معرفی مدل سد

سد کوینا در هند و درطی سالهای ۱۹۴۵ تا ۱۹۶۳ ساخته شده است. این سد یک سازه بتنی وزنی و دارای ۱۰۳ متر ارتفاع و ۸۵۴ متر طول می باشد. به منظور طراحی این سد معیارهایی در نظر گرفته شده است.

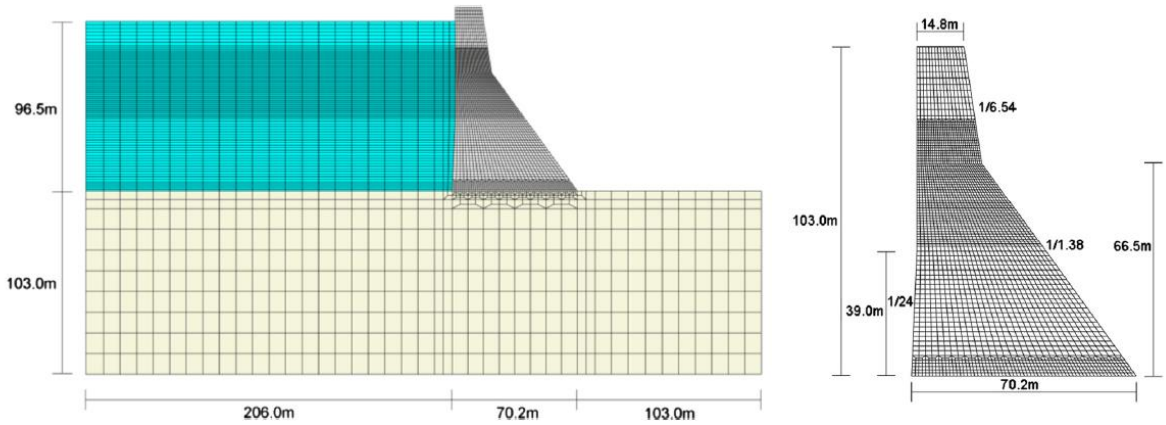
فرضیات مدلسازی:

- در مقطع تنش کششی وجود ندارد.
- حداکثر تنش فشاری باید از تنش مجاز بتن کمتر باشد.
- ضریب اصطکاک برشی باید کمتر از مقدار مجاز باشد.

ضریب لرزه ای ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. مقطع سد کوینا بطور کامل وزنی نیست. در قسمت بالای وجه پایین دست دارای شیب (0.153H:1V) بطول ۳۶ متر و در قسمت پایین دارای شیب (0.72H:1V) به همان طول می‌باشد. وجه بالادست تقریباً قائم است.

در ۱۱ دسامبر ۱۹۶۷ زلزله قوی با عبور از مخزن به شدت ۶/۵ ۰ بر سد اثر کرد. مرکز این زمین لرزه ۸ تا ۱۳ کیلومتر از محل سد فاصله داشت و دارای عمق ۱۳ کیلومتر بود. این زلزله باعث خرابی بسیاری از ساختمان‌های شهر کویانگار شد که برای استقامت در برابر زلزله طراحی نشده بودند. حدود ۲۰۰ نفر جانشان را از دست دادند و بیشتر از ۲۲۰۰ نفر مجروح شدند. آسیب‌های وارده به بدنه سد کوینا شامل ترک‌های افقی در ۳۵ تا ۴۵ متری زیر تاج در محل تغییر شیب ناگهانی که شیب وجه پایین دست، می‌گردد. ترک‌هایی در گالری عملیاتی و در ارتفاع میانه گالری فونداسیون ایجاد شده است. نیروهای فشاری بوجود آمده در اثر زلزله به موازات محور میانی سد و در تراز ارتفاعی تاج بود و باعث برآمدگی در سطح پیاده روی تاج شد. حداکثر شتاب اندازه‌گیری شده توسط شتاب نگاشت در راستای عرض دره بترتیب 0.63g و 0.49g در بالا و پایین دست و در راستای قائم ۰/۴۳ گردید. مدت زمان این زلزله ۶ ثانیه ثبت گردید.

سد به صورت ۲ بعدی مدل شده و از المان CPS4R استفاده می شود که المان‌هایی از نوع تنش صفحه‌ای با انتگرال‌گیری کاهش یافته می‌باشد.



هندسه سد کوینا

برای محاسبه پریودهای سد از اندرکنش بین سد و مخزن و فنداسیون صرف نظر شده است (در قسمت فنداسیون تمامی درجات آزادی بسته شده است). این سد فقط تحت بار وزن خودش میباشد و تعیین ۴ مود فرکانسی و تعیین پریود هر مود مورد بررسی می‌باشد. خصوصیات مصالح در نظر گرفته شده مطابق جدول زیر می‌باشد. البته ذکر این نکته لازم است که خصوصیات دقیق‌تر و کامل‌تری در مراحل بعد در نظر گرفته خواهد شد اما به جهت این که هدف این بخش صحت سنجی است، فعلا از آن صرف نظر می‌نماییم.

مشخصات بتن مصرفی در سد کوینا

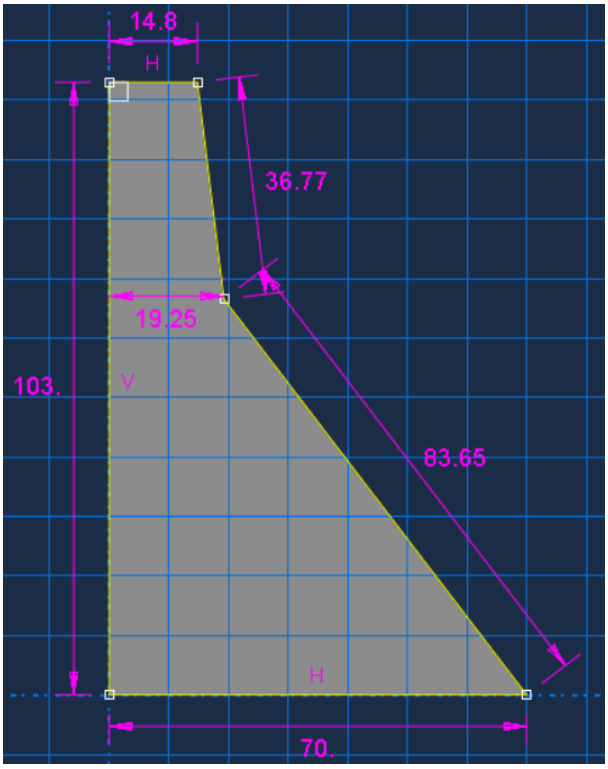
مشخصه	واحد	مقدار
چگالی	kg/m^3	2643
نسبت پوآسون	---	0.15
مدول الاستیسیته	Mpa	31027

مدلسازی

برای مدلسازی سد از نرم‌افزار Abaqus استفاده شده است که در ادامه مراحل مدلسازی سد مذکور آورده شده است.

- **ساخت مقطع سد**

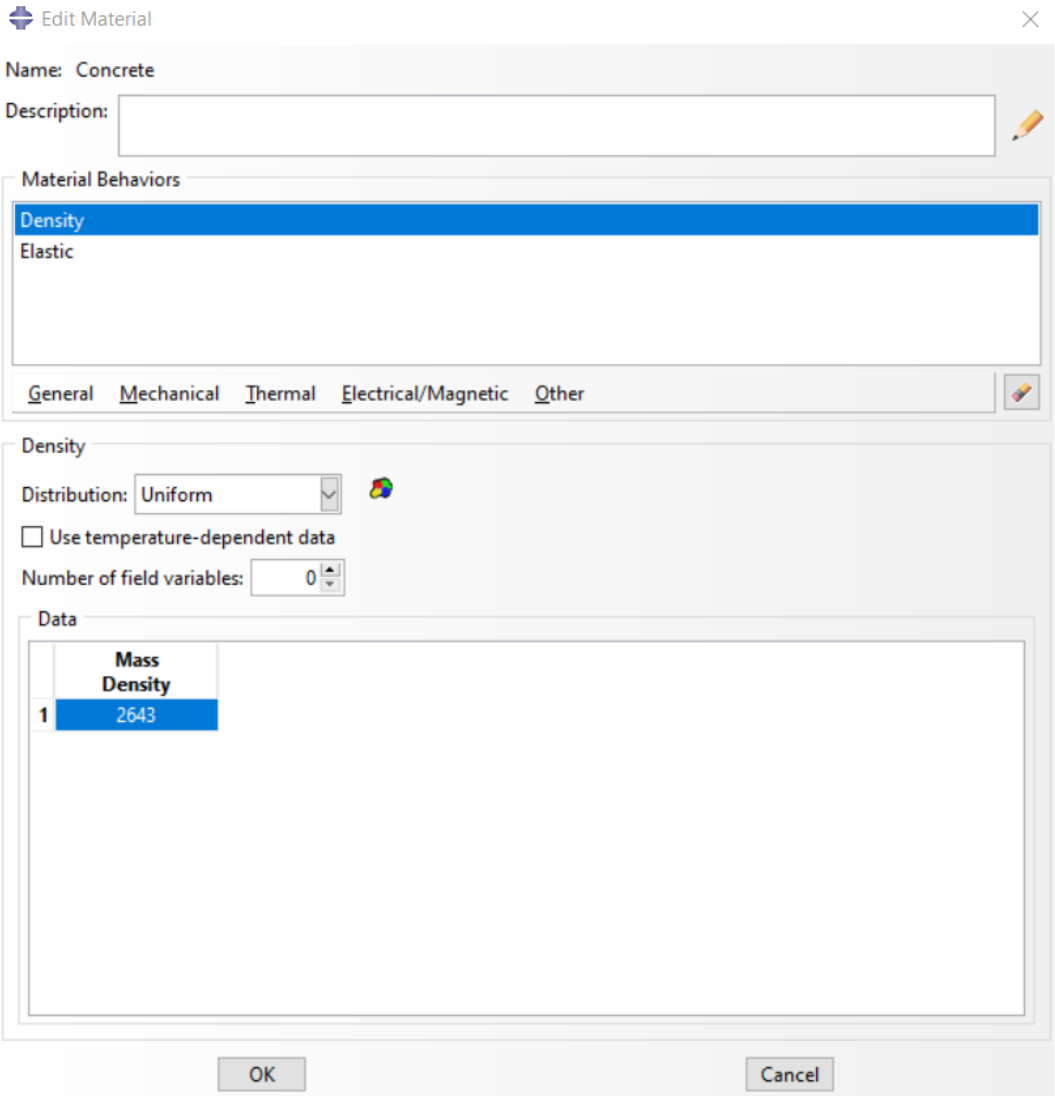
در قسمت Part هندسه سد ساخته خواهد شد که از المان ۲ بعدی و حالت Shell استفاده خواهیم نمود.



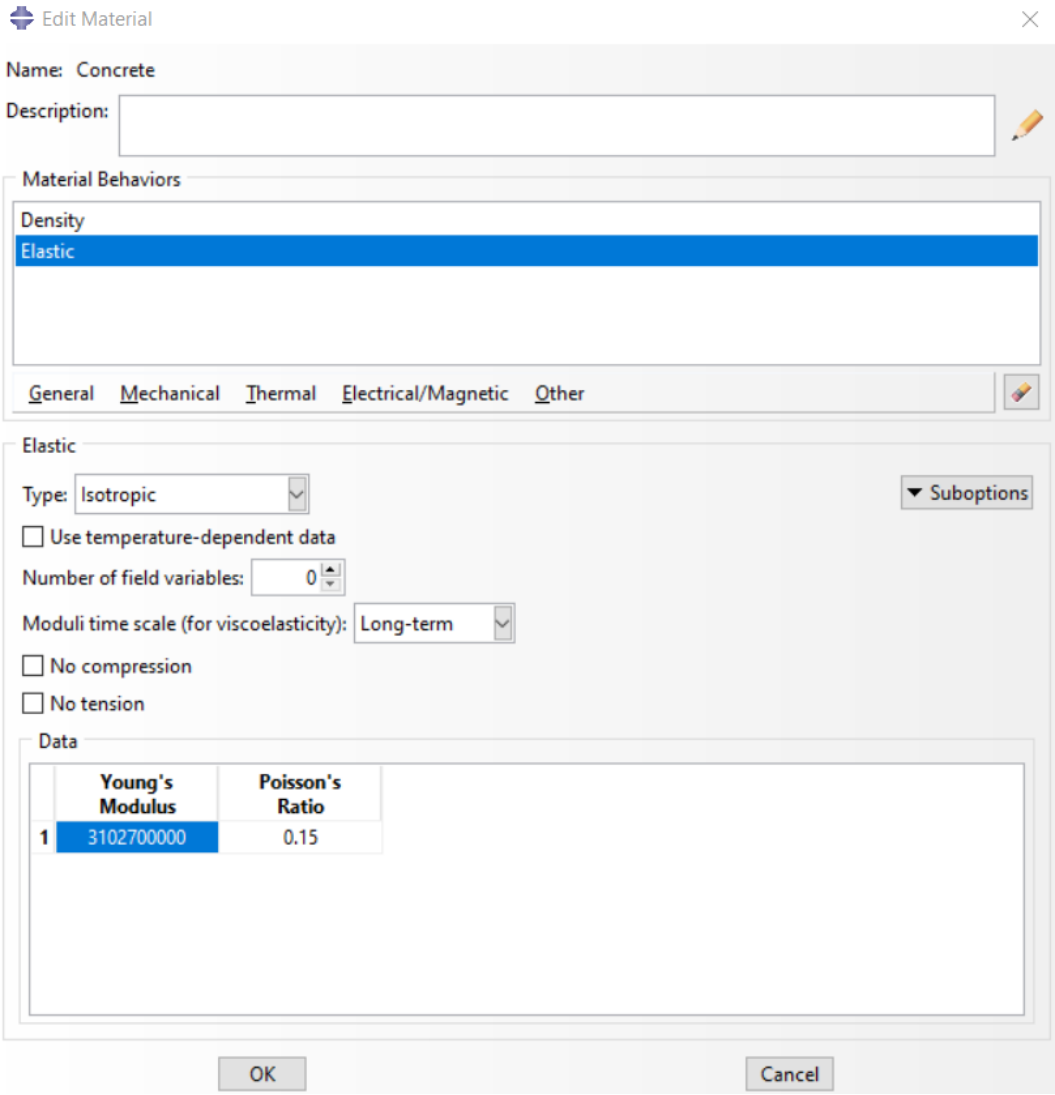
هندسه ساخته شده در نرم‌افزار

- **تعریف مصالح**

جنس سد از نوع بتنی بوده که مشخصات آن قبلاً ارائه شده است که نحوه تعریف آن در نرم‌افزار در بخش Property آورده شده است:

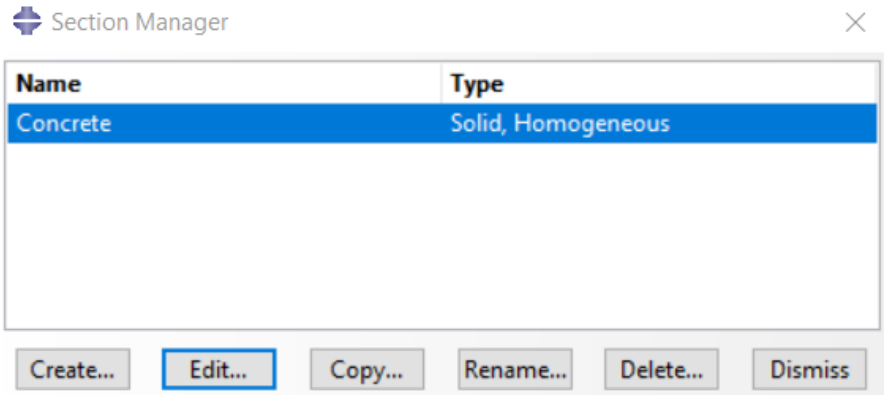


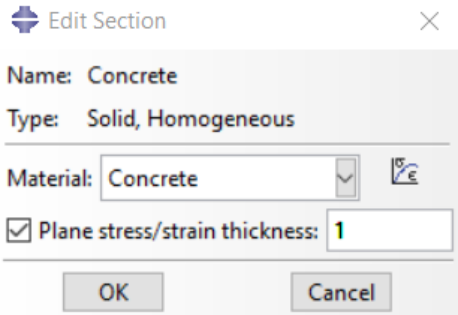
وزن مخصوص بتن



مدول الاستیسیته و نسبت پوآسون

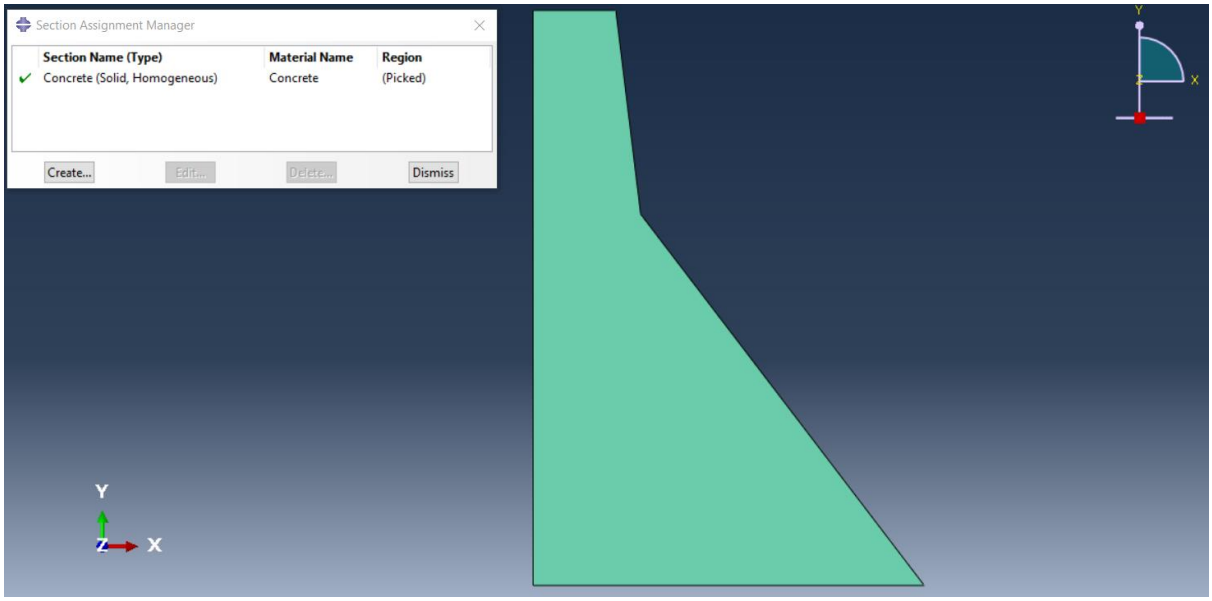
بعد از تعریف مصالح حال یک مقطع برای آن تعریف خواهیم نمود که بصورت زیر تعریف شده است.





