T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

ENDÜSTRİYEL OTOMASYON TEKNOLOJİLERİ

MEKANİZMA TEKNİĞİ-4

Ankara 2007

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR

KOD	**523EO0306**
ALAN	**Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri**
DAL/MESLEK	**Alan Ortak**
MODÜLÜN ADI	**Mekanizma Tekniği-4**
MODÜLÜN TANIMI	El aletlerini kullanarak mekanizmaları yapma becerisinin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	Mekanizma Tekniği 3 modülünü almış olmak.
YETERLİK	Mekanizmalar yapmak.
MODÜLÜN AMACI	**Genel Amaç** Gerekli ortam sağlandığında el aletlerini kullanarak kurallara uygun olarak mekanizma yapabileceksiniz. **Amaçlar** 1.Standartlara uygun olarak dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren düzenekler yapabileceksiniz. 2.Standartlara uygun olarak kayma hareketi yapan mekanizmalar yapabileceksiniz. 3.Standartlara uygun olarak dairesel hareketle güç aktarımı yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	**Ortam:** Mekanik atölye, bilgisayar laboratuvarı, **Donanım:** CNC ve CAM programı, Mekanik atölye takım tezgâhları, eğe, gönye, çekiç, pense, tornavida, mengene, kumpas, markacı boyası, çizecek, pergel, nokta ,açı gönyesi, mihengir, pleyt, çelik cetvel.
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Her faaliyetin sonunda ölçme soruları ile öğrenme düzeyinizi ölçeceksiniz. Araştırmalarla, grup çalışmaları ve bireysel çalışmalarla öğretmen rehberliğinde ölçme ve değerlendirmeyi gerçekleştirebileceksiniz.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Bu modülde, fiziğin mekanik koluna ait hesapları gözden geçireceksiniz. Bu hesaplarda maddesel nokta kavramından rijit; yani katı cisim hesaplarına adım atacaksınız. Çevremizde karşımıza çıkan çeşitli parçalardan oluşan ve bir fonksiyon icra eden tertibatların görev tanımını yapabileceksiniz.

Bu modül üç öğrenme faaliyetinden oluşmaktadır:

1. Düzlemsel Mekanizmalar
2. Dönmenin Kinematiği
3. Genel Düzlemsel Hareket

Öğrenme faaliyetlerinde konu, teorik bilgiden daha çok örnekler üzerinde anlatılmıştır. Her an karşımıza çıkabilecek gerçek dünyadan örnekler, problem çözümünde kullanılmıştır.

Örnekler, çoğunlukla adım adım anlatılmıştır. Bu yöntem problem çözümüne katkı sağlayacaktır. Sorular ve sorunlar karşısında çaresizliğe düşmeden önce sizlere adımlara bölerek üstesinden gelebilme kabiliyeti kazandıracaktır.

Modül içinde türev ve vektörel çarpım konuları problem çözümünü basitleştirdiği için kullanılmıştır. Aynı zamanda öğrencilerin öğrendiği matematik kavramlarını kullanma imkanı da sağlamaktadır. Bu konuların matematik öğretmenleri ile konuşularak konuların müfredat içindeki yerine göre öğrencilere anlatılması ya da hatırlatılması yerinde olacaktır.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Standartlara uygun olarak dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren düzenekler yapabileceksiniz.

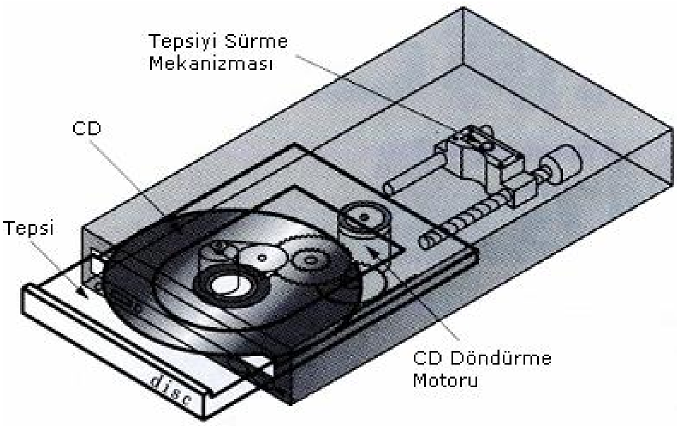
ARAŞTIRMA

- Çevrenizde gördüğünüz mekanizmalara örnekler veriniz.
- Çocuk oyuncaklarının içlerine bir göz atarak mekanizmaları inceleyiniz; mümkünse sınıfa getiriniz.

1. DÜZLEMSEL MEKANİZMALAR

1.1. Giriş

Mekanik parçaların bir araya getirilmesiyle belirli görevlerin yerine getirildiğini çevremizde çok sık görmekteyiz.Gündelik hayatta işimizi çok kolaylaştırdığı gibi bir çok teknolojik aygıtın arkasında da hep o mekanik parçalar vardır. İş yapan bu mekanik parçalar zümresine mekanizmalar denir.Bir sonraki konuda olduğu gibi mekanizmalar için daha teknik bir tanımlama yapılabilmesine karşın gündelik hayatımızda mekanizmalar; ”Amaca yönelik iş yapan mekanik parçalardır”.Amaca yönelik işi yorumlarken mekanik parçaların niteliğinden pek bahsedilmez. Örneğin, bir CD’yi yuvasından dışarı çıkarırken o işi yapan mekanik ve elektronik elemanlardan ziyade “CD çıkarma mekanizması”’ndan sözedilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: CD sürücü

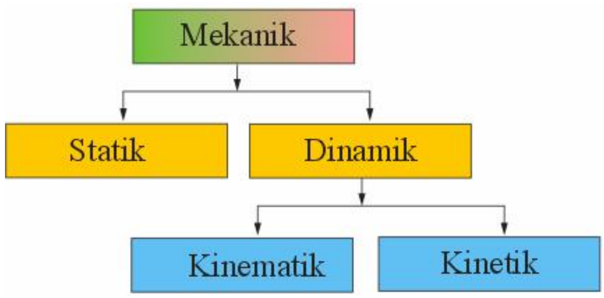
Yine otobüs kapılarının açılması ve kapanması, otomobil krikoları, ayarlı pensler, zayıflama aletleri, araçların cam silecekleri hep mekanizmaların maharetiyle görevini icra etmektedir (Şekil 1.2).

Şekil 1.2 : Mekanizma örnekleri

Mekanizmaları oluşturan tüm mekanik parçalar, geometrisine bağlı olarak hareket eder. Parçalar arasında bir bağlantı vardır.Bu bağlantı sağlanmazsa mekanizmadan beklenen görev tam olarak gerçekleşemez.Örneğin, akordion tipi bir takım çantasında bölmeler arasındaki irtibat çubuklarında bir oransızlık varsa çantanın kapanması ve açılması anındaki paralellik sağlanmaz.

Şekil 1.3 : Takım çantası

Mekanizmaları inceleminin birbirinden farklı iki yönü vardır. Tasarım ve analiz. Tasarım istenen bir amacı gerçekleştirebilecek şekilde her bir parçaya şekil verilmesi, boyutlandırılması ve malzeme seçimidir. Analiz ise varolan yada önerilen bir tasarımın istenen göreve uygunluğunun araştırılması; yani mekanik ve mukavemet hesaplarının yapılmasıdır. Mekanik hesaplarda hareket ve bu harekete sebep olan kuvvetler incelenir.İlk defa 1775 yılında Euler tarafından yapılan ve bugün de kabul gören tasnif, Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 : Mekaniğin sınıflandırılması

- Statik: Cisimlerin sükunet halindeki durumlarını inceler.
- Dinamik: Cisimlerin hareket halindeki davranışını inceler.
- Kinematik: Dinamiğin alt dalıdır. Cisimlerin hareketini, hız ve ivme yönünden inceler.
- Kinetik: Dinamiğin alt dalıdır. Cisimlerin hareketini, o hareketi doğuran kuvvetlere nazara alarak inceler.

Tasarımda ilk adım parça geometrisine karar verme sonrası, kinematiğini anlamaktır. Mukavemet biliminde ise gelen kuvvetlere karşı makine parçalarının boyutlandırılması incelenir.Günlük hayatımızda karşımıza çıkan mekanizmaları gruplaya ayırmadan önce mekanizmaları anlamada temel teşkil edecek yapı taşlarını inceleyelim.

1.2. Uzuvlar ve Mafsallar

Mekanizmalar hareket tipine bağlı olarak düzlemsel, küresel ve uzaysal olmak üzere üçe ayrılır. Mekanizmanın kinematik yapısı hangi uzvun hangi uzva ne çeşit mafsalla bağlandığı bilgisini sağlar.

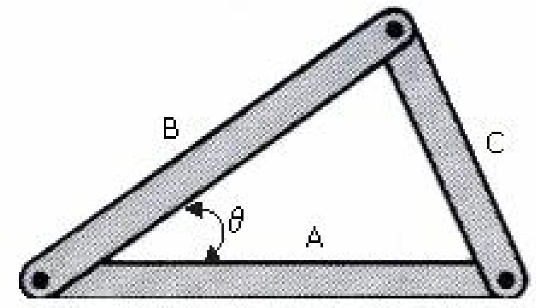
Kuvvet uygulandığında her cisim şekil değiştirir. Fakat mühendislik hesaplamalarında cisimlerin, kuvvetlerin etkisi altında şekil değiştirmediği, cisme ait iki nokta arasındaki uzaklığın sabit kaldığı ya da ihmal edilebilir derecede olduğu kabul edilir. Böyle cisimlere rijit cisimler ya da katı cisimler denir. Cismi rijit kabul etmek, mekanizmanın kinematik hesaplarını kolaylaştırır. Buna rağmen ağırlıkça hafif ve hızın yüksek olduğu yerlerde cismin şekil değişiminin olabileceği de gözden uzak tutulmamalıdır.Bu cisimler bizim uygulamalarımızda rijit olarak kabul edilecektir.

Bir makineyi ya da mekanizmayı meydana getiren her bir elemana ***"uzuv"*** denir. Kinematik açıdan aralarında herhangi bir göreceli hareketi olmayan iki ya da daha fazla eleman da bir uzuv olarak kabul edilir. Şekil 1.3'te görülen takım çantasındaki her bir eleman bir uzuvdur. Çünkü birbirlerine göre izafi bir hareketi vardır. Uzuvlar mekanizma ya da makinede çifter bağlanır. Yani tek başına bir değer ifade etmez. Bu iki uzuv arasındaki bağlantıya ***"mafsal"*** denir. Mafsallar iki eş uzuv arasındaki göreceli harekete sınırlama getirir. Mafsal tarafından izin verilen bağıl hareketin cinsi, iki mafsal arasındaki temas yüzeyinin biçimiyle alâkalıdır.

Bir uzvun temas yüzeyi bir "eşli eleman" olarak adlandırılır. Böyle iki eleman bir "kinematik eş" oluşturur. Kinematik eş elemanlarını temas çeşidine göre düşük ve yüksek eşli elemanlar olarak ikiye ayırırız.Elemanlardan biri diğerini çevreliyor ya da örtüyorsa bu "düşük eşli" adını alır. Mektup kağıdını zarf içine alır. Bu türde elemanlar geometrik olarak birbirini tamamlar ve yüzey temaslıdır. Örneğin, bir yüzey küresel ise diğeri bunu kapsayacak şekilde çukurdur. Öte yandan elemanlar birbirini kapsamıyorsa buna da "yüksek eşli" denir. Çizgisel ya da noktasal olarak birbirleriyle temas ederler.

1.3. Serbestlik Derecesi

Bir mekanizmada uzuvlarının konumunu bulmak için gerekli olan parametredir. Uzuv ve mafsal sayısına göre değişmektedir.Şekil 1.5'te görülen üç çubuktan oluşan mekanizmanın her bir uzvunun konumunu söylemek için çubuklarının boyutunun yanında iki uzuv arasındaki bir açının da bilinmesi gerekir. Bu açıdan yararlanarak uzuvların uç koordinatları bulunabilir. Bu yüzden bu mekanizmanın serbestlik derecesi birdir. Burada hemen belirtmek gerekir ki serbestlik derecesi (burada θ açısı), uzuv boyutlarına bağlı değildir. Yani yukarıda B uzvunun uzunluğu 50 mm yerine 45 mm olsa yine de konumların tayinin için bu açıya gerek vardı. Bu konuya daha sonra tekrar döneceğiz.

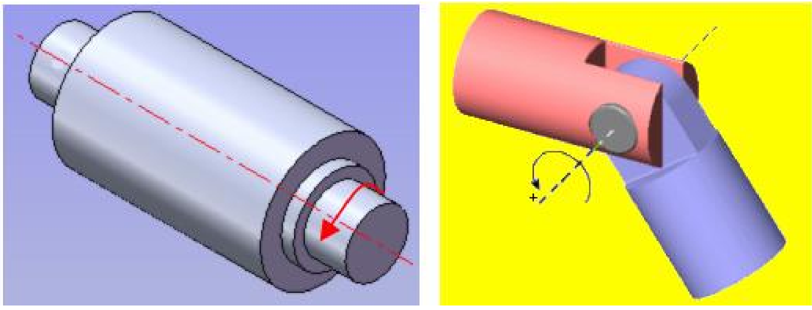


Şekil 1.5 : Serbestlik derecesi

1.4. Mekanizmada Mafsal Çeşitleri

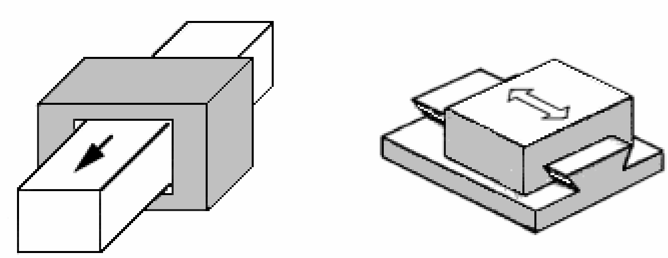
Mekanizmalarda iki yüksek ve altı tane düşük eşli bağlantı ya da mafsallar, sık kullanılanır. Bunları kısaca açıklayalım.

Döner mafsal: İki eş eleman birbirine göre bir eksen etrafında döner. Hareketin miktarı mafsal geometrisine göre sınırlandırılır. Sadece tek bir serbestlik derecesine imkan verir. Bu mafsala, menteşe yada pim mafsalı da denir. Mekanizmaların işlevsel şema resimlerinde R harfi ile temsil edilir (Şekil 1.6).



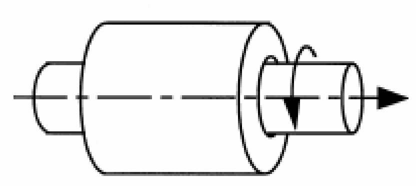
Şekil 1.6 : Döner mafsal

Prizmatik Mafsal: İki eş eleman, mafsal geometrisine bağlı olarak belirlenen bir eksen boyunca birbirine göre kayar. Tek bir serbestlik derecesi vardır. P harfi ile temsil edilir (Şekil1.7).



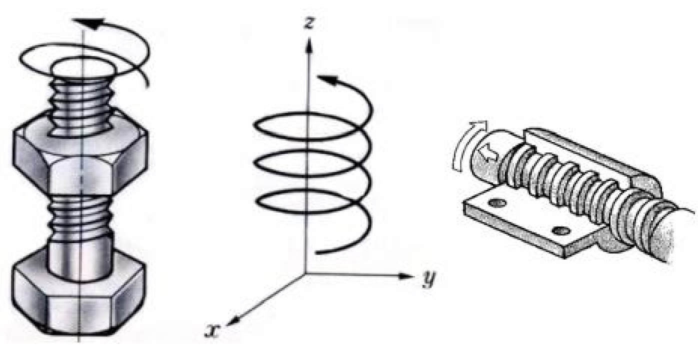
Şekil 1.7 : Prizmatik mafsal

Silindirik Mafsal: Bir eksen etrafında dönme ve bu eksen boyunca bir kaymaya izin verir. Bu yüzden iki serbestlik derecesi vardır. Silindirik mafsal, eksenleri paralel hem prizmatik hem de döner mafsalın seri halde bağlanmasına eştir. C ile gösterilir (Şekil1.8).



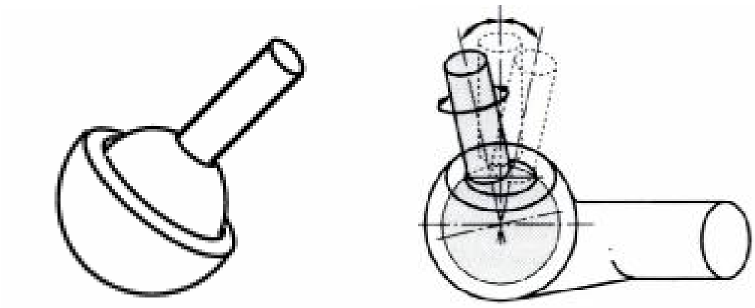
Şekil 1.8 : Silindirik mafsal

Helisel Mafsal: Vidalı sistemlerdir. İki eş elemanın bir eksen etrafında dönmesi ve bu dönme sonucunda ilerlemesini sağlar. İlerleme hareketi dönme hareketine bağlı olduğundan helisel mafsal, tek serbestlik derecesine sahiptir. Çünkü dönme olmazsa ilerleme olmaz.H ile gösterilir (Şekil1.9).



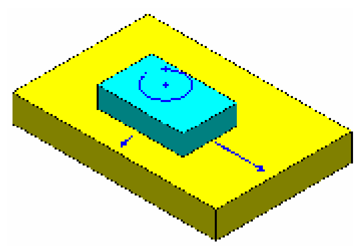
Şekil 1.9 : Helisel mafsal

Küresel Mafsal: Bir kürenin ekseni etrafında bir elemanın diğerine göre serbestçe dönmesini sağlar. Eş elemanlar arasında bir öteleme ve ilerleme hareketinin olmadığı bir “bilya-yuva” mafsalıdır. Üç serbestlik derecesi vardır. Kinematik olarak üç tane kesişen döner mafsalın eşitidir. S harfi ile gösterilir (Şekil 1.10).



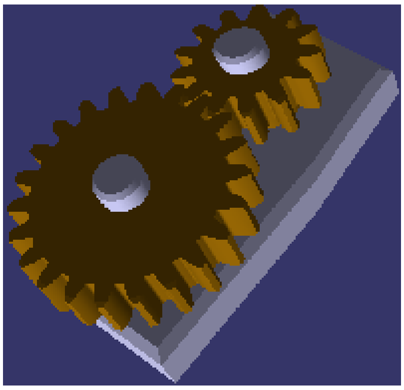
Şekil 1.10 : Küresel mafsal

Eşli Düzlem: Bir düzlem üzerinde iki öteleme hareketi ve bu düzleme normal bir eksen etrafında bir dönme hareketine izin verir. Bu yüzden üç serbestlik derecesi vardır.



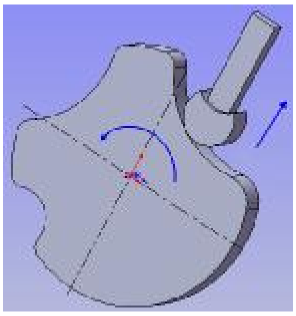
Şekil 1.11: Eşli düzlem

Eş Dişli: Temas eden iki dişin temas noktasında bir dişlinin diğerine göre dönme ve kaymasına imkan verir. Ayrıca her bir dişlinin hareket uzayı, dönme eksenine düşey bir düzlemle sınırlandırılmıştır. İki serbestlik derecesi vardır. G harfi ile gösterilir (Şekil 1.12).



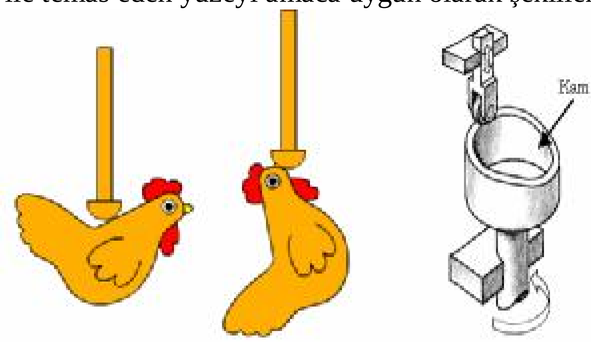
Şekil 1.12 : Eş çalışan dişli

Eşli Kam: Kam adı verilen şekilli bir parça üzerinde bir ucun dönmesine ve kaymasına sebebiyet verir. Uç kam şeklini izler. C_p ile gösterilir. Kam ve izleyicinin daima temas halinde olmasını bir yay sağlar. İki serbestlik derecesi vardır (Şekil 1.13).



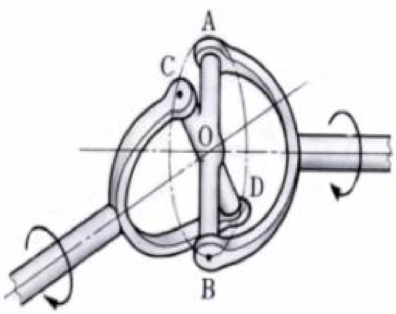
Şekil 1.13 : Eş çalışan kam

Kamın izleyici ile temas eden yüzeyi amaca uygun olarak şekillendiribilir.



Şekil 1.14 : Çeşitli Kam Yüzeyleri

Bundan başka çok yaygın kullanılan üniversal mafsal, kardan(Cardan) ya da Hooke mafsalı adı verilen karma bir mafsal daha vardır. Kesişen iki döner mafsaldan meydana gelir. Özellikle eksenler arasında kaçıklık olan millerde hareket iletiminde kullanılır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14: Cardan kavrama

Döner, prizmatik, silindirik, helisel, küresel ve eşli düzlem mafsalları düşük eşlerdir. Dişli ve kamlı mafsallar yüksek eşlilerdir. Tablo 1.1'de kinematik mafsalların serbestlik derecelerin ve hareket türlerini özetlemektedir.

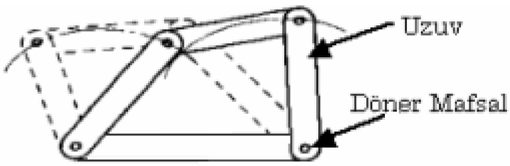
Kinematik Eş	Timsal	Ser. Der.	Döner	Öteleme
Döner	R	1	1	0
Prizmatik	P	1	0	1
Silindirik	C	2	1	1
Helisel	H	1	1	Döner mafsala bağlı
Küresel	D	3	3	0
Düzlem	E	3	1	2
Eş Dişli	G	2	1	1
Eşli Kam	C_p	2	1	1

Tablo 1.1: Mafsalların serbestlik dereceleri

1.5. Kinematik Zincirler

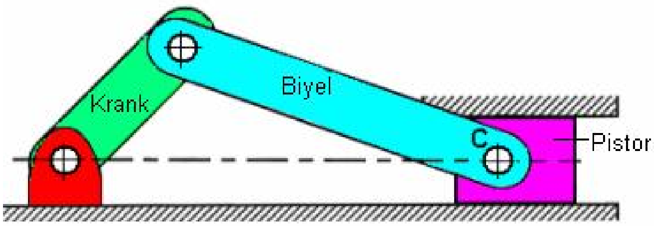
Mafsallarla bağlı olan rijit gövde yada uzuvların birbirine bağlanmasıyla kinematik zincirler oluşur. Bir kinematik zincirdeki her bir uzuv sadece bir yol üzerinden tek bir uzva bağlı ise bu zincire "açık-çevrimli zincir" denir. Öte yandan her bir uzuv bir diğer uzva en azından iki farklı yoldan bağlanıyorsa "kapalı-çevrimli zinzir" denir. Bir kinematik zincirin hem açık hem de kapalı zincire sahip olabileceği unutulmamalıdır. Böyle zincirlere de "hibrit ya da karışık zincir" adı verilir.

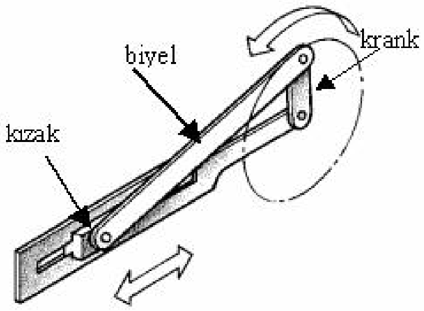
Kinematik zincirdeki uzuvların biri bir yere yada bağlanırsa bu zincire mekanizma denir. Kurallara bağlı uzva, sabit uzuv denir. Seçilen bir uzva kuvvet uygulanarak kurallara göre hareket ettirilirse, diğer tüm uzuvlar, serbest halde değilde mafsallara bağlı olarak zoraki hareket ederler (Şekil 1.15).



Şekil 1.15: Kinematik zincir

Buna göre bir mekanizma hareket ve/veya döndürme momentini(tork) bir uzuvdan diğer uzuva aktaran bir aygıttır. Şekil 1.16'da çeşitli uzuvlardan meydana gelen bir krank-biyel mekanizmasını göstermektedir.Bu mekanizma krankın daimi dönme hareketini pistonun gidip geri hareketine çevirmektedir.





Şekil 1.16: Krank-biyel mekanizması

Bir ya da daha fazla mekanizma, hidrolik-pnömatik ve elektriksel bileşenlerle bir araya getirildiğinde **makine** adını alır. Makineler, bir enerji türünü bir amaç doğrultusunda faydalı enerjiye çeviren birden fazla mekanizma ve bileşenlerin bir montajıdır.Mekanizmanın sabit ve başlangıç noktası mafsallarla birbirine bağlanmış rijit gövdelerdir.

Makine ile mekanizma arasındaki benzerlikler şöyle sıralanabilir.

- Her ikisi de rijit gövdelerden oluşur.
- Gövdeler arasındaki göreceli hareketler belirlidir.

İkisi arasındaki farklar ise

- Makineler enerjiyi iş yapmak üzere dönüştürmesi ve mekanizmaların böyle bir şeyi yapması zorunlu değildir.
- Makineler de birden fazla mekanizma bulunabilir.Mekanizma makinenin sadece bir görevini üstlenir. Bir mekanizma birden fazla makine de kullanılabilir.

1.6. Mekanizma Çeşitleri

Mekanizma sabit bir işi güvenle yapar. Bugün yüksek teknolojili birçok makine elektronikle destekli olsa da mekanizmaya ilgi hiçbir zaman azalmamıştır. Oyuncaklarda, takım tezgâhlarında, el aletlerinde hemen hemen her gün karşımıza çıkmaktadır ve çıkmaya da devam edecektir. Çünkü mekanizma da elektronik de birbirini destekler. Örneğin, yazıcıda kağıt alma mekanizması olmadan yazıcıyı kullanmak kümkün değildir. Mekanizmaları kesin olarak sınıflandırmak mümkün olmamakla beraber belirli görevleri üstlenenleri bir araya toplanabilir.

Aşağıdaki liste, hareket tiplerine göre mekanizmaların fonksiyon listesidir.

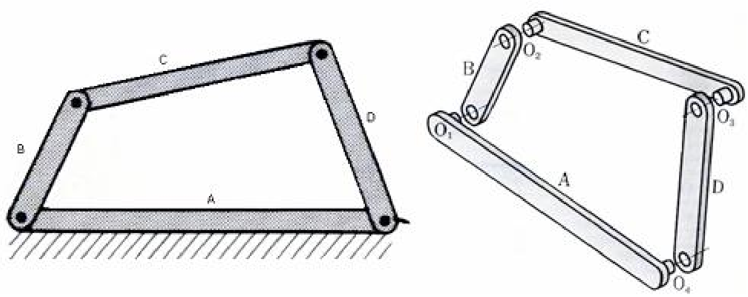
a) Salınım Hareketi Yapan Mekanizmalar
b) İleri-Geri Çalışan Mekanizmaları
c) İndeksleme Mekanizmaları
d) Tersine Hareket Üreten Mekanizmalar
e) Düz-Çizgi Üreteci Mekanizmalar
f) Kaplinler
g) Kayıcı Mekanizmalar
h) Durma ve Bekleme Mekanizmaları
ı) Eğri Üreteçleri
i) Sıkma ve Konumlama Mekanizmaları
f) Doğrusal Hareketlendirici Mekanizmalar

1.6.1. Salınım Hareketi Yapan Mekanizmalar

Bu tip mekanizmalar salınım hareketi yapar. Salınım hareketi ileri-geri hareketi yaparken her seferinde aynı yolu takip eder. Duvar saatlerinin sarkacı gibi…

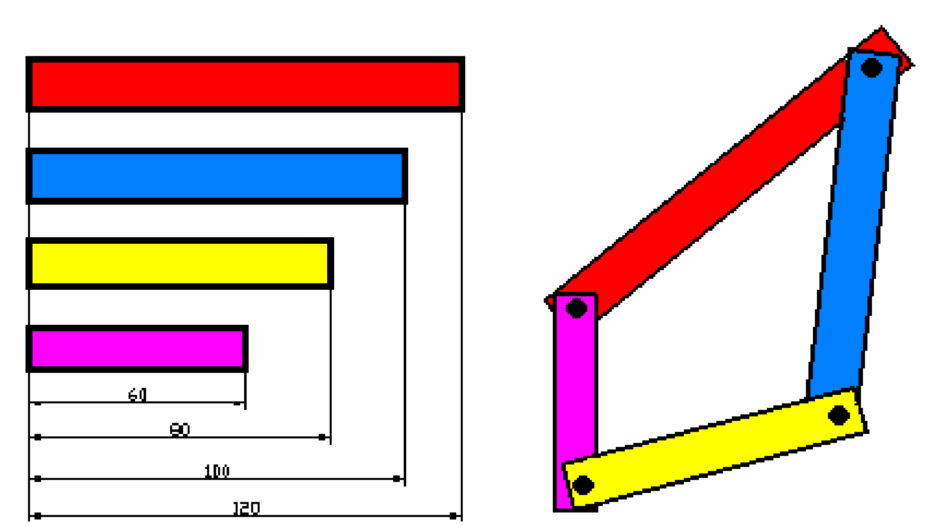
1.6.2. Dört çubuk mekanizması

Dört çubuk mekanizması en sık karşımıza çıkan mekanizmadır. Biri sabit üçü hareketli dört uzuvdan meydana gelir. Uzuvlar arası mafsallanmıştır (Şekil 1.17).



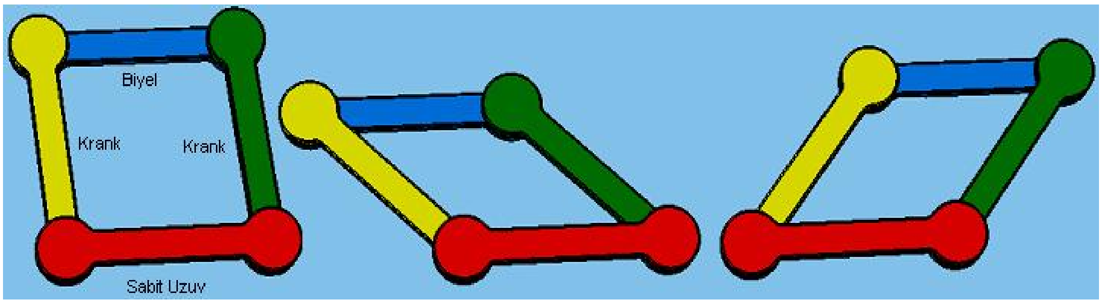
Şekil 1.17: Dört çubuk mekanizması

Kendimiz de basitçe bir dört çubuk mekanizması oluşturabiliriz.Kalın kartondan Şekil 1.18'de görülen ölçülerde dört tane şerit keselim ve birer toplu iğne ile birleştirelim. Burada toplu iğne mafsal görevini üstlenmektedir.120mm ölçüsündeki şeridi sabit tutarak 60 mm²lik şeriti sağa sola hareket ettirin.100 mm'lik şeritin salınım hareketi yaptığını göreceksiniz. 80 mm'lik şerit ise burada irtibat görevi üstlenir.



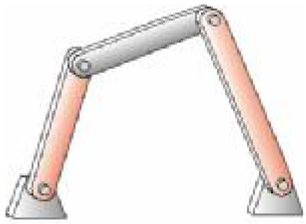
Şekil 1.18: Çubuk ölçüleri

Dört çubuklu mekanizmalarda bir uzuvun sabitliği zorunludur. Elde edilecek harekete göre seçilen bir uzva hareket verilir. Bir mesnede sabitlenen ve hareket boyunca diğerlerine referans olan uzva **çerçeve** denir. Çerçevenin her bir yanındaki uzuvlara **krank** yada **yan uzuv**, karşısındakine de **irtibat uzvu** yada **biyel** denir. Şekil 1.19'da sabit uzuv hareketsiz kalmak kaydıyla C mafsalına hareket verilmiştir.



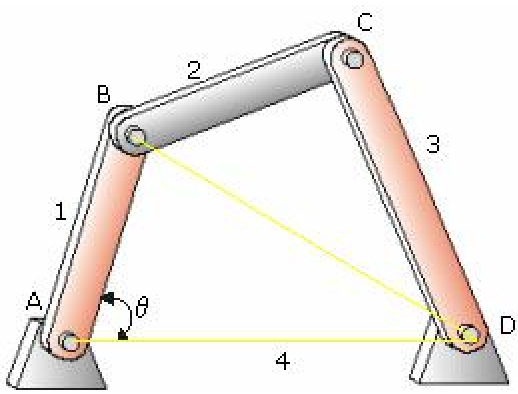
Şekil 1.19: Dört çubuk mekanizmasının hareketi

Uygulamada çerçeve uzuv yerine, krankların yataklanmış haline de rastlanır. Genelde hareket eden üç tane uzuv gözükse de iki yatak arası da bir uzuv sayılır (Şekil 1.20).



Şekil 1.20: Yataklanmış dört çubuk

Dört çubuklu mekanizmanın serbestlik derecesi birdir. Şimdi bunun nasıl olduğunu yukarıdaki şekilden yararlanarak görelim.Uzuvlar arası mesafeyi bulmak için mafsallardan birbirine çizgiler çizelim. Eğer θ açısını bilirsek her bir uzvun mafsal noktalarının yerini bilebiliriz (Şekil 1.21).



Şekil 1.21: Serbestlik derecesinin tayini

Serbestlik derecesini tayin için

$$F = l\,(l - j - 1) + \sum_{i=1}^{j} f_i$$

formülü kullanılır. Burada

F: Mekanizmanın serbestlik derecesi
λ : Mekanizma türüne bağlı serbestlik derecesi
λ=3 Düzlemsel mekanizmalar için
λ=7 Uzaysal mekanizmalar için
l : Sabit uzuv dahi mekanizmadaki uzuv sayısı
j : Mekanizmadaki toplam mafsal sayısı
f_i : i. mafsalın serbestlik derecesi
Dört çubuklu mekanizmanın verilerini bu formüle uygulayalım:

$l \quad = 4 \quad$ (4 uzuv)
$j \quad = 4 \quad$ (4 mafsal)
$f_i \quad = 1 \quad$ *(*Döner mafsal olduğundan*)*

$$\sum_{i=1}^{j} f_i = \sum_{i=1}^{4} f_i = 4 \quad \text{(4 mafsal da döner olduğundan)}$$

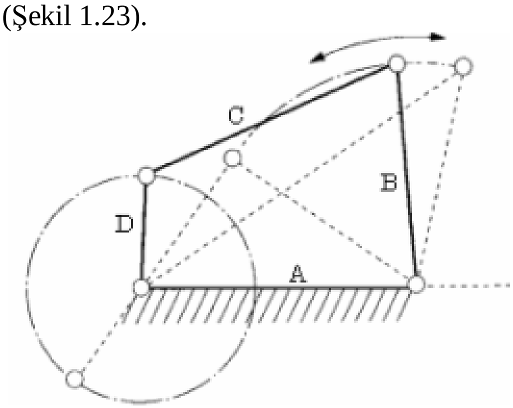
$\lambda \quad = 3 \quad$ (Düzlemsel mekanizma)
F = 3 (4 – 4 – 1) + 4
F = 1

Düzlemsel mekanizmalar için yukarıdaki formülün pratik şekli olan F=3L-2J-3 formülü de kullanılabilir. L=4 ve J=4, formülde yerine konulursa; F=12-8-3=1 bulunur.
Dört çubuk mekanizması, uzuvların hareket kabiliyetine göre üç bölüme ayrılır.

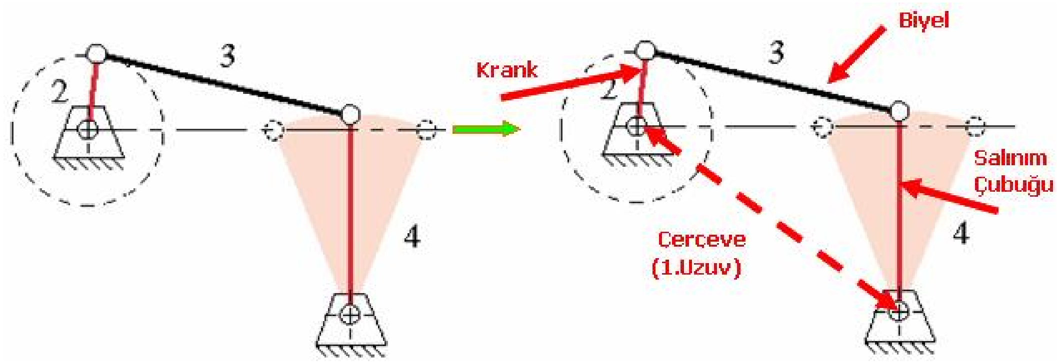
a) Fonksiyon Üretimi: Çerçeveye bağlı krank uzuvları arasındaki göreceli hareketi arasındaki ilişki. Demiryollarında bir kolla ray yönlerinin değiştirilmesi gibi

b) Yörünge Üretimi: Hareketli uzuvlar üzerindeki noktalar, sabit uzva göre çeşitli eğriler çizecektir. Uygun uzuv boyutları seçimi ile bu eğri belirli aralıklarda bir doğruya, daireye yada başka bir eğriye dönüşebilir.

A mafsalı sabitlendiğinde D uzvu döndürülürse B uzvu Şekil 1.22'de gösterilen salınım hareketini yapar (Şekil 1.23).

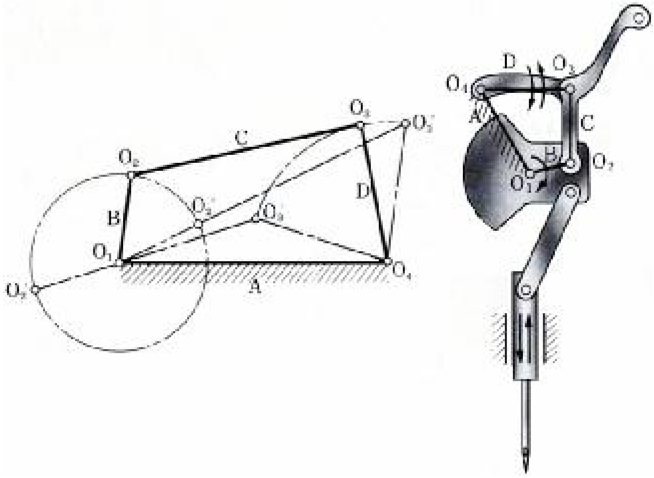


Şekil 1.22: Salınım hareketi yapan mekanizma



Şekil 1.23: Çerçevesiz salınım hareketi

Şekil 1.24'te, dikiş makinesının iğneye salınım hareketi veren mekanizması görülmektedir. C biyel uzvu, salınım(sarkaç) hareketi yapmaktadır.



Şekil 1.24: Dikiş makineli mekanizması

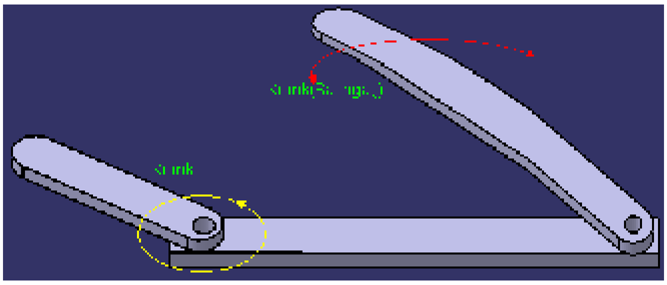
c) Çubukların uygun konuma getirilmesi ile hareket dönüşümleri sağlanır. Bunlar:

- Sabit ya da değişken açısal hızlarda dönme hareketini dönme hareketine
- Sabit ya da değişken açısal hızlarda dönme hareketini salınım(sarkaç) ya da git-gel hareketine
- Sabit yada değişken açısal hızlarda salınım hareketini salınıma ya da git-gel hareketini yine git-gel hareketine

Dört Çubuk Mekanizması Grashof Teoremi uyarınca hareket eder.

