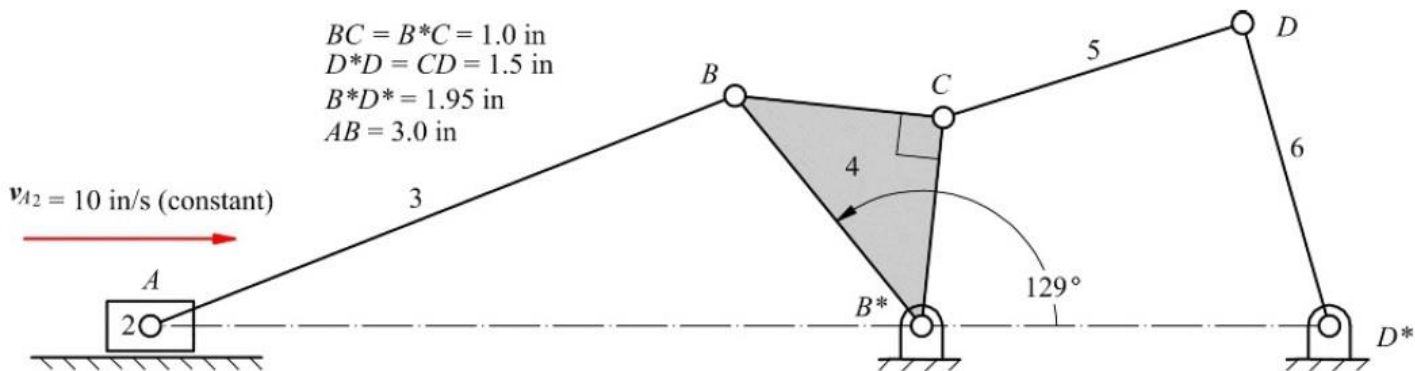


پ.ن: مکانیزم مورد نظر از **ویرایش دوم** کتاب والدرون انتخاب شده است با توجه به دلیلی که در ادامه مطلب گفته خواهد شد این مکانیزم با نسخه اصلاح شده موجود در **ویرایش سوم** جایگزین گردید.



فهرست مطالب:

- ۱- مکانیزم‌های **Quick Return**
- ۲- آنچه خواهیم داشت.
- ۳- آنالیز ترسیمی سینماتیک مکانیزم
- ۴- آنالیز تحلیلی سینماتیک مکانیزم
- ۵- تحلیل استاتیکی نیروها
- ۶- تحلیل دینامیکی نیروها (بدون اصطکاک)
- ۷- آنالیز ترسیمی سینماتیک به وسیله نرم افزار
- ۸- تحلیل دینامیکی نیروها با نرم افزار
- ۹- تحلیل با در نظر گرفتن اصطکاک
- ۱۰- متوازن سازی

۱- مکانیزم‌های Quick Return

مکانیزم مدنظر از نوع مکانیزم‌های **برگشت سریع** است، از این مکانیزم‌ها برای برقراری حرکت رفت و برگشتی - هنگامی که ضربه فقط در یک جهت مورد نیاز است - استفاده می‌شود. این مکانیزم‌ها حداقل از سه لینک ساده و یک لغزنده تشکیل می‌شوند، لغزنده با سرعت ثابت حرکت کرده و هنگام برگشت شتابی به دلیل تغییر جهت حرکت پیدا کرده و سپس با سرعت ثابت اولیه به مسیر خود ادامه می‌دهد، از مکانیزم‌های برگشت سریع در دستگاه‌های تراش، محرک‌های مکانیکی و برخی اره‌ها استفاده می‌شود. (دلیل اصلی تعویض مکانیزم، دوران کامل لینک ۴ در مکانیزم جایگزین شده است چون معمولاً در مکانیزم‌های برگشت سریع یکی از لینک‌ها باید دوران کامل داشته باشد).

۲- آنچه خواهیم داشت.

الف) آنالیز ترسیمی:

در نبود کامپیوتر اولین روش برای آنالیز سینماتیک مکانیزم‌ها روش ترسیمی بود، این روش سنتی حتی با وجود کامپیوترها نیز وجهه خود را از دست نداد و هم‌چنان به عنوان یکی از معتبرترین روش‌های آنالیز به کار می‌رود. برای آنالیز سینماتیک مکانیزم به روش ترسیمی لازم است به ترتیب تحلیل موقعیت، تحلیل سرعت و تحلیل شتاب را انجام دهیم، ابعاد مورد نیاز برای تحلیل موقعیت در عکس صفحه قبل موجود است برای تحلیل سرعت و شتاب نیز می‌دانیم لغزنده در موقعیت داده شده با سرعت ثابت خطی ۱۰ متر بر ثانیه به سمت راست حرکت می‌کند.

ب) آنالیز تحلیلی:

علاوه بر روش ترسیمی، روش تحلیلی نیز برای بررسی سینماتیک مکانیزم علی‌الخصوص در کامپیوترها به کار می‌رود، اساس این روش استفاده از قیود هندسی و مشتقات آن برای تحلیل موقعیت، سرعت و شتاب مکانیزم است به طوری که برای یک نقطه دو مسیر متفاوت متشکل از لینک‌ها در نظر گرفته می‌شود و با حل معادلات حاصل مجهولات یافت می‌شوند در مکانیزم مذکور ابتدا برای لینک ۴ تحلیل موقعیت را انجام می‌دهیم و سپس لنگ و لغزنده سمت چپ و چهار میله‌ای سمت راست هنگام تحلیل سرعت و شتاب از لنگ و لغزنده سمت چپ تحلیل را شروع می‌کنیم.

ج) تحلیل نیرویی:

کاملاً بدیهی است وجود مکانیزم‌ها باعث به وجود آمدن یک سری نیرو در مفاصل و لینک‌ها می‌گردد دانستن این مقادیر برای بررسی تنش‌های وارد بر لینک و مفصل و پیش‌بینی شکست قطعه و انتخاب جنس مناسب برای لینک‌ها و مفاصل بسیار مهم است، به طور کلی برای تحلیل نیروهای به وجود آمده دو رویکرد اتخاذ می‌شوند:

۱- استاتیکی:

اگر سرعت مکانیزم به قدری کم باشد که بتوان از اثر نیروها و ممان‌های اینرسی صرف‌نظر کرد می‌توان تحلیل استاتیکی را با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی و استفاده از قوانین دوم و سوم نیوتون انجام داد، بدین منظور در مکانیزم مذکور گشتاور لازم اعمالی به لینک ۶ برای تعادل در صورت اعمال نیروی ۱۰۰۰ پوندی به لغزنده را بررسی کرده و نیروی وارد بر مفاصل را پیدا می‌کنیم. (بدین منظور از قاعده عضو دونیروبی و سه نیرویی و تحلیل موقعیت مکانیزم استفاده می‌کنیم).

۲- دینامیکی:

هنگامی که نمی‌توان از سرعت لینک‌ها صرف‌نظر کرد از تحلیل دینامیکی و قوانین نیوتون-اوایلر همراه اصل دالامبر استفاده می‌شود، طبق این دو قاعده نیروی اینرسی در خلاف جهت شتاب لینک مورد نظر و ممان اینرسی را در خلاف جهت شتاب زاویه‌ای اعمال کرده و مجدد تعادل استاتیکی را بررسی می‌کنیم، بدین منظور در مکانیزم موردنظر نیروی لازم برای اعمال در لغزنده جهت ثابت ماندن شتاب لغزنده در حین حرکت را محاسبه می‌کنیم.

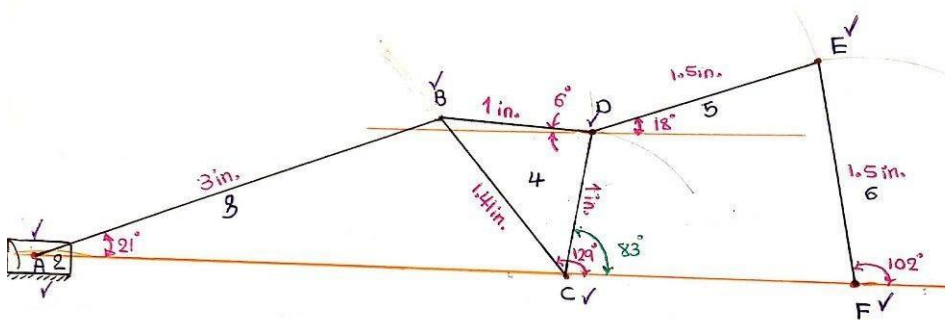
(د) توازن دینامیکی و استاتیکی:

بسیاری از مکانیزم‌ها هنگام کار در سرعت‌های دورانی و خطی بالا به سبب وجود نیروهای لرزشی دچار ارتعاش می‌شوند، در مکانیزم‌ها این نیروهای لرزشی، نیروهای اینرسی و ممان‌های اینرسی در نظر گرفته می‌شوند. این نیروهای لرزشی هرچه کمتر باشند سیستم متوازن‌تر است. بدین منظور جهت عدم دخالت در سینماتیک مکانیزم، جرم و اینرسی مکانیزم را با اضافه کردن جرم و تغییر مکان مرکز جرم و نزدیک کردن آن به نقطه شتاب صفر نیروهای لرزشی را کاهش می‌دهند، برای مکانیزم مذکور با استفاده از معادلات موجود در کتاب والدرون میزان جرم لازم برای بالانس کردن مکانیزم را محاسبه می‌کنیم.