تعریف مقطع بتنی

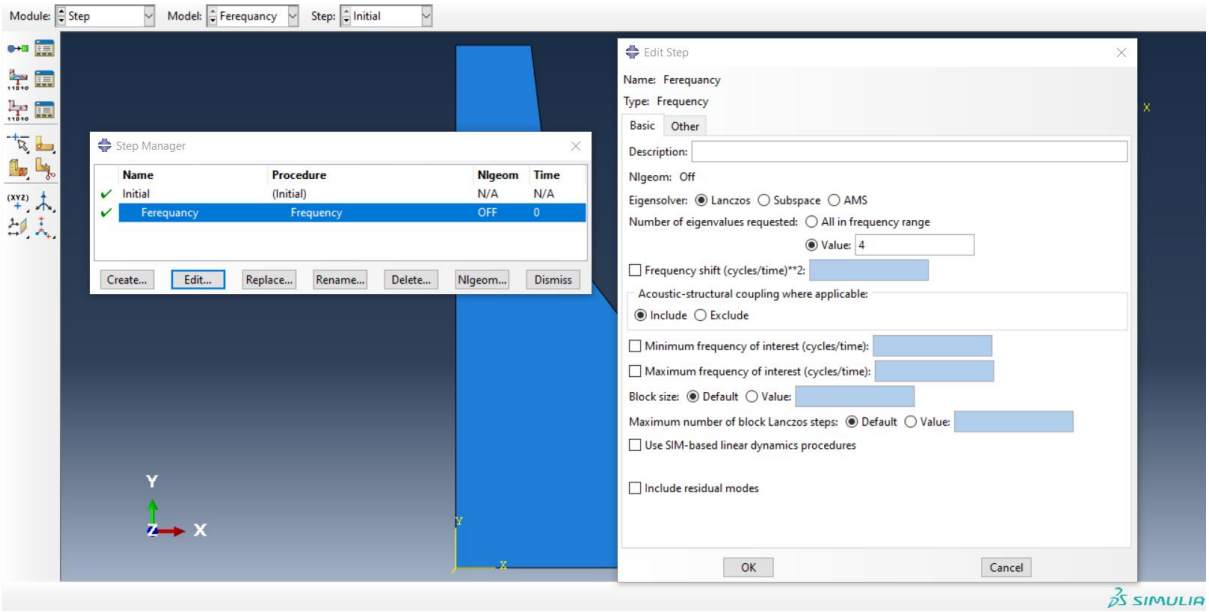
✓ با توجه به دو بعدی بودن مدل از حالت مسطح استفاده شده است.



اختصاص مقطع به سد بتنی

- تعریف نوع تحلیل

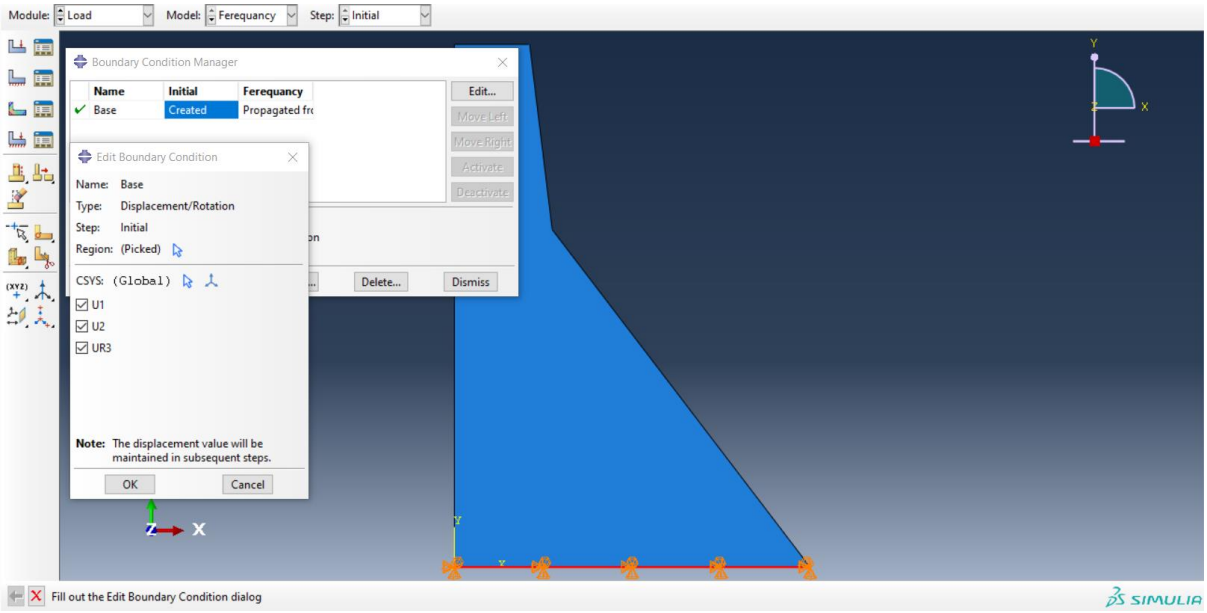
با توجه به اینکه برای صحت سنجی قصد داریم مودهای ارتعاش سد را بررسی نمائیم لازم است تحلیل از نوع فرکانسی (Ferequancy) باشد که بصورت زیر تعریف شده و برای بررسی نیز ۴ مود برای این تحلیل در نظر گرفته شده است.



تعریف نوع تحلیل

- تعریف شرایط مرزی

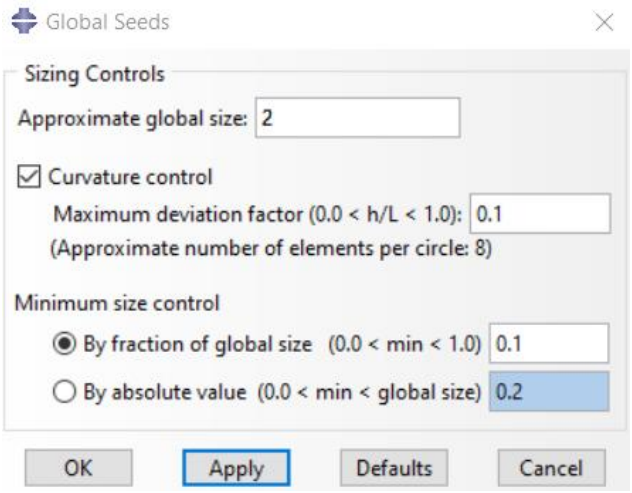
برای این مدل لازم است پای سد بصورت گیردار عمل نماید که بدین منظور درجات آزادی در آن قسمت بایستی مقید شود که بصورت زیر می‌باشد.



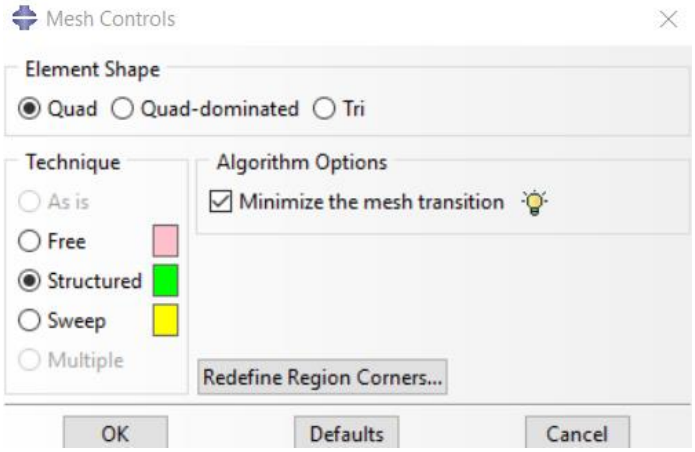
اعمال تکیه‌گاه گیردار

- **تعریف مش‌بندی**

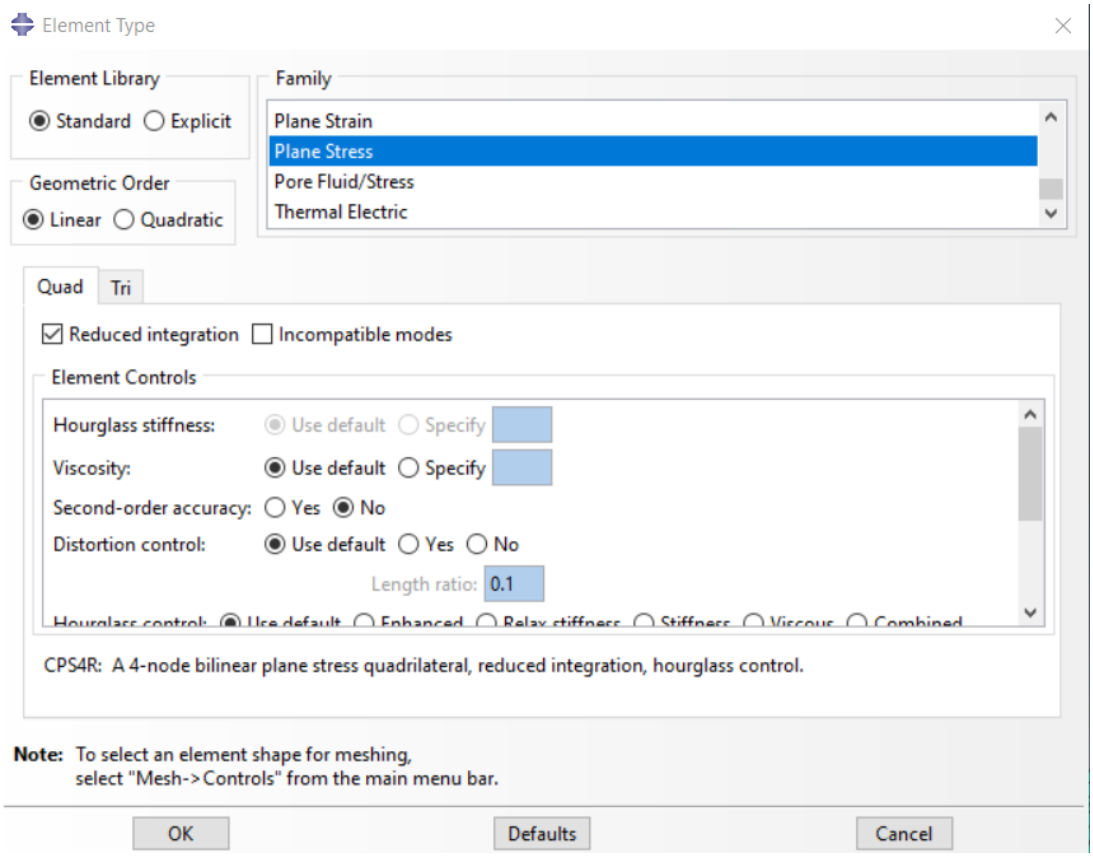
برای این سد ابعاد مش‌بندی برابر ۲ متر در نظر گرفته شده است و نوع المان از نوع CPS4R در نظر گرفته شده است.



تعیین ابعاد مش‌بندی

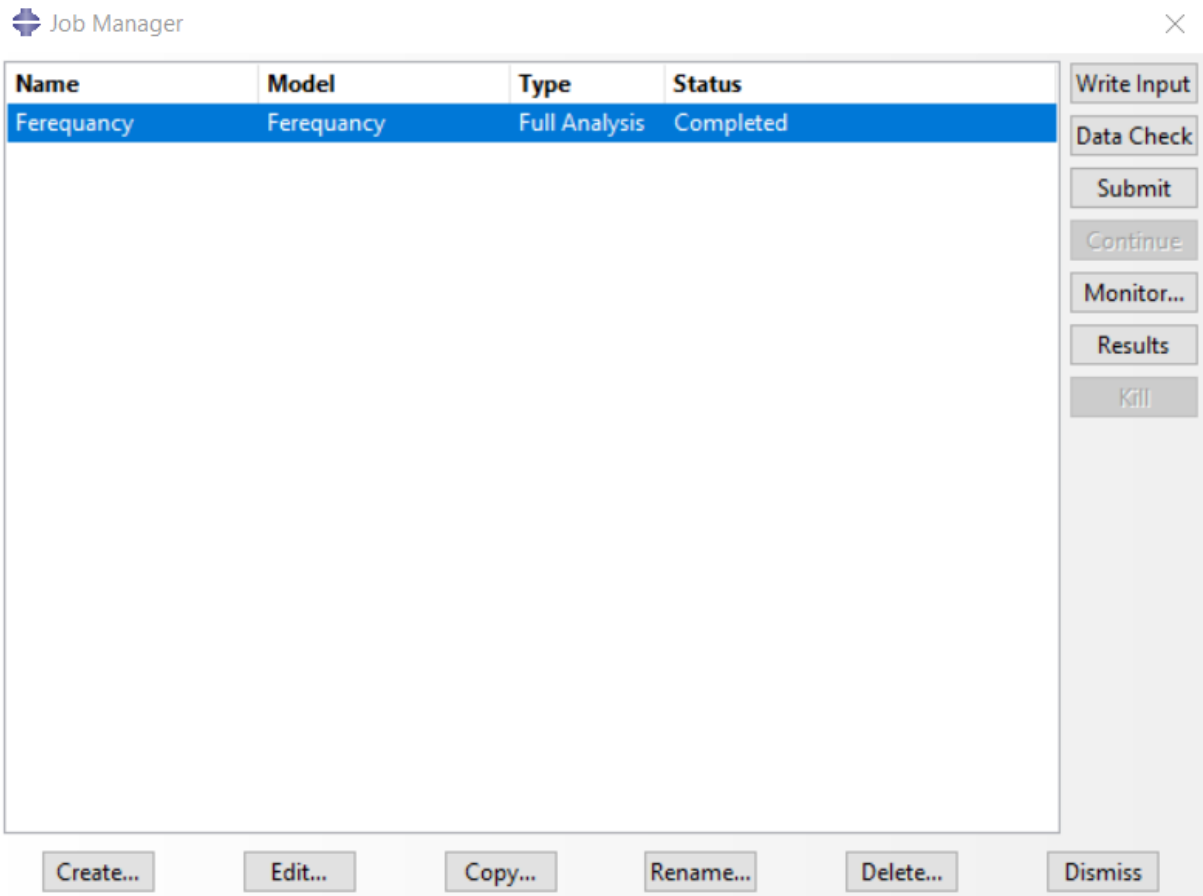


تعیین نحوه مش‌بندی



اختصاص نوع المان

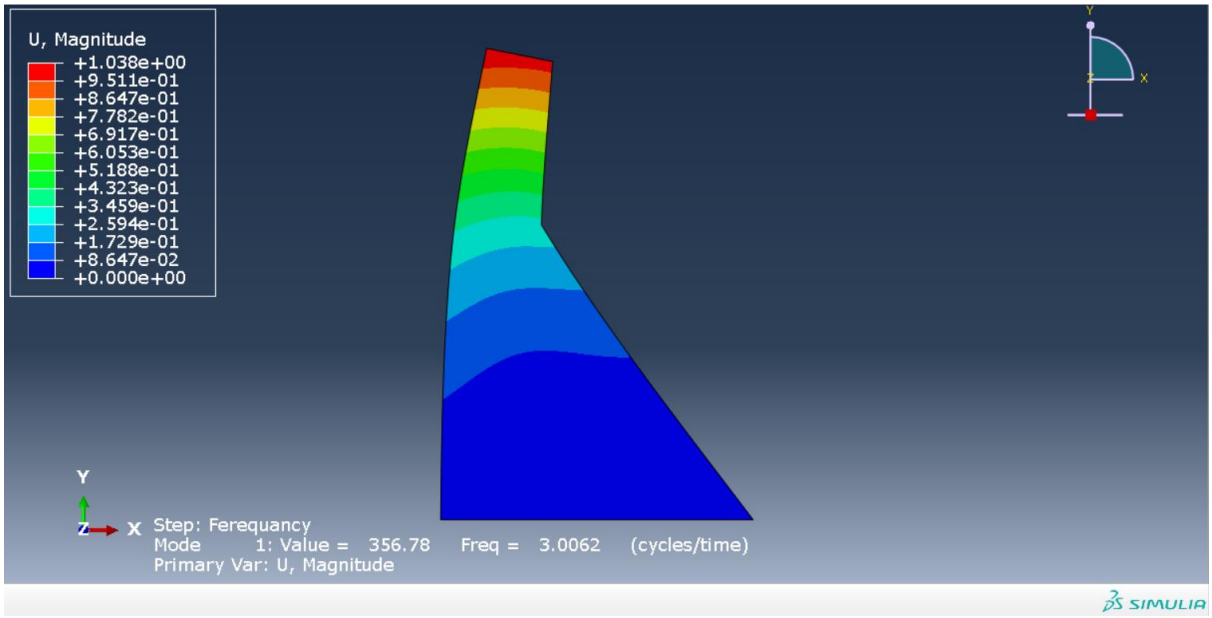
- **تعریف Job و تحلیل سازه**



تعریف Job تحلیل

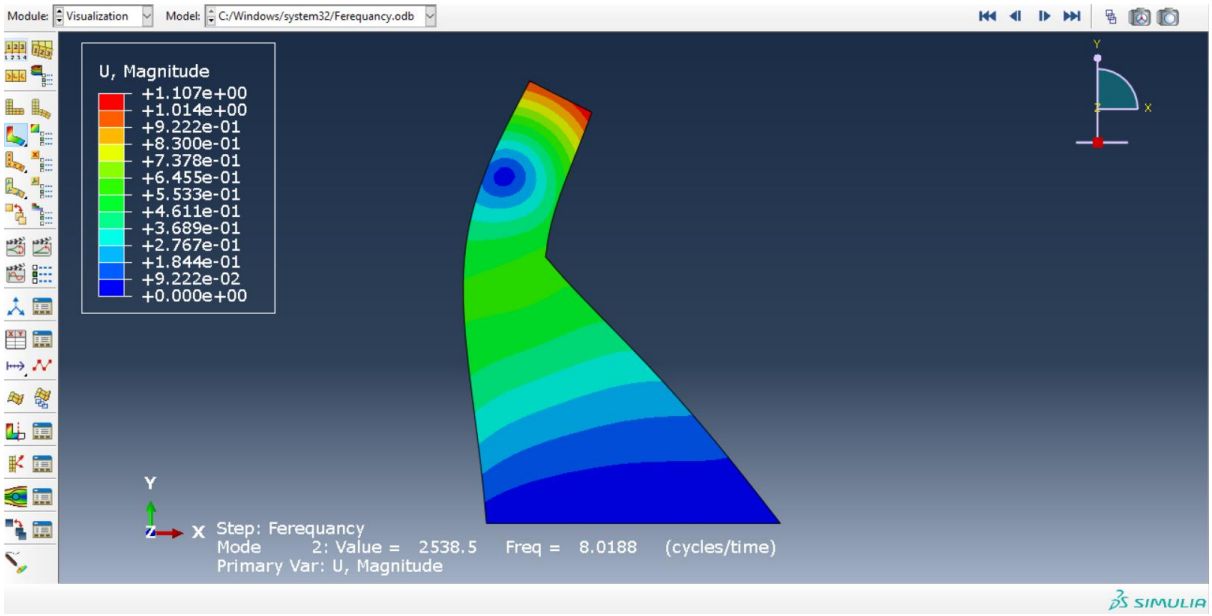
نتایج حاصل از مدلسازی در ادامه نشان داده شده است.

