

173580

EGE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

Kendinden tahrikli, dört tekerlekli taşıtlarda değişik yer konumlarında tekerlek - yol kuvvet bağıntı katsayı sınırlarının araştırılması.


Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesine
" Doktora tezi " olarak takdim edilmiştir.

Y.Müh.Mustafa DEMİRSOY

Tez inceleme jürisi : Prof.Kemal KARHAN
Prof.Dr.Selim PALAVAN
Doç.Dr.Özdemir BENGİSU

Tezin Dekanlığa verildiği tarih : Ocak 1975

T Ü R K İ Y E
BİLİMSEL ve TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANECİ



Tezin konusunu veren ve yöneten sayın Prof.Kemal Karhan'a, tezimin hazırlanmasında kıymetli yardımlarını esirgemiyeñ sayın Doç.Dr.Özdemir Bengisu'ya ve sayın Doç.Dr.Ekrem Pakdemirli'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sahife

	Özet	
1.	Giriş	1
2.	Kütlenin eğri bir yüzeydeki hareketi	1
2.1.	Kütleye, negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında tesir eden kuvvetler	2
2.1.1.	İvmelendirilen kütleye tesir eden kuvvetler	9
2.1.2.	Hareket yüzeyine paralel, hareket yönü içinde ve enine kuvvetler	10
2.1.3.	Hareket yüzeyine paralel ve hareket yönüne tesir eden kuvvetlerin tesbiti	11
2.1.3.1.	Sistemin iki tekerleğe irca edilmiş durumu	11
2.1.3.1.1	Negatif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler	11
2.1.3.1.2	Pozitif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler	12
2.1.3.2.	Sistemin dört tekerleğe göre etüdü	16
2.1.3.2.1	Negatif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler	16
2.1.3.2.2	Pozitif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler	19
2.1.4.	Yan yön verici (Radyal) kuvvetlerin tesbiti	22
2.1.4.1.	Negatif ivmelendirme durumu	22
2.1.4.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	23
2.1.5.	Hareket yüzeyine paralel, sistemin boyuna ekseninde ve ona dik olan kuvvetler	24
2.1.5.1.	Negatif ivmelendirme durumu	24
2.1.5.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	26
2.1.6.	Dinamik yükler	28
2.1.7.	Eğri yüzey üzerindeki hareket esnasındaki kütlenin yana yatması	32
2.1.8.	Kütlenin bağıntılı bulunduğu ön ve arka tekerleklerin dinamik yükleri	36
3.	Özel haller	45
3.1.	Kütlenin eğri ve yükseltilmiş yüzey üzerindeki hareketi	45
3.2.	Kütlenin eğik bir yüzey üzerindeki hareketi ($\gamma \neq 0, \delta \neq 0$)	47
3.3.	Kütlenin düz bir yüzey üzerindeki hareketi ($\gamma = 0, \delta = 0$)	50
4.	Kütlenin hareketindeki limit durumlar	51
4.1.	Kütlenin eğri yüzey üzerindeki hareketinde limit durumlar	51
4.1.1.	Hareket yüzeyinin $\gamma \neq 0, \delta \neq 0$ olması	51
4.1.1.1.	Negatif ivmelendirme durumu	51
4.1.2.	Hareket yüzeyinin $\gamma = 0, \delta \neq 0$ olması	52

4.1.2.1.	Negatif ivmelendirme	52
4.1.2.2.	Pozitif ivmelendirme	53
4.2.	Eğik yüzey üzerindeki harekette limit durumlar ($\delta \neq 0, \delta = 0$)	53
4.2.1.	Eğik yüzeyde aşağı doğru hareket	53
4.2.2.	Eğik yüzeyde yukarı doğru hareket	54
5.	Sabit ve değişken kuvvet dağılımı	55
5.1.	Kuvvet bağıntısı	55
5.2.	Kütlenin eğri bir yüzey üzerindeki hareketinde ideal kuvvet dağılımı ($\delta \neq 0, \delta = 0$)	55
5.2.1.	Negatif ivmelendirme durumu	56
5.2.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	58
5.3.	Özel durumlar	61
5.3.1.	Hareket yüzeyinin $\delta = 0, \delta \neq 0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımı	61
5.3.2.	Hareket yüzeyinin $\delta \neq 0, \delta = 0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımı	65
5.3.2.1.	Negatif ivmelendirme durumu	65
5.3.2.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	66
5.3.3.	Hareket yüzeyinin $\delta = 0, \delta = 0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımı	67
5.3.3.1.	Negatif ivmelendirme durumu	67
5.3.3.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	68
6.	Neticelerin bir araç üzerindeki uygulaması	70
6.1.	Eğri yol üzerindeki hareket ($\delta \neq 0, \delta \neq 0$) durumu	70
6.1.1.	Negatif ivmelendirme durumu	70
6.1.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	72
6.2.	Eğri yoldaki hareket ($\delta = 0, \delta \neq 0$) durumu	73
6.2.1.	Negatif ivmelendirme durumu	73
6.2.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	73
6.3.	Eğik ve düz yoldaki hareket ($\delta \neq 0, \delta = 0$ ve $\delta = 0, \delta = 0$) durumu	74
6.3.1.	Negatif ivmelendirme durumu	74
6.3.2.	Pozitif ivmelendirme durumu	75
7.	Sabiteler	78
7.1.	Kütlenin negatif ivmelendirilmesi durumu	78
7.2.	Kütlenin pozitif ivmelendirilmesi durumu	80
7.2.1.	Sistemin dört tekerlekten tahrik edilmesi	80
7.2.2.	Sistemin arka iki tekerlekten tahrik edilmesi	82
7.2.3.	Sistemin ön iki tekerlekten tahrik edilmesi	82
8.	Sonuç	84
	Literatür	

Kullanılan harflerin manası :

- A kp = Pozitif ivmelendirme esnasında dinamik yük değişimi sebebiyle kütleye tesir eden tahrik kuvveti
- A_n kp = Pozitif ivmelendirme esnasında dinamik yük değişimi sebebiyle ön ve arka tekerleklere tesir eden tahrik kuvveti $A_{\ddot{O}}$, A_A
- A_{Tn} kp = Hareket yönündeki tahrik kuvveti $A_{T\ddot{O}}$, A_{TA}
- B kp = Negatif ivmelendirme esnasında dinamik yük değişimi sebebiyle kütleye tesir eden frenleyici kuvvet
- B_n kp = Negatif ivmelendirme esnasında dinamik yük değişimi sebebiyle ön ve arka tekerleklere tesir eden fren kuvveti $B_{\ddot{O}}$, B_A
- B_{Tn} kp = Hareket yönündeki kuvvet $B_{T\ddot{O}}$, B_{TA}
- F kp = Merkezkaç kuvveti F_y , F_z
- G kp = Kütlenin ağırlığı G_x , G_y , G_z
- G_A kp = Dinamik yük değişimi sebebiyle arka iki tekerleğe tesir eden kuvvet G_3 , G_4
- G_d kp = Kütlenin yana yatması halinde kütleye tesir eden düşey kuvvet
- $G_{\ddot{O}}$ kp = Dinamik yük değişimi sebebiyle ön iki tekerleğe tesir eden kuvvet G_1 , G_2
- I_{rn} kpm = Tekerleklerde dönen kütlelerin momenti = $\frac{I_n \cdot g}{R}$
- K_{BM} kp = Kütleye sistemin boyuna ekseninde tesir eden kuvvet
- K_e kp = Tekerlek eksenine yan kuvveti K_{Re} , K_{Te}
- L_n - = Sabite L_1, L_2, \dots ; L_1^+, L_2^+, \dots
- K_{RM} kp = Kütlenin ağırlık merkezine, hareket yönüne dik olarak tesir eden kuvvetler (Radyal kuvvet)
- K_{TM} kp = Kütlenin ağırlık merkezine, hareket yönünde ve hareket düzlemine paralel tesir eden kuvvetler (Teğetsel kuvvet)
- K_{YM} kp = Kütleye boyuna eksenine dik eksende tesir eden kuvvet
- K_y kp = Kütleye tesir eden enine kuvvet

L_m	m	= Kütlenin arka tekerleklerinin eksenine olan mesafesi
L_n	m	= Kütlenin ön tekerleklerin eksenine olan mesafesi
M_d	kpm	= Kütlenin yana yatma eksenini etrafındaki momenti M_{d0} , M_{dA}
M_K	kpm	= Sistemin yüksek ekseninde meydana gelen moment
M_n	kpm	= Tekerlek eksenlerinde, sistemin boyuna ekseninde tekerleklere tesir eden kuvvetlerin momentleri $M_{0} = M_A$
M_T	kpm	= Hareket yönünde tesir eden kuvvetlerin, kütle ağırlık merkezindeki momenti
M_{tn}	kpm	= Dönen kütlelerin momenti = $I_{tn} \cdot a$ $M_{t0} , M_{tA} \quad M_t = M_{t0} + M_{tA}$
M_Y	kpm	= Hareket yönünde ve sistemin boyuna ekseninde tesir eden kuvvetlerin ağırlık merkezindeki momenti
P_K	kp	= Yüksek eksenindeki moment tarafından meydana getirilen kuvvet çifti
ΔQ	kp	= Kütlenin yana yatması neticesi, tekerleklerdeki yük değişimi $\Delta Q_0 , \Delta Q_A$
R_{din}	m	= Tekerlek dinamik yarıçapı
T_n	-	= Sabite $T_1, T_2, \dots ; T_1^+, T_2^+, \dots$
V	km/h	= Kütlenin hızı
W_L	kp	= Kütlenin ağırlık merkezine tesir eden hava direnci $w_L = W_L/G$
W_{Rn}	kp	= Yuvarlanma direnci Ön ve arka tekerleklere tesir eden yuvarlanma direnci W_{R0} , W_{RA}
Y_n	kp	= Hareket ekseninin enine kuvveti
Y_{Rn}	kp	= Hareket eksenine enine yöndeki yön verici kuvvet Y_{R0} , Y_{RA}
Z_{An}	-	= Sabite Z_{A1}, Z_{A2}, Z_{A3}
Z_{0n}	-	= Sabite Z_{01}, Z_{02}, Z_{03}
Z_n	-	= h/e oranı , $h/e_A = z_A$, $h/e_0 = z_0$

Γ_n - = Sabite $\Gamma_1, \Gamma_2 \dots ; \Gamma_1^+, \Gamma_2^+ \dots$
 Λ_n - = Sabite $\Lambda_1, \Lambda_2 \dots ; \Lambda_1^+, \Lambda_2^+$

$a_{M=a_e}$ % = hareket yörüngesi teğetine dik olan enine ivmelendirme değeri
 a, a^+ % = Sistemin frenleme ve tahrik değeri
 $B/G=b/g=a$, $A/G=b/g=a^+$
 a_i % = İdeal frenleme veya tahrik değeri
 a_{max} % = Sistemin negatif ivmelendirilmesi esnasında ulaşabileceği max. frenleme değeri
 a_{max}^+ % = Sistemin pozitif ivmelendirilmesi esnasında ulaşabileceği max. tahrik değeri
 b m/s^2 = Kütlenin ivmesi
 $b_t=dV/dt$, $b_n=V^2/r$
 b_e m/s^2 = Hareket yörüngesinin teğetine dik olan enine ivme
 c_{dn} kpm/rd = Yay katsayısı c_{d0} , c_{dA}
 e_m m = Aynı eksendeki yayların biribirlerine olan mesafesi
 e_n m = Aynı eksendeki tekerleklerin hareket düzleminde bıraktıkları iz genişliği e_0 , e_A
 f_K % = Tekerlek ile hareket yüzeyi arasındaki kuvvet bağıntı katsayısı $f_{K0}, f_{KA}, f_{K1}, f_{K2}, f_{K3}, f_{K4}$
 g m/s^2 = Yerçekim ivmesi
 h m = Kütlenin hareket yüzeyine olan mesafesi
 i_{tn} m = Dönen tekerleklerin atalet değeri I_{tn}/G
 $i_t=i_{t0}+i_{tA}$
 m kps^2/m = Kütle
 r_n m = Hareket yörüngesinin eğrilik yarıçapı r_0, r_A, r_M
 α_n Derece = Hareket sapma açısı (Hız yönü ile kütlenin bağıntılı olduğu tekerleklerin hareket yönü arasındaki açı) α_0 , α_A
 δ Derece = Hareket yüzeyinin boyuna yöndeki eğim açısı
 δ Derece = Hareket yüzeyinin enine yöndeki eğim açısı
 f - = Yuvarlanma direnci katsayısı

ν rad = Kütlenin tekerlek eksenlerindeki yana yatma miktarı $\nu_{\ddot{O}}$, ν_A

ϕ % = Sistemin arka tekerlek eksenindeki sabit fren kuvveti oranı

$$\phi = B_{TA}/B \quad 1 - \phi = B_{T\ddot{O}}/B, \quad B = B_{T\ddot{O}} + B_{TA}$$

ψ - = L_n/L ve $1 - \psi = L_m/L$ oranı

χ - = h/L oranı

φ rad = Kütlenin yana yatmasının neticesi olarak kütlede meydana gelen burulma miktarı

ZUSAMMENFASSUNG

Bei Verzögerung (Bremsen) und Beschleunigung (Antrieb) eines Kraftfahrzeugs entsteht durch dynamische Gewichtsverlagerung zwischen Rädern und Fahrbahn eine Kraftschlussanstrengung.

In vorliegender Arbeit wurde untersucht, inwieweit sich die Kraftschlussanstrengungswerte in der Kurve bei jedem einzelnen Rad ändert.

Die durch dynamische Gewichtsverlagerung auf die Räder wirkenden Kräfte wurden bei Verzögerung und Beschleunigung des Kraftfahrzeugs in steigender und fallender Kurve untersucht. Die gleiche Untersuchung wurde auch für steigende und fallende gerade Strecken durchgeführt.

Erst durch die errechneten Radlasten konnten die Kraftschlussanstrengungswerte, die zwischen Rädern und Fahrbahn entstehen, ermittelt werden.

Diese ermittelten Werte wurden für verschiedene Fahrbahnen untersucht und zwar jeweils in Abhängigkeit von Verzögerung und Beschleunigung.

Die erzielten Ergebnisse wurden zuletzt für ein Serienfahrzeug ausgewertet. Diese Werte wurden unter Berücksichtigung von Verzögerung und Beschleunigung für verschiedene Fahrbahnen in Diagramme eingetragen.

Diese Arbeit hat folgendes gezeigt: Wenn ein Fahrzeug auf verschiedenen Fahrbahnen verzögert oder beschleunigt wird, entstehen verschiedene Kraftschlussanstrengungswerte. Die Momente, die auf die Räder wirken, müssen infolge der veränderlichen Kraftschlussanstrengungswerte abhängig von der dynamischen Gewichtsverlagerung verteilt werden.

ÖZET

Bu çalışma ile kendinden tahrikli, dört tekerlekli bir aracın eğri bir yol üzerindeki hareketi esnasında, negatif (frenleme) ve pozitif (tahrik) ivmelendirmesinin neticesi olarak, tekerleklerde meydana gelen yük değişiminin sebep olduğu, tekerlek-yol arasındaki kuvvet bağıntısının değişimi incelenmiştir.

Negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında tekerleklerdeki dinamik yük değişimi, hareketin artan veya azalan eğimli bir eğri yol üzerinde ve bu yolun özel durumlarına göre ayrı ayrı incelenerek tekerleklere tesir eden kuvvetler bulunmuştur. Bulunan bu kuvvetlerden faydalanılarak tekerlekler ile hareket düzlemleri arasında meydana gelen kuvvet bağıntı katsayılarının, negatif ve pozitif ivmelendirmeye bağlı olarak değişimleri, değişik yol konumlarına göre ayrıntılı olarak etüd edilmiştir.

Elde edilen neticeler, seri halde imal edilen bir araca tatbik edilmiş ve ivmelendirme durumlarına bağlı olarak, tekerleklerle yol arasında meydana gelen kuvvet bağıntı katsayılarının değişimi, yolun değişik konumlarına göre hesaplanmış ve diyagramlarla ifade edilmiştir.

Yapılan bu inceleme, aracın frenlenmesi veya tahrik edilmesi esnasında tekerleklere tatbik edilecek olan momentlerin, her tekerleğin dinamik yük değişimine göre yapılmasının gerekliliğini göstermektedir.

Araçın hareket stabilitesi üzerinde birçok araştırmalar yapılmış ve bütün bu çalışmalar aracın gelişmelerine yardımcı olmuştur. Bu araştırmalardan bazıları, aracın eğri bir yol üzerindeki hareket durumları üzerine teksif edilmiştir. Bölüm [1] aracın yükseltilmemiş stasyoner eğri bir yol üzerindeki hareket durumunu inceliyerek Computer için uygun bir iterasyon metodu geliştirmiştir. Aynı araştırmacı, aracın doğrusal bir hareketi esnasında yan kuvvetlerin stabiliteye [2] olan tesirini incelemiştir. Braess [3], önden tahrikli araçların bir eğri yol üzerindeki hareketinde aracın tahrik durumundan frenlemeye geçişi esnasında lastik özelliklerini, önemli araç büyüklüklerini ve aracın eğri yol üzerindeki hareket açılarına olan tesirlerini incelemiştir. Braess, bu yapmış olduğu araştırma ile lastik yan kuvvetlerinin çevre kuvvetlerine olan tesirlerinin, gaz değiştirme, yani tahrik durumundan frenlemeye geçiş durumu ile oldukça ilgili olduğunu tesbit etmiştir. Diğer taraftan, Braess, diğer bir çalışma ile yön vermenin araç stabilitesine olan tesirini araştırmıştır. Chiesa ve Rinonapoli verilen bir eğri yörünge üzerinde hareket eden aracın hareket stabilitesini geliştirmiş oldukları 3 serbestlikli lineer olmayan matematik bir model ile incelemiştirlerdir. Bu verilen hareket hattı için tekerlek askı sistemlerinde ve lastiklerde yapılan değişiklikler araştırılmışlardır. Jindra [10, 11] bir çekici ve ön aksı yön vericili dört tekerlekli bir treyler sisteminin hareket esnasındaki yön stabilitesini incelemiştir. Ayrıca, eğri bir yol üzerindeki harekette tekerlek aksı sistemlerinin araç stabilitesine olan tesirlerini etüd etmiştir. Metzner [12], yapmış olduğu bir çalışma ile yön verme açısı ve araç reaksiyonu arasındaki zaman farkını gösteren bir hesap metodu geliştirmiştir. Mitschke [13] aracın bir sinüs eğrisi üzerindeki hareketini incelemiştir. Slibar [14], çekici ve treylerin hareket dinamiğini stasyoner bir hareket durumu için, yani harmonik olarak meydana gelen daimi yön verme düzeltmelerini araştırmaktır. Spindler [15] araçların virajlarda ne şekilde hareket ettiklerini araştırmıştır. Bu çalışma ile hareket esnasında meydana gelen enine ivmeler ve bu ivmelerin yolun eğimi ve sürtünme ile karşılanması gösterilmiştir. Araçların virajdaki hızları ve enine ivmeleri fotogrametrik olarak tesbit edilmiştir. Winkelmann [16] aracın sabit bir eğrilik yarıçapında ve ve yükseltilmemiş bir virajdaki hareketinin genel hareket dinamiğini incelemiştir. Deininger [6], yapmış olduğu çalışma ile önden ve arkadan tahrik durumunun araçların stabilitesine olan tesirlerini araştırmıştır. Görge ve Bode [7], çekici ve treylerli bir sistemin düz bir yol-
daki frenleme esnasında dinamik aks yükleri, kavrama kuvvetleri ve bütün fren kuvvetinin çeşitli dağılımının

kayma sınırları araştırılmıştır. Görge [8] , treyler ve çekici aracın eğri bir yol hareketinde frenlenmesi esnasında çekici araca, treyler tarafından yola paralel olarak oldukça büyük itme kuvvetleri tesir ettiği tesbit edilmiştir. Treyler tarafından meydana getirilen bu kuvvetler tekerlek yüklerinin ve yan kuvvetlerin değişimini meydana getirdiğini ve fren durumunun kötüleşmesini ortaya çıkardığını tesbit etmiştir. Hasselgruber [9] ise, dört tekerlekli bir aracın stasyonere bir virajdaki hareketinin yön verme geometrisine olan tesirini ve lâstiklerin zorlanmalarını araştırmıştır.

Bu araştırmalardan hemen hepsi aracın gerek düz ve gerekse eğri bir yoldaki hareketi esnasında stabilitesine tesir eden bazı durumları araştırmışlardır. Dört tekerlekli kendinden tahrikli bir aracın eğri bir yol (ve bu yolun özel durumları) üzerindeki hareketi esnasında gerek frenleme ve gerekse tahrik edilmesinde dinamik yük değişimi sebebiyle tekerlekler ile yol arasında meydana gelen kuvvet bağıntı katsayısı yazarın bildiğine göre henüz araştırılmamıştır.

Bu incelemede, Görge [8]nin incelenmesine yakın mekanik bir model kabul edilerek bu çalışma yapılmıştır.

1. Giriş

Sistemin genel olarak incelenebilmesi için dört tekerlekli bir model düşünülmüştür. Düşünülen bu modelde, kütlenin hareket etmiş olduğu eğri yüzeyden belirli bir (h) yüksekliğinde bulunduğu ve aynı yüzeyde dönerek hareket eden dört tekerlek ile bağıntılı olduğu kabul edilmiştir. Kütlenin bu dört tekerlek ile rijit ve yaylarla bağlı bulunduğu durumlarda, kütlenin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi esnasında meydana gelen kuvvetler ile ve dış kuvvetlerin tesiri altında, bu dört tekerlekteki dinamik yük değişim durumu incelenmiştir. Dinamik yük değişiminin neticesi olarak, bu dört tekerleğin hareket yüzeyi ile aralarında meydana gelen kuvvet ve aderans değeri ile olan bağıntıları, eğri yüzey ve bu eğri yüzeyin özel durumlarına göre ayrıntılı olarak etüd edilmiştir.

2. Kütlenin eğri bir yüzeydeki hareketi

Kütlesi (m) olan maddesel noktanın hareketi esnasında ona tesir eden kuvvetlerin bileşkesi Newton'un ikinci hareket kanununa göre şöyledir:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{b} \quad (2.1)$$

(F) Kuvveti ile (b) ivmesinin dik bileşenlere ayrılması halinde

$$\sum (F_x \cdot i + F_y \cdot j + F_z \cdot k) = m(b_x \cdot i + b_y \cdot j + b_z \cdot k)$$

yazılır

ve bu bileşenlerin skaler denklemlerle ifadesi:

$$\sum F_x = m \cdot b_x = m \cdot \ddot{x} \quad , \quad F_y = m \cdot b_y = m \cdot \ddot{y} \quad , \quad F_z = m \cdot b_z = m \cdot \ddot{z} \quad (2.2)$$

elde edilir.

(2.1) denkleminin D'alambert Prensibine göre ifadesi:

$$\sum \vec{F} - m \cdot \vec{b} = 0 \quad (2.3)$$

olarak yazılır.

Kütle eğrisel bir yörünge üzerinde hareket ediyorsa ivmesi dik, teğetsel ve normal bileşenlere ayrılabilir. Dik bileşenlerin skaler denklemlerle ifadesi Denk.(2.2) verildiği gibi olup teğetsel ve normal bileşenler:

$$\sum \vec{F}_t = m \cdot \vec{b}_t \quad , \quad \vec{F}_n = m \cdot \vec{b}_n \quad (2.4)$$

ve bu bileşenlerin sırfi koordinatlardaki bileşenleri:

$$\sum \vec{F}_t = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad \sum \vec{F}_n = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (2.5)$$

olarak yazılır.

Kütlenin ivmesi:

$$\mathbf{b} = \frac{dV}{dt} \cdot \mathbf{i}_t + \frac{v^2}{r} \cdot \mathbf{i}_n \quad (2.6)$$

ve skaler bileşenleri;

$$b_t = \frac{dV}{dt} \quad , \quad b_n = \frac{v^2}{r} \quad (2.7)$$

olarak elde edilir.

Dinamik denge halinde kütleyle tesir eden kuvvetlerle, atalet vektörü sistemi dengede tutarlar.

Şimdi, bir eğri yüzey üzerinde (h) yüksekliğinde hareket eden kütleyle, negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında, içten ve dıştan kuvvetlerin tesir etmesi halinde, kütlenin bağlı bulunduğu dört tekerlekteki dinamik yük değişimini inceleyelim.

Kütleyle tesir eden kuvvetler denkli.(2.1) benzer şekilde yazılırsa;
negatif ivmelendirme esnasında kütleyle frenliyen kuvvet:

$$\vec{B} = m \cdot \vec{b} = \frac{G}{g} \cdot \vec{b} = G \cdot a \quad (2.8)$$

pozitif ivmelendirme esnasında kütleyle hareket veren kuvvet:

$$\vec{A} = m \cdot \vec{b}^+ = \frac{G}{g} \cdot \vec{b}^+ = G \cdot a^+ \quad (2.9)$$

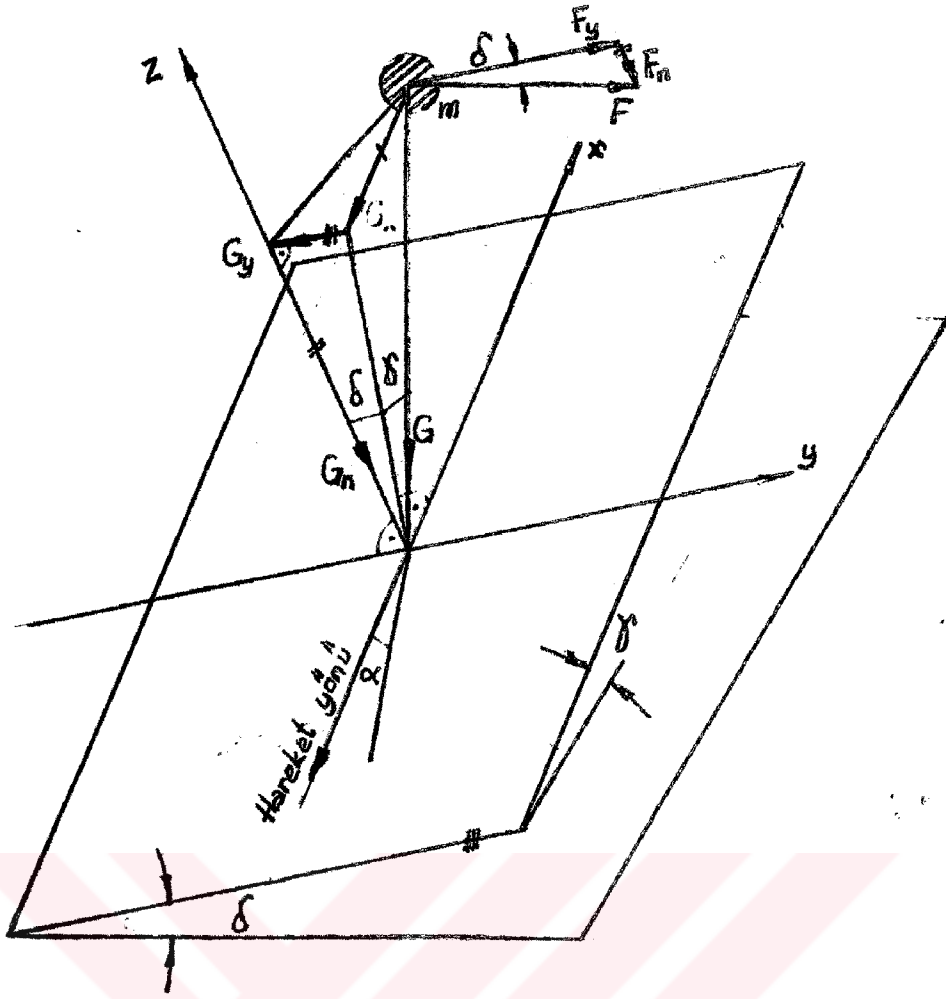
elde edilir.

2.1. Kütleyle, negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında tesir eden kuvvetler

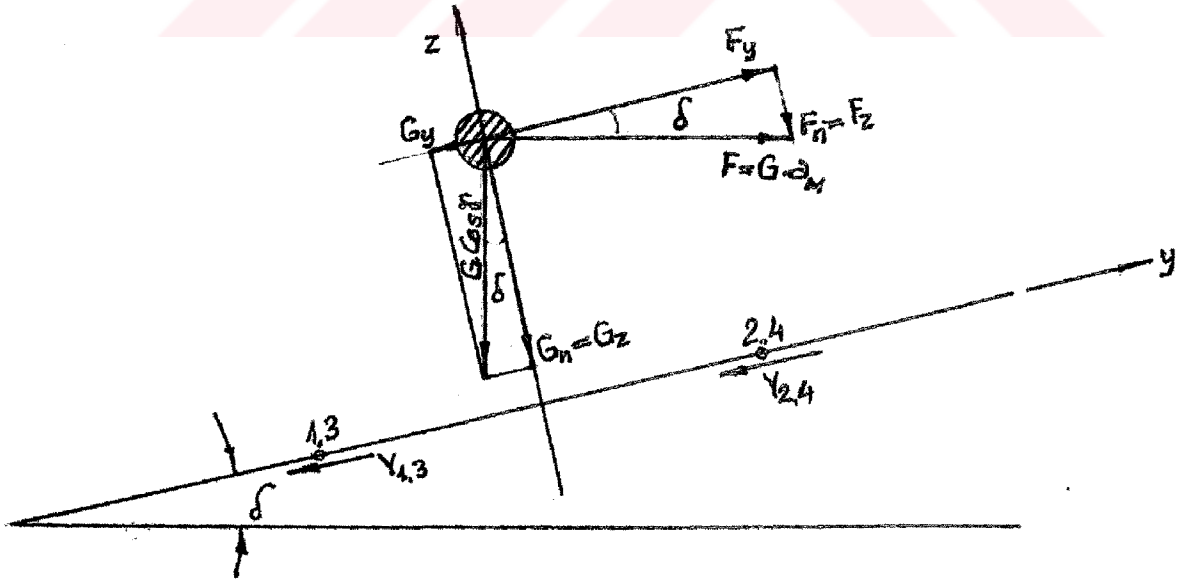
Sistemin incelenmesinde kolaylık sağlaması yönünden x, y, z koordinatları Şekil 1 de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.

