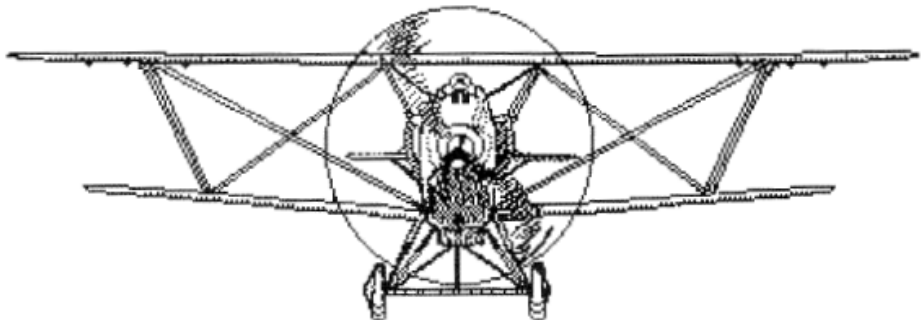
فصل ۳

آشنائی با انواع مکانیزمها



Chance favors the prepared mind
PASTEUR

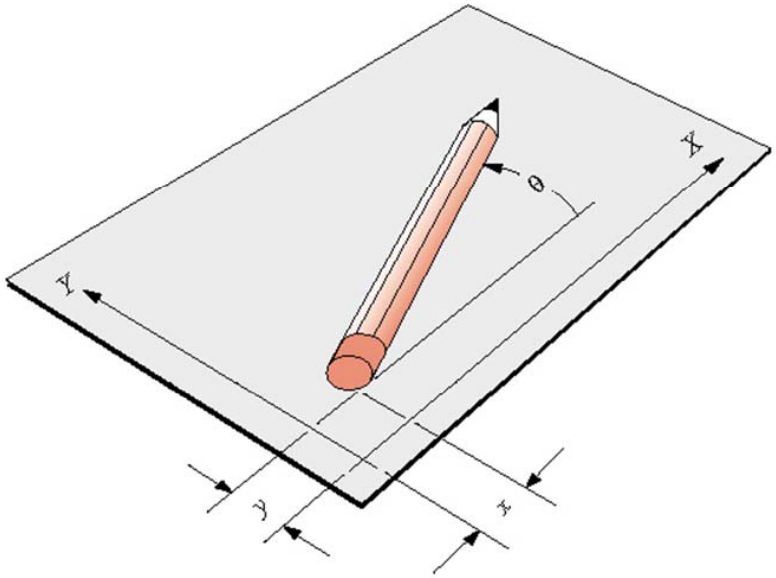
گروه مکانیک
دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- در این فصل مفاهیم اصلی مورد نیاز در تحلیل مکانیزمها بیان می گردد.
- درجه آزادی(DOF):
  - قابلیت حرکت (mobility) یک سیستم مکانیکی برحسب درجه آزادی طبقه بندی می شود.
  - درجه آزادی یک سیستم برابر با تعداد پارامترهای مستقل مورد نیاز برای تعیین موقعیت لحظه ای آن سیستم در فضا می باشد.
  - توجه نمایید که درجه آزادی نسبت به یک قاب مرجع بیان می گردد.

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

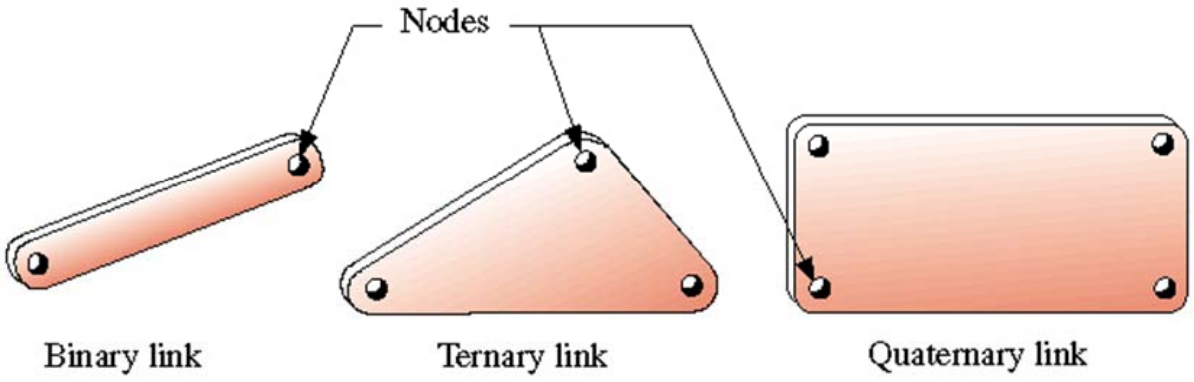
- تعداد درجات آزادی جسم صلب در صفحه
  - موقعیت یک نقطه (x,y)
  - زاویه یک راستای ثابت نسبت به جسم(θ)



- تعداد درجات آزادی جسم صلب درفضا
  - شش درجه آزادی
    - سه موقعیت (x,y,z)
    - سه زاویه (θ,Φ,ρ)

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- بازوها، اتصالات و زنجیره های سینماتیکی
  - **Linkage** از بازوها (**links**) و اتصالات (**joints**) تشکیل شده است.
  - **Linkage**ها بلوکهای سازنده انواع مکانیزمها می باشند.
  - تمامی مکانیزمهای متداول (بادامکها، چرخدنده ها، تسمه و زنجیر) در حقیقت در مقوله **Linkage**ها قرار می گیرند.
  - بازو (**link**) جسم صلبی بوده که حداقل دارای دو گره (**node**) باشد



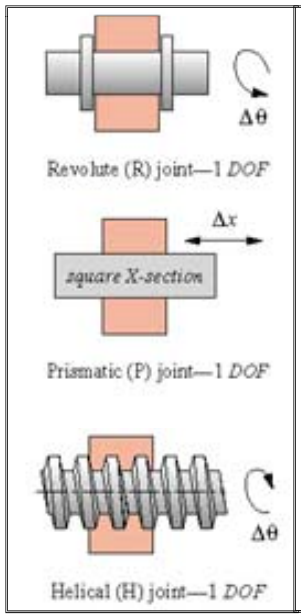
فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