1.6.3. Grashof Teoremi

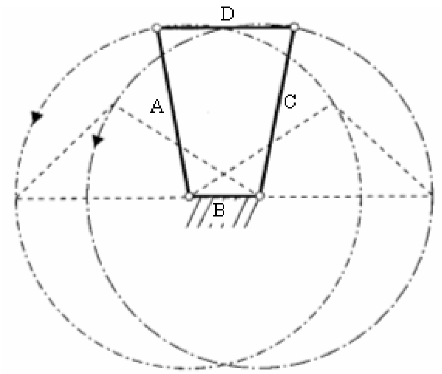
Bir mekanizmada çubuk boyutlarının birbirine oranı hareket özelliklerini belirlemektedir. Krank diye tabir edilen uzuv, sabit uzva göre tam bir dönme ya da bunun yerine salınım (salıngaç) hareketi yapabilir.



Şekil 1.25: Krankın hareketleri

Sabit uzva bağlı uzuvların yaptığı harekete göre dört çubuk mekanizmasının üç değişik hareket tipi ortaya çıkmaktadır. Bunlar:

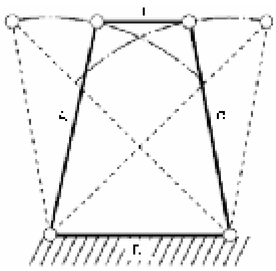
a) Sabit uzva bağlı iki uzuv da tam dönme yapabilir.Böyle mekanizmalara “çift kranklı” mekamizma denir.



Şekil 1.26: Çift krank mekanizması

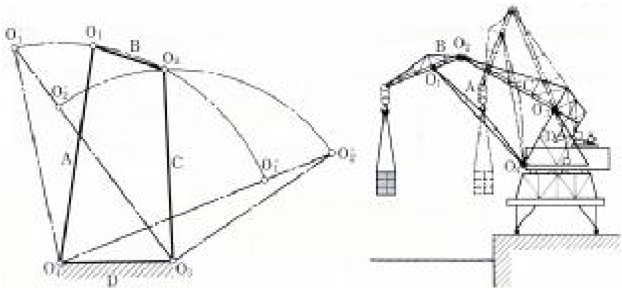
En kısa uzuv olan B uzvu, Şekil 1.26’da görüldüğü gibi sabitlenmiştir.A ve C uzuvları kranktır. A ve C krankları sabit bir hızla dönse bile D krankı sabit hızda dönmeyecektir.

b) Sabit uzva bağlı iki uzuv da sadece salınım yapar. Bu tip mekanizmalara “çift manivelalı” denir.



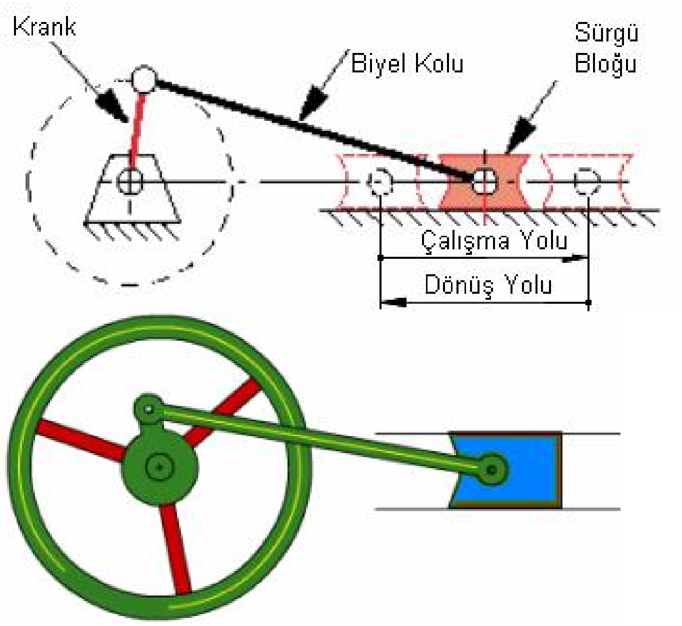
Şekil 1.27: Çift Manivela Sistemi

En kısa uzuv olan B uzvunun karşışındaki D uzvu sabitlenmiştir. A ve C uzuvları manivela(sarkaç yada salıngaç) görevi yapar.



Şekil 1.28: Çift manivelanın gemi krenlerinde kullanımı

c)Sabit uzva bağlı kısa uzuv dönerken diğer uzuv salınır. Buna “krank- biyel” mekanizması denir. Dört çubuklu mekanizmanın özel bir halidir (Şekil 1.28).



Şekil 1.29: Krank biyel mekanizması

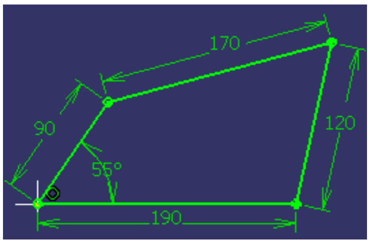
Bu mekanizma dairesel hareketi git-gel hareketine dönüştürmek için kullanılır. İleri geri hareket eden C uzvuna biyel, B uzvuna ise krank denir. Dördüncü uzuv, hayalî olarak sonsuz uzunlukludur. Çünkü bir düz bir çizgi üzerinde; yani doğrusaldır. Bunun yerine piston koyulmuştur. Piston hızının nasıl değiştiğine dikkat edelim (Şekil 1.29). Piston bir uçtan başlar ve hızını artırır.Hız sınırının en üst değerine yolunun ortasında bir yerde ulaşır ve zamanla hızı azalmaya başlar. Kursunun sonunda hızı sıfırlanır. Dört çubuk mekanizmasının hareket açısından farklı bu üç tipi, uzuv uzunluklarına bağlıdır. Mekanizmadaki çubukları şu şekilde adlandıralım.

s: En kısa boyutlu uzvun uzunluğu
l: En uzun uzvun uzunluğu

p,q:	Diğer uzuv boyutları

Grashof teoremi uzuv boyutlarına bağlı olarak dört çubuk mekanizmasını şu şekilde sınıflar:

a) $s + l > p + q$ şartı sağlanıyorsa yani en uzun uzuv ile en kısa uzvun toplamı diğer iki uzvun toplamından daha kısa ise mekanizma tipini sabit olan uzvun türü belirlemektedir. Şekil 1.30'da örnek bir mekanizma verilmiştir.



Şekil 1.30: Örnek mekanizma ölçüleri

Burada s=90, l=190, p=170 ve q=120 mm'dir.

190 + 90 < 170 + 120
280 < 290
Görüldüğü gibi şart sağlanıyor. Buna göre;

- En kısa uzuv kranklardan biri yani çerçeveye bağlı uzuvlardan biri ise mekanizma, bir krank biyel mekanizmasıdır.
- En kısa uzuv çerçeve ise mekanizma çift krank mekanizmasıdır.
- En kısa uzuv biyel ise mekanizma, çif manivela mekanizmasıdır.

Bu durum Tablo 1.2'de görülmektedir.

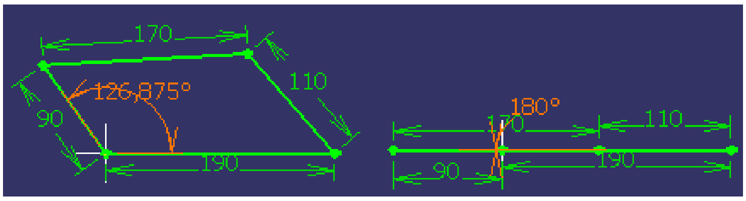
En Kısa Uzuv	Tip
Çerçeve	Çift-Krank
Krank	Krank-Biyel
Biyel	Çift Manivela

Tablo 1.2: Sabit uzva göre mekanizma tipi

b) $s + l = p + q$ ise yani en uzun uzuv ile en kısa uzvun toplamı diğer iki uzvun toplamından daha uzun ise hangi uzuv sabit olursa olsunsadece salınım açıları değişen çift manivela mekanizması elde edilir.

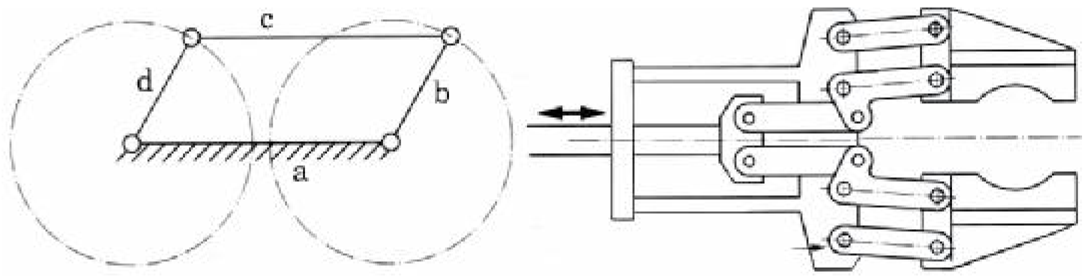
c) $s + l = p + q$ ise 1. maddede açıklanmış olan üç durumdan birisi elde edilir. Ancak burada tüm uzuvların tek bir doğru üzerinde olacağı tehlikeli bir durum ortaya çıkacaktır. Örnek olarak Şekil 1.31'de görülen mekanizmada uzuv toplamları eşitlenmiş($s + l = p + q$)

ve 90 mm uzunluğundaki uzuv, saat yönünde tersinde döndürülmüştür. Dört uzuvda 180^0 lik açıda çizgi haline gelmektedir.



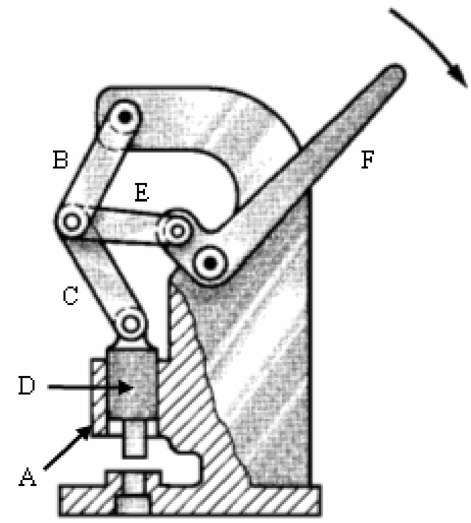
Şekil 1.31: Örnek mekanizma ölçüleri

3 numaralı durumun özel bir hali paralelogram mekanizmasıdır. Bu durumda çerçeveye bağlı krank uzuvları birbirine eşittir.



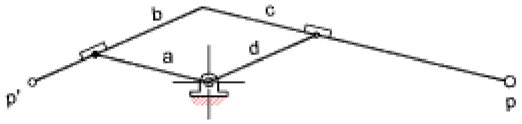
Şekil 1.32: Paralelogram

a uzvu sabitlenmişken b ve d uzuvları daima parallel hareket eder. C uzvu ise daima paralelliğini korur. Bu tertibat bir robot eline (Şekil 1.32) ya da pres makinasına (Şekil 1.33) uygulanabilir. F uzvuna bir baskı tatbik edilirse E uzvu çekilir. Akabinde B ve C uzuvları düz çizgi olur ve D'de büyük bir kuvvet oluşur. Metal takım çantalarında ve kepçelerde de kullanım alanları vardır.



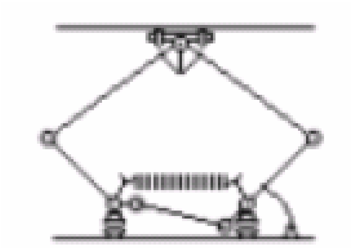
Şekil 1.33:Pres tertibatı

Paralelogramın bir uygulaması da pantograftır. Bir noktanın hareketini küçük ya da büyük ölçekli olarak takip etmek için kullanılır. P noktansın hareketi, p' noktası tarafından takip edilir. Bunun için a, b, c ve d çubuklarının eşit uzunluklu olması gerekir (Şekil 1.34).



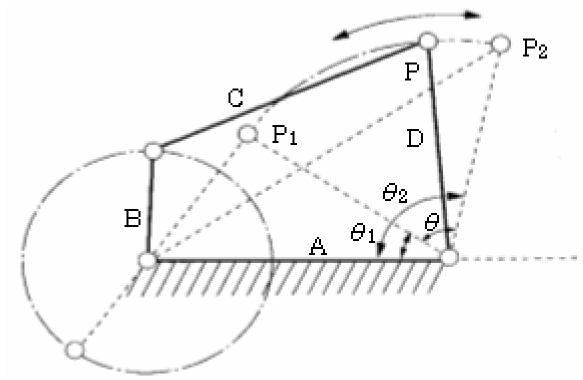
Şekil 1.34: Pantoğraf mekanizması

Pantograf, elektrikli trenlerde de karşımıza çıkmaktadır. "Maşa" olarak tabir edilir. Elektrik hatlarına bağlanabilmek için lokomotiflerin üzerinde açılır kapanır mekanizma bir pantograf
tır (Şekil 1.35).



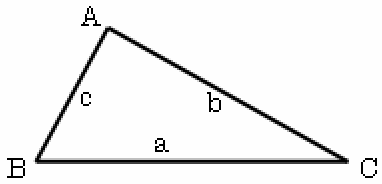
Şekil 1.35: Akım toplayıcı

ÖRNEK: A uzvu 60, B uzvu 20, C uzvu 50 ve D uzvunun uzunluğu 45 birim olduğu na göre D uzvunun salınım açısını (θ) hesaplayınız. A uzvu sabit ve B uzvu bir kranktır (P noktası P_1 ve P_2 noktaları arasında gidip gelmektedir).



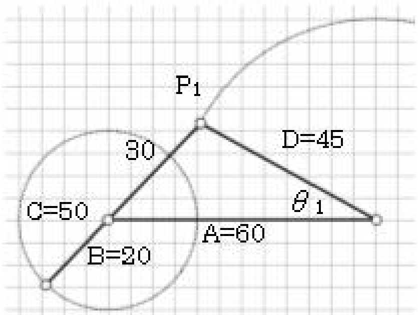
Çözüm: Bir üçgende tanımlanmış olan cosinus teoremini hatırlayalım.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos A$$
$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \times \cos B$$
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \times \cos C$$



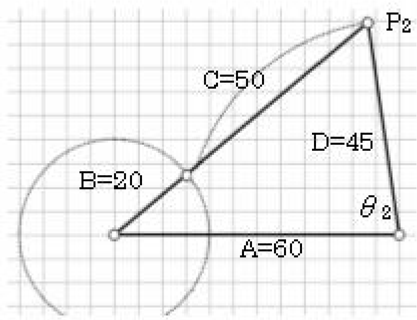
Salınım açısı θ, θ_2 ve θ_1 açıları arasında kalan açıdır. Önce θ_1 açısını bulalım.

θ_1 açısına denk gelen üçgeni mekanizmanın hareket grafiğinden elde edelim.



$$30^2 = 60^2 + 45^2 - 2x60x45x\cos q_1$$
$$900 = 3600 + 2025 - 5400x\cos q_1$$
$$\cos q_1 = \frac{(3600 + 2025) - 900}{2x60x45}$$
$$\cos q_1 = 0.875$$
$$q_1 = 29^0$$

θ_2 açısına denk gelen üçgeni mekanizmanın hareket grafiğinden elde edelim.

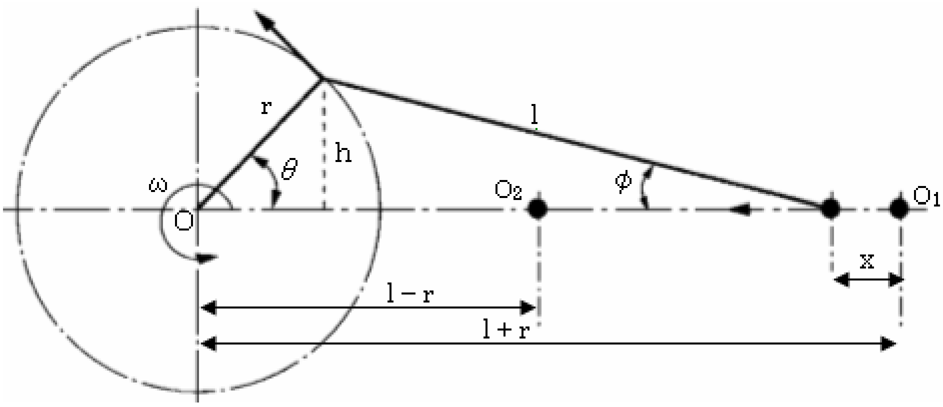


$$70^2 = 60^2 + 45^2 - 2x60x45x\cos q_2$$
$$4900 = 3600 + 2025 - 5400x\cos q_2$$
$$\cos q_2 = \frac{(3600+2025)-4900}{2x60x45}$$
$$\cos q_2 = 0.134$$
$$q_2 = 82.3^0$$

Salınım açısı:

$$q = q_2 - q_1$$
$$q = 82.3^0 - 29^0$$
$q = 53.3^0$ bulunur.

ÖRNEK: Biyelin (x) yerdeğiştirmesini, r uzunluğu 200[mm], l uzunluğu 1200[mm] ve (θ)açısı 60°'için hesap ediniz.



$$x = x_4 - x_3$$
$$x_4 = r + l$$
$$x_3 = x_1 + x_2$$

$$x_1 = \text{r}.\cos q \rightarrow \cos q = \frac{x_1}{\text{r}}$$
$$\sin q = \frac{h}{\text{r}} \rightarrow h = \text{r}.\sin q$$

$$\sin a = \frac{h}{l} = \frac{\text{r}.\sin q}{l}$$

$$x_2 = l.\cos a$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1 \\ \cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} \end{array}}$$ olduğunu hatırlayarak

$$x_2 = l.\sqrt{1-\sin^2 a}$$

$$x_2 = l.\sqrt{1-\left(\frac{\text{r}.\sin q}{l}\right)^2}$$

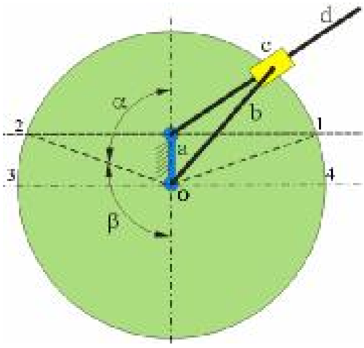
$$x_3 = (\text{r}.\cos q) + \left(l.\sqrt{1-\left(\frac{\text{r}.\sin q}{l}\right)^2}\right)$$

$$x = x_4 - x_3 = (\text{r}+l) - \left\{(\text{r}.\cos q) + \left(l.\sqrt{1-\left(\frac{\text{r}.\sin q}{l}\right)^2}\right)\right\}$$

$$x = (200+1200) - \left\{(200.\cos 60^0) + \left(1200.\sqrt{1-\left(\frac{200.\sin 60^0}{1200}\right)^2}\right)\right\}$$

$$x = 112.6mm$$

1.6.3. Hızlı Dönüş Mekanizması



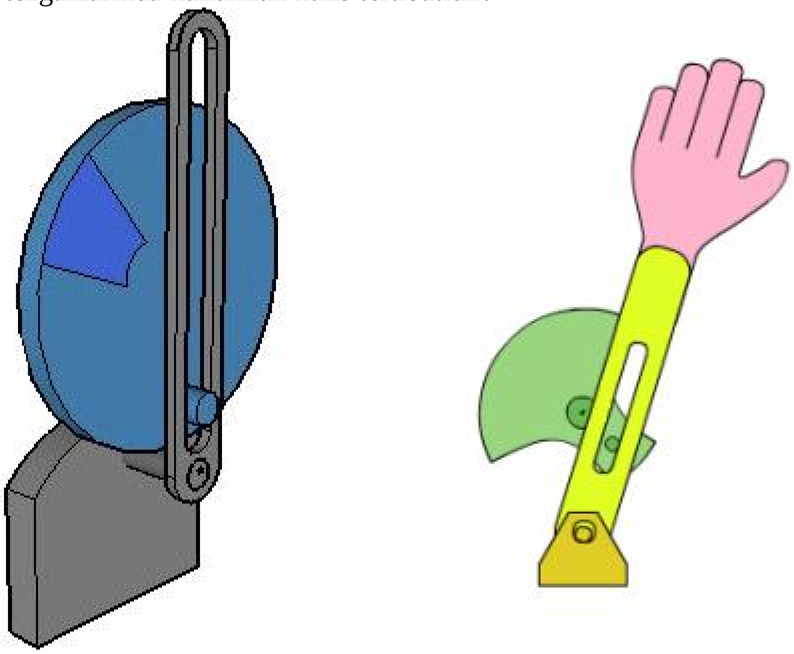
Şekil 1.36: Hızlı dönüş mekanizması

Şekil 1.36’da d uzvu düzgün açısal hızla dönmektedir.1 ve 2 Nu.lı konumlar b ve d uzuvlarının gidebileceği yerleri, 3 ve 4 Nu.lı konumlar ise her iki uzvun aynı hizada oldukları konumları göstermektedir.İleri yönde katedilen mesafe ile geri dönüş açısı dolayısıyla mesafesi birbirinden farklı olduğundan dairesel hareketi gitgel hareketine çevirir.Fakat krank kayıcı mekanizmasından farklı olarak gidiş hızı dönüş hızından farklıdır.Sürücü kolun altındaki kanca kolu oldan sağa götürmek için birkaç derece sürmek zorunda; dönmenin geri kalan kısmı kolu getirmek için kullanılır. Bu oran :

$\frac{b}{a} = \frac{180 - a}{a}$ şeklindedir. Burada $\frac{a}{b} = \cos a$ ’dır.

Kesme be dönüş oranları genelde 2:1 ve 3:1 oranındadır.

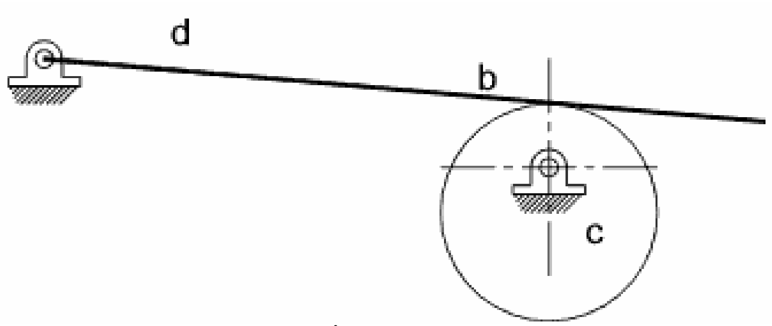
Şekil 1.37’de Whitworth hızlı geri dönüş mekanizması görülmektedir. Yarığın altındaki menteşe, kolun soldan sağa dönmesi için çok az bir açıda döner. Geri kalan açıyı da kolu geri döndürmek için kullanır.Bu mekanizmanın daha gelişmiş şekli ilerde görülecek olan ve vargel tezgâhlarında kullanılan kulis tertibatıdır.



Şekil 1.37: Whitworth geri dönüş mekanizması

1.6.4. Kam ve İzleyici Mekanizması

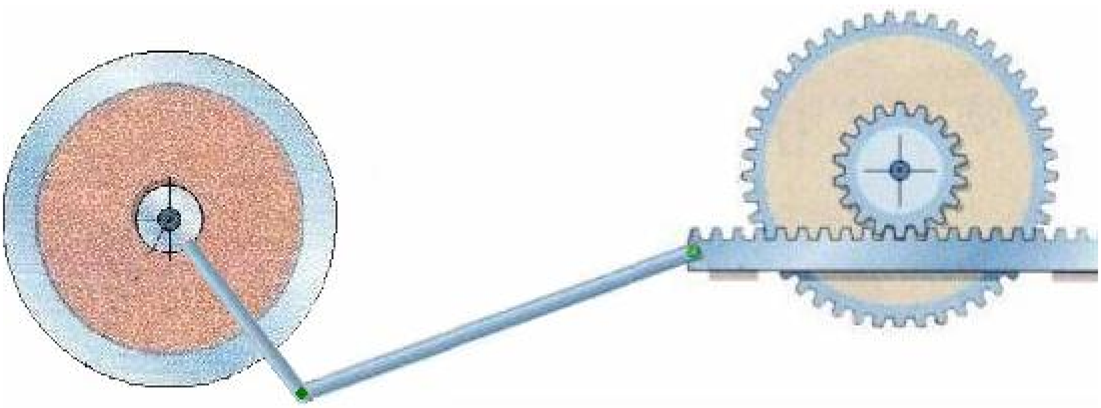
Şekil 1.38’de basitleştirilmiş bir izleyici mekanizması görülmektedir.C kamının dönü şü d çubuğunun sarkaç hareketi yapmasına sebep olacaktır.Burada d çubuğunu kamın yüzeyi ile daima temasta tutacak herhangi bir şey gösterilmemiştir.



Şekil 1.38: İzleyici mekanizması

1.6.5. Düz Dişli-Kremayer Dişli

Kranka bağlı olan biyel kolunun dönmesiyle kremayer dişli ileri-geri hareket edecek; bunun neticesinde büyük dişli de salınım hareketi yapacaktır (Şekil 1.39).



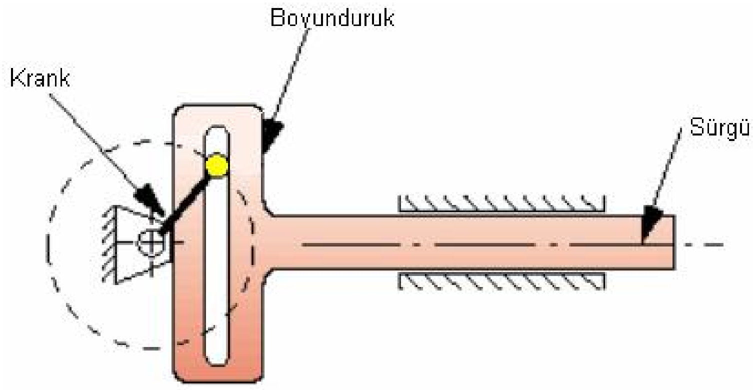
Şekil 1.39: Kremayer-düz dişli mekanizması

1.6.6. İleri-Geri Çalışan Mekanizmaları

Sürekli yön değiştiren doğrusal hareket, endüstri dallarında hidrolik ve pnömatik silindirlerle kullanılıyor olsa da rijit cisimlerle sağlanan hareketler öneminden bir şey kaybetmemiştir.Dört çubuklu mekanizmaların değişik biçimleridir.

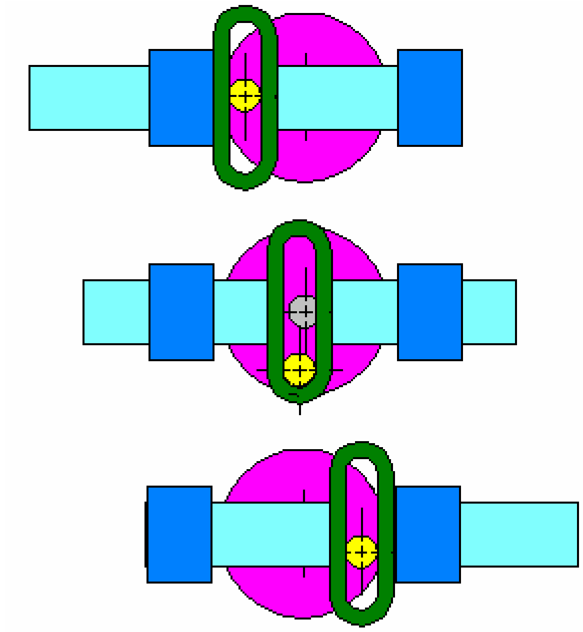
1.6.6.1. İskoç Boyunduruğu

İskoç mekanizması, kapalı bir alanda dairesel hareket eden bir kolun hareketini değişken doğrusal harekete; yani harmonik harekete çevirir.Tersi de mümkündür.Bir piston ya da bir mil doğrudan bir çerçevenin içindeki yarık içinde hareket eden kayan parçaya bağlıdır.Kayıcı parça ise dönen diske bir pimle bağlıdır.Kayıcı parça sürgü olarak adlandırılır (Şekil 1.40).



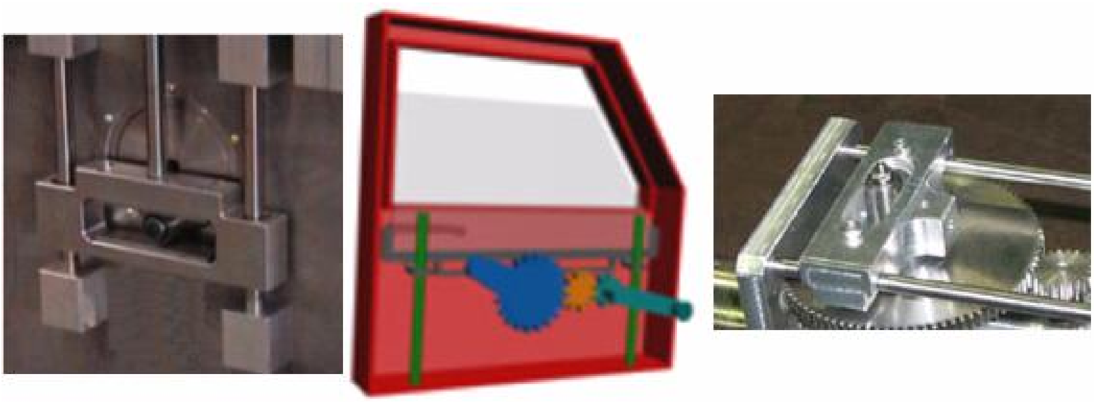
Şekil 1.40: İskoç boyunduruğu

Disk döndükçe sürgü çerçeve içinde serbestçe aşağı-yukarı kayabilmekte, çerçeveye bağlı mili ya da milleri sağa-sola hareket ettirerek harmonik hareket yaptırmaktadır.Hareket sağ ya da sola yaklaştığında orta noktaya göre biraz yavaşlamaktadır.



Şekil 1.41: İskoç boyunduruğunun çalışması

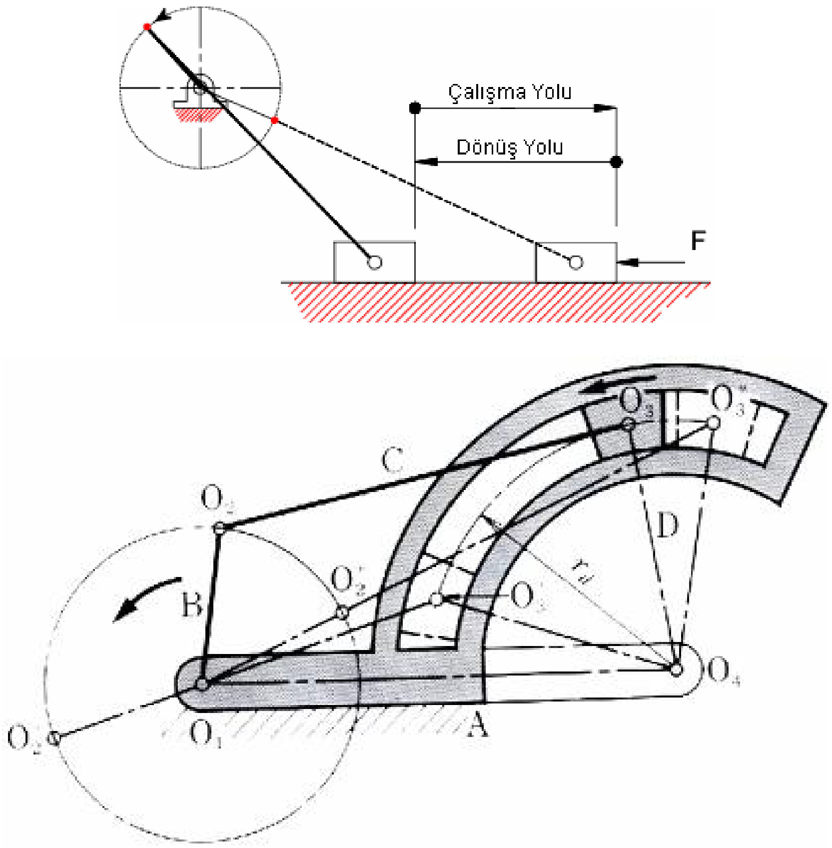
İskoç mekanizması, krank mekanizması ile aynı işi yapmasına rağmen; çıkış hareketi tam bir sinüs eğrisidir(Şekil1.41).Daha küçük bir disk ölçüsüne sahip olmasına rağmen daha yüksek döndürme momenti(tork) oluşturmaktadır. Sürgü yönünün değişimi esnasında artan kuvvetler neticesinde pim de ve çerçeve içindeki yarıkta aşınma hızlıdır. Şekil1.42'de bu mekanizmanın kullanım yerlerine örnekler verilmektedir.



Şekil 1.42: İskoç boyunduruğunun kullanım yerleri

1.6.6.2. Eksenleri Kaçık Krank Sürgü Mekanizması

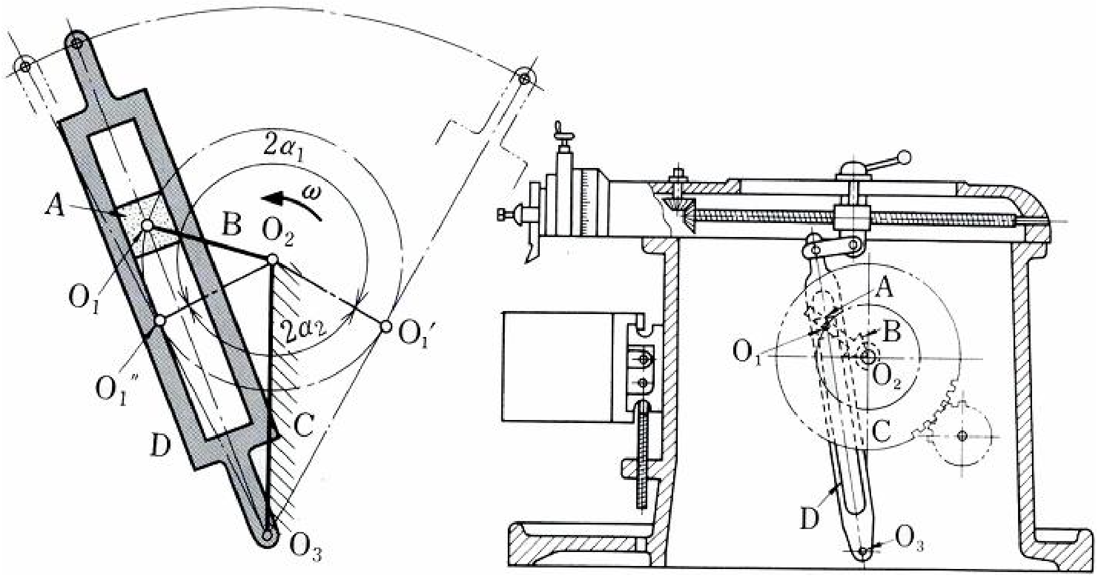
Bazen krank ekseni ile sürgü ekseninin farklı olması istenir. Burada geri dönüş hızı, ilerleme hızından çok daha fazladır. Şekil 1.43'te iki farklı mekanizma örneği verilmiştir.



Şekil 1.43: Krank-Sürgü mekanizması

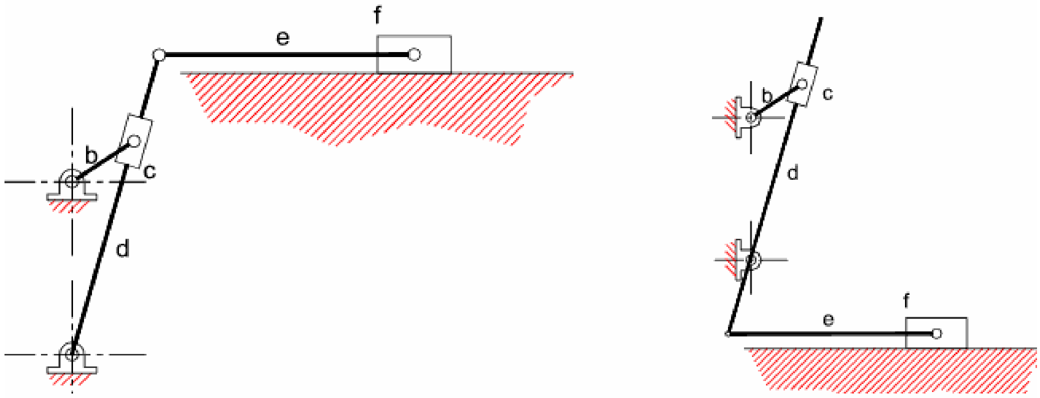
1.6.6.3. Kulis Tertibatı

Vargel tezgâhı özellikle çok miktarda talaşın kaldırılacağı düzlemsel yüzeylerde kullanılır. Sabit bağlanan kesici üzerinden ileri-geri giden kesici talaş kaldırır. Kesiciye bu hareketi veren, hızlı geri mekanizması ve eksenleri kaçık krank-sürgü mekanizmasının geliştirilmiş hali olan kulis tertibatıdır.O_2 merkezli disk döndükçe, tezgahın üst kısmı(koç) ileri ve geri hareket eder. İleri yöndeki hareket geri yöndeki hareketten daha yavaştır.



Şekil 1.44: Kulis tertibatı

Kulis tertibatının mekanizmalarda geçen şematik resmi şekilde görülmektedir. Şekil 1.45'te ise aynı işi yapan başka bir tasarım, Whitworth hızlı dönüş mekanizmasını göstermek tedir.



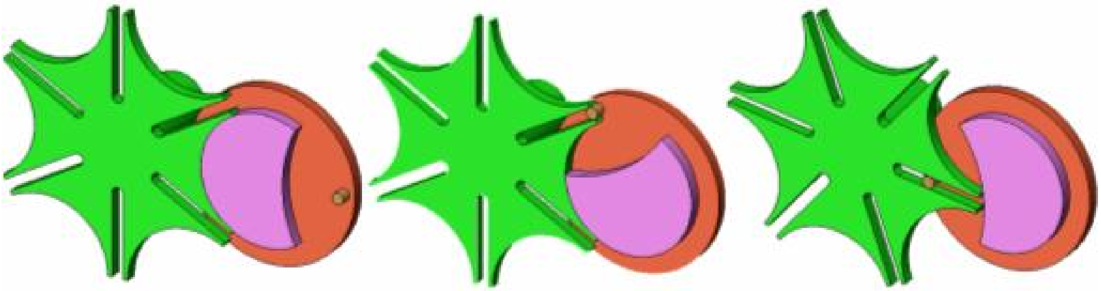
Şekil 1.45: Whitworth hızlı dönüş mekanizmasını

1.6.7. Kam İndeksleme Mekanizmaları

İndeksleme mekanizması, dönme ya da salınım hareketlerini aralıklarla meydana gelen adımlama hareketine dönüşmektedir. İndeksleme kelime anlamıyla, bir tam dönmeyi, eşit parçalara bölmedir.Sayaçlarda, takım tezgâhlarının indeksleme bölümlerinde ve film ilerletme mekanizmalarında kullanılır.

1.6.7.1. Cenova (Geneva) Mekanizması

Disk dönerken disk üzerinde bulunan pim, haç şeklindeki parça üzerindeki yarığa girer ve dörtte bir döndürür. Pim yarıktan kurtulur ve tekrar diğer yarığa girerek bir çeyrek daha döndürür.

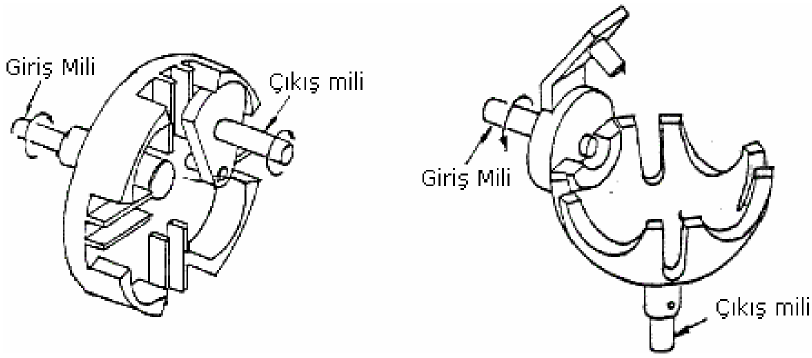


Şekil 1.46: Cenova mekanizması

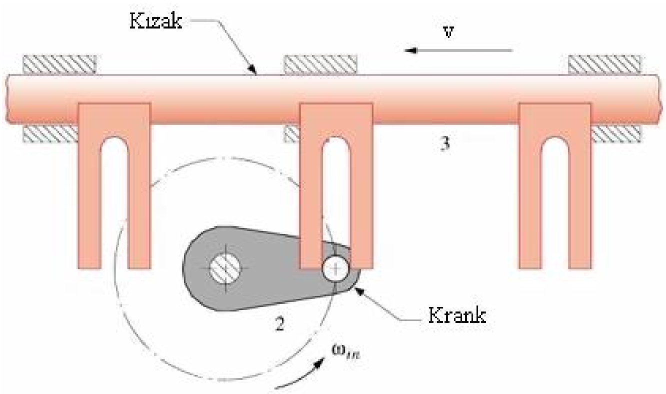
Disk üzerindeki yarım ay şeklindeki çıkıntı, pim yarıktan çıktıktan sonra haç biçimindeki parçayı yerinde tutar. Pimin yarığa düzgün girebilmesi için kanalların hassas şekillendirilmesi gerekir.Kanal uçlarına belirli bir açıklık verilerek de pimin yarıklara doğrudan çarpması önlenir.Cenova mekanizmasında yarık sayısı n ile gösterilirse, dönme açısı:

$$q = \frac{360}{n}$$ ile ifade edilir.