Şekil 1 ve 2 yardımıyla aşağıda verilen denklemler yazılabilir,

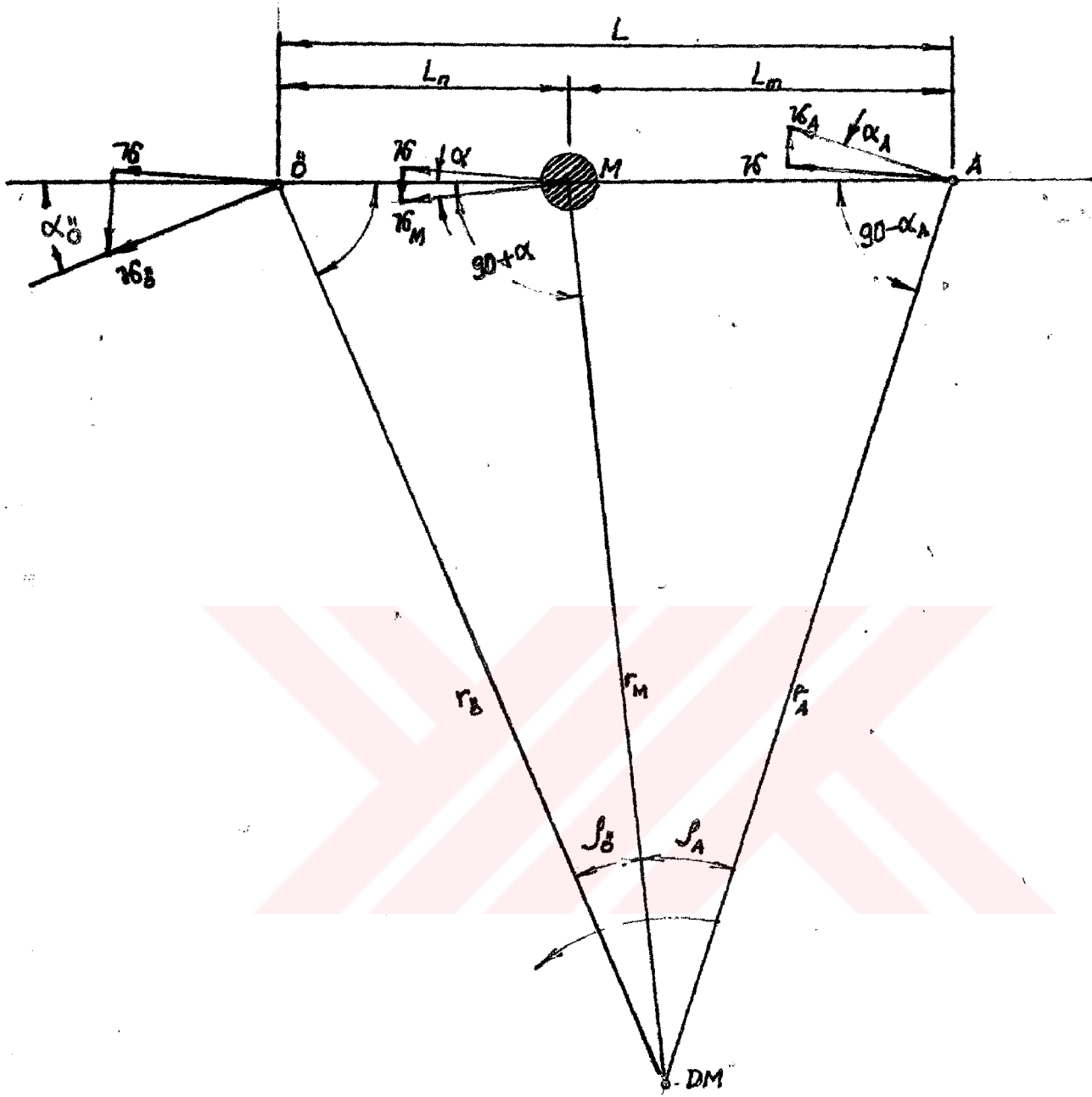
$$\begin{aligned} G_x &= G \cdot \sin \delta & F &= G \cdot a_M \\ G_y &= G \cdot \cos \delta \cdot \sin \delta & F_y &= G \cdot a_M \cdot \cos \delta \\ G_z &= G_n = G \cdot \cos \delta \cdot \cos \delta & F_z &= F_n = G \cdot a_M \cdot \sin \delta \end{aligned} \quad (2.10)$$



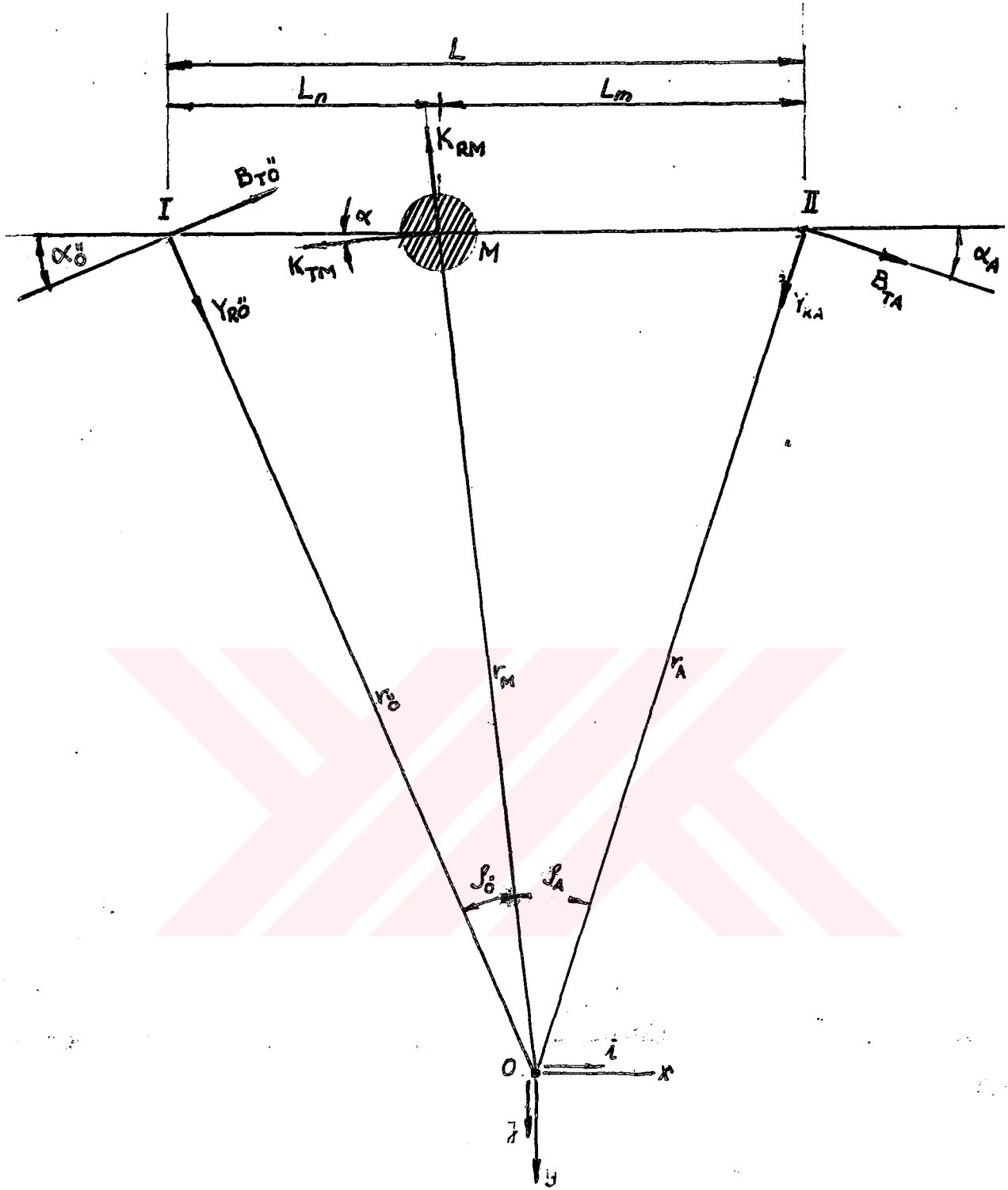
Şekil 1, Kütle ağırlığının ve kütleye tesir eden merkezkaç kuvvetinin hareket yüzeyine paralel ve dik bileşenleri



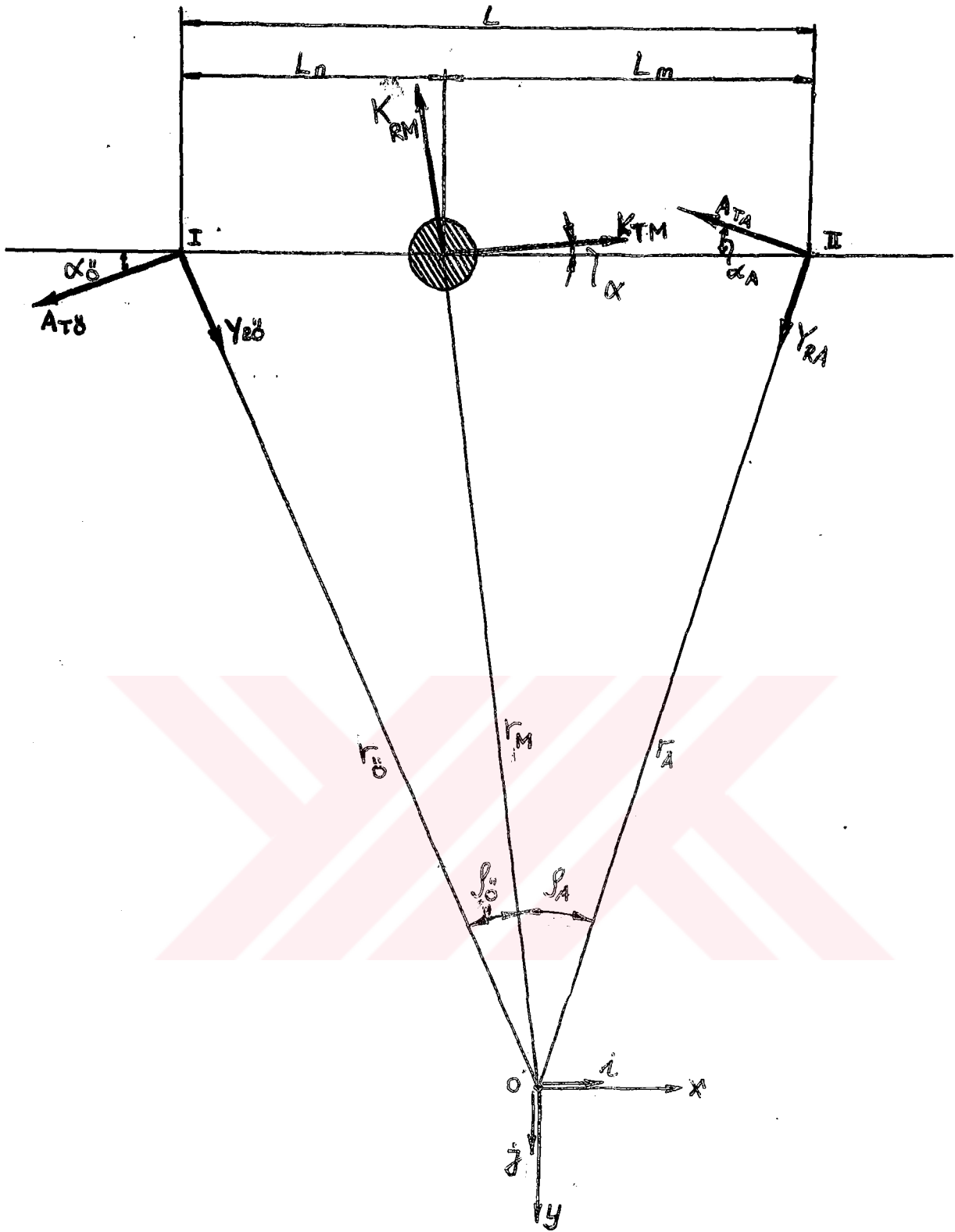
Şekil 2, Eğri yüzey üzerinde hareket eden kütleye tesir eden ağırlık ve merkezkaç kuvvetinin hareket yüzeyine paralel ve dik bileşenlerinin x -ekseni yönünden görünüşü

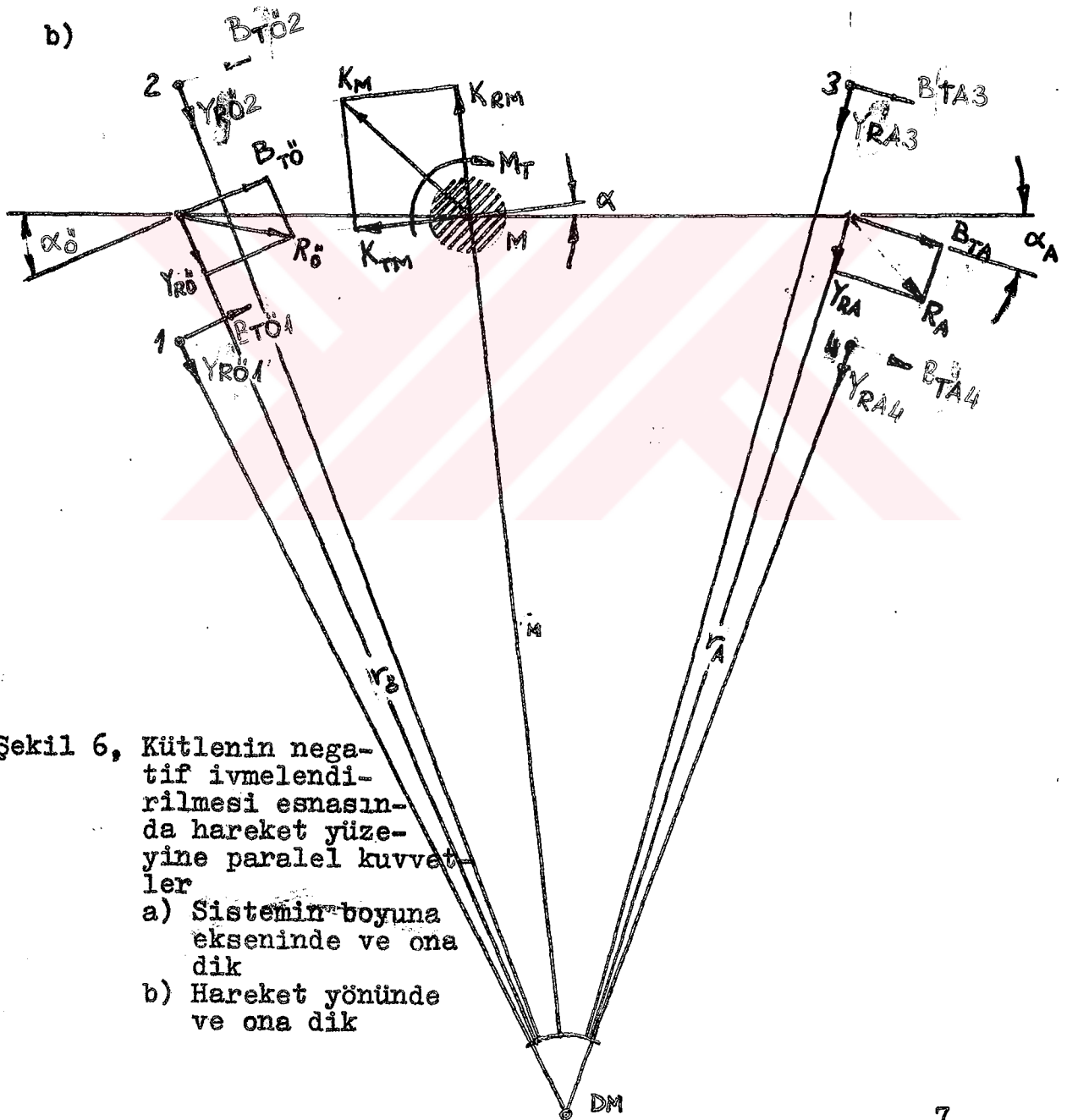
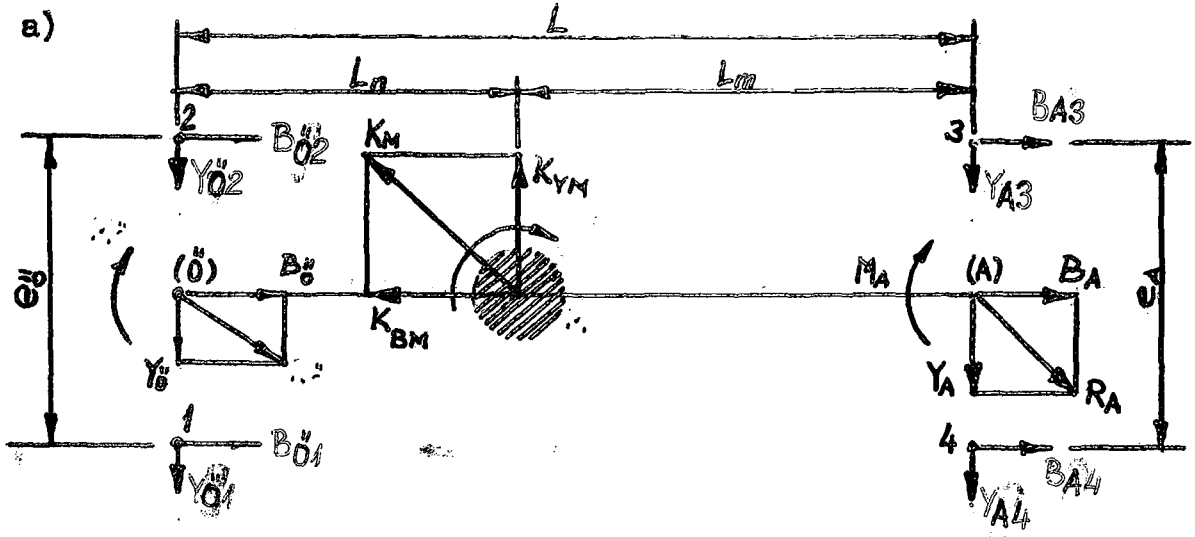


Şekil 3, Kütle nin eğri bir yörünge üzerindeki hareketinde negatif ivmelendirilmesi halinde bağımlı olduğu ön ve arka tekerleklerdeki hareket yarıçapları ve hızları



Şekil 4, Eğri bir yörünge üzerinde hareket eden bir kütlenin negatif ivmelendirilmesi esnasında, tekerleklerde, hareket yüzeyine paralel ve dik olan kuvvetler.

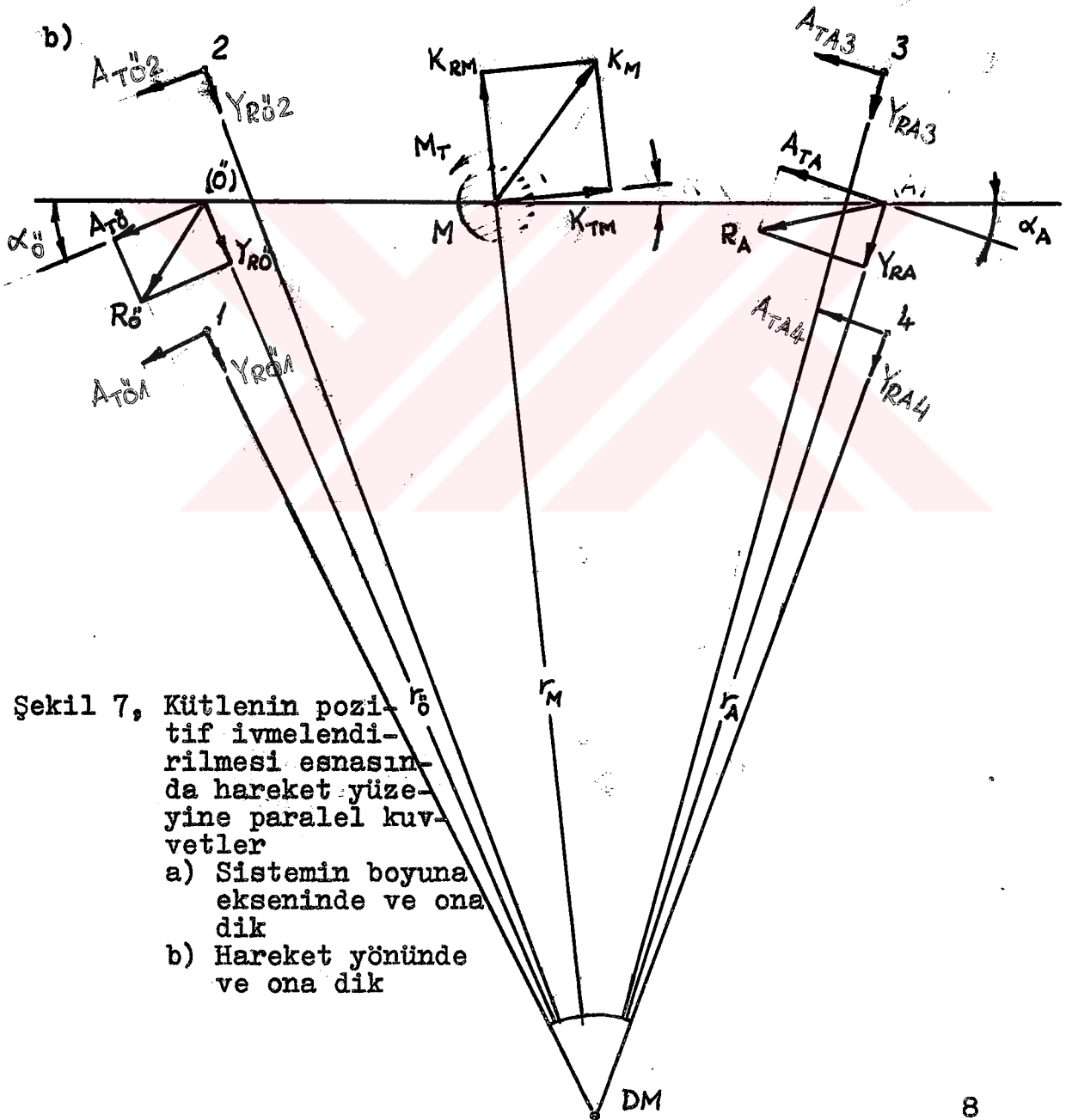
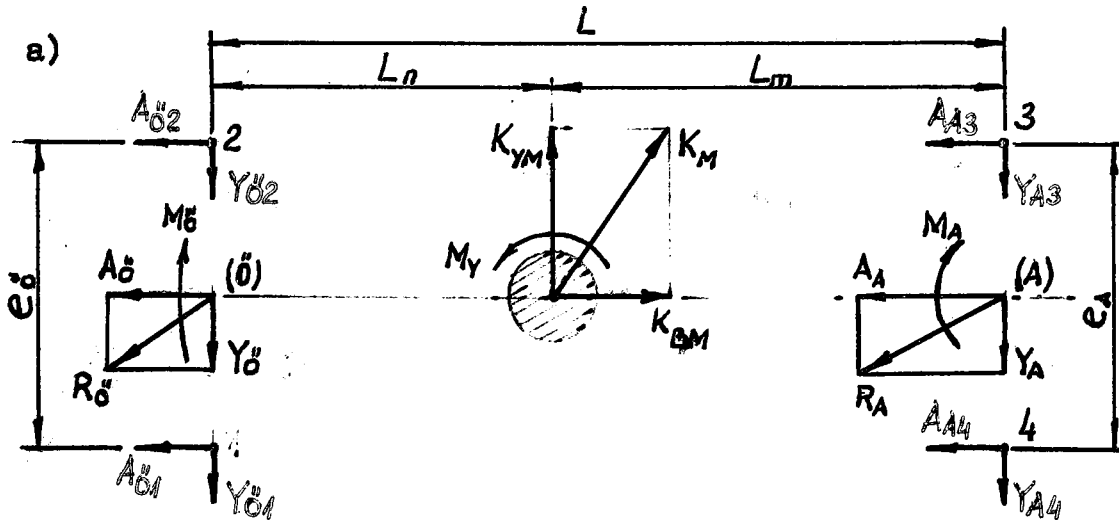




Şekil 6, Kütlenin negatif ivmelendirilmesi esnasında hareket yüzeyine paralel kuvvetler

a) Sistemin boyuna ekseninde ve ona dik

b) Hareket yönünde ve ona dik



Şekil 7, Kütlelerin pozitif ivmelendirilmesi esnasında hareket yüzeyine paralel kuvvetler

a) Sistemin boyuna ekseninde ve ona dik

b) Hareket yönünde ve ona dik

Bir eğri yüzeyde hareket eden kütlelerin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi esnasında hareket yüzeyine paralel, oldukça büyük merkezkaç ve atalet kuvvetleri tesir ederler ve bunlar yan kuvvetlerle beraber kütlelerin bağıntılı bulunduğu dört tekerleğin yüklerinin değişmesini ortaya çıkarırlar.

Kütlelerin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi esnasında sisteme tesir eden frenleme ve tahrik değerleri denkl.(2.8) ve (2.9) dan elde edilirler.

$$a = \frac{B}{G} , \quad a^+ = \frac{A}{G}$$

Merkezkaç kuvvetinin tesiri ile kütleye, hareket yörüngesinin tegetine dik ve ağırlık merkezine tesir eden ivme değeri,

$$a_e = a_M = \frac{F}{G} \quad (2.11)$$

Merkezkaç kuvveti ise şöyledir:

$$F = m \cdot b_e = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (2.12)$$

2.1.1 İvmelendirilen kütleye tesir eden kuvvetler

Kuvvetlerin tesbiti için statik ve kinematik düşünceler, belirli bir an'da sistemin açıları, yarıçapları, hızları değişmez kabul edilmektedir (Şekil 3). Kuvvetlerin hesaplanması (Şekil 4 ve 5) de belirtildiği gibi negatif ve pozitif ivmelendirilmiş olan kütlelerin teğetsel ve radyal kuvvetleri, bu kuvvetlerle bağıntılı yer kuvvetleri (1,2,3 ve 4 tekerlek kütlelerinin hareket yüzeyi üzerinde dönerek hareket ettiği kabul edilerek ve tekerleklerde meydana gelen frenleyici ve yan yön verici kuvvetler) ile dengede bulunduğu şartına dayanmaktadır.

Negatif ve pozitif ivmelendirme için yapılan hesaplar Şekil 1....7 kadar verilen sistemlerin durumuna dayanmaktadır.

Hesaplarda, önce aynı eksen üzerinde bulunan iki tekerlek (1,2 ve 3,4) aynı eksenin ortasında bulunan tek tekerlek olarak düşünülmüş ve hesaplar bu şekilde geliştirilmiştir. Aynı eksen üzerinde bulunan iki tekerlek, yani iç ve dış tekerlek arasındaki fark, sistemin boyuna eksen üzerindeki üst yüksek eksene göre göre alınacak momentlerle ifade edilebilir.

Bütün frenleyici, tahrik ve yan yön verici kuvvetler frenleme (a) ve tahrik (a⁺) değerlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilecektir.

2.12 Hareket düzlemine paralel, hareket yönü içinde ve enine kuvvetler

Şekil 8 ve 9 ile kütle ve bağıntılı bulunduğu tekerlek-
lere tesir eden kuvvetler, açıları ve hareket yarıgıpları gös-
terilmiştir.

K_R Kuvveti hareket düzlemine yönelmiş ve hareket yönüne
dik olarak kütle için ağırlık merkezine tesir eden kuvvetlerin
toplamını ifade eder.

$$\begin{aligned} K_R &= \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \cdot \cos \delta \pm W_R \\ &= G(a_M \cdot \cos \delta + w_R) \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$W_R = \pm W_{Ry} \pm G_y = \pm W_{Ry} \pm G \cdot \cos \lambda \cdot \sin \delta$$

Dış kuvvetler sağa (dışa doğru) tesir ediyorsa $+W_{Ry}$

Dış kuvvetler sola (içe doğru) tesir ediyorsa $-W_{Ry}$

Hareket düzleminin eğimi, hareket yönünden görünüşe göre

sağa doğru ise, $+G \cdot \cos \lambda \cdot \sin \delta$

sola doğru ise, $-G \cdot \cos \lambda \cdot \sin \delta$

olarak alınması icap eder.

K_T kuvveti, hareket yönünde ve hareket düzlemine paralel olarak
ağırlık merkezine tesir eden veya bu noktaya irca edilmiş
toplam kuvvetleri göstermektedir.

$$K_T = G \cdot a \pm W_T \quad (2.14)$$

$$W_T = \pm W_{Tx} \pm G \cdot \sin \lambda$$

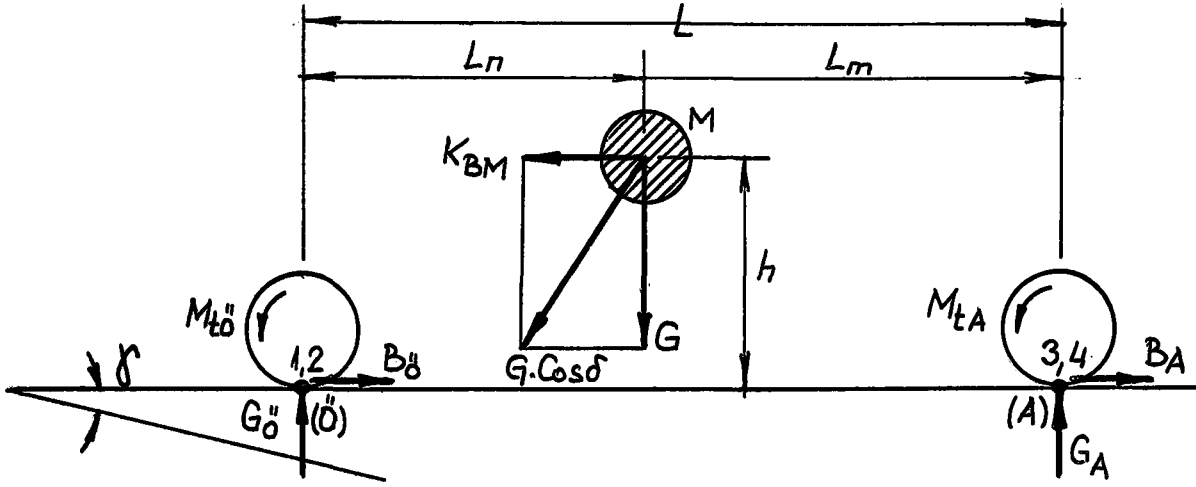
Hareket yönünde tesir eden dış kuvvet $+W_{Tx}$

Hareket yönüne karşı tesir eden dış kuvvet $-W_{Tx}$

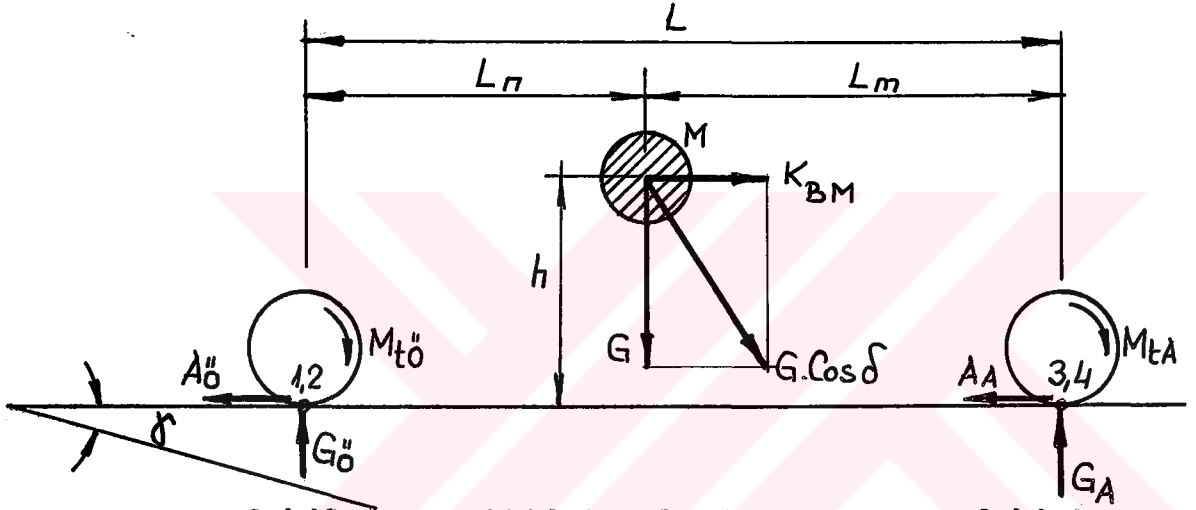
Hareket eğik yüzeyde aşağıya doğru $+G \cdot \sin \lambda$

Hareket eğik yüzeyde yukarıya doğru $-G \cdot \sin \lambda$

olarak alınmalıdır.



Şekil 8, Negatif ivmelendirme esnasındaki kuvvet ve momentlerin gösterilişi



Şekil 9, Pozitif ivmelendirme esnasındaki kuvvet ve momentlerin gösterilişi

2.1.3 Hareket düzlemine paralel ve hareket yönünde tesir eden kuvvetlerin tesbiti

2.1.3.1 Sistemin iki tekerleğe irca edilmiş durumu

Şekil 4 ve 5 yardımıyla negatif ve pozitif ivmelendirme durumları için sistemin denge durum denklemleri yazılabilir.

$$\sum \vec{K}_x = 0, \quad \sum \vec{K}_y = 0, \quad \sum \vec{K}_z = 0, \quad \text{ve} \quad \sum \vec{M}_z = 0$$

2.1.3.1.1 Negatif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler :

$$\vec{B}_{TÖ} = B_{TÖ_x} \cdot \vec{i} + B_{TÖ_y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_{RA} = -Y_{RA_x} \cdot \vec{i} - Y_{RA_y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_{RÖ} = Y_{RÖ_x} \cdot \vec{i} - Y_{RÖ_y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{B}_{TA} = B_{TA_x} \cdot \vec{i} - B_{TA_y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{RM} = -K_{RM_x} \cdot \vec{i} + K_{RM_y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{TM} = -K_{TM_x} \cdot \vec{i} - K_{TM_y} \cdot \vec{j}$$

$$\sum_{n=1}^n \vec{K} = \vec{B}_{T\ddot{O}} + \vec{Y}_{R\ddot{O}} + \vec{K}_{RM} + \vec{K}_{TM} + \vec{Y}_{RA} + \vec{B}_{TA}$$

Sisteme tesir eden kuvvetlerin doğurduğu momentler :

$$\vec{M}_{B_{T\ddot{O}}} = \vec{I\ddot{O}} \wedge \vec{B}_{T\ddot{O}} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ I\ddot{O}_x & I\ddot{O}_y & 0 \\ B_{T\ddot{O}}_x & B_{T\ddot{O}}_y & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (I\ddot{O}_x \cdot B_{T\ddot{O}}_y - I\ddot{O}_y \cdot B_{T\ddot{O}}_x)$$

$$\vec{M}_{Y_{R\ddot{O}}} = \vec{I\ddot{O}} \wedge \vec{Y}_{R\ddot{O}} = 0$$

$$\vec{M}_{K_{RM}} = \vec{M\ddot{O}} \wedge \vec{K}_{RM} = 0$$

$$\vec{M}_{Y_{RA}} = 0$$

$$\vec{M}_{K_{TM}} = \vec{M\ddot{O}} \wedge \vec{K}_{TM} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ M\ddot{O}_x & M\ddot{O}_y & 0 \\ -K_{TM}_x & -K_{TM}_y & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (-M\ddot{O}_x \cdot K_{TM}_y + M\ddot{O}_y \cdot K_{TM}_x)$$

$$\vec{M}_{B_{TA}} = \vec{I\ddot{I}} \wedge \vec{B}_{TA} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ I\ddot{I}_x & I\ddot{I}_y & 0 \\ B_{TA}_x & -B_{TA}_y & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (-I\ddot{I}_x \cdot B_{TA}_y - I\ddot{I}_y \cdot B_{TA}_x)$$

Ön noktaya tesir eden kuvvetlerin momenti $M_{\ddot{O}} = M_{B_{T\ddot{O}}} + M_{Y_{R\ddot{O}}}$

Arka noktaya tesir eden kuvvetlerin momenti $M_A = M_{B_{TA}} + M_{Y_{RA}}$

Ağırlık merkezine tesir eden kuvvetlerin momenti $M_Y = M_{K_{RM}} + M_{K_{TM}}$

olduğuna göre,

$$\vec{\Sigma M} = \vec{M}_{\ddot{O}} + \vec{M}_Y + \vec{M}_A$$

yazılabilir.