- نتایج



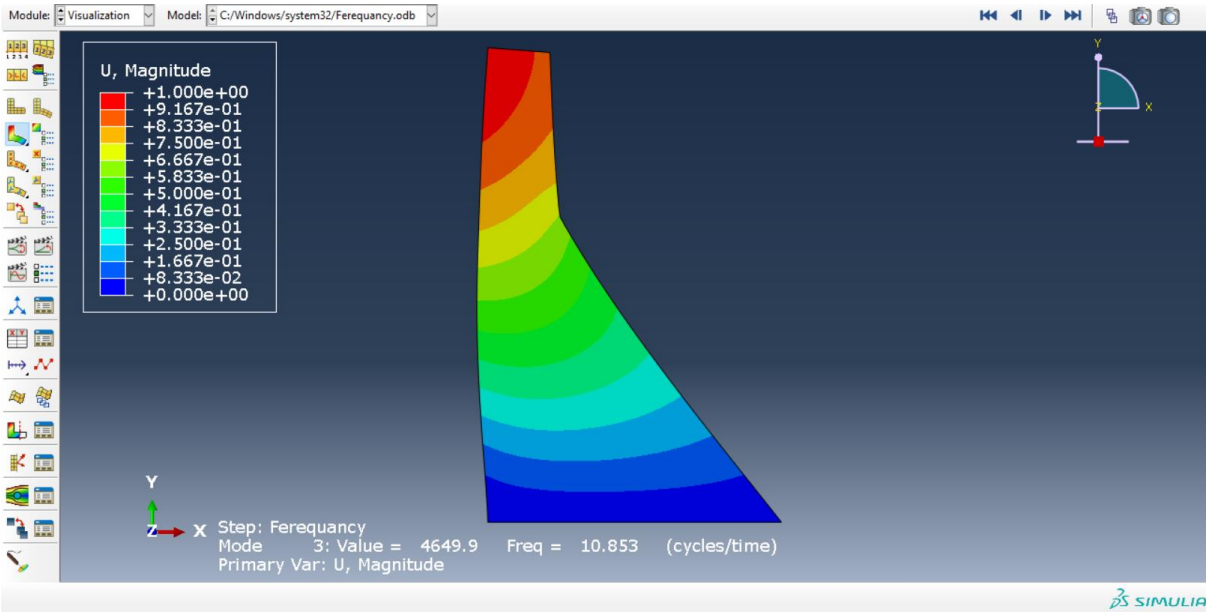
مود اول

فرکانس = ۳/۰۰۶۲ هرتز



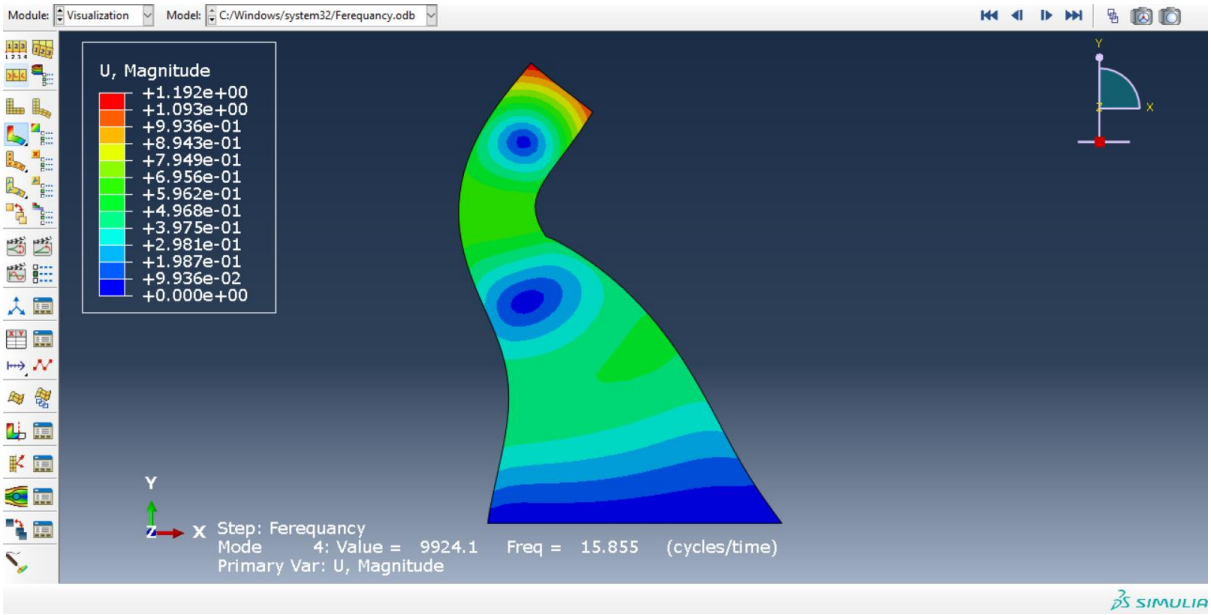
مود دوم

فرکانس = ۸/۰۱۸۸ هرتز



مود سوم

فرکانس = ۱۰/۸۵۳ هرتز



مود چهارم

فرکانس = ۱۵/۸۳۵ هرتز

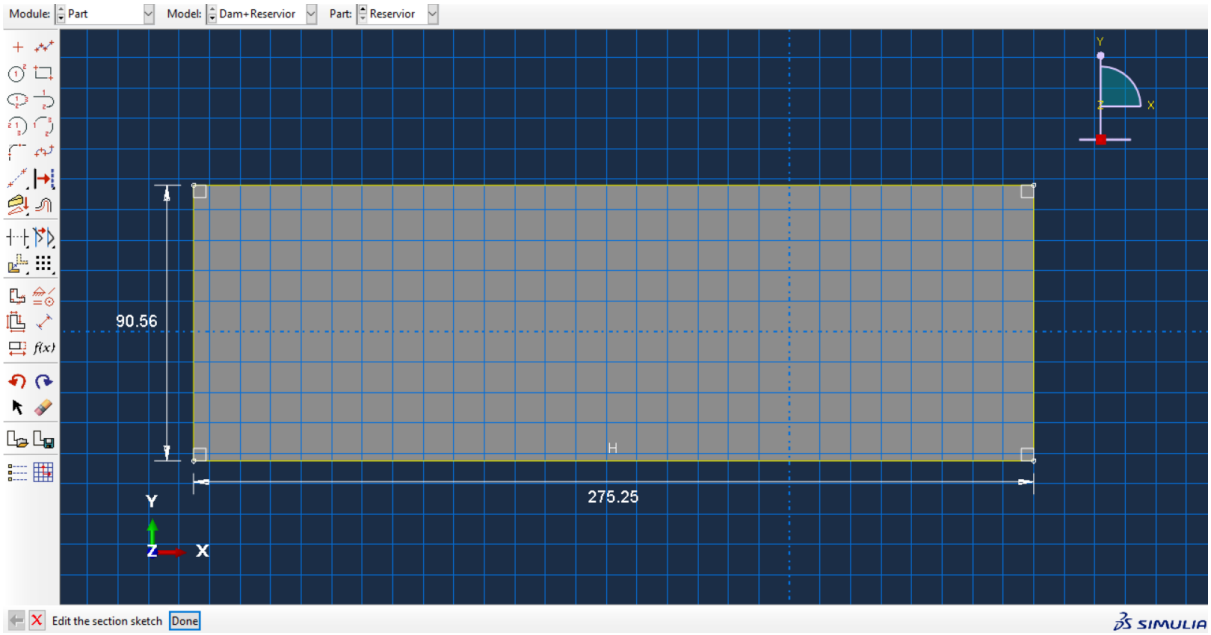
با توجه به اینکه در مرجع مورد نظر فرکانس طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است فرکانس به دست آمده را با توجه به رابطه زیر محاسبه نموده و با مقادیر مرجع مقایسه خواهیم نمود.

مقایسه نتایج فرکانس طبیعی نرم‌افزاری و تئوری

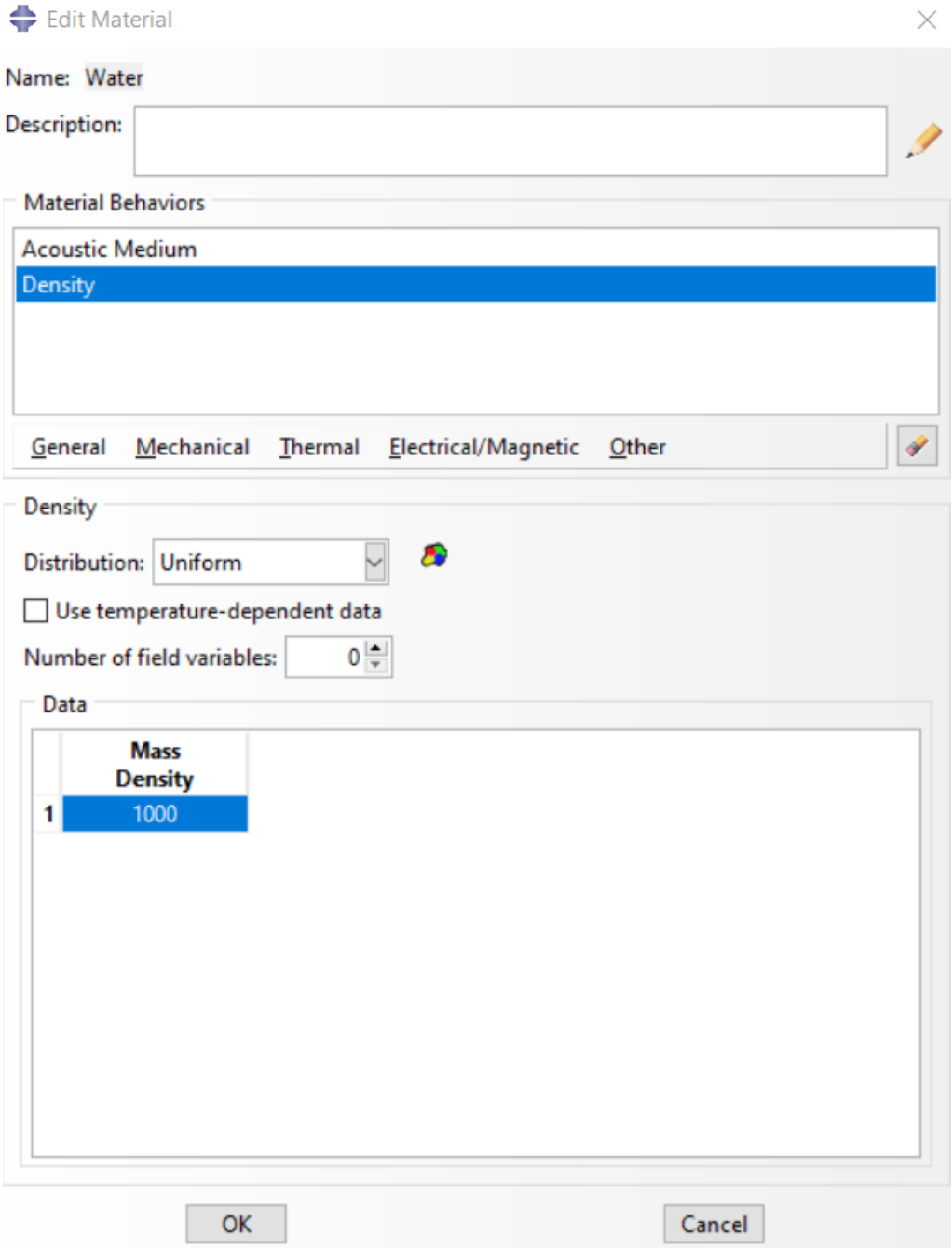
شماره مود	نتایج نرم‌افزاری	نتایج تئوری	اختلاف
1	*18.88*	*19.27*	*%2.02*
2	*50.38*	*51.50*	*%2.17*
3	*68.19*	*67.56*	*%0.92*
4	*99.62*	*99.73*	*%0.11*

مشاهده می‌شود نتایج حاصل از مدلسازی و نتایج تئوری حاصل از تحقیقات Chopra و همکاران نزدیک بوده و اختلاف بسیار کمی در آنها مشاهدات می‌شود که نشان دقت محاسبات دارد.

