

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل مکانیزم دینامیکی ارائه شده برای درس دینامیک ماشین

نگارش:

مصطفی کویری عرفان سید قربان

استاد راهنما: دکتر علی عظیمی

خرداد ۱۴۰۰

چکیده

پروژه پیش رو جهت ارائه برای درس دینامیک ماشین انجام شده است. در این پروژه هدف تحلیل یک مکانیزم دینامیکی بوسیله چند روش مختلف برای محاسبه مشخصههای سنماتیکی و دینامیکی است که به منظور صحت سنجی این روشها و سنجش و مقایسه خطای هر روش صورت گرفته است. ابتدا فرضهای مورد نظر انجام شده و مدل سازی سیستم در نرمافزار MATLAB و ADAMS انجام شده است؛ سپس خروجیهای هر دو روش گرفته شده و بحث و تحلیل این نتایج انجام شده است.

كلمات كليدي

مدل سازی، شبیه سازی، طراحی، تحلیل سینماتیک، دینامیک، سرعت، شتاب، نیرو

فهرست مطالب

	چکیده
ب	فهرست مطالب
1	۱– فصل اول: مقدمه
Υ	۱-۱-معرفی مکانیزم
۴	۲- فصل دوم: تحلیل سینماتیکی
۵	
تلب	
٩ADAMS	
1	
١٧	
١٨	۲-۶-محاسبه به کمک رسم دیاگرام
7٣	
74	
74	۳–۲- لینک ۲
۲۵	۳-۳- لینک ۳
79	۳-۴- لینک ۴
٢٧	
۲۸	
ب	۳-۷- تحلیل دینامیکی در نرمافزار متل
79ADAN	m MS تحلیل دینامیکی در نرمافزار $ m -1$
79	۳-۹-۳

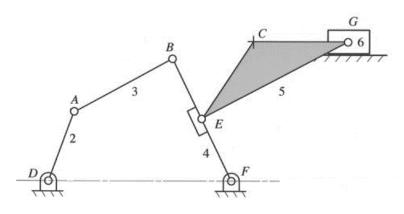
فصل اول

مقدمه

١

۱-۱ معرفی مکانیزم

مکانیزم مربوطه یک مکانیزم با ۶ لینک مطابق شکل 1-1 میباشد، این مکانیزم شامل دو عضو شناور بوده و همینطور ۶ مفصل لولایی و یک مفصل کشویی دارد، عضو یم به زمین وصل است و همینطور عضو π و ۵ شناور میباشند. بدلیل اینکه عضو یک عضو صرفا با دو اتصال است، میتوان این عضو را یک لینک میلهای فرض کرد که در ادامه پروژه با این فرض محاسبات انجام شده است.



شکل ۱-۱ مکانیزم ۶ میلهای داده شده

هدف از انجام این پروژه تحلیل سینماتیک مکانیزم با سه روش مختلف و تحلیل دینامیکی با دو روش مختلف است؛ برای سینماتیک از سه راه مختلف به کمک ترسیم، نرمافزار MATLAB با روش وکتور لوپ و نرم افزار ADAMS میباشد و برای تحلیل دینامیکی صرفا از نرم افزار ADAMS و ADAMS استفاده شده و حل دستی نیازی نیست.

روش حل به این صورت است که ابتدا وکتور لوپها را برای مکانیزم نوشته و سپس دوبار مشتق گیری انجام می شود و از معادلات بدست آمده مجهولات که شامل اندازه زوایا، مشتقات آنها و همینطور اندازه یکی از بردارها می شود و در آخر راجع به خطاهای مشاهده شده بحث می شود.

۲-۱ فرضهای اولیه

ورودی را طبق خواسته پروژه لینک ۲ در نظر گرفته و برای آن سرعت زاویه ۵ و شتاب زاویهای ۸ رادیان بر ثانیه در جهت ساعترد در نظر می گیریم؛ برای بخش دینامیکی نیروی ورودی در نظر نمی گیریم و صرفا نیروی وارد شده به هر اتصال را حساب می کنیم. همینطور نیرویی که باید به لینک ۲ وارد شود تا حرکتی آنگونه که ما

در نظر داریم انجام دهد را ه محاسبه می کنیم. در هر نرم افزار زمان کل را ۰.۶ ثانیه در نظر می گیریم که تقریبا به اندازه یک دوره تناوب است؛ همینطور طول اولیه لینکها و زاویه اولیه لینک ۲ با توجه به مقادیر داده شده و فرضهای انجام شده در زیر آورده شده است.

11=71; 17=10; 17=11, 18=70; 10=70; 18=700; 18=70; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=700; 18=70

mY = 0; mY = 1; $m\xi = Y$; $m\circ = 0$; ml = Y

و اینرسی هر لینک از رابطه اینرسی برای میله حول یک سر محاسبه شده است. دیگر فرضها و مقادیر در صورت نیاز در ادامه پروژه معرفی خواهد شد.

فصل دوم تحلیل سینماتیکی

۲-۱ استخراج معادلات

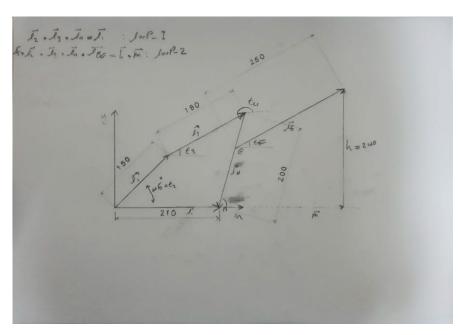
معادلات سینماتیکی را به صورت برداری در قالب ماتریس در زیر می آوریم.

```
r__F =[l Y*cos(tY) + l Y*cos(tY) + l E*cos(tE);
l Y*sin(tY) + l Y*sin(tY) + l E*sin(tE)]
r_F_real=[l Y; \cdot];
eqn Y=r__F-r_F_real;
r__G =[l Y*cos(tY) + l Y*cos(tY) + l O*cos(tO) + l BE*cos(tE);
l Y*sin(tY) + l Y*sin(tY) + l O*sin(tO) + l BE*sin(tE)]
r_G_Y_real=h;
eqn Y=-r__G(Y)+r_G_Y_real;
```

با حل این دو معادله زوایای لینکهای ۳و ۴ و۵ بدست میآید و زاویه لینک ۲ هم که از روابط سینماتیک با دادههای اولیه دست میآید.

برای بدست آوردن سرعتهای زاویهای لینکها از روابط بالا مشتق گرفته و با استفاده از زوایای بدست آمده در بخش قبل، مشتقات آنها استخراج می شود.

همینطور که از روابط مشخص است حلقه اول روی لینکهای ۱ تا ۴ و حلقه دوم (که از یکی از مولفههای آن استفاده شده است) روی لینک ۴٬۵ و ۶ نوشته شده است و از مولفه عمودی این حلقه که همیشه ثابت و برابر ارتفاع عضو کشویی است استفاده شده است همینطور حلقه بردار مربوطه در شکل ۱-۱ آمده است.



