

**BEKLEMELİ SALINIM HAREKETLİ ROTATİF ARMÜR
MAKİNESİNİN
KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

Barış HASÇELİK

Danışman: Yrd.Doç.Dr Sema PALAMUTÇU

**2008
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Barış HASÇELİK tarafından Yard. Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU yönetiminde hazırlanan “Beklemeli Salınım Hareketli Rotatif Armür Makinesinin Kinematik ve Dinamik Analizi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Arif KURBAK

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Gabil ABDULLA

Jüri Üyesi

Yard. Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU

Jüri Üyesi (Danışman)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.../.../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Barış HASÇELİK

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi, tezin düzenlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında yol gösteren, kıymetli hocam Yard. Doç. Dr. Sema Palamutçu`ya, mühendisliğin insanlığa kattığı değeri öğreten, “akıl, maddeden sonsuz sayıda alet yapma becerisidir.” sözü ışığında kendisine hayranlık duyduğum ve armür tasarım çalışmalarıyla tezin oluşmasında önemli katkıları bulunan sevgili hocam Prof. Dr. Gabil Abdulla`ya, dostluğunu ve sabrını benden esirgemeyen Biyoloji Öğretmeni eşim Gülhan Hasçelik`e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

BEKLEMELİ SALINIM HAREKETLİ ROTATİF ARMÜR MAKİNESİNİN KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ

Hasçelik, Barış
Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yard. Doç. Dr. Sema Palamutçu

Temmuz 2008, 114 Sayfa

Mühendislik uygulamalarında mekanizmaların tasarımı ve analiz sistemleri için hesaplama metotları artan bir ilgiye sahiptir. Geçmişte çoğunlukla yorucu olan süreç bilgisayarların yardımıyla günümüzde kolayca yapılabilmektedir. Pro/Engineer, ADAMS, DADS ve Working Model gibi genel amaçlı yazılım paketleri zor mühendislik tasarımı ve analiz problemlerini çözmek için geliştirilmişlerdir. LINCAGES, Heron'un Watt, ve Artas düzlem mekanizmaların analizi ve sentezinin yapılabildiği diğer yazılımlardır. Synthetica uzay mekanizmalarının sentezi için kullanılabilir. Ancak sayısal çözümler yapabilen bu yazılım paketleri grafik kullanıcı arayüzleri yüzünden kavramak kolay olmayabilir. Menü kontrollü yazılım paketlerinde algoritmanın analitik sıralanışı kullanıcılara açık değildir. Böylece, mekanizma tasarımının öğretilmesi ve öğrenilmesi gibi uygulamalar için uygun değildir. Öte yandan konunun incelenmesi sırasında kullanılan hesaplama yöntemlerinin önemi gittikçe artmaktadır.

Günümüzde çok fazlı dokuma tezgâh tasarımına ağırlık verilmiştir. Ancak çok fazlı sistemlerin eksiklikleri sebebiyle henüz kaliteli ve verimli kumaş üretme işlevlerini yerine getirememektedirler. Tek fazlı dokuma tezgâhlarında hız sınırlayıcı faktörün ağırlık açma sistemleri olduğu bilinmektedir. Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde tasarlanan ve prototip imalatı gerçekleştirilen özel çalışma prensibine sahip bekleme salınım hareketli rotatif armür makinesinin (RA14) kinematik ve dinamik analizlerinin yapılması, teknolojik sınırlarının belirlenmesi ve tekstil sektörünün konuya olan ilgisini artırarak ülkemiz için yerli tekstil makinelerinin imalatına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rotatif armür, dokuma tezgâhı, kinematik ve dinamik analiz

Prof. Dr. Arif KURBAK
Prof. Dr. Gabil ABDULLA
Yard. Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU

ABSTRACT**KINEMATICS AND DYNAMIC ANALYZING OF THE ROTARY DOBBY
WITH OSCILATING SHAFT MOVED INTERMITTENTLY**

Hasçelik, Barış
M. Sc. Thesis in Textile Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sema Palamutçu

July 2008, 114 Pages

Computation methods are very popular for design and analyzing of multi-body systems. Today, it is very easy process, which was very complex in the past, through computers. General softwares such as Pro/Engineer, ADAMS, DADS and Working Model were developed for solution of complex engineering problems in design and analyzing. Other softwares are LINCAGES, Heron's Watt, and Artas which execute plane multi-body systems design and analyzing. Synthetica can be used for synthesis of space mechanisms. But, these softwares, which can be executed numerical analysis, may not be easy to use because of user interface. Toolboxes of softwares are not open-source algorithms. For this reason, these are not suitable for training and learning application of mechanism designing. On the other hand, importances of computation methods, which are used in algorithms, are increasing day by day.

Recently, designing of multi-phases weaving machines are of great importance. But, these machines are not suitable for effective fabric producing due to shedding mechanisms. In this thesis, specific working principles of rotary doobby with oscillating shaft-moving intermittently were investigated and technological limits of rotary doobby were determined.

Keywords: Rotary doobby, weaving machine, kinematic and dynamic analyzing

Prof. Dr. Arif KURBAK
Prof. Dr. Gabil ABDULLA
Asst. Prof. Dr. Sema PALAMUTÇU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	i
Bilimsel Etik Sayfası.....	ii
Teşekkür.....	iii
Özet.....	iv
Abstract.....	v
İçindekiler Dizini.....	vi
Şekiller Dizini.....	vii
Tablolar Dizini.....	ix
Simge ve Kısaltmalar Dizini.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dokuma Tezgâhının Temel Çalışma Prensibi.....	2
1.2. Armürlü Ağızlık Açma Mekanizmaları.....	8
1.3. Armür Makinalarının Çalışma Prensibleri.....	9
1.4. Yeni Armür Konstrüksiyonunun Tasarım Çalışmaları.....	18
1.4.1. Elektrik kontrollü armür konstrüksiyonu.....	18
1.4.2. RA14'ün tasarımı, üretimi ve araştırma çalışmaları.....	22
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	28
3. MATERYAL VE METOT.....	42
3.1 Kinematik Analiz.....	42
3.2 Dinamik Analiz.....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	68
5. SONUÇ.....	80
Kaynaklar.....	82
Ekler.....	84
Özgeçmiş.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Dokuma makinesinin genel görünüşü	2
Şekil 1.2 Ağızlık açma sistemlerinin genel görünüşü.....	6
Şekil 1.3 Şekil kapalı kamlı ağızlık açma mekanizması.....	7
Şekil 1.4 Şekil kapalı çift kamlı ağızlık açma mekanizması	8
Şekil 1.5 Tek stroklu ortada kapalı ağızlık oluşturan pozitif armür	9
Şekil 1.6 Staubli 4080 tek stroklu, ortada kapalı ağızlık oluşturan armür	10
Şekil 1.7 SKN armürünün kinematik şeması.....	11
Şekil 1.8 Staubli 2232 çift stroklu, açık ağızlık oluşturan armür.....	12
Şekil 1.9 Çift stroklu, açık ağızlık oluşturan negatif armür	13
Şekil 1.10 Çift stroklu, elektronik kontrollü, açık ağızlık oluşturan negatif armür	14
Şekil 1.11 Rotatif tipli armür makinesinin çalışma prensibi.....	14
Şekil 1.12 Fimtextile RD 3000 elektronik kontrollü rotatif armür	15
Şekil 1.13 Stäubli 2650 elektronik kontrollü rotatif armür	17
Şekil 1.14 Misag-139 ağızlık açma sistemi	20
Şekil 1.15 Çerçevelerin üst duruma gelmesi.....	21
Şekil 1.16 Klasik rotatif armürün çalışma prensibi	24
Şekil 1.17 R14 armürünün çalışma prensibi	25
Şekil 1.18 R14 program okuma ve kilit mekanizması.....	26
Şekil 2.1 Genel ve uzuv kartezyen koordinat sistemi	29
Şekil 2.2 Bir vektörün sabit bir eksen etrafında döndürülmesi.....	31
Şekil 2.3 T noktasının GKKS'deki konumu	33
Şekil 2.4 Kam mekanizmasının kinematik çiftlerin GKKS'de konum vektörleri	35
Şekil 2.5 Makaralı izleyicisi doğrusal hareketli kam mekanizması.....	38
Şekil 2.6 Makaralı izleyicisi salınım hareketi yapan kam mekanizması	39
Şekil 2.7 Serbest cisim diyagramı.....	41
Şekil 3.1 Cycloidal hareket kanunu	42
Şekil 3.2 Rotatif armürün uzuv koordinat sistemlerinin gösterimi.....	45
Şekil 3.3 İki çemberin kesişim noktasının bulunması	47
Şekil 3.4 Seçilen uzuv koordinat sisteminin açısız dönmesi	47
Şekil 3.5 Çerçeve kaldırma mekanizma uzuvlarının serbest cisim diyagramı	59
Şekil 3.6 Tahrik mekanizmasını oluşturan uzuvların serbest cisim diyagramı	62
Şekil 4.1 RA14 izleyicinin hareket kanunu	68
Şekil 4.2 Kam mekanizması bağ açısı	69
Şekil 4.3 Cycloidal hareket kanuna göre $R_{ek}=68$ mm şekil kapalı kam profili	70
Şekil 4.4 RA14 çerçeve kaldırma mekanizmasının konumları.....	71
Şekil 4.5 Armür makinesinin uzuvlarının açısız konumları	72
Şekil 4.6 Armür makinesinin uzuvlarının açısız hızları.....	73
Şekil 4.7 Armür makinesinin tahrik ünitesinin açısız ivmesi	73
Şekil 4.8 Çerçeve kaldırma ünitesinin açısız ivmeleri.....	74
Şekil 4.9 Çerçeve kaldırma mekanizmasında etkili olan reaksiyon kuvvetleri	75
Şekil 4.10 Armür bıçağında etkili olan reaksiyon kuvvetleri	76
Şekil 4.11 Kam mekanizmasında etkili olan reaksiyon kuvvetleri.....	77

Şekil 4.12 Armür makinesinde armür mili ve eksantrik üzerinde etkili olan tahrik momentleri	78
Şekil 4.13 500d/dak için gerekli güç miktarı	78
Şekil 4.14 Belirli devirler için gerekli güç miktarı	79

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Çerçeve kaldırma mekanizmasının katsayılar matrisinin elemanları.....	61
Tablo 3.2 Armür bıçağının katsayılar matrisinin elemanları.....	64
Tablo 3.3 Kam ve izleyici alt gurubunun katsayılar matrisinin elemanları	67
Tablo 3.4 Uzunların kütle özellikleri	67
Tablo 4.1 Autocad MECHANICAL 2006’de tasarlanan kamın özellikleri.....	69
Tablo 4.2 Çerçeve kaldırma mekanizmasında gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri	74
Tablo 4.3 Armür bıçağı üzerinde gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri.....	76
Tablo 4.4 Kam mekanizmasında gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri	77

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

GKKS	Genel kartezyen koordinat sistemi
UKKS	Uzuv kartezyen koordinat sistemi
$\alpha, \theta, \beta, \zeta$	Düzlemde açı
ω	Açısal hız vektörü
V	Hız vektörü
a	İvme vektörü
r	Konum vektörü
\hat{a}	Birim vektör
b	Vektörün şiddeti
$A_{SF,F}$	Oryantasyon matrisi
$R(\alpha, \hat{a})$	Dönüşüm matrisi
$[]^T$	Matrisin transpozu
ψ	Makaralı izleyici kamın salınım rad
Θ	İzleyici toplam yer değiştirmeye karşılık gelen kam dönüş açısı
μ	Kam mekanizmalarının bağ açısı
ψ'	İzleyicinin küçültülmüş açısal hızı rad
ψ''	İzleyicinin küçültülmüş açısal ivmesi rad
$\dot{\psi}$	İzleyici kolun açısal hızı rad/s
$\ddot{\psi}$	İzleyici kolun açısal ivmesi rad/s ²
KPN	Kam profilinin normal doğrultusu
İHD	İzleyici hareket doğrultusu
ARMB	Armür bıçağı
P	Atalet kuvveti N
M	Moment Nm
I_0	Eylemsizlik momenti kgm
ρ	Özkütle gr/cm ²
κ	Düz dişlilerde kuvvet iletim açısı 20 ⁰

1. GİRİŞ

İnsanların giyinme, korunma ve teknik sahalarda yararlanmak amacıyla liflerden yararlanarak ürettiği, örtücülük özelliğine sahip iki boyutlu yapılara kumaş denilmektedir. Kumaş yapılarını oluşturmak için dokuma kumaşlardaki örgü bağlantısı veya örme kumaşlarda oluşturulan ilmek yapısı bazen de liflerin keçeleşme özelliklerinden faydalanılır. Tek boyutlu iplikten iki boyutlu tekstil yüzeyine geçişteki en önemli teknik şüphesiz dokumadır. Kumaş yapımında yüzyıllardır uygulanan bu teknik, birbirine dik olarak yerleştirilen iki ipliğin, birbirinin altından veya üstünden geçirilmesiyle oluşturulur. Bu basit teknik önceleri elle yapılmakta iken ürüne olan ihtiyacın ve kalite beklentilerinin artması sonucu önce mekanik sonra tam otomatik dokuma tezgâhlarının geliştirilmesi ile günümüzde neredeyse teknolojik zirveye ulaşmış bulunmaktadır.

Dokuma tezgâhları belki de tekstil makineleri arasında, üzerinde en çok geliştirme çalışması yapılmış olan makinelerdir. Bunun başlıca nedenleri; dokuma kumaşın yaygın kullanım özelliklerine sahip olması, belirli bir alanında sahip olduğu yüksek bağlantı sayısı, dokumayı oluşturan çözgü ve atkı ipliklerinin gerilimlerinin değiştirilerek istenilen yönde istenilen tuşenin elde edilebilmesi, sıklık, renk ve örgünün makine üzerinde kolayca değiştirilebilmesi gibi faktörler sayılabilir.

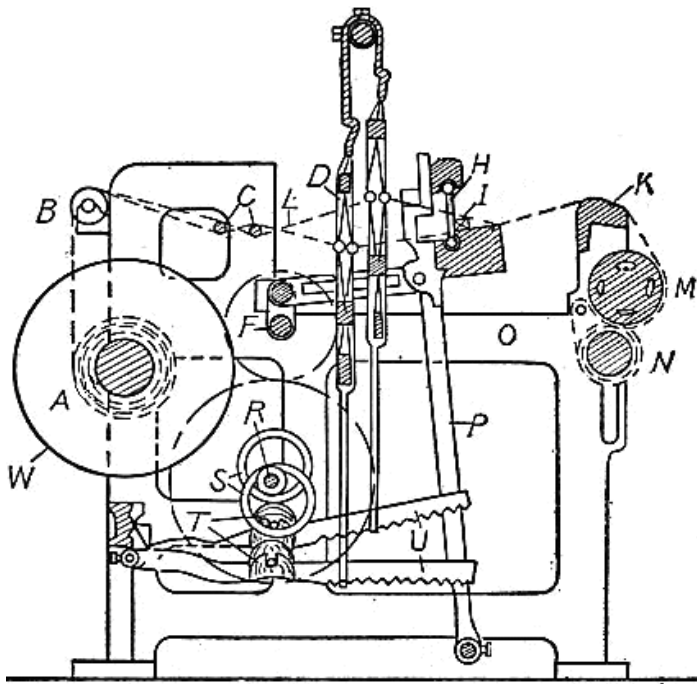
Dokuma makinesinde kaliteyi ve verimi en çok etkileyen üç temel işlem vardır. Bunlar; ağızlık açma, atkı atma ve çözgü salmadır. Kaliteli bir kumaş dokumak için çözgülerin ağızlık geometrisine uygun olarak aralanması, atkının düzgün yerleştirilmesi, uygun gerilimde ve miktarda çözgü ipliklerinin bırakılması gerekmektedir.

Ağızlık açma sistemleri dokuma tezgâhlarında kumaş örgü raporunda bulunan çerçeve hareketlerini oluşturmak için kullanılır. Ağızlığın açılabilmesi için kam, armür ve jakar mekanizmaları kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı ise armür mekanizmasıdır.

Ağızlık açma sisteminin tipi, tezgâhta dokunabilecek kumaş çeşidini belirleyen en önemli etkidir. Ağızlık açma sisteminden beklenen özellikler; uygun ağızlık

geometrisini oluşturması, ayarların kolay yapılabilmesi, ağızlığı kapatarak atkının gevşemesi ve geri kaçmasına engel olması, çözüğü ipliklerinde ani gerilim artışına ve çözüğü kopuşlarına neden olmaması, yüksek hızlarda çalışabilmesi, az yer kaplaması, tezgâh üzerinde yerleşimiyle işçinin çalışmasını zorlaştırmaması, kumaş tip değişiminin kolay olması, gürültüsüz çalışması, basit ve bakımının kolay yapılabilmesi şeklinde sıralanabilir.

1.1. Dokuma Tezgâhının Temel Çalışma Prensibi



Şekil 1.1 Dokuma makinesinin genel görünüşü

Dokuma kumaş; tezgâh üzerinde ağızlık açma, atkı atma ve tefe vuruşu gibi ana işlemler ile kumaş çekme ve çözüğü salma gibi yardımcı işlemlerin bir dokuma devrinde birbiriyle uyumlu olarak çalışmasıyla oluşur. Dokuma tezgâhlarında genellikle aynı olan temel çalışma prensibi aşağıda özetlenmiştir. Şekil 1.1’de A: çözüğü levendi, B: çözüğü köprüsü, C: çapraz çubuklar ve lameller, D: çerçeveler, F: ana mil, H: tarak, I: atkı taşıyıcı, K: kumaş köprüsü, L: çözüğü, M: kumaş çekme silindiri, N: sermin ve kumaş topu, O: şasi, P: tefe, R: alt mil, S: kamlar, T: izleyiciler, U: çerçeve ayakları, W: levent kapağı harfleri ile gösterilmiştir.

Dokuma tezgâhında çözüğü levendi arkaya, kumaş levendi ise öne takılmakta ve çözüğüler yatay düzlemde gerdirilmektedir. Çözüğü gerginliği ve besleme miktarı çözüğü

salma sistemiyle kontrol edilerek sağlanmaktadır. Leventten çözülen çözümlü ipliklerine ve kumaşa sabit bir dokuma düzlemi sağlayan ve arka çözümlü köprüsünden geçen çözümlülerin, ağırlık açma ve tefe vurma işlemleri esnasında oluşan ani gerilim dengesizlikleri arka çözümlü köprüsünün salınım hareketi ile düzeltilmektedir. Çözümlüler iplik kopuşlarında durdurma elemanı olarak kullanılan lamellerin içinden geçirilir. Lamellerin düzgün dizilimlerini sağlamak için çapraz çubuklar, çözümlüler kılavuzlar ve birbirinden ayırır. Örgü raporunda olduğu gibi, uygun dizilimde atkı ile bağlantı yapması için çerçeve hareketleriyle gücü gözlerinden geçirilen çözümlüler, atkı atma işlemi için ağırlık oluştururlar. Açılan ağırlık içinde atkı ve taşıyıcısı tarak boyunca ilerleyerek, atkının çözümlülerin arasına yatırılması işlemi gerçekleştirilir. Bu anda çözümlü arasına yatırılan atkı ile kumaşın başladığı kumaş çizgisi arasında oldukça uzun bir mesafe bulunmaktadır. Tefenin ileri yöndeki hareketi ile çözümlünün arasından geçirildiği tarak dişleri atkıyı kumaş çizgisine doğru sürükler. Tefe vurma işleminden sonra oluşan bir miktar kumaş, kumaş çekme silindirin sürekli hareketiyle kumaş çizgisinden uzaklaştırılır ve sermin üzerinde bulunan kumaş topuna sarılır.

Dokuma kumaşların üretim tekniğinin tarih öncesi devirlerden günümüze pek bir farklılık göstermemiş olmasına rağmen dokuma tezgahı üzerinde gerçekleştirilen üretim teknolojisi günümüze kadar; 1733'de John Kay'ın uçan mekiği icat etmesi, 1787'de Edmund Cartwright'ın ilk ticari kullanıma sahip mekanik dokuma tezgahını tasarlaması, 1804'de Joseph Marie Jacquard'ın kendi adıyla anılan jakar makinesini icat etmesi, 1835 yılında J.P. Reid ve T. Johnson'nın mekik değiştirme tertibatı kullanarak farklı renkte atkı atılmasını sağlaması, 1867'de armür mekanizmasının icadı, 1895'de J.H. Northrop'un otomatik masura değiştirme tertibatını geliştirmesi, 1911'de mekik yerine 50–100 gr ağırlığında tutucu mekik sisteminin icat edilmesi, 1925'te Gabler'in kancalar arasında atkının ilmek şeklinde ve 1930'da Dewas'ın kancalar arasında uç transferi şeklinde atkı atma sistemini geliştirmeleri, 1955'de Çeklerin su jeti ile atkı atımını başarmaları gibi önemli evreleri geçirmiştir (Başer 2004).

Dokuma makinesinde son yıllarda sağlanan gelişmeler genellikle elektronik devre elemanlarının kullanımına dayanmaktadır (Weinsdörger 2000). Dokuma tezgâhlarında elektronik tahrik, kumanda ve bilgisayar teknikleri temel değişikliklere yol açmıştır. Elektronik olarak kumanda edilen bağımsız tahrikler birçok tahrik dişlilerini devre dışı bırakmış ve dokuma tezgâhlarının temelini oluşturmaya başlamıştır. Çözümlü levendi ve

kumaş çekme silindiri kendilerine ait tahrik sistemleri ile çalıştırılmakta ve böylece çözgü gerilimi esnek bir şekilde ayarlanmaktadır. Atkı besleme, jakar ve armür mekanizmalarında elektronik kontrol sistemleri kullanarak makine çalışırken dahi, örgü ve atkı değişimi kolaylıkla yapılabilir. Ancak bu gelişmeler ağızlık geometrisinin ayarlanması probleminde sınırlı kalmıştır. Çünkü yapılan ağızlık ayarlarının tekrarlanabilirliği ve aynı ayarların bir diğer tezgâha aktarılması henüz sağlanamamıştır. Bir ayar tezgâh üzerinde ayarlandıktan sonra aynı zahmetin tezgâhların her birinde tekrar yaşanması, dokuma atölyelerinin verimliliğini azaltmaktadır.

Dokuma tezgâhının temel ve yardımcı hareketleri gerçekleştiren araçları, özellikleri ve işlevleri aşağıdaki konu başlıklarında açıklanmıştır.

Atkı atma

Atkı ipliğinin tezgâhın bir kenarından başlayarak, tarak boyunca açık olan ağızlık içerisinden atkının diğer kenara kadar geçirilme işlemine atkı atma denir. Dokuma tezgâhında atkı atma işlemi dışındaki, temel işlemler birbirine benzer şekilde yapılmaktadır. Bu yüzden dokuma tezgâhlarının sınıflandırılması yapılırken esas ölçü olarak atkı atma sistemi kullanılır.

Dokuma tezgâhında kumaş oluşumunu sağlayan tüm işlemler iki atkı atımı arasındaki dokuma tezgâhının tam devrinde tamamlanır. Tezgâhın hızı, bir dakika süresince atılan atkı sayısıdır. Atkı atma sistemlerinde mekiğin yerini mekikçik, hava jeti, su jeti ve kancanın almasıyla atkı atma hızlarında önemli artışlar sağlanmıştır (Söylemez vd 1982). Atkı atma sistemlerinde yaşanan gelişmeler nedeniyle günümüzde dokuma tezgâhlarındaki hız sınırlayıcı faktörün, ağızlık açma mekanizmaları olduğu bilinmektedir (Abdullayev vd 1999).

Tefe vurma

Ağızlık içerisine yerleştirilen atkının kumaş çizgisine kadar taşınması gerekmektedir. Bu işlem atkının arkasında bulunan tarağın bağlı olduğu tefe mekanizmasının ileri hareketi esnasında tarak dişlerinin atkıyı kumaş çizgisine kadar sürüklemesiyle gerçekleştirilir.

Dokuma tezgâhındaki teknolojik aşamaları gerçekleştiren mekanizma grupları birbiri ile eşzamanlı hareket etmektedir. Her bir işlemin hatasız tekrarlanması için mekanizmalar, temel ve yardımcı mekanizmalar olmak üzere iki gruba ayrılmalıdır. Dokuma tezgâhlarında temel mekanizma olarak tefe mekanizması seçilmiştir. Dokuma tezgâhında gerçekleştirilen atkının atılma zamanı, atkı ipliğinin frenlenmesi, çerçevelerin kapanma zamanı gibi diğer tüm işlemleri gerçekleştiren yardımcı mekanizmalar, tefe mekanizmasına bağlı olarak tasarlanır ve ayarları yapılır.

Tefe vurma hareketi esnasında kumaş ve çözgü arasındaki gerilim dengesi önemli derecede değişir. Bu durumda çözgü ipliklerinin taşıdığı yük oldukça fazladır ve çözgü kopuşlarına da daha sık rastlanır. Bu olumsuzluğu gidermek için ağızlık açma sistemlerinin, tefe vuruşu esnasında ağızlığı kapatması istenir.

Kumaş çekme

Üst başlıklarda açıklanan dokuma tezgâhının temel hareketleri, belirli bir süre devam ettiğinde; kumaş çizgisinin giderek tarağa yaklaştığı, ağızlığın giderek küçüldüğü ve geometrisinin bozulmasıyla atkı atma işleminin güçleştiği görülecektir. Bu şekilde çalışmaya devam edilirse, belirli konumlar arasında hareket eden tefe mekanizmasının atkıyla birlikte kumaş çizgisini de sürükleyeceği, kumaşın aşırı gevşeyeceği ve çözgünlerin de aşırı gerilerek kopacağı gözlenecektir. Kumaş dokundukça belirli miktarda kumaşın kumaş çizgisinden çekilerek uzaklaştırılması, teknolojik aşamaların sürekliliğini koruyacaktır. Kumaş sarma hızı, kumaşın en önemli parametresi olan atkı sıklığını etkileyen temel faktördür. Bu nedenle kumaş çekme işleminin tasarlanması ve ayarlanması oldukça önemlidir.

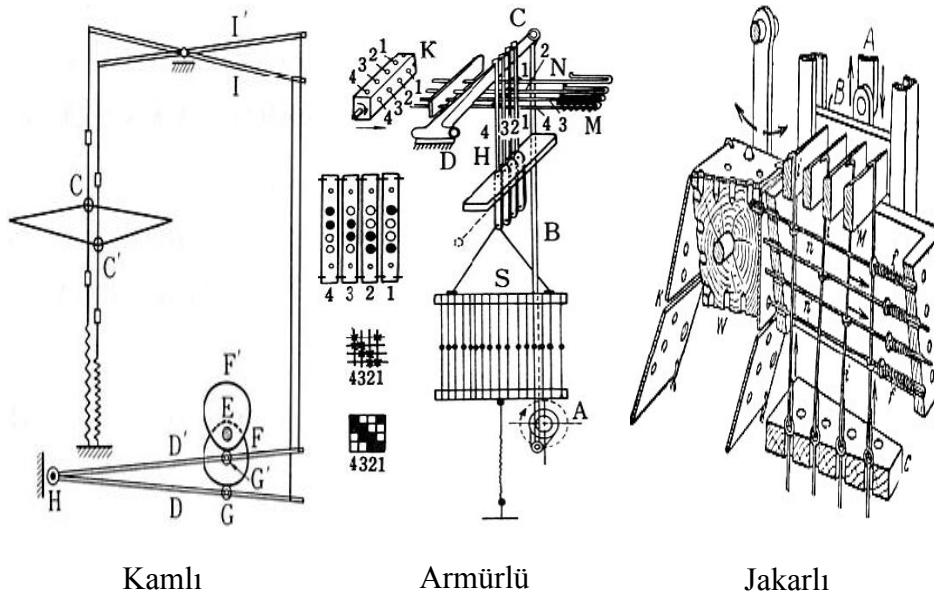
Çözgü salma

Çözgü kopuşunda kullanılan durdurma tertibatı, belirli gerilim şartlarında çalışan cihazlardır. Çözgü iplikleri üzerinde yeterli teknolojik gerilim sağlanmadığı durumlarda gevşek çözgüler beklenmedik tezgâh duruşlarına, kumaş üstünde bozuk havlı görünüşe bazen de atkı atış yolu üzerinde bulunmaları nedeniyle atkı taşıyıcısına takılarak, çözgü kopuşlarına veya atkı tikanıklıklarına yol açmaktadır. Çözgü ipliklerinin aşırı gergin olduğu durumlarda ise kumaş çizgisi tarağa doğru yaklaşır. Atkı sıklığı artarak kumaş geometrisi bozulur. Her işlemde gerilen çözgülerin, kumaş sarmada olduğu gibi teknolojik aşamaların devamlılığını korunması için ileri yönde kontrollü bir şekilde

belirli bir çözgü geriliminde bırakılması gerekmektedir. Çözgü gerginliği, kumaş kıvrımını etkileyen önemli bir faktördür. Çözgü gerginliği atkı ipliklerinin kıvrım almasına sebep olurken, atkı üzerinde örgü bağlantısı oluştururken çözgü ipliklerinde de kıvrım almasına yol açar. Bu açıdan çözgü besleme miktarı, kumaş çekme miktarından fazla olmak zorundadır.

Ağızlık açma

Dokuma kumaş yapısını meydana getiren örgü bağlantılarını oluşturmak için ağızlık açma sisteminin çözgü ipliklerini dokuma düzleminden yukarı veya aşağı yönde çekerek oluşturduğu iki çözgü tabakası arasında, atkı taşıyıcısının ve ipliğinin geçebileceği bir boşluk oluşturma işlemidir.



Şekil 1.2 Ağızlık açma sistemlerinin genel görünüşü

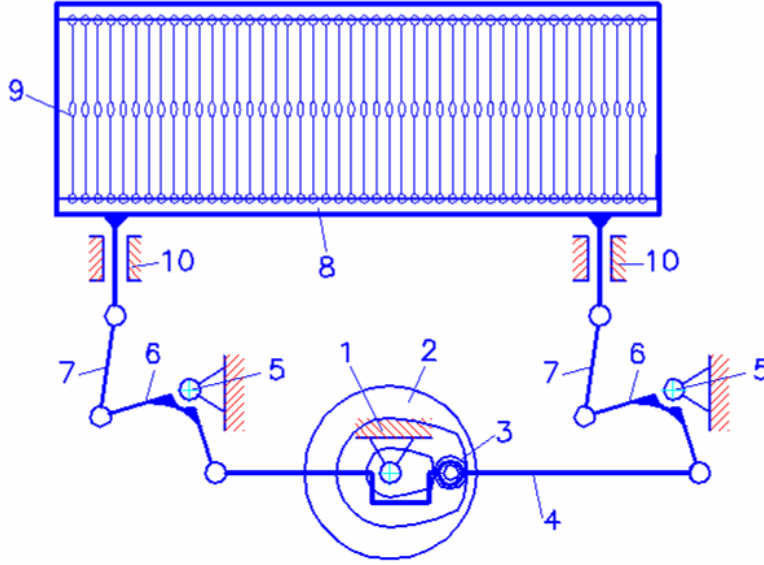
Bu işlemi yaparken örgü raporlarında, yalnızca çözgü ipliklerinin alt ve üst konum arasında yer değiştirmesi sebebiyle, atkı ipliği üzerinde kalan çözgü ipliği bağlantıları çerçeve hareket planında dolu işaretlenerek, atkının altında kalan çözgü bağlantıları ise boş bırakılarak gösterilir. Bağlantı hareketlerini oluşturmak için her bir çözgü ipliği ortasında delik bulunan gücü gözlerinden geçirilir. Gücü telleri armür hareket planına göre belirli çerçevelere takılır. Çözgü ipliklerinin çerçevelere takılan gücü tellerinden geçirilme işlemine taharlama denir. Çerçeve veya harnişe bağlı gücü telleri ağızlık açma sistemleri tarafından her atkı atımından önce örgü raporuna göre hareket ettirilerek kumaş bağlantıları oluşturulur. Gücülere ağızlık oluşturma hareketini sağlayan ağızlık

açma sistemleri; çalışma prensiplerine göre kamlı, armürlü ve jakarlı ağızlık açma mekanizmaları olarak sınıflandırılır (Şekil 1.2).

Kamli ağızlık açma mekanizmaları

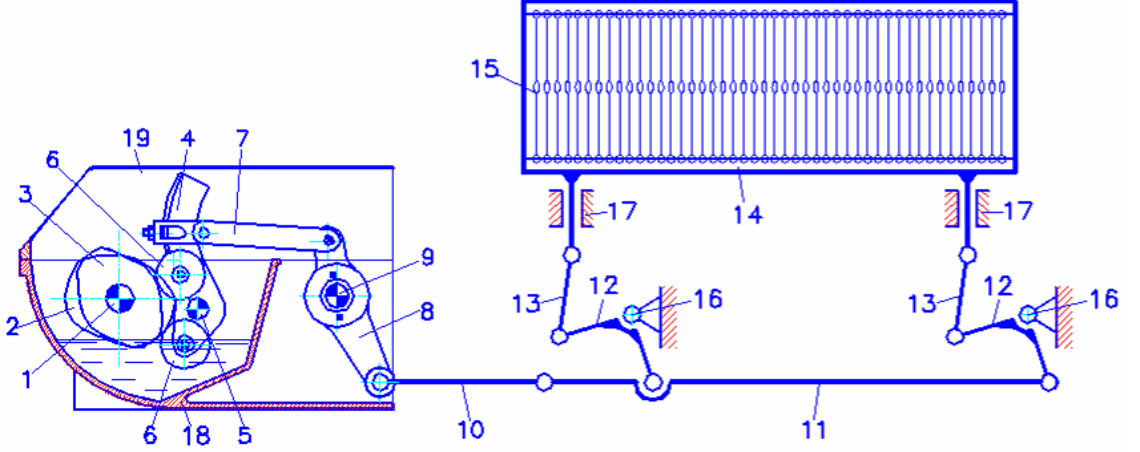
Kamli ağızlık açma mekanizmaları, basit örgülü kumaşların üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu mekanizmalar armür ve jakar makinelerine göre bir takım üstünlüklere sahiptirler. Konstrüksiyon yapıları basittir, küçük boyutlarda olduklarından az yer kaplarlar, hafiftirler, üretim maliyetleri düşüktür, uzun ömürlü ve sağlamdırlar.

Kamli ağızlık açma mekanizmaları, çerçevelere hareket iletmek için bir mil üzerinde yerleştirilmiş düzlemsel kamlardan oluşan sistemlerdir. Kamli ağızlık açma mekanizmaları çerçevelere hareket iletme yöntemine, konstrüksiyon yapılarına, kamın türüne ve izleyicinin kapanma yöntemine göre sınıflandırılmaktadır. Kamın konstrüksiyon yapısı karmaşık olmasına rağmen bu mekanizmalar yüksek hızlarda çalışabilmektedir.



Şekil 1.3 Şekil kapalı kamli ağızlık açma mekanizması

Şekil 1.3’de verilen mekanizmalar Çek Cumhuriyeti’nde ürettiği olan hava ve su jetli dokuma tezgâhlarında, Şekil 1.4’de verilen mekanizma ise Sulzer, STB ve birçok mekiksiz dokuma tezgâhlarında kullanılmaktadır.



Şekil 1.4 Şekil kapalı çift kamlı ağızlık açma mekanizması

1.2. Armürlü Ağızlık Açma Mekanizmaları

Kamli ağızlık açma mekanizmaları, 10 adetten fazla çerçeve gerektirmeyen basit örgülü kumaşların üretimi için kullanılabilir. Karmaşık desenli ve daha yüksek atkı raporlu kumaşların üretiminde programlanabilen armür makineleri kullanılır. Armür makineleri ağızlık açma yöntemine, strok sayısına, program mekanizmasının tipine, konstrüksiyon yapısına ve çerçevelere hareket iletme yöntemine göre sınıflandırılır.

Ağızlık açma yöntemine göre; altta kapalı, ortada kapalı, yarı açık, sürekli açık, simetrik, ve asimetrik ağızlık oluşturan armür makineleri

Strok sayısına göre; tek stroklu ve çift stroklu armür makineleri

Programlama mekanizmasına göre; kontrol elemanının tipine göre tekerlekli, küresel veya delikli karton şeklinde aparatlar yardımıyla yapılan mekanik kontrollü ve bilgisayar destekli tertibatlar yardımıyla yapılan elektronik kontrollü armür makineleri

Konstrüksiyon yapısına göre; tek bıçaklı, çift bıçaklı, dişli tahrikli, rotatif, kol mekanizmalı, hidrolik tahrikli, servo motorlu, hidro-mekanik tahrikli armür makineleri

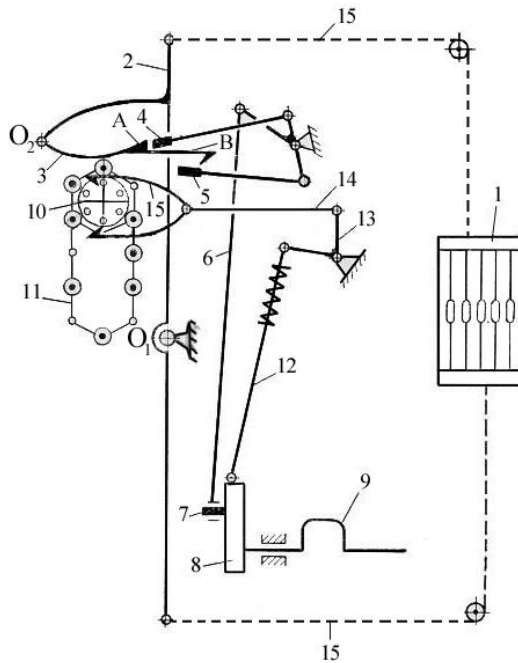
Çerçevelere hareket iletme yöntemine göre; negatif ve pozitif çerçeve tahrikli armür makineleri olarak alt gruplarda incelenebilir.

1.3. Armür Makinalarının Çalışma Prensipleri

İlk armür makinesinin kullanılmaya başlanmasından bugüne kadar geçen süre zarfında, çok sayıda farklı yapıya sahip armür konstrüksiyonlarının icat edildiği bilinmektedir. Fakat bunların içerisinde çok az bir kısmının pratik olarak uygulanabilirliği mevcuttur. Aşağıda armürün gelişiminde önemli yer tutan eski ve modern konstrüksiyonların bir kısmı tanıtılacaktır.

Tek stroklu, ortada kapalı ağızlık oluşturan mekanik kontrollü pozitif armür

Armürün şeması Şekil 1.5 'de verilmiştir. Bu tür armürler kalın kumaşların üretiminde kullanılır.



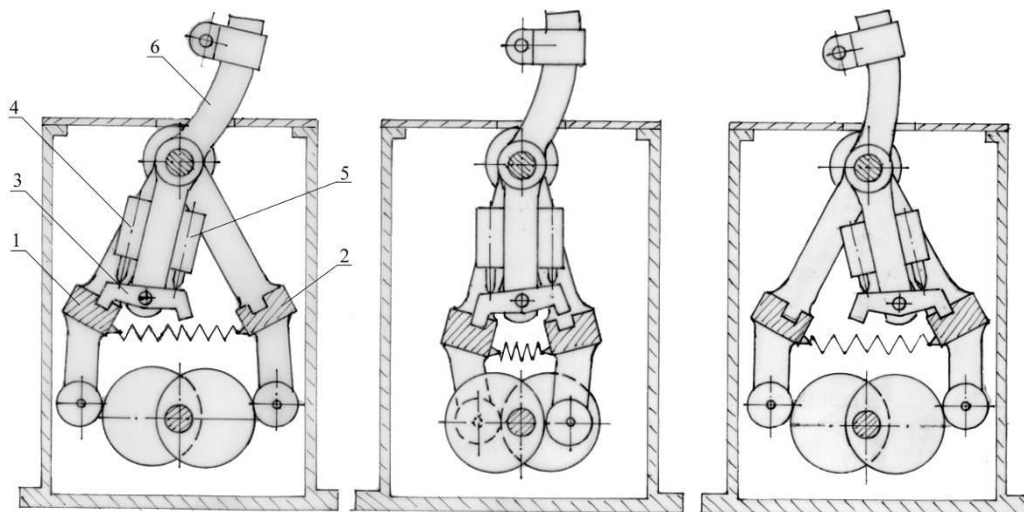
Şekil 1.5 Tek stroklu ortada kapalı ağızlık oluşturan pozitif armür

Armürde 1 nolu çerçeveler, merkezinden döner mafsalda yerleştirilmiş 2 nolu kol ile bağlanmış ve A, B uçlarına sahip 3 nolu kanca yardımıyla hareket ettirilir. Ana milin (9) dönme hareketi krank (7) ve 6 nolu kol ile kızıklarda doğrusal hareket yapan 4 ve 5 nolu bıçaklara iletilir. 3 nolu kol üst konuma geldiğinde, A kancası 4 nolu bıçak ile sola doğru itilir. Bu esnada 3 nolu kola O_2 noktasından bağlanmış 2 nolu kol, O_1 dönme ekseninde saat ibresinin ters yönünde dönme hareketi alır. Seçim mekanizması 3 nolu kolun konumunu değiştirmedeği sürece armür makinesinin ürettiği istemli hareket 2 nolu kola kayışla bağlanan 1 nolu çerçeveyi, orta konum ile üst konum arasında taşır. 3 nolu kol alt konuma geldiğinde bu esnada B kancası, 5 nolu bıçak ile sağa doğru çekilir.

ve 2 nolu kol, O_1 ekseninde saat ibresi yönünde dönme hareketi alır. Hareket programı değişmediği sürece, armür mekanizmasının ürettiği ikinci istemli hareket 1 nolu çerçeveyi orta konum ile alt konum arasında hareket ettirir.