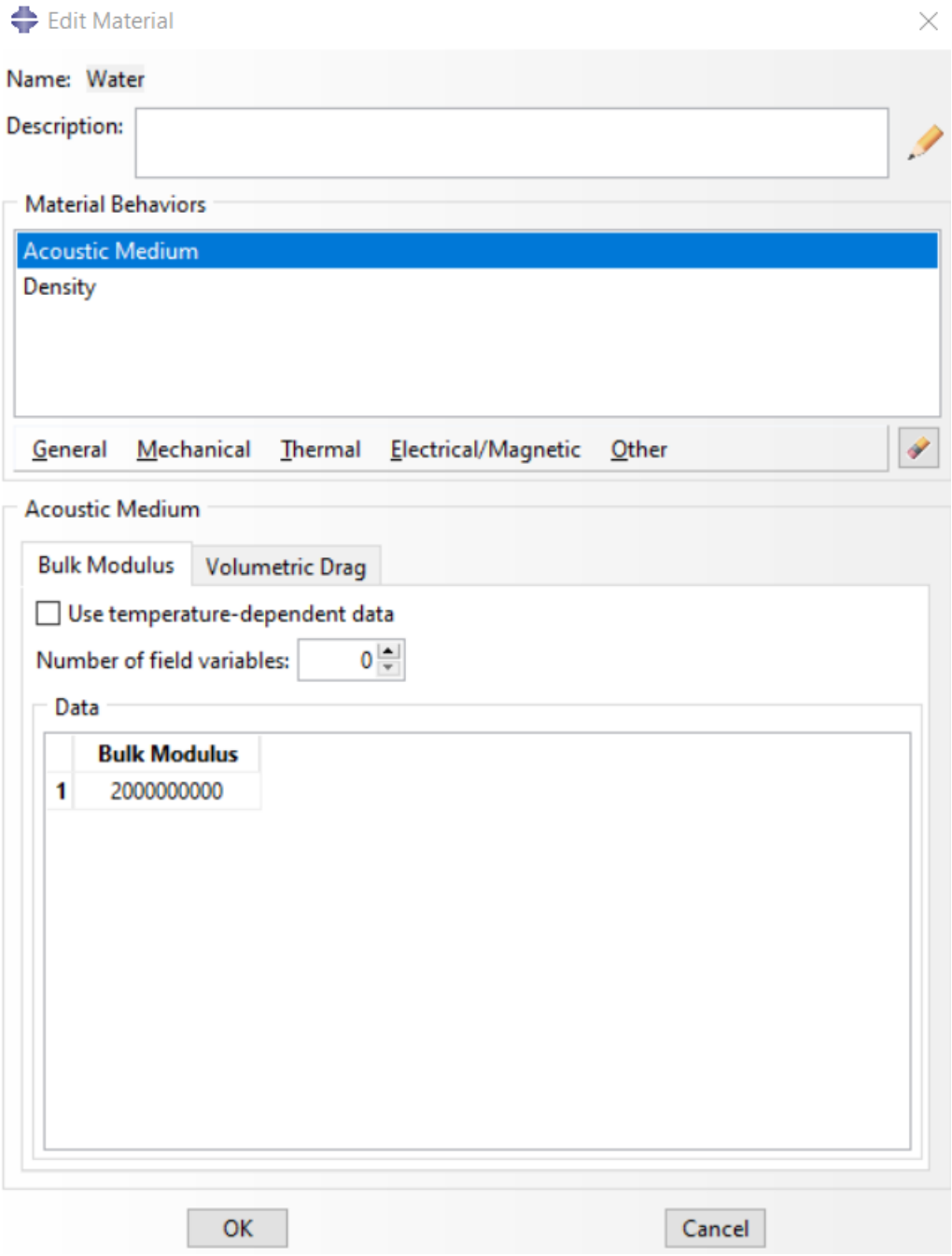
- مدلسازی سد با مخزن



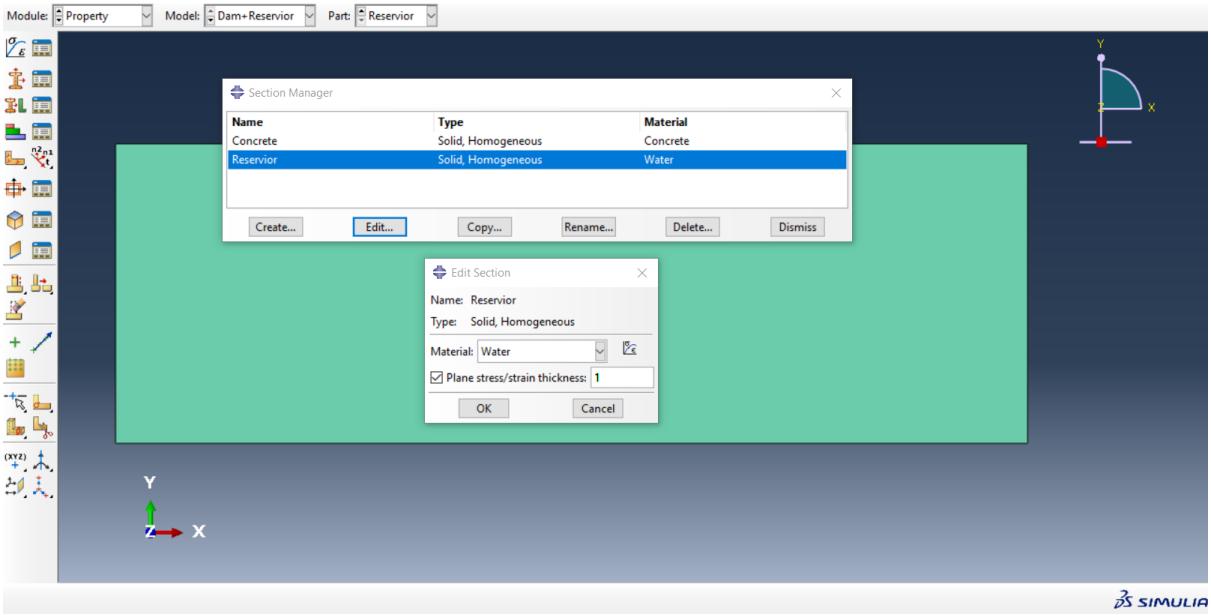
ابعاد مخزن در نظر گرفته شده



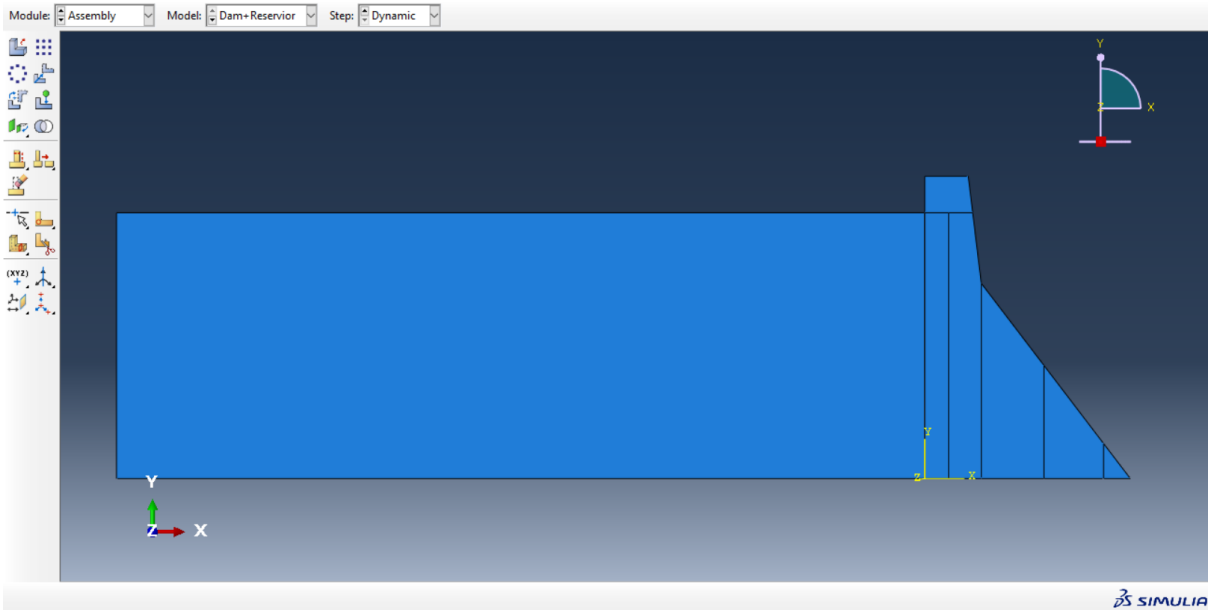
تعریف مصالح – وزن مخصوص آب



تعریف مصالح – مدول بالک آب

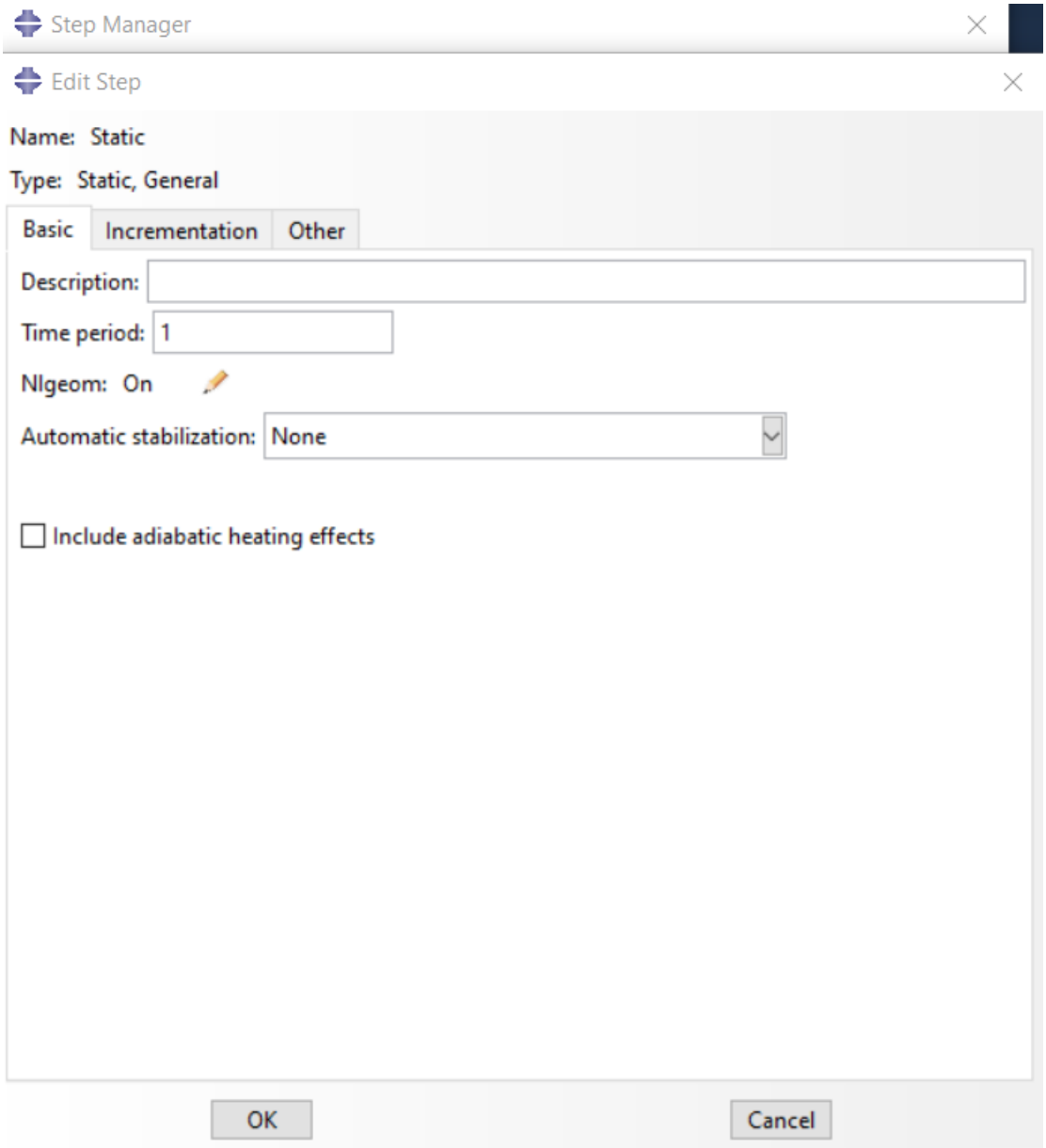


تعریف مقطع برای مخزن

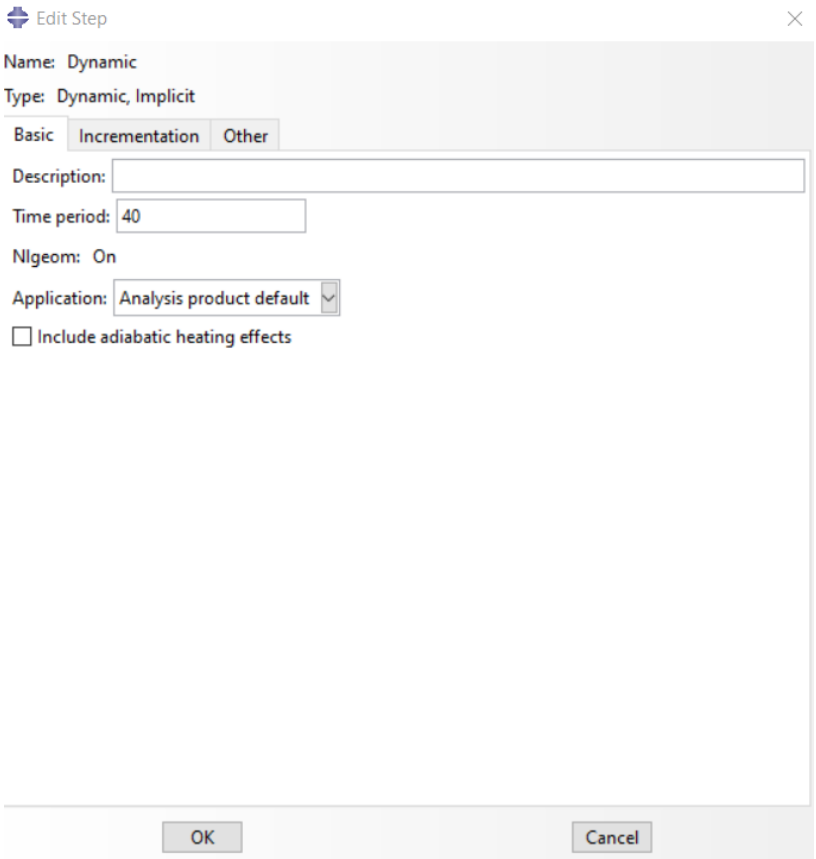


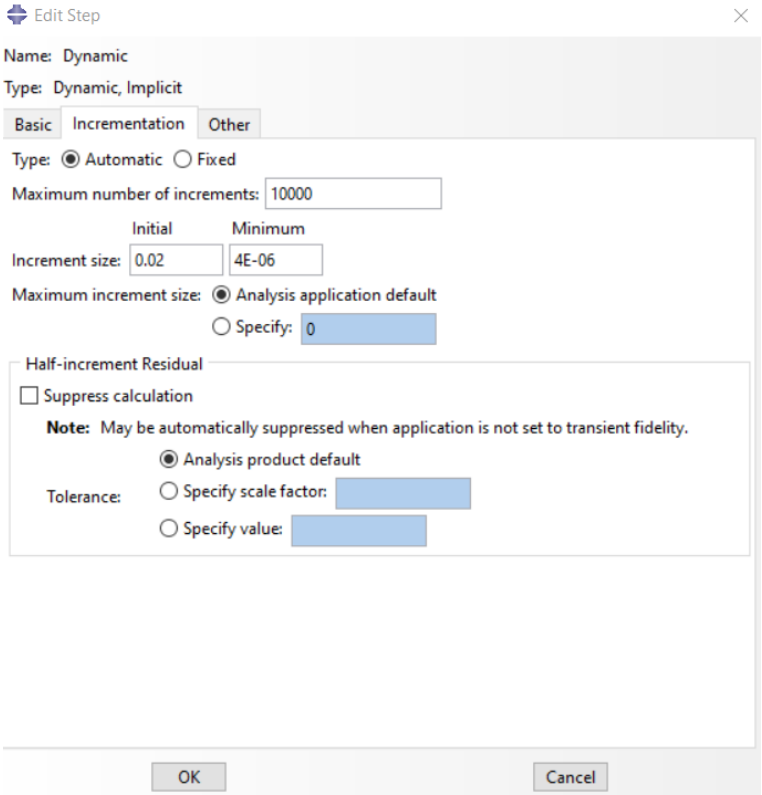
مدل مونتاژ شده سد و مخزن

با توجه به اینکه سد و مخزن را برای بار زلزله قصد داریم تحلیل نمائیم و بعنوان نمونه در این مدل از زلزله طبس استفاده شده است که زمان زلزله طبس ۳۸/۹۸ ثانیه می‌باشد که با توجه به اینکه ارتعاش آزاد مدل نیز قابل مشاهده باشد زمان در نظر گرفته شده ۴۰ ثانیه می‌باشد از همین رو در ماژول *Step* دو حالت برای تحلیل در نظر گرفته شده است که یک تحلیل از نوع *Static* بوده که برای در نظر گرفتن وزن خود سد و مخزن در نظر گرفته شده و یک تحلیل از نوع *Dynamic* بوده که برای زلزله طبس در نظر گرفته شده است.