شكل ٢-١ وكتور لوپ مكانيزم

۲-۲ تحلیل سینماتیکی در نرمافزار متلب

ابتدا با کمک دستور fsolve مطابق شکل ۲-۱ مقادیر t3, t4, t5 را محاسبه می کنیم و سپس با استفاده از این مقادیر و همینطور مشتق رابطه قبلی دستگاه بوجود آمده را به کمک روش ماتریسی مطابق شکل ۲-۱ حل نموده و در متغیرهای dt3, dt4, dt5 برای استفاده بعدی ذخیره می کنیم.

```
for t=0:dt:time
16 -
           i=i+1;
17 -
18 -
            dt2=ddt2*t+dt 2;
           t2=1/2*ddt2*t^2+dt 2*t+t 2;
19 -
20 -
       syms t3 t4 t5
21 -
       r = [12*cos(t2) + 13*cos(t3) + 14*cos(t4);
        12*\sin(t2) + 13*\sin(t3) + 14*\sin(t4);
22
23 -
       r F real=[11;0];
       eqn1=r F-r F real;
24 -
25 -
       r = [12*cos(t2) + 13*cos(t3) + 15*cos(t5) + 1BE*cos(t4);
        12*\sin(t2) + 13*\sin(t3) + 15*\sin(t5) + 1BE*\sin(t4)];
26
       r G 2 real=h;
27 -
28 -
       eqn2=-r G(2)+r G 2 real;
       f=solve([eqn1;eqn2],[t3;t4;t5])
29 -
       t3=f.t3(1);
30 -
31 -
       t4=f.t4(1);
32 -
       t5=f.t5(1);
33 -
       if cos(t5)<0
34 -
       t5 = -(t5 - pi);
35 -
36
37 -
       q=mod([t3;t4;t5],2*pi);
```

شكل ٢-٢ حل زوايا

```
40 -
       syms dt3 dt4 dt5
41 -
       v = [-dt2*12*sin(t2) - dt3*13*sin(t3) - dt4*14*sin(t4);
42
         dt2*12*cos(t2) + dt3*13*cos(t3) + dt4*14*cos(t4)]; %=0
43 -
44 -
       v = [-dt2*12*sin(t2) - dt3*13*sin(t3) - dt5*15*sin(t5) - dt4*lBE*sin(t4);
          dt2*12*cos(t2) + dt3*13*cos(t3) + dt5*15*cos(t5) + dt4*1BE*cos(t4)];
45
46 -
       eqn2=v G(2); %=0
47 -
       a=jacobian([eqn1;eqn2],[dt3;dt4;dt5]);
48 -
       b=[eqn1;eqn2]-a*[dt3;dt4;dt5];
49 -
       dg=-a\b;
50 -
       dt3=dq(1);
51 -
       dt4=dq(2);
52 -
       dt5=dq(3);
```

شکل ۲-۳ حل مشتق زوایا

برای نقطه دلخواه رو لینک شناور از سرعت زاویهای بدست آمده در لینک ۵ استفاده خواهیم کرد.

محاسبات شتاب و نیروها بدلیل داشتن پارامترهای مشترک به طور کلی به شکل یک معادله ماتریسی و بزرگ با ۱۷ سطر تولید و حل شده است؛ در این قسمت مقاله صرفا قسمت شتاب بحث میشود و بقیه معادللات در بخشهای بعدی توضیح داده خواهد شد.

این معادلات که روند اشتخراج آنها در شکلهای ۱-۴ تا ۱-۶ قابل مشاهده است، در ادامه همان روش قبلی استخراج شده و سپس در ماتریس گنجانده شده است همینطور در شکل ۱-۷ معادلات نهایی برای محاسبه شتاب دیده می شود.

```
q=[t2;t3;t4;t5;dt2;dt3;dt4;dt5]
dq=[dt2;dt3;dt4;dt5;ddt2;ddt3;ddt4;ddt5]

r_A=12*[cos(t2);sin(t2)]
r_B=r_A+13*[cos(t3);sin(t3)]
r_F=r_B+14*[cos(t4);sin(t4)]
% r_F_2=[11;0]
r_E=r_B+1BE*[cos(t4);sin(t4)]
r_G=r_E+15*[cos(t5);sin(t5)]
r_X=r_E+X*[cos(t5);sin(t5)]
% center of mass
r_g_2=r_A/2
r_g_3=r_A+13/2*[cos(t3);sin(t3)]
r_g_4=r_B+14/2*[cos(t4);sin(t4)]
r_g_5=r_E+15/2*[cos(t5);sin(t5)]
```

شکل ۲-۲ تعریف اولیه ماتریسها و بردارها

```
v_A=jacobian(r_A,q)*dq
v_B=jacobian(r_B,q)*dq
v_F=jacobian(r_F,q)*dq
% v_F_2=jacobian(r_F_2,q)*dq
v_E=jacobian(r_E,q)*dq
v_G=jacobian(r_G,q)*dq
v_X=jacobian(r_X,q)*dq
v_g_2=jacobian(r_g_2,q)*dq
v_g_3=jacobian(r_g_3,q)*dq
v_g_4=jacobian(r_g_4,q)*dq
v g 5=jacobian(r g 5,q)*dq
```

شکل ۲-۵ مشتق گیری از بردارهای مکان برای محاسبه سرعت

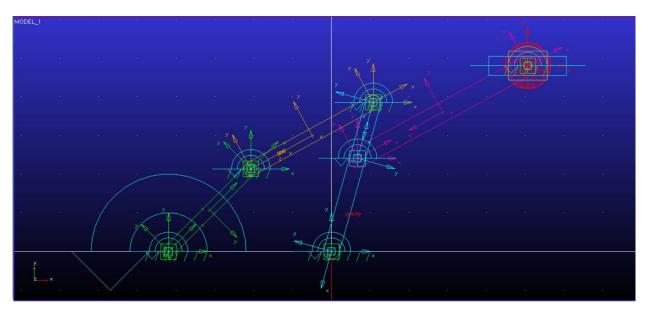
شکل ۲-۶ مشتق گیری از بردار سرعت و محاسبه بردارهای شتاب

```
%eqn for 4 link r_F=[1;0] v_F_1=v_F_2=[0;0] a_F_1=[0;0] e1_2=a_F %eqn for EG r_G(2)=h v_G(2)=0 a_G(2)=0 e3=a_G(2)
```

شکل ۲-۷ معادلات نهایی برای محاسبه شتاب زاویهای

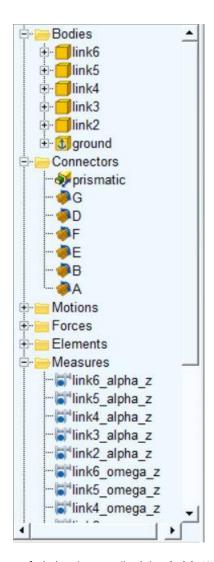
۲-۳ تحلیل سینماتیکی در نرمافزار ADAMS

طراحی مکانیزم در نرمافزار فوق مطابق شکل A-1 صورت گرفته همینطور اتصالات و لینکها با دادها و فرضیات مسئه ادازه گذاری، جانمایی و مشخص شدهاند، لینک P بجای مکعب کره تعریف شده که تغییری در محاسبات ما نخواهد داشت. در شکل زیر P اتصال از نوع لولایی در نقاط P به به لینک P و P اتصال P اتصال P و P اتصال P و P اتصال P در نقطه اتصال به لینک P و P اتصال P در نقاط P و P تعریف شده است.