۳- آنالیز ترسیمی سینماتیک مکانیزم

تحلیل موقعیت:

ابتدا موقعیت نقطه C را به عنوان مبدأ در نظر می‌گیریم، به کمک نیم خط ۱۲۹ و طول BC $(\sqrt{1^2 + 1^2} = 1.41)$ موقعیت نقطه B معلوم می‌شود، از نقطه C گمانی به شعاع CO و از نقطه B گمانی به شعاع BD می‌زنیم، از تلاقی این دو گمانی موقعیت نقطه D معلوم می‌شود، نقطه F را به کمک راستای افق و طول CF معلوم می‌کنیم، از نقطه F گمانی به شعاع FE و از نقطه D گمانی به شعاع DE می‌زنیم، از تلاقی این دو گمانی نقطه E حاصل می‌شود و در نهایت گمانی از نقطه B به شعاع AB می‌زنیم از تلاقی این گمان با راستای افق نقطه A حاصل می‌شود.



تحلیل موقعیت:

محاسبه درجه آزادی با مفصل
 $n = 6, j = 7, \sum f_i = 7$

محاسبه درجه آزادی:

$$\text{Mobility of Mechanism} = 3(n - j - 1) + \sum f_i = 3(6 - 7 - 1) + 7$$

$$= 3(-2) + 7$$

$$= 1$$

و این یعنی با داشتن مسعصه یکی از لینک‌ها می‌توان تحلیل سینماتیکی را برای کل مکانیزم انجام داد، با توجه به ورودی مساله جواب قابل انتظار بود.

تحليل دسایب :

$$a_A = a_C = a_F = 0$$

$$\begin{cases} \bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{B/A} + \bar{a}_{B/A} \\ \bar{a}_B = \bar{a}_C + \bar{a}_{B/C} + \bar{a}_{B/C} \end{cases}$$

$$a_A + a_{B/A} + a_{B/A} = a_C + a_{B/C} + a_{B/C}$$

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{B/A}$ مختار $r_{B/C}$ مختار $r_{B/A}$ مختار $r_{B/C}$

$$\begin{cases} \bar{a}_D = \bar{a}_B + \bar{a}_{D/B} + \bar{a}_{D/B} \\ \bar{a}_D = \bar{a}_C + \bar{a}_{D/C} + \bar{a}_{D/C} \end{cases}$$

$$a_B + a_{D/B} + a_{D/B} = a_C + a_{D/C} + a_{D/C}$$

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{D/B}$ مختار $r_{D/C}$ مختار $r_{D/B}$ مختار $r_{D/C}$

$$\begin{cases} \bar{a}_E = \bar{a}_D + \bar{a}_{E/D} + \bar{a}_{E/D} \\ \bar{a}_E = \bar{a}_F + \bar{a}_{E/F} + \bar{a}_{E/F} \end{cases}$$

$$a_D + a_{E/D} + a_{E/D} = a_F + a_{E/F} + a_{E/F}$$

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{E/D}$ مختار $r_{E/F}$ مختار $r_{E/D}$ مختار $r_{E/F}$

$$r_{B/A} = (\omega_3)^2 * (r_{B/A}) = 14.78$$

$$r_{B/C} = (\omega_4)^2 * (r_{B/C}) = 69.88$$

$$r_{D/B} = (\omega_4)^2 * (r_{D/B}) = 49.56$$

$$r_{D/C} = (\omega_4)^2 * (r_{D/C}) = 49.56$$

$$r_{E/D} = (\omega_5)^2 * (r_{E/D}) = 2.34$$

$$r_{E/F} = (\omega_6)^2 * (r_{E/F}) = 27.35$$

تحليل سرعت :

$$\omega_C = \omega_F = 0$$

$$\omega_A = 10 \frac{\text{in}}{\text{s}} \rightarrow$$

$$\begin{cases} \bar{\omega}_B = \bar{\omega}_A + \bar{\omega}_{B/A} \\ \bar{\omega}_B = \bar{\omega}_C + \bar{\omega}_{B/C} \end{cases}$$

$$\omega_A + \omega_{B/A} = \omega_C + \omega_{B/C}$$

↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{B/A}$ مختار $r_{B/C}$ مختار $r_{B/A}$ مختار $r_{B/C}$

$$\begin{cases} \bar{\omega}_D = \bar{\omega}_B + \bar{\omega}_{D/B} \\ \bar{\omega}_D = \bar{\omega}_C + \bar{\omega}_{D/C} \end{cases}$$

$$\omega_B + \omega_{D/B} = \omega_C + \omega_{D/C}$$

↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{D/B}$ مختار $r_{D/C}$ مختار $r_{D/B}$ مختار $r_{D/C}$

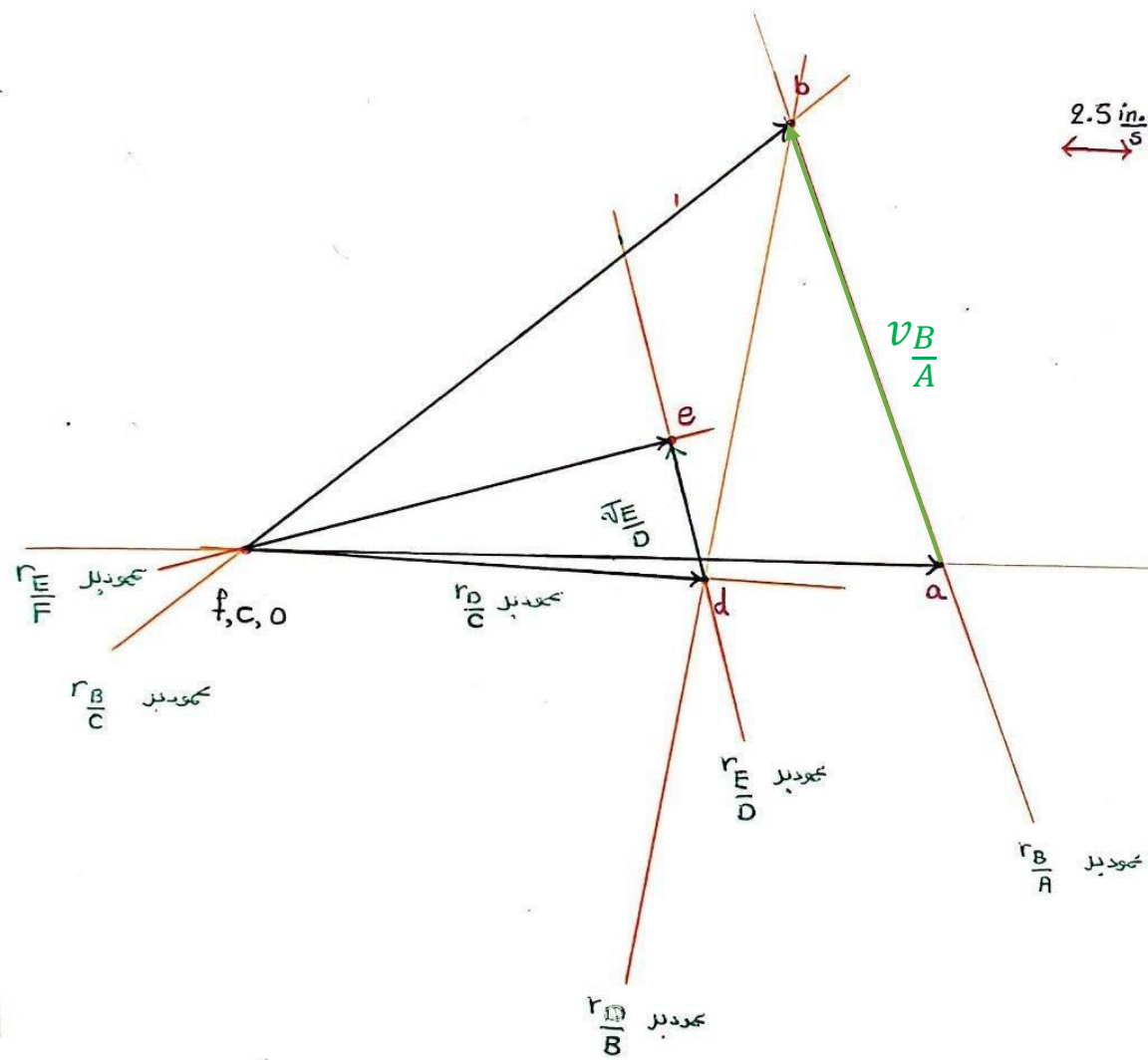
$$\begin{cases} \bar{\omega}_E = \bar{\omega}_D + \bar{\omega}_{E/D} \\ \bar{\omega}_E = \bar{\omega}_F + \bar{\omega}_{E/F} \end{cases}$$

$$\omega_D + \omega_{E/D} = \omega_F + \omega_{E/F}$$

↓ ↓ ↓ ↓

مختار $r_{E/D}$ مختار $r_{E/F}$ مختار $r_{E/D}$ مختار $r_{E/F}$

$$r_{E/D} = (\omega_5)^2 * (r_{E/D}) = 2.34$$



$$\omega_3 = \frac{v_{B/A}}{r_{B/A}} = \frac{6.65}{3} = 2.22 \frac{rad}{s} \text{ (CCW)}$$