2.1.3.1.2 Pozitif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler

$$\vec{A}_{T\ddot{O}} = -A_{T\ddot{O}}_x \cdot \vec{i} - A_{T\ddot{O}}_y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_{R\ddot{O}} = Y_{R\ddot{O}}_x \cdot \vec{i} - Y_{R\ddot{O}}_y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{RM} = -K_{RM}_x \cdot \vec{i} + K_{RM}_y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{TM} = K_{TM}_x \cdot \vec{i} + K_{TM}_y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_{RA} = -Y_{RA}_x \cdot \vec{i} - Y_{RA}_y \cdot \vec{j}$$

$$\vec{A}_{TA} = -A_{TA}_x \cdot \vec{i} + A_{TA}_y \cdot \vec{j}$$

Buradan,
$$\sum_{n=1}^7 \vec{K} = \vec{A}_{T\ddot{O}} + \vec{Y}_{R\ddot{O}} + \vec{K}_{RM} + \vec{K}_{TM} + \vec{Y}_{RA} + \vec{A}_{TA}$$

Sisteme tesir eden kuvvetlerin doğurduğu momentler :

$$\vec{M}_{A_{T\ddot{O}}} = \vec{IO} \wedge \vec{A}_{T\ddot{O}} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ IO_x & IO_y & 0 \\ -A_{T\ddot{O}_x} & -A_{T\ddot{O}_y} & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (-IO_x \cdot A_{T\ddot{O}_y} + IO_y \cdot A_{T\ddot{O}_x})$$

$$\vec{M}_{Y_{R\ddot{O}}} = \vec{IO} \wedge \vec{Y}_{R\ddot{O}} = 0 \quad \vec{M}_{K_{RM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{RM} = 0$$

$$\vec{M}_{Y_{RA}} = \vec{IO} \wedge \vec{Y}_{RA} = 0$$

$$\vec{M}_{K_{TM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{TM} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ MO_x & MO_y & 0 \\ K_{TM_x} & K_{TM_y} & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (MO_x \cdot K_{TM_y} - MO_y \cdot K_{TM_x})$$

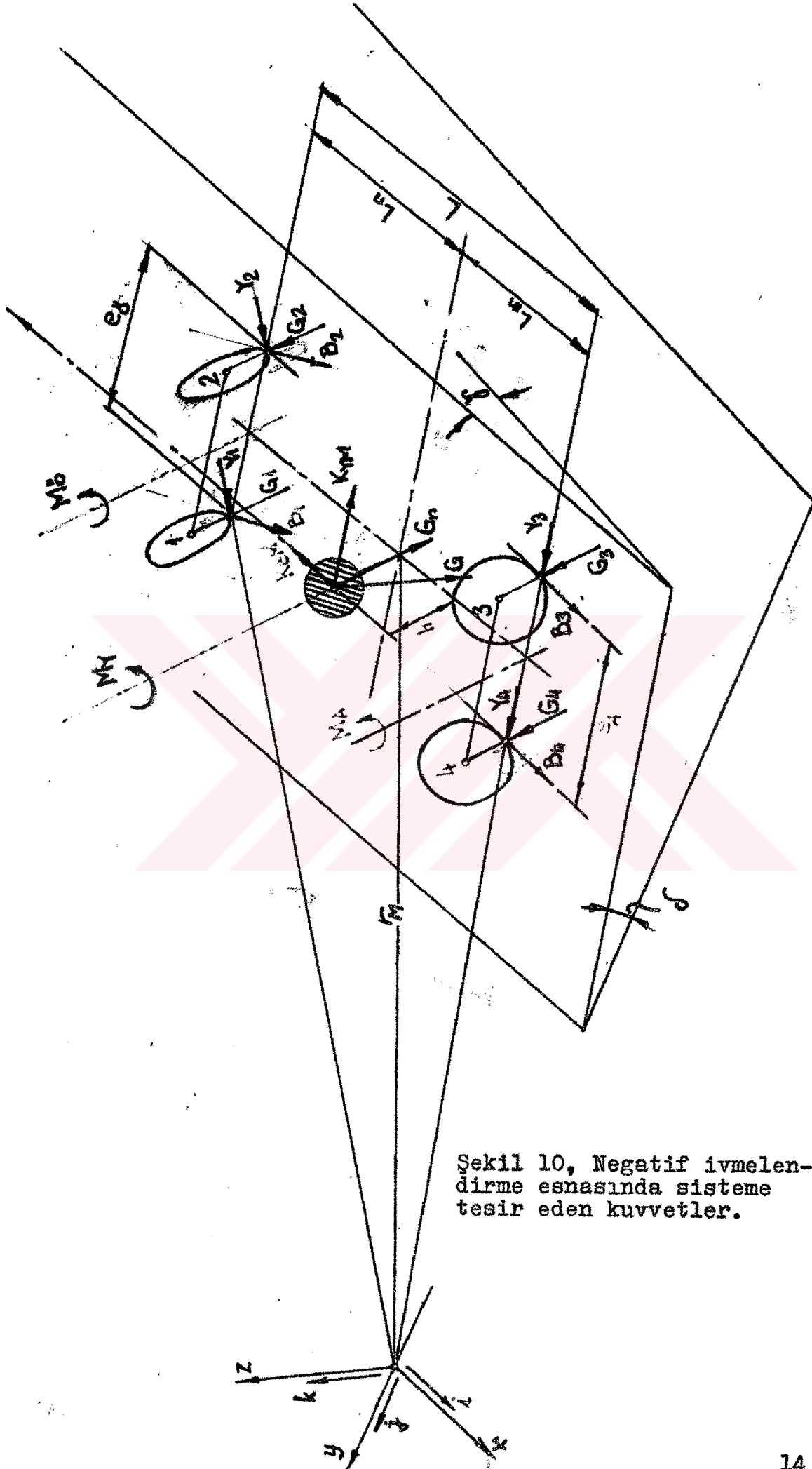
$$\vec{M}_{A_{TA}} = \vec{IO} \wedge \vec{A}_{TA} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0_x & 0_y & 0 \\ -A_{TA_x} & A_{TA_y} & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} (0_x \cdot A_{TA_y} + 0_y \cdot A_{TA_x})$$

$$\sum \vec{M} = \vec{k} \left[(-IO_x \cdot A_{T\ddot{O}_y} + IO_y \cdot A_{T\ddot{O}_x}) + (MO_x \cdot K_{TM_y} - MO_y \cdot K_{TM_x}) + (0_x \cdot A_{TA_y} + 0_y \cdot A_{TA_x}) \right]$$

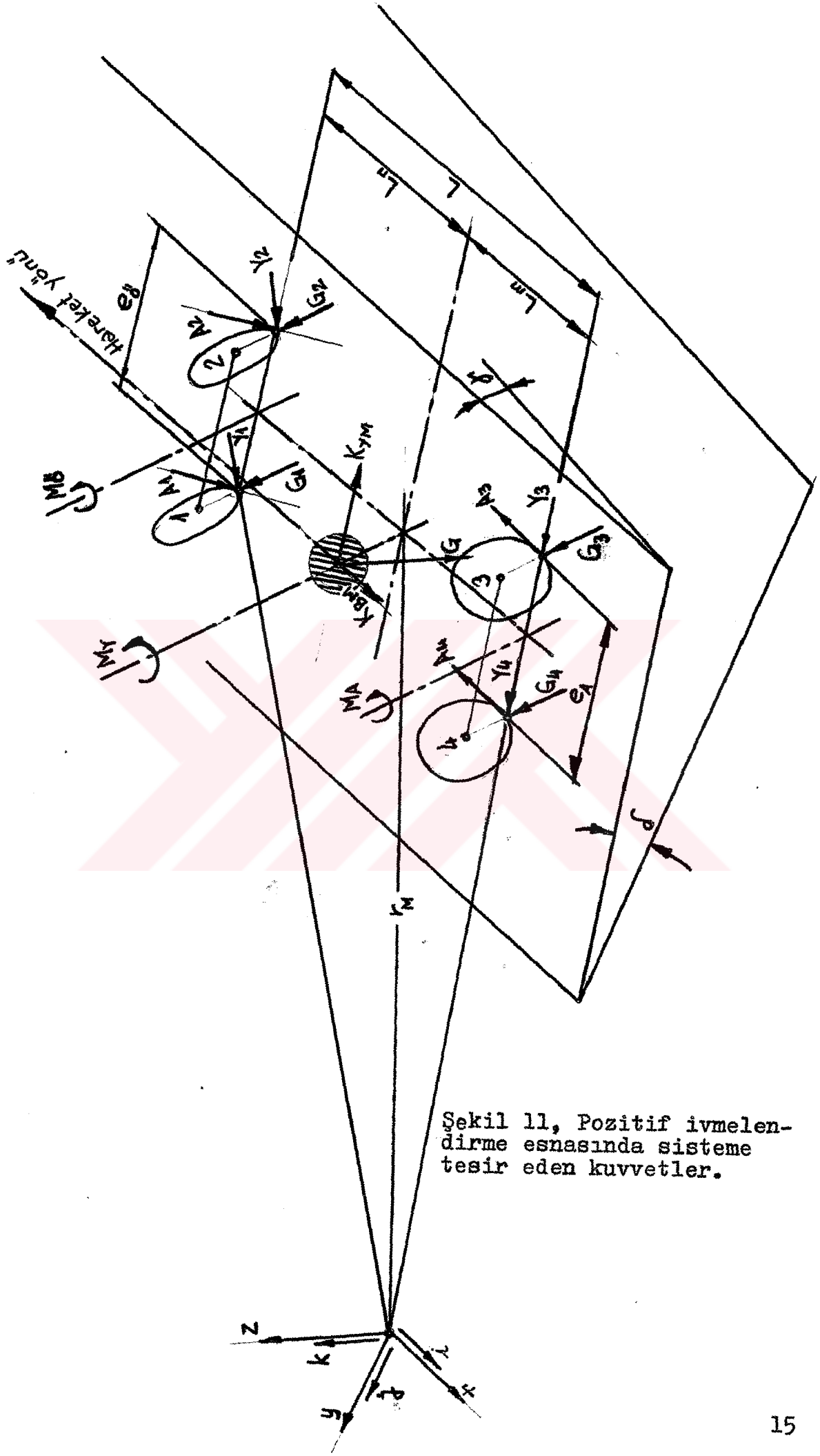
Ön tekerleğe tesir eden kuvvetlerin momentini $\vec{M}_{\ddot{O}} = \vec{M}_{A_{T\ddot{O}}} + \vec{M}_{Y_{R\ddot{O}}}$
 Arka tekerleğe tesir eden kuvvetlerin momentini $\vec{M}_A = \vec{M}_{A_{TA}} + \vec{M}_{Y_{RA}}$
 Ağırılık merkezine tesir eden kuvvetlerin momentini $\vec{M}_Y = \vec{M}_{K_{RM}} + \vec{M}_{K_{TM}}$

olduğuna göre,
$$\sum \vec{M} = \vec{M}_{\ddot{O}} + \vec{M}_A + \vec{M}_Y$$

bulunur.



Sekil 10, Negatif ivmelen-
dirme esnasında sisteme
tesir eden kuvvetler.



Sekil 11, Pozitif ivmelen-
dirme esnasında sisteme
tesir eden kuvvetler.

2.1.3.2 Sistemin dört tekerleğe göre etüdü

Şekil 10 ve 11 ile kütlenin negatif ve pozitif ivmelendirilmesinde, kütleye ve bağıntılı olduğu dört tekerleğe tesir eden kuvvetler gösterilmiştir. Kabul edilen koordinat eksenlerine göre kütlenin bağıntılı olduğu dört tekerleğin koordinatları, r_M in sistemin boyuna eksenine dik olduğu kabul edilerek, yazılabilir.

$$1 \text{ Tekerleğin koordinatları } \left[-L_n, -\left(r_M - \frac{e_{\delta}}{2}\right), -\left(r_M - \frac{e_{\delta}}{2}\right) \sin \delta \right]$$

$$2 \text{ Tekerleğin koordinatları } \left[-L_n, -\left(r_M + \frac{e_{\delta}}{2}\right), -\left(r_M + \frac{e_{\delta}}{2}\right) \sin \delta \right]$$

$$3 \text{ Tekerleğin koordinatları } \left[+L_m, -\left(r_M + \frac{e_A}{2}\right), -\left(r_M + \frac{e_A}{2}\right) \sin \delta \right]$$

$$4 \text{ Tekerleğin koordinatları } \left[+L_m, -\left(r_M - \frac{e_A}{2}\right), -\left(r_M - \frac{e_A}{2}\right) \sin \delta \right]$$

$$\text{Ağırlık merkezi koordinatları } \left[0, -r_M, (r_M \cdot \sin \delta - h) \right]$$

Şekil 10 ve 11 in yardımıyla negatif ve pozitif ivmelendirme durumları için sistemin denge durum denklemleri yazılabilir.

$$\sum K_x = 0, \quad \sum K_y = 0, \quad \sum K_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \quad \sum M_y = 0, \quad \sum M_z = 0$$

2.1.3.2.1 Negatif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler

1. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{B}_1 = B_{1x} \cdot \vec{i} - B_{1y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_1 = Y_{1x} \cdot \vec{i} + Y_{1y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_1 = G_1 \cdot \vec{k}$$

2. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{B}_2 = B_{2x} \cdot \vec{i} - B_{2y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_2 = Y_{2x} \cdot \vec{i} + Y_{2y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_2 = G_2 \cdot \vec{k}$$

3. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{B}_3 = B_{3x} \cdot \vec{i} + B_{3y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_3 = -Y_{3x} \cdot \vec{i} - Y_{3y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_3 = G_3 \cdot \vec{k}$$

4. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{B}_4 = B_{4x} \cdot \vec{i} + B_{4y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_4 = Y_{4x} \cdot \vec{i} - Y_{4y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_4 = G_4 \cdot \vec{k}$$

Ağırlık merkezine tesir eden kuvvetler:

$$\vec{K}_{TM} = -K_{TMx} \cdot \vec{i} + K_{TMy} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{RM} = -K_{RMx} \cdot \vec{i} - K_{RMy} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G} = G \cdot \vec{k}$$

Buradan

$$\sum_{n=1}^n \vec{K} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 + \vec{Y}_1 + \vec{Y}_2 + \vec{Y}_3 + \vec{Y}_4 + \vec{K}_{TM} + \vec{K}_{RM} + \vec{G} + \vec{G}_1 + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{G}_4$$

yazılır.

Sisteme tesir eden momentler:

1. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{B_1} = \vec{l}_O \wedge \vec{B}_1 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ l_{Ox} & l_{Oy} & 0 \\ B_{1x} & -B_{1y} & 0 \end{vmatrix} = \vec{k}(-l_{Ox} \cdot B_{1y} - l_{Oy} \cdot B_{1x})$$

Aynı hesap tarzına dayanarak diğer momentler de hesaplanır.

$$\vec{M}_{Y_1} = \vec{l}_O \wedge \vec{Y}_1 = \vec{k}(l_{Ox} \cdot Y_{1y} - l_{Oy} \cdot Y_{1x})$$

$$\vec{M}_{G_1} = \vec{l}_O \wedge \vec{G}_1 = \vec{i}(l_{Oy} \cdot G_1)$$

2. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{B_2} = \vec{20} \wedge \vec{B}_2 = \vec{k}(-20_x \cdot B_{2y} - 20_y \cdot B_{2x})$$

$$\vec{M}_{Y_2} = \vec{20} \wedge \vec{Y}_2 = \vec{k}(20_x \cdot Y_{2y} - 20_y \cdot Y_{2x})$$

$$\vec{M}_{G_2} = \vec{20} \wedge \vec{G}_2 = \vec{i}(20_y \cdot G_2)$$

3. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{B_3} = \vec{30} \wedge \vec{B}_3 = \vec{k}(30_x \cdot B_{3y} - 30_y \cdot B_{3x})$$

$$\vec{M}_{Y_3} = \vec{30} \wedge \vec{Y}_3 = \vec{k}(-30_x \cdot Y_{3y} + 30_y \cdot Y_{3x})$$

$$\vec{M}_{G_3} = \vec{30} \wedge \vec{G}_3 = \vec{i}(30_y \cdot G_3)$$

4. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{B_4} = \vec{40} \wedge \vec{B}_4 = \vec{k}(40_x \cdot B_{4y} - 40_y \cdot B_{4x})$$

$$\vec{M}_{Y_4} = \vec{40} \wedge \vec{Y}_4 = \vec{k}(-40_x \cdot Y_{4y} - 40_y \cdot Y_{4x})$$

$$\vec{M}_{G_4} = \vec{40} \wedge \vec{G}_4 = \vec{i}(40_y \cdot G_4)$$

Ağırlık merkezine tesir eden kuvvetlerin momentleri:

$$\vec{M}_{K_{TM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{TM} = \vec{i}(-K_{TM_y} \cdot H) - \vec{j}(K_{TM_x} \cdot H) + \vec{k}(-MO_x \cdot K_{TM_y} + MO_y \cdot K_{TM_x})$$

$$\vec{M}_{K_{RM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{RM} = \vec{i}(K_{RM_y} \cdot H) - \vec{j}(K_{RM_x} \cdot H) - \vec{k}(-MO_x \cdot K_{RM_y} - K_{RM_x} \cdot MO_y)$$

$$\vec{M}_G = \vec{MO} \wedge \vec{G} = \vec{i}(-MO_y \cdot G) - \vec{j}(-MO_x \cdot G)$$

$$\vec{M} = \vec{M}_{B_1} + \vec{M}_{B_2} + \vec{M}_{B_3} + \vec{M}_{B_4} + \vec{M}_{Y_1} + \vec{M}_{Y_2} + \vec{M}_{Y_3} + \vec{M}_{Y_4} + \vec{M}_{G_1} + \vec{M}_{G_2} + \vec{M}_{G_3} + \vec{M}_{G_4} + \vec{M}_{K_{TM}} + \vec{M}_{K_{RM}}$$

ve
$$\vec{M}_O = \vec{M}_{B_1} + \vec{M}_{B_2} + \vec{M}_{Y_1} + \vec{M}_{Y_2} + \vec{M}_{G_1} + \vec{M}_{G_2}$$

$$\vec{M}_A = \vec{M}_{B_3} + \vec{M}_{B_4} + \vec{M}_{Y_3} + \vec{M}_{Y_4} + \vec{M}_{G_3} + \vec{M}_{G_4}$$

$$\vec{M}_Y = \vec{M}_{K_{TM}} + \vec{M}_{K_{RM}} + \vec{M}_G$$

olduğundan;

$$\sum \vec{M} = \vec{M}_O + \vec{M}_A + \vec{M}_Y$$

olduğu bulunur.

2.1.3.2.2 Pozitif ivmelendirme esnasında sisteme tesir eden kuvvetler

1. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{A}_1 = -A_{1x} \cdot \vec{i} + A_{1y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_1 = Y_{1x} \cdot \vec{i} + Y_{1y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_1 = G_{1z} \cdot \vec{k}$$

2. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{A}_2 = -A_{2x} \cdot \vec{i} + A_{2y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_2 = Y_{2x} \cdot \vec{i} + Y_{2y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_2 = G_{2z} \cdot \vec{k}$$

3. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{A}_3 = -A_{3x} \cdot \vec{i} + A_{3y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_3 = -Y_{3x} \cdot \vec{i} + Y_{3y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_3 = G_{3z} \cdot \vec{k}$$

4. Tekerleğe tesir eden kuvvetler:

$$\vec{A}_4 = -A_{4x} \cdot \vec{i} + A_{4y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{Y}_4 = Y_{4x} \cdot \vec{i} + Y_{4y} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G}_4 = G_{4z} \cdot \vec{k}$$

Ağırlık merkezine tesir eden kuvvetler:

$$\vec{K}_{BM} = K_{BMx} \cdot \vec{i} - K_{BMy} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{K}_{YM} = -K_{YMy} \cdot \vec{i} - K_{YMy} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{G} = -G_z \cdot \vec{k}$$

Buradan,

$$\sum_{n=1}^7 \vec{K} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \vec{A}_3 + \vec{A}_4 + \vec{Y}_1 + \vec{Y}_2 + \vec{Y}_3 + \vec{Y}_4 + \vec{K}_{BM} + \vec{K}_{TM} + \vec{G}_1 + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{G}_4 + \vec{G}$$

elde edilir.

Sisteme tesir eden momentler:

1. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{A_1} = \vec{10} \wedge \vec{A}_1 = \vec{k}(10_x \cdot A_{1y} + 10_y \cdot A_{1x})$$

$$\vec{M}_{Y_1} = \vec{10} \wedge \vec{Y}_1 = \vec{k}(10_x \cdot Y_{1y} - 10_y \cdot Y_{1x})$$

$$\vec{M}_{G_1} = \vec{10} \wedge \vec{G}_1 = \vec{i}(10_y \cdot G_1)$$

2. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{A_2} = \vec{20} \wedge \vec{A}_2 = \vec{k}(20_x \cdot A_{2y} + 20_y \cdot A_{2x})$$

$$\vec{M}_{Y_2} = \vec{20} \wedge \vec{Y}_2 = \vec{k}(20_x \cdot Y_{2y} - 20_y \cdot Y_{2x})$$

$$\vec{M}_{G_2} = \vec{20} \wedge \vec{G}_2 = \vec{i}(20_y \cdot G_2)$$

3. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{A_3} = \vec{30} \wedge \vec{A}_3 = \vec{k}(30_x \cdot A_{3y} + 30_y \cdot A_{3x})$$

$$\vec{M}_{Y_3} = \vec{30} \wedge \vec{Y}_3 = \vec{k}(-30_x \cdot Y_{3y} + 30_y \cdot Y_{3x})$$

$$\vec{M}_{G_3} = \vec{30} \wedge \vec{G}_3 = \vec{i}(30_y \cdot G_3)$$

4. Tekerleğe tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{A_4} = \vec{40} \wedge \vec{A}_4 = \vec{k}(-40_x \cdot A_{4y} + 40_y \cdot A_{4x})$$

$$\vec{M}_{Y_4} = \vec{40} \wedge \vec{Y}_4 = \vec{k}(40_x \cdot Y_{4y} + 40_y \cdot Y_{4x})$$

$$\vec{M}_{G_4} = \vec{40} \wedge \vec{G}_4 = \vec{i}(40_y \cdot G_4)$$

Ağırlık merkezine tesir eden momentler:

$$\vec{M}_{K_{BM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{TM} = \vec{i}(-K_{BMy} \cdot H) - \vec{j}(K_{BMx} \cdot H) + \vec{k}(-MO_x \cdot K_{BMy} - MO_y \cdot K_{BMx})$$

$$\vec{M}_{K_{YM}} = \vec{MO} \wedge \vec{K}_{YM} = \vec{i}(-MO_x \cdot K_{BMy}) - \vec{j}(K_{YMx} \cdot H) + \vec{k}(-MO_x \cdot K_{YMy} + MO_y \cdot K_{YMx})$$

$$\vec{M}_G = \vec{MO} \wedge \vec{G} = \vec{i}(-MO_y \cdot G) - \vec{j}(-MO_x \cdot G)$$

$$\vec{M} = \vec{M}_{A_1} + \vec{M}_{A_2} + \vec{M}_{A_3} + \vec{M}_{A_4} + \vec{M}_{Y_1} + \vec{M}_{Y_2} + \vec{M}_{Y_3} + \vec{M}_{Y_4} + \vec{M}_{G_1} + \vec{M}_{G_2} + \vec{M}_{G_3} + \vec{M}_{G_4} + \vec{M}_G + \vec{M}_{K_{BM}} + \vec{M}_{K_{YM}}$$

elde edilir.

$$\vec{M}_O = \vec{M}_{A_1} + \vec{M}_{A_2} + \vec{M}_{Y_1} + \vec{M}_{Y_2} + \vec{M}_{G_1} + \vec{M}_{G_2}$$

$$\vec{M}_A = \vec{M}_{A_3} + \vec{M}_{A_4} + \vec{M}_{Y_3} + \vec{M}_{Y_4} + \vec{M}_{G_3} + \vec{M}_{G_4}$$

$$\vec{M}_Y = \vec{M}_{K_{BM}} + \vec{M}_{K_{YM}} + \vec{M}_G$$

olduğundan,

$$\sum \vec{M} = \vec{M}_O + \vec{M}_A + \vec{M}_Y$$

elde edilir.

[Yapılan vektör hesaplarında $H=r_M \cdot \sin \delta - h$ olarak alınmalıdır.]

Hareket yarıçapı r_M 'ye göre hareket yönünde tesir eden kuvvetler (Denkl. 2.13 , 2.14 ve Şekil 6-7)

$$M_T = K_{TM} \cdot r_M - \frac{M_K}{L} (r_O \cdot \sin \alpha_O + r_A \cdot \sin \alpha_A) \quad (2.15)$$

M_K momenti, yüksek ekseninde sisteme tesir eden momentlerin toplamıdır. (Şekil 6a ve 7a)

$$M_K = M_O + M_Y + M_A = P_K \cdot L$$

M_K momenti tarafından meydana getirilen kuvvet çifti (P_K)

$$\text{Ön ekseninde } \frac{M_K}{L} \cdot \sin \alpha_O \quad \text{ve} \quad \frac{M_K}{L} \cdot \cos \alpha_O$$

$$\text{ve arka ekseninde } \frac{M_K}{L} \cdot \sin \alpha_A \quad \text{ve} \quad \frac{M_K}{L} \cdot \cos \alpha_A$$

bileşenlerine ayrılırlar.

Sistemin negatif ivmelendirme esnasındaki frenleyici kuvveti (B) ve pozitif ivmelendirme esnasındaki tahrik edici kuvveti (A), yüksek eksenindeki ağırlık merkezine irca edilirse, bunların, hareket yönünde tesir eden kuvvetlerle (M_K/r_M)

dengeyi sağlamaları gerekmektedir.

$$B = \frac{M_K}{r_M} = \frac{r_O}{r_M} \cdot B_{TÖ} + \frac{r_A}{r_M} \cdot B_{TA} \quad (2.16)$$

$$B_{TÖ} = \text{Ön taraftaki frenleyici kuvvet} \quad B_{TÖ} = (1-\phi)B$$

$$B_{TA} = \text{Arka taraftaki frenleyici kuvvet} \quad B_{TA} = \phi \cdot B$$

Aynı durum pozitif ivmelendirme için de yazılabilir;

$$A_{TÖ} = \text{Ön taraftaki tahrik edici kuvvet} \quad A_{TÖ} = (1-\phi)A$$

$$A_{TA} = \text{Arka taraftaki tahrik edici kuvvet} \quad A_{TA} = \phi \cdot A \quad (2.17)$$

(2.16) Denkleminde

$$B = \frac{M_T}{r_M} = \frac{1}{r_M} \left\{ K_{TM} \cdot r_M - \frac{M_K}{L} \left[r_{\ddot{O}} \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}} + r_A \cdot \sin \alpha_A \right] \right\}$$

(2.14) Denkleminde, $K_{TM} = G \cdot a \pm W_{Tx} \pm G \cdot \sin \gamma$

ve $m = \frac{M_K}{G}$ (2.18)

değerleri yerlerine yazılırsa,

$$B = \frac{G}{r_M} \left\{ (a \pm W_{Tx} \pm \sin \gamma) r_M - \frac{m}{L} \left[r_{\ddot{O}} \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}} + r_A \cdot \sin \alpha_A \right] \right\}$$

elde edilir, böylece negatif ivmelendirme halinde frenleyici kuvvet,

$$B = G \cdot \Lambda_1 \quad (2.19)$$

bulunur.

Aynı şekilde, pozitif ivmelendirme esnasındaki tahrik kuvveti,

$$A = G \cdot \Lambda_1^+ \quad (2.20)$$

elde edilir.

2.14 Yan yön verici (Radyal) kuvvetlerin tesbiti:

2.1.4.1 Negatif ivmelendirme durumu :

(Ö) noktasına göre moment alınır, Şekil 6b

$$Y_{RA} = \frac{1}{L \cdot \cos \alpha_A} \left\{ (K_{RM} \cdot \cos \alpha - K_{TM} \cdot \sin \alpha) L_n - B_{TA} \cdot L \cdot \sin \alpha_A - M_K \right\}$$

bulunur.

Denklem (2.14), (2.17), (2.18) ve (2.19) değerleri yerlerine yazılırsa,

$$Y_{RA} = \frac{G}{L \cdot \cos \alpha_A} \left\{ \left[L_n (k_{RM} \cdot \cos \alpha - w_T \cdot \sin \alpha) - \phi \cdot L \cdot \sin \alpha_A \cdot \Lambda_1 - m \right] - L_n \cdot a \cdot \sin \right\}$$

$$Y_{RA} = \frac{G}{\cos \alpha_A} \left\{ \left[\psi (k_{RM} \cdot \cos \alpha - w_T \cdot \sin \alpha) - \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A - \frac{m}{L} \right] - \psi \cdot a \cdot \sin \alpha \right\}$$

$$= \psi \cdot T_2 - \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A - \frac{m}{L}$$

$$Y_{RA} = \frac{G}{\cos \alpha_A} [L_1 + a \cdot L_2] \quad (2.21)$$

bulunur.

Ön tekerleklerin yan yön verici kuvveti $Y_{RÖ}$ nün bulunabilmesi için arka iki tekerleğin orta noktasındaki yüksek eksen momentinden ($\sum M_A = 0$) hesaplanır.

$$Y_{RÖ} = \frac{1}{L \cdot \cos \alpha_{\delta}} \left[(K_{RM} \cdot \cos \alpha - K_{TM} \cdot \sin \alpha) L_m + B_{TÖ} \cdot L \cdot \sin \alpha_{\delta} + M_K \right]$$

Bu denklemde, (2.14), (2.17) ve (2.18) denklemlerindeki değerleri yerlerine yazılırsa,

$$Y_{RÖ} = \frac{1}{L \cdot \cos \alpha_{\delta}} \left\{ \left[K_{RM} \cdot \cos \alpha - (G \cdot a + w_T) \cdot \sin \alpha \right] L_m + (1 - \phi) G \cdot \Lambda_1 \cdot L \cdot \sin \alpha_{\delta} + m \cdot G \right\} \text{ bulunur,}$$

Böylece,

$$Y_{RÖ} = \frac{G}{\cos \alpha_{\delta}} [L_3 + a \cdot L_4] \quad (2.22)$$

elde edilir.

2.1.4.2 Pozitif ivmelendirme durumu :

(A) noktasına göre moment alınırsa, Şekil 7b

$$Y_{RA} = \frac{1}{L \cdot \cos \alpha_A} \left[(K_{RM} \cdot \cos \alpha + K_{TM} \cdot \sin \alpha) L + A_{TA} \cdot L \cdot \sin \alpha + M_K \right]$$

denklemini elde edilir. Burada K_{TM} , A_{TA} ve M_K nin değerleri 2.1.4.1 de olduğu gibi yukarı denk. yerine yerleştirilirse

$$Y_{RA} = \frac{G}{L \cdot \cos \alpha_A} \left\{ \left[L_n (k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) + \phi \cdot L \cdot \sin \alpha_A \cdot \Lambda_1 + m \right] + L_n \cdot a^+ \cdot \sin \alpha \right\}$$

$$Y_{RA} = \frac{G}{\cos \alpha_A} \left[\psi (k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) + \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A + \frac{m}{L} \right] + \psi \cdot a \cdot \sin \alpha$$

ve böylece,

$$Y_{RA} = \frac{G}{\cos \alpha_A} (L_1^+ + a^+ \cdot L_2^+) \quad (2.23)$$

elde edilir.

Ön iki tekerleğin yan yön verici kuvvetine gelince, (A) noktasına göre $\sum M=0$ yazılarak,

$$Y_{R\ddot{O}} = \frac{1}{L \cdot \cos \alpha_{\ddot{O}}} \left[(K_{RM} \cdot \cos \alpha + K_{TM} \cdot \sin \alpha) L_m - A_{T\ddot{O}} \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}} - M_K \right]$$

Denklemden K_{RM} , $A_{T\ddot{O}}$ ve M_K nin değerleri yerlerine yazılırsa,

$$Y_{R\ddot{O}} = \frac{1}{\cos \alpha_{\ddot{O}}} \left[(K_{RM} \cdot \cos \alpha + K_{TM} \cdot \sin \alpha) \frac{L_m}{L} - \frac{1}{L} \cdot A_{T\ddot{O}} \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}} - \frac{1}{L} \cdot M_K \right]$$

$$Y_{R\ddot{O}} = \frac{G}{\cos \alpha_{\ddot{O}}} (L_3^+ + a \cdot L_4^+) \quad (2.24)$$

Elde edilir.

2.1.5 Hareket düzlemine paralel, sistemin boyuna ekseninde ve ona dik olan kuvvetler

Kütlenin ağırlık merkezine tesir eden kuvvetler K_M olarak gösterilir ve bu kuvvet sistemin boyuna ve yan kuvveti K_{BM} ve K_{YM} bileşenlerine ayrılır. (Şekil 6 ve 7)

$$\vec{K}_{TM} + \vec{K}_{RM} = \vec{K}_{BM} + \vec{K}_{YM} = \vec{K}_M$$

Burada K_{RM} kuvveti Denk. (2.13) ve K_{TM} kuvveti ise Denk. (2.14) ile belirlenmişlerdir.

2.1.5.1 Negatif ivmelendirme durumu:

Böylece, Şekil 6a ve b de verilen sistemin boyuna kuvveti

$$K_{BM} = K_{TM} \cdot \cos \alpha + K_{RM} \cdot \sin \alpha$$

K_{TM} ve K_{RM} nin değerleri yerlerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} K_{BM} &= G (a + w_T) \cos \alpha + G \cdot k_{RM} \cdot \sin \alpha \\ &= G \left[(a + w_T) \cos \alpha + k_{RM} \cdot \sin \alpha \right] \end{aligned}$$

$$K_{BM} = G (T_1 + a \cdot \cos \alpha) \quad (2.25)$$

Kütleye tesir eden yan kuvvet

$$K_{YM} = K_{RM} \cdot \cos\alpha - K_{TM} \cdot \sin\alpha$$

$$= G \left[k_{RM} \cdot \cos\alpha - (a + w_T) \sin\alpha \right]$$

$$K_{YM} = G (T_2 - a \cdot \sin\alpha) \quad (2.26)$$

Sistemin bağlı bulunduğu arka iki tekerleğe (3,4) sistemin boyuna tesir eden frenleyici kuvveti (Şekil 6a ve b)

$$B_A = B_{TA} \cdot \cos\alpha_A - Y_{RA} \cdot \sin\alpha_A$$

B_{TA} Denkl. (2.17) ve Y_{RA} Denkl. (2.18) belirlenmişlerdir. Bu iki değer yukarıdaki denklemde yerlerine yazılırsa;

$$B_A = \phi \cdot G \cdot \Lambda_1 \cdot \cos\alpha_A - \frac{G}{L \cdot \cos\alpha_A} (L_1 + a \cdot L_2) \cdot \sin\alpha_A$$

$$B_A = G \left[\phi \cdot \Lambda_1 \cdot \cos\alpha_A - \frac{\text{tg}\alpha_A}{L} (L_1 + a \cdot L_2) \right]$$

$$B_A = G (\Lambda_2 + a \cdot \Lambda_3) \quad (2.27)$$

Bulunur.

Sistemin bağlı bulunduğu ön iki tekerleğe (1,2) sistemin boyuna tesir eden frenleyici kuvveti (Şekil 6a ve b)

$$B_{\ddot{O}} = B_{T\ddot{O}} \cdot \cos\alpha_{\ddot{O}} + Y_{R\ddot{O}} \cdot \sin\alpha_{\ddot{O}}$$

(2.17), (2.22) denklemleri ile verilen $B_{T\ddot{O}}$ ve $Y_{R\ddot{O}}$ denklemleri yukarıda yerlerine yazılırsa;

$$B_{\ddot{O}} = (1 - \phi) G \cdot \Lambda_1 \cdot \cos\alpha_{\ddot{O}} + \frac{G}{L \cdot \cos\alpha_{\ddot{O}}} (L_3 + a \cdot L_4) \sin\alpha_{\ddot{O}}$$

$$B_{\ddot{O}} = G (\Lambda_4 + a \cdot \Lambda_5) \quad (2.28)$$

Sistemin bağıntılı bulunduğu ön ve arka tekerleklerin yan kuvvetleri $Y_{\ddot{O}}$ ve Y_A ; yan yön verici kuvvetler $Y_{R\ddot{O}}$

Y_{RA} ve frenleyici kuvvetler $B_{TA}, B_{T\ddot{O}}$ kuvvetlerinin bileşenlerinden meydana gelmektedir. (Şekil 6a ve b)

Sistemin arkasında ve sistem boyuna eksenine dik olan yan kuvvet:

$$Y_A = Y_{RA} \cdot \cos \alpha_A + B_{TA} \cdot \sin \alpha_A$$

Denkl. (2.17) ve (2.18) den B_{TA} ve Y_{RA} değerleri yerlerine konularak,

$$Y_A = G \left(\frac{L_1}{L} + \phi \cdot \sin \alpha_A \cdot \Lambda_1 + \frac{L_2}{L} \cdot a \right)$$

$$Y_A = G (L_5 + a \cdot L_6) \quad (2.29)$$

elde edilir.

