

به نام خدا



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل سینماتیکی و دینامیکی یک مکانیزم

ارائه شده برای درس دینامیک ماشین

نگارش

مهردی گیوریان

ملیکا محمدی

استاد درس

دکتر عظیمی

تدریسیاران

مهندس امیدی و مهندس زلقی

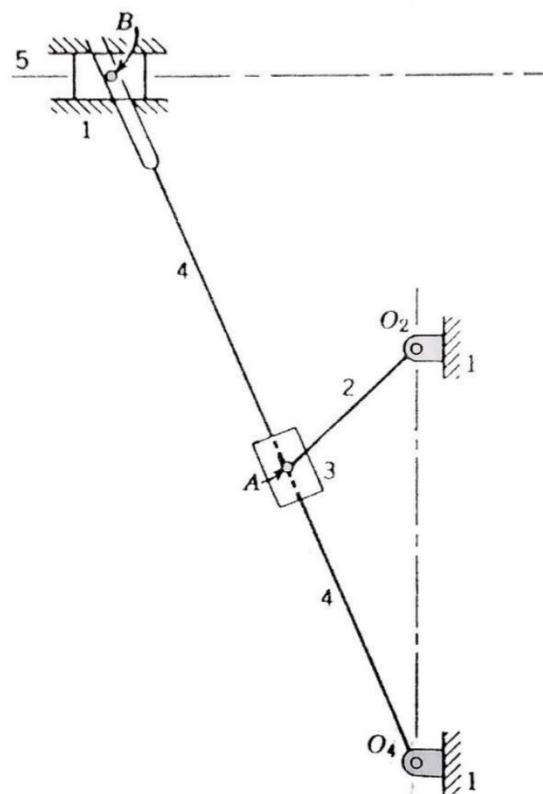
خرداد ۱۴۰۰

## چکیده

در این پژوهه، به تحلیل سینماتیکی و دینامیکی یک مکانیزم می‌پردازیم. بدین صورت که تلاش می‌شود تا سرعت و شتاب هر لینک و نیروهای وارد شده بر هر اتصال را بدست آوریم. بدین منظور، ابتدا معادلات سرعت و شتاب را از روش vector loop استخراج کرده، سپس این معادلات را به ازای یک دور چرخش crank در نرم افزار MATLAB حل کرده و نمودارهای مربوطه را بدست می‌آوریم. در گام بعدی تحلیل مکانیزم را با مدلسازی در نرم افزار Adams انجام می‌دهیم. در نهایت نتایج حاصل از این دو تحلیل را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم.

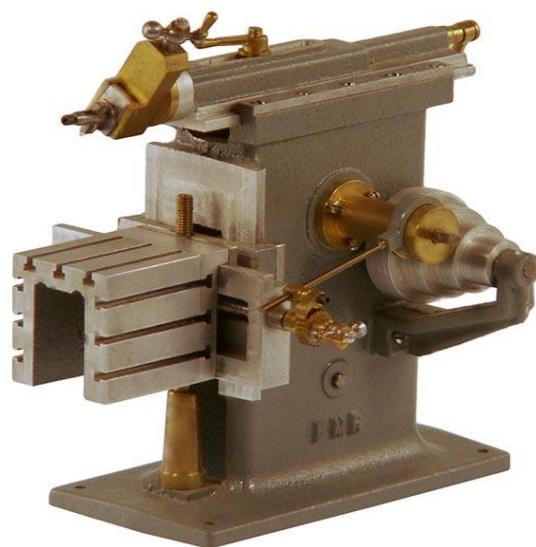
## معرفی مکانیزم

مکانیزم مورد بررسی در این مطالعه، که در شکل ۱ نشان داده شده است، مکانیزم مورد استفاده در ماشین تراش است و به آن crank shaper mechanism گفته می‌شود. در این مکانیزم که یک مکانیزم بازگشت سریع است، حرکت دورانی لنگ (لینک ۲) منجر به یک حرکت رفت و برگشتی خطی (لینک ۵) می‌شود.



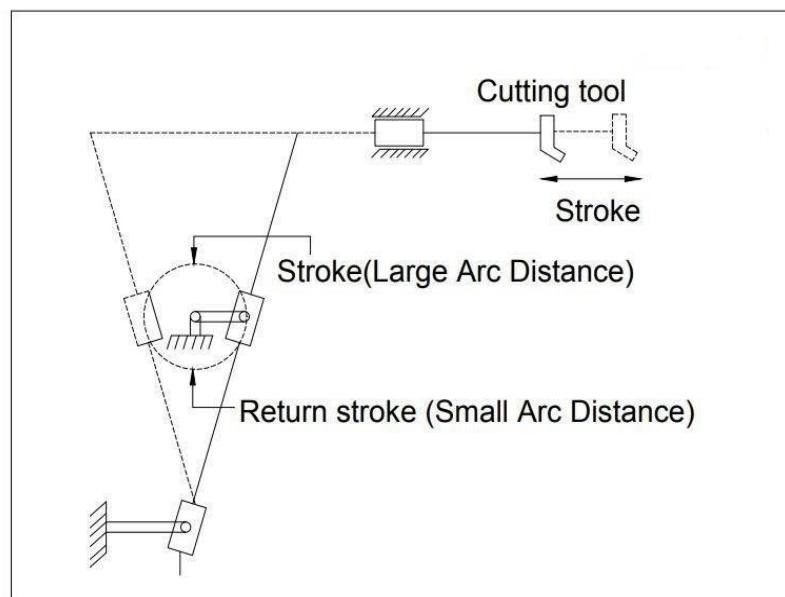
شکل ۱-مکانیزم مورد بررسی در پژوهه

در شکل ۲، نمونه‌ای از دستگاه تراش که مکانیزم نام برده در آن به کار می‌رود آورده شده است.

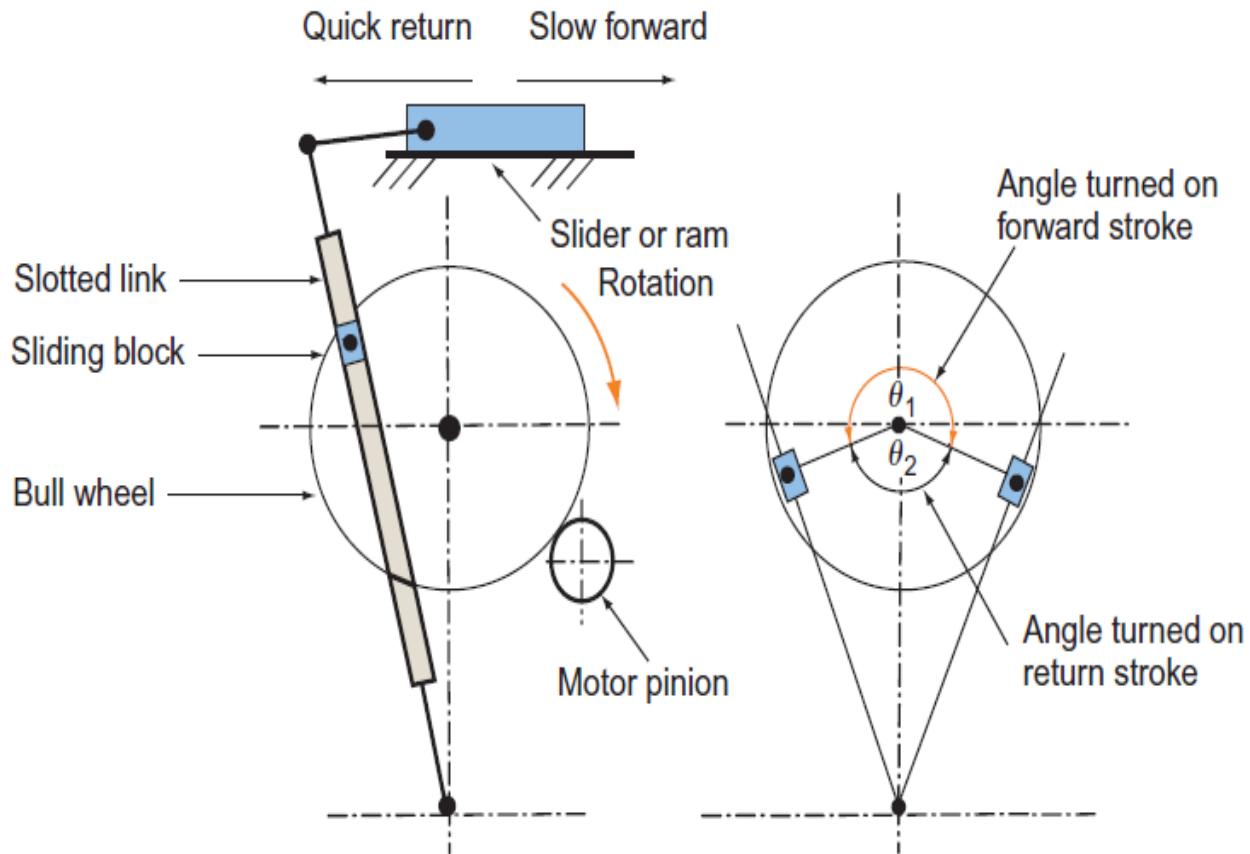


شکل ۲-دستگاه تراش

در شکل‌های زیر (۳و۴)، شکل کلی مکانیزم crank shaper آورده شده است:



شکل ۳-شماتیک مکانیزم



شکل ۴-شماتیک مکانیزم

کمان های طی شده در هنگام رفت و برگشت، در شکل ۳ نشان داده شده است (return stroke و stroke). در شکل ۴ نیز زاویه رفت به صورت  $\theta_1$  و زاویه برگشت به صورت  $\theta_2$  آمده است. همان طور که از این شکل مشخص است زاویه رفت از زاویه برگشت بزرگتر است ( $\theta_1 < \theta_2$ ) بنابراین مکانیزم بازگشت سریع است.

## بخش اول : تحلیل سینماتیکی مکانیزم

### استخراج معادلات سینماتیکی

با استفاده از روش وکتور لوپ ابتدا معادلات مکان بدست می آید سپس با دو بار مشتق گیری نسبت به زمان از این معادلات به ترتیب معادلات سرعت و شتاب حاصل می شود. تنها معادلات مکان فرم غیر خطی دارند و برای حل آنها در مطلب بایستی از دستور `fsolve` با حدس اولیه مناسب استفاده نمود. برای معادلات سرعت و شتاب کافی است معادلات را بصورت ماتریسی بنویسیم و از قاعده کلی حل دستگاه معادلات خطی استفاده کنیم.

بعد داده شده برای مکانیزم به صورت زیر می باشد:

۱۸۰mm	طول لینک ۲
۳۸۰mm	فاصله O <sub>2</sub> تا محور ۵
۵۰۰mm	O <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

برای این تحلیل، نقطه شروع حرکت مکانیزم را  $\theta_2=90^\circ$  در نظر می گیریم. در این حالت سایر مقادیر معلوم به صورت زیر است:

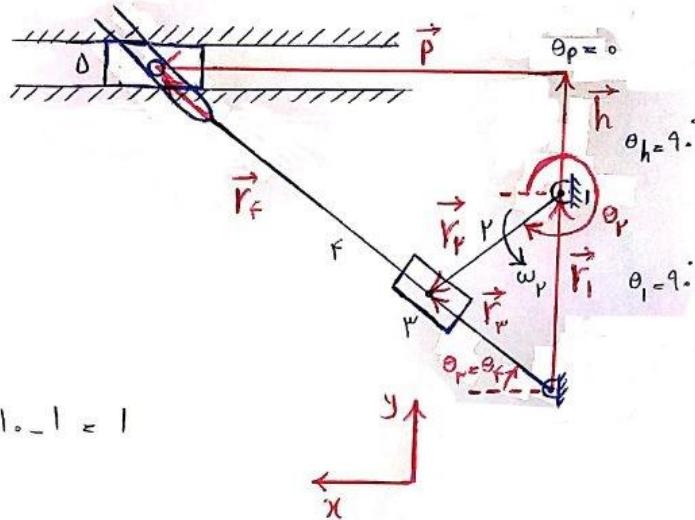
۶۸۰mm	r <sub>3</sub>
۸۸۰mm	r <sub>4</sub>
.	p
۹۰۰	$\theta_4$

نحوه بدست آوردن معادلات با `vector loop` و سایر فرضیات در ادامه آورده شده است:

عداد درجی آزادی:  $\gamma(n-1) - \gamma \times J_1 - J_\gamma$

$$\begin{cases} n = \delta \\ J_1 = 0 \\ J_\gamma = 1 \end{cases}$$

عداد درجات آزادی:  $\gamma(\delta-1) - \gamma \times \delta - 1 = 1\delta - 1 - 1 = 1$



متغیرها:  $\theta_r, \theta_f, r_r, r_f, p \quad (\theta_r = \theta_f)$

پارامترها:  $r_r, r_i, \theta_i, \theta_h, \theta_p, h$

(علم)

$$\text{لطفاً} = \frac{\delta-1}{\gamma} = 1$$

$$\begin{cases} \vec{r}_r - \vec{r}_f + \vec{r}_i = 0 \\ \vec{r}_i + \vec{h} + \vec{p} - \vec{r}_f = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_r e^{i\theta_r} - r_f e^{i\theta_f} + r_i e^{i\theta_i} = 0 \\ r_i e^{i\theta_i} + h e^{i\theta_h} + p e^{i\theta_p} - r_f e^{i\theta_f} = 0 \end{cases}$$

$$\text{لطفاً} \begin{cases} r_r \cos \theta_r - r_f \cos \theta_f = 0 \\ r_r \sin \theta_r - r_f \sin \theta_f + r_i = 0 \end{cases}$$

$$\text{لطفاً} \begin{cases} + p - r_f \cos \theta_f = 0 \\ r_i + h - r_f \sin \theta_f = 0 \end{cases}$$

دستگاه معادلات مان را به صورت ماتریسی نویسی.

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} r_p \cos \theta_p - r_r \cos \theta_f \\ r_p \sin \theta_p - r_r \sin \theta_f + r_i \\ + p - r_f \cos \theta_f \\ r_i + h - r_f \sin \theta_f \end{bmatrix} = \vec{0}$$

توجه دارم نه:

$$\begin{cases} \theta_p = \omega t \\ \dot{\theta}_p = \omega \\ \ddot{\theta}_p = 0 \end{cases} \rightarrow \quad \text{فرض) } \omega = -1 \text{ rad/s}$$

کسی با مسقی لیری از معادلات مکان روابط سرعت را در آیند:

حلقهی

$$\begin{cases} -r_p \dot{\theta}_p \sin \theta_p - r_r \cos \theta_f + r_r \dot{\theta}_f \sin \theta_f = 0 \\ r_p \dot{\theta}_p \cos \theta_p - r_r \sin \theta_f - r_r \dot{\theta}_f \cos \theta_f = 0 \end{cases}$$

پیویسی

$$\begin{cases} +p - r_f \cos \theta_f + r_f \dot{\theta}_f \sin \theta_f = 0 \\ -r_f \sin \theta_f - r_f \dot{\theta}_f \cos \theta_f = 0 \end{cases} \quad \text{معادله سرعت}$$

$$\begin{bmatrix} -\cos \theta_f & 0 & 0 & r_p \sin \theta_p \\ -\sin \theta_f & 0 & 0 & -r_p \cos \theta_p \\ 0 & -\cos \theta_f + 1 & r_f \sin \theta_f & 0 \\ 0 & -\sin \theta_f & 0 & -r_f \cos \theta_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{r}_p \\ \dot{r}_f \\ \dot{p} \\ \dot{\theta}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_p \dot{\theta}_p \sin \theta_p \\ -r_p \dot{\theta}_p \cos \theta_p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[A_{\vec{v}}] \dot{\vec{X}} = \vec{B} \rightarrow \dot{\vec{X}} = [A_{\vec{v}}]^{-1} \vec{B}$$

با متصفح کری بسته به نظر از رابطه برخست، معادلات کتاب را بدست آورید:

$$\begin{cases} -r_p \ddot{\theta}_p \sin \theta_p - r_p \dot{\theta}_p^2 \cos \theta_p - \ddot{r}_p \cos \theta_f + \dot{r}_p \dot{\theta}_f \sin \theta_f + \dot{r}_p \dot{\theta}_f \sin \theta_f + r_p \ddot{\theta}_f \sin \theta_f \\ + r_p \dot{\theta}_f^2 \cos \theta_f = 0 \\ r_p \ddot{\theta}_p \cos \theta_p - r_p \dot{\theta}_p^2 \sin \theta_p - \ddot{r}_p \sin \theta_f - \dot{r}_p \dot{\theta}_f \cos \theta_f - \dot{r}_p \dot{\theta}_f \cos \theta_f - r_p \ddot{\theta}_f \cos \theta_f \\ + r_p \dot{\theta}_f^2 \sin \theta_f = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} +P - \ddot{r}_f \cos \theta_f + \dot{r}_f \dot{\theta}_f \sin \theta_f + \dot{r}_f \dot{\theta}_f \sin \theta_f + r_f \ddot{\theta}_f \sin \theta_f + r_f \dot{\theta}_f^2 \cos \theta_f = 0 \\ - \ddot{r}_f \sin \theta_f - r_f \dot{\theta}_f \cos \theta_f - \dot{r}_f \dot{\theta}_f \cos \theta_f - r_f \ddot{\theta}_f \cos \theta_f + r_f \dot{\theta}_f^2 \sin \theta_f = 0 \end{cases}$$

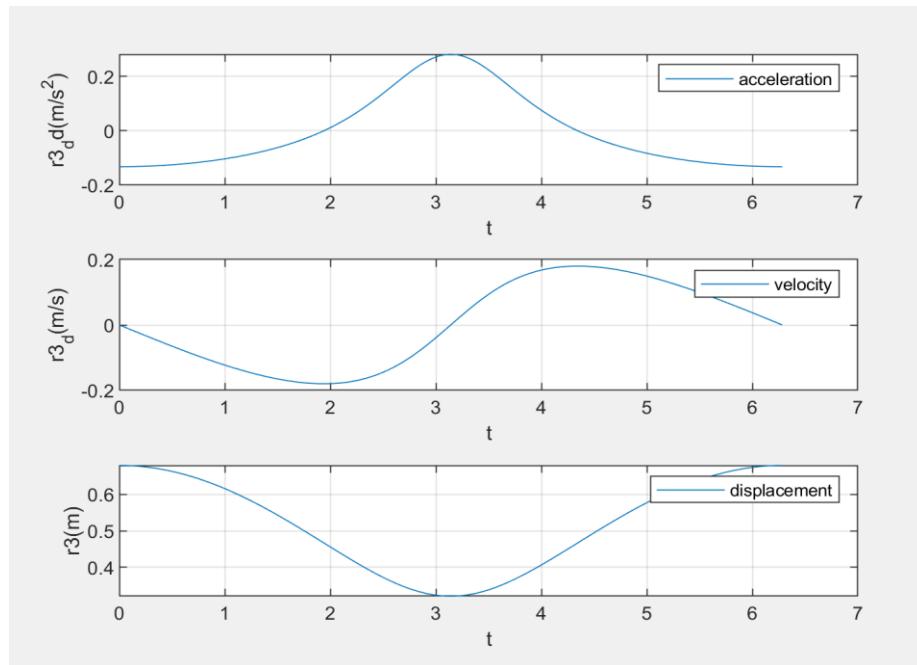
$$\begin{bmatrix} -\cos \theta_f & 0 & r_p \sin \theta_f \\ -\sin \theta_f & 0 & -r_p \cos \theta_f \\ 0 & -\cos \theta_f & +1 \\ 0 & -\sin \theta_f & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{r}_p \\ \ddot{r}_f \\ \ddot{P} \\ \ddot{\theta}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_p \ddot{\theta}_p \sin \theta_p + r_p \dot{\theta}_p^2 \cos \theta_p - r_p \dot{\theta}_f \sin \theta_f - r_p \dot{\theta}_f^2 \cos \theta_f \\ -r_p \ddot{\theta}_p \cos \theta_p + r_p \dot{\theta}_p^2 \sin \theta_p + r_p \dot{\theta}_f \cos \theta_f - r_p \dot{\theta}_f^2 \sin \theta_f \\ -P \dot{r}_f \dot{\theta}_f \sin \theta_f - r_f \dot{\theta}_f^2 \cos \theta_f \\ P \dot{r}_f \dot{\theta}_f \cos \theta_f - r_f \dot{\theta}_f^2 \sin \theta_f \end{bmatrix}$$

$$\ddot{\vec{x}} = [A_{\vec{\alpha}}]^{-1} \vec{\beta}$$

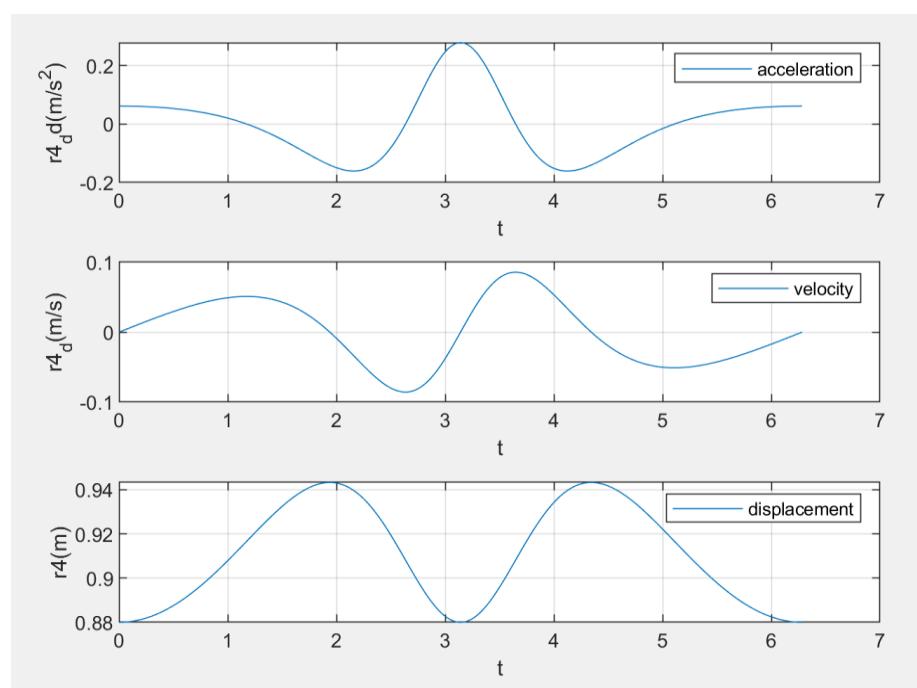
داده اول:

$$\theta_p = \frac{\pi}{4} \text{ rad} \rightarrow \begin{cases} r_p = 41.0 \text{ mm} \\ r_f = 11.0 \text{ mm} \\ P = 0 \\ \theta_f = \frac{\pi}{4} \text{ rad} \end{cases}$$