شکل ۲-۸ طراحی مکانیزم در نرمافزار ADAMS

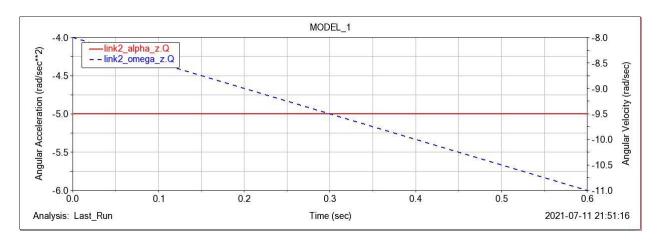
در این نرمافزار به عنوان شرایط اولیه یک motion با تابعی که سرعت و شتاب لینک ۲ را مطابق فرض مسئله تنظیم می کند به لینک ورودی وارد شده است؛ همینطور تمامی خواسته ها در قسمت measures اندازه گیری شده اند؛ این موارد به همراه اتصالات و لینکها در شکل ۱-۹ مشخص شده اند. همینطور فایل این طراحی به پیوست ارائه می شود که می توان نحوه حرکت سیستم را در آن مشاهده کرد.



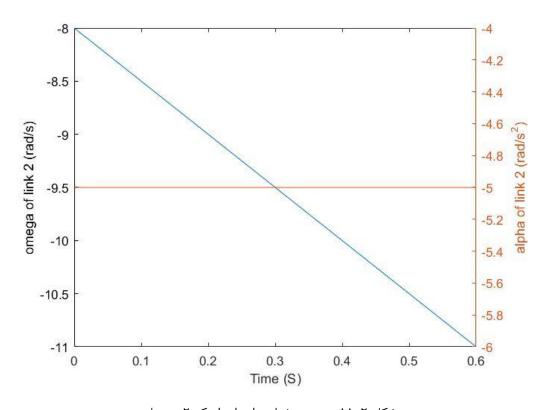
شکل ۲-۹ لینکها، اتصالات و مقادیر اندازهگیری شده

۲-۴ نتایج

در این قسمت نمودارهای خروجی از هر دو نرمافزار آورده شده است، همینطور مقادیر در یک نقظه خاص زیر نمودار به منظور اثبات برابری نتایج و همینطور محاسبه خطای مربوطه آورده شده است.

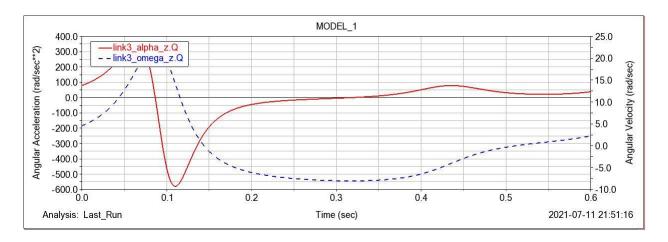


شکل ۲-۲ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۲ درشبیه ساز

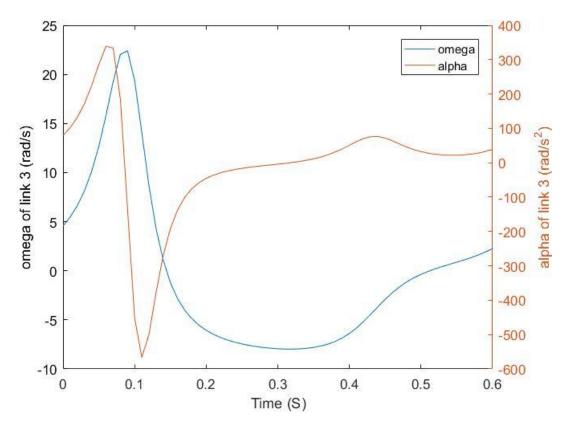


شکل ۲-۱۱ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۲ در متلب

در این لینک بدلیل خطی بودن مقادیر هیچ خطایی اعم از درونیابی یا حل معادله وجود ندارد.



شکل ۲-۲۲ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۳ در شبیه ساز



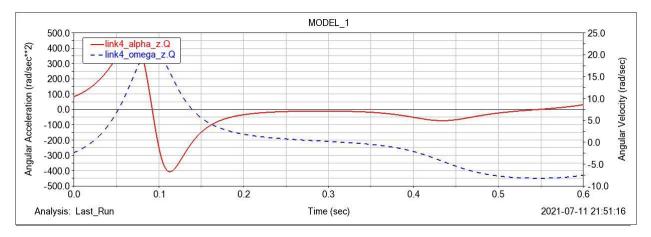
شکل ۲-۱۳ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۳ در متلب

اندازه گیری شتاب و سرعت در هر نمودار در نقطه t=0.5:

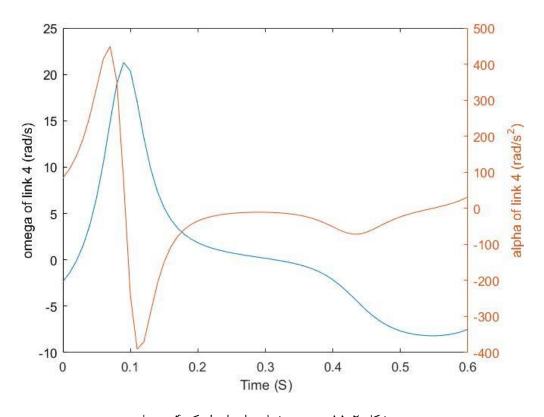
Omega = -0.3649, alpha = 32.35 at MATLAB