Tek stroklu, ortada kapalı ağızlık oluşturan elektronik kontrollü pozitif armür

Staubli firması tek stroklu, ortada kapalı ağızlık oluşturan 4080 armür modelini ITMA-99 tanıtmıştır. Şekil 1.6'da armürün üç konumda görünüşü verilmiştir. Ortada kapalı ağızlık prensibine göre çalışan armür, her atkı atımından sonra tüm çerçeveleri ağızlık ortasına getirir ve bir sonraki atkı için seçim işlemi gerçekleştirir. Desene göre çerçeveler yukarı veya aşağı yönde hareket ettirilerek yeni atkı için ağızlık oluşturulur. Çerçevelerin seçim işlemi ağızlık ortasında gerçekleştiği için tek stroklu armür makinesidir. Bu model armür makinesi 16 mm hatve ile 30 kadar çerçeveyi tahrik edebilir.



a- Üst konum

b- Orta konum

c- Alt konum

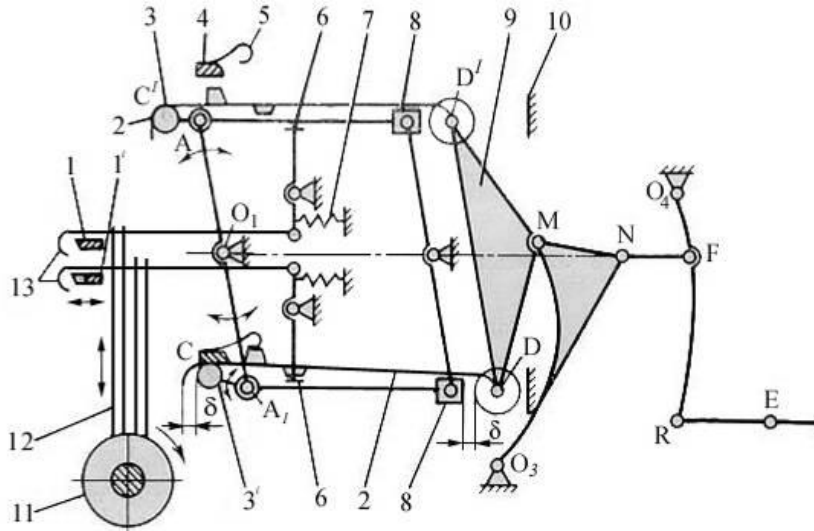
Şekil 1.6 Staubli 4080 tek stroklu, ortada kapalı ağızlık oluşturan armür

Şekil 1.6'de görüldüğü gibi bir silindirik kam çifti ile tahrik edilen iki adet bıçak (1 ve 2 bıçağı) orta konumdan itibaren her dokuma makinesi devrinde birbirine ters yönde sallınım hareketi yapar. 6 nolu kolun alt ucuna döner mafsallarla bağlanmış olan 3 nolu kancanın konumu 4 ve 5 nolu pnömatik pistonları ile kontrol edilir. Şekil 1.6.a'da 4 nolu pistonun ileri konuma ve 5 nolu pistonunun geri konuma hareket ettirilmeleri ile 3 nolu kanca 1 nolu bıçağa takılır. 1 nolu bıçak, 4 nolu kolu sürükleyerek, O_2 ekseninde saat ibresi yönünde birlikte hareket ederler. Bu hareket, çerçevenin üst ağızlık konumuna getirir.

karşılık gelir. Şekil 1.6.b'de bıçaklar orta konumda bulunur. Bu konumda çerçevelerin hareket planına göre seçim işlemi yapılır. Çerçeve alt konuma hareket edecek ise 5 nolu pistonun ileri, 4 nolu pistonun geri konuma hareket etmeleri sağlanarak, 3 nolu kanca 2 nolu bıçağa takılır. 2 nolu bıçak, 4 nolu kolu sürükleyerek, O₂ ekseninde saat ibresine ters yönde birlikte hareket ederler. Bu konum çerçevenin alt konumuna karşılık gelir. 4 ve 5 nolu pnömomatik pistonlarının hareketi pnömo-elektro mıknatıslı valf ile elektronik olarak kontrol edilmektedir. Çerçevenin her iki yöndeki hareketi, armür bıçakları tarafından sağlandığından pozitif tipli bir armür makinesidir.

Çift stroklu, açık ağızlık oluşturan mekanik kontrollü pozitif armürler

Şekil 1.7'de SKN armürünün kinematik şeması gösterilmiştir. Armürde çerçevelere hareket iletmek için iki adet bıçak kullanılmıştır. Çerçevenin üst konuma gelmesi için 3 nolu bıçağın 2 nolu kanca ile birlikte sola doğru, alt konuma gelmesi için ise 8 nolu bıçağın 9 nolu kolun üst veya alt omuzları ile birlikte sağa doğru hareket etmesi gerekir. Çerçevelerin üst konumda beklemesi bıçakların dördünün de aynı zamanda kancaları ile birlikte yer değiştirmesi sağlanır.



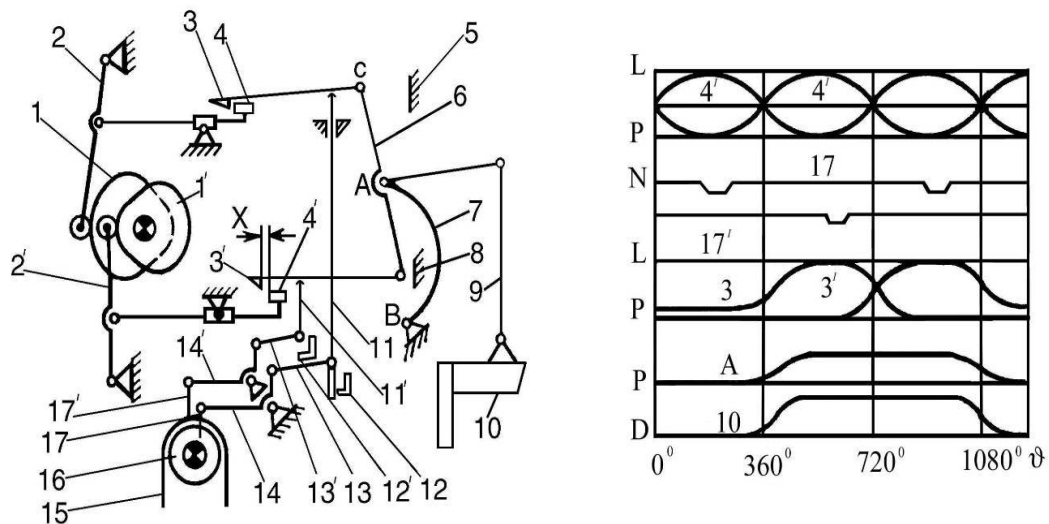
Şekil 1.7 SKN armürünün kinematik şeması

Çerçevelerin alt konumda beklemesi kancaların her ikisinin de 3 nolu bıçaklardan ayrılması ile gerçekleşir. Bu esnada 2 nolu kanca 6 nolu yönlendirici kollar ve hareketli 4 nolu mesnetlerinin yardımı ile 10 nolu hareketsiz mesnetlerine dayanarak tutulur.

Seçim ünitesinde program taşıyıcı olarak delikli kart (11) kullanılmaktadır. 12 nolu iğnenin kartı zorlamaması için ünite, 1 nolu bıçakları ve onları hareket ettiren 13 nolu yatay iğnelerle donatılmıştır. Eğer kartta delik açılmışsa, 12 nolu iğne aşağıya doğru hareket ederek, 13 nolu iğneyi, 1 nolu bıçak ile temas ettirir. Sola doğru yer değiştirme yapan 13 nolu iğne 6 nolu kolları kendi eksenleri boyunca döndürerek, 2 nolu kancanın 3 nolu bıçağa takılmasını sağlar.

Seçim sistemi tarafından belirlenen dört ana hareket; iki seçim bıçağı ve dört sıra iğne yardımıyla gerçekleştirilmesi, armürün yüksek hızlarda çalışmasını engeller. Öte yandan seçim ünitesinde programı okuyabilmesi için iğnelerin kartla temasa girmesi karmaşık bir mekanik sistemle sağlanır.

Aynı işleme prensibi ile çalışan Staubli 2232 tip numaralı armürün kinematik şeması Şekil 1.8'de verilmiştir. Armürde 4 ve 4' nolu bıçaklara hareket, 1 ve 1' nolu kamlardan verilir. 12 ve 12' nolu güçlendirici bıçaklar programın okunması süresince iğne ile kart arasında basıncın düşürülmesine yardım ederler. Bu armürlerin dezavantajları SKN armürleri ile aynıdır.

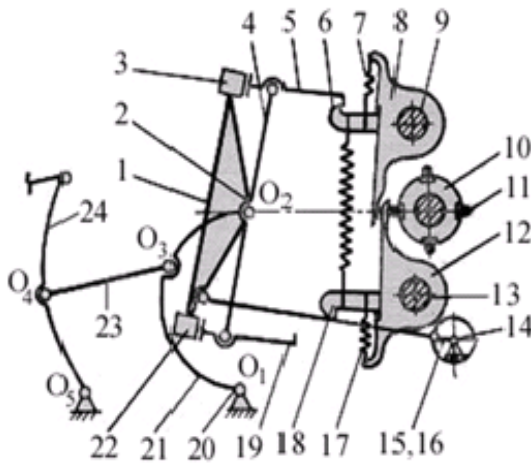


Şekil 1.8 Staubli 2232 çift stroklu, açık ağızlık oluşturan armür

Çift stroklu, açık ağızlık oluşturan negatif armürler

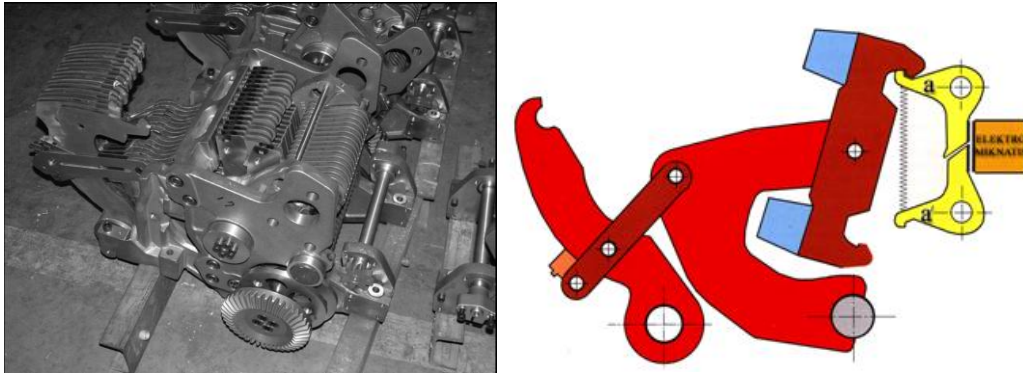
Staubli firmasının ürettiği mekanik kontrollü armürün şematik görünüşü Şekil 1.9'da verilmektedir. Armürün 14 nolu tahrik mili dönme hareketini, dokuma tezgâhının ana milinden almaktadır. Milin üzerindeki 15 nolu eksantrik, 16 nolu kol ile 1 nolu iki

omuzlu kola bağlanmış olup üst ve alt kollar 3 ve 22 nolu mesnetlerle temas durumundadır. O_1 eksenine yerleştirilmiş 21 nolu kol, O_2 eksenine 4 nolu kola, O_2 etrafında salınım hareketi ile iki ucunda 4 ve 19 nolu kancaları taşımaktadır. Balansın dönme merkezi, balans sol kenar konumuna geldiğinde 1 nolu kolun salınım merkezi ile çakışır. Bu durumda 5 veya 19 nolu kancalardan biri 6 veya 18 nolu tutucu kancalara takılmadıysa, 4 nolu balans boş hareket etmiş olur. Çerçeve alt konumda bekleme hareketini gerçekleştirir. 5 ve 19 nolu kancalardan biri tutucu kancalardan herhangi birine takılırsa, bağlı olduğu çerçeve üst duruma getirilir ve atkı atıldıktan hemen sonra çerçeve geriye hareket ederek alt konuma döner. Çerçevelerin alt konuma dönmesi yayların yardımı ile gerçekleştirilir. 5 ve 19 nolu kancaların her ikisinde aynı zamanda 6 ve 8 nolu tutucu kancalara takıldığında çerçevenin üst konumda beklemesi söz konusudur. Desen zincirine takılmış 11 nolu baklalar iki uçlu 8 ve 12 nolu kolların programa göre çalışmasını sağlar. Çerçevelere hareket 21, 23 ve 24 nolu kollar sayesinde iletilir.



Şekil 1.9 Çift stroklu, açık ağızlık oluşturan negatif armür

Negatif armürler günümüzde elektronik kontrollü olarak da üretilmektedir. Çift stroklu, elektronik kontrollü, açık ağızlık oluşturan negatif armürde gerçekleştirilen elektronik kontrol negatif armürde bulunan mekanik prensip ile aynıdır. Ancak seçme ünitesinde a ve a' tutucu kancalarının hareketi elektromıknatıslar tarafından sağlanmaktadır. Armürün geri kalan kısmının çalışması ve çerçevelere hareket iletim sistemi Şekil 1.10'da gösterildiği düzendedir.



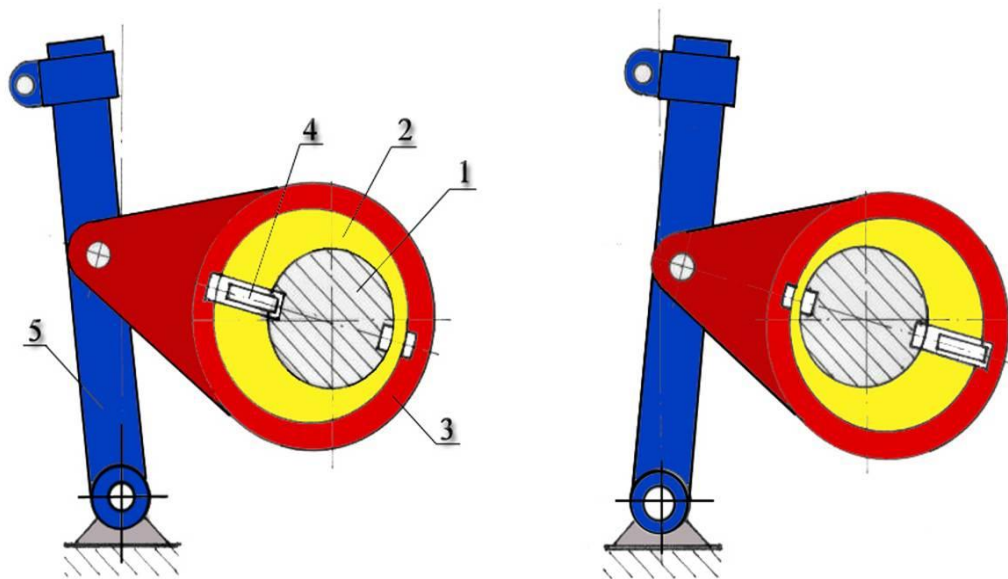
Şekil 1.10 Çift stroklu, elektronik kontrollü, açık ağızlık oluşturan negatif armür

Rotatif tipli armür makinesi

Rotasyon tipi armür makinelerinin temel çalışma prensibi, dönme hareketinin özel kavramanın yardımı ile çerçevelerin doğrusal periyodik hareketine dönüştürülmesine dayanmaktadır.

Eren'e (2000) göre bir rotatif armür üç ana kısımdan oluşur:

“Örgüye göre armür mili ile eksantrik arasındaki bağlantıyı keserek çerçevelerin konumunu belirleyen seçim mekanizması, eksantrikleri de içeren çerçeve tahrik mekanizması ve değişken armür mili hareketini üreten, çerçevelerin hareket ve bekleme açılarını belirleyen modülatör” olarak ana kısımlara ayrılabilir.

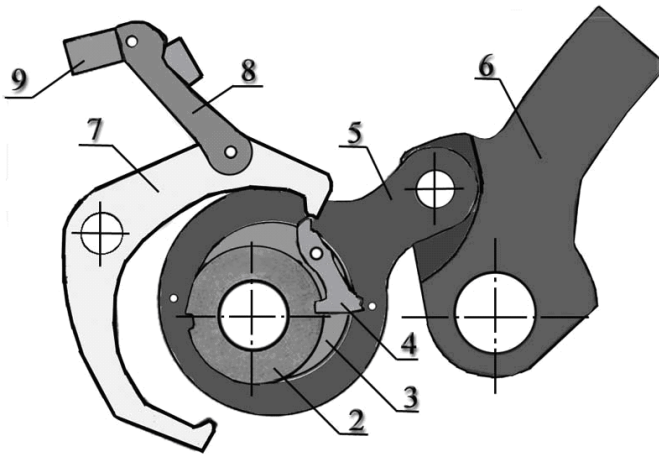


Şekil 1.11 Rotatif tipli armür makinesinin çalışma prensibi

Eksantriklerin ve modülatörlerin konstrüktif yapıları birbirine benzer olduğundan rotatif armürler, seçme mekanizmasının tip ve yapısına bağlı olarak sınıflandırılır. Şekil 1.11’de rotatif armürlerin temel çalışma prensibi açıklanmaktadır.

Üzerinde birbirlerine zıt yönde kanal açılmış 1 nolu mil, 2 nolu eksantriğin üzerine monte edilmiş ve radyal yönde hareket edebilen 4 nolu kama ile dönme eksenine doğru hareket ettirildiğinde, 2 nolu eksantriğe kenetlenir. Bu durumda 1 nolu mil ile birlikte 180°’lik bir dönme hareketi ile 5 nolu kola bağlı çerçevenin bulunduğu konum değiştirilir. Kama dönme merkezinden dışarıya doğru hareket ettiğinde 3 nolu kol ile eksantrik kenetlendiği için 3 nolu kol ve eksantrik hareket edemeyecektir. Kamanın hareketi seçim mekanizması ile idare edilir. Modülatör adı verilen mekanizma yardımı ile ana mil beklemeli olarak dönme hareketi yapmaktadır.

Fimtextile firmasının üretmiş olduğu RD 3000 tipi elektronik kontrollü rotatif armürün şematik görünüşü Şekil 1.12.’de verilmiştir. Bu tip armürde dokuma makinesinden alınan hareket yarıya düşürülerek modülatör giriş miline iletilir. Modülatörden elde edilen beklemeli çıkış hareketi armür miline (2) iletilir. 3 nolu eksantrik ve 4 nolu parça ile kenetlendiğinde armür mili, eksantriğin hareket etmesini sağlar. Çerçeve konumlarının herhangi birinde armür mili eksantrikten ayrılırsa, eksantrik mevcut konumunda dönemez ve çerçeve bekleme hareketini gerçekleştirir. Eksantriğin bir konumdan diğerine hareket etmesi tahrik ettiği çerçevenin konum değiştirmesi ve eksantriğin bir konumda beklemesi çerçevenin de bu konumda bekleme yapması anlamına gelmektedir. Eksantriğin dönme hareketi 5 nolu uzuv aracılığı ile 6 nolu kolun salınım hareketine dönüştürülür. Eksantrik üzerine döner mafsalla bağlanmış



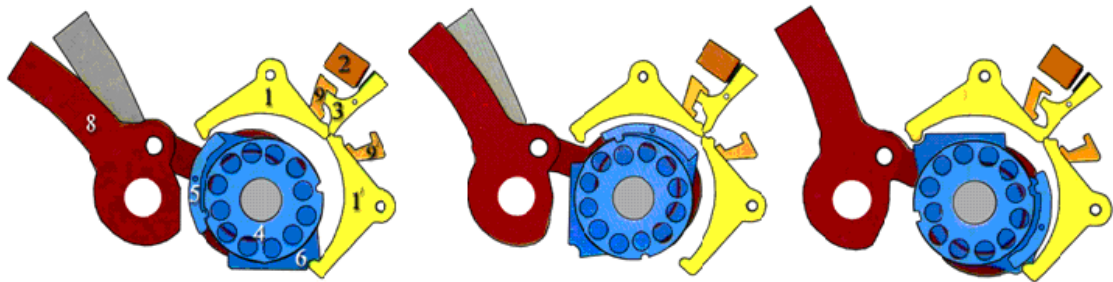
Şekil 1.12 Fimtextile RD 3000 elektronik kontrollü rotatif armür

olan 4 nolu parça 2 nolu mil üzerine açılmış kanallara girerek bu iki parçanın birbirine kenetlemesini veya kanallardan çıkararak bu iki parçanın birbirinden ayrılması işlemleri, 9 nolu elektromıknatıs tarafından üretilen hareket 8 nolu kol aracılığı ile 7 nolu kola yaptırdığı salınım hareketiyle gerçekleşir.

Şekilde görülen eksantrik konumunda çerçeve yukarıda ise 4 nolu parça 2 mil ile kenetlendiğinden, 2 nolu milin 180^0 lik dönüşünde çerçeve alt konuma hareket eder. 7 nolu parça bu konumda kaldığı sürece eksantrik şekle göre 180^0 dönmüş konumunda 4 nolu parça 2 nolu milden ayrılır. 2 nolu mil bundan sonraki dönüşünde eksantriğe hareket iletmez ve çerçeve alt konumda kalır. Mıknatısın etkisiyle 7 nolu kol konum değiştirirse, 4 nolu parça 2 nolu mili ile kenetlenir ve eksantriği şekilde görülen konuma geri getirir. Böylece çerçeve tekrar üst konuma geri döner. 7 nolu kolun konumu mıknatıs tarafından değiştirilmediği sürece bu konumda 4 nolu parça 2 nolu milden ayrılır ve eksantriğe hareket iletmez. Çerçeve yukarı konumunda kalmaya devam eder. Bezayağı örgü durumunda 2 nolu mil ile 4 nolu parça sürekli kenetli kalacağından eksantrik her dokuma makinesi devrinde konum değiştirir. Böylece çerçeve bir yukarı bir aşağı hareket eder ve seçim işlemi yapılmaz.

Staubli firması değişik uygulamalar için farklı seçme mekanizmasına sahip rotatif armürler üretmektedir. Şekil 1.13'de bu armürlerden biri görülmektedir. Üzerinde iki adet kanal açılmış olan 4 nolu disk armür mili ile birlikte kesikli olarak döner. 5 nolu parça bir ucunda yay ile 6 nolu parça ile bağlı olup 1 ve 1' nolu kolların bir ucundan uyguladığı baskı ile 4 nolu diske kenetlenmekte ve baskı olmadığı zaman kenetlenme çözülmektedir. 5 nolu parça ile 4 nolu disk kenetlendiğinde, disk ile birlikte 6 nolu parça da döner. 6 nolu parça aynı zamanda bir eksantriktir. Dönme hareketi 7 nolu bağlantı kolu aracılığı ile 8 nolu kolun dönme hareketine dönüştürülür. 5 nolu parça ile kenetlenmesi halinde 4 nolu diskin her 180 derecelik dönüşü çerçeveyi bir konumdan diğer bir konuma hareket ettirir. 5 nolu parçanın 4 nolu disk ile kenetlenmesi veya ayrılması, elektromıknatıs (2) tarafından hareket ettirilen 3 nolu kolun, 1 ve 1' nolu kolların döndürülmesi ile gerçekleştirilir. 1 ve 1' nolu kolların bir yöndeki hareketleri elektromıknatıs tarafından üretilirken diğer yöndeki hareketi yaylar ile sağlanır. Şekil 1.13'da birinci konumda 1 nolu kol saat yönünde bir miktar döndüğünde 5 nolu parça üzerindeki baskı ortadan kalkmış olacaktır. Bu anda 5 nolu parça, yayın etkisiyle ile 4

nolu disk ile kenetlenir. Bu konum çerçevelerin üst ağızlık konumuna karşılık gelmektedir.



Şekil 1.13 Stäubli 2650 elektronik kontrollü rotatif armür

Şekil 1.13’de ikinci durum 4 nolu diskin 90° ’lik dönüşüne karşılık gelen konumunu göstermektedir. Bu konum çerçevenin orta ağızlık konumuna karşılık gelir. Şekil 1.13’de üçüncü durumda 4 nolu disk 180° ’lik dönüşünü tamamlamış ve çerçeve alt ağızlık konumuna ulaşmıştır. Bu konumda 1’ nolu parça saat yönünde bir miktar dönmüş olup 5 nolu parçanın ucuna basarak 4 nolu disk ile olan kenetlenmeyi çözmüştür. 1 ve 1’ nolu parçalar bu konumda kaldıkları sürece çerçeve alt ağızlık konumunda bekleme yapar. Mıknatısın etkisiyle 1 ve 1’ nolu kollar saat ibresine ters yönde bir miktar döndüğünde, 1’ nolu kolun 5 nolu parça üzerindeki baskısı kalkar ve 5 nolu parça 4 nolu disk ile kenetlenir. 4 nolu diskin 180° ’lik dönme hareketi ile çerçeve üst ağızlık konumuna hareket eder. 1 nolu kol saat ibresine ters yönde döndüğünde 5 nolu parça ile 4 nolu disk arasındaki kenetlenme çözülür. 1 ve 1’ nolu kolların konumu çerçevelerin üst ağızlık konumuna karşılık gelir. 9 ve 9’ nolu destekler, 1 ve 1’ nolu kolların dönme hareketlerini sınırlar. Sonuç olarak 1 ve 1’ nolu kolların saat ibresi yönünde bir miktar dönmesi çerçevelerinin alt konumuna karşılık gelir. Saat ibresine ters yöne dönmüş konumları ise çerçevelerin üst ağızlık konumlarına karşılık gelir.

Rotatif armürlerin tahrik sistemleri basit ve rijit olduklarından titreşimsiz ve uzun ömürlüdürler. Bununla beraber açık ağızlık oluşturmaları ve seçim ünitesinin konstrüksiyon yapısından dolayı ek olarak ağızlık arama ve duruşlarda çerçeveleri orta konuma getirme ünitelerine ihtiyaç duyarlar. Seçim anında kenetlenme için kamaların kullanılması seçim ünitesinin çalışma şartlarını sınırladığı için yüksek dokuma hızlarına çıkılmasını engeller. Günümüzde rotatif armürlerin pratik çalışma hızları 500 d/dak’ ın altındadır (Abdulla ve Palamutçu 2006).

1.4. Yeni Armür Konstrüksiyonunun Tasarım Çalışmaları

Armür mekanizmasının sentezinde amaç; herhangi bir nesneyi, orta konum olarak adlandıracağımız bir noktadan isteğe bağlı olarak yukarı-aşağı veya sağa-sola, her iki yönde belirli bir doğrultuda hareket ettirilmesini sağlayan mekanizmanın konstrüksiyon yapısının ve boyutlarının belirlenmesidir. Patent literatüründe farklı yapıya sahip hidrolik ve elektrik tahrikli armürler bulunmaktadır. Ne yazık ki, bunlardan hiç biri uygun bir tasarımla sanayide kullanılamamıştır. Armür makineleri üzerine yapılan incelemeler sonucunda modern armür üreticisi firmaların açık ve ortada kapanan ağızlık prensiplerini uyguladığı tespit edilmiştir (Abdulla 2006).

Açık ağızlık açan armürlerde, konumu seçim mekanizması ile kontrol edilen ve tahriki çerçeveye iletmek için iki mekanizma grubu arasına yerleştirilmiş özel kanca yada kama bağlantısı kullanılır. Çalışma prensibi bu ilkeye dayanan armür makinelerini kullanarak yüksek dokuma hızlarına ulaşılması mümkün değildir. Yüksek hızlı dokuma tezgâhları için tasarlanacak armür makinelerinde ortada kapalı ağızlık açma yöntemi tercih edilmelidir. Staubli firmasının 4080 tip numarası ile tanıttığı armür makinesi (Şekil 1.6) bu yönde yapılmış bir çalışmadır.

1.4.1. Elektrik kontrollü armür konstrüksiyonu

Misag-139 Dokuma Makinesi için Yüksek Hızlı Armür Dizaynı adlı proje kapsamında önerilen armür tasarımlarında bu usul kullanılmakta ve istenildiği zaman açık ağızlık açma yöntemine dönüştürülebilmektedir (Abdulla 2002).

Literatür taraması, armür makinaları üzerinde yapılan araştırmalar ve 1381208 nolu SSCB patentinin yeniden değerlendirilmesi sonucu birbiri ile kenetlenen eleman çifti içermeyen yeni bir dizayn gerçekleştirilmiştir.

Elektrik kontrollü armür konstrüksiyonu yukarıda bahsi geçen mahsurları ortadan kaldırmaktadır. Bu konstrüksiyonun temel özelliği; çerçevelere hareket iletmek amacıyla iki serbestlik derecesine sahip kol mekanizmasının hidrolik frenleme sistemi kullanarak serbestlik derecesinin bire düşürülmesi ile programa uygun istemli yer değiştirmenin sağlanmasıdır. Konstrüksiyon, Şekil 1.14, ve Şekil 1.15’de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Armür; tahrik sistemi, çerçevelere hareket iletim sistemi ve seçme ünitesi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Tahrik sistemi, krank-biyel mekanizmasına (1, 2 ve 3 nolu uzuvlar) C noktasında hareketli olarak bağlanmış olan 4, 5, 6, 7, 8 nolu uzuvları içeren iki serbestlik derecesine sahip kol mekanizmasından oluşmaktadır.

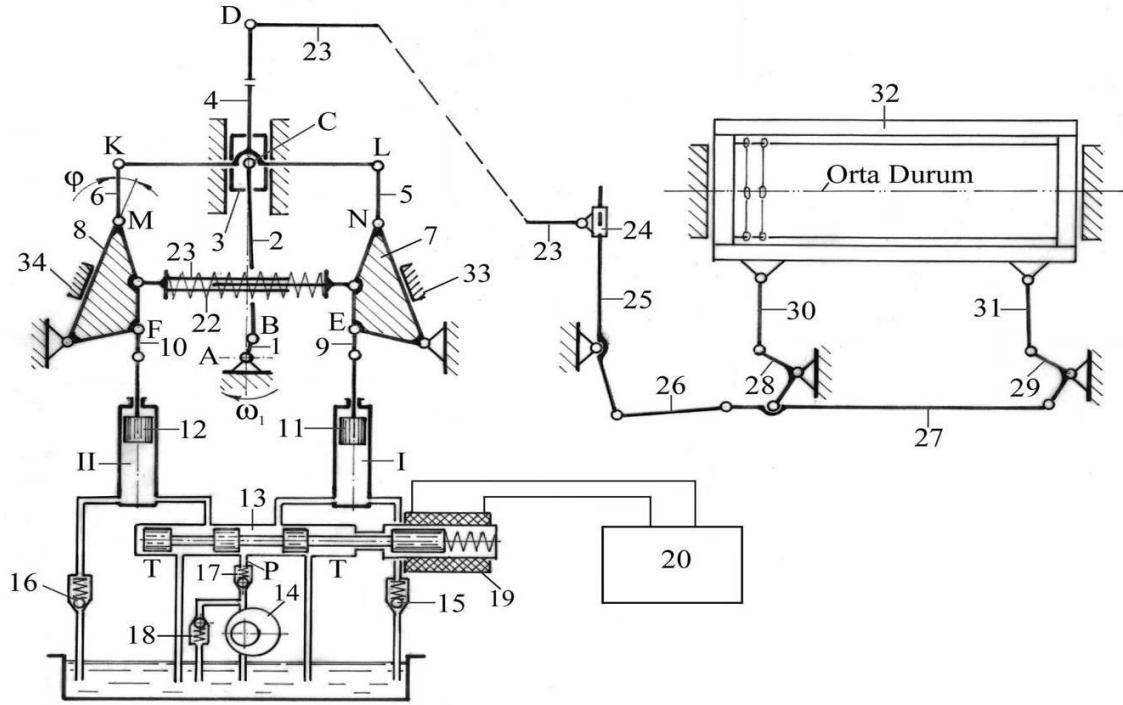
1 nolu krank miline dokuma tezgahının ana milinden 1:1 oranında iletilen dönme hareketi 3 nolu biyelin dikey doğrultuda periyodik doğrusal hareketine dönüştürülür. C noktasında 3 nolu kayar uzvu ile birlikte hareket eden 4 nolu üç omuzlu kol B noktasından 23 nolu uzuvla çerçevelere hareket iletim sistemine, K noktasından 6, 8 ve 10 nolu uzuvlarla I. Hidrolik silindirin 12 nolu pistonuna ve L noktasından 5, 7 ve 9 nolu uzuvlarla II. Hidrolik silindirin 11 nolu pistonuna bağlanmış durumdadır. 11 ve 12 nolu hidrolik silindirlerin görevi elektronik kontrol sisteminden gelen sinyallere göre tahrik sisteminin çalışmasını düzenlemektir.

Seçme ünitesi elektro-hidrolik olarak dizayn edilmiştir. Sistem 20 nolu elektronik kontrol cihazından, hidrolik silindirlerin çalışmasını düzenleyen 13 nolu elektro-hidrolik valften, sistemde basıncın düşmesini önleyen ve sızıntıları önleyecek 14 nolu pompadan ve hidrolik sistem elemanlarından oluşmaktadır.

Elektronik kontrol cihazı bilgisayar destekli olup, istenilen desenin uygulanmasını sağlamaktadır. Elektro-hidrolik seçme ünitesinin önemli bir özelliği, elektronik kontrolün ana milin 180° 'lik dönmesine eşit bir zaman süresince gerçekleştirilebilmesidir. Elektro-hidrolik valfin yön değiştirmesi sırasında basınç kaybından dolayı tahrik sisteminin kararsız hareketlerini önlemek için sistem dengeleyici ünite ile donatılmıştır. 33 ve 34 nolu ayarlanabilen sabit noktalar kol mekanizmasının kenar durumlarında sabit kalmasını sağlamaktadır.

Armürün çerçevelere hareket iletim sistemi modern dokuma makinelerinde kullanılan sistemin aynısıdır. Şekil 1.14'de Sulzer makinelerinde kullanılan 10 uzuvlu kol mekanizması verilmiştir. Mekanizma, 23,24,...,31 nolu uzuvlardan ve 32 nolu çerçeveden oluşmaktadır.

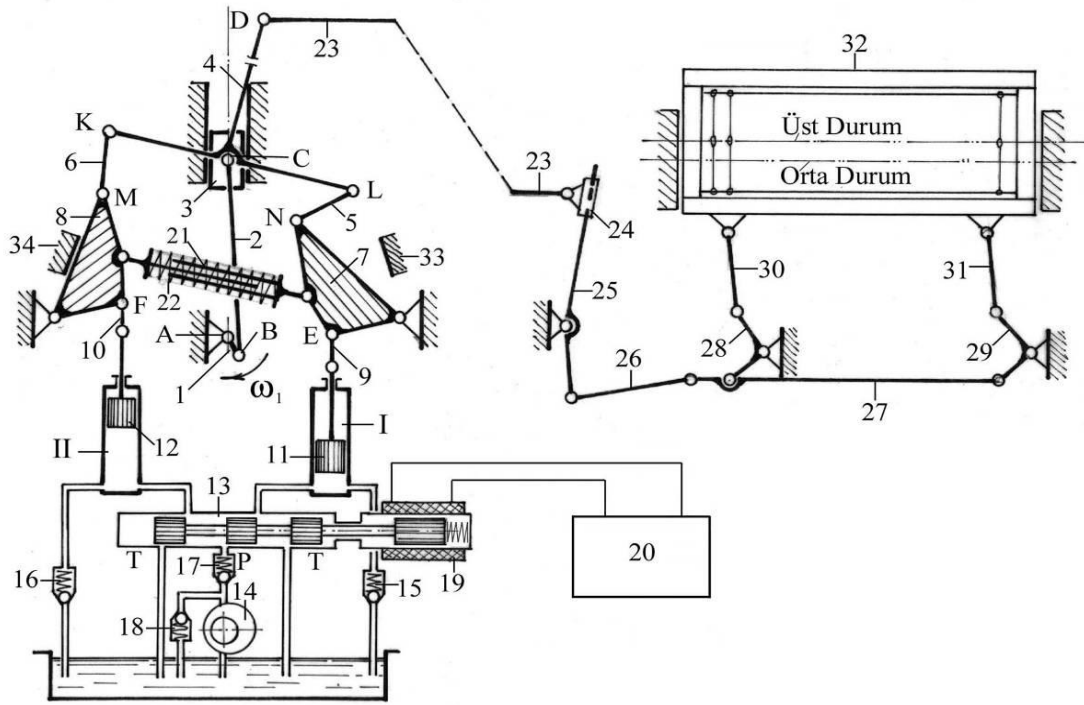
Söz konusu armür ortada kapanan ağızlık prensibine göre çalışan pozitif bir armür olduğundan, her atkı atımından sonra tüm çerçeveler ağızlığın ortasına gelir ve bir sonraki atkı için seçim işlemi yapılır. Ardından çerçeve hareket planına göre çerçeveler hareket ederek yeni atkı için ağızlığı oluşturur.



Şekil 1.14 Misag-139 ağızlık açma sistemi

Çerçevelerin yukarı yönde hareket ettirilmesi gerektiğinde 20 nolu kontrol ünitesinden gelen sinyale bağlı olarak 13 nolu hidrolik valf, I. silindirin P pompa girişi ile, II. silindirin T tank çıkışını kapatmıştır. Bu sırada I. silindirin pompa girişi ve silindirde bulunan sıvının çıkış yolu kapalı olduğundan 12 nolu piston ve ona bağlı olan 8 ile 10 nolu uzuvlar hareket edemezler. II. silindir tanka bağlı olduğundan 11 nolu piston ve ona bağlı 9, 7 ve 5 nolu uzuvlar ise hareket serbestliği kazanmış olur. Bu esnada 1 nolu kranktan ileri-geri hareket alan 3 nolu uzuv üst konumundan alt konumuna geldiğinde 4 nolu üç omuzlu kol, 8 nolu uzuv ve buna bağlı olarak dikey yönde hareket edemeyen 6 nolu uzuv kenetlenmiş olur. Üç omuzlu kol ile L noktasından bağlı 11 nolu pistonun hareket edebilmesi için engel bulunmadığından, bu kolun K noktası boyunca saat ibresi yönünde aldığı mecburi dönme hareketi, D noktasına bağlı olan çerçevenin (32) orta konumdan üst konuma gelmesini sağlamış olur.

Program değişikliği esnasında silindirlerde hidrolik darbelerin önlenmesi için, programlama ve kontrol işlemlerinin, 11 ve 12 nolu pistonların geri hareketi sırasında gerçekleşmesi gerekmektedir.



Şekil 1.15 Çerçevelerin üst duruma gelmesi

Elektro-hidrolik valfin çalışması belirli bir zaman aralığında gerçekleştiğinden bu süre zarfında armürün tahrik sistemi kararsız bir durum içerisine girer. Mekanizmayı bu durumdan kurtarmak için tahrik sistemi 22 nolu basma yayı içeren 21 nolu dengeleyici ünite ile donatılmıştır.

Yapılan sentez, kinematik ve dinamik analizler sonucu bir çerçeveyi idare edebilecek deney setinin dizaynı, üretimi ve montajı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları aşağıda sırasıyla belirtilmiştir:

Nominal çalışma hızı : 604 dev/dak.

Armürün tipi: ortada kapanan ağızlık oluşturan pozitif armür

Çerçeveler arası uzaklık: 12 mm

Çıkış uzvunun iletilebileceği minimum moment: 30 Nm

Çalışma sırasında darbe, titreşim ve gürültü oluşumu gözlenmedi.

Programın okunması ve seçimin uygulanması, ana milin bekleme yapmasına ihtiyaç duyulmaksızın gerçekleştirilebilmektedir.

Seçme işlemi ana milin 180⁰'lik dönmesine eşit zaman süresinde gerçekleştirilmektedir.

Armür, çerçevelerin orta duruma getirilmesi ve ağızlık arama için gerekli olan tertibatlara ihtiyaç duyulmaksızın bu işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

1.4.2. RA14'ün tasarımı, üretimi ve araştırma çalışmaları

“Dokuma Makinalarında Ağızlık Açma Mekanizmalarının Araştırılması ve Modernizasyonu” başlıklı, 2003K120950 numaralı DPT projesi Mayıs 2003 tarihinde başlatılmış olup, üç yılda tamamlanmıştır. Proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiş olan MİSAG-139 numaralı “Dokuma Makineleri için Yüksek Hızlı Armür Dizaynı” projesini takiben yürütülmüştür (Abdulla 2002).

Temel olarak Türk tekstil makine sanayine yeni bir ürün kazandırmak, dokuma makinelerinde ağızlık açma sistemlerini inceleyip bilgi altyapısına katkı sağlamak ve dokuma makineleri için hızlı, bakımı kolay ve düşük maliyetli bir ağızlık açma sistemi geliştirilmek şeklindeki amaçlara ulaşılmıştır.