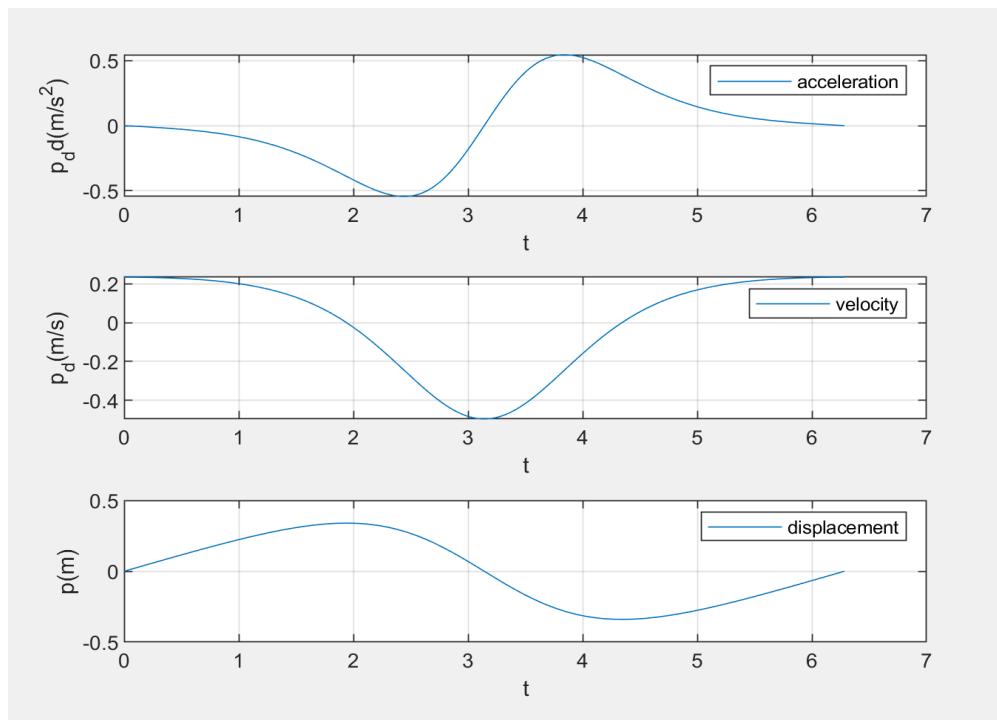
در ادامه، نتایج حاصل از تحلیل مکان، سرعت و شتاب در نرم افزار MATLAB آورده شده است:



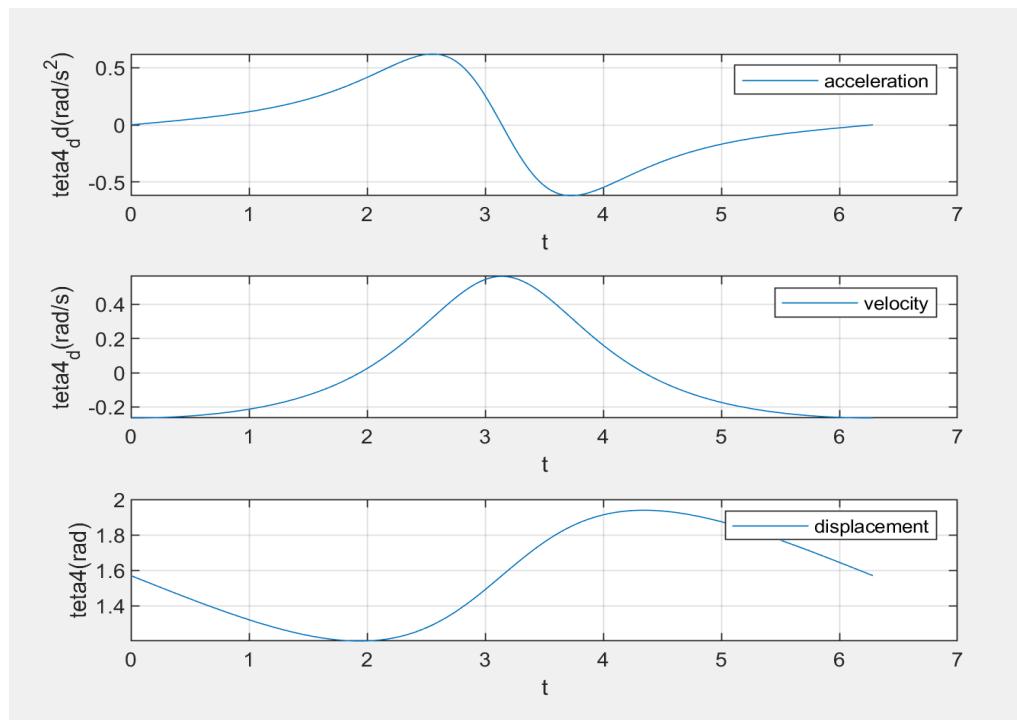
لينك ۳



لينك ۴



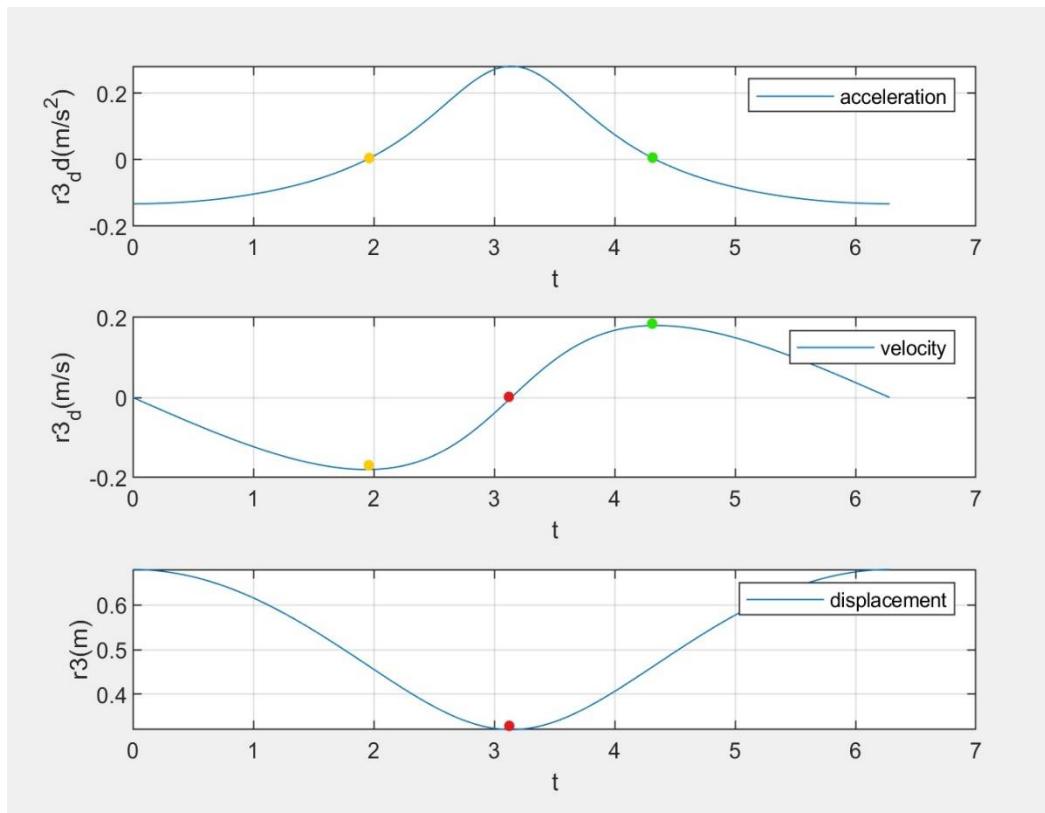
**P**



**$\theta_4$**

## بررسی صحت نمودارهای متلب:

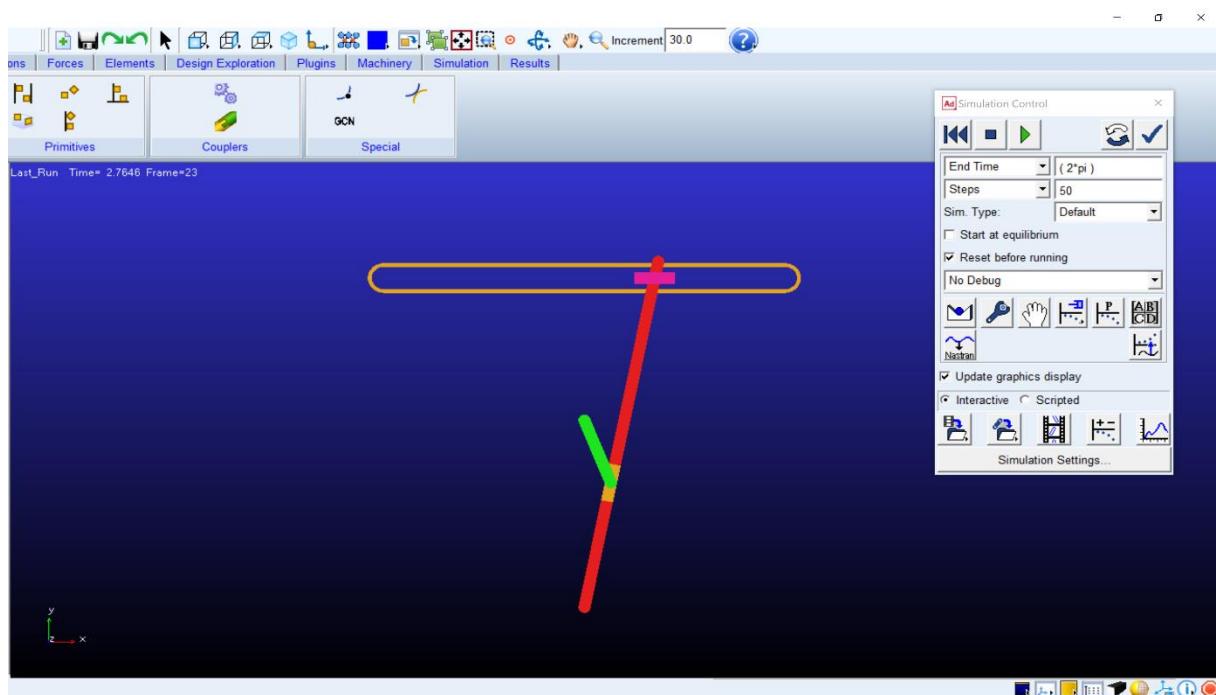
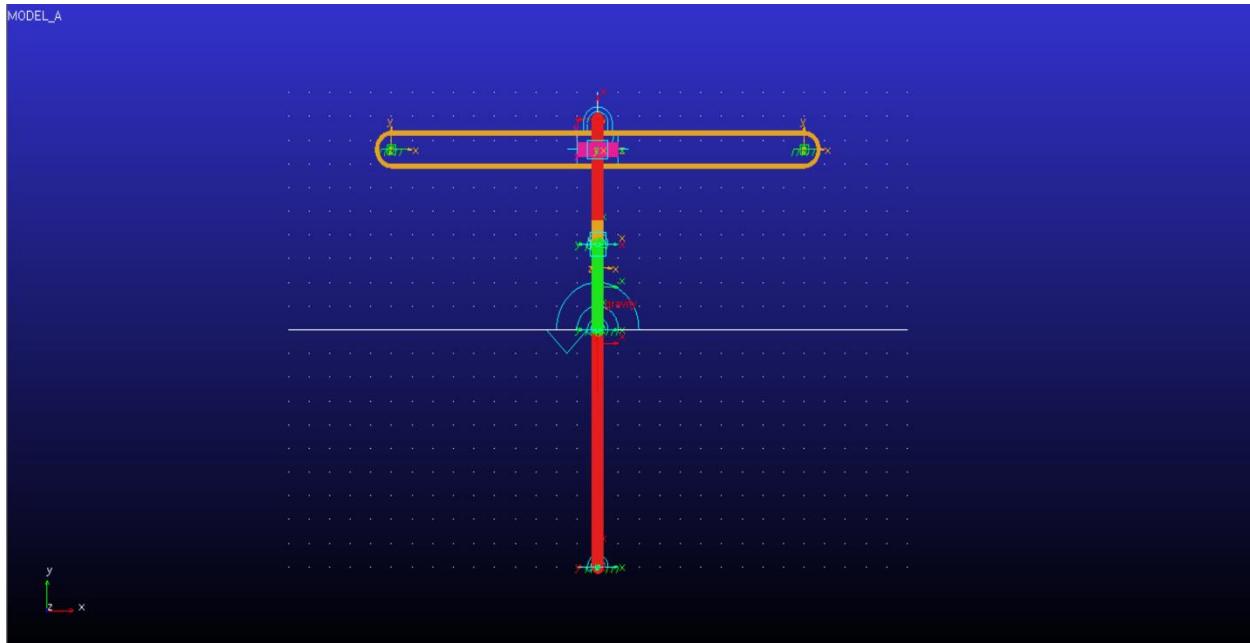
با توجه به نمودار های رسم شده، رابطه‌ی میان یکتابع پیوسته و مشتق آن در نمودارها کاملاً برقرار است. مثلاً در جایی که مولفه‌ی مکان ماقزیم شده است مولفه‌ی سرعت که مشتق زمانی مکان است صفر می‌باشد و همچنین در زمان‌هایی که سرعت ماقزیم است (پیک‌های نمودار سرعت) نمودار شتاب مقدار صفر را دارد. برای نمونه به نقاط نشان داده شده در تصویر زیر که مربوط به لینک ۳ است توجه شود (برای سایر مجھولاتی که با حل معادلات بدست آمدند هم این بحث برقرار است).

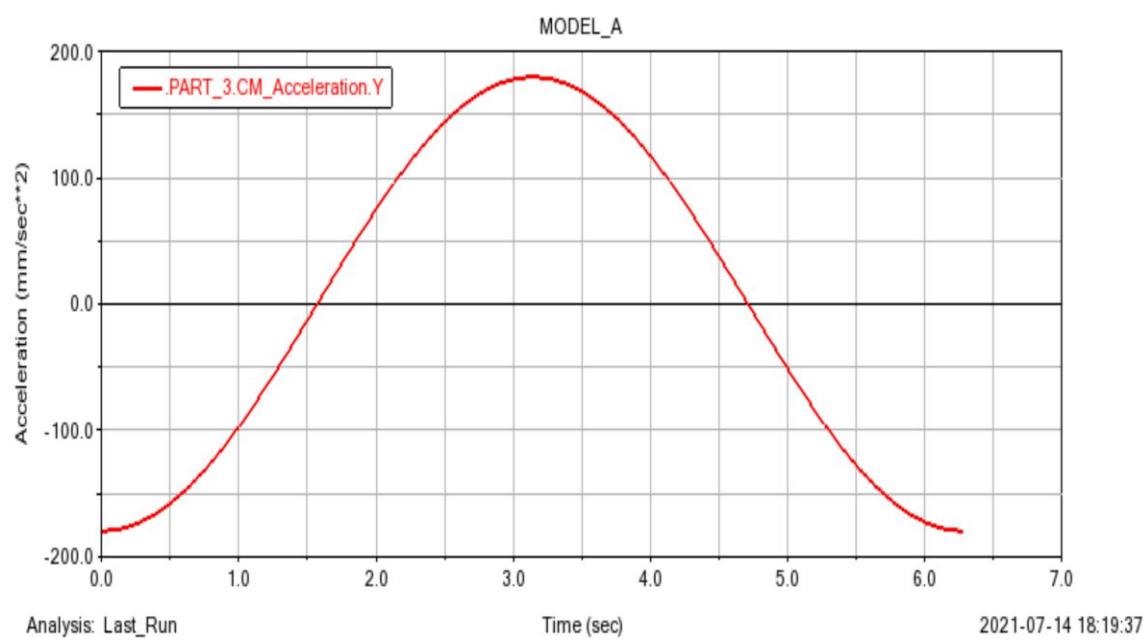
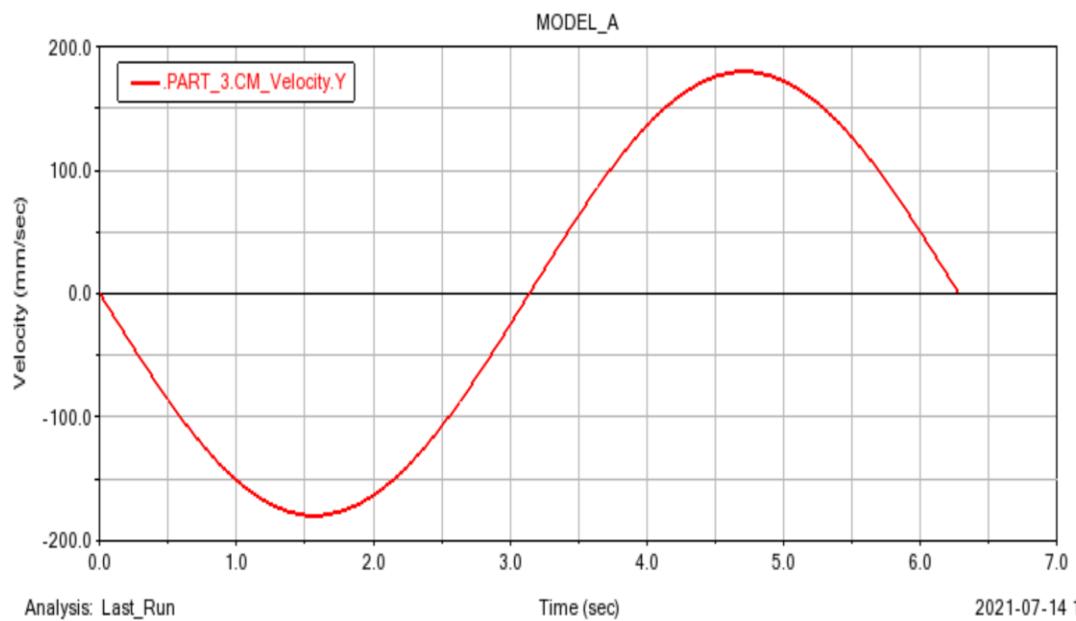


در واقع از این امر می‌توان متوجه شد که در مشتق گیری از معادلات مکان و سرعت اشتباهی رخ نداده است و معادلات به درستی استخراج و حل شده‌اند.