Omega = -0.3497, alpha = 32.254 at ADAMS

Error omega = 0.4%, error alpha = 0.3%



شکل ۲-۱۴ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۴ در شبیه ساز

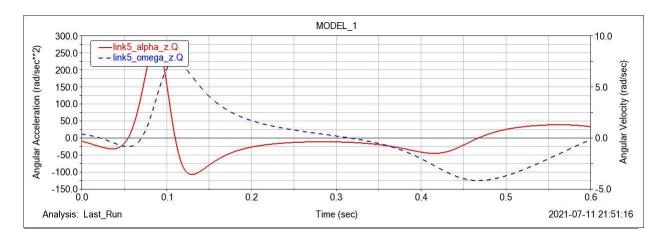


شکل ۲-۱۵ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۴ در متلب

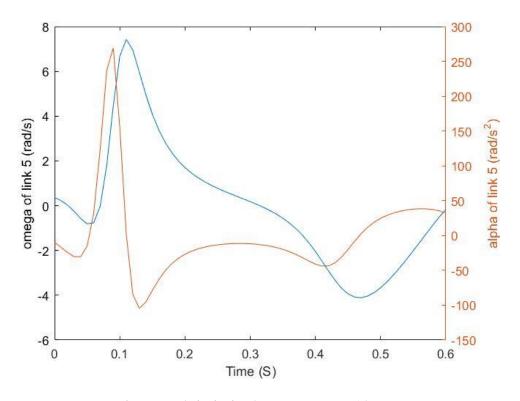
Omega = -7.67, alpha = -23.61 at MATLAB

Omega = -7.71, alpha = -23.56 at ADAMS

Error omega = 0.5%, error alpha = 0.2%



شکل ۲-۱۶ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۵ در شبیه ساز

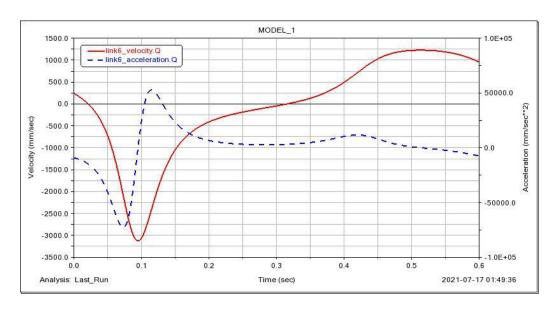


شکل ۲-۱۷ سرعت و شتاب زاویهای لینک ۵ در متلب

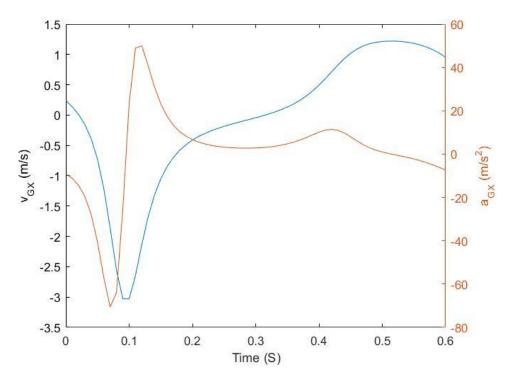
Omega = -3.66, alpha = 24.75 at MATLAB

Omega = -3.71, alpha = 25.12 at ADAMS

Error omega = 1%, error alpha = 0.9%



شکل ۲-۱۸ سرعت و شتاب لینک ۶ در ادمز

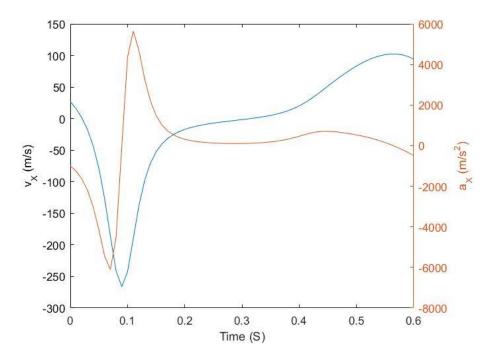


شکل ۲-۱۹ سرعت و شتاب لینک ۶ در متلب

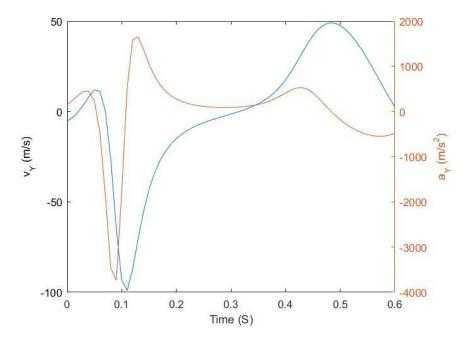
Velocity = 1.214, acceleration = 0.961 at MATLAB

Velocity = 1.222, acceleration = 0.958 at ADAMS

Error velocity = 0.6%, error acceleration = 0.3%



شکل ۲-۲ نمودار سرعت و شتاب نقطه دلخواه روی لینک α در جهت α در متلب



شکل ۲-۲۱ نمودار سرعت و شتاب نقطه دلخواه روی لینک α در جهت γ در متلب

برای این نقطه صرفا از نرم افزار متلب استفاده شده زیرا در شبیه ساز این کار بسیار پیچیده می باشد (استاد هم سر کلاس ذکر کردن که با ادمز نیازی نیست).

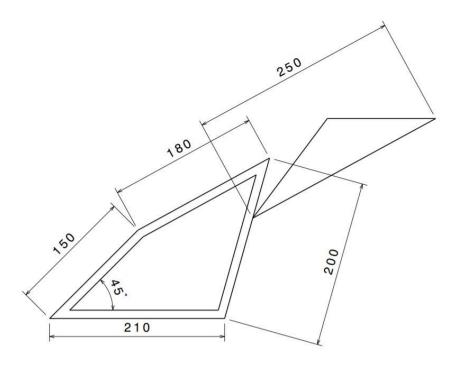
۲-۵ تحلیل خطا

خطاهای محاسبه شده به قدری کم و ناچیز هستند که میتوان از مقادیر بدست آمده اطمینان داشت حال به بررسی دلیل خطاهای فوق میپردازیم

- خطای انسانی: این خطا می تواند به واسطه گرد کردن اعداد در فرآیند انتقال به نرمافزار بوجود بیاید که ناشی از گرد کردن است، هرچند این خطا ناچیز است ولی درفرآیندهای محاسباتی اتفاق افتاده می تواند بدلیل انباشتگی یا پخش خطا تاثیر گذار گردد.
- ۲. خطای روش محاسباتی: هر دو نرم افزار فوق برای بدست آوردن مقادیر و حل معادلات دینامیکی موجود، از روشهای عددی استفاده می کنند که می تواند روشهای مختلفی باشد یا روشهای یکسان با مراتب دقت مختلف که این فرآیند مربوط به کد پایه نرم افزار است و همین امر یکی از عوامل ایجاد خطا می باشد
- ۳. درونیابی: هر دو نرمافزار مقادیر را در نقاطی محاسبه کرده و برای رسم نمودار از درونیابی استفاده میکنند، مقادیری که ما استفاده کردیم مستقیما از روی نمودار خوانده شده و اگر این مقادیر دقیقا نقاط پایه نمودار نباشند پس بین آنها خواهند بود و روی منحنی درونیابی هستند. میدانیم که منحنی درونیابی منحنی یکتا است و از تمام روشها نهایتا به یک سری درونیاب خواهیم رسید اما مسئله حیاتی اینجا مرتبه درونیابی است که دقت امر را مشخص میکند؛ که همانطور که مشخص است این مراتب برای دو نرمافزار با هم متفاوت هستند.