MİSAG-139 projesinde elde edilen bilgi birikimi ve altyapısının da kullanıldığı proje kapsamında ağızlık açma mekanizmaları hakkında geniş literatür çalışması yapılmıştır. Ayrıca ağızlık açma mekanizmalarından biri olan armür mekanizması ile ilgili detaylı incelemeler yapılmıştır.

Mevcut modern armür mekanizmasının çalışma prensibinden farklı olarak armür makineleri tasarlanmış ve yeni tasarımların kinematik, dinamik analiz ve sentezleri yapılmıştır.

Bu bağlamda RA 14 rotatif armür olarak isimlendirilen armür, 14 çerçeve için tasarlanmıştır.

Rotatif armürler; tahrik sistemlerinin basit, konstrüksiyon ölçülerinin küçük olması, titreşimsiz çalışması, sağlam ve uzun ömürlü olmaları gibi önemli avantajlara sahiptir (Adanur 2001).

Rotatif armürlerin önemli dezavantajları arasında; seçim mekanizmasının sınırlayıcı etkisi sebebiyle pratik çalışma hızları 500 d/dak ile sınırlı kalması, makineyi oluşturan parçaların çok yüksek hassasiyetle üretilmesi zorunluluğu ve bu nedenle maliyetlerinin

yüksek olması sayılabilir. Bununla beraber açık ağızlık oluşturmaları ve seçme ünitesinin konstrüksiyon yapısından dolayı ek olarak ağızlık arama ve çerçevelerin orta konuma geri getirilmesi için ek mekanizmalara ihtiyaç duyulacaktır.

Açık ağızlık oluşturan armürlerde çerçevelerin üst veya alt durumlarda beklemesi; tahrik, program-kilitleme ve çerçevelere hareket iletme mekanizması olarak adlandırılan üç farklı mekanizmanın eş zamanlı olarak beraber çalışmaları ile sağlanabilmektedir.

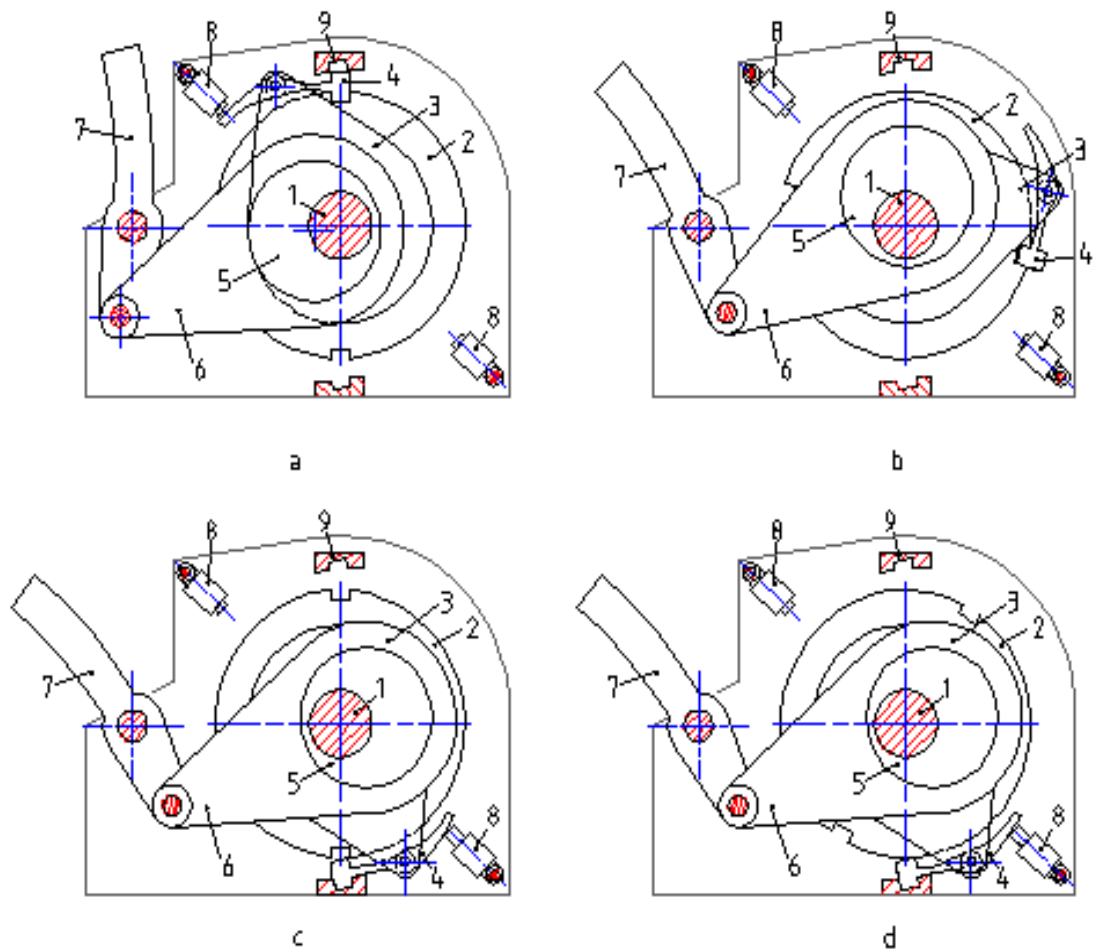
Programlama-kilitleme mekanizması; yüksek hızlı beklemeli dönme hareketi yapan ana milden alınan tahrik hareketini, kumaş desenine uygun olarak çerçeve kaldırma mekanizmasına ileten çerçevelerin doğrusal yer değiştirmesini sağlayan bir sistemdir. Rotatif armürlerin birçoğunda seçme ve kilitleme mekanizmaları bir bütün halinde çalışır ve bundan dolayı bu mekanizma grubunun sentezi ve araştırılması birlikte gerçekleştirilir.

Dokuma Makinelerinin Ağızlık Açma Sistemlerinin Araştırılması ve Modernizasyonu projesi kapsamında yapılan araştırmalarda; programlama-kilitleme mekanizmasının özelliklerine bağlı olarak ana mil bir yönlü beklemeli dönme hareketi yerine 180°'lik beklemeli salınım hareketinin verilmesinin mümkün olduğu ve armür konstrüksiyonunun yapısının önemli derecede basitleştirilebileceği ve standart makine parçalarının kullanılarak imal edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Önerilen konstrüksiyonun faydalı ve olumsuz yanlarını göstermek için klasik tasarımlarımla kıyaslaması Şekil 1.16' de gösterilmiş ve açıklanmıştır.

Klasik rotatif armürlerde programlama-kilitleme mekanizması beklemeli dönme hareketi yapan 1 nolu mil üzerine sabitlenmiş disk (2), 2 nolu disk üzerine rulmanla yataklanmış eksantrik (3), 4 nolu kilit mekanizması, 6 ve 7 nolu kol-sarkaç kol mekanizması ve 8 nolu program ünitesinden oluşmaktadır.

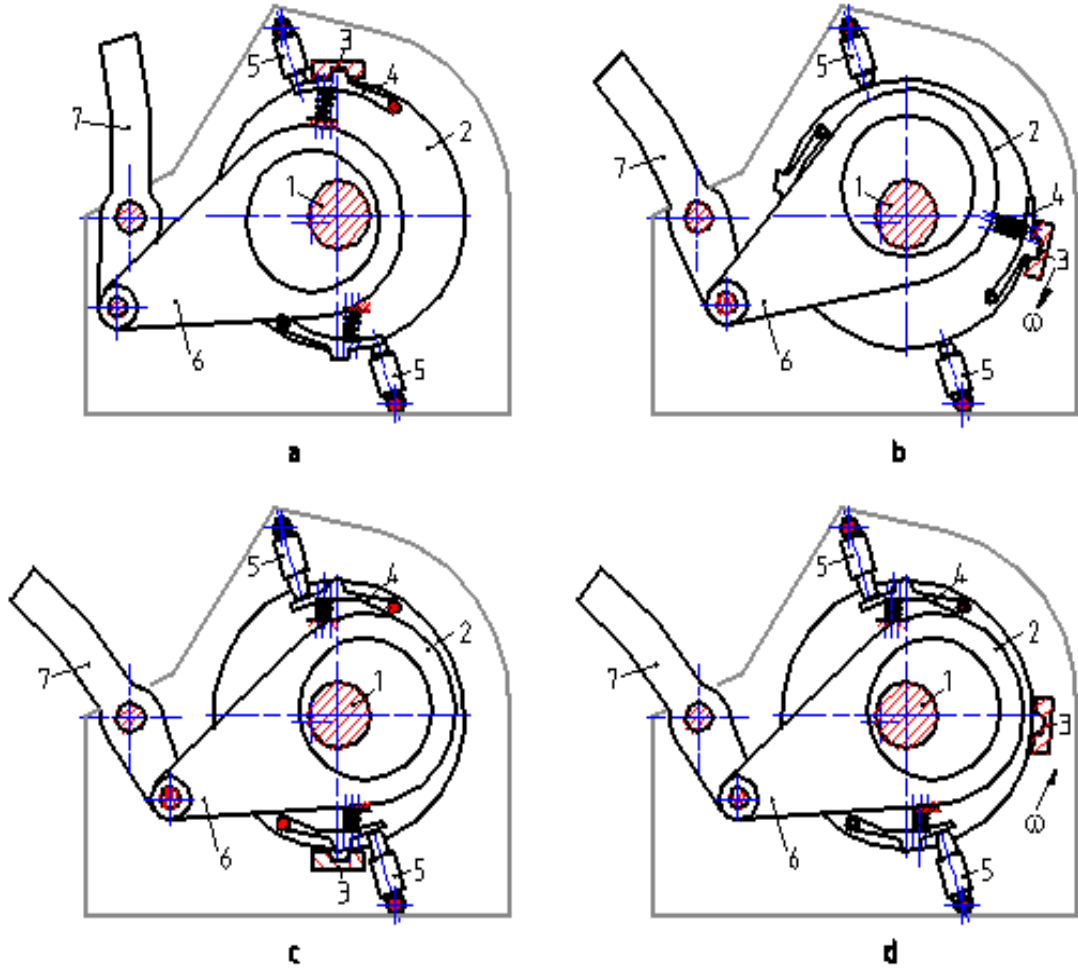
Birinci pozisyonda armürün ana mili (1) bekleme fazındadır. Bir sonraki işlemde çerçeve konumunun değiştirilmesi gerektiğinde, program pistonları içe doğru çekilmiş ve kapayıcı yayın etkisi ile kilitleme mekanizmasının kancası, 2 nolu diskin üzerinde açılmış yuvaya takılarak 2 nolu disk ile 3 nolu eksantriğin birbirine kenetlenmesini sağlar. 7 nolu sarkaç sol kenar konumundadır.



Şekil 1.16 Klasik rotatif armürün çalışma prensibi

İkinci pozisyonda 1 nolu mil, 2 nolu disk ve 3 nolu eksantrik saat yönünde dönme hareketi yapmaktadır. 3 nolu eksantriğe bağlı 6 nolu kol, 7 nolu sarkacın sağ kenar konumuna doğru hareket etmesini sağlamaktadır

Üçüncü pozisyonda 1 nolu mil 180° döndükten sonra bekleme yapmaktadır. 7 nolu sarkaç sağ kenar konumuna gelmiştir. Program değişikliği istenmemesi durumunda ikinci pozisyon sürekli olarak tekrarlanır. Çerçevenin bekleme yapması istendiğinde pistonlar kilit mekanizmasını iterek, kancanın 2 nolu disk ile 3 nolu eksantriği birbirinden ayırarak, 3 nolu eksantriğin bulunduğu konumda hareketsiz kalmasını sağlayacaktır.



Şekil 1.17 R14 armürünün çalışma prensibi

Önerilen konstrüksiyon 1 nolu sabit mil üzerine serbest hareketli 2 nolu eksantrik 4'nolu kilit mekanizması ile donatılmıştır. 2 eksantriğinden, 180°lik salınım hareketi yapan 3 bıçağından, 5'nolu program pistonundan ve 6-7 nolu kol-sarkaç kol mekanizmasından oluşmaktadır. 3 bıçağının hareketi, tahrik ünitesinde cycloidal hareket kanunu göre salınım hareketi gerçekleştiren makaralı izleyicili kam mekanizması ile sağlanan hareket tek kademeli düz dişli ile 3 bıçağına aktarılmaktadır.

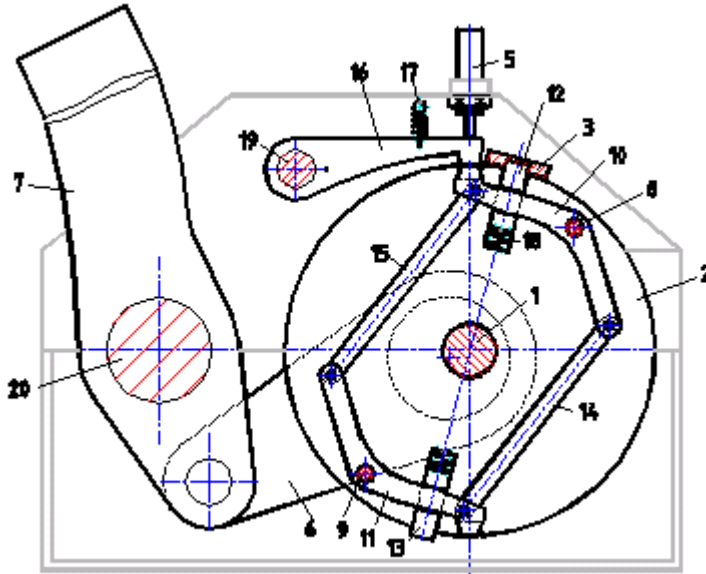
Birinci pozisyonda 3 bıçağı bekleme fazındadır. Çerçevenin yer değiştirmesi istendiğinden program pistonu içe doğru çekilmiş ve kapayıcı yayın etkisi ile kilit mekanizmasının kancası salınım hareketi yapan bıçakla eksantriği birbirine kenetleyecektir. 7'nolu sarkaç sol kenar durumdadır.

İkinci pozisyon; 3'nolu bıçak ve 2 eksantriği saat ibresi yönünde salınım hareketi yaparak 7 sarkacını sağ kenar duruma doğru hareket ettirmektedirler.

Üçüncü pozisyonda bıçak 180° döndükten sonra bekleme yapmaktadır. 7 sarkacı sağ kenar konumuna gelmiştir. Program değişikliği istenmemesi durumunda 2. pozisyon sürekli olarak tekrarlanacaktır. Çerçevenin bekleme yapması istendiğinde piston kilit mekanizmasının kancasını iterek bıçakla eksantriği birbirinden ayırarak eksantriğin bulunduğu konumda hareketsiz kalmasını sağlayacaktır.

Dördüncü pozisyonda bıçak ters yönde salınım hareketi yapmaktadır. 2 eksantriği kilitlendiğinden 7' nolu sarkaç sağ kenar durumda hareketsiz biçimde bekleyecektir.

Ele alınan pozisyonların analizi sonucunda; rotatif armürleri birbirinden farklı kılan en önemli özelliklerinin program uygulanması için kam milinin özel bir konumda olmasına ve belirli bir yönde dönmesine gereksinim duymamasıdır.



Şekil 1.18 R14 program okuma ve kilit mekanizması

Mekanizmalar birbiriyle kıyaslandığında, önerilen konstrüksiyonun aşağıda sıralanan avantajlara sahip olduğu görülmektedir.

Program okuma ve kilitleme mekanizmasında her bir çerçeve için yalnızca bir piston kullanılmaktadır.

Armürde beklemeli salınım hareketi yapan yekpare tek bıçak kullanılmıştır. Eksantrik mil paketinin çevresine salınım hareketi yapan tek bir yekpare bıçak

yerleştirilerek armürün hatve miktarı azaltılmış ve konstrüksiyon ölçüleri küçültülmüştür.

Eksantrik paketlerini taşıyan mil hareketsizdir.

Sıralanan avantajlar sayesinde mekanizmanın tasarımı sırasında özel rulmanlar yerine standart rulmanların kullanılmasına ve çerçevelerin hatve ölçü aralığına tüm sistemin sığdırılmasına imkân sağlanmıştır.

Tez Çalışmasının kapsamı

Gabil Abdulla tarafından tasarlanmış rotatif armür makinesinin çerçeve hareketini sağlayan ve hareketin iletiminde kullanılan önemli mekanizma guruplarının çalışma prensiplerinin incelenmesi, mekanizmaların kinematik ve dinamik analizini gerçekleştirirken yazılım algoritmasının geliştirilmesi için uygun hesap yöntemini araştırmak, konu hakkındaki literatür bilgilerini derlemek tezin esas kapsamı olarak değerlendirilebilir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Mekanizmayı oluşturan uzuvların ve mafsallarının özel bir yörüngeyi izlemesi istenir. Bu durumda mekanizmanın gerçekleştireceği hareket boyunca mekanizmayı oluşturan uzuvlar gurubunun birbirlerine göre konumlarını ve oryantasyonlarını belirleyecek hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulur.

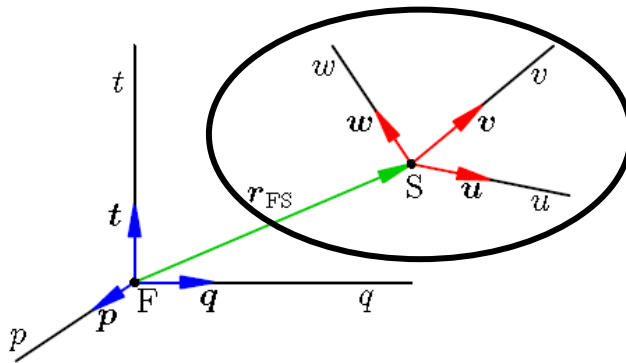
Kinematik analiz için kullanılan analitik yöntemler cebirsel yapıda kinematik eşitliklerin kurulmasını gerektirir. Bu yöntemlerin en önemli sakıncası farklı tip mekanizmalar için kendisine has doğrusal olmayan konum eşitliklerinin elde etme zorunluluğudur. Bilgisayarlar sayısal analiz yöntemleriyle önceden belirlenmiş kısıt şartlarını kullanarak konum denklemlerini kurmakta ve sayısal yaklaşımlarla çözmektedirler. Ancak çözüm sırasında mekanizmaların hareketsiz kaldıkları konumlarda matrislerin tekil olma durumuyla karşılaşılır ve çözüme ulaşamamaktadırlar (Harnandez 2003).

Bir nesneye dayalı mekanizma analiz programının çalışma süreci ilk olarak; mekanizma içindeki sistem bileşenleri genel nitelik ve işlevlerine göre üç guruba ayırır. Cisim, kısıt ve kuvvet grupları altında kavramsal olarak soyutlaştırılır. Cisim kütle, eylemsizlik momenti ve uzaydaki konumunu belirten koordinat sistemi gibi geometrik özelliklere sahiptir. Kısıt cisimlerin bağıl hareketlerini belirler. Kuvvet cisimleri etkileyen kuvvet ve moment olarak yeniden tarif edilir. İkinci olarak; mekanizma içindeki sistemlerinin bileşenleri özellik ve işlevler ile yüklenir. Üçüncü olarak; kalıtım yoluyla oluşturulan nesnelerin fonksiyonları hareket denklemi olarak bilinen analitik bağıntıları kolayca belirler. (Han ve Seo 2003)

Genel bir mekanizma analizinde rijid cisimlerin yerini belirlemek için bir temel koordinat sistemi tanımlanır. Cismin sabit referans koordinatı üzerinde mafsal konumları ve kuvvet elemanları gösterilir. İki temel yaklaşım, dinamikte Lagrangian yaklaşımı ile hareket denklemlerinin belirlenmesi için uygulanır (Daberkow ve Kreuzer 1999) .

N serbestlik derecesine sahip bir sistemin kısıt fonksiyonları, değişkenlerin sahip olduğu her değer için n bilinmeyenli sifıra eşit bir denklem sistemi gibi düşünülebilir. Bu denklem sistemi kare veya trigonometrik ifadeli kapalı fonksiyon tipindedir. Basit mekanizmalar için kurulan denklemler kolayca çözülebilir. Ancak karmaşık mekanizmalar için Newton Raphson sayısal yaklaşımı tercih edilir (Klingener 2000).

Döner mafsallı kol mekanizmalarının mafsal konumlarının geometrik yöntemle ötelenerek mekanizmanın konumları bulunabilir. Kinematik analizde oldukça yaygın olarak kullanılan Newton Raphson algoritmasına kıyaslandığında, başlangıç değerlerinin gerçek çözüme yakın olması gerekli değildir ve daha az sayıda işlemle çözüme ulaşılmaktadır. Bu yaklaşımla yalnızca döner mafsallı mekanizmanın konumları belirlenir (Harnandez ve Petuya 2004).



Şekil 2.1 Genel ve uzuv kartezyen koordinat sistemi

Mekanizma içinde bulunan uzuvların hareketlerini belirlemek amacıyla her uzuv için bir koordinat sistemi atanmalıdır. Atanan uzuv koordinat sistemi, uzuv üzerinde bulunan herhangi bir noktaya sabitlenmiştir. Uzva göre hiçbir bağıl hareketi bulunmayan uzuv koordinat sistemi, cisimle aynı hareketi yapacaktır. Uzuv koordinat sistemleri, birbirlerine göre ve genel kartezyen koordinat sistemine (GKKS) göre öteleme ve dönme hareketi yapabilirler. Belirlenen uzuv kartezyen koordinat sistemi (UKKS) özellikleri kullanılarak, uzuvların bağıl hareketleri ve GKKS'ne göre bağımsız zaman değişkeni ile ifade edilen yer değiştirmesi ve özellikleri incelenebilecektir. Şekil 2.1'de F noktasında zamana göre yer değiştirmesi olmayan, üç bileşeni birbirine dik p , q , t birim vektörleri GKKS ve uzuv üzerinde bulunan S noktasına yerleştirilmiş diğer bir u , v , w birim vektörlerinin tanımladığı UKKS verilmiştir. Bir vektörün verilen bir doğrultu üzerindeki bileşeni, vektör ile doğrultuyu tanımlayan birim vektörün skaler çarpımı ile ifade edilir. Şekil 2.1'de gösterilen $F(p, q, t)$ ve $S(u, v, w)$ kartezyen

koordinat sistemlerini oluşturan birim vektörlerin birbirleriyle skaler çarpımlarının sonuçları koordinat sistemlerinin oryantasyonunu ifade eder. S kartezyen koordinat sistemi içerisinde tanımlanmış \mathbf{u} , \mathbf{v} , \mathbf{w} birim vektörlerin F kartezyen koordinat sistemi içerisinde bileşenleri vektörlerin skaler çarpımının sonuçları denklem 2.1’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} u_p &= \mathbf{u} \cdot \mathbf{p} & v_p &= \mathbf{v} \cdot \mathbf{p} & w_p &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{p} \\ u_q &= \mathbf{u} \cdot \mathbf{q} & v_q &= \mathbf{v} \cdot \mathbf{q} & w_q &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{q} \dots\dots\dots (2.1) \\ u_t &= \mathbf{u} \cdot \mathbf{t} & v_t &= \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} & w_t &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{t} \end{aligned}$$

Birim vektörün bileşenleri vektör doğrultusunun kosinüs fonksiyonlarının değerleridir. u_p , u_q , u_t ifadeleri \mathbf{u} vektörü doğrultusunun kosinüs fonksiyonları, v_p , v_q , v_t ifadeleri \mathbf{v} vektör doğrultusunun kosinüs fonksiyonları ve w_p , w_q , w_t ifadeleri \mathbf{w} vektör doğrultusunun kosinüs fonksiyonlarının hepsi de F referans kartezyen koordinat sistemine aittir. Burada tanımlanan dokuz skaler değer, S kartezyen koordinat sistemini F referans kartezyen koordinat sisteminde tanımlayan oryantasyon ifadesidir.

$$A_{FS,F} = \begin{bmatrix} u_p & v_p & w_p \\ u_q & v_q & w_q \\ u_t & v_t & w_t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

Kartezyen koordinat sisteminin oryantasyonu, $A_{FS,F}$ matris biçimi denklem 2.2 gösterilmiştir. Birbirine dik ve birbirinden bağımsız üç birim vektör yardımıyla oluşturulan oryantasyon matrisi, $A_{FS,F} = [\mathbf{u} \ \mathbf{v} \ \mathbf{w}]^T$ şeklinde ifade edilir. F kartezyen koordinat sisteminin S kartezyen koordinat sistemine göre oryantasyon matrisi $A_{SF,S}$ (denklem 2.3), $A_{FS,F}$ ’ye benzer şekilde elde edilir.

$$A_{SF,S} = \begin{bmatrix} p_u & q_u & t_u \\ p_v & q_v & t_v \\ p_w & q_w & t_w \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

Denklem 2.4’de ifade edildiği gibi iki oryantasyon matrisi karşılaştırıldığında, $A_{SF,S}$ oryantasyon matrisinin elemanlarının, $A_{FS,F}$ matrisinin transpozu ile elde edilen $A_{FS,F}^T$ elemanlarına eşit olduğu görülür.

$$\begin{aligned}
p_u &= \mathbf{p} \cdot \mathbf{u} = u_p & q_u &= \mathbf{q} \cdot \mathbf{u} = u_q & t_u &= \mathbf{t} \cdot \mathbf{u} = u_t \\
p_v &= \mathbf{p} \cdot \mathbf{v} = v_p & q_v &= \mathbf{q} \cdot \mathbf{v} = v_q & t_v &= \mathbf{t} \cdot \mathbf{v} = v_t \quad \dots\dots\dots (2.4) \\
p_w &= \mathbf{p} \cdot \mathbf{w} = w_p & q_w &= \mathbf{q} \cdot \mathbf{w} = w_q & t_w &= \mathbf{t} \cdot \mathbf{w} = w_t
\end{aligned}$$

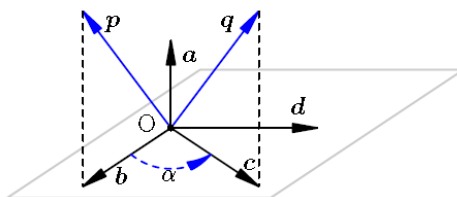
$$A_{SF,S} = A_{FS,F}^T \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Denklem 2.5’de verilen eşitlik her bir çift kartezyen koordinat sistemi için yalnızca tek bir oryantasyon matrisinin bulunabileceğini ifade eder. Bu özellik, bağıntıların elde edilmesi sırasında oldukça sık kullanılmaktadır.

Oryantasyon matrisini belirlemek amacıyla keyfî bir \mathbf{p} vektörünün $\hat{\mathbf{a}}$ birim vektörünün belirlediği eksen etrafında belirli bir α açısı kadar sağ el kuralına göre belirlenmiş dönüş yönünde döndürüldüğü kabul edilirse, oryantasyon matrisinin elemanları hesaplanabilecektir. \mathbf{p} vektörünün α açısı kadar dönüşünü ifade edebilmek için $\hat{\mathbf{a}}$ birim vektörüne dik bir düzlem, bu düzlemdeki bileşeni olan \mathbf{b} vektörü ve $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ vektörel çarpımının sonucu olan \mathbf{d} vektörü tanımlanmalıdır.

$$\begin{aligned}
\mathbf{b} &= \mathbf{p} - (\mathbf{p} \cdot \hat{\mathbf{a}})\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}^T)\mathbf{p} \\
\mathbf{d} &= \hat{\mathbf{a}} \times \mathbf{b} = \hat{\mathbf{a}} \times \mathbf{p} = \tilde{\mathbf{a}} \cdot \mathbf{p} \\
\mathbf{c} &= \cos\alpha \mathbf{b} + \sin\alpha \mathbf{d} = [\cos\alpha(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}^T) + \tilde{\mathbf{a}}\sin\alpha]\mathbf{p} \\
\mathbf{q} &= \mathbf{c} + (\mathbf{p} \cdot \hat{\mathbf{a}})\hat{\mathbf{a}} = [\cos\alpha(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}^T) + \tilde{\mathbf{a}}\sin\alpha]\mathbf{p} + \hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}^T\mathbf{p} \\
\mathbf{q} &= [\mathbf{I}\cos\alpha + (1 - \cos\alpha)\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}^T + \tilde{\mathbf{a}}\sin\alpha] = [\mathbf{I} + \tilde{\mathbf{a}}^2(1 - \cos\alpha) + \tilde{\mathbf{a}}\sin\alpha]\mathbf{p} \\
\mathbf{q} &= \mathbf{R}(\hat{\mathbf{a}}, \alpha)\mathbf{p} \\
\mathbf{R}(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) &= [\mathbf{I} + \tilde{\mathbf{a}}^2(1 - \cos\alpha) + \tilde{\mathbf{a}}\sin\alpha] \quad \dots\dots\dots (2.6)
\end{aligned}$$

Şekil 2.2’de bir vektörün sabit eksen etrafında döndürülmesi sırasında oluşturulan düzlem, vektörleri ve dönüş açısını göstermektedir. Düzlem içerisinde, \mathbf{b} vektörü α açısı kadar döndürüldüğünde aldığı yeni konum \mathbf{c} vektörünü oluşturulur. \mathbf{c} vektörü \mathbf{q} vektörünün düzlem içerisindeki bileşenidir.



Şekil 2.2 Bir vektörün sabit bir eksen etrafında döndürülmesi

Denklem 2.6’da verilen $R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha)$ eşitlik Rodriquez formülüdür (Pissanetzky 2005). Denklem 2.6 eksen ve dönüş açısı cinsinden dönüşüm matrisini ifade eder. Eksen birim vektörü $\hat{\mathbf{a}}$ ’nın bileşenleri; \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 ve \mathbf{a}_3 verilirse $R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha)$ matrisinin açık biçimi denklem 2.7 ile ifade edilebilir.

$$R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha + a_1^2(1 - \cos\alpha) & a_1a_2(1 - \cos\alpha) - a_3 \sin\alpha & a_1a_3(1 - \cos\alpha) + a_2 \sin\alpha \\ a_1a_2(1 - \cos\alpha) + a_3 \sin\alpha & \cos\alpha + a_2^2(1 - \cos\alpha) & a_2a_3(1 - \cos\alpha) - a_1 \sin\alpha \\ a_1a_3(1 - \cos\alpha) - a_2 \sin\alpha & a_2a_3(1 - \cos\alpha) + a_1 \sin\alpha & \cos\alpha + a_3^2(1 - \cos\alpha) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.7)$$

$RR^T=I$ eşitliğini sağlaması sebebiyle R matrisi dik bir matristir. R matrisi için $R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) = R(-\hat{\mathbf{a}}, -\alpha)$ ve $R(-\hat{\mathbf{a}}, \alpha) = R(\hat{\mathbf{a}}, -\alpha)$ eşitlikleri her zaman geçerlidir.

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= [1, 0, 0]^T \\ \mathbf{q} &= [0, 1, 0]^T \dots\dots\dots (2.8) \\ \mathbf{t} &= [0, 0, 1]^T \end{aligned}$$

Denklem 2.8’de verilen birim vektörlerin oluşturduğu F kartezyen koordinat sistemini dikkate aldığımızda, $R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha)$ dönüşüm matrisi ile çarpımları S kartezyen koordinat sisteminin birim vektörlerine denklem 2.9 verildiği gibi eşit olacaktır. Oryantasyon matrisi denklem 2.10’da belirtildiği gibi dönüşüm matrisine eşittir .

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) \mathbf{p} = [R_{11}, R_{21}, R_{31}]^T \\ \mathbf{v} &= R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) \mathbf{q} = [R_{12}, R_{22}, R_{32}]^T \dots\dots\dots (2.9) \\ \mathbf{w} &= R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) \mathbf{t} = [R_{13}, R_{23}, R_{33}]^T \end{aligned}$$

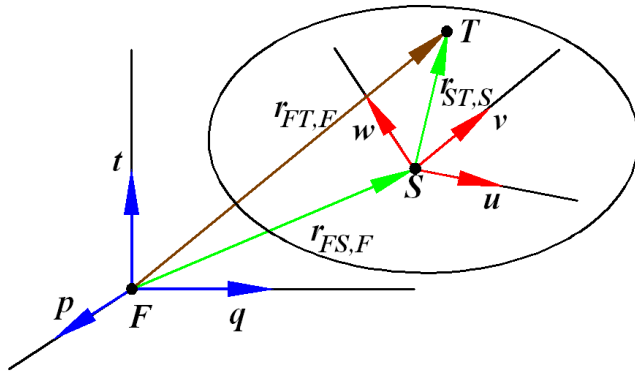
$$A_{FS,F} = R(\hat{\mathbf{a}}, \alpha) \dots\dots\dots (2.10)$$

Farklı gözlemciler aynı deneyi benzer şartlar altında gerçekleştirdiğinde, sonuçlar aynı olmalıdır. Fizik kanunları ise gözlemden bağımsız olarak önerilir. Eğer belirli bir koordinat sistemi içerisinde verilmiş fiziksel bir kanun farklı bir koordinat sistemine aktarılabaksa, özgün ve yeni biçimi aynı olmalıdır. Vektörler, skaler ölçümler ve matrisler fizik kanunlarının bir parçasıdır. Bu açıdan koordinat dönüşümü, bir koordinat sistemi içerisinde tanımlanmış bir nesneyi (matris, vektör vb.) başka bir koordinat sistemi içerisindeki yeni biçimine dönüştürme işlemidir. S koordinat sistemi içerisinde \mathbf{u} , \mathbf{v} , \mathbf{w} birim vektörlerinin gösterdiği doğrultuda sırasıyla bu , bv , bw bileşenlerine sahip

\mathbf{b} vektörü, $\mathbf{b} = buu + bvv + bww$ bileşenlerin vektörel toplamı olarak verilmiştir. S sistemi içerisindeki vektörel toplam matris formunda $\mathbf{b}_s = [bu \ bv \ bw]^T$ gösterimidir. S sisteminin F sistemi içerisindeki oryantasyonu denklem 2.2’de verilmiştir. \mathbf{b} vektörünün F koordinat sistemi içerisindeki bileşenleri, oryantasyon matrisi ile \mathbf{b} vektörünün S koordinat sistemindeki bileşenlerinin çarpımı ile elde edilmektedir.

$$\mathbf{b}_F = A_{FS,F} \mathbf{b}_S \dots\dots\dots (2.11)$$

Denklem 2.11, S koordinat sisteminde tanımlı \mathbf{b} vektörünün F koordinat sistemi içerisindeki yeni biçimine dönüşüm matrisi ile \mathbf{b} vektörünün çarpımıyla dönüştürülebileceğini gösterir.



Şekil 2.3 T noktasının GKKS’deki konumu

Şekil 2.3’de T noktasının konumu, S kartezyen koordinat sistemine göre $\mathbf{r}_{ST,S}$ konum vektörü ile gösterilmektedir. T noktasının F kartezyen koordinat sistemine göre konum vektörü $\mathbf{r}_{FT,F}$ vektörü ile ifade edilebilecektir. T noktasının GKKS içerisindeki konumu denklem 2.12 kullanılarak belirlenebilecektir.

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{FT,F} &= \mathbf{r}_{FS,F} + \mathbf{r}_{ST,S} \\ \mathbf{r}_{FT,F} &= \mathbf{r}_{FS,F} + A_{FS,F} \mathbf{r}_{ST,S} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.12)$$

Konum vektörlerinin GKKS’ne göre zamana bağlı değişimleri denklem 2.12’nin türevi alınarak bulunabilir. Denklem 2.14’de kullanılan $\mathbf{V}_{ST,S}$ doğrusal ötelemeyi belirten hız ifadesi, T noktasının S kartezyen koordinat sistemine göre bağlı yer değiştirmesidir. F ve S kartezyen koordinat sistemlerinin hızları biliniyorsa $\mathbf{V}_{ST,S}$ bağlı yer değiştirmenin skaler değeri, denklem 2.14’den bulunabilir.

$$\frac{\partial(\mathbf{r}_{FT,F})}{\partial t} = \frac{\partial(\mathbf{r}_{FS,F})}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{A}_{FS,F} \mathbf{r}_{ST,S})}{\partial t}$$

$$\mathbf{V}_{FT,F} = \mathbf{V}_{FS,F} + \frac{\partial(\mathbf{A}_{FS,F})}{\partial t} \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{A}_{FS,F} \frac{\partial(\mathbf{r}_{ST,S})}{\partial t} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\mathbf{V}_{FT,F} = \mathbf{V}_{FS,F} + \boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{V}_{ST,S}$$

$$\mathbf{V}_{FT,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} = \mathbf{V}_{FS,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{V}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} \dots\dots\dots (2.14)$$

Denklem 2.13’de kullanılan doğrusal ötelemeyi ifade eden \mathbf{V} hız değerleri $\boldsymbol{\omega}$ ve \mathbf{r} vektörlerinin vektörel çarpımına eşit olduğunu göstermektedir. Denklemde $\boldsymbol{\omega}$ ve \mathbf{r} vektörleri, buldukları düzlem içerisinde birbirlerine dik ifadelerdir. Bu vektörlerin skaler çarpımları sıfır olacağı için mekanizmaların hareketli uzuvlarının hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılacak lineer denklem sistemin oluşturulmasında bağ şartı olarak kullanılır.

GKKS’ndeki hızların zamana göre değişimi olan uzvun ivme değerlerinin bulunmasında denklem 2.15 kullanılacaktır.

$$\mathbf{V}_{FT,F} = \mathbf{V}_{FS,F} + \boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{V}_{ST,S}$$

$$\frac{\partial(\mathbf{V}_{FT,F})}{\partial t} = \frac{\partial(\mathbf{V}_{FS,F})}{\partial t} + \frac{\partial(\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S})}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{V}_{ST,S})}{\partial t} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\mathbf{a}_{FT,F} = \mathbf{a}_{FS,F} + \boldsymbol{\alpha}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S} + \boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times (\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S}) + 2\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{V}_{ST,S} + \mathbf{a}_{ST,S}$$

Denklem 2.14’e benzer tarzda, denklem 2.15 ile $\mathbf{r}_{ST,S}$ skaler çarpımının sonucunda denklem 2.16 elde edilir. GKKS’nde ivmeleri bilinen iki noktanın bağıl ivmesinin skaler değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

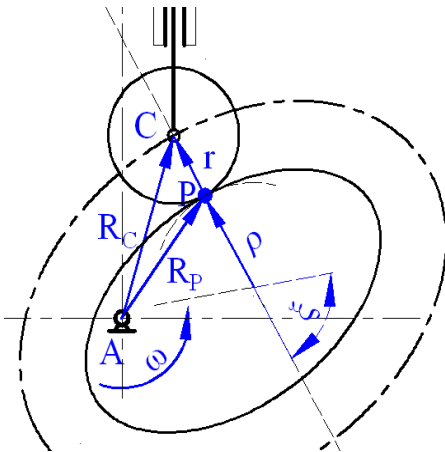
$$\mathbf{a}_{FT,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} = \mathbf{a}_{FS,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \boldsymbol{\alpha}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times (\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{r}_{ST,S}) \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + 2\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{V}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{a}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} \dots\dots (2.16)$$

$$\mathbf{a}_{FT,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} = \mathbf{a}_{FS,F} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \left[\boldsymbol{\omega}_{FS,F} - (\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \cdot \hat{\mathbf{r}}_{ST,S}) \right]^2 r_{ST,S}^2 + 2\boldsymbol{\omega}_{FS,F} \times \mathbf{V}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S} + \mathbf{a}_{ST,S} \cdot \mathbf{r}_{ST,S}$$

Denklem 2.16’daki $\mathbf{V}_{ST,S}$ ve $\mathbf{a}_{ST,S}$ ifadeleri T noktasının S UKKS’ne göre, konum vektörü zamandan bağımsız bir ifade ise uzvun koordinat sisteminde zamana göre değişimi gözlenmeyecektir. Bu vektörlerin GKKS’ndeki dönüşüm ifadeleri de sıfıra eşit olacaktır.

Mekanizma içerisinde hareket iletimini sağlayan kinematik çiftler üzerine yerleştirilen UKKS'leri sayesinde GKKS'nde kurulan vektör eşitlikleri uzuv düzlemleri üzerinde bulunan herhangi bir noktanın hareket yörüngesi ve özellikleri belirlenmektedir. Ancak kam mekanizmalarını incelenmesi sırasında izleyici ve kam profili arasındaki temas noktasında oluşan kayar ya da yuvarlanan kinematik çift için doğrudan UKKS ve oryantasyonu belirlenemez. Shabana (2001) kam mekanizmaları makaralı ve sivri uçlu izleyiciler için verdiği örneklerde; kinematik analizi P temas noktasını tanımlayan kam profilinin ifade eden parametrik fonksiyonlar yardımıyla çözmüştür. Makaralı izleyicisi salınım hareketli kam mekanizmasının açılal yer değiştirmesi ile bağ açısının değeri, kam profilinin dönme merkezinden olan uzaklığı ve bu uzaklığın türevi ile hesaplamıştır (Rothbart 2004).

$$\tan \alpha = \frac{l\rho'(\theta)\sin\varphi + \rho(l\cos\varphi - e)}{\rho'(\theta)(l\cos\varphi - e) - l\rho\sin\varphi}$$



Şekil 2.4 Kam mekanizmasının kinematik çiftlerin GKKS'de konum vektörleri

$$\begin{aligned} V_C &= V_P + \omega \times r \\ a_C &= \dot{V}_C t + \frac{V_C^2}{\rho + r} \mathbf{n} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.17)$$

P yuvarlanan kinematik çiftin GKKS yeri ,ρ eğrilik yarıçapı ve izleyici ile kam arasındaki oryantasyon açısı henüz belirli olmadığından bağıl hız ve ivme bağıntılarının kullanılarak kam mekanizmasının kinematik çözümü oldukça zor bir problem haline dönüşür (denklem 2.17). Bu eksikliklerin giderilmesi için kam mekanizmalarının vektör eşitlikleri belirlenmeden önce oryantasyonu tanımlayacak bağ açısı (μ) ve izleyicinin konumunun belirli analitik denklemler yardımı hesaplanması gerekecektir.