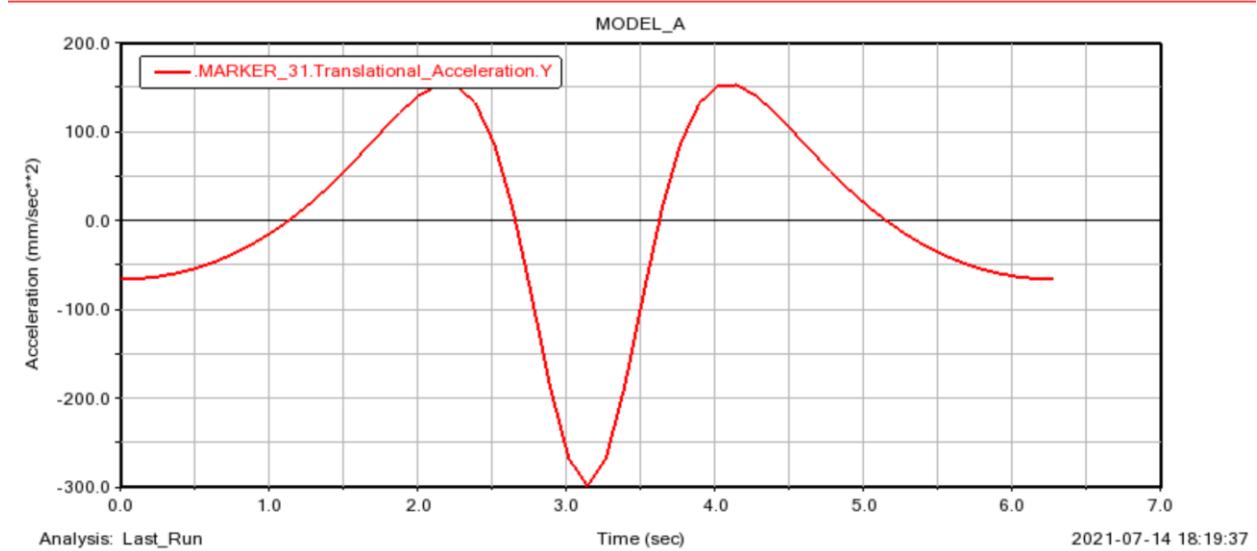
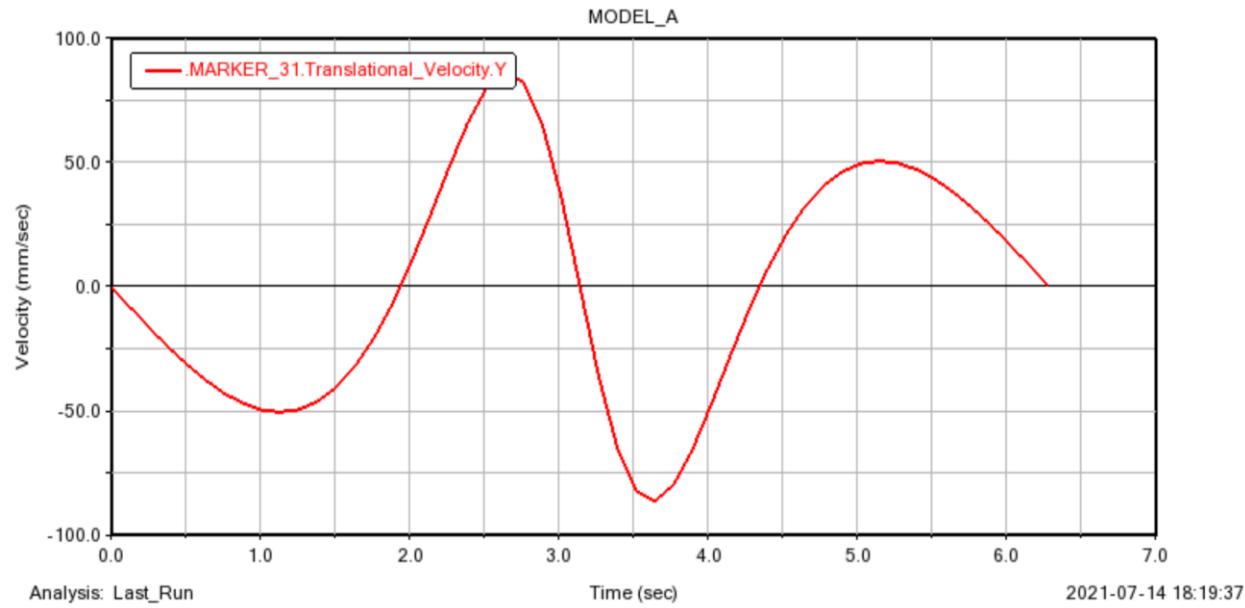
## تحلیل سرعت و شتاب در نرم افزار Adams

پس از مدلسازی مکانیزم به شکل زیر در این نرم افزار، نمودارهای مربوطه بدست می‌آیند که در ادامه آورده شده است:

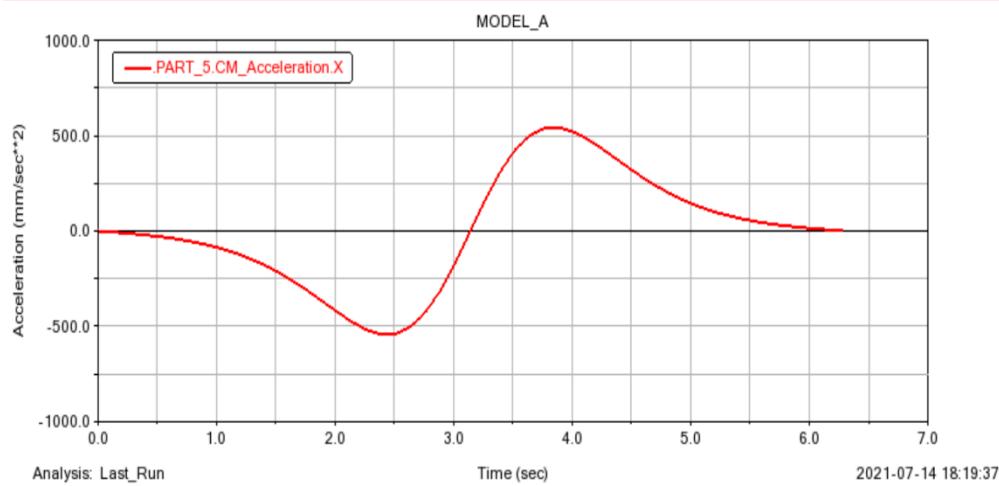
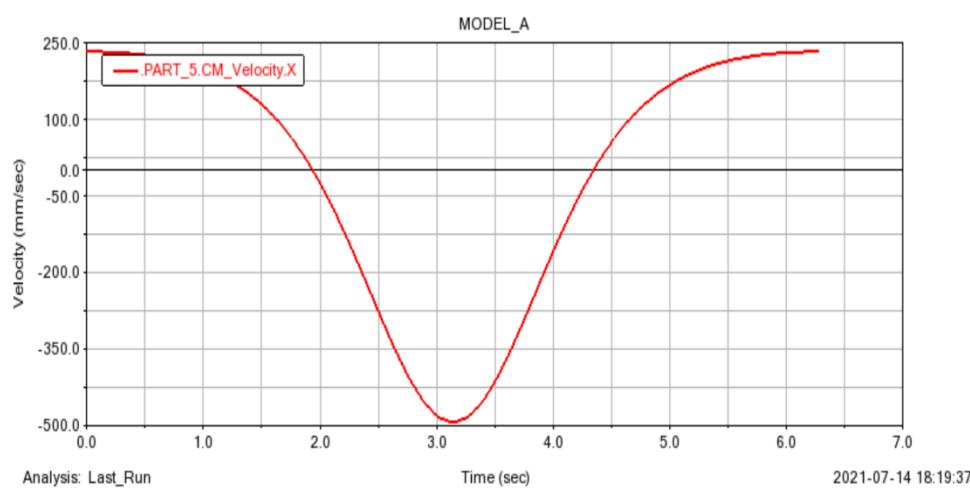
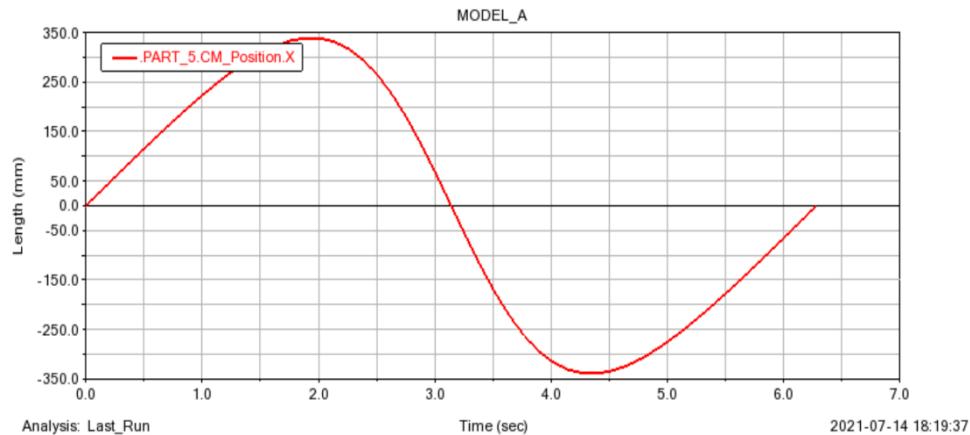




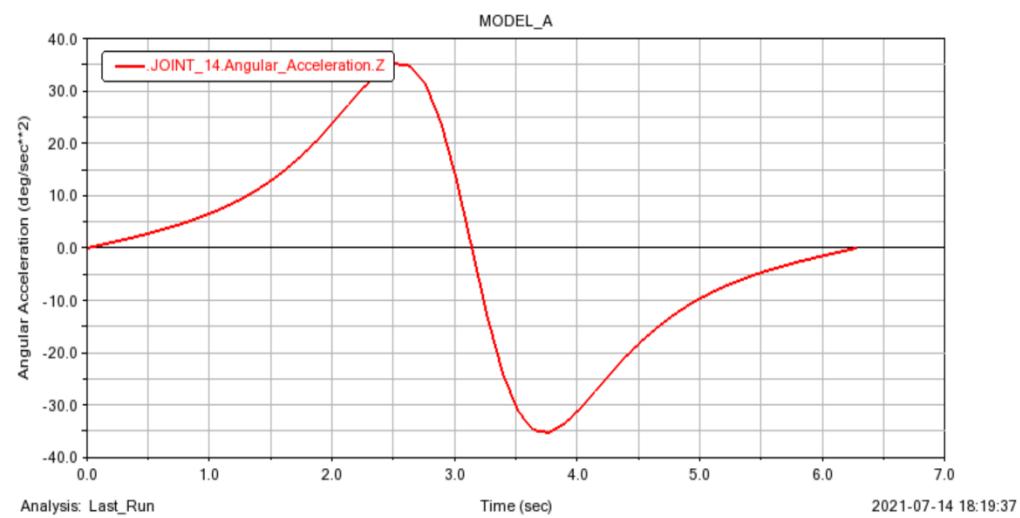
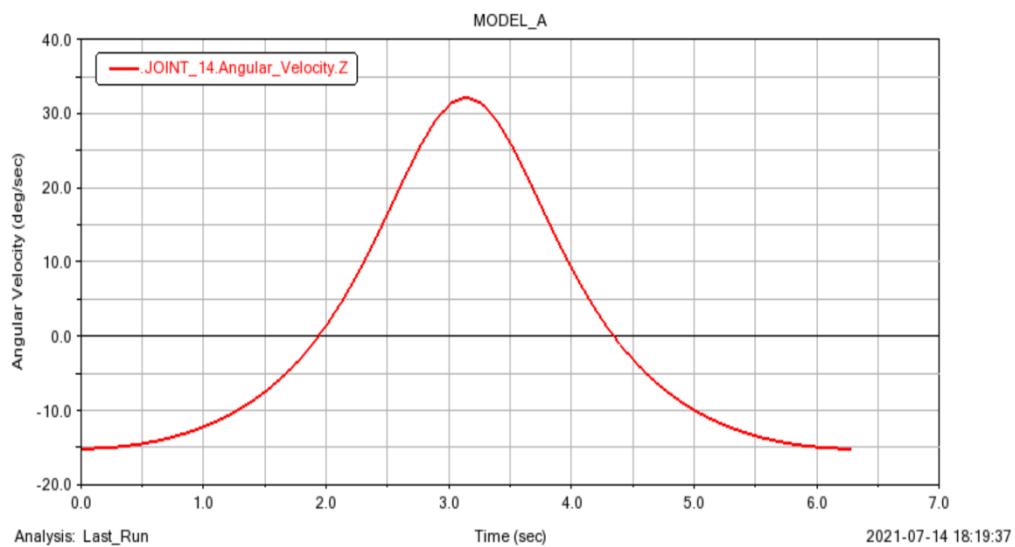
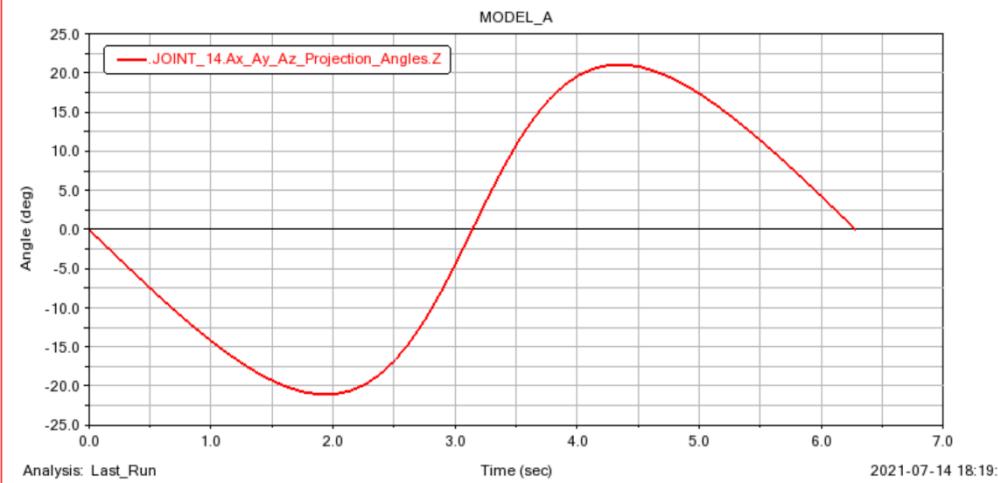
لینک ۲