۲-۶ محاسبه به کمک رسم دیاگرام

در این بخش کمک رسم دیاگرام سرعت و شتاب محاسبات را انجام می دهیم، می دانیم مقدمه محاسبه شتاب محاسبه سرعت است پس ابتدا به محاسبه سرعت پرداخته سپس محاسبات مربوط به شتاب را انجام می دهیم. همانطور که گفته شد برخی اندازه ها فرضی بوده و بعضی دیگر در سوال داده شده اند پس حالت مکانیزم با اندازه های ما متفائت با حالت آورده شده در فایل پروژه می باشد، در شکل ۲-۲۰ می توانید حالت مکانیزم شخصی سازی شده مارا حاسبه کنید. معادلات برداری سرعت برای مکانیزم در شکل ۲-۲۱ مشخص شده است و سپس دیاگرام مربوطه در شکل ۲-۲۲ آورده شده است.



شکل ۲-۲۲ حالت مکانیزم با اندازههای مربوطه

$$\nabla_{A} = \omega_{2} l_{2} = 120 \text{ Cm/s}$$

$$\nabla_{B} = \nabla_{A} = \nabla_{B} I_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{E} = e^{2} I_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{E} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{E} = e^{2} I_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{E} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{E} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{G_{1}} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

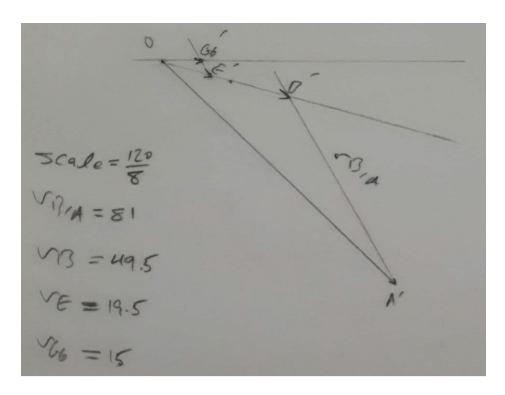
$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{G_{1}} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{G_{1}} + \nabla_{G_{1}} G_{A} \qquad \longrightarrow \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

$$\nabla_{G_{6}} = \nabla_{G_{1}} + \nabla_{G_{1}} G_{A}$$

$$\nabla_{G_{1}} = \nabla_{G_{1}} + \nabla_{G_{1}$$

شکل ۲-۲۳ معادلات برداری سرعت و نتایج حاصله از دیاگرام



شكل ٢-٢٢ دياگرام سرعت مربوطه

بعد از بررسی نتایج بدست آمده برای هر یک از سرعتهای زاویهای به خطاهای زیر میرسیم

خطاها نسبت به آن مقادیر معنی دار و قابل مقایسهای هستند.

برای دو مقدار اول با توجه به دستی بودن روش حل خطاها معقول است اما برای لینک ۵ بدلیل کوچک شدن بردار سرعت نسبی در رسم و نزدیک شدن این اندازه به دقت اندازه گیری، دقت خواندن و تقریب و گرد کردن، این خطا دور از تصور نیست چون این مقدار به قدری کوچک است که خطای گرد کردن و خطای اندازه گیری و بقیه

Omega3 error = 1.3% ,omega4 error = 3.5% ,omega5 error = 69%

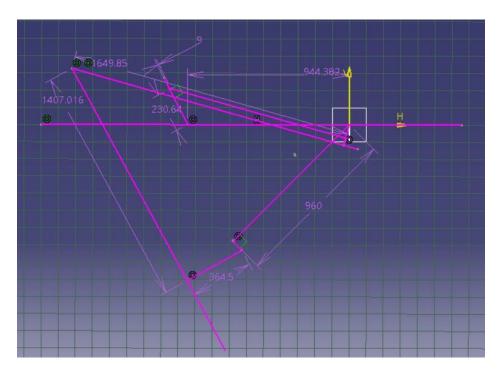
حال به محاسبه شتاب میپردازیم که معادلات برداری، شتابهای قابل محاسبه و جهتهای حدودی آنها در شکل ۲-۲۳ مشخص شدهاند.

$$C_{R} = \alpha_{A} * \alpha_{A} , \alpha_{D} > C_{R} * \alpha_{B}$$

$$C_{R} = \alpha_{A} * \alpha_{A} , \alpha_{D} > C_{R} * \alpha_{B} = \alpha_{A} * \alpha_{A} * \alpha_{A} * \alpha_{B} = \alpha_{A} * \alpha_{B} * \alpha_{B} = \alpha_{B} * \alpha_{B} * \alpha_{B} * \alpha_{B} = \alpha_{B} * \alpha_{B$$

شکل ۲-۲۵ معادلات برداری شتاب و محاسبات مربوطه

همانطور که از شتابهای محاسبه شده پیداست رسم این دیاگرام به دلیل اختلاف چند برابری بردارهای معلوم به فضای بسیار زیادی احتیاج دارد و در نهایت هم بدلیل کوچک بودن اندازه بردارها دچار خطاهای اندازه گیری و عدد خوانی خواهیم شد، پس این بخش دستی انجام نشده و برای حل از نرمافزار کد استفاده کردیم که نتایج مربوطه در اشکال ۲-۲۴ و ۲-۲۵ مشخص میشود.



شکل ۲-۲۶ دیاگرام شتاب مکانیزم

شكل ٢-٢٥ نتايج بدست آمده

بعد از بررسی نتایج برای هر شتاب به خطاهای زیر میرسیم

Alpha3 error = 1.5% ,alpha4 error = 1% alpha5 error = 3.5%

که دلیل خطاهای بالا هم همانند خطاهای رسم دیاگرام سرعت میباشد، فایل کتیا دیاگرام به پیوست ارسال می گردد

فصل سوم

تحليل ديناميكي

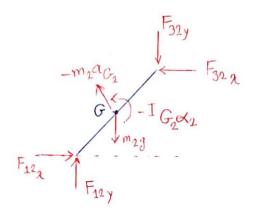
۳-۱ استخراج معادلات

برای حل این قسمت باید معادلات نیرویی هر سک از لینکها جداگانه استخراج شده و دستگاه چند مجهولی را حل کنیم تا تمام نیرهای وارد شده به اتصالات بدست بیاید در ادامه نمودارهای جسم آزاد مربوط به هر یک از لینکها آورده شده است. ابتدا بردارهای نیرو به شکل زیرتعریف در شکل ۳-۱ میشود و بردار مکان هم در بخشهای قبل مشخص شده است؛ همینطور جرمها و اینرسی هم در فصل اول به عنوان فرضهای اولیه معرفی شدند حال از آنها استفاده می کنیم. لازم به ذکر است که تمام مرکز جرمها در وسط لینکها در نظر گرفته شده و معادلات بر آن اساس استخراج شدهاند.