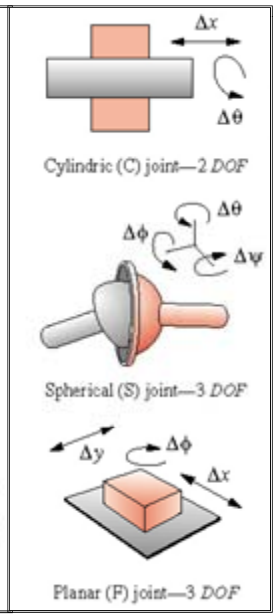
- اتصال (joint) امکان حرکت بین دو بازو را فراهم می کند.
- اتصال که جفت سینماتیکی (kinematic pair) نیز نامیده می شود، به صورت های مختلفی طبقه بندی می شود:
  - نوع تماس بین اجزاء: نقطه ای، خطی، یا سطحی
  - تعداد درجات آزادی امکان پذیر در اتصال
  - نوع محصور بودن(closure): قید نیروئی(force) یا قید شکلی(form)
  - تعداد بازوهای متصل شده که مرتبه(order) اتصال نامیده می شود.
- Lower and higher pairs
  - Lower pair: تماس در کل یک سطح
  - Higher pair: تماس در روی یک نقطه یا در امتداد یک خط

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- شش نوع اتصال (lower pair) ، درجه آزادی و نماد تک حرفی آن
- در مکانیزمهای صفحه ای تنها اتصالات (lower pair)
  - Revolute(R) و
  - Prismatic(P) قابل استفاده اند.

سایر اتصالات توسط این دو ساخته شده و در مکانیزمهای فضائی استفاده می شوند.





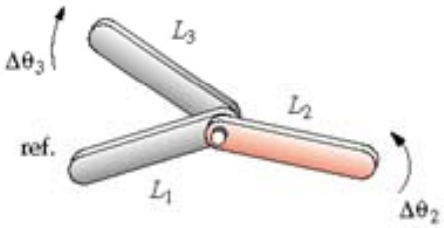
The Six Lower Pairs

Name (Symbol)	DOF	Cont-ains
Revolute (R)	1	R
Prismatic (P)	1	P
Helical (H)	1	RP
Cylindric (C)	2	RP
Spherical (S)	3	RRR
Planar (F)	3	RPP

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- روش مفیدتری برای طبقه بندی اتصالات بر حسب درجه آزادی می باشد.

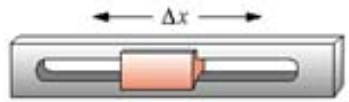
First order pin joint - one *DOF*
(two links joined)



Second order pin joint - two *DOF*
(three links joined)

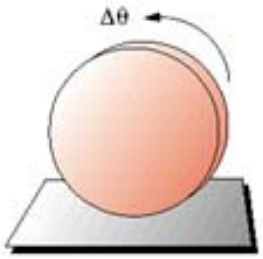
The order of a joint is one less than the number of links joined

Rotating full pin (R) joint (form closed)



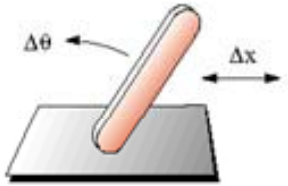
Translating full slider (P) joint (form closed)

Full joints - 1 *DOF* (lower pairs)

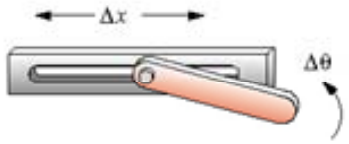


May roll, slide, or roll-slide, depending on friction

Planar pure-roll (R), pure-slide (P), or roll-slide (RP) joint - 1 or 2 *DOF* (higher pair)



Link against plane (force closed)



Pin in slot (form closed)

Roll-slide (half or RP) joints - 2 *DOF* (higher pairs)

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- نکاتی دیگر
  - اتصال با دو درجه آزادی، بطور همزمان امکان دو حرکت نسبی مستقل فراهم می کنند.
    - half joint ⟺ full joint
    - roll-slide
    - pure rolling joint
    - pure sliding joint
  - مرتبه اتصال
    - تعداد بازوهای متصل شده منهای یک واحد
  - **Crank**: بازوئی که دوران کامل دارد و به زمین پین شده است
  - **Coupler**: بازوئی که حرکت توام خطی-دورانی دارد و به زمین پین نشده است
  - **Ground**: زمین هر بازوئی که نسب به قاب اصلی ثابت شده باشد.

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- تعیین درجه آزادی (DOF) یا Mobility
  - جهت تحلیل مجموعه ای از بازوها و اتصالات که برای حل یک مسئله پیشنهاد شده است ابتدا باید درجه آزادی آن تعیین گردد.
  - DOF یا Mobility یک سیستم به صورت زیر نیز تعریف می گردد:
    - تعداد ورودیهای مورد نیاز برای ایجاد خروجی قابل پیش بینی
    - تعداد مختصات مستقل مورد نیاز برای تعیین موقعیت سیستم
  - درجه آزادی مکانیزمهای صفحه ای

$$M=3(L-1)-2J_1-3J_2$$ معادله Greubler

M= DOF or Mobility

L= تعداد بازوها

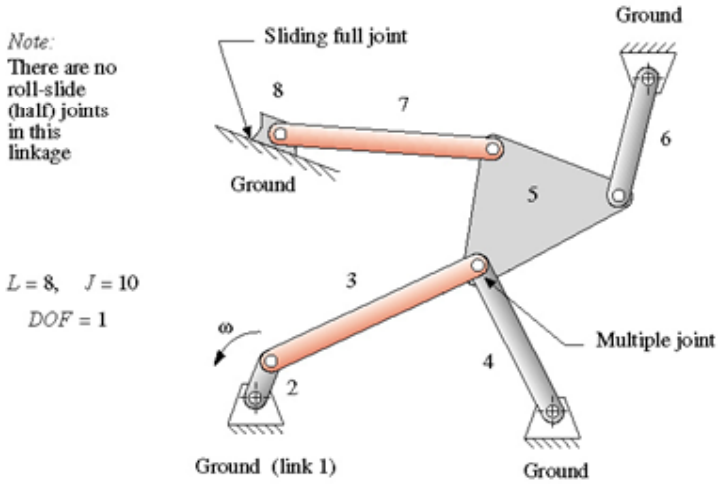
J_1= تعداد اتصالاتی که دو درجه آزادی می گیرند