لينك ٤



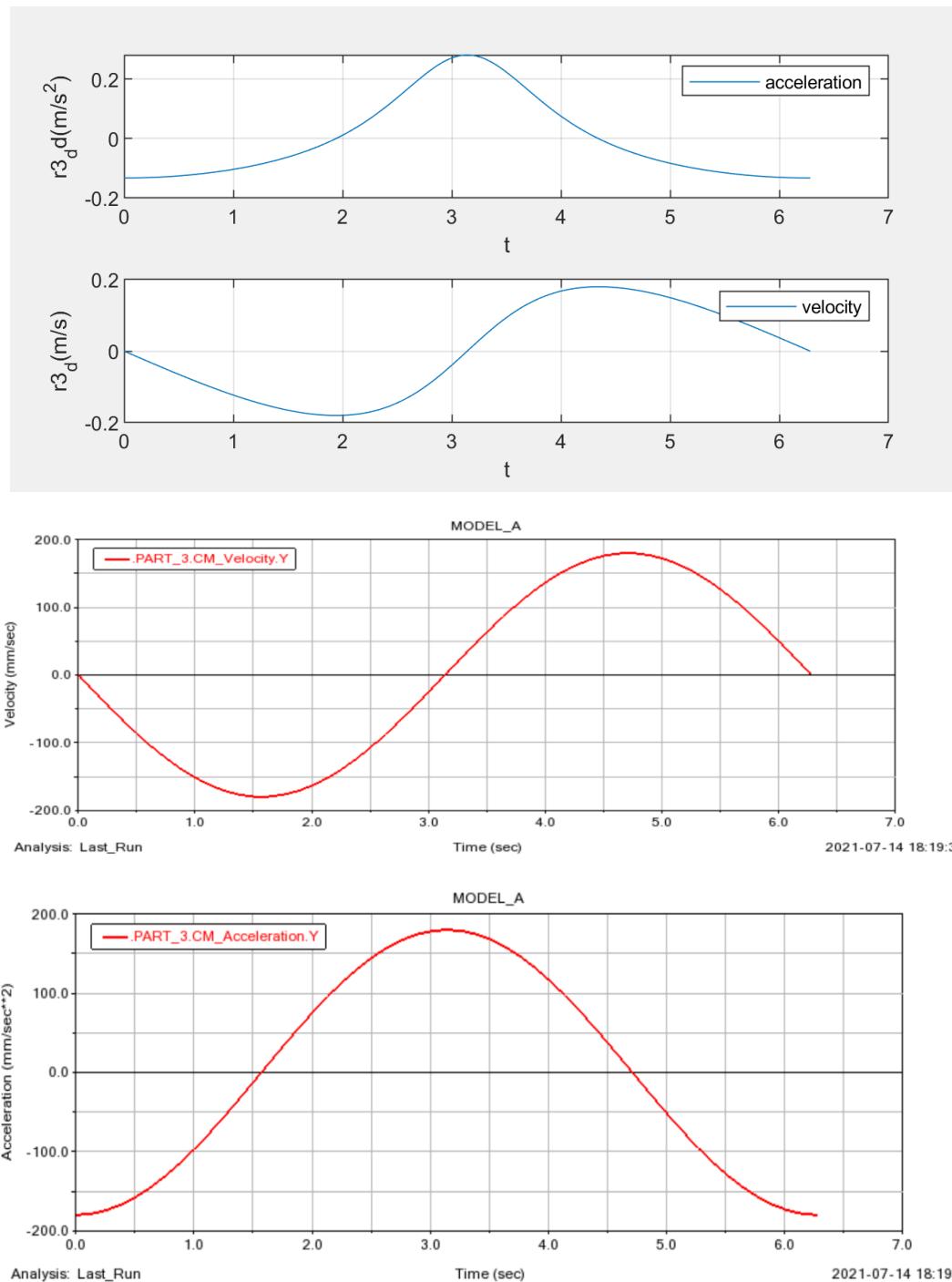
**P**



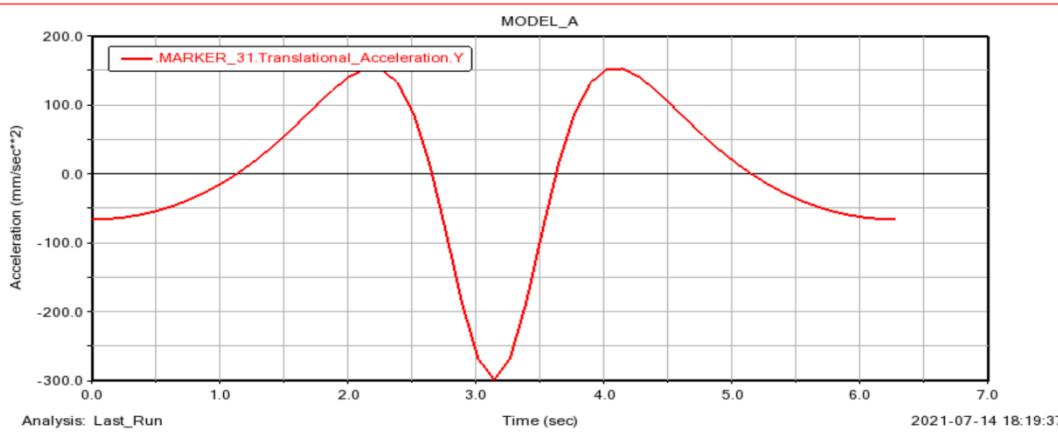
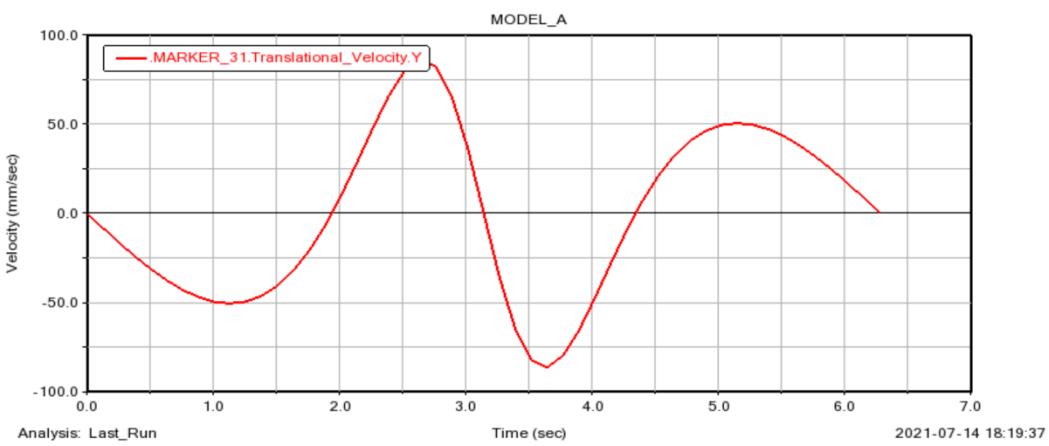
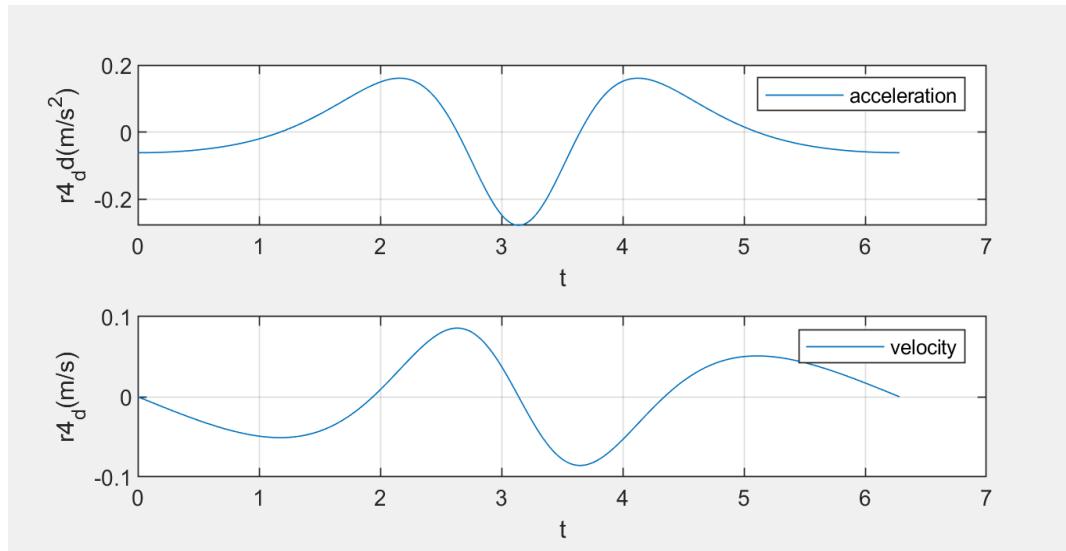
$\theta_4$

حال برای مقایسه بهتر، نمودارهای سرعت و شتاب رسم شده برای هر لینک در دو نرم افزار را کنار هم می‌آوریم. دقیق شود که علت تفاوت در مقادیر این است که در نمودارهای Adams از یکای mm و degree به جای m و rad استفاده شده است.

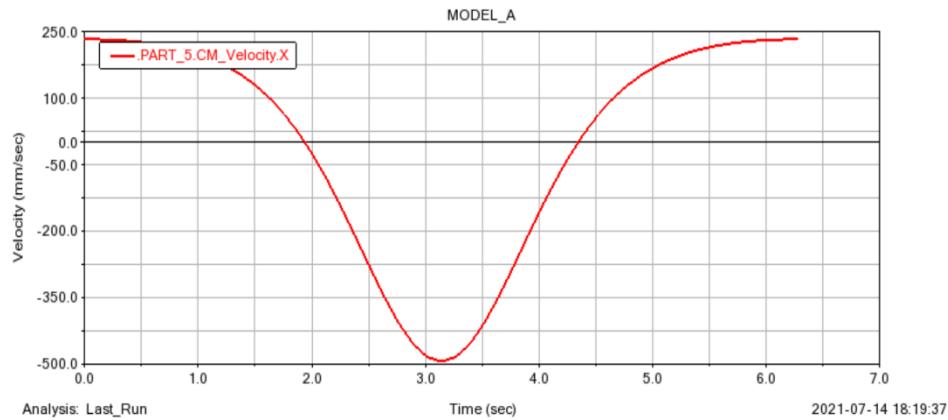
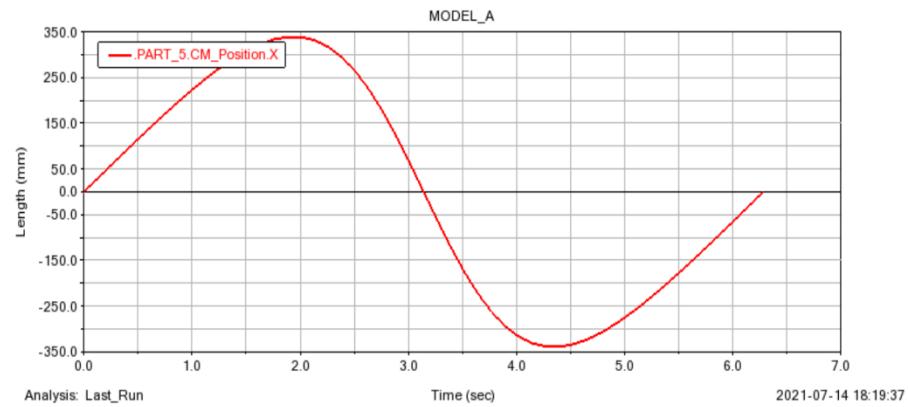
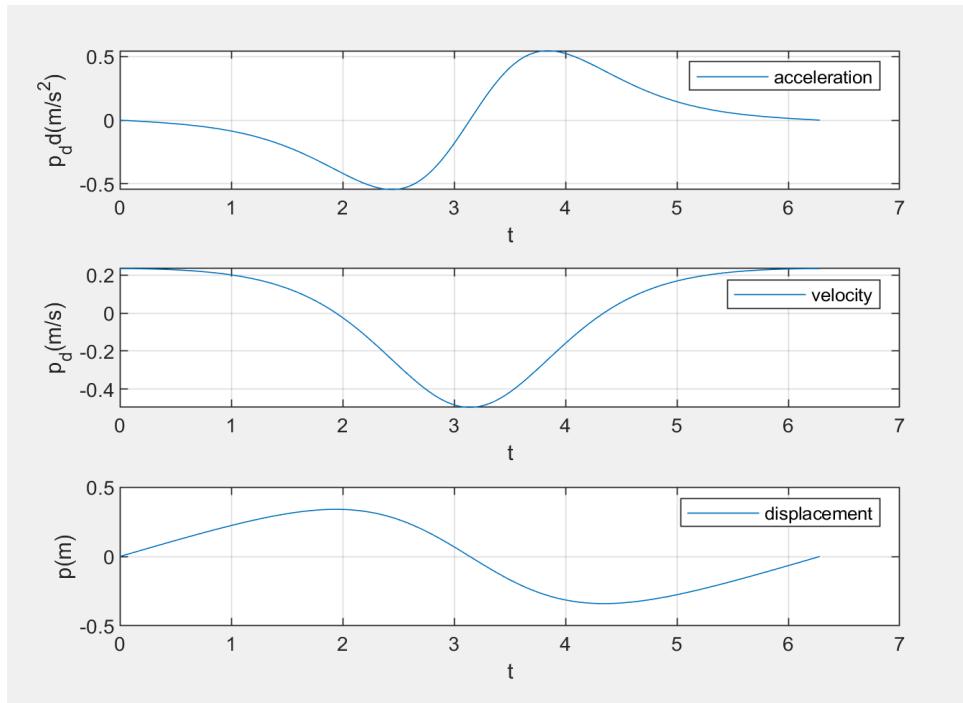
### • برای لینک ۳:

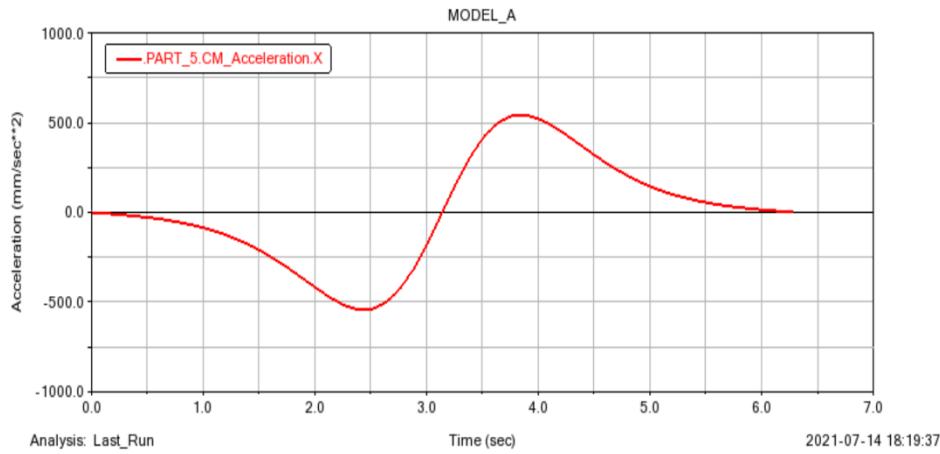


برای لینک ۴:

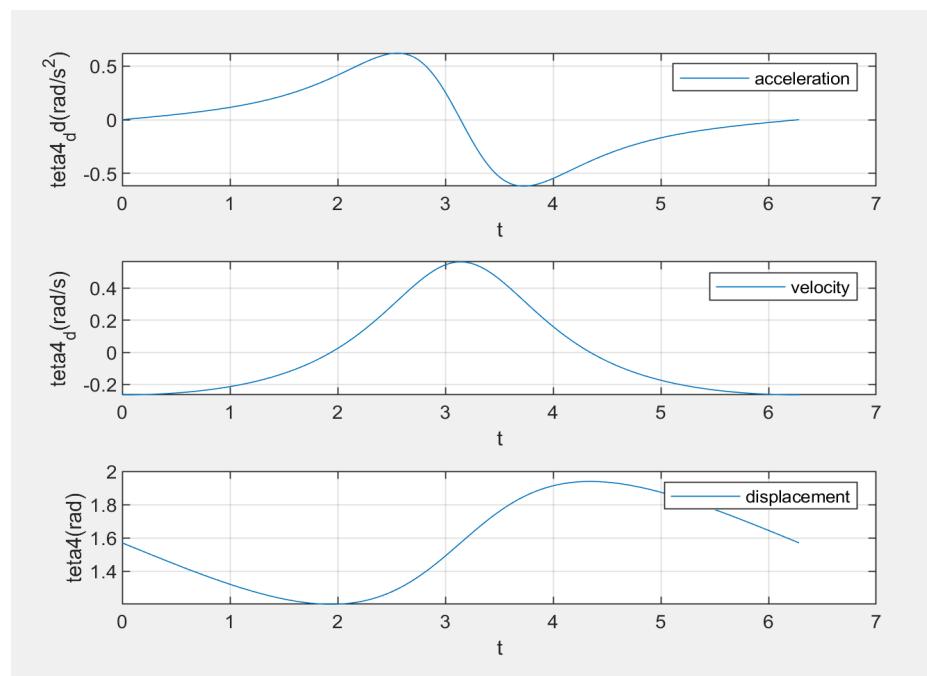


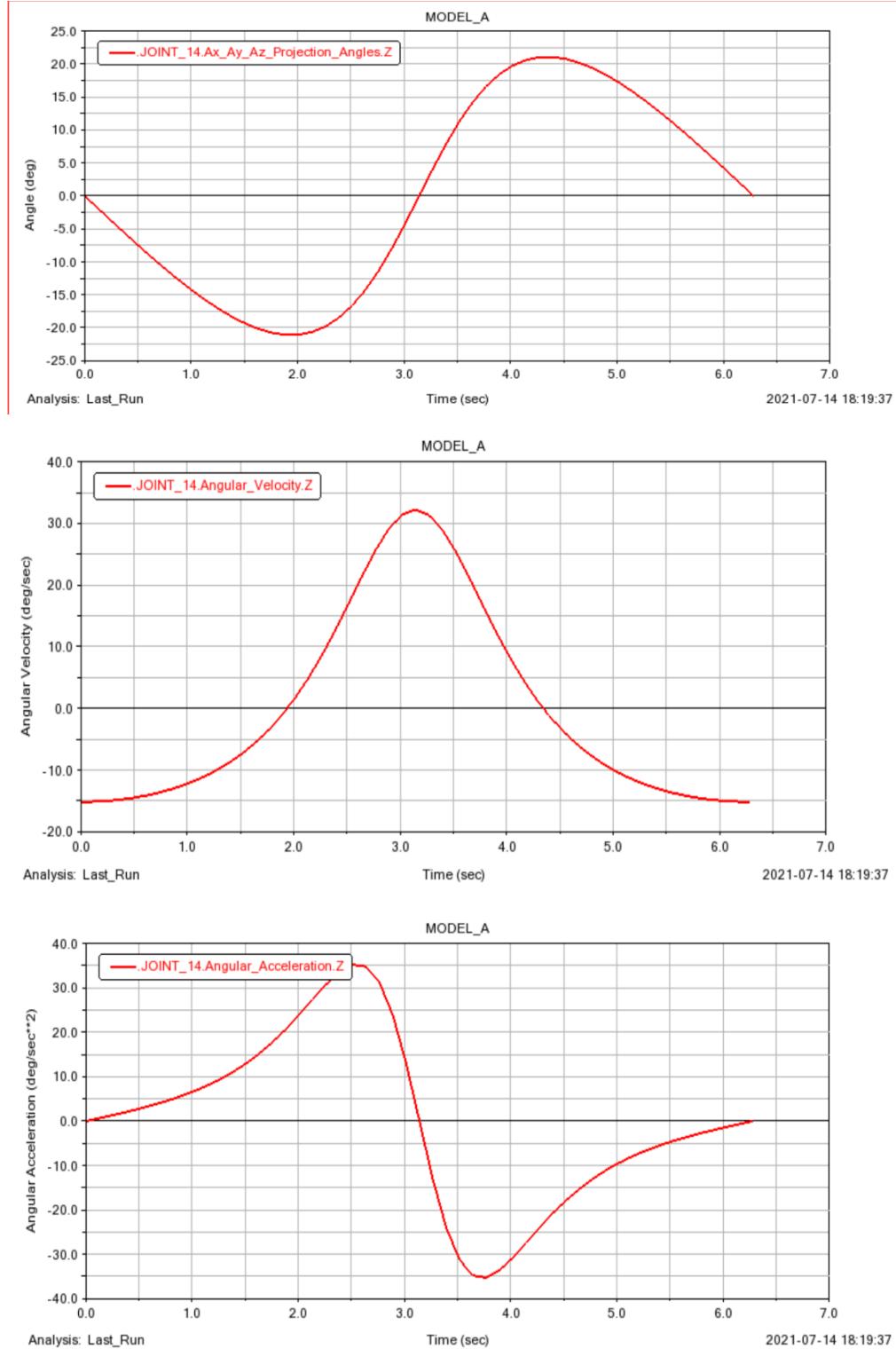
برای **P**





•  $\theta_4$  بازی .





$\theta_4$

همان طور که مشاهده می شود، نمودارهای حاصل از شبیه سازی در دو نرم افزار مطابقت دارند.

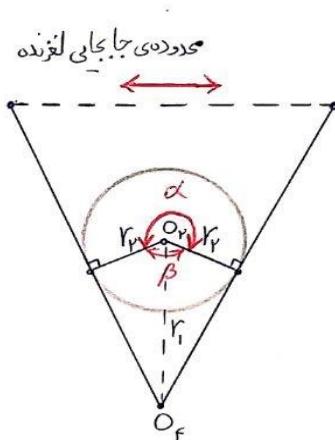
## بررسی بازگشت سریع بودن مکانیزم با محاسبه زمان رفت و برگشت

در قسمت‌های قبلی با مطالعه زوایای طی شده در دو مرحله رفت و برگشت، بازگشت سریع بودن مکانیزم را بررسی کردیم. حال برای این کار از حل عددی استفاده می‌کنیم:

مکانیزم اکنون دارای مکانیزم بازگشت سریع است و با توجه به مکانیزم این ادعای ثابت می‌شود:

$$\alpha : \text{زاویهی زمت} \quad \beta : \text{زاویهی برگشت}$$

(اجام کار)



$$TR = Q_{\text{time ratio}} = \frac{t_{\text{اجام کار}}}{t_{\text{بازگشت}}}$$

$$\omega_r = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{cte} \rightarrow \frac{t_{\text{اجام کار}}}{t_{\text{بازگشت}}} = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$Q_{\text{time ratio}} = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\cos \frac{\beta}{r} = \frac{r_p}{r_i} = \frac{18^\circ}{60^\circ} = 0,34 \rightarrow \beta = \arccos^{-1}(0,34)$$

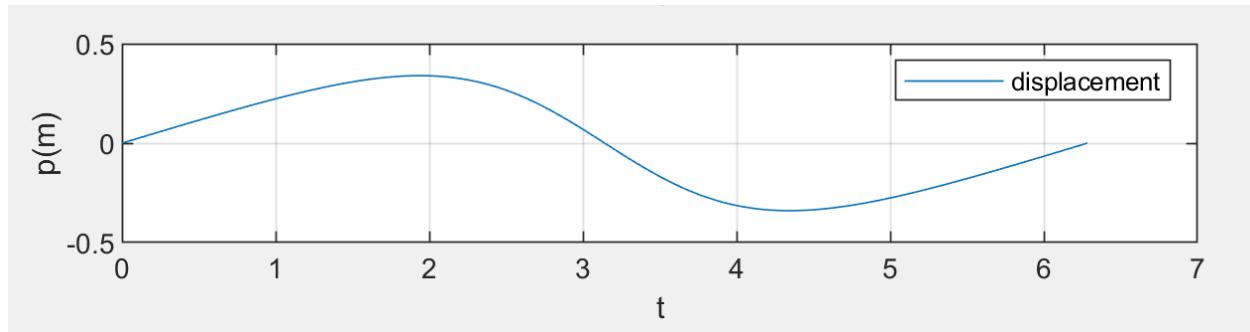
$$\beta = 61,9^\circ = 1,1 \text{ rad} \rightarrow \alpha + \beta = \pi \rightarrow \alpha = \pi - \beta = 0,8 \text{ rad}$$

$$Q_{\text{time ratio}} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0,8}{1,1} = 0,73 < 1$$

مکانیزم بازگشت سریع محسب شود.

$$\begin{cases} t_{\text{اجام کار}} = \frac{\alpha}{\omega_r} = \alpha = 0,8 \text{ s} \\ t_{\text{بازگشت}} = \frac{\beta}{\omega_r} = \beta = 1,1 \text{ s} \end{cases}$$

همچنین نمودار رسم شده برای p نیز این موضوع را تائید می‌کند:



با بررسی این نمودار متوجه می‌شویم که زمانی که لغزنده طی می‌کند تا از مثبت ترین حالت به منفی ترین حالت برسد (زمان برگشت) مقدار بسیار کمتری دارد نسبت به حالتی که بخواهد از منفی ترین حالت به مثبت ترین حالت برسد (زمان رفت). این موضوع می‌تواند تحلیل ما مبنی بر بازگشت سریع بودن مکانیزم را تائید کند.