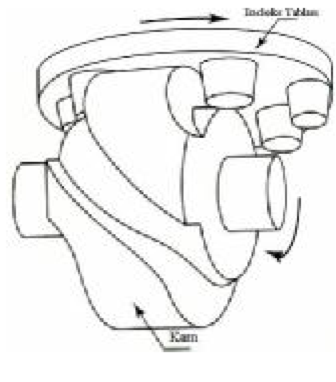
Örneğin 6 yarık için dönme açısı 60^0’dir. Yani sürücü diskin her bir devri yarıklı diskte altıya bölünmektedir. Sürücünün indeksleme anında dönme açısı ise $2q$ ’dır.Sürücü kendi dönüşünün sadece bir bölümü ile tablanın dönmesini sağlar.6 yarıklı için bu 120^0 dir. Kalan 240^0 tabla için sükunet dönemidir.Bu arada bu tablaya bağlı olan iş bitirilmelidir.Şekil 1.47’de dahili ve küresel Cenova mekanizmaları görülmektedir.Mil eksenleri kesişirse küresel mekanizma kullanılır. Fakat bu, talaş kaldırılarak değil de döküm yoluyla elde edilir. Şekil 1.48’de doğrusal Cenova mekanizmasını, Şekil 1.49 ise kam ile yapılan kesikli hareket üretmeyi göstermektedir.



Şekil 1.47: İçten ve küresel cenova mekanizması



Şekil 1.48: Doğrusal cenova mekanizma



Şekil 1.49: Kamlı indeksleme

Cenova mekanizmasında yarık sayısı genelde 4-12 arasındadır. Cenova mekanizmasının bir adı da Malta Haçı'dır.

1.6.7.2. Dişli Çarklar

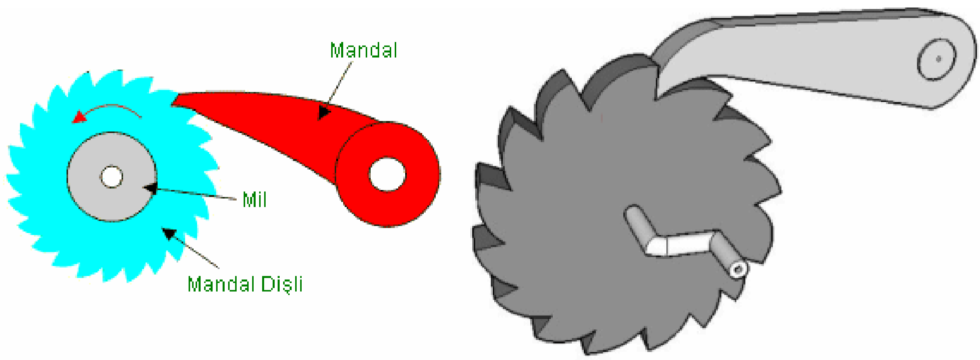
Dişli çarklar da kesikli hareket üretiminde kullanılabilir (Şekil 1.50).

Şekil 1.50: Dişli çarklar

Yine dişli grubuna giren mandal dişliler ayrı bir başlık halinde incelenecektir

1.6.7.3. Mandal Dişliler

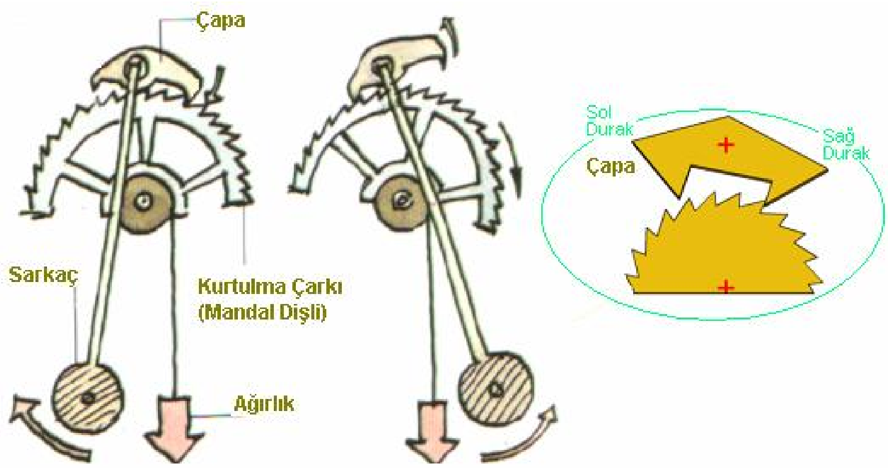
Mandal dişli mekanizması çevresine belli bir şekilde diş açılan bir çarktan ve bu çark dönerken çark dişlerini takip eden bir mandaldan meydana gelir.Şekilden de görüleceği gibi çark döndükçe, mandalın ucu dişlerin arasında girmekte ve dişliyi kilitlemektedir.Mandal dişliler sadece bir yönde dönebilirler. Şekilde dönme yönü saat yönünün tersidir (Şekil 1.51).



Şekil 1.51: Mandal dişliler

Bize en yakın mandal dişlisi bisikletlerin arka tekerleğinin göbeğinde bulunan dişlidir. Pedalı geri çevirdiğimizde, mandal dişlerin yüzeyinde kaymaktadır.Kuyudan kovayla su alınma zamanı içinde, bekleme zaman aralıklarında , çıkrık kolunu bıraktığımızda kovanın kuyunun ağzında beklemesi gerekir. Bunun içinde çıkrığın kilitlenmesi gerekir.Burada en basit çözüm, mandal dişlidir.

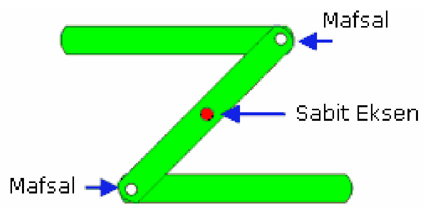
Mandal dişliler, sarkaçlı saatlerde de kullanılır. Sarkaç, yarım periyodunda(yarım saniye) soldan sağa, diğer yarım periyodunda da sağdan sola gider. Sarkaç sola doğru ilerlediğinde, sarkacın ucuna bağlı oalan çapanın sol ucu Şekil Şekil 1.52 görüldüğü gibi havaya kalkar. Bu arada bir mandal dişli olan kurtulma dişlisininin dişini serbest bırakır. Kurtulma dişlisine bağlı olan ağırlık (Bir yay kuvveti ile de olabilir) dişliyi sağa doğru yarım diş; yani yarım periyotluk açı kadar döndürür. Bu arada çapanın sağ ucu, kurtulma dişlisine temas edere frenler. Sarkaç sağ tarafa salındığında ise bu sefer diğer diş temas ederek yarım periyoda ayarlar ve bu şekilde devr-i daim eder.



Şekil 1.52: Sarkaç mekanizması

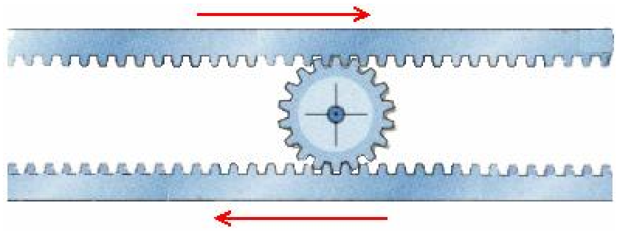
1.6.8. Tersine Hareket Üreten Mekanizmalar

Bir yönde uygulanan hareketin tersi yönde hareket elde etmek için kullanılır. Günümüzde daha çok hidrolik ve pnömatik silindirlerle elde edilmesine rağmen rijit cisimlerin hala revaçta olduğu yerler de vardır. Şekil 1.53'te görülen üç çubuk mekanizmasında ortadaki çubuk ekseni etrafında serbest dönebilmektedir. Diğer çubuklardan birine uygulanan kuvvet, diğerini zıt yönde hareket ettirecektir.



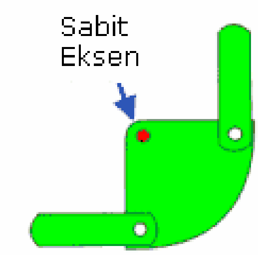
Şekil 1.53: Ters Hareket Üreteci

Şekil 1.53'te düz dişlinin etrafında iki krmayer dişli vardır. Düz dişli sağa sola döndürüldüğünde kremayerlerden biri bir yönde diğeri zıt yönde doğrusal hareket yapar.



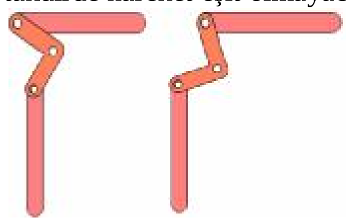
Şekil 1.54: Çift kremayerli dişli çark

Bununla ilgili olarak Bell krankı adı ile bilinen bir mekanizma daha vardır (Şekil 1.54). Yatay hareketi dikey harekete çevirmek için kullanılır. Bunun tersi de mümkündür (Şekil 1.55).



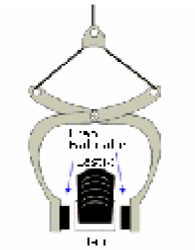
Şekil 1.55: Bell krankı

Eğer dönme ekseni giriş ve çıkış çubuklarına eşit uzaklıktaysa çıkış uzunluğu giriş uzunluğuna eşit olacaktır. Aksi takdirde hareket eşit olmayacaktır (Şekil 1.56).



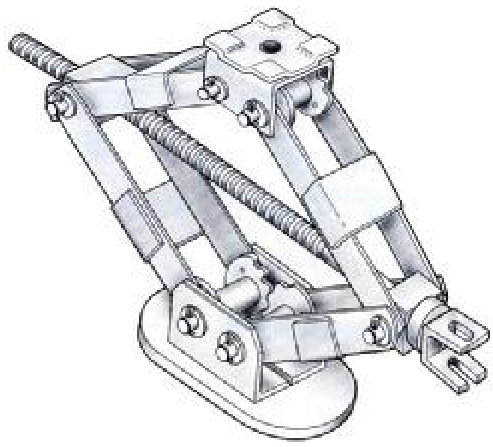
Şekil 1.56: Bell krankı

Bu mekanizmanın en belirgin kullanım yerlerinden biri, bisikletlerin fren mekanizmasıdır. Bisikletin fren çubuğuna basıldığında fren teli yukarıya çekilir ve fren balatalarını lastik jantına doğru hareket ettirir (Şekil 1.57).



Şekil 1.57: Bisiklet freni

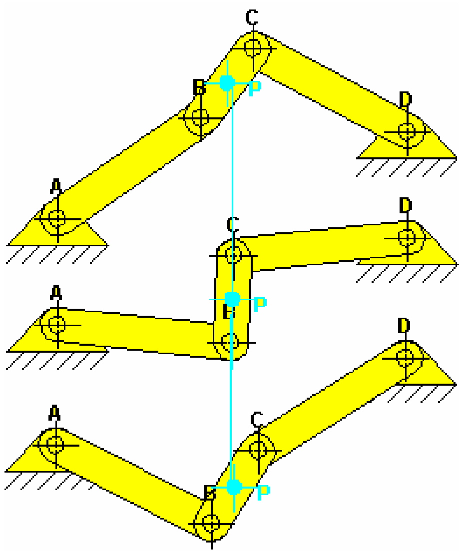
Arabaları kaldırmak için kullanılan mekanik krikolar da bu mekanizmanın bir uygulamasıdır (Şekil 1.58)



Şekil 1.58: Mekanik kriko

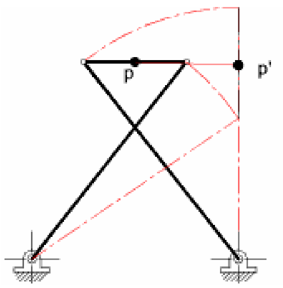
1.6.9. Düz-Çizgi Üreteci Mekanizmalar

Günümüzde doğrusal hareket üretmek kolay olsa da geçmişte bu hiçte kolay olmamıştır. Şekil 1.59'da görülen düz çizgi üretmek için tasarlanan mekanizma Whitworth tarafından geliştirilmiştir ve James Watt tarafından 1782 yılında buharlı makinelerinde kullanılmıştır.



Şekil 1.59: Whitworth düz çizgi üreteci

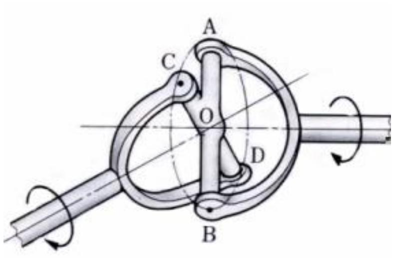
Bundan başka değişik bilim adamlarının tasarladığı düz çizgi üreteçleri de vardır (Şekil 1.60).



Şekil 1.60: Chebychev düz çizgi üreteci

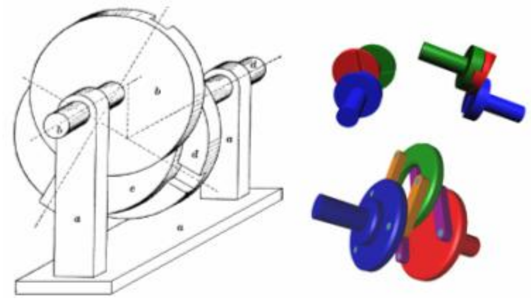
1.6.10. Kaplinler

Eksenleri paralel, eş, kesişen ve açılı olan millerde hareket iletimi, mekaniksel kaplinlerle yapılır. Kaplinlerin birçok çeşiti vardır. En basit kullanımı iki eş merkezli mil arasında hareket ve güç iletimidir.Miller kesişmesine rağmen aralarında bir açı var ise Hooke ya da Kardan mafsalı ya da kaplini kullanılır.Kardan kavrama olarak adlandırılan eleman yapı itibarıyla bir kaplindir. Sanayide ve otomotivde kullanılmaktadır.İki boyun arasına çatal pimlenmiştir (Şekil 1.61).



Şekil 1.61: Hooke mafsalı

Eksenler arasında kaçıklığın olduğu yerlerdde kullanılan bir diğer kaplinde Oldham kaplinidir (Şekil 1.62).

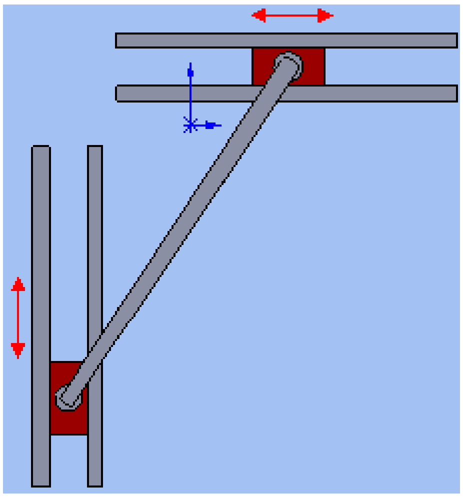


Şekil 1.62: Oldham kaplini

Kaplinlerden başka dişliler, kayış-kasnak sistemleri ve zincir dişliler, miller arasında hareket iletimini tesis eder.

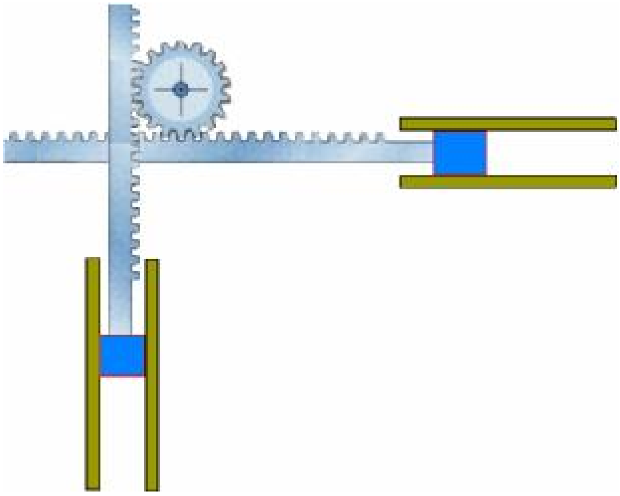
1.6.11. Kayıcı Mekanizmalar

Bir yuva içinde kayan sürgünün hareketi, aynı düzlemde bulunan fakat farklı yönlerdeki başka bir sürgüyü kaydırır (Şekil 1.63).



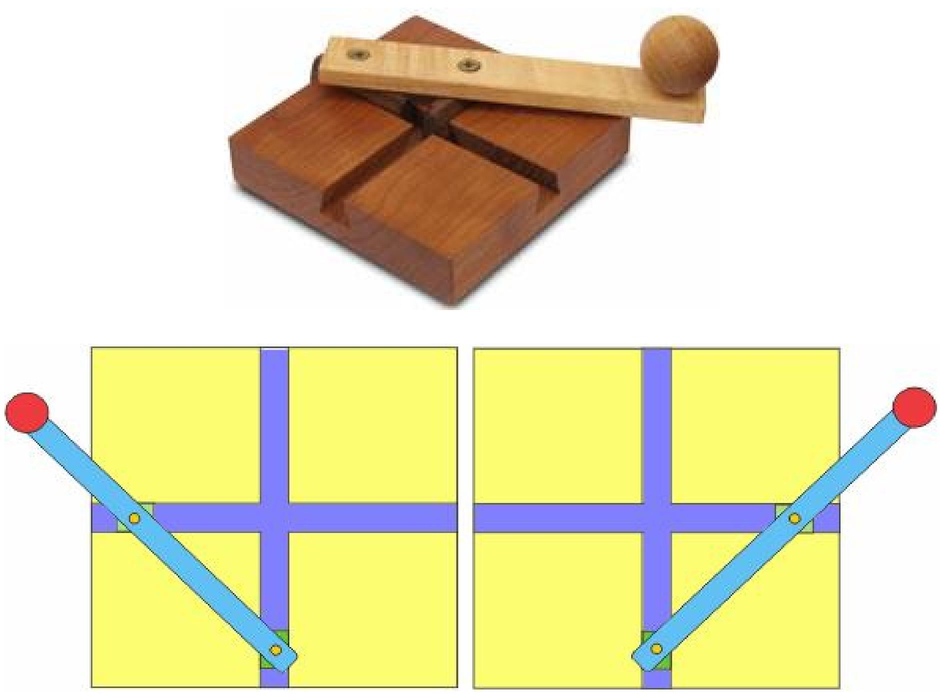
Şekil 1.63: Kayan sürgüler

Başka bir yolu da uzun bir düz dişlinin sürdüğü iki kremayer dişli mekanizmasıdır (Şekil 1.63).



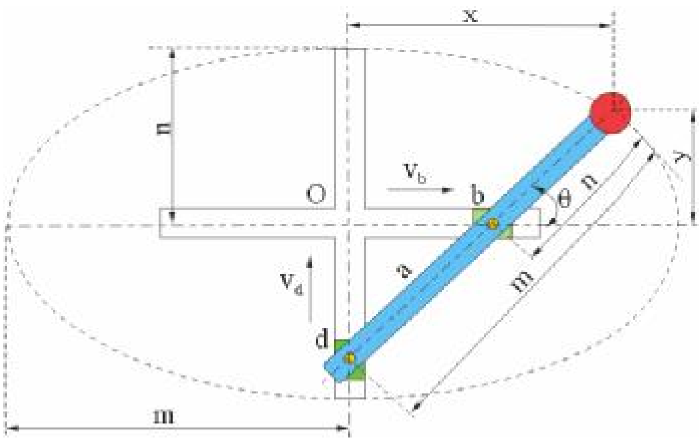
Şekil 1.64: Kremayerli kayan sürgüler

Bu mekanizmanın ilgi çekici bir uygulaması da elips çizmede kullanılmasıdır. Şekil 1.65'te görüldüğü gibi artı şeklinde iki yarığa iki sürgünün prizmatik mafsal oluşturacak şekilde yerleştirilmesiyle elde edilir. Sürgüleri birleştiren kol çevrildikçe yuva içinde birbirine göre 90^0 açıda kayan kayan sürgüler, kolun elips şeklinde dönmesini sağlayacaktır.



Şekil 1.65: Elips çizme sürgüleri

Şimdi bu mekanizmanın yolunu inceleyelim (Şekil 1.66).



Şekil 1.66: Elipsin oluşumu

Tutma koluna ait yolunun bir elips olduğu kolayca görülebilir.

$$\sin q = \frac{y}{n}$$

$$\cos = \frac{x}{m}$$

$$\cos^2 q + \sin^2 q = 1$$

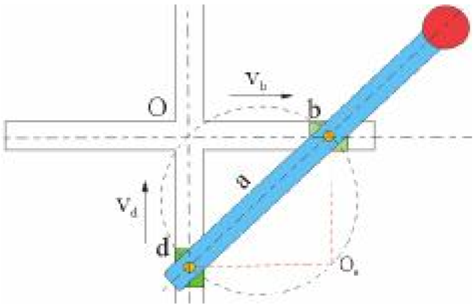
$$\frac{x^2}{m^2} + \frac{y^2}{n^2} = 1$$

Bu denklem merkezi O olan, uzun ve kısa eksenleri m ve n olan bir elipsi tanımlamaktadır. Kızaklara ait çizgisel hızlar v_d ve v_b olmak üzere, a kolunun mekanizmayı tutan tablaya göre açısal hızı, Şekil 1.67'yi inceleyiniz.

$$w_{ac} = \frac{v_d}{O_b} = \frac{v_b}{O_d}$$

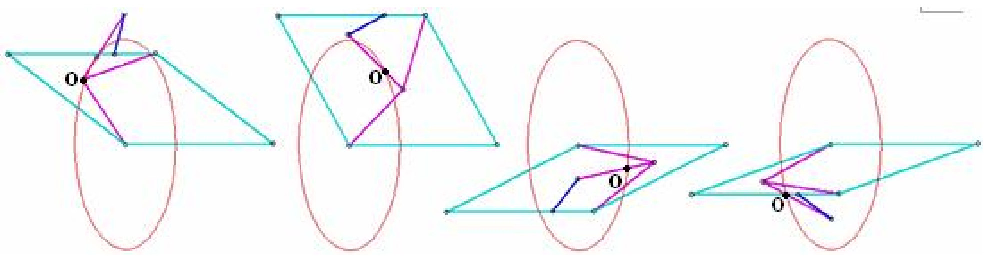
ve hızlar arasındaki orantı:

$$\frac{v_d}{v_b} = \frac{O_b}{O_d}$$



Şekil 1.67: Hız Oranları

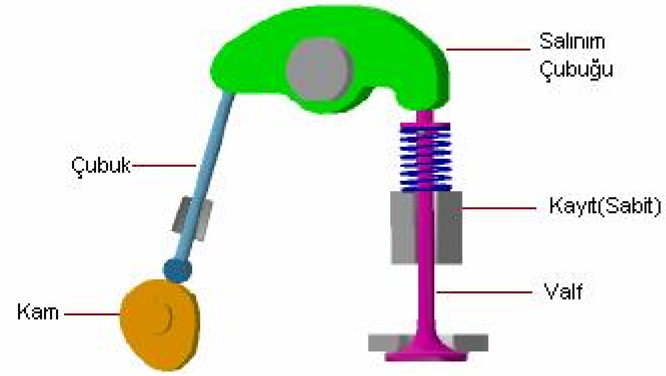
Çubuk kullanarak elips çizmeyi deneseydik bir hayli zorlanacağımız muhakkaktı(Şekil 1.68).



Şekil 1.68: Çubuklarla elips çizimi

1.6.12. Durma ve Bekleme Mekanizmaları

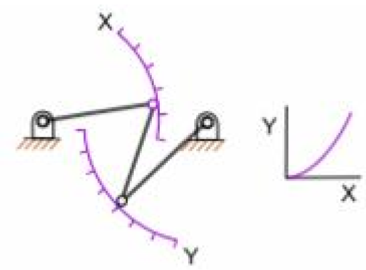
Çalışma anında bazen durup bir süre bekledikten sonra sonra harekete devam etmesi istenen yerler vardır. Örneğin, içten yanmalı motorlarda valf sistemi gibi… Valf açılacak, bir süre açık kalacak, kapanacak ve bu durum bir süre devam edecek. Böyle bir sistem için en uygun çözüm valf sistemini bir kamın kumanda etmesidir (Şekil 1.69).



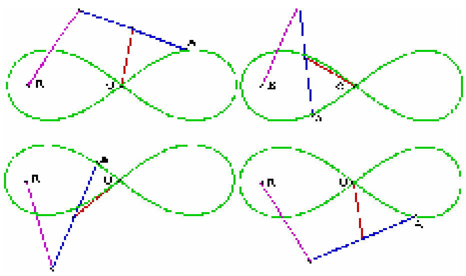
Şekil 1.69: Motorların sübap sistemi

1.6.13. Eğri Üreteçleri

Dört çubuklu mekanizma, çubuk boyutlarını ve sabit noktaların yerini ayarlayarak eğriler çiziminde kullanılabilir (Şekil 1.70-1.71).



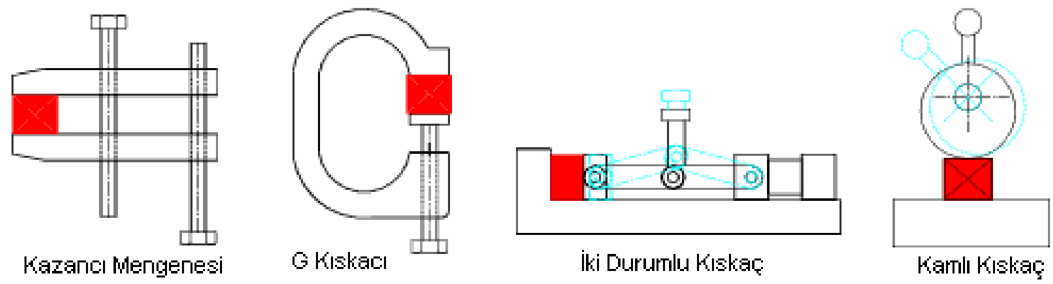
Şekil 1.70: Eğri üreteci



Şekil 1.71: Eğri üreteci

1.6.14. Sıkma ve Konumlama Mekanizmaları

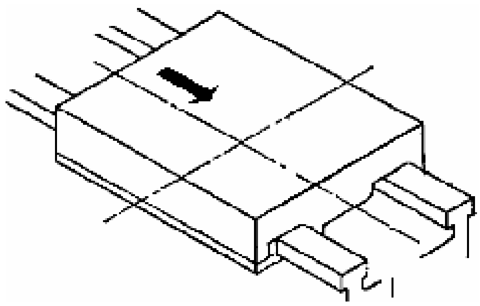
İş parçalrını sıkmak ve konumlamak için vidalı birleştirmeler, kamlı kıskaçlar, manivelalı sistemler kullanılır. Sıkma ve konumlama işi çoğunlukla vida kuvveti ve iki durumlu manivela hareketleri ile sağlanır. Burada önemli nokta, bir kuvvet uygulamak ve bu kuvveti, ilk hareketi veren sebep (Örneğin, elin bir kolu çevirmesi) ortadan kalksa bile muhafaza etmektir (Şekil 1.72).

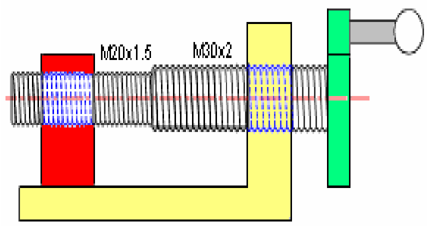


Şekil 1.72: Sıkma ve konumlama mekanizmaları

1.6.15. Doğrusal Hareketlendirici Mekanizmalar

Dairesel hareketi doğrusal harekete çevirmek için kullanılır. Tezgâh tablalarının hareketini sağlayan mekanizmaları, krikoları içine alır. Burada hareketi veren vida sabit, somun dönerek ileri geri hareket eder. Bazı durumlarda somun sabitken vida ileri geri oynayabilir (Şekil 1.73).



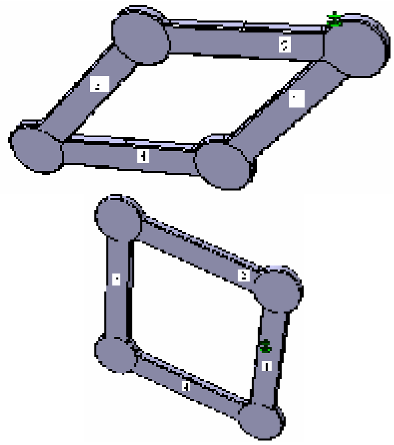


Şekil 1.73: Doğrusal kızaklar

1.7. Ters Kinematik

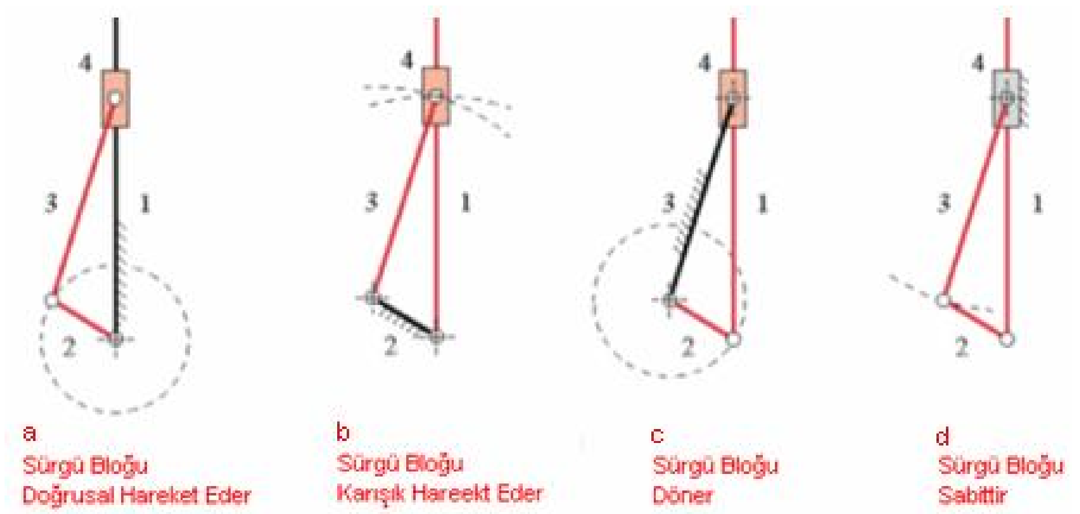
Daha önce de tanımlandığı gibi mekanizma kinematik zincirdeki uzuvlardan birini bir yere sabitleyerek tanımlanır. Kinematik bir zincirdeki farklı uzuvlar sabit uzuv olarak seçildiğinde tüm uzuvlardaki bağıl (göreceli) hareketler değişmez. Buna rağmen sabit uzva göre hareketleri tamamıyla değişebilir. Kinematik zincirin farklı azalarını, sabit uzuv olarak seçme işi ters kinematik ya da kinematik mübadele olarak adlandırılır.

Şekil 1.74'te, önce 1 sonra 2 Nu.lı uzuvlar sabit uzuv olarak seçilmiştir. Buna göre iki farklı hareket şekli elde edilmiştir.



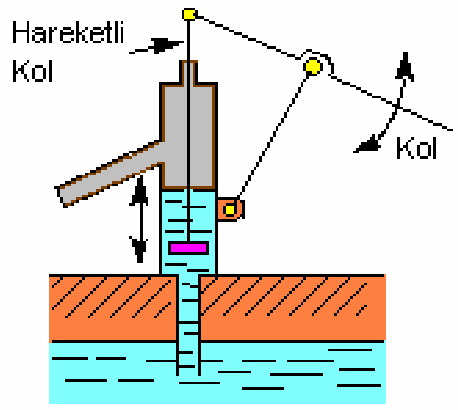
Şekil 1.74: Sabit uzvun değişimi

Ters kinematikle uygulamalarda verilen bir kinematik zincirden yeni birçok mekanizma türetilebilir.Şekil 1.75(a)'da görülen krank-biyel mekanizmasında, sabit uzuv değiştirilerek b-c-d mekanizmaları meydana getirilebilir.



Şekil 1.75: Ters kinematik uygulamaları

Şekil 1.76'da görülen tulumba, Şekil 1.75(b)'nin bir uygulamasıdır.



Şekil 1.76: Tulumba

1.8. Mekanizmaların Hareketi

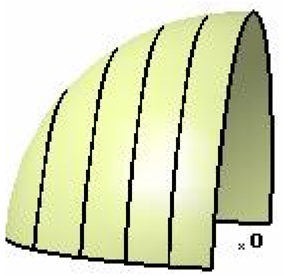
Rijit bir cisim anlık olarak konumunu ve yönünü değiştiriyorsa hareket halinde olduğu kabul edilir. Konum değişimi kendisine bağlı ya da yakınında bulunan başka bir cisme yada parçaya göre belirleneceğinden, göreceli bir ölçmedir. Mekanizmaların kinematiği ise mekanizma ya da makineleri meydana getiren uzuvlar arasındaki bu göreceli hareketin incelenmesidir. Bu incelemede harekete sebep olan unsurlar ve kütlesel atelet momentleri ihmal edilir. Bu konu, "Makine Dinamiği" bilim dalının konusudur. Kütle veya dış kuvvetler sebebi ile uzuvlarda oluşan kuvvetlerin büyüklükleri, mukavemet analizlerine yardımcı olur.

Mekanizmalar hareket kabiliyetlerine bağlı olarak üç tip harekete maruz kalır.

- Düzlemsel Hareket
- Küresel Hareket
- Uzaysal Hareket

Düzlemsel Hareket: Rijit gövdedeki tüm parçacıklar birbirine paralel düzlemlerle sınırlıdır.Düzlemsel hareket yapan bir mekanizmada, uzuvları meydana getiren tüm noktaların konumları, bir düzlem içinde çizilebilir.Düzlemsel mekanizmalarda prizmatik ve döner mafsallar kullanılır. Döner mafsalın ekseni hareket düzlemine paralel, prizmatik mafsalın ötelenme yönü ise hareket düzlemine dik olmak zorundadır.

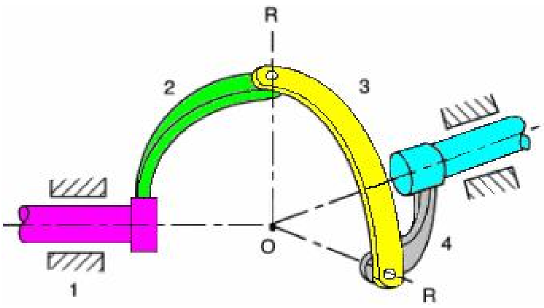
Küresel Hareket: Rijit gövdedeki tüm noktaların hareketi bir kürenin yüzeyi ile sınırlandırılmışsa bu, küresel bir harekettir. Küresel harekette cismin bir noktası sabit kalır. Bu hareketi yapan mekanizmalara, küresel mekanizmalar denir. Küresel mekanizmalarda hareketli tüm uzuvlar, ortak olan sabit bir nokta yada merkez etrafında eşmerkezli hareketler yapar.Sabit noktaya göre küre merkezi denir. Tüm mafsal eksenleri ortak bir noktada kesişir (Şekil 1.77).



Şekil 1.77: Küresel yörünge

Döner mafsallar, küresel mekanizma inşasına izin veren tek düşük eşli mafsaldır.

Şekil 1.78, üniversal mafsal olarak bilinen dört çubuklu küresel bir mekanizmayı göstermektedir. Şekil 1.61'de görülen Hooke mafsalı ile aynı işi yapar. Üniversal mafsal, eksenleri farklı açılarda kesişen miller arasında hareket nakleder. Miller arasında açı farklılığından dolayı giriş mili ile çıkış mili arasında hız farklılığı vardır. Arka tekerlekten çekişli araçlarda, bu hız farklılığını gidermek için iki üniversal mafsalı, dişli kutusu ile diferansiyel arasına seri bağlanır.



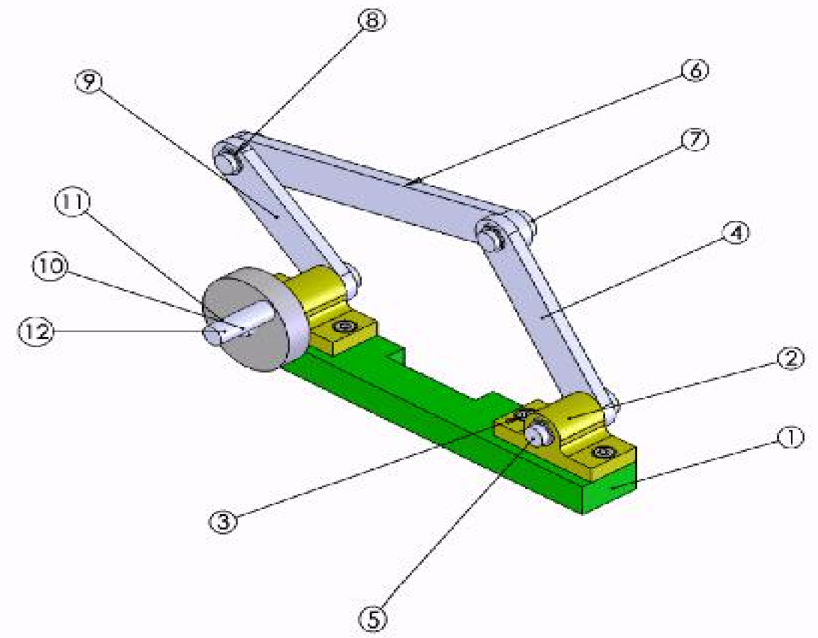
Şekil 1.78: Üniversal mafsal

Dört döner mafsal, ortak "O" noktasında kesişir. 1 Nu.lı uzuv sabittir. 2 Nu.lı uzuv giriş, 3 Nu.lı uzuv bağlantı ve 4 Nu.lı uzuv çıkış elemanı, yani hareketin aktarıldığı mildir. Bu 4 çubuğun boyutları, mafsal eksenleri arasındaki açılara göre tayin edilir. 3. uzuvdaki tüm noktalar sabit "O" noktasını merkez alan küresel yüzeyler üzerinde hareket eder. 2. uzuv sabit eksen etrafında hareket eder. Üzerindeki herhangi bir noktanın yolu, dönme eksenine dik bir çember üzerindedir. Dönme ekseni "O" noktasından geçtiğinden 2. uzuvdaki noktaların "O" merkez noktalı küre üzerinde hareket ettiğini düşünürüz. Benzer şekilde 4. uzuv da küresel alanda hareket eder. Böylece tüm uzuvlar küresel hareketi haizdir.

Uzaysal Hareket: Bir cismin hareketi ne düzlemsel ne de küresel ise buna uzaysal hareket denir. Bu mekanizmalara özgü doğrudan bir hareket yoktur. Buna rağmen uzaysal mekanizmalarda biri diğerine paralel olmayan, düzlemsel hareket yapan birkaç uzuv bulunabilir.Küresel ve düzlemsel mekanizmalar uzaysal mekanizmaların özel halleri olarak düşünülür. Kendi mafsal eksenlerinin yönünde özel geometrilerinin bir sonucu olarak oluşur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda komple ve detay resimleri verilen dört kollu mekanizmayı imal ediniz. Öğrencilerin gruplar oluşturarak çalışmaları önerilir.