Aynı şekilde sistemin önünde ve sistem boyuna eksenine dik olan yan kuvvet :

$$Y_{\ddot{O}} = Y_{R\ddot{O}} \cdot \cos \alpha_{\ddot{O}} - B_{T\ddot{O}} \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}}$$

Denklem (2.17) ve (2.22) den $B_{T\ddot{O}}$ ve $Y_{R\ddot{O}}$ nün değerleri yerlerine yazılırsa:

$$Y_{\ddot{O}} = \frac{G}{L \cdot \cos \alpha_{\ddot{O}}} (L_3 + a \cdot L_4) \cdot \cos \alpha_{\ddot{O}} - (1 - \phi) G \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_{\ddot{O}}$$

$$Y_{\ddot{O}} = G (L_7 + a \cdot L_8) \quad (2.30)$$

bulunur.

2.1.5.2 Pozitif ivmelendirme durumu :

Şekil 7a ve b ile verilen sistemin boyuna kuvveti,

$$K_{BM} = K_{TM} \cdot \cos \alpha - K_{RM} \cdot \sin \alpha$$

K_{TM} ve K_{RM} nin 2.1.5.1 ile verilen değerleri yerlerine konulursa,

$$K_{BM} = G \left[(a^+ \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \cos \alpha) - k_{RM} \cdot \sin \alpha \right]$$

$$K_{BM} = G (T_1^+ + a^+ \cdot \cos \alpha) \quad (2.31)$$

Kütleye tesir eden yan kuvvet :

$$\begin{aligned}
 K_{YM} &= K_{RM} \cdot \cos\alpha + K_{TM} \cdot \sin\alpha \\
 &= G \left[k_{RM} \cdot \cos\alpha + (a^+ + w_T) \sin\alpha \right] \\
 K_{YM} &= G(T_2^+ + a^+ \cdot \sin\alpha) \quad (2.32)
 \end{aligned}$$

Sistemin bağlı bulunduğu arka iki tekerleğe (3,4) sistemin boyuna tesir eden frenleyici kuvveti (Şekil 7a ve b);

$$A_A = A_{TA} \cdot \cos\alpha + Y_{RA} \cdot \sin\alpha$$

A_{TA} Denk1.(2.17) ve Y_{RA} Denk1. (2.23) ile belirlenmişlerdir. Bu iki denklem değerleri yerlerine konulursa,

$$\begin{aligned}
 A_A &= G \left[\phi \Lambda_1 \cdot \cos\alpha + \frac{\text{tg}\alpha}{L} (L_1^+ + a \cdot L_2^+) \right] \\
 A_A &= G(\Lambda_2^+ + a^+ \cdot \Lambda_3^+) \quad (2.33)
 \end{aligned}$$

bulunur.

Sistemin bağlı bulunduğu ön iki tekerleğe (1,2) sistemin boyuna yönde tesir eden tahrik kuvveti (Şekil 7a ve b)

$$A_{\ddot{0}} = A_{T\ddot{0}} \cdot \cos\alpha_0 - Y_{R\ddot{0}} \cdot \sin\alpha_0$$

(2.17) ve (2.24) denklemleri ile verilen $A_{T\ddot{0}}$ ve $Y_{R\ddot{0}}$ denklemlerinin değerleri yukarıda yerlerine konulursa,

$$\begin{aligned}
 A_{\ddot{0}} &= (1-\phi) G \cdot \Lambda_1 \cdot \cos\alpha_0 - \frac{G}{L \cdot \cos\alpha_0} (L_3^+ + a^+ L_4^+) \sin\alpha_0 \\
 A_{\ddot{0}} &= G(\Lambda_4^+ + a^+ \cdot \Lambda_5^+) \quad (2.34)
 \end{aligned}$$

bulunur.

Negatif ivmelendirmede olduğu gibi sistemin bağlı bulunduğu ön ve arka tekerleklerin yan kuvvetleri $Y_{\ddot{0}}$ ve Y_A , Şekil 7a ve b de gösterildiği gibi yan yön verici $Y_{R\ddot{0}}$, Y_{RA} ve tahrik kuvvetleri A_{TA} , $A_{T\ddot{0}}$ kuvvetlerinin bileşenlerinden meydana gelmektedir.

Sistemin arkasında ve sistem boyuna eksenine dik olan yan kuvvet,

$$Y_A = Y_{RA} \cdot \cos \alpha_A - A_{TA} \cdot \sin \alpha_A$$

Denklem (2.21) ve (2.17) den:

$$Y_A = G \left(\frac{L_1^+}{L} - \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A + \frac{L_2^+}{L} \cdot a^+ \right)$$

$$Y_A = G(L_5^+ + a \cdot L_6^+) \quad (2.35)$$

Sistemin önünde ve sistem boyuna eksenine dik olan yan kuvvet,

$$Y_{\bar{O}} = Y_{R\bar{O}} \cdot \cos \alpha_{\bar{O}} + A_{T\bar{O}} \cdot \sin \alpha_{\bar{O}}$$

Denkl. (2.17) ve (2.24) den:

$$Y_{\bar{O}} = \frac{G}{L \cdot \cos \alpha_{\bar{O}}} (L_3^+ + a^+ \cdot L_5^+) \cos \alpha_{\bar{O}} + (1 - \phi) G \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_{\bar{O}}$$

$$Y_{\bar{O}} = G(L_7^+ + a^+ \cdot L_8^+) \quad (2.36)$$

2.1.6 Dinamik yükler :

Dinamik eksen yükleri; sistemin pozitif veya negatif ivmelendirilmesi esnasında, bağlı bulunduğu 1-2 ve 3-4 tekerleklerinin eksenlerine, atalet kuvvetlerinin tesiri ile bir yük değişiminin neticesi olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 8 ve 9 ile sistemin boyuna eksen boyunca eğik bir yüzeyde hareket eden kütlelerin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi neticesi olarak meydana gelen kuvvetler ve momentler gösterilmiştir. Sistemin burada, verilen dört tekerlek ile katı bir şekilde bağıntılı olduğu düşünülmüştür. Dinamik eksen yükleri, Şekil 8 ve 9 da gösterilen kuvvet ve momentlerin ve (Şekil 1) deki ağırlık ve merkezkaç kuvvetlerinin bileşenlerinin kaale alınmasıyla bulunacaktır. Hareket düzlemine paralel ve dik düzlemdeki kuvvetlerin toplamı:

$$\sum K_{\text{Paralel}} = \sum K_{\text{dik}} = 0$$

$$K_x = K_z = 0$$

Sistemin bağıntılı olduğu arka iki tekerleğin (3,4) eksen yükü, ön noktaların hareket düzlemi ile temas ettikleri (Ö) noktasındaki momentler $\sum M_{\dot{O}} = 0$ hesaplanır. Negatif ivmelendirme durumunda :

$$G_A = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_n (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M \cdot \sin \delta) - K_{BM} \cdot h - M_t \right]$$

$$G_A = G \cdot \psi (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M \cdot \sin \delta) - K_{BM} \cdot \chi - \frac{M_t}{L} \quad (2.37)$$

Pozitif ivmelendirme durumunda :

$$G_A = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_n (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta) + K_{BM} \cdot h + M_t \right]$$

$$G_A = G \cdot \psi (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta) + K_{BM} \cdot \chi + \frac{M_t}{L} \quad \text{bulunur.}$$

M_t momenti yazılırken, yön verici olarak kabul edilen ön iki tekerlekteki (1,2) dönen kütlelerin sistem boyunca tesir ettikleri kabul edilecektir. Hakikatte $\alpha_{\dot{O}}$ açısı kadar yön verilen ön iki noktada (1,2) $M_{T\dot{O}} \cdot \cos \alpha_{\dot{O}}$ ve $M_{T\dot{O}} \cdot \sin \alpha_{\dot{O}}$ miktarı kadar bir devirme momenti sistemin boyuna ekseninde meydana gelmektedir.

Negatif ivmelendirme durumunda sistemin bağıntılı olduğu ön iki tekerleğin (1,2) eksen yükü, arka iki noktanın (3,4) hareket düzlemi ile temas ettikleri noktalardaki moment $\sum M_A = 0$ yazılırsa ;

$$G_{\dot{O}} = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_m (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M \cdot \sin \delta) + K_{BM} \cdot h + M_t \right]$$

$$G_{\dot{O}} = G \cdot (1 - \psi) (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M \cdot \sin \delta) + K_{BM} \cdot \chi + \frac{M_t}{L} \quad (2.38)$$

bulunur.

Pozitif ivmelendirme durumunda ise,

$$G_{\dot{O}} = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_m (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta) - K_{BM} \cdot h - M_t \right]$$

$$G_{\dot{O}} = G \cdot (1 - \psi) (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta) - K_{BM} \cdot \chi - \frac{M_t}{L} \quad (2.39)$$

olur.

Denklem (2.38) ve (2.39) da verilen $+a_M$ şu şekilde düşü-
nülmalıdır.

Kütlenin hareket yörüngesinin yükselişinde $+a_M$

Kütlenin hareket yörüngesinin azalışında $-a_M$

(2.38) ve (2.39) denklemlerinden açık olarak görüldüğü ü-
zere, ön ve arka iki tekerleğin (1,2 ve 3,4) eksen yükleri
negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında, kütle atalet
kuvvetleri ($K_{BM} \cdot h/L$) ile bu tekerleklerdeki dönen kütlele-
rin tesirleri (M_t/L) altında bulunmaktadır.

M_t/L değeri, arka iki tekerleğin (3,4) eksen yükünün, ne-
gatif ivmelendirme esnasında azaltan bir tesir gösterir-
ken, ön iki tekerleğin (1,2) yükünü artıracak şekilde te-
sir etmektedirler.

Pozitif ivmelendirme esnasında ise M_t/L nin tesiri ar-
ka iki tekerleğin eksen yükünü, arttıracak ve ön iki teker-
leğin (1,2) ise azaltacak şekilde tesir ettiği görülmekte-
dir.

$K_{BM} \cdot h/L$ değeri ise negatif ivmelendirme esnasında ar-
ka tekerleklerin yükünü azaltırken, ön tekerleklerinkini
arttırmaktadır. Pozitif ivmelendirme esnasında ise arka
tekerleklerin yükü arttarken, ön tekerleklerinkini azalt-
maktadır.

Ön ve arka tekerleklerin eksen yükleri sistemin negatif
ve pozitif ivmelendirilmesinin (a, a^+) bir fonksiyonu ola-
rak ifade edilebilirler.

Şöyleki,

$$M_t = M_{tÖ} + M_{tA}$$

$$M_{tÖ} = I_{tÖ} \cdot a \quad , \quad M_{tA} = I_{tA} \cdot a$$

$$M_t = a(I_{tÖ} + I_{tA})$$

$$i_t = i_{tÖ} + i_{tA} = \frac{I_{tÖ}}{G} + \frac{I_{tA}}{G} = \frac{I_{tÖ} + I_{tA}}{G} = \frac{M_t}{a \cdot G}$$

$$i_t^+ = \frac{M_t}{a^+ \cdot G}$$

$$M_{tÖ} = a \cdot G \cdot i_{tÖ} \quad , \quad M_{tA} = a \cdot G \cdot i_{tA}$$

$$M_t = a \cdot G \cdot i_t \quad (2.40)$$

Denkl.(2.40) a benzer olarak

$$M_t = a^+ \cdot G \cdot i_t$$

yazılabilir.

K_{BM} ve M_t nin denklem (2.25) ve (2.40) değerleri denklem (2.38 ve 2.39) yerlerine konularak,

Negatif ivmelendirme durumunda, arka tekerleklerin eksen yükleri:

$$G_A = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_n (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm a_M} \cdot \sin \delta) - G (T_1 + a \cdot \cos \alpha) h - a \cdot G \cdot i_t \right]$$

$$G_A = G \left[\psi (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm a_M} \cdot \sin \delta) - \frac{1}{L} (T_1 + a \cdot \cos \alpha) - \frac{a}{L} \cdot i_t \right]$$

$$G_A = G (\Lambda_6 + a \cdot \Lambda_7) \quad (2.41)$$

Aynı şekilde ön iki tekerleğin eksen yükleri :

$$G_{\bar{O}} = \frac{1}{L} \left[G \cdot L_m (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm a_M} \cdot \sin \delta) + G \cdot (T_1 + a \cdot \cos \alpha) h + a \cdot G \cdot i_t \right]$$

$$G_{\bar{O}} = G (1 - \psi) (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm a_M} \cdot \sin \delta) + \chi (T_1 + a \cdot \cos \alpha) \cdot G + \frac{a}{L} \cdot G \cdot i_t$$

$$G_{\bar{O}} = G (\Lambda_8 + a \cdot \Lambda_9) \quad (2.42)$$

elde edilir.

Pozitif ivmelendirme durumu:

$$G_A = \psi \cdot G (\cos \gamma \cdot \cos \delta_{\pm a_M} \cdot \sin \delta) + G (T_1^+ + a^+ \cdot \cos \alpha) \chi - a^+ \cdot G \cdot \frac{i_t}{L}$$

$$G_A = G (\Lambda_6^+ + a \cdot \Lambda_7^+) \quad (2.43)$$

elde edilir.

Aynı şekilde ön tekerleklerin dinamik yükleri, denk. (2.25) den K_{BM} ve denk. (2.40) dan M_t değerleri yerlerine yazılarak elde edilir.

$$G_{\ddot{y}} = G(1-\Psi)(\cos\delta \cdot \cos\delta + a_M \cdot \sin\delta) - G(-k_{RM} \cdot \sin\alpha + w_T \cdot \cos\alpha + a \cdot \cos\alpha) \chi + a \cdot \frac{G}{L} \cdot i_t$$

$$G_{\ddot{y}} = G(\Lambda_8^+ + a \cdot \Lambda_9^+) \quad (2.44)$$

2.1.7 Eğri düzlem üzerindeki hareket esnasında kütlelinin yana yatması:

Kütlelinin yana yatması olanağı ön ve arka tekerleklerin eksen düzlemlerinde meydana gelen dönme merkezleri ile belirlenirler. Dönme merkezlerinin yeri, kütlelinin ön ve arka tekerleklerin bağlantı durumu ile ilgilidir.

Tekerlekler üzerinde meydana gelen yana yatma miktarı, hareket düzleminin eğimi (δ) ve ön, arka tekerleklerin kütle ile bağlandığı yayların basılma miktarı (Δ) ile belirlenir.

Kütlelinin arka ve ön tekerleklerin eksenlerindeki yana yatma miktarları :

$$\begin{aligned} v_A &= \delta_A + \Delta_A \\ v_{\ddot{y}} &= \delta_{\ddot{y}} + \Delta_{\ddot{y}} \end{aligned} \quad (2.45)$$

$v_A \neq v_{\ddot{y}}$ olması halinde kütle üzerinde bir burulma olduğunu ortaya çıkarır. Böylece kütle gövdesindeki burulma miktarı,

$$\varphi = v_{\ddot{y}} - v_A \quad (2.46)$$

şeklinde yazılabilir.

Kütlelinin ağırlık merkezinde meydana gelen yatma miktarı,

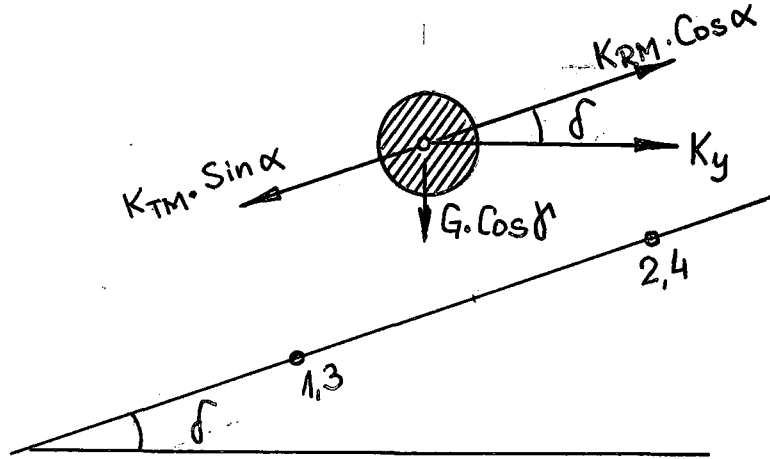
$$v = v_A + \frac{L_m}{L} \cdot \varphi = v_{\ddot{y}} - \frac{L_n}{L} \cdot \varphi$$

$$v = v_A + (1 - \Psi) \varphi = v_{\ddot{y}} - \Psi \cdot \varphi \quad (2.47)$$

şeklinde yazılabilir.

Kütlenin ağırlık merkezine tesir eden enine kuvvet K_y ve düşey kuvvet G_d nin değerleri negatif ivmelendirme için denkl. (2.25) ve (2.26), pozitif ivmelendirme için ise (2.31 ve 2.32) denklemlerine benzer şekilde elde edilir. (Şekil 12,13 ve 14)

Negatif ivmelendirme durumu:



Şekil 12, Negatif ivmelendirme esnasında kütlenin yana yatması halinde ağırlık merkezine tesir eden kuvvetler.

$$K_{TM} = G(a + w_T) = G(a + w_{Tx} + \text{Sin} \delta)$$

$$K_{RM} = G(a_M + w_R \cdot \text{Cos} \delta) = G(a_M + w_{Ry} \cdot \text{Cos} \delta)$$

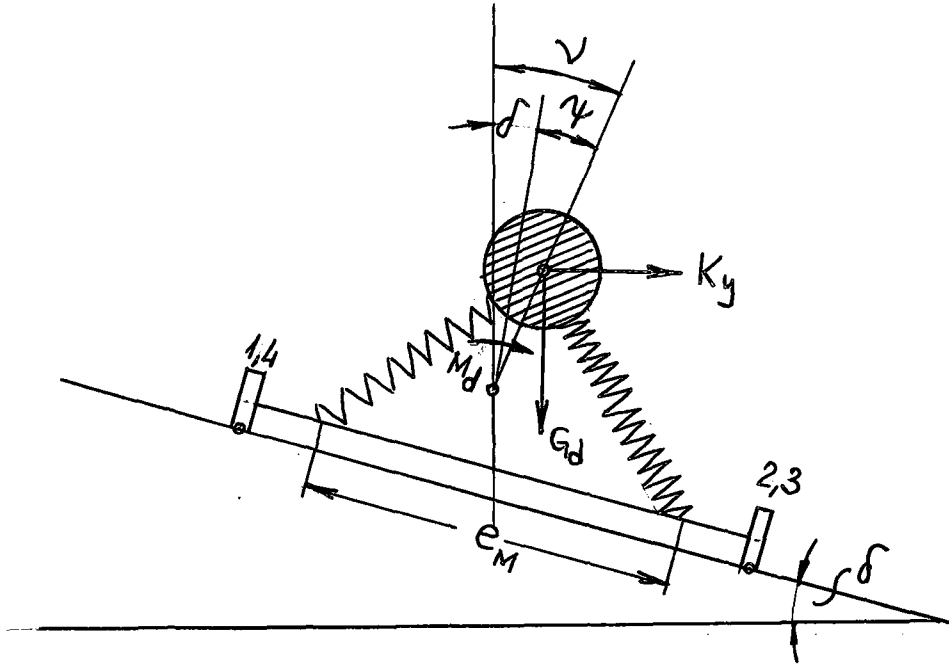
$$K_y = G' (K_{RM} \cdot \text{Cos} \alpha - K_{TM} \cdot \text{Sin} \alpha \cdot \text{Cos} \delta)$$

$$K_y = G' \left[(a_M + w_{Ry} \cdot \text{Cos} \delta) \text{Cos} \alpha - (a + w_{Ty} + \text{Sin} \delta) \text{Sin} \alpha \cdot \text{Cos} \delta \right] \quad (2.48)$$

elde edilir.

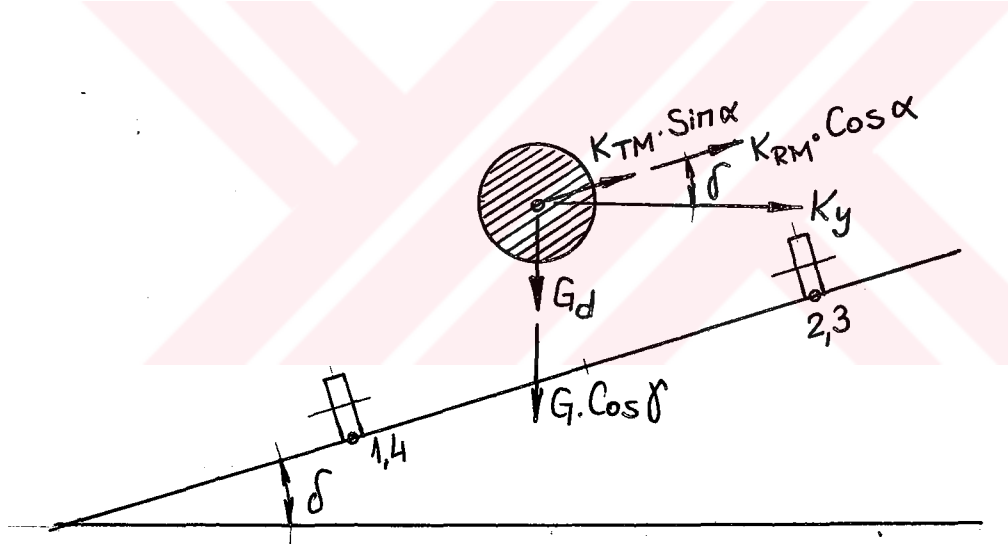
(2.48) denkleminde verilen işaretlerin aşağıdaki gibi alınması gerekmektedir.

Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması halinde	+Sin δ
Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması halinde	-Sin δ
Dış kuvvet sağa (dışa) doğru tesir ediyorsa	+w _{Ry}
Dış kuvvet sola (içe) doğru tesir ediyorsa	-w _{Ry}
Dış kuvvet hareket yönünde tesir ediyorsa	+w _{Ty}
Dış kuvvet hareket yönünün tersine tesir ediyorsa	-w _{Ty}



Şekil 13, Kütle gövdesinin enine kuvvetlerin tesiri altında yana yatması

Pozitif ivmelendirme durumu :



Şekil 14, Pozitif ivmelendirmede kütleinin yana yatması halinde ağırlık merkezine tesir eden kuvvetler.

Denkl. (2.48) e göre

$$K_y = G' \left[(a_M \pm w_{Ry} \cdot \cos \delta) \cos \alpha + (a_{\pm w'_{Ty} \pm \sin \delta}) \sin \alpha \cdot \cos \delta \right] \quad (2.49)$$

Denkl. (2.48) de verilen işaretler burada da geçerlidir.

Açıların küçük olması halinde,

$$K_y = K'_{YM} = K_{YM} \frac{G'}{G} \quad (2.50)$$

olarak yazılabilir.

Denkl. (2.48) de verilen işaretlerin dikkate alınmasıyla Şekil 12 ve 14 yardımıyla düşey kuvvet elde edilir.

Negatif ivmelendirme durumu :

$$G_d = K_{TM} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta + G' \cdot \cos \delta - K_{RM} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \delta$$

$$G_d = G' \left\{ \cos \delta + \left[(a_{Ty} + w'_{Ty} \pm \sin \delta) \sin \alpha \cdot \cos \delta - (a_{Ry} + w'_{Ry}) \cos \alpha \cdot \sin \delta \right] \right\} \quad (2.51)$$

Pozitif ivmelendirme durumu :

$$G_d = G' \left\{ \cos \delta + \left[(a_{Ty} + w'_{Ty} \pm \sin \delta) \sin \alpha \cdot \cos \delta + (a_{Ry} + w'_{Ry}) \cos \alpha \cdot \sin \delta \right] \right\} \quad (2.52)$$

Küçük açılar için,

$$G_d = G' \cdot \cos \delta \quad (2.53)$$

bulunur.

Bu kuvvetler tarafından meydana getirilen ve kütlelerin yatma eksenine etrafındaki momenti :

$$M_d = K_y \cdot h \cdot \cos \delta + G_d \cdot h \cdot \sin \delta \quad (2.54)$$

Kütleye tesir eden enine kuvvetler sistemin ön ve arka eksen yayları tarafından karşılanarak hareket yüzeyine iletilirler.

$$M_{d\ddot{O}} + M_{dA} - c_{d\ddot{O}} \cdot \psi_{\ddot{O}} - c_{dA} \cdot \psi_A = 0 \quad (2.55)$$

Sistemin arka tekerleklerindeki yük değişimi, bir e_A iz genişliğinde,

$$\Delta Q_A = \frac{c_{dA} \cdot \psi_A}{e_A} = \frac{M_{dA}}{e_A} \quad (2.56)$$

Sistemin ön tekerleklerindeki yük değişimi, bir $e_{\ddot{O}}$ iz genişliğinde,

$$\Delta Q_{\ddot{O}} = \frac{c_{d\ddot{O}} \cdot \psi_{\ddot{O}}}{e_{\ddot{O}}} = \frac{M_{d\ddot{O}}}{e_{\ddot{O}}} \quad (2.57)$$

bulunur.

2.1.8 Kütlenin bağıntılı bulunduğu ön ve arka tekerleklerin dinamik yükleri

Kütleye tesir eden enine kuvvetler ile yaylandırılmamış eksen kütlelerine tesir eden yan kuvvetler dinamik eksen yüklerini ve dolayısıyla ön ve arka tekerleklerin dinamik yüklerini meydana getirmektedirler.

Ön ve arkada bulunan her iki tekerleği birbirine bağlayan eksen tarafından meydana getirilen ve eksenin eğik hareket açısına bağlı olan yan kuvvet K_e , kendisine tesir eden radyal ve teğetsel kuvvetlerden teşekkül etmektedir. Denk1. (2.13 ve 2.14)

Negatif ivmelendirme durumu :

$$K_e = K_{Re} \cdot \cos\alpha - K_{Te} \cdot \sin\alpha$$

$$K_{Re} = G_e (a_{Me} \cdot \cos\delta + w_R) = G_e (a_{Me} \cdot \cos\delta + w_{Rey} + \cos\delta \cdot \sin\delta)$$

$$K_{Te} = G_e (a + w_T) = G_e (a + w_{Tey} + \sin\delta)$$

değerleri üstteki denklemde yerlerine konularsa,

$$K_e = G_e \left[(a_{Me} \cdot \cos\delta + w_{Rey} + \cos\delta \cdot \sin\delta) \cos\alpha - (a + w_{Tey} + \sin\delta) \sin\alpha \right] \quad (2.58)$$

elde edilir.

Denk1. (2.58) in işaretleri aşağıda verildiği gibi alınmalıdır.

Hareket yüzeyi eğimi sağa (dışa) doğru ise	+Cos δ . Sin δ
Hareket yüzeyi eğimi sola (içe) doğru ise	-Cos δ . Sin δ
Dış kuvvetin sağa doğru tesir etmesi halinde	+w _{Rey}
Dış kuvvetin sola doğru tesir etmesi halinde	-w _{Rey}
Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması	+Sin δ
Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması	-Sin δ
Dış kuvvetin hareket yönünde tesir etmesi	+w _{Tey}
Dış kuvvetin hareket yönüne ters tesir etmesi	-w _{Tey}

Pozitif ivmelendirme durumu :

$$K_e = K_{Re} \cdot \cos\alpha + K_{Te} \cdot \sin\alpha$$

K_{Re} ve K_{Te} nin değerleri yerlerine yazılırsa,

$$K_{Re} = G_e (a_{Me}^+ \cdot \cos\delta + w_R) = G_e (a_{Me}^+ \cdot \cos\delta + w_{Rey} + \cos\delta \cdot \sin\delta)$$

$$K_{Te} = G_e (a^+ \pm w_T) = G_e (a^+ \pm w_{Tey} \pm \sin \delta)$$

buradan

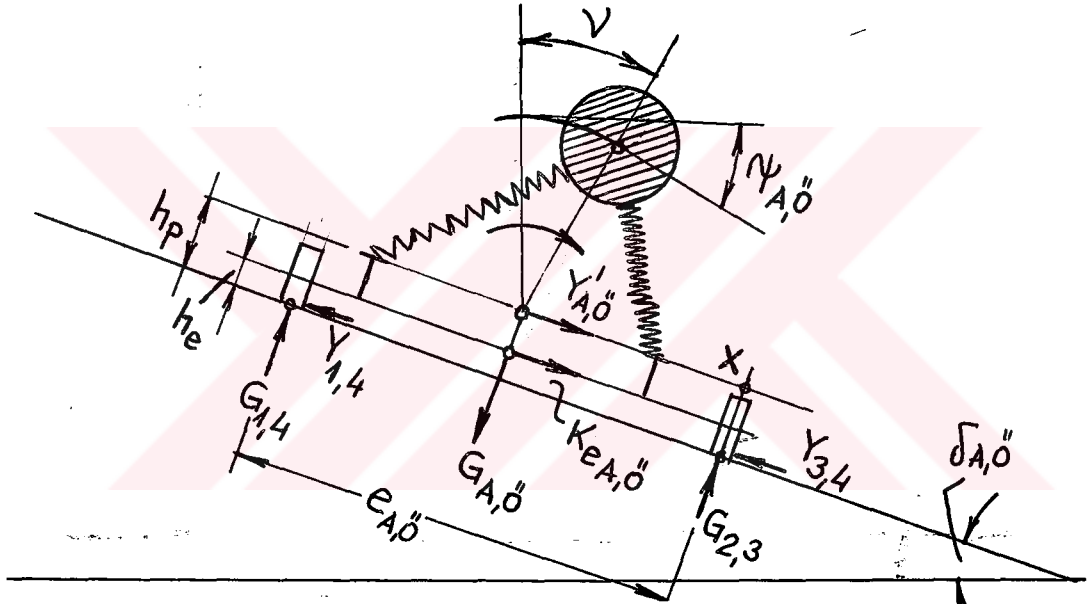
$$K_e = G_e \left[(a_{Me}^+ \cdot \cos \delta \pm w_{Rey} \pm \cos \delta \cdot \sin \delta) \cos \alpha + (a^+ \pm w_{Tey} \pm \sin \delta) \sin \alpha \right] \quad (2.59)$$

Denkl. (2.58) de verilen işaretler (2.59) içinde caridir.

Tekerlek eksenlerinin yan kuvveti K_e , kütleden tekerlek eksenlerine iletilen yan kuvvet Y'_e ile tekerleklere tesir eden yan kuvvet Y arasındaki farktır.

$$Y' = Y - K_e$$

Böylece sistemin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi esnasında hareket eğrisinin (yörüngesinin) içindeki ve dışındaki tekerlerin dinamik yükü Şekil 15'e göre :



Şekil 15, Negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında tekerleklere tesir eden dinamik yükler.

Negatif ivmelendirme durumu :

X noktasına göre moment alınırsa,

$$G_{3,4} \cdot e_{\ddot{O},A} - 1/2 \cdot G_A \cdot e_{\ddot{O},A} + \Delta Q_A \cdot e_{\ddot{O},A} + Y_A \cdot h_p + K_e (h_p - h_e) = 0$$

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} G_A \pm Q_A \pm \frac{1}{e_A} \left[Y_A \cdot h_p - K_e (h_p - h_e) \right]$$

Burada K_e nin Denk1.(2.58) deki değeri yerine konursa,

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} \cdot G_A + \Delta Q_A + \frac{1}{e_A} \left\{ Y_A \cdot h_p - G_{eA} \left[(a_{Me} \cdot \cos \delta_A + \cos \chi \cdot \sin \delta_A + w_{Rex}) \cos \alpha_A \right. \right. \\ \left. \left. - (a + w_{Tex} + \sin \chi) \sin \alpha_A \right] (h_p - h_e) \right\} \quad (2.60)$$

elde edilir.

Bu denklemdeki G_A , Y_A ve ΔQ_A nın Denk1. (2.41, 2.29 ve 2.56) değerleri yerlerine konulmalıdır. Ayrıca, aşağıdaki durumda kaale alınması lâzımdır.

Hareket eğrisinin dışındaki tekerlekler için $+ Q_n + \frac{1}{e_n} \left\{ \dots \right\}$

Hareket eğrisinin içindeki tekerlekler için $- Q_n - \frac{1}{e_n} \left\{ \dots \right\}$

Ön tekerleklerin dinamik yükleri :

Aynı şekilde "X_n" noktasına göre moment alınır,

$$G_{1,2} = \frac{1}{2} \cdot G_{\ddot{O}} + \Delta Q_{\ddot{O}} + \frac{1}{e_{\ddot{O}}} \left\{ Y_{\ddot{O}} \cdot h_p - G_{e\ddot{O}} \left[(a_{Me} \cdot \cos \delta_{\ddot{O}} + \cos \chi \cdot \sin \delta_{\ddot{O}} + w_{Rex}) \cos \alpha_{\ddot{O}} \right. \right. \\ \left. \left. + (a + \sin \chi + w_{Tex}) \sin \alpha_{\ddot{O}} \right] (h_p - h_e) \right\} \quad (2.61)$$

elde edilir.

Bu denklemdeki $G_{\ddot{O}}$, $Y_{\ddot{O}}$ ve $\Delta Q_{\ddot{O}}$ nün Denk1.(2.30-2.44 ve 2.57) değerleri yerlerine konulmalı ve denklem (2.58) in işaretleri kaale alınmalıdır.

Pozitif ivmelendirme durumu :

Arka tekerleklerin dinamik yükleri,

"X_n" noktasına göre moment alınarak,

$$G_{3,4} \cdot e_{\ddot{O}A} - \frac{1}{2} G_A \cdot e_{\ddot{O}A} + \Delta Q_A \cdot e_{\ddot{O}A} + Y_A \cdot h_p + K_e (h_p - h_e) = 0$$

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} G_A + \Delta Q_A + \frac{1}{e_A} \left[Y_A \cdot h_p - K_e (h_p - h_e) \right]$$

K_e nin Denk1. (2.59) değeri yerine konarak,

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} G_{A\pm} \Delta Q_{A\pm} \frac{1}{e_A} \left\{ Y_A \cdot h_p - G_{eA} \left[(a_{Me}^+ \cdot \cos \delta_{A\pm} \cos \gamma \cdot \sin \delta_{A\pm} w_{Rex}) \cos \alpha_A \right. \right. \\ \left. \left. + (a_{\pm}^+ \sin \delta_{\pm} w_{Tex}) \sin \alpha_A \right] (h_p - h_e) \right\} \quad (2.62)$$

elde edilir.