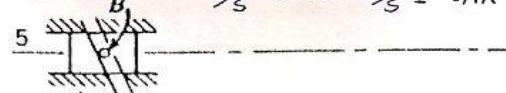
## تحلیل سرعت و شتاب مکانیزم در یک حالت خاص به روش ترسیمی

جت  $\omega_r$  به صورت  $CCW$  و مدار آن برابر  $1 \text{ rad/s}$  فرضی کنید.

$$|\vec{V}_{A_r}| = |\vec{V}_{A_p}| = O_r A \omega_r = 1\lambda \times 1 = 1\lambda \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 1,1\lambda \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

scale :  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

$$\vec{V}_{A_f} = \vec{V}_{A_r} + \vec{V}_{A_f/A_r}$$



$$|\vec{V}_{A_f}| = 0,1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times \frac{1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\mu \text{cm}} = V_r \cdot 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$|\vec{V}_{A_f/A_r}| = 1,9 \times \frac{1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\mu \text{cm}} = |V_r| \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$O_r A_f = \delta_r \cdot \nu^{\text{cm}} \times \frac{1\lambda \frac{\text{mm}}{\text{s}}}{\nu \text{cm}} = \nu_{r,1} \cdot 1 \text{ mm}$$

$$\omega_f = \frac{|\vec{V}_{A_f}|}{O_r A_f} = \frac{V_r \cdot 1 \cdot 1}{\nu_{r,1} \cdot 1 \cdot 1} = 0,21\lambda \frac{\text{rad}}{\text{s}} \rightarrow \text{CW}$$

$$O_f B_f = 1\lambda \cdot \delta \text{ cm} \times \frac{1\lambda \frac{\text{mm}}{\text{s}}}{\nu \text{cm}} = 1,1\lambda \cdot \delta V \text{ mm}$$

$$|\vec{V}_{B_f}| = O_f B_f \omega_f = 1,1\lambda \cdot \delta V \times \frac{1 \cdot 1}{1,1} \times 0,21\lambda = 1V_r \cdot \delta F$$

$$\vec{V}_{B_d} = \vec{V}_{B_f} + \vec{V}_{B_d/B_f}$$

مکانیزم دوم

$$|\vec{V}_{B_d}| = \nu \text{ cm} \times \frac{1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\mu \text{cm}} = 1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad \text{سرعت لغزنده} \quad \text{جت: } \rightarrow \text{راست}$$

$$|\vec{V}_{B_d/B_f}| = 0,1\nu \text{ cm} \times \frac{1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\mu \text{cm}} = 4,1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\vec{a}_{A_r} = \vec{a}_{A_p}$$

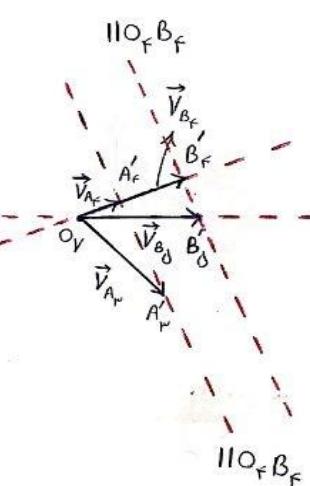
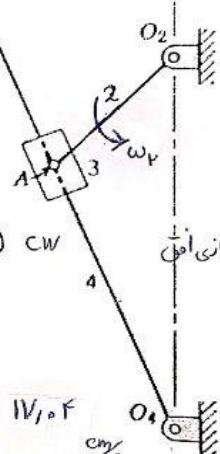
$$\vec{a}_{A_p} + \vec{a}_{A_r} = \vec{a}_{A_f} + \vec{a}_{A_F} + \vec{a}_{A_p/A_F} + \vec{a}_{A_p/A_F} + \vec{a}_{A_p/A_F}$$

$$|\vec{a}_{A_p}^n| = \frac{|\vec{V}_{A_p}|^2}{O_r A} = \frac{(1\lambda \times 1)^2}{1\lambda \times 1} = 0,1\lambda \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1\lambda \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$|\vec{a}_{A_p}^t| = O_r A \alpha_r = 0$$

$$|\vec{a}_{A_F}^n| = \frac{|\vec{V}_{A_F}|^2}{O_f A_f} = \frac{(V_r \cdot 1)^2}{\nu_{r,1} \cdot 1} = 0,01\nu^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,0\nu \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$|\vec{a}_{A_p/A_F}^n| = \frac{|\vec{V}_{A_p/A_F}|^2}{\rho} \underset{\rho \rightarrow \infty}{=} 0$$



$$|\vec{\alpha}_{A_f}^c| = \gamma \omega_f |\vec{v}_{A_f}| = \gamma_{X_0, MP_X} |V_1| = V_1 \gamma \text{ cm/s}$$

scale : 1 cm  $\leftrightarrow$  1,01 cm/s

$$|\vec{\alpha}_{A_f}| = 9,1 \text{ cm} \times \frac{1,01 \text{ cm/s}}{1 \text{ cm}} = 9,101 \text{ cm/s}$$

$$|\vec{\alpha}_{A_f}^t| = 9,1 \text{ cm} \times \frac{1,01 \text{ cm/s}}{1 \text{ cm}} = 9,101 \text{ cm/s}$$

$$\alpha_f = \frac{|\vec{\alpha}_{A_f}|}{O_f A_f} = \frac{9,101 \text{ cm/s}}{10,1 \text{ cm} \times 1,01 \text{ cm/s}} = 0,900 \text{ rad/s} \rightarrow \text{cw}$$

$$|\vec{\alpha}_{B_f}^n| = \frac{|\vec{v}_{B_f}|}{O_f B_f} = \frac{(V_{1,f} \times 1,01 \text{ cm/s})}{10,1 \text{ cm} \times 0,900 \text{ rad/s}} = 1,11 \text{ cm/s}$$

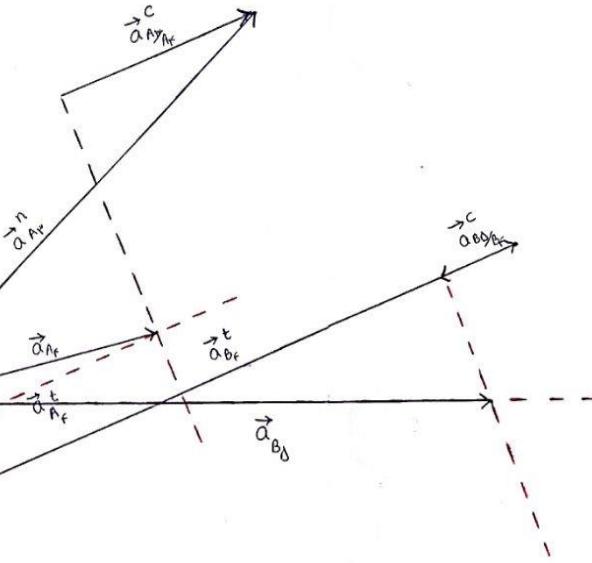
$$|\vec{\alpha}_{B_f}^t| = O_f B_f \alpha_f = 10,1 \text{ cm} \times 0,900 \text{ rad/s} = 9,09 \text{ cm/s}$$

$$|\vec{\alpha}_{B_f}^n| = 0 \quad (\rho \rightarrow \infty)$$

$$|\vec{\alpha}_{B_f}^n| = \frac{|\vec{v}_{B_f}|}{\rho} = 0$$

$$|\vec{\alpha}_{B_f}^c| = \gamma \omega_f |\vec{v}_{B_f}| = \gamma_{X_0, Y_1 Y_2} 9,1 \text{ cm} = 9,101 \text{ cm/s}$$

$$|\vec{\alpha}_{B_f}| = |\vec{\alpha}_{B_f}^t| = 10,1 \text{ cm} \times \frac{1,01 \text{ cm/s}}{1 \text{ cm}} = 10,101 \text{ cm/s} \quad \text{نتج:} \rightarrow \text{راست}$$



## مقایسه نتایج حل دستی با نمودارهای MATLAB

نتایج حاصل از حل دستی در زمان  $t=2.34 \text{ s}$  به صورت زیر بود:

$\Theta_4 = 1.17 \text{ rad}$	$P = 321.43 \text{ mm}$
$\omega_4 = 0.212 \text{ rad/s}$	$V_p = 18 \text{ cm/s}$
$a_4 = 0.276 \text{ rad/s}^2$	$a_p = 20.98 \text{ cm/s}^2$

با بررسی نمودارهای متلب در زمان  $t=2.34 \text{ s}$  به مقادیر زیر رسید:

$\Theta_4 = 1.17 \text{ rad}$	$P = 310 \text{ mm}$
$\omega_4 = 0.2 \text{ rad/s}$	$V_p = 19 \text{ m/s}$
$\alpha_4 = 0.5 \text{ rad/s}^2$	$a_p = 48 \text{ cm/s}^2$

ملاحظه می‌شود که مقادیر تا حد قابل قبولی نزدیک هستند و تنها مقدار شتاب  $P$  به اندازه  $0.2 \text{ m/s}^2$  با مقدار حل دستی اختلاف دارد. این خطا می‌تواند به دو علت اصلی باشد :

۱- مقادیر بدست آمده با حل دستی وابسته به اندازه گیری‌های انجام شده با خط کش و نقشه است که می‌توانند با خطا همراه باشند. علاوه بر آن، با توجه به فرمول‌های محاسبه شتاب، مقادیر سرعت به توان ۲ می‌رسند که این موضوع باعث می‌شود تاثیر خطاها در قسمت‌های پیشین، با توان ۲ بر روی شتاب اعمال شود.

۲- قرائت مقادیر از روی نمودارهای متلب، خود می‌تواند با مقداری خطا همراه باشد.

## تحلیل سرعت و شتاب یک نقطه بر روی لینک شناور

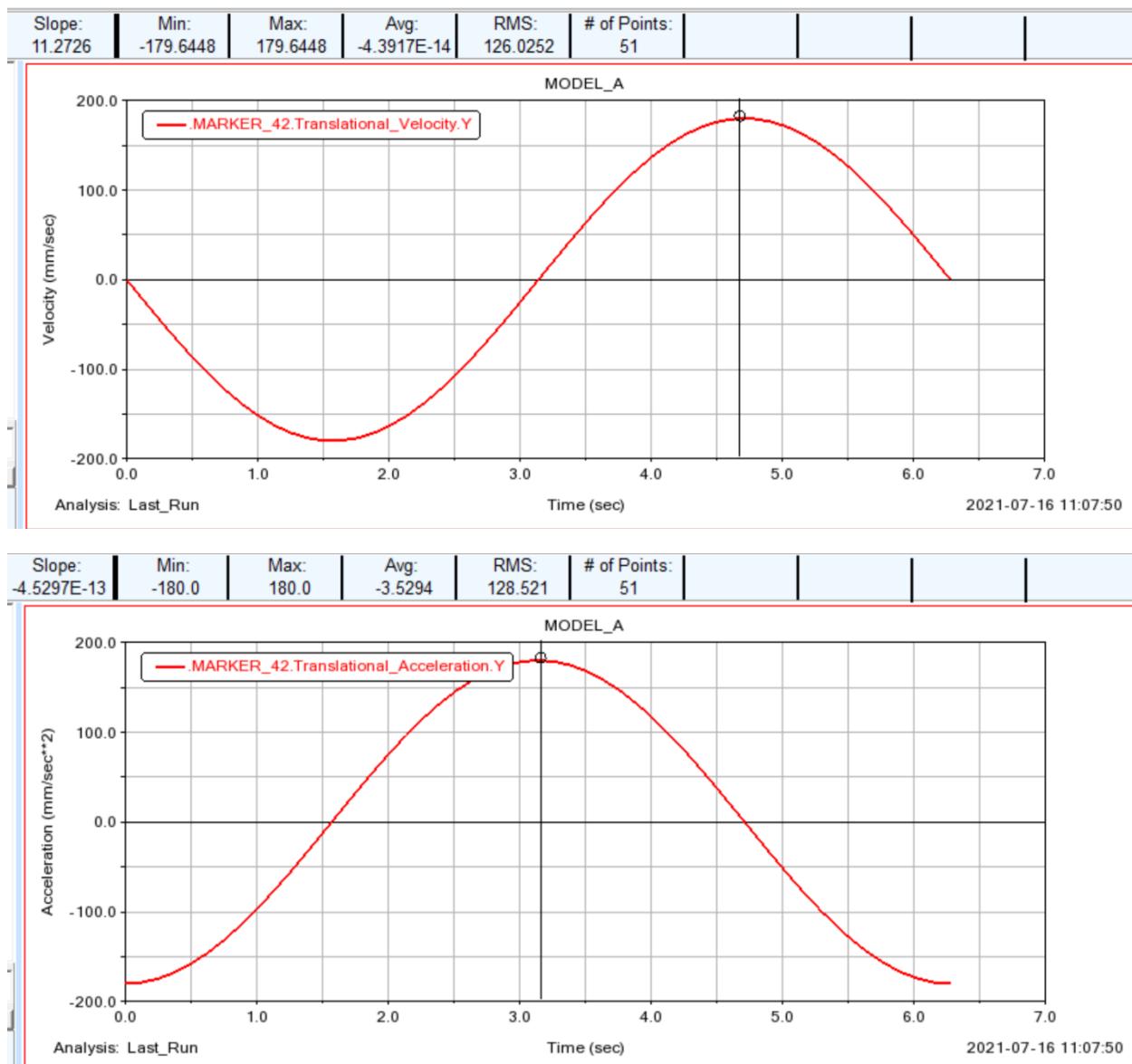
در این مکانیزم، لینک شناور لینک ۳ است. نقطه دلخواه بر روی این لینک را همان نقطه اتصال لینک ۲ و ۳ در نظر می‌گیریم (نقطه A). بنابراین نیازی به نوشتن loop جدیدی برای بررسی سینماتیک این نقطه نیست.

$$\Theta_2 = \omega_2 \cdot t \quad \text{where} \quad \omega_2 = 1 \text{ rad/s} \quad \Rightarrow \quad \Theta_2 = t$$

$$V_{A2} = V_{A3} = V_A = r \omega_2 \quad \Rightarrow \quad V_A = 180 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$a_{A2}^n = a_{A3}^n = a_A^n = r \omega_2^2 \quad \Rightarrow \quad a_A^n = 180 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$$

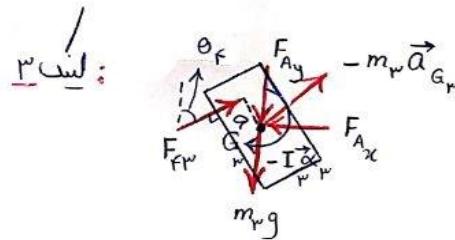
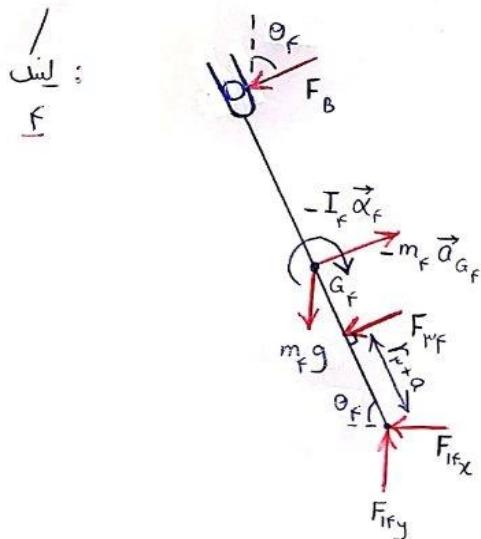
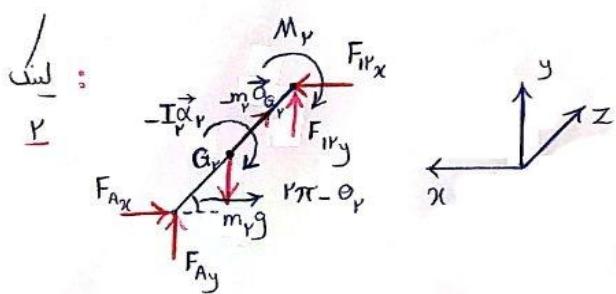
$$a_{A2}^t = a_{A3}^t = a_A^t = r \alpha_2 \quad \text{where} \quad \alpha_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad a_A^t = 0$$



در نمودارهای فوق که مربوط به شبیه سازی سرعت و شتاب حرکت لینک ۲ در نرم افزار Adams است، نقاط پیک نمودار نشان دهنده سرعت و شتاب نقطه A هستند که با نتایج مورد انتظار از حل دستی مطابقت دارند.

## بخش دوم: تحلیل دینامیکی مکانیزم

اًندن دیاً رام آزاده‌مای لیس‌های مکانیزم را رسم کریم یعنی لیس.



لیس  $\gamma$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \rightarrow -F_{A_x} + F_{I_r x} - m_r \alpha_{G_r x} = 0 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow F_{A_y} + F_{I_r y} - m_r g - m_r \alpha_{G_r y} = 0 \\ \sum M_{G_r} = 0 \rightarrow M_r - I_r \alpha_r - \frac{r_r}{r} F_{I_r x} \sin(\gamma\pi - \theta_r) - \frac{r_r}{r} F_{I_r y} \cos(\gamma\pi - \theta_r) \\ \quad - \frac{r_r}{r} F_{A_x} \sin(\gamma\pi - \theta_r) + \frac{r_r}{r} F_{A_y} \cos(\gamma\pi - \theta_r) = 0. \end{array} \right.$$

$\omega_r = 1 \text{ rad/s} \rightarrow \alpha_r = 0$

لیست ۳

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \rightarrow +F_{Ax} - F_{fr} \sin \theta_f - m_r a_{G_r x} = 0 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow -F_{Ay} - m_r g + F_{fr} \cos \theta_f - m_r a_{G_r y} = 0 \\ \sum M_{G_r} = 0 \rightarrow F_{fr} a - I_r \alpha_r = 0 \end{array} \right.$$

$\theta_r = \theta_f \rightarrow \alpha_r = \alpha_f$

مقدار  
برای خطی بدن  
معدلات

لیست ۴

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \rightarrow +F_{rfx} + F_{rf} \sin \theta_f + F_B \sin \theta_f - m_f a_{G_f x} = 0 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow F_{rfy} - F_{rf} \cos \theta_f - m_f g - F_B \cos \theta_f - m_f a_{G_f y} = 0 \\ \sum M_{G_f} = 0 \rightarrow -I_f \alpha_f - \frac{r_{fmax}}{P} F_{rfy} \cos \theta_f + \frac{r_{fmax}}{P} F_{rfx} \sin \theta_f + F_{rf} \left( \frac{r_{fmax}}{P} - r_p - \alpha \right) - \frac{r_{fmax}}{P} F_B = 0 \end{array} \right.$$

لیست ۵

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \rightarrow -F_B \sin \theta_f - m_d a_{G_d x} = 0 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow F_B \cos \theta_f + F_{ldy} - m_d g - m_d a_{G_d y} = 0 \\ \sum M = 0 \rightarrow -I_d \alpha_d = 0 \end{array} \right.$$

رابطه بندی

$\alpha_d = 0$

خطاب ۴ مراحل مکانیک صورت نبرده باشد:

$$\vec{a}_{G_r} = \frac{r_p}{P} \omega_p^2 \left[ -\cos \theta_p \vec{i} - \sin \theta_p \vec{j} \right]$$

$$\vec{a}_{G_f} = r_p \omega_p^2 \left[ -\cos \theta_p \vec{i} - \sin \theta_p \vec{j} \right]$$

$$\vec{a}_{G_d} = \left[ -\frac{r_{fmax}}{P} \omega_f^2 \cos \theta_f - \frac{r_{fmax}}{P} \alpha_f \sin \theta_f \right] \vec{i} + \left[ -\frac{r_{fmax}}{P} \omega_f^2 \sin \theta_f + \frac{r_{fmax}}{P} \alpha_f \cos \theta_f \right] \vec{j}$$

$$\vec{a}_{G_d} = \ddot{P} \vec{i}$$

با توجه به معادلات بدست آمده  $\frac{1}{\text{معادله}} = \frac{1}{\text{جهول دارم}}$ .

$$F_{A_x}, F_{A_y}, F_{B_x}, F_{B_y}, M_r, F_{fr} = F_{rf}, \quad T_{rf} = F_{rf}a$$

در این پژوهه جسـ تمام اعضاـی مـانـزم رـا فـلـز در نـظرـی لـیـزم . جـمـالـی فـلـز در نـزم اـقـارـ آـدـمـ بـاـبـ ۷۸۰۱ لـیـلـوـنـم بـرـصـمـلـعـبـ در نـظرـی لـیـزم . مقـدـارـ جـمـ وـاـنـزـیـ اـعـضـاـی مـانـزم رـاـبـ صـوـرـتـ نـیـزـ بهـ صـورـتـ دـلـخـواـهـ خـوـضـی لـیـزم :

$$\rho = V \lambda_0 l \frac{kg}{m^3}, \quad \nu = 0.149, \quad E = \mu_0 V \lambda_0 l'' \text{ Pa}, \quad g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$m_r = 1.19 \text{ kg} \quad , \quad m_f = 4.49 \text{ kg} \quad , \quad m_r = m_f = 0.1 \text{ kg}$$

$$I_r = \frac{1}{12} m R_r^4 = \frac{m}{f} \times 10^{-r} \text{ kg.m}^4, \quad I_f = \frac{1}{12} m R_f^4 = 0.149 \cdot 10^{-r} \text{ kg.m}^4, \quad I_p = 0.149 \times 10^{-f} \text{ kg.m}^4$$