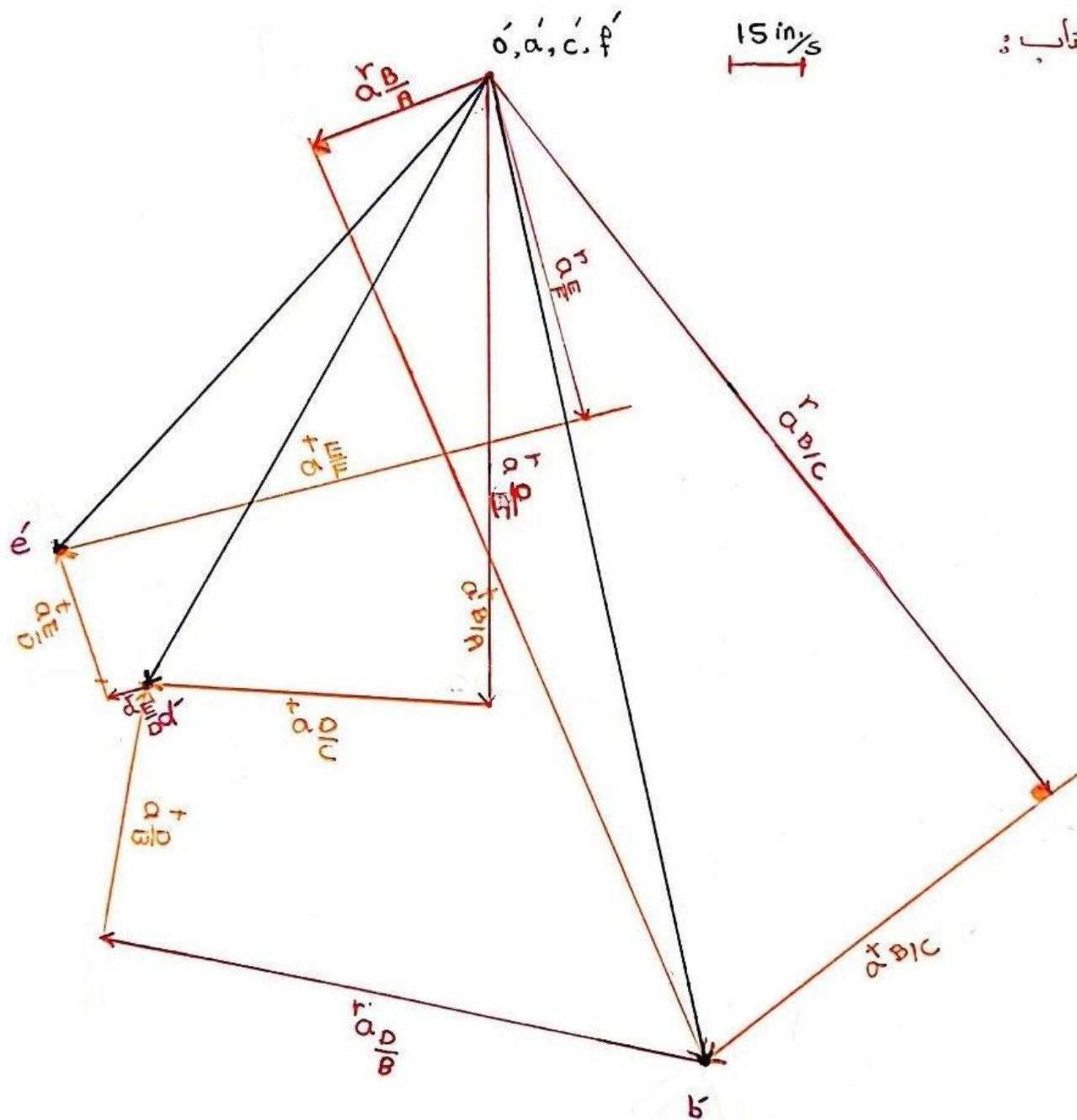
$$\omega_4 = \frac{v_{B/C}}{r_{B/C}} = \frac{9.925}{1.41} = 7.04 \frac{rad}{s} \text{ (CW)}$$

$$\omega_5 = \frac{v_{E/D}}{r_{E/D}} = \frac{1.875}{1.5} = 1.25 \frac{rad}{s} \text{ (CCW)}$$

$$\omega_6 = \frac{v_{E/F}}{r_{E/F}} = \frac{6.4}{1.5} = 4.27 \frac{rad}{s} \text{ (CW)}$$

محیط ستاب :

15 in/s



$$\alpha_4 = \frac{a_B^t}{r_{B/A}} = \frac{36.6}{1.41} = 25.95 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ (CCW)}$$

$$\alpha_3 = \frac{a_B^t}{r_{B/A}} = \frac{78.75}{3} = 26.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ (CW)}$$

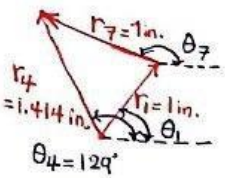
$$\alpha_5 = \frac{a_E^t}{r_{E/D}} = \frac{11.25}{1.5} = 7.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ (CCW)}$$

$$a_B = 79.65, a_D = 56.25, a_E = 51.6 \frac{\text{in}}{\text{s}^2}$$

$$\alpha_6 = \frac{a_E^t}{r_{E/D}} = \frac{43.2}{1.5} = 28.8 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ (CCW)}$$

۴- آنالیز تحلیلی سینماتیک مکانیزم

تخلیل در مختصات :



$$\vec{r_1} + \vec{r_2} = \vec{r_3} \quad (*)$$

$$r_1 \sin \theta_1 + r_2 \sin \theta_2 = r_3 \sin \theta_3 \rightarrow \sin \theta_1 = \sin \theta_2 + 1.0989$$

$$r_1 \cos \theta_1 + r_2 \cos \theta_2 = r_3 \cos \theta_3 \rightarrow \cos \theta_1 = \cos \theta_2 - 0.8998$$

دوان ۲ جمع

$$1 = 1 + 1.9993 - 2.1978 \sin \theta_2 + 1.7796 \cos \theta_2$$

$$1.9993 \left(1 + \tan^2 \frac{\theta_2}{2}\right) - 2.1978 \left(2 \tan \frac{\theta_2}{2}\right) + 1.7796 \left(1 - \tan^2 \frac{\theta_2}{2}\right) = 0$$

$$a = 0.2197$$

$$b = -4.3965$$

$$c = 3.7789$$

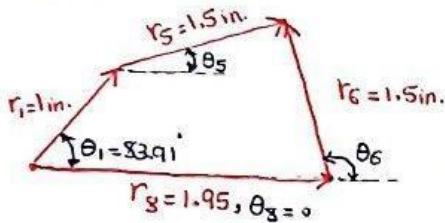
$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{b^2 - 4ac}$$

$$= 4.001$$

$$\theta_2 = 2 \times \text{Arc tan} \left(\frac{4.3965 - 4.001}{2 \times 0.2197} \right) = 83.98^\circ$$

$$\theta_2 = 2 \times \text{Arc tan} \left(\frac{4.3965 + 4.001}{2 \times 0.2197} \right) = 174^\circ \quad \text{قابل قبول}$$

$$\rightarrow \sin \theta_1 = 0.9943 \rightarrow \theta_1 = 83.91^\circ$$



$$\vec{r_1} + \vec{r_5} = \vec{r_3} + \vec{r_6} \quad (**)$$

$$r_1 \sin \theta_1 + r_5 \sin \theta_5 = r_3 \sin \theta_3 + r_6 \sin \theta_6 \rightarrow 0.9943 + 1.5 \sin \theta_5 = 1.5 \sin \theta_6$$

$$r_1 \cos \theta_1 + r_5 \cos \theta_5 = r_3 \cos \theta_3 + r_6 \cos \theta_6 \rightarrow 0.1061 + 1.5 \cos \theta_5 - 1.95 = 1.5 \cos \theta_6$$

دوان ۲ جمع

$$4.3886 + 2.25 + 2.9829 \sin \theta_5 - 5.5317 \cos \theta_5 = 2.25$$

$$4.3886 \left(1 + \tan^2 \frac{\theta_5}{2}\right) + 2.9829 \left(2 \tan \frac{\theta_5}{2}\right) - 5.5317 \left(1 - \tan^2 \frac{\theta_5}{2}\right) = 0$$

$$a = 9.9203$$

$$b = 5.9658$$

$$c = -1.1431$$

$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{b^2 - 4ac}$$

$$= 8.9972$$

$$\theta_5 = 2 \times \text{Arc tan} \left(\frac{-5.9658 + 8.9972}{2 \times 9.9203} \right) = 17.37^\circ$$

$$\theta_5 = 2 \times \text{Arc tan} \left(\frac{-5.9658 - 8.9972}{2 \times 9.9203} \right) = -74.04^\circ$$

قابل قبول

$$\sin \theta_6 = \frac{0.9943 + 1.5 \sin \theta_5}{1.5} \rightarrow \theta_6 = 105.9696^\circ$$

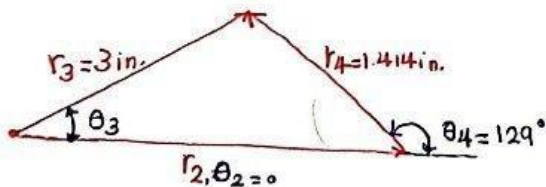
$$\vec{r_2} + \vec{r_4} = \vec{r_3} \quad (***)$$

$$r_2 \sin \theta_2 + r_4 \sin \theta_4 = r_3 \sin \theta_3 \rightarrow$$

$$1.0989 = 3 \sin \theta_3$$

$$r_2 \cos \theta_2 + r_4 \cos \theta_4 = r_3 \cos \theta_3 \rightarrow r_2 - 0.8998 = 3 \cos \theta_3$$

$$\rightarrow \theta_3 = 21.49^\circ \quad \text{then } r_2 = 3 \cos(21.49) + 0.8998 = 3.68 \text{ in.}$$



تحليل سرعت :

$$(***) \text{ مَسْقُودِ اِنْجَاعِ } \rightarrow \dot{r}_2 \sin \theta_2 + r_4 \dot{\theta}_4 \cos \theta_4 = \dot{r}_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 \rightarrow 0 - 0.8898 \dot{\theta}_4 = 2.7914 \dot{\theta}_3$$

$$\dot{r}_2 \cos \theta_2 - r_4 \dot{\theta}_4 \sin \theta_4 = \dot{r}_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 \rightarrow 10 - 1.0989 \dot{\theta}_4 = -1.0990 \dot{\theta}_3$$

$$\rightarrow 2.7914 \dot{\theta}_3 + 0.8898 \dot{\theta}_4 = 0 \quad \text{روشن كر ايم} \rightarrow \dot{\theta}_4 = 6.9 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad \dot{\theta}_3 = -2.2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$-1.0990 \dot{\theta}_3 + 1.0989 \dot{\theta}_4 = 10$$

$$(**) \text{ مَسْقُودِ اِنْجَاعِ } \rightarrow r_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + r_5 \dot{\theta}_5 \cos \theta_5 = r_6 \dot{\theta}_6 \cos \theta_6 \rightarrow 0.7320 + 1.4316 \dot{\theta}_5 = -0.4124 \dot{\theta}_6$$

$$\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_4 = +6.9 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad -r_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - r_5 \dot{\theta}_5 \sin \theta_5 = -r_6 \dot{\theta}_6 \sin \theta_6 \rightarrow -6.8611 - 0.4478 \dot{\theta}_5 = -1.4422 \dot{\theta}_6$$

$$\rightarrow -0.4124 \dot{\theta}_6 - 1.4316 \dot{\theta}_5 = 0.7320 \quad \text{روشن كر ايم} \rightarrow \dot{\theta}_5 = -1.73 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad \dot{\theta}_6 = 4.22 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$1.4422 \dot{\theta}_6 + 0.4478 \dot{\theta}_5 = 6.8611$$