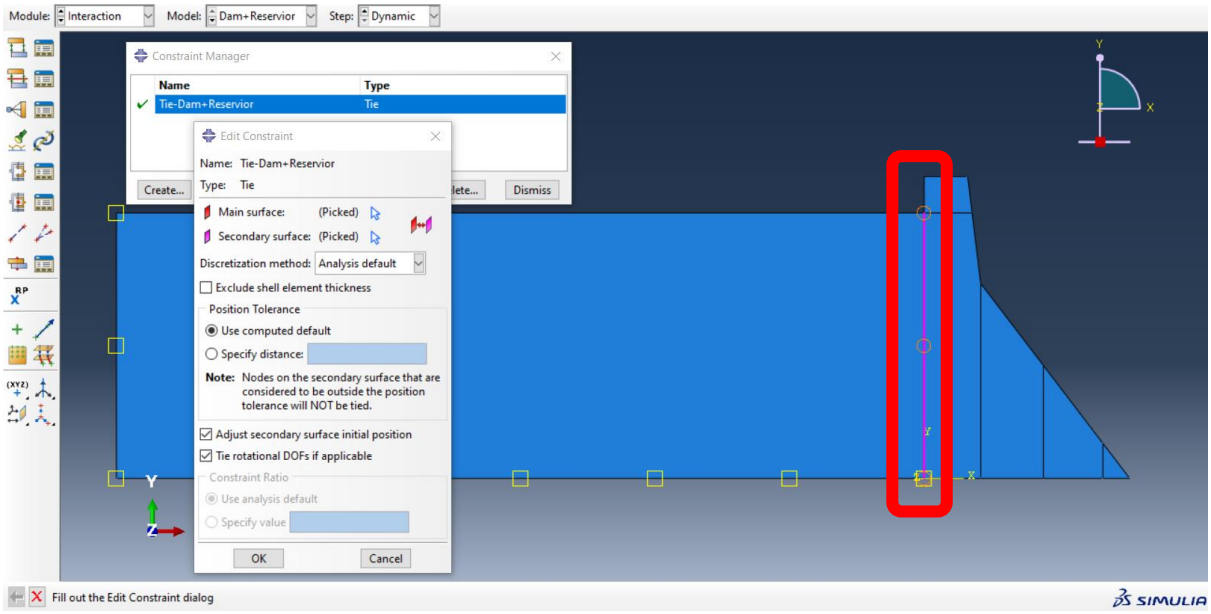


تحلیل استاتیکی در نظر گرفته شده

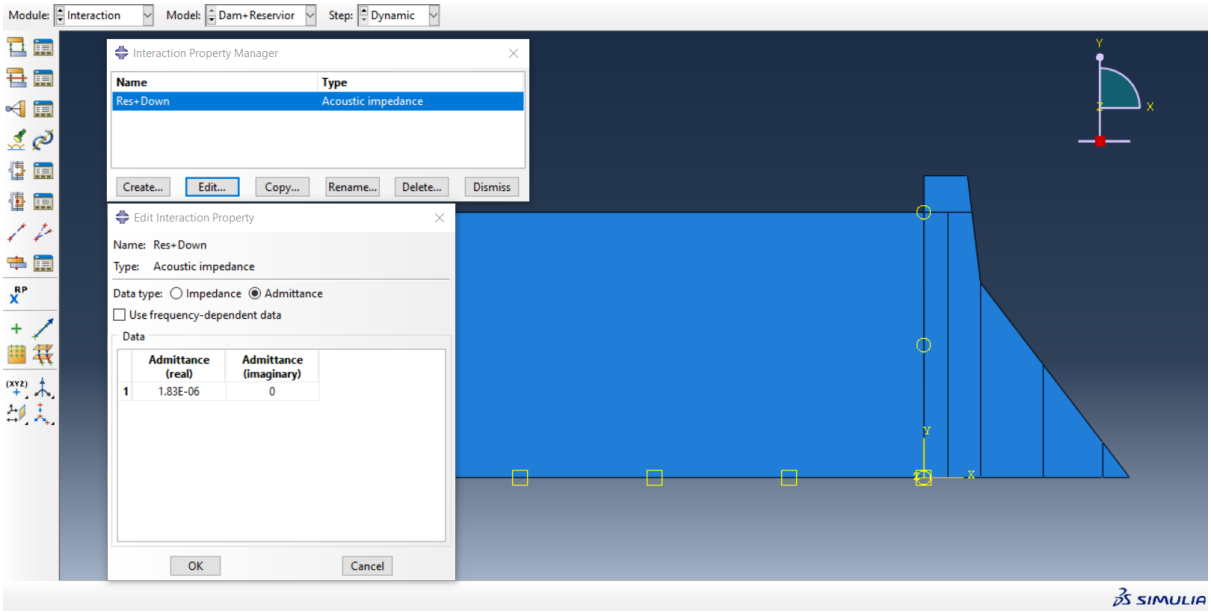




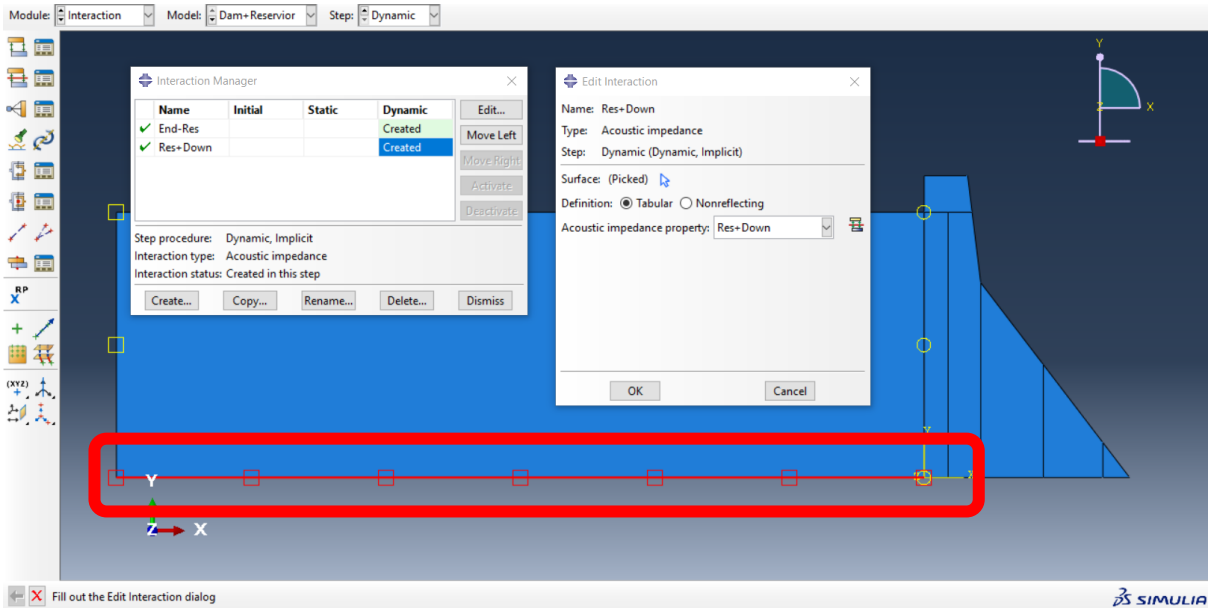
تحلیل دینامیکی در نظر گرفته شده



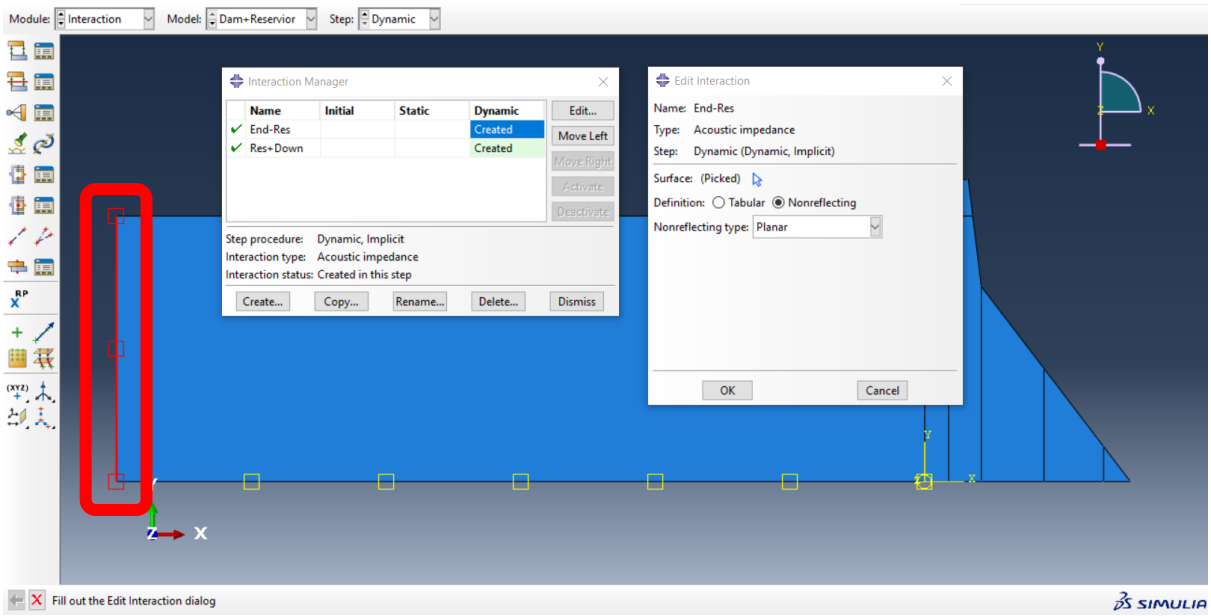
تعریف اندرکنش مابین بدنه سد و مخزن



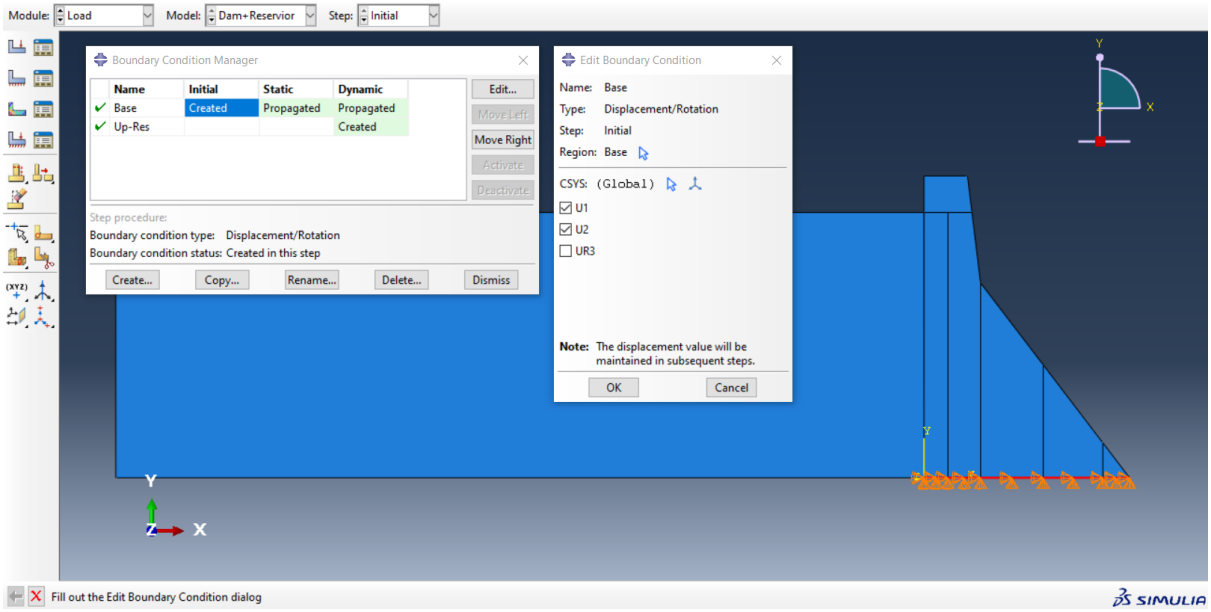
تعریف ویژگی‌های اندرکنش برای قسمت پایین مخزن