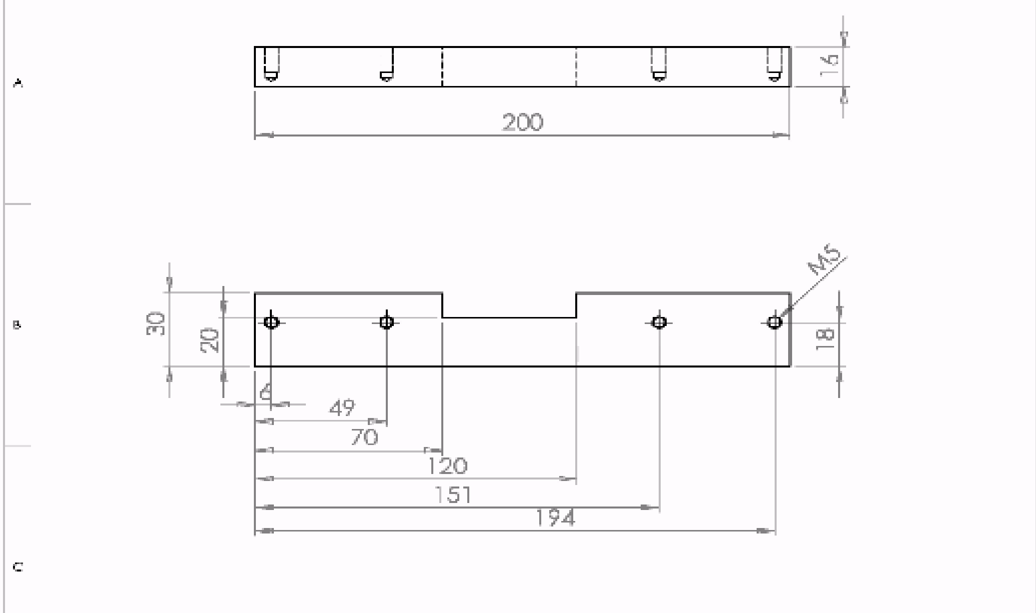


Sayı	Parça Adı	Resim No Standart No	Parça No	Gereç	Açıklamalar
20	Toplam Parça Sayısı				
1	Çevirme Kolu	DÇM - 1_12	12	Ck 15	
1	Çevirme Diski	DÇM - 1_11	11	Ck 15	
1	Perno 10 h11 x 55	TS 69/4	10	Ck 15	
1	Krank Kolu	DÇM - 1_09	9	Ck 15	
4	Emniyet Segmanı 10x1	DIN 471	8		Hazır
2	Perno 10 h11 x 16	TS 69/4	7	Ck 15	
1	Biyel Kolu	DÇM - 1_06	6	Ck 15	
1	Perno 10 h11 x 36	TS 69/4	5	Ck 15	
1	Salıngaç Kol	DÇM - 1_04	4	Ck 15	
4	Allen Başlı Civata M5x10	TS 1020/10	3	8.8	Hazır
2	Yatak	DÇM - 1_02	2	DD 26	
1	Taban	DÇM - 1_01	1	Fe 37	

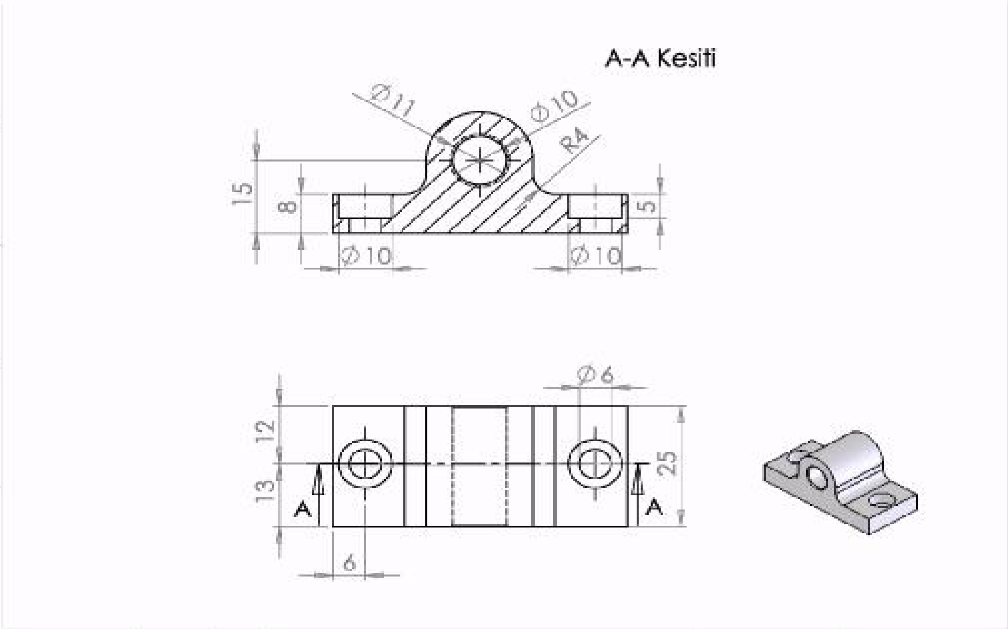
	Tarih	Adı	İmza	Sayı
Çizen				
Kontrol		Murat ÖZDEVECİ		
Stan.Kont.				

MAZHAR ZORLU ANADOLU TEKNİK ve PLASTİK ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ

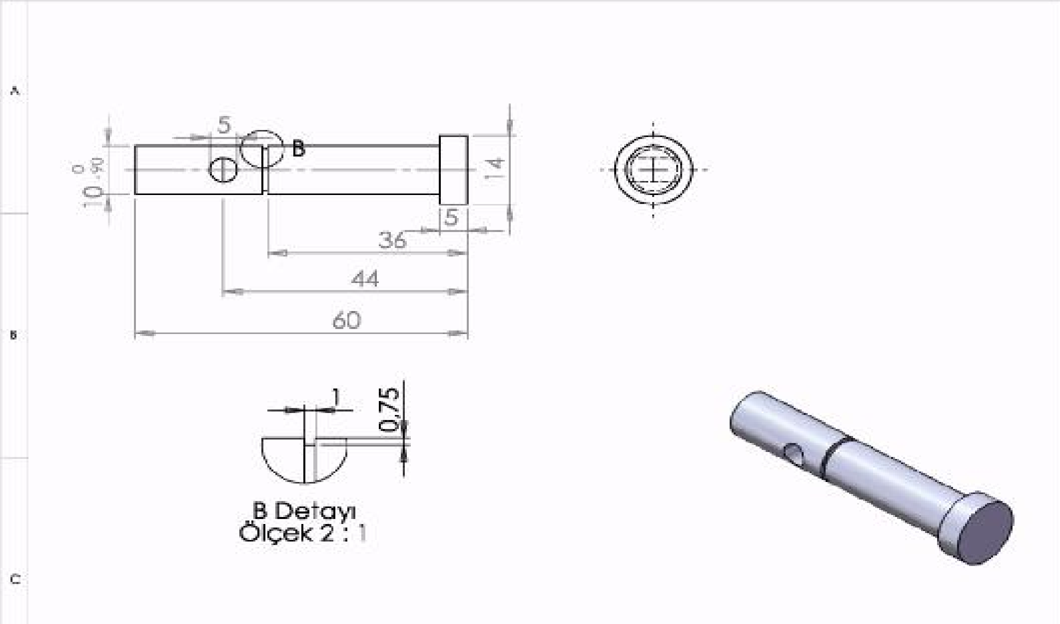
Ölçek		Resim Numarası
1:2	DÖRT ÇUBUK MEKANİZMASI	DÇM - 1



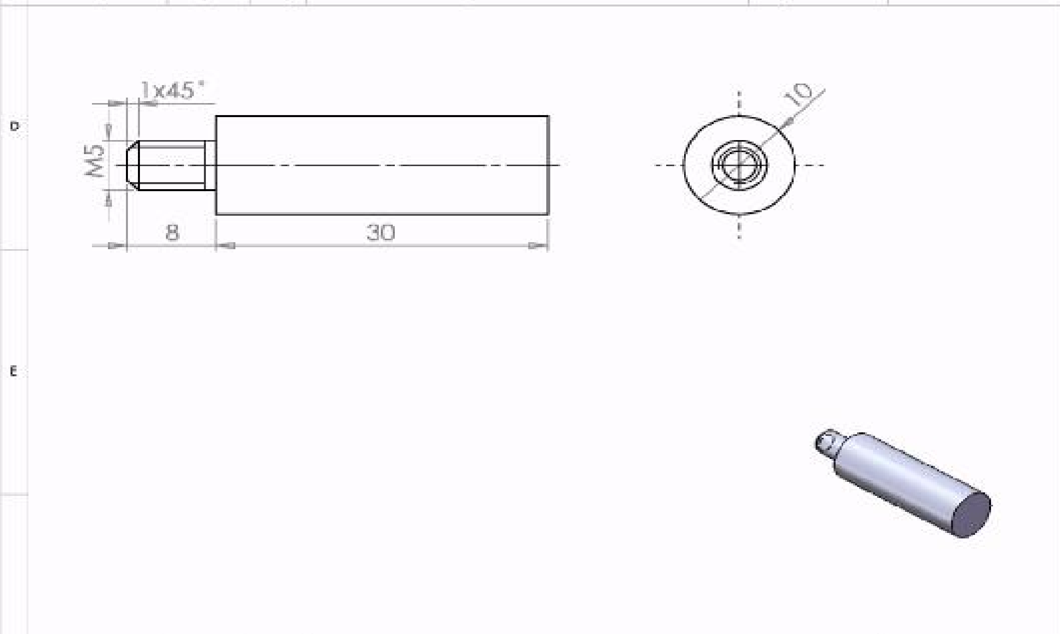
Fe 37	1:2	1	Taban		DÇM - 1_01
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



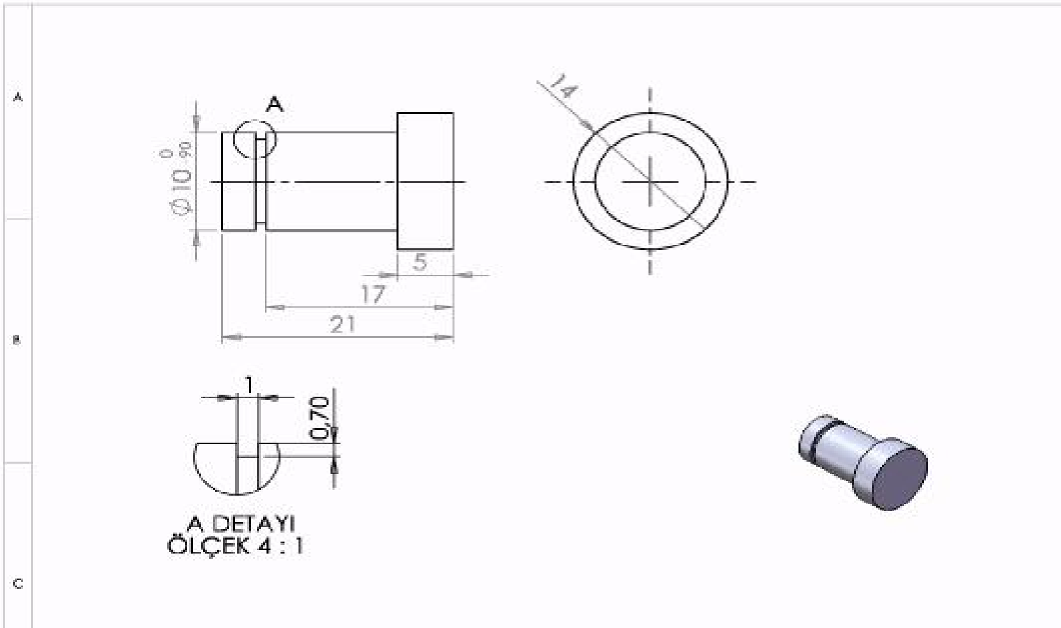
DD 26	1:1	2			DÇM - 1_02
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



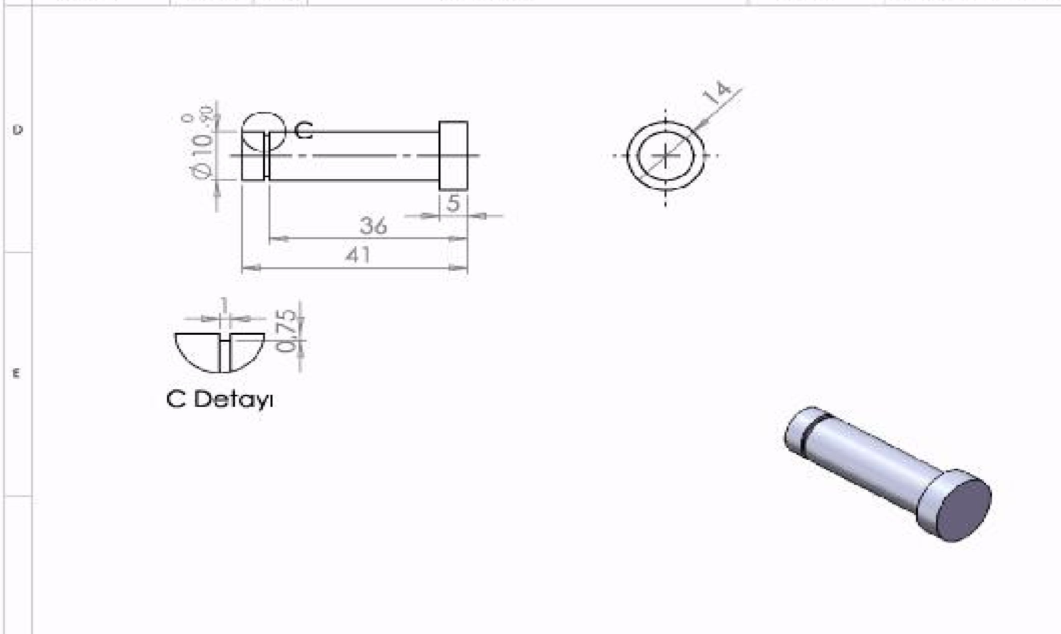
Ck 15	1:1	1	Perno 10 h11 x 55		TS 69/4
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



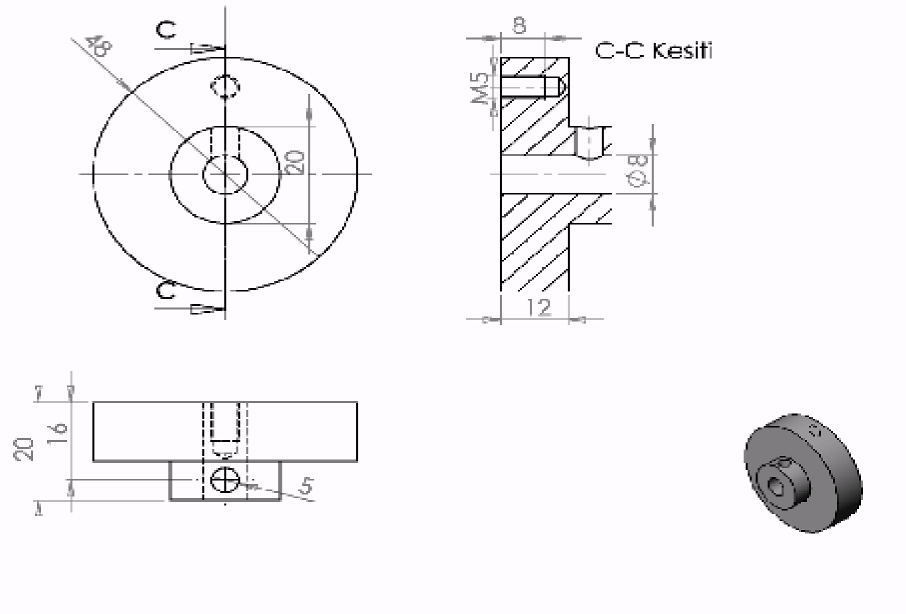
Ck 15	2:1	1	Çevirme Kolu		DÇM - 1_12
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



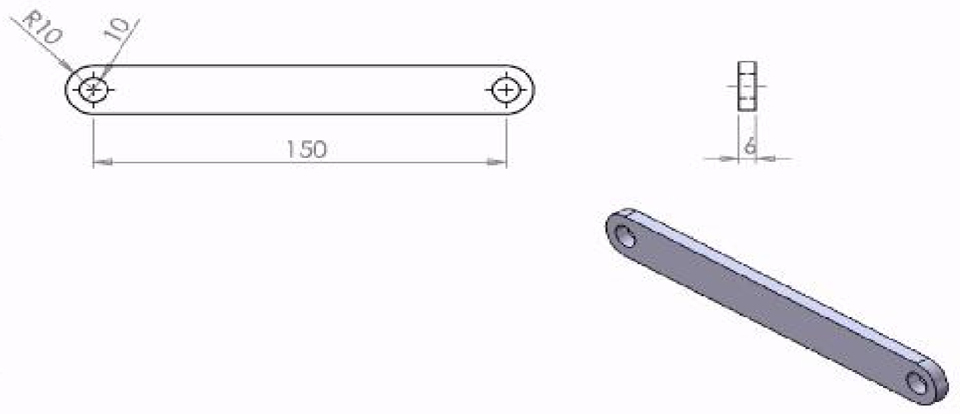
Ck 15	2:1	2	Perno 10 h11 x 16		TS 69/4
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



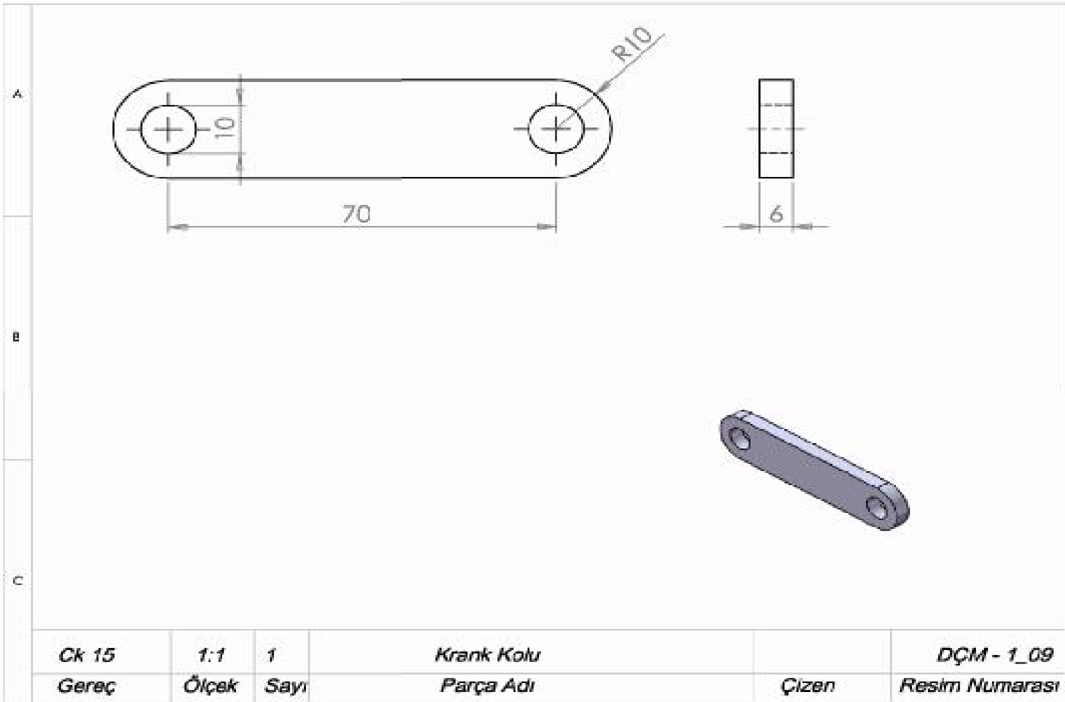
Ck 15	1:1	1	Perno 10 h11 x 36		TS 69/4
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

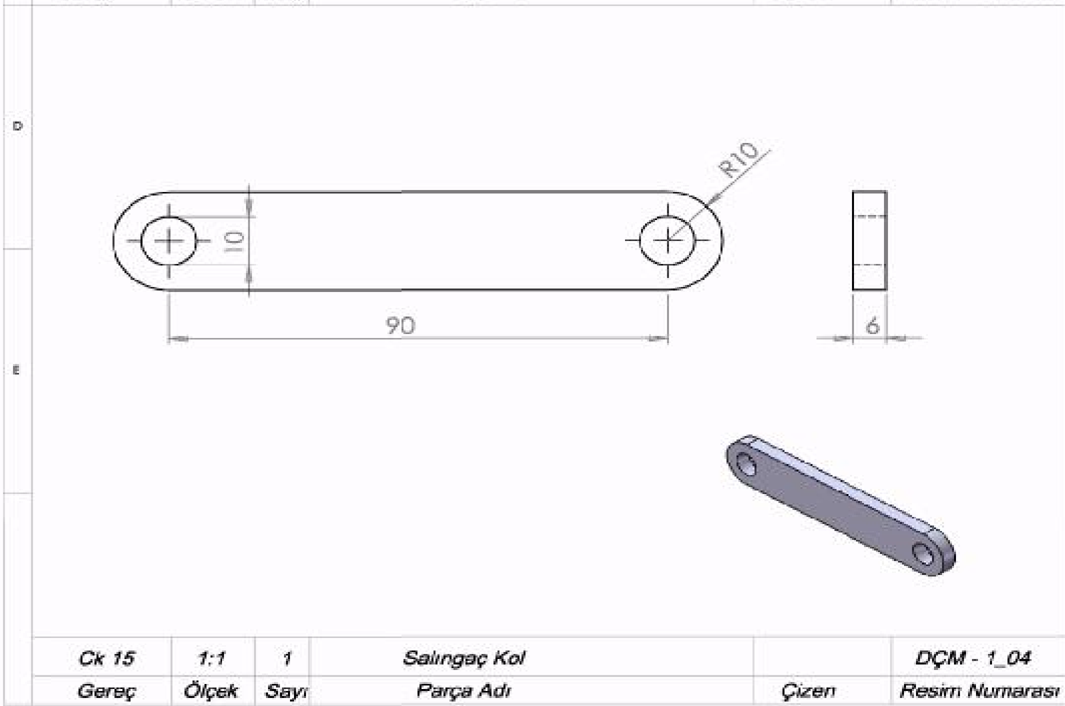


Ck 15	1:1	1	Çevirme Diski		DÇM - 1_11
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



Ck 15	1:2	1	Biyel Kolu		DÇM - 1_06
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası


R10
10
70
6
Ck 15
1:1
1
Krank Kolu
DÇM - 1_09
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası


R10
10
90
6
Ck 15
1:1
1
Salıngaç Kol
DÇM - 1_04
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A. OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları cevaplayarak bu faaliyette kazandığınız bilgileri ölçünüz.

1. Uzuvların hareket kabiliyetine göre aşağıdakilerden hangisi dört çubuk mekanizmasının görevlerinden değildir?

A) Fonksiyon Üretimi
B) Yörünge Üretimi
C) İvmelendirme
D) Hareket Dönüşümü

2. Cisimlerin hareketini, hız ve ivme yönünden inceleyen bilim dalı aşağıdakilerden hangisidir?

A) Kinematik
B) Statik
C) Kinetik
D) Transport Tekniği

3. Kuvvet uygulandığında şeklini değiştirmediği kabul edilen cisimlere ne ad verilir?

A) Sünek Cisim B) Rijit Cisim C) Gevrek Cisim D) Sert Cisim

4. Aşağıdakilerden hangisi dört çubuk mekanizmasının kullanım alanlarından değildir?

A) Kepçeler B) Takım Çantaları C) Pantoğraf D) Otobüs Kapılarında

5. Kulis tertibatı da denilen hızlı geri dönüş mekanizması hangi takım tezgahında kullanılmaktadır?
A) Torna Tezgâhı B) Vargel Tezgâhı C) Freze Tezgâhı D) Planya Tezgâhı

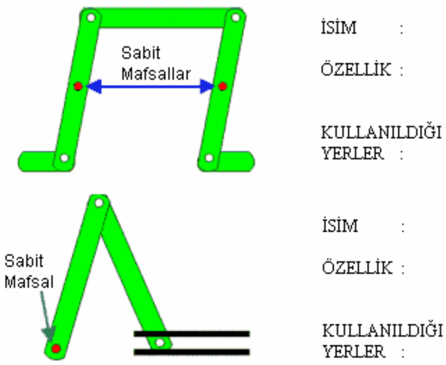
DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete dönerek tekrar inceleyiniz.

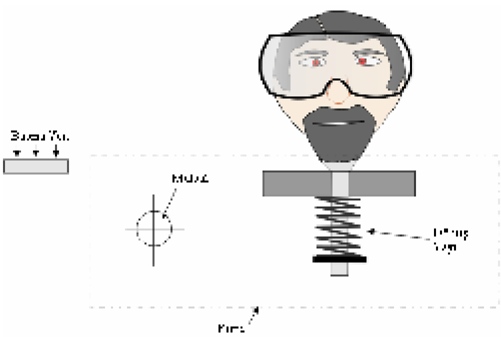
B. UYGULAMALI TEST

Aşağıdaki soruları cevaplayarak bu faaliyette kazandığınız bilgileri ölçünüz.

1. Aşağıdaki çubuk mekanizmalarına ait boşlukları doldurunuz.



2. Bir kartona çizilmiş kafa resminin, bir kola basılında yukarı, kol bırakılınca aşağı hareket etmesi isteniyor. Mekanizma bir kutu içine yerleştirilecektir. Bu mekanizmayı resim üzerine çizerek nasıl çalıştığını açıklayınız.



3. Şekildeki oyuncak ördek, bir iple çekilmektedir. Ördek ilerledikçe kanatlarının aşağı yukarı hareket etmesi istenmektedir. Tekerleklerden kanatlara nasıl bir mekanizma ile bu hareketi aktarabiliriz?

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Standartlara uygun olarak kayma hareketi yapan mekanizmalar yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Bu öğrenme faaliyetinden önce fizik dersinden öğrendiğiniz dairesel hareket, matematikten türev formüllerini ve birim vektör kavramlarını gözden geçirmelisiniz.

2. RİJİT CİSİMLERİN KİNEMATİĞİ

2.1. Giriş

Rijit cisimlerin hareketine düzlemsel hareket denir. Düzlemsel harekettte, cismin bütün noktaları ya da parçacıkları sabit bir düzlemden eşit uzaklıkta bulunan yörüngeler boyunca hareket eder. Düzlemsel hareket:

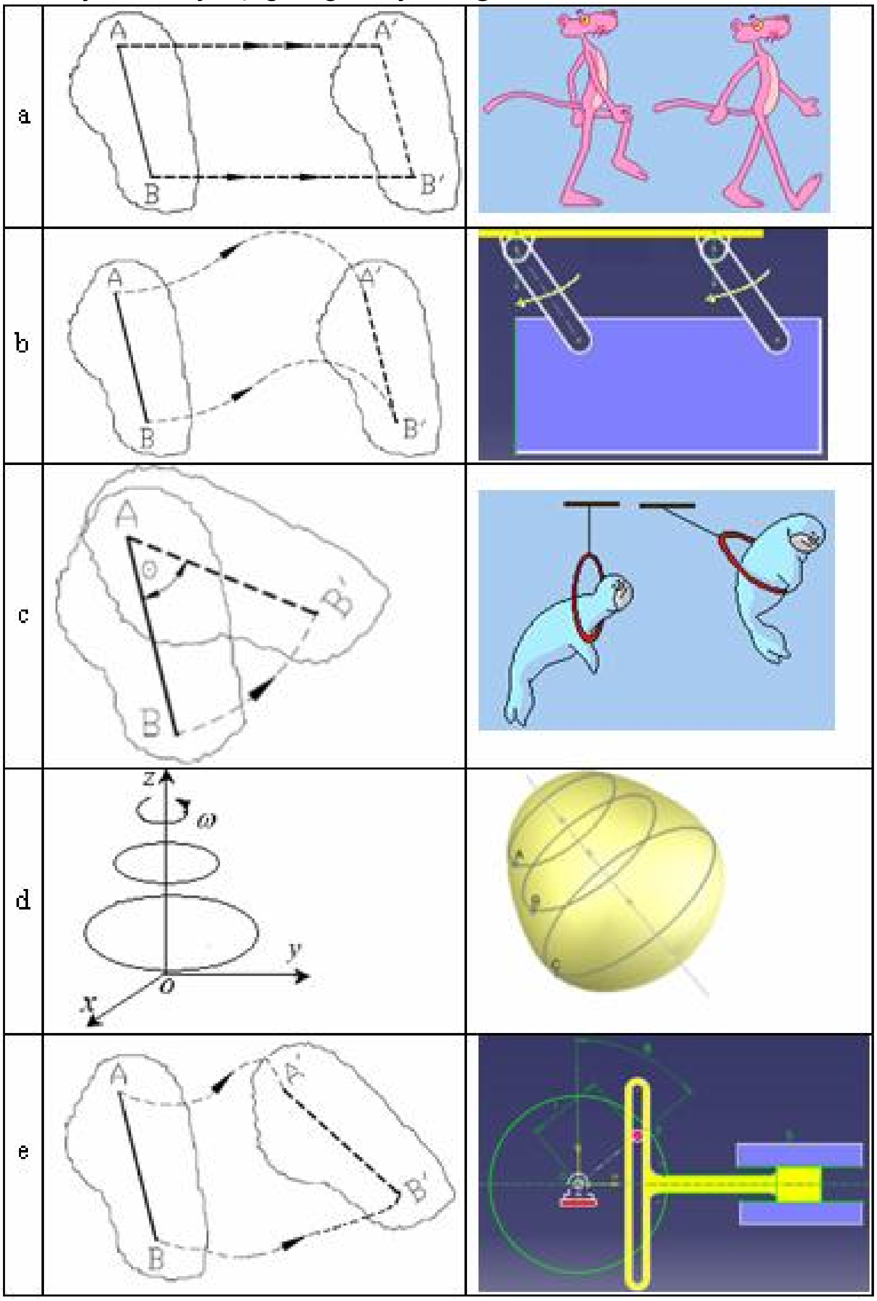
- Öteleme
- Sabit bir eksen etrafında dönme
- Genel düzlemsel hareket

olmak üzere üçe ayrılır.

Öteleme: Bir cismin herhangi bir noktası, hareketi sırasında doğrultusunu muhafaza eder.Ötelenmede cismin her noktası paralel yörüngeler üzerinde hareket eder. Bu yörüngeler bir doğru parçası ise harekete doğrusal öteleme(Şekil 2.1 a), bu yörüngeler bir eğri ise eğrisel öteleme denir (Şekil 2.1 b). Ötelemede cismin bütün noktalarının hız ve ivmeleri eşit olur. Doğrusal ötelemede noktalaların hız ve ivmelerinin şiddetleri ile doğrultuları aynı kalmakla birlikte eğrisel ötelemede her lahza değişir.

Dönme: Rijit cismi meydana getiren noktalar, sabit bir nokta (Şekil 2.1 c) yada sabit bir eksen etrafında (Şekil 2.1 d) döner. Eksen etrafında dönmede, sabit eksen merkez olmak üzere birbirine paralel düzlemler üzerinde bulunan daireler üzerinde, cismin noktaları devinirler. Sabit nokta etrafında dönmede ise bütün maddesel noktalar, eş merkezli daireler üzerinde hareket eder.

Genel Düzlemsel Hareket: Öteleme ve dönme hareketinin birleşimidir (Şekil 2.1 e). Yuvarlanan bir kalemin hareketi yada duvara yaslanan bir kalasın, zeminde sürtünmenin az olmasından dolayı serbestçe aşağı doğru kayması genel düzlemsel hareketin örnekleridir.



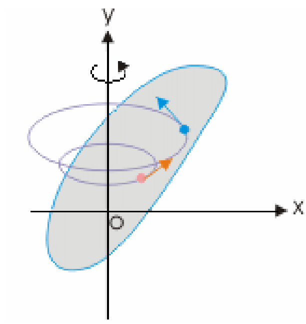
Şekil 2.1: Kinematik hareketler

Maddesel nokta deyimi, mekanikte küçük zerreleri kasdetmemektedir.Daha çok, çeşitli büyü klükte olan cisimlerin (Uçak, tren, sansar…) hareketini, onun büyüklüğünü dikkate almadan inceleneceğini ifade etmektedir.Onları bir bütün olarak ele aldığımızı ve kendi ağırlık merkezleri etrafında dönmediği kabul edilir.

2.2. Dairesel Hareket

Günlük hayatta öteleme yada doğrusal hareket kadar sık karşılaştığımız hareket türü de dönme hareketi, yan, dairesel harekettir. Dişli çarklar, pervaneler, tekerlekler çok sık karşımıza çıkan örneklerdir.

Rijit cismi meydana getiren her bir nokta, sabit bir eksen etrafında döner.Dönme anında da parçanın hızı sabit kalıyorsa yapılan hareket düzgün dairesel hareket, değişken ise düzgün değişen dairesel hareket adını alır. Mekanizmalarda her iki türle karşılaşılır.

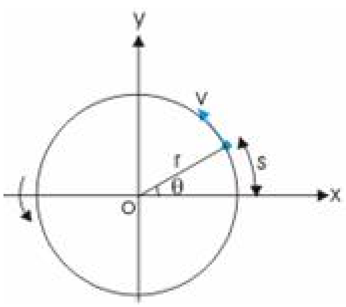


Şekil 2.2: Dönme hareketi

2.2.1. Düzgün Dairesel Hareket

Dairesel hareketle doğrusal hareket arasında birebir ilişki vardır. Açısal yerdeğiştirme-doğrusal yerdeğiştirme, açısal hız-doğrusal hız, açısal ivme-doğrusal ivme gibi…

Açısal Konum (q **- theta)**: Bir açıyı ölçmek için iki düz çizgiye ihtiyaç vardır. Dairesel harekette, bu çizgilerden biri, sabit ekseni, diğeri dönen cismin üzerinden geçen çizgidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Açısal konum

Kolaylık olması açısından sabit eksen kartezyen koordinatın x ekseni ile çakıştırılır. Sabit eksen ile maddesel noktayı temsil eden P noktasının dönüşünü temsil eden OP çizgisi arasındaki açı, noktanın açısal yerdeğiştirmesidir (θ). Bu açı tek başına noktanın konumunu tarife yeterli değildir. Noktanın hareket ettiği çemberin yarıçapı da bilinmesi gerekir.

Geometriden

$$q = \frac{s}{r} \qquad [2.1]$$

$$s = \theta r \qquad [2.2]$$

Burada s, θ açısının karşısındaki yay uzunluğu, r ise dairenin yarıçapıdır.Açı değeri, boyutsuz olan radyan cinsinden ölçülür. Bir tam dönme 2π radyandır. Derece karşılığı 360^0 dir.

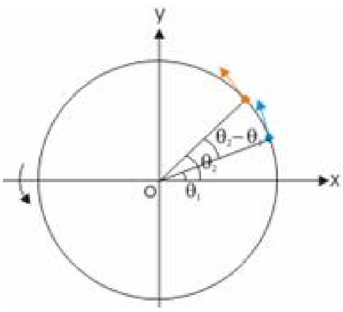
Örnek: 90^0 ‘nin radyan ve dönme sayısı olarak karşılığını bulalım.

$$q = 90^0 \rightarrow 90^0 \left\{ \frac{2p}{360^0} \right\} = \frac{p}{2} \text{ radyan}$$

$$q = 90^0 \rightarrow 90^0 \left\{ \frac{1}{360^0} \right\} = \frac{1}{4} \text{ tur}$$

Açısal Yerdeğiştirme (Dq): Dönmenin iki farklı anı arasındaki açısal konumlar arasındaki farktır (Şekil 2.4).

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \qquad [2.3]$$



Şekil 2.4: Açısal yer değişim

Periyot (T): Cismin yörüngesine bir devir yapması için geçen süreye periyot(T), bir saniyedeki dönme sayısına ise frekans (f) denir. Frekans ile periyot arasında

$$T = \frac{1}{f} \qquad [2.4]$$

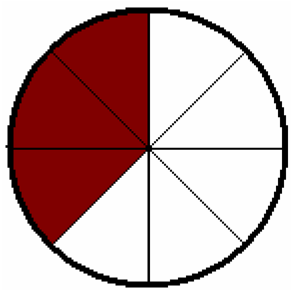
bağıntısı vardır. Periyotun birimi saniye, frekansın ise (1/s) yani Hertz’dir.

Açısal Hız (ω-omega): Plakların dakikada 33 1/3 tur yada disket sürücülerin dakikada 360 tur attığını söylediğimizde bahse konu olan hız, açısal hızdır. Belirtilen zaman diliminde ne kadar döndüğünü söylemiş oluruz.

Şekil 2.5, açısal hızı geometrik olarak göstermketedir. Her bir daire kesmesi 45 derece ya da π/4 radyandır. Daire kesmelerinin katedilme süreleri açısal hızdır. Maddesel noktanın dakikada dönme sayısına n dersek, açısal hız:

$$w \text{ [rad/s]} = \frac{2p\,n}{60} = \frac{p\,n}{30} \qquad [2.5]$$

olur.



Şekil 2.5: Açısal hız

Burada açısal hızın birimi devir/dakika cinsinden verilmiştir. Teknik olarak söylersek açısal yer değiştirmenin zaman aralığına bölümüdür ve birimi rad/s'dir. [rad/s], bir maddesel noktanın 1m yarıçapındaki daire üzerinde 1 saniyede aldığı yol olarak tarif edilir.

$$\omega = \frac{\Delta\theta \quad \text{(açıdaki değişim)}}{\Delta t \left(\text{zamandaki değişim}\right)} \qquad [2.6]$$

Bu oran, hareketin başlangıcı ve sonundaki hızlardan elde edilen ortalama açısal hızdır. Bir de anlık hız vardır. Hareket esnasında herhangi bir anda açısal hızı ölçer. Bu formül:

$$w = \frac{dq}{dt} \qquad [2.7]$$

dir.. Cisim bir tam dönme yaptığında 2π radyanlık açı tarar. O halde 1 saniyede taranan açı

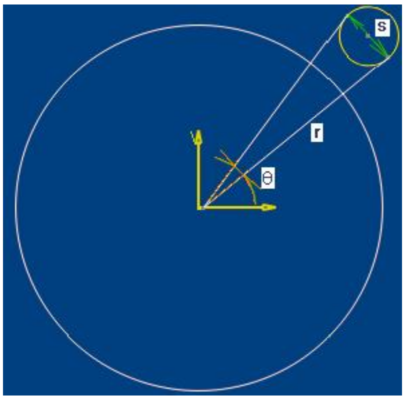
$$w = \frac{2p}{T} = 2p\,f \text{ olur.} \qquad [2.8]$$

ÖRNEK: Ay yüzeyinin dünyadan görülme açısını radyan ve derece cinsinden bulalım. Ayın çapı $3.48x10^6$ m ve dünyadan uzaklığı $3.85x10^8$ m'dir.

Burada s=$3.48x10^6$ m ve r= $3.85x10^8$ m olduğundan

$$\theta = \frac{s}{r} = \frac{3.48x10^6 m}{3.85x10^8 m} = 9.04x10^{-3} rad$$

$$9.04x10^{-3} rad = \left(\frac{360^0}{2\pi\, rad}\right) = 0.52^0$$

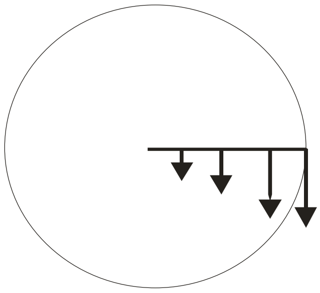


ÖRNEK: Ekseni etrafında dönen dünyanın ortalama açısal hızını bulalım.

Dünya, her gün ekseni etrafında bir tam tur atar. Bu dönmeyi, açısal hızın birimi olan radyana çevirmemiz gerekir.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \left(\frac{1 tur}{1 gün}\right)\left(\frac{2\pi\, rad}{1 tur}\right)\left(\frac{1 gün}{24 saat}\right)\left(\frac{1 saat}{3600 saniye}\right) = 7.27x10^{-5} rad/s$$

Çizgisel (Teğetsel) Hız (v): İpe bağlı bir taşı başımızın üzerinde çevirdiğimizi düşünelim. Taş yörüngede deveran ederken aniden ipi serbest bıraksak, taş yörüngesine teğet olarak fırlayacaktır. Şekilde oklar, ipin uzunluğuna bağlı olarak taşın uçup gideceği yönleri göstermektedir. Çemberin merkezine yaklaştıkça okların küçüldüğüne dikkat ediniz. Bu da teğetsel hızın yarıçapa bağlı olduğunu gösterir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Çizgisel hız

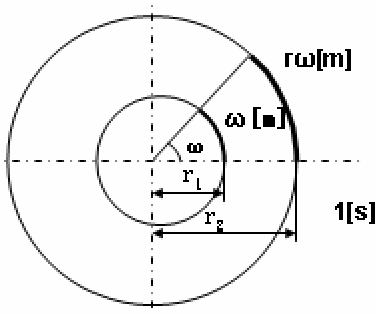
Dairesel hareket yapan bir cisim, r yarıçaplı dairenin çevresini (2πr), bir periyotluk sürede alır. Buna göre çizgisel hız:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r \qquad [2.9]$$

Yine dakikada (2πr) yolunu n defa katederse çizgisel hız;

$$v = 2\pi r n \qquad [2.10]$$

Çizgisel Hız (v) ve Açısal Hız (ω) Arasındaki İlişki: İki noktanın eş merkezli fakat farklı yarıçaplı iki dairesel yörüngedeki dönüşünü anı zamanda tamaladığını (T periyodu eşit) kabul edelim.Dış dairedeki noktanın daha fazla yol katedeceğinden yol farkını önlenmesi için daha hızlı hareket edeceği bir kesinliktir.Öte yandan belirtilen zamanlarda eşit açı süpürdüklerinden açısal hızları eşittir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: w **ve v arasındaki ilişki**

Bu gözlem çizgisel ve açısal hızlar arasındaki ilişkiyi anlamak için önemlidir.

s= θr denkleminin türevini alalım.

$$\frac{ds}{dt} = \frac{dr}{dt}\theta + r\frac{d\theta}{dt}$$

Belirli bir yörünge için r sabit olduğundan $\frac{dr}{dt}$ =0 ‘dır.

