

SÜRÜŞ KARAKTERİSTİKLERİ



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Sürüş kalitesi ve konforu

Sürüş kalitesi, taşıttaki sürücü ve yolcuların duyu ve hisleri ile ilgili bir terimdir.

Sürüş konforu, yüzey düzgünlükleri, aerodinamik kuvvetler, motor ve transmisyon titreşimleri tarafından üretilen taşıt titreşimleriyle ilgili bir ifadedir.

Uzun süreli taşıt titreşimleri sürücü ve yolcuları rahatsız etmekte, baş dönmesi, araba tutması gibi etkiler yaparak, sürüş veriminin azalmasına neden olmaktadır.

Titreşimler taşıyan yükü ve taşıtın kendisini de etkilemektedir.

Bu sebeplerle, düzgün sürüş ve konforun sağlanması, taşıt tasarımındaki ana hedeflerden birisidir.

Titreşimler çoğunlukla, yoldaki düzgünlüklerden kaynaklanmaktadır.

- ✓ 3 ... 5 mm yükseklik ve 8 ... 10 mm uzunluğundaki düzgünlükler "**küçük pürüz**",
- ✓ 10 ... 12 mm yükseklik ve 5 ... 8 mm uzunluğundaki düzgünlükler "**dalga**" olarak adlandırılmaktadır.

Titreşim karakteristikleri

Titreşim karakteristiklerini belirtmek üzere kullanılan bazı parametreler:

Titreşim periyodu (T) : Gövdenin bir tam salınımı için geçen süre, s

Titreşim frekansı (f) : Birim zamandaki titreşim (çevrim) sayısı, 1/s
 $f = 1/T$

Titreşim genliği (Z) : Gövdenin denge durumundan en fazla uzaklaşma miktarı, m

Titreşim ivmesi (a) : Hareketin zamana göre ikinci türevi, m/s²

Sıçrama (j) : (Titreşim ivmesinin artış oranı), Hareketin zamana göre üçüncü veya titreşim ivmesinin birinci türevi, m/s³

Titreşim karakteristikleri...

Genel olarak taşıt titreşimlerinden;

5 ... 13 Hz arasındaki titreşimler "yüksek frekanslı titreşim"

0,8 ... 2 Hz arasındakiler de "düşük frekanslı titreşim" olarak tanımlanmaktadır.

Çoğunlukla, yaysız kütleler yüksek frekanslı, yaylılar ise düşük frekanslı titreşimler yapmaktadır.

Yüksek ve düşük frekanslı titreşimlerin her ikisi de rahatsız edicidir.

Yürüme sırasındaki vücut titreşimleri 1,17 ... 1,66 Hz kadardır.

Vücudun buna alışık olması nedeniyle, bu frekanstaki titreşimler rahatsız edici değildir ve modern otomobillerdeki titreşimler de bu düzeydedir, (1 ... 1,3 Hz).

Titreşim karakteristikleri...

Titreşimin frekansındaki değişime, insan vücudunu, genliğindeki değişimden daha çok etkilemektedir.

Bu sebeple, şiddetli titreşimler için, genlik ve frekansın birleşik etkisini belirten ve "**titreşim karakteristiği**" olarak adlandırılan bir parametre kullanılmaktadır.

$$c_0 = Z_{max} \cdot f^k$$

c_0 : Titreşim karakteristiği, m/s

Z_{max} : Maksimum genlik, m

f : Frekans, 1/s

k : Titreşimin şiddetine bağımlı katsayı (k= 1,5 - 1,7)

Bazı titreşim karakteristikleri

Durum	c_0 (m/s)
Hissedilmez	0,035
Zor hissedilebilir	0,035 - 0,1
Hissedilir	0,1 - 0,2
Çok hissedilir	0,2 - 0,3
Çok rahatsız edici	0,3 - 0,4

Titreşim karakteristikleri...

Titreşimin ivmesinin insan vücuduna etkisi, çoğunlukla titreşim frekansı ile bağıntılıdır.

Frekans arttığında, küçük ivme artışları bile rahatsız edici olmaktadır.

Taşıt gövdesinin titreşim yaptığı frekanslardaki ivme artışlarında (**sıçrama**), rahatsız edici değerler 25 ... 40 m/s³ aralığında olmakta ve 25 m/s³ 'ün üzerindeki sıçramalar arzu edilmemektedir.

Titreşim frekans ve ivmesinin etkisi

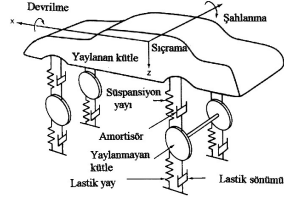
Salınım (Hz)	İvmenin etkisi (m/s ² olarak)	
	Hoş olmayan	Çok kötü
1,0	2,3	2,7
1,5	2,1	2,5
2,0	1,9	2,3
3,0	1,7	2,0

Sürüş modelleri

Taşıtlar, karmaşık titreşim sistemleridir ve titreşimleri çok serbestlik derecelidir. (Şekilde serbest ön süspansiyonlu bir otomobilin, yedi serbestlik dereceli modeli görülmektedir.)