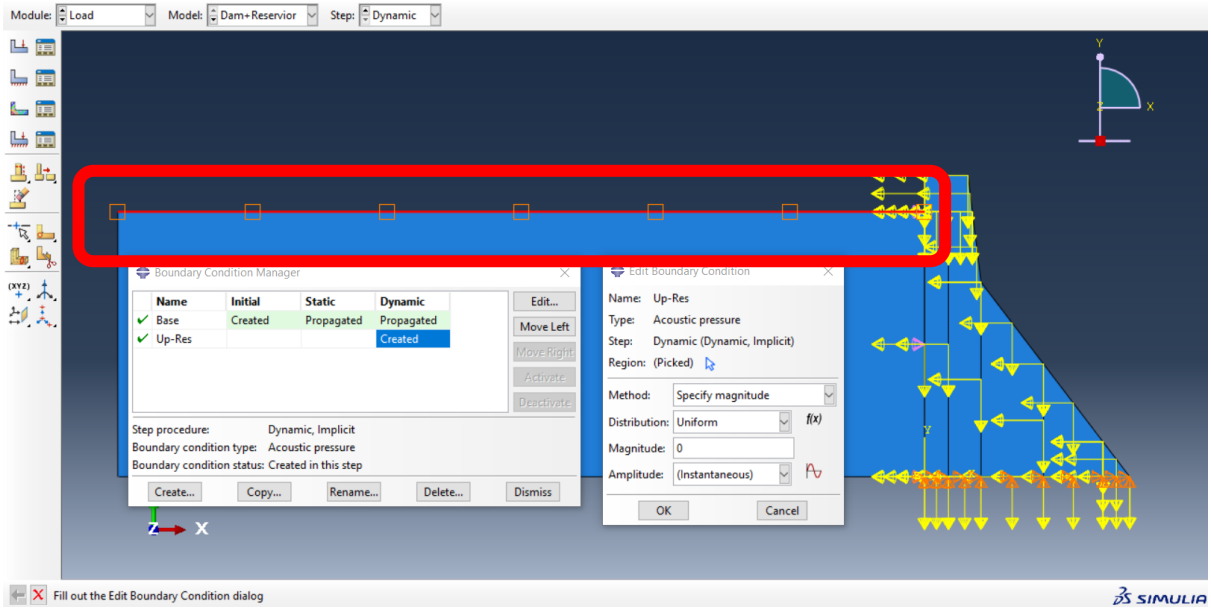
تعریف اندرکنش قسمت پایین مخزن



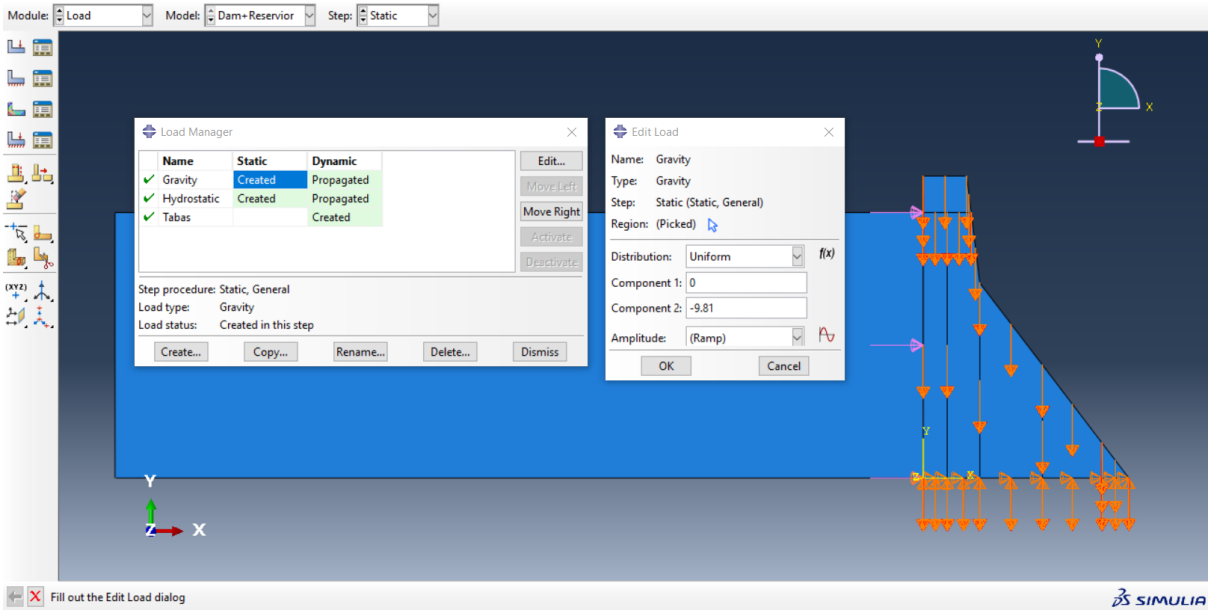
تعریف اندرکنش برای قسمت انتهایی مخزن



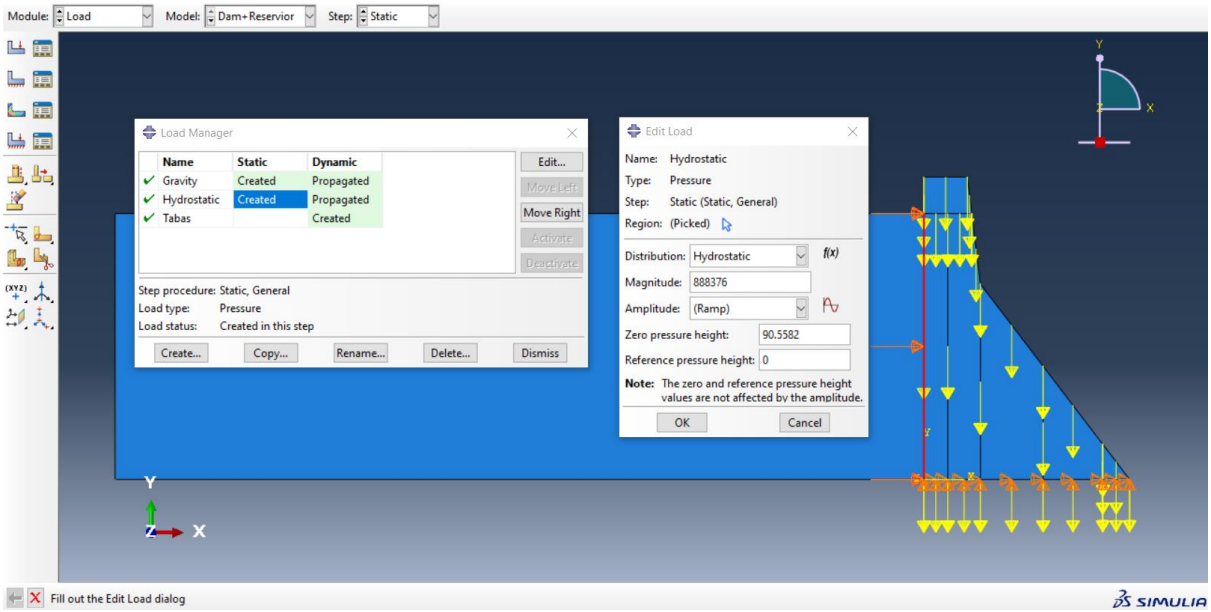
تعریف تکیه‌گاه برای سد



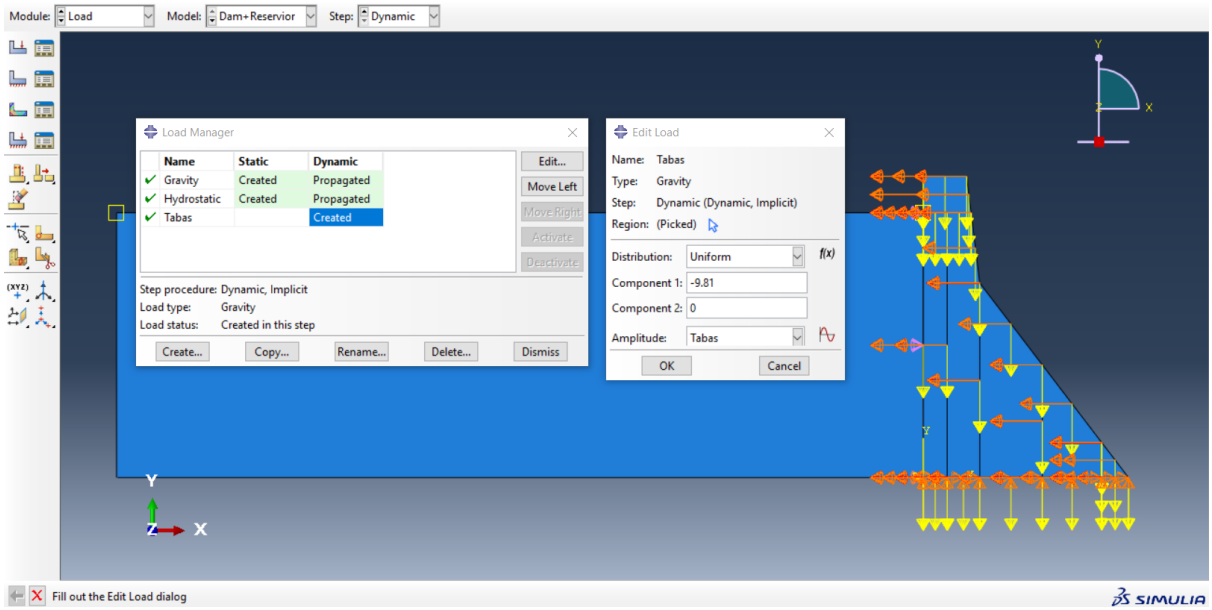
تعریف شرایط مرزی بالای مخزن



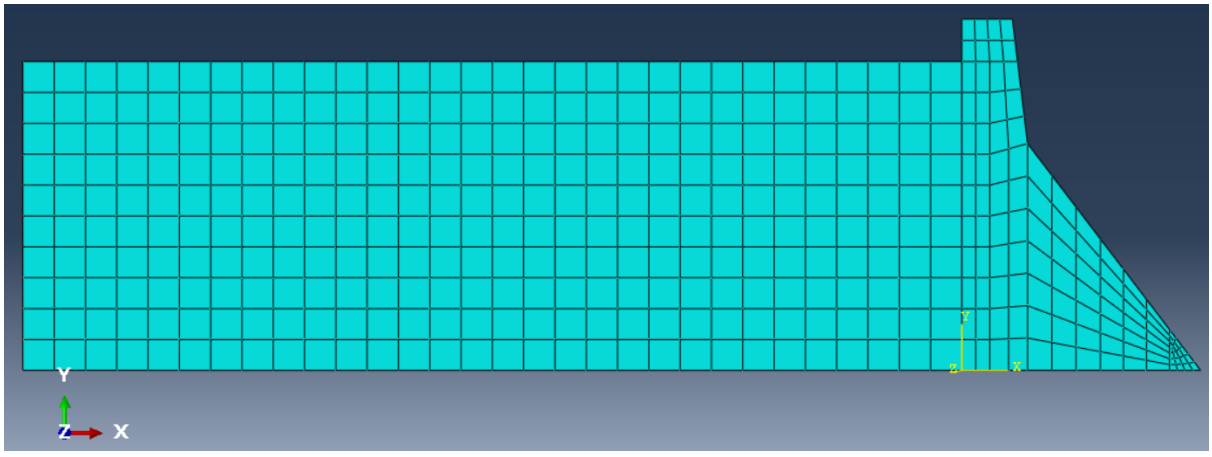
تعریف بار ثقلی برای سد



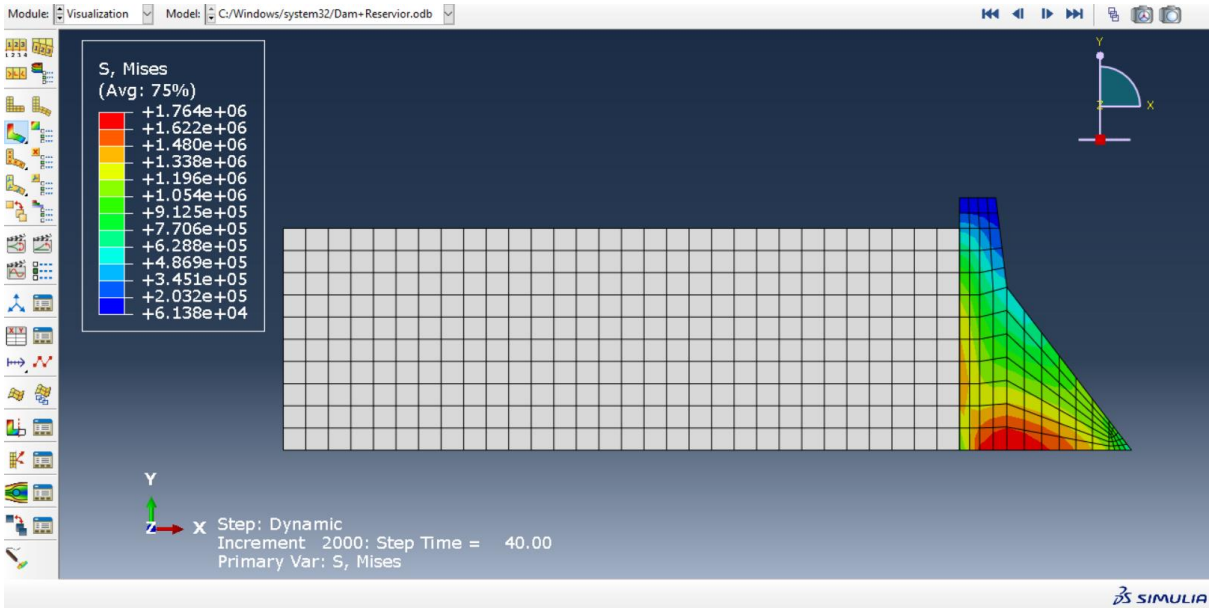
تعریف فشار هیدرواستاتیک برای سد



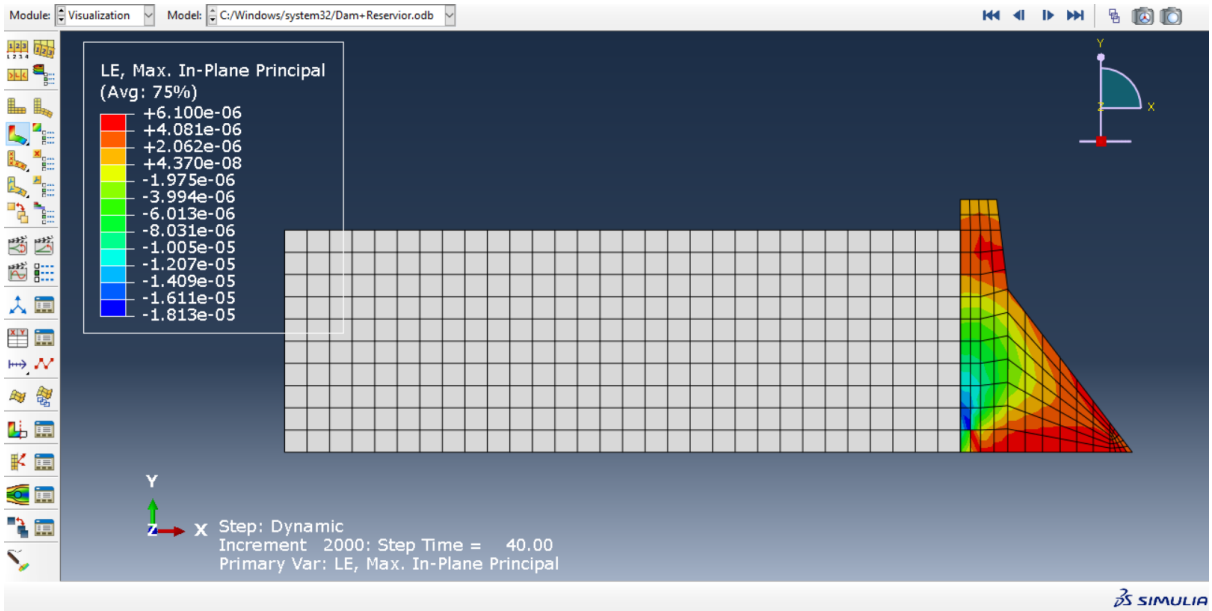
تعریف بار زلزله (زلزله طبس) برای سد



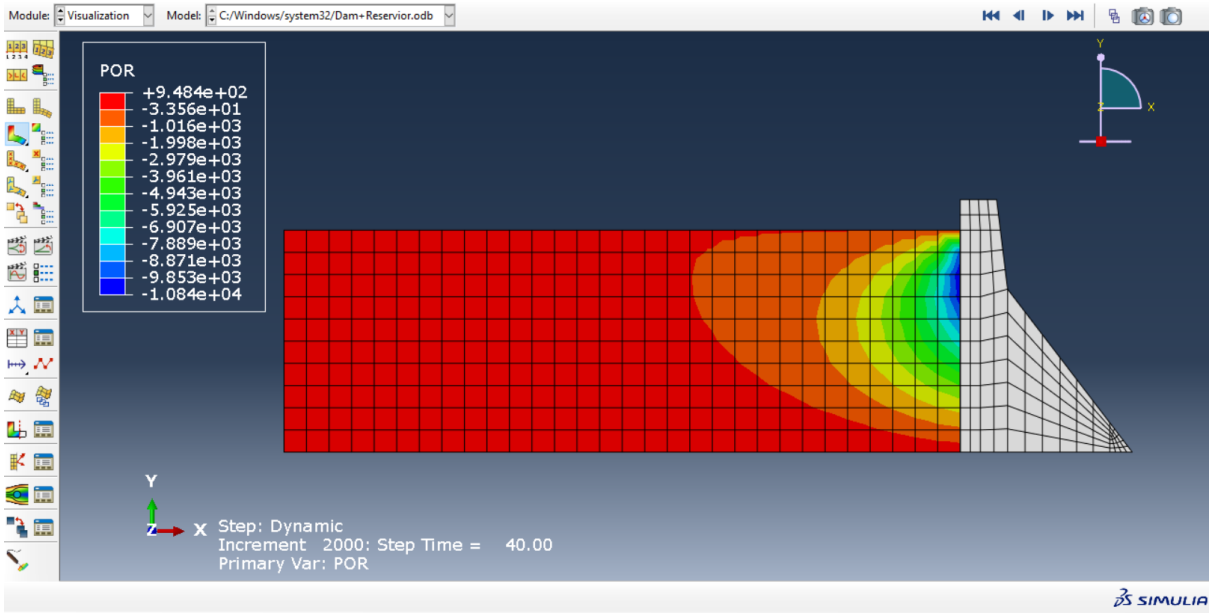
مش بندی



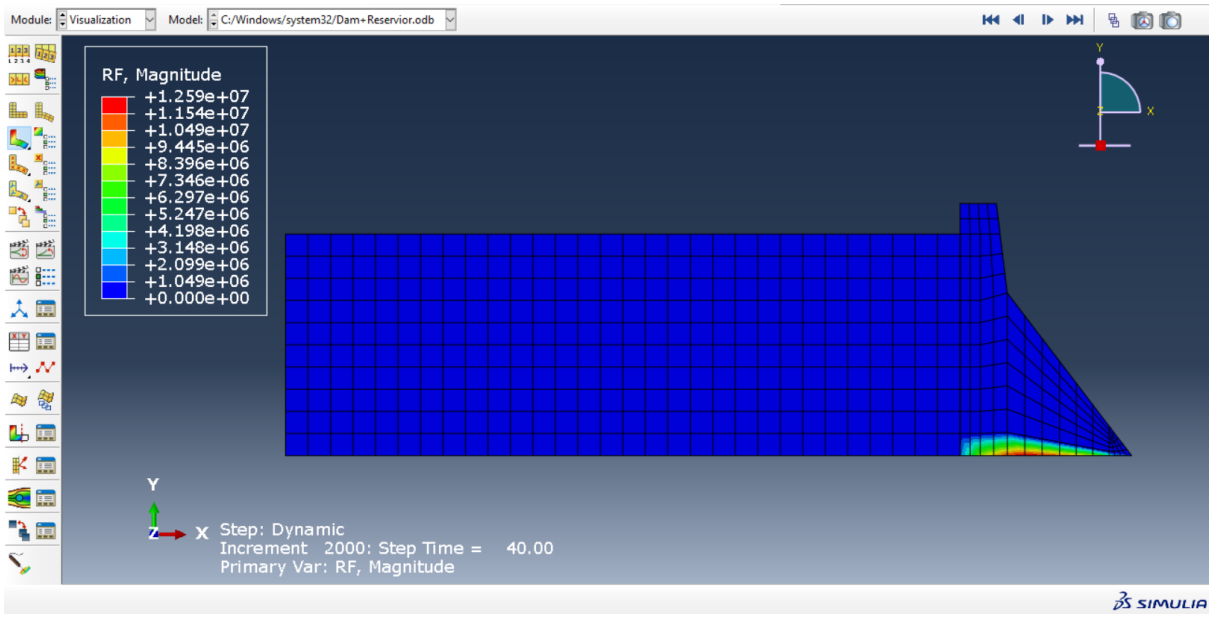
خروجی تنش مدل سد و مخزن



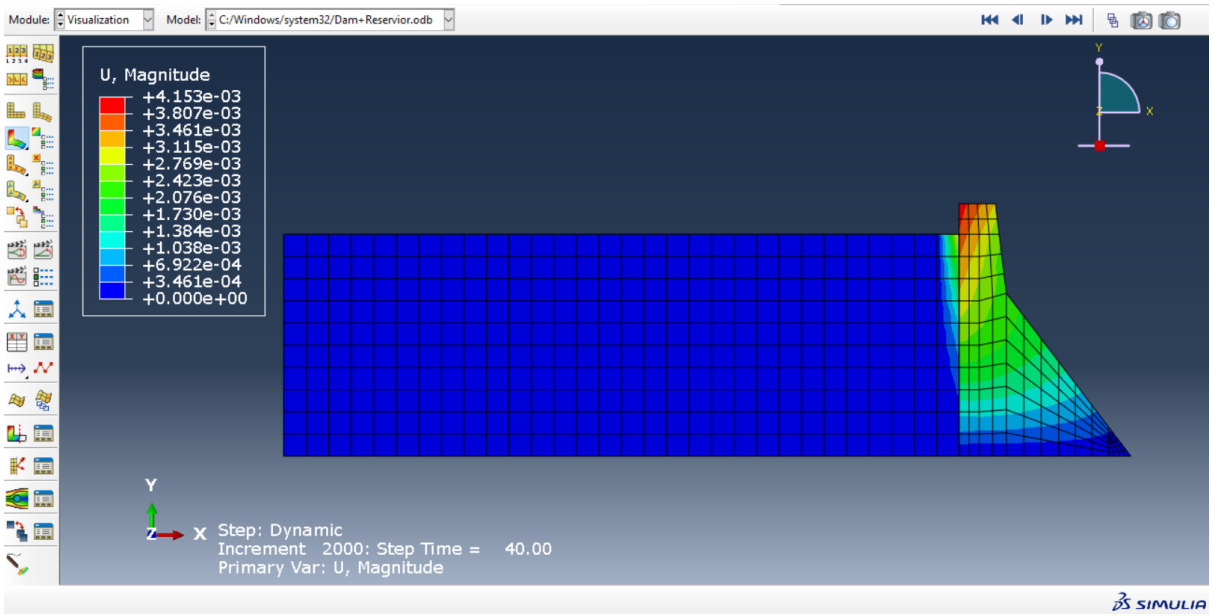
خروجی کرنش مدل سد و مخزن



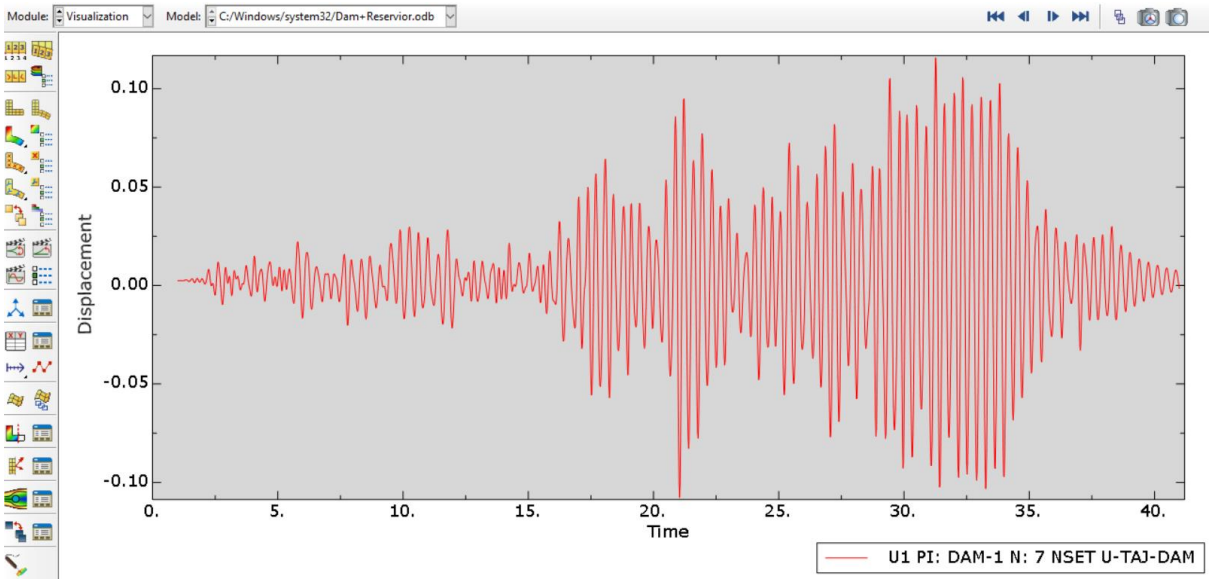
خروجی فشار هیدرواستاتیک مدل سد و مخزن



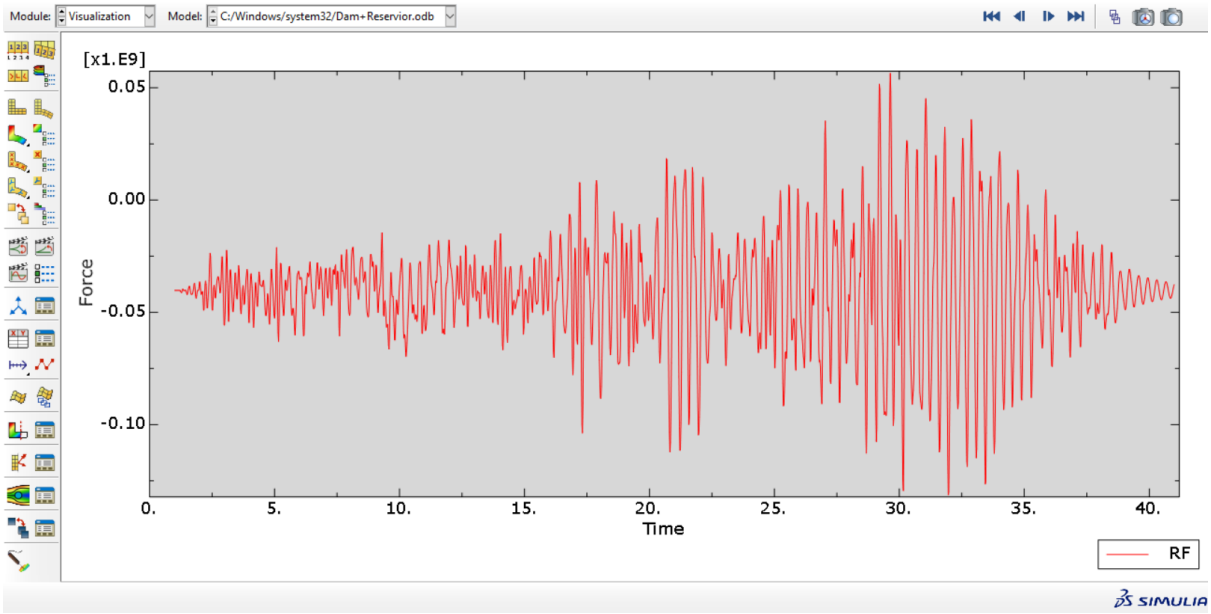
خروجی برش پایه مدل سد و مخزن