$\frac{ds}{dt} = r\frac{dq}{dt}$ = ωr olur.

$\frac{ds}{dt}$ = v ve $\frac{dq}{dt}$ =ω olduğundan denklem

v= ωr [2.11]

olur. Bunu klasik yolla da bulabiliriz.

$$w = \frac{q}{t} = \frac{s/r}{t} = \left(\frac{s}{t}\right)\left(\frac{1}{r}\right)$$

s/t bölümü, teğetsel ya da çizgisel hız ifadesidir.

$$w = v\left(\frac{1}{r}\right)$$

$$v = wr$$

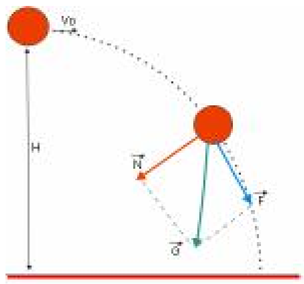
olur.Burada çizgisel ve açısal hızlar birbirinden farklı iki hız değildir.Bir nokta, belirli bir an da tek bir hıza sahiptir. Sadece aynı konumun belirli bir anda farklı bir dilde anlatımıdır.

ÖRNEK: Büyük bir disk 225 rad/s ile dönmektedir. Merkezden 2m uzağındaki teğetsel hızı bulunuz.

$$v = rw = (2m)(225 rad/s) = 450 m/s$$

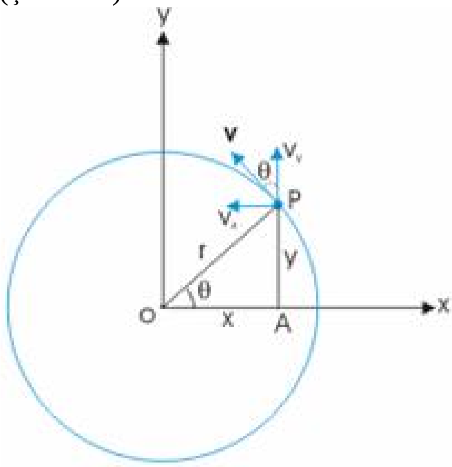
2.2.2. Düzgün Değişen Dairesel Hareket

Merkezcil İvme (a_n): Dairesel harekette hızın yönü, şiddetinde bir azalma olmaksızın daimi olarak değişmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Yatay atış

Yatay atış hareketini göz önüne alalım. Hareket anında cismin G ağırlığının teğetsel ve yörüngeye dik bileşenleri vardır.F teğetsel bileşen cismin hızını arttırırken, N normal bileşen hareketin doğrultusunu değiştirir.N bileşeni, cismi dairesel yörüngede dönmeye zorlar. Cismin hızına hiçbir etkisi yoktur.Buna göre, bir cisme hareket doğrultusuna dik ve sabit büyüklükte tek bir kuvvet etkirse, cismin teğetsel yada çizgisel hızı değişmez. Sadece vektörün doğrultusu değişeceğinden yörüngesi çember olur.Yörüngenin merkezine doğru olan bu kuvvete merkezcil kuvvet denir.Bu merkezcil kuvvet merkeze doğru yönelen bir ivme doğurmaktadır.Yön değişikliğine sebep olan hareket iki boyutludur.Yani iki bileşenlidi r.İki boyutlu koordinat sisteminin orijini çemberin merkezine yerleştirilir.Bu simetriyi sağlam ada kolaylık sağlar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Hızın bileşenleri

P noktasının koordinatları (Şekil 2.10)
$x = r\cos\theta$ ve $y = r\sin\theta$

dir. Bunu konum vektörü $r = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$ cinsinden gösterirsek;

$r = r\cos\theta\mathbf{i} + r\sin\theta\mathbf{j}$
$r = r(\cos\theta\mathbf{i} + \sin\theta\mathbf{j})$ [2.12]

Noktanın hız bileşeni

$v = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j}$ [2.13]

Şekil geometrisinden

$v_x = -v\sin\theta$
$v_y = v\cos\theta$

$v = -v\sin\theta\,\mathbf{i} + v\cos\theta\,\mathbf{j}$ [2.14]

OAP üçgeninden

$$\sin q = \frac{y}{\mathrm{r}}$$

$$\cos q = \frac{x}{\mathrm{r}}$$

Bu ifadeleri [2.14] denkleminde yerine koyalım.

$$v = -\frac{vy}{\mathrm{r}} i + \frac{vx}{\mathrm{r}} j \qquad [2.15]$$

v ve r ifadeleri sabit diğerleri değişken olduğundan yukarıdaki denklemin zamana göre türevini alalım.

$$a = -\frac{v}{r}\left(\frac{dy}{dt} i - \frac{dx}{dt} j\right)$$

$$a = -\frac{v}{r}\left(\mathrm{v_y i\text{-}v_x j}\right)$$

Hız bileşenlerini ([2.14] denklemi) bu denklemde yerine koyarsak

$$a = -\frac{v}{r}\left(v \cos q\, i + v \sin q\, j\right)$$

$$a = -\frac{v^2}{r} \cos q\, i - \frac{v^2}{r} \sin q\, j \qquad [2.16]$$

Burada

$$a_x = -\frac{v^2}{r} \cos q \qquad [2.17]$$

$$a_y = -\frac{v^2}{r} \sin q \qquad [2.18]$$

olur. Genel formda ivme

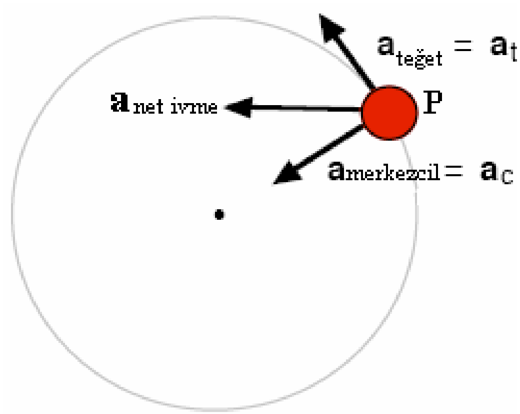
$$a = a_x i + a_y j$$

şeklinde yazılır.Bu denklemden ivmenin, yatayla olan θ açısına bağlı olarak değişmekte olduğu müşahade edilebilir. İvmenin büyüklüğü:

$$a = |a| = \sqrt{\left(a_x^{\,2} + a_y^{\,2}\right)}$$

$$a = |a| = \frac{1}{\mathrm{r}}\sqrt{\left\{v^2\left(\cos^2 q + \sin^2 q\right)\right\}}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\mathrm{r}} = w^2 \mathrm{r} \qquad [2.19]$$



Şekil 2.10: İvmenin bileşenleri

ÖRNEK:Bisikletli bir adam 20 metrelik bir eğri alanı, 20 m/s’lik bir çizgisel hızla aşmaktadır. İvmesinin büyüklüğünü bulunuz.

Bisikletliyi yörüngede tutacak olan merkezcil ivmedir.

$$a_n = \frac{v^2}{\mathrm{r}} = \frac{20^2}{20} = 20 \ \text{m/s}^2 \text{ dir.}$$

Bu, ilgi çekici bir durumu gösterir. Bisikletli adamın ivmesi, yerçekimi ivmesinin iki katıdır. Bu hakikat, dar alanlarlarda uygun v ve r değerlerin seçimi ile büyük ivmelenmenin eldesini sağlar. Parçaçık fiziğinde yada astronotların kalkış anındaki durumunu canlandırmada kullanılır.

ÖRNEK: Ay, Dünya etrafında bir tam dönüşünü 27.3 günde tamamlar. Ayın yörüngesini 3.85x10^8 m yarıçaplı bir daire olarak kabul ederek ayın, dünyaya yönelmiş merkezcil ivmesini bulunuz.

Ayın açısal hızı:

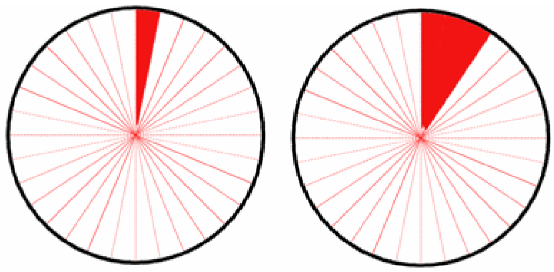
$$w = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \left(\frac{2p\, rad}{27.3 gün}\right)\left(\frac{1 gün}{24 saat}\right)\left(\frac{24 saat}{3600 saniye}\right) = 2.66x10^{-6}\, rad/s$$

Merkezcil ivme:

$$a_n = rw^2 = (3.85x10^8\, m)\left(2.66x10^{-6}\, rad/s\right)^2$$

$$a_n = 2.72x10^{-3}\, m/s^2$$

Açısal İvme (a **- alpha)**: Bir dairenin π/16 radyana yani 11.25 derecelik dilimlere bölündüğünü düşünelim. Sabit bir açısal hız olursa yani hiçbir ivme olmazsa örneğin, saniyede bir dilim katedilir. Açısal hız π/16 rad/sn olur. Eğer π/16 rad/sn^2 lik bir ivmelenmeden söz edilirse, ilk saniyede ilk dilim, ikinci saniyede iki dilim (bu anda toplam üç dilim), arkasından üç dilim katedilir (Şekil 2.10.a).



Şekil 2.10.a: Açısal ivme

$$a = \frac{\Delta w\left(w_2 - w_1\right)}{\Delta t\left(t_2 - t_1\right)} \qquad [2.20]$$

Açısal ivmenin birimi rad/s^2 dir. Bu ivme, açısal hız yada çizgisel hızdaki değişim ile alakalıdır. Açısal hızın sabit olduğu durumda açısal ivme sıfırdır.

Açısal ivmenin herhangi bir andaki değeri için açısal hızın zamana göre türevini almak gerekir.

$$a = \frac{d^2 q}{dt^2} = \frac{dw}{dt} \qquad [2.21]$$

ÖRNEK: Bir plak, 3 saniye içinde 33.3 dev/dak açısal hızdan 78 dev/dak'lık açısal hıza yükseliyor. Ortalama açısal ivmeyi bulalım.

Açısal hızların dev/dak birimini rad/s birimine tahvil edelim.

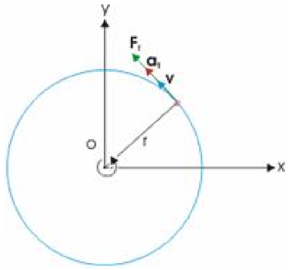
$$w = 33.3\left(\frac{dev}{dak}\right)\left(\frac{2p\,rad}{1devir}\right)\left(\frac{1dak}{60saniye}\right) = 3.49rad/s$$

$$w = 78\left(\frac{dev}{dak}\right)\left(\frac{2p\,rad}{1devir}\right)\left(\frac{1dak}{60saniye}\right) = 8.17rad/s$$

Açısal ivme:

$$a = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{w - w_0}{\Delta t} = \frac{8.17 - 3.49}{3} = 1.56rad/s^2$$

Teğetsel İvme(a_t): Düzgün olmayan dairesel harekette hız değişir. Hızın değişimi, cisme etkiyen teğetsel kuvvetin artışı dolayısıyla teğetsel ivmelenmenin meydana gelmesidir.



Şekil 2.11: Teğetsel ivme

Şekil 2.11'den de görüleceği üzere, hız, ivme ve kuvvet aynı yöndedir.Dönen bir cisim sabit bir ivme ile hareket ediyorsa hem açısal hem de çizgisel hız değişir. Sabit ivmeli açısal hız denkleminden açısal ivmeyi çekelim.

$$a = \frac{w - w_0}{t}$$

v=ωr ifadesinden açısal hızı çekelim ve denklemde yerine yazalım.

$$a = \frac{(v/r - v_0/r)}{t}$$

$$a = \frac{1}{r}\left(\frac{v - v_0}{t}\right)$$

Parantez içindeki ifade teğetsel ivmeyi verir.

$$a = \frac{1}{r}a_t$$

Teğetsel ivme:

$$a_t = a\, r \quad [2.22]$$

Teğetsel ivmeyi açısal ivme cinsinden yazımını türev yoluyla da bulalım.. Teğetsel ivmenin büyüklüğü parça hızının zamana göre değişim hızıdır.

$$a_T = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{d^2(\mathrm{r}q)}{dt^2} = \mathrm{r}\frac{d^2 q}{dt^2}$$

$$a_T = a\,\mathrm{r}$$

Açısal ivme ve teğetsel ivme aynı hareketin değişik temsilleridir. Hareketteki değişimin büyüklüğünü temsil için farklı bir yoldur.Doğrusal ve dairesel hareket arasındaki benzerlikler

r Tablo 2.1'de topluca görülmektedir.

Nicelik	Doğrusal Hareket	Dairesel Hareket
Yerdeğiştirme	x	θ
İlk Hız	v_0	ω_0
Son Hız	v	ω
İvme	a	α
Zaman	t	t

Tablo 2.1: Doğrusal ve dairesel hareket arasındaki ilişki

Dairesel Harekette yukarıda açıklanmayan diğer formüller:

$$w = a\,t \quad [2.23]$$

$$w = w_0 + a\,t \quad [2.24]$$

$$w = w_0 + a\,t \quad [2.25]$$

$$w_{ort} = \frac{(w_0 + w)}{2} \quad [2.26]$$

$$\Delta q = q - q_0 = w_0 t + \frac{1}{2} a\, t^2 \quad [2.27]$$

$$\Delta q = \frac{(w_0 + w)}{2} t \quad [2.28]$$

$$w^2 = w_0^2 + 2a\,(q - q_0) \quad [2.29]$$

ÖRNEK: Bir motorun mili 20 saniye içinde durağan halden 1800 dev/dak'lık devir sayısına erişiyor. Motor milinin açısal ivme ve yerdeğiştirmesini bulunuz.

Çözüm:

$$w = w_0 + a t$$

$$w_0 = 0$$

$$w = 1800\left(\frac{dev}{dak}\right)\left(\frac{2p\,rad}{1devir}\right)\left(\frac{1dak}{60saniye}\right) = 188rad/s$$

$$t = 20s$$

$$a = \frac{188rad/s}{20s} = 9.4rad/s^2$$

$$q = w_0 t + \frac{1}{2}a t^2 = \frac{1}{2}\left(9.4rad/s^2\right)\left(20s\right)^2 = 1880rad$$

ÖRNEK: Bir araba sabit halden 60 km/s hıza, 7 saniyede ulaşmaktadır. Araba lastiğinin çapı 61 cm ise lastiklerin dönme sayısını ve açısal ivmesini bulunuz.

Çözüm:

Önce birim dönüştürmesi yapalım.

$$v = 60\left(\frac{km}{saat}\right)\left(\frac{1saat}{3600saniye}\right)\left(\frac{1000m}{1km}\right) = 16.6m/s$$

Açısal hız:

$$w = \frac{v}{r} = \frac{16.6m/s}{60x10^{-2}m} = 27.66rad/s$$

$$q = \frac{1}{2}\left(w + w_0\right)t$$

$$q = \frac{1}{2}(27.66)(7s)$$

$$q = 96.81rad$$

$$q = 96.81rad\left(\frac{1devir}{2p\,rad}\right) = 15.4devir$$

Açısal ivmeyi bulalım.

$w = w_0 + a\,t$

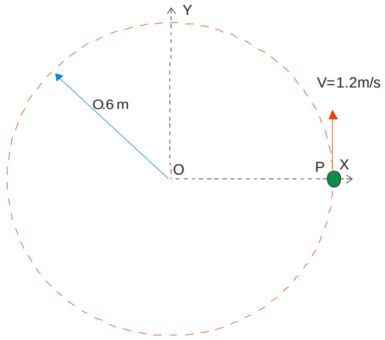
$27.66 = 0 + a\,(7s)$

$a = 3.95 rad / s^2$

ÖRNEK: P maddesel noktası şekilde görüldüğü gibi dairesel yörüngede dönmektedir. Aşağıdaki durumlar için a ivmesinin büyüklüğünü tayin ediniz.

a) V hızı 1.2 m/s ve sabit
b) V hızı 1.2 m/s ve her saniye 2.4 m/s hızlanmakta

Her iki konumda da P noktası şekilde görülen yerdedir.



Çözüm:

a) $a = \sqrt{a_n^{\,2} + a_t^{\,2}}$ ifadesinden ivmenin değeri elde edilecektir. P noktasının teğetsel hızı sabit olduğundan a_t teğetsel ivmesi sıfırdır.Dolayısyla ivmenin değeri merkezcil ivmenin değeri olacaktır. Merkezcil ivmeyi bulalım.

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(2.3)^2}{0.25m} = 21.11 \text{ m/s}^2$$

b) P noktası 2.4 m/s^2'lik teğetsel bir ivme ile hızlanmaktadır.

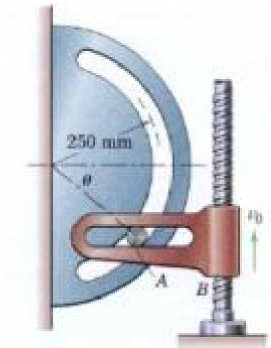
$$a = \sqrt{(2.4)^2 + (2.4)^2}$$

$$a = \sqrt{5.76 + 5.76}$$

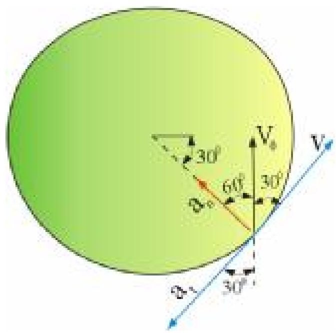
$$a = 3.39 \text{ m/s}^2$$

2.3. Mekanizma Problemleri

ÖRNEK 1: Şekilde görülen mekanizmada A pimi sabit bir dairesel yarıkta, B parçası ile v_0 = 2 m/s'lik bir teğetsel hızla hareket ettirilmektedir. B parçasının hareketi bir yardımıyla elde edilmektedir. A piminin θ= 30^0'lik konumu geçerken normal ve teğetsel ivme bileşenlerini bulunuz.



ÇÖZÜM: A pimi, B parçasının v_0 dikey hızına rağmen, dairesel yarıktan dolayı teğetsel hız kazanır. Öncelikler bu teğetsel hızı bulmak gerekir.



$$cosq = \frac{v_0}{v}$$

$$v = \frac{2}{\cos 30^0} = \frac{2}{0.866} = 2.3\,\text{m/s}$$

Merkezcil ivme :

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(2.3)^2}{0.25m} = 21.11\,\text{m/s}^2$$

A pimi vida yardımıyla sabit olarak yukarı doğru itiklendiğinden düşey ivme sıfırdır. Bundan yararlanarak normal ivmenin ve teğetsel ivmenin düşey bileşenlerinin birbirine eşit olduğu sonucunu çıkarırız.

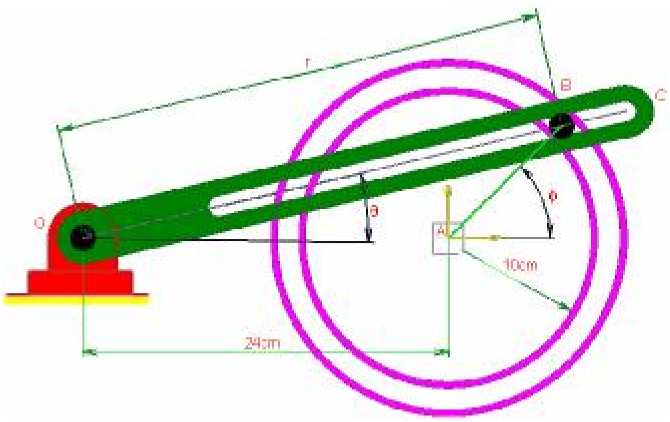
$\dot{v}_0 = a_0 = 0$

$a_t \cos 30 = a_n \cos 60$

$a_t .0,866 = a_n .0,5$

$a_t = 12,217$ m/s^2 bulunur.

ÖRNEK 2: Ortası yarık olan A merkezli daire ekseni etrafında dönerken B pimi OC çubuğu içinde kaymaktadır. B pimi, yarık içinde daat ibrelerinin tersi yönünde sabit v_0 hızı ile kayarsa a) $\phi=0^0$, b)$\phi=90^0$ için OC çubuğunun dq/dt dönme hızını ve B piminin hızının vr bileşenini bulunuz.

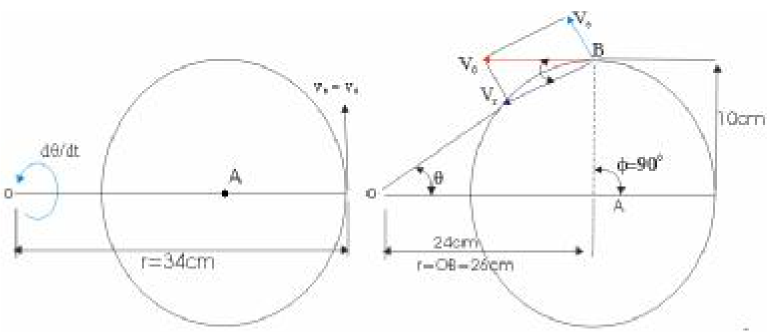


a) $\phi=0^0$ için konum Şekilde görüldüğü gibi çizilir.

$$v_0 = r\frac{dq}{dt} = rw$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{v_0}{r} = \frac{v_0}{34}$$

b)$\phi=90^0$ için konum çizilir. Burada çizgisel hız iki bilşene ayrılabilir.

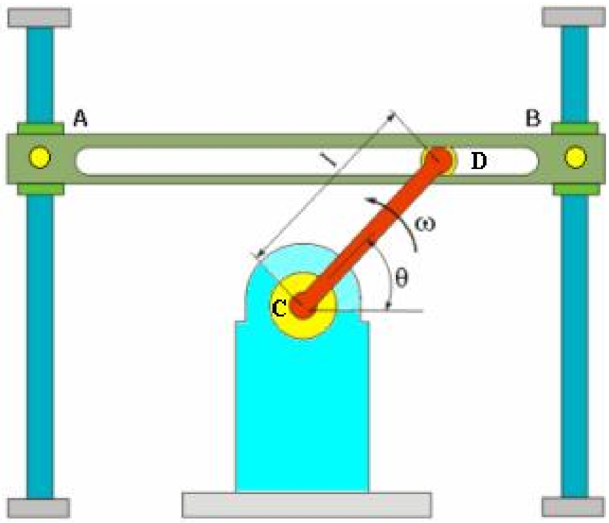


$$v_q = r\frac{dq}{dt} = v_0 \sin q$$

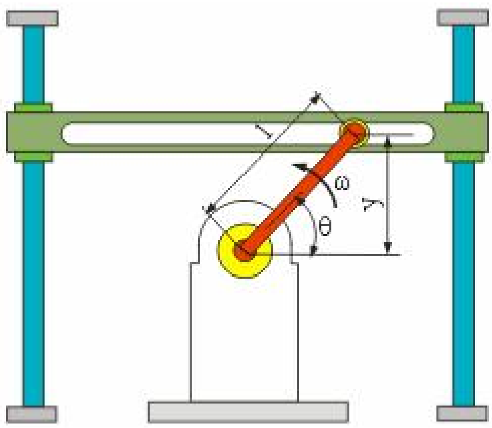
$$26\frac{dq}{dt} = v_0\left(\frac{10}{26}\right)$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{5}{338}v_0$$

ÖRNEK 3: CD çubuğu aynı ω açısal hızı ile C merkezi etrafında dönmektedir. Dikey hareket etmeye zoelanmış AB kızağının hızını ve ivmesini bulunuz.



ÇÖZÜM: AB çubuğunun sütunlar üzerinde kayma miktarı y olsun.



$y = l\sin\theta$

y miktarının zamana göre türevi CD çubuğunun kayma hızını verir.

$$\dot{y} = v_y = v_{AB} = l\cos\theta\,\dot{\theta}$$

Açısal yerdeğiştirmenin türevi açısal hızı verdiğinden $\dot{\theta} = \omega$ olur.

$v_{AB} = \omega l\cos\theta$

v_y hızının türevi ise ivmeyi verir.

$$\ddot{y} = a_y = a_{AB} = l(\cos\theta\,\ddot{\theta} - \sin\theta\,\dot{\theta}^2)$$

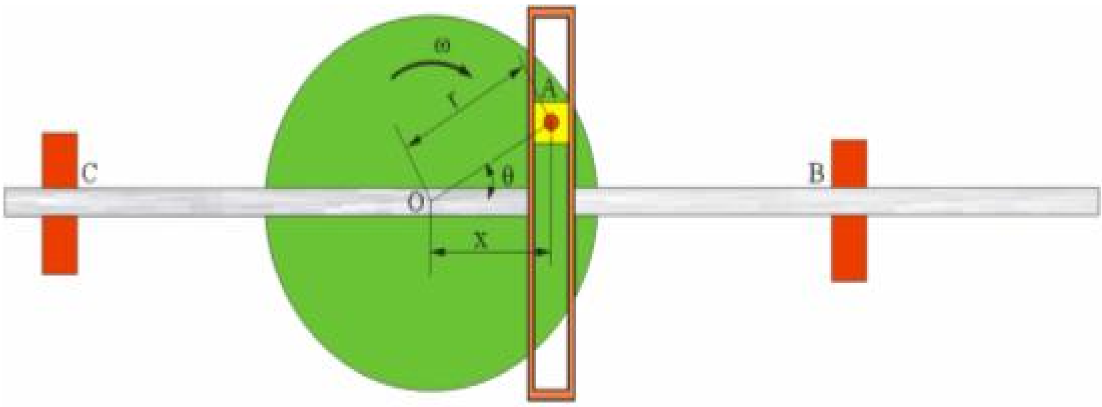
Burada $\ddot{\theta}$ ifadesi açısal ivmeyi verir. $\ddot{\theta} = \dfrac{d^2\theta}{dt^2} = \alpha$

Açısal hız sabit olduğundan açısal ivmenin değeri sıfırdır. Bunu formülde yerine koyalım.

$a_{AB} = l(\cos\theta\,(0) - \sin\theta\,(\omega)^2)$

$a_{AB} = -\omega^2 l\sin\theta$ elde edilir.

ÖRNEK 4: Şekilde görülen İskoç mekanizmasında OA çubuğunun sabit ω açısal hareketi OC ve OB çubuğunun ötelenme hareketine dönüşmektedir. Verilen bir θ açısı için çubukların hız ve ivme ifadesini çıkarınız.



ÇÖZÜM:

$x = r\cos\theta$

$\dfrac{dx}{dt} = \dot{x} = v_{BC} = -r\sin\theta\dot{\theta}$

$\dot{\theta} \to \omega$ olduğundan

$v_{BC} = -\omega r\sin\theta$ elde edilir.

İvmeyi bulalım.

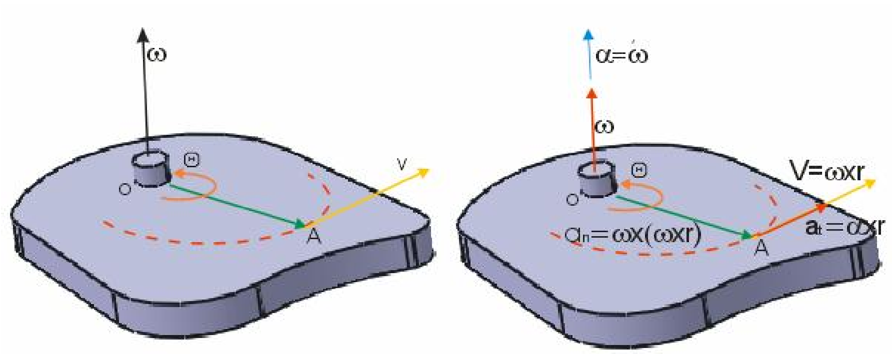
$\dfrac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} = a_{BC} = -r(\sin\theta\ddot{\theta} + \cos\theta\dot{\theta}^2)$

$\dot{\theta} \to \omega$ ve $\ddot{\theta} \to \alpha$ ’dir. Açısal hız sabit olduğundan $\alpha = 0$ ’dır.

$a_{BC} = -r(\sin\theta(0) + \cos\theta(\omega)^2) = -\omega^2 r\cos\theta$ bulunur.

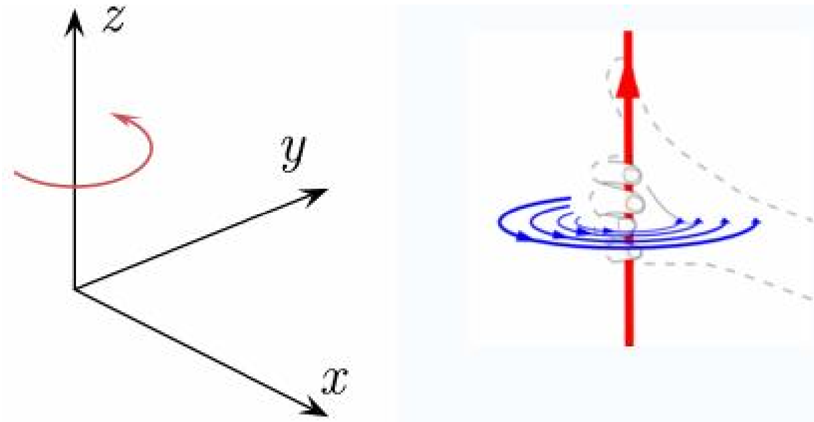
2.4. Hareketin Vektörel İfadesi

Dönme hareketine ait açısal nitelikler (yerdeğiştirme, hız ve ivme), doğrusal harekette ki karşılıkları gibi vektörlerle de gösterilir.Bu bakımdan vektörlerin toplama ve çarpma kurallarına tabidir. Vektör yazımı özellikle hareketin üç boyutlu analizinde kullanılır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Hareket bileşenlerinin vektörel gösterimi

Dönen cismin (ω) açısal hızı, dönme düzlemine dik bir vektörle gösterilebilir ve Şekil 2.13’te görüldüğü gibi yönü, “sağ el kuralı” uygulanarak bulunur. Sağ başparmak dönme eksenini gösterirken parmakların yönü açısal hızın yönünü göstermektedir. Saat yönünün tersi, pozitif yön olarak kaul edilir.



Şekil 2.13: Sağ el kuralı

v ve r vektörleri “xz” düzleminde iken ω vektörü, y ekseni üzerindedir.Vektörün çarpım tanımından yararlanarak **v** çizgisel hız vektörü, ω ve r vektörlerinin çarpımından bulunur. Bu çarpım v’nin büyüklük ve yön bilgisini verir.

$$v = \dot{r} = w x r \qquad [2.29]$$

Vektör çarpımında elemanların sırası önemlidir.Sırada bir değişme(örneğin r x ω) dönme yö nünü tersine çevirir.İvme, v vektörel çarpımını diferansiyeli alınrak bulunur.

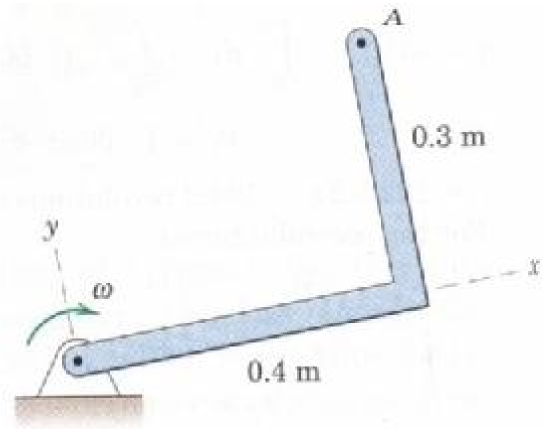
$$a = \dot{v} = w x \dot{r} + \dot{w} x r$$
$$a = w x (w x r) + \dot{w} x r$$
$$a = w x v + a\, x r \qquad [2.30]$$

Açısal hızın türevi açısal ivmeyi verdiğinden $\dot{w} = a$ kullanılmıştır. İvmeyi teğetsel ve normal bileşenine ayıralım.

$$a = a_n i + a_t j$$
$$a_n = w x (w x r) = w x v$$
$$a_t = a\, x r \qquad [2.31]$$

Görüldüğü gibi skaler ifadelerle aynıdır.

ÖRNEK 5: Bir çubuk saat yönünde açısal hızı, 4 rad/s^2 oranında azalarak dönmektedi r. A noktasının açısal hızı ω=2 rad/s olduğuna göre çizgisel hız için vektör ifadelerini çıkarınız.



ÇÖZÜM:

Sağ el kuralını uygulayarak (Çubuk saat yönünde dönmektedir.)
$\omega = -2\mathbf{k}$ rad/s ve $\alpha = +4\mathbf{k}$ rad/s^2 bulunur. Açısal ivmenin yönü pozitiftir. Çünkü çubuk durmaya yeltendiğine göre ivme dönme yönünün tersine yani saat yönünün tersine etkimektedir.

A noktasının hız ve ivme bileşenleri:

$[v = w x r]$ $\quad$ v = -2**k** x (0.4**i** + 0.3**j**) = (0.6**i** – 0.8**j**) m/s

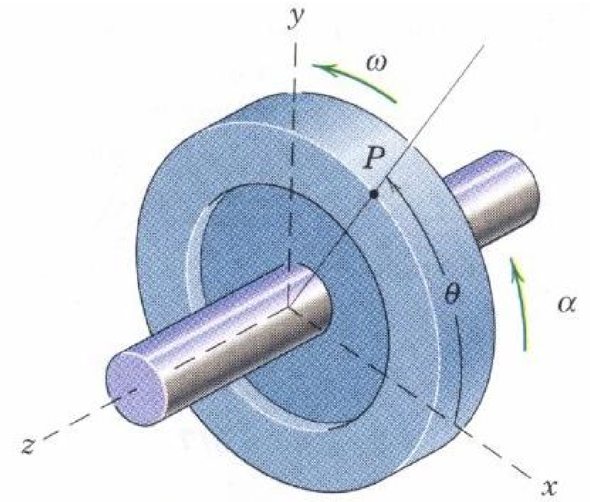
$[a_n = w x (w x r)]$ $\quad$ a_n= -2**k** x (0.6**i** – 0.8**j**) = (-1.6**i** -1.2**j)** m/s^2

$[a_t = a\, x r]$ $\quad$ a_t = 4**k** x (0.4**i** + 0.3**j**) = (-1.2**i** +1.6**j)** m/s^2

Toplam ivme:
$[a = a_n i + a_t j]$ $\quad$ a = (-2.8**i** +0.4**j)** m/s^2

Teğetsel hızın büyüklüğü:
$$v = \sqrt{(0.6)^2 + (0.8)^2} = 1.0 \text{ m/s}$$
İvmenin büyüklüğü:
$$a = \sqrt{(2.8)^2 + (0.4)^2} = 2.83 \text{ m/s}^2$$

ÖRNEK 6: 600 mm çaplı bir volan, z ekseni etrafında hızlanarak dönmektedir.P noktası y eksenini geçtiği anda ($\theta = 90^0$), ivmesi a = (-1.8**i** - 4.8**j)** m/s^2 değeri ile verilmektedir. Bu esnada volanın açısal hızını ve açısal ivmesini bulunuz.



ÇÖZÜM:

$\left[a = a_n i + a_t j\right]$ olduğundan a = (-1.8i - 4.8j) m/s^2 değerinden

a_n =-1.8 m/s^2 ve a_t =- 4.8 m/s^2 bulunur.

$$a_t = a\,r = 1.8$$

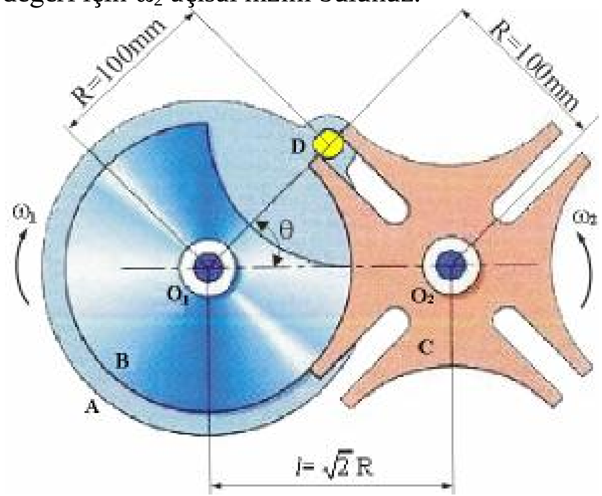
$$a = \frac{1.8}{0.3} = 6 \text{ rad/s}^2 \text{ bulunur.}$$

$$a_n = w^2\, r = 4.8 \text{ m/s}^2$$

$$w = \sqrt{4.8/0.3} = 4 \text{ rad/s bulunur.}$$

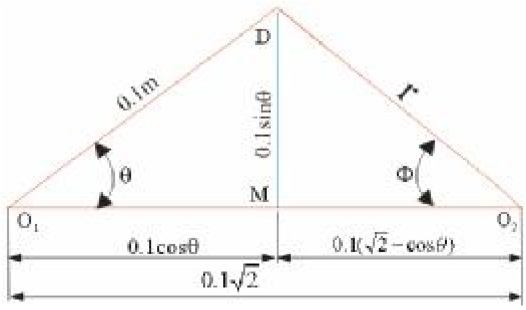
ÖRNEK 7: Şekilde görülen Geneva mekanizmasında A diski üzerindeki D pimi, üzerine yarık açılmış C diski üzerindeki yarıklara girerek kesikli hareket üretmektedir. Pimin her yarığa girmesi ve çıkması anında C diskine ait açısal hızın sıfır olması istenir. Dört yarıklı bir diskte eksenler arası mesafe $l = \sqrt{2}$ R olursa bu ifade sağlanır.

ω_1=3 rad/s ‘lik açısal hızla dönmektedir. D piminin C diski ile temasta olduğu anda θ açısının herhangi bir değeri için ω_2 açısal hızını bulunuz.



ÇÖZÜM:

Öncelikle O_1, O_2, D noktalarından geçen üçgeni çizelim. O_1D ve O_1O_2 uzunlukları mekanizmanın hareketi boyunca sabit kalmakta; O_2D ise değişmektedir. Verilen değerlere göre üçgenin kenarlarına ait ölçüler yazılır.