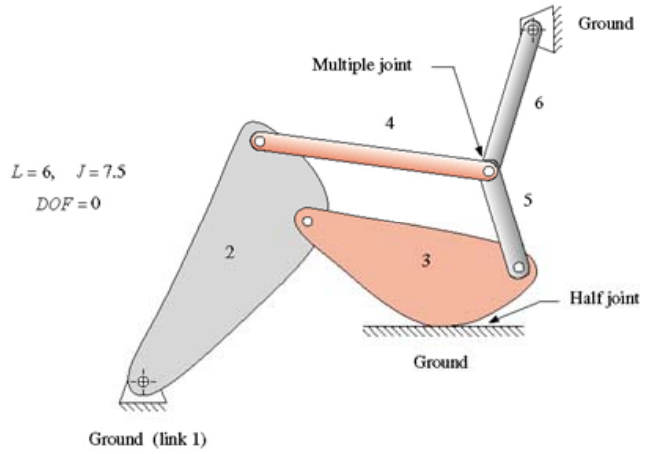
J_2= تعداد اتصالاتی که یک درجه آزادی می گیرند

❖صحت رابطه فوق را برای مکانیزم چهار میله و لغزنده-لنگ بررسی نمایید.

❖صحت رابطه فوق را اثبات نمایید؟

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها





انواع اتصالات در مکانیزم ها

اتصال کامل

اتصال چندگانه

اتصال half

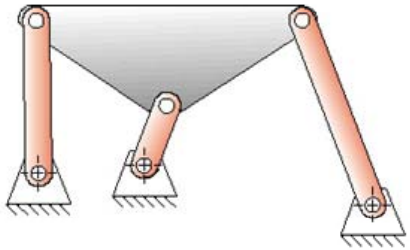
اتصال لغزشی- غلتشی

❖ توجه نمایید که در رابطه اطلاعاتی در مورد اندازه یا شکل داده نشده است.

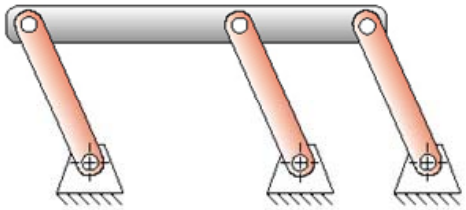
فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- پارادوکس
  - از آنجائیکه معادله **Greubler** در ارتباط با اندازه و شکل نیست، می تواند نتایج گمراه کننده ای در ترکیبهای هندسی یکسان داشته باشد به مثالهای زیر توجه نمایید.

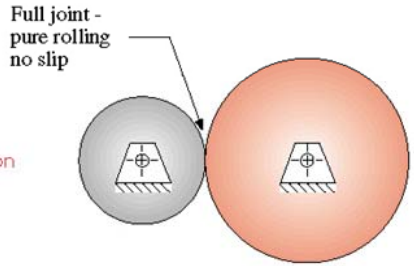
The E-quintet with *DOF* = 0
—agrees with Gruebler equation



The E-quintet with *DOF* = 1
—disagrees with Gruebler equation
due to unique geometry



Rolling cylinders with *DOF* = 1
—disagrees with Gruebler equation
which predicts *DOF* = 0



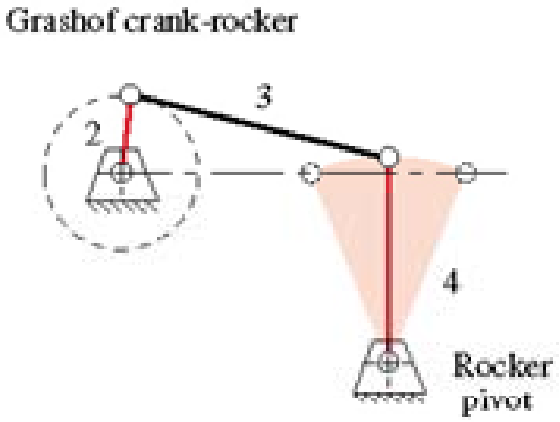
فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

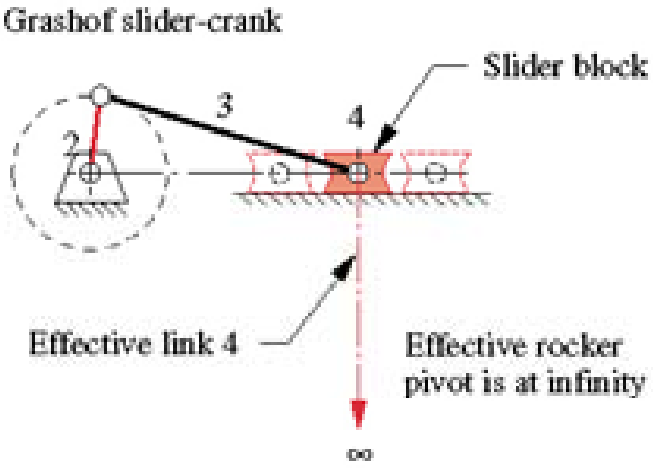
- تبدیل مکانیزمها (linkage transform)
  - قواعد تبدیل زنجیره های سینماتیکی صفحه ای

1) اتصال نوع R در یک حلقه را می توان با اتصال نوع P جایگذین کرد و تغییری در DOF مکانیزم بوجود نمی آید، البته به شرط اینکه حداقل دو اتصال نوع R در حلقه باقی بماند.
2) هر اتصال کامل را می توان با اتصال نیمه (half) جایگذین کرد. این تبدیل به DOF یک واحد اضافه می کند.
3) حذف یک بازو از DOF یک واحد کم می کند.
4) ترکیب قواعد ۲ و ۳
5) می توان یک گره از تعداد گره های عضو ternary یا بالاتر را حذف نمود و یک اتصال چندگانه ایجاد کرد. این عمل درجه آزادی را تغییر نمی دهد.
6) در صورتی که یک عضو چند گرهی کاملا حذف گردد و یک اتصال چندگانه ایجاد شود، از DOF یک واحد کاسته می شود.

