

BELİRLİ BİR SIKMA KUVVETİ ETKİSİNDE BİSİKLET FREN KOLU KUVVET ANALİZİNİN YAPILMASI

Nihat GEMALMAYAN, Hüseyin İNCEÇAM

Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

İlk bisikletlerde fren sistemi hiç kullanılmaz ya da basit frenleme elemanları yeterli olurken günümüzde yüksek hızlara ulaşabilen bisikletler için etkili fren sistemlerinin tasarımı önemli olmaktadır. Tasarımda güvenli fren mesafesi ve sürücü tarafından uygulanan frenleme kuvveti birlikte etkilidir. Fren sistemini oluşturan elemanların boyutlandırılması ve malzeme seçimi elemanlara etkiyen kuvvetler etkisinde oluşan gerilmeler göz önünde tutularak yapılır. Bu nedenle kuvvet analizi fren sistemi tasarımında önemli bir aşamadır. Bu çalışmada frenleme kuvvetinin sürücü tarafından fren sistemine uygulandığı eleman olan fren kolunun kuvvet analizi yapılacaktır.

BİSİKLET FREN KOLU KUVVET ANALİZİ

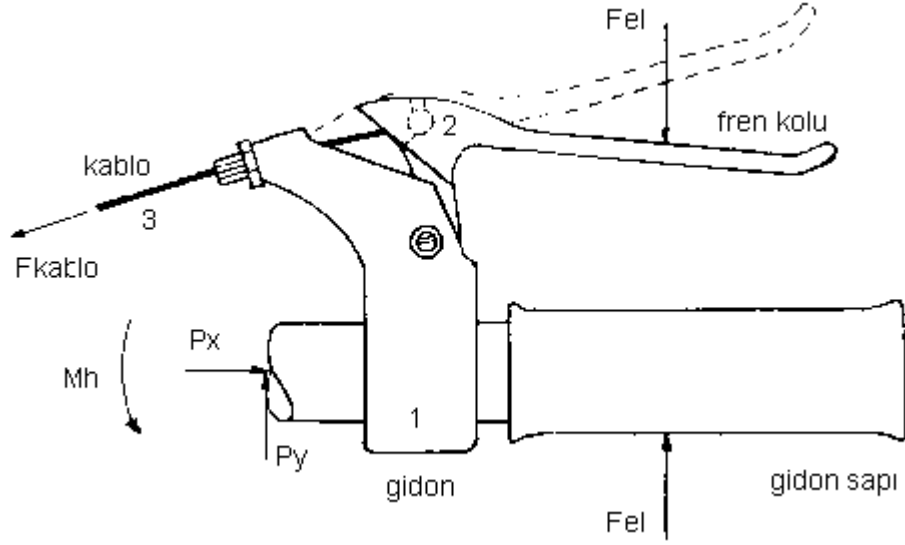
Serbest Cisim Diyagramları:

Bu kuvvet analizi için öncelikle aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Sürücü eli Şekil 1'de gösterilen fren kolu pozisyonunda 267 N sıkma kuvveti uygulamaktadır,
- İvmelenmeler ihmal edilebilir,
- Bu sistem sabit yükler altında bulunan, kararlı bir sistem olarak kabul edilebilir ve statik analiz uygulanabilir.

Şekil 1 fren kolunun kompleksini göstermektedir. Bu komple üç elemandan oluşur. Bunlar; 1- gidon 2- fren kolu 3- kablo'dur. Fren kolu, bir vidayla fren kolu taşıyıcısına ve kablo da kablo pimiiyle fren koluna bağlanır. Fren kablosu düşük sürtünmeli bir koruyucu boru içinde frenleme kuvvetini tekerlekteki elemanlara kadar iletir. Sürücünün eli, fren koluna ve gidon sapına eşit ve ters yönlü kuvvetler uygular. Bu kuvvetler fren kolunun kaldıraç oranı nedeniyle artarak kabloya iletir.

