

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZLEMSEL MEKANİZMALARDA İNDİRGEME
METODUYLA ATALET KUVVET VE
MOMENTLERİNİN DENGELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. İlker ALTAY**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : MAKİNA DİNAMİĞİ, TİTREŞİM VE
AKUSTİK**

HAZİRAN 2007

**DÜZLEMSEL MEKANİZMALARDA İNDİRGEME
METODUYLA ATALET KUVVET VE
MOMENTLERİNİN DENGELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. İlker ALTAY
(503041405)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Vahit MERMERTAŞ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Metin GÜRGÖZE (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi çalışmamda yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Vahit Mermertaş'a, bilgilerinden yararlandığım ve bana yalnızlığı hissettirmeyen değerli arkadaşlarım Araştırma Görevlisi Çağatay Çakır ve Mesut Acar'a, bilgilerini ve zamanlarını benimle paylaşmaktan kaçınmayan arkadaşlarım Makina Mühendisi Kenan Gürses, Ersin Öztürk, Sinem Öztürk, Araştırma Görevlisi Hasan Körük, Oktay Yılmaz ve Gökhan Arslan'a ayrıca Araştırma Görevlisi Gökhan Bulut'a, Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustik Dalının değerli öğretim üyelerine, son olarak da her zaman yanımda yer aldıkları için aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007

İlker ALTAY

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	IV
TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. EŞDEĞER MODELLER VE EŞDEĞERLİK ŞARTLARI	2
2.1. Dönmeyen Bir Elemanın Tek Noktasal Kütleye İndirgenmesi	2
2.2. Bir Noktasal Kütle ve Bir Kütleli Atalet Momentine İndirgeme	2
2.3. Prizmatik Mafsallı Elemanlar İçin İndirgeme Metodu	4
2.4. Çoklu Durum İndirgemesi	4
3. ATALET KUVVET VE MOMENTLERİNİN DENGELENMESİ	6
3.1. Sabit Dışlı Etkisi	11
3.2. Planet Dışlı Etkisi	13
4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ	14
4.1. Beklemeli Kol Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi	14
4.2. Bıçak Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi	20
4.3. Pantograf Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi	26
4.4. Dikiş Makinası Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi	31
4.5. Kısa Bekleme Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi	38
4.6. Kısa Beklemeli Kol Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi (Özel Konstrüksiyon ile)	44
5. SONUÇ	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	53

KISALTMALAR

KOD: Karesel Ortalama Değer

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	18
Tablo 4.2 Beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	18
Tablo 4.3 Bıçak mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	24
Tablo 4.4 Bıçak mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	24
Tablo 4.5 Pantograf mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	29
Tablo 4.6 Pantograf mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	30
Tablo 4.7 Dikiş makinası mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	36
Tablo 4.8 Dikiş makinası mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	36
Tablo 4.9 Kısa beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	42
Tablo 4.10 Kısa beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	42
Tablo 4.11 Kısa beklemeli kol mekanizmasında (özel konstrüksiyon) dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri	48
Tablo 4.12 Kısa beklemeli kol mekanizmasında (özel konstrüksiyon) atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlesele atalet momenti değerleri	48

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kayar elemanın noktasal kütle eşdeğeri.....	2
Şekil 2.2 : Bir elemanın eşdeğer kütle ve eşdeğer kütleli atalet momentine indirgenmesi.....	3
Şekil 2.3 : Prizmatik mafsallardan kütleli atalet momentinin taşınması.....	4
Şekil 2.4 : Döner ve prizmatik mafsallarda kütle ve kütleli atalet momentinin indirgenmesi.....	5
Şekil 3.1 : Eşdeğer alt mekanizma.....	6
Şekil 3.2 : Eşdeğer alt mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi.....	7
Şekil 3.3 : Eşdeğer alt mekanizmada atalet momentlerinin dengelenmesi.....	9
Şekil 3.4 : Sabit dişlinin yaptığı etki.....	11
Şekil 3.5 : Sabit dişli.....	12
Şekil 3.6 : Planet dişli.....	13
Şekil 4.1 : Beklemeli kol mekanizması.....	14
Şekil 4.2 : Beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi.....	16
Şekil 4.3 : Beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi.....	17
Şekil 4.4 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli.....	19
Şekil 4.5 : Bıçak mekanizması [9].....	20
Şekil 4.6 : Bıçak mekanizmasına dengeleme kütlelerinin dengelenmesi.....	21
Şekil 4.7 : Bıçak mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi.....	23
Şekil 4.8 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan bıçak mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli.....	25
Şekil 4.9 : Pantograf mekanizması [10].....	26
Şekil 4.10 : Pantograf mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi.....	27
Şekil 4.11 : Pantograf mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi.....	28
Şekil 4.12 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan pantograf mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli.....	30
Şekil 4.13 : Dikiş makinası mekanizması [11].....	31
Şekil 4.14 : Dikiş makinası mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi.....	33
Şekil 4.15 : Dikiş makinası mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi.....	35
Şekil 4.16 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan dikiş makinası mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli.....	37
Şekil 4.17 : Kısa beklemeli kol mekanizması [12].....	38

Şekil 4.18 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi.....	40
Şekil 4.19 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi.....	41
Şekil 4.20 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli.....	43
Şekil 4.21 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi (özel konstrüksiyon).....	45
Şekil 4.22 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi (özel konstrüksiyon).....	47
Şekil 4.23 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli (özel konstrüksiyon).....	49

SEMBOL LİSTESİ

m	: Kütle
I	: Kütlesel atalet momenti
k	: Atalet yarıçapı
l	: Elemanın uzunluğu
Z	: Dişli sayısı
G	: Dişli ismi
O	: Keyfi bir nokta
ϕ, θ	: Elemanın yatayla yaptığı açı
$\dot{\phi}$	: Elemanın açısal hızı
$\ddot{\phi}$	: Elemanın açısal ivmesi
M	: Moment
H	: Açısal momentum
$\dot{H}$	: Açısal momentumunun zamana göre türevi
x	: x koordinatı
y	: y koordinatı
R	: Dengeleme kütlelerinin uzaklığı
M_{atalet}	: Atalet momenti
M_{tahrik}	: Tahrik momenti
Fx_{atalet}	: x eksenine doğrultusundaki atalet kuvveti
Fy_{atalet}	: y eksenine doğrultusundaki atalet kuvveti

DÜZLEMSEL MEKANİZMALARDA İNDİRGEME METODUYLA ATALET KUVVET VE MOMENTLERİNİN DENGELENMESİ

ÖZET

Mekanizma, herhangi bir cinsten hareketin iletim ve dönüşümüne yarayan bir düzendir. En az bir elemanı mekanik olarak tahrik edilen mekanizma ise makinadır. Mekanizmaların tahrik edilmesi diğer bir ifadeyle mekanizmalara hareket verilmesi, dengelenmemiş sistemlerin üzerine çeşitli kuvvetlerin ve momentlerin etkimesi demektir. Dolayısıyla bu etkiyen kuvvetlerin ve momentlerin etkisi mafsallarda görülür ve mafsallar bu etkiler ile zorlanır. Bu sebeble de mekanizmada titreşimler oluşur ve bu titreşimler zamanla mekanizmanın dağılmasına bile sebep olabilecek bir süreci başlatırlar. Mekanizmalar üzerinde çeşitli dengeleme işlemlerinin yapılmasının nedeni de budur. Bu çalışmada ise düzlemsel mekanizmalar üzerinde dengeleme yapılmasının nedeni ise üretilen makinaların çoğunun düzlemsel mekanizmalar içermesidir. Düzlemsel mekanizmalarda atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi amacıyla mekanizmaya ilave edilecek olan noktasal kütle ve kütleli atalet momentleri, indirgeme metoduyla uzun formülasyonlara gerek kalmadan elde edilebilmektedir. Atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi mekanizmanın kütle merkezinin hareketsiz kalması ve keyfi bir noktaya göre açısal momentumun zamana göre türevinin sıfıra eşit olması koşulları altında çözümlenir. Çözüm, fiziksel olarak mekanizmanın belirli noktalarına kütle ve dişli sistemleri ilave edilerek gerçekleştirilmektedir. Formülasyonlar, döner ve prizmatik eleman çifti içeren mekanizmalara uygulanarak sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Dengeleme için kullanılması gereken kütle ve dişlilerin kütleli atalet momenti değerleri tablolar halinde verilmiş, mekanik sistem simülasyonu programı ADAMS ile bulunan dengeleme öncesi ve sonrası zemine aktarılanlar atalet kuvvet ve momentlerinin KOD değerleri elde edilmiştir.

COMPLETE BALANCING OF PLANAR LINKAGES BY AN EQUIVALANCE METHOD

SUMMARY

Mechanism is a device that passes or transforms a movement through joints. If a motion is given to at least one link of a mechanism is called a machine. When a mechanism is in motion, it means many forces and moments would affect the unbalanced system. That's why, the effects of these forces and moments can be seen at the joints and forces these joints. Moreover, vibrations would occur and these vibrations would break down the mechanism. That is the reason why force and moment balance should be done. The point mass and moment of inertia added to the mechanism for the shaking force and shaking moment balancing can be found by an equivalence method avoiding the need for any lengthy derivation in planar linkages. In this method, masses and moment of inertias of moving links dynamically replaced according to equivalence method. Shaking force and shaking moment is completely balanced when the location of centroid is unaltered and the time rate of change of total angular momentum of all the moving links is equal to zero. This is physically possible by using point masses and gears in the mechanisms. After this method is applied to mechanisms which had revolute and prismatic joints, numerical results are presented. The values of point masses and moment of inertias which must be used for complete balancing and by the help of mechanical system simulation software package ADAMS, the numerical results of shaking forces and the shaking moments applied to ground before balancing and after balancing are calculated and given in tables.

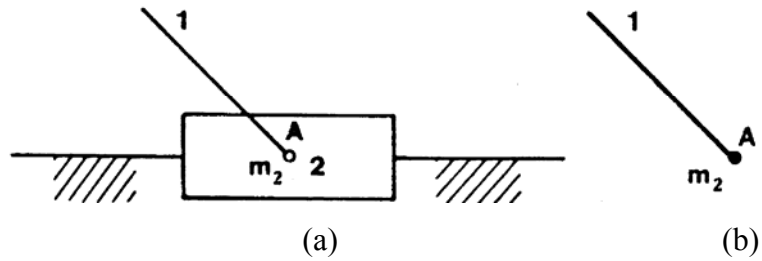
1.GİRİŞ

Günümüze kadar düzlemsel mekanizmalarda atalet kuvvetleri ve momentlerini dengeleyebilmek için pek çok çalışma yapılmıştır [1,7]. Optimum dengeleme [13] ve kısmi dengeleme [14] konularında da pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada ise atalet kuvvet ve momentlerinin sıfır yapılabilmesi için Z. Ye ve M. R. Smith [1-2] in gösterdiği metodlar yeni mekanizmalar üzerine uygulanmıştır. Gao Feng [4-5], belirli çeşit düzlemsel mekanizmalarda atalet kuvvet ve momentlerini tam olarak dengeleyebilmek için iki çeşit dişli kullanılmasını önermiştir. Fakat bu metod uzun bir türetme işlemini gerektirmektedir. Z. Ye ve M. R. Smith [2] ise bu türetme işlemine gerek kalmaksızın, statik ve dinamik eşdeğerlik şartlarının sağlanması halinde, herhangi bir elemanın kütesinin ve kütesel atalet momentinin ortak mafsallar (döner veya prizmatik mafsal) ile bir uzuvdan diğerine aktarılabilmesini gösteren Eşdeğerlilik Metodu'nu kullanmıştır. Böylelikle, kompleks düzlemsel mekanizmaların daha basit alt mekanizmalara indirgenmesiyle dengeleme büyüklüklerinin daha kolay elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Eşdeğer modeller ve eşdeğerlik şartları 2. bölümde anlatılarak düzlemsel mekanizmalar üzerinde Eşdeğerlilik Metodu'nun nasıl uygulanabildiği incelenecek daha sonra 3. bölümde ise düzlemsel mekanizmalar üzerinde Eşdeğerlilik Metodu uygulanacak ve atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenebilmesi için gerekli olan denklemler verilecektir, ayrıca bir sisteme sabit ve planet dişlilerin eklenmesinin ortaya koymuş olduğu atalet momenti etkisi incelenecektir. Önceki bölümlerde anlatılanlar, 4. bölümde seçilen düzlemsel mekanizmalar üzerinde uygulandığı ve sonuçların ADAMS programından elde edildiği bölümdür.

2. EŞDEĞER MODELLER VE EŞDEĞERLİK ŞARTLARI

2.1. Dönmeyen Bir Elemanın Tek Noktasal Kütleye İndirgenmesi

Şekil 2.1’ de görülen 2 nolu kayar elemanın, A mafsallının dönme eksenini etrafında dönmeyeceği açıkça görülmektedir. Açısal ivmesi sıfır olduğu için 2 nolu elemanın kütleli eşdeğeri, aynı kütleyle sahip noktasal bir kütledir ve döner mafsala yerleştirilebilir. Şekil 2.1 (a)’ da kütlesi m_2 olan kayar elemanın eşdeğeri, A noktasına yerleştirilen m_2 noktasal kütlesidir. Şekil 2.1 (b), sistemin dinamik eşdeğerini göstermektedir.



Şekil 2.1 : Kayar elemanın noktasal kütle eşdeğeri

2.2. Bir Noktasal Kütle ve Bir Kütleli Atalet Momentine İndirgeme

n adet kütleli noktadan oluşan bir noktasal kütle sistemi, (2.1) ve (2.2) statik eşdeğerlilik şartlarının sağlanması halinde

$$\sum_{i=1}^n m_i x_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n m_i y_i = 0 \quad (2.1)$$

$$m_A = \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.2)$$

sistemin kütle merkezi bu noktasal kütlelerin ortalarında, denklemleri sağlayacak bir noktada olacak şekilde gösterilebilir ve kütle merkezinde bulunan bir noktasal

kütleye eşdeğerdir. Şekil 2.2 (a)' da gösterilen eleman üzerinde ise m_1, m_2, m_3 noktasal kütleleri komşu elemanlardan indirgeme sonucu aktarılan kütleler, m_4 ve k_4 ise elemanın kütlesi ve kütle merkezinden geçen dik eksene göre atalet yarıçapıdır. Eşdeğer kütle indirgeme teorisine göre, eğer

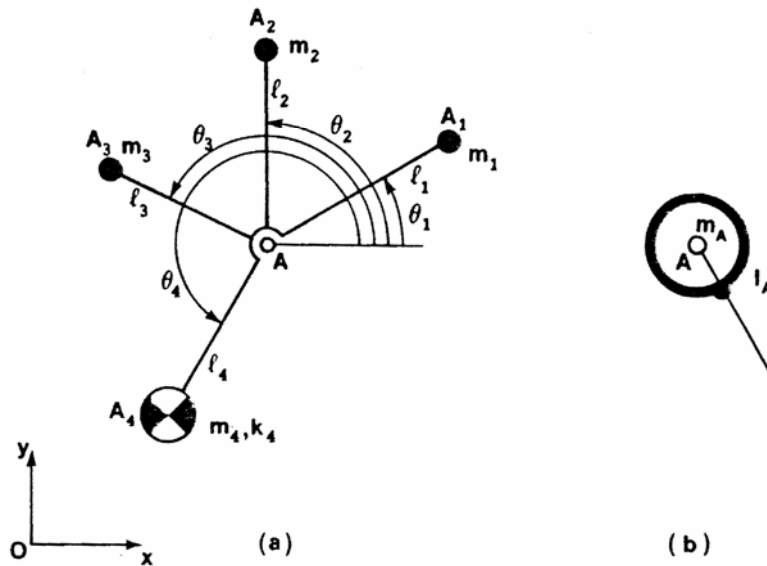
$$\sum_{i=1}^4 m_i l_i \cos \theta_i = 0, \quad \sum_{i=1}^4 m_i l_i \sin \theta_i = 0 \quad (2.3)$$

ve

$$m_A = \sum_{i=1}^4 m_i \quad (2.4)$$

(2.3), (2.4) statik eşdeğerlilik ve (2.5) dinamik eşdeğerlilik şartları sağlanırsa sistem Şekil 2.2 (b)' de gösterildiği şekilde, A noktasındaki m_A eşdeğer kütesine ve I_A eşdeğer kütlelesel atalet momentine indirgenebilir.