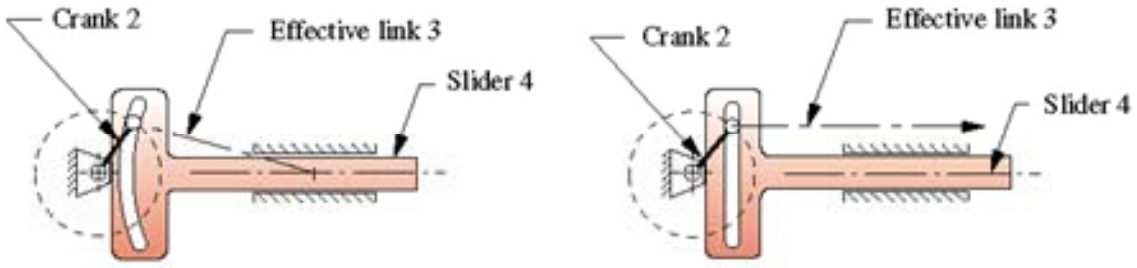
فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- **کاربرد قاعده ۱**
  - تبدیل مکانیزم چهارمیله crank-rocker به یک لغزنده-لنگ slider-crank
  - بازوی ۴ تبدیل به یک بلوک لغزنده
  - در واقع این تبدیل معادل با افزایش طول rocker به حدی است که حرکت اتصال بین بازو ۳ و ۴ از دایره ای به خطی تبدیل شود.
  - بنابر این لغزنده معادل با یک rocker با طول بسیار بلند است که در راستای عمود بر لغزش در بینهایت پین شده است.

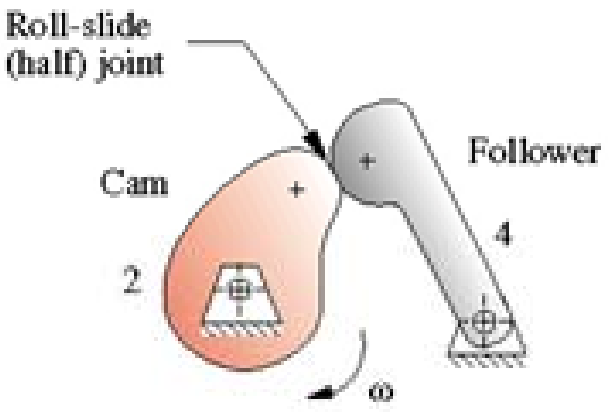


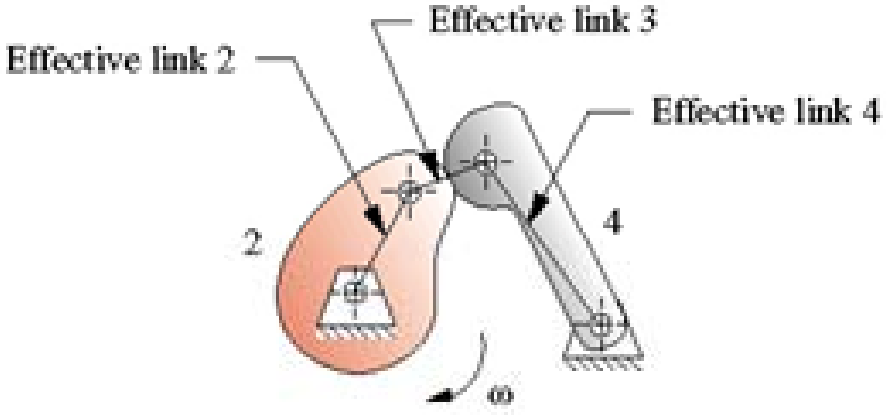


- **کاربرد قاعده ۴**
  - جایگذینی coupler با یک half joint
  - **حالت اول**: حرکت لغزنده یکسان باقی بماند، عضو ۳ مجازی عمود بر مماس شیار است و همیشه درموقعیت coupler اولیه قرار گرفته است.
  - **حالت دوم**: شیار مستقیم و عمود بر راستای لغزش است. عضو ۳ مجازی در بینهایت پین شده است(Scotch Yoke).



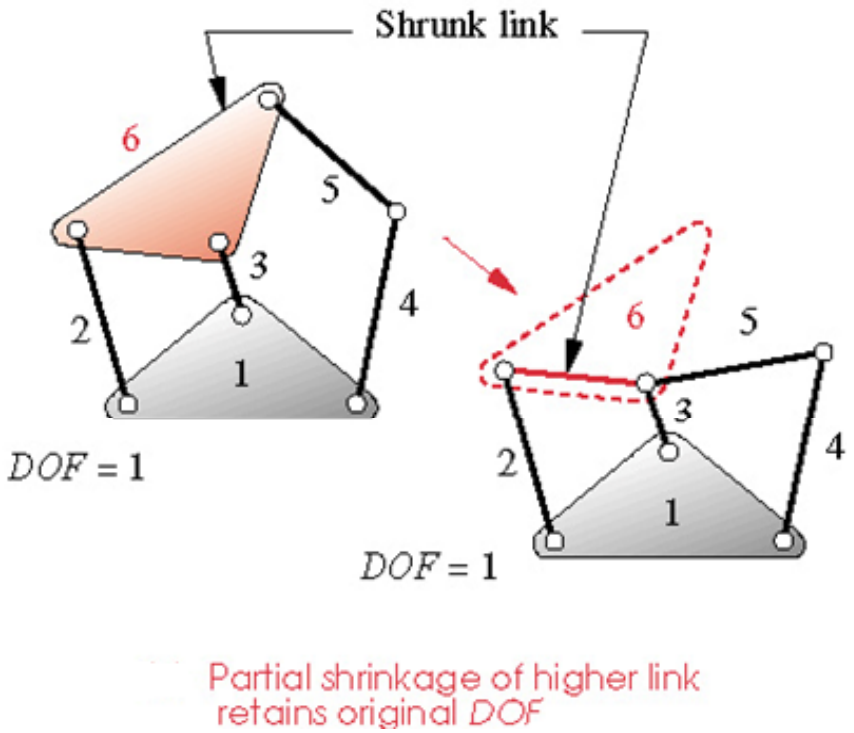
- **کاربرد قاعده ۴**
  - تبدیل مکانیزم چهار میله به بادامک-پیرو، بازو ۳ حذف شده و یا joint half بین بازوهای ۲ و ۴ قرارگرفته و مکانیزم جدید یک DOF دارد.
  - در واقع بادامک-پیرو معادل مکانیزم یک چهار میله است که coupler مجازی آن طول متغیر دارد.