Kam mekanizmaları, kam ve izleyici olarak adlandırılan elemanlar arasında kayar ya da yuvarlanan kinematik çift oluşturacak biçimde, doğrudan ve sürekli temasıyla kamın dönüşü ile izleyiciye istenilen yolu aldırarak mekanizma grubudur. Şekil 2.4’de makaralı izleyicisi doğrusal hareket yapan kam mekanizması verilmiştir. Kamın açıl dönüştürür sırasında kam profili üzerindeki P noktası ile gösterilen kinematik çift yardımıyla iletilen hareket ile düşey doğrultuda kılavuzlanmış makaralı izleyici hareket ettirir.

Kam mekanizmalarının kinematik analizi, seçilen eşdeğer mekanizma ile kam mekanizması arasında kurulan benzeşim yardımıyla gerçekleştirilir (Shingley ve Uicker 1980). Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyiciler için sinüs, sivri uçlu veya makaralı doğrusal hareketli izleyiciler için krank biyel ve sivri uçlu veya makaralı salınım hareketli izleyicili kam mekanizmaları için dört kol mekanizması eşdeğer mekanizma olarak seçimi uygundur (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).

İzleyicinin hareketi yer değiştirme grafiğinde gösterilir. İzleyicinin hareketi, bağımsız parametresi kamın dönüş açısı olan matematik fonksiyonu kullanılarak ifade edilebilir. Denklem 2.18’deki matematiksel fonksiyon izleyicinin hareket kanunu olarak tanımlanır.

$$s = f(\theta) \dots\dots\dots (2.18)$$

İzleyicinin hareket özelliklerinin belirlenmesi, kam profilinin oluşturulması ve bağ açısının hesaplanmasında hareket kanunu önemli bir yere sahiptir. Song (2007) vd atkılı örme makinelerinde kullanılan kam ve iğne arsasındaki reaksiyon kuvvetlerini ve doğrusal olmayan kam profillerinin tasarım parametrelerini belirlediler. Kamın 15 mm hareketi ile iğnenin 13 mm yükselmesini sağlayan cycloidal, harmonik, polinom, çift harmonik ve doğrusal hareket kanunlarına sahip kam profillerinin hareket özellikleri incelendiğinde, doğrusal kam hareketinde 41^0 bağ açısı diğer hareket kanunlarına göre daha uygundur. Fakat bağ açısının değeri aynı zamanda kam genişliğini belirleyen en önemli kısıttır ve değeri artıktıkça genişlik azaltılabilir. İğnenin bir kamdan diğer kama geçişte iğnenin hızının ve ivmesinin sıfır olduğu polinom ve cycloidal kam profili uygundur ancak en yüksek reaksiyon kuvvetleri cycloidal ve polinomial hareket kanunlarında rastlanması sebebiyle ilmek oluşumu sırasında iplik gerilimi diğerlerine nazaran daha büyüktür. Makine hızı artıktıkça darbelerin şiddeti artmaktadır. İğnenin 3000

Hz titreşimiyle kam genişliğinin 5 mm içerisinde oluşan darbenin şiddeti doğrusal hareket kanununda ± 10 N iken harmonik hareket kanununda -2 ile 4 N arasında bulunmaktadır. Özel hareket kanunları yardımıyla darbelerin şiddeti azaltılabilir.

İzleyicinin hızı ve ivmesinin şiddeti hareket kanununun birinci ve ikinci mertebeden zamana bağlı türevleri bulunarak hesaplanır. Denklem 2.19 ve 2.20'de kamın açısal yer değiştirmesinin hız ve ivmesi sırasıyla ω , α sembolleri ile gösterilmiştir.

$$V_c = \frac{ds}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$V_c = s' \omega$$

$$a_c = \frac{d^2s}{d\theta^2} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{ds}{d\theta} \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$a_c = s'' \omega^2 + s' \alpha$$

Genellikle kam mekanizmaları sabit hızda hareket ettirilmektedir. Bu durumda kamın açısal yer değiştirmesi $\theta = \omega.t$ ifadesine eşittir. Hareket kanununun kamın açısal yer değiştirmesine göre s' ve s'' türevleri sırasıyla eşdeğer mekanizma yardımıyla kurulan benzerlikten elde edilen izleyicinin küçültülmüş hız ve ivmesini eşittir.

$$s' = \frac{V_c}{\omega} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$s'' = \frac{a_c}{\omega^2}$$

Navarro vd (2001) tarafından bildirildiğine göre; Gonzalez ve Angeles, bağ açısını farklı tipteki kam mekanizmaları için denklem 2.22'de verilen kamın açısal yer değiştirmesine bağlı iki parametrik fonksiyonun orantısı olduğunu ifade etmişlerdir.

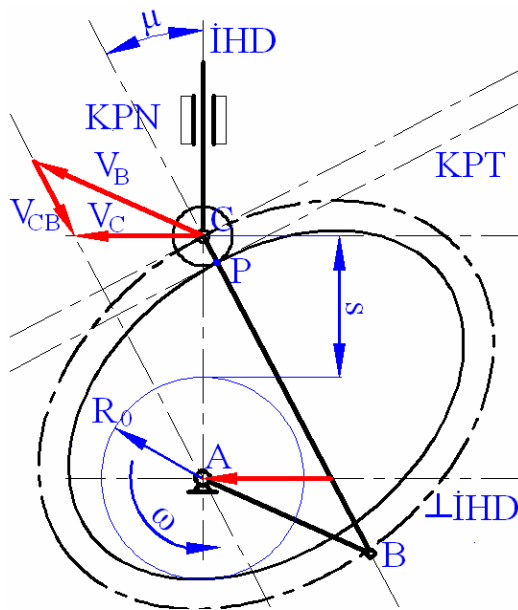
$$\tan\mu(\theta) = \frac{N(\theta)}{D(\theta)} \dots\dots\dots (2.22)$$

Makaralı izleyicinin salınım kolunun dönme merkezinin kamdan uzaklaştırılmasıyla bağ açısının ve reaksiyon kuvvetlerinin azalacağını Gu tarafından bildirildiğini ifade etmektedir. Ancak dönme merkezinin uzaklaştırılması hareket mesafesini de azaltacağını için istenmediğini ifade etmektedir (Neogi 1989).

İzleyicinin herhangi bir konumunda P temas noktasındaki kam profilinin normal doğrultusu (KPN) ile İzleyicinin hareket doğrultusu (İHD) arasındaki bağ açısı denklem 2.22 sayesinde hesaplanabilir. Bağ açısı değişik kaynaklarda eşdeğer mekanizmanın uzuvları arasındaki açıyı belirtmesi nedeniyle hareket iletim açısı ya da Newton kanununu etki tepki prensibine uygun olarak reaksiyon kuvvetinin P temas noktasının normal doğrultusunu üzerinde oluşması nedeniyle basınç açısı olarak da ifade edilmektedir. Bağ açısının büyük değerlere ulaşması hareket iletiminin zorlaşmasına ve mafsallardaki reaksiyon kuvvetlerinin artmasına sebep olur. Bağ açısının izleyici tipine bağlı olarak $\mu_{ek} < \mu < \mu_{eb}$ sınır şartları arasında kalması, kam profilinin tasarımı aşamasının önemli ölçütlerinden biridir. En küçük ve en büyük bağ açısını gerçekleştiren kamın sabit dönüş merkezi A ile izleyicinin hareketine başladığı en alt konum arasındaki mesafe kamın temel daire çapı R_0 olarak belirlenir. Navorro vd (2001) temel daire çapının analitik denklemler yardımıyla optimizasyon probleminin çözümünü bildirmişlerdir.

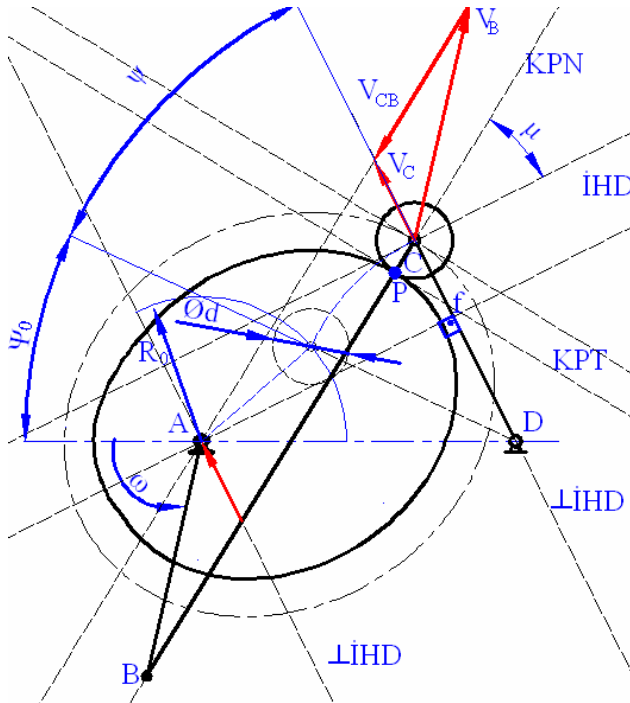
Şekil 2.5’de makaralı izleyicisi doğrusal hareketli kam mekanizmasının eşdeğer krank biyel mekanizması yardımıyla kurulan benzeşim ile kamın açısal yer değiştirmesi ile bağ açısı arasındaki analitik bağıntı denklemi 2.23’de verilmiştir.

$$\tan\mu(\theta) = \frac{s'(\theta)}{R_0 + s(\theta)} \dots\dots\dots (2.23)$$



Şekil 2.5 Makaralı izleyicisi doğrusal hareketli kam mekanizması

Şekil 2.6’da RA14 armür makinesinde tahrik ünitesini oluşturan makaralı izleyicisi salınım hareketi yapan kam mekanizmasının kinematik şeması ve eşdeğer dört kol mekanizmasının kurulumu verilmiştir.



Şekil 2.6 Makaralı izleyicisi salınım hareketi yapan kam mekanizması

Denklem 2.22’ de verilen ifadeye uygun olarak makaralı salınım hareketi izleyiciye sahip kam mekanizmasının bağ açısı tanımlanabilir.

$$\tan\mu(\theta) = \frac{\frac{CD}{AD} [1 + \psi'(\theta)] - \cos(\Psi_0 + \psi)}{\sin(\Psi_0 + \psi)} \dots\dots\dots (2.24)$$

Kam profili üzerindeki P noktasının yeri; $\alpha = 270 + \mu - \psi$ oryantasyon açısına sahip izleyici merkezine yerleştirilen UKKS içerisinde büyüklüğü izleyicinin yarı çapına eşit konum vektörü ile belirlenir. Kam profili üzerindeki temas noktasının GKKS içerisindeki yeri kamın her bir açısal yer değiştirmesine karşılık gelecek şekilde belirlendiğinde kam profili oluşturulabilecektir.

Bir katı cismin düzlem içerisindeki serbest hareketi D’Alembert prensibi kullanılarak açıklanır. Cisme etki eden tüm kuvvet ve momentlerin vektörel toplamı, cismin kütle merkezinin hareketinden kaynaklanan atalet kuvveti ve momentine vektörel eşitliği, cismin statik dengesini ifade eder.

$$\sum_i F_i = m\bar{a}$$

$$\sum_i M_i = I\bar{\alpha}$$

Bir kuvvetin belirli bir nokta etrafında meydana getirdiği moment $M = F \times r$ kuvvet ve konum vektörlerinin vektörel çarpımıdır.

$$M = F \times r$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.25)$$

Vektörel çarpım yerine yarı simetrik matris yardımıyla iki matrisin çarpımı işlemi kullanılabilir.

$$M = \tilde{F}r$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -F_z & F_y \\ F_z & 0 & -F_x \\ -F_y & F_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\pi + \alpha) & -\sin(\pi + \alpha) & 0 \\ \sin(\pi + \alpha) & \cos(\pi + \alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.26)$$

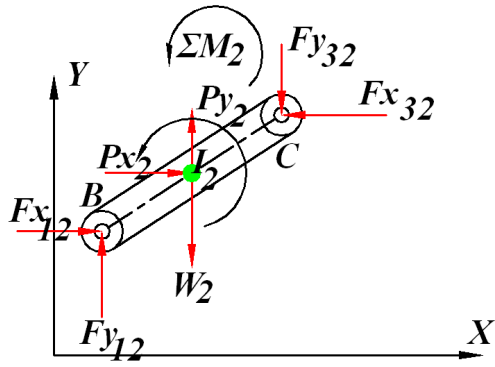
Düzlem mekanizmalarda oluşan reaksiyon kuvvetlerinin kartezyen koordinat sistemi üzerindeki bileşenleri $F_x=F_{x12}$, $F_y=F_{y12}$, $F_z=0$ ve kuvvetin moment tesirinin oluşturduğu noktaya olan uzaklığı $r_x=X$, $r_y=Y$, $r_z=0$ ile ifade edildiğinde denklem 2.26'nın çözümü denklem 2.27'deki gibi ifade edilebilecektir.

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_{x12}(X \sin(\pi + \alpha) + Y \cos(\pi + \alpha)) - F_{y12}(X \cos(\pi + \alpha) - Y \sin(\pi + \alpha)) \end{bmatrix} \dots\dots (2.27)$$

$$c_{m1} = X \sin(\pi + \alpha) + Y \cos(\pi + \alpha)$$

$$c_{m2} = -(X \cos(\pi + \alpha) - Y \sin(\pi + \alpha)) \dots\dots\dots (2.28)$$

Mekanizmayı oluşturan uzuvların her biri, diğer uzuvlarla temas noktalarından ayrılarak, her bir kinematik çifti temsil edecek mafsal reaksiyon kuvvetlerinin ve cismi kütle merkezine yerleştirilen ağırlığı, atalet kuvvet ve momentinin serbest cisim diyagramı üzerinde gösterimi D'Alembert prensibinin uygulanışını kolaylaştırır (denklem 2.29).



Şekil 2.7 Serbest cisim diyagramı

$$Fx_{12} - Fx_{32} = m_2 \bar{a}_{x2}$$

$$Fy_{12} - Fy_{32} - W_2 = m_2 \bar{a}_{y2} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

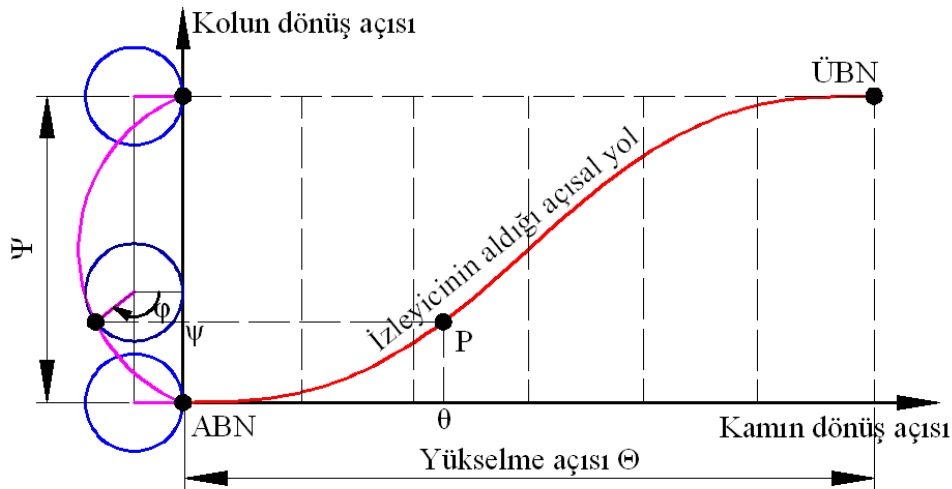
$$\sum_i M_{2i} + c_{11} Fx_{12} + c_{12} Fy_{12} + c_{13} Fx_{32} + c_{14} Fy_{32} = I_2 \bar{\alpha}_2$$

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kinematik Analiz

Mekanizmayı oluşturan uzuvların birbirlerine göre bağıl harekette bulunan kinematik çiftlerin, kütle merkezleri ve özel bir yörüngeyi takip etmesi için tasarlanmış bir kinematik elemanın, mekanizmanın hareketi esnasında konumlarının belirlenmesi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla armür makinesinin kinematik analizi için aşağıdaki belirtilen aşamalar takip edilebilir.

RA14 armür makinesi tahrik mekanizması; makaralı izleyicisi salınım hareketli cycloidal hareket kanuna uygun olarak hareket eden şekil kapalı kam mekanizması ve izleyicinin 30° salınım hareketini 180° artıran düz dişli hareket aktarma mekanizmasından oluşturulmuştur. Armür makinesinin 1000 dev/dak hızlarda da çalışmasını sağlamak amacıyla izleyicinin seçim mekanizmasının kamın 60° açıda bekleme yapması istenmektedir. Yueyang ve Ruiqi (2003) Staubli 2521 negatif armürün pozitif armüre dönüştürülmesi çalışmalarında, tasarladıkları seçim mekanizması içinde kam mekanizmasının 60° bekleme hareketi üretmesini istemektedir. Yapılan çalışmada kancanın sabit bıçaklara takılması, bekleme hareketinin sonunda kısıtlı bir zamanda gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.1 Cycloidal hareket kanunu

Tahrik ünitesinin kam mekanizmasının izleyicisi cycloidal hareket kanununa uygun yer değiştirme hareketi gerçekleştirir. Genel cycloidal hareket kanunu, bir doğru üzerinde kaymadan yuvarlanan çember üzerinde bulunan sabit bir noktanın gerçekleştirdiği yer değiştirmeyi tarif eder. Şekil 3.1’de kamın dönüş açısına göre cycloidal hareket kanununun uygun yer değiştirmenin grafiği gösterilmiştir. P noktasının üzerinde bulunduğu çemberin yarıçapı l ; çemberin 2π ’lik dönüşünde izleyicinin aldığı Ψ açısal aldığı yolu sağlayacak şekilde denklem 3.1’de belirlenir.

$$l = \frac{\Psi}{2\pi} \dots\dots\dots (3.1)$$

P noktasının çember üzerindeki açısal dönüşünü, Θ kamın yükselme açısı içerisinde tamamlandığı için kamın belirli bir θ açısal dönüşünde P noktasının çember üzerindeki alacağı açısal yol φ denklem 3.2’den hesaplanır.

$$\varphi = \frac{2\pi}{\Theta} \theta \dots\dots\dots (3.2)$$

Çember merkezinin kamın toplam yükselme açısı Θ içinde toplam Ψ kadar yolu aldığından, kamın belirli bir açısal dönüşünde merkezin alacağı açısal yol ψ denklem 3.3 ile belirlenir.

$$\psi = \frac{\Psi}{\Theta} \theta \dots\dots\dots (3.3)$$

Grafikte elde edilen izleyicinin açısal yer değiştirmesi denklem 3.1, 3.4 ve 3.3 kullanılarak P noktasının cycloidal hareket kanununa göre salınım kolunun alacağı açısal yer değiştirmesi denklem 3.5 ile hesaplanır.

$$\psi = \Psi \left[\frac{\theta}{\Theta} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi}{\Theta} \theta \right) \right] \dots\dots\dots (3.5)$$

Armür bıçağının 180^0 ’lik salınım hareketi ile tüm çerçevelerin yükselme ve alçalma hareketlerine aynı anda başlayıp tamamlamaları için RA14 tahrik ünitesindeki kamın dönüş açısı eşit bekleme ve yer değiştirme pozisyonlarına ayrılmıştır. Çerçevelerin belirli hareketlerini sağlamak amacıyla kamının toplam 360^0 ’lik dönüş açısı; alt bekleme noktasında (ABN) 60^0 ’lik, toplam yükselme açısı (Θ_y) 120^0 ’lik, üst bekleme

noktasında (ÜBN) 60⁰'lik ve toplam alçalma açısı (Θ_a) 120⁰'lik kısımlara ayrılmıştır (Abdulla 2006).

Şekil 2.6'da izleyicinin salınım hareketine başladığı konumun açısal değeri Ψ₀= 0,71013509 rad, kam mekanizmasının tasarımı sırasında belirlenen izleyicinin ABN'da kamın dönüş merkezinden olan uzaklığı R₀ = 55+26 mm, kamın ve salınım kolunun dönme merkezi arasındaki AD= 120 mm ve salınım kolunun uzunluğu CD = 70 mm değerleri kullanılarak cosinüs bağıntısı yardımıyla hesaplanır (Abdulla 2006).

$$\Psi_0 = \cos^{-1} \left(\frac{(AD)^2 + (DC)^2 - (AC)^2}{2(AD)(DC)} \right)$$

Salınım kolunun kamın açısal yer değiştirmesine karşılık gelen genel eşitlik denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\psi = \Psi_0 \pm \Psi \left[\frac{\theta}{\Theta} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi}{\Theta} \theta \right) \right] \dots \dots \dots (3.6)$$

Hareket kanununun belirlediği yer değiştirmesi ile ABN'dan belirlenen Ψ₀ konumunun toplanmasıyla izleyicinin yükselme anında aldığı açısal yer değiştirme denklem 3.7 ve ÜBN Ψ₀'dan çıkarılmasıyla izleyicinin alçalma anında aldığı açısal yer değiştirmesi denklem 3.8 kullanılarak hesaplanır.

$$\psi = 0,71013509 + \frac{\pi}{6} \left[\frac{3\theta}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \sin(3\theta) \right] \dots \dots \dots (3.7)$$

$$\psi = 1,19270021 - \frac{\pi}{6} \left[\frac{3\theta}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \sin(3\theta) \right] \dots \dots \dots (3.8)$$

Salınım kolunun yükselme ve alçalma hareketi sırasında kamın açısal yer değiştirmesine göre küçültülmüş açısal hız ve ivme denklemleri hareket kanununun birinci ve ikinci mertebe türevleri denklem 3.9 ve 3.10'de verilmiştir.

$$\psi' = \frac{\pi}{6} \left[\frac{3}{2\pi} - \frac{3}{2\pi} \cos(3\theta) \right] \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\psi'' = \frac{\pi}{6} \left[\frac{9}{2\pi} \sin(3\theta) \right]$$

$$\psi' = -\frac{\pi}{6} \left[\frac{3}{2\pi} - \frac{3}{2\pi} \cos(3\theta) \right] \dots\dots\dots (3.10)$$

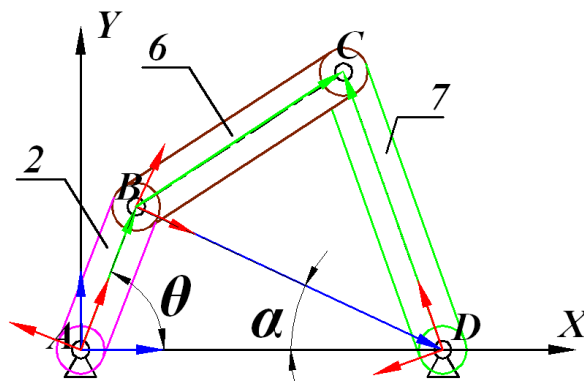
$$\psi'' = -\frac{\pi}{6} \left[\frac{9}{2\pi} \sin(3\theta) \right]$$

Salınım kolunun açısal hız ve ivmesi denklem 2.21 de tarif edildiği gibi küçültülmüş hız ve ivme değerlerinin kamın açısal hızı ile çarpımıyla elde edilir (denklem 3.11). Deney setinin tasarımı sırasında armürün 500 devir/dak hızla çalıştırılacağı öngörülmüştür (Abdulla 2006).

$$\dot{\psi} = \psi' \omega \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\ddot{\psi} = \psi'' \omega^2$$

Armür bıçağını hareket ettiren 2, 6 ve 7 nolu uzuvlar dört kol mekanizmasını oluşturur. Mekanizmanın kinematik çiftleri büyük harflerle Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Kinematik analiz, mekanizmayı oluşturan kinematik çiftlerin seçilen bir kartezyen koordinat eksenine göre konumlarının bulunması olarak tanımlanabilir. GKKS A kinematik çiftin merkezine yerleştirilmiştir. B kinematik çiftin GKKS’ ne göre konumlarının belirlenmesi amacıyla ikinci bir kartezyen koordinat sistemi, A kinematik çift üzerine uzuv koordinat sistemi olarak atanmıştır. Bir diğer UKKS B kinematik çift üzerine şekilde gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Rotatif armürün uzuv koordinat sistemlerinin gösterimi

Denklem 3.12, C kinematik çiftinin GKKS içindeki konumunu belirleyecektir.

$$\mathbf{r}_{OC,O} = \mathbf{r}_{OA,O} + \mathbf{r}_{AB,O} + \mathbf{r}_{BC,O}$$

$$\mathbf{r}_{OC,O} = \mathbf{r}_{OA,O} + \mathbf{A}_{SO,O} \mathbf{r}_{AB,S} + \mathbf{A}_{TO,O} \mathbf{r}_{BC,T} \dots\dots\dots (3.12)$$

C noktasının konumunu hesaplayabilmek için denklem 3.12’de verilen vektörel ifadeler, denklem 2.11 kullanılarak GKKS’ndeki değerlerine dönüştürülmelidir. Gerekli dönüşümün yapılabilmesi için atanmış uzuv koordinat sistemlerinin GKKS’ne göre oryantasyon matrisleri denklem 2.7’e göre hesaplanmalıdır. Denklem 3.14 ve 3.16 sırasıyla A ve B noktasına yerleştirilmiş uzuv koordinat sistemlerinin genel kartezyen sistemine göre oryantasyon matrisini ifade etmektedir. Denklem 3.13, denklem 3.15 ve denklem 3.17 ise sırasıyla O GKKS A noktasının, S UKKS’de B noktasının ve T UKKS’de C noktasının zamana göre kartezyen koordinat sistemlerine göre değişimi bulunmayan konum vektörlerini ifade etmektedir.

$$\mathbf{r}_{OA,O} = [0 \ 0 \ 0]^T \dots\dots\dots (3.13)$$

$$A_{OA,O} = R_1(\theta, [0, 0, 1])$$

$$R_1(\theta, [0, 0, 1]) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\mathbf{r}_{AB,A} = [a \ 0 \ 0]^T \dots\dots\dots (3.15)$$

$$A_{OB,O} = R_2(\alpha, [0, 0, 1])$$

$$R_2(\alpha, [0, 0, 1]) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.16)$$

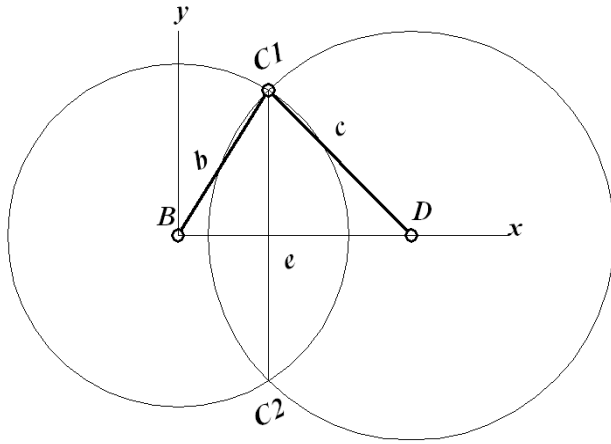
$$\mathbf{r}_{BC,B} = [x_1 \ y_1 \ 0]^T \text{ veya } \mathbf{r}_{BC,B} = [x_1 \ y_2 \ 0]^T \dots\dots\dots (3.17)$$

Şekil 3.3’de verilen C kinematik çiftinin T UKKS’de konumu iki çemberin kesişim noktasının geometrik yerini veren analitik denklemlerin çözülmesiyle hesaplanabilmektedir. BD arasındaki uzaklık kosinüs teoremi kullanılarak denklem 3.18’de hesaplanmaktadır.

$$e^2 = a^2 + d^2 - 2ad \cos \theta \dots\dots\dots (3.18)$$

Şekil 3.3 deki çemberlerin analitik denklemleri $x^2 + y^2 = b^2$ ve $(x-e)^2 + y^2 = c^2$ şeklinde gösterilir. Denklemlerden y^2 ifadesi çekilirse C_1 ve C_2 noktasının B noktasına olan x_1 uzaklığı bulunur. İlk denklemde x yerine x_1 ifadesi kullanılırsa, denklem 3.19 ile B noktasına olan y_1 ve y_2 düşey uzaklıkları hesaplanır. C_1 noktası için $C(x_1, y_1)$, C_2 noktası için $C(x_1, y_2)$ koordinatları seçilerek konumları belirlenir.

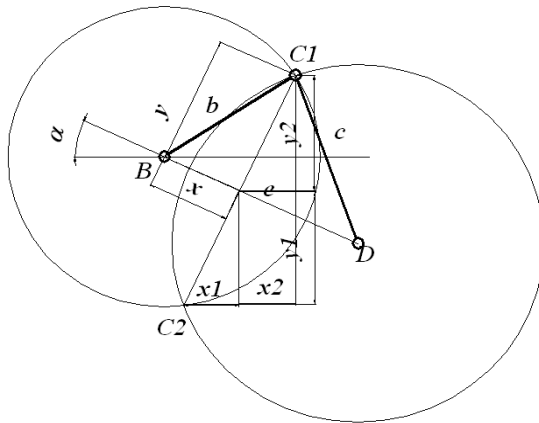
$$x_1 = (e^2 + b^2 - c^2)/2e, y_1 = \sqrt{b^2 - x_1^2}, y_2 = -\sqrt{b^2 - x_1^2} \dots\dots\dots (3.20)$$



Şekil 3.3 İki çemberin kesişim noktasının bulunması

Koordinat sisteminin dönme açısı α , arctan fonksiyonu kullanılarak denklem 3.21 ile hesaplanır. B noktasına yerleştirilmiş uzuv koordinat sisteminin birim vektörlerinden biri D noktasından geçecek şekilde seçilirse, C noktasının birim vektörler yönündeki uzaklığı denklem 3.20'de verilen değerlere eşit ve oryantasyonu Şekil 3.4 'de gösterildiği gibi olacaktır.

$$\alpha = \arctan \left[\frac{(D_y - B_y)}{(D_x - B_x)} \right] \dots\dots\dots (3.21)$$



Şekil 3.4 Seçilen uzuv koordinat sisteminin açısal dönmesi

Uzuv açısal koordinat sistemlerinin sırası ile belirlenen dönme açıları θ ve α , sabit dönme eksenini tanımlayan $\hat{a}=[0,0,1]^T$ birim vektörü kullanılarak uzuvların oryantasyon matrisleri denklem 3.14 ve 3.16 ile hesaplanır. C noktasının genel kartezyen koordinat

içerisinde konumunu veren matris, denklem 3.22’de verilmiştir. Bulunan oryantasyon matrisleri denklem 3.12 içerisinde kullanılarak, mekanizmanın hareketini sağlayan kinematik çiftlerinin Ek-2’deki konumları bulunmuştur.

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos \theta + x_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha \\ a \sin \theta + x_1 \sin \alpha + y_1 \cos \alpha \\ 0 \end{bmatrix}$$

Mekanizma uzuvlarının GKKS’ ne göre açısal hızlarını belirlemek için denklem 2.13’den yararlanır. Seçilen UKKS ’ nde kinematik çiftlerin tek serbestlik derecesine sahip döner kinematik çift olması nedeniyle denklem 2.14’ de verilen $V_{ST,S}$ konum vektörlerinin bağıl yer değiştirmelerinin değerleri sıfıra eşittir.

A noktasına yerleştirilmiş olan UKKS ’ ne göre sabit uzaklıkta bulunan B noktasının hızı, denklem 3.23’deki vektörel eşitlikle belirlenir. A noktasının GKKS’ ndeki V_A hızı sıfıra eşittir. B noktasının GKKS’deki V_B hızı, 2 nolu uzvun açısal hızı ile UKKS’deki konum vektörünün çarpımına eşittir. Vektörel çarpma işlemi sırasında birim vektörlerin vektörel çarpımlarının yerine denklem 3.24’de verilen matrislerin çarpımı işlemi ile sonuç bulunur.

$$V_B = V_A + V_{B/A}$$

$$V_B = V_A + \omega_{BA,O} \times r_{BA,O} + V_{BA,A} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$V_B = \begin{bmatrix} \omega_{BA,O} \cdot p \\ \omega_{BA,O} \cdot q \\ \omega_{BA,O} \cdot t \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{BA,O} \cdot p & r_{BA,O} \cdot q & r_{BA,O} \cdot t \end{bmatrix}^T$$

$$V_B = \tilde{\omega}_{BA,O} r_{BA,O} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$V_B = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{BA,O} \cdot t & \omega_{BA,O} \cdot q \\ \omega_{BA,O} \cdot t & 0 & -\omega_{BA,O} \cdot p \\ -\omega_{BA,O} \cdot q & \omega_{BA,O} \cdot p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{BA,O} \cdot p & r_{BA,O} \cdot q & r_{BA,O} \cdot t \end{bmatrix}^T \dots\dots\dots (3.25)$$

Denklem 3.25, $\omega_{BA,O}$ açısal hız vektör bileşenlerini kullanarak yarı simetrik matris biçiminde gösterimini ve konum vektörü ile matris çarpımını göstermektedir.

V_B hızının GKKS'deki bileşenlerinin değerleri, denklem 3.26 kullanılarak bulunabilmektedir.

$$V_B = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [a \cos \theta \quad a \sin \theta \quad 0]^T \dots\dots\dots (3.26)$$

$$V_B = \begin{bmatrix} -\dot{\theta} a \sin \theta \\ \dot{\theta} a \cos \theta \\ 0 \end{bmatrix}$$

C noktasının GKKS'de hızı denklem 3.27 kullanılarak hesaplanabilir. Ancak $r_{C/O}$ konum vektörünün zamana göre bağlı yer değiştirmesi $V_{C/O}$ hızının hesaplanması gerekecektir. Bu bağıntı denklem 3.28'de olduğu gibi kurulursa C noktasının 7 nolu uzva ait UKKS'ne göre $r_{C/D}$ konum vektörünün zamana bağlı değişimi UKKS'de $V_{C/D}$ ve GKKS'de $V_{C/O}$ bağlı hızı sıfıra eşit olacaktır.

$$V_C = V_O + V_{C/O} \dots\dots\dots (3.27)$$

$$V_C = V_O + \omega_{C/O} \times r_{C/O} + V_{C/O}$$

D noktasına göre sabit bir uzaklıkta yer değiştirme hareketi yapan C noktasının GKKS'deki V_C hızı, denklem 3.28'de verilen vektör eşitliği ile belirlenir. Ancak $V_{C/D}$ hızı, denklem 3.29 verilen matrislerin çarpımı ifadesi kullanılarak denklem 3.30'dan değeri hesaplanır. Denklem 3.29'de $\dot{\beta}$ ifadesi 7 nolu kolun GKKS'de açısal hızının ifade eder.

$$V_C = V_D + V_{C/D} \dots\dots\dots (3.28)$$

$$V_C = V_D + \omega_{C/D} \times r_{C/D} + V_{C/D}$$

$$V_C = \begin{bmatrix} \omega_{C/D} \cdot p \\ \omega_{C/D} \cdot q \\ \omega_{C/D} \cdot t \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} r_{C/D} \cdot p & r_{C/D} \cdot q & r_{C/D} \cdot t \end{bmatrix}^T$$

$$V_C = \tilde{\omega}_{C/D} r_{C/D} \dots\dots\dots (3.29)$$

$$V_C = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{C/D} \cdot t & \omega_{C/D} \cdot q \\ \omega_{C/D} \cdot t & 0 & -\omega_{C/D} \cdot p \\ -\omega_{C/D} \cdot q & \omega_{C/D} \cdot p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{C/D} \cdot p & r_{C/D} \cdot q & r_{C/D} \cdot t \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{V}_C = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} & 0 \\ \dot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - D_x & C_y - D_y & 0 \end{bmatrix}^T \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

$$\mathbf{V}_C = \begin{bmatrix} -\dot{\beta}(C_y - D_y) \\ \dot{\beta}(C_x - D_x) \\ 0 \end{bmatrix}$$

İki noktasının hızı bilinen biyel kolunun üzerinde seçilecek UKKS' ne göre bağıl hız denklemi 3.31 kurulur. $\mathbf{V}_{CB,B}$ hızı C noktasının B noktası etrafındaki bağıl yörüngesinin sabit olması nedeniyle sıfıra eşittir.

$$\mathbf{V}_C = \mathbf{V}_B + \mathbf{V}_{CB} \quad \dots\dots\dots (3.31)$$

$$\mathbf{V}_C = \mathbf{V}_B + \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} + \mathbf{V}_{CB,B}$$

$\mathbf{V}_{C/B}$ hızı denklem 3.32 verilen matrislerin çarpımına dönüştürülerek denklem 3.33 değeri hesaplanır.

$$\mathbf{V}_{C/B} = \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O}$$

$$\mathbf{V}_{C/B} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} \\ \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \quad \dots\dots\dots (3.32)$$

$$\mathbf{V}_{C/B} = \tilde{\boldsymbol{\omega}}_{CB,O} \mathbf{r}_{CB,O}$$

$$\mathbf{V}_{C/B} = \begin{bmatrix} 0 & -\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} & \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} & 0 & -\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} \\ -\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{V}_{C/B} = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\alpha} & 0 \\ \dot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - a \cos \theta & C_y - a \sin \theta & 0 \end{bmatrix}^T \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

$$\mathbf{V}_{C/B} = \begin{bmatrix} -\dot{\alpha}(C_y - a \sin \theta) \\ \dot{\alpha}(C_x - a \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Denklem 3.33'de $\dot{\alpha}$ ifadesi biyel kolunun GKKS'de açılma hızının ifade eder. Denklemi 3.31'da verilen bağıl hız denklemi kullanılarak hız matrislerinin oluşturduğu matris eşitliği denklem 3.34 elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} -\dot{\beta}(C_y - D_y) \\ \dot{\beta}(C_x - D_x) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\dot{\theta}a \sin \theta \\ \dot{\theta}a \cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\dot{\alpha}(C_y - a \sin \theta) \\ \dot{\alpha}(C_x - a \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.34)$$

$$\begin{bmatrix} (C_y - a \sin \theta) & -(C_y - D_y) \\ -(C_x - a \cos \theta) & (C_x - D_x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}a \sin \theta \\ \dot{\theta}a \cos \theta \end{bmatrix}$$

Denklem 3.34 birinci dereceden iki bilinmeyenli nonlineer bir denklem sistemidir. Denklem sisteminin çözümü denklem 3.35’de verilmiştir. RA14 armür makinesinin denklem 3.35’den hesaplanan $\dot{\alpha}$ (6 nolu biyel kolu) açısal hızı ve $\dot{\beta}$ (7 nolu kol) açısal hızları Ek-1’de verilmiştir.

$$\dot{\alpha} = \frac{(C_y - D_y)\dot{\theta}a \cos \theta - (C_x - D_x)\dot{\theta}a \sin \theta}{(C_x - D_x)(C_y - a \sin \theta) - (C_y - D_y)(C_x - a \cos \theta)} \dots\dots\dots (3.35)$$

$$\dot{\beta} = \frac{(C_y - a \sin \theta)\dot{\theta}a \cos \theta - (C_x - a \cos \theta)\dot{\theta}a \sin \theta}{(C_x - D_x)(C_y - a \sin \theta) - (C_y - D_y)(C_x - a \cos \theta)}$$

Mekanizma uzuvlarının GKKS’ ne göre açısal ivmelerini belirlemek için denklem 2.15’den yararlanır. Seçilen UKKS’ nde kinematik çiftlerin tek serbestlik derecesine sahip döner kinematik çift olması nedeniyle konum vektörünün bağıl yer değiştirmesinin denklem 2.16’da verilen $V_{ST,S}$ ile verilen $a_{ST,S}$ değerleri sıfıra eşittir.