$O_1D\,O_2$ üçgeninde;

$$\tan\phi = \frac{0.1\sin\theta}{0.1(\sqrt{2}-\cos\theta)} = \frac{\sin\theta}{(\sqrt{2}-\cos\theta)}$$

Her iki tarafın zamana göre türevini alalım.

$$\sec^2\phi\,\dot{\phi} = \frac{(\sqrt{2}-\cos\theta)(\cos\theta\,\dot{\theta}) - (\sin\theta\,(\sin\theta\,\dot{\theta}))}{(\sqrt{2}-\cos\theta)^2}$$

$$\sec^2\phi\,\dot{\phi} = \frac{(\sqrt{2}\cos\theta\dot{\theta} - \cos^2\theta\dot{\theta}) - (\sin^2\theta\dot{\theta})}{(\sqrt{2}-\cos\theta)^2}$$

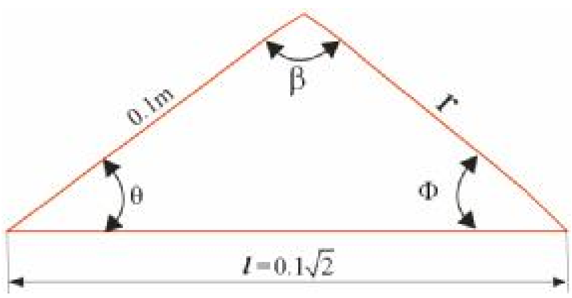
$$\sec^2\phi\,\dot{\phi} = \frac{(\sqrt{2}\cos\theta\dot{\theta}) - \dot{\theta}(\cos^2\theta + \sin^2\theta)}{(\sqrt{2}-\cos\theta)^2}$$

$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$ olduğunu biliyoruz. Tekrar $\dot{\theta}$ parantezine alırsak;

$$\sec^2\phi\,\dot{\phi} = \frac{(\sqrt{2}\cos\theta - 1)}{(\sqrt{2}-\cos\theta)^2}\dot{\theta} \qquad [1]$$

Mekanizma döndükçe ϕ açısı sürekli değişmektedir. Denklemi çözebilmek için bu açının θ cinsinden yazılması gerekmektedir. Yine $O_1D\ O_2$ üçgeninden;

$$\sec\phi = \frac{Hipoten\ddot{u}s}{Kom\c{s}uDikKenar}$$



$$\sec\phi = \frac{\mathrm{r}}{\left[0.1\left(\sqrt{2}-\cos\theta\right)\right]}$$

[1] denkleminde $\sec^2\phi$ var. Dolasıyısyla her iki tarafın karesini alalım.

$$\sec^2\phi = \frac{\mathrm{r}^2}{\left[0.1\left(\sqrt{2}-\cos\theta\right)\right]^2} \qquad [2]$$

r^2 ifadesini üçgenden yararlanarak yazalım.

$$\rho^2 = (0.1\sin\theta)^2 + \left[0.1\left(\sqrt{2} - \cos\theta\right)\right]^2$$

$$\rho^2 = 0.01\sin^2\theta + 2x0.01 - 0.1x0.1\sqrt{2}\cos\theta + 0.01\cos^2\theta$$

$$\rho^2 = 0.01(\underbrace{\sin^2\theta + \cos^2\theta}_{1}) + 0.02 - 0.02\sqrt{2}\cos\theta$$

$$\rho^2 = 0.01 + 0.02 - 0.02\sqrt{2}\cos\theta$$

$$\rho^2 = 0.03 - 0.02\sqrt{2}\cos\theta = 0.01(3 - 2\sqrt{2}\cos\theta) \qquad [3]$$

[3] denklemini [2] denkleminde yerine koyalım.

$$\sec^2\varphi = \frac{0.01(3 - 2\sqrt{2}\cos\theta)}{\left[0.1\left(\sqrt{2} - \cos\theta\right)\right]^2} = \frac{(3 - 2\sqrt{2}\cos\theta)}{(\sqrt{2} - \cos\theta)^2} \qquad [4]$$

[4] denklemini [1] denkleminde yerine koyalım.

$$\frac{(3 - 2\sqrt{2}\cos\theta)}{(\sqrt{2} - \cos\theta)^2}\dot{\varphi} = \frac{(\sqrt{2}\cos\theta - 1)}{(\sqrt{2} - \cos\theta)^2}\dot{\theta}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{\sqrt{2}\cos\theta - 1}{3 - 2\sqrt{2}\cos\theta}\dot{\theta}$$

$\dot{\varphi} = \omega_2$ ve $\dot{\theta} = \omega_1 = 3$ rad/s olduğundan

$$\omega_2 = \frac{\sqrt{2}\cos\theta - 1}{3 - 2\sqrt{2}\cos\theta}\omega_1$$

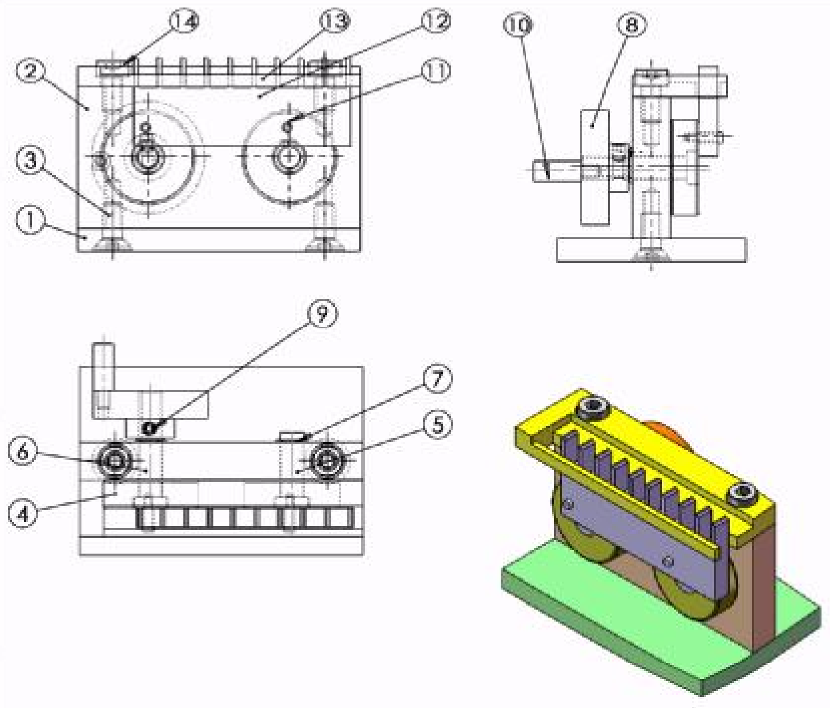
$\omega_2 = 3\dfrac{\sqrt{2}\cos\theta - 1}{3 - 2\sqrt{2}\cos\theta}$ bulunur. Örneğin $\theta = 20^0$ için ω_2 değerini bulalım.

$$\omega_2 = 3\frac{\sqrt{2}\cos 20 - 1}{3 - 2\sqrt{2}\cos 20}$$

$w_2 = 3\frac{0.3289}{0.3421} = \frac{0.9867}{0.3421} = 2.88$ rad/s bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda komple ve detay resimleri verilen dikiş mekanziması mekanizmasını imal ediniz. Öğrencilerin zümre halinde çalışmaları önerilir.

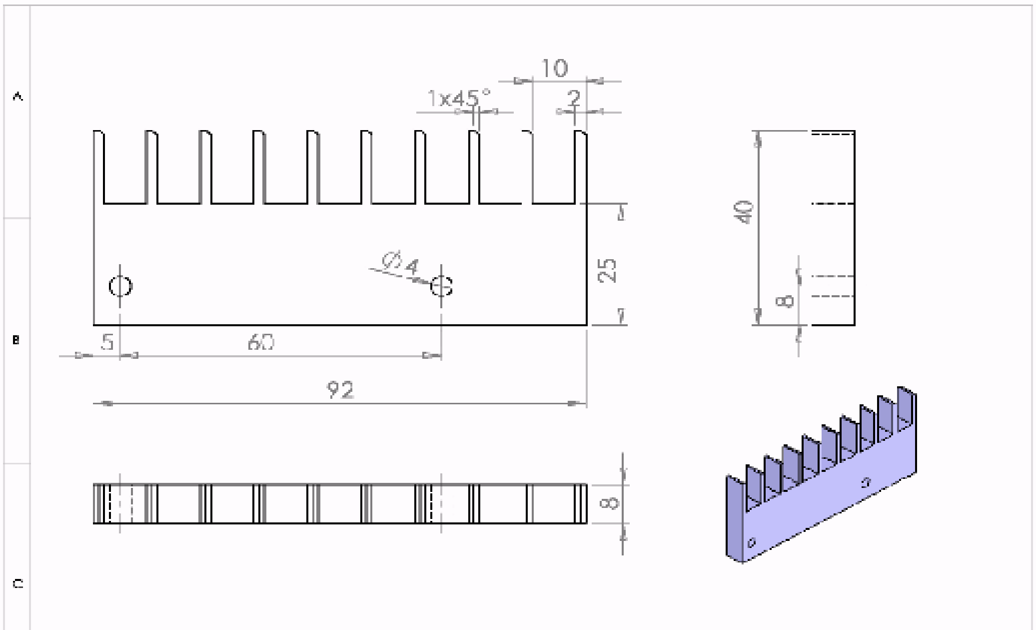


Sayı	Parça Adı	Resim No Standart No	Parça No	Gereç	Açıklamalar
18	Toplam Parça Sayısı				
2	İmbus Civata M8x16	ISO 4762	14	Hazır	
1	Ust Dayama	DMM-1_13	13	Ç1020	
1	Tarak	DMM-1_12	12	Ç1020	
1	Mil	DMM-1_11	11	Ç1020	
1	Saplama	DMM-1_10	10	Ç1020	
1	Set Uskur M5x8	ISO 4029	9	Hazır	
1	Çevirme Kasnağı	DMM-1_8	8	Ç1020	
2	Emniyet Segmanı 10x1	DMM-1_7	7	Ç1020	
2	Perno 10 h11x 42	DMM-1_6	6	Ç1020	
1	Perno 10 h11x 27	DMM-1_5	5	Ç1020	
2	Kasnak	DMM-1_4	4	Ç1020	
2	Havşa Başlı İmbus Civata M8x20	ISO 10642	3	Hazır	
1	Kaide	DMM-1_2	2	Ç1020	
1	Taban	DMM-1_1	1	Ç1020	

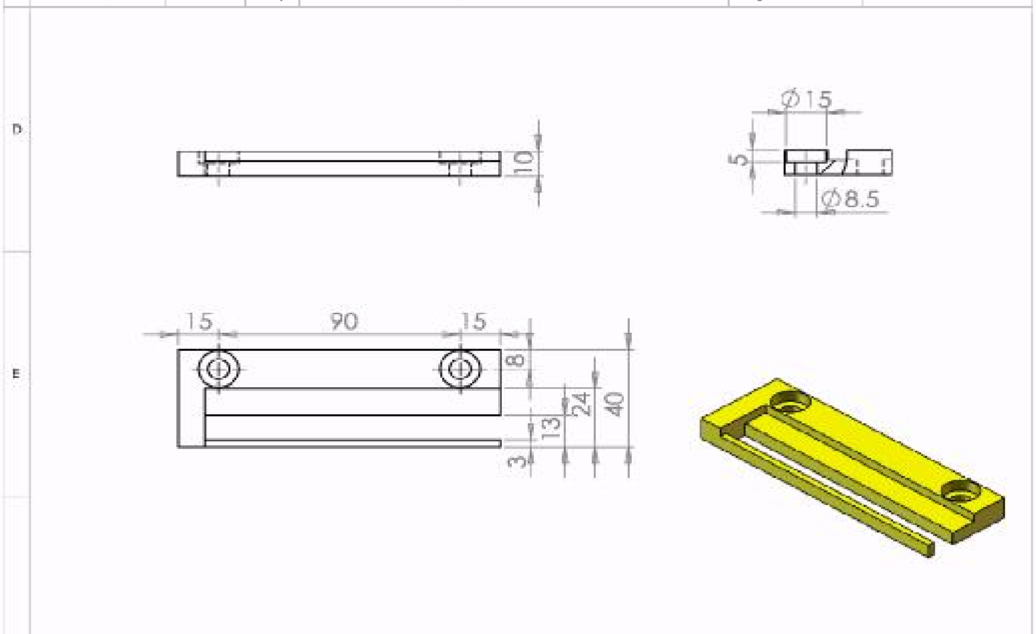
	Tarih	Adı	İmza	Sayı
Çizen				
Kontrol		Murat ÖZDEVECİ		
Stan.Kont.				

MAZHAR ZORLU ANADOLU TEKNİK ve PLASTİK ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ

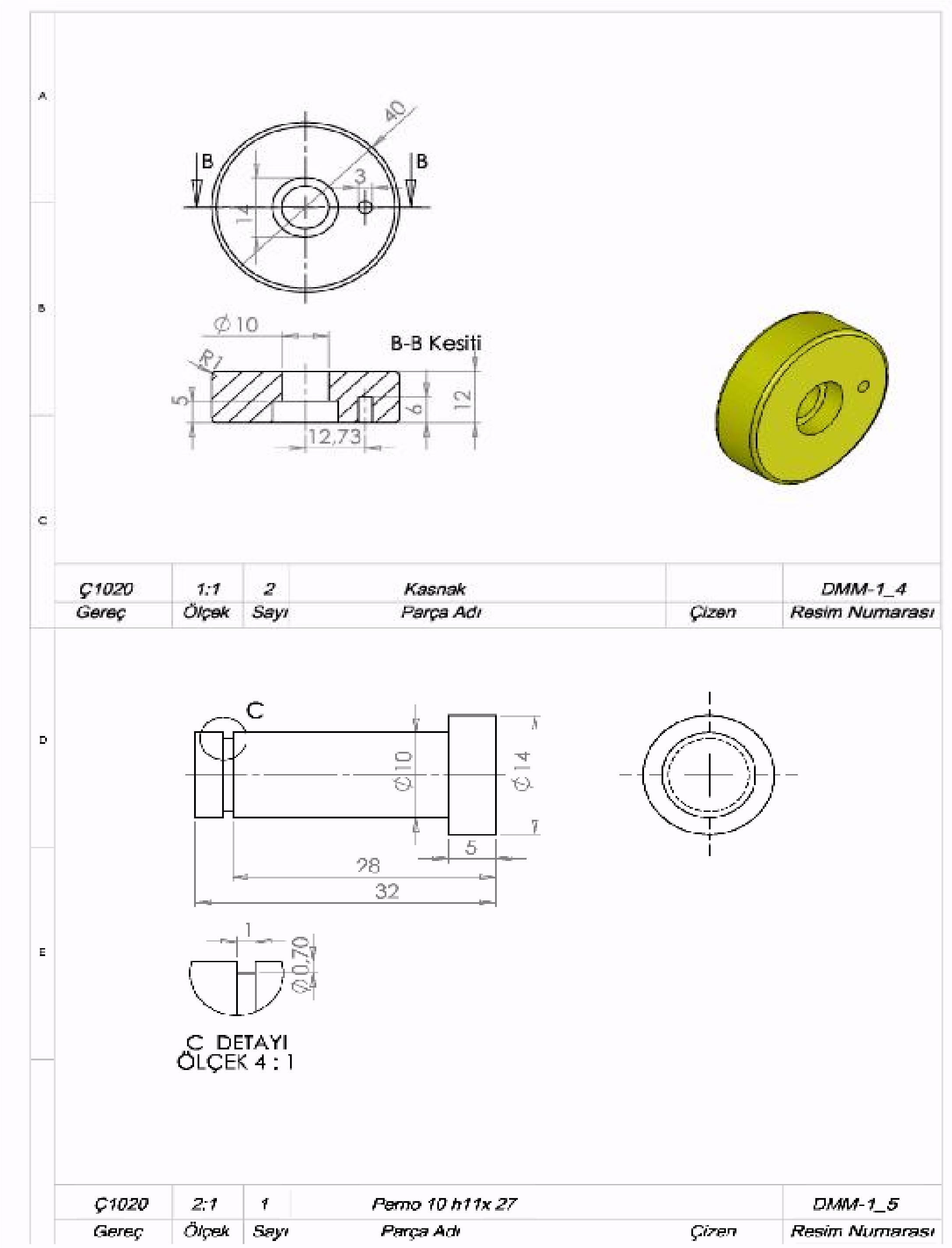
Ölçek		Resim Numarası
1:2	DİKİŞ MAKİNASI MEKANİZMASI	DMM - 1

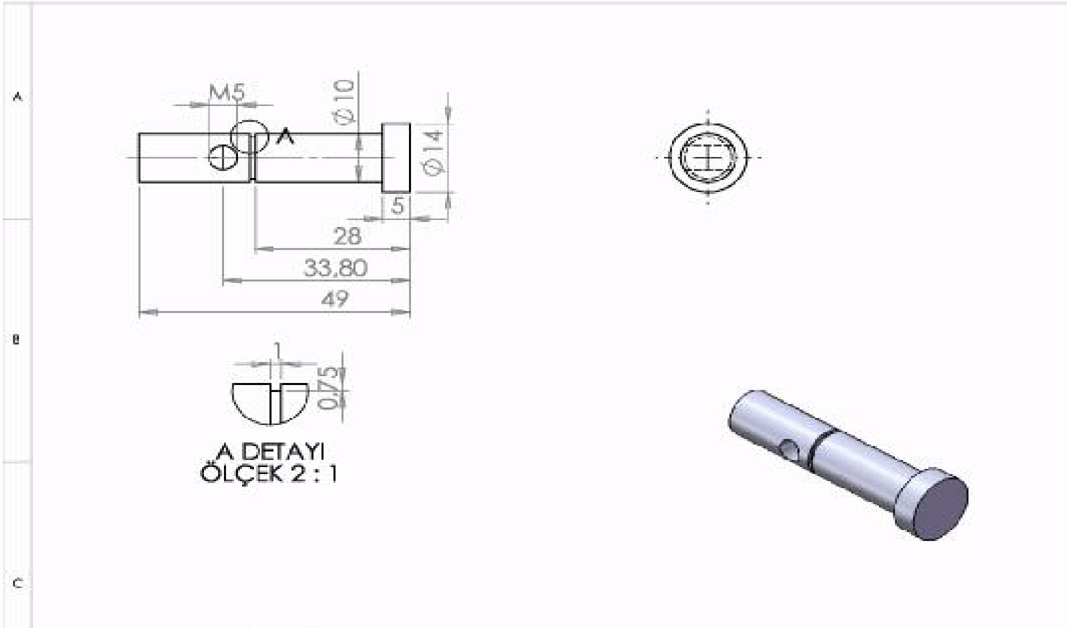


Ç1020	1:1	1	Tarak		DMM-1_12
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

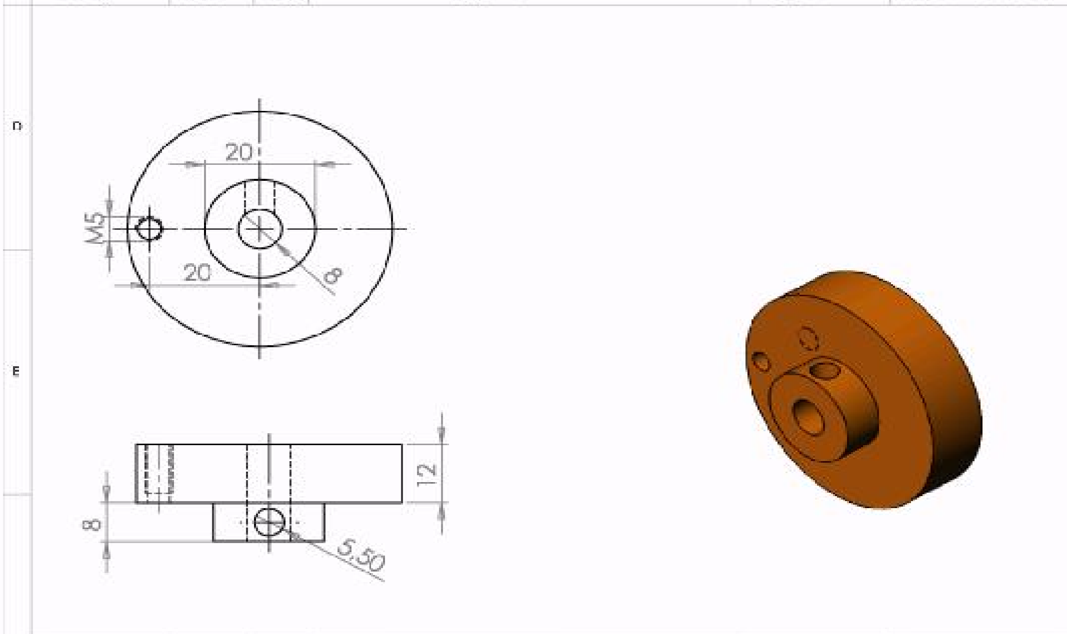


Ç1020	1:1	1	Ust Dayama		DMM-1_13
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

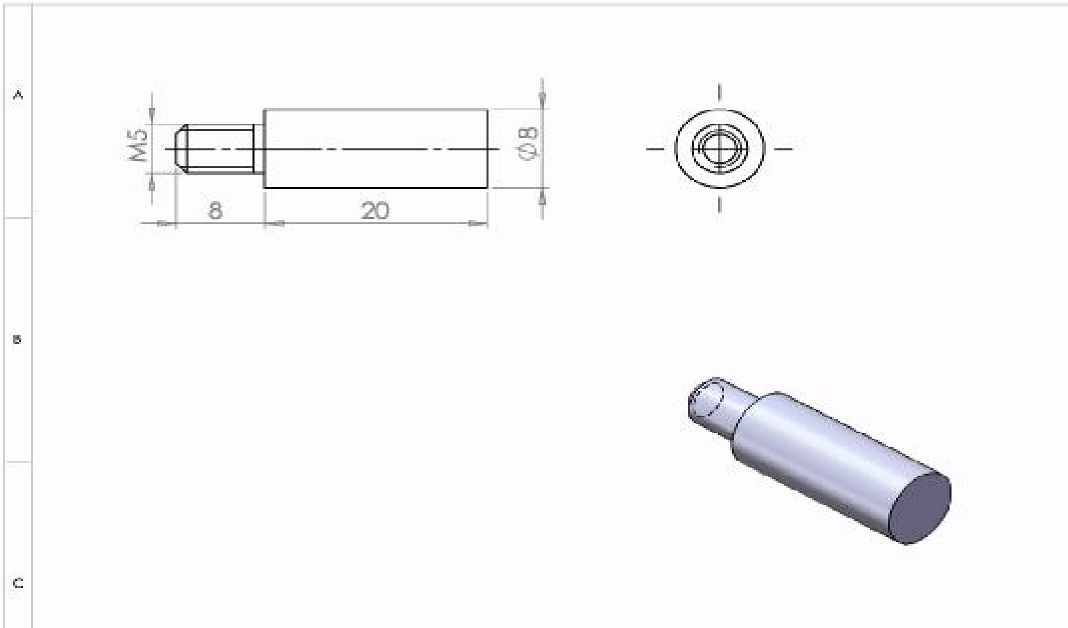

A
B
C
D
E
B
B
40
3
14
⌀10
R1
B-B Kesiti
5
6
12
12,73
Ç1020
1:1
2
Kasnak
DMM-1_4
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası
C
⌀10
⌀14
5
28
32
1
⌀0,70
C DETAYI
ÖLÇEK 4 : 1
Ç1020
2:1
1
Pemo 10 h11x 27
DMM-1_5
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası



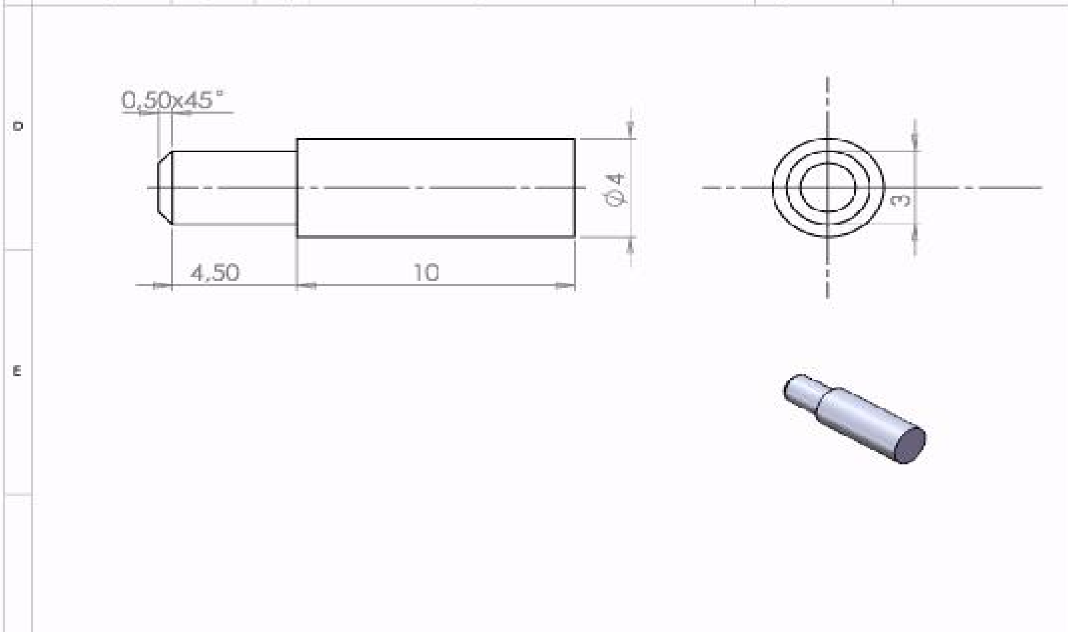
Ç1020	1:1	1	Perno 10 h11x 42		DMM-1_6
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



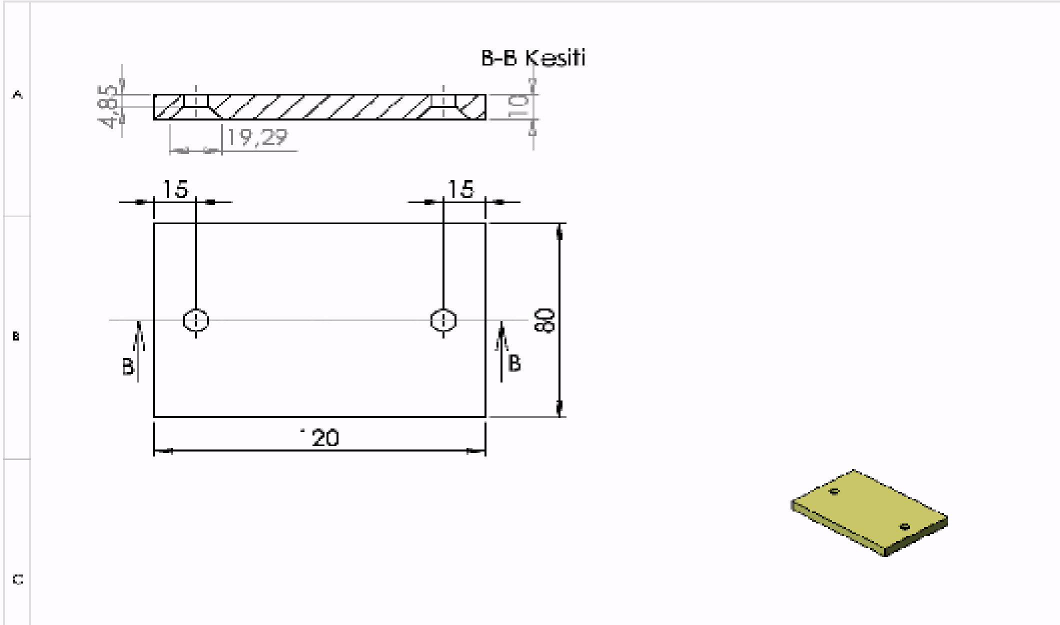
Ç1020	1:1	1	Çevirme Kasnağı		DMM-1_8
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



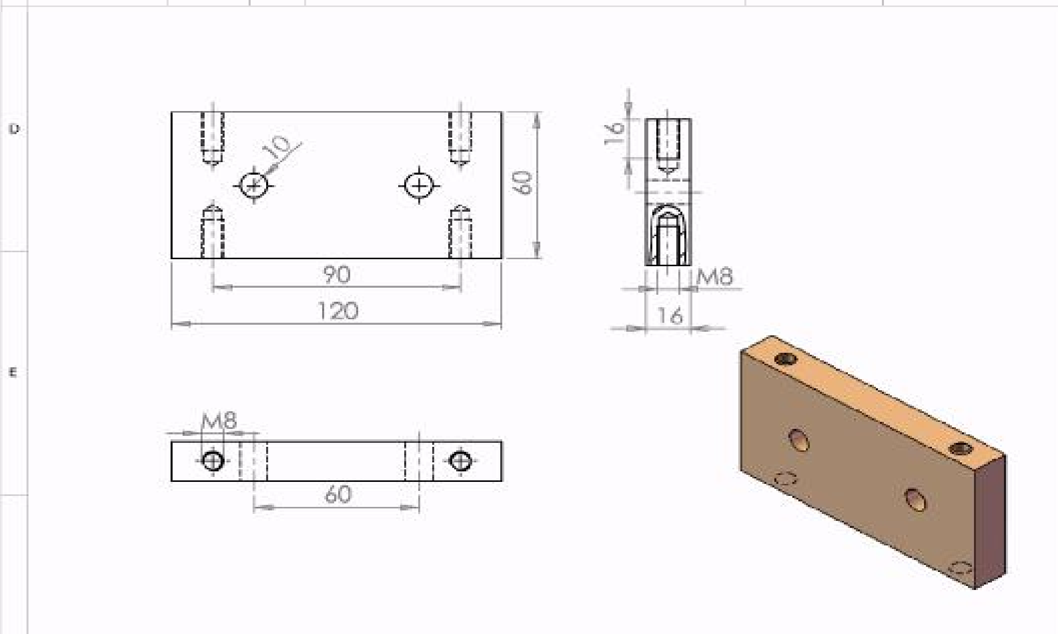
Ç1020	2:1	1	Saplama		DMM-1_10
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



Ç1020	5:1	1	Mil		DMM-1_11
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

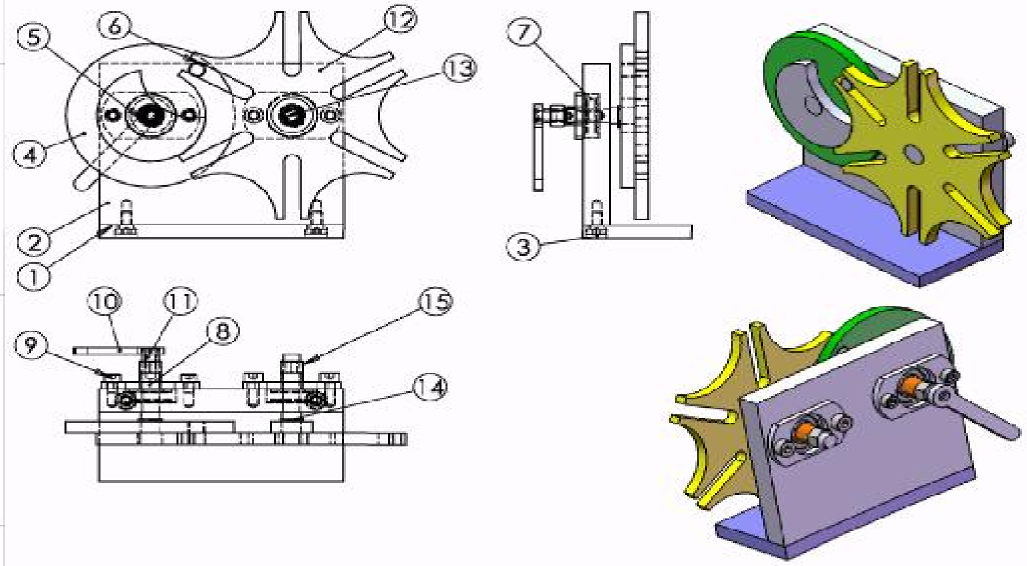


DD26	1:2	1	Taban		DMM-1_1
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



DD26	1:2	1	Kaide		DMM-1_2
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

Aşağıda komple ve detay resimleri verilen dikiş mekanziması mekanizmasını imal ediniz. Öğrencilerin zümre halinde çalışmaları önerilir.

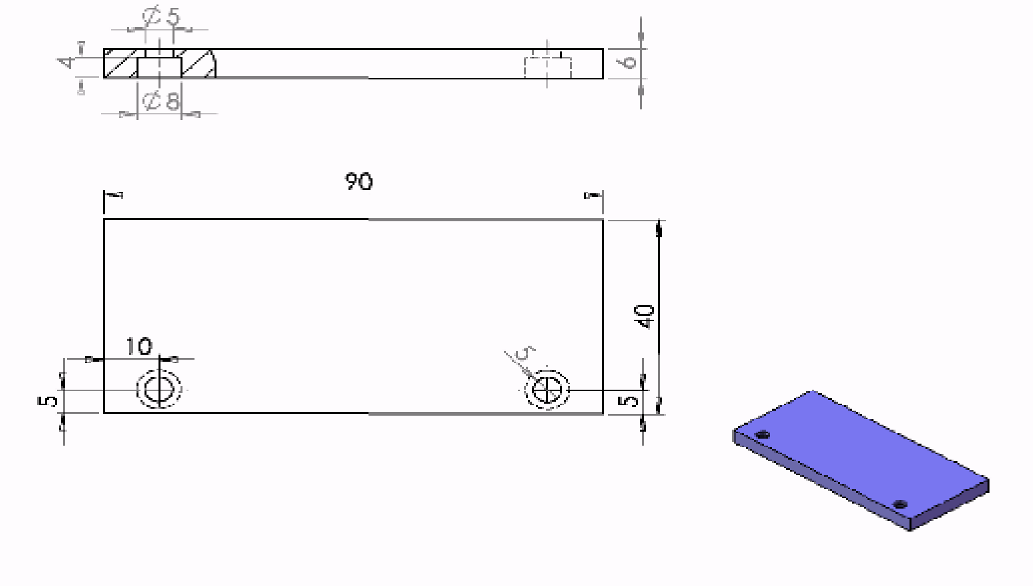


Sayı	Parça Adı	Resim No Standart No	Parça No	Gereç	Açıklamalar
22	Toplam Parça Sayısı				
2	Altıköşe Somun M5	TS1026/2	15	Hazır	
2	Emniyet Segmanı 10x1	CM-1_14	14	Ç1020	
1	Perno 10 h11x 27	CM-1_13	13	Ç1020	
1	Cenova Diski	CM-1_12	12	Ç1020	
1	Havşa Başlı civata M4x8	ISO 1027	11	Hazır	
1	Çevirme Kolu	CM-1_10	10	Ç1020	
4	İmbus Civata M4x10	ISO 4762	9	Hazır	
1	Tutucu Kapak	CM-1_8	8	Ç1020	
2	Sabit Bilyalı Yatak 626-8	Hazır	7	Hazır	
1	Pim	CM-1_6	6	Ç1020	
1	Perno 10 h11x 27	DMM-1_5	5	Ç1020	
1	Disk	DMM-1_4	4	Ç1020	
2	İmbus Civata M4x8	ISO 4762	3	Hazır	
1	Tutucu	CM-1_2	2	Ç1020	
1	Taban	CM-1_1	1	Ç1020	

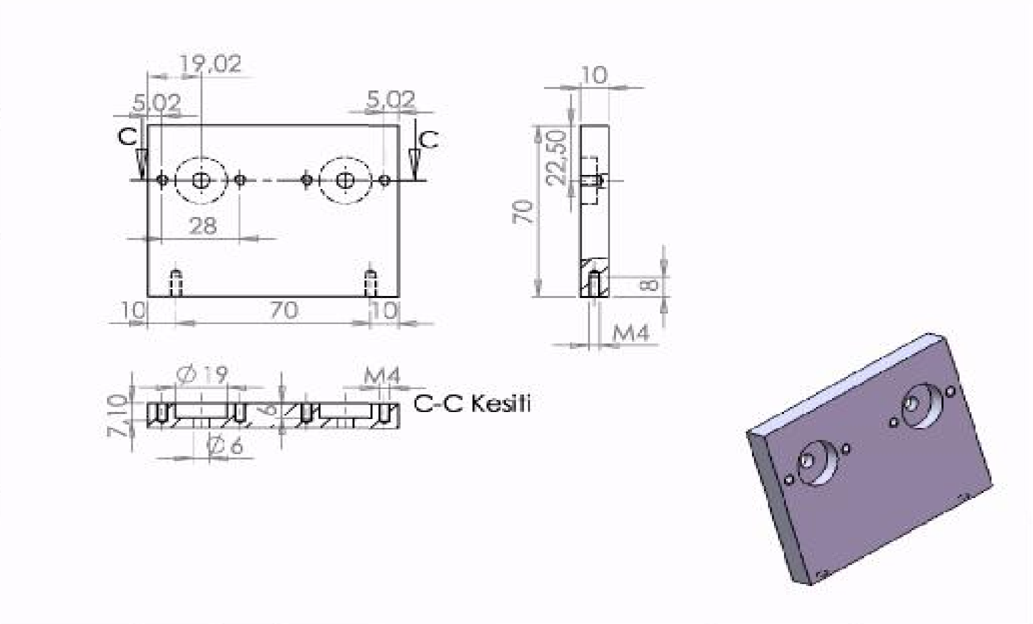
	Tarih	Adı	İmza	Sayı
Çizen				
Kontrol		Murat ÖZDEVECİ		
Stan.Kont.				

