan bir sürtünme kuvveti üretir. 0,05 ... 0,1 F düzeyindeki bu kuvvet, yay titreşimini çabuk söndürmek için istenmekle beraber, hassasiyeti azaltması nedeniyle sakıncalıdır.
- Yay yolun küçük çıkıntılarında eğilmez ve darbeler şasiye sanki yay yokmuş gibi iletilir.
- Yay yaprakları yağlanarak veya yapraklar arasına plastik dolgu yerleştirilerek sürtünmeler azaltılır ya da sürtünmesiz burulma yayları kullanılır. Burulma yayları ayrıca eğilme yaylarından yaklaşık 1/2 oranında daha hafiftir.

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler...

- **Esneklik:** Mümkün olduğu kadar fazla esneklik yararlıdır. Esneklik arttıkça şasiye iletilen etki azalır. Teorik olarak esneklik sonsuz olduğunda (astatik süspansiyon) bu etki sıfır olur.

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler...

- **Salınım periyodu:** Yüklü bir yay ani olarak sıkıştırıldığı veya açıldığı zaman denge konumuna dönmeye önce salınımlar yapar.
- **Periyot,** bir tam salınım için geçen süredir.

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega}$$

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler...

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{F_0 e}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{s_0}{g}}$$

F_0 : statik kuvvet, N
 s_0 : statik sehim, m
 g : yerçekimi ivmesi, m/s²

İnsan vücudunun kolay tahammül ettiği frekanslar dakikada 65 ... 80 salınım olduğuna göre;

$$t = 0,75 - 0,9 \text{ saniye}$$

bulunur.

Yayların statik sehim

$$s_0 = \left(\frac{\tau}{2}\right)^2$$

0,12 m ... 0,20 m düzeyinde olmalıdır.

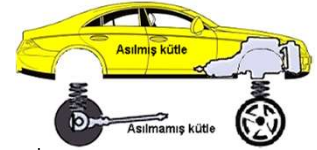
Bir süspansiyon yayının esnekliği taşıyacağı yüke uydurulmalıdır.

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler...

- **Asılmış, asılmamış kütle oranı:** Eğilen bir yay şasiye bir yük nakleder ve bu etkiyle şasi yükselir. Bu olay, bir topun merminin atılması esnasında geri tepme hareketine benzetilebilir. Asılmamış organların (tekerlekler, dingiller, yaylar) kütlesi m , asılmış organların (şasi, karoseri) kütlesi m' , bir darbe sonucunda tekerlek ve şasinin düşey hızları da sırasıyla V ve V' ise, hareket miktarı teoreminden;

$$mV = m'V' \text{ veya } \frac{m}{m'} = \frac{V'}{V}$$

$$\frac{m}{m'}$$



oranı küçüldükçe şasiye iletilen V' hızı azalır.

Süspansiyonun kalitesine etki eden faktörler...

- Yaylanmayan kütle, taşıtın toplam kütlesinin önemli bir bölümünü temsil eder.
- Bugünkü standard otomobillerde yaylanmayan kütle, yüksüz taşıtın toplam kütlesinin % 13 - % 15'i kadardır.
- Örneğin 1400 kg'lık bir otomobilin yaylanmayan kütlesi 200 kg kadardır.
- Otoyoldaki yüksek hızlarda, yol düzensizliklerine karşı 200 kg'lık bu kütlelerin reaksiyonu da dikkate değer düşey ivme kuvvetleri oluşturur ve taşıtın kullanımına olumsuz etki yapar.

Sonuç olarak, bir taşıtın süspansiyonu;

* Asılmamış kütle ne kadar küçük ise o kadar iyidir.

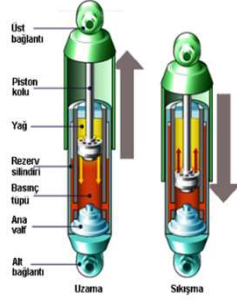
* Asılmış kütle ne kadar büyük ise o kadar iyidir.

Süspansiyon sistemlerinin sınıflandırılması

- Pasif (geleneksel)
- Yarı aktif
 - Orifis esaslı sönümleyici
 - MR (Magnetoreolojik) akışkan esaslı sönümleyici
- Aktif
 - Yavaş aktif
 - Orta aktif
 - Tam aktif

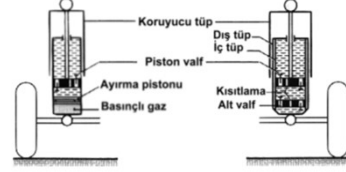
Pasif süspansiyon

- Şekil değiştirmiş bir yay birkaç salınımdan sonra denge konumuna döner. Denge konuma dönmeden önce yeni darbeler söz konusu olursa her iki salınım birleşir ve genlikler tehlikeli değerler alabilir.
- Amortisörlerin görevi, yayın salınım hareketlerini frenlemek suretiyle çabucak söndürmektir.
- Darbe ne kadar şiddetli ise söndürmenin de o kadar kuvvetli olması gerekir.
- Pasif söndürme sisteminin söndürme düzeyi piston tepesindeki toplam orifis alanıyla (delik sayısı) belirlenir.