تحليل تساب :

$$(***) \text{ مَسْقُودِ دَر اِنْجَاعِ } \rightarrow \ddot{r}_2 \sin \theta_2 + r_4 \ddot{\theta}_4 \cos \theta_4 - r_4 (\dot{\theta}_4)^2 \sin \theta_4 = \ddot{r}_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 - r_3 (\dot{\theta}_3)^2 \sin \theta_3$$

$$\ddot{r}_2 \cos \theta_2 - r_4 \ddot{\theta}_4 \sin \theta_4 - r_4 (\dot{\theta}_4)^2 \cos \theta_4 = -\ddot{r}_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 - r_3 (\dot{\theta}_3)^2 \cos \theta_3$$

$$\rightarrow 0 - 0.8898 \ddot{\theta}_4 - 52.3179 = 2.7914 \ddot{\theta}_3 - 5.3192 \quad \rightarrow \kappa_3 = 25.06 \text{ rad/s}^2$$

$$0 - 1.0989 \ddot{\theta}_4 - 2.3662 = -1.0990 \ddot{\theta}_3 - 13.5106 \quad \kappa_4 = 25.79 \text{ rad/s}^2, \quad \kappa_4 = \kappa_1$$

$$(**) \text{ مَسْقُودِ دَر اِنْجَاعِ } \rightarrow r_1 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - r_1 (\dot{\theta}_1)^2 \sin \theta_1 + r_5 \ddot{\theta}_5 \cos \theta_5 - r_5 (\dot{\theta}_5)^2 \sin \theta_5 = r_6 \ddot{\theta}_6 \cos \theta_6 - r_6 (\dot{\theta}_6)^2 \sin \theta_6$$

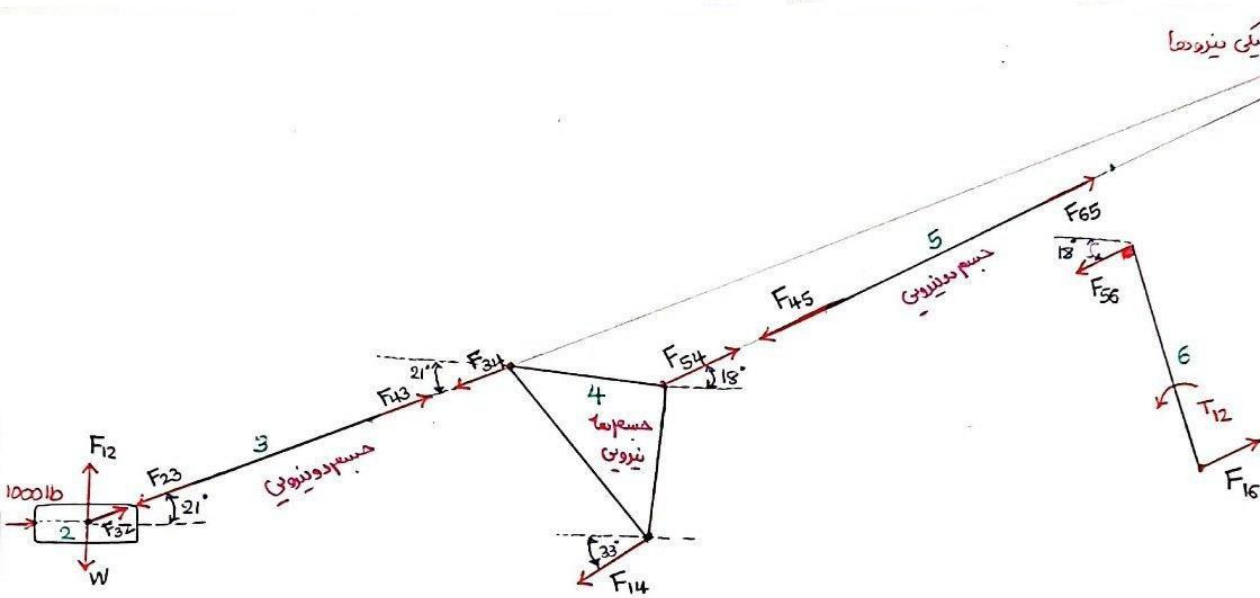
$$-r_1 \ddot{\theta}_1 \sin \theta_1 - r_1 (\dot{\theta}_1)^2 \cos \theta_1 - r_5 \ddot{\theta}_5 \sin \theta_5 - r_5 (\dot{\theta}_5)^2 \cos \theta_5 = -r_6 \ddot{\theta}_6 \sin \theta_6 - r_6 (\dot{\theta}_6)^2 \cos \theta_6$$

$$\rightarrow 2.7361 - 47.3413 + 1.4316 \ddot{\theta}_5 - 1.3403 = -0.4124 \ddot{\theta}_6 - 25.6817 \quad \rightarrow \kappa_5 = 5.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$-25.6445 - 5.0510 - 0.4478 \ddot{\theta}_5 - 4.2846 = -1.4422 \ddot{\theta}_6 + 7.3494 \quad \kappa_6 = 30.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

۵- تحلیل استاتیکی نیروها

تحلیل استاتیکی نیروها



$$\text{Link 2: } \sum F_x = 0 \rightarrow Q + F_{32} \cos 21^\circ = 0 \rightarrow 1000 + F_{32} \cos 21^\circ \rightarrow F_{32} = -1071.14 \text{ lb}, F_{23} = F_{32}$$

$$\text{Link 3: } F_{23} = F_{43}, F_{43} = F_{34}$$

$$\text{Link 4: } \sum F_x = 0 \rightarrow F_{54} \cos 18^\circ = F_{34} \cos 21^\circ + F_{14} \cos 33^\circ \rightarrow 0.95 F_{54} = 0.94 F_{14} + 0.93 \times -1071.14$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{54} \sin 18^\circ = F_{34} \sin 21^\circ + F_{14} \sin 33^\circ \rightarrow 0.31 F_{54} = 0.54 \times F_{14} + 0.36 \times -1071.14$$

$$\rightarrow F_{14} = 227.71 \text{ lb}, F_{54} = -847.21 \text{ lb}, F_{54} = F_{45}$$

$$\text{Link 5: } F_{45} = F_{65}, F_{65} = F_{56}$$

$$\text{Link 6: } \sum M_F = 0 \rightarrow T_{12} + F_{56} \times r_6 = 0 \rightarrow T_{12} + 847.2 \times 1.5 = 1270.8 \text{ in.-lb}$$

۶- تحلیل دینامیکی نیروها (بدون اصطکاک)

$$\frac{a_{G3/A}}{a_{B/A}} = \frac{AG_3}{AB} \rightarrow \frac{a_{G3}}{79.65} = \frac{1.5}{3} \rightarrow a_{G3} = 39.825 \frac{\text{in.}}{\text{s}^2}, a_{G4} = 44.1 \frac{\text{in.}}{\text{s}^2}$$

$$\frac{a_{G5/D}}{a_{E/D}} = \frac{G_5D}{ED} \rightarrow a_{G5/D} = 6.6 \frac{\text{in.}}{\text{s}^2} \rightarrow a_{G5} = 53.4 \frac{\text{in.}}{\text{s}^2}, \frac{a_{G6}}{a_E} = \frac{G_6F}{EF} \rightarrow a_{G6} = 25.8 \frac{\text{in.}}{\text{s}^2}$$

"مثلاً ما را آهنگی و با سطح مقطع 0.1 in.² فرض می‌کنیم، جابجایی = 0.28 lb/in."

$$\text{Link 2: } W_2 = \rho V_2 g = 0.28 \times (0.4)^3 \times 386 = 6.92 \text{ lb}$$

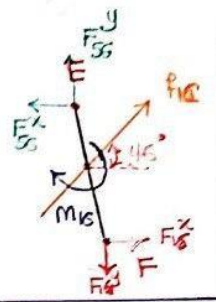
$$\text{Link 3: } W_3 = \rho V_3 g = 0.28 \times 0.1 \times 3 \times 386 = 32.42 \text{ lb}, AG_3 = 1.5 \text{ in.}, I_3 = \frac{mL^2}{12} = \frac{32.42 \times 3^2}{386 \times 12} = 0.0630 \text{ lb-s}^2\text{-in.}$$

$$\text{Link 4: } W_4 = 0.28 \times 0.1 \times 386 \times (1.05 + 1 + 1.45) = 37.83 \text{ lb}, DG_4 = \frac{h}{3} = 0.65 \text{ in.}, I_4 = \frac{0.28 \times (2.1)^3}{12} (1 + \frac{3}{1} + \frac{3}{1.5}) = 0.0125 \text{ lb-s}^2\text{-in.}$$