Bu denklemdeki G_A, Y_A ve Q_A nın Denkl. (2.35-2.43 ve 2.56) daki değerleri yerlerine konulmalı ve aşağıdaki durumun kaale alınması gereklidir.

Hareket eğrisinin dışındaki tekerlek için $+\Delta Q_n + \frac{1}{e_n} \left\{ \dots \right\}$

Hareket eğrisinin içindeki tekerlek için $-\Delta Q_n - \frac{1}{e_n} \left\{ \dots \right\}$

Ön tekerleklerin dinamik yükleri,

Aynı şekilde X noktasına göre moment alınarak,

$$G_{1,2} = \frac{1}{2} G_{O\pm} \Delta Q_{O\pm} \frac{1}{e_O} \left\{ Y_O \cdot h_p - G_{eO} \left[(a_{Me}^+ \cdot \cos \delta_{O\pm} \cos \gamma \cdot \sin \delta_{O\pm} w_{Rex}) \cos \alpha_O \right. \right. \\ \left. \left. - (a_{\pm}^+ \sin \delta_{\pm} w_{Tex}) \sin \alpha_O \right] (h_p - h_e) \right\} \quad (2.63)$$

elde edilir.

Bu Denklemdeki G_O, Y_O ve ΔQ_O nün Denkl. (2.44-2.37 ve 2.57) değerleri yerlerine yerleştirilerek Denkl. (2.58) in işaretleri kaale alınmalıdır.

Denkl. (2.61), (2.62), (2.63) ve (2.64) ile verilen ve eğri bir yüzey üzerinde hareket eden ve yana yatma ile kütle- nin bağıntılı olduğu tekerleklerdeki dinamik yükleri $K=G (c_1+c_2 \cdot a)$ şeklinde ifade edilememektedir. Bu sebeple kütle- nin eğri bir yüzeydeki hareketi esnasındaki negatif ve pozitif ivmelendirme ile meydana gelen frenlemenin ve tahrik durumunun hesaplanması, tekerleklerin dinamik yük- leri ve kütle- nin enine yatması, frenleme ve tahrik duru- muna bağlı olarak hesaplanabilmekle beraber, mümkün de- ğildir.

Negatif ve pozitif ivmelendirme durumunun kritiği i- çin elde edilen frenleme ve tahrik değerleri önemli oldu- ğundan bunun basitleştirilmiş şartlar altında hesaplanması gerekir. Bu sebeple, kütle- nin ön ve arka tekerleklerde yaysız olarak, daha doğrusu rijit olarak bağlandığı ve böylece eğri bir yüzeydeki hareketi esnasında yana yata- mıyacağı kabul edilecektir.

Yan kuvvetler K_y , kütle- nin bağıntılı olduğu tekerlek- rin hareket yüzeyinin boyuna ekseninde bir devirme mo- menti tesiri yaparak tekerleklerin yüklerinin değişimini ortaya çıkarmaktadır.

Sistemin arka tekerleklerinin yük değişimi Şekil 7'ye göre ve arka tekerleklere irca edilmiş kuvvetler ile :

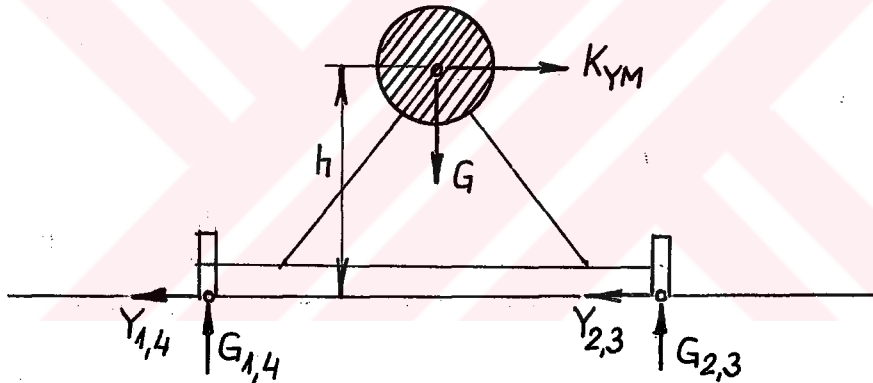
$$\frac{L_n}{L} \cdot K_{YM}$$

$$Q_A = \frac{1}{L \cdot e_A} (L_n \cdot h \cdot K_{YM}) = \frac{G}{e_A} \cdot \psi \cdot h \cdot k_{YM} = G \cdot \psi \cdot Z_A \cdot k_{YM} \quad (2.64)$$

ve ön tekerleklere irca edilmiş kuvvetler ile :

$$\frac{L_m}{L} \cdot K_{YM}$$

$$Q_0 = \frac{1}{L \cdot e_0} (L_m \cdot h \cdot K_{YM}) = \frac{G}{e_0} \cdot (1 - \psi) \cdot h \cdot k_{YM} = G \cdot (1 - \psi) \cdot Z_0 \cdot k_{YM} \quad (2.65)$$



Şekil 16, Yaylandırılmamış sistemde kütleli tekerleğin bağlı bulunduğu tekerleklerin dinamik yükü.

Tekerleklerin dinamik yükleri, dinamik eksen yükleri Denk1.(2.41 ve 2.42) den ve devirme momentinin tesiri ile meydana gelen yük değişimi ise Denk1. (2.64 ve 2.65) ile hesaplanır.

Arka tekerleklerin eğri yüzeydeki negatif ivmelendirme esnasındaki iç ve dış tekerleklerin dinamik yük değişimi :

$$G_{Ad,i} = \frac{1}{2} G_A \pm \Delta Q_A$$

Denkl. (2.26, 2.41 ve 2.64) değerler yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa,

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{L} (\Lambda_6 + a \cdot \Lambda_7) \pm \frac{G}{L \cdot e_A} (L_n \cdot h \cdot k_{YM}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{L} (\Lambda_6 + a \cdot \Lambda_7) \pm \frac{G}{L \cdot e_A} \left\{ L_n \cdot h \left[T_2 - (a \pm \sin \delta) \sin \alpha \right] \right\}$$

$$G_{3,4} = G \left\{ \left(\frac{1}{2} \Lambda_6 \pm \frac{\Psi}{e_A} \cdot h \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 - \frac{\Psi \cdot h}{e_A} \cdot \sin \alpha \right) a - \sin \delta \left[\pm \frac{\chi}{2} \cdot \cos \alpha \pm \frac{\Psi}{e_A} \cdot h (\pm \sin \alpha) \right] \right\}$$

$$G_{3,4} = G \left\{ \left(\frac{1}{2} \Lambda_6 \pm \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 - \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \cdot \sin \alpha \right) a - \sin \delta \left[\pm \frac{\chi}{2} \cdot \cos \alpha \pm \Psi \cdot Z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right] \right\}$$

$$G_{3,4} = G \left[Z_{A1} + a \cdot Z_{A2} + Z_{A3} \cdot \sin \delta \right] \quad (2.66)$$

elde edilir.

Ön tekerleklerin, eğri düzlemdeki negatif ivmelendirilmesi esnasındaki iç ve dış tekerlek dinamik yük değişimi :

$$G_{1,2} = \frac{1}{2} G_{\ddot{O}} \pm \Delta Q_{\ddot{O}}$$

Denkl. (2.26-2.42 ve 2.65) değerler yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa,

$$G_{1,2} = G \left[Z_{\ddot{O}1} + a \cdot Z_{\ddot{O}2} + Z_{\ddot{O}3} \cdot \sin \delta \right] \quad (2.67)$$

elde edilir.

Hareket eğrisinin dışındaki tekerlekler için $+\Delta Q_A$ ve $+\Delta Q_{\ddot{O}}$

Hareket eğrisinin içindeki tekerlekler için $-\Delta Q_A$ ve $+\Delta Q_{\ddot{O}}$ alınmalıdır.

Böylece negatif ivmelendirme esnasında kütlelerin bağıntılı olduğu tekerleklerdeki dinamik yük değişimi :

Arka tekerleklerde :

Dış tekerlek(3)

$$G_3/G = \left[\left(\frac{1}{2} \Lambda_6 + \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 - \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a \right] - \left[\pm \Lambda_{10} + \Psi \cdot Z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right] \cdot \sin \delta$$

İç tekerlek (4)

$$G_4/G = \left[\left(\frac{1}{2} \Lambda_6 - \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 + \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a \right] - \left[\Lambda_{10} - \Psi \cdot Z_A (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

Ön tekerleklerde :

Dış tekerlek (2)

$$G_2/G = \left\{ \left[\frac{1}{2} \Lambda_8 + (1-\Psi) Z_0 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9 - (1-\Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a \right\} + \left[\Lambda_{10} - (1-\Psi) \cdot Z_0 (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

İç tekerlek (1)

$$G_1/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8 - (1-\Psi) Z_0 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9 + (1-\Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a + \left[\Lambda_{10} + (1-\Psi) \cdot Z_0 (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

(2.68)

bulunur.

Yukarıda verilen bu dört tekerlekteki dinamik yük dağılımları tetkik edildiğinde ve bu tetkik esnasında kütlelerin eğri yörünge üzerindeki hareketinde kendisine tesir eden dış kuvvetlerin en uygunsuz bir şekilde tesir ettikleri düşünülerek (dış kuvvet w_R sağ tarafa ve w_T hareket yönünde tesir ettikleri),

$$G_2 > G_3 > G_4 \quad \text{ve} \quad G_2 > G_1$$

olduğu görülür.

$$\Lambda_8 + a \cdot \Lambda_9 - (\Lambda_6 + a \cdot \Lambda_7) > 4 \left[T_2 - (a \pm \sin \delta) \sin \alpha \right] (1-\Psi) Z$$

($e_A = e_0$ olduğu kabul edilmiştir.)

Olması halinde ise $G_1 > G_3$ olduğu bulunur.

Bu durumda ; $G_2 > G_1 > G_3 > G_4$

olduğu görülür.

Kütlenin eğri yüzey üzerindeki hareketi esnasında pozitif ivmelendirilmesi halinde arka tekerleklerin dinamik yük değişimi :

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} G_{A+\Delta Q_A}$$

Denkl. (2.32-2.41 ve 2.64) değerleri yukarıda verilen denklemde yerlerine yazılırsa;

$$G_{3,4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{L} (\Lambda_6^+ + a \cdot \Lambda_7^+) \pm \frac{G}{L \cdot e_A} (L_n \cdot h \cdot k_{YM})$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{L} (\Lambda_6^+ + a \cdot \Lambda_7^+) \pm \frac{G}{L \cdot e_A} \left\{ L_n \cdot h \left[T_2^+ + (a \pm \sin \gamma) \sin \alpha \right] \right\}$$

$$G_{3,4}/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6^+ \psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7^+ \psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a \pm \sin \gamma \left[\Lambda_{10}^+ \psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right]$$

$$G_{3,4}/G = Z_{A1}^+ + a \cdot Z_{A2}^+ + Z_{A3}^+ \cdot \sin \gamma \quad (2.69)$$

Ön tekerleklerin eğri yüzeydeki pozitif ivmelendirme esnasındaki iç ve dış tekerleklerin dinamik yük değişimi :

$$G_{1,2} = \frac{1}{2} G_{\ddot{O}} \pm \Delta Q_{\ddot{O}}$$

Denkl. (2.32 -2.44 ve 2.65) değerler yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa,

$$G_{1,2}/G = Z_{\ddot{O}1}^+ + a \cdot Z_{\ddot{O}2}^+ + Z_{\ddot{O}3}^+ \cdot \sin \gamma \quad (2.70)$$

elde edilir.

Hareket eğrisinin dışındaki tekerlekler için $+\Delta Q_A$ ve $+\Delta Q_{\ddot{O}}$

Hareket eğrisinin dışındaki tekerlekler için $-\Delta Q_A$ ve $-\Delta Q_{\ddot{O}}$ alınmalıdır.

Pozitif ivmelendirme esnasında kütlenin bağıntılı olduğu tekerleklerdeki dinamik yük değişimi :

Arka tekerleklerde:

Dış tekerlek (3)

$$G_3/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6^+ \Psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7^+ \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a^+ + \left[\Lambda_{10}^+ \Psi \cdot Z_A (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

İç tekerlek (4)

$$G_4/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6^+ - \Psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7^+ - \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a^+ + \left[\Lambda_{10}^+ - \Psi \cdot Z_A \cdot (+\sin \alpha) \right] \sin \delta$$

Ön tekerleklerde:

Dış tekerlek (2)

$$G_2/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8^+ (1 - \Psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9^+ (1 - \Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+ - \left[\Lambda_{10}^+ - (1 - \Psi) \cdot Z_0 (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

İç tekerlek (1)

$$G_1/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8^+ - (1 - \Psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9^+ - (1 - \Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+ - \left[\Lambda_{10}^+ + (1 - \Psi) \cdot Z_0 (+\sin \alpha) \right] \sin \delta$$

(2.71)

bulunur.

Pozitif ivmelendirme esnasında eğri bir yüzey üzerinde hareket eden kütlenin bağıntılı olduğu dört tekerleğe olan dinamik tesirleri Denk1. (2.71 ile verilmiştir. Bu denklemlerin biribirleriyle mukayesesi halinde,

$$G_3 > G_4 > , \quad G_3 > G_2 > G_1$$

olduğu görülür.

$$G_4 > G_2 \quad \text{olabilmesi için}$$

$$(\Lambda_6^+ + a \cdot \Lambda_7^+) - (\Lambda_8^+ + a \cdot \Lambda_9^+) > 4 \left[T_2^+ + (a \pm \sin \delta) \sin \alpha \right] (1 - \Psi) Z$$

($e_A = e_0$ olduğu kabul edilmiştir.)

Olması halinde ,

$$G_3 > G_4 > G_2 > G_1$$

olduğu görülür.

3. Özel haller

3.1 Kütlenin eğri ve yükseltilmiş bir yüzey üzerindeki hareketi

Bu durum Şekil 1'de verilen durumun $\gamma = 0$ olması halinde meydana gelir. Böyle bir yüzey üzerindeki harekette negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında kütleye tesir eden kuvvetlerin, kütlenin bağlı bulunduğu dört tekerlekteki dinamik yük değişimi, daha önce verilen Denk1.(2.68) ve (2.71) de $\gamma = 0$ alınmasıyla bulunur. Böylece,

Negatif ivmelendirme durumunda dinamik yük değişimi:

Arka tekerleklerde :

Dış tekerlek (3)

$$G_3/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6 + \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 - \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a$$

İç tekerlek (4)

$$G_4/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6 - \Psi \cdot Z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 + \Psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a$$

Ön tekerleklerde :

Dış tekerlek (2)

$$G_2/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8 + (1 - \Psi) Z_0 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9 - (1 - \Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a$$

İç tekerlek (1)

$$G_1/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8 - (1 - \Psi) Z_0 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9 + (1 - \Psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a \quad (3.1)$$

Bu dört tekerlekteki dinamik yük dağılımlarının tetkikinde kütleye tesir eden dış kuvvetlerin en uygunsuz bir şekilde tesir ettikleri düşünülürse (dış kuvvetlerin w_R sağa doğru ve w_T hareket yönünde tesir ettikleri)

$$G_2 > G_3 > G_4 \quad \text{ve} \quad G_2 > G_1$$

olduğu görülür.

$$\Lambda_8 + a \cdot \Lambda_9 - (\Lambda_6 + a \cdot \Lambda_7) > 4(T_2 - a \cdot \sin \alpha)(1 - \Psi) Z$$

($e_A = e_0$ kabul edilmiştir.)

olması halinde ise, $G_1 > G_3$ olduğu bulunur.

Bu durumda, $G_2 > G_1 > G_3 > G_4$

olur.

Pozitif ivmelendirilme durumunda dinamik yük değişimi :

Arka tekerleklerde :

Dış tekerlek (3)

$$G_3/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6^+ + \psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7^+ + \psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a^+$$

İç tekerlek (4)

$$G_4/G = \left(\frac{1}{2} \Lambda_6^+ - \psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \Lambda_7^+ - \psi \cdot Z_A \cdot \sin \alpha \right) a^+$$

Ön tekerleklerde :

Dış tekerlek (2)

$$G_2/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+$$

İç tekerlek (1)

$$G_1/G = \left[\frac{1}{2} \Lambda_8^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \Lambda_9^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+ \quad (3.2)$$

Denkl. (3.2) ile verilen dinamik tesirler aralarında mukayese edilirse,

$$G_3 > G_4, \quad G_4 > G_2 > G_1$$

olduğu görülür.

$$\Lambda_8^+ + a \cdot \Lambda_9^+ - (\Lambda_6^+ + a \cdot \Lambda_7^+) > 4(T_2^+ - a^+ \cdot \sin \alpha)(1-\psi) Z_0 \quad +)$$

olması halinde ise,

$$G_4 > G_2$$

olduğu bulunur.

Böylece,

$$G_3 > G_4 > G_2 > G_1$$

elde edilir.

+) $e_0 = e_A$ kabul edilmiştir.

3.2 Kütlenin eğik bir yüzey üzerindeki hareketi ($\delta \neq 0, \dot{\delta} = 0$)

Kütlenin eğri bir yörünge üzerindeki hareketi esnasında negatif ve pozitif ivmelendirilmesi halinde iç ve dış kuvvetlerin tesiri ile bağıntılı bulunduğu dört tekerlekteki dinamik yük değişimleri Denk1. (2.41....2.44), (2.60....2.63) ve (2.68....2.71) ile verilmiştir. Genel olarak verilmiş olan bu denklemlerden, eğik ve düz bir yüzey üzerinde hareket eden kütlenin pozitif ve negatif ivmelendirilmesi esnasında iç ve dış kuvvetlerin tesiri ile ön ve arka iki tekerlekte meydana gelen dinamik tesirler bulunabilir.

Şöyleki, yukarıda adı geçen denklemlerde

$$\dot{\delta} = 0, a_M = a_M^* = 0 \text{ ve } \Delta Q = 0$$

alındığı taktirde, aşağıda verilen denklemler elde edilir.

Kütlenin eğik yüzey üzerinde yukarı doğru hareketinde (Şekil 17)

Negatif ivmelendirme durumu :

$$G_{\delta} / G = (1 - \psi) \cos \delta + (a - \sin \delta - w_{TX}) \chi + a \cdot i_t \quad (3.3)$$

$$G_A / G = \psi \cdot \cos \delta - (a - \sin \delta - w_{TX}) \chi - a \cdot i_t \quad (3.4)$$

Pozitif ivmelendirme durumu :

$$G_{\delta} / G = (1 - \psi) \cos \delta - (a + \sin \delta + w_{TX}) \chi - a \cdot i_t \quad (3.5)$$

$$G_A / G = \psi \cdot \cos \delta + (a + \sin \delta + w_{TX}) \chi + a \cdot i_t \quad (3.6)$$

Kütlenin eğik yüzey üzerinde aşağı doğru hareketinde (Şekil 17)

Negatif ivmelendirme durumu :

$$G_{\delta} / G = (1 - \psi) \cos \delta + (a + \sin \delta - w_{TX}) \chi + a \cdot i_t \quad (3.7)$$

$$G_A / G = \psi \cdot \cos \delta - (a + \sin \delta - w_{TX}) \chi - a \cdot i_t \quad (3.8)$$

Pozitif ivmelendirme durumu :

$$G_{\delta} / G = (1 - \psi) \cos \delta - (a - \sin \delta + w_{TX}) \chi - a \cdot i_t \quad (3.9)$$

$$G_A / G = \psi \cdot \cos \delta + (a - \sin \delta + w_{TX}) \chi + a \cdot i_t \quad (3.10)$$

Hareket yüzeyinin eğimi (δ) ve dış kuvvet olarak hareket yönüne karşı gelecek şekilde tesir eden hava direnç (w_L), kütle için eğik bir yüzey üzerinde yukarı doğru hareketi esnasında Denk. (3.1-3.4) pozitif ve negatif ivmelendirilmesinde arka tekerleklerin yükünü arttırırken, ön tekerleklerin yükünü azaltmaktadır.

Eğer kütle, eğik bir yüzey üzerinde aşağı doğru hareket ederse, yüzey eğimi (δ) [Denk. (3.7 - 3.10)] pozitif ve negatif ivmelendirmede ön tekerleklerin yükünü arttırırken, arka tekerleklerinkini azaltmaktadır. Buna karşılık dış kuvvet olarak hava direnç (w_L) her iki durumda da arka

tekerleklerin yükünü arttıracak şekilde tesir etmektedir. Atalet kuvvetlerinin ($G.a$) tesiri de, kütle için eğik bir yüzeyde yukarı doğru hareketinde ve pozitif ivmelendirilmesinde, arka tekerleklerin yükünü arttırıcı bir yönde tesir ederken, negatif ivmelendirme halinde ise azaltıcı bir şekilde tesir etmektedir [Denk. (3.6 - 3.4)]. Kütle için eğik bir yüzeyde aşağı doğru hareketinde ve pozitif ivmelendirilmesi halinde, atalet kuvvetleri arka tekerleklerin yükünü arttırıcı ve negatif ivmelendirilmesi halinde ise azaltıcı bir şekilde tesir etmektedirler [Denk. (3.8 - 3.10)].

Sistemde kütle için bağlı bulunduğu tekerleklerle tatbik edilen momentler hareket yüzeyinin eğimine bağlı olacaktır, negatif ivmelendirme esnasında ön tekerleklerin yükünü arttırıcı ve arka tekerleklerin yükünü ise azaltıcı bir şekilde, pozitif ivmelendirme esnasında ise ön tekerleklerin yükünü azaltıcı ve arka tekerleklerinkini arttırıcı bir şekilde tesir etmektedirler [Denk. (3.3 - 3.10)].

Yuvarlanma dirençinin dikkate alınması halinde, hareket yüzeyine paralel olan kuvvetlerin denge denklemleri yazılırsa :

Kütle için eğik bir yüzeyde yukarı doğru hareketi (Şekil 1):

Negatif ivmelendirme hali:

$$\begin{aligned} B_A + B_{\ddot{O}} &= B + (W_{R\ddot{O}} + W_{R_A}) = -G \cdot \sin \delta - w_L + G.a \\ &= G(a - \sin \delta - w_L) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Pozitif ivmelendirme hali:

$$\begin{aligned} A_A + A_{\ddot{O}} &= A - (W_{R\ddot{O}} + W_{R_A}) = G \cdot \sin \delta + w_L + G.a \\ &= G(a + \sin \delta + w_L) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Kütlenin eğik bir yüzeyde aşağı doğru hareketi:

Negatif ivmelendirme hali:

$$B_A + B_{\ddot{O}} = B + (W_{R\ddot{O}} + W_{RA}) = G(a + \sin\delta - w_L) \quad (3.13)$$

Pozitif ivmelendirme hali :

$$\begin{aligned} A_A + A_{\ddot{O}} &= A - (W_{R\ddot{O}} + W_{RA}) = G.a - G.\sin\delta + w_L \\ &= G(a - \sin\delta + w_L) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Yuvarlanma direnci,

$$W_{R\ddot{O}} + W_{RA} = W_R = \rho . G . \cos\delta$$

şeklinde yazılabilir.

Bu duruma göre kütlenin 1,2 ve 3,4 tekerleklerindeki dinamik tesirleri (3.11 - 3.12 - 3.13 ve 3.14) denklemleri göz önünde tutularak; kütlenin eğik yüzeydeki hareketinde ön ve arka tekerleklerin dinamik yük değişimi :

Negatif ivmelendirme hali :

$$G_{\ddot{O}}/G = (1-\psi)\cos\delta + (a + \rho.\cos\delta)\chi \quad (3.15)$$

$$G_A/G = \psi.\cos\delta - (a + \rho.\cos\delta)\chi \quad (3.16)$$

Pozitif ivmelendirme hali :

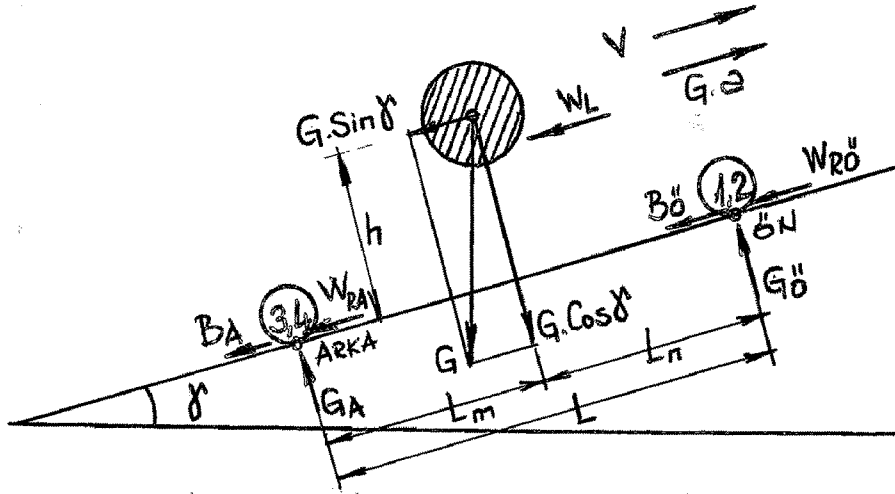
$$G_{\ddot{O}}/G = (1-\psi)\cos\delta - (a^+ - \rho.\cos\delta)\chi \quad (3.17)$$

$$G_A/G = \psi.\cos\delta + (a^+ - \rho.\cos\delta)\chi \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir.

(3.15 - 3.18) verilen denklemlerden görüldüğü gibi, kütlenin eğik yüzeydeki hareketinde yuvarlanma direnci, pozitif ivmelendirme halinde 1,2 ve 3,4 tekerleklerindeki tahrik kuvvetini azaltıcı, negatif ivmelendirme halinde ise arttırıcı bir şekilde tesir etmektedir. Gene aynı şekilde pozitif ivmelendirme halinde tahrik kuvveti ön tekerleklerin (1,2) dinamik yükünü azaltırken, arka tekerleklerin (3,4) dinamik yükünü arttırmaktadır.

Aynı şekilde bu denklemlerden (3.13 - 3.16) görüldüğü üzere negatif ivmelendirme halinde ön tekerleklerin (1,2) dinamik yükü arttarken, arka tekerleklerinki (3,4) azalmaktadır.



Şekil 17, Kütlenin eğik bir yüzeydeki hareketi esnasında kendisine ve bağıntılı olduğu dört kökerleğe tesir eden kuvvetler

3.3 Kütlenin düz bir yüzey üzerindeki hareketi ($\delta=0, \delta=0$)

Kütlenin düz bir yüzey üzerindeki hareketi esnasında negatif ve pozitif ivmelendirilmesi ile meydana gelen dinamik yük değişim durumlarını bulmak için Denk1.(3.3 - 3.10) ve (3.15 - 3.18) $\delta=0$ alınması kâfidir.

4. Kütlenin hareketindeki limit durumlar

4.1 Kütlenin eğri yüzey üzerindeki hareketinde limit durumlar

4.1.1 Hareket yüzeyinin $\delta \neq 0$ ve $\delta \neq 0$ olması

4.1.1.1 Negatif ivmelendirme durumu

Kütlenin eğri yüzeydeki hareketinde aşırı bir şekilde negatif ivmelendirilmesi halinde

$G_4 \geq 0$ olması için,

(2.68) denkleminde verilen G_4 değeri sıfıra eşitlenmelidir.

$$G_4 = G \left[\left(\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot z_0 \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7 + \psi \cdot z_0 \cdot \sin \alpha \right) \right] - \left[\lambda_{10} - \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta = 0$$

ve sabitelerin yerlerine yazılması halinde,

$$\begin{aligned} \text{tg } \delta \left[\pm \frac{1}{2} \psi \cdot \omega_M + \left(\frac{x}{2} \sin \alpha + \psi \cdot z_A \cdot \cos \alpha \right) \cos \delta \right] - \frac{1}{\cos \delta} \left[\left(\frac{x}{2} \cdot \cos \alpha - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) \omega_T \right. \\ \left. - \left(\frac{1}{2} \lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) \omega + \left(\lambda_{10} - \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right) \sin \delta \right] = \left(\frac{x}{2} \sin \alpha + \psi \cdot z_A \cdot \cos \alpha \right) \omega_M \end{aligned} \quad \dots (4.1)$$

$$\text{tg } \delta (\Gamma_1) - \frac{1}{\cos \delta} (\Gamma_2) = \Gamma_3 \quad (4.2)$$

trigonometrik denklemi elde edilir. Bu denklemin çözülmesi ile aranan sınır açısı bulunur.

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\Gamma_1 \pm \sqrt{4\Gamma_1^2 + \Gamma_3^2 - \Gamma_2^2}}{\Gamma_3 - \Gamma_2} \quad (4.3)$$

olması gerekir.

4.1.1.2 Pozitif ivmelendirme durumu

Kütlenin eğri yüzeydeki hareketinde aşırı bir şekilde pozitif ivmelendirilmesi halinde,

$G_1 \geq 0$ olması için,

(2.72) denkleminde verilen G_1 değerinin sıfıra eşitlenmesi gerekir.

$$G_1 = \left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1 - \psi) z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1 - \psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right] \omega^+ - \left[\lambda_{10}^+ + (1 - \psi) z_0 \cdot (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta = 0$$

sabitelerin değerleri yerlerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} & \dots (4.4) \\ & \text{tg} \left\{ \pm \frac{1}{2} (1-\psi) \alpha_M - \left[\frac{\chi}{2} \cdot \text{Sin} \alpha - (1-\psi) \tau_y \cdot \text{Cos} \alpha \right] \text{Cos} \delta \right\} - \frac{1}{\text{Cos} \delta} \left\{ \left[\frac{\chi}{2} \text{Cos} \alpha + (1-\psi) \tau_y \cdot \text{Sin} \alpha \right] \tau_T \right. \\ & \left. - \alpha \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) \tau_y \cdot \text{Sin} \alpha \right] + \text{Sin} \delta \left[\lambda_{10}^+ + (1-\psi) \cdot \tau_y (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \right\} + \left[\frac{\chi}{2} \text{Sin} \alpha - (1-\psi) \tau_y (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \alpha_M \\ & \text{tg} (\Gamma_1^+) - \frac{1}{\text{Cos} \delta} (\Gamma_2^+) = \Gamma_3 \end{aligned} \quad (4.5)$$

trigonometrik denklemi elde edilir.
Bu denklemin çözülmesi ile, açının

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\Gamma_1^+ \pm \sqrt{4\Gamma_1^{+2} + \Gamma_3^2 - \Gamma_2^{+2}}}{\Gamma_3 - \Gamma_2} \quad (4.6)$$

olması gerekir.

4.1.2 Hareket yüzeyinin $\delta = 0$ ve $\delta \neq 0$ olması

4.1.2.1 Negatif ivmelendirme :

Kütlenin aşırı bir şekilde negatif ivmelendirilmesi halinde

$G_4 \geq 0$ olması için,

(3.1) denkleminde verilen G_4 değeri sıfıra eşitlenirse

$$G_4 = \left(\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot \tau_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7 + \tau_A \cdot \psi_A \cdot \text{Sin} \alpha \right) a = 0$$

ve sabitelerin yerlerine yazılması halinde

$$\begin{aligned} & \text{tg} \left[\pm \frac{1}{2} \psi \alpha_M + \left(\frac{\chi}{2} \text{Sin} \alpha - \psi \cdot \tau_A \cdot \text{Cos} \alpha \right) \text{Cos} \delta \right] - \frac{1}{\text{Cos} \delta} \left\{ \left(\frac{\chi}{2} \text{Cos} \alpha - \psi \cdot \tau_A \cdot \text{Sin} \alpha \right) \tau_T \right. \\ & \left. - \left(\frac{1}{2} \lambda_7 - \psi \cdot \tau_A \cdot \text{Sin} \alpha \right) \alpha \right\} = \left(\frac{\chi}{2} \text{Sin} \alpha - \psi \cdot \tau_A \cdot \text{Cos} \alpha \right) \alpha_M \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\text{tg} \delta (\Gamma_1) - \frac{1}{\text{Cos}} (\Gamma_4) = \Gamma_3 \quad (4.8)$$

trigonometrik denklemi elde edilir.
Bu denklemin çözülmesi ile, açının

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\Gamma_1 \pm \sqrt{4\Gamma_1^2 + \Gamma_3^2 - \Gamma_4^2}}{\Gamma_3 - \Gamma_4} \quad (4.9)$$

olması gerekir.

4.1.2.2 Pozitif ivmelendirilmesi :

Kütlenin aşırı bir şekilde pozitif ivmelendirilmesi halinde

$$G_1 \geq 0 \text{ olması için,}$$

(3.2) denkleminde verilen G_1 değeri sıfıra eşitlenirse,

$$G_1 = \left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+ = 0$$

ve sabitelerin değerlerinin yerlerine yazılmasıyla

$$\begin{aligned} & \text{tg} \left[\pm \frac{1}{2} (1-\psi) \varnothing_M - \left(\frac{\chi}{2} \sin \alpha - (1-\psi) Z_0 \cdot \cos \alpha \right) \cos \delta \right] - \frac{1}{\cos \delta} \left\{ \left[\frac{\chi}{2} \cos \alpha + (1-\psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] w_T \right. \\ & \left. - \varnothing^+ \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot \sin \alpha \right] \right\} + \left[\frac{\chi}{2} \sin \alpha - (1-\psi) Z_0 \cdot (\pm \sin \alpha) \right] \varnothing_M = 0 \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\text{tg} \delta \left(\Gamma_1^+ \right) - \frac{1}{\cos \delta} \left(\Gamma_4^+ \right) = \Gamma_3^+ \quad (4.11)$$

trigonometrik denklemi elde edilir.

Bu denklemin çözümü ile, açının

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\Gamma_1^+ + \sqrt{4\Gamma_1^{+2} + \Gamma_3^{+2} - \Gamma_4^{+2}}}{\Gamma_3^+ - \Gamma_4^+} \quad (4.12)$$

olması gerekir.

4.2 Eğik yüzey üzerindeki harekete limit durumlar :

$\delta \neq 0$, $\delta = 0$ olması

4.2.1 Eğik yüzeydeki aşağı doğru hareket

Kütlenin aşırı bir şekilde negatif eğimli düzlemdeki hareketi esnasında aşırı bir şekilde negatif ivmelendirilmesi halinde $G_A \geq 0$ olması için,

(3.8) denklemi sıfıra eşitlenirse

$$\psi \cdot \cos \delta - (a + \sin \delta - w_{Tx}) \chi - a \cdot i_t = 0$$

$$\chi \cdot \text{tg} \delta - \frac{1}{\cos \delta} \left[-(a - w_{Tx}) \chi - a \cdot i_t \right] = \psi \quad (4.13)$$

Denklemini elde edilir.