شکل ۳-۱ تعریف بردارهای نیرو

۲-۳ لینک ۲

ابتدا نمودار جسم آزاد لینک ۲ را مطابق شکل ۳-۲ رسم کرده و سپس معادلات مربوطه را استخراج می کنیم.



شکل ۲-۳ نمودار جسم آزاد لینک ۲

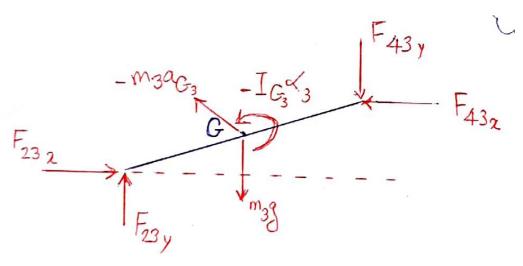
معادله نیرویی:

$$e = F_D - F_A + m Y * [\cdot; -g] - m Y * a_g_Y$$

معادله گشتاور:

۳-۳ لینک ۳

ابتدا نمودار جسم آزاد لینک ۳ را مطابق شکل ۳-۳ رسم کرده و سپس معادلات مربوطه را استخراج میکنیم.



شکل ۳-۳ نمودار جسم آزاد لینک ۳

معادله نیرویی:

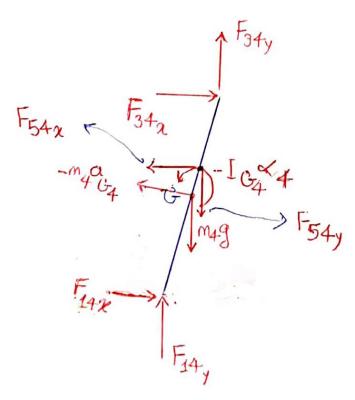
$$eT_Y=F_A-F_B+mT*[\cdot;-g]-mT*a_g_T$$

معادله گشتاور:

e \(\infty = [\cdot \cdot \cdot] \times \((\text{cross}([\text{r_A-r_g_r;}\cdot], [\text{F_A;}\cdot]) + \text{cross}([\text{r_B-r_g_r;}\cdot], [-\text{F_B;}\cdot])) - \([\text{T*ddtr}\)

۳-۴ لینک ۴

ابتدا نمودار جسم آزاد لینک ۴ را مطابق شکل ۳-۴ رسم کرده و سپس معادلات مربوطه را استخراج می کنیم.



شکل ۳-۴ نمودار جسم آزاد لینک ۴

معادله نیرویی:

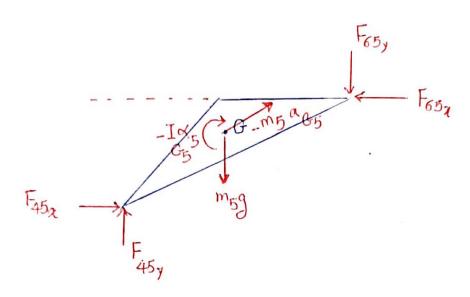
$$eA_9=F_B+F_F-F_E+m\xi*[\cdot;-g]-m\xi*a_g_\xi$$

معادله گشتاور:

e)
$$i = [\cdot \cdot \cdot] * (cross([r_B-r_g_{\xi;\cdot}], [F_B;\cdot]) + cross([r_F-r_g_{\xi;\cdot}], [F_F;\cdot]) + cross([r_Er_g_{\xi;\cdot}], [-F_E;\cdot])) - I * * ddt *$$

۳-۵ لىنک ۵

ابتدا نمودار جسم آزاد لینک α را مطابق شکل α – α رسم کرده و سپس معادلات مربوطه را استخراج می کنیم.



شکل ۳-۵ نمودار جسم آزاد لینک ۵

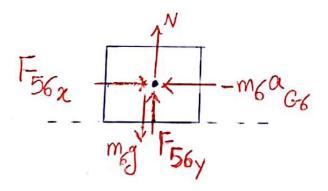
معادله نیرویی:

معادله گشتاور:

e)
$$V = [\cdot \cdot \cdot] * (cross([r_E-r_g_o;\cdot], [F_E;\cdot]) + cross([r_G-r_g_o;\cdot], [-F_G;\cdot])) - Io*ddto$$

٧- البنک ع

ابتدا نمودار جسم آزاد لینک ۶ را مطابق شکل ۳-۶ رسم کرده و سپس معادلات مربوطه را استخراج می کنیم.



شكل ٣-۶ نمودار جسم آزاد لينك ۶

معادله نيرويى:

۳-۷ تحلیل دینامیکی در نرمافزار متلب

با توجه به معادلات بدست آمده بدلیل خطی بودن معادلات میتوان با بدست آوردن ماتریس ضرایب و بردار معلومات بردار جواب را بدست آورد. همانطور که فصل قبل گفته شد معادلات نیرویی به همراه معادلات مربوط به شتاب با هم در یک ماتریس آورده شده تا از تعدد ماتریسها جلوگیری شود در شکل ۳-۷ بردار ضرایب و در شکل ۳-۸ بردار معلومات را به صورت کامل و بردار ضرایب را به صورت ناقص مشاهده میکنید زیرا این ماتریس به قدری بزرگ است که در یک تصویر نمی گنجد.

MM =	[0, -13*sin((t3), -14*sin	(t4),	0,	0,	0,	0,	0,	0, 0
0,	13*cos(t3),	14*cos(t4),	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	13*cos(t3),	lBE*cos(t4),	15*cos(t5),	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	0,	0,	0,	1,	0,	-1,	0,	0,	0,
0,	0,	0,	0,	0,	1,	0,	-1,	0,	0,
0,	(13*m3*sin(t3))/2,	0,	0,	0,	0,	1,	0,	-1,	0,
0,	-(13*m3*cos(t3))/2,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0,	-1,
0,	13*m4*sin(t3),	(14*m4*sin(t4))/2,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0,
0,	-13*m4*cos(t3),	-(14*m4*cos(t4))/2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,
0,	13*m5*sin(t3),	<pre>lBE*m5*sin(t4),</pre>	(15*m5*sin(t5))/2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	-13*m5*cos(t3),	-1BE*m5*cos(t4),	-(15*m5*cos(t5))/2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	13*m6*sin(t3),	<pre>lBE*m6*sin(t4),</pre>	15*m6*sin(t5),	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	-13*m6*cos(t3),	-1BE*m6*cos(t4),	-15*m6*cos(t5),	0,	0,	0,	0,	0,	0,
1,	0,	0,	0,	(12*sin(t2))/2,	-(12*cos(t2))/2,	(12*sin(t2))/2,	-(12*cos(t2))/2,	0,	0,
0,	-13,	0,	0,	0,	0,	(13*sin(t3))/2,	-(13*cos(t3))/2,	(13*sin(t3))/2,	-(13*cos(t3))/2,
0,	0,	-I4,	0,	0,	0,	0,	0,	(14*sin(t4))/2,	$-(14*\cos(t4))/2, -(1$
0,	0,	0,	-15,	0,	0,	0,	0,	0,	0,