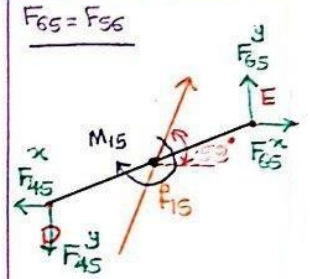
$$\text{Link 5: } W_5 = 0.28 \times 0.1 \times 1.5 \times 386 = 16.212 \text{ lb}, DG_5 = 0.75 \text{ in.}, I_5 = \frac{16.21 \times 1.5^2}{386 \times 12} = 0.0078 \text{ lb-s}^2\text{-in.}$$

$$\text{Link 6: } W_6 = 0.28 \times 0.1 \times 1.5 \times 386 = 16.212 \text{ lb}, DG_6 = 0.75 \text{ in.}, I_6 = 0.0078 \text{ lb-s}^2\text{-in.}$$

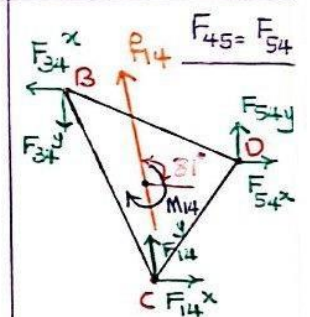
Link 6: $\sum F_x = 0 \rightarrow F_{16}^x + F_{16} \cos 116^\circ - F_{56}^x = 0$ $F_{16} = m_6 a_{G6}$
 $\sum F_y = 0 \rightarrow F_{56}^y + F_{16} \sin 116^\circ - F_{16}^y = 0$ $M_{16} = I_G \alpha_6$
 $\sum M_F = 0 \rightarrow [F_{56}^x \hat{i} + F_{56}^y \hat{j}] \times (1.5 \text{ m} (\cos 102^\circ \hat{i} + \sin 102^\circ \hat{j})) + M_{16}$
 $+ [(0.75 \text{ m} (\cos 103^\circ \hat{i} + \sin 103^\circ \hat{j})) \times (F_{16} \cos 45^\circ \hat{i} + F_{16} \sin 45^\circ \hat{j})] = 0$



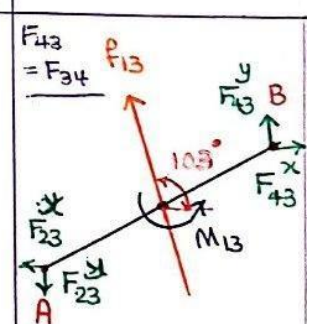
Link 5: $\sum F_x = 0 \rightarrow F_{65}^x + F_{15} \cos 53^\circ - F_{45}^x = 0$ $F_{15} = m_5 a_{G5}$
 $\sum F_y = 0 \rightarrow F_{65}^y + F_{15} \sin 53^\circ - F_{45}^y = 0$ $M_{15} = I_G \alpha_5$
 $\sum M_D = 0 \rightarrow [(1.5 \text{ m} (\cos 16^\circ \hat{i} + \sin 16^\circ \hat{j})) \times (F_{65}^x \hat{i} + F_{65}^y \hat{j})] + M_{15}$
 $+ [(0.75 \text{ m} (\cos 16^\circ \hat{i} + \sin 16^\circ \hat{j})) \times (F_{15} \cos 16^\circ \hat{i} + F_{15} \sin 16^\circ \hat{j})] = 0$



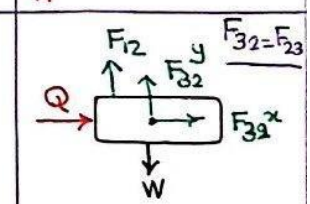
Link 4: $\sum F_x = 0 \rightarrow F_{54}^x + F_{14}^x - F_{34}^x + F_{14} \cos 81^\circ = 0$ $F_{14} = m_4 a_{G4}$
 $\sum F_y = 0 \rightarrow F_{54}^y + F_{14}^y - F_{34}^y + F_{14} \sin 81^\circ = 0$ $M_{14} = -I_4 \alpha_4$
 $\sum M_C = 0 \rightarrow [(F_{54}^x \hat{i} + F_{54}^y \hat{j}) \times (1.41 \text{ m} (\cos 174^\circ \hat{i} + \sin 174^\circ \hat{j}))] + M_{14}$
 $+ [(0.75 \text{ m} (\cos 100^\circ \hat{i} + \sin 100^\circ \hat{j})) \times (F_{14} \cos 81^\circ \hat{i} + F_{14} \sin 81^\circ \hat{j})] = 0$



Link 3: $\sum F_x = 0 \rightarrow F_{43}^x - F_{23}^x + F_{13} \cos 101^\circ = 0$ $F_{13} = m_3 a_{G3}$
 $\sum F_y = 0 \rightarrow F_{43}^y - F_{23}^y + F_{13} \sin 101^\circ = 0$ $M_{13} = -I_3 \alpha_3$
 $\sum M_A = 0 \rightarrow [1.5 \text{ m} (\cos 21^\circ \hat{i} + \sin 21^\circ \hat{j}) \times (F_{13} \cos 103^\circ \hat{i} + F_{13} \sin 103^\circ \hat{j})]$
 $+ [3 \text{ m} (\cos 21^\circ \hat{i} + \sin 21^\circ \hat{j}) \times (F_{43}^x \hat{i} + F_{43}^y \hat{j})] + M_{13} = 0$



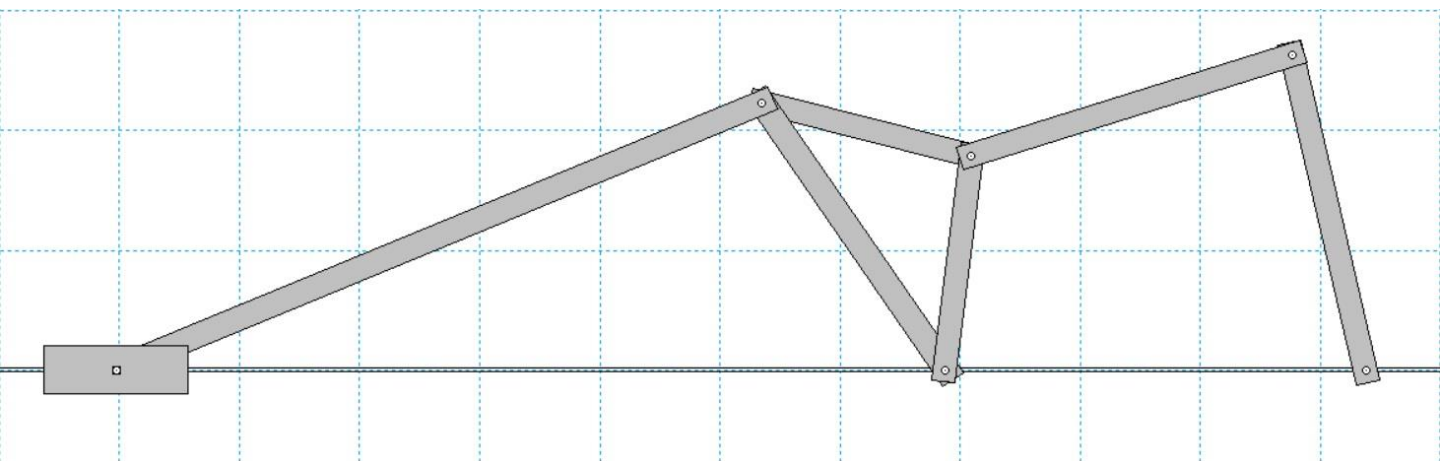
Link 2: $\sum F_x = 0 \rightarrow F_{32}^x - Q = 0$
 $\sum F_y = 0 \rightarrow F_{32}^y + F_{12} - W_2 = 0$



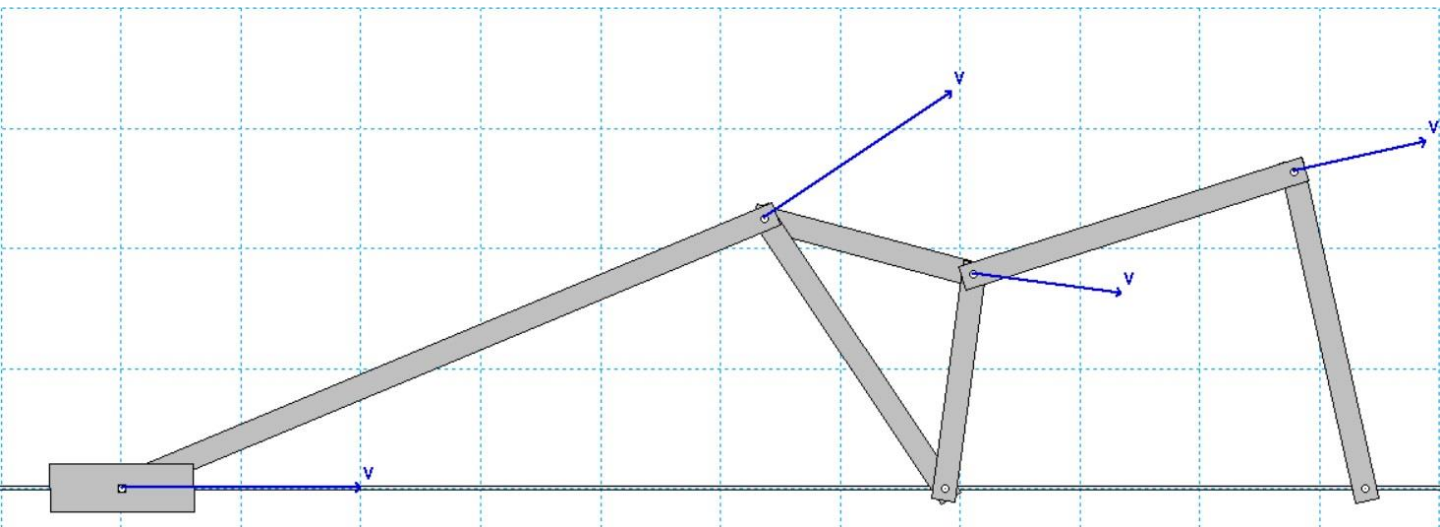
a3 = 39.83	a4 = 44.1	a5 = 53.4	a6 = 25.8	b3 = 26.25	b4 = -25.95	b5 = -7.5	b6 = -28.8	F12y = 2.351	f13 = 3.345
f14 = 4.322	F14x = 0.1204	F14y = -4.827	f15 = 2.243	f16 = 1.084	F16x = -0.4303	F16y = 0.8314	F23x = 1.831	F23y = 4.569	F32x = 1.831
F32y = 4.569	F34x = 2.469	F34y = 1.285	F43x = 2.469	F43y = 1.285	F45x = 1.672	F45y = 1.843	F54x = 1.672	F54y = 1.843	F56x = 0.3225
F56y = 0.05189	F65x = 0.3225	F65y = 0.05189	I3 = 0.063	I4 = 0.0125	I5 = 0.0078	I6 = 0.0078	M13 = -1.654	M14 = 0.3244	M15 = 0.0585
M16 = 0.2246	m3 = 0.08399	m4 = 0.09801	m5 = 0.042	m6 = 0.042	Q = 1.831	W2 = 6.92			