اععاد مخفی لده برای لطف ها به جهت بد کت آوردن جم و اینزکی تغیری لیند ها :

$$\text{مساحت} = \text{م}_\circ \times \text{م}_\circ \times 1\text{م}_\circ \quad \text{م}_\text{م}$$

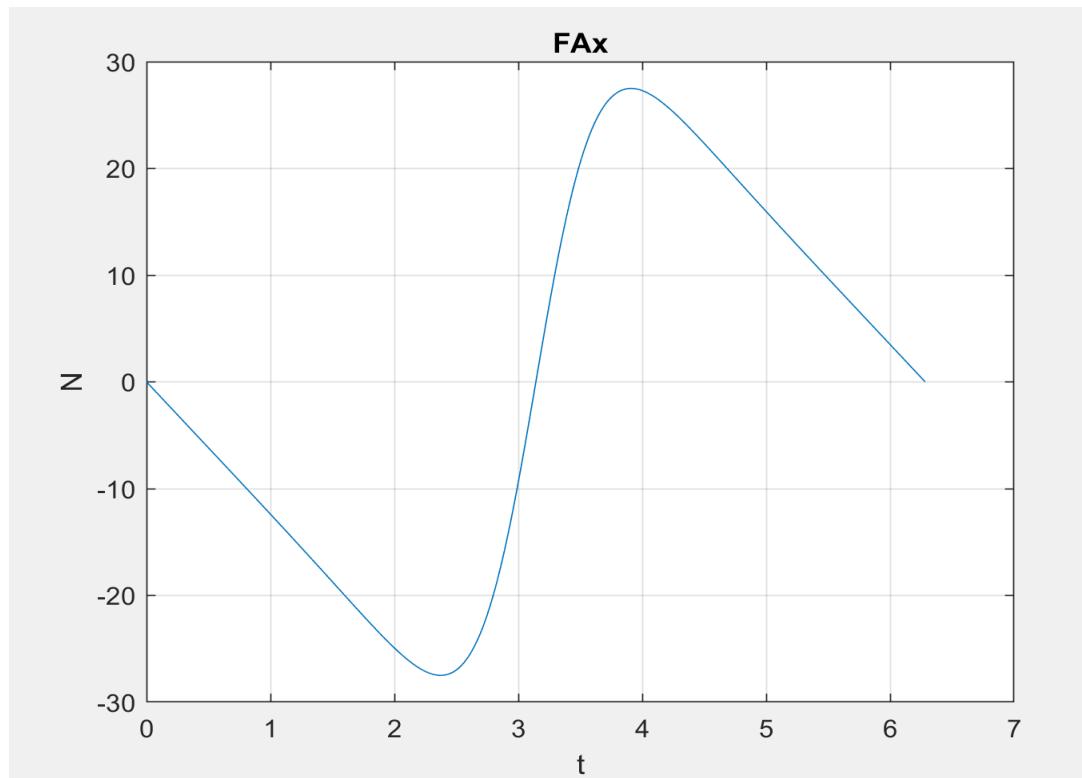
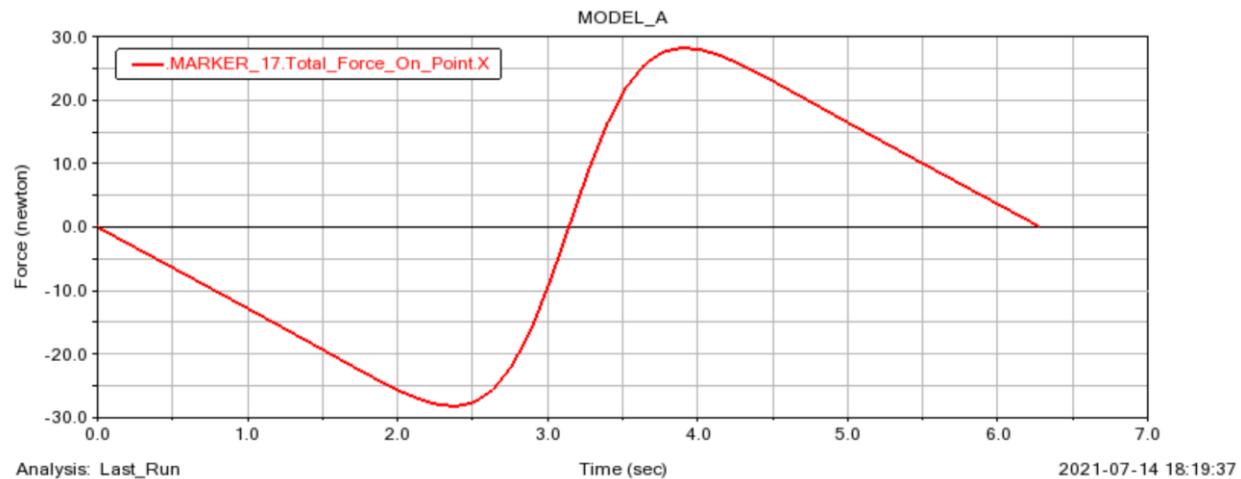
٥ لسٰنٰ ۲۰ و لسٰنٰ ۱۰۰  $20 \times 100$  mm

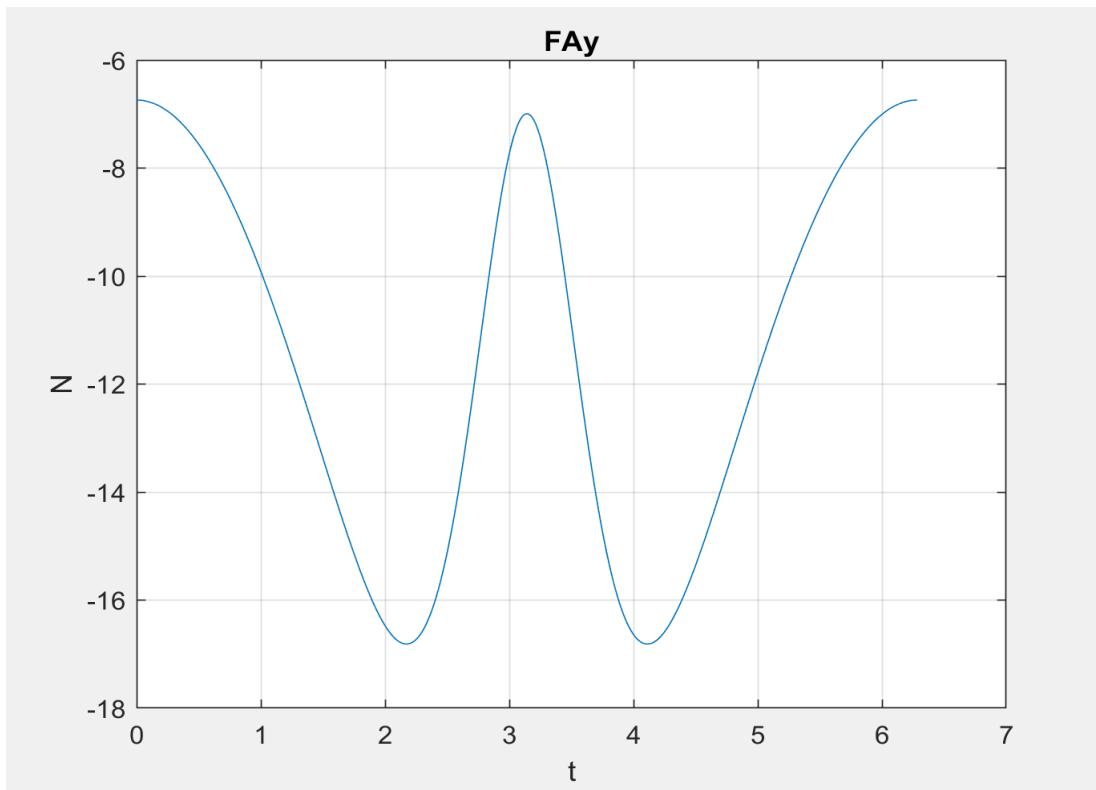
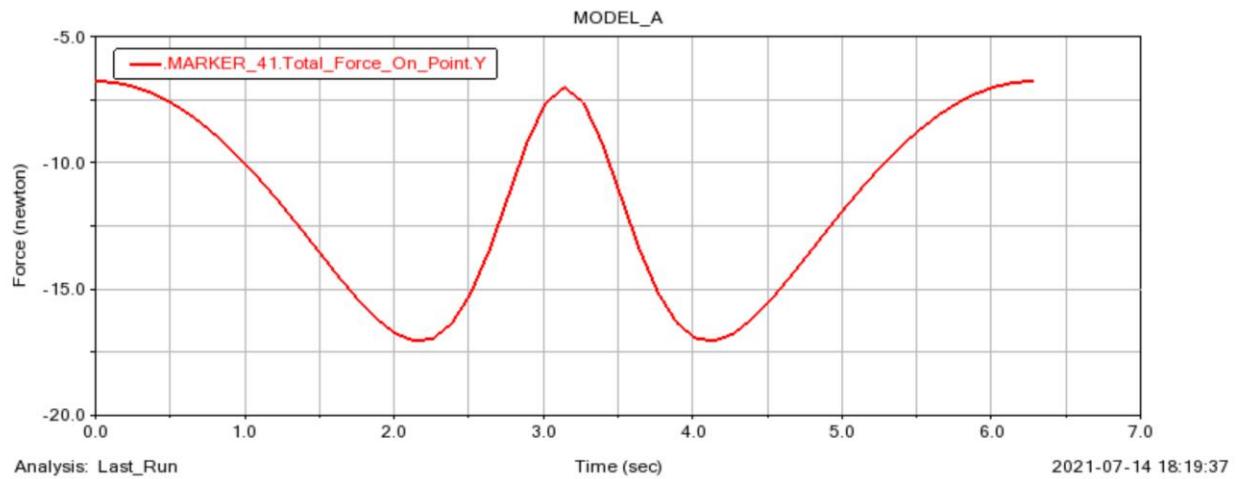
$$f_{\text{sum}} := w_0 \times w_0 \times q_{\text{sum}}$$

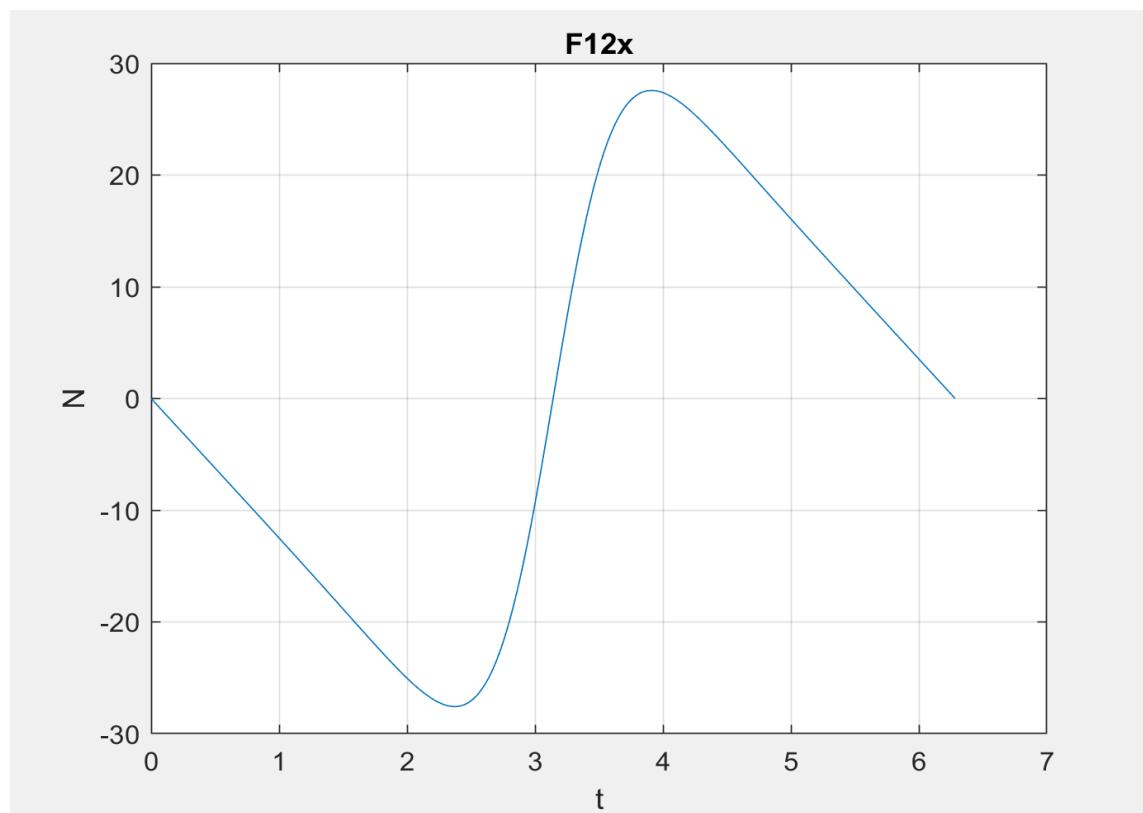
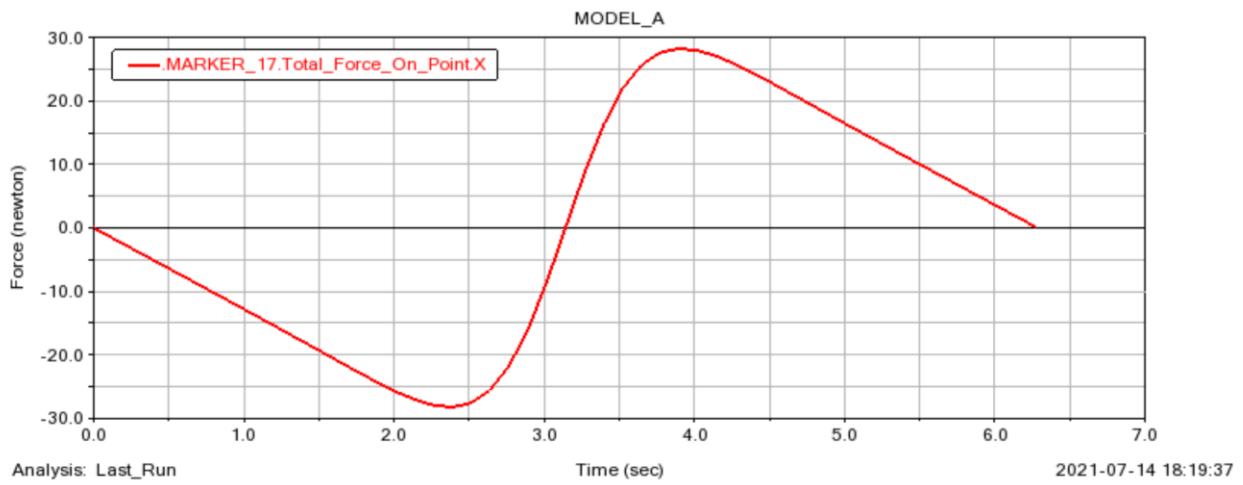
## تحلیل دینامیکی در MATLAB

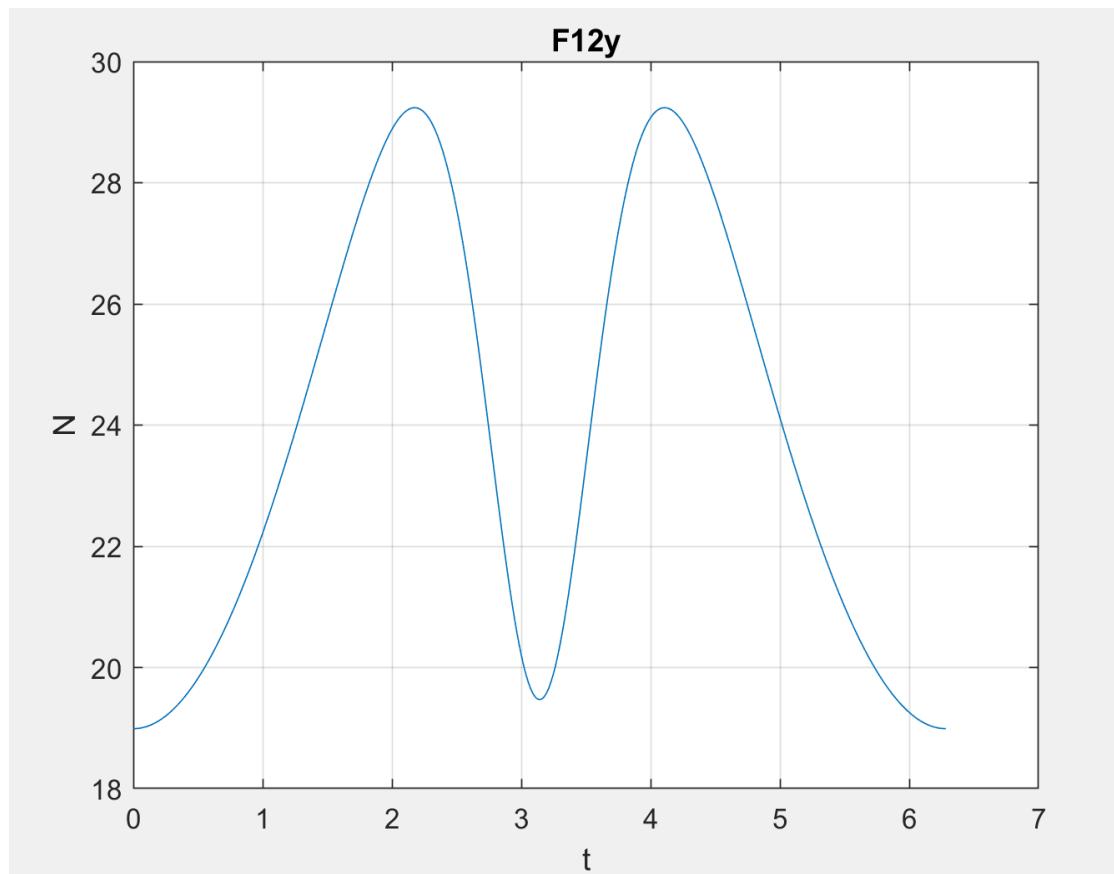
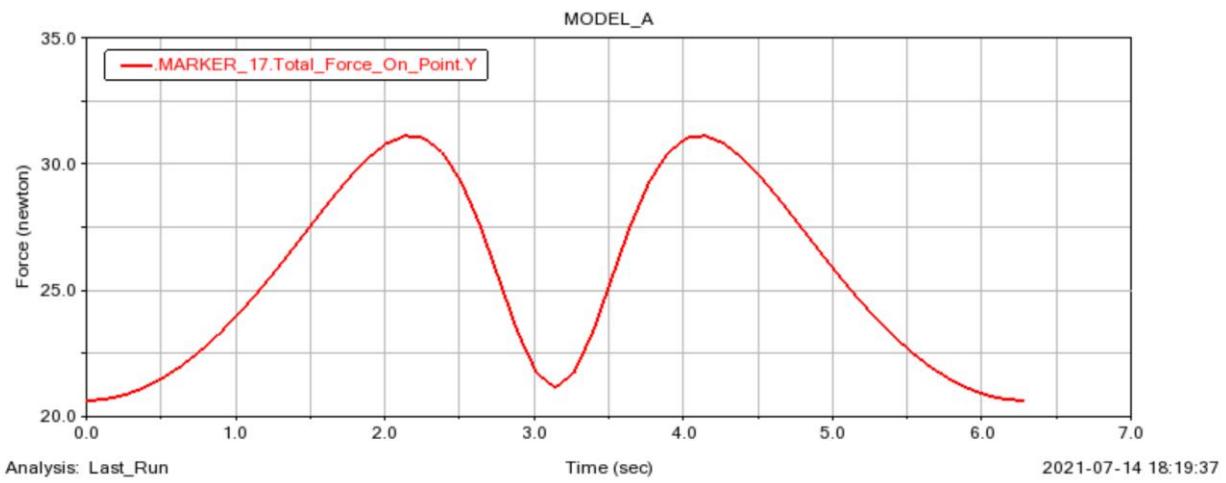
با توجه به معادلات به دست آمده، چون معادلات خطی هستند پس به راحتی با به دست آوردن ماتریس ضرایب و بردار ستونی جواب‌ها و قرار دادن آن‌ها در دستور `linsolve` متلب بردار جواب‌ها را یافت.