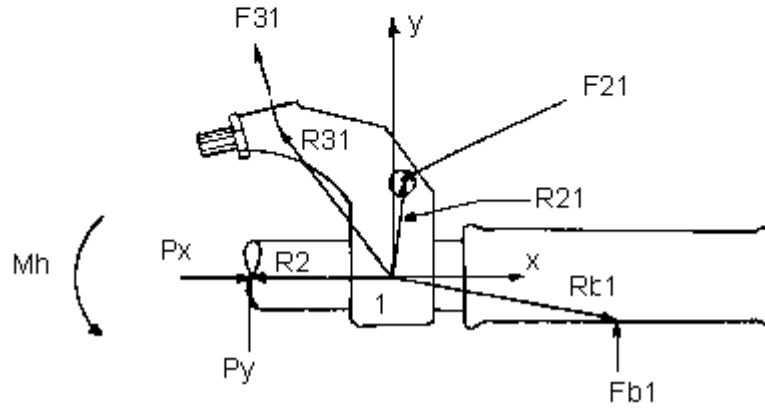
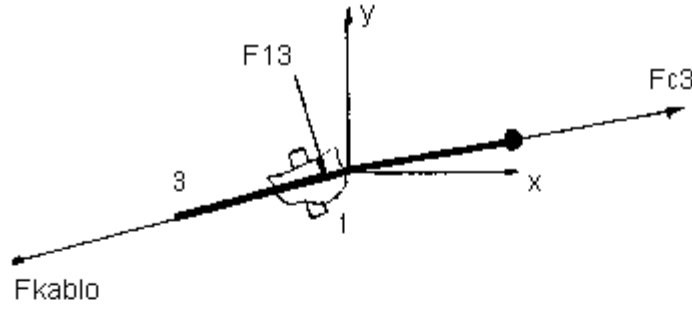
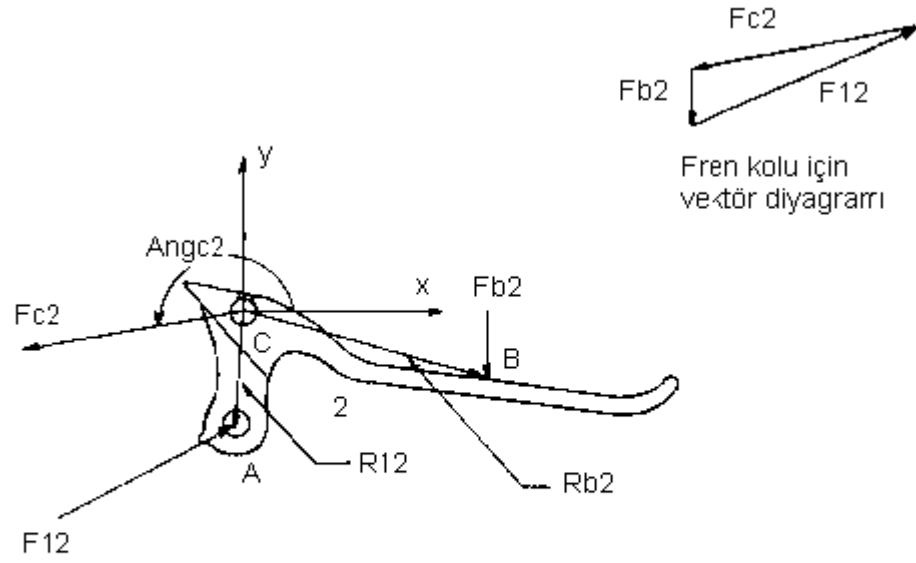
Şekil 1 kompleinin serbest cisim diyagramıdır ve tüm kuvvet ve momentler bu şekil üzerinde gösterilmiştir. Burada ağırlık, uygulanan kuvvetler yanında ihmal edilmiştir. Gidon sapının kesilmiş bölümünde x ve y kuvvet bileşenleri ve bir moment oluşur. Bunlar pozitif yönlü olarak gösterilmiştir, doğru yönleri hesaplamalar sonucunda ortaya çıkacaktır. Değerleri bilinen kuvvetler doğru doğrultu ve yönlerinde gösterilmiştir.