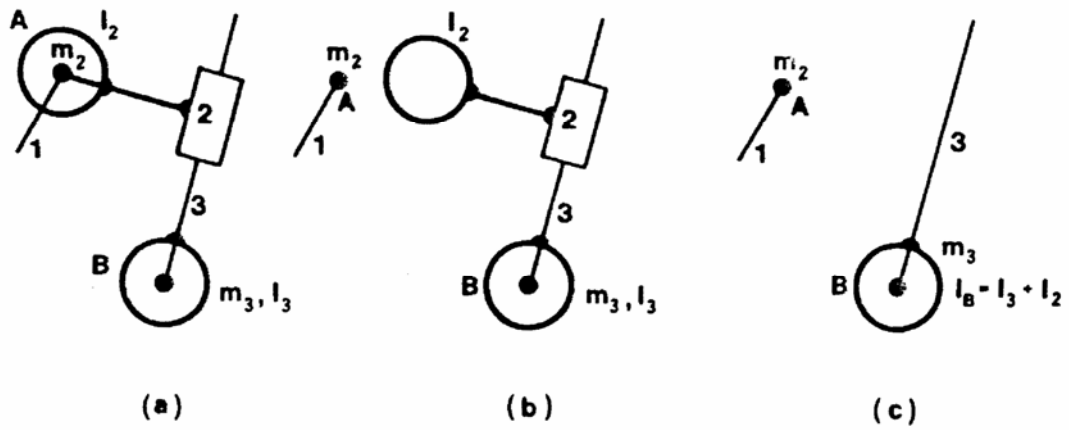
$$I_A = \sum_{i=1}^4 m_i l_i^2 + m_4 k_4^2 \quad (2.5)$$



Şekil 2.2 : Bir elemanın eşdeğer kütle ve eşdeğer kütlelesel atalet momentine indirgenmesi

2.3. Prizmatik Mafsallı Elemanlar İçin İndirgeme Metodu

Şekil 2.3 (a)' da 1 ve 2 nolu elemanlar döner mafsall ile ve 2 ve 3 nolu elemanlar prizmatik mafsall ile birbirine bağlanmışlardır. 2 nolu eleman üzerine uygun bir dengeleme kütlesi yerleştirilerek bu çubuğun kütle merkezi A noktasına (3 nolu elemanın kütle merkezi de aynı şekilde B noktasına) taşınır. Noktasal kütleyi çevreleyen çember, 2 nolu elemanın I_2 kütlelesel atalet momentini göstermektedir. I_2 kütlelesel atalet momentinin etkisiyle oluşan atalet momenti $(-I_2 \ddot{\phi}_2)$ ya da $(-I_2 \ddot{\phi}_3)$ ' dir, I_2 ve I_3 birlikte düşünülebilir. İndirgeme sonucunda 3 nolu eleman üzerinde m_3 noktasal kütlesi ve $(I_2 + I_3)$ eşdeğer kütlelesel atalet momenti elde edilir.

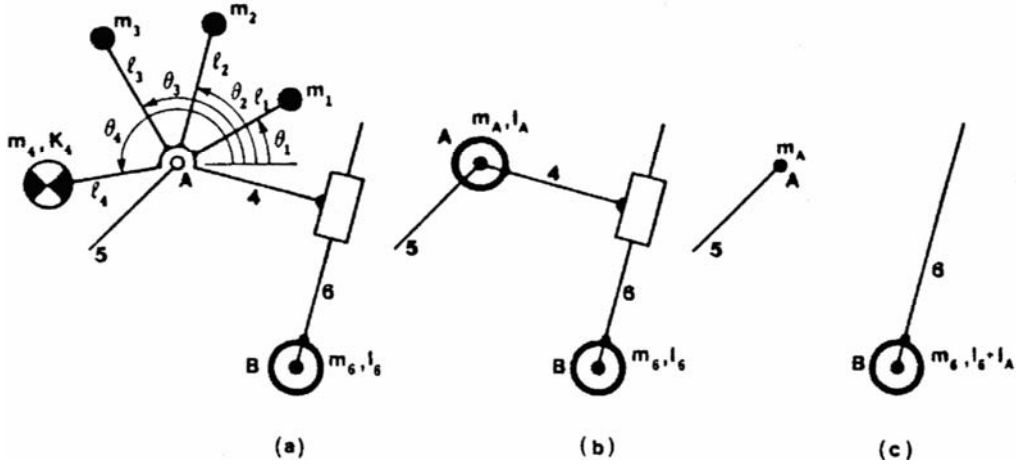


Şekil 2.3 : Prizmatik mafsallardan kütlelesel atalet momentinin taşınması

2.4. Çoklu Durum İndirgemesi

Şekil 2.4 (a)' da görülen m_1 , m_2 , m_3 komşu uzuvlarda yapılan indirgemeye döner mafsallardan aktarılan noktasal kütlelerdir. 4 nolu eleman üzerinde dengeleme kütlelerinin doğru yerleştirilmesiyle (2.3) koşulu sağlanarak m_1 , m_2 , m_3 , m_4 ve k_4 yerine dinamik eşdeğerlik prensibine göre A noktasına m_A eşdeğer noktasal kütlesi ve I_A eşdeğer kütlelesel atalet momenti yerleştirilebilir. m_A ve I_A değerleri denklem (2.4) ve (2.5)'ü de sağlamalıdır. Böylece Şekil 2.4 (a), Şekil 2.4 (b)' ye dönüşür. 2.3. nolu kısımda anlattığımız şekilde de Şekil 2.4 (b), Şekil 2.4 (c)' ye dönüşür. B

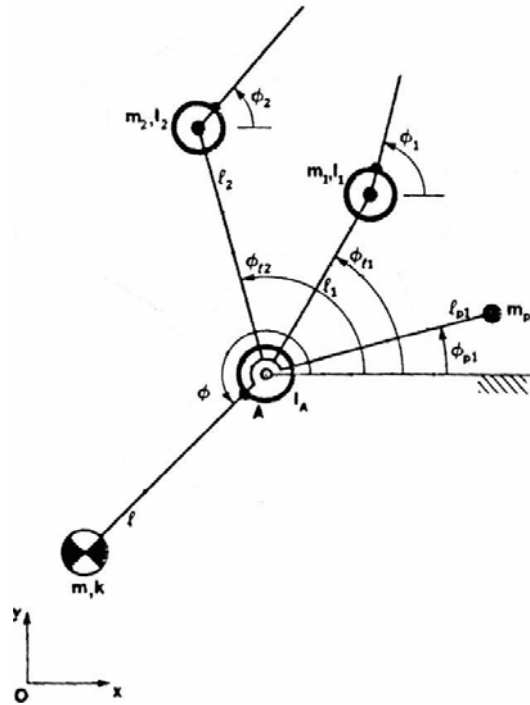
noktasındaki eşdeğer kütleli atalet momenti $(I_6 + I_A)$ 'ya eşittir ve üç elemanın yerini yeniden iki eşdeğer eleman almıştır.



Şekil 2.4 : Döner ve prizmatik mafsallarda kütle ve kütleli atalet momenti indirgenmesi

3. ATALET KUVVET VE MOMENTLERİNİN DENGELENMESİ

Herhangi bir düzlemsel mekanizmada dengeleme yapılabilmesi için sırasıyla çözüm grupları oluşturulmalı (indirgeme işlemleri yapılmalı), karşı ağırlıklar kullanılarak atalet kuvvetleri dengelenmeli ve nihayet sabit ve gerekiyorsa planet dişli kullanarak atalet momentleri dengelenmelidir. Şekil 3.1' de, üzerinde indirgeme işlemleri gerçekleştirilmiş eşdeğer bir alt düzlemsel mekanizma görülmektedir.



Şekil 3.1 : Eşdeğer alt mekanizma

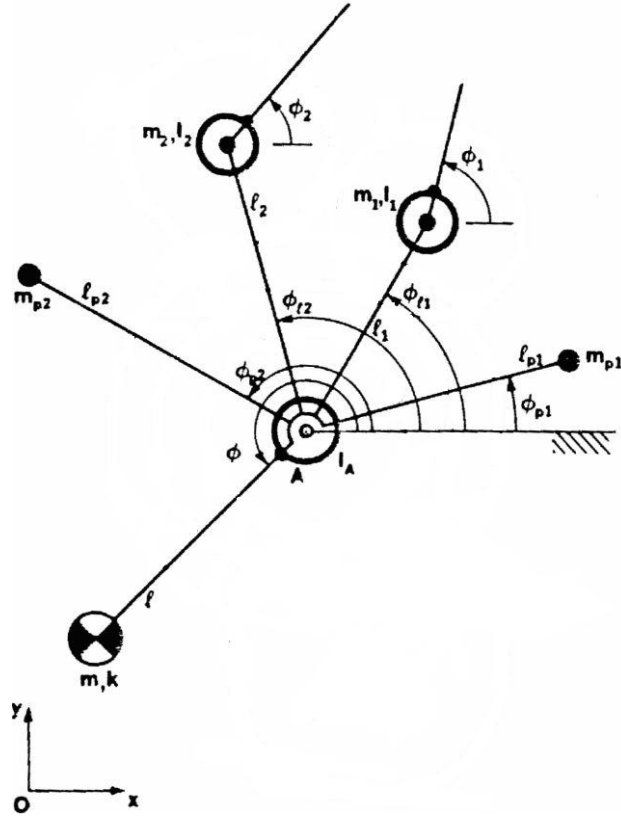
Şekil 3.1' de gösterilen eşdeğer alt mekanizmada, m_{p1} komşu uzuvların döner mafsallarından indirgeme sonucu aktarılan noktasal kütledir ve I_A krank üzerine komşu uzuvlardan aktarılan eşdeğer kütleli atalet momentidir. m_j ve I_j , kranka döner mafsalla bağlı j nolu elemanın eşdeğer kütleli atalet momentidir. m_j döner mafsal üzerindedir ve krank üzerinde bir noktasal kütle olarak düşünülebilir. m ve k krankın kütle merkezine göre kütlesi ve atalet yarıçapıdır.

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için (3.1) ve (3.2) denklemleri sağlanmalıdır, bu sebeble mekanizma üzerine Şekil 3.2’ de görülen m_{p2} noktasal kütlesi eklenir.

$$\sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi} \cos \phi_{pi} + \sum_{j=1}^J m_j l_j \cos \phi_{lj} + m l \cos \phi = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi} \sin \phi_{pi} + \sum_{j=1}^J m_j l_j \sin \phi_{lj} + m l \sin \phi = 0 \quad (3.2)$$

Bu koşullar sağlanırsa $\sum m_j$, $\sum m_{pi}$ ve m kütleleri sabit (hareketsiz) A noktasına indirildiği için mekanizmaya etkiyen atalet kuvvetleri dengelenmiş olur.



Şekil 3.2 : Eşdeğer alt mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi

Atalet momentlerinin dengelenmesi işlemine geçmeden önce bu konuya hazırlık olarak hareket miktarı momenti kavramı açıklanacaktır.

Denklem (3.3)'de görüldüğü gibi bir maddesel nokta sisteminin herhangi bir sabit O noktasına göre açısal momentumu H_O , sistemin çeşitli maddesel noktalarının momentumlarının O'ya göre momentlerinin toplamı olarak tanımlanır.

$$\vec{H}_O = \sum (\vec{r} \times m \vec{v}) \quad (3.3)$$

Denklem (3.4)'de görülen M_O ise sisteme etkiyen atalet kuvvetlerinin, sabit O noktasına göre momentlerinin toplamı maddesel sistemin aynı noktaya göre hesaplanmış hareket miktarı momentinin zamana göre türevinin zıddına eşittir.

$$\vec{M}_O = -\vec{H}_O \quad (3.4)$$

Mekanizmalarda maddesel nokta sistemi olduğu için yapmış olduğumuz tanımlamalar, onlar için de aynen geçerlidir. Ayrıca düzlemsel mekanizmaların dengelenmesine çalıştığımızdan (3.3) ve (3.4)'deki vektörel ifadeleri skaler olarak da yazmamız mümkün olur. O halde mekanizmanın açısal momentumu

$$H_O = \sum_{i=1}^I m_{pi} (x_{pi} \dot{y}_{pi} - y_{pi} \dot{x}_{pi}) + I_A \dot{\phi} + \sum_{j=1}^J m_j (x_j \dot{y}_j - y_j \dot{x}_j) + \sum_{j=1}^J I_j \dot{\phi}_j + m (x \dot{y} - y \dot{x} + k^2 \dot{\phi}) \quad (3.5)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde

x_{pi} ve y_{pi} m_{pi} 'nin x ve y koordinatlarını,

x_j ve y_j m_j 'nin x ve y koordinatlarını,

x ve y m 'in x ve y koordinatlarını,

$\dot{\phi}_j$, eşdeğer kütleli atalet momenti I_j olan j çubuğunun açısal hızını göstermektedir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} x_{pi} &= x_A + l_{pi} \cos \phi_{pi}, & y_{pi} &= y_A + l_{pi} \sin \phi_{pi} \\ x_j &= x_A + l_j \cos \phi_j, & y_j &= y_A + l_j \sin \phi_j \\ x &= x_A + l \cos \phi, & y &= y_A + l \sin \phi \end{aligned} \quad (3.6)$$

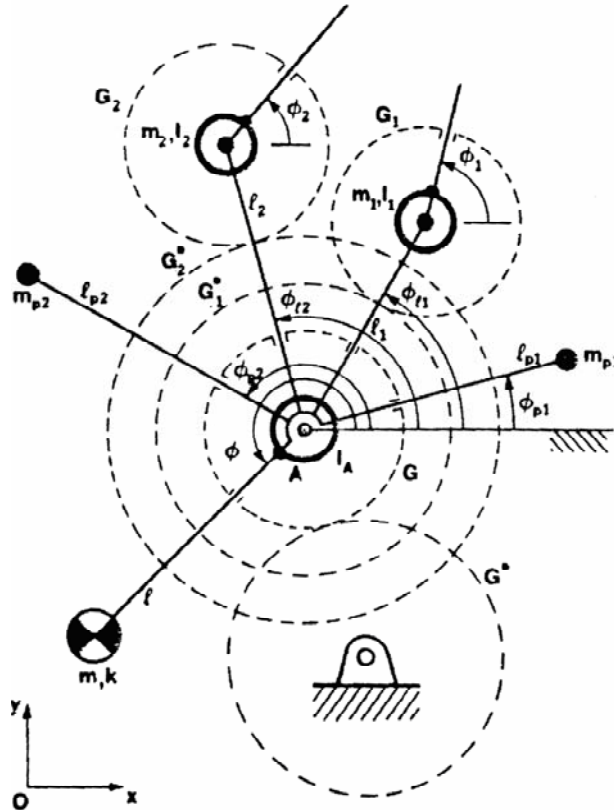
Yukarıdaki denklemleri ve zamana göre türevlerini (3.5) denkleminde yerine yazar ve $\dot{\phi}_{pi} = \dot{\phi}_{lj} = \dot{\phi}$ eşitliğini ve (3.1), (3.2) denklemlerini gözönüne alırsak aşağıdaki ifade bulunur.

$$H_O = \left(\sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi}^2 + \sum_{j=1}^J m_j l_j^2 + I_A + m l^2 + m k^2 \right) \dot{\phi} + \sum_{j=1}^J I_j \dot{\phi}_j \quad (3.7)$$

(3.4) denklemden

$$M_O = \left(- \sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi}^2 - \sum_{j=1}^J m_j l_j^2 - I_A - m l^2 - m k^2 \right) \ddot{\phi} + \sum_{j=1}^J I_j \ddot{\phi}_j \quad (3.8)$$

elde edilir.