۷- آنالیز ترسیمی سینماتیک به وسیله نرم افزار

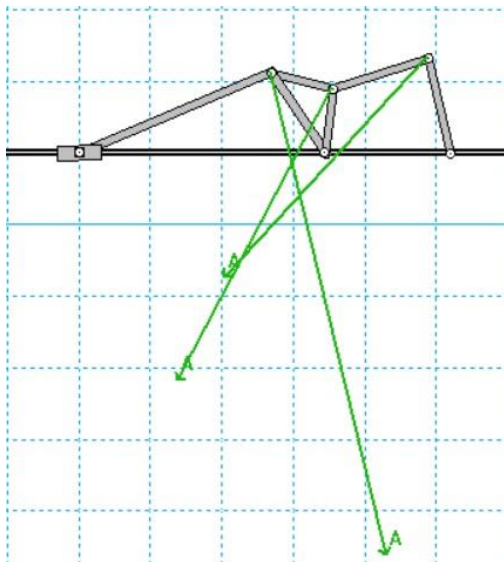
موقعیت مکانیزم:



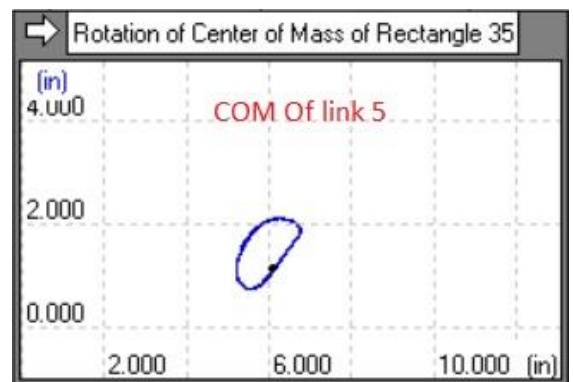
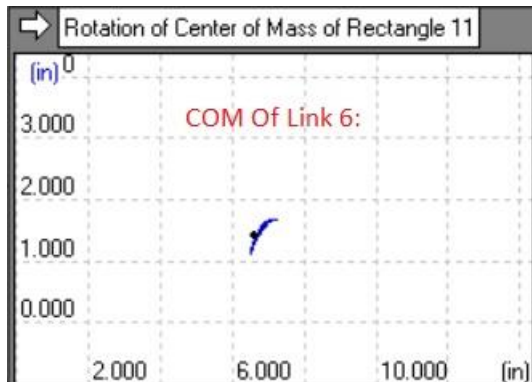
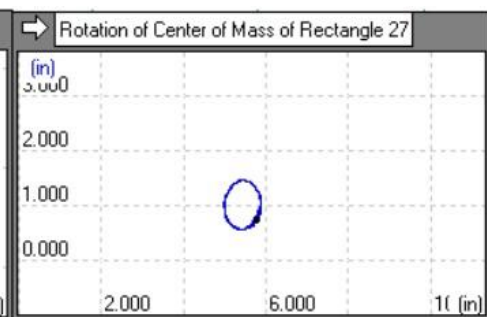
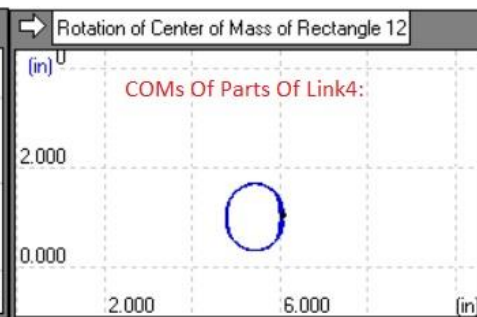
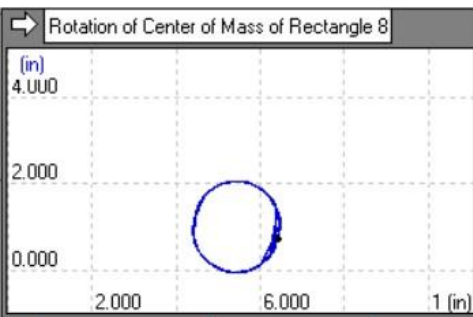
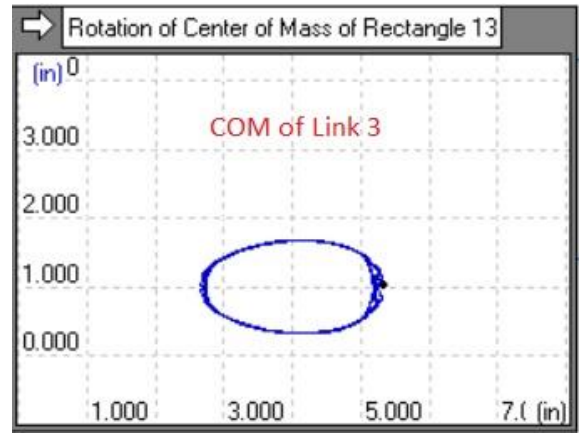
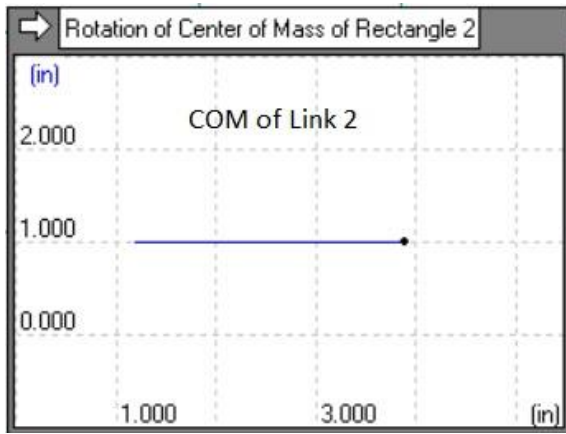
سرعت مکانیزم:



شتاب مکانیزم:

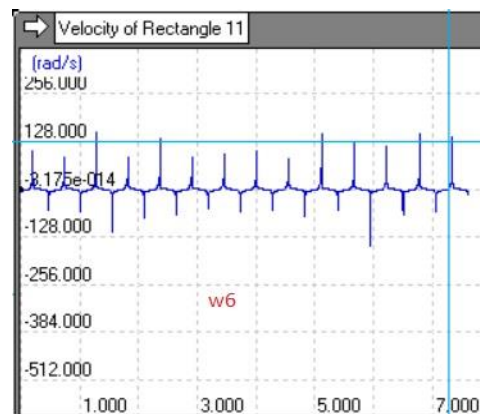
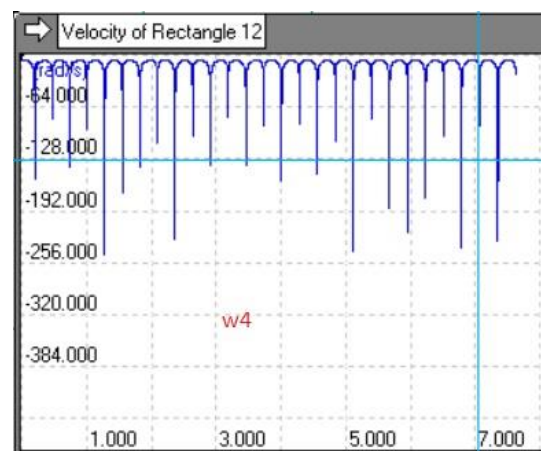
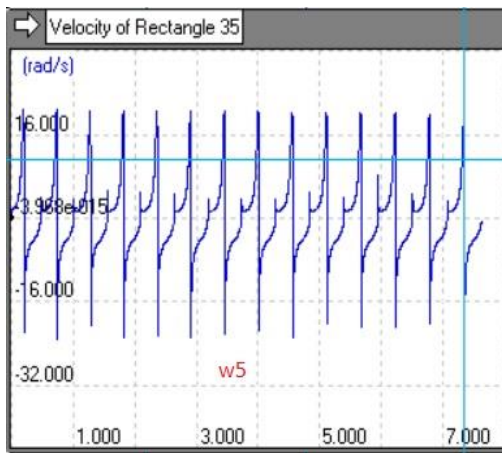
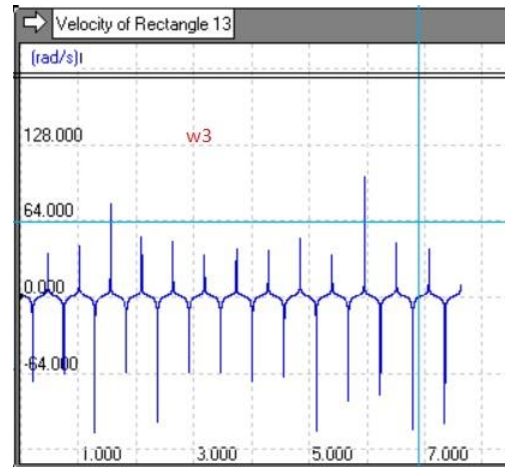
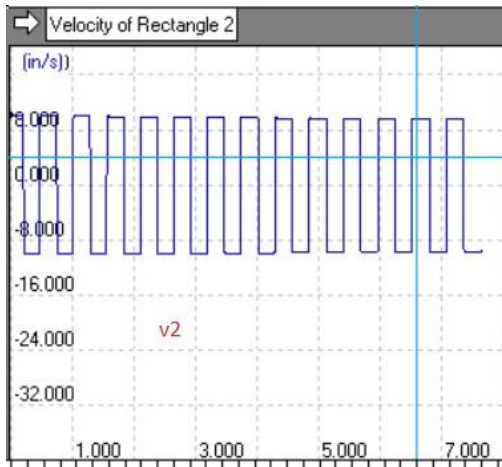