خروجی جابجایی مدل سد و مخزن

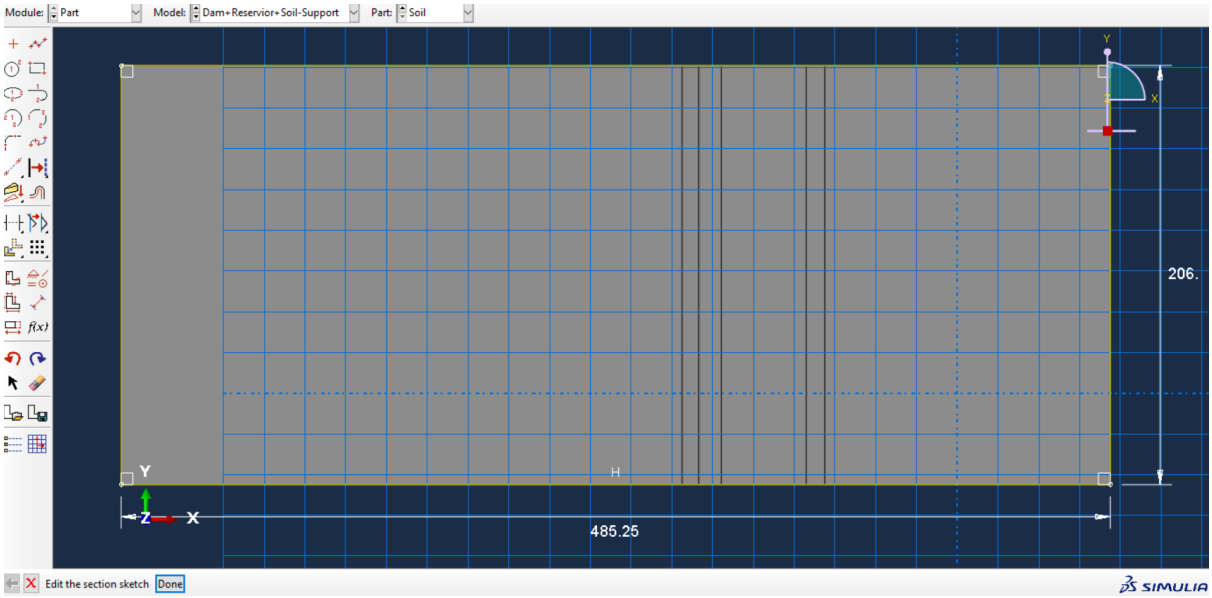


نمودار جابجایی مدل سد و مخزن

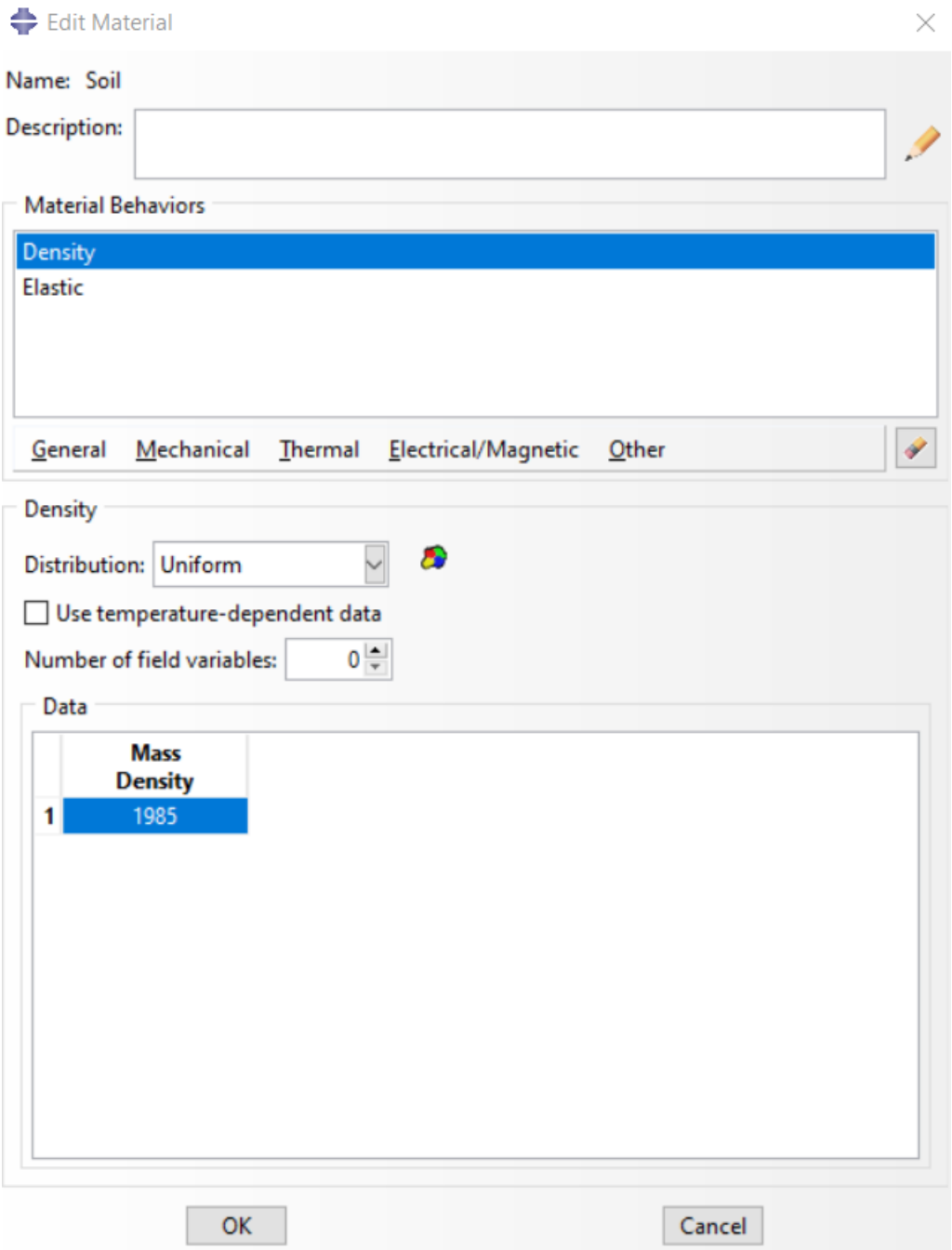


نمودار برش پایه مدل سد و مخزن

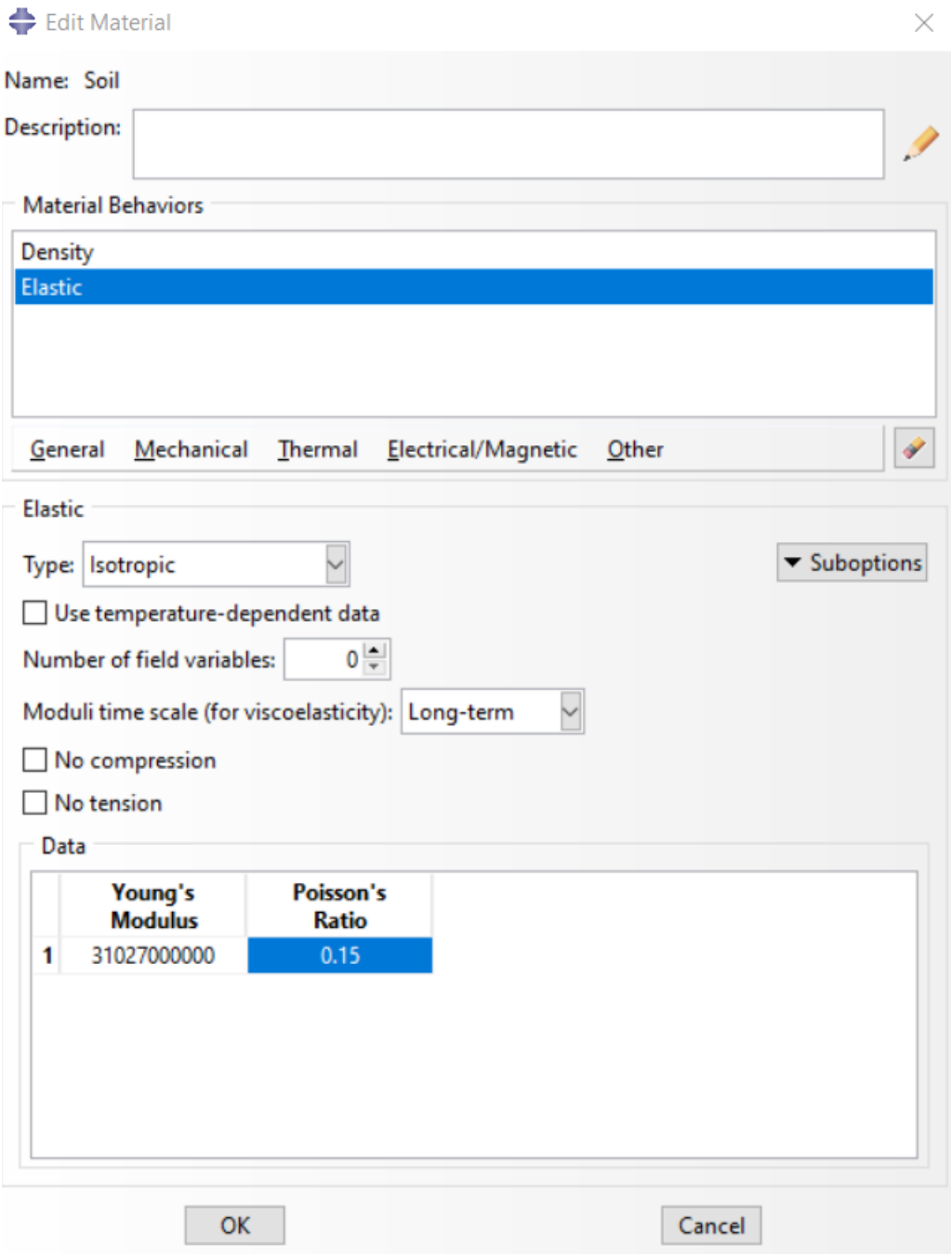
- **مدلسازی سد با مخزن و خاک**



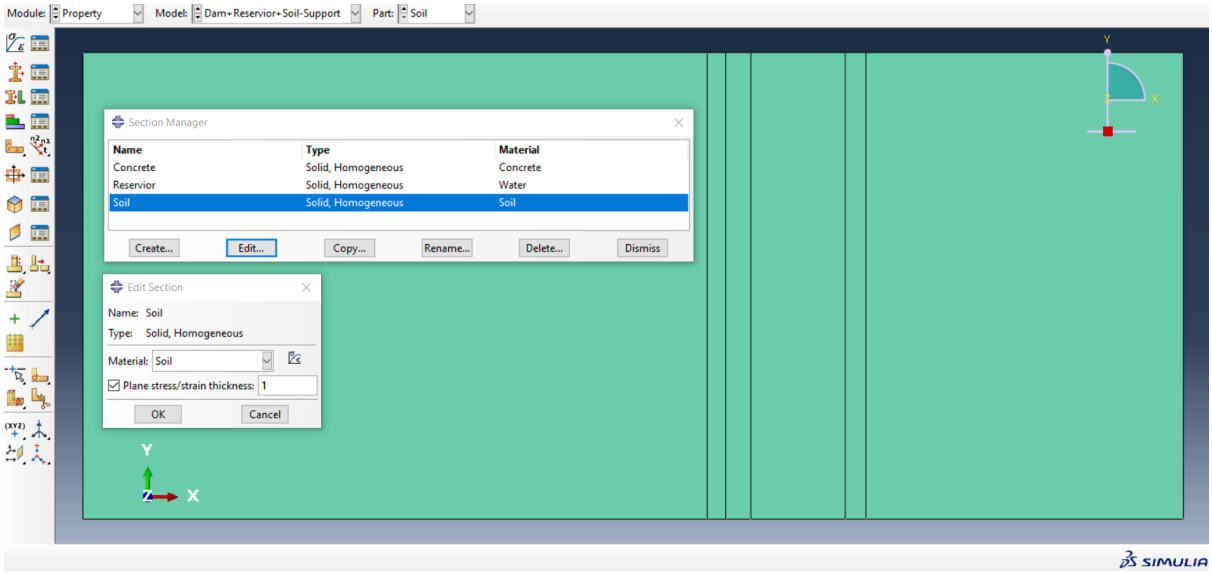
ابعاد خاک در نظر گرفته شده برای مدلسازی



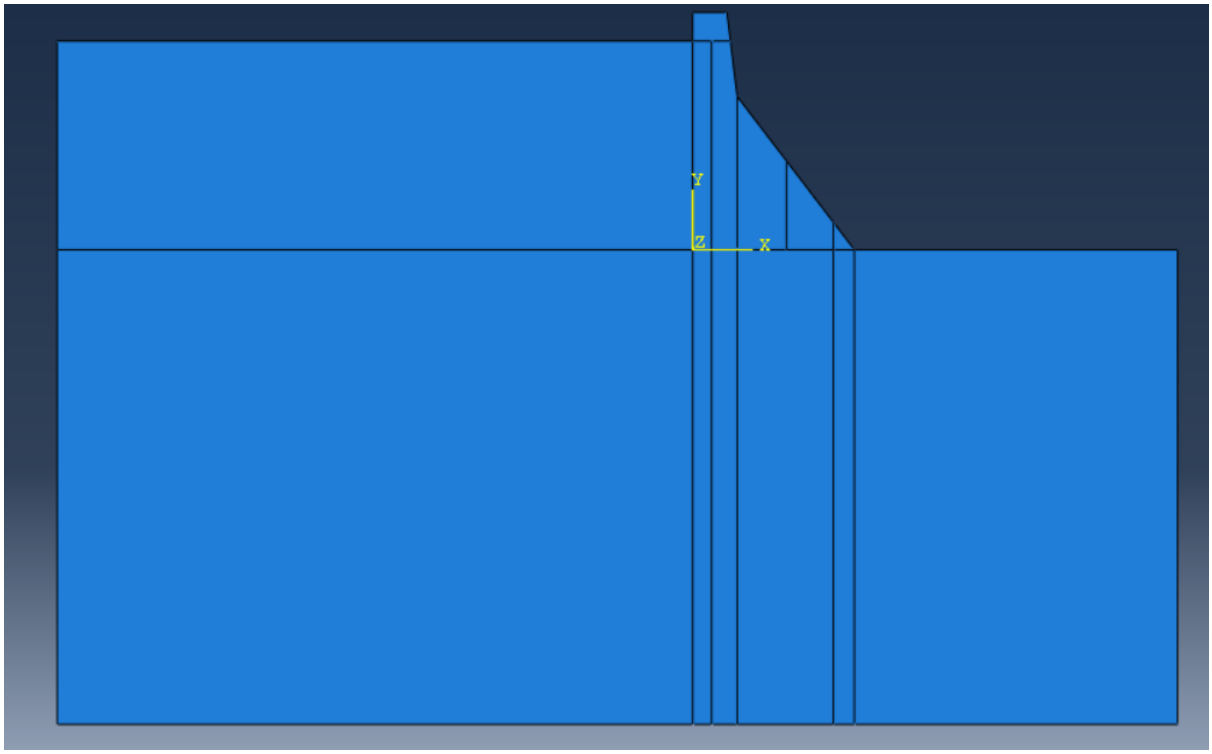
تعریف مصالح – وزن مخصوص خاک



تعریف مصالح – مشخصات مکانیکی خاک

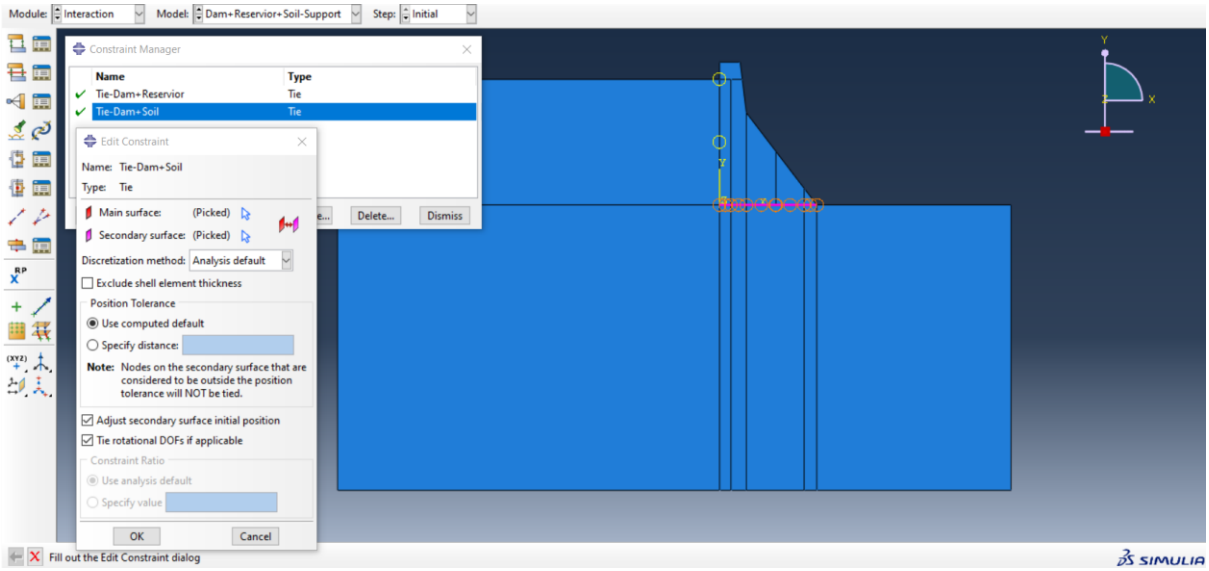


مقطع تعریف شده برای خاک



مدل مونتاژ شده سد و مخزن و خاک

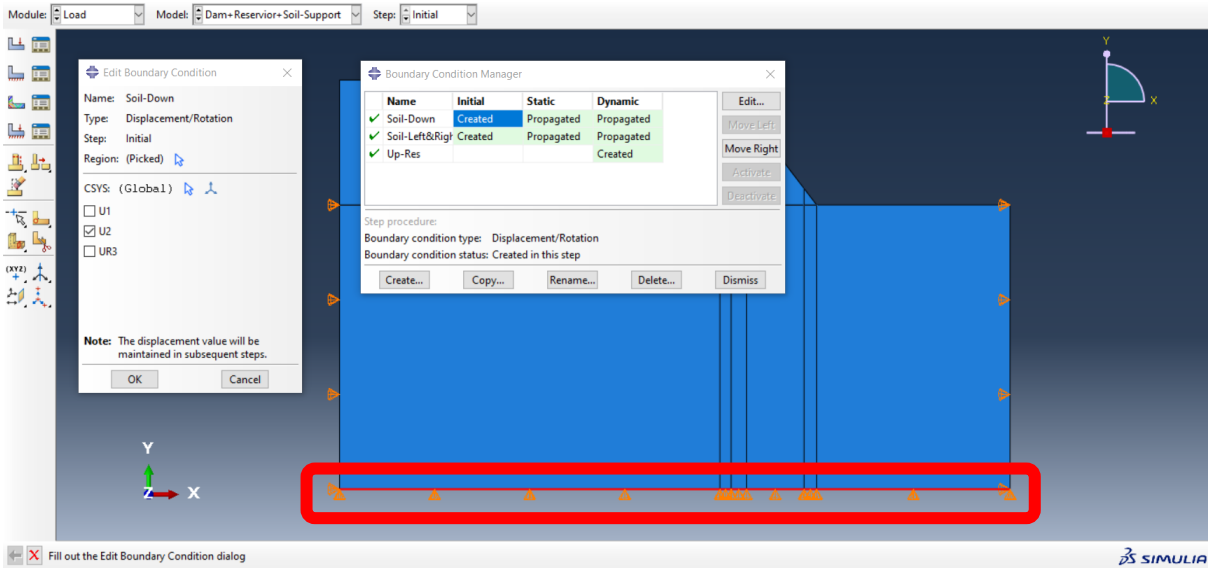
علاوه بر *Tie* کردن سد و مخزن در این قسمت بایستی سد و خاک را نیز *Tie* کنیم که به شکل زیر این کار انجام شده است.



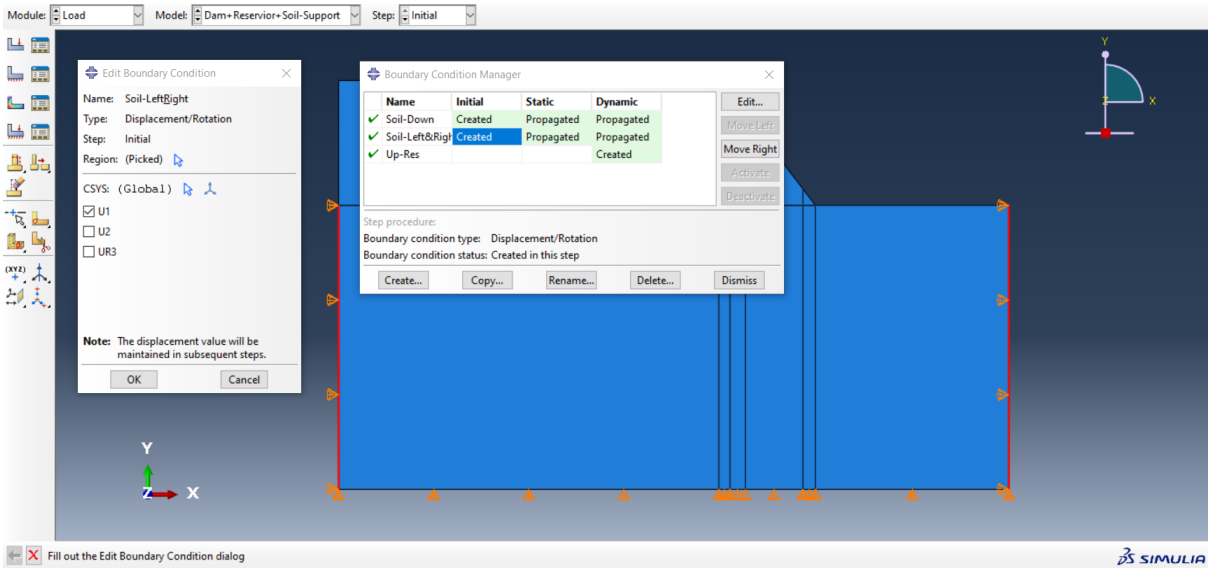
تعریف اندرکنش مابین سد و خاک

بقیه تعاریف اندرکنش همانند حالت سد و مخزن می‌باشد.

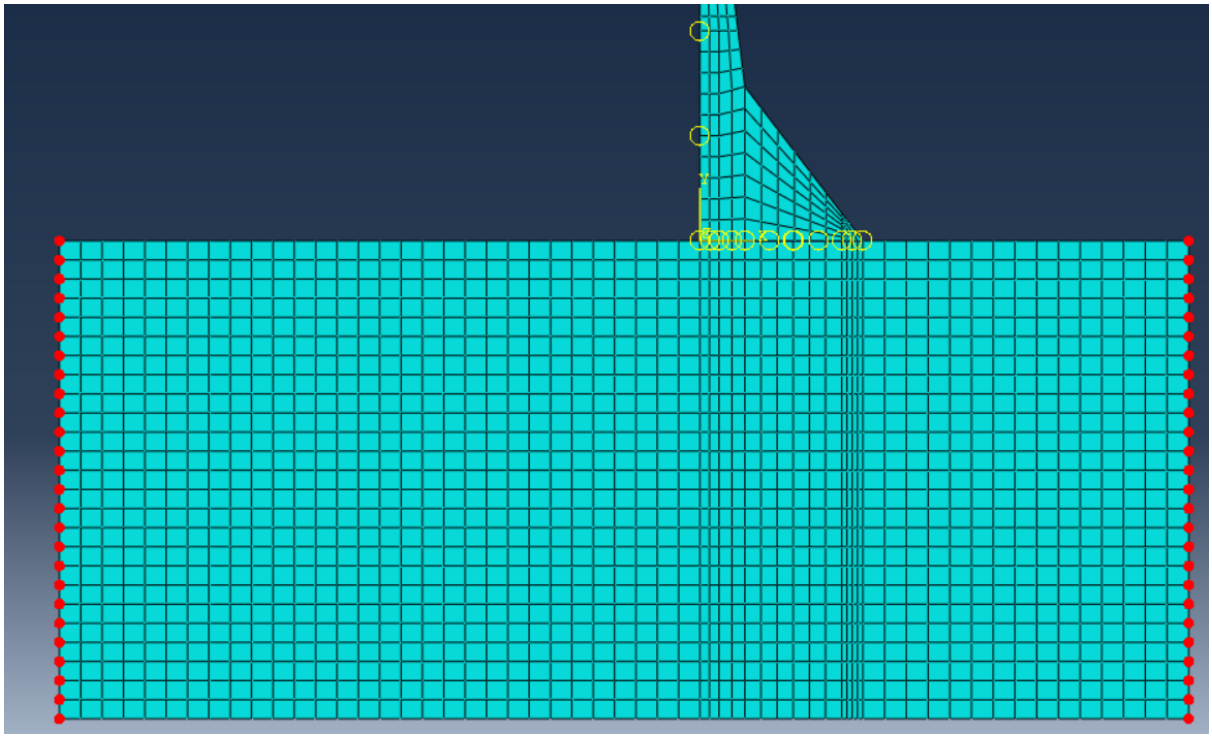