Şekil 3.3 : Eşdeğer alt mekanizmada atalet momentlerinin dengelenmesi

Atalet momentlerini tam olarak dengeleyebilmek için Şekil 3.3' de kesik çizgilerle gösterilen J adet planet dişli ve bir adet sabit dişli kullanılmalıdır ve aşağıdaki denklemler sağlanmalıdır.

$$\frac{\ddot{\phi}_j^* - \ddot{\phi}}{\ddot{\phi}_j - \ddot{\phi}} = -\frac{Z_j}{Z_j^*}, \quad \ddot{\phi}_j^* = -\frac{Z_j}{Z_j^*} \ddot{\phi}_j + \left(1 + \frac{Z_j}{Z_j^*}\right) \ddot{\phi}, \quad \ddot{\phi}^* = -\frac{Z}{Z^*} \ddot{\phi} \quad (3.9)$$

Z, Z_j ve Z_j^* sırasıyla G, G_j ve G_j^* dişlilerinin diş sayısıdır. G_j^* ve G^* dişlilerinin oluşturduğu atalet momentleri (3.10) nolu denklemde verilmiştir.

$$M_j^* = I_j^* \frac{Z_j}{Z_j^*} \ddot{\phi}_j - I_j^* \left(1 + \frac{Z_j}{Z_j^*}\right) \ddot{\phi}, \quad M^* = I^* \frac{Z}{Z^*} \ddot{\phi} \quad (3.10)$$

Bu dişliler mekanizmaya eklendikten sonra toplam atalet momenti aşağıdaki şekilde olur.

$$M_O^* = M_O + \sum M_j^* + M^* \\ = \left(I^* \frac{Z}{Z^*} - \sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi}^2 - \sum_{j=1}^J m_j l_j^2 - I_A - ml^2 - mk^2 - \sum_{j=1}^J I_j^* \left(1 + \frac{Z_j}{Z_j^*}\right) \right) \ddot{\phi} + \sum_{j=1}^J \left(I_j^* \frac{Z_j}{Z_j^*} - I_j \right) \ddot{\phi}_j \quad (3.11)$$

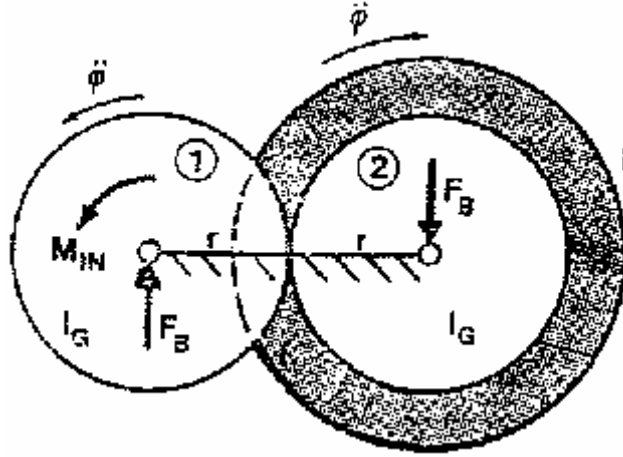
$\ddot{\phi}$ ve $\ddot{\phi}_j$ 'nin önündeki katsayılar sıfıra eşitlenerek, atalet momentlerinin dengelenmesi için gerekli denklemler elde edilir. (3.12) ve (3.13) denklemleri ile verilen atalet momentlerine sahip dişlilerin sisteme eklenmesi gerekir.

$$I_j^* = I_j \frac{Z_j^*}{Z_j} \quad (j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.12)$$

$$I^* = \frac{Z^*}{Z} \left(\sum_{i=1}^I m_{pi} l_{pi}^2 + \sum_{j=1}^J m_j l_j^2 + I_A + ml^2 + mk^2 + \sum_{j=1}^J I_j^* \left(1 + \frac{Z_j}{Z_j^*}\right) \right) \quad (3.13)$$

(3.1), (3.2), (3.12) ve (3.13) denklemleri Şekil 3.1' de gösterilen alt mekanizmada atalet kuvvetleri ve atalet momentlerinin dengelenmesi için gerekli genel formüllerdir.

3.1. Sabit Dişli Etkisi



Şekil 3. 4 : Sabit dişlinin yaptığı etki

Şekil 3.4' de fazladan kütle etkisiyle oluşan I kütle atalet momenti ve r yarıçaplı I_G kütle atalet momentine sahip dişliler görülmektedir. Tahrik momenti M_{IN} , her iki yatakta oluşan bağ kuvvetleri F_B 'dir. Yataklar arası eksene dik oluşan dişliler arasındaki kuvvet de F_B 'ye eşittir. 2 nolu elemana etkiyen dişli kuvveti (3.14) denklemi ile verilmiştir.

$$F_B = \frac{I_G + I}{r} \ddot{\phi} \quad (3.14)$$

Yer yatak kuvvetlerinin oluşturduğu moment (3.15) de görülmektedir.

$$M_G = -2r F_B = -2(I_G + I) \ddot{\phi} \quad (3.15)$$

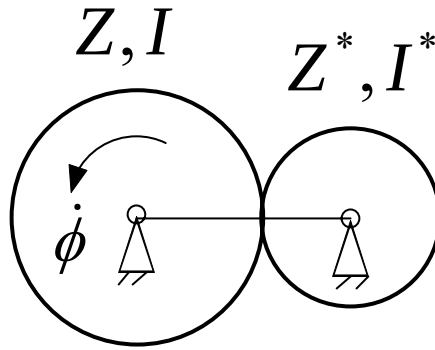
Bu dişlileri sürmek için gerekli giriş torku (3.16) denkleminde olduğu gibidir.

$$M_{IN} = I_G \ddot{\phi} + (I_G + I) \ddot{\phi} = (2I_G + I) \ddot{\phi} \quad (3.16)$$

Sistemde oluşan atalet momentleri giriş torku ile yer yatak kuvvetlerinin oluşturduğu momentin toplamı ile bulunur.

$$M_S = -M_{IN} - M_G = -(2I_G + I)\ddot{\phi} + 2(I_G + I)\ddot{\phi} = I\ddot{\phi} \quad (3.17)$$

Sonuçta sistem üzerine $(+I\ddot{\phi})$ değerinde atalet momenti etkir, bu ise bir mekanizmada var olan $(-I\ddot{\phi})$ değerindeki atalet momentini dengeler.

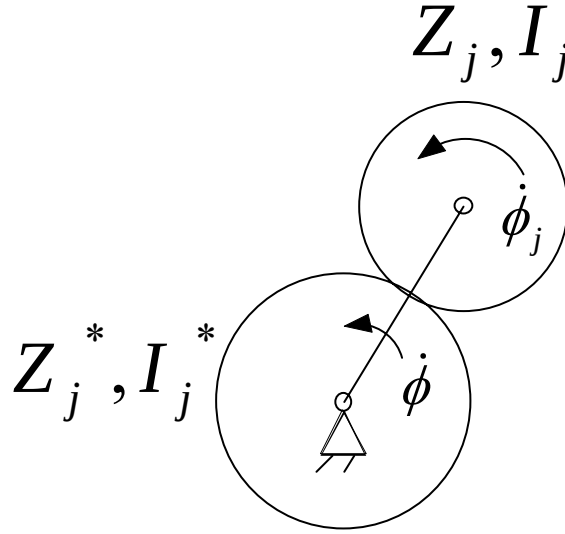


Şekil 3. 5 : Sabit dişli

Denklem (3.18), Şekil 3.5’ de görülen sabit dişlinin sisteme eklenmesi ile bunun oluşturduğu atalet momenti etkisini göstermektedir.

$$M^* = I^* \frac{Z}{Z^*} \ddot{\phi} \quad (3.18)$$

3.2. Planet Dişli Etkisi



Şekil 3. 6 : Planet dişli

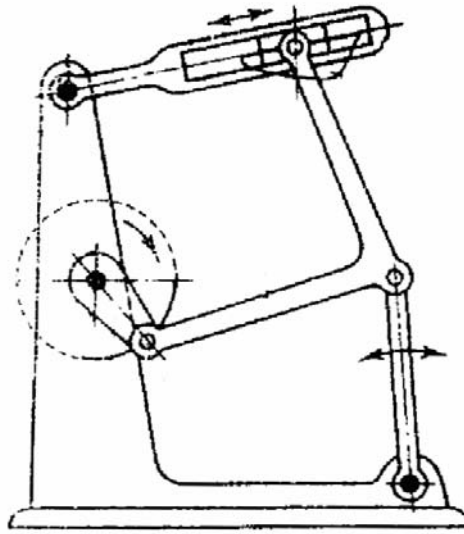
Denklem (3.19), Şekil 3.6’ da görülen planet dişlinin sisteme eklenmesi ile bunun oluşturduğu atalet momenti etkisini göstermektedir.

$$M_j^* = I_j^* \frac{Z_j}{Z_j^*} \ddot{\phi}_j - I_j^* \left(1 + \frac{Z_j}{Z_j^*} \right) \ddot{\phi} \quad (3.19)$$

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Mekanizmalarda atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ile ilgili elde edilen formülasyonlar, aşağıda iki çeşit mekanizmanın dengelenmesi problemine uygulanmış, dengeleme için kullanılması gereken kütle ve dişlilerin kütsel atalet momenti değeri tablolar halinde verilmiştir. Mekanizmalarda mekanik sistem simülasyonu programı ADAMS ile bulunan dengeleme öncesi ve sonrası zemine aktarılanlar atalet kuvvet ve momentlerinin KOD değeri elde edilmiştir.

4.1. Beklemeli Kol Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi



Şekil 4.1 : Beklemeli kol mekanizması [8]

Şekil 4.1’ de gösterilen beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütsel atalet momentleri ve uzunluk değeri Tablo 4.1’ de m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütsi konumlarına bağı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütsi değeri Tablo 4.1’ de görölmektedir. Bu değeri (4.1) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden ($m_i^* R_i$) elde edilmiştir. Atalet momentlerinin dengelenmesi için kullanılan dişlilerden kaynaklanan ek kütsi dengesizlikleri gidermek için

mekanizmaya ek karşı kütleler konulması gerekir. m_{Z_4} kütleli planet dişli kullanılması nedeniyle oluşan kütle dengesizliği m_8^* karşı kütlesi ile dengelenir.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \theta_5 = \pi$$

$$m_2^* R_2 = m_2^o \frac{L_2}{2}$$

$$m_A = m_2^o + m_2^*$$

$$I_A = I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + m_2^* R_2^2 + I_3^o$$

$$m_6^* R_6 = m_6^o \frac{L_6}{2}$$

$$m_B = m_6^* + m_6^o$$

$$I_B = I_6^o + m_6^o \frac{L_6^2}{4} + I_6^* + m_6^* R_6^2 \quad (4.1)$$

$$m_5^* R_5 = m_5^o \frac{L_5}{2}$$

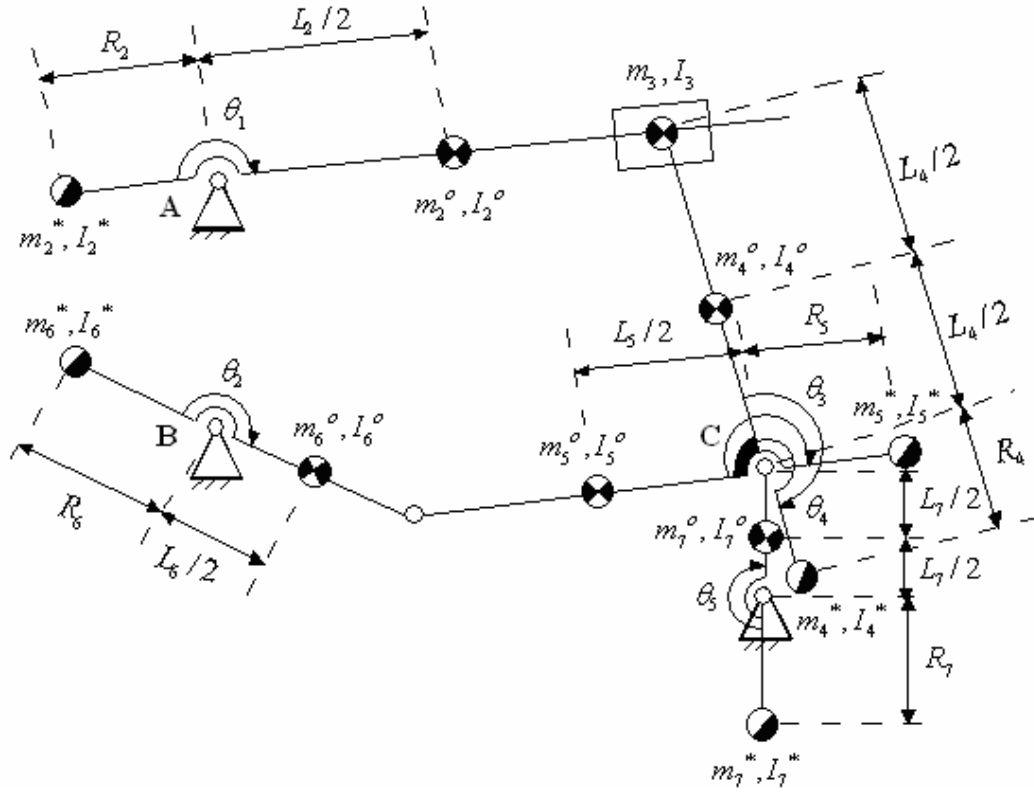
$$m_4^* R_4 = m_3^o L_4 + m_4^o \frac{L_4}{2}$$

$$m_C = m_3^o + m_4^o + m_4^* + m_5^o + m_5^* + m_{Z_4}$$

$$I_C = m_3^o L_4^2 + I_4^o + m_4^o \frac{L_4^2}{4} + I_4^* + m_4^* R_4^2$$

$$+ I_5^o + m_5^o \frac{L_5^2}{4} + I_5^* + m_5^* R_5^2 + I_{Z_4}$$

$$(m_7^* + m_8^*) R_7 = m_7^o \frac{L_7}{2} + m_C L_7$$



Şekil 4.2 : Beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi

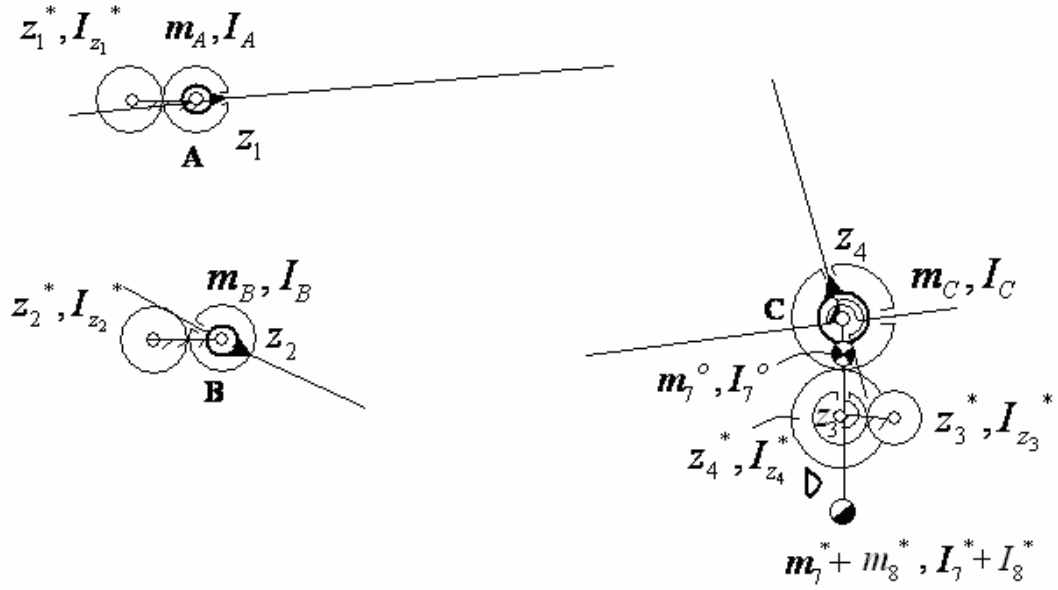
Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütle atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütle atalet momentleri (4.2) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.3' te gösterilmiştir. Şekil 4.3' te planet dişlilerin kütlelerinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için gerekli dengeleme kütleleri ilave edilmiştir.