Şekil 1. Fren Kolu Kompleksi Serbest Cisim Diyagramı

Şekil 2'de komplemin üç elemanının serbest cisim diyagramı ayrı ayrı çizilmiş, her elemana uygulanan kuvvetler ve momentler gösterilmiştir. Yine ağırlıklar ihmal edilmiştir. Fren koluna (2 no'lu elemana) üç kuvvet etki etmektedir. Bunlar; F_{b2} , F_{c2} , ve F_{12} . Burada kuvvetin iki karakterle gösterimi; 1 no'lu elemanın 2'ye uyguladığı kuvvet (F_{12}) veya 2 no'lu elemana B'de uygulanan kuvveti (F_{b2}) ifade etmektedir. İki karakterle gösterimde birinci karakter kuvvetin kaynağını, ikinci karakter kuvvetin hangi elemana etkidiğini göstermektedir. C noktasını orijin olarak kabul eden koordinat sisteminde, R_{b2} ve R_{12} vektörleri bu eleman üzerine etkileyen F_{b2} ve F_{12} kuvvetlerinin konum vektörleridir.

Fren kolu üzerindeki F_{b2} kuvvetinin büyüklüğü ve yönü bilinmektedir. F_{c2} kablo içinde oluşan kuvvettir. Bu kuvvetin yönü biliniyor fakat büyüklüğü bilinmiyor. F_{12} kuvveti 1 no'lu eleman tarafından 2'ye fren kolu vidası üzerinde uygulanmaktadır. Bu kuvvetin doğrultusu ve büyüklüğü bilinmiyor. [1-2]



Şekil 2. Fren Kolu Kompleksi Elemanları Serbest Cisim Diyagramları

Denge Denklemleri:

Statik yük durumu için;

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (2.1)$$

eşitliklerini kullanarak x ve y doğrultusundaki kuvvetleri ve C noktası etrafındaki momentleri toplarsak aşağıdaki eşitlikler elde edilir. Bilinmeyen kuvvetler ve momentler başlangıç olarak pozitif yönde kabul edilmiştir.

$$\sum F_x = F_{12x} + F_{b2x} + F_{c2x} = 0 \quad (2.2)$$

$$\sum F_y = F_{12y} + F_{b2y} + F_{c2y} = 0 \quad (2.3)$$

$$\sum M_z = (R_{12} \times F_{12}) + (R_{b2} \times F_{b2}) = 0 \quad (2.4)$$

Moment eşitliğindeki vektör çarpımları uygulanan kuvvetlerin C noktası etrafındaki momentlerini temsil etmektedir. Bu vektör çarpımları açılarak moment eşitliği;

$$\sum M_z = (R_{12x} F_{12y} - R_{b2x} F_{b2y}) + (R_{b2x} F_{b2y} - R_{b2y} F_{b2x}) = 0 \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. Bu durumda üç eşitlik ve dört bilinmeyen var. Bu nedenle bir eşitliğe daha ihtiyaç var. F_{c2} 'nin doğrultusu biliniyor. Bu kullanılarak F_{c2} kuvvetinin bir bileşeni diğer bileşen ve kablunun bilinen Angc2 açısı cinsinden ifade edilebilir;

$$F_{c2y} = F_{c2x} \tan \text{Angc2} \quad (2.6)$$

Şekil 2'de 3 no'lu eleman gösterilmiştir ve 1 no'lu elemanda bulunan delikten geçmektedir. 1 ve 3 no'lu parçaların temas noktası sürtünmesiz olarak kabul edilebilir. Ayrıca F_{13} , F_{c3} , F_{kablo} kuvvetlerinin aynı noktadan geçtiği ve moment oluşturmadığı kabul edilirse;

$$\sum F_x = F_{kablox} + F_{13x} + F_{c3x} = 0 \quad (2.7)$$

$$\sum F_y = F_{kabloy} + F_{13y} + F_{c3y} = 0 \quad (2.8)$$

Şekil 2'deki 1 no'lu elemana kuvvet ve momentler etkimektedir. Buradan üç eşitlik daha elde edilir;

$$\sum F_x = F_{21x} + F_{b1x} + F_{31x} + P_x = 0 \quad (2.9)$$

$$\sum F_y = F_{21y} + F_{b1y} + F_{31y} + P_y = 0 \quad (2.10)$$

$$\sum M_z = M_h + (R_{21} \times F_{21}) + (R_{b1} \times F_{b1}) + (R_{31} \times F_{31}) + (R_p \times F_p) = 0 \quad (2.11)$$