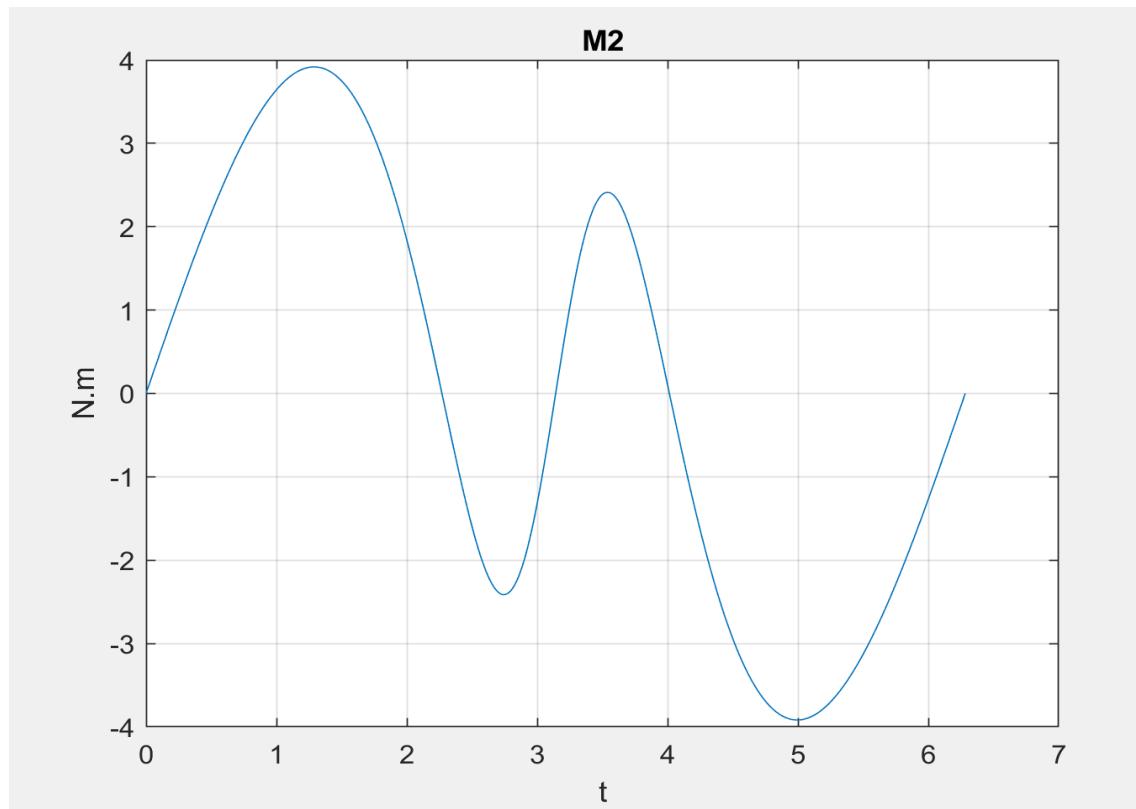
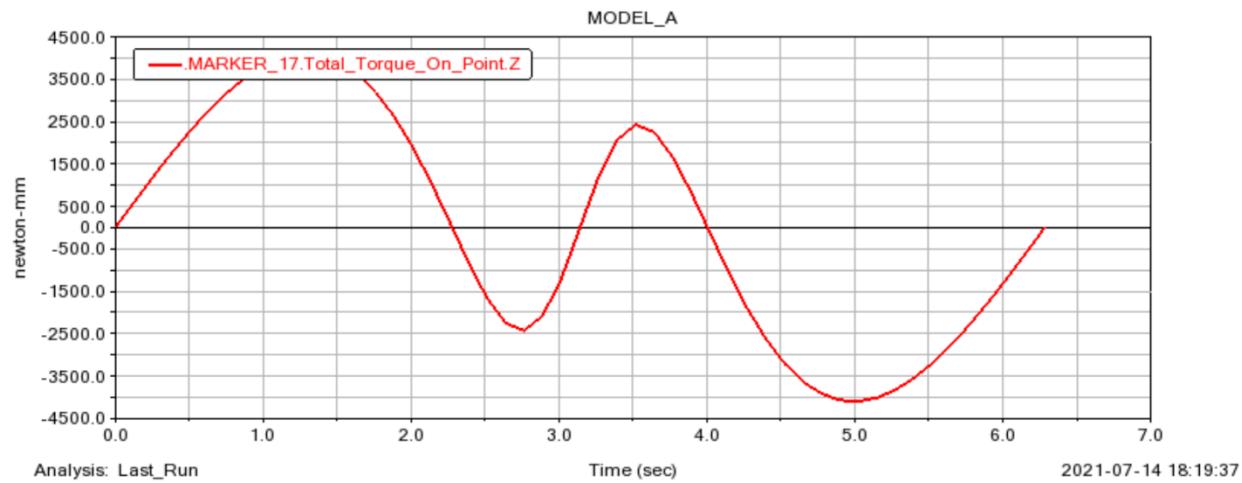
در ادامه، برای مقایسه بهتر، نمودارهای حاصل از تحلیل دینامیکی در MATLAB و شبیه سازی در Adams کنار هم آورده شده اند.

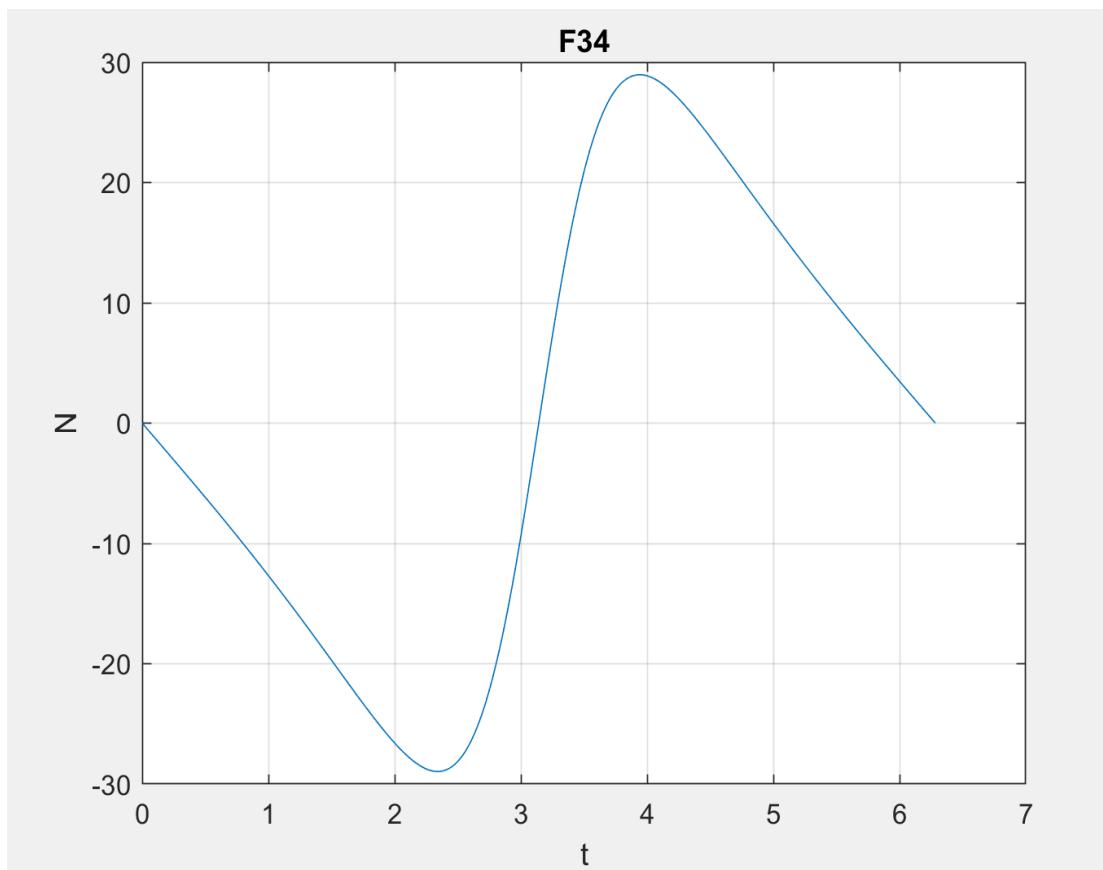
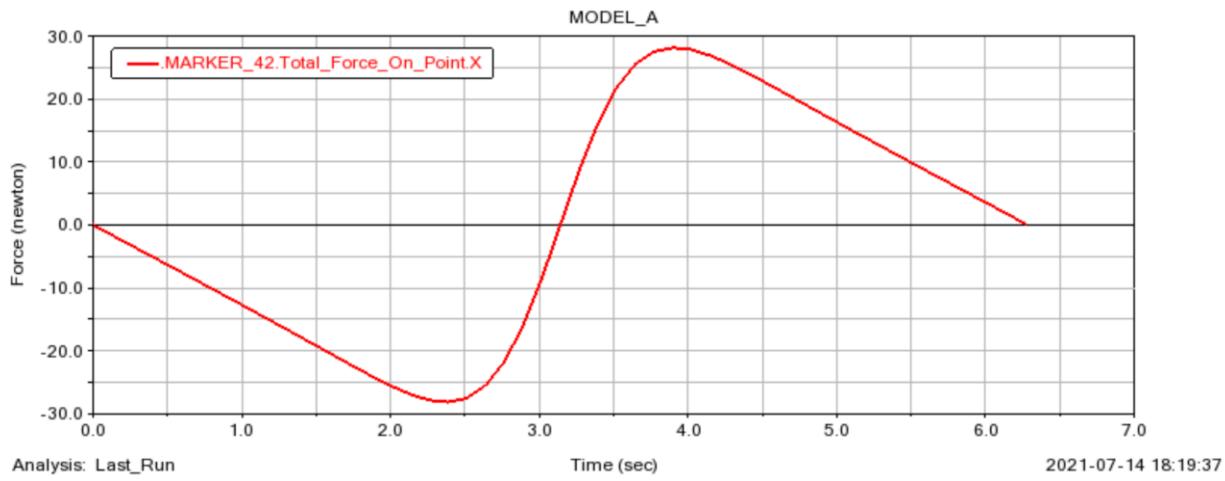


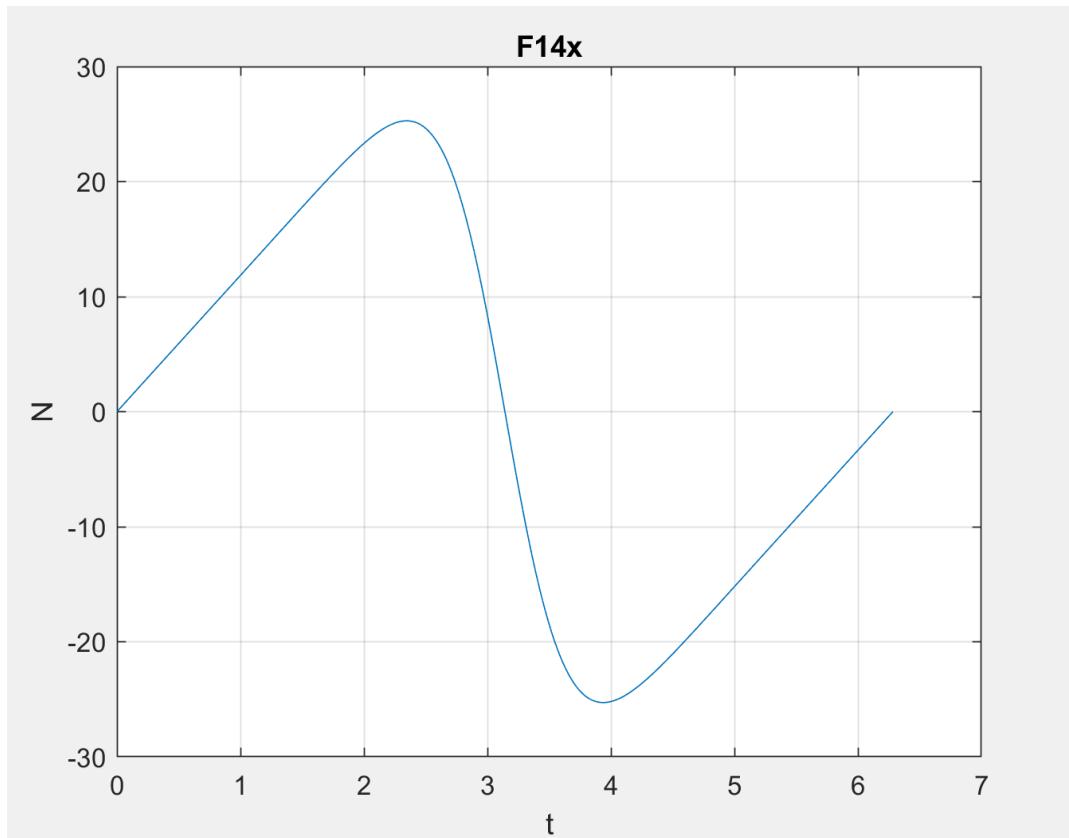
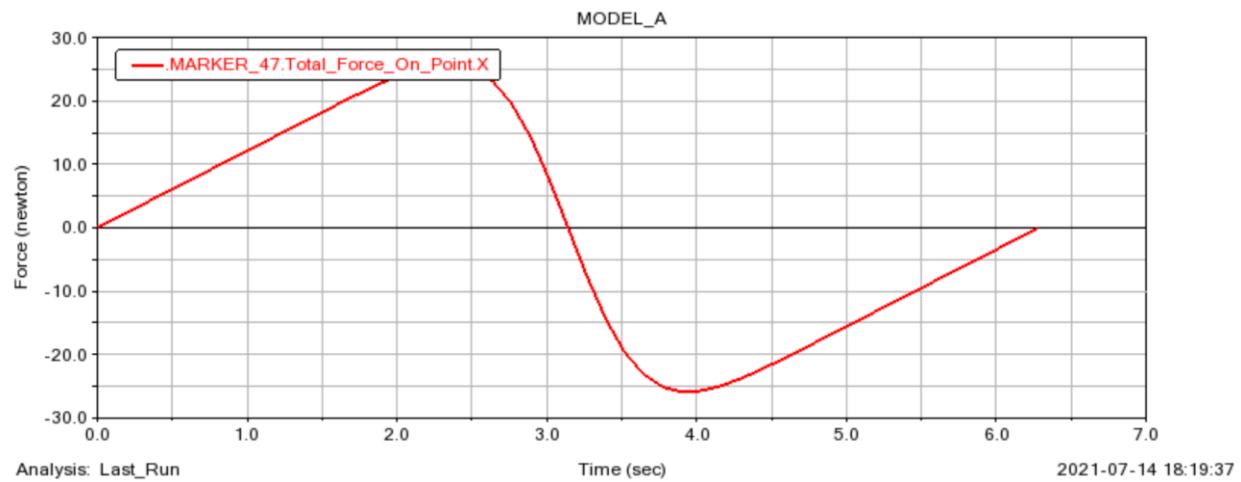


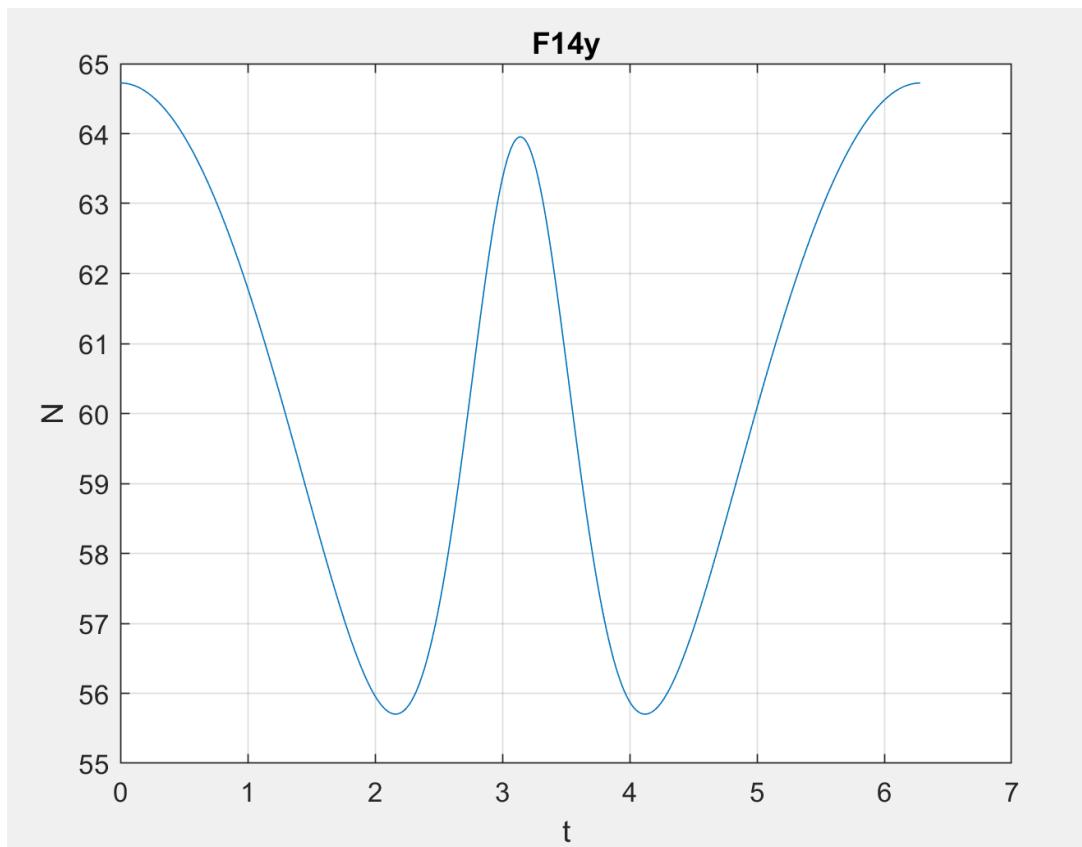
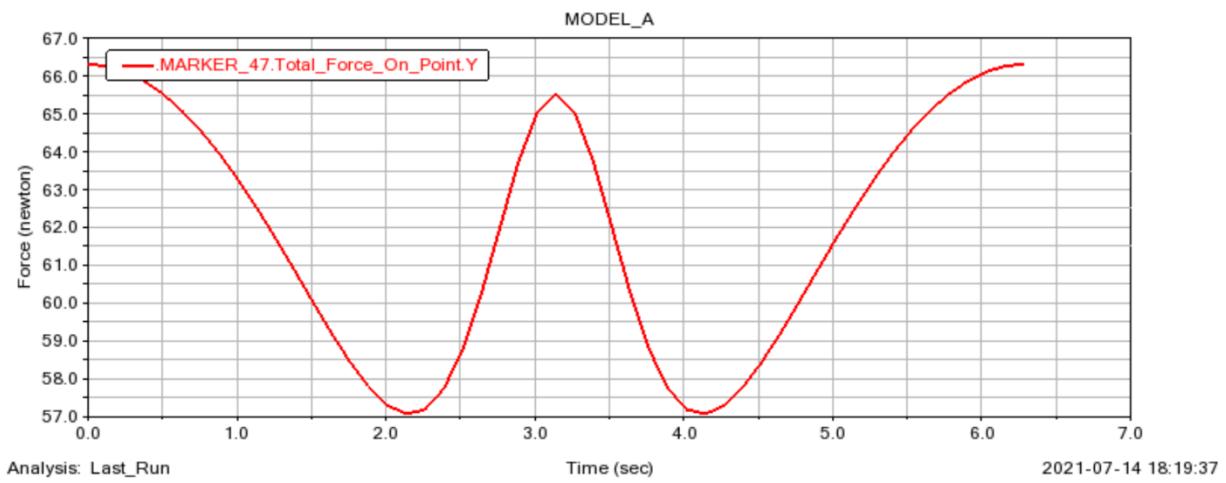