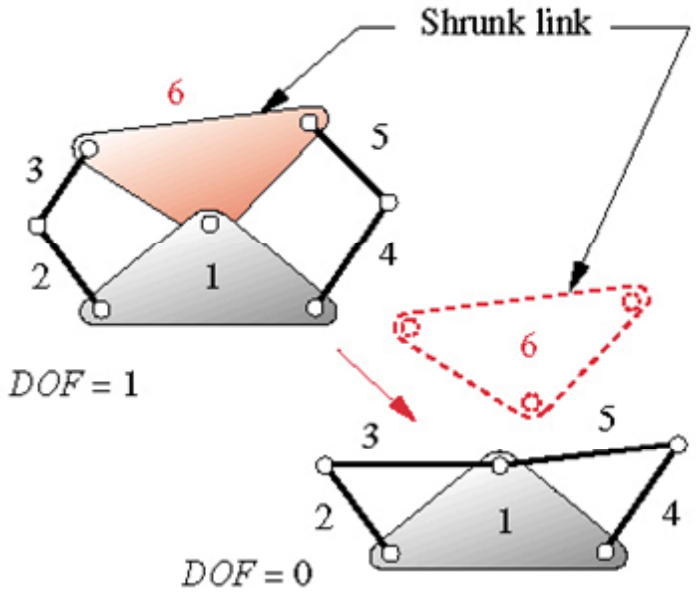
- Stephenson's six-bar chain
  - با استفاده از قاعده ۵، بازو ۶ حذف شده و یک اتصال چندگانه ایجاد شده است و مکانیزم هنوز یک درجه آزادی دارد.

Stephen's six-bar chain



- Watt's six-bar chain
  - یک بازو چند گرهی کاملا حذف شده و یک اتصال چند گرهی ایجاد شده است(قاعده ۶). در نتیجه از DOF یک واحد کاسته شده است.

Watt's six-bar chain



فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

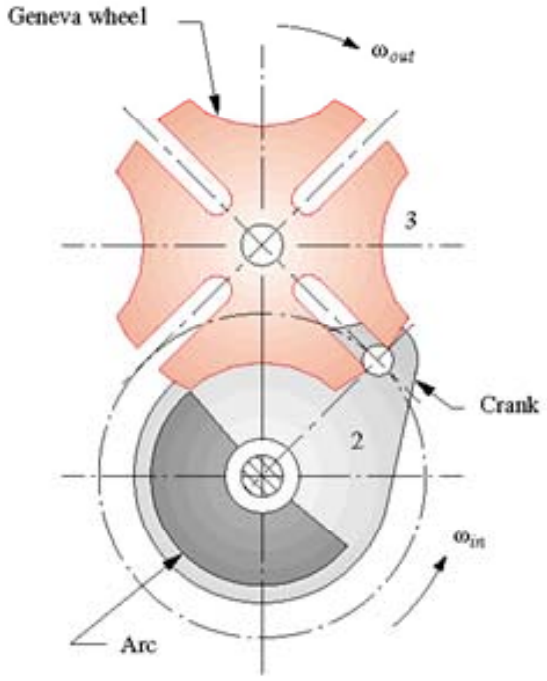
- حرکت منقطع (Intermittent Motion)
  - یک سری حرکت و توقف

Dwell → a period in which output link remains stationary while input link continues to move

در خیلی از کاربردها حرکت منقطع مورد نیاز است. به عنوان مثال می توان به مکانیزم بادامک- پیرو اشاره کرد که در فصل ۸ طراحی بادامک ها بررسی خواهد شد.

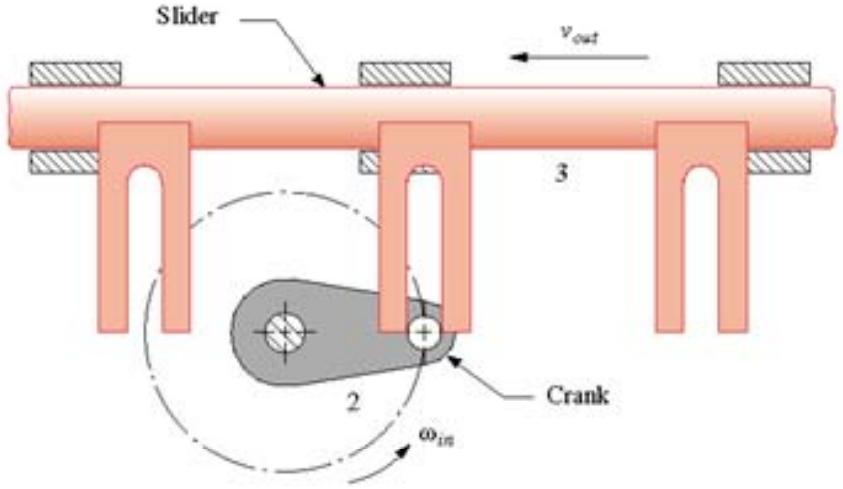
- Geneva Mechanism

– ورودی معمولا توسط یک موتور با سرعت دورانی ثابت تامین می شود.



Four-stop Geneva mechanism

دورانی

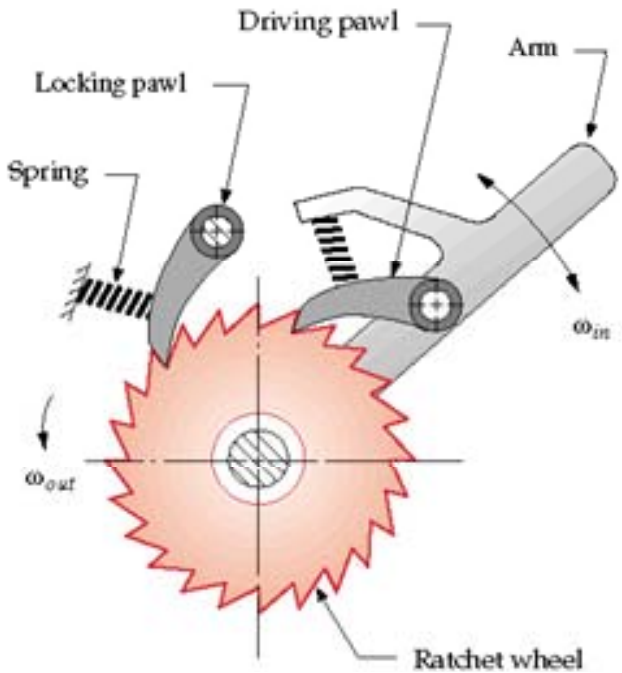


Linear intermittent motion "Geneva" mechanism

خطی

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- Ratchet and Pawl
  - Arm حول مرکز Ratchet Wheel پین شده است و حرکت نوسانی می تواند داشته باشد.
  - Pawl محرک Ratchet Wheel را در جهت خلاف عقربه های ساعت به حرکت در آورده و در جهت دیگر مکانیزم قفل است.
  - Locking Pawl از حرکت در جهت عکس جلوگیری می کند.
  - این مکانیزم در موارد ذیل استفاده می شود:
    - آچار جغجغه
    - وینچ
    - سنگ تخت