A noktasına yerleştirilmiş olan UKKS’ ne göre sabit uzaklıkta bulunan B noktasının ivmesi, denklem 3.36’deki vektörel eşitlikle belirlenir. A noktasının GKKS’ ndeki a_A ivmesi sıfıra eşittir. A noktasının B noktasına göre bağıl hareketi UKKS’ ne göre zamana göre sabit $r_{BA,A}$ konum vektörü ile ifade edilmektedir. B noktasının GKKS’ deki a_B ivmesi, 2 nolu uzvun açısal ivme ve konum vektörünün vektörel çarpımının sonucu olan teğetsel bileşen ile açısal hız ve konumun üçlü vektörel çarpımından elde edilen normal bileşenin toplamına eşittir (denklem 3.37).

$$a_B = a_A + a_{BA,O} \times r_{BA,O} + \omega_{BA,O} \times (\omega_{BA,O} \times r_{BA,O}) + 2\omega_{BA,O} \times V_{BA,O} + a_{AB,A} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$a_B = a_{BA,O} \times r_{BA,O} + \omega_{BA,O} \times (\omega_{BA,O} \times r_{BA,O}) \dots\dots\dots (3.37)$$

Vektörel çarpma işlemi sırasında birim vektörlerin vektörel çarpımı yerine denklem 3.38 ve 3.39’de verilen matrislerin çarpımı işlemleriyle hesaplanır.

$$\begin{aligned}
\mathbf{a}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O} &= \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} \\ \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \\
\mathbf{a}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O} &= \tilde{\mathbf{a}}_{BA,O} \mathbf{r}_{BA,O} \\
\mathbf{a}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O} &= \begin{bmatrix} 0 & -\mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} & \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} & 0 & -\mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} \\ -\mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{a}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \\
\mathbf{a}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O} &= \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\theta} & 0 \\ \ddot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \cos \theta & a \sin \theta & 0 \end{bmatrix}^T \\
\mathbf{a}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O} &= \begin{bmatrix} -\ddot{\theta} a \sin \theta \\ \ddot{\theta} a \cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.38)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O}) &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} \\ \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \left(\begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} \\ \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{BA,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \right) \\
\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O}) &= \tilde{\boldsymbol{\omega}}_{BA,O} \tilde{\boldsymbol{\omega}}_{BA,O} \mathbf{r}_{BA,O} \\
\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O}) &= \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \cos \theta & a \sin \theta & 0 \end{bmatrix}^T \\
\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \mathbf{r}_{BA,O}) &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}^2 a \cos \theta \\ -\dot{\theta}^2 a \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.39)
\end{aligned}$$

B noktasının GKKS'deki ivmesi denklem 3.40' da verilen matris yardımıyla hesaplanır.

$$\mathbf{a}_B = \begin{bmatrix} -\ddot{\theta} a \sin \theta - \dot{\theta}^2 a \cos \theta \\ \ddot{\theta} a \cos \theta - \dot{\theta}^2 a \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.40)$$

C noktasının GKKS'de ivmesi hız denklemlerinde olduğu gibi D noktası kullanılarak hesaplanabilir. D noktasına göre sabit bir uzaklıkta yer değiştirme hareketi yapan C noktasının GKKS'deki \mathbf{a}_C ivmesi, denklem 3.41'da verilen vektör eşitliği ile belirlenir. D noktasının GKKS içerisinde zamana göre yer değiştirmemesi denklemde

\mathbf{a}_D değeri ve C noktasının D noktasına göre sabit $\mathbf{r}_{BA,A}$ vektörünün gösterdiği yörüngeyi takip etmesi sebebiyle iki noktanın bir birine göre $\mathbf{V}_{CD,O}$ bağlı hızı ve $\mathbf{a}_{CD,O}$ bağlı ivmesi sifıra eşit olacaktır.

$$\mathbf{a}_C = \mathbf{a}_D + \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} + \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{V}_{CD,O} + \mathbf{a}_{CD,O} \dots \dots \dots (3.41)$$

Vektörel çarpma işlemi sırasında birim vektörlerin vektörel çarpımı yerine denklem 3.42 ve 3.43’de verilen matrislerin çarpımı işlemi uygulanır.

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} &= \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} \\ \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \\ \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} &= \tilde{\mathbf{a}}_{BA,O} \mathbf{r}_{BA,O} \\ \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} &= \begin{bmatrix} 0 & -\mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} & \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} & 0 & -\mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} \\ -\mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{a}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \\ \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} &= \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\beta} & 0 \\ \ddot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - D_x & C_y - D_y & 0 \end{bmatrix}^T \\ \mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} &= \begin{bmatrix} -\ddot{\beta}(C_y - D_y) \\ \ddot{\beta}(C_x - D_x) \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.42) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O}) &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \left(\begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CD,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T \right) \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O}) &= \tilde{\boldsymbol{\omega}}_{CD,O} \tilde{\boldsymbol{\omega}}_{CD,O} \mathbf{r}_{CD,O} \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O}) &= \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} & 0 \\ \dot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} & 0 \\ \dot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - D_x & C_y - D_y & 0 \end{bmatrix}^T \\ \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O}) &= \begin{bmatrix} -\dot{\beta}^2(C_x - D_x) \\ -\dot{\beta}^2(C_y - D_y) \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.43) \end{aligned}$$

C noktasının GKKS'deki ivmesi denklem 3.44' de verilen matris yardımıyla hesaplanır. Denklem'de $\dot{\beta}$ ve $\ddot{\beta}$ ifadeleri sırasıyla 7 nolu kolun GKKS'de açısal hız ve ivmesini ifade eder.

$$\mathbf{a}_C = \begin{bmatrix} -\ddot{\beta}(C_y - D_y) - \dot{\beta}^2(C_x - D_x) \\ \ddot{\beta}(C_x - D_x) - \dot{\beta}^2(C_y - D_y) \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.44)$$

İki noktasının ivmesi bilinen biyel kolunun üzerinde seçilecek UKKS' ne göre bağlı ivme denklemi 3.45 kurulur. $\mathbf{V}_{CB,O}$ hızı ve $\mathbf{a}_{CB,O}$ ivmesi C noktasının B noktası etrafındaki bağlı yörüngesinin sabit olması nedeniyle sıfıra eşittir.

$$\mathbf{a}_C = \mathbf{a}_B + \mathbf{a}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} + \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \mathbf{V}_{CB,O} + \mathbf{a}_{CB,O} \dots\dots\dots (3.45)$$

Vektörel çarpma işlemi sırasında birim vektörlerin vektörel çarpımı yerine denklem 3.46 ve 3.47'da verilen matrislerin çarpımı işlemi uygulanır.

$$\mathbf{a}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} \\ \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{a}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} = \tilde{\mathbf{a}}_{CB,O} \mathbf{r}_{CB,O}$$

$$\mathbf{a}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} = \begin{bmatrix} 0 & -\mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} & \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} \\ \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} & 0 & -\mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} \\ -\mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{a}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{p} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{q} & \mathbf{r}_{CB,O} \cdot \mathbf{t} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{a}_{CB,O} \times \mathbf{r}_{CB,O} = \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\alpha} & 0 \\ \ddot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - a \cos \theta & C_y - a \sin \theta & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{a}_{CD,O} \times \mathbf{r}_{CD,O} = \begin{bmatrix} -\ddot{\alpha}(C_y - a \sin \theta) \\ \ddot{\alpha}(C_x - a \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.46)$$

$$\begin{aligned}
\omega_{CB,O}^X(\omega_{CB,O}^X r_{CB,O}) &= \begin{bmatrix} \omega_{CB,O} \cdot p \\ \omega_{CB,O} \cdot q \\ \omega_{CB,O} \cdot t \end{bmatrix} \times \left(\begin{bmatrix} \omega_{CB,O} \cdot p \\ \omega_{CB,O} \cdot q \\ \omega_{CB,O} \cdot t \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{CB,O} \cdot p & r_{CB,O} \cdot q & r_{CB,O} \cdot t \end{bmatrix}^T \right) \\
\omega_{CB,O}^X(\omega_{CB,O}^X r_{CB,O}) &= \tilde{\omega}_{CB,O} \tilde{\omega}_{CB,O} r_{CB,O} \\
\omega_{CB,O}^X(\omega_{CB,O}^X r_{CB,O}) &= \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\alpha} & 0 \\ \dot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\alpha} & 0 \\ \dot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_x - a \cos \theta & C_y - a \sin \theta & 0 \end{bmatrix}^T \\
\omega_{CB,O}^X(\omega_{CB,O}^X r_{CB,O}) &= \begin{bmatrix} -\dot{\alpha}^2 (C_x - a \cos \theta) \\ -\dot{\alpha}^2 (C_y - a \sin \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.47)
\end{aligned}$$

Elde edilen matris ifadeleri Denklem 3.45 içerisinde yazıldığında GKKS’de biyel kolu ve 7 nolu kolun açısıl ivmelerin belirlenmesinde kullanılan denklem matris eşitliği kurulmuş olacaktır (denklem 3.48).

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} -\ddot{\beta}(C_y - D_y) \\ \ddot{\beta}(C_x - D_x) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\dot{\beta}^2(C_x - D_x) \\ -\dot{\beta}^2(C_y - D_y) \\ 0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\ddot{\theta}a \sin \theta - \dot{\theta}^2 a \cos \theta \\ \ddot{\theta}a \cos \theta - \dot{\theta}^2 a \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\ddot{\alpha}(C_y - a \sin \theta) \\ \ddot{\alpha}(C_x - a \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\dot{\alpha}^2(C_x - a \cos \theta) \\ -\dot{\alpha}^2(C_y - a \sin \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots (3.48) \\
\begin{bmatrix} C_y - a \sin \theta & -(C_y - D_y) \\ -(C_x - a \cos \theta) & C_x - D_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\ddot{\theta}a \sin \theta - \dot{\theta}^2 a \cos \theta - \dot{\alpha}^2(C_x - a \cos \theta) + \dot{\beta}^2(C_x - D_x) \\ \ddot{\theta}a \cos \theta - \dot{\theta}^2 a \sin \theta - \dot{\alpha}^2(C_y - a \sin \theta) + \dot{\beta}^2(C_y - D_y) \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Denklem 3.48 birinci dereceden iki bilinmeyenli nonlineer bir denklem sistemidir. Denklem sisteminin çözümü denklem 3.49’de verilmiştir. RA14 armür makinesinin denklem 3.49’den hesaplanan $\ddot{\alpha}$ (6 nolu biyel kolu) açısıl ivmesi ve $\ddot{\beta}$ (7 nolu kol) açısıl ivmesi Ek-2’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
M &= -\ddot{\theta}a \sin \theta - \dot{\theta}^2 a \cos \theta - \dot{\alpha}^2(C_x - a \cos \theta) + \dot{\beta}^2(C_x - D_x) \\
N &= \ddot{\theta}a \cos \theta - \dot{\theta}^2 a \sin \theta - \dot{\alpha}^2(C_y - a \sin \theta) + \dot{\beta}^2(C_y - D_y) \\
\ddot{\alpha} &= \frac{(C_y - D_y)N + (C_x - D_x)M}{(C_x - D_x)(C_y - a \sin \theta) - (C_y - D_y)(C_x - a \cos \theta)} \dots \dots \dots (3.49) \\
\ddot{\beta} &= \frac{(C_y - a \sin \theta)N + (C_x - a \cos \theta)M}{(C_x - D_x)(C_y - a \sin \theta) - (C_y - D_y)(C_x - a \cos \theta)}
\end{aligned}$$

Mekanizmayı mafsal noktalarında etkileyen reaksiyon kuvvetlerinin belirlenmesi için her bir uzvun kütle merkezinin ivme değerlerinin GKKS’de ki bileşenlerinin hesaplanması gerekecektir.

Çerçeve kaldırma mekanizmasını oluşturan dört kol mekanizması için denklem kütle merkezlerinin ivmelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

$$\bar{\mathbf{a}}_2 = \mathbf{a}_A + \mathbf{a}_{BA,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S2A,O} + \boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S2A,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{BA,O} \times \mathbf{V}_{BA,O} + \mathbf{a}_{AB,A} \dots \dots \dots (3.50)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\theta} & 0 \\ \ddot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{2X} \\ S_{2Y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{2X} \\ S_{2Y} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_2 = \begin{bmatrix} -\ddot{\theta}(S_{2X} \sin \theta + S_{2Y} \cos \theta) - \dot{\theta}^2(S_{2X} \cos \theta - S_{2Y} \sin \theta) \\ \ddot{\theta}(S_{2X} \cos \theta - S_{2Y} \sin \theta) - \dot{\theta}^2(S_{2X} \sin \theta + S_{2Y} \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_6 = \mathbf{a}_B + \mathbf{a}_{CB,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S6B,O} + \boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S6B,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{CB,O} \times \mathbf{V}_{CB,O} + \mathbf{a}_{CB,O} \dots \dots \dots (3.51)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_6 = \mathbf{a}_B + \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\alpha} & 0 \\ \ddot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{6X} \\ S_{6Y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\alpha} & 0 \\ \dot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\alpha} & 0 \\ \dot{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{6X} \\ S_{6Y} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_6 = \begin{bmatrix} -\ddot{\alpha} \sin \theta - \dot{\alpha}^2 \cos \theta - \ddot{\alpha}(S_{6X} \sin \beta + S_{6Y} \cos \beta) - \dot{\alpha}^2(S_{6X} \cos \beta - S_{6Y} \sin \beta) \\ \ddot{\alpha} \cos \theta - \dot{\alpha}^2 \sin \theta + \ddot{\alpha}(S_{6X} \cos \beta - S_{6Y} \sin \beta) - \dot{\alpha}^2(S_{6X} \sin \beta + S_{6Y} \cos \beta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_7 = \mathbf{a}_D + \mathbf{a}_{CD,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S7D,O} + \boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{S7D,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{CD,O} \times \mathbf{V}_{CD,O} + \mathbf{a}_{CD,O} \dots \dots \dots (3.52)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_7 = \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\beta} & 0 \\ \ddot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{7X} \\ S_{7Y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} & 0 \\ \dot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} & 0 \\ \dot{\beta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{2X} \\ S_{2Y} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_7 = \begin{bmatrix} -\ddot{\beta}(S_{7X} \sin \beta + S_{2Y} \cos \beta) - \dot{\beta}^2(S_{7X} \cos \beta - S_{2Y} \sin \beta) \\ \ddot{\beta}(S_{7X} \cos \beta - S_{2Y} \sin \beta) - \dot{\beta}^2(S_{7X} \sin \beta + S_{2Y} \cos \beta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tahrik mekanizmasını oluşturan uzuvların kütle merkezlerinin ivmeleri denklem 3.53, 3.54 ve 3.55 ile hesaplanır.

$$\bar{\mathbf{a}}_{KAM} = \mathbf{a}_O + \mathbf{a}_{KAMO,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{SKAMO,O} + \boldsymbol{\omega}_{KAMO,O} \times (\boldsymbol{\omega}_{KAMO,O} \times \bar{\mathbf{r}}_{SKAMO,O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{KAMO,O} \times \mathbf{V}_{KAMO,O} + \mathbf{a}_{KAMO,O} \cdot (3.53)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{KAM}} = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{KAMX}} \\ S_{\text{KAMY}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{KAM}} = \begin{bmatrix} -\ddot{\theta}(S_{\text{KAMX}} \sin \theta + S_{\text{KAMY}} \cos \theta) - \dot{\theta}^2(S_{\text{KAMX}} \cos \theta - S_{\text{KAMY}} \sin \theta) \\ \ddot{\theta}(S_{\text{KAMX}} \cos \theta - S_{\text{KAMY}} \sin \theta) - \dot{\theta}^2(S_{\text{KAMX}} \sin \theta + S_{\text{KAMY}} \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{İZLEYİCİ}} = \mathbf{a}_O + \mathbf{a}_{\text{İZO},O} \times \bar{\mathbf{r}}_{\text{SİZO},O} + \boldsymbol{\omega}_{\text{İZO},O} \times (\boldsymbol{\omega}_{\text{İZO},O} \times \bar{\mathbf{r}}_{\text{SİZO},O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{\text{İZO},O} \times \mathbf{V}_{\text{İZO},O} + \mathbf{a}_{\text{İZO},O} \dots \dots \dots (3.54)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{İZ}} = \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\psi} & 0 \\ \ddot{\psi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{İZX}} \\ S_{\text{İZY}} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\psi} & 0 \\ \dot{\psi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\psi} & 0 \\ \dot{\psi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{İZX}} \\ S_{\text{İZY}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{İZ}} = \begin{bmatrix} -\ddot{\psi}(S_{\text{İZX}} \sin \psi + S_{\text{İZY}} \cos \psi) - \dot{\psi}^2(S_{\text{İZX}} \cos \psi - S_{\text{İZY}} \sin \psi) \\ \ddot{\psi}(S_{\text{İZX}} \cos \psi - S_{\text{İZY}} \sin \psi) - \dot{\psi}^2(S_{\text{İZX}} \sin \psi + S_{\text{İZY}} \cos \psi) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{ARMÜRBIÇAĞI}} = \mathbf{a}_O + \mathbf{a}_{\text{ARMBO},O} \times \bar{\mathbf{r}}_{\text{SARMBO},O} + \boldsymbol{\omega}_{\text{ARMBO},O} \times (\boldsymbol{\omega}_{\text{ARMBO},O} \times \bar{\mathbf{r}}_{\text{SARMBO},O}) + 2\boldsymbol{\omega}_{\text{ARMBO},O} \times \mathbf{V}_{\text{ARMBO},O} + \mathbf{a}_{\text{ARMBO},O} (3.55)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{SARMB}} = \begin{bmatrix} 0 & -\ddot{\theta} & 0 \\ \ddot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{SARMBX}} \\ S_{\text{SARMBY}} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} & 0 \\ \dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{SARMBX}} \\ S_{\text{SARMBY}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{\text{SARMB}} = \begin{bmatrix} -\ddot{\theta}(S_{\text{SARMBX}} \sin \theta + S_{\text{SARMBY}} \cos \theta) - \dot{\theta}^2(S_{\text{SARMBX}} \cos \theta - S_{\text{SARMBY}} \sin \theta) \\ \ddot{\theta}(S_{\text{SARMBX}} \cos \theta - S_{\text{SARMBY}} \sin \theta) - \dot{\theta}^2(S_{\text{SARMBX}} \sin \theta + S_{\text{SARMBY}} \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Armür makinesinin hareketli uzuvlarının kütle merkezlerinin ivme değerleri **Ek-4**'de hesaplanan değerleri verilmiştir.

Kam profili üzerindeki temas noktasının yeri, kamın dönme merkezinden itibaren temas noktasının yeri denklem 3.56'de verilen konum vektörlerinin toplanmasıyla hesaplanır.

$$\mathbf{r}_{\text{AP},F} = \mathbf{r}_{\text{AD},F} + \mathbf{r}_{\text{CD},F} + \mathbf{r}_{\text{PC},F}$$

$$\mathbf{r}_{\text{AP},F} = \mathbf{r}_{\text{AD},F} + \mathbf{A}_{\text{SF},F} \mathbf{r}_{\text{CD},S} + \mathbf{A}_{\text{TF},F} \mathbf{r}_{\text{PC},T} \dots \dots \dots (3.56)$$

$$\mathbf{r}_{\text{AD},F} = [m \ 0 \ 0]^T \dots \dots \dots (3.57)$$

İzleyiciye salınım hareketi sağlayan kolun GKKS göre oryantasyonu denklem 3.58 ile belirlenir.

$$\gamma = 180 - \psi$$

$$A_{SF,F} = R_1(\gamma, [0, 0, 1]) \dots\dots\dots (3.58)$$

$$R_1(\gamma, [0, 0, 1]) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_{CD,S} = [n \ 0 \ 0]^T \dots\dots\dots (3.59)$$

İzleyicinin hareket doğrultusu ile kam profili arasındaki oryantasyon açısı denklem 3.60 ile bulunacaktır.

$$\xi = 270 + \mu - \psi$$

$$A_{TS,F} = R_2(\xi, [0, 0, 1]) \dots\dots\dots (3.60)$$

$$R_2(\xi, [0, 0, 1]) = \begin{bmatrix} \cos \xi & -\sin \xi & 0 \\ \sin \xi & \cos \xi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_{PC,T} = [t \ 0 \ 0]^T \dots\dots\dots (3.61)$$

Kam profilini belirleyen denklem 3.62'da verilmiştir. Elde edilen kam profili üzerindeki P noktası, izleyici ile kam arasındaki temas noktasının GKKS'deki konumunu belirleyecektir.

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \xi & -\sin \xi & 0 \\ \sin \xi & \cos \xi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.62)$$

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m + n \cos \gamma + t \cos \xi \\ n \sin \gamma + t \sin \xi \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.2 Dinamik Analiz

Mekanizmayı oluşturan tüm hareketli uzuvlar için D'Alembert prensibi ile elde edilen vektör eşitliklerinin yardımıyla reaksiyon kuvvetlerinin GKKS'deki bileşenlerinin ve tahrik momentinin şiddetinin hesaplanabileceği matris çarpımı elde edilir. Denklem sisteminin katsayılar matrisindeki c sayıları F reaksiyon kuvvetlerinin, uzuvların kütle merkezinden olan uzaklıklarını ve oluşturdukları momentin yönünü belirlemektedir(denklem 3.63).

$$[A][x] = [B] \dots\dots\dots (3.63)$$

Denklem 3.64 döner mafsallı kol uzunlarında oluşan reaksiyon kuvvetlerinin GKKS'de bileşenlerinin uzun kütle merkezinde oluşturdukları momentlerin değerlerinin hesaplanmasında yararlanılan katsayıların belirlenmesinde kullanılır.

$$M = \tilde{F}r$$

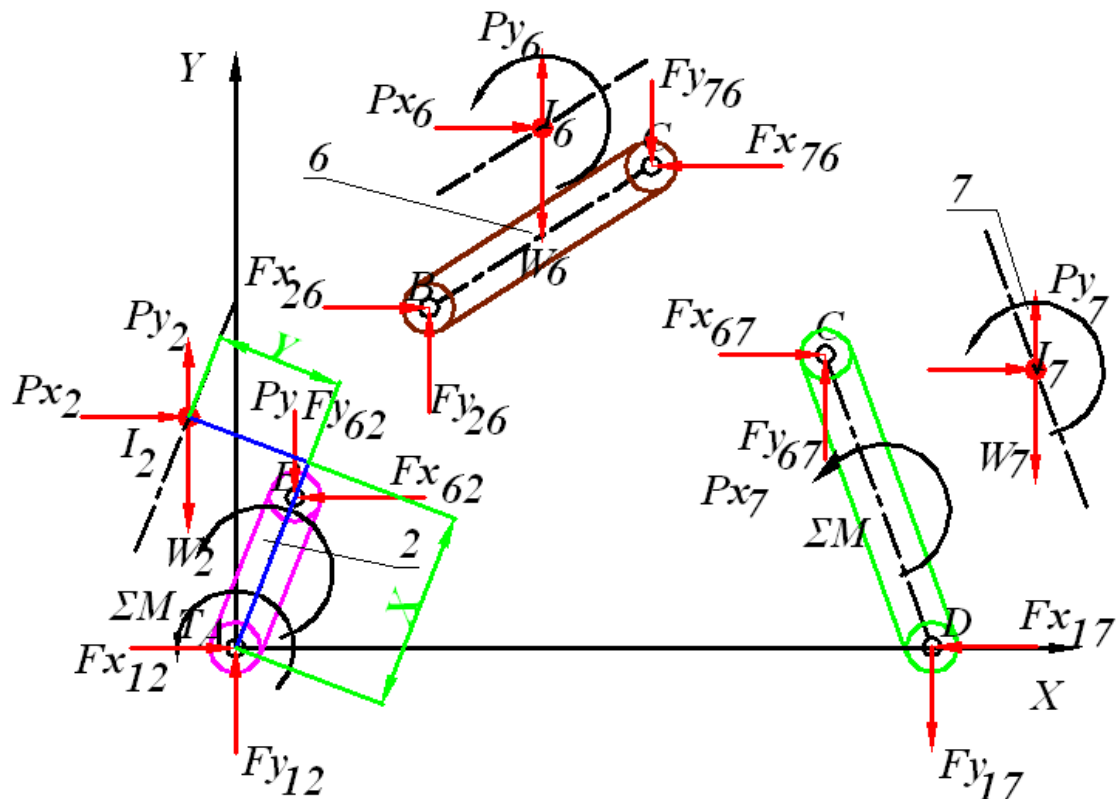
$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_y \\ 0 & 0 & -F_x \\ -F_y & F_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\pi + \theta) & -\sin(\pi + \theta) & 0 \\ \sin(\pi + \theta) & \cos(\pi + \theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M_z = (-F_y)(X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta)) + F_x(X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta))$$

$$M_z = c_{im}F_x + c_{in}F_y$$

$$c_{im} = (X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta))$$

$$c_{in} = -(X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta)) \dots\dots\dots (3.64)$$



Şekil 3.5 Çerçeve kaldırma mekanizma uzuvlarının serbest cisim diyagramı

Çerçeve kaldırma mekanizmasında üç hareketli kol uzvu bulunmaktadır. D'Alembert prensibi uygulandığında 3 hareketli uzuv için 9 denge denklemi kurulabilecektir(denklem 3.65, 3.66 ve 3.67).

$$\begin{aligned} Fx_{12} - Fx_{26} &= m_2 \bar{a}_{x2} \\ Fy_{12} - Fy_{26} - W_2 &= m_2 \bar{a}_{y2} \end{aligned} \dots\dots\dots (3.65)$$

$$\begin{aligned} M_T + c_{71} Fx_{12} + c_{72} Fy_{12} + c_{73} Fx_{26} + c_{74} Fy_{26} &= I_2 \ddot{\theta} \\ Fx_{26} - Fx_{67} &= m_6 \bar{a}_{x6} \\ Fy_{26} - Fy_{67} - W_6 &= m_6 \bar{a}_{y6} \end{aligned} \dots\dots\dots (3.66)$$

$$\begin{aligned} c_{83} Fx_{26} + c_{84} Fy_{67} + c_{85} Fx_{67} + c_{86} Fy_{67} &= I_6 \ddot{\alpha}_6 \\ Fx_{67} - Fx_{71} &= m_7 \bar{a}_{x7} \\ Fy_{67} - Fy_{71} - W_7 &= m_7 \bar{a}_{y7} \end{aligned} \dots\dots\dots (3.67)$$

$$\sum M + c_{95} Fx_{67} + c_{96} Fy_{67} + c_{97} Fx_{71} + c_{98} Fy_{71} = I_7 \ddot{\beta}_7$$

Katsayılar matrisinin elemanlarının bulunmasında kullanılan değişkenler ve denklemler Tablo 3.1’de verilmiştir. Sabitler matrisinde ifade edilen uzuvların atalet kuvvet ve momentlerinin hesaplanan değerleri Ek-4’de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ c_{71} & c_{72} & c_{73} & c_{74} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & c_{83} & c_{84} & c_{85} & c_{86} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{95} & c_{96} & c_{97} & c_{98} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Fx_{12} \\ Fy_{12} \\ Fx_{26} \\ Fy_{26} \\ Fx_{67} \\ Fy_{67} \\ Fx_{71} \\ Fy_{71} \\ M_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 \bar{a}_{x2} \\ m_2 \bar{a}_{y2} + W_2 \\ m_6 \bar{a}_{x6} \\ m_6 \bar{a}_{y6} + W_6 \\ m_7 \bar{a}_{x7} \\ m_7 \bar{a}_{y7} + W_7 \\ I_2 \ddot{\theta} \\ I_6 \ddot{\alpha}_6 \\ I_7 \ddot{\beta}_7 - \sum M \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.68)$$

Dört kol mekanizmasının 4 mafsal noktasında bulunan reaksiyon kuvvetleri GKKS’ ne göre belirli doğrultularda bileşenlere ayrıldığında, sekiz kuvvet vektörü ve eksantriği (2) hareket ettiren tahrik momentinin şiddeti hesaplanabilir (denklem 3.69). Ters matris Ek-9’de verilmiştir.

$$[x] = [A]^{-1} [B] \dots\dots\dots (3.69)$$

$$\begin{aligned} x &= [Fx_{12} \quad Fy_{12} \quad Fx_{26} \quad Fy_{26} \quad Fx_{67} \quad Fy_{67} \quad Fx_{71} \quad Fy_{71} \quad M_T]^T \\ B &= [m_2 \bar{a}_{x2} \quad m_2 \bar{a}_{y2} + W_2 \quad m_6 \bar{a}_{x6} \quad m_6 \bar{a}_{y6} + W_6 \quad m_7 \bar{a}_{x7} \quad m_7 \bar{a}_{y7} + W_7 \quad I_2 \ddot{\theta} \quad I_6 \ddot{\alpha}_6 \quad I_7 \ddot{\beta}_7 - \sum M]^T \\ k &= (c_{83} + c_{85})(c_{96} + c_{98}) - (c_{84} + c_{86})(c_{95} + c_{97}) \end{aligned}$$

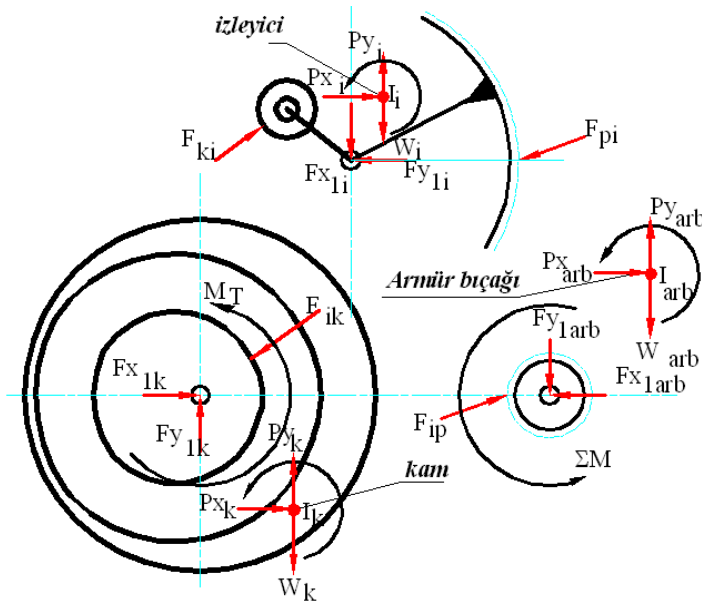
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ c_{71} & c_{72} & c_{73} & c_{74} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & c_{83} & c_{84} & c_{85} & c_{86} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{95} & c_{96} & c_{97} & c_{98} & 0 \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} k & 0 & k - c_{83}(c_{96} + c_{98}) & -c_{84}(c_{96} + c_{98}) & -c_{97}(c_{84} + c_{86}) & -c_{98}(c_{84} + c_{86}) & 0 & (c_{96} + c_{98}) & -(c_{84} + c_{86}) \\ 0 & k & c_{83}(c_{96} + c_{97}) & k + c_{84}(c_{95} + c_{97}) & c_{97}(c_{83} + c_{85}) & c_{98}(c_{83} + c_{85}) & 0 & -(c_{96} + c_{97}) & (c_{83} + c_{85}) \\ 0 & 0 & k - c_{83}(c_{96} + c_{98}) & -c_{84}(c_{96} + c_{98}) & -c_{97}(c_{84} + c_{86}) & -c_{98}(c_{84} + c_{86}) & 0 & c_{96} + c_{98} & -(c_{84} + c_{86}) \\ 0 & 0 & c_{83}(c_{96} + c_{97}) & k + c_{84}(c_{95} + c_{97}) & c_{97}(c_{83} + c_{85}) & c_{98}(c_{83} + c_{85}) & 0 & -(c_{96} + c_{97}) & (c_{83} + c_{85}) \\ 0 & 0 & -c_{83}(c_{96} + c_{98}) & -c_{84}(c_{96} + c_{98}) & -c_{97}(c_{84} + c_{86}) & -c_{98}(c_{84} + c_{86}) & 0 & (c_{96} + c_{98}) & -(c_{84} + c_{86}) \\ 0 & 0 & c_{83}(c_{96} + c_{97}) & c_{84}(c_{95} + c_{97}) & c_{97}(c_{83} + c_{85}) & c_{98}(c_{83} + c_{85}) & 0 & -(c_{96} + c_{97}) & (c_{83} + c_{85}) \\ 0 & 0 & -c_{83}(c_{96} + c_{98}) & -c_{84}(c_{96} + c_{98}) & -k - c_{97}(c_{84} + c_{86}) & -c_{98}(c_{84} + c_{86}) & 0 & (c_{96} + c_{98}) & -(c_{84} + c_{86}) \\ 0 & 0 & c_{83}(c_{96} + c_{97}) & c_{84}(c_{95} + c_{97}) & c_{97}(c_{83} + c_{85}) & -k + c_{98}(c_{83} + c_{85}) & 0 & -(c_{96} + c_{97}) & (c_{83} + c_{85}) \\ -kc_{71} & -kc_{72} & \begin{pmatrix} c_{95} + c_{97} \\ (c_{71} + c_{73})(c_{84} + c_{86}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{83} + c_{85}) \end{pmatrix} & c_{84} \begin{pmatrix} (c_{71} + c_{73})(c_{96} + c_{98}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{95} + c_{97}) \end{pmatrix} & -k(c_{72} + c_{74}) & kc_{97} \begin{pmatrix} (c_{71} + c_{73})(c_{84} + c_{86}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{83} + c_{85}) \end{pmatrix} & kc_{98} \begin{pmatrix} (c_{71} + c_{73})(c_{84} + c_{86}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{83} + c_{85}) \end{pmatrix} & k \begin{pmatrix} (c_{71} + c_{73})(c_{96} + c_{98}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{95} + c_{97}) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (c_{71} + c_{73})(c_{84} + c_{86}) \\ -(c_{72} + c_{74})(c_{83} + c_{85}) \end{pmatrix} \end{bmatrix}$$

Tablo 3.1 Çerçeve kaldırma mekanizmasının katsayılar matrisinin elemanları

Uzuvlar	Eksantrik				Biyel				Armür ayağı			
X	-0,00448	-0,00448	0,01002	0,01002	-0,0937	-0,0937	0,1293	0,1293	0,172	0,172	0,08	0,08
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00984	0,00984	0,00984	0,00984
Katsayı	c71	c72	c73	c74	c83	c84	c85	c86	c95	c96	c97	c98
Denklem	a	b	-a	-b	a	b	-a	-b	a	b	-a	-b
$a = X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta), b = -(X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta))$												

Tahrik mekanizması; makaralı izleyici hariç tutulduğunda kam, izleyici kol, ve pinyon dişli hareketli uzuvlardan oluşmaktadır. Hareketli uzuvlar için elde edilen 9 denge denklemi kam, izleyici kolun salınım merkezi ve pinyon dişlinin yatağında oluşacak reaksiyon kuvvetlerinin 6 bileşeni, kam-izleyici ve izleyici-armür bıçağından oluşturulmuş dişli hareket aktarma arasındaki doğrultusu bilinen 2 reaksiyon kuvveti ve tahrik momentinin şiddetinin belirlenmesi için yeterlidir. 9x9 matris çözümü yerine tahrik sistemi, armür bıçağı ve ve kam-izleyici kolun oluşturduğu alt guruplara ayrılarak çözüm basitleştirilir.



Şekil 3.6 Tahrik mekanizmasını oluşturan uzuvların serbest cisim diyagramı

İzleyici ve armür bıçağı düz dişli hareket aktarma mekanizmasını oluşturmaktadır. Dişli hareket aktarma mekanizmasında düz profilli dişliler için kuvvet iletim açısı 20^0 (κ) olarak sabit verilmektedir. Dişliler arasındaki reaksiyon kuvvetinin ağırlık merkezinde oluşturacağı momentin değerinin hesaplanmaması sırasında kullanılacak c katsayısı, reaksiyon kuvvetinin cismin ağırlık merkezine olan vektörel uzaklığı, kuvvet bileşenleri tanımlandığı kartezyen koordinat sistemi ile armür bıçağının kütle merkezindeki UKKS arasındaki oryantasyon açısı yardımıyla hesaplanabilecektir.

Dişliler arasındaki reaksiyon kuvvetinin kartezyen koordinat sistemi üzerindeki bileşenlerinin değeri denklem 3.70 ve kuvvetin kütle merkezine olan uzaklığı denklem 3.71 verilen matrisler yardımıyla belirlenir.

$$+\psi \Rightarrow \kappa = \beta + \frac{3\pi}{2} - 20$$

$$-\psi \Rightarrow \kappa = \beta + \frac{\pi}{2} + 20$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{ip} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.70)$$

$$F_x = F_{ip} \cos \kappa$$

$$F_y = F_{ip} \sin \kappa$$

$$\begin{aligned}
r_{SP,F} &= r_{SO,F} + r_{OP,F} \\
r_{SP,F} &= A_{SF,F} r_{SO,S} + A_{TF,F} r_{OP,T} \\
\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d/2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.71) \\
\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \\ x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \\ 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Armür bıçağını etkileyen F_{ip} reaksiyon kuvvetinin bileşenleri ve tatbik noktası, dış profiline üzerinde bulunduğu dönme merkezinden geçen doğrunun, $\beta=\pi$ kadar döndürülmesi ile elde edilir. Kuvvet ve konum vektörlerinin bileşenlerinin tanımladığı koordinat sistemleri arasındaki oryantasyon açısı bu durumda sıfıra eşittir.

$$M = \tilde{F} r$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_{ip} \sin \kappa \\ 0 & 0 & -F_{ip} \cos \kappa \\ -F_{ip} \sin \kappa & F_{ip} \cos \kappa & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\pi+0) & -\sin(\pi+0) & 0 \\ \sin(\pi+0) & \cos(\pi+0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \\ x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \\ 0 \end{bmatrix}$$

Kuvvetin kütle merkezinde oluşturacağı momentin şiddetinin değeri denklem 3.72 kullanılarak hesaplanabilecektir.

$$\begin{aligned}
M_z &= (-F_{ip} \sin \kappa)(-1) \left(x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \right) + F_{ip} \cos \kappa (-1) \left(x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \right) \\
M_z &= c_{ij} F_{ip} \dots\dots\dots (3.72)
\end{aligned}$$

$$c_{ij} = \left(x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \right) \sin \kappa + \left(x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \right) \cos \kappa$$

D'Alembert prensibinin ifade ettiği kuvvet ve momentlerin denge denklemleri (denklem 3.73) kullanılarak armür bıçağı için denklem 3.74'de verilen denklem sistemi kurulmuş olacaktır.

$$F_{ip} \cos \kappa - Fx_{arb1} = m_{arb} \bar{a}_{xarb}$$

$$F_{ip} \sin \kappa - Fy_{arb1} - W_{arb} = m_{arb} \bar{a}_{yarb} \dots \dots \dots (3.73)$$

$$\sum M + c_{31} Fx_{arb1} + c_{32} Fy_{arb1} + c_{33} F_{ip} = I_{arb} 6\ddot{\psi}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & \cos \kappa \\ 0 & -1 & \sin \kappa \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Fx_{arb1} \\ Fy_{arb1} \\ F_{ip} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{arb} \bar{a}_{xarb} \\ m_{arb} \bar{a}_{yarb} + W_{arb} \\ I_{arb} 6\ddot{\psi} - \sum M \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.74)$$

Denklem 3.75 armür bıçağından oluşan reaksiyon kuvvetlerinin değerlerinin belirlenmesi için kullanılır. Tablo 3.2’de armür bıçağının katsayılar elemanlarının hesaplamasında kullanılan denklemler ve değişkenler verilmiştir.

$$[x] = [A]^{-1} [B] \dots \dots \dots (3.75)$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \cos \kappa \\ 0 & -1 & \sin \kappa \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} c_{31} \cos \kappa - k & c_{32} \cos \kappa & \cos \kappa \\ c_{31} \sin \kappa & c_{32} \sin \kappa - k & \sin \kappa \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

$$x = [Fx_{1arb} \quad Fy_{1arb} \quad F_{ip}]^T$$

$$B = [m_{arb} \bar{a}_{xarb} \quad m_{arb} \bar{a}_{yarb} + W_{arb} \quad I_{arb} 6\ddot{\psi} - \sum M]^T$$

$$k = c_{33} + c_{31} \cos \kappa + c_{32} \sin \kappa$$

Tablo 3.2 Armür bıçağının katsayılar matrisinin elemanları

Kuvvet iletim açısı κ	İzleyicinin hareket yönü +	70	0,3490658 rad
	İzleyicinin hareket yönü -	290	5,0614548 rad
X	-0,044	-0,044	-0,044
Y	0	0	0
D/2			0,036
Katsayı	c_{31}	c_{32}	c_{33}
Denklem	-a	-b	d
$a = X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta), \quad b = -(X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta))$ $d = \left(x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \right) \sin \kappa + \left(x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \right) \cos \kappa$			

Kam ile izleyici arasında oluşan reaksiyon kuvvetinin doğrultusu bağ açısı ve kolun açılal konumu tarafından belirlenir (denklem 3.76). Kam ile izleyici arasındaki reaksiyon kuvvetinin kamın ağırlık merkezinde oluşturacağı momentin şiddetinin hesaplanması sırasında kullanılacak c katsayısı, kam profili üzerindeki P noktasının kamın ağırlık merkezine yerleştirilen kartezyen koordinat sistemine göre konumu, denklem 3.77’de kamın toplam dönüş açısıyla ile hesaplanır (denklem 3.78).

$$\zeta = 90 + \psi - \mu \dots\dots\dots (3.76)$$

$$r_{SP,F} = r_{SO,F} + r_{OP,F}$$

$$r_{SP,F} = A_{SF,F} r_{SO,S} + r_{OP,F}$$

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.77)$$

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos \theta - y \sin \theta + x_p \\ x \sin \theta + y \cos \theta + y_p \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M = \tilde{F}r$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -F_{ki} \sin \zeta \\ 0 & 0 & F_{ki} \cos \zeta \\ F_{ki} \sin \zeta & -F_{ki} \cos \zeta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\pi + 0) & -\sin(\pi + 0) & 0 \\ \sin(\pi + 0) & \cos(\pi + 0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} \dots\dots (3.78)$$

$$M_z = -F_{ki} (\sin \zeta (x \cos \theta - y \sin \theta + x_p) - \cos \zeta (x \sin \theta + y \cos \theta + y_p))$$

$$c_{kl} = -(\sin \zeta (x \cos \theta - y \sin \theta + x_p) - \cos \zeta (x \sin \theta + y \cos \theta + y_p))$$