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\chi \mp \sqrt{4\chi^2 + \psi^2 - \Gamma_5^2}}{\psi - \Gamma_5} \quad (4.14)$$

olması icapedir.

Küçük eğilimlerde $\cos \delta \approx 1$ ve $\operatorname{tg} \delta \approx \sin \delta$ alınabileceğinden ve bu değerler Denk. (4.13) ile beraber Denk. (3.7) de yerine konursa $G_{\delta} = G$ elde edilir.

Bu ise limit durumda δ nın Denk. (4.14) deki bir değere ulaşması halinde kütlelerin bütün ağırlığının, ön tekerlekler (1,2) tarafından taşınması durumunu ortaya çıkarmaktadır.

4.2.2 Eğik yüzeydeki yukarı doğru hareket

Kütlelerin eğik yüzeydeki hareketinde aşırı bir şekilde pozitif ivmelendirilmesi halinde

$G_{\delta} \geq 0$ olması için,

(3.5) denklemi sıfıra eşitlenirse,

$$(1-\psi)\cos\delta - (a + \sin\delta + w_{Tx})\chi - a.i_t = 0$$

$$\chi \cdot \operatorname{tg} \delta - \frac{1}{\cos \delta} [(a + w_{Tx}) - a.i_t] = 1 - \psi \quad (4.15)$$

denklemi elde edilir.

Buradan

$$\delta \leq 2 \arctg \frac{-2\chi \mp \sqrt{4\chi^2 + (1-\psi)^2 - \Gamma_5^2}}{(1-\psi) - \Gamma_5^+} \quad (4.16)$$

olması icap eder.

Küçük eğilimlerde $\cos \delta \approx 1$ ve $\operatorname{tg} \delta \approx \sin \delta$ alınabileceğinden ve bu değerler Denk. (4.15) ile beraber Denk. (3.6) yerine konursa,

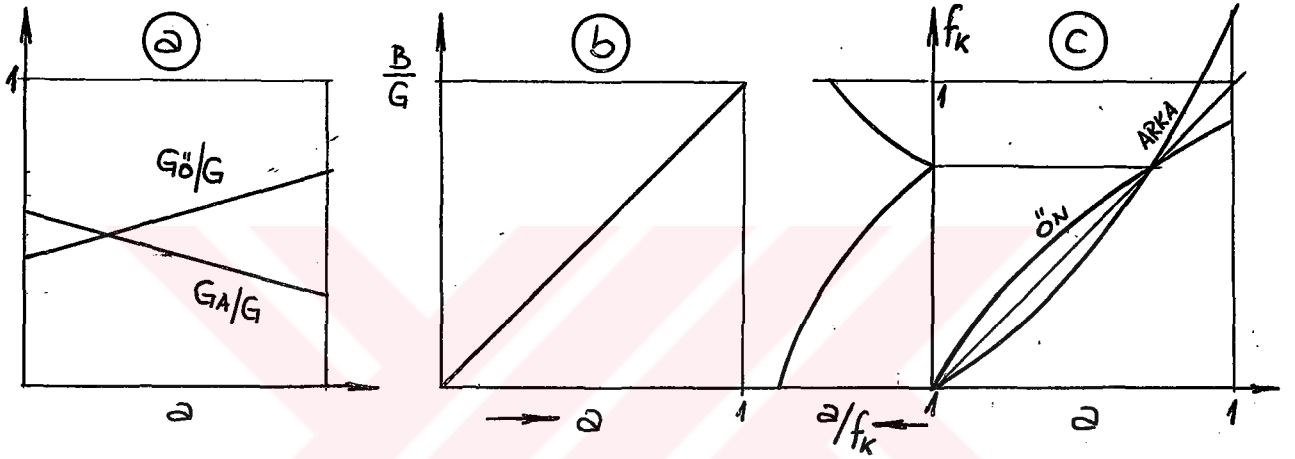
$G_A = G$ elde edilir.

Bu ise limit durumda $\operatorname{tg} \delta$ nın Denk. (4.15) deki bir değere ulaşması halinde kütlelerin bütün ağırlığının arka tekerlekler (3,4) tarafından taşınması ortaya çıkmaktadır.

5. Sabit ve değişken kuvvet dağılımı

5.1 Kuvvet bağıntısı

Negatif ve pozitif ivmelendirme esnasında hareket yüzeyinin durumuna ve ivmenin büyüklüğüne bağlı olarak sistemin ön tekerleklerden ikisi veya biri ve arka tekerleklerden ikisi veya biri bloke olabilir. Arka tekerleklerdeki bloke durumu sistemin daima hareket yörüngesinden sapmasına ve ön tekerleklerdeki bloke durumu ise sistemin yön verme kabiliyetine tesir eder. Bu durumları daha iyi anlayabilmek için ivme ile yük dağılımını daha doğrusu tekerleklerin hareket yüzeyi ile olan kuvvet bağıntısını (f_k) tanımak gerekmektedir.



Şekil 18, Düz bir yüzeydeki negatif ivmelendirme durumunda kuvvet ve kuvvet bağıntısının değişim durumu
a) Ön ve arka tekerleklerin kuvvet dağılımı
b) Fren kuvvetinin dağılımı
c) Kuvvet bağıntısının dağılımı

Şekil 18 ile düz bir yüzey üzerinde hareket eden kütlenin frenlenmesi esnasında ön ve arka tekerleklerdeki yük dağılımı (Şekil 17a) ve sistemin ön ve arka tekerleklerindeki sabit fren kuvveti, (a) nın bir fonksiyonu olarak (Şekil 17b) gösterilmiştir. Şekil 17a ve b nin koordinat değerleri (a) üzerine taşınırsa kuvvet bağıntısının gidişi elde edilir (Şekil 17c).

5.2 Kütlenin eğri bir yüzey üzerinde hareketindeki ideal kuvvet dağılımı ($\delta \neq 0$, $\dot{\delta} \neq 0$):

Sistemin ön ve arka tekerleklerindeki fren ve tahrik kuvvetleri dağılımı dinamik yük değişimine uygun yapıldığı taktirde kuvvet dağılımı ideal olarak yapılmış olur.

Düz bir yüzey üzerindeki harekette sistemin ön ve arka tekerleklerindeki ideal fren kuvvetleri dağılımı parabolle benzer eğrilerdir. Eğri bir yüzey üzerinde hareket eden sistemin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi esnasında sistem tekerleklerinde herhangi bir bloke durumunun meydana gelmemesi için frenleme ve tahrik kuvvetlerinde dinamik yük dağılımına uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir.

5.2.1 Negatif ivmelendirme durumu :

Denkl. (2.17) den

Sistemin ön tekerleklerindeki sabit fren kuvveti (1,2):

$$\frac{B_{TÖ}}{G} = \frac{1-\phi}{2} \cdot a \quad (5.1)$$

Sistemin arka tekerleklerindeki sabit fren kuvveti (3,4):

$$\frac{B_{TA}}{G} = \frac{\phi}{2} \cdot a \quad (5.2)$$

olarak yazılabilir.

Böylece sistemin bağlı bulunduğu tekerleklerin hareket yüzeyi ile olan kuvvet bağıntısını her tekerlek için ayrı ayrı yazarsak

$$f_K = \frac{\text{Teğetsel kuvvet}}{\text{Normal kuvvet}} = \frac{\text{fren kuvveti}}{\text{dinamik tekerlek yükü}} \quad (5.3)$$

Denkl. (2.69) ile verilen Denkl. (5.1) ve (5.2) ile beraber Denkl. (5.3) yerine yazılırsa, sistemin ön ve arka tekerleklerindeki kuvvet bağıntıları elde edilir.

Sistemin tekerleklerindeki kuvvet bağıntıları :

Ön tekerlekler :

İç tekerlek (1)

$$f_{K1} = \frac{B_{TÖ}/2}{G_1} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot a}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8 - (1-\psi) Z_8 \cdot \frac{1}{2} \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9 + (1-\psi) Z_8 \cdot \sin \alpha \right] \varrho + \left[\lambda_{10} + (1-\psi) Z_8 (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta} \quad (5.4)$$

Dış tekerlek (2)

$$f_{K2} = \frac{B_{TÖ}/2}{G_2} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot a}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8 + (1-\psi) Z_8 \cdot \frac{1}{2} \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9 - (1-\psi) Z_8 \cdot \sin \alpha \right] \varrho + \left[\lambda_{10} - (1-\psi) Z_8 (\pm \sin \alpha) \right] \sin \delta} \quad (5.5)$$

Arka tekerlekler :

$$f_{K4} = \frac{B_{TA}/2}{G_4} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2}\lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2\right) + \left(\frac{1}{2}\lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right)\omega - \left[\lambda_{10} - \psi \cdot z_A (\pm \sin\alpha)\right] \sin\delta}$$

Dış tekerlek (3) (5.6)

$$f_{K3} = \frac{B_{TA}/2}{G_3} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2}\lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2\right) + \left(\frac{1}{2}\lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right)\omega - \left[\lambda_{10} + \psi \cdot z_A (\pm \sin\alpha)\right] \sin\delta}$$

değerleri elde edilir.

(5.7)

Tekerleklerin hareket yüzeyi ile aralarındaki aderans değerinden faydalanma büyüklüğü :

Denkl. (5.4) ten

İç tekerlek (1)

$$\left(\frac{a}{f_K}\right)_1 = \frac{\left[\frac{1}{2}\lambda_8 - (1-\psi)z_0'' \cdot T_2\right] + \sin\delta \left[\lambda_{10} + (1-\psi)z_0 (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2}\lambda_9 + (1-\psi)z_0'' \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.8)$$

Denkl. (5.5) ten

Dış tekerlek (2)

$$\left(\frac{a}{f_K}\right)_2 = \frac{\left[\frac{1}{2}\lambda_8 + (1-\psi)z_0'' \cdot T_2\right] + \sin\delta \left[\lambda_{10} - (1-\psi)z_0 (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2}\lambda_9 - (1-\psi)z_0'' \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.9)$$

Denkl. (5.6) dan

İç tekerlek (4)

$$\left(\frac{a}{f_K}\right)_4 = \frac{\left(\frac{1}{2}\lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2\right) - \sin\delta \left[\lambda_{10} - \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2}\lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.10)$$

Denkl. (5.7) den

Dış tekerlek (3)

$$\left(\frac{a}{f_K}\right)_3 = \frac{\left(\frac{1}{2}\lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2\right) - \sin\delta \left[\lambda_{10} + \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2}\lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.11)$$

Kütlenin eğri bir yüzey üzerindeki hareketi esnasında, küçük frenleme değerlerinde yön verme kabiliyetinin kaybolmaması için emniyet yönünden, daha doğrusu $f = 0$ olması halinde, ön iç tekerleğin $(a/f)_{\text{öi}}$ değerinin yeteri derecede büyük olması gerekir. Bunun için Denkl. (5.8) de $f = 0$ alınarak,

$$(a/f_K)'_1 = \frac{\left[\frac{1}{2} \lambda_8 - (1-\psi) z_0'' \cdot T_2 \right] + \sin \delta \left[\lambda_{10} + (1-\psi) z_0'' (\pm \sin \alpha) \right]}{\frac{1-\phi}{2}} \quad (5.12)$$

elde edilir.

Buna karşılık arka tekerleklerin bloke olması halinde bütün kuvvet bağıntısının kullanılabilmesi için ulaşılabilecek en büyük frenleme değeri Denkl. (5.10) da $f = 1$ alınarak,

$$a_{\text{max}} = \frac{\left(\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2 \right) - \sin \delta \left[\lambda_{10} + \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right]}{\frac{\phi}{2} - \left(\frac{1}{2} \lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right)} \quad (5.13)$$

Sistemin tekerlek kuvvet bağıntı eğrilerinin ($a=f$) ideal doğrusunu kestikleri noktalar ideal kesişme noktaları olarak isimlendirilirler. Bu ideal doğru, sistemin hareket yüzeyinin durumuna ve ivmelendirmenin büyüklüğüne bağlı olarak tekerlek kuvvet bağıntı eğrilerinin $f_K=f(a)$ biri veya birkaçı tarafından kesilebilir.

İdeal durumda, Denkl. (5.11) den $a = f$ alınarak,

$$a_{\text{ideal}} = a_1 = \frac{\frac{\phi}{2} - \left(\frac{1}{2} \lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2 \right) + \sin \delta \left[\lambda_{10} + \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin \alpha) \right]}{\frac{1}{2} \lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha} \quad (5.14)$$

elde edilir.

5.2.2 Pozitif ivmelendirme durumu :

Denkl. (2.17) den

Sistemin ön tekerleklerindeki sabit tahrik değeri (1,2):

$$\frac{A_{T\ddot{O}}}{G} = \frac{1-\phi}{2} \cdot a^+ \quad (5.15)$$

Sistemin arka tekerleklerindeki sabit tahrik değeri (3,4):

$$\frac{A_{TA}}{G} = \frac{\phi}{2} \cdot a^+ \quad (5.16)$$

olarak yazılabilir.

Pozitif ivmelenme esnasında sistemin dört tekerleğindeki kuvvet bağıntılarını bulmak için Denkl. (2.72) de verilen değerler Denkl. (5.15 ve 5.16) değerleri ile beraber Denkl. (5.3) te yerlerine yazılmaları gerekir.

Sistemin tekerleklerindeki kuvvet bağıntıları :

Ön tekerlekler :

İç tekerlek (1)

$$f_{K1}^+ = \frac{A_{TÖ}/2}{G_1} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot \text{Sin} \alpha \right] \omega^+ - \left[\lambda_{10}^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \text{Sin} \delta} \quad \dots (5.17)$$

Dış tekerlek (2)

$$f_{K2}^+ = \frac{A_{TÖ}/2}{G_2} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot \text{Sin} \alpha \right] \omega^+ - \left[\lambda_{10}^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \text{Sin} \delta}$$

Arka tekerlekler :

İç tekerlek (4)

$$f_{K4}^+ = \frac{A_{TA}/2}{G_4} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6^+ - \psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ - \psi \cdot Z_A \cdot \text{Sin} \alpha \right) \omega^+ + \left[\lambda_{10}^+ - \psi \cdot Z_0 \cdot (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \text{Sin} \delta} \quad \dots (5.18)$$

Dış tekerlek (3)

$$f_{K3}^+ = \frac{A_{TA}/2}{G_3} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6^+ + \psi \cdot Z_A \cdot T_2^+ \right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ + \psi \cdot Z_A \cdot \text{Sin} \alpha \right) \omega^+ + \left[\lambda_{10}^+ + \psi \cdot Z_0 \cdot (\pm \text{Sin} \alpha) \right] \text{Sin} \delta} \quad \dots (5.19)$$

Aderans değerlerinden faydalanma büyüklükleri : $\dots (5.20)$

Denkl. (5.17) den

İç tekerlek (1)

$$(a/f_K)_1^+ = \frac{\left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot T_2^+ \right] - \text{Sin} \delta \left[\lambda_{10}^+ + (1-\psi) Z_0 \cdot (\pm \text{Sin} \alpha) \right]}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) Z_0 \cdot \text{Sin} \alpha \right]} \quad (5.21)$$

Denkl. (5.18) den

Dış tekerlek (2)

$$(a/f_K)^+ = \frac{\left[\frac{1}{2}\lambda_8^+ + (1-\psi)z_8 \cdot T_2^+\right] - \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ - (1-\psi)z_8 \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2}\lambda_9^+ + (1-\psi)z_8 \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.22)$$

Denkl. (5.19) dan

İç tekerlek (4)

$$(a/f_K)^+ = \frac{\left(\frac{1}{2}\lambda_6^+ - \psi \cdot z_A \cdot T_2^+\right) + \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ - \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{\phi}{2} - f \left(\frac{1}{2}\lambda_7^+ - \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right)} \quad (5.23)$$

Denkl. (5.20) den

Dış tekerlek (3)

$$(a/f_K)^+ = \frac{\left(\frac{1}{2}\lambda_6^+ + \psi \cdot z_A \cdot T_2^+\right) + \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ + \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{\phi}{2} - f \left(\frac{1}{2}\lambda_7^+ + \psi \cdot z_A \cdot \sin\alpha\right)} \quad (5.24)$$

Hareket esnasında sistemin yörüngesinden sapmasının önlenmesi için ($f=0$ halinde), arka iç tekerleğin $(a/f)_{Ai}$ yeteri derecede büyük olması gerekir.

Denkl. (5.24) te $f = 0$ alınarak,

$$(a/f_K)^+ = \frac{\left(\frac{1}{2}\lambda_6^+ + \psi \cdot z_A \cdot T_2^+\right) + \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ + \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{\phi}{2}} \quad (5.25)$$

elde edilir.

Buna karşılık ön tekerleklerin bloke olması halinde bütün kuvvet bağıntısının kullanılabilmesi için en büyük tahrik değeri :

Denkl. (5.21) de $f = 1$ alınarak,

$$a_{\max}^+ = \frac{\left[\frac{1}{2}\lambda_8^+ - (1-\psi)z_8 \cdot T_2^+\right] - \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ + (1-\psi)z_8 \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\frac{1-\phi}{2} - \left[\frac{1}{2}\lambda_9^+ - (1-\psi)z_8 \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.26)$$

İdeal durumda $a^+ = f_K^+$, Denkl. (5.22) den

$$a_i = \frac{\frac{1-\phi}{2} - \left[\frac{1}{2}\lambda_8^+ + (1-\psi)z_8 \cdot T_2^+\right] + \sin\delta \left[\lambda_{10}^+ - (1-\psi)z_8 \cdot (\pm \sin\alpha)\right]}{\left[\frac{1}{2}\lambda_9^+ + (1-\psi)z_8 \cdot \sin\alpha\right]} \quad (5.27)$$

elde edilir.

5.3 Özel durumlar

5.3.1 Hareket yüzeyinin $\gamma = 0$, $\delta \neq 0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımı

Yükseltilmemiş bir eğri yüzey üzerinde hareket eden kütlelerin negatif ve pozitif ivmelendirilmesi durumlarında aranılan kuvvet bağıntı değerlerini bulabilmek için daha önce elde edilmiş olan genel denklemlerde (5.4 - 5.26) $\gamma = 0$ alınması gereklidir.

5.3.1.1 Negatif ivmelendirme durumu

Sistemin tekerleklerindeki kuvvet bağıntısı

Ön tekerlekler :

Denkl. (5.4) ten

İç tekerlek (1)

$$f_{K1} = \frac{B_{TÖ/2}}{G_1} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8 - (1-\psi) z_8 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9 + (1-\psi) z_8 \cdot \sin \alpha \right] \omega} \quad (5.28)$$

Denkl. (5.5) ten

Dış tekerlek (2)

$$f_{K2} = \frac{B_{TÖ/2}}{G_2} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8 + (1-\psi) z_8 \cdot T_2 \right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9 - (1-\psi) z_8 \cdot \sin \alpha \right] \omega} \quad (5.29)$$

Arka tekerlekler :

Denkl. (5.6) dan

İç tekerlek (4)

$$f_{K4} = \frac{B_{TA/2}}{G_4} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2 \right) + \left[\frac{1}{2} \lambda_9 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right] \omega} \quad (5.30)$$

Denkl. (5.7) den

Dış tekerlek (3)

$$f_{K3} = \frac{B_{TA/2}}{G_3} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2 \right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) \omega} \quad (5.31)$$

değerleri elde edilir.

Aderans değerlerinden faydalanma büyüklükleri :

Denkl. (5.8) den

İç tekerlek (1)

$$(a/f_K)_1 = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8 - (1-\psi) z_8 \cdot T_2}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_9 + (1-\psi) z_8 \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.32)$$

Denkl. (5.9) dan

Dış tekerlek (2)

$$(a/f_K)_2 = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8 + (1-\psi) z_8 \cdot T_2}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_9 - (1-\psi) z_8 \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.33)$$

Denkl. (5.10) dan

İç tekerlek (4)

$$(a/f_K)_4 = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2}{\frac{\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.34)$$

Denkl. (5.11) den

Dış tekerlek (3)

$$(a/f_K)_3 = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2}{\frac{\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.35)$$

elde edilir.

Küçük frenleme değerinde yön verme kabiliyetinin kaybolmaması için gerekli olan aderans değerinden faydalanma büyüklüğü;

Bunun için ön iç tekerleğin $(a/f)_{\text{öi}}$ değerinin yeteri derecede büyük olması gerekir, Denkl. (5.12) ye benzer olarak

$$(a/f_K)_1' = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8 - (1-\psi) z_8 \cdot T_2}{\frac{1-\phi}{2}} \quad (5.36)$$

Aynı şekilde arka tekerleklerin bloke olmaması ve kuvvet bağıntısının tam kullanılabilmesi için ulaşılabilecek en büyük frenleme değeri, Denkl. (5.13 ve 5.34) ten

$$a_{\text{max}} = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6 - \psi \cdot z_A \cdot T_2}{\frac{\phi}{2} - \left(\frac{1}{2} \lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right)} \quad (5.37)$$

İdeal durumdaki frenleme değeri (4.tekerlek):

Denkl. (5.14 ve 5.35) ten

$$a_1 = \frac{\frac{\phi}{2} - \left(\frac{1}{2} \lambda_6 + \psi \cdot z_A \cdot T_2\right)}{\frac{1}{2} \lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha} \quad (5.38)$$

elde edilir.

5.3.1.2 Pozitif ivmelendirme durumu :

Sistem tekerleklerinin kuvvet bağıntısı

Ön tekerlekler :

İç tekerlek (1), Denkl. (5.17) den

$$f_{K1}^+ = \frac{A_{TÖ/2}}{G_1} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+\right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) z_0 \cdot \sin \alpha\right] \omega^+} \quad (5.39)$$

Dış tekerlek (2), Denkl. (5.18) den

$$f_{K2}^+ = \frac{A_{TÖ/2}}{G_2} = \frac{\frac{1-\phi}{2} \cdot \omega^+}{\left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ + (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+\right] + \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ + (1-\psi) z_0 \cdot \sin \alpha\right] \omega^+} \quad (5.40)$$

Arka tekerlekler :

İç tekerlek (4), Denkl. (5.19) den

$$f_{K4}^+ = \frac{A_{TA/2}}{G_4} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6^+ - \psi \cdot z_A \cdot T_2^+\right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha\right) \omega^+} \quad (5.41)$$

Dış tekerlek (3), Denkl. (5.20) den

$$f_{K3}^+ = \frac{A_{TA/2}}{G_3} = \frac{\frac{\phi}{2} \cdot \omega}{\left(\frac{1}{2} \lambda_6^+ + \psi \cdot z_A \cdot T_2^+\right) + \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha\right) \omega^+} \quad (5.42)$$

Aderans değerlerinden faydalanma büyüklükleri :

Denkl. (5.21) den

İç tekerlek (1)

$$\left(\frac{a}{f_K}\right)_1^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) \cdot z_0 \cdot \sin \alpha\right]} \quad (5.43)$$

Denkl. (5.22) den

Dış tekerlek (2)

$$(a/f_K)_2^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8^+ + (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+}{\frac{1-\phi}{2} - f \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ + (1-\psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.44)$$

Denkl. (5.23) den

İç tekerlek (4)

$$(a/f_K)_4^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6^+ - \psi \cdot z_A \cdot T_2^+}{\frac{\phi}{2} - f \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right)} \quad (5.45)$$

Denkl. (5.24) ten

Dış tekerlek (3)

$$(a/f_K)_3^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6^+ + \psi \cdot z_A \cdot T_2^+}{\frac{\phi}{2} - f \left(\frac{1}{2} \lambda_7^+ + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right)} \quad (5.46)$$

elde edilir.

Hareket esnasında sistemin yörüngesinden sapmasının önlenbilmesi için ($f=0$ halinde), arka iç tekerleğin $(a/f)_{Ai}$ yeteri derecede büyük olması gerekir.

Denkl. (5.25) ten

$$(a/f_K)_4^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_6^+ + \psi \cdot z_A \cdot T_2^+}{\frac{\phi}{2}} \quad (5.47)$$

Arka tekerleklerin bloke olmaması için ulaşılabilecek en büyük tahrik değeri, Denkl. (5.26 ve 5.43) ten

$$a_{\max}^+ = \frac{\frac{1}{2} \lambda_8^+ - (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+}{\frac{1-\phi}{2} - \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1-\psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.48)$$

İdeal durumdaki tahrik değeri (2.tekerlek),

Denkl. (5.27 ve 5.40) ten

$$a_i^+ = \frac{\frac{1-\phi}{2} - \left[\frac{1}{2} \lambda_8^+ + (1-\psi) z_0 \cdot T_2^+ \right]}{\left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ + (1-\psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right]} \quad (5.49)$$

elde edilir.

5.3.2 Hareket yüzeyinin $\delta \neq 0$, $\delta = 0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımı

Bu durum kütlelerin eğik bir yüzeydeki hareketini belirlemektedir. Bu hareket esnasındaki durum denklemlerini bulmak için daha önce elde edilen denklemlerde $\delta = 0$ alınması yeterlidir.

5.3.2.1 Negatif ivmelendirme durumu

Denkl. (5.4) ve (5.5) ten

Ön tekerleklerin kuvvet bağıntısı :

$$(f_K)_{\delta} = \frac{(1-\phi)a}{(1-\psi)\cos\delta + (a + \sin\delta - w_{Tx})\chi + a \cdot i_t/L} \quad (5.50)$$

İşaretler :

Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması halinde $-\chi \cdot \sin\delta$
 Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması halinde $+\chi \cdot \sin\delta$
 alınması lâzımdır.

Denkl. (5.6 - 5.7) den

Arka tekerleklerin kuvvet bağıntısı :

$$(f_K)_A = \frac{\phi \cdot a}{\psi \cdot \cos\delta - (a + \sin\delta - w_{Tx})\chi - a \cdot i_t/L} \quad (5.51)$$

İşaretler :

Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması halinde $+\chi \cdot \sin\delta$
 Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması halinde $-\chi \cdot \sin\delta$
 alınması lâzımdır.

Denkl. (5.8 - 5,9 ve 5.50) den

Ön tekerleklerin aderans değerinden faydalanma büyüklüğü :

$$(a/f_K)_{\delta} = \frac{(1-\psi)\cos\delta + (\sin\delta + w_{Tx})}{(1-\phi) - f(\chi + i_t/L)} \quad (5.52)$$

İşaretler :

Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması halinde $-\chi \cdot \sin\delta$
 Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması halinde $+\chi \cdot \sin\delta$
 ve her iki hareket durumu için $-w_{Tx} \cdot \chi$
 alınmalıdır.

Denkl. (5.10 - 5.11) dan

Arka tekerleklerin aderans değerinden faydalanma büyüklüğü:

$$(a/f_K)_A = \frac{\psi \cdot \cos \gamma + \chi (\sin \gamma + w_{Tx})}{\phi + f (\chi + i_{t/L})} \quad (5.53)$$

Denkl. (5.13) ten

Ulaşılabilecek en büyük frenleme değeri

$$a_{\max} = \frac{\psi \cdot \cos \gamma + (\sin \gamma + w_{Tx}) \chi}{\phi + (\chi + i_{t/L})} \quad (5.54)$$

Denkl. (5.14) ten

İdeal frenleme değeri

$$a_i = \frac{\psi \cdot \cos \gamma + \chi (\sin \gamma + w_{Tx}) - \phi}{\chi + i_{t/L}} \quad (5.55)$$

elde edilir.

Denkl. (5.53 - 5.54 ve 5.55) in işaretleri

Hareketin eğik yüzeyde yukarı doğru olması halinde $+\chi \cdot \sin \gamma$
Hareketin eğik yüzeyde aşağı doğru olması halinde $-\chi \cdot \sin \gamma$
ve heriki hareket için ise $+w_{Tx}$
alınmalıdır.

5.3.2.2 Pozitif ivmelendirme durumu

Denkl. (5.17 ve 5.18) den

Ön tekerleklerin kuvvet bağıntısı :

$$(f_K)_{\text{ö}} = \frac{(1 - \phi) \cdot a^+}{(1 - \psi) \cos \gamma - (a^+ + \sin \gamma + w_{Tx}) \chi - a^+ \cdot i_{t/L}} \quad (5.56)$$

Denkl. (5.19) ve (5.20) den

Arka tekerleklerin kuvvet bağıntı katsayısı :

$$(f_K)_A = \frac{\phi \cdot a^+}{\psi \cdot \cos \gamma + (a^+ \sin \gamma + w_{Tx}) \chi + a^+ \cdot i_{t/L}} \quad (5.57)$$

Denkl. (5.21) ve (5.22) den

Ön tekerleklerin aderans değerinden faydalanma büyüklüğü :

$$(a/f_K)_{\text{ö}} = \frac{(1 - \psi) \cos \gamma + (\sin \gamma + w_{Tx}) \chi}{(1 - \phi) + f (\chi + i_{t/L})} \quad (5.58)$$

Denkl. (5.23) ve (5.24) ten

Arka tekerleklerin aderans değerinden faydalanma büyüklüğü:

$$(a/f_K)_A = \frac{\psi \cdot \cos \delta + (\sin \delta + w_{Tx}) \chi}{\phi - f (\chi + i_{t/L})} \quad (5.59)$$

Denkl. (5.26) ve (5.58) de $f=1$ alınarak ön tekerleklerde ulaşılabilecek en büyük tahrik değeri :

$$a_{\max}^+ = \frac{\psi \cdot \cos \delta + \chi (\sin \delta + w_{Tx})}{\phi + (\chi + i_{t/L})} \quad (5.60)$$

Denkl. (5.27) den $a^+=f$; $(a/f_K)_{\delta} = (a/f_K)_A = 1$ alınarak elde edilen ideal tahrik değeri :

$$a_i^+ = \frac{\phi - [\psi \cdot \cos \delta + (\sin \delta + w_{Tx}) \chi]}{\chi + i_{t/L}} \quad (5.61)$$

değeri elde edilir.

İşaretler :

5.3.2.1. paragrafta verilen işaretler burada da aynen geçerlidir.

5.3.3 Hareket yüzeyinin $\delta=0$, $\dot{\delta}=0$ olması durumunda ideal kuvvet dağılımını :

Kütlenin düz bir yüzeydeki hareketi esnasındaki durumunu belirten denklemler, Denkl. (5.50 - 5.61) $\delta=0$ alınarak elde edilebilir. Aynı neticeye, Denkl. (2.69) (2.72) $\delta=0$ ve $\dot{\delta}=0$ alınmak suretiyle de ulaşılabılır.

5.3.3.1 Negatif ivmelendirme :

Denkl. (5.50) den

$$(f_K)_{\delta} = \frac{(1 - \phi) a}{(1 - \psi) + (a - w_{Tx}) \chi + a \cdot i_{t/L}} \quad (5.62)$$

Denkl. (5.51) den

$$(f_K)_A = \frac{\phi \cdot a}{\psi - (a - w_{Tx}) \chi - a \cdot i_{t/L}} \quad (5.63)$$

Denkl. (5.52) den

$$(a/f_K)_{\delta} = \frac{(1-\psi) + \chi \cdot w_{Tx}}{(1-\phi) - f(\chi + i_{t/L})} \quad (5.64)$$

Denkl. (5.53) den

$$(a/f_K)_A = \frac{\psi + \chi \cdot w_{Tx}}{\phi + f(\chi + i_{t/L})} \quad (5.65)$$

Denkl. (5.54) ten

$$a_{\max} = \frac{\psi + \chi \cdot w_{Tx}}{\phi + (\chi + i_{t/L})} \quad (5.66)$$

Denkl. (5.55) ten

$$a_i = \frac{\psi + \chi \cdot w_{Tx} - \phi}{\chi + i_{t/L}} \quad (5.67)$$

değerleri elde edilir.

5.3.3.2. Pozitif ivmelendirme :

Denkl. (5.56) dan

$$(f_K)_{\delta} = \frac{(1-\phi) a^+}{(1-\psi) - (a^+ + w_{Tx})\chi - a^+ \cdot i_{t/L}} \quad (5.68)$$

Denkl. (5.57) den

$$(f_K)_A = \frac{\phi \cdot a^+}{\psi + (a^+ + w_{Tx})\chi + a^+ \cdot i_{t/L}} \quad (5.69)$$

Denkl. (5.58) den

$$(a/f_K)_{\delta} = \frac{(1-\psi) + \chi \cdot w_{Tx}}{(1-\phi) + f(\chi + i_{t/L})} \quad (5.70)$$

Denkl. (5.59) dan

$$(a/f_K)_A = \frac{\Psi + \chi \cdot w_{Tx}}{\phi - f(\chi + i_{t/L})} \quad (5.71)$$

Denkl. (5.60) (5.70) den

$$a_{\max}^+ = \frac{\Psi + \chi \cdot w_{Tx}}{\phi + (\chi + i_{t/L})} \quad (5.72)$$

Denkl. (5.61) den

$$a_i^+ = \frac{\phi - (\Psi + \chi \cdot w_{Tx})}{\chi + i_{t/L}} \quad (5.73)$$

Buraya kadar bir model üzerinde yapılan çalışmalar ile eğri bir hareket yüzeyi üzerinde ivmelendirilen araçın tekerlekleri ile yol arasında meydana gelen kuvvet bağıntıları, aracın hareket ettiği yol durumunda ulaşabileceği max frenleme veya max tahrik değerleri ve aracın aynı yolda emniyetle hareket edebilmesi için hareket yüzeyinin sınır açılarının değerleri hesaplanmıştır. Bundan sonraki kısımda, elde edilen neticeler seri halde imâl edilen bir araca, kabul edilen yol konumları için, uygulanacaktır.

6- Neticelerin bir araç üzerindeki uygulaması :

Uygulamanın yapılacağı aracın teknik değerleri şöyledir :

$$\begin{array}{ll} G = 3225 \text{ Kg} & \Psi = 0,575 \\ R_{\text{din}} = 328 \text{ mm} & \chi = 0,38 \\ L = 2,500 \text{ mm} & \phi = 0,31 \\ & a_M = 0,2 \end{array}$$

Aracın ve hareket edeceği yüzeyin konumu :

$$\alpha = 10^\circ, \quad \gamma = 6^\circ, \quad \delta = 6^\circ$$

olarak kabul edilmiştir.

Kabul edilen aracın, düşünülen hareket yüzeyi üzerindeki hareket esnasında, tekerlekleri ile yol arasında, ivmelendirilmenin neticesi olarak meydana gelen dinamik yük değişiminin doğurduğu kuvvet bağıntı katsayıları ve aderans değerinden faydalanma büyüklükleri $f_K=f(a)$ ve $f_K=f(a/f)$

diyagramları ile ifade edilmiştir. Diyagramlarda $a = f$ doğrusu, ideal doğru olarak isimlendirilmiş ve tekerleklerin kuvvet bağıntı katsayı eğrilerinin bu doğruyu kestikleri noktalar, ideal noktalar olarak isimlendirilmiştir. Aynı diyagramlar üzerinde aracın hareket etmekte olduğu yol üzerinde ulaşabileceği max. frenleme ve tahrik değerleri de gösterilmiştir.