$$I_{Z_1}^* = I_A \frac{Z_1^*}{Z_1}$$

$$I_{Z_2}^* = I_B \frac{Z_2^*}{Z_2} \quad (4.2)$$

$$I_{Z_3}^* = \frac{Z_3^*}{Z_3} \left[m_C L_7^2 + I_7^o + m_7^o \frac{L_7^2}{4} + I_7^* + I_8^* + (m_8^* + m_7^*) R_7^2 + I_{Z_4} \left(1 + \frac{Z_4^*}{Z_4} \right) \right]$$

$$I_{Z_4}^* = I_C \frac{Z_4^*}{Z_4}$$



Şekil 4.3 : Beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi

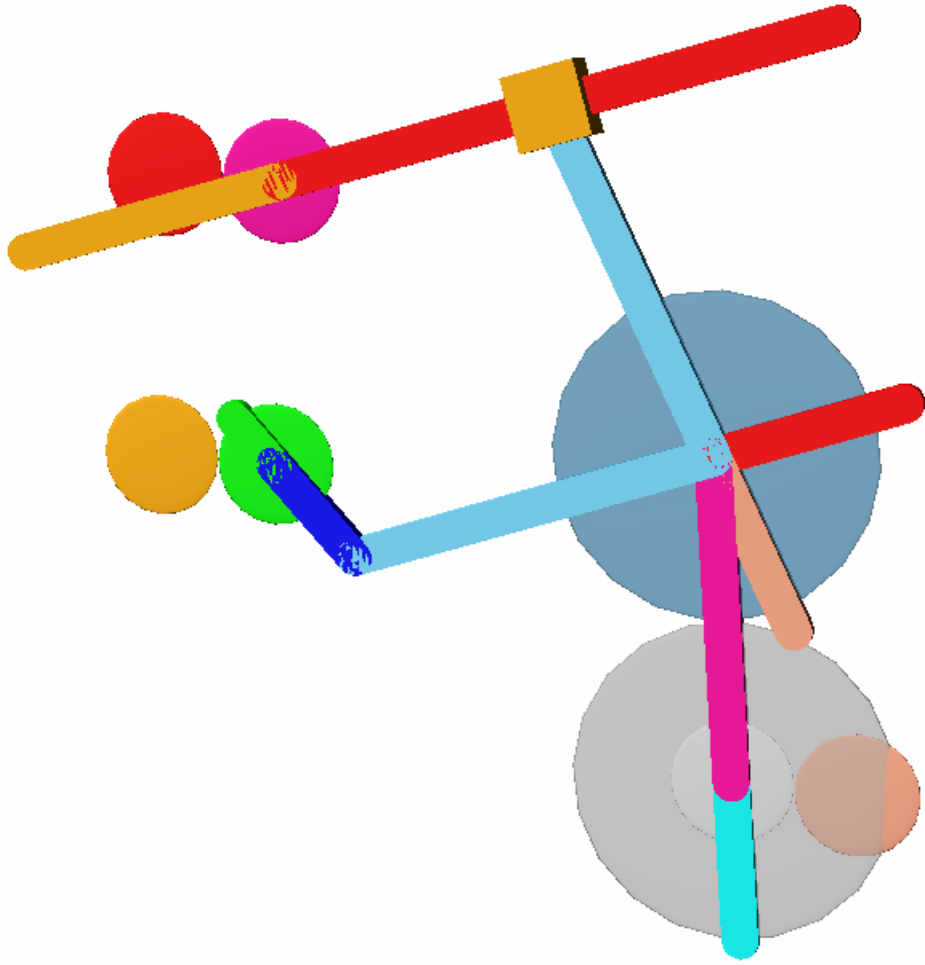
Tablo 4.1’ deki sayısal değerleri, (4.2) denklemlerini kullanılarak ve $\frac{Z_1^*}{Z_2^*} = \frac{Z_2^*}{Z_3^*} = \frac{Z_3^*}{Z_4^*} = 1$ seçilerek bulunan sayısal değerleri Tablo 4.2’ de verilmiştir. Şekil 4.4’ de atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan beklemeli kol mekanizmasının ADAMS programı kullanılarak elde edilen modeli görülmektedir. Şekil 4.1’ de gösterilen beklemeli kol mekanizmasının dengeleme öncesi ve sonrası 6 nolu tahrik milinin $n = 50$ devir/dakika sabit açısal hız ile dönmesi durumunda zemine aktarılan atalet kuvvetleri yatay ($F_{x_{atalet}}$), düşey ($F_{y_{atalet}}$) bileşenlerinin, atalet momentinin (M_{atalet}), tahrik momentinin (M_{tahrik}) KOD değerleri ADAMS programı kullanılarak bulunmuş ve aşağıda sayısal değerleri ile verilmiştir. Bu sayısal sonuçlardan görüldüğü üzere atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ve neticede tahrik momentinde büyüme meydana gelmektedir.

Tablo 4. 1: Beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m^2] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçilen)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m^2] (bulunan)
2	1.14	$2.25.10^{-2}$	0.4634	0.116	2.28	$1.02.10^{-2}$
3	1.12	$6.74.10^{-4}$				
4	0.756	$6.64.10^{-3}$	0.3	0.075	5.992	$1.123.10^{-2}$
5	0.78	$6.24.10^{-3}$	0.31	0.077	1.56	$3.12.10^{-3}$
6	0.288	$3.88.10^{-4}$	0.1	0.025	0.576	$1.2.10^{-4}$
7	0.667	$4.57.10^{-3}$	0.2618	0.065	42.166	$6.02.10^{-2}$

Tablo 4. 2: Beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütleli atalet momenti değerleri

$I_{z_1}^*$ [kg. m^2]	0.125	I_{z_4}	$3.6.10^{-3}$
$I_{z_2}^*$	$1.588.10^{-3}$	m_{z_4}	0.419
$I_{z_3}^*$	1.418	I_8^*	$2.4.10^{-2}$
$I_{z_4}^*$	0.211	m_8^*	1.679



Şekil 4.4 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 6.483 \text{ N ,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 4.168 \text{ N ,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 1.386 \text{ Nm ,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 0.366 \text{ Nm ,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.893 \text{ N ,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.63 \text{ N ,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 8.315 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 1.595 \text{ Nm ,}$$

Atalet kuvvet momentlerinin dengelenmesi sonrası:

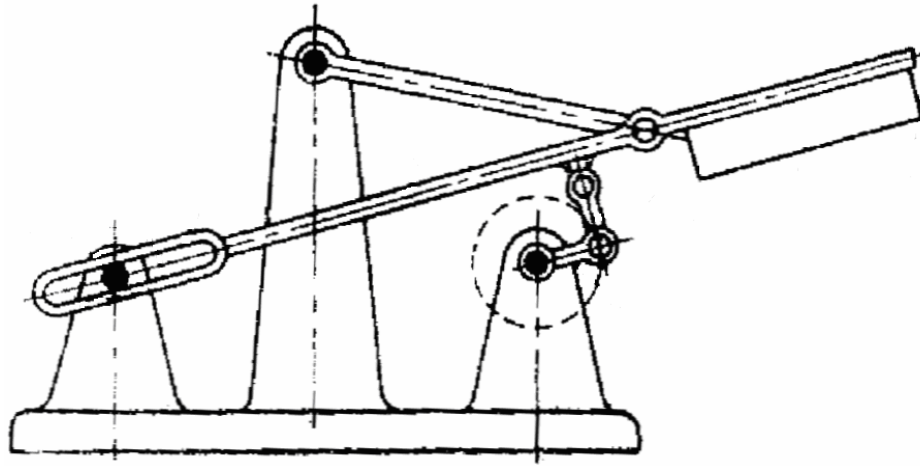
$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.844 \text{ N},$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.708 \text{ N},$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.008 \text{ Nm},$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 5.912 \text{ Nm}$$

4.2. Bıçak Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi

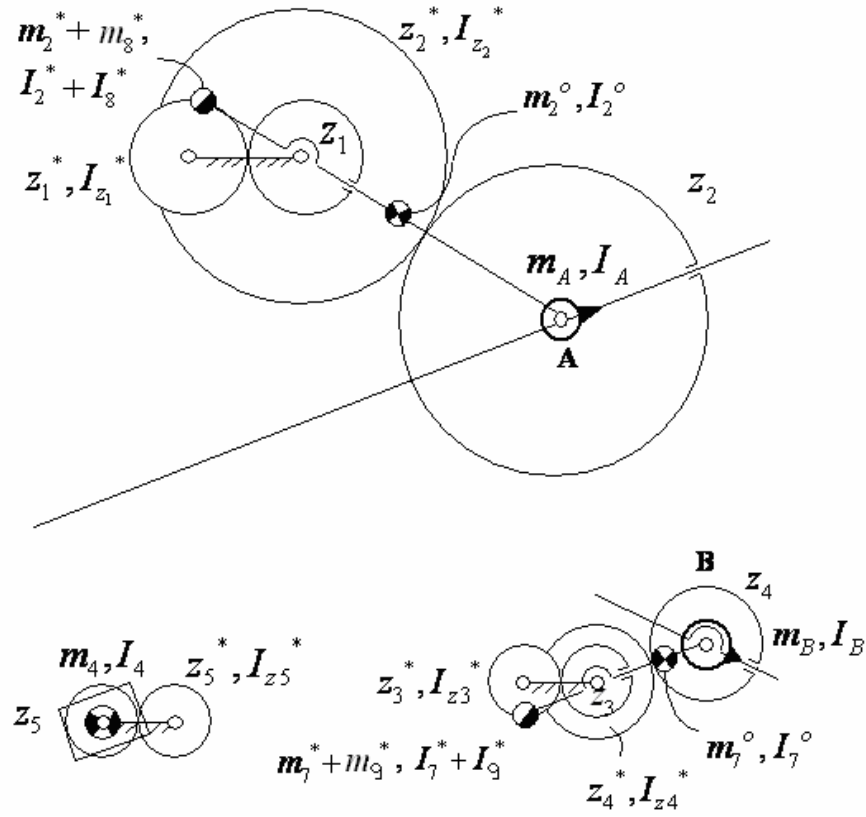


Şekil 4.5 : Bıçak mekanizması [9]

Şekil 4.5’ de gösterilen bıçak mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütleli atalet momentleri ve uzunluk değerleri Tablo 4.3’ de m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütlesi konumlarına bağlı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütle değerleri de Tablo 4.3’ de görülmektedir. Bu değerler (4.3) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden $(m_i^* R_i)$ elde edilmiştir. Atalet momentlerinin dengelenmesi için kullanılan dişlilerden kaynaklanan ek kütle dengesizlikleri gidermek için mekanizmaya ek karşı kütleler konulması gerekir. m_{z_4} kütleli planet dişli kullanılması nedeniyle oluşan kütle dengesizliği m_8^* karşı kütlesi ile dengelenir.

Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütleli atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Bıçak mekanizmasında atalet momentlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütleli atalet momentleri (4.4) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.7 'de gösterilmiştir. Şekil 4.7 'de planet dişlilerin kütlelerinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için gerekli dengeleme kütleleri ilave edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 I_{Z_2}^* &= I_A \frac{Z_2^*}{Z_2} \\
 I_{Z_1}^* &= \frac{Z_1^*}{Z_1} \left[I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + m_2^* R_2^2 + m_A L_2^2 + I_{Z_2}^* \left(1 + \frac{Z_2^*}{Z_2} \right) \right] \\
 I_{Z_4}^* &= I_B \frac{Z_4^*}{Z_4} \\
 I_{Z_3}^* &= \frac{Z_3^*}{Z_3} \left[I_7^o + m_7^o \frac{L_7^2}{4} + I_7^* + m_7^* R_7^2 + m_B L_7^2 + I_{Z_4}^* \left(1 + \frac{Z_4^*}{Z_4} \right) \right] \\
 I_{Z_5}^* &= I_4 \frac{Z_5^*}{Z_5}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$



Şekil 4.7 : Bıçak mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi

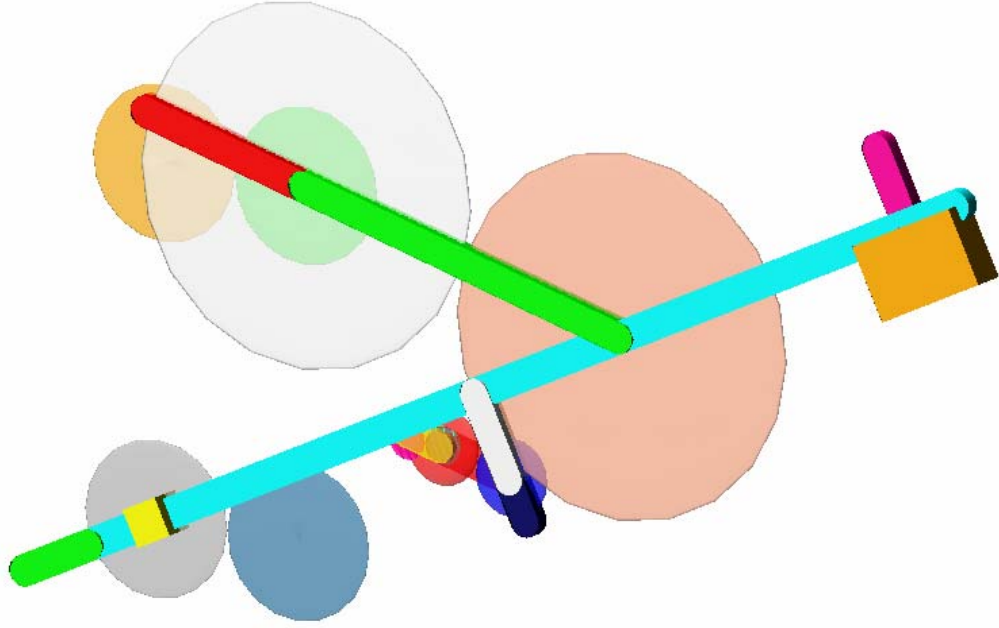
Tablo 4.3’ deki sayısal değerleri, (4.4) denklemleri kullanılarak ve $\frac{Z_1^*}{Z_1} = \frac{Z_2^*}{Z_2} = \frac{Z_3^*}{Z_3} = \frac{Z_4^*}{Z_4} = \frac{Z_5^*}{Z_5} = 1$ seçilerek bulunan sayısal değerler Tablo 4.4’ de verilmiştir. Şekil 4.8’ de atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan bıçak mekanizmasının ADAMS programı kullanılarak elde edilen modeli görülmektedir. Şekil 4.5’ de gösterilen bıçak mekanizmasının dengeleme öncesi ve sonrası 7 nolu tahrik milinin $n = 50$ devir/dakika sabit açısal hız ile dönmesi durumunda zemine aktarılan atalet kuvvetleri yatay ($F_{x_{atalet}}$), düşey ($F_{y_{atalet}}$) bileşenlerinin, atalet momentinin (M_{atalet}), tahrik momentinin (M_{tahrik}) KOD değerleri ADAMS programı kullanılarak bulunmuş ve aşağıda sayısal değerleri ile verilmiştir. Bu sayısal sonuçlardan görüldüğü üzere atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ve neticede tahrik momentinde büyüme meydana gelmektedir.