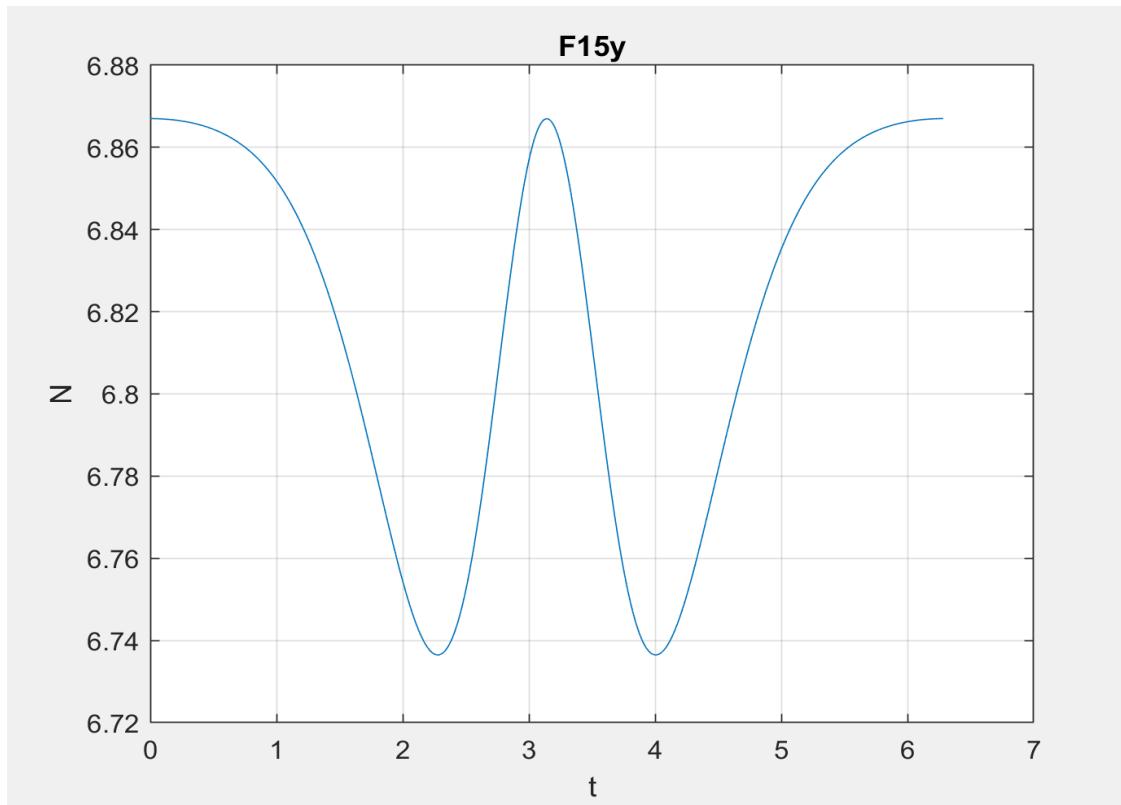
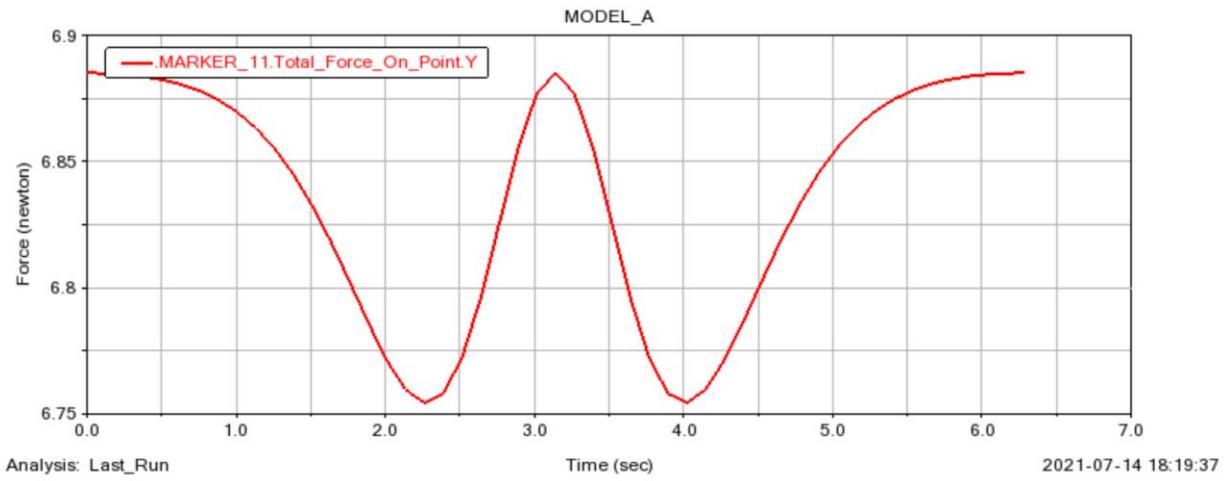


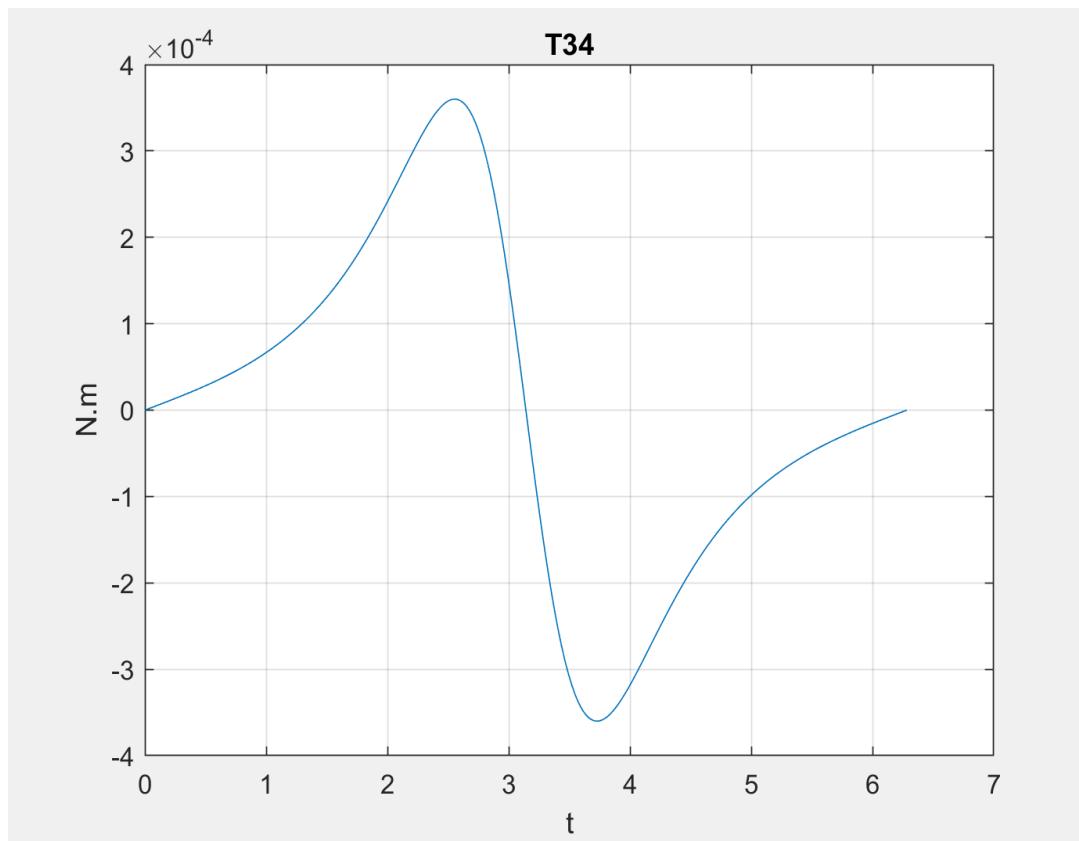
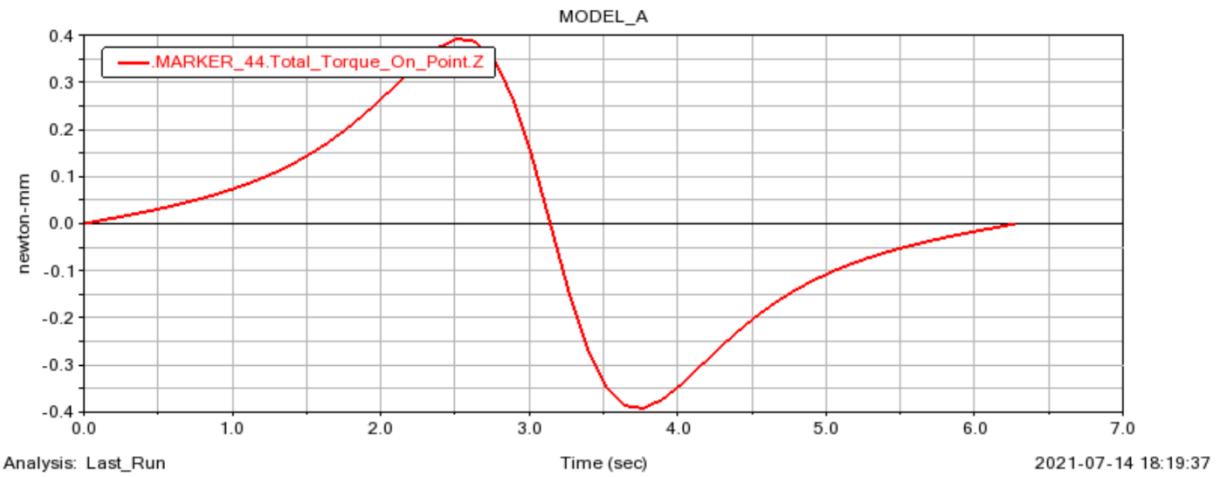


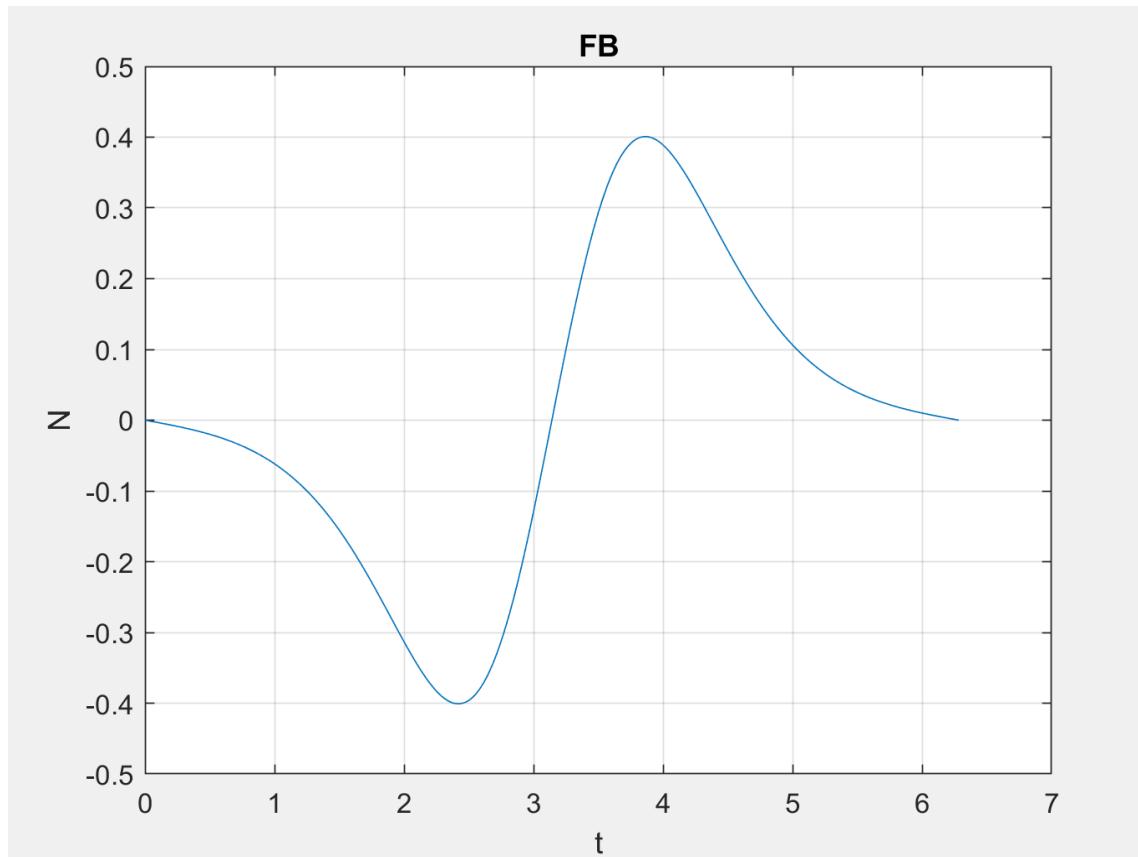
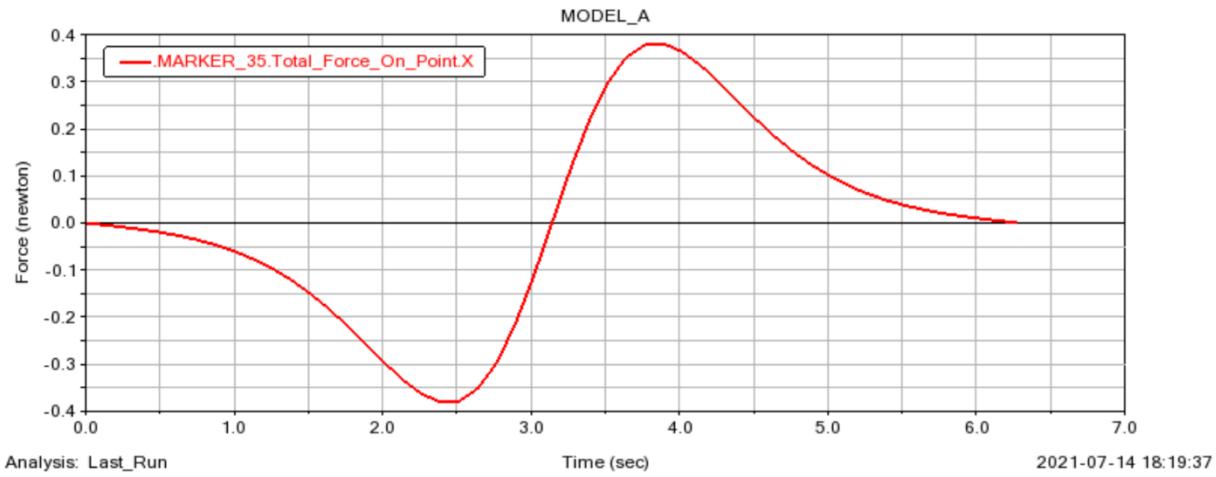








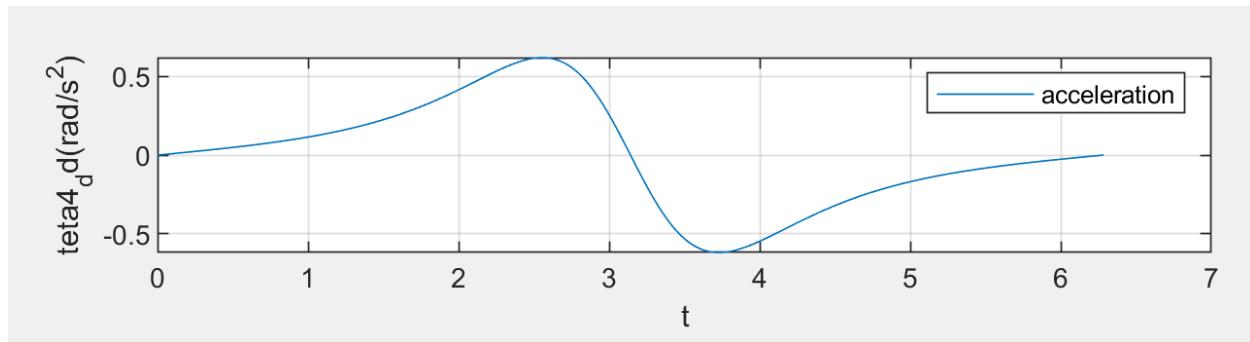




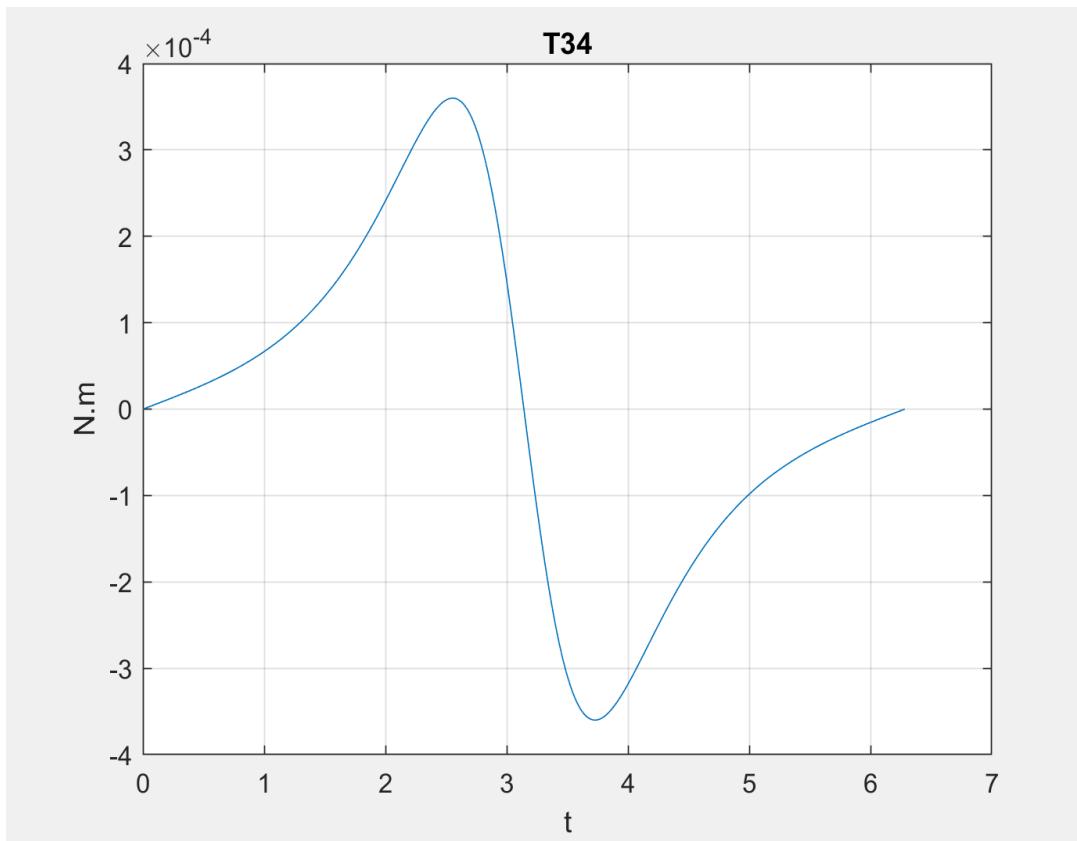
مشاهده می شود که نمودارهای حاصل از تحلیل در هر دو نرم افزار با هم مطابقت دارند.

## تحلیل نمودارهای نیرو:

۱- همان طور که در شکل زیر آورده شده، شتاب دورانی لینک ۴ مقدار کمی دارد و مقدار ممان اینرسی جسم ۳ نیز اندک فرض شده است ( $I_3 = 5.83 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$ ). این موضوع موجب شده است که گشتاور وارد شده از لینک ۴ به ۳ مقدار کمی (از مرتبه  $\frac{1}{10000}$  نیوتن در متر) داشته باشد.



شتاب زاویه ای لینک ۴



گشتاور واردہ از لینک ۴ به ۳

$F_B$  -۲ مقداری از مرتبه دهم نیوتن دارد که در مقایسه با سایر نیروها کمتر است و می‌تواند به این علت باشد که ما برای تحلیل نیرویی مکانیزم، نیروی خارجی وارد شده را صفر در نظر گرفتیم.

-۳- با توجه به نمودار بدست آمده برای گشتاور  $M_2$ ، اگر برای تامین این گشتاور بخواهیم از یک موتور استفاده کنیم، با فرض ثابت بودن توان موتور، باید تعداد دور آن در هر لحظه تغییر کند.