Kam ve izleyici kol hareketli uzuvlar için kurulan, izleyici kolun ve kamın yatağında oluşacak reaksiyon kuvvetlerinin 4 bileşeni, doğrultusu belirli kam-izleyici arasındaki reaksiyon kuvveti ve kamı tahrik eden tahrik momentinin şiddetlerinin belirlenmesi için 6 denge denklemi yeterlidir (denklem 3.79 ve 3.80). Denge denklemlerinin oluşturduğu denklem sisteminin matris biçimi denklem 3.81 verilmiştir. Uzuvların atalet kuvvet ve momentlerinin hesaplanan değerleri Ek-3’de verilmiştir.

$$Fx_{1k} - F_{ki} \cos \zeta = m_k \bar{a}_{xk}$$

$$Fy_{1k} - F_{ki} \sin \zeta - W_k = m_k \bar{a}_{yk} \dots\dots\dots (3.79)$$

$$M_T + c_{61} Fx_{1k} + c_{62} Fy_{1k} + c_{63} F_{ki} = I_k \ddot{\theta}_k$$

$$\begin{aligned}
F_{ki} \cos \zeta - Fx_{i1} - F_{ip} \cos \kappa &= m_i \bar{a}_{xi} \\
F_{ki} \sin \zeta - Fy_{i1} - W_i - F_{ip} \sin \kappa &= m_i \bar{a}_{yi} \dots \dots \dots (3.80) \\
c_{53} F_{ki} + c_{54} Fx_{i1} + c_{55} Fy_{i1} + c_{56} F_{ip} &= I_i \ddot{\psi}_i
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\cos \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\sin \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \zeta & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin \zeta & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & c_{53} & c_{54} & c_{55} & 0 \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Fx_{1k} \\ Fy_{1k} \\ F_{ki} \\ Fx_{i1} \\ Fy_{i1} \\ M_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_k \bar{a}_{xk} \\ m_k \bar{a}_{yk} + W_k \\ m_i \bar{a}_{xi} + F_{ip} \cos \kappa \\ m_i \bar{a}_{yi} + W_i + F_{ip} \sin \kappa \\ I_i \ddot{\psi}_i - c_{56} F_{ip} \\ I_k \ddot{\theta}_k \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.81)$$

Denklem 3.82 izleyici kol ve kam alt gurubunda oluşun reaksiyon kuvvetlerinin ve kamın döndürülmesi için gerekli olan tahrik momentinin değerlerinin belirlenmesi için kullanılır. Tablo 3.3’de armür bıçağının katsayılar elemanlarının hesaplamasında kullanılan denklemler ve değişkenler verilmiştir. Hesaplama kullanılan ters matris Ek-9’de verilmiştir.

$$[x] = [A]^{-1} [B] \dots \dots \dots (3.82)$$

$$\begin{aligned}
x &= [Fx_{1k} \quad Fy_{1k} \quad F_{ki} \quad Fx_{i1} \quad Fy_{i1} \quad M_T]^T \\
B &= [m_k \bar{a}_{xk} \quad m_k \bar{a}_{yk} + W_k \quad m_i \bar{a}_{xi} + F_{ip} \sin 20 \quad m_i \bar{a}_{yi} + W_i + F_{ip} \cos 20 \quad I_i \ddot{\psi}_i - c_{56} F_{ip} \quad I_k \ddot{\theta}_k]^T
\end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\cos \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\sin \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \zeta & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin \zeta & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & c_{53} & c_{54} & c_{55} & 0 \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} k & 0 & c_{54} \cos \zeta \sin^{-} \zeta & c_{55} \cos \zeta \sin^{-} \zeta & \cos \zeta \sin^{-} \zeta & 0 \\ 0 & k & c_{54} & c_{55} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & c_{54} \sin^{-} \zeta & c_{55} \sin^{-} \zeta & \sin^{-} \zeta & 0 \\ 0 & 0 & -(c_{53} \sin^{-} \zeta + c_{55}) & c_{55} \cos \zeta \sin^{-} \zeta & \cos \zeta \sin^{-} \zeta & 0 \\ 0 & 0 & c_{54} & -(c_{53} \sin^{-} \zeta + c_{54} \cos \zeta \sin^{-} \zeta) & 1 & 0 \\ -kc_{61} & -kc_{62} & -(c_{54} c_{61} \sin^{-} \zeta \cos \zeta + c_{54} c_{62} \sin^{-} \zeta \sin \zeta + c_{54} c_{63} \sin^{-} \zeta) & -(c_{55} c_{61} \sin^{-} \zeta \cos \zeta + c_{55} c_{62} + c_{55} c_{63} \sin^{-} \zeta) & -(c_{61} \sin^{-} \zeta \cos \zeta + c_{62} + c_{63} \sin^{-} \zeta) & k \end{bmatrix}$$

$$k = (c_{53} \sin^{-} \zeta + c_{54} \cos \zeta \sin^{-} \zeta + c_{55})$$

Tablo 3.3 Kam ve izleyici alt gurubunun katsayılar matrisinin elemanları

Uzuvlar	İzleyici				Kam			
X	0,01615	-0,05385	-0,05385	-0,05385	-0,00993	-0,00993	-0,00993	P _x
Y	0,07236	0,07236	0,07236	0,07236	0,00536	0,00536	0,00536	P _y
d/2				0,216				
β				0				
Katsayı	c53	c54	c55	c56	c61	c62	c63	
Denklem	f	-a	-b	-d	a	b	e	
$a = X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta), \quad b = -(X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta))$ $d = \left(x \cos \theta - y \sin \theta + \frac{d}{2} \cos \beta \right) \sin \kappa + \left(x \sin \theta + y \cos \theta + \frac{d}{2} \sin \beta \right) \cos \kappa$ $e = -(\sin \zeta (x \cos \theta - y \sin \theta + x_p) - \cos \zeta (x \sin \theta + y \cos \theta + y_p))$ $f = \cos \zeta (X \sin(\pi + \theta) + Y \cos(\pi + \theta)) - \sin \zeta (X \cos(\pi + \theta) - Y \sin(\pi + \theta))$								

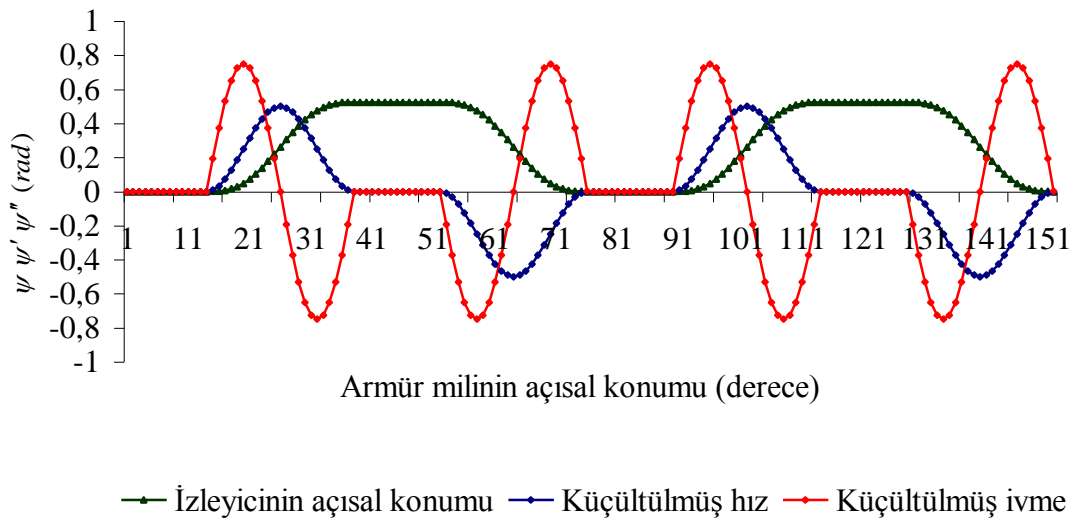
Cisim kütlelerinin ve dönme eksenleri üzerindeki atalet momentlerini belirlemek için Autocad Mechanical 2006 paket programından yararlanılmıştır. Kütle özelliklerinin belirlenebilmesi için armür mekanizmasını oluşturan hareketli uzuvların katı modellemelerinin yapılması gereklidir. Program içerisinde asist menüsü içerisinde bulunan inquiry komutlarından mass property kullanılarak, katı modelleri hazırlanmış uzuvların kütle özellikleri hakkında bilgiler .mdl uzantılı dosyalara rapor halinde gönderilmektedir. Katı modellerin kütle, hacim, kutulama hacmi, kütle merkezi, atalet momenti, atalet momentlerinin çarpımı, eylemsizlik yarıçapı, asal moment ve kütle merkezinden geçen asal eksenlerin doğrultusu bilgileri verilmektedir. Paket programın sunduğu bilgiler ölçü birimi mm olarak seçildiği birim özkütle ($\rho=1\text{gr/cm}^3$) için veriler doğrudan kullanılamamaktadır. Cismin kütlelerinin hesaplanması için $\rho \times 10^{-6}$ ve kütle merkezinden geçen Z eksenine etrafındaki atalet momentini hesaplamak için $\rho \times 10^{-12}$ ile cismin ilgili özelliklerinin çarpılması gerekir. Ek-5’de armür makinesinin hareketli uzuvlarının kütle özellik bilgileri kullanılarak elde edilmiş değerler Tablo 3.4 verilmiştir.

Tablo 3.4 Uzuvların kütle özellikleri

Uzuv	Kam	İzleyici	Armür bıçağı	Eksantrik	Biyel	Armür ayağı
m kg	11,80360	8,539870	13,911231	1,3968658	0,8764554	2,183630
I ₀ kgm	0,133976	0,083009	0,0652713	0,0091061	0,0341777	0,034177

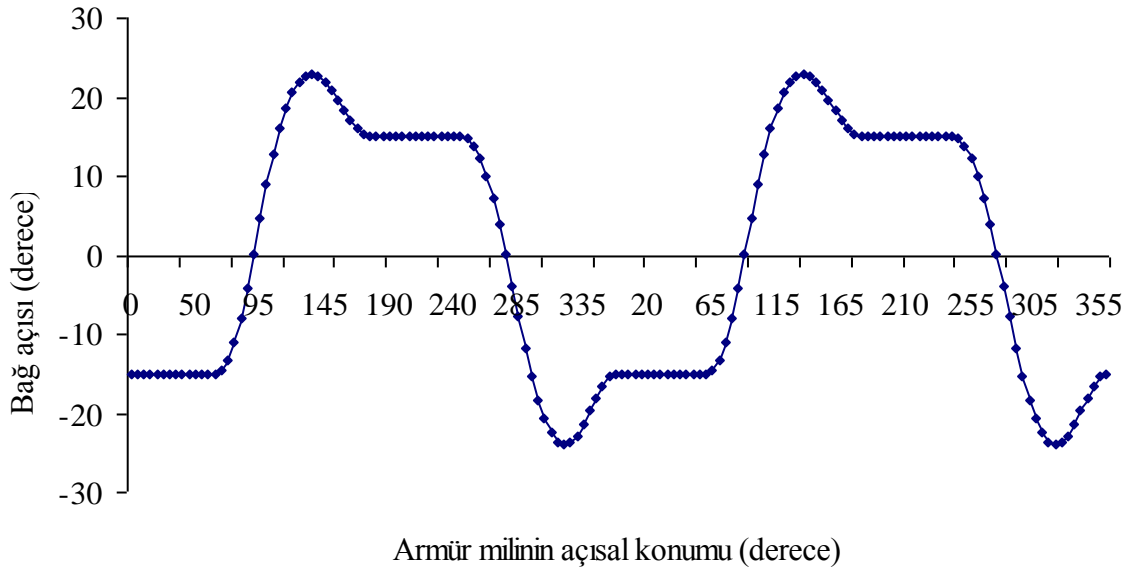
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İzleyicinin hareket kanununun özellikleri Şekil4.1’de verilmiştir. Grafik cycloidal hareket kanunun tüm özelliklerini yansıtmaktadır. Armür ayağının ve biyel kolunun hareket eğrileri izleyicinin 30^0 salınım hareketinin $i_{12}=6$ çevrim oranına sahip düz dişli hareket aktarma elemanı kullanılarak armür bıçağının 180^0 beklemeli salınım hareketine dönüştürülmüştür. Eksantriklerin 180^0 lik her bir dönüşü çerçevelerin buldukları konumları değiştirmesini sağlamaktadır. Eksantriklerin 180^0 hareketleri, dokuma makinesinin iki tam devrine karşılık RA14’ün armür miline tam bir devir yaptıracaktır. Bu nedenle RA14 armür makinesi çift stroklu armür makinesi olarak sınıflandırılır. RA14 armür makinesinin çalışma hızı 500 dev/dak olarak öngörülmüştür.



Şekil 4.1 RA14 izleyicinin hareket kanunu

Tahrik ünitesinin izleyicinin hareket doğrultusu ile KPN arasındaki bağ açısı değerlerinin değişimi Şekil 4.2’deki grafikte verilmiştir. Grafik incelendiğinde bağ açısının $-23,99098521^0$ ile $22,88106437^0$ arasında değiştiği görülmektedir



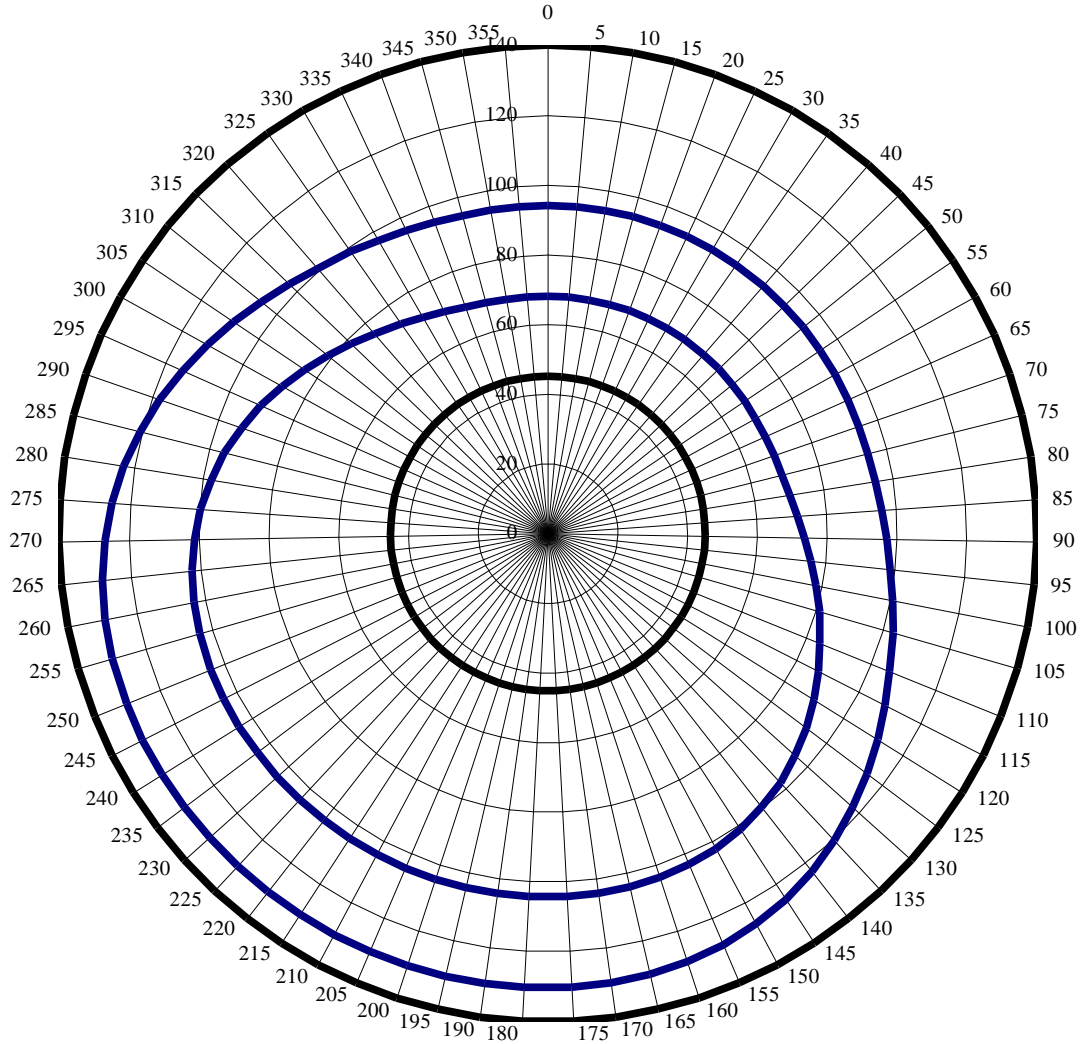
Şekil 4.2 Kam mekanizması bağ açısı

Kamının hareketi sırasında izleyicinin hesaplanmış bağ açısı değerleri, karşılaşılan maksimum ve minimum hız, ivme değerleri Ek-1’de verilmiştir. Autocad MECHANICAL 2006 tasarım programının sunduğu kam tasarımı menüsü ile gerçekleştirilen kamın özellikleri Tablo 4.1’de verilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında sonuçların aynı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1 Autocad MECHANICAL 2006’de tasarlanan kamın özellikleri

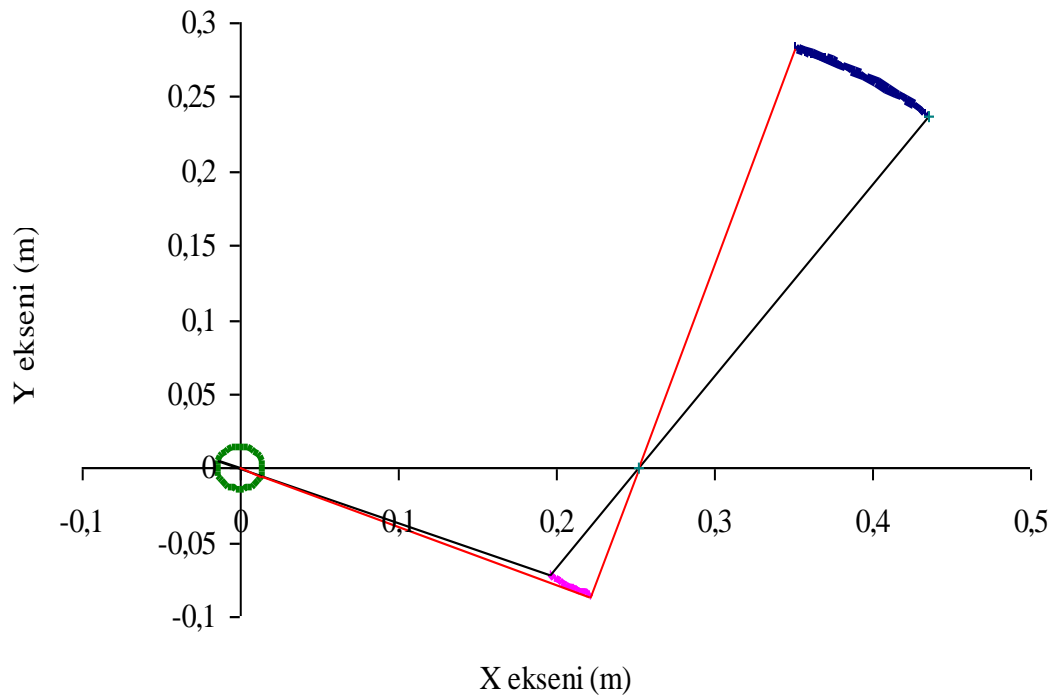
İzleyicisi salınım hareketli, düzlemsel kamın hesapları							
Hareket	Konum deg	İzleyici deg	Min/maks hız 1/s		Min/maks ivme 1/s ²		Tornistan
Bekleme	0-60	0-0	0	0	0	0	
Uzatılmış sinüs	60-180	0-30	0	26.1799	-2056.1	2056.17	0.5
Bekleme	180-240	30-30	0	0	0	0	
Uzatılmış sinüs	240-360	30-0	-26.179	0	-2056.1	2056.17	0.5
Maks. değerler		30	-26.179	26.1799	-2056.1	2056.17	
Maksimum basınç açısı	23,97 ⁰ < 45 ⁰ olmalı						
Minimum yarıçapı	75.4 mm > 18,57 olmalı						

İzleyicinin kam profilinin etrafındaki 360° hareketi ile 30° yer değiştirmesini sağlayan, şekil kapalı kam profili denklem 3.62 kullanılarak belirlenmiş kam profilinin görünüşü şekil 4.3’de verilmiştir.



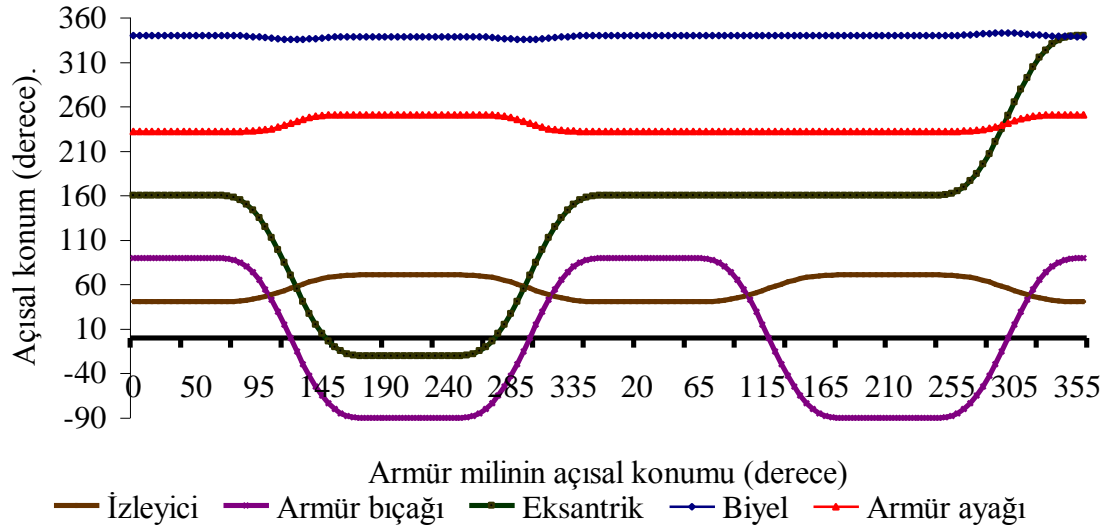
şekil 4.3 Cycloidal hareket kanununa göre $R_{ck}=68$ mm şekil kapalı kam profili

RA14 rotatif armürün zuvlarının takip ettiği yörüngeler materyal ve metod bölümünde kurulmuş bağıntılar sayesinde hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin oluşturduğu zuv yörüngeleri şekil 4.4’de verilen grafikte gösterilmiştir. Hesaplama sırasında kullanılan matris eşitliklerinin verdiği yörünge grafikleri incelendiğinde bağıntuların doğru sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Dinamik analizde Ek-1 ve Ek-2’deki değerler, reaksiyon kuvvetlerinin tatbik noktasının belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.4 RA14 çerçeve kaldırma mekanizmasının konumları

Şekil 4.5’de uzuvların açısal konumlarının değişiminin gösterildiği hareket grafikleri sunulmuştur. Hareket grafikleri kamın iki tam devrine karşılık gelen kamın pozitif yönde hareket ettirilmesi sonucunda, seçim mekanizmasının kamın ikinci tam devrinde 0° ve 240° de tahrikin çerçeveleri kaldırma mekanizmasına olan hareket iletiminin kesmesi ve armür bıçağının -90° başlayan salınım hareketi ile eksantriğin pozitif yönde 360° tam dönüşünü sağlayacak şekilde çalışması durumu incelenmiştir. Kamın 120° hareketi ile izleyiciye 30° salınım hareketi sağlanmaktadır. İzleyici ve armür bıçağı arasındaki çevrim oranı 6 olan düz dişli hareket aktarma mekanizması kullanılarak armür bıçağının hareketi, 180° salınım hareketine yükseltilmiştir. Dişli hareket aktarma sistemi nedeniyle izleyici, armür bıçağına zıt yönde hareket sağlamaktadır. Eksantrik armür bıçağına takılarak birlikte hareket ederken, seçim mekanizmasının çalışması durumlarında hareket iletimi kesilir ve eksantrik 160° veya 340° konumlarında hareketsiz kalır.



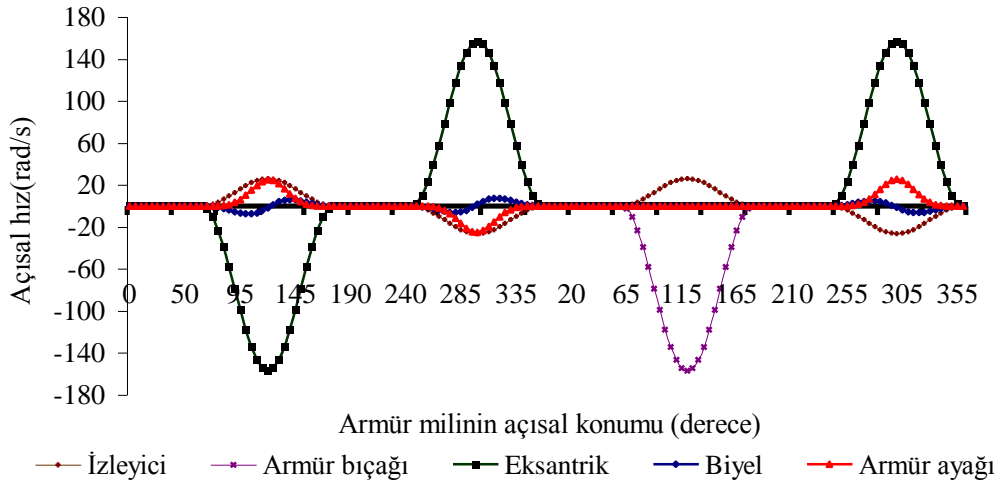
Şekil 4.5 Armür makinesinin uzuvlarının açısal konumları

Eksantriğin 180° 'lik her iki yönde hareketine karşılık armür ayağı 52° - 70° salım hareketi yapar. Bu hareket sırasında biyel kolu pozitif yönde $4,547590748^{\circ}$ 'lik ve negatif yönde $4,002391177^{\circ}$ 'lik açısal yer değiştirir. İzleyicinin yükselme hareketine başladığı an için mekanizmayı oluşturan uzuvların oryantasyon açıları; kam $34,29137376^{\circ}$, izleyici $40,68774383^{\circ}$, armür bıçağı 90° , eksantrik 160° konumlarında bulunmaktadır. Uzuvların açısal konumlarının değerleri Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir.

RA14 armür makinesinin ana milinin dönüş açısı dikkate alınarak açısal hızlarının değişim grafiği Şekil 4.6'de verilmiştir. Armür makinelerinin seçim anında bekleme pozisyonlarına ulaştıklarında, hızların ve ivmelerin sıfıra eşit oldukları görülmektedir. Bu anda kam mekanizmasının 60° 'lik bekleme süresi, çerçevenin atkı atma zamanı içerisinde bekletilmesini ve seçim ünitesinin çalışması için gerekli zamanı sağlamaktadır.

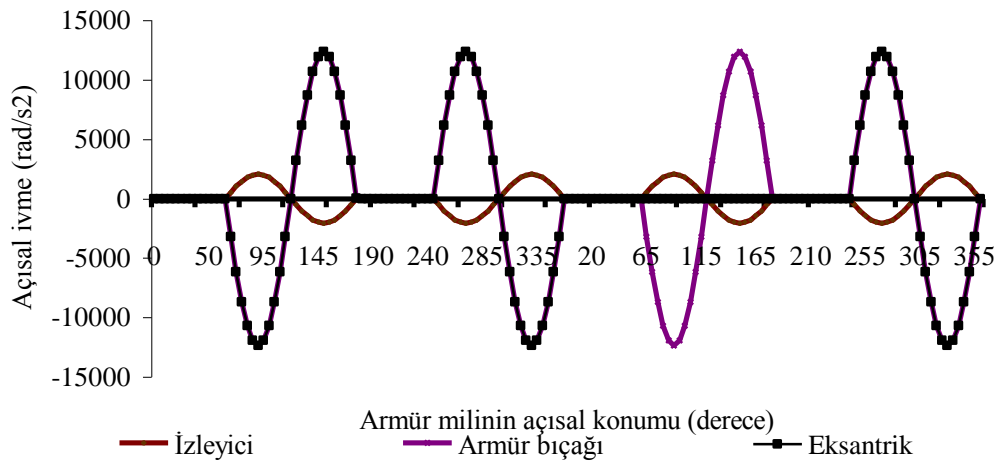
Açısal hızların Şekil 4.5'de verilen uzuvların açısal konumlarının değişimi ile karşılaştırıldığında; açısal konumun değerinin azaldığı bölgelerde hızın negatif, arttığı bölgelerde ise pozitif değere sahip olduğu görülmektedir. Uzuvların açısal yer değiştirme miktarları arttıkça hız değerlerinin artması doğal bir sonuçtur. Seçim süresince mekanizmanın bekleme yapması zorunluluğu armür makinelerini oluşturan uzuvlarının sıkıştırılmış zaman içinde daha hızlı hareket etmesine neden olmaktadır. Çerçeve kaldırma mekanizmasını oluşturan eksantrik, biyel ve armür ayağına seçim

mekanizması tarafından gelen tahriğin kesilmesi durumu, kam mekanizmasının ikinci devrinde hareketin hız değişiminin sıfır olması ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.6 Armür makinesinin uzuvlarının açısal hızları

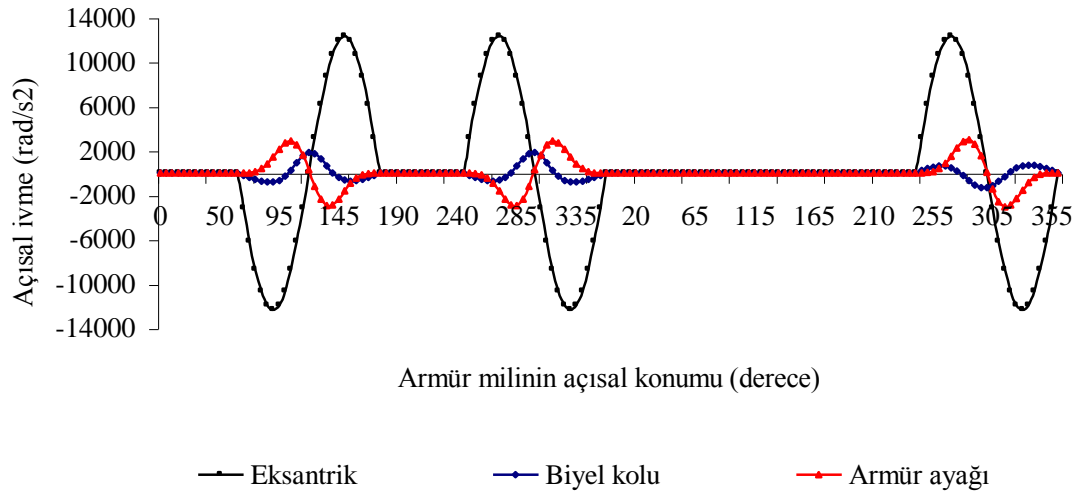
Ek-1'de verilmiş salınım hareketli makaralı izleyicili kam mekanizmasının kamın dönüş hızından bağımsız olarak verilen küçültülmüş ivme değerleri açısal hızın karesi ile çarpılarak izleyicinin sahip olduğu ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.7). Mekanizmaların harekete başladığı anlarda oldukça yüksek ivme değerlerine ulaştığı bilinmektedir. Cycloidal hareket kanununun izleyicinin bekleme konumlarında karşılaşılan bu sakıncaları giderdiği görülmektedir.



Şekil 4.7 Armür makinesinin tahrik ünitesinin açısal ivmesi

Rotatif armürler sabit açısal hızla tahrik edildiklerinde, kol mekanizmalarının periyodik hareketleri bozarak titreşimlere yol açtıkları bilinmektedir. Bu yüzden tahrik

sistemlerinde modülâtör olarak adlandırılan düzenleyici tahrik ünitesine gereksinim duyulur. RA14'ün tahrik ünitesinde kullanılan cycloidal hareket kanunu ile tasarlanmış kam mekanizmasının bu sakıncayı giderdiği Şekil 4.8'deki ivme grafiklerinde görülmektedir. RA14 armür makinesini oluşturan uzuvların açısai ivme değeri Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir.



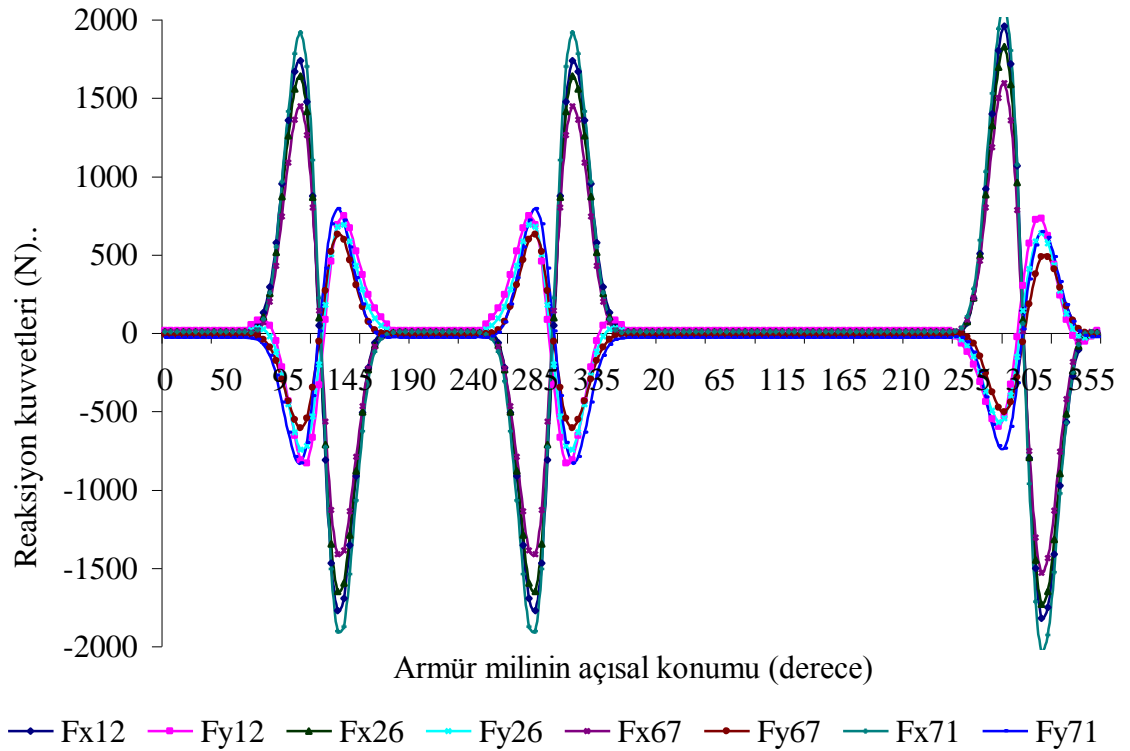
Şekil 4.8 Çerçeve kaldırma ünitesinin açısai ivmeleri

Dokuma makinelerinde çerçeve ile armür makineleri arasında hareket iletimini sağlayan alt kol bağlantıları ve çözüğü geriliminin armür ayağı üzerine etkisi hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Bu değerin armür makinesinin tahrik momenti üzerine etkisi incelenmek istenilirse, sabitler matrisinde bulunan armür ayağının atalet momenti değeri ile toplanması gereklidir.

Tablo 4.2 Çerçeve kaldırma mekanizmasında gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri

Kuvvet N	F _{x12}	F _{y12}	F _{x26}	F _{y26}	F _{x67}	F _{y67}	F _{x71}	F _{y71}	MT(Nm)
Maks.	1959	748	1829	693	1594	629	2086	793	117
Min.	-1821	-832	-1730	-743	-1528	-605	-2034	-829	-116

Çerçeve kaldırma mekanizması için hesaplanmış reaksiyon kuvvetleri maksimum ve minimum değeri Tablo 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.9'da reaksiyon kuvvetlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Çerçeve kaldırma mekanizmasında etkili olan reaksiyon kuvvetleri

Çerçeve kaldırma mekanizması hareketsiz olduğu anda, gövde üzerine etki eden reaksiyon kuvvetlerinin şiddetlerinin toplamı $-43,72270045$ N olarak hesaplanmıştır. Bu değer çerçeve kaldırma mekanizmasını oluşturan hareketli uzuvların toplam ağırlığına eşittir (denklem 4.1). Sağlanan bu eşitlik matris çözümünün bize doğru sonuçlar verdiğini ifade etmektedir.

$$m_T = m_2 + m_6 + m_7$$

$$m_T = 1,396865808 + 0,876455424 + 2,183630904$$

$$m_T = 4,456952 \text{ kg}$$

$$\dots\dots\dots (4.1)$$

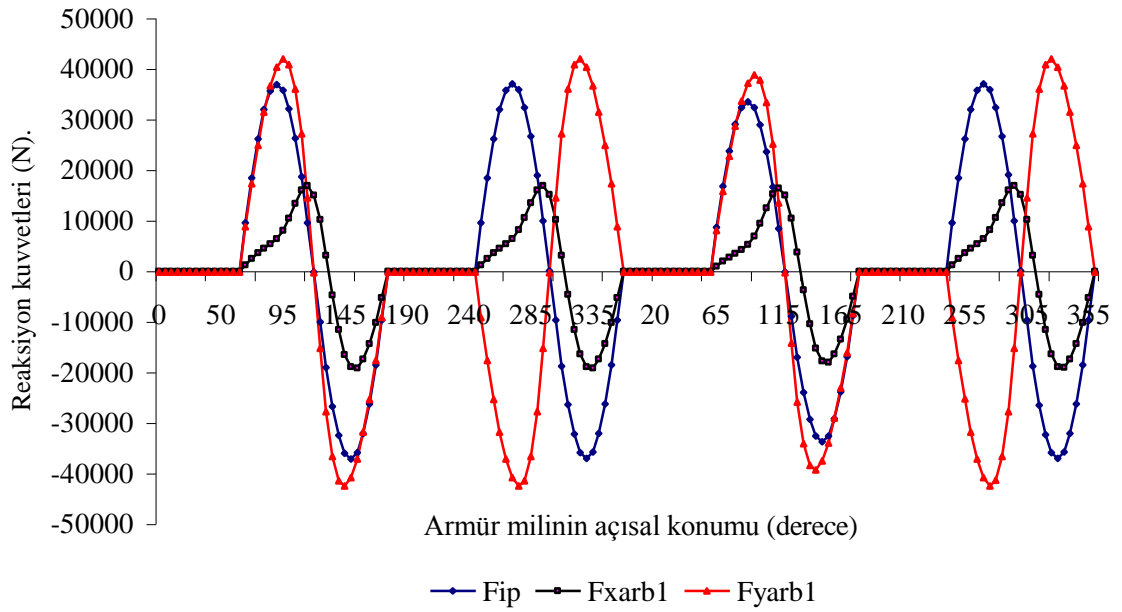
$$W_T = m_T \cdot x_g$$

$$W_T = 4,456952 \times 9,81$$

$$W_T = 43,72270045 \text{ N}$$

Eksantrik bekleme yaptığı 160° ve 340° konumlarında çerçeve kaldırma mekanizmasının tahrik mekanizması üzerine sabit $0,13$ Nm moment etkisi bulunmaktadır.