Moment eşitliğindeki vektör çarpımları açılırsa;

$$\begin{aligned} \sum M_z = & M_h + (R_{21x} F_{21y} - R_{21y} F_{21x}) + \\ & (R_{b1x} F_{b1y} - R_{b1y} F_{b1x}) + (R_{31x} F_{31y} + R_{31y} F_{31x}) \\ & + (R_{px} P_y + R_{py} P_x) = 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Bu noktada tüm bilinmeyenlerin sayısı on dokuz. Şu anda (2.2), (2.3), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10), (2.12) olmak üzere dokuz eşitlik var ve denklem sisteminin çözülebilmesi için on eşitliğe daha ihtiyaç var. Bunların altı tanesi Newton'un üçüncü kanunundan elde edilebilir.

$$\begin{aligned}
 F_{c3x} &= -F_{c2x} & F_{c3x} &= -F_{c2y} \\
 F_{21x} &= -F_{12x} & F_{21y} &= -F_{12y} \\
 F_{31x} &= -F_{13x} & F_{31y} &= -F_{13y}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

İki eşitlik de el tarafından fren koluna ve gidon sapına uygulanan kuvvetlerin eşit ve ters yönlü olduğu kabulünden elde edilir.

$$\begin{aligned}
 F_{b1x} &= -F_{b2x} \\
 F_{b1y} &= -F_{b2y}
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Kalan iki eşitlik ise verilen geometriden ve sistem üzerinde yapılan kabullerden elde edilebilir. F_{kablo} kuvvetinin doğrultusunun kablunun doğrultusuyla aynı olduğu biliniyor. Kablo kuvveti F_{kablo} 'nın pozitif x eksenine yaptığı açının (Angcabl) değeri bilindiğine göre buradan da bir eşitlik elde edilebilir.

$$F_{kablo_y} = F_{kablo_x} \tan(\text{Angcabl}) \tag{2.15}$$

Sürtünme olmadığı kabulüne dayanarak F_{31} kuvvetinin, tel ile 1 no'lu parçadaki deliğin temas noktasına dik olduğu kabul edilebilir. F_{31} kuvvetinin pozitif x eksenine yaptığı Ang31 açısının değeri bilindiğine göre;

$$F_{31x} = F_{31y} \tan(90 - \text{Ang31}) \tag{2.16}$$

Böylece (2.13), (2.14), (2.15) ve (2.16) setlerindeki on denklemle birlikte on dokuz denklem elde edildi. [1-2]

Denge Denklemlerinin Çözümü:

Elde edilen on dokuz eşitlik yardımıyla on dokuz bilinmeyen bulunabilir. Elde edilen bu denklem sistemi matris şekline sokularak bir bilgisayar programı yardımıyla çözülebilir. Burada bu denklem sistemini çözmek için Excel programı kullanılmıştır. Bunun için öncelikle elde edilen denklem sistemi matris çarpımı şeklinde ifade edilir. [A] katsayılar matrisi, {X} bilinmeyenler matrisi, {B} sabitler matrisi olmak üzere denklem sistemi:

$$[A] \times \{X\} = \{B\} \tag{2.17}$$

eşitliğiyle ifade edilebilir. Bu eşitliğin iki tarafı $[A]^{-1}$ matrisiyle çarpılırsa:

	0				-612,318
	267				-107,968
	16020				612,318
	0				374,9682
	0				612,318
	0				107,9682
	0				-14,0255
	0				52,34381
	0				-598,293
{B} =	0			{X} =	-160,312
	0				-1,4E-13
	0				267
	0				14,02548
	0				-52,3438
	0				-612,318
	0				-374,968
	267				598,2925
	0				160,312
	0				-30454,1

Tablo 4. Fren Kolu Elemanlarının Ölçüleri

Değişken	Değer	Birim	Açıklama
			<i>Uygulanan kuvvetler</i>
Fb2x	0	N	El kuvveti bileşeni
Fb2y	-267	N	El kuvveti bileşeni
Angc2	190	Derece	Kablo kuvveti Fc2'nin açısı
Angcabl	195	Derece	Fkablo'nun açısı
Ang13	105	Derece	F13 kuvvetinin açısı
			<i>2 no'lu elemanın ölçüleri</i>
Rc2x	-25	mm	Konum vektörü Rc2 'nin bileşeni
Rc2y	0	mm	Konum vektörü Rc2 'nin bileşeni
R12x	-3	mm	Konum vektörü R12 'nin bileşeni
R12y	-28	mm	Konum vektörü R12 'nin bileşeni
			<i>1 no'lu elemanın ölçüleri</i>
R21x	3	mm	Konum vektörü R21'in bileşeni
R21y	30	mm	Konum vektörü R21'in bileşeni
Rb1x	65	mm	Konum vektörü Rb1'in bileşeni
Rb1y	-14	mm	Konum vektörü Rb1'in bileşeni
R31x	-35	mm	Konum vektörü R31'in bileşeni
R31y	49	mm	Konum vektörü R31'in bileşeni