Tablo 4. 3: Bıçak mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m ²] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçilen)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m ²] (bulunan)
2	3.0	$6.3 \cdot 10^{-2}$	0.465	0.116	65.732	0.295
3	8.6	1.36		0.724	1.173	$9.77 \cdot 10^{-4}$
4	0.97	$4.0 \cdot 10^{-4}$				
5	2.58	0.458	0.05	0.05	2.58	$2.15 \cdot 10^{-3}$
6	0.9	$1.6 \cdot 10^{-3}$	0.112	0.028	1.8	$4.68 \cdot 10^{-4}$
7	0.8	$1.4 \cdot 10^{-3}$	0.101	0.025	12.4	$2.62 \cdot 10^{-3}$
8			0.15			
9			0.449			

Tablo 4. 4: Bıçak mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütle atalet momenti değerleri

$I_{Z_1}^*$ [kg. m ²]	13.069	I_{Z_4}	$7.889 \cdot 10^{-5}$
$I_{Z_2}^*$	3.99	m_{Z_4}	$6.22 \cdot 10^{-2}$
$I_{Z_3}^*$	$5.47 \cdot 10^{-2}$	I_8^*	0.024
$I_{Z_4}^*$	$6.4 \cdot 10^{-3}$	m_8^*	5.28
$I_{Z_5}^*$	$4.0 \cdot 10^{-4}$	I_9^*	$8 \cdot 10^{-5}$
I_{Z_2}	65.732	m_9^*	0.249
m_{Z_2}	1.32		



Şekil 4.8 : ADAMS programında bıçak mekanizmasına etkiyen atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 18.331 \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 58.245 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 23.162 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 7.882 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 4.134 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 0.001 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 63.128 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 13.354 \text{ Nm,}$$

Atalet momentlerinin dengelenmesi sonrası:

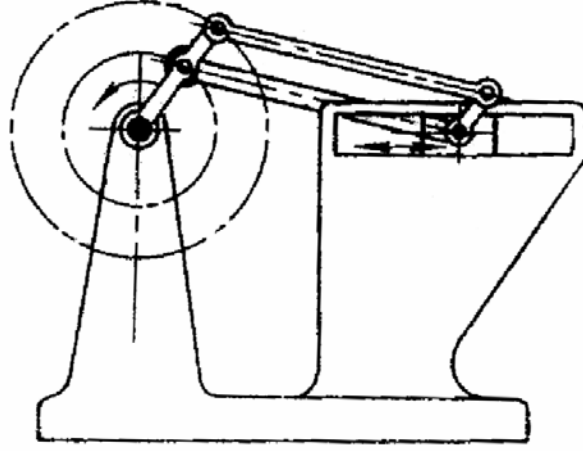
$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 4.063 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 0.001 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.003 \cdot 10^{-4} \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 66.006 \text{ Nm,}$$

4.3. Pantograf Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi



Şekil 4.9 : Pantograf mekanizması [10]

Şekil 4.9’ da pantograf mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütleli atalet momentleri ve uzunluk değerleri Tablo 4.5’ de m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütlesi konumlarına bağlı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütle değerleri de Tablo 4.5’ de görülmektedir. Bu değerler (4.5) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden ($m_i^* R_i$) elde edilmiştir. Atalet momentlerinin dengelenmesi için kullanılan dişlilerden kaynaklanan ek kütle dengesizlikleri gidermek için mekanizmaya ek karşı kütleler konulması gerekir. m_{z_2} ve m_{z_3} kütleli planet dişli kullanılması nedeniyle oluşan kütle dengesizliği m_9^* karşı kütlesi ile dengelenir.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \pi$$

$$m_6^* R_3 = m_6^o \frac{L_3}{2}$$

$$m_B = m_6^o + m_6^*$$

$$I_B = I_6^o + m_6^o \frac{L_3^2}{4} + I_6^* + m_6^* R_3^2$$

$$m_5^* R_5 = m_5^o \frac{L_5}{2}$$

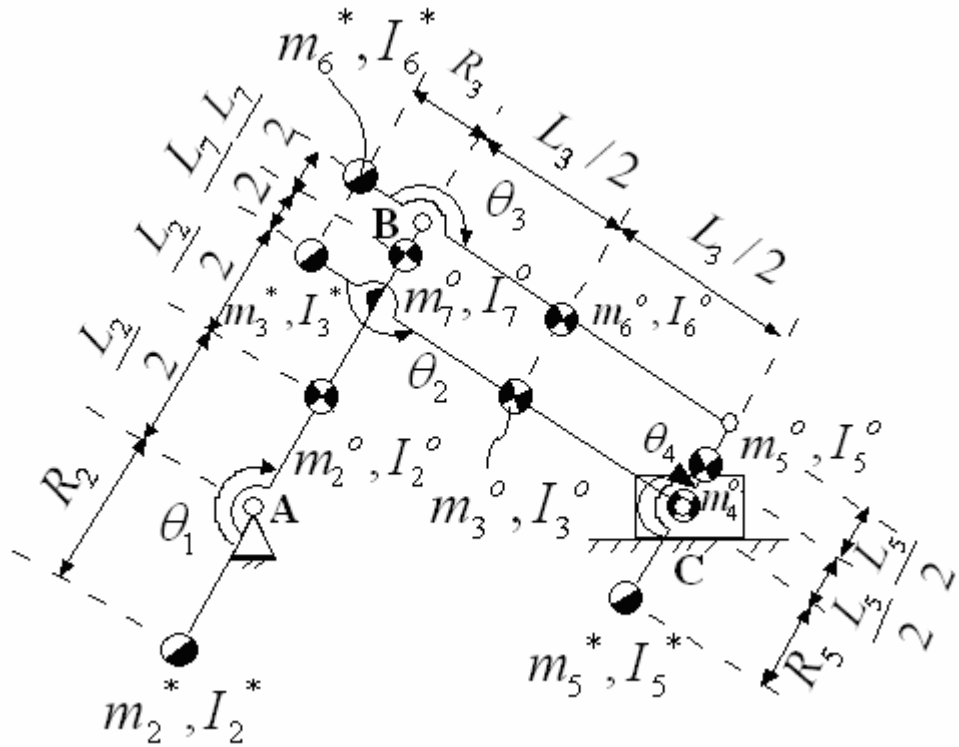
$$m_C = m_4 + m_5^o + m_5^* \quad (4.5)$$

$$I_C = m_5^o \frac{L_5^2}{4} + m_5^* R_5^2$$

$$I_A = I_5^o + I_5^*$$

$$m_3^* R_3 = m_3^o \frac{L_3}{2} + m_C L_3$$

$$m_2^* R_2 = m_2^o \frac{L_2}{2} + m_7^o \left(L_2 + \frac{L_7}{2} \right) + (m_C + m_3^o + m_3^*) L_2 + m_B (L_2 + L_7)$$



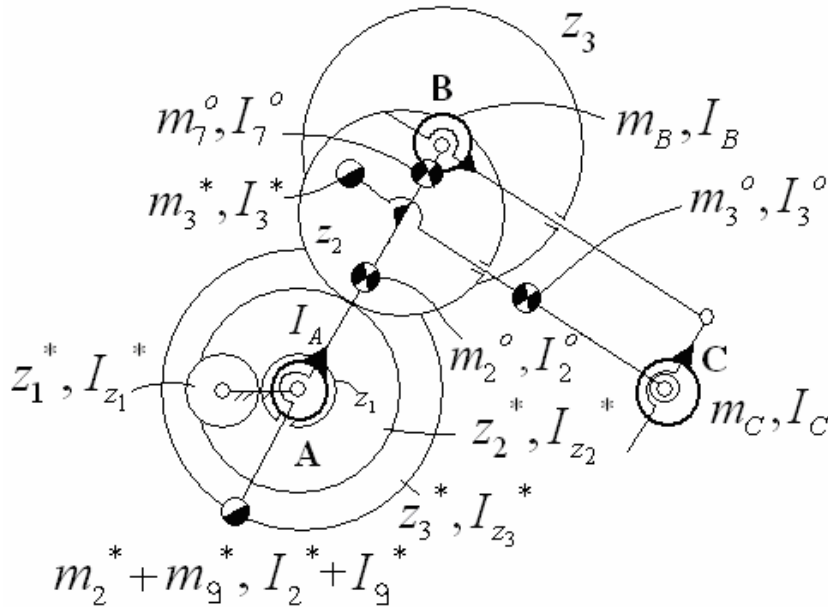
Şekil 4.10 : Pantograf mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi

Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütlelesel atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Pantograf mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütlelesel atalet momentleri (4.6) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Şekil 4.11' de planet dişlilerin kütlelerinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için gerekli dengeleme kütleleri ilave edilmiştir.

$$I_{Z_3}^* = I_B \frac{Z_3^*}{Z_3}$$

$$I_{Z_2}^* = \frac{Z_2^*}{Z_2} \left(I_C + m_C L_3^2 + I_3^* + m_3^* R_3^2 + I_3^o + m_3^o \frac{L_3^2}{4} \right) \quad (4.6)$$

$$I_{Z_1}^* = \frac{Z_1^*}{Z_1} \left[I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + m_2^* R_2^2 + I_7 + m_7 \left(L_2 + \frac{L_7}{2} \right)^2 + m_B (L_2 + L_7)^2 + (m_C + m_3^o + m_3^*) L_2^2 \right. \\ \left. + I_A + I_{Z_2} \left(1 + \frac{Z_2}{Z_2^*} \right) + I_{Z_3} \left(1 + \frac{Z_3}{Z_3^*} \right) \right]$$



Şekil 4.11 : Pantograf mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi

Tablo 4.5’ deki sayısal değerleri, (4.6) denklemleri kullanılarak ve $\frac{Z_1^*}{Z_1} = \frac{Z_2^*}{Z_2} = \frac{Z_3^*}{Z_3} =$

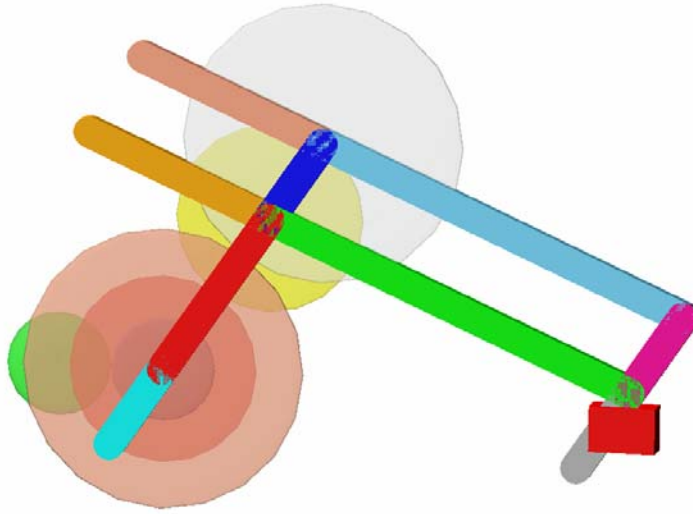
1 seçilerek bulunan sayısal değerleri Tablo 4.6’ da verilmiştir. Şekil 4.12’ de atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan pantograf mekanizmasının ADAMS programı kullanılarak elde edilen modeli görülmektedir. Şekil 4.12’ de gösterilen pantograf mekanizmasının dengeleme öncesi ve sonrası 2 nolu tahrik milinin $n = 50$ devir/dakika sabit açısal hız ile dönmesi durumunda zemine aktarılan atalet kuvvetleri yatay (Fx_{atalet}), düşey (Fy_{atalet}) bileşenlerinin, atalet momentinin (M_{atalet}), tahrik momentinin (M_{tahrik}), KOD değerleri ADAMS programı kullanılarak bulunmuş ve aşağıda sayısal değerleri ile verilmiştir. Bu sayısal sonuçlardan görüldüğü üzere atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ve neticede tahrik momentinde büyüme meydana gelmektedir.

Tablo 4. 5: Pantograf mekanizması dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m^2] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçildi)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m^2] (bulunan)
2	0.47	$1.68.10^{-3}$	0.18	0.045	71.44	$4.83.10^{-2}$
3	0.94	$1.29.10^{-2}$	0.381	0.095	10.08	$3.04.10^{-2}$
4	1.53					
5	0.26	$3.05.10^{-4}$	$9.014.10^{-2}$	0.045	0.26	$1.76.10^{-4}$
6	0.94	$1.29.10^{-2}$			1.88	$5.67.10^{-3}$
7	0.26	$3.05.10^{-4}$	$9.014.10^{-2}$			

Tablo 4. 6: Pantograf mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlelesel atalet momenti değerleri

$I_{Z_1}^* [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	1.378	I_{Z_3}	0.199
$I_{Z_2}^*$	0.467	m_{Z_3}	$8.084 \cdot 10^{-4}$
$I_{Z_3}^*$	$6.968 \cdot 10^{-2}$	I_9^*	0.004
I_{Z_2}	0.448	m_9^*	9.329
m_{Z_2}	$4.09 \cdot 10^{-3}$		



Şekil 4.12 : ADAMS programında pantograf mekanizmasına etkiyen atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 15.603 \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 7.454 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.863 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 1.386 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 3.406 \cdot 10^{-13} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 3.331 \cdot 10^{-13} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 5.385 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrık} \text{ (KOD)} = 1.165 \text{ Nm},$$

Atalet momentlerinin dengelenmesi sonrası:

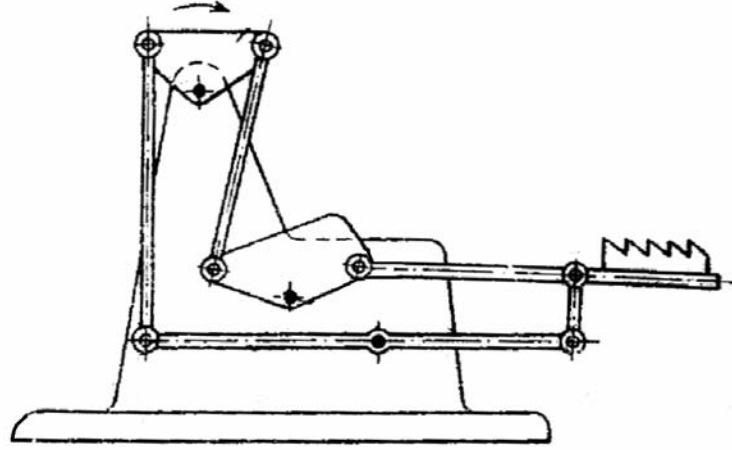
$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 3.4.10^{-13} \text{ N},$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 3.34.10^{-13} \text{ N},$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.0106 \text{ Nm},$$

$$M_{tahrık} \text{ (KOD)} = 10.689 \text{ Nm},$$

4.4. Dikiş Makinası Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi



Şekil 4.13 : Dikiş makinası mekanizması [11]

Şekil 4.13' de gösterilen dikiş makinası mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütleli atalet momentleri ve uzunluk değerleri Tablo 4.7' de m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütlesi konumlarına bağlı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütle değerleri Tablo 4.7' de görülmektedir. Bu değerler (4.7) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden $m_i^* R_i$ elde edilmiştir. Atalet momentlerinin dengelenmesi için kullanılan dişlilerden kaynaklanan ek kütle dengesizlikleri gidermek için mekanizmaya ek karşı kütleler konulması gerekir. m_{z_2} , m_{z_3} , m_{z_5} ve m_{z_7} kütleli planet dişli kullanılması nedeniyle oluşan kütle dengesizliği m_{14}^* , m_{15}^* , m_{16}^* ve m_{17}^* karşı kütlesi ile dengelenir.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \theta_5 = \theta_6 = \theta_7 = \theta_8 = \theta_9 = \theta_{10} = \pi$$

$$m_{11}^* R_{11} = m_{11}^o \frac{L_{11}}{2}$$

$$m_A = m_{11}^o + m_{11}^* + m_{Z_2}$$

$$I_A = I_{11}^o + m_{11}^o \frac{L_{11}^2}{4} + I_{11}^* + m_{11}^* R_{11}^2 + I_{Z_2}$$

$$(m_2^* + m_{15}^*) R_2 = m_2^o \frac{L_2}{2} + m_A L_2$$

$$m_4^* R_4 = m_4^o \frac{L_4}{2}$$

$$m_B = m_4^* + m_4^o + m_{Z_3}$$

$$I_B = I_4^o + m_4^o \frac{L_4^2}{4} + I_4^* + m_4^* R_4^2 + I_{Z_3}$$

$$(m_3^* + m_{14}^*) R_3 = m_3^o \frac{L_3}{2} + m_B L_3$$

$$m_8^* R_8 = m_8^o \frac{L_8}{2}$$

$$m_7^* R_7 = m_7^o \frac{L_7}{2} + (m_8^o + m_8^*) \left(L_{13} + \frac{L_7}{2} \right)$$

$$m_C = m_8^o + m_8^* + m_7^o + m_7^* + m_C^o + m_{Z_5} \quad (4.7)$$

$$I_C = I_8^o + m_8^o \left[\frac{L_8^2}{4} + \left(L_{13} + \frac{L_7}{2} \right)^2 \right] + I_8^* + m_8^* \left[R_8^2 + \left(L_{13} + \frac{L_{17}}{2} \right)^2 \right] + I_C^o + I_7^o + m_7^o \frac{L_7^2}{4} + I_7^* + m_7^* R_7^2 + I_{Z_5}$$