6.1 Eğri yol üzerindeki hareket ($\delta \neq 0$, $\delta \neq 0$) durumu :

6.1.1 Negatif ivmelendirme :

Diyagram 1

Bu diyagram ile azalan eğimli eğri bir yolda hareket eden aracın durumu belirlenmiştir. Bu diyagramdan görüleceği gibi $a = 0,6$ (%60 lık bir frenleme) değerinde arka tekerleklerde $f_{K3} = 0,96$ ve $f_{K4} = 0,715$ değerlerinde kuvvet bağıntıları meydana gelmektedir. Bu daha açık olarak şu şekilde ifade edilebilir, verilen bir hareket yüzeyinde arka tekerleklerin bloke olmadan %60 lık bir frenlemeye ulaşabilmeleri için $f_{K3} = 0,96$ ve $f_{K4} = 0,715$ lik kuvvet bağıntılarının gerçekleşmesi gerekmektedir. Aksi taktir de, $a = \%44,4$ lük bir frenleme değerinin üstündeki frenlemelerde eyvelâ aracın arkadaki üçüncü ve sonra dördüncü tekerleği bloke olurlar. Kötü kuvvet bağıntı katsayılarında, meselâ $f_K = 0,3$ ile sadece aracın ön aksındaki birinci tekerlek ile $a_1 = \%24$ ve ikinci tekerlek ile $a_2 = \%27$ lik bir frenleme elde etmek mümkündür.

Diyagramı diğer bir şekilde mütalâa etmek daha doğru olur. Araba sürücüsünün fren yaptığı anda, aracın

hareket ettiği yolun tekerlek / yol arasındaki aderans değeri ile ne kadar bir frenleme elde edeceğidir. Diyağramda verilen kuvvet bağıntı katsayıları yolun aderans değerlerine eşdeğer kabul edilebilir.

Meselâ, kuru bir buz tabakası ile kaplı bir yolda $f = 0,2$ ile sadece ön akstaki birinci tekerlek ile $a_1 = \%14$ ve ikinci tekerlek ile $a_2 = \%17$ frenleme elde edilebilir, bu ise sadece $b = 1,37 / 1,67 \text{ m/s}^2$ lik bir ivme verir. Bu durumda arabanın daha kuvvetli olarak frenlenmesi, evvelâ öndeki birinci ve biraz sonrada ikinci tekerleğin bloke olmasına sebep olur. Buna karşılık beton yol ($f=0,85$) daha yüksek frenleme değerine; arka akstaki üçüncü tekerlek ile $a_3 = \%57$ ve dördüncü tekerlek ile $a_4 = \%65$ ve $b = 5,6/6,38 \text{ m/s}^2$ lik bir ivmeye müsaade etmektedir.

Bu diyağram ile varılacak neticede esas iki nokta ile ifade edilebilir :

1. Yol ile tekerlekler arasındaki aderans değerinin (f) ve varılabilecek frenlemenin (a) veya negatif ivme (b) değerinin,
2. Hakikatte, dinamik yük değişimi sebebiyle her tekerlekteki kuvvet bağıntı katsayısının eşit olmasının kötü havada (kötü aderans değerlerinde) ön akstaki tekerleklerin (evvelâ birinci ve sonra ikinci tekerlek), iyi havada arka akstaki tekerleklerin (evvelâ üçüncü ve sonra dördüncü tekerlek) kaymasının veya bloke olmasının kolayca bulunabilmesi.

Tekerleklerin ideal noktanın altındaki frenleme değerlerinde, artan a - değeri ile yolun aderans değerinden faydalanma büyüklüğü artmakta ve ideal noktada bir'e eşit olmaktadır. İdeal noktanın üstündeki (yani büyük aderans değerine haiz yollarda) değerlerde artan frenleme değeri ile yolun aderans değerinden faydalanma büyüklüğü de azalan bir durum arz etmektedir.

Diyağram 1, in elde edilmesi için Denkl. (6.4 ilâ 6.11)

ideal frenleme $a_i = \%44$ Denkl. (6.14)

Ulaşılabilecek max frenleme $a_{\max} = \%61$, Denkl. (6.13)

kullanılmıştır.

Diyağram 2 :

Bu diyağram ile artan eğimli bir yolda hareket eden aracın durumu belirlenmiştir.

Yolun konumu sebebiyle, diyağramdan görülebileceği gibi ideal nokta daha yüksek bir frenleme değerinde $a_i = \%56,5$ meydana gelmektedir.

Ön tekerleklerin bloke olması $0,565$ aderans değerine kadar devam etmektedir. Ancak bu ideal noktanın üstündeki aderans değerlerinde arka tekerleklerin bloke olma durumu meydana gelmektedir. Aynı zamanda ideal noktanın altında

aracın önündeki birinci ve ikinci tekerleğin, yolun aderans değerinden faydalanma büyüklüğü, birinci diyagramda verilen duruma nazaran daha küçük ve ideal noktanın üzerinde ise aracın üçüncü ve dördüncü tekerleklerinin (a/f) değerleri ise daha yüksek bir değer arz etmektedirler. Diyagram 2'nin elde edilmesinde Denk1. (6.4 ilâ 6.11) ideal frenleme $a_1 = \%56,5/60,4$; Denk1. (6.14)

Max frenleme $a_{max} = \%72,5$; Denk1. (6.13)

istifade edilmiştir.

6.1.2 Pozitif ivmelendirme :

Diyagram 3 :

Bu diyagram ile azalan eğimli eğri bir yolda hareket eden aracın pozitif ivmelendirilmesi durumu belirlenmiştir. Bu diyagramdan görülebileceği gibi $a^+ = \%50$ ivmelendirme değerinin (tahrik değerinin) altında aracın birinci ve dördüncü, bu değer üstündeki durumlarda ise aracın birinci ve ikinci tekerlekleri bloke olma tehlikesi arz etmektedir. Bilhassa birinci tekerlek ideal doğrudan tamamen sapmış bulunmaktadır. Bu sebeple, birinci tekerleğin yükünün oldukça azalmış olması yüzünden, yüksek kuvvet bağıntısı (f_K) değerlerine rağmen oldukça düşük bir ivmelendirme (a^+) değerine ihtiyaç bulunmaktadır. Birinci tekerlek ile beton yolda ($f=0,85$) elde edilebilecek ivmelendirme değeri $a^+ = \%30$ ve $b_{max}=2,94 \text{ m/s}^2$ bir ivme olabilmektedir.

Birinci tekerleğin yolun aderans değerinden faydalanma büyüklüğü oldukça düşüktür.

Diyagram 3 elde edilmesi için Denk1. (6.17 ilâ 6.24)

İdeal ivmelendirme $a_1^+ = \%50 / 67$, Denk1. (6.27)

max tahrik değeri $a_1^+ \% 31$, Denk1. (6.26)

kullanılmıştır.

Diyagram 4 :

Artan eğimli eğri bir yolda hareket eden aracın durumu belirlenmiştir.

Aracın hareketi esnasında bilhassa $a = \%71$ altındaki ivmelendirme değerinin altında, birinci ve dördüncü bu değer üstündeki durumlarda ise birinci ve ikinci tekerlekleri bloke olma durumu arz etmektedirler. Birinci tekerlek, diyagram 3 te olduğu gibi, ideal doğrudan tamamen sapmış olmakla beraber, yolun konumu sebebiyle diyagram 3 ile belirtilen hareket durumundan daha uygun bir tendenz göstermektedir. Bütün tekerleklerin kuvvet bağıntı katsayı eğrileri diyagram 3 ile verilen duruma nazaran ideal doğruya daha fazla yaklaşmış bir durum arz etmektedirler. Beton yolda ($f=0,85$) birinci tekerlek ile, $a_1=\%40$ $b=3,92 \text{ m/s}^2$ lik bir ivmeye müsaade edilmektedir.

Birinci ve ikinci tekerleğin (a/f) değerleri, diyagram 3 teki değerlere nazaran artmıştır,

Diyagram 4 ün elde edilebilmesi için Denk1.(6.17 ilâ 6.24)

max tahrik değeri $a_{\max}^+ = \%42,3$; Denk1. (6.26) ve Birinci

tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%15$

İkinci tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%62,5$

Üçüncü tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%9$

Dördüncü tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%85$

noktalarında kesmektedir, Denk1. (6.27)

6.2 Eğri yoldaki hareket ($\gamma = 0$, $\delta \neq 0$) durumu :

6.2.1 Negatif ivmelendirme :

Diyagram 5 :

Bu diyagram ile eğri ve yükseltilmiş fakat eğimi olmıyan bir yoldaki hareketi esnasında negatif ivmelendirilen bir aracın durumu belirlenmiştir. $a = \%50$ ivmelendirme değerinin altında aracın birinci ve ikinci, bu değer üstündeki durumlarda ise aracın üçüncü ve dördüncü tekerlekleri bloke olma tehlikesi arz etmektedirler.

Beton yolda ($f = 0,85$), üçüncü tekerlek ile $a = \%60$, $b = 5,9$ m/s² lik bir ivmeye müsaade edilmektedir.

Diyagram 5'in elde edilebilmesi için Denk1. (6.28 - 6.35)

max frenleme değeri $a_{\max} = \%63,5$; Denk1. (6.37)

Birinci tekerleğin (f_K) eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%53$

İkinci tekerleğin (f_K) eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%48,6$

Üçüncü tekerleğin (f_K) eğrisi ideal doğruyu $a_1 = \%47,7$

Dördüncü tekerleğin (f_K) eğrisi ideal doğruyu $a_1 = \%39,2$

kesmektedir, Denk1. (6.38)

6.2.2 Pozitif ivmelendirme :

Diyagram 6 :

Bu diyagram ile eğri ve yükseltilmiş fakat eğimi olmıyan bir yolda hareketi esnasında pozitif ivmelendirilen bir aracın durumu belirlenmiştir.

$a^+ = \%57,5$ ivmelendirme değerinin altında aracın birinci ve dördüncü, bu değer üstündeki durumlarda ise aracın birinci, ikinci ve dördüncü tekerlekleri ve $a^+ = \%85$ değerinin üstünde ise yalnız birinci ve ikinci tekerlekler bloke olma tehlikesi arz etmektedirler. Birinci tekerleğin

kuvvet bağıntı eğrisi ideal doğrudan tamamen sapsmış bulunmaktadır. Beton yolda ($f=0,85$), birinci tekerlek ile $a^+=\%32$ $b = 3,14 \text{ m/s}^2$ lik bir ivmeye müsaade edilmektedir. Birinci ve dördüncü tekerleklerin (a/f) değerleri oldukça düşük durum arz etmektedirler.

Diyagram 6'nın elde edilebilmesi için Denk1. (6,39 -6.46)

max tahrik değeri $a_{\max}^+ = \%37$, Denk1.(6.48) ve

birinci tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%7$

ikinci tekerleğin f_K eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%57,5$

Üçüncü tekerleğin eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%5,7$

dördüncü tekerleğin eğrisi ideal doğruyu $a_1^+ = \%85$

noktalarında kesmektedirler, Denk1. (6.49)

6.3 Eğik ve düz bir yoldaki hareket ($\delta \neq 0$, $\delta = 0$ ve $\delta = 0$, $\delta = 0$) durumu :

6.3.1 Negatif ivmelendirme :

Diyagram 7 :

Bu diyagramda üç ayrı durum beraberce gösterilmiştir.

- aracın artan eğimli bir yoldaki hareketi
- aracın azalan eğimli bir yoldaki hareketi
- aracın düz bir yoldaki hareketi

Her üç durumda da belirli bir ideal noktaya kadar ön tekerlekler ve ideal noktanın üstündeki frenlemelerde ise arka tekerlekler bloke durumu arz etmektedirler.

$f = 0,2$ lik bir aderans değerine haiz bir yolda aracın meyilli bir yolda aşağı hareketinde $a_1=\%16$, düz bir yolda hareketinde $a_2=\%14$ ve meyilli bir yolda yukarı hareketinde $a_3= \%12$ bir frenleme elde edilir ve bu yol durumları ise aracın $b=1,57/1,37/1,18 \text{ m/s}^2$ bir ivmeye ulaşmasını sağlarlar. Buna karşılık beton bir yol ($f=0,85$) ise aynı yol konumlarında daha yüksek frenleme değerlerine $a=\%65/\%70/\%74,5$ ve $b=6,38 / 6,87 / 7,3 \text{ m/s}^2$ ivme değerlerine müsaade etmektedir.

Diyagram 7'in elde edilmesi için Denk1. (6.50....6.53)
(6.62....6.65)

İdeal frenleme :

Aracın eğik yolda aşağı hareketinde $a_1=\%43,5$; Denk1.(6.55)

Aracın düz yoldaki aşağı hareketinde $a_1=\%52$; Denk1.(6.67)

Aracın eğik yolda yukarı hareketinde $a_1=\%60$; Denk1./6.55)

ulaşılacak max frenleme :

aracın eğik yolda aşağı hareketinde $a_{max}=\%65$; Denk1.(6.54)

aracın düz yoldaki " $a_{max}=\%70$; Denk1.(6.66)

aracın eğik yolda yukarı " $a_{max}=\%74,5$; Denk1.(6.54)

6.3.2 pozitif ivmelendirme :

Diyağram 8 :

Bu diyağram ile aynen aracın diyağramı 7 ile verilen üç ayrı yol konumundaki durumları pozitif ivmelendirme durumları için gösterilmiştir. Bu diyağramın, diyağram 7 den olan en büyük ayrıcalığı ideal noktaların altında aracın pozitif ivmelendirilmesi sebebiyle arka tekerleklerin bloke olma durumu göstermesidir. İdeal noktaların üstündeki değerlerde ise ön tekerleklerin bloke oldukları görülmektedir. Diğer bir fark ta, meydana gelen ideal nokta değerlerinin negatif ivmelendirme durumundaki ideal değerlere nazaran çok daha düşük olmalarıdır.

$f= 0,2$ lik bir aderans değerine haiz bir yol aracın meyilli bir yolda aşağı doğru hareketinde $a_1^+=\%17$, düz bir yoldaki hareketinde $a_2^+=\%19$ ve meyilli bir yolda yukarı hareketinde $a_3^+ = \%20$ bir tahrik değerine ve aynı yol durumları ise aracın $b=1,67 / 1,865 / 1,96$ m/s² lik bir ivmeye ulaşmasına müsaade ederler. Buna karşılık beton bir yol ($f = 0,85$) işe aynı yol konumlarında daha yüksek tahrik değerlerine $a^+ = \%50 / \%47 / \%43$ ve $b = 4,9 / 4,6 / 42,2$ m/s² ivme değerlerine müsaade etmektedir.

Diyağram 8'in elde edilmesi için Denk1. (6.56....6.59)

(6.68....6.71)

İdeal frenleme :

aracın eğik bir yolda aşağı hareketinde $a_i=\%15,3$ Denk1.(6.6)

aracın düz yoldaki " $a_i=\%22,5$ Denk1.(6.73)

aracın eğik bir yolda yukarı " $a_i=\%31$ Denk1.(6.61)

Ulaşılabilecek max frenleme :

aracın eğik yolda aşağı hareketinde $a_{max}=\%51$, Denk1.(6.60)

aracın düz yoldaki " $a_{max}=\%48$, Denk1.(6.72)

aracın eğik yolda yukarı hareketinde $a_{max}=\%44$, Denk1.(6.60)

Kabul edilen aracın teknik değerlerine göre çizilen sekiz diyağramdan elde edilen neticeler, bir tablo Şeklinde bir araya getirilmiŐtir. Bu tabloda aracın , değişik yol ko- numlarında yolun aderans değerine ve ivme durumuna göre tekerleklerinin ulaşabileceği frenleme, tahrik değerleri ile ideal-max frenleme ve tahrik değerleri (Tablo 1) Kuru buz tabakalı ($f=0,2$) ve beton yol ($f=0,85$) için gösterilmiştir.

Datum	Bearbeitet	Geprüft	Gesehen

Mappe Nr

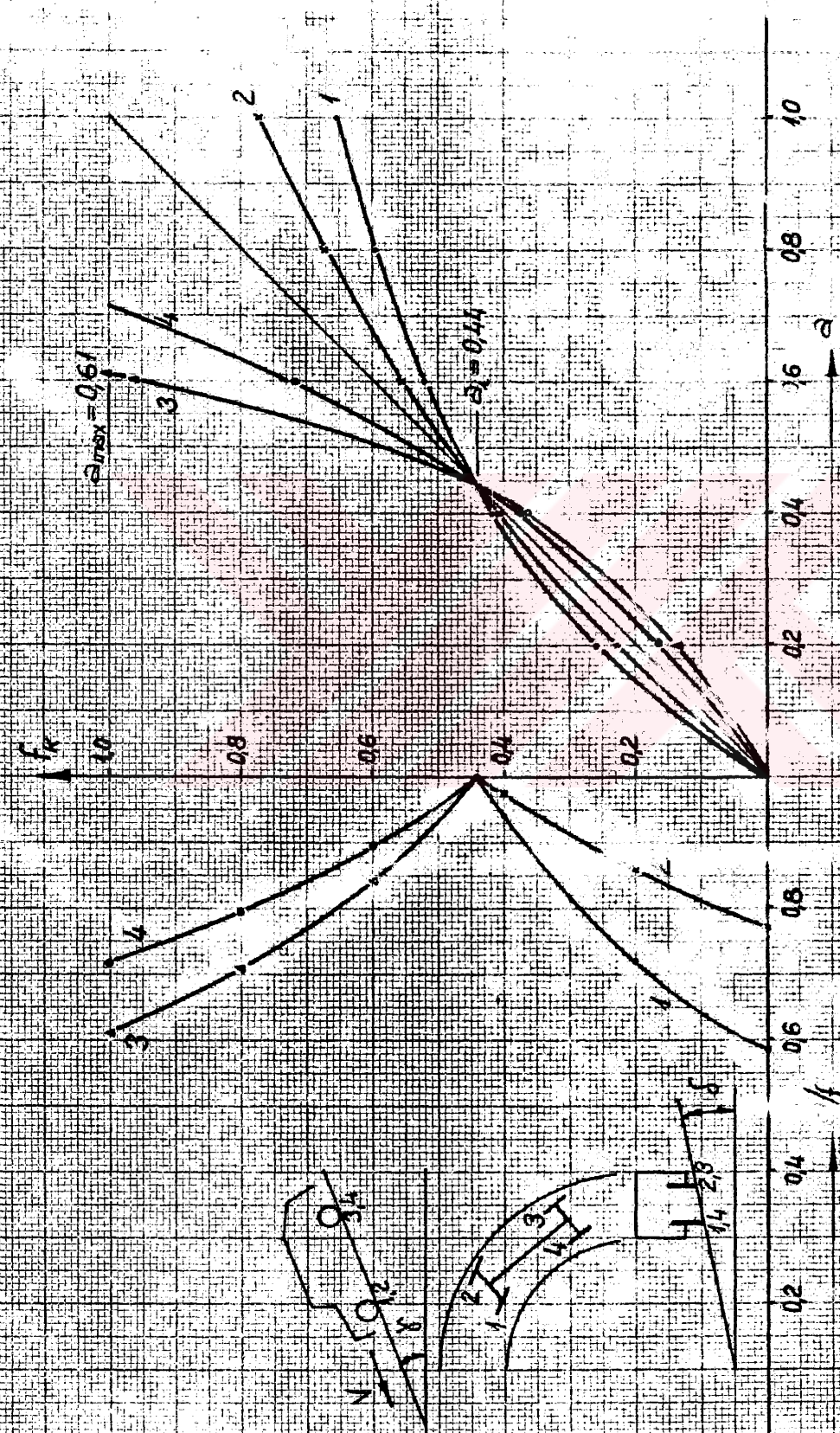
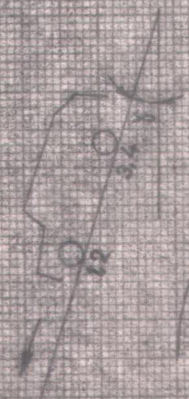
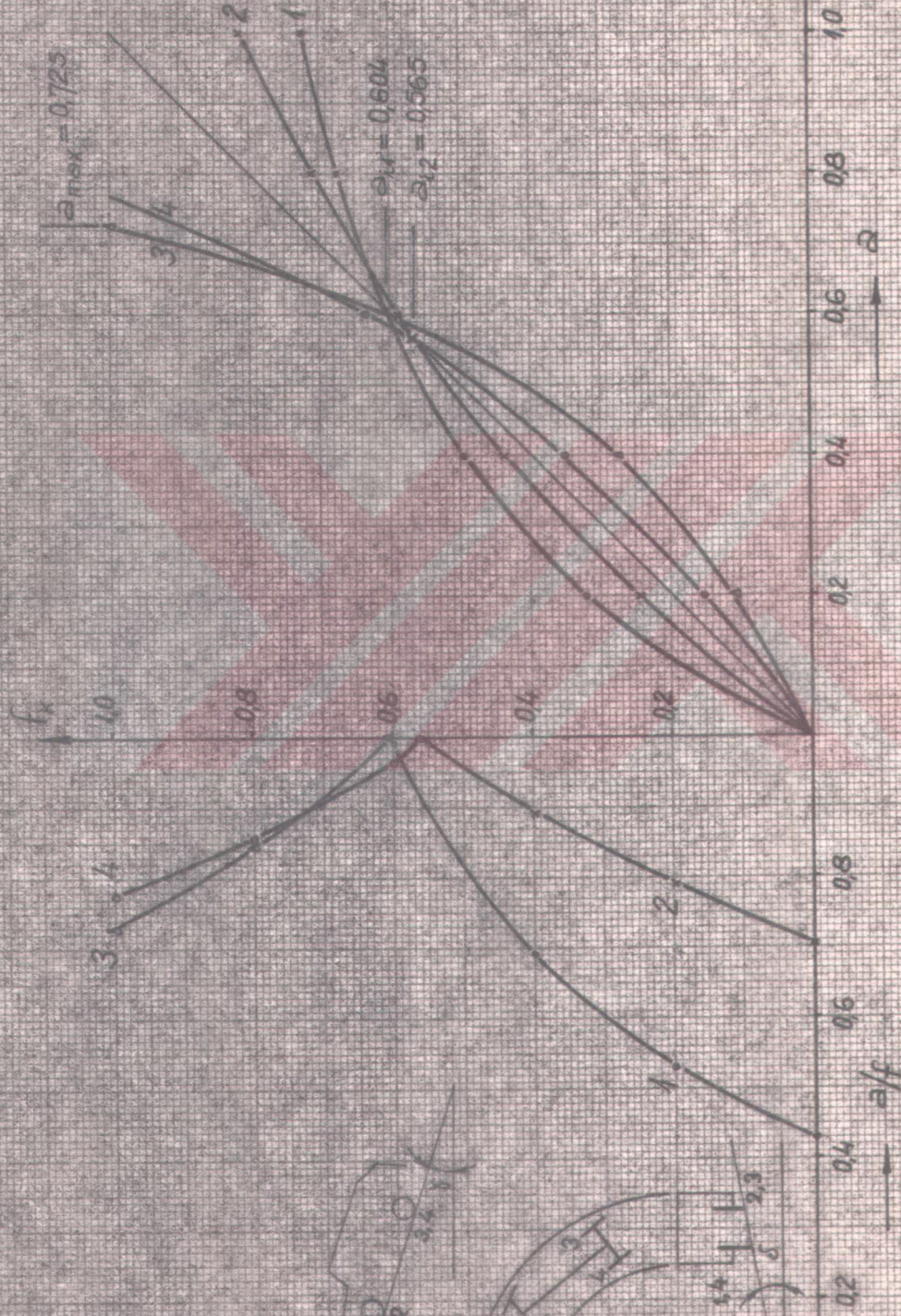


Diagram 1. A - lan eğimli eğ. i bir yolda ($\delta \neq 0, \sigma \neq 0$) hareket eden aracın
 neç. tic. ivmelenme rilmesi, (franclerilmesi) esnasında dört teker.
 leg. a. b. c. d. kuvvet bağuntı, katsayısının (f_k) ve yolun aderans
 değerinde, f. y. c. d. b. n. n. o. büyüklüğünün (a/f_k) değişimini

Datum	Başarlılık	Geçirili	Görülen
-------	------------	----------	---------



TÜRKİYE
BİLİMSEL ve TEKNİK
ARASTIRMA KURUMU
KUTUPHANESİ

Diyafram 2. Artan eğimli eğri bir yola ($X \neq 0, d \neq 0$) hareket eden aracın negatif ivmelenmesi (frenlenmesi) esnasında dört tekerleğindeki kuvvet bağını katsayısının (f_k) ve yolun adanans değeriinden faydalananma büyüklüğünün (a/f_k) değişimi.

Mappe Nr

Datum: Basi baltet Geprüft Gesehen

Mappe Nr

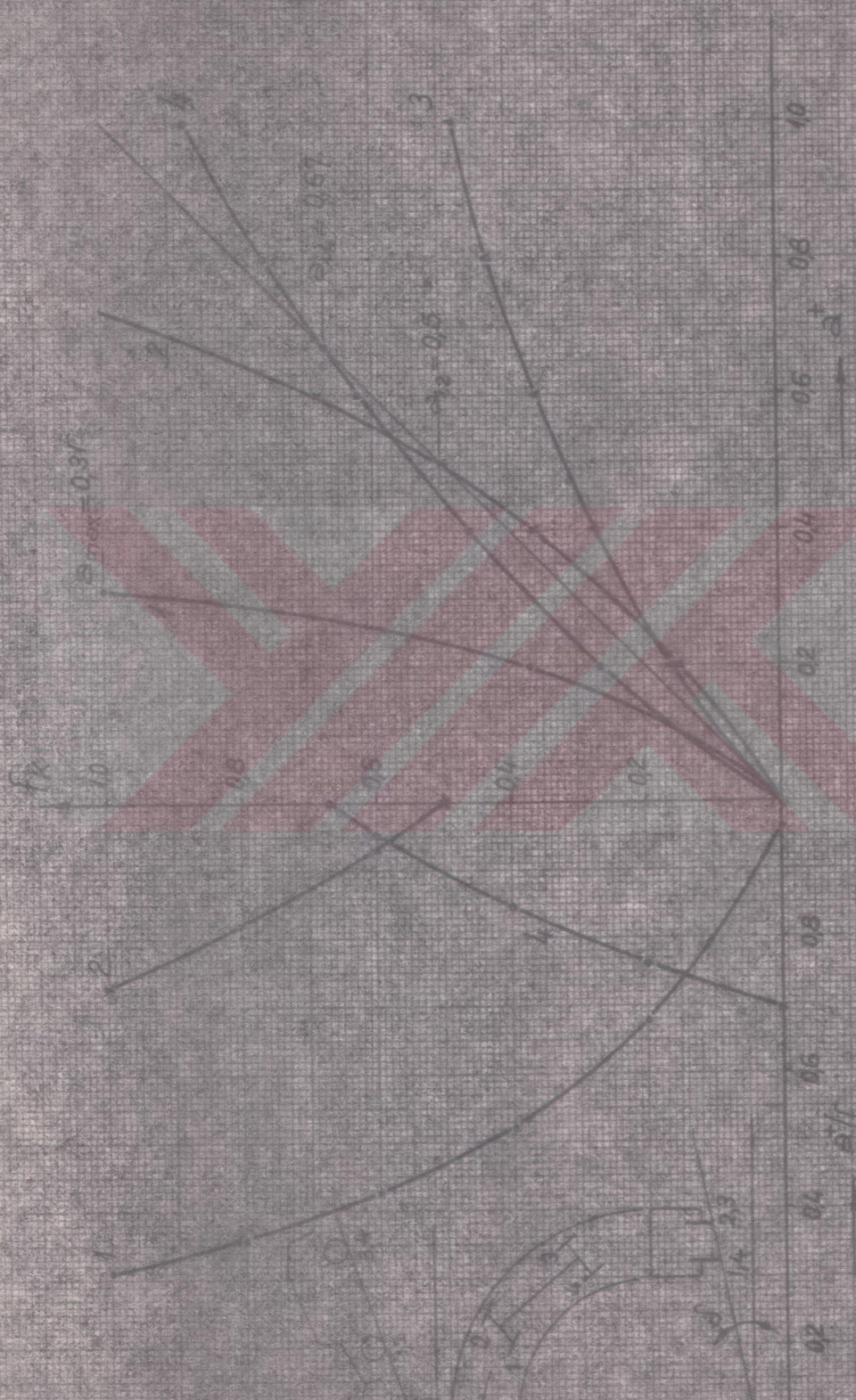


Diagram 3. Azalan eğimli eğri bir yolda ($\delta \neq 0$, $\delta \neq 0$) hareket eden araçın pozitif ivmelenendirilmesi (Görünk edimleri) sırasında dört-tekerlekli motorlu kuvvetli taşıtın taşıma kapasitesinin (f_k) ve yolun adansans değerinden faydalanma büyüklüğünün (a/l) değişimi.

Datum	Bearbeitet	Geprüft	Gesehen
-------	------------	---------	---------

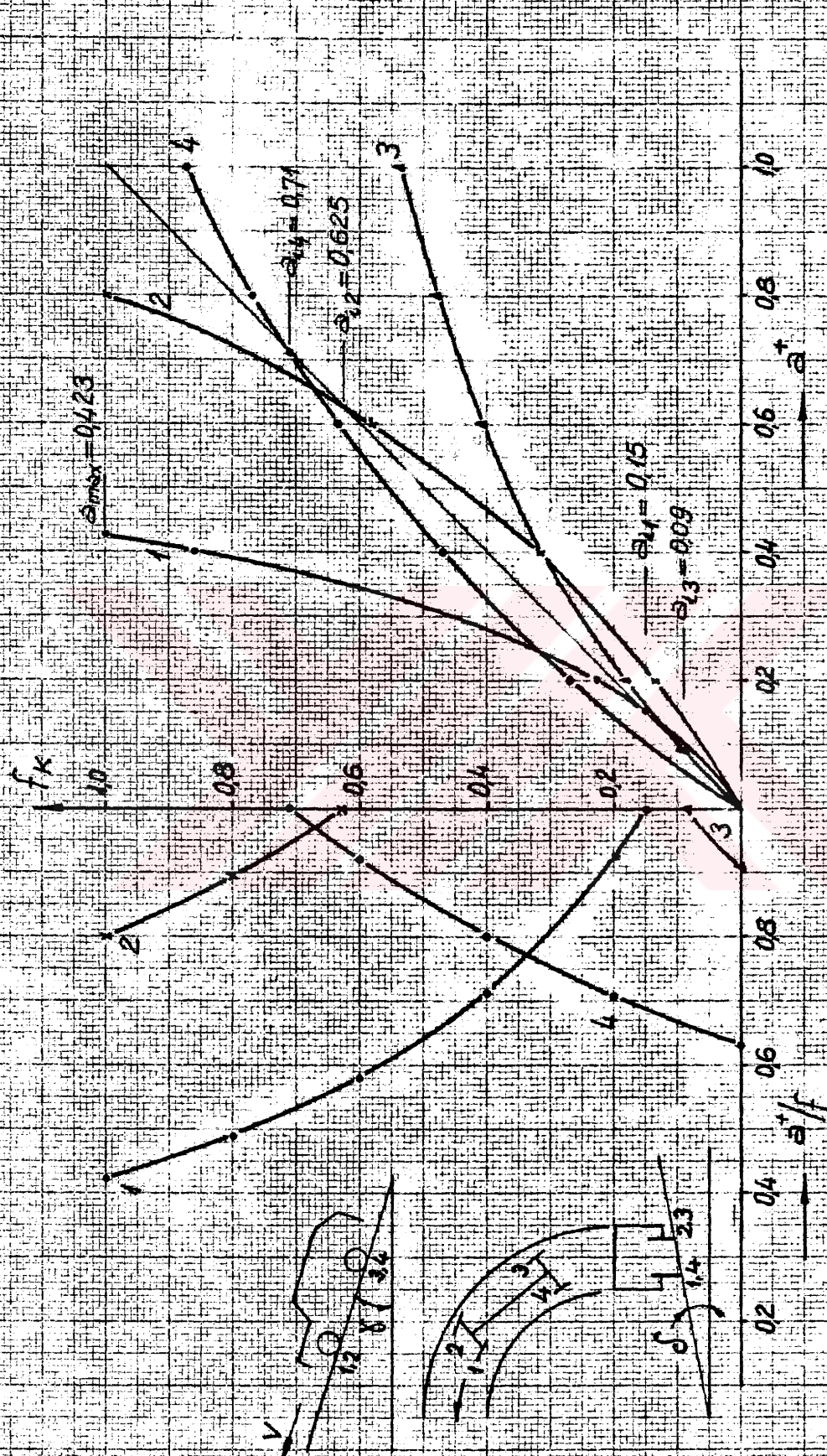
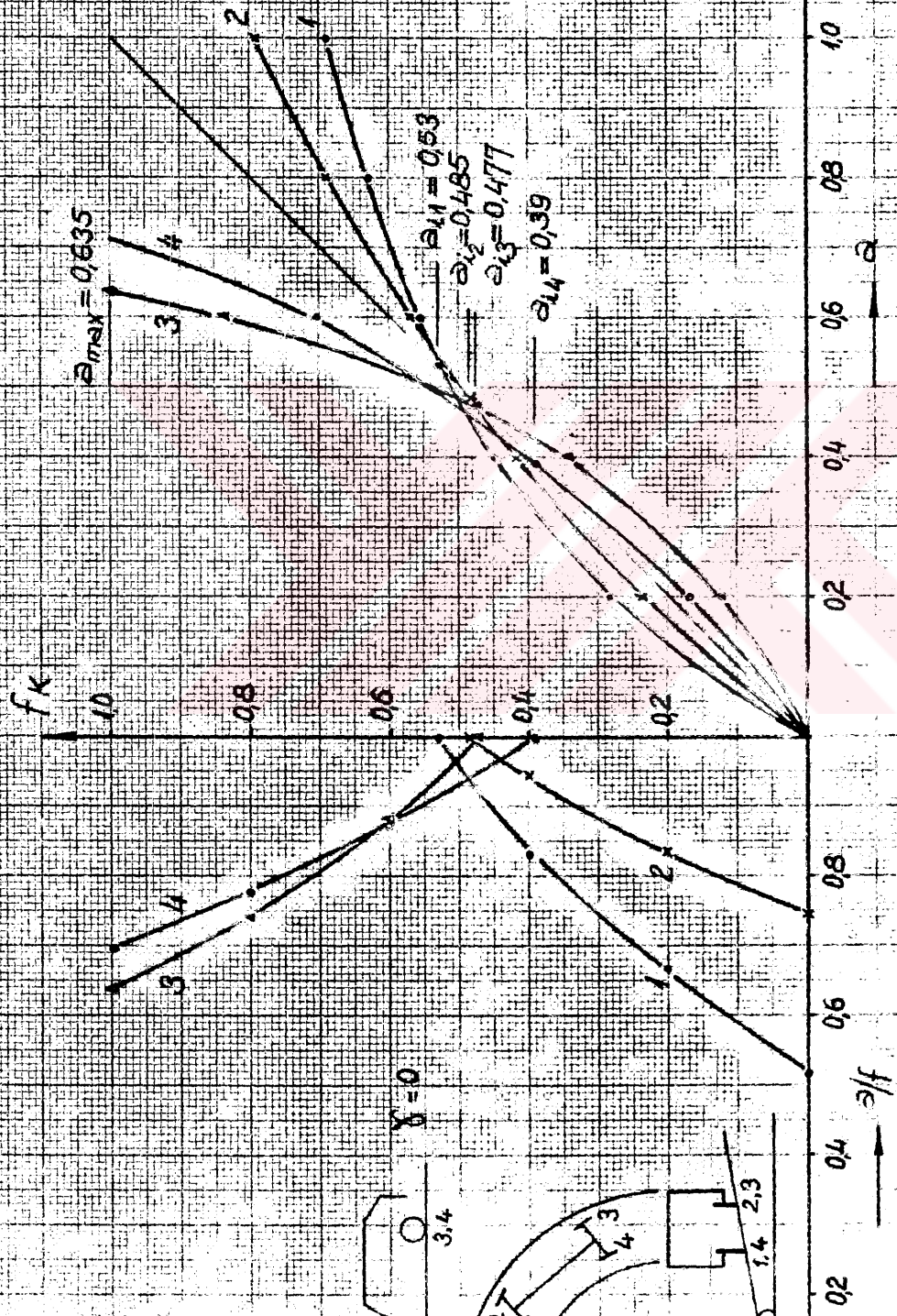
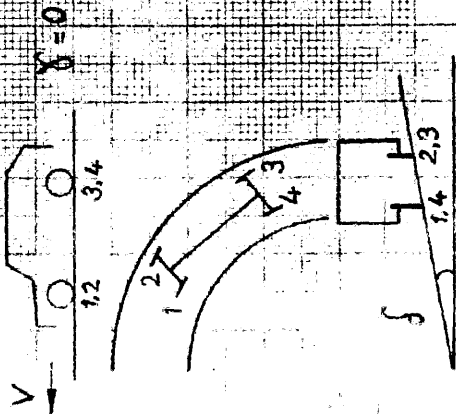


Diagram 4. Artan eğimli eğil bir yolda ($\gamma \neq 0, \delta \neq 0$) hareket eden araçın pozitif ivmelenmesi (tahrik edilmesi) esnasında dört tekerleğindeki kuvvet bağıntı katsayısının (f_k) ve yolun alarans değerinden faydalanma büyüklüğünün (a^*/f_k) değişimi.