Bu modelde taşıtın şahlanma, devrilme, sapma ve ön tekerleklerin sıçraması ile sabit arka tekerleklerin sıçrama ve sapmaları dikkate alınmaktadır.

Modellemede, taşıt gövdesi genellikle yaylanan kütle, motor ve aktarma organları ise yaylanmayan kütle olarak değerlendirilmektedir.



Yedi serbestlik dereceli otomobil modeli

Sürüş modelleri...

Taşıtın titreşim karakteristiklerinin değerlendirilmesinde, Newton'un İkinci Hareket Yasası, her bir kütle için formüle edilmektedir.

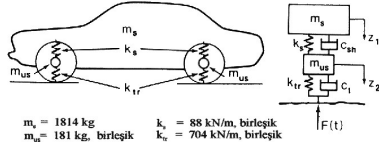
Sistemin titreşimlerinin temel normal biçimleri dikkate alınarak normal frekanslar ve genlik oranları belirlenebilmektedir.

Sistemin uyarıtımlı biliniyorsa, cevabı hareket eşitliklerinin çözülmesiyle belirlenebilir.

Serbestlik derecesi arttıkça, doğal olarak analizi de karmaşıklaşmaktadır. Bu gibi durumlarda, genellikle bilgisayar çözümlerine başvurulur.

Taşıt sisteminin titreşim analizini basitleştirmek amacıyla, her bir temel hareketinin dikkate alınması sırasında, iki serbestlik dereceli olduğu kabul edilebilir.

İki serbestlik dereceli model



Sistemin hareket eşitliği

Yaylanan kütle için;

$$m_s \ddot{z}_1 + c_d(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_s(z_1 - z_2) = 0$$

yaylanmayan kütle için de;

$$m_{us} \ddot{z}_2 + c_d(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_s(z_2 - z_1) + c_t \dot{z}_2 + k_t z_2 = F(t)$$

m_s : yaylanan kütle, kg
 m_{us} : yaylanmayan kütle, kg
 c_d : amortisörün sönüm katsayısı, Ns/m
 c_t : lastiğin sönüm katsayısı, Ns/m
 k_s : süspansiyon yayının sertliği (stiffness), N/m
 k_t : lastiğin eşdeğer yaylanma katılığı, N/m
 $F(t)$: Zemin tarafından tekerleklere uygulanan uyarıtım

İki serbestlik dereceli model...

Doğal frekans eşitliği yaklaşık olarak, yaylanan kütle için:

$$f_{ns} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s \cdot k_t}{m_s}}$$

yaylanmayan kütle için:

$$f_{nus} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s + k_t}{m_{us}}}$$

ÖRNEK

Yaylanan kütlesi 900 kg, yaylanmayan kütlesi 180 kg, süspansiyon katılığı 70 kN/m ve lastiklerinin eşdeğer yaylanma katılığı 600 kN/m olan bir otomobilin, her iki kütesinin doğal frekanslarını belirleyiniz.

ÇÖZÜM

Yaylanan kütle için doğal frekansı:

$$f_{ns} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s \cdot k_t}{m_s}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{70000 \times 600000}{900}} = 1,33 \text{ Hz}$$

Yaylanmayan kütle için doğal frekansı:

$$f_{nus} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s + k_t}{m_{us}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{70000 + 600000}{180}} = 9,71 \text{ Hz}$$

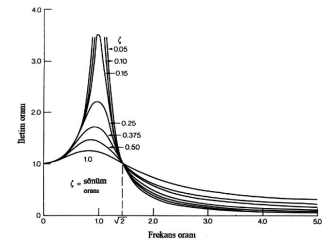
İki serbestlik dereceli model...

Taşıt bir tümseğe çarptığında oluşan darbe tekerlek salınımlarına neden olur.

Taşıt, tümseği geçtiğinde, yaylanmayan kütleler f_{nus} doğal frekansıyla serbest salınım yapar.

Yaylanan kütleler ise yaylanmayan kütle tarafından uyarılmaktadır. Bu durumdaki uyarıtım frekansının, yaylanan kütle için frekansına oranı

$$r_{fn} = \frac{f_{nus}}{f_{ns}}$$



İletimin frekans oranına bağlı değişimi

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model

Yaylanan ve yaylanmayan kütlelerin doğal frekansları arasındaki belirgin fark nedeniyle taşıtın şu hareketleri hemen hemen tamamen serbest olarak kabul edilmektedir:

- düşey doğrultudaki yukarı-aşağı sıçrama (bounce) hareketi,
- y eksenine göre olan açılal yunuslama (pitch) hareketi
- tekerleklerin hareketleri

Bu amaçla, taşıtın yunuslama ve sıçrama hareketleri için, iki serbestlik dereceli model kullanılmakta ve sönüm ihmal edilmektedir.