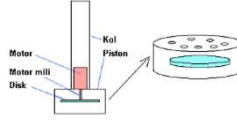
Amortisörler

- Söndürmede çoğunlukla bir sıvının (yağın) bir yerden diğerine küçük deliklerden geçmesi suretiyle söndürme sağlayan hidrolik amortisörler kullanılır.
- Bu elemanlar genellikle yayın sıkışmasını az etkilerken, açılmasını geciktirirler.
- Amortisörler, süspansiyon yaylarına paralel olarak kullanılır.



Orifis esaslı yarı aktif süspansiyon

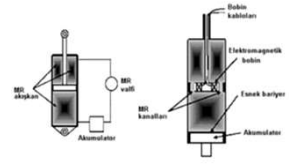
- Söndürme sisteminin basıncı, oransal valf sıfır amper ile tanımlanan akım arasında değiştirilen elektrik akımıyla açılıp kapatılarak kontrol edilir.
- Bu durum, basıncın ve dolayısıyla söndürme karakteristiklerinin sürekli uyumlu hale getirilmesi ile tam kapalı ve tam açık duruma tanımlanan sertten yumuşak aralığa kadar ayarlanmasını sağlar.



MR akışkan esaslı yarı aktif süspansiyon

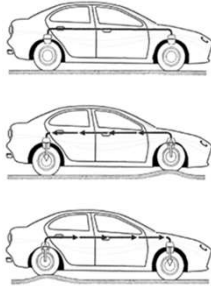
MR akışkan

- Magnetoreolojik akışkan yağ ve değişen oranlarda pıhtılaşma önleyici malzemeye kaplanmış demir partiküllerinden (20-50 mikron çaplarında) oluşmaktadır.
- Değişen magnetik alan kuvveti, magnetoreolojik akışkanın viskozitesini değiştirme etkisi yapar.



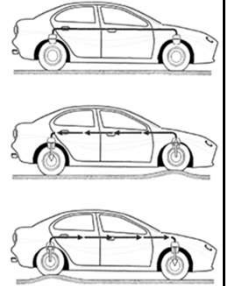
Aktif süspansiyon sistemi

- Sürüş karakteristiklerini kontrol etmek için geleneksel yaylar ve amortisörün yerine bilgisayar-kontrollü hidrolik ram pompa aktüatörleri kullanılır.
- Hidrolik ram pompalar taşıtın ağırlığını taşıyarak ve yol yüzeyine reaksiyon gösterir. Her bir ram pompadaki basınç sensörleri sistemi kontrol için veri sağlar. Sensörler süspansiyon sistemi hareketine tepki verir ve bilgisayara sinyal gönderir.



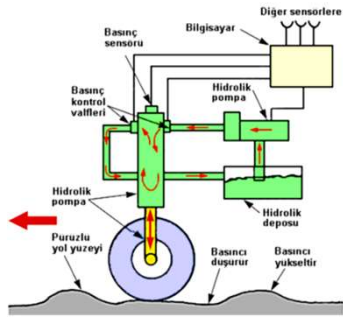
Aktif süspansiyon sistemi...

- Bilgisayar, yol yüzeyine uyum sağlamak üzere ram pompaları uzatır veya kısaltır. Her bir ram pompaya basınç kontrol valfleri yerleştirilmiştir. Bilgisayar bu valfleri açıp kapayarak, her dönemde ram pompaların basıncını ve dolayısıyla taşıtın yüksekliğini ayarlar.
- Taşıt küçük çukur ve tümseklerden geçerken, bilgisayar teorik olarak çoğu gövde hareketlerini elimine eder. Ram pompaların çalışması için gerekli olan basınçlı hidroliğin devredeki bir hidrolik pompa sağlar.



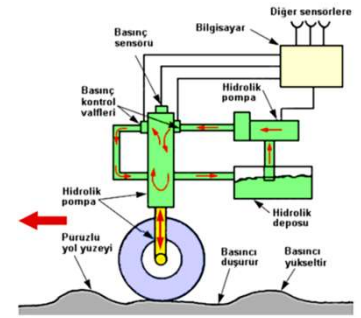
Aktif süspansiyonun avantajları

- Geleneksel sistemlere oranla daha iyi sürüş konfor ve güvenliğine sahiptir.
- Hızlanma ve frenleme sırasındaki öne yığılma ve arkaya yaslanma sorunları giderilmiştir.
- Taşıt salınımlarını giderir, dönüşlerde dış tekerleğin iç tekerleğe oranla daha fazla yatmasını engeller.
- Kötü yol şartlarında taşıtın zeminden yükseltilmesine olanak sağlar.



Aktif süspansiyonun avantajları...

- Rüzgârlı ve kötü yol koşullarında daha iyi kullanım ve kontrol sağlar.
- Lastiklerin ve süspansiyon sistemi elemanlarının aşınımlarını azaltır.
- Dingilin dönme eğilimini azaltır.
- **Maliyeti yüksek ve oldukça karmaşık yapıya sahiptir.**
- **Taşıt ağırlığını artırması ve motordan güç çekmesi nedeniyle bir miktar performans kaybına sebep olur.**



Süspansiyon yükseklik ayarlama sistemleri

- Taşıt ağırlığının değişmesi durumunda da aynı taşıt davranışını (gövde yüksekliği) sürdürmek için kullanılır.
- Sistem, manuel veya otomatik olarak devreye sokulur.