MAZHAR ZORLU ANADOLU TEKNİK ve PLASTİK ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ

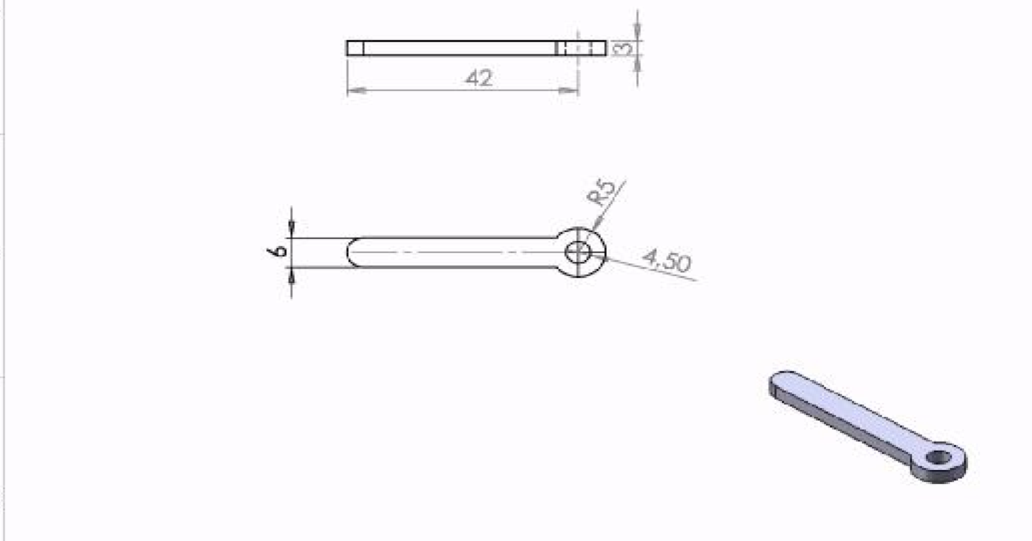
Ölçek		Resim Numarası
1:2	CENOVA MEKANİZMASI	CM - 1



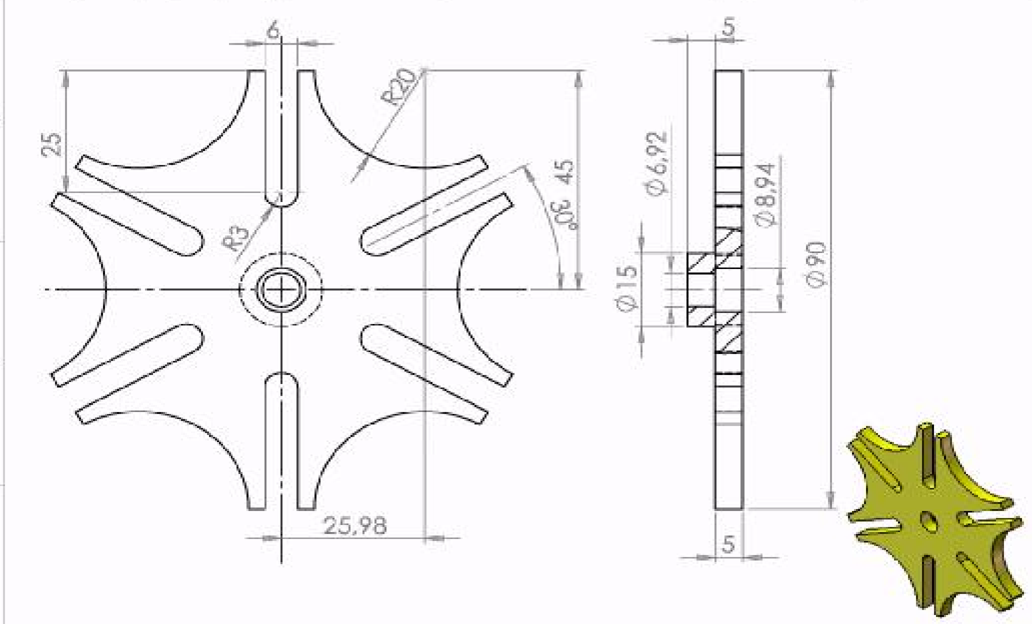
Ç1020	*1:1*	*1*	*Taban*		*CM-1_1*
Gereç	*Ölçek*	*Sayı*	*Parça Adı*	*Çizen*	*Resim Numarası*



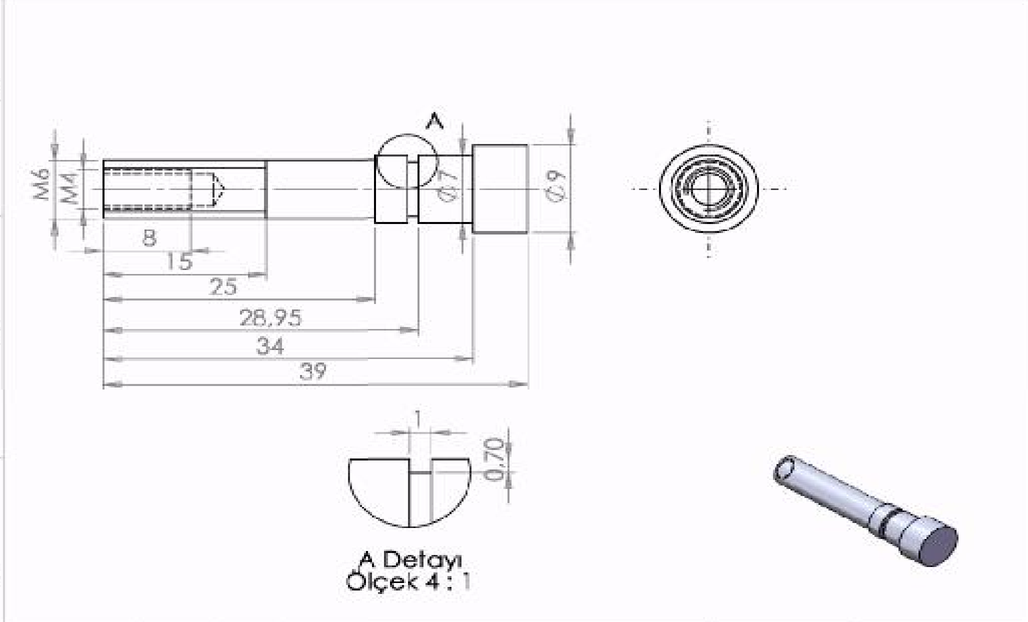
Ç1020	*1:2*		*Tutucu*		*CM-1_2*
Gereç	*Ölçek*	*Sayı*	*Parça Adı*	*Çizen*	*Resim Numarası*



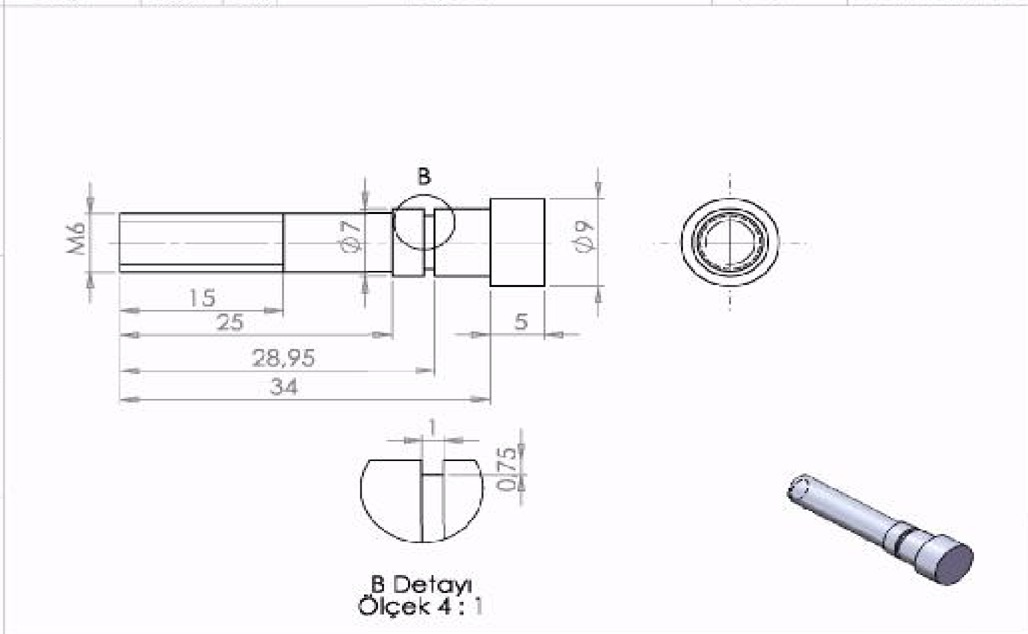
Ç1020	1:1	1	Çevirme Kolu		CM-1_10
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



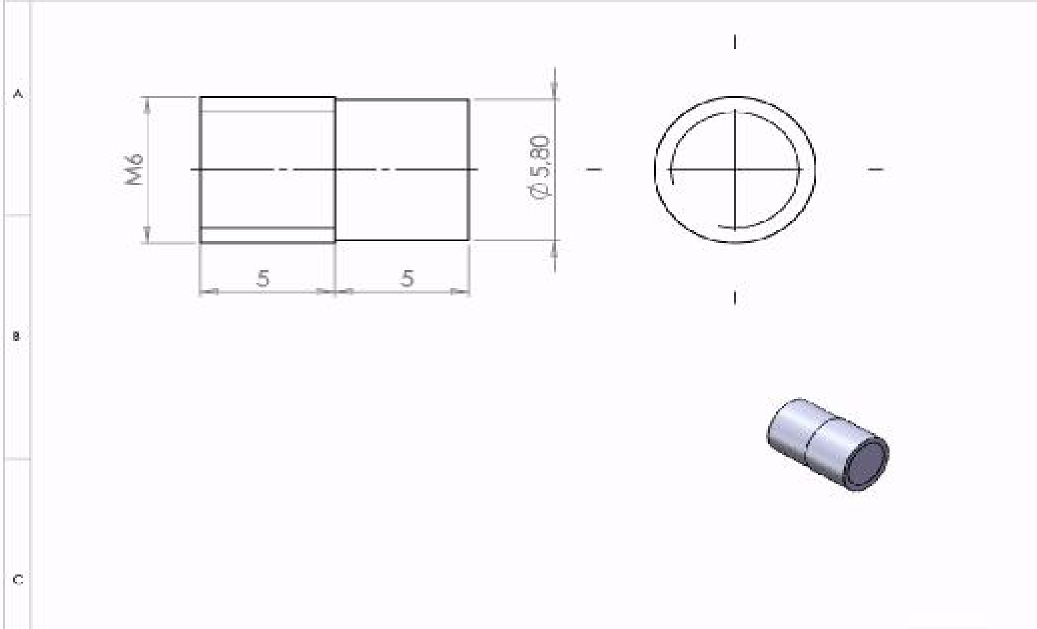
Ç1020	1:1	1	Cenova Diski		CM-1_12
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



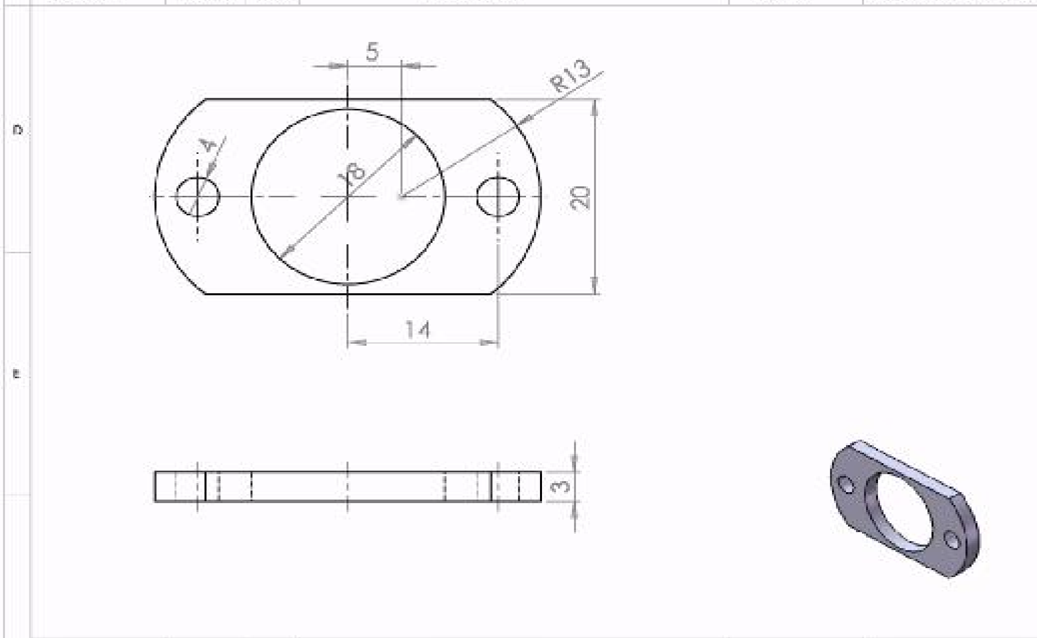
Ç1020	2:1	1	Perno 7 h11x 34		CM-1_5
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



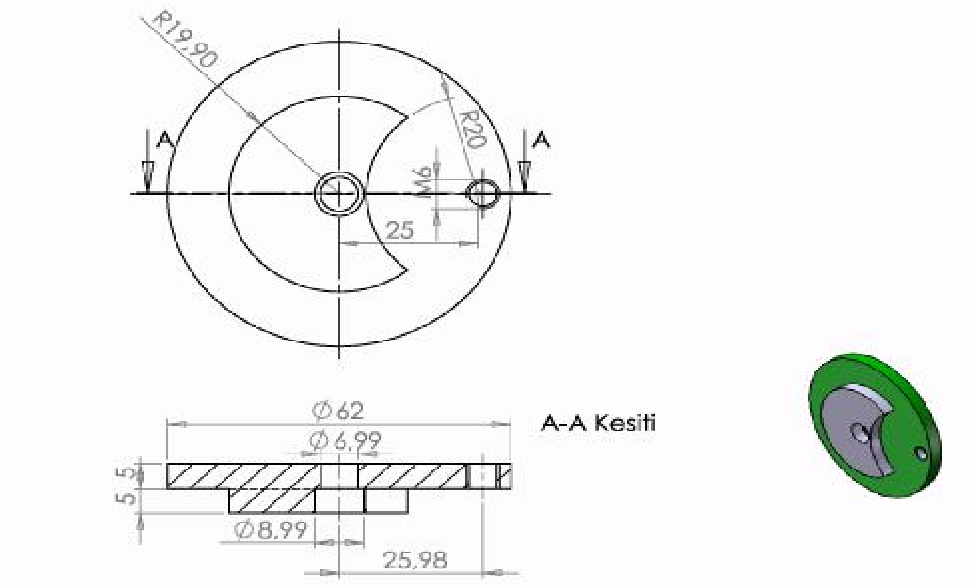
Ç1020	2:1	1	Perno 10 h11x 27		CM-1_15
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



Ç1020	5:1	1	Pim		CM-1_6
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



Ç1020	2:1	2	Tutucu Kapak		DMM-1_8
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası



Ç1020	1:1	1	Disk		DMM-1_4
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Numarası

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

1- Aşağıdaki sayıların birim dönüştürmesini yapınız.

(1) 20[dev/s] = ________ [rad/s]
(2) 1500 [dev/dak] =________ [rad/s]
(3) 62.8[rad/s] =_______ [dev/s] = ________ [dev/dak]

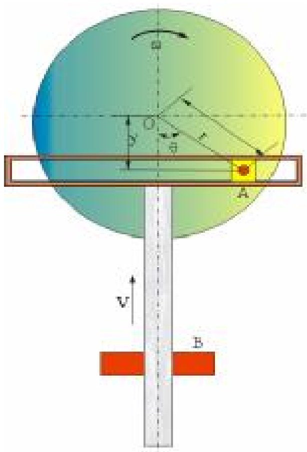
2- Aşağıda verilen değerler için çevresel hızları bulunuz.

(1) n = 50[dev/s], r = 40 [cm] (2) n = 1200[dev/dak], r = 20[cm]
(3) $\omega = \pi$[rad/s], r = 1[m] (4) $\omega = 20$[rad/s], r = 10[cm]

3- 40[mm] çapında bir iş parçası torna tezgahına bağlıdır. 60[m/min]'lik bir çevresel hızla dönerse iş parçasının ve aynanın devir sayısını bulunuz.

4- Bir otomobil 40 km/saat hızla giderken 1.2[m] çapındaki lastiğinin dönme sayısını bulunuz.

5- $\theta = 40^0$ olduğu anda üzerinde yarık olan kılavuz, 2 m/s lik bir hız ve 1 m/s^2'lik bir ivme ile yukarı doğru hareket etmektedir. A mafsalının bu açı değerindeki açısal hız ve ivmesini bulunuz (Kolun yukarı yönlü hareketi negatif işaretli ve r=300 mm alınacaktır.)



DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete dönerek tekrar inceleyiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Standartlara uygun olarak dairesel hareketle güç aktarımı yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

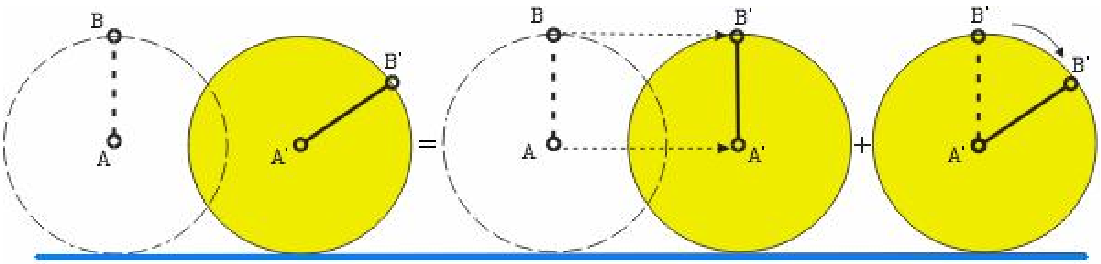
- Bu öğrenme faaliyetinden önce mutlak ve bağıl hareket kavramlarını hatırlayınız.

3. GENEL DÜZLEMSEL HAREKET

3.1. Giriş

Tekerlek gibi büyük cisimleri kendi ekseni etrafında döndüğünde, cismin farklı noktaları farklı hız ve ivmelere sahip olur. Bu yüzden tekerleğin hareketi bir maddesel noktanın hareketi gibi düşünelemez. Bu yüzden büyük cisimleri, her biri kendi hız ve ivmesiyle hareket eden bir çok maddesel noktadan oluşmış kabul etmek gerekir.Genel düzlemsel hareket öteleme ve dönmenin aynı anda yapıldığı hareket olarak düşünülebilir.

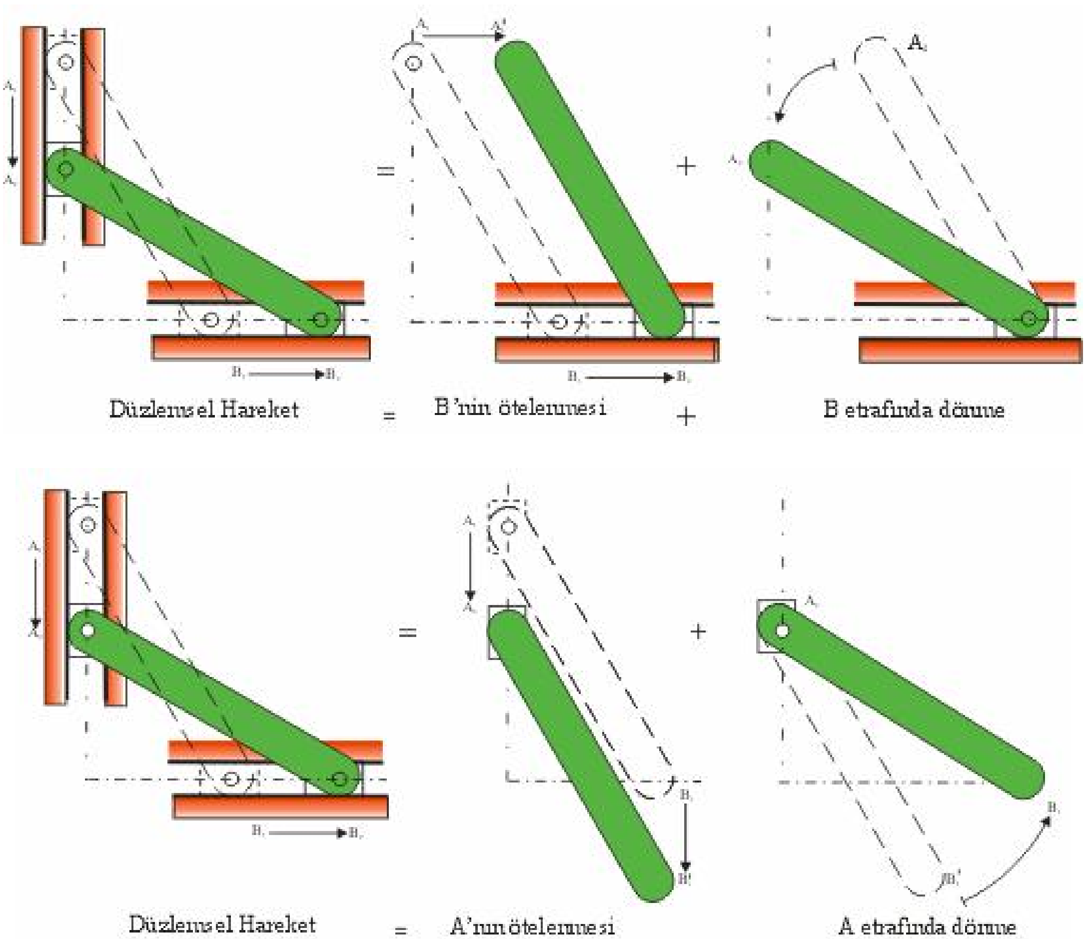
Yolda yuvarlanan bir tekerleği ele alalım.Tekerlek üzerinde belirlenen iki nokta kısa bir zaman aralığı sonunda yerdeğiştirsin. A noktası A’ noktasına, B noktası B’ noktasına ulaşmış olacaktır. Aynı sonuç AB doğrusunu A’B’ doğrusuna getiren bir öteleme arkasından A’ etrafında dönerek B’ ye gelen bir dönmeylede ifade edilir. Gerçek hayatta tabiî ki böyle değildir ama hareketi incelemek için bu şekilde ikiye ayırmak işi kolaylaştırır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Tekerleğin hareketi

Diğer bir düzlemsel hareket örneği, Şekil 3.2'de görülen yatay ve dikey yarıklarda kayabilen bir çubuğun hareketidir. Bu hareketi ikiye ayrarak inceleyebiliriz:

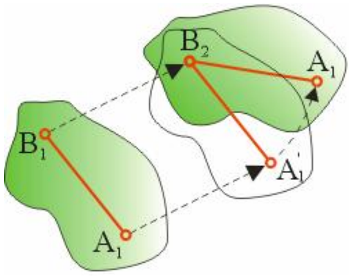
- Yatay doğrultuda bir öteleme
- A etrafında dönme yada düşey doğrultuda öteleme ve B etrafında dönme.



Şekil 3. 2. Çubuğun hareketi

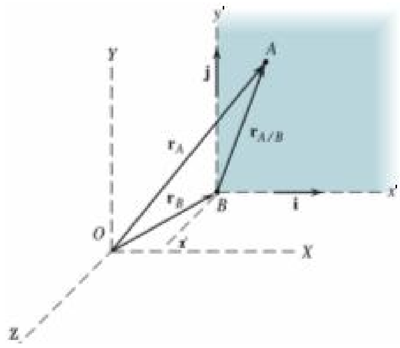
3.2. Bağıl Hareket

Ana levhanın A_1 ve B_1 noktalarının A_2 ve B_2 noktalarına getiren Şekil 3.3'te görülen küçük bir yerdeğişimini esas alalım. Bu yerdeğiştirme yukarıda da söylendiği gibi iki kısma ayrılabilir.Biri, doğrultusunu korumak kaydıyla A_1B_1 doğrusunun $A_1'B_2$ doğrusuna gelmesi ve A_1' noktasında dönerek A_1' noktasının A_2'ye gelmesi.İlk hareket bir ötelenme, ikincisi ise bir dönmedir.



Şekil 3.3: Ana Levhanın Hareketi

İkinci bölümde sabit eksen etrafında dönme anlaılırken sabit bir eksen kullanıldı. Dönme merkezinden geçen ve cismin dönmesine bağlı olmayan sabit bir eksen. Burada ise iki eksen takımı kullanılması gerekir.



Şekil 3.4: Hareketli Eksen Takımı

Uzayda hareket etmekte olan A ve B gibi iki maddesel noktayı ele alalım. $\mathbf{r}_A$ ve $\mathbf{r}_B$ vektörleri, sabit olarak tanımlanan Oxyz eksenine göre A'nın ve B'nin konumlarını tanımlasınlar. Şimdi hareket eden cisim üzerine başka bir eksen takımı yerleştireceğiz. Bunun için B noktasına, xyz eksenlerine paralel Bx'y'z' eksenlerini yerleştirelim. Bu son eksen öteleme yapsa bile doğrultusu değişmemektedir. $\mathbf{r}_{A/B}$ vektörü, A noktasının hareketli Bx'y'z' takımına göre bağıl (göreceli) ya da kısaca A'nın B'ye göre bağıl yerini tanımla r.Şekil 3.4'ten de görüleceği gibi A maddesel noktasının yeri,

$$r_A = r_B + r_{A/B} \qquad [3.1]$$

olur. Sabit karşılaştırma takımında t zamanına göre türev alırsak;

$$\frac{dr_A}{dt} = \frac{dr_B}{dt} + \frac{dr_{A/B}}{dt}$$

olur. $\dfrac{dr_A}{dt}$ ve $\dfrac{dr_B}{dt}$ türevleri sırasıyla v_A ve v_B hızlarını gösterir. $\dfrac{dr_{A/B}}{dt}$ ise $\mathbf{r}_{A/B}$ vektörünün hem Oxyz hem de Bx'y'z' eksen takımına göre değişim hızını gösterir. Çünkü ikinci eksen öteleme yapmaktadır. O halde bu türev A'nın B'ye göre bağıl hızını verir.

$$v_A = v_B + v_{A/B} \quad [3.2]$$

A'nın Oxyz takımına göre hareketine ise mutlak(salt) hareket denir. Mafsal noktalarındaki tüm salt hızlar birbirine eşittir. Örneğin, temas eden dişlilerde olduğu gibi birbirine temas eden dişlerin mutlak hızları aynıdır. Buna göre tekrar denklemi yorumlayalım:

A'nın mutlak hareketi, B'nin hareketi ile B'de bağlı olan hareketli eksen takımına göre B'nin bağıl hızını vektörel olarak toplayarak elde edebiliriz.Bu denklemi Şekil 3.5'te görülen levha ile irtibatlandıralım. V_B hızı levhanın B noktasının ötelenmesine, $v_{A/B}$ bağıl hız da B etrafında dönmeye tekabül etmektedir. A'nın B'ye göre yer vektörü $r_{A/B}$ ile levhanın sabit eksen takımına göre açısal hızını ω ile gösterirsek $v_{A/B}$ hızı:

$$v_{A/B} = w \times r_{A/B} \quad [3.3]$$

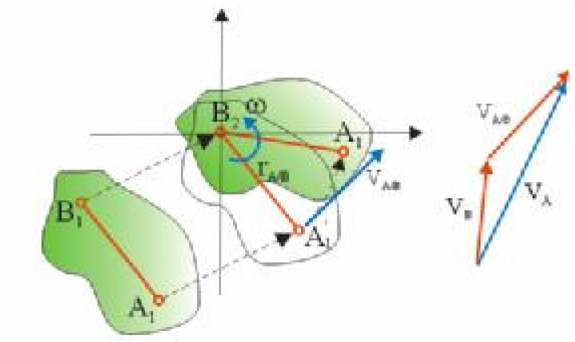
olur. [3.2] denklemi yeniden yazılabilir.

$$v_A = v_B + w \times r_{A/B} \quad [3.4]$$

$v_{A/B}$ bağıl hızı skaler olarak ifade edilmek istenirse;

$$v_{A/B} = rw \quad [3.5]$$

elde edilir. Burada r, A ve B arasındaki uzaklıktır (Şekil 3.5).

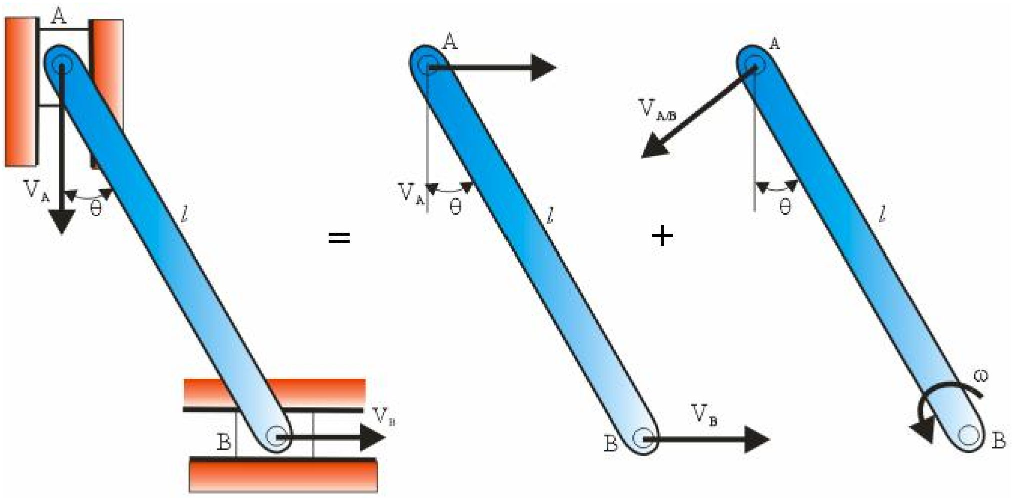


Şekil 3.5: Levhanın düzlemsel hareketi

v_A hız denklemini tekrar yazalım.

$$v_A = v_B + w \times r_{A/B}$$

Bu denklem mafsallı ya da diğer rijit cisimlere temas halinde olan cisimlerin düzlemsel hareketini incelemek için son derece kullanılışlıdır. Bu denklemi kullanırken A ve B noktaları mafsal noktaları yada diğer cisimlere temas eden noktalardan seçilmelidir.Şekil 3.2'de görülen mekanizmanın tek bir çubuğu için bu formülü yazalım. B ucunun V_B hızının bilindiğini kabul ederek A ucunun V_A hızını ve ω açısal hızını bulmak isteyelim.

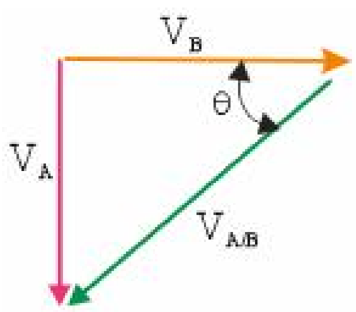


Şekil 3.6: Çubuğun düzlemsel hareketi

B noktası referans olarak alınırsa hareket, B'nin ötelenmesi ve B etrafında bir dönme olarak tanımlanabileceği görülür. Buna göre A'nın mutlak hızı: (Şekil 3.6)

$$v_A = v_B + v_{A/B}$$

Çubuk boyunu ve açısal hızı bulalım. A ve B noktalarındaki v_A ve v_B çizgisel hızlarının doğrultusu belli. Bunları birleştirirsek Şekil 3.6 elde edilir.



Şekil 3.7: Hız üçgeni

Bu üçgenden yararlanarak;

$$v_A = v_B . \tan q$$

$$\cos q = \frac{v_B}{v_{A/B}} \rightarrow v_{A/B} = \frac{v_B}{\cos q}$$

bulunur.

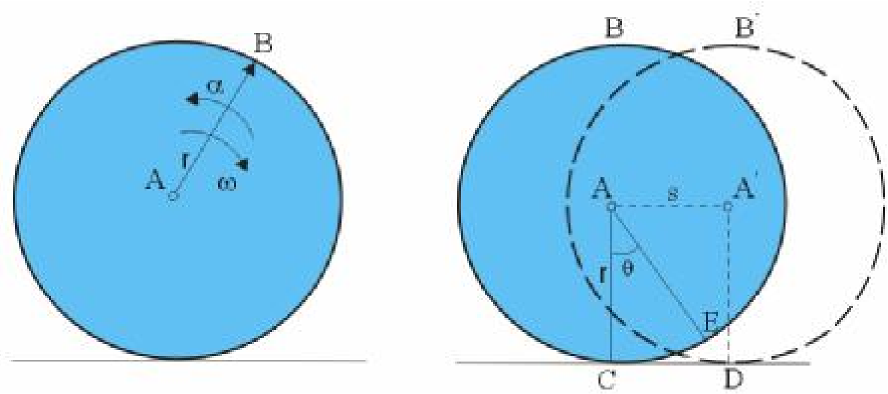
$$v_{A/B} = l.w$$

olduğunu hatırlayarak açısal hız:

$$w = \frac{v_{A/B}}{l} = \frac{v_B}{l.\cos q}$$

Mekanizmaların çoğunda çok sayıda hareketli parça vardır. Her bir parça, bir rijit cisim oalrak ele alınır .

ÖRNEK 1: 20 cm çapında bir tekerlek, açısal hızı 6 rad/s ile dönerken tekerleğin üst noktası B'nin hızını bulunuz.



ÇÖZÜM:

Yuvarlanma hareketini bir ötelenme(AA' =s) ve A etrafında dönme şeklinde ikiye ayıralım. Dönme hareketi olduğundan dolayı tekerlekteki CE yayı , yatay düzlemdeki CD doğru parçası ile temas eder. CE yayı =r θ olduğundan A'nın ötelenmesi r θ çarpımına eşittir. A'nın hızı

$$v_A = \mathrm{r}\frac{dq}{dt} = \mathrm{r}w$$

olduğunu hatırlayınız. Hızın yönü sağadır.

$$v_A = (10cm)(6rad/s) = 60cm/s$$

B noktasının hızı

$$v_B = v_A + v_{B/A}$$

B'nin A'ya göre göreceli hızı $v_{B/A}$, AB yarıçapı ile açısal hızın çarpımıdır ve yönü yine sağadır.

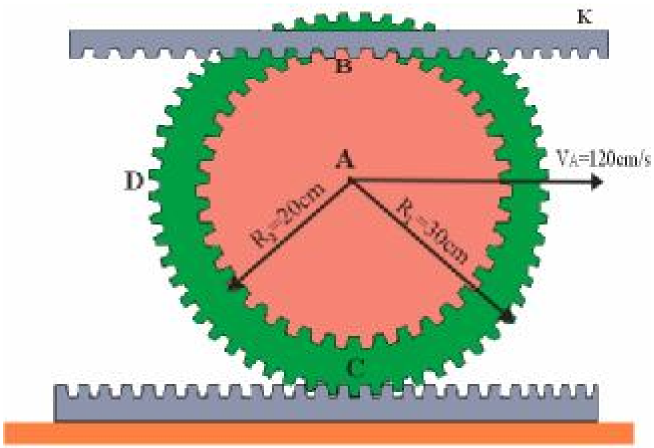
$$v_{B/A} = ABxw = (10cm)(6rad/s) = 60cm/s$$

Buna göre v_B'nin şiddeti

$v_B = 60cm/s + 60cm/s = 120cm/s$ olur.

ÖRNEK 2: Aynı gövdeye açılmış iki düz dişli, sabit kremayer üzerinde yuvarlanmaktadır. Dişli merkezi olan a noktasının hızı, 120 cm/s dir.

a) Dişlinin açısal hızını
b) K kremayerinin ve büyük dişliye ait C ve D noktalarının hızlarını bulunuz.



ÇÖZÜM:

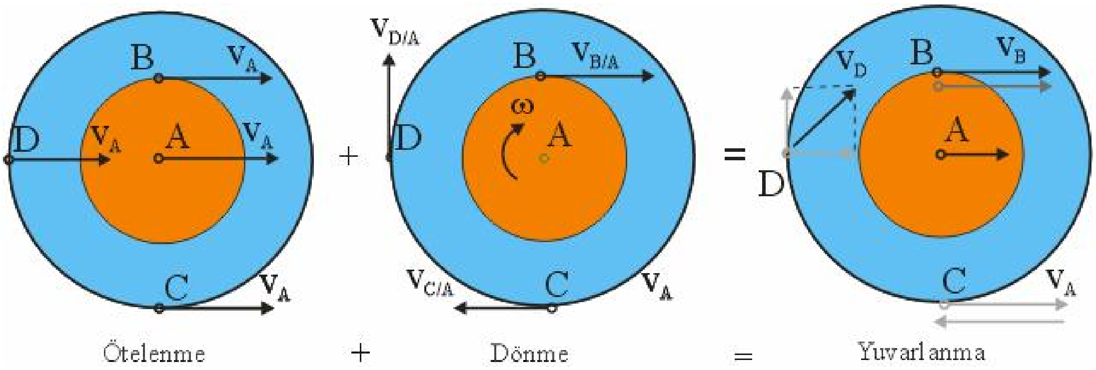
a) Dişlinin açısal hızı: dişli kremayer üzerinde yuvarlandığından A merkezi, bir önceki örnekte olduğu gibi $s_A = r_1\ \theta$ kadar yol gider. Zamana göre türevi alındığında aşina olduğumuz $v_A = r_1 w$ denklemi elde edilir. Açısal hız,

$$v_A = r_1 w$$

$$(120cm/s) = (30cm)w \rightarrow w = 4rad/s$$

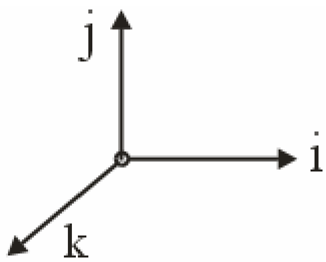
Birim vektör cinsinden ifade edelim. ω=-4 **k** rad/s. Dönme, saat yönü olduğu için işaret eksidir.

b) Hızlar: Yuvarlanma hareketini ötelenme ve A etrafında dönme olarak ikiye ayıralım. Bir ötelenme ve A merkezi etrafında dönme. Ötelenmede dişlinin tüm noktaları aynı v_A çizgisel hızıyla hareket eder. Dönmede dişlinin bütün noktaları A etrafında bağıl hızla devinir. Örneğin C noktası A noktasına göre, şiddeti ω x $r_{C/A}$ olan $v_{C/A}$ bağıl hızıyla hareket eder.



$$v_K = v_B = v_A + v_{B/A} = v_A + w x r_{B/A}$$

Birim vektörleri bir kere daha hatırlayarak denklemdeki verileri yazalım.



v_K = 120**i** – 4**k** x 20**j** =120**i** + 80**i** = 200**i**

v_K =200 cm /s

C noktasının hızı:

$$v_C = v_A + v_{C/A} = v_A + w x r_{C/A}$$

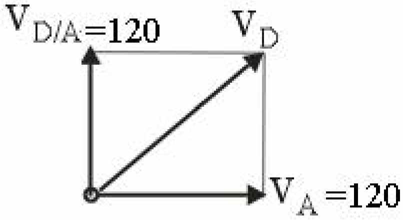
v_C =120**i -4k** x (-30**j) =** 120**i –** 120**i =** 0

Burada C noktası, ölçümün yapıldığı anda hareketsiz olması sebebiyle anlık olarak sıfır hıza sahiptir.

D noktasının hızı:

$v_D = v_A + v_{D/A} = v_A + w x r_{D/A}$

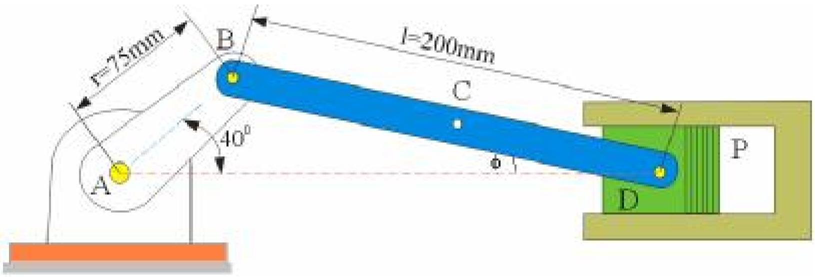
v_D =120**i** **-4k** x (-30**i)** = 120**i** + 120j



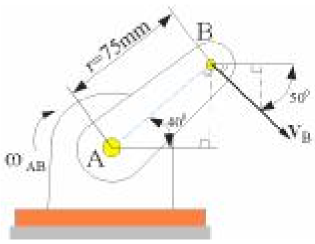
$v_D = \sqrt{(120)^2 + (120)^2}$

$v_D = 169{,}7$ cm/s $\angle 45^0$

ÖRNEK 3: Bir motora ait krank biyel mekanizmasında AB krankı, saat yönünde 1000 dev/dak ile dönmektedir.



ÇÖZÜM: Krankın serbest cisim diyagramını çizelim.



AB krankının hareketi: AB krankı A etrafında dönmektedir. Açısal hız:

$$w_{AB} = \left(1000\frac{dev}{dak}\right)\left(\frac{1dak}{60s}\right)\left(\frac{2p}{1dev}\right) = 104.7 rad/s$$

A’nın çizgisel hızı:

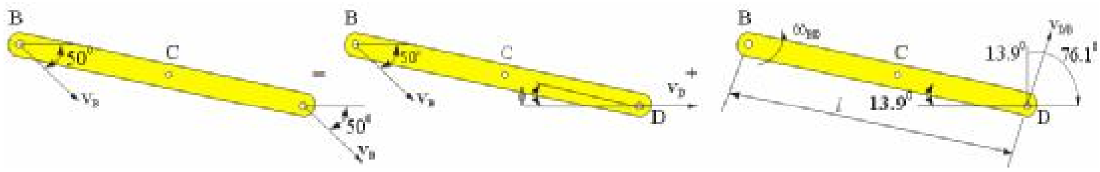
$$v_B = \mathrm{r}_{AB} w_{AB}$$
$$v_B = (7.5cm)(104.7rad/s) = 785,25cm/s\angle 50^0$$

BD Biyelinin Hareketi: Genel düzlemsel hareket geçeridir.Sinüs teoreminden biyel ile piston arasındaki açıyı bulalım.

$$\frac{\sin 40^0}{20cm} = \frac{\sin f}{7.5cm}$$

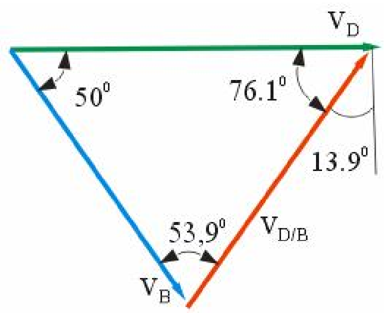
$$\sin f = 0,241 \rightarrow f = 13,94^0$$

Biyelin pistonla birleştiği D noktası yatay olarak hareket edecektir. BD’nin hareketini yine ikiye ayıralım.



Pistonun hız ifadesini yazalım.
$$v_D = v_B = v_{D/B}$$

Bu denkleme uygun vektör diyagramını çizelim. Biyel ile piston arasındaki açıdan (ϕ=13.9^0) yararlanarak açıları



Bu üçgene göre sinüs teoremini yazalım.

$$\frac{v_D}{\sin 53.9^0} = \frac{v_{D/B}}{\sin 50^0} = \frac{785,25}{\sin 76.1^0}$$

$$v_{D/B} = \frac{785,25.\sin 50^0}{\sin 76.1^0} = \frac{785,25.0,76}{0,97} = 620 \text{ cm/s}$$

$$v_D = \frac{785,25.\sin 53.9^0}{\sin 76.1^0} = \frac{785,25.0,807}{0,97} = 654 \text{ cm/s}$$

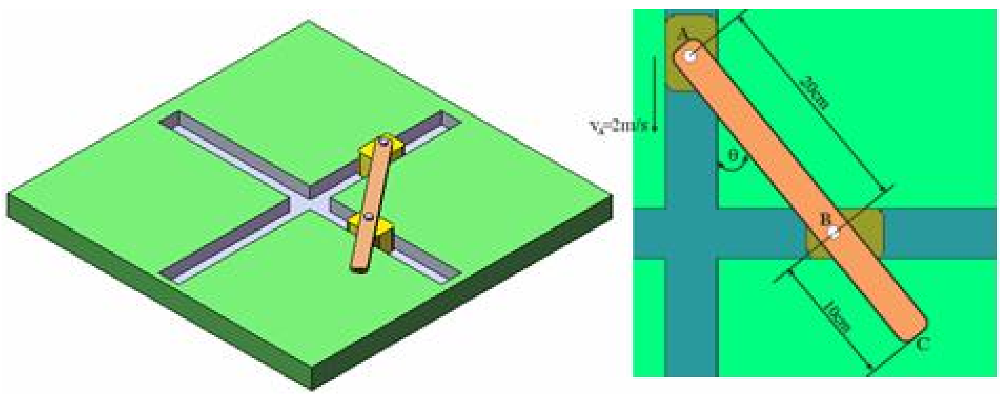
Açısal hız:

$v_{D/B} = lw_{BD}$

$620 = (20cm)w_{BD}$

$w_{BD} = 31$ rad/s

ÖRNEK 4: Şekilde görülen kol A ve B kızaklarını kanallar içinde hareket ettirirken kolun ucu eliptik bir yörünge çizer. A kızağının hızı, aşağı doğru 2 m/s ve θ=46^0 olduğunda B'nin hızını bulunuz.



A kızağı aşağı doğru kayarken B kızağı sağa doğru yönelir. Kol ise ω açısal hızı ile saatin tersi yönünde döner. Yine B kızağının hareketini ikiye ayırabiliriz. Ötelenme ve A etrafında dönme. Bunun denklem olarak ifadesi:

$v_B = v_A + v_{B/A}$

$v_B = v_A + w x r_{B/A}$

şeklindedir.

Burada ω ve v_B olmak üzere iki bilinmeyen vardır. Bu yüzden vektör bileşenleri yoluyla çözüme gidelim.

$r_{B/A}$ yer vektörünün x ve y bileşenlerini vektör biçiminde yazalım.