Taşıtın ağırlık merkezinin, z eksenindeki doğrusal değişimi (sıçrama) ve y eksenine göre açılal yer değişimi θ (yunuslama) için; Newton'un II. Yasası yardımıyla, şu hareket eşitlikleri yazılabilir.

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...

Sıçrama için;

$$m_s \ddot{z} = -k_{sf}(z - L_r \theta) - k_{sr}(z + L_r \theta)$$

yunuslama hareketi için;

$$I_y \ddot{\theta} = m_s r_y^2 \ddot{\theta} = k_{sr} L_r (z - L_r \theta) - k_{sf} L_r (z + L_r \theta)$$

$$D_1 = \frac{k_{sf} + k_{sr}}{m_s}$$

k_{sf} : ön yay sertliği, N/m

k_{sr} : arka yay sertliği, N/m

$$D_2 = \frac{k_{sr} L_r - k_{sf} L_r}{m_s}$$

I_y : Y eksenine göre kütle atalet momenti, kg/m²

r_y : Y eksenine göre jirasyon yarıçapı, m

$$D_3 = \frac{k_{sf} L_r^2 + k_{sr} L_r^2}{I_y} = \frac{k_{sf} L_r^2 + k_{sr} L_r^2}{m_s r_y^2}$$

yazılarak eşitlikler yeniden düzenlenirse;

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...

$$\ddot{z} + D_1 z + D_2 \theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + D_3 \theta + \frac{D_2}{r_y} z = 0$$

Her iki eşitlikte de yer alan D_2 , yunuslama ve sıçrama hareketlerini birleştiren bir katsayıdır.

$k_{sf} L_r = k_{sr} L_r$ olduğunda, D_2 nin değeri sıfır olmakta ve hareketler birbirinden ayrılmaktadır.

Bu durumda, ağırlık merkezine uygulanacak bir kuvvet, sadece sıçrama hareketi üretirken; gövdeye uygulanacak herhangi bir moment, sadece yunuslama hareketi üretir. **Bu, kötü bir sürüş demektir.**

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...

Ayrılmış sıçrama ve yunuslama hareketlerinin bu koşullardaki doğal frekansları:

$$\omega_{nz} = \sqrt{D_1}$$

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{D_3}$$

Tekerleklerdeki darbe hareketleri, yunuslama ve sıçrama hareketlerini genellikle aynı anda ürettiğinden, bu hareketler birleşiktir.

Birleşik hareketin doğal frekansını elde etmek için, temel titreşim modları dikkate alınır.

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...

Hareket eşitliklerinin çözümleri;

$$z = Z \cos \omega_n t$$

$$\theta = \Theta \cos \omega_n t$$

ω_n : doğal frekans

Z : sıçramanın genliği

Θ : yunuslama hareketinin genliği

Eşitliklerin çözülmesiyle, temel biçimlerdeki frekans eşitliği elde edilebilir:

$$\omega_n^4 - (D_1 + D_3) \omega_n^2 + (D_1 D_3 - \frac{D_2^2}{r_y^2}) = 0$$

Bu eşitlikten, ω_{n1} ve ω_{n2} doğal frekansları elde edilebilir:

$$\omega_{n1}^2 = \frac{1}{2} (D_1 + D_3) - \sqrt{\frac{1}{4} (D_1 - D_3)^2 + \left(\frac{D_2}{r_y}\right)^2}$$

$$\omega_{n2}^2 = \frac{1}{2} (D_1 + D_3) + \sqrt{\frac{1}{4} (D_1 - D_3)^2 + \left(\frac{D_2}{r_y}\right)^2}$$

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...



Sıçrama ve yunuslama hareketleri için, ω_{n1} ve ω_{n2} doğal frekanslarının genlik oranları:

$$\frac{Z}{\Theta} \Big|_{\omega_{n1}} = \frac{D_2}{\omega_{n1}^2 - D_1}$$

$$\frac{Z}{\Theta} \Big|_{\omega_{n2}} = \frac{D_2}{\omega_{n2}^2 - D_1}$$

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...