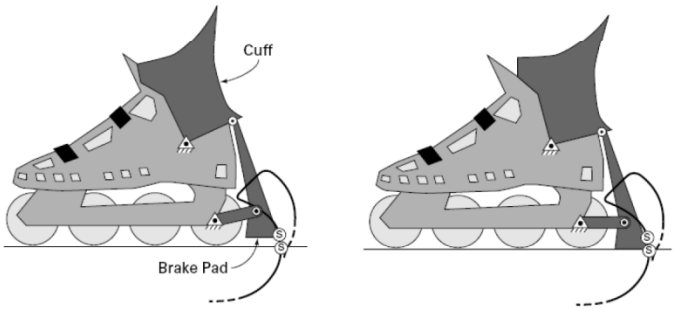
Ratchet and pawl mechanism

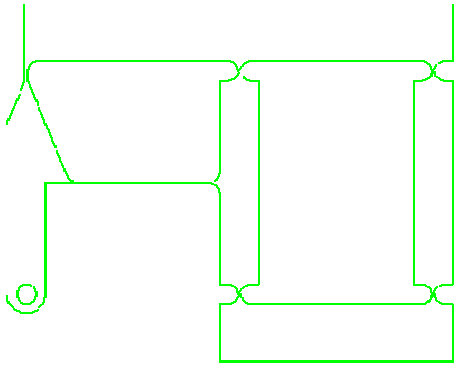
- شرط Grashof
  - مکانیزم چهار میله
    - ساده ترین مکانیزم تک درجه آزادی با اتصال پین می باشد.
    - معادلهای متعددی دارد: لغزنده لنگ، بادامک پیرو و ..
    - متداولترین مکانیزم در ماشینهاست
    - انواع حرکات مورد نظر را می تواند تولید کند.

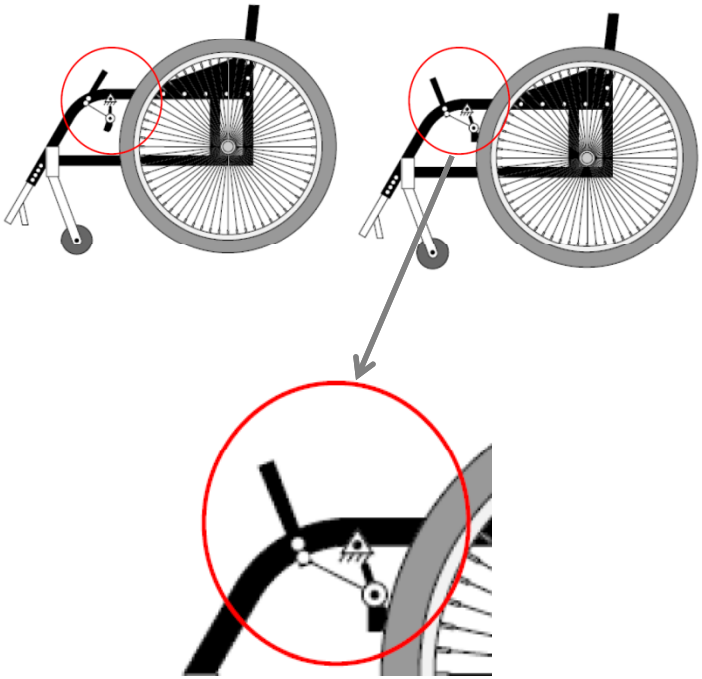
Simplicity is one mark of good design

Among the first solution to motion control problems

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها







فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

- شرط Grashof رابطه بسیار ساده ای که رفتار دورانی (rotate-ability) مکانیزم چهار میله را پیش بینی می کند.

S = طول کوتاهترین بازو
L = طول بلندترین بازو
P = طول بازوی دیگر
Q = طول بازوی باقیمانده

اگر $S+L <= P+Q$

مکانیزم Grashof نامیده شده و حداقل یک بازو دوران کامل نسبت به زمین دارد.
به آن زنجیره سینماتیکی class I نیز اطلاق می شود.

اگر $P+Q > S+L$

مکانیزم Non-Grashof نامیده شده و هیچ بازوئی دوران کامل نسبت به سایر بازوها ندارد.
به آن زنجیره سینماتیکی class II اطلاق می شود.

توجه نمایید که قضایاء فوق بدون در نظر گرفتن ترتیب بازوها در مکانیزم است.

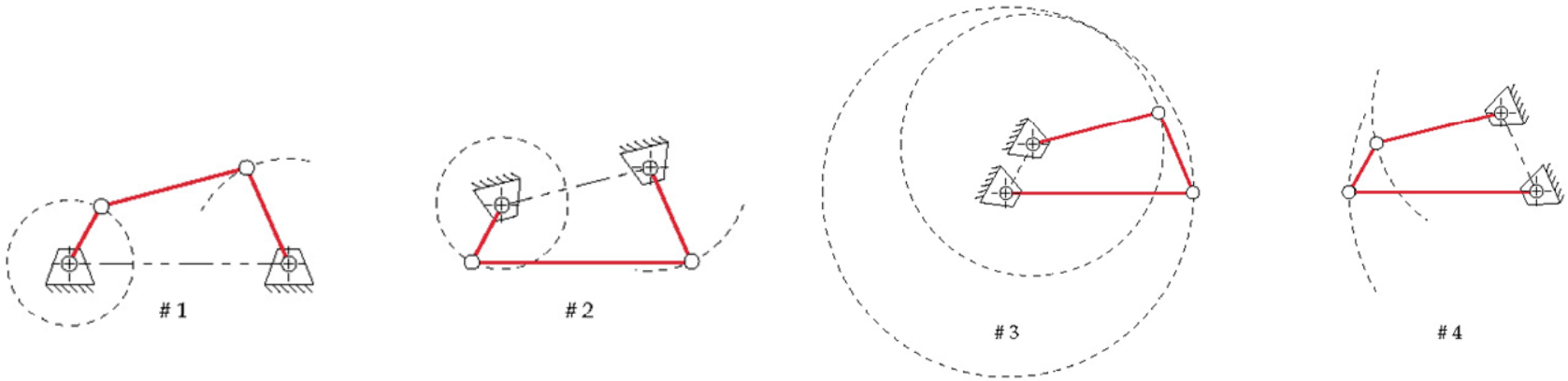
حرکت چهار میله بستگی به شرط Grashof و معکوس(inversion) انتخاب شده دارد که معمولا نسبت به کوتاه ترین بازو تعریف می شود.