مسیر طی شده توسط مرکز جرم هر لینک:

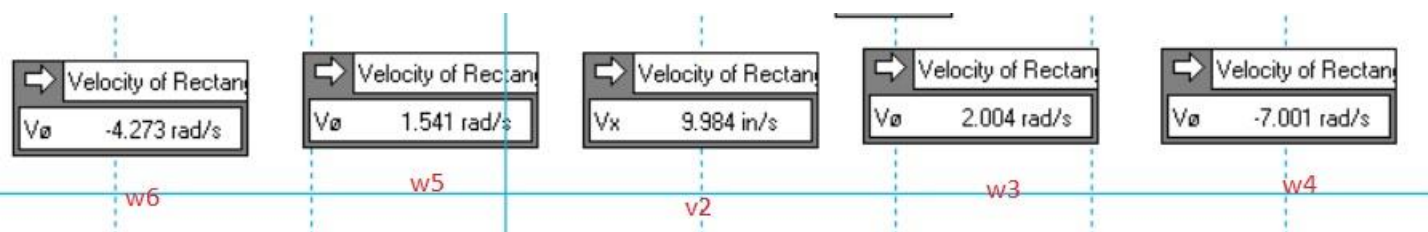


بی‌نظمی موجود در مسیر حرکت برخی لینک‌ها به دلیل عدم توازن مکانیزم است که در بخش آخر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

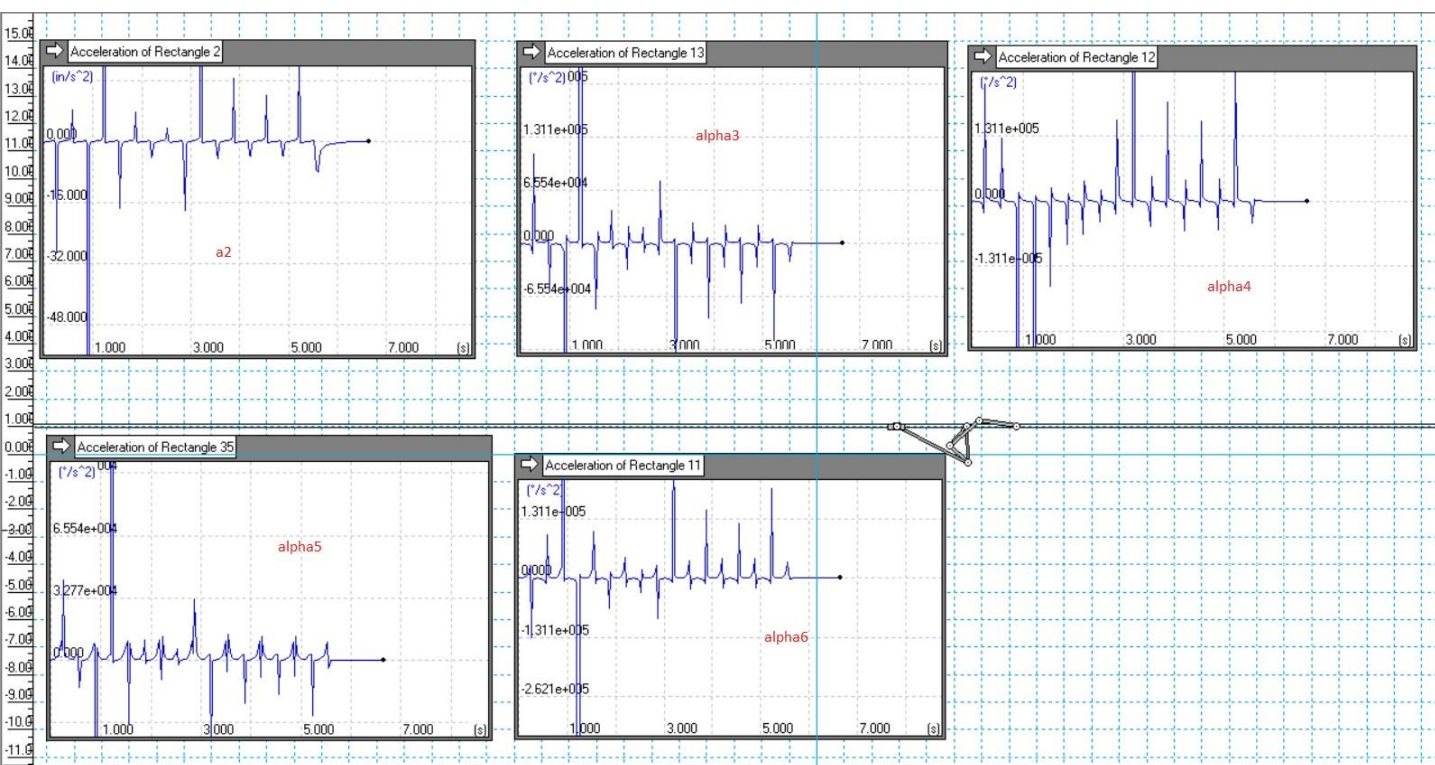
سرعت خطی لغزنده و سرعت دورانی لینک‌های مختلف مکانیزم:



مقادیر سرعت‌ها در موقعیت داده شده:

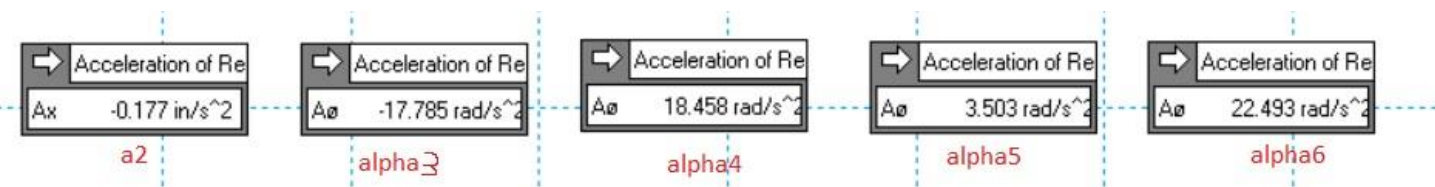


شتاب خطی لغزنده و شتاب دورانی لینک‌های مختلف مکانیزم:

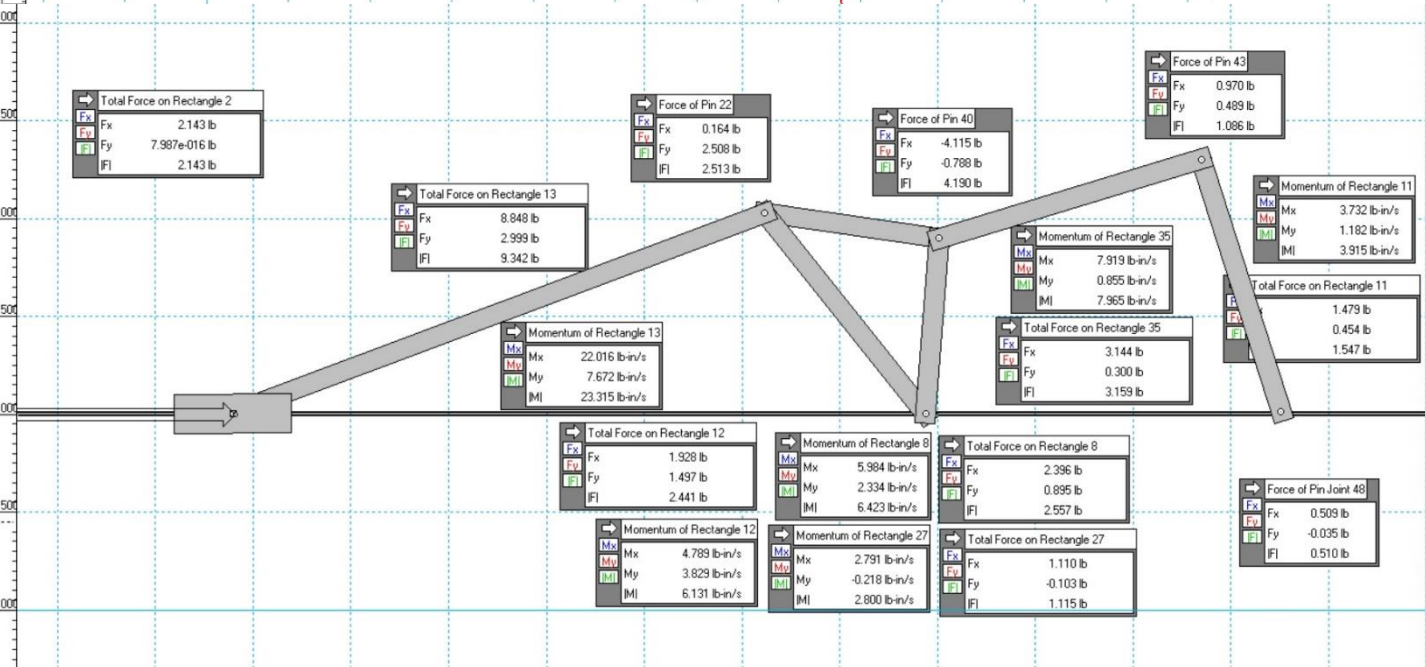
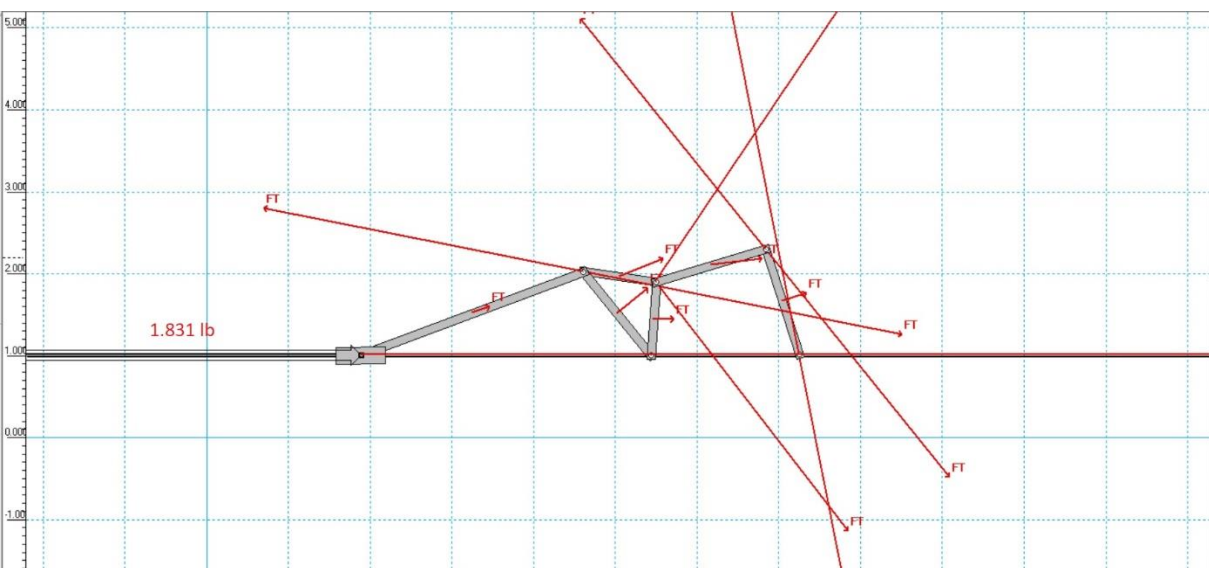