Armür bıçağının dış profili üzerine gelen ve bıçağın döndüğü eksen üzerinde meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin değişim grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Armür bıçağında etkili olan reaksiyon kuvvetleri

Tablo 4.3’ de armür bıçağında etkili olan reaksiyon kuvvetlerinin ulaştığı maksimum değerler verilmiştir. Fipy kuvveti, armür bıçağını döndürmeye çabalayan dış profili üzerindeki reaksiyon kuvvetinin teğetsel bileşenidir. Armür bıçağının çevirme moment değerinin hesaplanmasında kullanılır (denklem 4.2).

$$M = F_{ipy} d_0 / 2$$

$$M_{maks} = (34895,58081)(0,036) \dots\dots\dots (4.2)$$

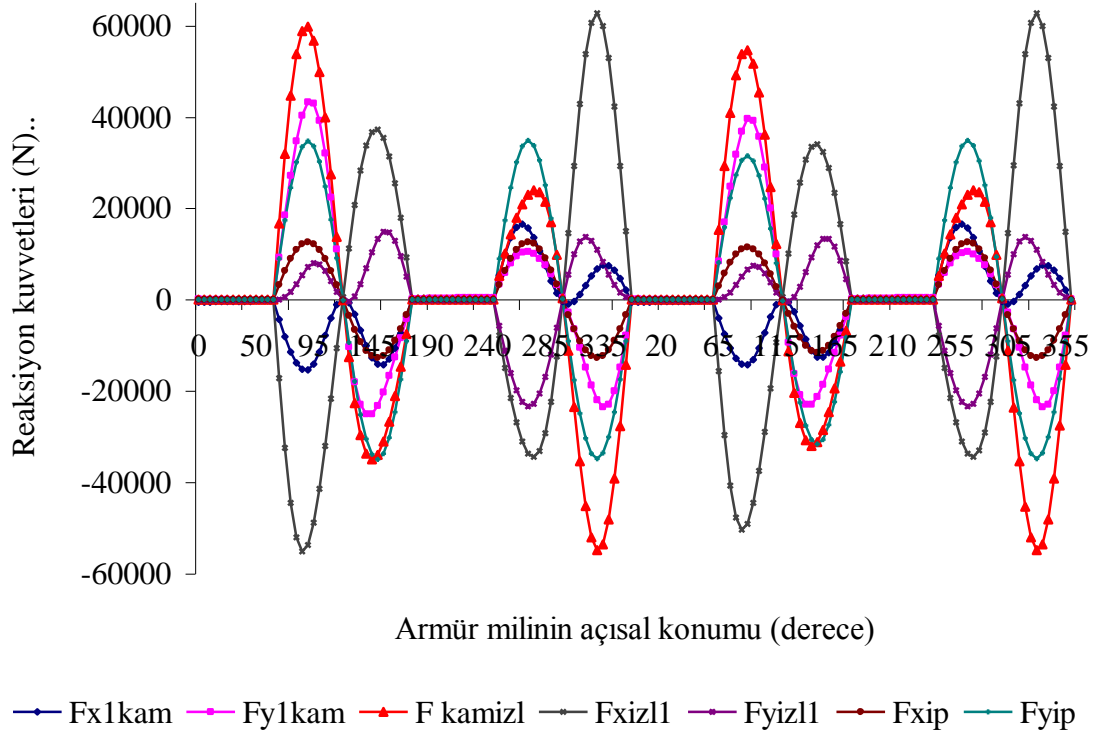
$$M_{maks} = \pm 1256,240909 \text{ Nm}$$

Tablo 4.3 Armür bıçağı üzerinde gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri

Kuvvet N	Fxarb1	Fyarb1	Fip	Fipx	Fipy
Maks.	17021,15582	42021,20669	37135,10145	12700,95272	34895,58081
Min.	-19076,35045	-42458,85943	-37135,10145	-12700,95272	-34895,58081

İzleyicinin bekleme konumunda armür bıçağından gövdeye gelen reaksiyon kuvvetinin -132,9773567 N değerine sahip olduğu görülmektedir. 13,91123144 kg kütlesi bulunan armür bıçağının ağırlığının gövdeye etkisi 136,4691804 N olacaktır. Aralarındaki fark bekleme konumunda çerçeve kaldırma mekanizması etkisi ile oluşan -0,13 Nm momentle açıklanabilir.

Şekil 4.11’de kam mekanizması üzerinde etkili olan reaksiyon kuvvetlerinin bileşenlerinin değişim grafiği verilmiştir.



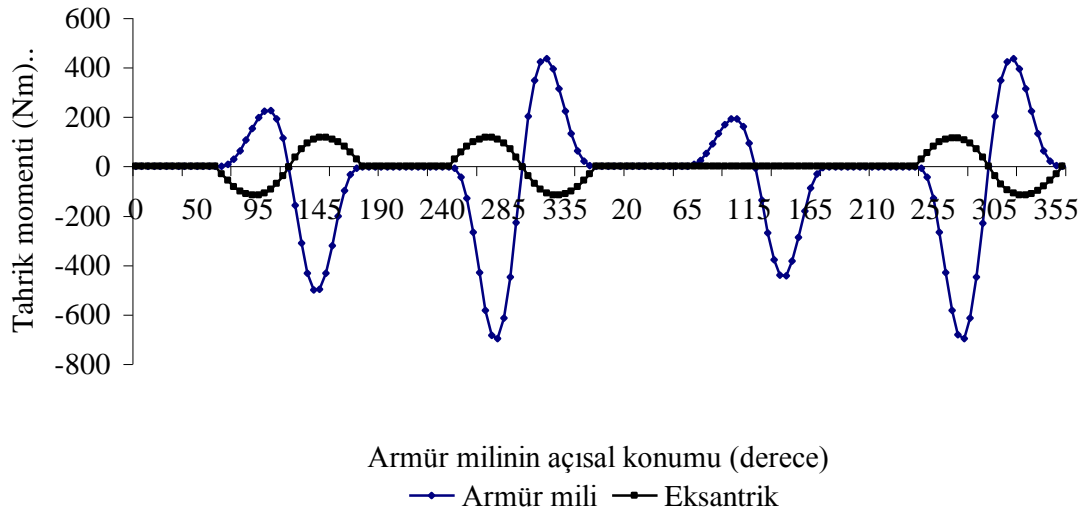
Şekil 4.11 Kam mekanizmasında etkili olan reaksiyon kuvvetleri

Tablo 4.4’de kam mekanizmasında etkili olan reaksiyon kuvvetlerinin ulaştığı maksimum değerler verilmiştir.

Tablo 4.4 Kam mekanizmasında gözlenen maksimum reaksiyon kuvvetleri

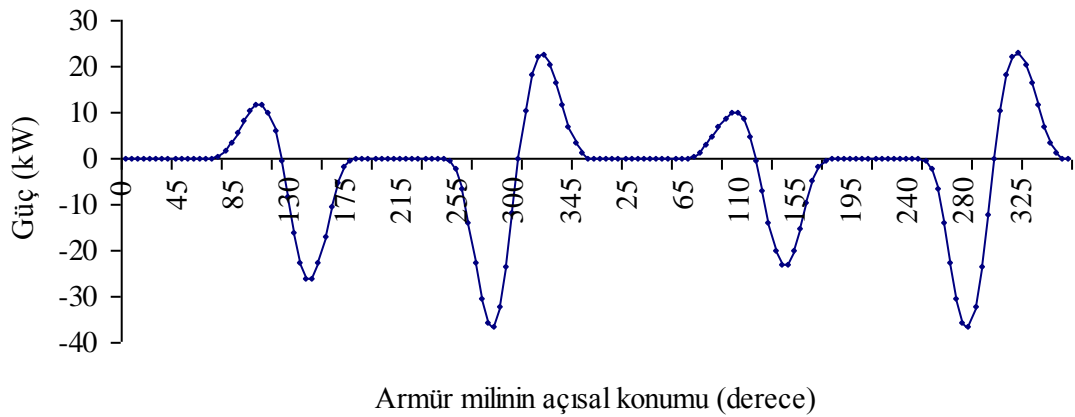
Kuvvet N	Fx1kam	Fy1kam	F kamızl	Fxizl1	Fyizl1
Maks.	16.523,78	43.330,73	59.764,79	62.741,18	14.863,17
Min.	-15.343,72	-25.049,30	-54.887,06	-55.051,92	-23.382,94

Şekil 4.12’de eksantrik ve armür milinin hareketi için gerekli tahrik momentini grafiği verilmiştir. Eksantrik milin hareketi için 117 Nm moment yeterlidir. İzleyicinin alçalma hareketi sırasında armür milinin 696,66 Nm ve tahrik ünitesinden çerçeve kaldırma mekanizmasına hareket iletiminin kesildiği durumda 441 Nm tahrik momentine ihtiyaç duyulur. Ek-6, Ek-7 ve Ek-8’de dinamik analiz sırasında hesaplanan moment değerleri verilmiştir.

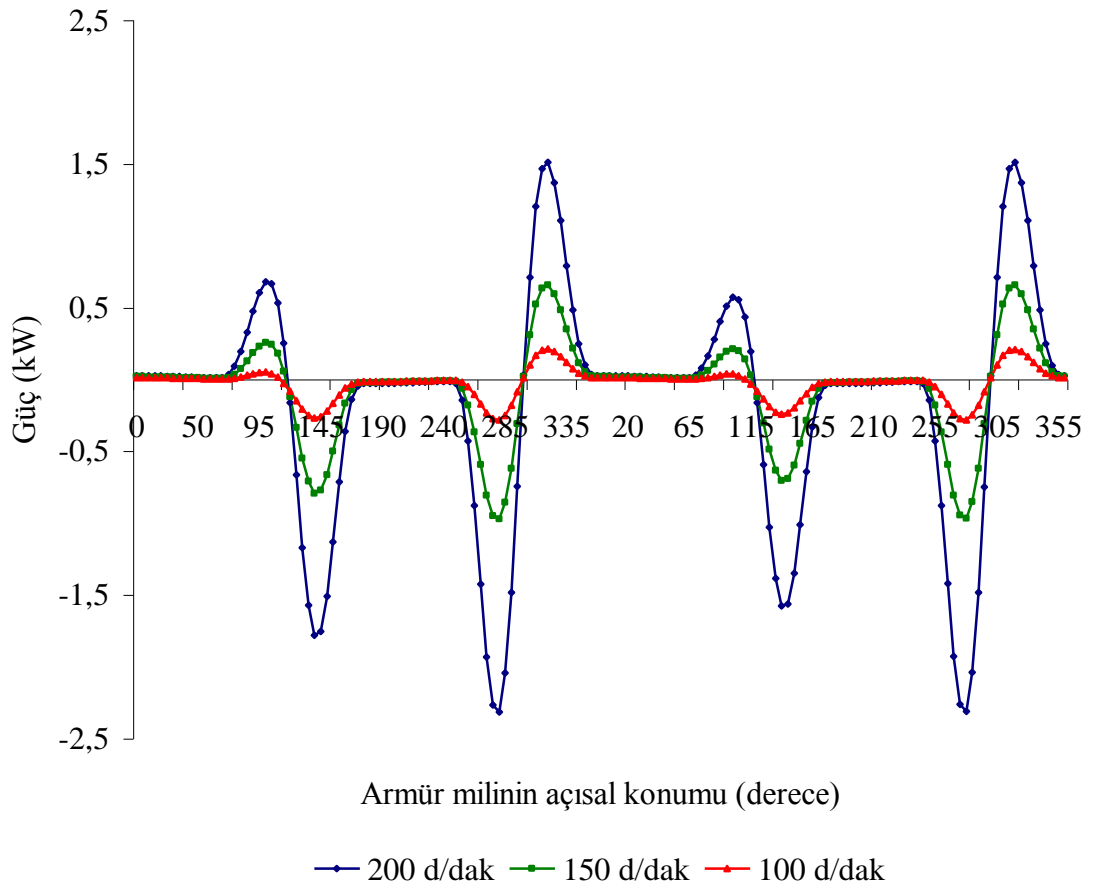


Şekil 4.12 Armür makinesinde armür mili ve eksantrik üzerinde etkili olan tahrik momentleri

Şekil 4.13'de 500d/dak hızla çalışan armür makinesinin tek bir çerçeveyi hareket ettirmesi için gerekli güç miktarının grafiği verilmiştir. Armür makinesinin tahriki için gerekli güç miktarı 36,28 kW hesaplanmıştır. Armür makinesinin çift stroklu olması sebebiyle dokuma makinesinin 1000 d/dak hızla çalışmasını durumunda bu derecede yüksek güç istenecektir. Tasarım aşamasında makine elemanlarının boyutlandırılması bu elemanların karşılaşılabilecekleri kritik yükler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Sırasıyla 200, 150 ve 100 d/dak hızlarda armür makinesinin ihtiyaç duyacağı maksimum güç miktarları 2,31 kW, 0,97 kW ve 0,28 kW olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.13 500d/dak için gerekli güç miktarı



Şekil 4.14 Belirli devirler için gerekli güç miktarı

5. SONUÇ

RA14 rotatif armürün çerçeve kaldırma mekanizmasının uzuv yörüngeleri materyal ve metod bölümünde verilmiş bağıntılar sayesinde hesaplanmıştır. Hesaplanmış değerlerin oluşturduğu uzuv yörüngeleri Şekil 4.4'te verilen grafikte gösterilmiştir.

Rotatif armürler 180^0 aralıklarla ağızlık açarlar. Bu özellik, yüksek hızlı hava ve su jetli dokuma tezgâhlarında çerçeve ivmelerinin azaltılması için önemlidir. Bu sebeple rotatif armürlerin kütle atalet kuvvetlerinin azaltılması gerekmektedir (Eren vd 2005).

Rotatif armürlerin seçim mekanizmasının çalışması için tahrik hareketinin bir süreliğine kesilmesi ve periyodik harmonik hareketleri bozulan kol uzuvlarının neden olduğu olumsuz etkilerin giderilmesi amacıyla tahrik ünitelerinde modülatör olarak adlandırılan, düzenleyici karmaşık bir sisteme gereksinim duyulur. RA14 armür makinesinde bu karmaşık hareketin üretimi şekil kapalı, makaralı izleyicisi salınım hareketi yapan kam mekanizmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Rotatif armürlerin yüksek hızlarda çalışan dokuma makinelerinde kullanılması durumunda seçim için bekleme süreleri sebebiyle, yüksek ivme değerlerine ulaşılmaktadır. Bu yüksek ivme değerleri atalet kuvveti ve momenti olarak dokuma makinesinin tahrik sisteminin zorlanmasına sebep olmaktadır.

DPT proje kapsamında tasarlanmış RA14 armürü çalışma prensibi sayesinde yukarıda sayılan olumsuzlukların giderilmesi sağlanmıştır.

Yapılan tez çalışması ile RA14' ün güçlü yanları bilimsel açıdan ifade edilmiştir.

Tezin amaçları içerisinde yer alan mekanizmaların kinematik ve dinamik analizini gerçekleştirebilecek yazılım algoritmasının geliştirilmesi için uygun hesap yöntemi belirlenmiş ve hesaplar excel programında yapılmıştır.

Belirlenen hesaplama yöntemine dayanan bir nesne tabanlı program geliştirmek istenildiğinde; kullanılacak sınıflar ve değişkenleri, değer üreten fonksiyonları, yazılım içerisinde belirli görevleri yerine getiren prosedürleri, sınıfların birbiriyle olan

etkileşimleri, özelliklerin hangi sınıflara aktarılacağı, kalıtım ve ileri düzeydeki interface yapılarının nasıl oluşturulacağı ve işleyişleri hakkında, özel uzmanlık bilgisi isteyen ve cisimlerin geometrik şekillerinden kütle özelliklerini hesaplayan geliştirmesi zor fonksiyonlara sahip autocad gibi paket programlara ait sınıfları dlimport komutu ile kullanılabilceği yada aynı ihtiyacın tasarım programının gönderdiği raporlar ile karşılanabileceği konusunda fikir edinilmiştir.

Dinamik analiz aşamasında, reaksiyon kuvvetlerinin ve moment değerlerinin bulunabilmesi için katsayılar matrisinin tersi Gauss-Jordan eliminasyon metodu kullanılmıştır. Eliminasyon metodları ile ters matrisin bulunması oldukça zahmetlidir. Ancak bu yöntem eğer bir yazılım kullanılmıyorsa uygundur. Belirlenen ters matrisler Ek-9'da sunulmuştur.

Denklemlerini tanımlayan katsayılar matrisi elde edildikten sonra sayısal çözüm teknikleri içerisinde sunulan; matrislerin özel çarpanlarına ayrılması veya matrisi oluşturan vektörlerin ortogonal dönüşümlerinin yapılarak değişkenlerin değerleri hesaplanabilir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla mekanizmanın her anı için bu dönüşümü yapabilen bir yazılımın hazırlanması gereklidir.

Bu çalışmanın tamamlayıcısı olarak yazılım programının hazırlanması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdulla G., Palamutcu, S., Soydan A S., and Hasçelik, B., (2006) Synthesis of a New Dobby Mechanism. *Tekstil*, 55 :184-188
- Abdulla, G. (2006) “Dokuma Makinalarında Ağzlık Açma Mekanizmalarının Araştırılması ve Modernizasyonu”, *DPT Projesi, 2003K120950*, Ankara, 138 s.
- Abdulla, G. ve Palamutçu, S.(2006) “RA-14 Rotatif Armürünün Programlama-Kilitleme Sisteminin Konstrüksiyonunun Sentezi ve Hesabı”. *II.Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi*, İstanbul, s.85-89.
- Abdulla, G., (2002) “Dokuma Makinası için Yüksek Hızlı Armür Dizaynı”, *TÜBİTAK Projesi, MİSAG-139*, Ankara, 87s.
- Abdullayev, G., Palamutçu, S., Soydan, A. S. Ve Hasçelik, B. (1999), “Hava ve Su Jetli Dokuma Makinaları için Armür Dizaynı”, *I. Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi*, Adana, s 76-82
- Adanur, S. (2001) Handbook of Weaving, *Technomic Publishing Comp.*, Pennsylvania, 429s.
- Başer, G. (2004) Dokuma Tekniği ve Sanatı, I, *Punto Yayıncılık*, İzmir, 290s.
- Daberkow, A., and Kreuzer, E. J., (1999) An Integrated Approach for Computer Aided Desing in Multibody System Dynamics, *Engineering with Computers*, 15:155-170
- Eren, R. (2000) Armürlü Ağzlık Açma Mekanizmaları. *Tekstil Maraton*, 5:46-55
- Eren, R. , Özkan, G. and Karahan, M. (2005) Comparison of Heald Frame Motion Generated by Rotary Dobby and Crank and Cam Shedding Motions. *Fibres and Textiles*, 13(52): 78-83
- Han, H. S., and Seo, J. H., (2003) Desing of a Multibody Dynamics Analysis Program Using the Object Oriented Concept, *Advances in Engineering Software*, 35:95-103
- Hernandez, A., Altuzarra, O., Aviles, R., and Petuya, V., (2003) Kinematic Analysis of Mechanisms via a Velocity Equation Based in a Geometric Matrix, *Mechanism and Machine Theory*, 38:1413-1429
- Hernandez, A., and Petuya, V., (2004) Position Analysis of Planar Mechanisms with R-pairs Using a Geometrical-Iterative Method, *Mechanism and Machine Theory*, 39:133-152

- Klingener, F., (2000) Inverse Kinematics on the Java 3D™ Scene Graph, *Vmech*, <http://www.Vmech.com> (5.12.2000)
- Navarro, O., Wu, C. J., and Angeles, J., (2001) The Size Minimization of Planar Cam Mechanisms, *Mechanism and Machine Theory*, 36:371-386
- Neogi, S. K., (1989) Pressure Angle in Loom Shedding Cam Desing, *Textile Research Journal*, 15:770-771
- Pissanetzky, S. (2005) Rigid Body Kinematics and C++ Code, *Sci. Controls Comp.*, Texas, 353s.
- Rothbard, H. A., (2004) Cam Design Handbook, *McGraw-Hill Inc.*, New York St., 619s.
- Shabana, A. A.,(2001) Computational Dynamics, *John Wiley and Sons Inc.*, New York St., 522s.
- Shigley, J. E., and Uicker, J. J. (1980), Theory of Machines and Mechanism, *McGraw-Hill Inc.*, New York St., 576s.
- Song, G., Li, Y., and Wu, J., (2004) A Study on the Optimum Desing of Non-Linear Cam Profilies in Weft-knitting Machines, *Journal Textile Institute*, 95:171-181
- Söylemez, E., Tümer, T., ve Gülen, S. (1982) “Tekstil Makinalarında Dinamik Analizi” *SAGEM*, Ankara, 263s.
- Weinsdörger, H. (2000) Dokuma Makinelerinde Sağlanan Son Gelişmeler. *Tekstil Maraton* , 6:23-26
- Yueyang, G., and Ruiqi, C., (2003) A New Type of Microprocessor Controlled Positive Dobby, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 28:275-280

EKLER

Ek- 1 RA14 tahrik ünitesinin hesaplanan kinematik değerleri

	θ_{kam}	$\Delta\Psi$	ψ^0	ψ'	ψ''	$\dot{\psi}$	$\ddot{\psi}$	μ^0	Kam Px	Kam Py	Riç	Rdış	Armür bıçağı		
	deg	deg	deg	katsayı	katsayı	rad/s	rad/s ²	deg	mm	mm	mm	mm	deg	rad/s	rad/s ²
ABN	0	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	5	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	10	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	15	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	20	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	25	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	30	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	35	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	40	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	45	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	50	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	55	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
60	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0	
Yükselme hareketi	60	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	65	0	41	0,009	0,194	0	532	-15	-56	38	68	94	90	-3	-3193
	70	0	41	0,033	0,375	2	1028	-13	-56	38	68	94	89	-11	-6169
	75	0	41	0,073	0,530	4	1454	-11	-57	38	68	94	88	-23	-8724
	80	1	42	0,125	0,650	7	1781	-8	-58	38	69	95	85	-39	-10684
	85	2	42	0,185	0,724	10	1986	-4	-59	38	70	96	80	-58	-11917
	90	3	43	0,250	0,750	13	2056	0	-60	39	72	97	74	-79	-12337
	95	4	45	0,315	0,724	16	1986	5	-62	39	73	99	65	-99	-11917
	100	6	47	0,375	0,650	20	1781	9	-64	41	76	101	55	-118	-10684
	105	8	49	0,427	0,530	22	1454	13	-66	42	78	103	43	-134	-8724
	110	10	51	0,467	0,375	24	1028	16	-68	44	81	106	29	-147	-6169
	115	13	53	0,491	0,194	26	532	19	-71	45	84	108	15	-154	-3193
	120	15	56	0,500	0,000	26	0	21	-73	47	87	111	0	-157	0
	125	17	58	0,491	-0,194	26	-532	22	-75	49	90	115	-15	-154	3193
	130	20	61	0,467	-0,375	24	-1028	23	-78	51	93	118	-29	-147	6169
	135	22	63	0,427	-0,530	22	-1454	23	-80	52	95	120	-43	-134	8724
	140	24	65	0,375	-0,650	20	-1781	23	-81	54	98	123	-55	-118	10684
	145	26	67	0,315	-0,724	16	-1986	22	-83	55	100	125	-65	-99	11917
	150	27	68	0,250	-0,750	13	-2056	21	-84	56	101	127	-74	-79	12337
	155	28	69	0,185	-0,724	10	-1986	20	-85	57	102	128	-80	-58	11917
160	29	70	0,125	-0,650	7	-1781	18	-86	58	103	129	-85	-39	10684	
165	30	70	0,073	-0,530	4	-1454	17	-86	58	104	130	-88	-23	8724	
170	30	71	0,033	-0,375	2	-1028	16	-86	58	104	130	-89	-11	6169	
175	30	71	0,009	-0,194	0	-532	15	-86	59	104	130	-90	-3	3193	
180	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0	
180	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0	

ÜBN	185	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	190	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	195	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	200	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	205	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	210	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	215	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	220	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	225	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	230	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	235	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	240	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
Alçalma hareketi	240	0	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	245	0	71	-0,009	-0,194	0	-532	15	-86	59	104	130	-90	3	3193
	250	0	71	-0,033	-0,375	-2	-1028	14	-86	59	104	130	-89	11	6169
	255	0	70	-0,073	-0,530	-4	-1454	12	-85	59	104	130	-88	23	8724
	260	-1	70	-0,125	-0,650	-7	-1781	10	-85	59	103	129	-85	39	10684
	265	-2	69	-0,185	-0,724	-10	-1986	7	-84	59	102	128	-80	58	11917
	270	-3	68	-0,250	-0,750	-13	-2056	4	-82	59	101	127	-74	79	12337
	275	-4	67	-0,315	-0,724	-16	-1986	0	-80	59	100	125	-65	99	11917
	280	-6	65	-0,375	-0,650	-20	-1781	-4	-78	59	98	123	-55	118	10684
	285	-8	63	-0,427	-0,530	-22	-1454	-8	-76	58	95	120	-43	134	8724
	290	-10	61	-0,467	-0,375	-24	-1028	-12	-73	57	93	118	-29	147	6169
	295	-13	58	-0,491	-0,194	-26	-532	-15	-71	56	90	115	-15	154	3193
	300	-15	56	-0,500	0,000	-26	0	-18	-68	54	87	111	0	157	0
	305	-17	53	-0,491	0,194	-26	532	-21	-66	52	84	108	15	154	-3193
	310	-20	51	-0,467	0,375	-24	1028	-22	-63	51	81	106	29	147	-6169
	315	-22	49	-0,427	0,530	-22	1454	-24	-61	48	78	103	43	134	-8724
	320	-24	47	-0,375	0,650	-20	1781	-24	-60	46	76	101	55	118	-10684
	325	-26	45	-0,315	0,724	-16	1986	-24	-58	45	73	99	65	99	-11917
	330	-27	43	-0,250	0,750	-13	2056	-23	-57	43	72	97	74	79	-12337
	335	-28	42	-0,185	0,724	-10	1986	-21	-57	41	70	96	80	58	-11917
	340	-29	42	-0,125	0,650	-7	1781	-20	-56	40	69	95	85	39	-10684
	345	-30	41	-0,073	0,530	-4	1454	-18	-56	39	68	94	88	23	-8724
	350	-30	41	-0,033	0,375	-2	1028	-16	-56	39	68	94	89	11	-6169
	355	-30	41	-0,009	0,194	0	532	-15	-56	38	68	94	90	3	-3193
360	-30	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0	
ABN	0	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	5	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	10	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	15	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	20	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	25	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	30	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	35	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	40	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	45	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	50	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
	55	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0
60	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0	
60	0	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0	

Yükse lme hareketi	65	0	41	0,009	0,194	0	532	-15	-56	38	68	94	90	-3	-3193
	70	0	41	0,033	0,375	2	1028	-13	-56	38	68	94	89	-11	-6169
	75	0	41	0,073	0,530	4	1454	-11	-57	38	68	94	88	-23	-8724
	80	1	42	0,125	0,650	7	1781	-8	-58	38	69	95	85	-39	-10684
	85	2	42	0,185	0,724	10	1986	-4	-59	38	70	96	80	-58	-11917
	90	3	43	0,250	0,750	13	2056	0	-60	39	72	97	74	-79	-12337
	95	4	45	0,315	0,724	16	1986	5	-62	39	73	99	65	-99	-11917
	100	6	47	0,375	0,650	20	1781	9	-64	41	76	101	55	-118	-10684
	105	8	49	0,427	0,530	22	1454	13	-66	42	78	103	43	-134	-8724
	110	10	51	0,467	0,375	24	1028	16	-68	44	81	106	29	-147	-6169
	115	13	53	0,491	0,194	26	532	19	-71	45	84	108	15	-154	-3193
	120	15	56	0,500	0,000	26	0	21	-73	47	87	111	0	-157	0
	125	17	58	0,491	-0,194	26	-532	22	-75	49	90	115	-15	-154	3193
	130	20	61	0,467	-0,375	24	-1028	23	-78	51	93	118	-29	-147	6169
	135	22	63	0,427	-0,530	22	-1454	23	-80	52	95	120	-43	-134	8724
	140	24	65	0,375	-0,650	20	-1781	23	-81	54	98	123	-55	-118	10684
	145	26	67	0,315	-0,724	16	-1986	22	-83	55	100	125	-65	-99	11917
	150	27	68	0,250	-0,750	13	-2056	21	-84	56	101	127	-74	-79	12337
	155	28	69	0,185	-0,724	10	-1986	20	-85	57	102	128	-80	-58	11917
	160	29	70	0,125	-0,650	7	-1781	18	-86	58	103	129	-85	-39	10684
165	30	70	0,073	-0,530	4	-1454	17	-86	58	104	130	-88	-23	8724	
170	30	71	0,033	-0,375	2	-1028	16	-86	58	104	130	-89	-11	6169	
175	30	71	0,009	-0,194	0	-532	15	-86	59	104	130	-90	-3	3193	
180	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0	
ÜBN	180	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	185	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	190	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	195	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	200	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	205	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	210	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	215	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	220	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	225	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	230	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	235	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
240	30	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0	
Alçalma hareketi	240	0	71	0,000	0,000	0	0	15	-86	59	104	130	-90	0	0
	245	0	71	-0,009	-0,194	0	-532	15	-86	59	104	130	-90	3	3193
	250	0	71	-0,033	-0,375	-2	-1028	14	-86	59	104	130	-89	11	6169
	255	0	70	-0,073	-0,530	-4	-1454	12	-85	59	104	130	-88	23	8724
	260	-1	70	-0,125	-0,650	-7	-1781	10	-85	59	103	129	-85	39	10684
	265	-2	69	-0,185	-0,724	-10	-1986	7	-84	59	102	128	-80	58	11917
	270	-3	68	-0,250	-0,750	-13	-2056	4	-82	59	101	127	-74	79	12337
	275	-4	67	-0,315	-0,724	-16	-1986	0	-80	59	100	125	-65	99	11917
	280	-6	65	-0,375	-0,650	-20	-1781	-4	-78	59	98	123	-55	118	10684
	285	-8	63	-0,427	-0,530	-22	-1454	-8	-76	58	95	120	-43	134	8724
	290	-10	61	-0,467	-0,375	-24	-1028	-12	-73	57	93	118	-29	147	6169
	295	-13	58	-0,491	-0,194	-26	-532	-15	-71	56	90	115	-15	154	3193
	300	-15	56	-0,500	0,000	-26	0	-18	-68	54	87	111	0	157	0
305	-17	53	-0,491	0,194	-26	532	-21	-66	52	84	108	15	154	-3193	

310	-20	51	-0,467	0,375	-24	1028	-22	-63	51	81	106	29	147	-6169
315	-22	49	-0,427	0,530	-22	1454	-24	-61	48	78	103	43	134	-8724
320	-24	47	-0,375	0,650	-20	1781	-24	-60	46	76	101	55	118	-10684
325	-26	45	-0,315	0,724	-16	1986	-24	-58	45	73	99	65	99	-11917
330	-27	43	-0,250	0,750	-13	2056	-23	-57	43	72	97	74	79	-12337
335	-28	42	-0,185	0,724	-10	1986	-21	-57	41	70	96	80	58	-11917
340	-29	42	-0,125	0,650	-7	1781	-20	-56	40	69	95	85	39	-10684
345	-30	41	-0,073	0,530	-4	1454	-18	-56	39	68	94	88	23	-8724
350	-30	41	-0,033	0,375	-2	1028	-16	-56	39	68	94	89	11	-6169
355	-30	41	-0,009	0,194	0	532	-15	-56	38	68	94	90	3	-3193
360	-30	41	0,000	0,000	0	0	-15	-56	38	68	94	90	0	0

Ek- 2 RA14 çerçeve kaldırma mekanizmasının hesaplanan kinematik değerleri

	θkam	θeksantrik	Bx	By	Cx	Cy	Ex	Ey	α	β	Eksantrik		Biyel		Kol	
	deg	deg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	deg	deg	rad/s	rad/s ²	rad/s	rad/s ²	rad/s	rad/s ²
ABN	0	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	5	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	10	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	15	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	20	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	25	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	30	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	35	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	40	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	45	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	50	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	55	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
Yükselme hareketi	60	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	65	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	-3	-3193	0	-207	0	1
	70	159	-14	5	196	-72	435	238	340	232	-11	-6169	-1	-403	0	26
	75	158	-13	5	196	-72	435	238	340	232	-23	-8724	-2	-580	0	132
	80	155	-13	6	196	-72	435	238	340	232	-39	-10684	-3	-728	1	385
	85	150	-13	7	197	-72	435	238	339	232	-58	-11917	-4	-825	2	829
	90	144	-12	9	197	-72	434	239	339	233	-79	-12337	-5	-826	3	1446
	95	135	-10	10	197	-73	432	240	338	233	-99	-11917	-7	-672	6	2133
	100	125	-8	12	198	-74	429	243	338	234	-118	-10684	-7	-311	10	2695
	105	113	-6	13	200	-75	423	246	337	235	-134	-8724	-7	257	15	2900
	110	99	-2	14	202	-76	416	251	336	237	-147	-6169	-7	935	20	2562
	115	85	1	14	205	-78	407	257	336	239	-154	-3193	-4	1533	23	1636
	120	70	5	14	208	-80	396	263	335	241	-157	0	-2	1840	25	271
	125	55	8	12	212	-82	385	269	335	244	-154	3193	1	1737	24	-1199
	130	41	11	9	215	-83	375	274	336	246	-147	6169	4	1273	21	-2371
	135	27	13	7	217	-84	366	277	336	248	-134	8724	6	634	17	-2950
	140	15	14	4	219	-85	360	280	337	249	-118	10684	6	27	12	-2881
	145	5	14	1	221	-85	355	282	337	250	-99	11917	6	-413	7	-2344
	150	-4	14	-1	221	-86	353	283	338	250	-79	12337	5	-654	4	-1619
	155	-10	14	-3	222	-86	351	283	338	251	-58	11917	4	-728	2	-949
160	-15	14	-4	222	-86	351	283	338	251	-39	10684	3	-683	1	-461	
165	-18	14	-4	222	-86	351	283	339	251	-23	8724	1	-565	0	-177	
170	-19	14	-5	222	-86	350	283	339	251	-11	6169	1	-400	0	-52	
175	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	-3	3193	0	-207	0	-13	
180	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
ÜBN	180	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	185	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	190	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	195	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	200	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	205	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	210	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
	215	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0
220	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	

	225	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
	230	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
	235	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
	240	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
Alçılma hareketi	240	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	0	0	0	0	0	0	
	245	-20	14	-5	222	-86	350	283	339	251	3	3193	0	-207	0	-13	
	250	-19	14	-5	222	-86	350	283	339	251	11	6169	-1	-400	0	-52	
	255	-18	14	-4	222	-86	351	283	339	251	23	8724	-1	-565	0	-177	
	260	-15	14	-4	222	-86	351	283	338	251	39	10684	-3	-683	-1	-461	
	265	-10	14	-3	222	-86	351	283	338	251	58	11917	-4	-728	-2	-949	
	270	-4	14	-1	221	-86	353	283	338	250	79	12337	-5	-654	-4	-1619	
	275	5	14	1	221	-85	355	282	337	250	99	11917	-6	-413	-7	-2344	
	280	15	14	4	219	-85	360	280	337	249	118	10684	-6	27	-12	-2881	
	285	27	13	7	217	-84	366	277	336	248	134	8724	-6	634	-17	-2950	
	290	41	11	9	215	-83	375	274	336	246	147	6169	-4	1273	-21	-2371	
	295	55	8	12	212	-82	385	269	335	244	154	3193	-1	1737	-24	-1199	
	300	70	5	14	208	-80	396	263	335	241	157	0	2	1840	-25	271	
	305	85	1	14	205	-78	407	257	336	239	154	-3193	4	1533	-23	1636	
	310	99	-2	14	202	-76	416	251	336	237	147	-6169	7	935	-20	2562	
	315	113	-6	13	200	-75	423	246	337	235	134	-8724	7	257	-15	2900	
	320	125	-8	12	198	-74	429	243	338	234	118	-10684	7	-311	-10	2695	
	325	135	-10	10	197	-73	432	240	338	233	99	-11917	7	-672	-6	2133	
	330	144	-12	9	197	-72	434	239	339	233	79	-12337	5	-826	-3	1446	
	335	150	-13	7	197	-72	435	238	339	232	58	-11917	4	-825	-2	829	
	340	155	-13	6	196	-72	435	238	340	232	39	-10684	3	-728	-1	385	
	345	158	-13	5	196	-72	435	238	340	232	23	-8724	2	-580	0	132	
	350	159	-14	5	196	-72	435	238	340	232	11	-6169	1	-403	0	26	
	355	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	3	-3193	0	-207	0	1	
	360	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	ABN	0	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		5	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		10	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		15	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		20	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		25	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		30	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		35	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
40		160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
45		160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
50		160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
55		160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
60		160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
Yükselme hareketi		60	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
		65	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	70	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	75	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	80	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	85	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	90	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	95	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	100	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
	105	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	

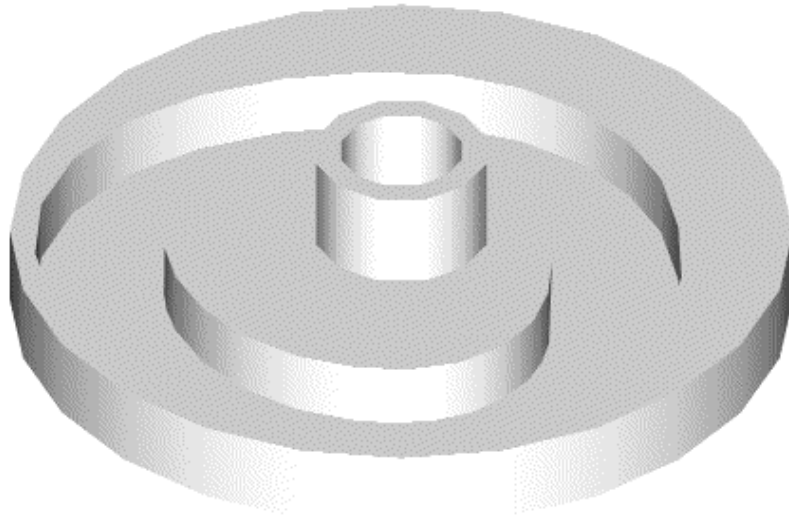
	110	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	115	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	120	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	125	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	130	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	135	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	140	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	145	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	150	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	155	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	160	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	165	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	170	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	175	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	180	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
ÜBN	180	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	185	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	190	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	195	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	200	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	205	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	210	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	215	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	220	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	225	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	230	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	235	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
240	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0	
Alçalma hareketi	240	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	0	0	0	0	0	0
	245	160	-14	5	196	-72	435	238	340	232	3	3193	0	207	0	3
	250	161	-14	5	196	-72	435	238	340	232	11	6169	1	396	0	31
	255	162	-14	4	196	-72	435	238	340	232	23	8724	1	546	0	140
	260	165	-14	4	196	-72	435	238	340	232	39	10684	2	632	1	397
	265	170	-14	3	197	-72	435	238	340	232	58	11917	4	620	2	852
	270	176	-14	1	197	-72	434	239	341	233	79	12337	4	479	4	1494
	275	185	-14	-1	197	-73	432	240	341	233	99	11917	5	191	7	2220
	280	195	-14	-4	199	-74	428	243	342	234	118	10684	5	-222	11	2820
	285	207	-13	-7	200	-75	423	247	342	235	134	8724	4	-686	16	3023
	290	221	-11	-9	202	-76	415	252	343	237	147	6169	3	-1089	21	2607
	295	235	-8	-12	205	-78	406	258	343	239	154	3193	1	-1327	24	1544
	300	250	-5	-14	209	-80	395	264	343	242	157	0	-2	-1343	25	57
	305	265	-1	-14	212	-82	384	270	342	244	154	-3193	-4	-1140	24	-1450
	310	279	2	-14	215	-83	373	274	342	246	147	-6169	-5	-770	21	-2568
	315	293	6	-13	218	-84	365	278	342	248	134	-8724	-6	-320	16	-3049
	320	305	8	-12	220	-85	359	280	341	249	118	-10684	-6	115	11	-2893
	325	315	10	-10	221	-86	354	282	340	250	99	-11917	-6	453	7	-2300
	330	324	12	-9	222	-86	352	283	340	251	79	-12337	-5	654	3	-1550
	335	330	13	-7	222	-86	351	283	339	251	58	-11917	-4	720	1	-872
340	335	13	-6	222	-86	351	283	339	251	39	-10684	-3	678	0	-389	
345	338	13	-5	222	-86	350	283	339	251	23	-8724	-1	563	0	-118	
350	339	14	-5	222	-86	350	283	339	251	11	-6169	-1	400	0	-10	
355	340	14	-5	222	-86	350	283	339	251	3	-3193	0	207	0	9	

Alçalma hareketi	240	13	28	149	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	240	13	28	149	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	245	10	29	119	345	14	-46	122	-391	-44	140	1	1954	7	208	
	250	8	30	89	354	27	-89	232	-757	-85	271	8	3775	112	403	
	255	5	31	58	361	37	-126	316	-1074	-121	383	38	5323	533	569	
	260	2	31	26	364	42	-155	357	-1325	-148	462	110	6428	1532	697	
	265	-1	31	-6	365	40	-175	344	-1492	-165	491	236	6833	3289	778	
	270	-3	31	-38	363	32	-183	272	-1566	-171	444	413	6183	5749	805	
	275	-6	30	-69	359	17	-180	146	-1537	-165	295	611	4108	8493	778	
	280	-8	30	-100	351	-2	-164	-18	-1403	-148	32	770	449	10712	697	
	285	-11	29	-130	341	-23	-137	-195	-1168	-121	-320	819	-4454	11391	569	
	290	-14	28	-160	328	-42	-99	-356	-843	-85	-691	699	-9613	9731	403	
	295	-16	27	-188	313	-55	-53	-474	-451	-44	-977	406	-13598	5644	208	
	300	-18	25	-214	296	-62	-3	-528	-22	0	-1086	0	-15103	0	0	
	305	-20	23	-239	276	-60	48	-509	411	44	-977	-406	-13598	-5644	-208	
	310	-22	22	-262	254	-50	95	-424	812	85	-691	-699	-9613	-9731	-403	
	315	-24	19	-284	230	-34	134	-290	1148	121	-320	-819	-4454	-11391	-569	
	320	-26	17	-302	205	-16	164	-133	1397	148	32	-770	449	-10712	-697	
	325	-27	15	-319	177	2	181	20	1544	165	295	-611	4108	-8493	-778	
	330	-28	13	-333	149	17	185	143	1583	171	444	-413	6183	-5749	-805	
	335	-29	10	-345	119	26	177	221	1516	165	491	-236	6833	-3289	-778	
	340	-30	8	-354	89	29	158	248	1349	148	462	-110	6428	-1532	-697	
	345	-31	5	-361	58	27	128	227	1097	121	383	-38	5323	-533	-569	
	350	-31	2	-364	26	20	91	170	774	85	271	-8	3775	-112	-403	
	355	-31	-1	-365	-6	10	47	90	400	44	140	-1	1954	-7	-208	
	360	-31	-3	-363	-38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ABN	0	-31	-3	-363	-38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	-30	-6	-359	-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	-30	-8	-351	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		15	-29	-11	-341	-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		20	-28	-14	-328	-160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25	-27	-16	-313	-188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		30	-25	-18	-296	-214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		35	-23	-20	-276	-239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		40	-22	-22	-254	-262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		45	-19	-24	-230	-284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50		-17	-26	-205	-302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55		-15	-27	-177	-319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60		-13	-28	-149	-333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Yükselme hareketi	60	-13	-28	-149	-333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	65	-10	-29	-119	-345	10	47	90	400	44	140	-1	1954	-7	-208	
	70	-8	-30	-89	-354	20	91	170	774	85	271	-8	3775	-112	-403	
	75	-5	-31	-58	-361	27	128	227	1097	121	383	-38	5323	-533	-569	
	80	-2	-31	-26	-364	29	158	248	1349	148	462	-110	6428	-1532	-697	
	85	1	-31	6	-365	26	177	221	1516	165	491	-236	6833	-3289	-778	
	90	3	-31	38	-363	17	185	143	1583	171	444	-413	6183	-5749	-805	
	95	6	-30	69	-359	2	181	20	1544	165	295	-611	4108	-8493	-778	
	100	8	-30	100	-351	-16	164	-133	1397	148	32	-770	449	-10712	-697	
	105	11	-29	130	-341	-34	134	-290	1148	121	-320	-819	-4454	-11391	-569	
	110	14	-28	160	-328	-50	95	-424	812	85	-691	-699	-9613	-9731	-403	
	115	16	-27	188	-313	-60	48	-509	411	44	-977	-406	-13598	-5644	-208	
	120	18	-25	214	-296	-62	-3	-528	-22	0	-1086	0	-15103	0	0	
	125	20	-23	239	-276	-55	-53	-474	-451	-44	-977	406	-13598	5644	208	
	130	22	-22	262	-254	-42	-99	-356	-843	-85	-691	699	-9613	9731	403	
	135	24	-19	284	-230	-23	-137	-195	-1168	-121	-320	819	-4454	11391	569	
	140	26	-17	302	-205	-2	-164	-18	-1403	-148	32	770	449	10712	697	
	145	27	-15	319	-177	17	-180	146	-1537	-165	295	611	4108	8493	778	