$$(m_6^* + m_{16}^*) R_6 = m_6^o \frac{L_6}{2} + m_C L_6$$

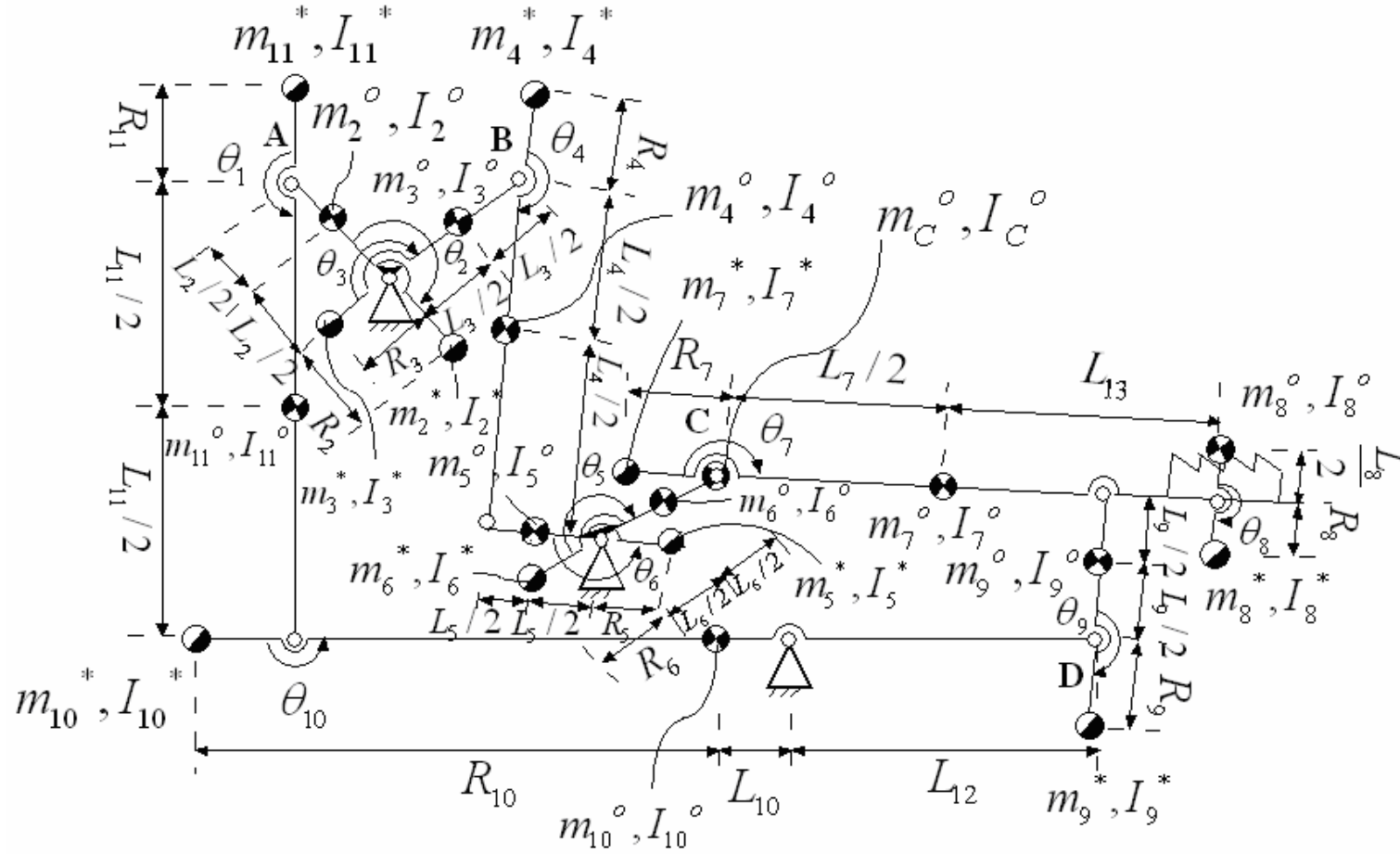
$$m_5^* R_5 = m_5^o \frac{L_5}{2}$$

$$m_9^o \frac{L_9}{2} = m_9^* R_9$$

$$m_D = m_9^o + m_9^* + m_{Z_7}$$

$$I_D = I_9^o + m_9^o \frac{L_9^2}{4} + I_9^* + m_9^* R_9^2 + I_{Z_7}$$

$$m_D L_{12} = (m_{10}^* + m_{17}^*) (R_{10} + L_{10}) + m_{10}^o L_{10}$$



Şekil 4.14 : Dikiş makinası mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi

Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütsel atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Dikiş makinası mekanizmasında atalet momentlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütsel atalet momentleri (4.8) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.15’ de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
I_{Z_2}^* &= I_A \frac{Z_2^*}{Z_2} \\
I_{Z_3}^* &= I_B \frac{Z_3^*}{Z_3} \\
I_{Z_1}^* &= \frac{Z_1^*}{Z_1} \left[m_A L_2^2 + I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + I_{15}^* + (m_2^* + m_{15}^*) R_2^2 + I_3^o + m_3^o \frac{L_3^2}{4} + I_3^* + I_{14}^* \right. \\
&\quad \left. + (m_3^* + m_{14}^*) R_3^2 + m_B L_3^2 + I_{Z_2}^* \left(1 + \frac{Z_2^*}{Z_2} \right) + I_{Z_3}^* \left(1 + \frac{Z_3^*}{Z_3} \right) \right] \\
I_{Z_5}^* &= I_C \frac{Z_5^*}{Z_5} \tag{4.8} \\
I_{Z_4}^* &= \frac{Z_4^*}{Z_4} \left[m_C L_6^2 + I_6^o + m_6^o \frac{L_6^2}{4} + I_6^* + I_{16}^* + (m_6^* + m_{16}^*) R_6^2 + I_5^o + m_5^o \frac{L_5^2}{4} + I_5^* \right. \\
&\quad \left. + m_5^* R_5^2 + I_{Z_5}^* \left(1 + \frac{Z_5^*}{Z_5} \right) \right] \\
I_{Z_7}^* &= I_D \frac{Z_7^*}{Z_7}
\end{aligned}$$



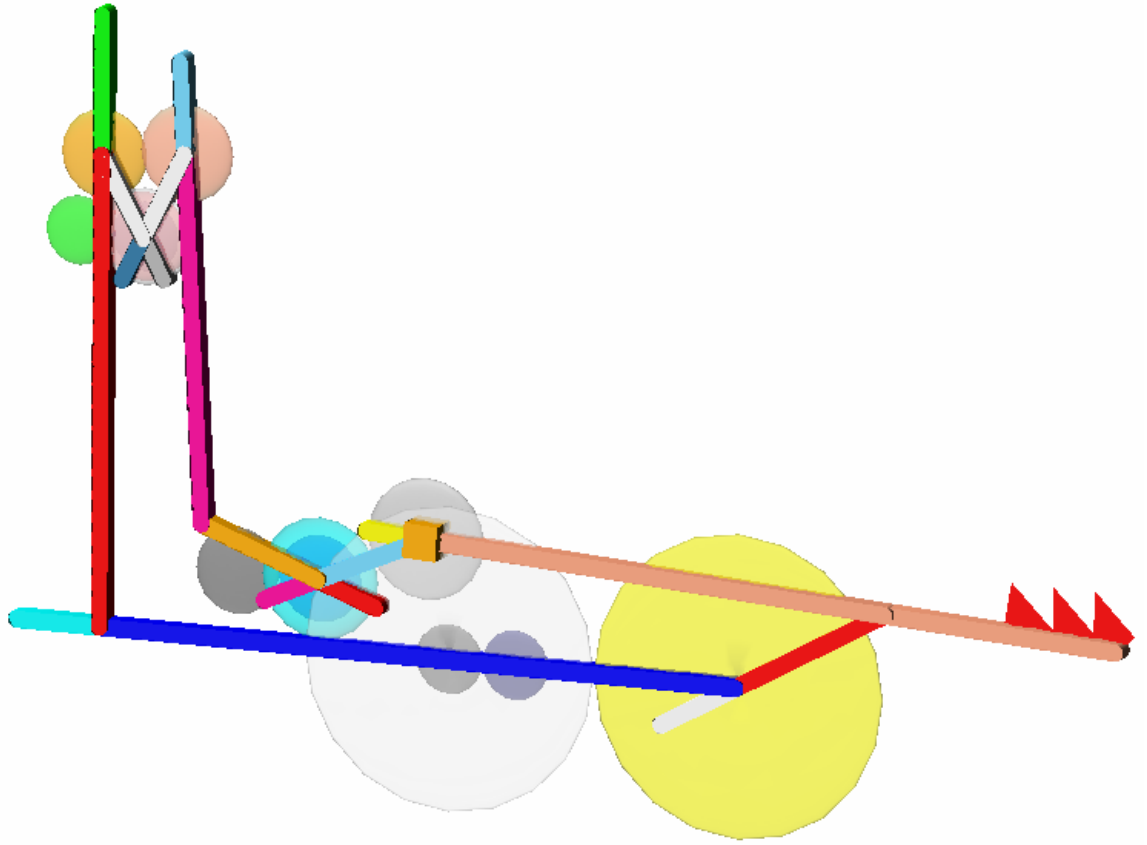
35

Tablo 4. 7: Dikiş makinası mekanizması dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m ²] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçildi)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m ²] (bulunan)
2	0.369	$4.46.10^{-4}$	0.103	0.026	31.013	$6.85.10^{-3}$
3	0.39	$5.51.10^{-4}$	0.112	0.028	27.982	$7.28.10^{-3}$
4	1.36	$2.17.10^{-2}$	0.421	0.053	5.44	$5.02.10^{-3}$
5	0.51	$1.19.10^{-3}$	0.15	0.037	1.02	$4.78.10^{-4}$
6	0.485	$9.95.10^{-4}$	0.14	0.035	144.65	$5.9.10^{-2}$
7	1.79	$4.95.10^{-2}$	0.56	0.035	32.72	$1.72.10^{-3}$
8	0.46	0.024	0.088	0.088	0.46	0.024
9	0.69	$2.84.10^{-3}$	0.206	0.051	1.38	$1.22.10^{-3}$
10	2.45	0.126	0.035	0.435	1.359	$1.13.10^{-3}$
11	1.73	$4.46.10^{-2}$	0.54	0.08	5.839	$1.24.10^{-2}$
12			0.35			
13			0.42			
C	0.49	$1.33.10^{-4}$				

Tablo 4. 8: Dikiş makinası mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütlelel atalet momenti değerleri

$I_{Z_1}^*$ [kg. m ²]	0.87	I_{Z_2}	$8.62.10^{-5}$	m_{Z_2}	0.065
$I_{Z_2}^*$	0.22	I_{Z_3}	$1.195.10^{-4}$	m_{Z_3}	0.076
$I_{Z_3}^*$	0.102	I_{Z_5}	$2.94.10^{-4}$	m_{Z_5}	0.12
$I_{Z_4}^*$	2.326	I_{14}^*	$0.08.10^{-3}$	m_{14}^*	0.306
$I_{Z_5}^*$	0.688	I_{15}^*	$0.05.10^{-3}$	m_{15}^*	0.26
$I_{Z_6}^*$	0.714	I_{16}^*	$0.02.10^{-2}$	m_{16}^*	0.48
$I_{Z_7}^*$	$1.504.10^{-2}$	I_{17}^*	$0.46.10^{-3}$	m_{17}^*	0.558



Şekil 4.16 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan dikiş makinası mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 5.881 \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 4.726 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 6.016 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 0.815 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.857 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 5.164 \cdot 10^{-5} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 20.178 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 6.616 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi sonrası:

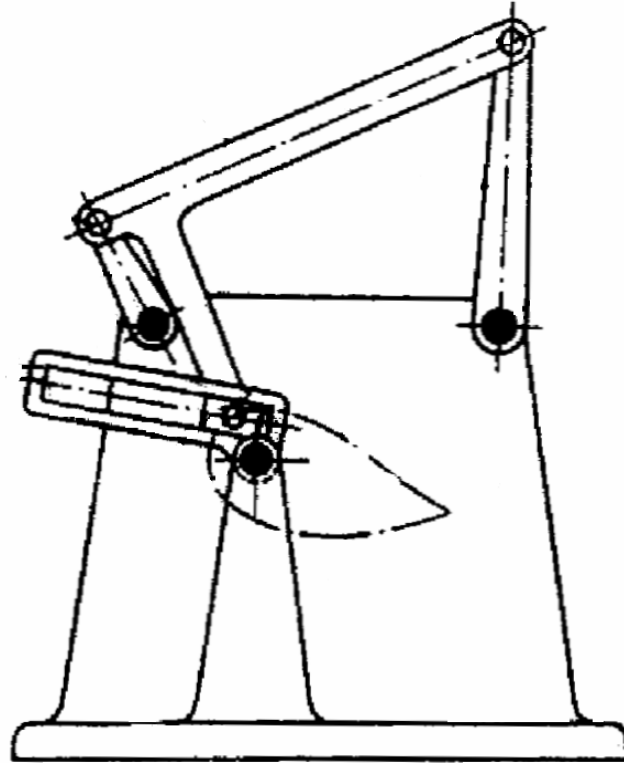
$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.971 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 4.945 \cdot 10^{-5} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.031 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 39.879 \text{ Nm,}$$

4.5. Kısa Bekleme Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi



Şekil 4.17 : Kısa beklemeli kol mekanizması [12]

Şekil 4.17’ de gösterilen kısa beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütleli atalet momentleri ve uzunluk değerleri Tablo 4.9’ da m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütlesi konumlarına bağlı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütle değerleri de Tablo 4.9’ da görülmektedir. Bu değerler (4.9) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden $(m_i^* R_i)$ elde edilmiştir. Atalet momentlerinin dengelenmesi için kullanılan dişlilerden kaynaklanan ek kütle dengesizlikleri gidermek için mekanizmaya ek karşı kütleler konulması gerekir. m_{z_2} kütleli planet dişli kullanılması nedeniyle oluşan kütle dengesizliği m_9^* karşı kütlesi ile dengelenir.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \pi$$

$$m_5^* R_5 = m_7^o L_5 + m_5^o \frac{L_5}{2}$$

$$m_3^* R_3 = m_3^o \frac{L_3}{2} + (m_7^o + m_5^o + m_5^*) L_9$$

$$m_A = m_3^o + m_3^* + m_5^o + m_5^* + m_7^0 + m_{Z_2}$$

$$I_A = m_7^o L_5^2 + I_5^o + m_5^o \frac{L_5^2}{4} + I_5^* + m_5^* R_5^2 + (m_7^o + m_5^o + m_5^*) L_9^2 + I_3^o + m_3^o \frac{L_3^2}{4} + I_3^* + m_3^* R_3^2 + I_{Z_2}$$

$$m_2^* R_2 = m_A L_2 + m_2^o \frac{L_2}{2}$$

$$m_4^* R_4 = m_4^o \frac{L_4}{2}$$

$$m_B = m_4^* + m_4^o \tag{4.9}$$

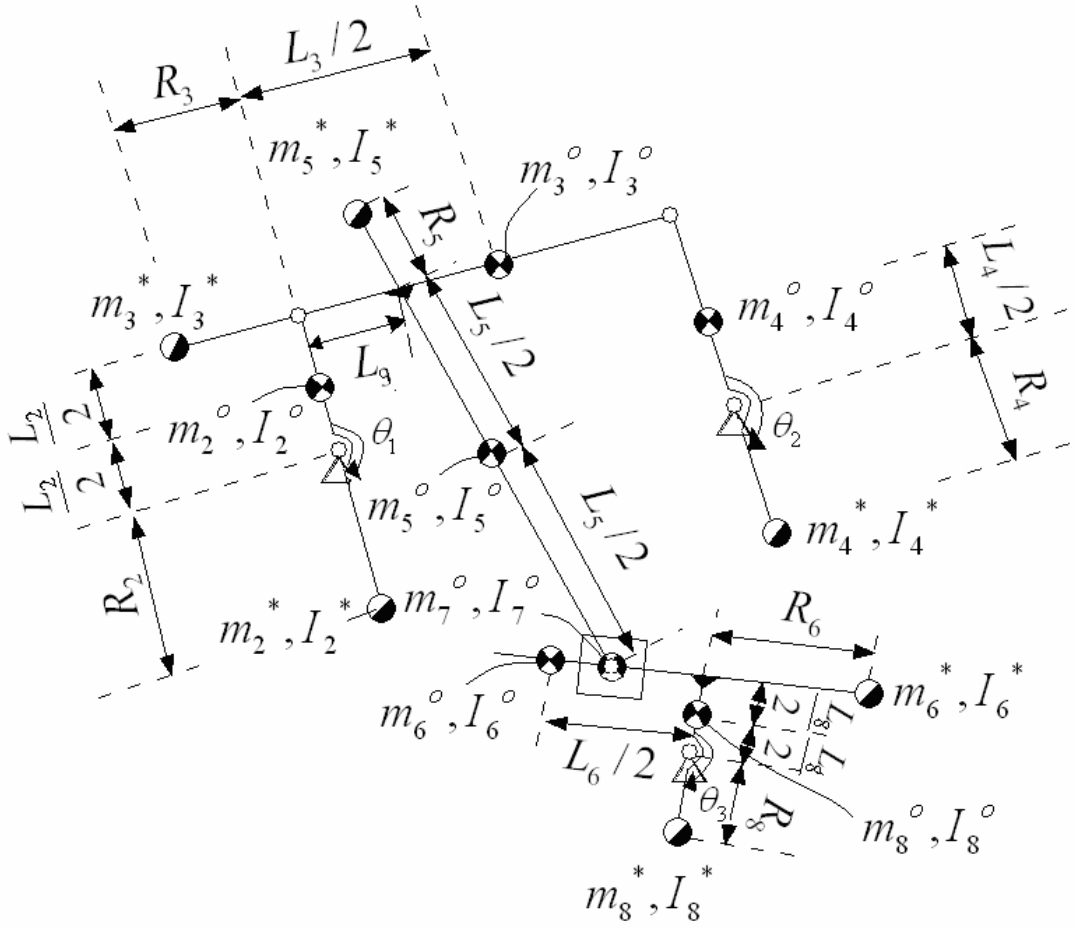
$$I_B = I_4^* + m_4^* R_4^2 + I_4^o + m_4^o \frac{L_4^2}{4}$$