$r_{B/A}$ =(0.2 sin46^0**i** – 0.2cos46^0**j**)

A kızağı aşağı yönlü olduğu için y uzaklığının işareti eksidir.

v_Bi =-2j + {ω**k x** (0.2 sin46^0**i** – 0.2cos46^0**j**)}

v_B**i** =-2**j** + 0.2 w sin46^0**j** – 0.2 ω cos46^0**i**

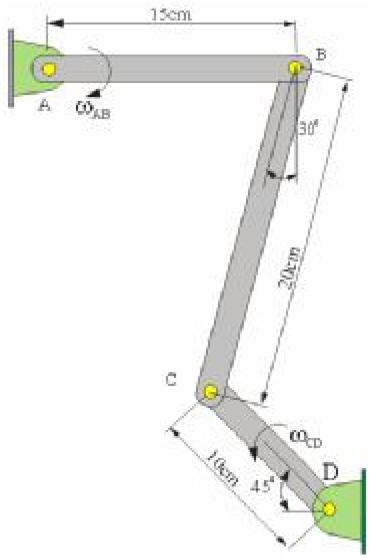
i ve **j** bileşenlerini eşitleyelim.

v_B =0.2 ω cos46^0 0=-2 + 0.2 ω sin46^0

bulunur. Buradan

v_B = 1.39 m/s
ω = 13.9 rad/s

ÖRNEK 5: AB kolu 3 rad/s açısal hızla döndüğünde CD kolunun şekilde görülen konumu için açısal hızını bulunuz.



AB ve CD kolu dönme, BC kolu ise düzlemsel hareket yapar.

AB kolunun hız denklemi:

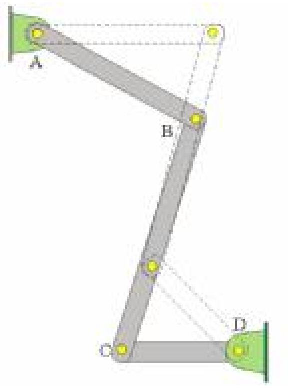
$$v_B = w_{AB} \text{ x } r_{B/A}$$
$$v_B = (-3\mathbf{k}) \text{ x } (15\mathbf{i})$$

v_B = - 18**j**

CD kolunun hız denklemi:

$v_C = v_B + w_{BC}$ x $r_{C/B}$

v_C = (w_{CD} **k**) x (-10cos45^0**i** + 10sin45^0**j**)



BC kolunun hız denklemi:

$v_C = v_B + w_{BC}$ x $r_{C/B}$

(w_{CD} **k**) x (-10cos45^0**i** + 10sin45^0**j**) = **-** 18**j +** (w_{BC} **k**) x (-20sin30^0**i** – 20 cos30^0**j**)

-7.07w_{CD} **j** – 7.07w_{CD} **i** = - 18**j -** 10w_{BC} **j** + 8.66w_{BC} **i**

Aynı birim vektörleri içeren ifadeleri eşitleyelim.

-7.07w_{CD} **i** = 8.66w_{BC} **i**

-7.07w_{CD} **j** = - 18**j -** 10w_{BC} **j**

Birim vektörleri kaldıralım.

-7.07w_{CD} = 8.66w_{BC}

-7.07w_{CD} = - 18 **-** 10w_{BC}

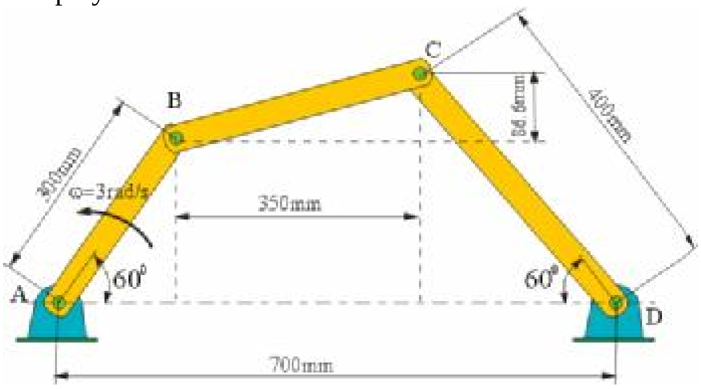
Bu iki denklemi çözümlersek;

w_{CD} = 1.17 rad/s

$w_{BC} = -0.96$ rad/s

bulunur.

ÖRNEK 6: Şekilde dört çubuklu mekanizma görülmektedir.Çubuk boyutlarına ait değerler, aralarındaki açılardan elde edilmiştir. AB krankı 3 rad/s'lik bir açısal hızla saat yönünün tersi yönünde dönerse B ve C noktalarındaki çizgisel hızları ve BC, DC çubuklarını n açısal hızlarını hesaplayınız.



B noktası dönen AB krankı üzerinde yeraldığından, çizgisel hızı,

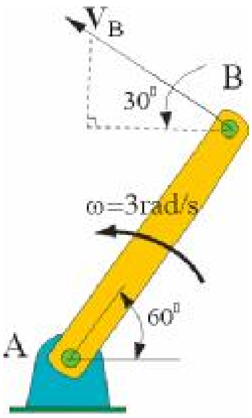
$v_B = w_{AB}$ x r_{AB}

$v_B = 3\mathbf{k}$ x $(300\cos60^0\mathbf{i} + 300\sin60^0\mathbf{j})$

$v_B = 3\mathbf{k}$ x $(300_x05\mathbf{i} + 300_x0.866\mathbf{j})$

$v_B = 450\mathbf{j} - 779\mathbf{i}$ mm/s

v_B'nin büyüklüğü doğrudan v_B=rω=300(3)=900 mm/s şeklinde de bulunabilirdir. Bu vektör, AB krankına dikey olduğundan yukarı ve sola yönlenmiştir.

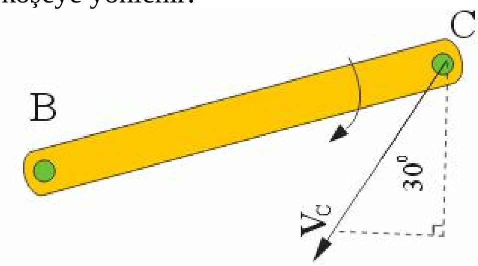


$900(-\cos 30^0\mathbf{i} + \sin 30^0\mathbf{j}) = 450\mathbf{j} - 779\mathbf{i}$ mm/s

şeklinde yeniden yazılabilir. Bu ifade yukarıdaki ifade ile aynıdır. BC çubuğunun hareketi için

$$v_C = v_B + v_{C/B} = v_B + w_{BC} \times r_{BC}$$

Bu denklemi kullanabilmek için DC çubuğunun saatin aksi yönde döndüğünü farzedelim. Bu durumda C noktası sol alt köşeye yönlenir.



$$v_C = -v_C \cos 30^0\mathbf{i} - v_C \sin 30^0\mathbf{j} = -0.866\, v_C\mathbf{i} - 0.5\, v_C\mathbf{j}$$

BC'nin saat yönünün tersine doğru döndüğünü düşünelim.

$\omega_{BC} = \omega_{BC}\mathbf{k}$

Çubuk vektör uzunluğu:

$r_{BC} = 350\mathbf{i} + 86.6\mathbf{j}$

Bunları ana denklemde yerine koyalım.

$$v_C = v_B + v_{C/B} = v_B + w_{BC} \times r_{BC}$$

$-0.866\, v_C\mathbf{i} - 0.5\, v_C\mathbf{j} = -779\mathbf{i} + 450\mathbf{j} + \omega_{BC}\mathbf{k} \times (350\mathbf{i} + 86.6\mathbf{j})$

$-0.866\, v_C\mathbf{i} - 0.5\, v_C\mathbf{j} = -779\mathbf{i} + 450\mathbf{j} + 350\omega_{BC}\mathbf{j} - 86.6\omega_{BC}\mathbf{i}$

i ve **j** terimlerini eşitleyelim.

$-0.866\, v_C = -779 - 86.6\omega_{BC}$
$-0.5\, v_C = 450 + 350\omega_{BC}$

Bu doğrusal denklemleri çözersek $\omega_{BC} = -2.25$ rad/s ve $v_C = 675$ mm/s bulunur. Açısal hızın eksi çıkması gösteriyor ki BC çubuğu tahminimizin tersine saat yönünde dönmektedir.

Şimdi ω_{DC} hızını bulalım.

$v_C = \omega_{DC}$ x $r_{DC} = \omega_{DC}\mathbf{k}$ x $(-200\mathbf{i} + 346.4\mathbf{j}) = -200\ \omega_{DC}\mathbf{j} - 346.4\ \omega_{DC}\mathbf{i}$

yada daha önce yaptığımız gibi

$v_C = -675$ x $0.866\mathbf{i} - 675$ x $0.5\mathbf{j}$ de yazılabilir.

Yine **i** ve **j** terimlerini eşitleyerek denklemi çözersek ω_{DC}=1.69 rad/s bulunur.

3.3. Anlık Dönme Merkezi

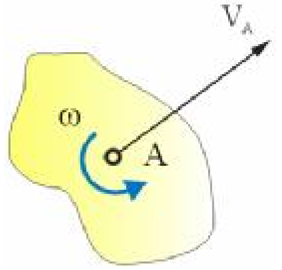
Bir önceki bölümde genel düzlemsel hareket yapan bir rijit cisim üzerindeki herhangi bir noktanın hızı, referans noktasının hızına, buna uygun başka bir nokta etrafında dönme sonucu oluşan bağıl hızın eklenmesiyle bulundu ve

$v_B = v_A + w$ x $r_{B/A}$

denklemi ile ifade edildi.

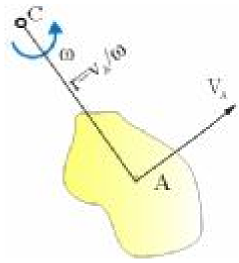
Bu bölümde geçici olarak sıfır hıza sahip tek bir referans noktasını seçerek problemleri çözmeyi öğreneceğiz. Bu durumda cisim, bu tek referans noktasından geçen ve hareket düzlemine dik olan bir eksen etrafında dönüyor kabül edilir. Bu eksene “anlık eksen” denir. Bu eksenle hareket düzleminin keşişme noktasını oluşturan bu tek referans noktasına da “sıfır hızlı anlık merkez” yada “ani dönme merkezi” denir.

Cismin bir A noktasının ötelenmesi v_A hızı ile, açısal hızı ω ile ifade edilsin. A noktasının v_A hızı ve ω açısal hızı, cismin tüm öteki noktalarının hızını belirtebilir(Şekil 3.8).



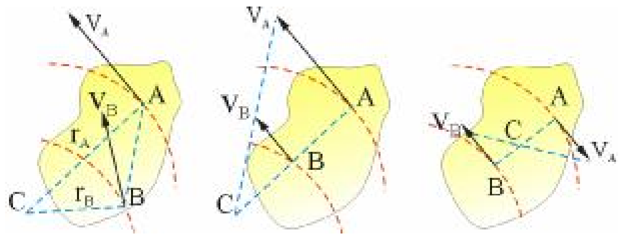
Şekil 3.8: Cismin hareketi

Bu hızlar Şekil 3.9’da görüldüğü gibi v_A hızına çizilen dikme üzerinde, A noktasından $r = v_A/\omega$ uzaklıkta bulunan bir C noktası etrafında cismi bir ω açısal hızı ile döndürerek de bulunabilir. A’nın çizgisel hızı, $v_A = r\omega = (v_A/\omega)\omega = v_A$ olduğuna göre cismin öteki tüm noktalarının hızları da tanımlı ilk hızları olacaktır. Buna göre cisim, belirli bir anda C ani dönme merkezi etrafında dönüyor gibi hayal edilebilir. Burada $v_A = 0$ ise A noktasının kendisi ani dönme merkezidir; $\omega = 0$ ise cisim ötelenme yapmaktadır.



Şekil 3.9: Anlık merkez

B noktası verilen anda anlık dönme merkezinin etrafında dairesel hareket eder. Yani cisim anlık dönme ekseni etrafında döner (Şekil 3.10).



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 3.10: Hızların anlık merkezi

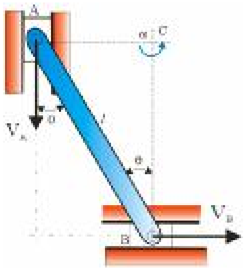
Ani dönme merkezinin yeri başka şekillerde de tanımlanabilir. Cismin iki noktasının doğrultusu aynı fakat şiddetleri farklı ise C ani dönme merkezinin yeri A'dan v_A'ya ve B'den v_B'ye çizilen dikmelerin kesişme noktasıdır. Eğer v_A ve v_B hızları paralel olursa C sonsuza gider ve açısal hız sıfır olur. Bu durumda cisim öteleme hareketi yapar. Yine v_A ve v_B hızları nın şiddetleri belli ve AB doğrusuna dikse C ani dönme merkezi, AB doğrusu ile v_A ve v_B vektör uçlarını birleştirerek bulunur. Eğer v_A ve v_B hızları paralel olursa C sonsuza gider ve açısal hız sıfır olur. Bu durumda cisim öteleme hareketi yapar. Hızlar paralel fakat zıt yönlü ise vektör uçlarını birleştiren doğru ile AB doğrusunun keşişim noktası üzerinde olur. Cisim hareket ettikçe ani dönme merkezi yer değiştirmektedir.

Şekil 3.11'de görülen çubuğu esas alalım. A'noktasından v_A hızına ve v_B hızına dikme çıkmak suretiyle C noktası elde edilir. Bu anda çubuğa ait bütün noktaların hızları, çubuk sanki C merkezli dönüyormuş gibi tasavvur edilir. Buna göre ω açısal hızı:

$$w = \frac{v_B}{CB} = \frac{v_B}{l \cos q}$$

şeklindedir. A'ya ait v_A hızı ise;

$$v_A = (AC)w = l\sin q\left(\frac{v_B}{l\cos q}\right) = v_B \tan q$$
olur. Dikkat edilirse sadece mutlak hızlar hesaplamalarda kullanılmaktadır.

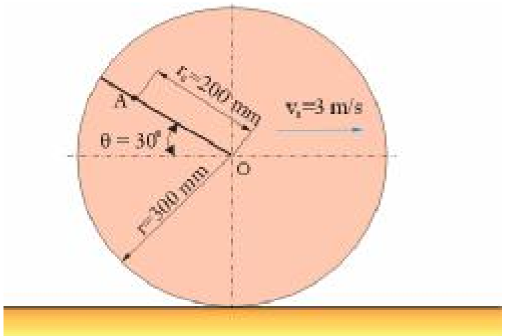


Şekil 3.11: Kızağın anlık merkezi

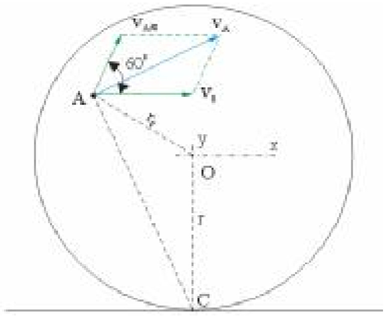
Düzlemsel hareket yapan bir cismin ani dönme merkezi Şekil 3.10(a,b,c) de görüldüğü gibi cismin dışında ya da içinde olabilir. Cisim devindikçe ani dönme merkezi cisim üzerinde yada uzayda hareket eder.

Aşağıdaki iki örnek A noktasının hızını bağıl hız ve ani dönme merkezi yöntemiyle hesaplamaktadır.

ÖRNEK 1: Yarıçapı r=300 mm olan bir tekerlek kaymaksızın yuvarlanarak O merkezi etrafında v_0=3 m/s hızla ilerlemektedir. Şekilde görülen anda A noktasının hızını hesaplayınız.



I. Çözüm: Cismin serbest cisim diagramını çizelim.



Hızı verildiği için O noktası referans noktası olarak seçilir. Buna göre A noktasının hızı:

$$v_A = v_O + v_{A/O}$$

A noktasının açısal hızı tekerleğin açısal hızına eşittir.

$\omega = v_0 / r = 3 / (0.3m) = 10$ rad/s

$v_{A/O}$ hızı AO doğrusu ile açısal hızın çarpımıdır.

$v_{A/O} = r_0\, \omega$ $\quad\quad$ $v_{A/O} = (0.2m)10 = 2$ m/s

Bileşke vektörü kuvvetlerin bileşke formülünden hesaplanabilir.

$$v_A^{\,2} = 3^2 + 2^2 + 2(3)\cos 60^0$$

v_A=4.36 m/s

Yine bu meyanda C noktası hızının temas noktası olmasından dolayı anlık olarak sıfır olduğunu biliyoruz (Bakınız örnek 1). C noktasını referans noktası olarak seçersek v_A hızı;

$$v_A = v_C + v_{A/C} = v_{A/C}$$

Burada

$$v_{A/C} = (AC)w$$

dir. Açısal hız ise $w = \dfrac{v_0}{OC}$ dir. Bunu $v_{A/C}$ denkleminde yerine koyalım.

$$v_{A/C} = (AC)\frac{v_0}{OC}$$

$v_{A/C} = \dfrac{0.436}{0.3}(3) = 4.36$ m/s bulunur. Burada A noktası anlık olarak C etrafında döndüğü için v_A hızı, AC'ye diktir.

II. Çözüm: Vektörleri kullanalım.

$v_A = v_O + v_{A/O} = v_O + w \text{ x } r_0$

Burada:

ω = -10**k** rad/s
r_0 = - 0.2cos30^0**i** + 0.2sin30^0**j**
v_0 = 3**i** m/s

Değerleri yerine kotalım.

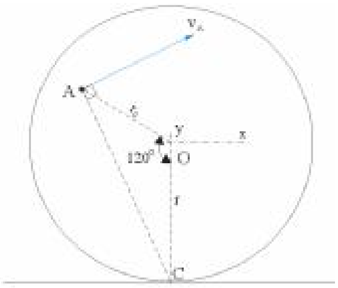
$$v_A = 3i + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & -10 \\ -0.1732 & 0.1 & 0 \end{vmatrix}$$

v_A= 3**i** + 1.7328**j** +1.0**i**

v_A=4**i** + 1.732**j** m/s

$v_A = \sqrt{4^2 + (1.732)^2} = \sqrt{19}$ = 4.36 m/s

ÖRNEK 2: Yukarıdaki örneği ani dönme merkezi ile çözelim.



$$w = \frac{v_0}{r} = \frac{3}{0.3} = 10 \text{ rad/s}$$

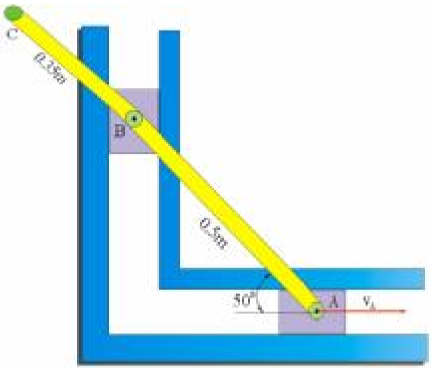
AC arası uzaklık kosinüs teoreminden bulunur.

$$\overline{AC}^2 = \sqrt{(0.3)^2 + (0.2)^2 - 2(0.3)(0.2)\cos 120^0} = 0.436 \text{ m}$$

A’nın hızı:

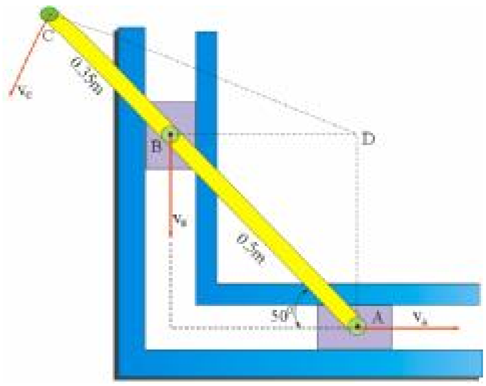
$v_A = wr \qquad v_A = (10)\overline{\mathrm{AC}} = 10(0.436) = 4.36\,\mathrm{m/s}$

ÖRNEK 3: Şekilde görülen çubuk A ve B sürgüleri ile kaymaktadır. Çubuğun açısal hızı saatin tersi yönünde θ=50^0 olduğu anda 3 rad/s ise C noktasının ve A noktasının hızını bulunuz.



ÇÖZÜM:

A, B ve C noktalarının teğetsel hızlarını çizerek bunların uzantılarını D noktasında birleştirelim.



$$\overline{CD}^2 = (0.85x\cos 50^0)^2 + (0.35x\sin 50^0)^2$$
$$\overline{CD} = \sqrt{0.298 + 0.071}$$
$$\overline{CD} = 0.607 \text{ m}$$

$v_C = \overline{CD}w$

v_C= 0.607 (3) = 1.821 m/s

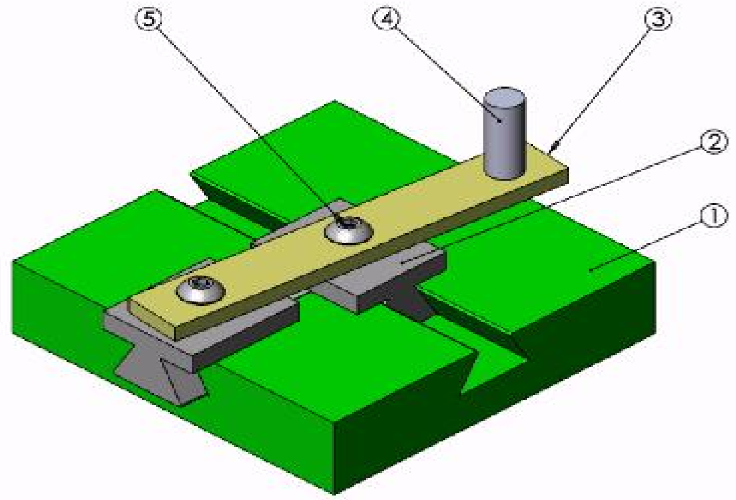
$v_A = \overline{CA}w$

$v_A = (0.5\sin 50^0)(3)$

$v_A = 1.14$ m/s

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda komple ve detay resimleri verilen dört kollu mekanizmayı imal ediniz. Öğrencilerin zümre halinde çalışmaları önerilir.

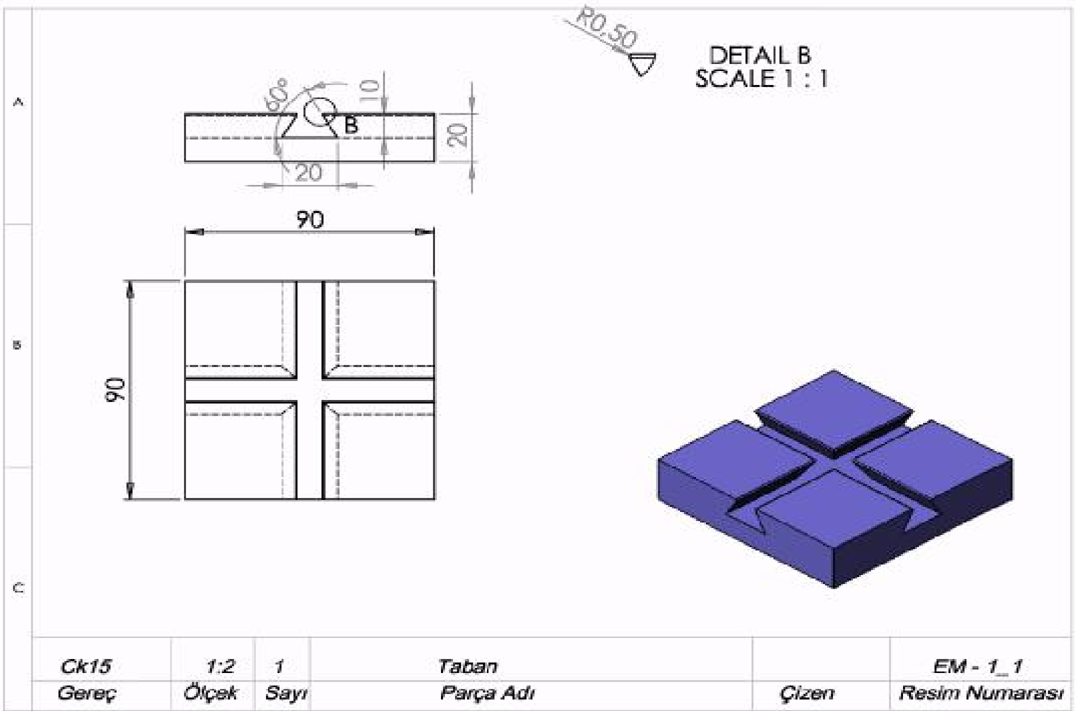


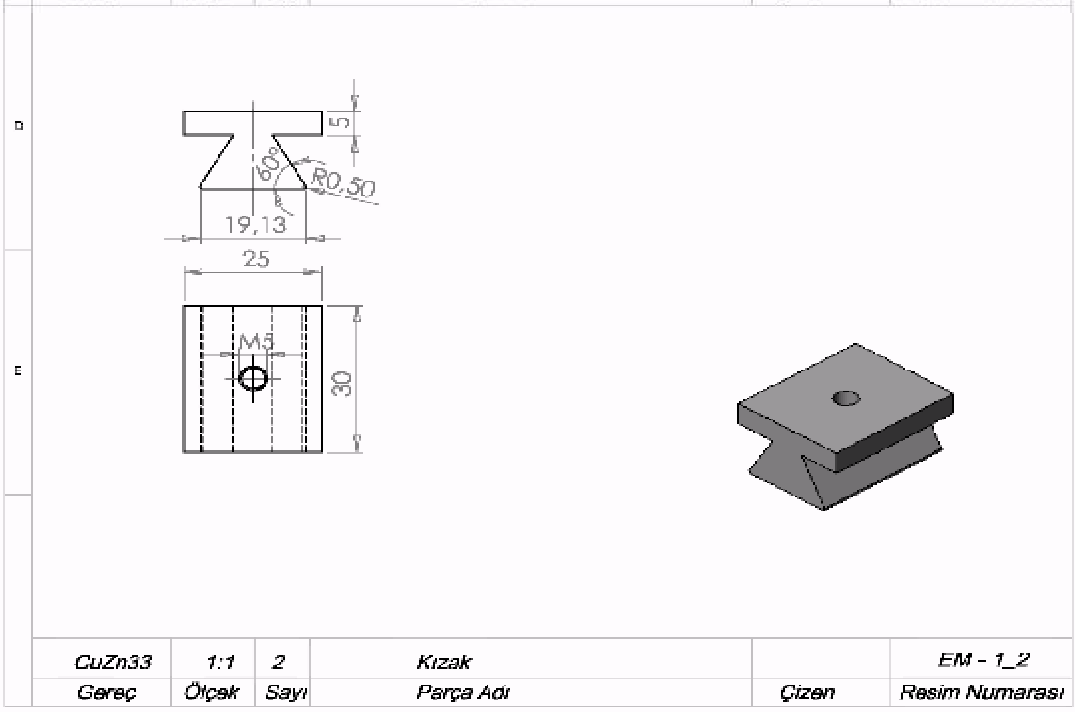
Sayı	Parça Adı	Resim No Standart No	Parça No	Gereç	Açıklamalar
6	Toplam Parça Sayısı				
1	Çevirme Kolu	EM - 1_5	5	Ck15	
1	Mercimek Başlı İmbus Civata M5x10	ISO 7380	4	Hazır	
1	İrtibat Kolu	EM - 1_3	3	Ck15	
2	Kızak	EM - 1_2	2	CuZn33	Sert tahta yada plastikten yapılabilir
1	Taban	EM - 1_1	1	DD26	Sert tahta yada plastikten yapılabilir

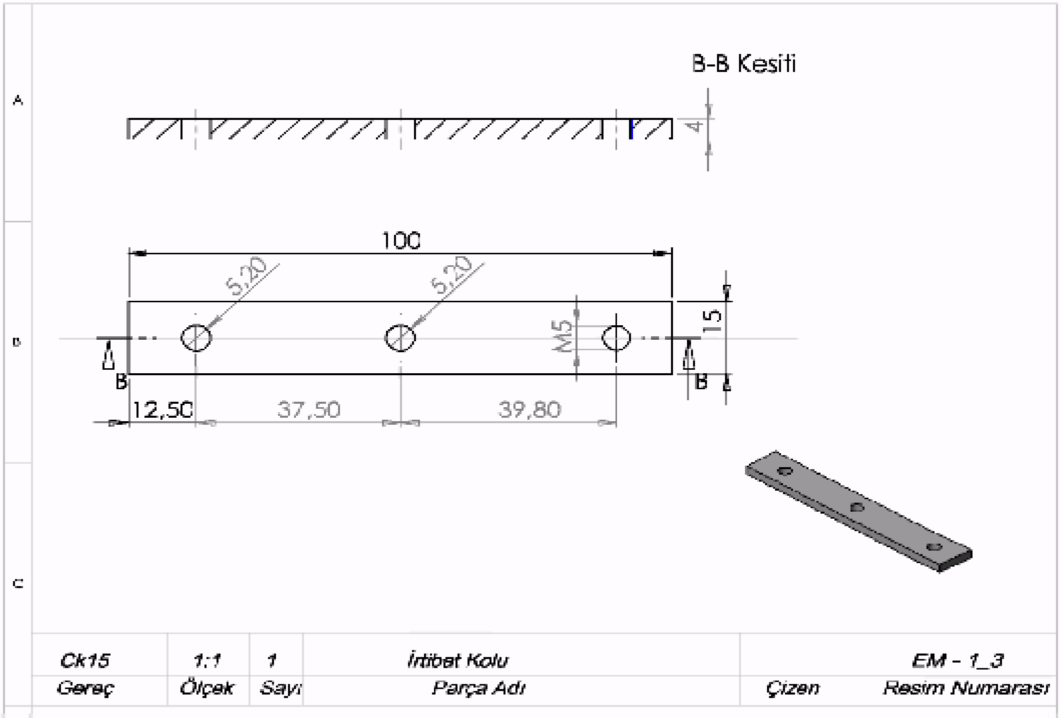
	Tarih	Adı	İmza	Sayı
Çizen				
Kontrol		Murat ÖZDEVECİ		
Stan.Kont.				

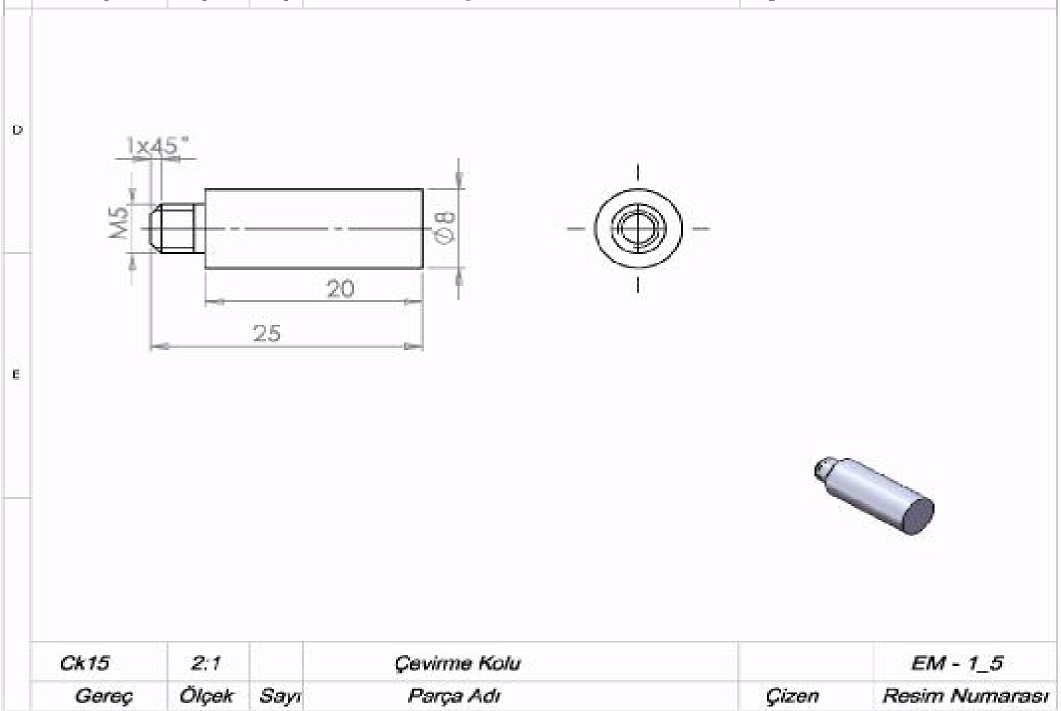
MAZHAR ZORLU ANADOLU TEKNİK ve PLASTİK ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ

Ölçek		Resim Numarası
1:2	ELİPS MEKANİZMASI	EM-1


R0,50
DETAIL B
SCALE 1 : 1
60°
10
B
20
20
90
90
Ck15
1:2
1
Taban
EM - 1_1
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası


5
60°
R0,50
19,13
25
M5
30
CuZn33
1:1
2
Kızak
EM - 1_2
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası

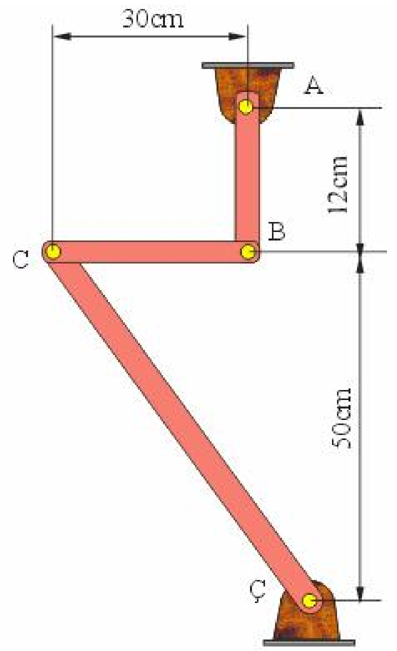

B-B Kesiti
4
100
5,20
5,20
M5
15
B
B
12,50
37,50
39,80
A
B
C
Ck15
1:1
1
İrtibat Kolu
EM - 1_3
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası


1x45°
M5
Ø8
20
25
D
E
Ck15
2:1
Çevirme Kolu
EM - 1_5
Gereç
Ölçek
Sayı
Parça Adı
Çizen
Resim Numarası

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki problemi çözünüz.

Şekilde gösterilen konumda AB çubuğu, saat yönünün tersi yönünde 3 rad/s ile dönmektedir. BC ve CÇ çubuklarının açısal hızlarını bulunuz.



MODÜL DEĞERLENDİRME

YETERLİK ÖLÇME

Modülde yaptığınız uygulamaları tekrar yapınız. Yaptığınız bu uygulamaları aşağıdaki tabloya göre değerlendiriniz.

AÇIKLAMA: Aşağıda listelenen kriterleri uyguladıysanız EVET sütununa, uygulamadıysanız HAYIR sütununa X işareti yazınız.		
Değerlendirme Ölçütleri	**Evet**	**Hayır**
Ø İşlemin hangi tür mekanizmaya ihtiyacı olduğunu kontrol ettiniz mi?		
Ø İşlem için mafsal mekanizmasına ihtiyaç durumunu kontrol ettiniz mi?		
Ø Zincir tertibatının işlem için faydalarına dikkat ettiniz mi?		
Ø Kam tertibat hesaplarını yapabildiniz mi?		
Ø Yapılacak iş kam hesaplarını doğru yapabildiniz mi?		
Ø Hesaplar sonucunda doğru kamı seçebildiniz mi?		
Ø İşlem için dişli tertibatı ihtiyacını kontrol ettiniz mi?		
Ø İşlemin nasıl bir hareket yönü izlediğini incelediniz mi?		
Ø Hareketin vektörel büyüklüğünü incelediniz mi?		
Ø Detay parçalarını teknik çizimlerine göre üretebildiniz mi?		
Ø Detay parçalarını montaj resmine göre montaj yapabildiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

‘’Hayır’’ cevaplarınız var ise ilgili uygulama faaliyetini tekrar ediniz. Cevaplarınızın tümü ‘’Evet’’ ise bir sonraki modüle geçebilirsiniz.

CEVAP ANAHTARLARI

Öğrenme Faaliyeti -1 Objektif Testler (Ölçme Soruları) Cevap Anahtarı

1	**C**
2	**A**
3	**B**
4	**D**
5	**B**

Öğrenme Faaliyeti -2 Objektif Testler (Ölçme Soruları) Cevap Anahtarı

1	(a) 40□ rad/s
	(b) 50□ rad/s
	(c) 10 dev/sn - 300 dev/dak
2	(a) 40□ m/s
	(b) 8□ m/s
	(c) □ m/s (d) 2 m/s
3	238 dev/dak
4	dev
5	vy=10,3 m/s □=94,5 rad/s2

Öğrenme Faaliyeti -3

ω_{BC}= 2.41 rad/s

$\omega_{CÇ=}$ 0,58 rad/s

MİNİ SÖZLÜK

- Anlık Hız Merkezi: Instantaneous Centre Of Rotation
- Döner Mafsal: Revolute Joint
- Prizmatik Mafsal: Prismatic Joint
- Silindirik Mafsal: Cylindric Joint
- Küresel Mafsal: Spherical Joint
- Eşli Düzlem: Plane Pair
- Eşli Dişli: Gear Pair
- Eşli Kam: Cam Pair
- Açısal Yerdeğiştirme: Angular Displacement
- Radyan: Radian
- Ortalama Açısal Hız: Average Angular Velocity
- Anlık Açısal Hız: Instantaneous Angular Velocity
- Ortalama Açısal İvme: Average Angular Acceleration
- Teğetsel Hız: Tangential Velocity
- Teğetsel İvme: Tangential Acceleration
- Düzgün Dairesel Hareket: Uniform Circular Motion
- Krank-Manivela Mekanizması: Double-Rocker Mechanism
- Çift-Krank Mekanizması: Double-Krank Mekanism
- Krank-Biyel Mekanizması: Crank-Rocker Mechanism
- Salınım Hareketi Yapan Mekanizmalar: Swinging Or Rocking Mechanism
- İleri-Geri Çalışan Mekanizmaları: Reciprocating Mechanism
- İndeksleme Mekanizmaları: Indexing Mechanism
- Tersine Hareket Üreten Mekanizmalar:Reversing Mechanism
- Düz-Çizgi Üreteci Mekanizmalar: Straight Line Generators
- Kaplinler : Couplings
- Kayıcı Mekanizmalar: Sliding Mechanism
- Durma Ve Bekleme Mekanizmaları: Stop-Dwell Ve Hesitation Mechansim
- Eğri Üreteçleri: Curve Generators
- Sıkma Ve Konumlama Mekanizmaları: Clamping And Location Mechanism
- Doğrusal Hareketlendirici Mekanizmalar: Line Actuators
- Maltese Cross: Malta Haçı

KAYNAKÇA

- J. Edward Shigley, J. Joseph Uicker, **Theory of Machines and Mechanism,** McGraw-Hill Inc., 1980.
- Beer & Johnston Mc Graw-Hill, **Vector Mechanics for Engineers; Dynamics,** 1977.
- Engineering Mechanics Dynamics 8th edition R. C. Hibbeler Pearson Education 1997.
- Lung-Wen Tsai, **Mechanism Design,** CRC Press, 2001.
- **Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing** Mikell P. Groover, Prentice Hall 2001
- J. L. Meriam, L. G. Kraige, John Wiley Inc., **Engineering Mechanics Dynamics,** Fourth Edition, 1999.
- E. Nelson, C. L. Best, W.G. McLean, **Theory and Problems of Engineering Mechanics Statics and Dynamics,** Schaum's Outline Series, Fifth Edition, 1998.
- Mustafa Bağcı, **Teknik Resim Cilt II,** Birsen Yayınevi, 1997.
- Ali Naci Bıçakçı- Mustafa Erkmen, **SolidWorks,** Pusula Yayıncılık,2006.
- İ. Zeki Şen- Nail Özçilinigir, **Makine Teknik Resmi II,** Litoo Matbası 1993.
- Derviş Düzgün, **Uygulanmış Makine Elemanları,** 2001.
- Eres Söylemez, **Mechanisms,** Middle East Technical University, 1985.
- http://www.me.unlv.edu/~mbt/320/Home_Work/Scotch_Yoke/Displacement.htm
- http://www.brockeng.com/mechanism/ScotchYoke.htm
- http://www.physics.queensu.ca/~morelli/phys225/lecture_problems/lecture_proble m s.html
- http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/circles/u6l1a.html
- http://www.phschool.com/science/cpsurf/mechanics/1_9lear.html
- http://cnx.org/content/similarity?b_start:int=10&objectId=m13837
- http://www.flying-pig.co.uk/mechanisms/pages/reciprocate.html
- http://www.dtonline.org/apps/infopage/app?3&6&1&0&1&0
- http://mekanizma.me.metu.edu.tr/ch2/2-3.htm
- http://me.queensu.ca/courses