شکل ۳-۷ قسمتی از ماتریس ضرایب

```
BB =[
                                                - 12*cos(t2)*dt2^2 - 13*cos(t3)*dt3^2 - 14*cos(t4)*dt4^2 - ddt2*12*sin(t2)
                                           -12*\sin(t2)*dt2^2 - 13*\sin(t3)*dt3^2 - 14*\sin(t4)*dt4^2 + ddt2*12*\cos(t2)
                      -12*\sin(t2)*dt2^2 - 13*\sin(t3)*dt3^2 - 1BE*\sin(t4)*dt4^2 - 15*\sin(t5)*dt5^2 + ddt2*12*\cos(t2)
                                                                              (12*m2*(cos(t2)*dt2^2 + ddt2*sin(t2)))/2
                                                             -g*m2 - m2*((ddt2*12*cos(t2))/2 - (dt2^2*12*sin(t2))/2)
                                                   (m3*(2*12*cos(t2)*dt2^2 + 13*cos(t3)*dt3^2 + 2*ddt2*12*sin(t2)))/2
                                         -(m3*(-2*12*sin(t2)*dt2^2 - 13*sin(t3)*dt3^2 + 2*g + 2*ddt2*12*cos(t2)))/2
                              (m4*(2*12*cos(t2)*dt2^2 + 2*13*cos(t3)*dt3^2 + 14*cos(t4)*dt4^2 + 2*ddt2*12*sin(t2)))/2
                       (m4*(2*12*sin(t2)*dt2^2 + 2*13*sin(t3)*dt3^2 + 14*sin(t4)*dt4^2 - 2*g - 2*ddt2*12*cos(t2)))/2
        (m5*(2*12*\cos(t2)*dt2^2 + 2*13*\cos(t3)*dt3^2 + 2*1BE*\cos(t4)*dt4^2 + 15*\cos(t5)*dt5^2 + 2*ddt2*12*\sin(t2)))/2 
 (m5*(2*12*\sin(t2)*dt2^2 + 2*13*\sin(t3)*dt3^2 + 2*1BE*\sin(t4)*dt4^2 + 15*\sin(t5)*dt5^2 - 2*g - 2*ddt2*12*\cos(t2)))/2
                   m6*(12*cos(t2)*dt2^2 + 13*cos(t3)*dt3^2 + 1BE*cos(t4)*dt4^2 + 15*cos(t5)*dt5^2 + ddt2*12*sin(t2))
               m6*(12*sin(t2)*dt2^2 + 13*sin(t3)*dt3^2 + 1BE*sin(t4)*dt4^2 + 15*sin(t5)*dt5^2 - g - ddt2*12*cos(t2))
                                                                                                                     0
                                                                                                                     0];
```

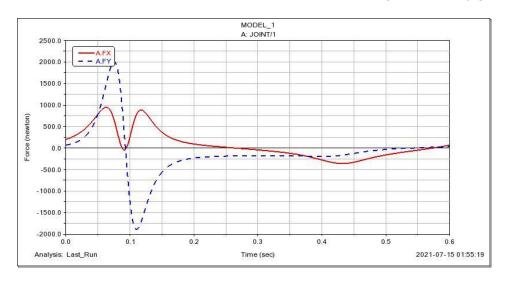
شکل ۳-۹ ماتریس معلومات

۸-۳ تحلیل دینامیکی در نرمافزار ADAMS

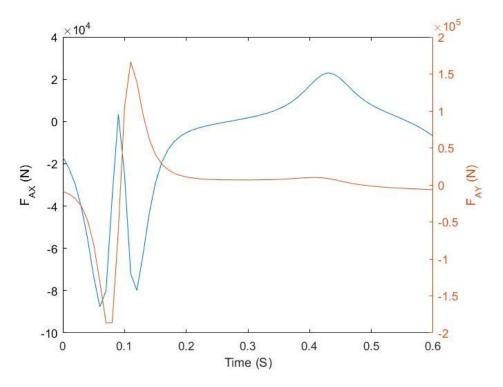
تغییر خاصی در تنظیمات ایجاد شده برای این قسمت در نرمافزار ادمز ایجاد نشده صرفا باید خروجیهای نیرویی گرفته شود که خود نرمافزار تمام نیروها و ممانهای وارده به لینکها را به صورت اتوماتیک اندازه گیری کرده و حتی نیاز به تعریف این اندازه گیریها هم نیست.

۳-۹ نتایج

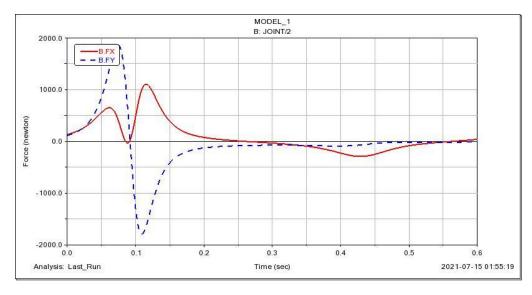
در این قسمت نمودارهای خروجی از هر دو نرمافزار آورده شده است، همینطور مقادیر در یک نقظه خاص زیر نمودار به منظور اثبات برابری نتایج و همینطور محاسبه خطای مربوطه آورده شده است. لازم به ذکر است که بدلیل تعیین جهتهای برعکس همدیگر برای نیروها در دو متد مختلف نمودارها منفی یکدیگر میباشند و این مسئله در اشکال و اعداد مشخص است.



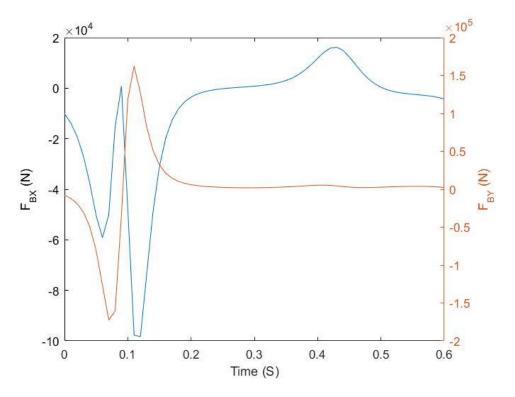
شکل ۳-۱۰ نمودار نیروی اتصال A در ادمز



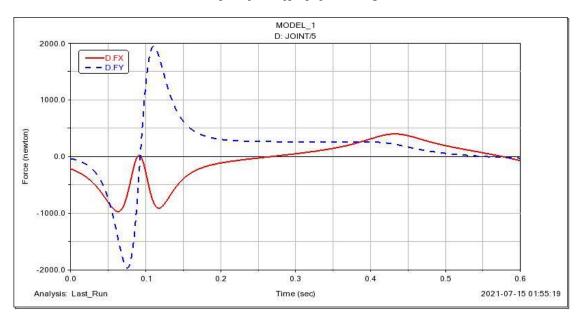
شکل $^{-7}$ ۱ نمودار نیروی اتصال $^{-8}$ در متلب