$$m_6^* R_6 = m_6^o \frac{L_6}{2}$$

$$m_8^* R_8 = m_8^o \frac{L_8}{2} + (m_6^o + m_6^*) L_8$$

$$m_C = m_6^* + m_6^o + m_8^* + m_8^o$$

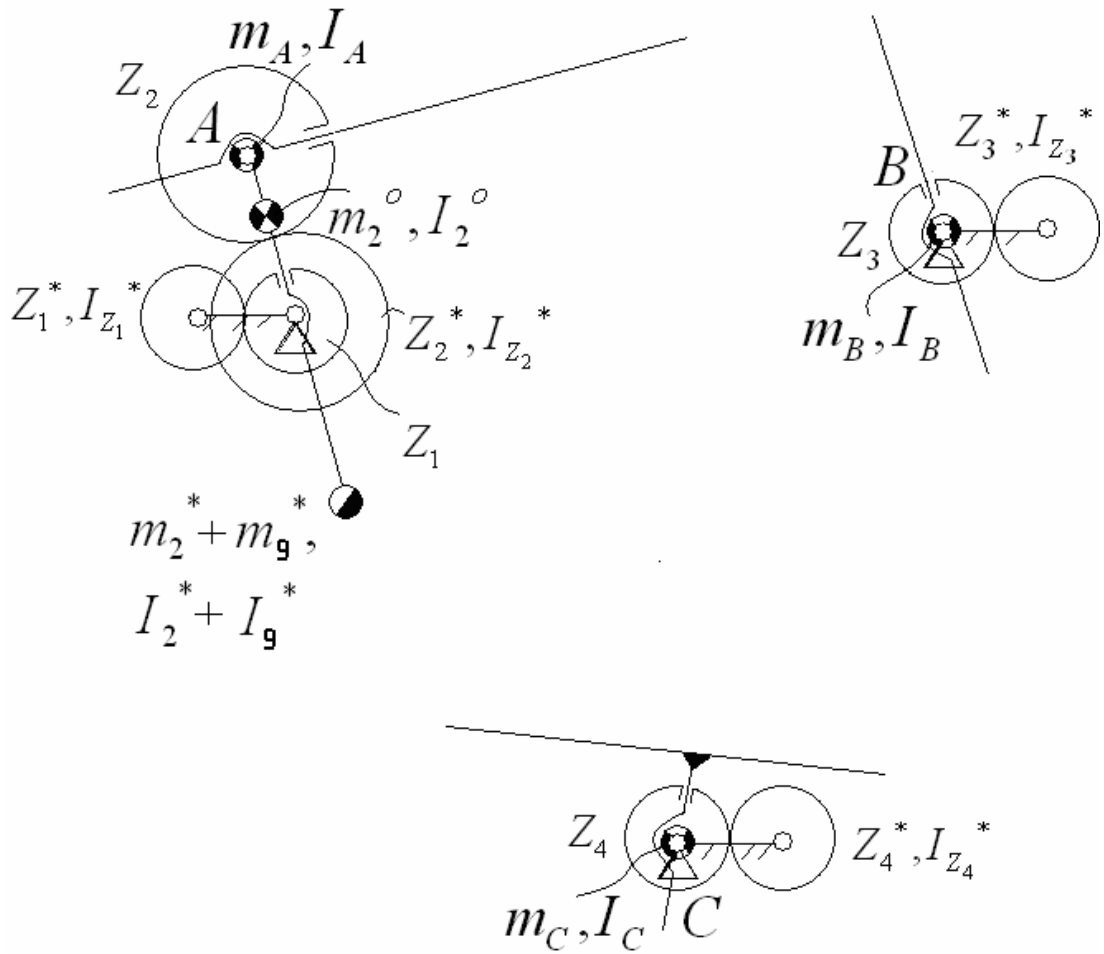
$$I_C = I_6^* + m_6^* (R_6^2 + L_8^2) + I_6^o + m_6^o \left(\frac{L_6^2}{4} + L_8^2 \right) + I_8^* + m_8^* R_8^2 + I_8^o + m_8^o \frac{L_8^2}{4} + I_7^o$$



Şekil 4.18 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi

Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütlelesel atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Kısa beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütlelesel atalet momentleri (4.10) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.19’ da gösterilmiştir. Şekil 4.19’ da planet dişlilerin kütlelerinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin dengelenmesi için gerekli dengeleme kütleleri ilave edilmiştir.

$$\begin{aligned}
I_{Z_2}^* &= I_A \frac{Z_2^*}{Z_2} \\
I_{Z_1}^* &= \frac{Z_1^*}{Z_1} \left[I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + m_2^* R_2^2 + m_A L_2^2 + I_9^* + m_9^* R_2^2 + I_{Z_2}^* \left(1 + \frac{Z_2^*}{Z_2} \right) \right] \\
I_{Z_3}^* &= I_B \frac{Z_3^*}{Z_3} \\
I_{Z_4}^* &= I_C \frac{Z_4^*}{Z_4}
\end{aligned} \tag{4.10}$$



Şekil 4.19 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi

Tablo 4.9’ daki sayısal değerleri, (4.10) denklemleri kullanılarak ve

$\frac{Z_1^*}{Z_1} = \frac{Z_2^*}{Z_2} = \frac{Z_3^*}{Z_3} = \frac{Z_4^*}{Z_4} = 1$ seçilerek bulunan sayısal değerler Tablo 4.10’ da

verilmiştir. Şekil 4.20’ de atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa

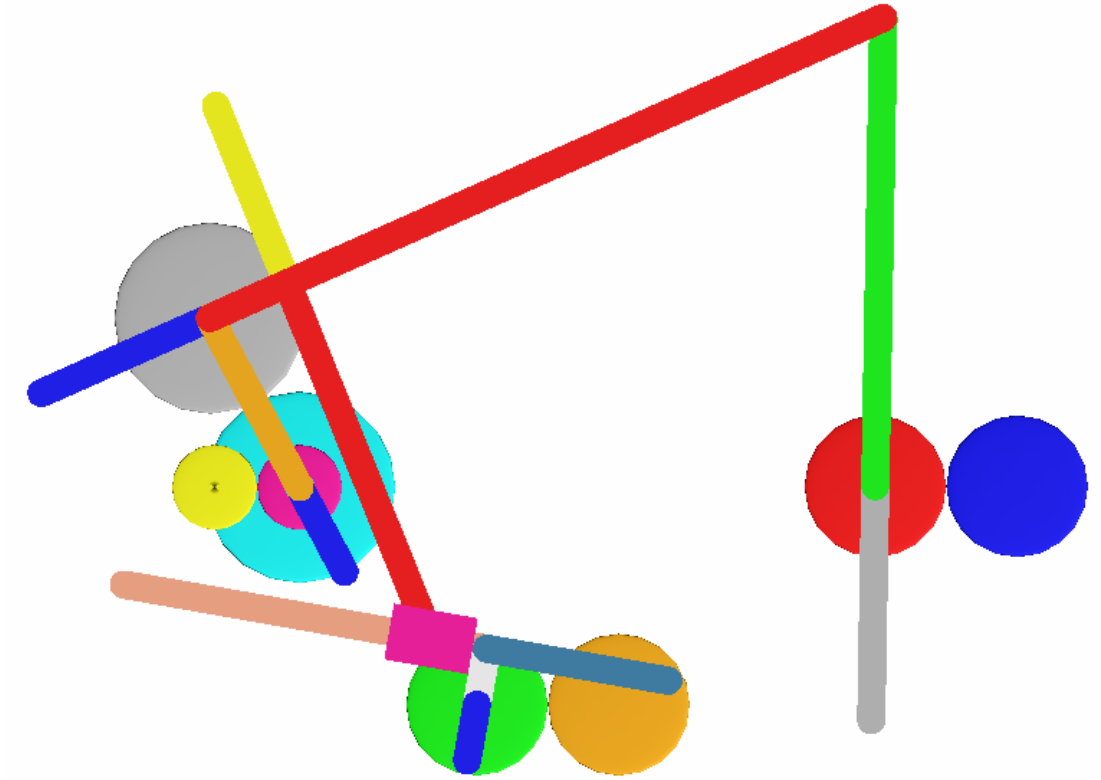
beklemeli kol mekanizmasının ADAMS programı kullanılarak elde edilen modeli görülmektedir. Şekil 4.17’ de gösterilen kısa beklemeli kol mekanizmasının dengeleme öncesi ve sonrası 2 nolu tahrik milinin $n = 50$ devir/dakika sabit açısal hız ile dönmesi durumunda zemine aktarılan atalet kuvvetleri yatay (Fx_{atalet}), düşey (Fy_{atalet}) bileşenlerinin, atalet momentinin (M_{atalet}), tahrik momentinin (M_{tahrik}) KOD değerleri ADAMS programı kullanılarak bulunmuş ve aşağıda sayısal değerleri ile verilmiştir. Bu sayısal sonuçlardan görüldüğü üzere atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ve neticede tahrik momentinde büyüme meydana gelmektedir.

Tablo 4. 9: Kısa beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetleri dengelemesi sonrası mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m^2] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçildi)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m^2] (bulunan)
2	0.469	$9.03. 10^{-4}$	0.135	$3.375. 10^{-2}$	90.646	0.034
3	1.67	$3.99. 10^{-2}$	0.52	0.065	13.437	$1.89. 10^{-2}$
4	1.07	$1.07. 10^{-2}$	0.33	0.082	2.14	$4.9. 10^{-3}$
5	0.89	$6.08. 10^{-3}$	0.27	0.067	5.5	$8.4. 10^{-3}$
6	0.859	$5.46. 10^{-3}$	0.26	0.065	1.718	$8.176. 10^{-3}$
7	0.93	$4.75. 10^{-4}$				
8	0.173	$5.09. 10^{-5}$	$4.0. 10^{-2}$	0.02	5.327	$7.102. 10^{-4}$

Tablo 4. 10: Kısa beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütle atalet momenti değerleri

$I_{z_1}^*$ [kg. m^2]	1.309	I_{z_2}	$2.52. 10^{-4}$	m_{z_2}	0.111
$I_{z_2}^*$	0.378	I_9^*	$1.685. 10^{-4}$	m_9^*	0.444
$I_{z_3}^*$	$5.929. 10^{-2}$				
$I_{z_4}^*$	$4.297. 10^{-2}$				



Şekil 4.20 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 14.349 \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 12.076 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 3.293 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 1.328 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.336 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 1.382 \cdot 10^{-4} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 4.819 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 2.513 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD) } = 4.121.10^{-8} \text{ N,}$$

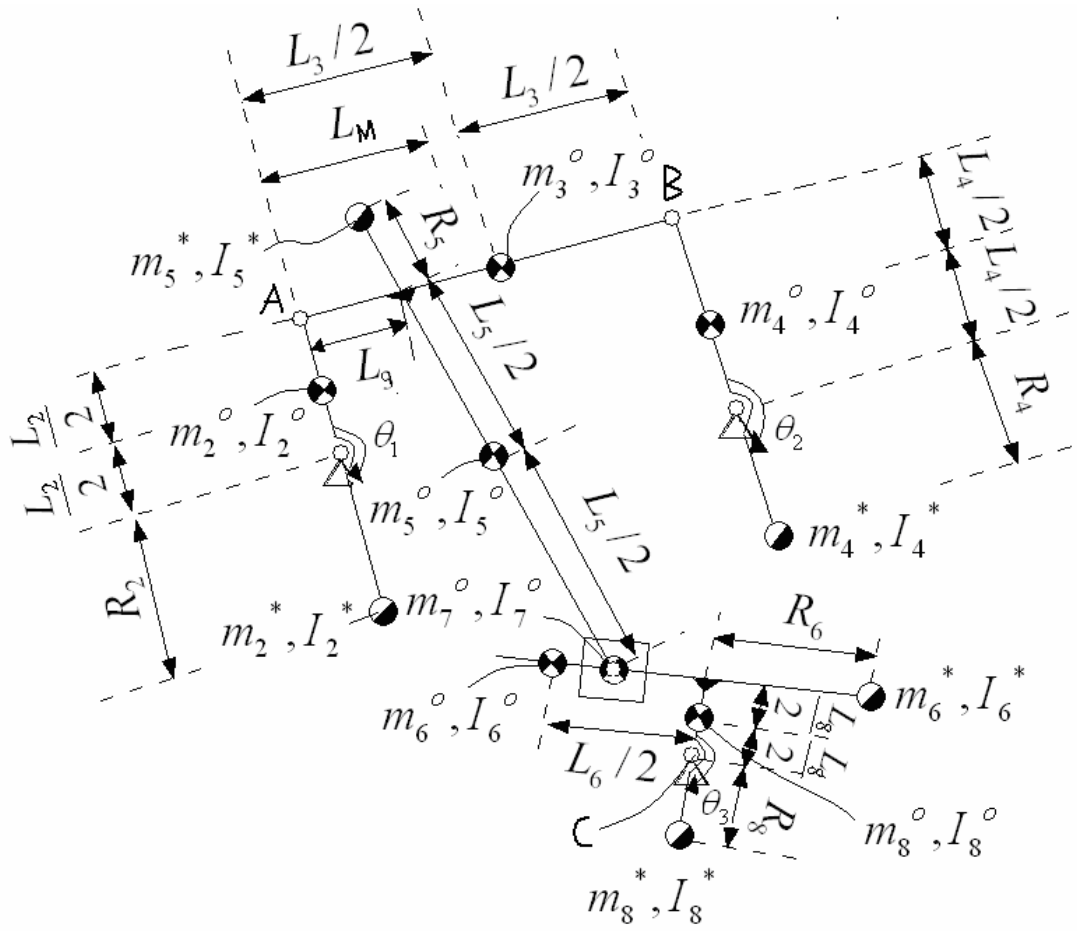
$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD) } = 4.406.10^{-8} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD) } = 0.013 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD) } = 9.101 \text{ Nm,}$$

4.6. Kısa Beklemeli Kol Mekanizmasında Atalet Kuvvet ve Momentlerinin Dengelenmesi (Özel Konstrüksiyon ile)

Dinamik eşdeğerlilik prensibine göre ($i_s^2 = l_A l_B$) 3 nolu kol özel konstrüksiyon ile imal edilirse planet dişliye gerek kalmadan kısa beklemeli kol mekanizmasının atalet momentleri dengelenebilmektedir. Şekil 4.17' de gösterilen kısa beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi kütle, kütleli atalet momentleri ve uzunluk değerleri Tablo 4.11' de m_i^o , I_i^o ve L_i olarak verilmiştir. Bu mekanizmada atalet kuvvetlerinin dengelenmesi ile seçilen R_i dengeleme kütlesi konumlarına bağlı olarak bulunan m_i^* dengeleme kütle değerleri de Tablo 4.11' de görülmektedir. Bu değerler (4.11) denklemleri ile verilen dengeleme büyüklüklerinden ($m_i^* R_i$) elde edilmiştir.