شتاب بی‌نهایتی که لغزنده می‌گیرد به دلیل تغییر جهت حرکت آن است که اصطلاحاً گفته می‌شود جرک هنگام برگشت بی‌نهایت می‌شود.

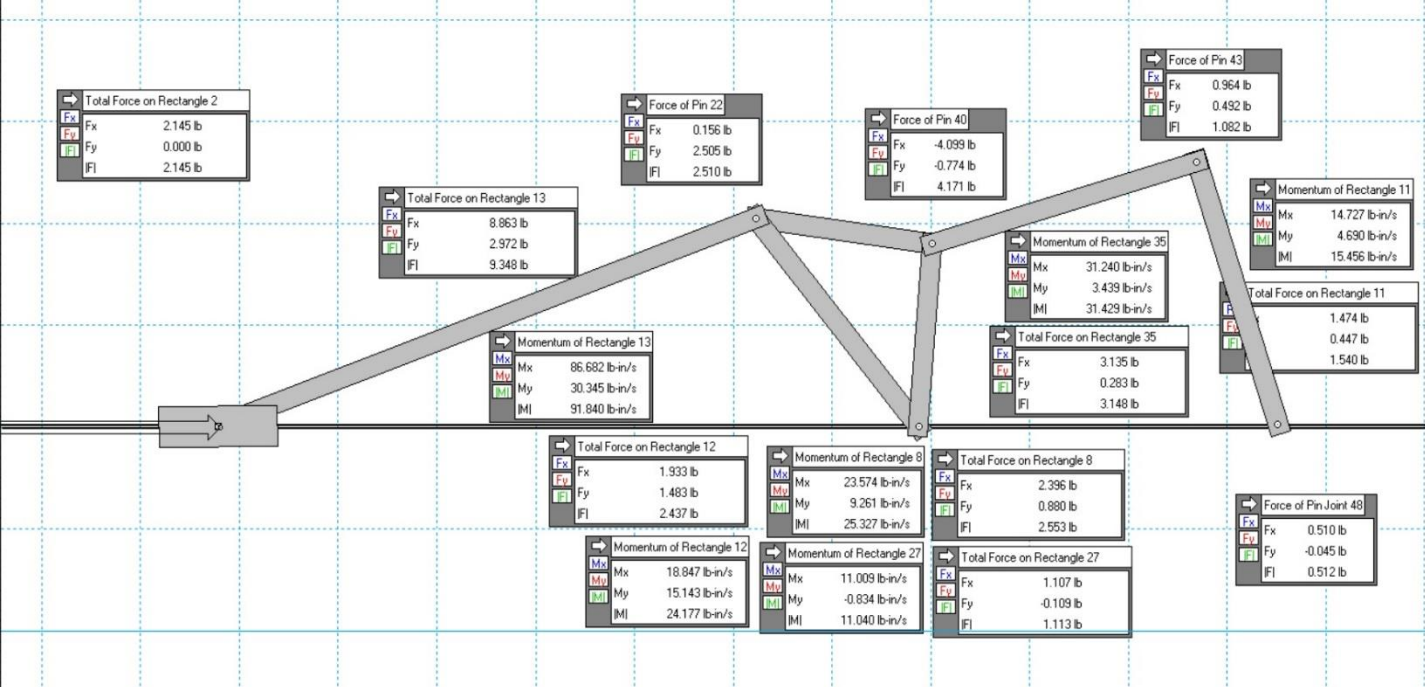
مقادیر شتاب‌ها در موقعیت داده شده:



۸- تحلیل دینامیکی نیروها با نرم افزار

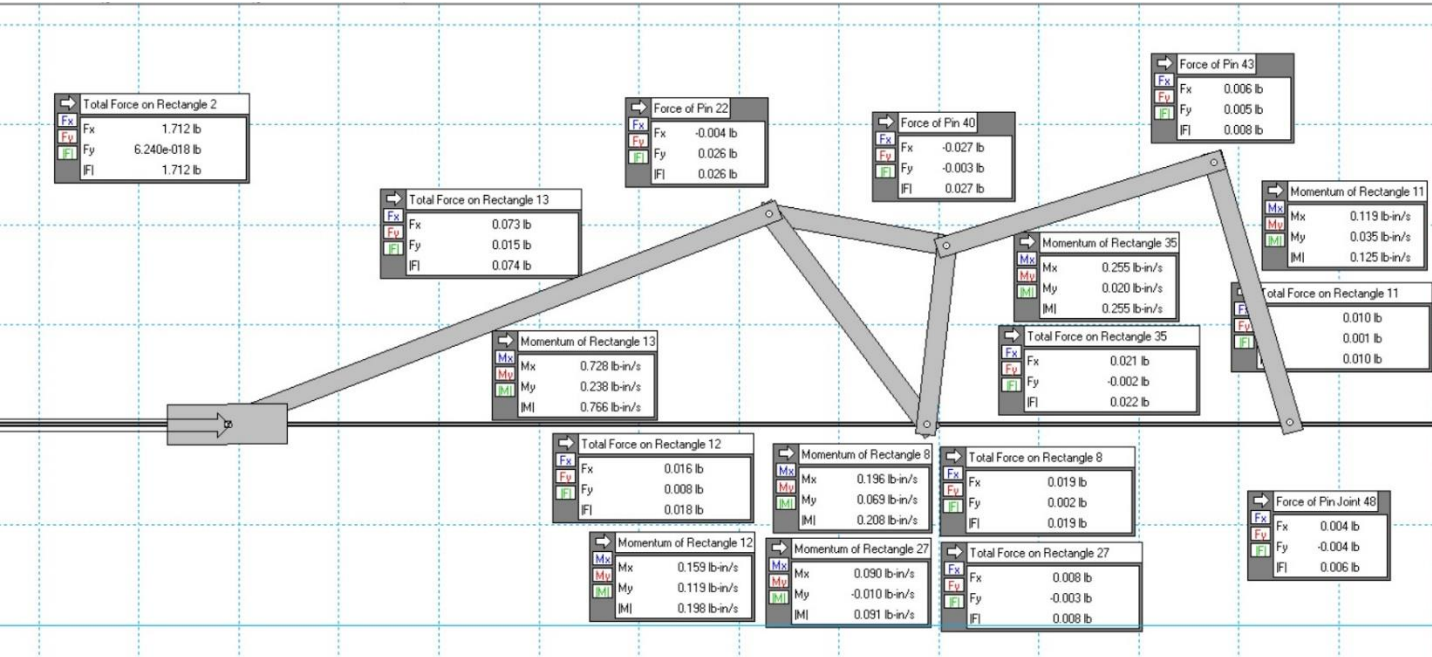


پس از ده برابر کردن جرم لینکها:



مشاهده می‌شود پس از ده برابر کردن جرم لینک‌ها تغییر محسوسی در نیروهای تکیه‌گاهی رخ نمی‌دهد اما نیروهای اینرسی افزایش پیدا می‌کنند

ده برابر کردن جرم لغزنده:



از آنجایی که شتاب لغزنده صفر است بنابراین تغییر جرم آن تاثیری در نیروهای وارد بر آن نخواهد داشت و در نتیجه نیروهای تکیه‌گاهی تغییر چندانی نخواهند کرد اما این تغییر جرم بر سایر نیروها اثرگذار است به طوریکه از مقایسه نتیجه سه عکس موجود می‌توان به این اثر پی برد.

۹- تحلیل با در نظر گرفتن اصطکاک با توجه به جنس آهن، ضریب اصطکاک جنبشی را ۰.۳ و ضریب اصطکاک ایستایی را ۰.۴ در نظر می‌گیریم.