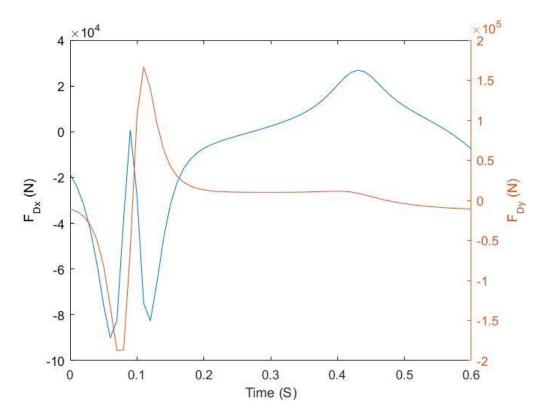
شکل ۳-۱۲ نمودار نیروی اتصال B در ادمز



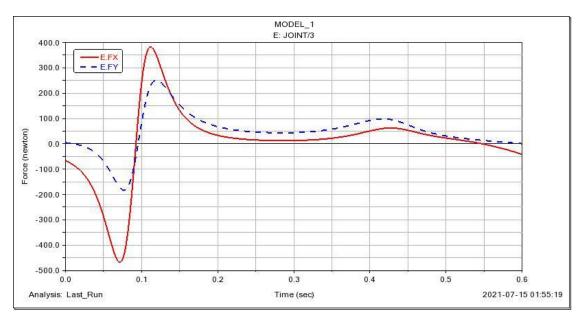
شکل ۳–۱۳ نمودار نیروی عضو B در متلب



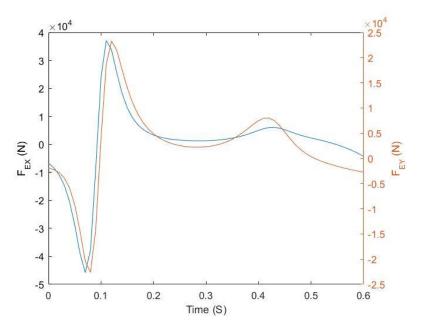
شکل ۳–۱۴ نمودار نیروی عضو D در ادمز



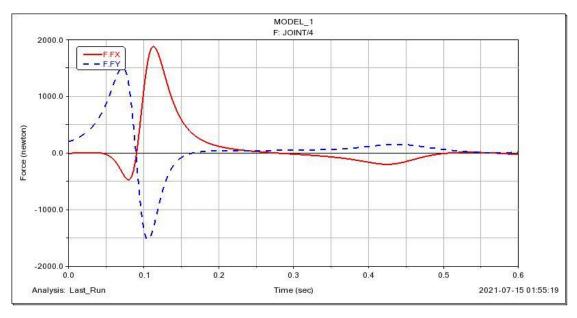
شکل ۳–۱۵ نمودار نیروی اتصال D در متلب



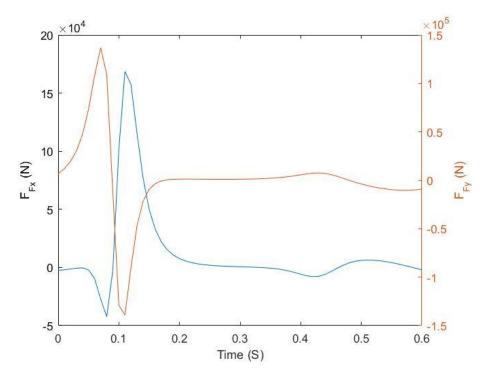
شکل ۳–۱۶ نمودار نیرویی اتصال ${
m E}$ در ادمز



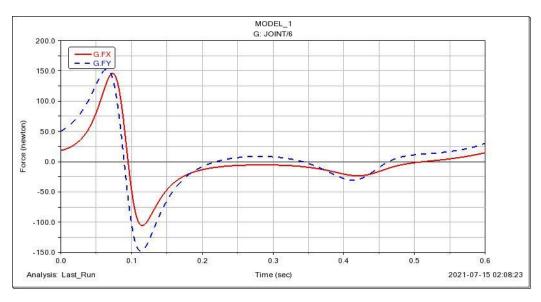
شکل ۳–۱۷ نمودار نیرویی اتصال E در متلب



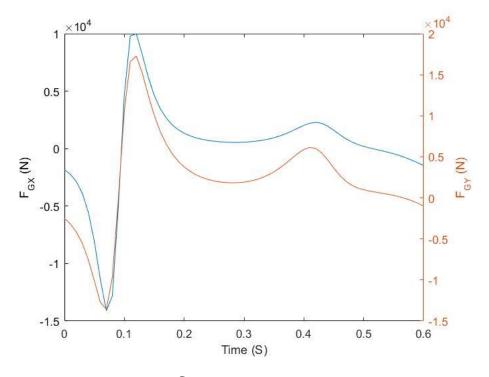
شکل ۳–۱۸ نمودار نیروی اتصال F در ادمز



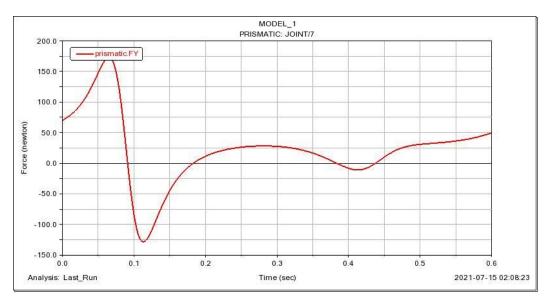
شکل ۳-۳ نمودار نیروی اتصال F در متلب



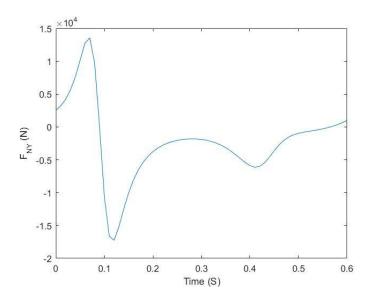
شکل ۳-۲۰ نمودار نیرویی اتصال G در ادمز



شکل ۳-۲۱ نمودار نیروی اتصال G در متلب



شکل ۳–۲۲ نمودار نیروی اتصال کشویی N در ادمز



شکل N-۳ نمودار نیروی اتصال کشویی N در متلب

با بررسی نتایج فوق به این نتیجه میرسیم که نتایج با دقت قابل اتکایی منطبق هستند و اختلافات موجود بدلیل همان خطاهایی است که در بخش قبل هم بحث شد البته اینجا بدلیل انباشتگی خطا مقداری خطاها بیشتر محاسبه شدند.