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

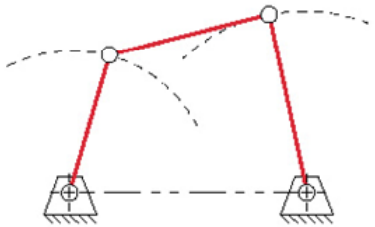
- حالت Class I و S+L<P+Q
  - بازوی ثابت مجاور کوتاه ترین بازوست، در این حالت کوتاه ترین بازو دوران کامل داشته و بازوی دیگر که به زمین پین شده نوسان دارد.
  - زمین کوتاه ترین بازوست، چهار میله double-crank است. دو بازو پین شده به زمین دوران کامل داشته

❖ در این حالت حرکت coupler چگونه است؟

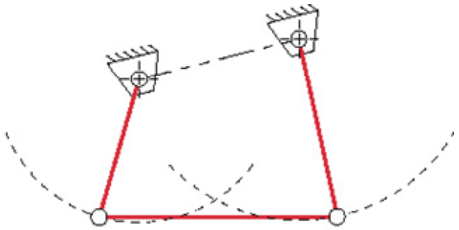
  - زمین مقابل کوتاهترین بازو قرار گیرد، یک Grashof double-rocker ایجاد می شود. دو بازوی پین شده به زمین نوسان داشته و تنها بازو coupler دوران کامل دارد.



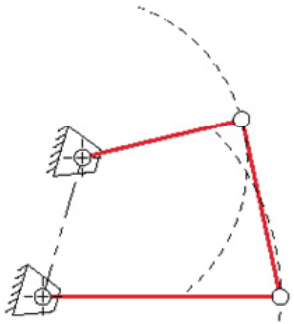
- حالت Class II و S+L>P+Q
  - همه معکوسها Triple Rocker خواهند بود و هیچ بازوئی دوران کامل نخواهد داشت.



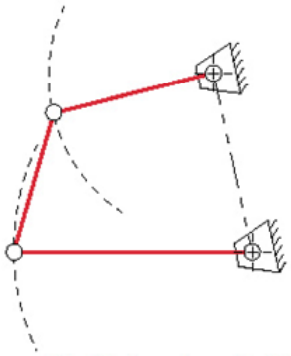
Triple-rocker #1 (RRR1)



Triple-rocker #2 (RRR2)



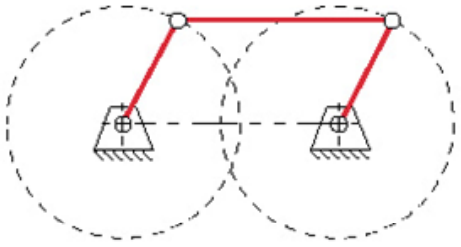
Triple-rocker #3 (RRR3)



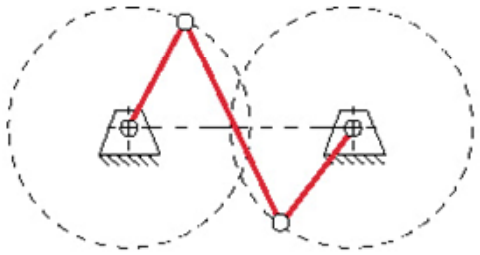
Triple-rocker #4 (RRR4)

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

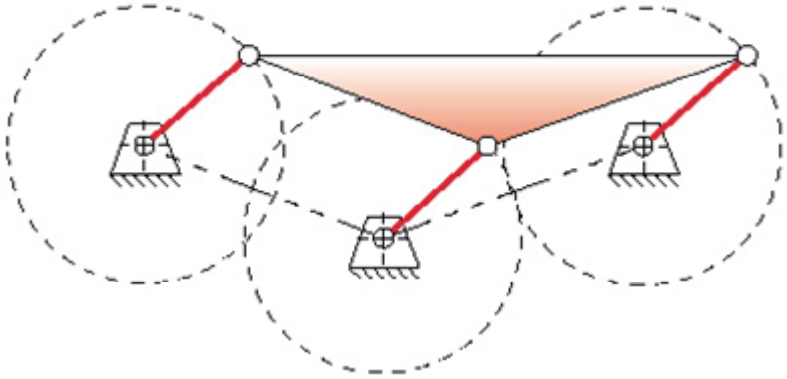
- حالت Class III و S+L=P+Q
  - که به آن زنجیره سینماتیکی special-case Grashof یا Class III گفته می شود.
  - تمام معکوسها double-cranks یا crank-rockers بوده و دارای دو نقطه تبدیل در یک دوران می باشند، وقتی که بازوها همراستا می شوند.
  - در این نقطه رفتار خروجی غیرقابل پیش بینی است.



Parallelogram form



Antiparallelogram form



Double-parallelogram linkage gives parallel motion (pure curvilinear translation) to coupler and also carries through the change points

- طبقه بندی مکانیزمهای چهار میله
  - روش طبقه بندی برای پیش بینی نوع حرکت ماکنیزم چهارمیله بر مبنای مقدادیر نسبت بازوها توسط آقای Barker پیشنهاد شده است.
  - حرکت دورانی چهارمیله مستقل از مقادیر مطلق طول بازوها می باشد. لذا می توان طول بازوها را به طول بازو دوم تقسیم کرد و نسبتهای بدون بعد نرمال شده بدست آورد:

$$\lambda_1=r_1/r_2 \quad \lambda_3=r_3/r_2 \quad \lambda_4=r_4/r_2$$

  - برحسب نوع حرکت بازو به آن حرفی اطلاق می گردد:

C = crank
R = rocker
G = Grashof
S = special case Grashof

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

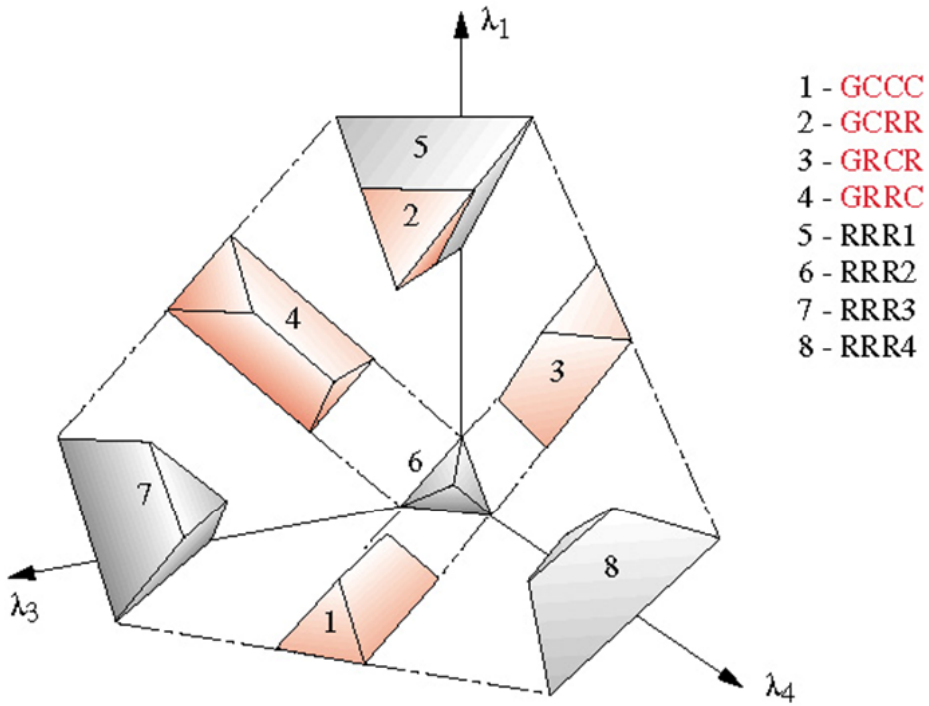
Barker's Complete Classification of Planar Fourbar Mechanisms

Adapted from ref. (10). s = shortest link, l = longest link, Gxxx = Grashof, RRRx = non-Grashof, Sxx = Special case

Type	$s + l$ vs. $p + q$	Inversion	Class	Barker's Designation	Code	Also Known As
1	<	$L_1 = s$ = ground	I-1	Grashof crank-crank-crank	GCCC	double-crank
2	<	$L_2 = s$ = input	I-2	Grashof crank-rocker-rocker	GCRR	crank-rocker
3	<	$L_3 = s$ = coupler	I-3	Grashof rocker-crank-rocker	GRCR	double-rocker
4	<	$L_4 = s$ = output	I-4	Grashof rocker-rocker-crank	GRRC	rocker-crank
5	>	$L_1 = l$ = ground	II-1	Class 1 rocker-rocker-rocker	RRR1	triple-rocker
6	>	$L_2 = l$ = input	II-2	Class 2 rocker-rocker-rocker	RRR2	triple-rocker
7	>	$L_3 = l$ = coupler	II-3	Class 3 rocker-rocker-rocker	RRR3	triple-rocker
8	>	$L_4 = l$ = output	II-4	Class 4 rocker-rocker-rocker	RRR4	triple-rocker
9	=	$L_1 = s$ = ground	III-1	change point crank-crank-crank	SCCC	SC* double -crank
10	=	$L_2 = s$ = input	III-2	change point crank-rocker-rocker	SCRR	SC crank-rocker
11	=	$L_3 = s$ = coupler	III-3	change point rocker-crank-rocker	SRCR	SC double-rocker
12	=	$L_4 = s$ = output	III-4	change point rocker-rocker-crank	SRRC	SC rocker-crank
13	=	two equal pairs	III-5	double change point	S2X	parallelogram or deltoid
14	=	$L_1 = L_2 = L_3 = L_4$	III-6	triple change point	S3X	square

* SC = special case.

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها



Barker's solution space for the fourbar linkage

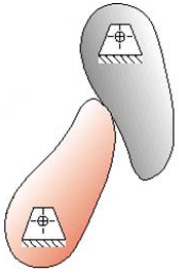
- تمرینات و مسائل فصل ۳

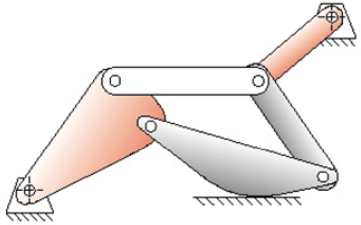
1) تعداد درجات آزادی مفاصل زیر را با رسم شکل بیان نمایید.
   a) Knee زانو
   b) Ankle آرنج
   c) Shoulder شانه

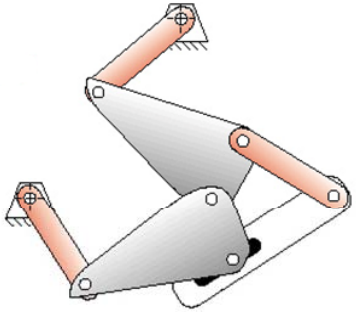
2) ابتدا سه نوع از وسایل متداول زیر را پیدا کرده سپس دیاگرام سینماتیکی آنها را رسم نموده و تعداد درجات آزادی را بیان نمایید.
   a) Automobile hood hinge mechanism
   b) Folding ironing board

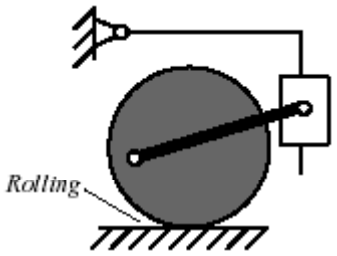
فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

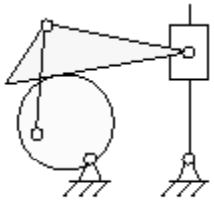
۳) درجه آزادی مکانیزمهای نشان داده شده را بدست آورید:

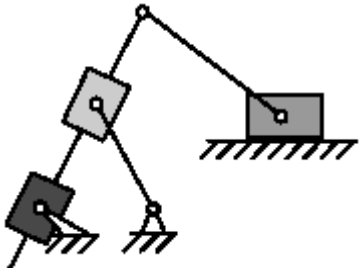


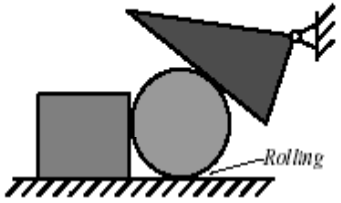












امتحان میان ترم /۸۲/۹/۹

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها

فصل ۳ آشنائی با انواع مکانیزمها