Rpx	-33	mm	Konum vektörü Rp'nin bileşeni
Rpy	0	mm	Konum vektörü Rp'nin bileşeni

SONUÇ

Tablo 4'te konum vektörleri, açılar ve değeri bilinen kuvvetlerin değerleri verilmiştir. Tablo 5'te bilinmeyen kuvvetlerin ve momentin hesaplanan değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi $F_{kablox} = -598$ N, $F_{kablo y} = -160$ N bulunmuştur. Buradan $F_{kablo} = 620$ N olarak bulunur. Hesaplanan kablo kuvveti tekerleklerdeki frenleme elemanlarına kadar iletiğinden bu elemanlardaki kuvvet analizi için kullanılır.

İncelenen sistem iki boyutlu statik yükleme durumunda olduğundan ve yapılan kabuller nedeniyle oldukça basite indirgenerek çözülmüştür. Ancak bu çalışmanın, ivmelerin de hesaba katılacağı dinamik yükler etkisindeki sistemlerin ve üç boyutlu problemlerin çözümü için yol gösterici olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen on dokuz denklemde bilinmeyenlerin biri diğeri cinsinden yazılarak ve yerine koyma yöntemiyle bilinmeyenlerden bir kısmı çözülebilmirdi. Ancak bu durumda işlem sayısı artacağından denklem sistemi matris tersi yöntemiyle çözülmüştür. Bu yöntem çok bilinmeyenli denklem sistemlerinin çözümüne imkan sağladığından özellikle bunların çözümünde tercih edilebilir.

Tablo 5. Fren Kolu Kuvvet Analizi Sonuçları

Değişken	Değer	Birim	Açıklama
			<i>2 no'lu elemana etkiyen kuvvetler</i>
Fc2x	-612	N	Kablonun 2. elemana x doğrultusundaki etkisi
Fc2y	-107	N	Kablonun 2. elemana y doğrultusundaki etkisi
F12x	612	N	1. elemanın 2.'ye x doğrultusundaki etkisi
F12y	374	N	1. elemanın 2.'ye y doğrultusundaki etkisi
			<i>3 no'lu elemana etkiyen kuvvetler</i>
Fc3x	612	N	Kablonun 3. elemana x doğrultusundaki etkisi
Fc3y	107	N	Kablonun 3. elemana y doğrultusundaki etkisi
F13x	-14	N	1. elemanın 3.'ye x doğrultusundaki etkisi
F13y	52	N	1. elemanın 3.'ye y doğrultusundaki etkisi
Fkablox	-598	N	x doğrultusundaki kablo kuvveti
Fkablo y	-160	N	y doğrultusundaki kablo kuvveti
			<i>1 no'lu elemana etkiyen kuvvetler</i>
Fb1x	0	N	Elin 1. elemana x doğrultusundaki kuvveti
Fb1y	267	N	Elin 1. elemana y doğrultusundaki kuvveti
F31x	14	N	3. elemanın 1.'ye x doğrultusundaki etkisi
F31y	-52	N	3. elemanın 1.'ye y doğrultusundaki etkisi
F21x	-612	N	2. elemanın 1.'ye x doğrultusundaki etkisi
F21y	-374	N	2. elemanın 1.'ye y doğrultusundaki etkisi

Px	598	N	Gidon sapında x doğrultusundaki tepki kuvveti
Py	160	N	Gidon sapında y doğrultusundaki tepki kuvveti
Mh	-30	Nm	Gidon sapındaki tepki momenti

KAYNAKÇA

1. Hibbeler, R. C., "Engineering Mechanics Statics and Dynamics", 7th Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1995

2. Norton, Robert L., "Machine Design An Integrated Approach", Prentice-Hall, New Jersey, 1998

3. Chapra, S. C. and R. P. Canale, "Numerical Methods for Engineers", 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1998