Ek- 5 RA14 hareketli parçalarının kütle merkezi ve eylemsizlik momentleri

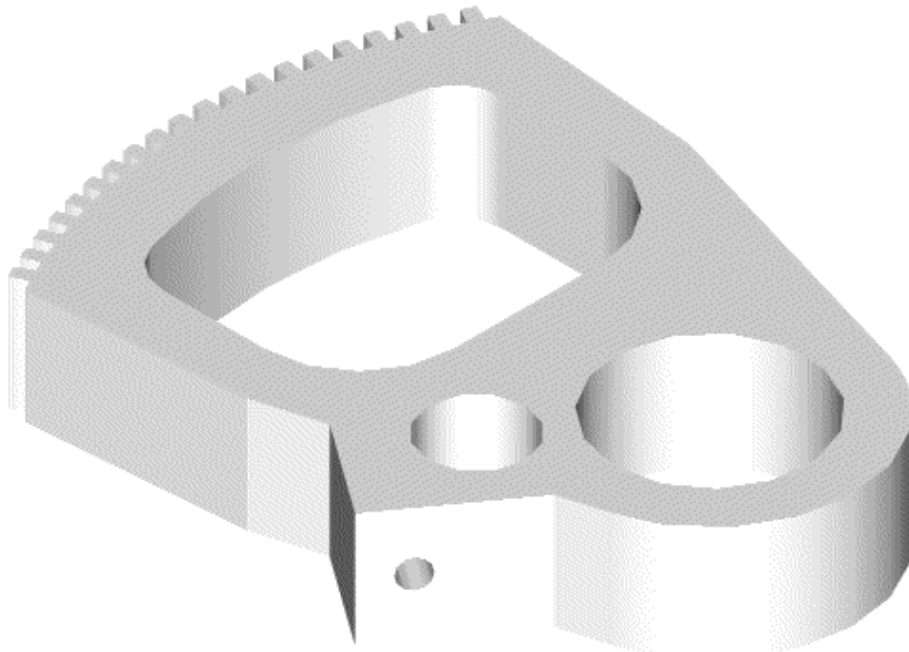
----- Cyclodial Kam -----

Kütle:	1513283.26
Hacim:	1513283.26
Kutu hacim:	X: -160.66 -- 141.34 Y: -145.64 -- 156.36 Z: -15.77 -- 54.23
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 8884914744.80 Y: 8757382156.70 Z: 17176506108.79
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: 108275112.51 YZ: -30237894.20 ZX: 54470655.79
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 76.62 Y: 76.07 Z: 106.54
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 8946333721.01 doğrultusu [0.87 -0.50 0.01] J: 8695491520.13 doğrultusu [0.50 0.87 0.00] K: 17176977693.57 doğrultusu [-0.01 0.00 1.00]



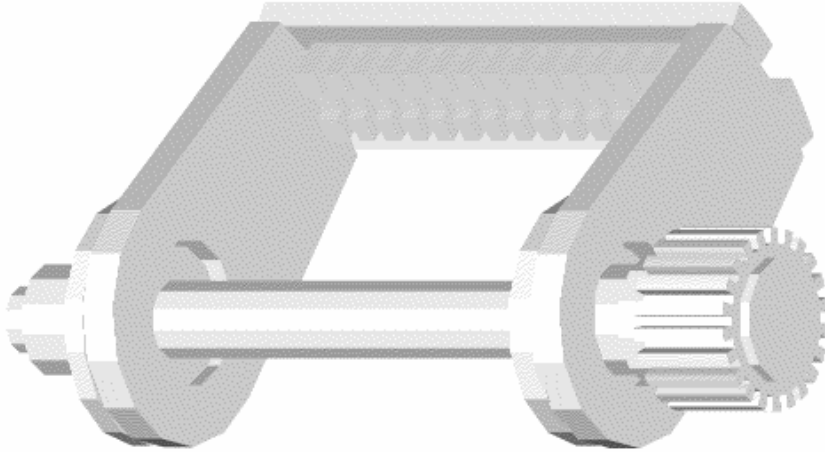
----- Salınım Hareketli İzleyici Kol -----

Kütle:	1094855.13
Hacim:	1094855.13
Kutu hacim:	X: -113.85 -- 139.92 Y: -143.88 -- 132.36 Z: -24.00 -- 24.00
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 6106557619.83 Y: 4959020411.47 Z: 10642221413.39
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: -1376494382.46 YZ: 0.00 ZX: 0.00
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 74.68 Y: 67.30 Z: 98.59
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 7024079451.73 doğrultusu [0.83 0.55 0.00] J: 4041498568.83 doğrultusu [-0.55 0.83 0.00] K: 10642221402.65 doğrultusu [0.00 0.00 1.00]



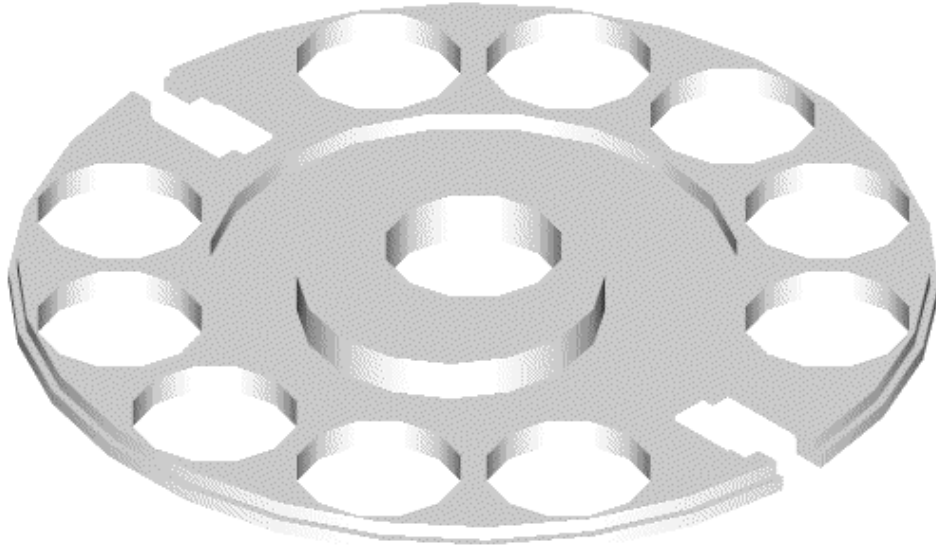
----- Armür Bıçağı -----

Kütle:	1783491.21
Hacim:	1783491.21
Kutu hacim:	X: -99.28 -- 115.80 Y: -55.05 -- 61.87 Z: -216.50 -- 189.48
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 25823873901.34 Y: 32223429341.19 Z: 8368119751.86
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: -485689098.32 YZ: 85679280.45 ZX: -1481659883.42
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 120.33 Y: 134.42 Z: 68.50
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 25912729410.63 doğrultusu [0.99 -0.08 0.08] J: 32260109191.21 doğrultusu [0.08 1.00 0.00] K: 8242584283.47 doğrultusu [-0.08 0.01 1.00]



----- Eksantrik -----

Kütle:	179085.36
Hacim:	179085.36
Kutu hacim:	X: -116.22 -- 125.18 Y: -120.70 -- 120.70 Z: -4.28 -- 9.72
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 610530082.91 Y: 560738973.58 Z: 1167454145.48
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: 26149583.41 YZ: 946.33 ZX: -3383318.28
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 58.39 Y: 55.96 Z: 80.74
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 621722058.74 doğrultusu [0.92 -0.39 -0.01] J: 549526401.70 doğrultusu [0.39 0.92 0.00] K: 1167474739.65 doğrultusu [0.01 0.00 1.00]



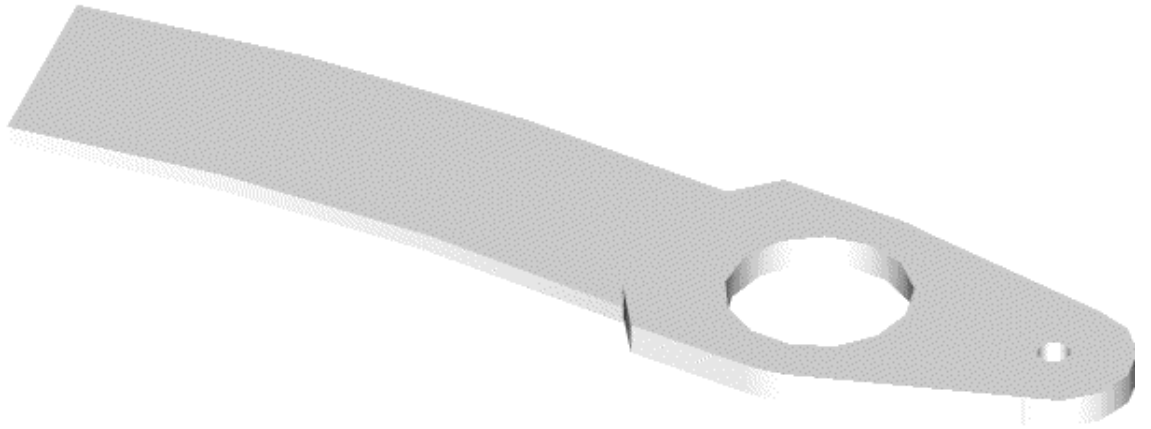
----- Biyel Kolu -----

Kütle:	112366.08
Hacim:	112366.08
Kutu hacim:	X: -147.70 -- 160.00 Y: -53.83 -- 54.12 Z: -3.13 -- 6.87
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 83019759.44 Y: 745884088.52 Z: 827817729.74
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: 180102.61 YZ: 12347.45 ZX: -6622928.42
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 27.18 Y: 81.47 Z: 85.83
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 82960819.94 doğrultusu [1.00 0.00 -0.01] J: 745884132.41 doğrultusu [0.00 1.00 0.00] K: 827876615.23 doğrultusu [0.01 0.00 1.00]



----- Armür Ayağı -----

Kütle:	279952.68
Hacim:	279952.68
Kutu hacim:	X: -233.99 -- 202.48 Y: -61.99 -- 51.55 Z: -6.00 -- 6.00
Kütle merkezi:	X: 0.00 Y: 0.00 Z: 0.00
Eylemsizlik momenti:	X: 212926185.20 Y: 4173397635.03 Z: 4381766492.96
Eylemsizlik momentlerinin çarpımı:	XY: -289801403.02 YZ: 0.00 ZX: 0.00
Eylemsizlik yarıçapı:	X: 27.58 Y: 122.10 Z: 125.11
Kütle merkezine yerleştirilmiş asal eksenler doğrultusundaki eylemsizlik momenti:	I: 191832756.90 doğrultusu [1.00 -0.07 0.00] J: 4194491058.76 doğrultusu [0.07 1.00 0.00] K: 4381766488.40 doğrultusu [0.00 0.00 1.00]



Ek- 6 RA14 çerçeve kaldırma mekanizmasının reaksiyon kuvvetleri ve momenti

	θkam deg	θeksantrik deg	Fx12 N	Fy12 N	Fx26 N	Fy26 N	Fx67 N	Fy67 N	Fx71 N	Fy71 N	MT N
ABN	0	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	5	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	10	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	15	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	20	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	25	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	30	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	35	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	40	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	45	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	50	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	55	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	60	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
Yükselme hareketi	60	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	65	160	24,47	53,54	13,22	21,08	5,06	-9,63	5,15	-31,11	-29,58
	70	159	52,27	82,60	33,65	33,02	16,11	-17,37	20,08	-41,15	-57,02
	75	158	129,00	87,48	100,93	24,50	69,43	-39,56	89,47	-72,84	-80,61
	80	155	295,01	48,69	253,49	-21,41	199,40	-88,71	257,78	-144,62	-98,84
	85	150	574,91	-50,58	515,12	-118,43	427,63	-174,12	553,50	-269,26	-110,80
	90	144	953,51	-215,92	872,41	-268,93	743,05	-294,93	963,88	-442,99	-116,18
	95	135	1358,99	-431,69	1258,87	-455,16	1087,79	-433,64	1417,00	-635,59	-115,10
	100	125	1667,59	-653,55	1559,07	-634,11	1360,83	-553,55	1784,89	-788,46	-107,54
	105	113	1739,63	-811,84	1641,90	-742,93	1447,20	-604,99	1917,59	-828,82	-92,84
	110	99	1477,41	-831,65	1413,88	-718,97	1264,39	-542,56	1699,65	-700,73	-69,99
	115	85	876,90	-666,80	866,80	-530,12	802,69	-348,68	1104,76	-399,67	-38,84
	120	70	47,61	-332,74	97,25	-201,34	141,59	-52,66	226,68	10,49	-1,63
	125	55	-809,54	84,40	-710,68	181,60	-563,40	268,53	-728,22	414,52	36,61
	130	41	-1468,20	459,75	-1343,80	504,38	-1127,68	518,48	-1503,10	695,82	69,95
	135	27	-1770,17	691,42	-1647,68	680,68	-1412,55	629,47	-1900,26	792,76	94,43
	140	15	-1695,12	748,37	-1596,16	692,90	-1388,38	596,20	-1874,46	721,03	109,49
	145	5	-1353,46	669,11	-1288,53	586,25	-1136,29	467,41	-1535,87	548,77	116,59
150	-4	-911,28	522,88	-879,92	429,67	-789,46	308,59	-1067,02	352,05	117,04	
155	-10	-509,19	370,54	-503,71	279,69	-464,75	169,44	-627,72	184,24	111,20	
160	-15	-222,20	246,48	-232,18	165,67	-226,81	72,79	-306,02	68,59	99,00	
165	-18	-61,77	159,32	-77,48	92,62	-87,80	19,52	-118,34	4,68	80,66	
170	-19	1,48	101,05	-12,85	50,69	-25,50	-1,74	-34,49	-21,22	57,03	
175	-20	11,49	57,60	2,52	25,09	-5,05	-5,84	-7,28	-26,78	29,58	
180	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	
ÜBN	180	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	185	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	190	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	195	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	200	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	205	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	210	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	215	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	220	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
	225	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13
230	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	
235	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	
240	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	

Alçalma hareketi	240	-20	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	
	245	-20	11,49	57,60	2,52	25,09	-5,05	-5,84	-7,28	-26,78	29,58	
	250	-19	1,48	101,05	-12,85	50,69	-25,50	-1,74	-34,49	-21,22	57,03	
	255	-18	-61,77	159,32	-77,48	92,62	-87,80	19,52	-118,34	4,68	80,66	
	260	-15	-222,20	246,48	-232,18	165,67	-226,81	72,79	-306,02	68,59	99,00	
	265	-10	-509,19	370,54	-503,71	279,69	-464,75	169,44	-627,72	184,24	111,20	
	270	-4	-911,28	522,88	-879,92	429,67	-789,46	308,59	-1067,02	352,05	117,04	
	275	5	-1353,46	669,11	-1288,53	586,25	-1136,29	467,41	-1535,87	548,77	116,59	
	280	15	-1695,12	748,37	-1596,16	692,90	-1388,38	596,20	-1874,46	721,03	109,49	
	285	27	-1770,17	691,42	-1647,68	680,68	-1412,55	629,47	-1900,26	792,76	94,43	
	290	41	-1468,20	459,75	-1343,80	504,38	-1127,68	518,48	-1503,10	695,82	69,95	
	295	55	-809,54	84,40	-710,68	181,60	-563,40	268,53	-728,22	414,52	36,61	
	300	70	47,61	-332,74	97,25	-201,34	141,59	-52,66	226,68	10,49	-1,63	
	305	85	876,90	-666,80	866,80	-530,12	802,69	-348,68	1104,76	-399,67	-38,84	
	310	99	1477,41	-831,65	1413,88	-718,97	1264,39	-542,56	1699,65	-700,73	-69,99	
	315	113	1739,63	-811,84	1641,90	-742,93	1447,20	-604,99	1917,59	-828,82	-92,84	
	320	125	1667,59	-653,55	1559,07	-634,11	1360,83	-553,55	1784,89	-788,46	-107,54	
	325	135	1358,99	-431,69	1258,87	-455,16	1087,79	-433,64	1417,00	-635,59	-115,10	
	330	144	953,51	-215,92	872,41	-268,93	743,05	-294,93	963,88	-442,99	-116,18	
	335	150	574,91	-50,58	515,12	-118,43	427,63	-174,12	553,50	-269,26	-110,80	
	340	155	295,01	48,69	253,49	-21,41	199,40	-88,71	257,78	-144,62	-98,84	
	345	158	129,00	87,48	100,93	24,50	69,43	-39,56	89,47	-72,84	-80,61	
	350	159	52,27	82,60	33,65	33,02	16,11	-17,37	20,08	-41,15	-57,02	
	355	160	24,47	53,54	13,22	21,08	5,06	-9,63	5,15	-31,11	-29,58	
	360	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	ABN	0	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		5	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		10	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		15	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		20	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		25	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		30	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		35	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		40	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		45	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
		50	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
55		160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
60	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13		
Yükselme hareketi	60	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	65	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	70	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	75	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	80	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	85	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	90	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	95	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	100	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	105	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	110	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	115	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	120	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
	125	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
130	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13		
135	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13		
140	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13		

	145	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	150	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	155	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	160	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	165	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	170	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	175	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	180	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
ÜBN	180	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	185	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	190	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	195	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	200	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	205	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	210	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	215	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	220	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	225	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	230	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	235	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
240	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13	
Alçılma hareketi	240	160	11,59	16,03	7,25	2,33	7,25	-6,27	7,25	-27,69	-0,13
	245	160	1,06	-22,34	3,48	-17,24	11,38	-3,59	11,85	-25,29	29,33
	250	161	7,11	-63,93	14,88	-40,97	28,36	-5,67	33,07	-29,89	56,77
	255	162	65,82	-118,92	74,97	-79,62	87,20	-22,82	108,35	-56,77	80,37
	260	165	221,72	-199,25	225,12	-145,85	223,77	-67,16	283,93	-124,11	98,65
	265	170	507,79	-309,51	495,73	-246,07	464,02	-146,36	593,37	-243,49	110,68
	270	176	920,99	-437,59	883,02	-371,79	803,40	-256,66	1031,54	-408,74	116,22
	275	185	1397,60	-549,61	1326,05	-494,15	1186,46	-377,86	1529,32	-586,78	115,42
	280	195	1802,89	-595,13	1697,31	-567,06	1499,17	-474,19	1943,44	-717,96	108,22
	285	207	1958,60	-526,49	1829,50	-543,15	1594,22	-504,57	2085,64	-734,50	93,73
	290	221	1719,65	-326,49	1588,66	-398,53	1357,89	-440,43	1803,09	-595,76	70,51
	295	235	1066,28	-26,53	960,86	-151,14	786,50	-280,87	1076,46	-318,39	38,38
	300	250	142,21	300,98	86,04	142,18	11,71	-55,83	62,83	25,48	0,25
	305	265	-798,62	572,21	-795,00	408,13	-752,25	183,08	-959,67	343,10	-38,08
	310	279	-1502,95	724,09	-1445,88	584,01	-1302,67	378,23	-1712,91	561,25	-70,64
	315	293	-1820,79	733,67	-1729,51	637,35	-1527,63	484,91	-2033,86	647,20	-94,19
	320	305	-1750,61	621,08	-1648,56	574,23	-1436,38	488,37	-1925,68	609,27	-108,71
	325	315	-1412,22	437,42	-1318,59	433,48	-1133,63	408,76	-1526,42	485,79	-115,70
	330	324	-971,77	242,69	-897,18	268,29	-757,81	288,41	-1023,66	328,01	-116,28
	335	330	-567,94	84,00	-514,68	124,44	-421,73	170,07	-571,56	181,58	-110,64
340	335	-275,08	-15,62	-240,11	27,08	-183,96	80,76	-250,80	73,79	-98,60	
345	338	-105,00	-55,93	-83,49	-20,36	-51,76	27,90	-72,05	10,85	-80,35	
350	339	-29,10	-51,34	-17,03	-29,17	0,14	4,46	-1,59	-16,59	-56,77	
355	340	-4,34	-21,29	0,36	-16,24	8,22	-2,62	9,76	-24,37	-29,33	
360	340	4,79	17,69	2,58	3,98	2,58	-4,61	2,58	-26,03	0,13	

Ek- 7 RA14 armür bıçağının reaksiyon kuvvetleri

	θkam	θarmürbıçağı	Fxarb1	Fyarb1	Fip	Fipx	Fipy	Mt
	deg	deg	N	N	N	N	N	Nm
ABN	0	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	5	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	10	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	15	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	20	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	25	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	30	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	35	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	40	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	45	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	50	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	55	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	60	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
Yükselme hareketi	60	90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	65	90	1321,07	8870,22	9576,96	3275,51	8999,39	323,98
	70	89	2551,43	17356,59	18496,20	6326,07	17380,74	625,71
	75	88	3621,85	24971,60	26152,64	8944,73	24575,45	884,72
	80	85	4526,15	31490,12	32026,36	10953,66	30094,93	1083,42
	85	80	5385,60	36722,66	35724,79	12218,60	33570,32	1208,53
	90	74	6475,22	40390,54	37009,99	12658,16	34778,01	1252,01
	95	65	8139,35	42004,65	35807,74	12246,97	33648,27	1211,34
	100	55	10563,31	40830,43	32197,08	11012,05	30255,36	1089,19
	105	43	13480,13	36053,38	26390,84	9026,20	24799,28	892,77
	110	29	16018,42	27191,78	18726,92	6404,98	17597,55	633,51
	115	15	16908,50	14603,66	9679,43	3310,56	9095,69	327,44
	120	0	15058,61	-257,93	-129,26	-44,21	-121,46	-4,37
	125	-15	10192,53	-15137,16	-9956,72	-3405,40	-9356,26	-336,83
	130	-29	3103,03	-27754,35	-19035,14	-6510,40	-17887,18	-643,94
	135	-43	-4677,48	-36615,39	-26698,47	-9131,41	-25088,35	-903,18
	140	-55	-11550,51	-41349,89	-32459,42	-11101,77	-30501,88	-1098,07
	145	-65	-16420,56	-42458,86	-36000,64	-12312,94	-33829,53	-1217,86
150	-74	-18883,89	-40781,05	-37135,10	-12700,95	-34895,58	-1256,24	
155	-80	-19076,35	-37063,61	-35797,17	-12243,35	-33638,33	-1210,98	
160	-85	-17393,73	-31797,57	-32063,09	-10966,22	-30129,45	-1084,66	
165	-88	-14272,88	-25258,99	-26168,02	-8949,99	-24589,90	-885,24	
170	-89	-10102,27	-17633,80	-18500,75	-6327,63	-17385,02	-625,86	
175	-90	-5230,16	-9143,72	-9577,55	-3275,72	-8999,96	-324,00	
180	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13	
ÜBN	180	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	185	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	190	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	195	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	200	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13

	205	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	210	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	215	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	220	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	225	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	230	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	235	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	240	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
Alçalma hareketi	240	-90	-1,27	-139,97	-3,73	-1,27	-3,50	-0,13
	245	-90	1321,28	-9143,72	9577,55	3275,72	8999,96	324,00
	250	-89	2552,99	-17633,80	18500,75	6327,63	17385,02	625,86
	255	-88	3627,10	-25258,99	26168,02	8949,99	24589,90	885,24
	260	-85	4538,71	-31797,57	32063,09	10966,22	30129,45	1084,66
	265	-80	5410,35	-37063,61	35797,17	12243,35	33638,33	1210,98
	270	-74	6518,01	-40781,05	37135,10	12700,95	34895,58	1256,24
	275	-65	8205,33	-42458,86	36000,64	12312,94	33829,53	1217,86
	280	-55	10653,04	-41349,89	32459,42	11101,77	30501,88	1098,07
	285	-43	13585,34	-36615,39	26698,47	9131,41	25088,35	903,18
	290	-29	16123,84	-27754,35	19035,14	6510,40	17887,18	643,94
	295	-15	17003,33	-15137,16	9956,72	3405,40	9356,26	336,83
	300	0	15147,03	-257,93	129,26	44,21	121,46	4,37
	305	15	10287,37	14603,66	-9679,43	-3310,56	-9095,69	-327,44
	310	29	3208,45	27191,78	-18726,92	-6404,98	-17597,55	-633,51
	315	43	-4572,27	36053,38	-26390,84	-9026,20	-24799,28	-892,77
	320	55	-11460,79	40830,43	-32197,08	-11012,05	-30255,36	-1089,19
	325	65	-16354,58	42004,65	-35807,74	-12246,97	-33648,27	-1211,34
	330	74	-18841,10	40390,54	-37009,99	-12658,16	-34778,01	-1252,01
	335	80	-19051,60	36722,66	-35724,79	-12218,60	-33570,32	-1208,53
340	85	-17381,17	31490,12	-32026,36	-10953,66	-30094,93	-1083,42	
345	88	-14267,62	24971,60	-26152,64	-8944,73	-24575,45	-884,72	
350	89	-10100,71	17356,59	-18496,20	-6326,07	-17380,74	-625,71	
355	90	-5229,95	8870,22	-9576,96	-3275,51	-8999,39	-323,98	
360	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13	
ABN	0	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	5	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	10	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	15	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	20	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	25	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	30	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	35	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	40	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	45	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	50	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	55	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
	60	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13
60	90	-1,27	-132,98	-3,72	-1,27	-3,49	-0,13	

	65	90	1023,31	8052,14	8706,37	2977,75	8181,31	294,53
	70	89	1976,21	15776,19	16814,37	5750,85	15800,34	568,81
	75	88	2808,16	22736,02	23773,59	8131,05	22339,87	804,24
	80	85	3528,08	28747,94	29108,20	9955,59	27352,76	984,70
	85	80	4266,63	33648,33	32453,16	11099,63	30495,99	1097,86
	90	74	5301,84	37166,69	33579,24	11484,78	31554,17	1135,95
	95	65	6976,89	38810,81	32408,92	11084,50	30454,42	1096,36
	100	55	9477,36	37846,80	29021,96	9926,10	27271,72	981,78
	105	43	12542,78	33478,02	23650,21	8088,85	22223,93	800,06
	110	29	15312,08	25251,12	16661,71	5698,64	15656,89	563,65
	115	15	16517,12	13528,35	8535,12	2919,18	8020,38	288,73
	120	0	15043,38	-299,77	-173,78	-59,44	-163,30	-5,88
	125	-15	10563,97	-14116,66	-8870,72	-3033,97	-8335,75	-300,09
	130	-29	3811,48	-25807,92	-16963,79	-5801,96	-15940,75	-573,87
	135	-43	-3721,53	-33988,91	-23903,43	-8175,45	-22461,88	-808,63
	140	-55	-10442,26	-38305,00	-29219,11	-9993,53	-27456,98	-988,45
	145	-65	-15240,56	-39216,84	-32550,55	-11132,95	-30587,52	-1101,15
	150	-74	-17699,36	-37526,57	-33671,76	-11516,42	-31641,10	-1139,08
	155	-80	-17950,81	-33971,23	-32506,32	-11117,82	-30545,95	-1099,65
	160	-85	-16391,54	-29044,07	-29132,88	-9964,03	-27375,95	-985,53
	165	-88	-13456,14	-23015,03	-23780,05	-8133,26	-22345,94	-804,45
	170	-89	-9524,39	-16046,08	-16811,13	-5749,74	-15797,29	-568,70
	175	-90	-4929,83	-8318,59	-8699,47	-2975,39	-8174,83	-294,29
	180	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
ÜBN	180	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	185	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	190	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	195	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	200	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	205	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	210	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	215	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	220	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	225	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	230	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	235	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
Alçalma hareketi	240	-90	1,27	-132,98	3,72	1,27	3,49	0,13
	245	-90	1318,71	-9136,68	9570,06	3273,15	8992,91	323,74
	250	-89	2550,36	-17626,59	18493,07	6325,00	17377,80	625,60
	255	-88	3624,24	-25251,13	26159,65	8947,13	24582,03	884,95
	260	-85	4535,15	-31787,79	32052,68	10962,66	30119,67	1084,31
	265	-80	5405,13	-37049,25	35781,89	12238,13	33623,97	1210,46
	270	-74	6509,77	-40758,39	37111,00	12692,71	34872,93	1255,43
	275	-65	8193,51	-42426,39	35966,08	12301,12	33797,06	1216,69
	280	-55	10640,20	-41314,62	32421,89	11088,94	30466,61	1096,80
	285	-43	13578,27	-36595,94	26677,77	9124,34	25068,91	902,48

290	-29	16129,55	-27770,04	19051,83	6516,11	17902,87	644,50
295	-15	17021,16	-15186,13	10008,83	3423,22	9405,23	338,59
300	0	15166,03	-310,13	184,81	63,21	173,66	6,25
305	15	10295,07	14582,50	-9656,92	-3302,86	-9074,54	-326,68
310	29	3201,87	27209,87	-18746,17	-6411,57	-17615,64	-634,16
315	43	-4585,96	36090,99	-26430,87	-9039,89	-24836,90	-894,13
320	55	-11472,65	40863,03	-32231,77	-11023,91	-30287,95	-1090,37
325	65	-16360,61	42021,21	-35825,35	-12252,99	-33664,82	-1211,93
330	74	-18842,12	40393,33	-37012,95	-12659,18	-34780,80	-1252,11
335	80	-19050,01	36718,29	-35720,14	-12217,01	-33565,95	-1208,37
340	85	-17378,73	31483,41	-32019,22	-10951,22	-30088,23	-1083,18
345	88	-14265,06	24964,57	-26145,16	-8942,17	-24568,41	-884,46
350	89	-10098,18	17349,62	-18488,78	-6323,54	-17373,77	-625,46
355	90	-5227,42	8863,26	-9569,55	-3272,98	-8992,43	-323,73
360	90	1,27	-139,97	3,73	1,27	3,50	0,13

	165	-9388,30	-11587,17	-19459,08	23406,94	11691,22	-88,05	-4,61	-327,32	-150,69	-55,31
	170	-6526,62	-7727,35	-13488,76	16510,03	8653,35	-29,71	-1,56	-126,68	-64,04	-27,94
	175	-3219,86	-3779,08	-6872,79	8511,95	4581,60	-5,09	-0,27	-41,09	-26,72	-15,87
	180	276,87	215,03	109,13	-91,43	-25,77	-1,30	-0,07	-27,22	-20,41	-13,61
ÜBN	180	276,87	215,03	109,13	-91,43	-25,77	-1,30	-0,07	-27,22	-20,41	-13,61
	185	272,20	246,54	109,13	-91,43	-25,77	-1,28	-0,07	-26,87	-20,15	-13,43
	190	264,80	277,53	109,13	-91,43	-25,77	-1,26	-0,07	-26,32	-19,74	-13,16
	195	254,73	307,75	109,13	-91,43	-25,77	-1,22	-0,06	-25,56	-19,17	-12,78
	200	242,06	336,98	109,13	-91,43	-25,77	-1,18	-0,06	-24,61	-18,46	-12,31
	205	226,89	364,99	109,13	-91,43	-25,77	-1,12	-0,06	-23,47	-17,61	-11,74
	210	209,34	391,58	109,13	-91,43	-25,77	-1,06	-0,06	-22,16	-16,62	-11,08
	215	189,54	416,53	109,13	-91,43	-25,77	-0,99	-0,05	-20,67	-15,51	-10,34
	220	167,64	439,66	109,13	-91,43	-25,77	-0,91	-0,05	-19,03	-14,28	-9,52
	225	143,81	460,80	109,13	-91,43	-25,77	-0,82	-0,04	-17,25	-12,94	-8,62
	230	118,22	479,78	109,13	-91,43	-25,77	-0,73	-0,04	-15,33	-11,50	-7,66
	235	91,08	496,46	109,13	-91,43	-25,77	-0,63	-0,03	-13,30	-9,97	-6,65
	240	62,59	510,70	109,13	-91,43	-25,77	-0,53	-0,03	-11,16	-8,37	-5,58
	Alçalma hareketi	240	62,59	510,70	109,13	-91,43	-25,77	-0,53	-0,03	-11,16	-8,37
245		5311,43	3396,70	5247,57	-7744,62	-5749,55	-5,91	-0,31	-26,20	-13,55	-6,13
250		10014,94	5982,40	10066,88	-14980,84	-11192,11	-42,08	-2,20	-142,30	-60,53	-18,36
255		13658,22	8060,38	14353,03	-21448,94	-16007,34	-128,63	-6,74	-425,59	-177,42	-50,77
260		15874,73	9523,61	17991,31	-26873,28	-19835,21	-265,19	-13,89	-875,92	-364,54	-103,79
265		16517,68	10335,47	20899,78	-31013,10	-22360,81	-429,27	-22,48	-1419,24	-591,22	-168,81
270		15670,75	10501,79	22960,90	-33622,58	-23368,04	-582,21	-30,48	-1927,42	-803,92	-230,40
275		13602,65	10055,43	23967,44	-34416,10	-22762,55	-681,71	-35,69	-2259,54	-943,53	-271,34
280		10697,50	9049,76	23594,61	-33049,07	-20564,25	-695,97	-36,44	-2308,76	-964,85	-278,13
285		7396,13	7549,38	21411,15	-29131,53	-16892,20	-613,77	-32,14	-2036,04	-850,86	-245,26
290		4163,21	5611,93	16956,81	-22310,03	-11975,43	-447,43	-23,43	-1480,48	-617,21	-176,64
295		1460,24	3266,95	9913,48	-12448,03	-6199,65	-228,60	-11,97	-746,26	-307,10	-84,45
300		-312,73	504,33	335,19	142,22	-142,98	1,20	0,06	28,26	21,38	14,35
305		-912,40	-2713,22	-11188,32	14560,83	5474,69	202,52	10,60	710,00	311,77	102,74
310		-334,67	-6404,31	-23558,84	29399,49	9946,26	347,69	18,21	1204,38	523,44	168,08
315		1174,93	-10497,24	-35385,86	43013,42	12761,84	424,87	22,25	1469,63	637,93	204,19
320		3191,69	-14758,14	-45268,93	53840,52	13728,56	436,29	22,84	1511,78	657,22	211,19
325		5222,73	-18752,39	-52032,50	60654,78	12991,48	394,04	20,63	1370,75	597,93	193,80
330		6815,22	-21871,81	-54887,06	62741,18	10977,64	316,06	16,55	1106,93	485,67	159,71
335		7637,67	-23444,79	-53521,83	59994,24	8286,78	222,80	11,67	789,79	350,06	118,00
340		7522,62	-22907,93	-48106,56	52893,92	5542,53	133,89	7,01	486,19	219,76	77,52
345		6469,53	-19979,87	-39195,61	42332,60	3234,70	64,41	3,37	247,74	116,97	45,20
350		4619,92	-14771,38	-27583,16	29357,97	1603,39	21,73	1,14	100,00	52,81	24,64
355		2216,27	-7792,51	-14172,83	14948,69	606,27	4,02	0,21	37,55	25,25	15,44
360		-454,62	142,89	115,08	-96,35	-22,45	1,30	0,07	27,22	20,41	13,61

Ek-9 Dinamik analizde kullanılan ters matrisler

$$A^{-1} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} k & 0 & 0 & k-c_{88}(c_{95}+c_{98}) & -c_{84}(c_{95}+c_{98}) & -c_{97}(c_{84}+c_{86}) & -c_{98}(c_{84}+c_{86}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 & c_{88}(c_{95}+c_{97}) & k+c_{84}(c_{95}+c_{97}) & c_{97}(c_{88}+c_{88}) & c_{98}(c_{88}+c_{88}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k-c_{88}(c_{96}+c_{98}) & -c_{84}(c_{96}+c_{98}) & -c_{97}(c_{84}+c_{86}) & -c_{98}(c_{84}+c_{86}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{88}(c_{95}+c_{97}) & k+c_{84}(c_{95}+c_{97}) & c_{97}(c_{88}+c_{88}) & c_{98}(c_{88}+c_{88}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_{88}(c_{96}+c_{98}) & -c_{84}(c_{96}+c_{98}) & -c_{97}(c_{84}+c_{86}) & -c_{98}(c_{84}+c_{86}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{88}(c_{95}+c_{97}) & c_{84}(c_{95}+c_{97}) & c_{97}(c_{88}+c_{88}) & c_{98}(c_{88}+c_{88}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_{88}(c_{96}+c_{98}) & -c_{84}(c_{96}+c_{98}) & -k-c_{97}(c_{84}+c_{86}) & -c_{98}(c_{84}+c_{86}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{88}(c_{95}+c_{97}) & c_{84}(c_{95}+c_{97}) & c_{97}(c_{88}+c_{88}) & -k+c_{98}(c_{88}+c_{88}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k c_{71} & -k c_{72} & \left(c_{95}+c_{97} \right) \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & k c_{97} \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & k c_{98} \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & k \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{95}+c_{97} \right) & -\left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & -k c_{97} \left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & -\left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & \left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & -\left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & -\left(c_{72}+c_{74} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{95}+c_{97} \right) & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & -k c_{97} \left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{96}+c_{98} \right) & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & -\left(c_{71}+c_{73} \right) \left(c_{84}+c_{86} \right) & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Çerçeve kaldırma mekanizmasının dinamik analizine ait ters matris

$$A^{-1} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} k & 0 & 0 & c_{54} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & c_{54} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 & c_{54} & c_{55} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & c_{55} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{54} \sin^{-1} \zeta & c_{55} \sin^{-1} \zeta & c_{55} \sin^{-1} \zeta & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\left(c_{53} \sin^{-1} \zeta + c_{55} \right) & -\left(c_{53} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta + c_{55} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta \right) & -\left(c_{53} \sin^{-1} \zeta + c_{54} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta \right) & \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{54} & -\left(c_{53} \sin^{-1} \zeta + c_{54} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta \right) & -\left(c_{53} \sin^{-1} \zeta + c_{54} \cos \zeta \sin^{-1} \zeta \right) & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -k c_{61} & -k c_{62} & -\left(c_{54} c_{61} \sin^{-1} \zeta \cos \zeta + c_{54} c_{62} \sin^{-1} \zeta \sin \zeta + c_{54} c_{63} \sin^{-1} \zeta \right) & -\left(c_{55} c_{61} \sin^{-1} \zeta \cos \zeta + c_{55} c_{62} \sin^{-1} \zeta \sin \zeta + c_{55} c_{63} \sin^{-1} \zeta \right) & -\left(c_{55} c_{61} \sin^{-1} \zeta \cos \zeta + c_{55} c_{62} \sin^{-1} \zeta \sin \zeta + c_{55} c_{63} \sin^{-1} \zeta \right) & -\left(c_{61} \sin^{-1} \zeta \cos \zeta + c_{62} \sin^{-1} \zeta \sin \zeta + c_{63} \sin^{-1} \zeta \right) & \cos \zeta \sin^{-1} \zeta & 0 & 0 & k \end{bmatrix}$$

Kam mekanizmasının dinamik analizine ait ters matris

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Barış HASÇELİK

Ana Adı : Cemile

Baba Adı : Hüseyin

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli, 27.04.1978.

Lisans Eğitimi ve Mezuniyet Tarihi : Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 2000.

Çalıştığı Yer :Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.

Bildiği Yabancı Dil :İngilizce