Sıçrama ve yunuslama hareketlerinin, ω_{n1} ve ω_{n2} doğal frekansları ile ilişkili salınım merkezlerinin yeri:

$$L_{cr} = \frac{D_2}{\omega_{n1}^2 - D_1}$$

$$L_{cr} = \frac{D_2}{\omega_{n2}^2 - D_1}$$

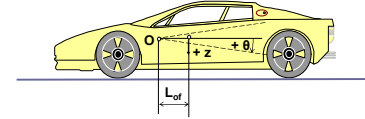
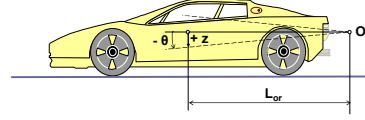
z ve θ 'nin işaretlerine göre;

- genlik oranı negatif olduğunda, salınım merkezi ağırlık merkezinin arkasında,
- genlik oranı pozitif olduğunda, ağırlık merkezinin ön tarafında yer alır.

Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...



Yaylanan kütle, yunuslama ve sıçrama salınım merkezleri



Yunuslama ve sıçrama hareketleri için iki serbestlik dereceli model...

Tekerleklerdeki darbe girişleri her iki salınım merkezine göre de momentler oluşturacağından, yunuslama ve sıçrama hareketlerinin her ikisi bir arada oluşmaktadır.

Bir başka deyişle, taşıtın hareketi bu iki merkeze göre olan taşıt salınımlarının toplamıdır.

Bu merkezlerden;

- dingiller arasında kalanına, "**yunuslama merkezi**" ve bununla ilgili doğal frekansa "**yunuslama frekansı**"
- dışında kalan merkeze, "**sıçrama merkezi**" ve ilgili frekansa da "**sıçrama frekansı**" denmektedir.

Otomobillerin çoğunda, sıçrama doğal frekansları 1 ... 1,2 Hz arasında, yunuslama doğal frekansları ise bunun biraz üzerindedir.

ÖRNEK

Bir otomobile ilişkin olarak aşağıdaki özellikler verilmiştir:

Yaylanan kütle	: 1000 kg
Jirasyon yarıçapı	: 1,1 m
Ağırlık merkezinin ön dingile uzaklığı	: 1,2 m
Ağırlık merkezinin arka dingile uzaklığı	: 1,4 m
Ön yay sertliği	: 30 kN/m
Arka yay sertliği	: 35 kN/m

Bu otomobilin;

- yunuslama ve sıçrama frekanslarını,
- salınım merkezlerinin ağırlık merkezine uzaklıklarını belirleyiniz.

ÇÖZÜM

Katsayılar;

$$D_1 = \frac{k_{sf} + k_{sr}}{m_s} = \frac{30000 + 35000}{1000} = 65 \text{ 1/s}^2$$

$$D_2 = \frac{k_{sr} \cdot l_f - k_{sf} \cdot l_r}{m_s} = \frac{35000 \times 1,4 - 30000 \times 1,2}{1000} = 13 \text{ m/s}^2$$

$$D_3 = \frac{k_{sf} \cdot l_f^2 + k_{sr} \cdot l_r^2}{m_s \cdot r_y^2} = \frac{35000 \times 1,2^2 + 35000 \times 1,4^2}{1000 \times 1,1^2} = 111,8 \text{ 1/s}^2$$

ÇÖZÜM...

Doğal frekanslar;

$$\omega_{n1}^2 = \frac{1}{2} (D_1 + D_3) - \sqrt{\frac{1}{4} (D_1 - D_3)^2 + \left(\frac{D_2}{r_y}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{2} (176,8) - \sqrt{\frac{1}{4} (-46,8)^2 + \left(\frac{13}{1,1}\right)^2} = 62,18 \text{ 1/s}^2$$

$\omega_{n1} = 7,89 \text{ 1/s}$, veya "**doğal çevrim frekansı**" da denen birim zamandaki doğal titreşim sayısı $f_n = \omega_n / 2\pi$ $f_{n1} = 1,26 \text{ Hz}$

$$\omega_{n2}^2 = \frac{1}{2} (D_1 + D_3) + \sqrt{\frac{1}{4} (D_1 - D_3)^2 + \left(\frac{D_2}{r_y}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{2} (176,8) + \sqrt{\frac{1}{4} (-46,8)^2 + \left(\frac{13}{1,1}\right)^2} = 114,62 \text{ 1/s}^2$$

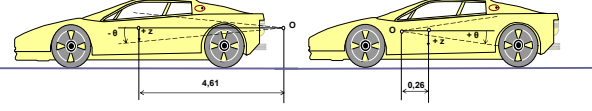
$\omega_{n2} = 10,71 \text{ 1/s}$, veya $f_{n2} = 1,70 \text{ Hz}$

ÇÖZÜM...

Salınım merkezlerinin ağırlık merkezine uzaklıkları

$$L_{\alpha} = \frac{D_2}{\omega_{n1}^2 - D_1} = \frac{13}{62,18 - 65} = -4,61 \text{ m}$$

$$L_{\beta} = \frac{D_2}{\omega_{n2}^2 - D_1} = \frac{13}{114,62 - 65} = 0,26 \text{ m}$$



SON