Şekil 4.21 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dengeleme kütlelerinin yerleştirilmesi

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \pi$$

$$m_5^* R_5 = m_7^o L_5 + m_5^o \frac{L_5}{2}$$

$$m_A^o = \left((m_5^o + m_5^* + m_7^o)(L_3 - L_9) + m_3^o \frac{L_3}{2} \right) / L_3 ,$$

$$m_B^o = \left((m_5^o + m_5^* + m_7^o)L_9 + m_3^o \frac{L_3}{2} \right) / L_3$$

$$m_2^* R_2 = m_A L_2 + m_2^o \frac{L_2}{2}$$

$$m_4^* R_4 = m_4^o \frac{L_4}{2} + m_B L_4 \quad (4.11)$$

$$\left(I_5^* + m_5^* R_5^2 + m_7^o L_5^2 + I_5^o + m_5^o \frac{L_5^2}{4} \right) + (m_5^o + m_5^* + m_7^o)(L_M - L_9)^2 + I_3^o$$

$$+ m_3^o \left(\frac{L_3}{2} - L_M \right) = (m_7^o + m_5^o + m_5^* + m_3^o) L_M (L_3 - L_M)$$

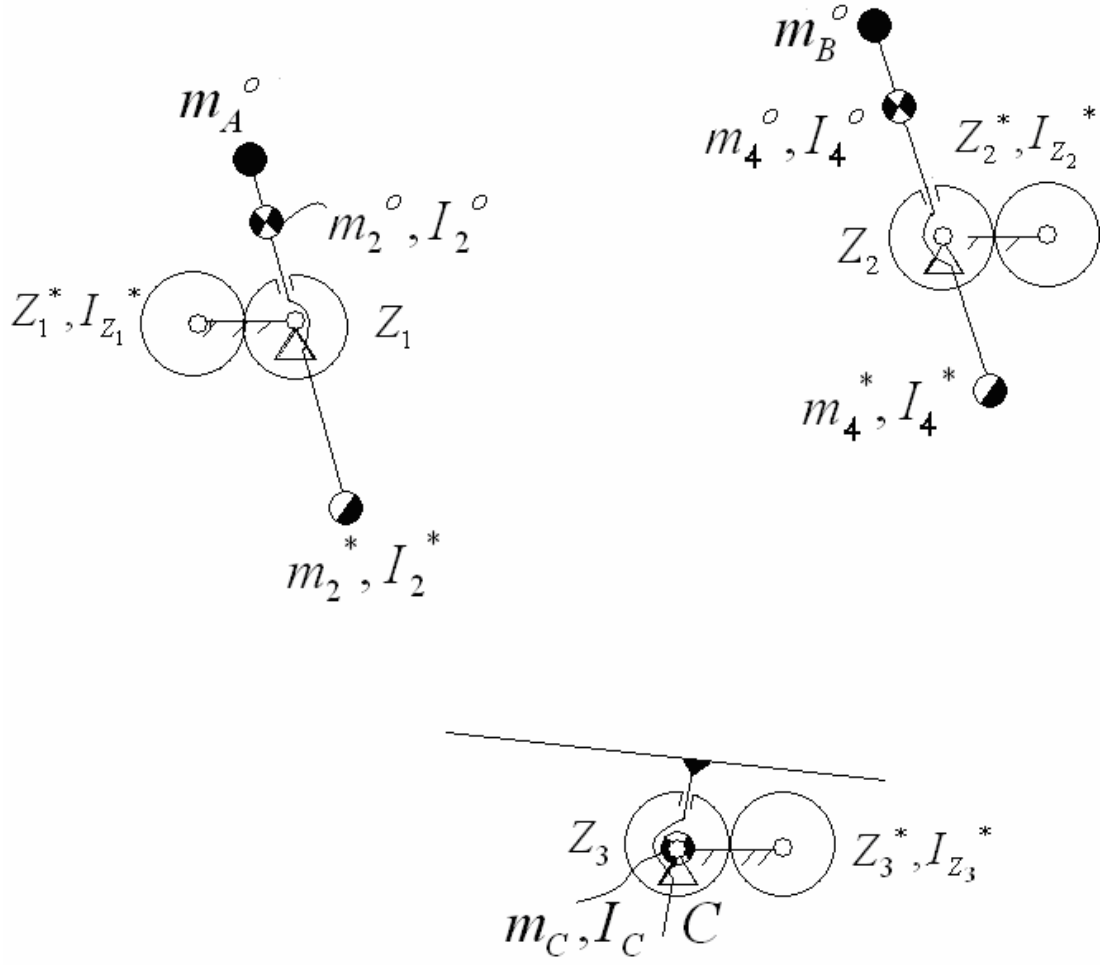
$$m_6^* R_6 = m_6^o \frac{L_6}{2}$$

$$m_8^* R_8 = m_8^o \frac{L_8}{2} + (m_6^o + m_6^*) L_8$$

$$m_C = m_6^* + m_6^o + m_8^* + m_8^o$$

$$I_C = I_6^* + m_6^* (R_6^2 + L_8^2) + I_6^o + m_6^o \left(\frac{L_6^2}{4} + L_8^2 \right) + I_8^* + m_8^* R_8^2 + I_8^o + m_8^o \frac{L_8^2}{4} + I_7^o$$

Dengeleme kütleleri fiziksel olarak mekanizmaya ilavesi homojen çubuk elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durumda bu dengeleme kütlelerinden dolayı sisteme eklenen I_i^* kütleel atalet momentleri de aynı tabloda yer almaktadır. Kısa beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilmesi gereken planet ve sabit dişlilerin kütleel atalet momentleri (4.12) denklemlerini sağlayacak şekilde elde edilir. Dişlilerin mekanizmaya yerleştirilmesi Şekil 4.22' de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : Kısa beklemeli kol mekanizmasına dişlilerin yerleştirilmesi

$$\begin{aligned}
 I_{Z_1}^* &= \frac{Z_1^*}{Z_1} \left[m_A^o L_2^2 + I_2^o + m_2^o \frac{L_2^2}{4} + I_2^* + m_2^* R_2^2 \right] \\
 I_{Z_2}^* &= \frac{Z_2^*}{Z_2} \left[m_B^o L_4^2 + I_4^o + m_4^o \frac{L_4^2}{4} + I_4^* + m_4^* R_4^2 \right] \\
 I_{Z_3}^* &= I_C \frac{Z_3^*}{Z_3}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Tablo 4.11’ deki sayısal değerleri, (4.12) denklemleri kullanılarak ve

$\frac{Z_1^*}{Z_1} = \frac{Z_2^*}{Z_2} = \frac{Z_3^*}{Z_3} = 1$ seçilerek bulunan sayısal değerler Tablo 4.12’ de verilmiştir.

Şekil 4.23’ de atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa beklemeli kol mekanizmasının ADAMS programı kullanılarak elde edilen modeli görülmektedir.

Şekil 4.17’ de gösterilen kısa beklemeli kol mekanizmasının dengeleme öncesi ve

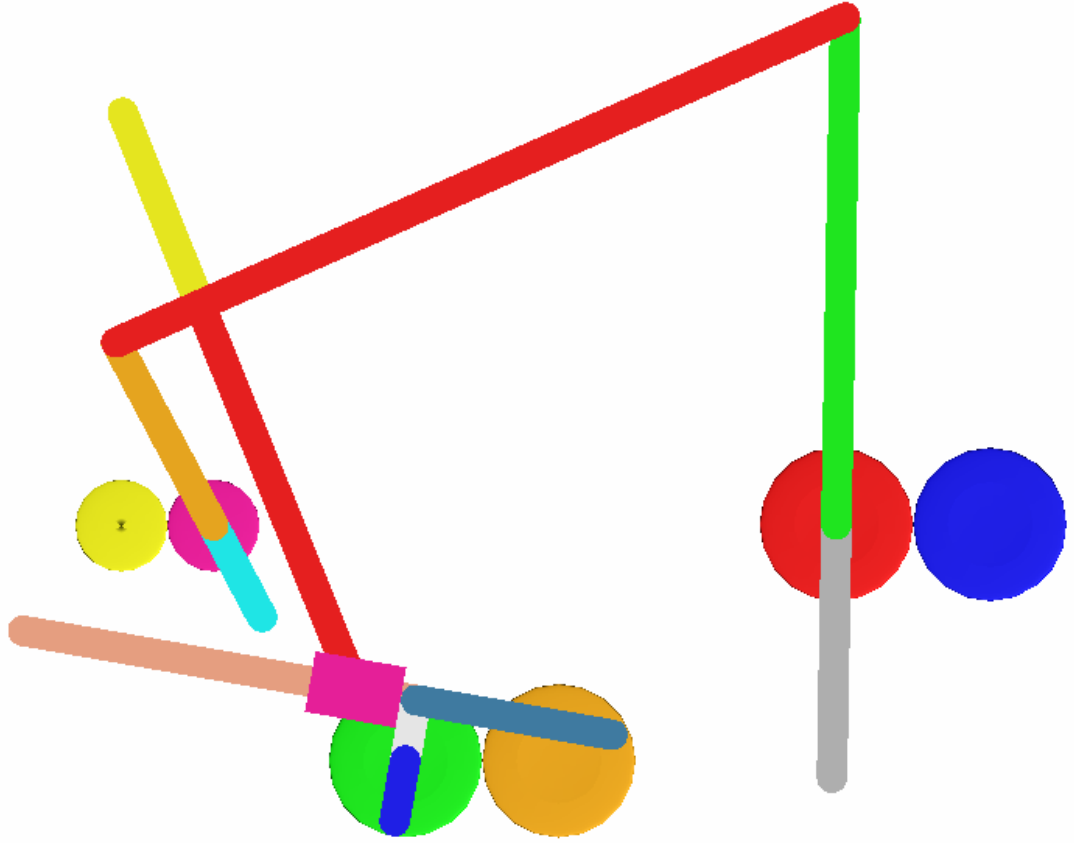
sonrası 2 nolu tahrik milinin $n = 50$ devir/dakika sabit açısal hız ile dönmesi durumunda zemine aktarılan atalet kuvvetleri yatay (Fx_{atalet}), düşey (Fy_{atalet}) bileşenlerinin, atalet momentinin (M_{atalet}), tahrik momentinin (M_{tahrik}) KOD değerleri ADAMS programı kullanılarak bulunmuş ve aşağıda sayısal değerleri ile verilmiştir. Bu sayısal sonuçlardan görüldüğü üzere atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi ve neticede tahrik momentinde büyüme meydana gelmektedir.

Tablo 4. 11: Kısa beklemeli kol mekanizmasında dengeleme öncesi değerler ve atalet kuvvetlerinin dengelemesi için mekanizmaya ilave edilen dengeleme kütlesi değerleri

i	m_i^o [kg] (verilen)	I_i^o [kg. m^2] (verilen)	L_i [m] (verilen)	R_i [m] (seçildi)	m_i^* [kg] (bulunan)	I_i^* [kg. m^2] (bulunan)
2	0.469	$9.03.10^{-4}$	0.135	$3.375.10^{-2}$	30.179	$1.58.10^{-3}$
3	1.67	$3.99.10^{-2}$	0.52			
4	1.07	$1.07.10^{-2}$	0.33	0.082	8.858	$1.54.10^{-2}$
5	0.89	$6.08.10^{-3}$	0.27	0.067	5.5	$8.4.10^{-3}$
6	0.859	$5.46.10^{-3}$	0.26	0.065	1.718	$8.176.10^{-3}$
7	0.93	$4.75.10^{-4}$				
8	0.173	$5.09.10^{-5}$	$4.0.10^{-2}$	0.020	5.327	$7.102.10^{-4}$
A	7.31					
B	1.68					
M			0.06			

Tablo 4. 12: Kısa beklemeli kol mekanizmasında atalet momentlerinin dengelenmesi için mekanizmaya ilave edilen dişlilerin kütleli atalet momenti değerleri

$I_{Z_1}^*$ [kg. m^2]	0.172
$I_{Z_2}^*$	0.298
$I_{Z_3}^*$	$4.277.10^{-2}$



Şekil 4.23 : Atalet kuvvet ve momentleri dengelenmiş olan kısa beklemeli kol mekanizmasının ADAMS ile elde edilen modeli

Dengeleme öncesi:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 14.349 \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 12.076 \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 4.359 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 1.349 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvetlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 2.736 \cdot 10^{-8} \text{ N,}$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 2.994 \cdot 10^{-8} \text{ N,}$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 4.873 \text{ Nm,}$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 2.853 \text{ Nm,}$$

Atalet kuvvet ve momentlerinin dengelenmesi sonrası:

$$F_{x_{atalet}} \text{ (KOD)} = 2.736.10^{-8} \text{ N},$$

$$F_{y_{atalet}} \text{ (KOD)} = 2.994.10^{-8} \text{ N},$$

$$M_{atalet} \text{ (KOD)} = 0.03 \text{ Nm},$$

$$M_{tahrik} \text{ (KOD)} = 5.707 \text{ Nm},$$

5. SONUÇ

Bu çalışmada, mekanizmalarda atalet kuvvet ve momentlerinin indirgeme yöntemiyle dengelenmesi ile ilgili olarak literatürde yer alan formülasyonlar beklemeli kol, bıçak, pantograf, dikiş makinası, kısa beklemeli kol mekanizmasına sayısal olarak uygulanmıştır. ADAMS programı kullanılarak mekanizmaya etki eden atalet kuvvet ve momentlerinin sayısal değerleri elde edilmiş ve mekanizmanın dengeleme sonrası hareketine ait simülasyonları yapılmıştır. Bulunan sonuçlar yöntemin etkili ve verimli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Smith, M.R., Ye, Z.**, “Complete Balancing of Planar Linkages by an Equivalence Method”, Proc. Of. 7th World Conf. Of IFToMM, 1987, 519-522.
- [2] **Ye, Z., Smith, M.R.**, “Complete Balancing of Planar Linkages By An Equivalence Method”, Mech. Mach. Theory, **29 (5)**, 1994, 701-712.
- [3] **Berkof, R.S., Lowen, G.G.**, “Theory of Shaking Moment Optimization of Force-Balanced Four-Bar Linkages”, J. Engng Ind., **93B**, 1971, 53-60.
- [4] **Feng, Gao**, “Complete shaking force and shaking moment balancing of 17 types of eight-bar linkages only with revolute pairs”, Mech. Mach.Theory, **26 (2)**, 1991, 197-206.
- [5] **Feng, Gao**, “Complete shaking force and shaking moment balancing of 26 types of four-, five- and six-bar linkages with prismatic pairs”, Mech. Mach.Theory, **25 (2)**, 1990, 183-192.
- [6] **Feng, Gao**, “Complete shaking force and shaking moment balancing of four types of six-bar linkages”, Mech. Mach.Theory, **24**, 1989, 275-287.
- [7] **Berkof, R.S.**, “Complete Force and Moment Balancing of Inline Four-Bar Linkages”, Mech. Mach.Theory, **8 (3)**, 1973, 397-410.
- [8] **Artobolevsky, I.I.**, Mechanisms in Modern Engineering Design, **2**, 1976, 367.
- [9] **Artobolevsky, I.I.**, Mechanisms in Modern Engineering Design, **1**, 1976, 448.
- [10] **Artobolevsky, I.I.**, Mechanisms in Modern Engineering Design, **2**, 1976, 489.
- [11] **Artobolevsky, I.I.**, Mechanisms in Modern Engineering Design, **2**, 1976, 891.
- [12] **Artobolevsky, I.I.**, Mechanisms in Modern Engineering Design, **2**, 1976, 368.
- [13] **Alıcı, G., Shirinzadeh, B.**, “Optimum dynamic balancing of planar parallel manipulators based on sensitivity analysis”, Mech. Mach.Theory, **41**, 2006, 1520-32.
- [14] **Arakelian, V., Dahan, M.**, “Partial shaking moment balancing on fully force balanced linkages”, Mech. Mach. Theory, **36 (11-12)**, 2001, 1241-252

ÖZGEÇMİŞ

İlker ALTAY 1981 yılında Bandırma’ da doğdu. 1999 yılında Bursa Özel Nilüfer Fen Lisesi’ ni bitirdi. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü.) Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’ nde yüksek öğrenim hayatına başladı. 2004 yılında makina mühendisi ünvanı ile üniversiteden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustik programında yüksek lisans öğrenimine kabul edildi. 2005 senesinde İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Makina Teorisi, Sistem Dinamiği ve Kontrol Ana Bilim Dalı’ nda araştırma görevlisi oldu ve halen aynı görevine devam etmektedir.