Mappe Nr

Datum	Bearbeitet	Geprüft	Gesehen
-------	------------	---------	---------



Diyagram 5, Yükseltilmiş ve eğimi alınmayan eğri bir yolda ($\alpha = 0, d \neq 0$) hareket eden aracın negatif ivmelenirilmesi (frenlenmesi) esnasında dört tekerleğindeki kuvvet bağıntı katsayısının (F_k) ve yolun adanans değerinden faydalanma büyüklüğünün (Δf) değişimi.

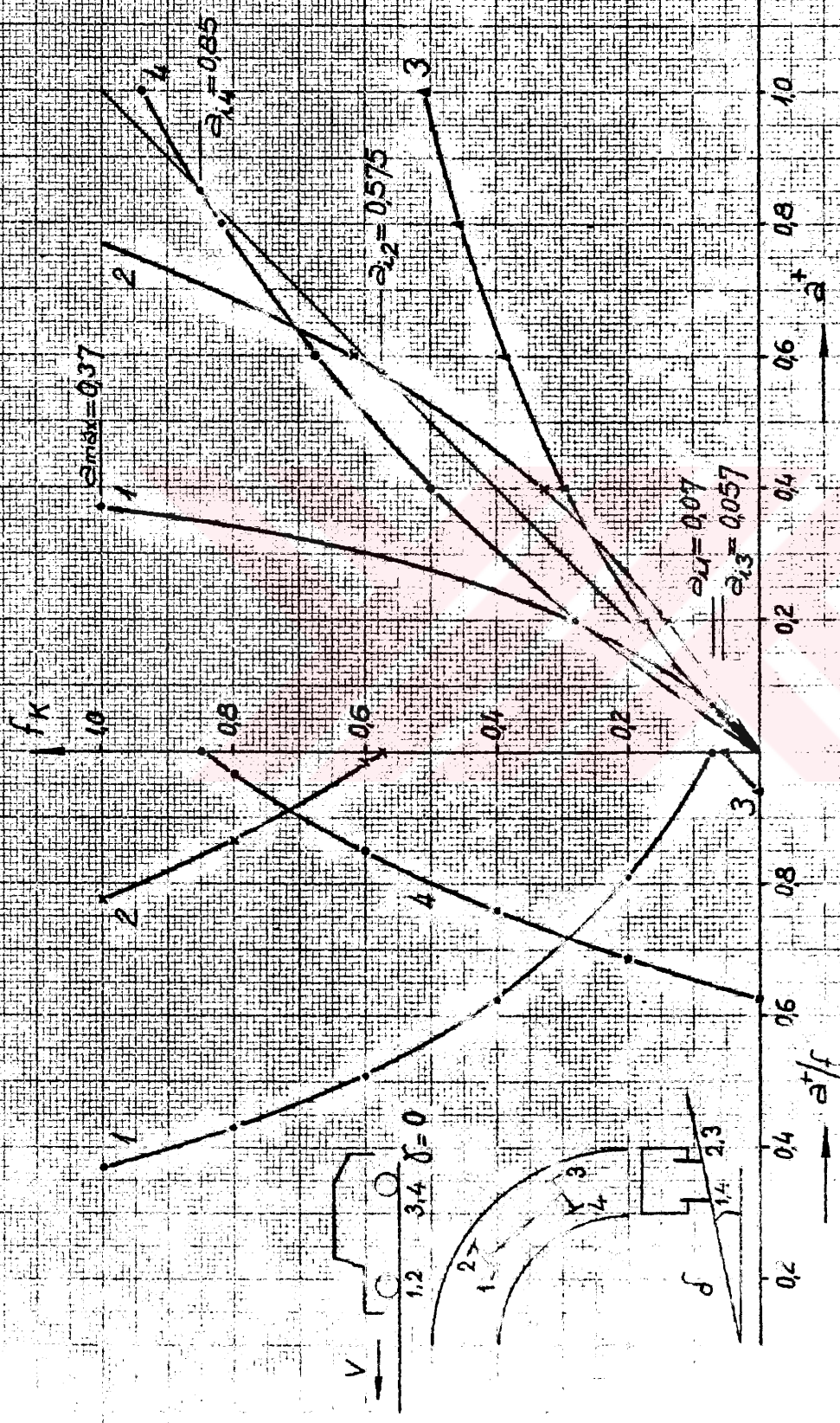


Diagram 6, Yük itilimi ve çimisi olmayan eğri bir yolda ($\delta = 0$, $d = 0$) hareket eden aracın pozitif kımelenirilmesi (çatırık edilmesi), sırasındaki dört tekerleğindeki kuvvet bağını katsayısının (f_k) ve yolun adersans değeri için faydalanma büyüklüğünün (a/f_k) değişimi.

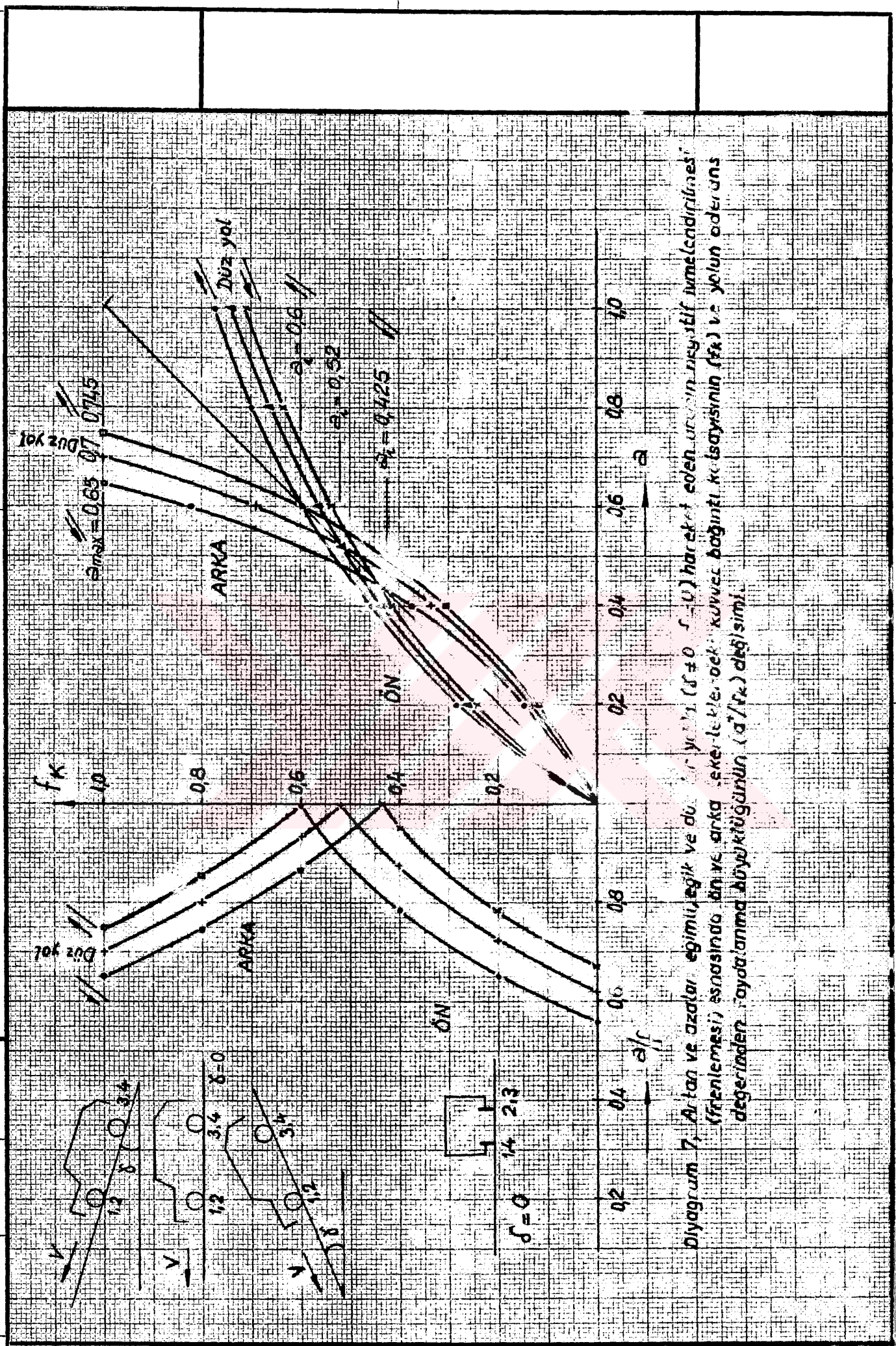
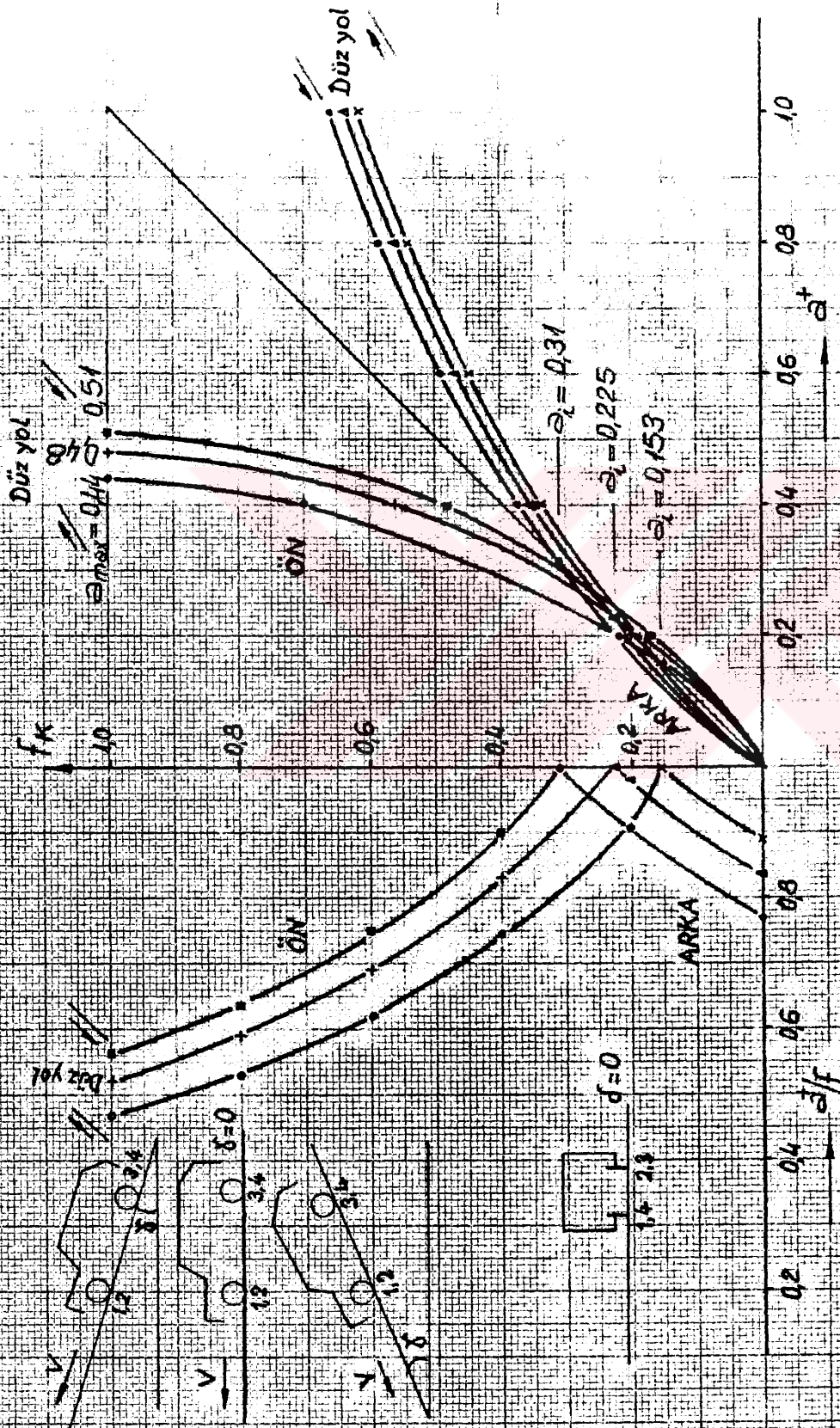


Diagram 7. Arka ve azalar eğimli, eğik ve düz yollar için (δ ≠ 0, f = U) hareket eden aracın duruşu için gerekli mesafelerin (fk) ve yolun eder unsurlarının (a) ve yolun eder unsurlarının (d/r) değişimi.

Mappe Nr



Diyagram 8. Artan ve azalan eğimli, eğik ve düz bir yolda ($\delta \neq 0$, $d = 0$) hareket eden aracın pozitif ivmelenmesini (tahrik edilmesi) esnasında ön ve arka tekerleklerdeki kuvvet bağıntı katsayısının (f_k) ve yolun düzlüğüne değerinden faydalanma büyüklüğünün (d/f) değişimi

Mappe Nr

Tekerlekler Hareket yüzeyinin konumu	Kuru buz Tabakası f = 0,2				Beton Yol f = 0,85				ideal frenleme ve tahrik değerleri a_i [%]				Max. frenleme ve tahrik değerleri a_{max} [%]				ivme Durumu	Meyilli yüzeyde hareket	Diyagram No.	Hareket yüzeyi yükseletilmiş.
	a [%]				a [%]				a_i [%]				a_{max} [%]							
	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA				
$\delta \neq 0, \delta \neq 0$	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Negatif	↘	1	Hareket yüzeyi yükseletilmiş.
	14	17			57	64			44				61							
	10	15			69	69	60	56	56	60	56	56	73							
	13		15	30	66				50	67	67	67		31						
$\delta = 0, \delta = 0$				14	40	74			15	62	9	71	42				Pozitif	↗	2	Hareket yüzeyi yükseletilmiş.
	13	16					61	65	49	48	39		64							
	16			13	33	71			7	58	6	85	37							
							61		44											
$\delta = 0, \delta = 0$	14								65	52							Negatif	↘	7	Hareket yüzeyi Eğik ve Düz
	12						70		60				74,5							
			17		50				31					51						
			19		47				23					48						
$\delta = 0, \delta = 0$			20		43				15					44			Pozitif	↗	8	Hareket yüzeyi Eğik ve Düz

TABLO 1

7. Sabitleşer :

7.1 Kütlenin negatif ivmelendirilmesi durumu :

$$\Lambda_1 = \frac{1}{r_m} \left[(a \pm w_{Tx} \pm \sin \delta) r_M - \frac{m}{L} (r_0 \cdot \sin \alpha_0 + r_A \cdot \sin \alpha_A) \right]$$

$$\Lambda_2 = \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \cos \alpha_A - \frac{\text{tg} \alpha_A}{L} L_1$$

$$\Lambda_3 = -\frac{\text{tg} \alpha_A}{L} L_2$$

$$\Lambda_4 = (1 - \phi) \Lambda_1 \cdot \cos \alpha_0 + \frac{\text{tg} \alpha_0}{L} L_3$$

$$\Lambda_5 = \frac{\text{tg} \alpha_0}{L} L_4$$

$$\Lambda_6 = \psi (\cos \delta \cdot \cos \delta + a_M \cdot \sin \delta) - \chi (k_{RM} \cdot \sin \alpha + w_T \cdot \cos \alpha)$$

$$\Lambda_7 = -\chi \cos \alpha - i_t/L$$

$$\Lambda_8 = (1 - \psi) (\cos \delta \cdot \cos \delta + a_M \cdot \sin \delta) + \chi \cdot T_1$$

$$\Lambda_9 = \chi \cdot \cos \alpha + i_t/L$$

$$\Lambda_{10} = \mp \frac{\chi}{2} \cos \alpha$$

$$L_1 = \psi (k_{RM} \cdot \cos \alpha - w_T \cdot \sin \alpha) - \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A - m/L =$$

$$= \psi \cdot T_2 - \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A - m/L$$

$$L_2 = -\psi \cdot \sin \alpha$$

$$L_3 = (1 - \psi) (k_{RM} \cdot \cos \alpha - w_T \cdot \sin \alpha) + (1 - \phi) \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_0 + m/L =$$

$$= (1 - \psi) T_2 + (1 - \phi) \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_0 + m/L$$

$$L_4 = -(1 - \psi) \sin \alpha$$

$$L_5 = \frac{L_1}{L} + \phi \cdot \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_A$$

$$L_6 = \frac{L_2}{L}$$

$$L_7 = \frac{L_3}{L} - (1-\phi) \Lambda_1 \cdot \sin \alpha_0$$

$$L_8 = \frac{L_4}{L}$$

$$\Gamma_1 = \mp \frac{1}{2} \psi \cdot a_M + \left(\frac{\chi}{2} \cdot \sin \alpha + \psi \cdot z_A \cdot \cos \alpha \right) \cos \delta$$

$$\Gamma_2 = \left(\frac{\chi}{2} \cos \alpha - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) w_T - \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 + \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) a + \left[\Lambda_{10} - \psi \cdot z_A (\mp \sin \alpha) \right] \sin \delta$$

$$\Gamma_3 = \left(\frac{\chi}{2} \sin \alpha + \psi \cdot z_A \cdot \cos \alpha \right) a_M$$

$$\Gamma_4 = - \left(\frac{\chi}{2} \cos \alpha - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) w_T - \left(\frac{1}{2} \Lambda_7 - \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha \right) a$$

$$\Gamma_5 = - (a - w_{Tx}) \chi - a \cdot i_t$$

$$T_1 = k_{RM} \cdot \sin \alpha + w_T \cdot \cos \alpha$$

$$T_2 = k_{RM} \cdot \cos \alpha - w_T \cdot \sin \alpha$$

$$Z_{A1} = \frac{1}{2} \Lambda_6 \pm \psi \cdot z_A \cdot T_2$$

$$Z_{A2} = \frac{1}{2} \Lambda_7 \pm \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha$$

$$Z_{A3} = \Lambda_{10} \mp \psi \cdot z_A \cdot (\pm \sin \alpha)$$

$$Z_{\delta 1} = \frac{1}{2} \Lambda_{8\pm}(1-\Psi) Z_{\delta} \cdot T_2$$

$$Z_{\delta 2} = \frac{1}{2} \Lambda_{9\mp}(1-\Psi) Z_{\delta} \cdot \sin \alpha$$

$$Z_{\delta 3} = \Lambda_{10\mp}(1-\Psi) \cdot Z_{\delta} (\mp \sin \alpha)$$

7.2 Kütlenin pozitif ivmelendirilmesi durumu :

7.2.1 Sistemin dört tekerlekten tahrik edilmesi :

$$\Lambda_1^+ = \frac{1}{r_M} \left[(a_{\pm}^+ w_{Tx} \pm \sin \delta) r_M - \frac{m}{L} (r_0 \cdot \sin \alpha_0 + r_A \cdot \sin \alpha_A) \right]$$

$$\Lambda_2^+ = \phi \cdot \Lambda_1^+ \cdot \cos \alpha_A + \frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{L} \cdot L_1^+$$

$$\Lambda_3^+ = \frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{L} L_2^+$$

$$\Lambda_4^+ = (1-\phi) \Lambda_1^+ \cdot \cos \alpha_0 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{L} L_3^+$$

$$\Lambda_5^+ = - \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{L} L_4^+$$

$$\Lambda_6^+ = K \cos \delta \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta + \chi (-k_{RM} \cdot \sin \alpha + w_T \cdot \cos \alpha)$$

$$\Lambda_7^+ = \chi \cdot \cos \alpha + i_t/L$$

$$\Lambda_8^+ = (1-\Psi) (\cos \delta \cdot \cos \delta_{\pm} a_M^+ \cdot \sin \delta) - \chi \cdot T_1^+$$

$$\Lambda_9^+ = -\chi \cdot \cos \alpha - i_t/L$$

$$\Lambda_{10}^+ = \pm \frac{\chi}{2} \cos \alpha$$

$$L_1^+ = \Psi(k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) + \phi \cdot \lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A + \frac{m}{L} =$$

$$= \Psi \cdot T_2^+ + \phi \cdot \lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A + \frac{m}{L}$$

$$L_2^+ = \Psi \cdot \sin \alpha$$

$$L_3^+ = (1 - \Psi) \left[(k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) - (1 - \phi) \lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_0 - \frac{m}{L} \right]$$

$$L_4^+ = (1 - \Psi) \sin \alpha$$

$$L_5^+ = \frac{L_1^+}{L} - \phi \cdot \lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A$$

$$L_6^+ = \frac{L_2^+}{L}$$

$$L_7^+ = \frac{L_3^+}{L} + (1 - \phi) \lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_0$$

$$L_8^+ = \frac{L_4^+}{L}$$

$$\Gamma_1^+ = \pm \frac{1}{2} (1 - \Psi) a_M \left[\frac{\chi}{2} \sin \alpha + (1 - \Psi) z_0 \cdot \cos \alpha \right] \cos \delta$$

$$\Gamma_2^+ = \left[-\frac{\chi}{2} \cos \alpha + (1 - \Psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right] w_T - a^+ \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1 - \Psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right]$$

$$+ \sin \left[\lambda_{10}^+ + (1 - \Psi) z_0 \cdot (\pm \sin \alpha) \right]$$

$$\Gamma_3^+ = - \left[\frac{\chi}{2} \sin \alpha - (1 - \Psi) z_0 \cdot \cos \alpha \right] a_M$$

$$\Gamma_4^+ = \left[\frac{\chi}{2} \cos \alpha + (1 - \Psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right] w_T - \left[\frac{1}{2} \lambda_9^+ - (1 - \Psi) z_0 \cdot \sin \alpha \right] a^+$$

$$\Gamma_5^+ = -(a + w_{Tx}) \chi - a \cdot i_t$$

$$T_1^+ = -k_{RM} \cdot \sin \alpha + w_T \cdot \cos \alpha$$

$$T_2^+ = k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha$$

$$Z_{A1}^+ = \frac{1}{2} \lambda_6^+ \pm \Psi \cdot z_A \cdot T_2^+$$

$$Z_{A2}^+ = \frac{1}{2} \lambda_7^+ \pm \Psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha$$

$$z_{01}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_8^+ \pm (1-\Psi) z_{0} \cdot T_2^+$$

$$z_{02}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_9^+ \pm (1-\Psi) z_{0} \cdot \sin \alpha$$

$$z_{03}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_{10}^+ \pm (1-\Psi) z_{0} \cdot (+\sin \alpha)$$

7.2.2 Sistemin arta iki tekerlekten tahrik edilmesi :

Bu durum için, daha önce bulunan denklemlerde $\phi=1$ ve $M_{t0}=0$ değerlerinin yerlerine konulması halinde, bazı sabitelerin aşağıdaki gibi alınması gerekir.

$$\Lambda_2^+ = \Lambda_1^+ \cdot \cos \alpha_A + \frac{\text{tg} \alpha_A}{L} L_1^+$$

$$\Lambda_4^+ = - \frac{\text{tg} \alpha_0}{L} L_3^+$$

$$\Lambda_7^+ = \chi \cdot \cos \alpha + i_{tA}/L$$

$$\Lambda_9^+ = - \chi \cdot \cos \alpha - i_{tA}/L$$

$$L_1^+ = \Psi \cdot (k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) + \Lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A + \frac{m}{L} =$$

$$= \Psi \cdot T_2^+ + \Lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A + \frac{m}{L}$$

$$L_3^+ = (1-\Psi) \left[(k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) - \frac{m}{L} \right]$$

$$L_5^+ = \frac{L_1^+}{L} - \Lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_A$$

$$L_7^+ = \frac{L_3^+}{L}$$

$$z_{A2}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_7^+ \pm \Psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha$$

$$z_{02}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_9^+ \pm (1-\Psi) z_{0} \cdot \sin \alpha$$

7.2.3 Sistemin ön iki tekerlekten tahrik edilmesi:

Böyle bir durum için de daha önceki denklemlerde $\phi=0$ ve $M_{tA}=0$ değerlerinin yerlerine konulması halinde

7.2.2 ile verilen sabitelerin şu şekilde alınmaları gerekir.

$$\Lambda_2^+ = \frac{\text{tg} \alpha_A}{L} L_1^+$$

$$\Lambda_4^+ = \Lambda_1^+ \cdot \cos \alpha_0 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{L} L_3^+$$

$$\Lambda_7^+ = \chi \cdot \cos \alpha + i_{t0}/L$$

$$\Lambda_9^+ = -\chi \cdot \cos \alpha - i_{t0}/L$$

$$L_1^+ = \psi (k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) + \frac{m}{L} = \psi \cdot T_2^+ + \frac{m}{L}$$

$$L_3^+ = (1 - \psi) \left[(k_{RM} \cdot \cos \alpha + w_T \cdot \sin \alpha) - \Lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_0 - \frac{m}{L} \right]$$

$$L_5^+ = \frac{L_1^+}{L}$$

$$L_7^+ = \frac{L_3^+}{L} + \Lambda_1^+ \cdot \sin \alpha_0$$

$$Z_{A2}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_7^+ \pm \psi \cdot z_A \cdot \sin \alpha$$

$$Z_{02}^+ = \frac{1}{2} \Lambda_9^+ \pm (1 - \psi) z_A \cdot \sin \alpha$$

8. Sonuç

Bir model üzerinde yapılan bu çalışma ile eğri bir yüzey üzerinde belirli bir (h) yüksekliğindeki kütlelerin hareketi esnasında elastik bağlarla bağlı olduğu dört tekerleğin hareket durumları incelenmiştir.

Eğri bir yüzey üzerinde hareket eden kütlelerin genel bir kuvvet altında, bağlı bulunduğu tekerleklerdeki dinamik yük değişimi negatif ve pozitif ivmenin değerine bağlı bulunmaktadır. Kütlelerin eğri bir yörünge üzerindeki hareketi esnasında bağlı olduğu dört tekerleğe gerek negatif ve gerekse pozitif ivmelendirilmesinde tatbik edilen momentlerin dinamik yük değişimine göre dağılması, kütlelerin bu eğri yörünge üzerinde kalmasını sağlar. Aksi halde, kütlelerin hareket etmekte olduğu yörüngeden sapması tehlikesini ortaya çıkarır.

Bu incelemenin pratikteki tatbikatı olan motorlu taşıtlarda bu tehlike aşırı ivmelendirmelerde daima kendini hissettirmektedir. Bugün ki araçlarda, maalesef, negatif (fren) ve pozitif (tahrik) ivmelendirme esnasında, tekerleklerdeki dinamik yük değişimleri kaale alınmayarak moment dağılımı yapılmaktadır. Bu durum ise, aşırı ivmelendirme hallerinde, çok kerre, aracın hareket etmekte olduğu eğri yörüngeden (yoldan) çıkması tehlikesini yaratmaktadır.

İzmir, Ocak 1975

LITERATUR

- 1- BÖHM, F. Über den Fahrzustand des Kraftwagens auf einer ebenen Kreisbahn ohne Überhöhung Ingenieur-Archiv 1962/S. 390-394
- 2- BÖHM, F. Über die Fahrtichtungsstabilität und die Seitenempfindlichkeit des Kraftwagens bei Gerade-Ausfahrt, ATZ 1963/S.128-133
- 3- BRAESS, H.H. Beitrag zum Fahrverhalten des frontgetriebenen Kraftwagens bei Gaswechsel in Kurven ATZ 1969/S.385
- 4- BRAESS, H.H. Beitrag zur Stabilität des Lenkverhaltens von Kraftwagen, ATZ 1966/S.81
- 5- CHIESA, A.
RINONAPOLI, L. Fahrstabilität eines Kraftfahrzeuges bei vorgegebener Bahnkurve, ATZ 1966/S.218-223
- 6- DEININGER, W. Einfluss der Antriebskraft auf die Fahrstabilität von Kraftfahrzeugen, ATZ 1965/S.206-213
- 7- GÖRGE, W.
BODE, Ö. Rechnerische Untersuchung des Bremsverhaltens von Sattelzügen, VDI-Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik Heft 149
- 8- GÖRGE, W. Beitrag zur Berechnung des Brems- und Fahrverhaltens von Sattelkraftfahrzeugen bei Kurvenfahrt, VDI-Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik Heft 162
- 9- HASSELGRUBER, H. Verhalten eines Kraftfahrzeuges bei Kurvenfahrt, ATZ 1965/S.213-215
- 10- JINDRA, F. Richtungsstabilität von Lastzügen mit Achsschenkelgelenkten Anhängern, ATZ 1965/S.346
- 11- JINDRA, F. Der Einfluss der Radaufhängung auf die Richtungshaltung und Stabilität bei Kurvenfahrt, ATZ 1963/S.133-139
- 12- METZNER, E. Über die Berechnung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugen bei hohen Querschleunigungen, ATZ 1969/S.39-45
- 13- MITSCHKE, M. Untersuchungen über die Slalomfahrt eines Kraftfahrzeuges, ATZ 1966/S. 202-206
- 14- SLIBAR, A.
TROGER, H. Instationärer Fahrweg des Sattelaufliegerzuges bei verzögerter Aufliegerbremsung, ATZ 1972/S. 324-329, ATZ 1973/S.143
- 15- SPIENDLER, W. Wege und Querschleunigungen bei der Kurvenfahrt von Kraftfahrzeugen, ATZ 1965/S.150
- 16- WINKELMANN, O.J. Anforderungen an das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen, ATZ 1963/S. 121-128.

ÖZGEÇMİŞİM

- Adı ve Soyadı : Mustafa DEMİR SOY
Doğum yeri ve yılı : İzmir 1.3.1936
Baba adı : Ahmet
Ana adı : Fatma
- İlk öğrenim : 1943-1948 Tınaztepe İlkokulu-İzmir
Orta öğrenim : 1948-1953 Mithatpaşa Sanat Enstitüsü-İzmir
Eşrefpaşa Lisesi-İzmir
Yüksek öğrenim : 1954-1958 İstanbul Teknik Okulu
1960-1963 Technische Hochschule Darmstadt
- Stajlar : 1957 yaz, Karayolları 2.Bölge-İzmir
1958 yaz, Demir ve Çelik Fabrikaları-Karabük
1960 Eylül-1961 Nisan, Friedrich Kocks GmbH
Bremen
1962 Temmuz-1962 Kasım, Fernseh GmbH-Darmstadt
- Yedek Subaylık : 1.1.1959-30.6.1960, Ordu Donatım Okulu ve
İnşaat Emlak Dairesi-Milli Savunma Bakanlığı
- Tatbiki çalışmalar : 4.6.1963-31.10.1964, Stöhr GmbH-Offenbach
Kaldırma ve iletme makinaları ve çelik konstrüksiyon işleri, Konstruktor-Mühendis
1.11.1964-30.6.1970, Alfred Teves-Frankfurt
Fren ve endüstri hidrolik sistemleri
Araştırma, deneme ve geliştirme mühendisi
28.10.1970 den itibaren, Ege Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Fakültesi, Mühendislik
ve Mimarlık Akademisi-Öğretim görevlisi
- Teknik yazılar : - Otomobil Endüstrisinin Gelecekteki Büyük
Problemleri, Mühendis ve Makina 1967/Sayı 120
- İş İlminin Ana Prensipleri, Müh.ve Mak.
1969/Sayı 140
- Frenler, Müh.ve Mak.1971/Sayı 166
- Disk Frende Sürtünme Katsayısı
Müh.ve Mak. 1971/Sayı 170
- Eksoz Gazları Problemi, Müh.ve Mak.
1972/Sayı 187
- Tanbur ve Disk Frenleri,
Müh.ve Mak. 1973/Sayı 192
- Balatalar, Müh.ve Mak. 1973/Sayı 194
- Taşıt Frenleri, Müh.ve Mak. 1974/Sayı 210