برای اعمال شرایط مرزی شرایط بارگذاری همانند شرایط سد و مخزن می‌باشد اما برای در نظر گرفتن شرایط مرزی خاک از دو حالت استفاده شده است که در حالت اول از تکیه‌گاه استفاده شده و در حالت دوم از فنر استفاده شده است که نام مدل در حالت اول *Dam-Resrvior+Soil-Support* بوده و برای حالت دوم *Dam-Resrvior+Soil-Dashport* می‌باشد.



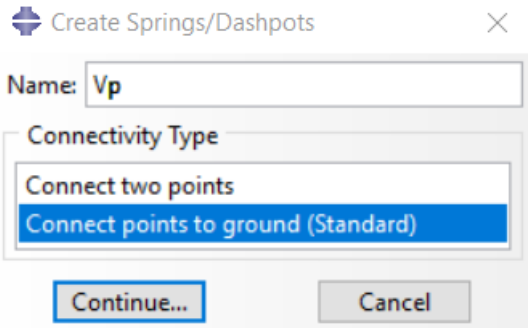
اعمال شرایط مرزی خاک در حالت تکیه‌گاه در قسمت پایین

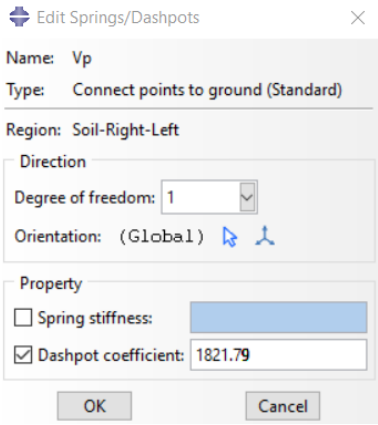


اعمال شرایط مرزی خاک در حالت تکیه‌گاه در قسمت چپ و راست

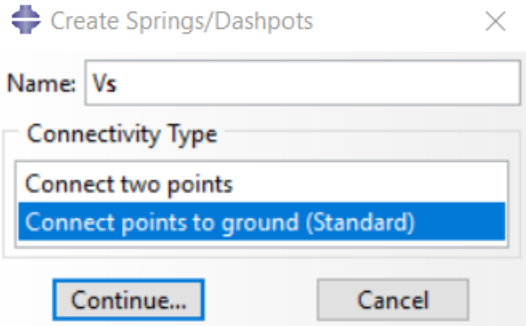


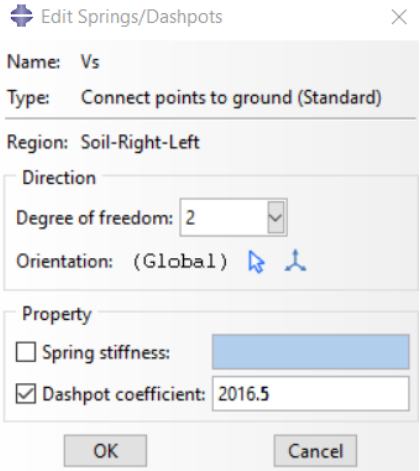
گره‌های انتخابی برای اعمال شرایط مرزی فنر (چپ و راست)



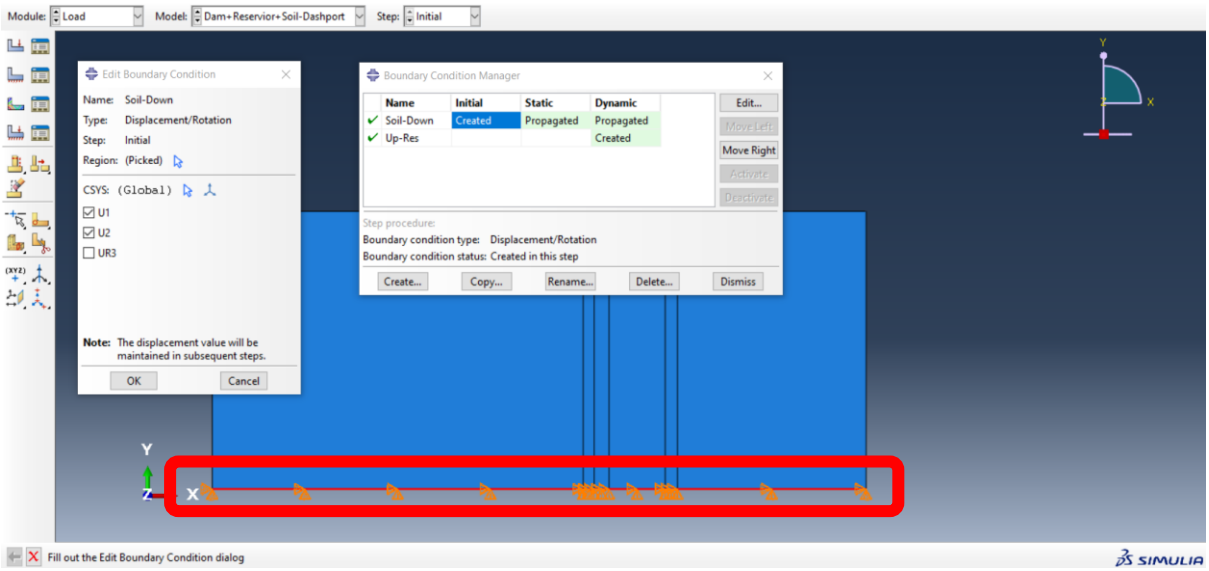


اعمال ضریب میرایی (Vp)

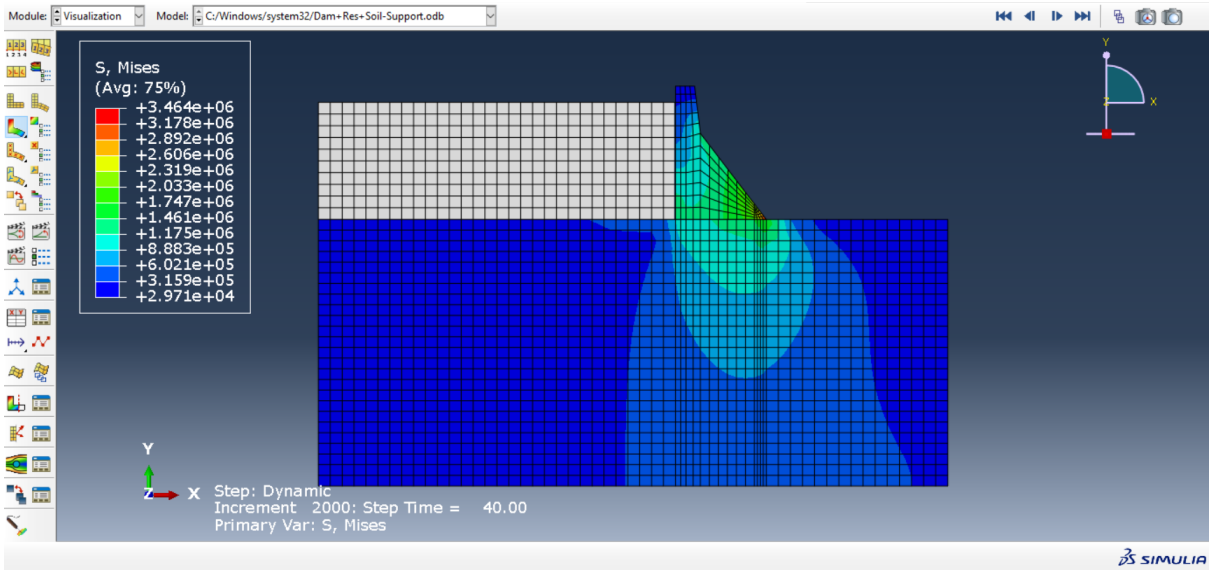




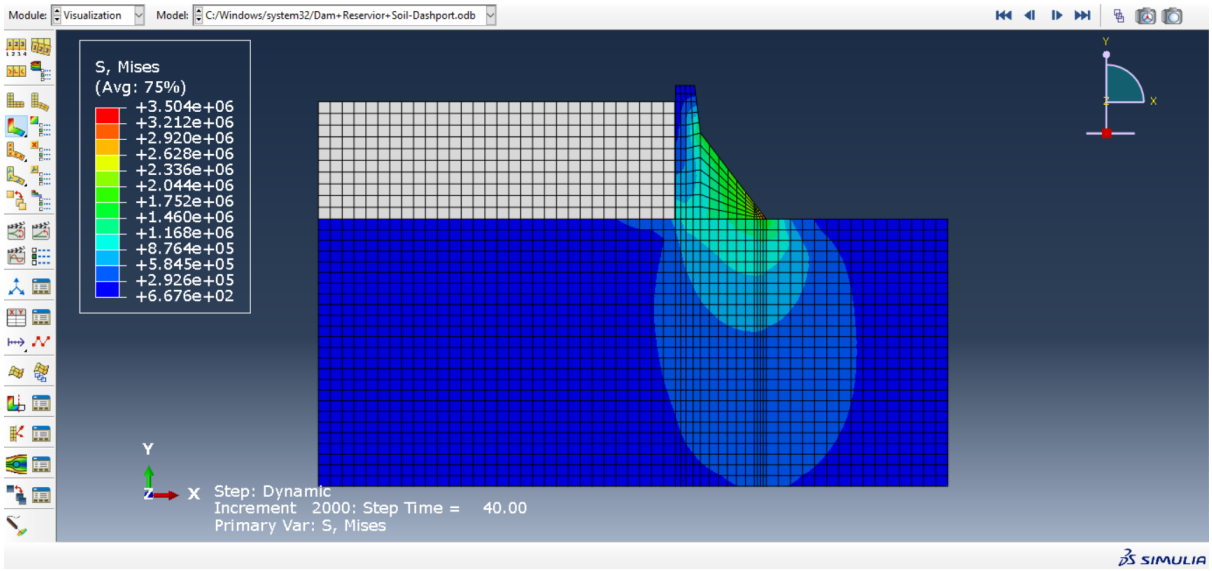
اعمال ضریب میرایی (Vs)



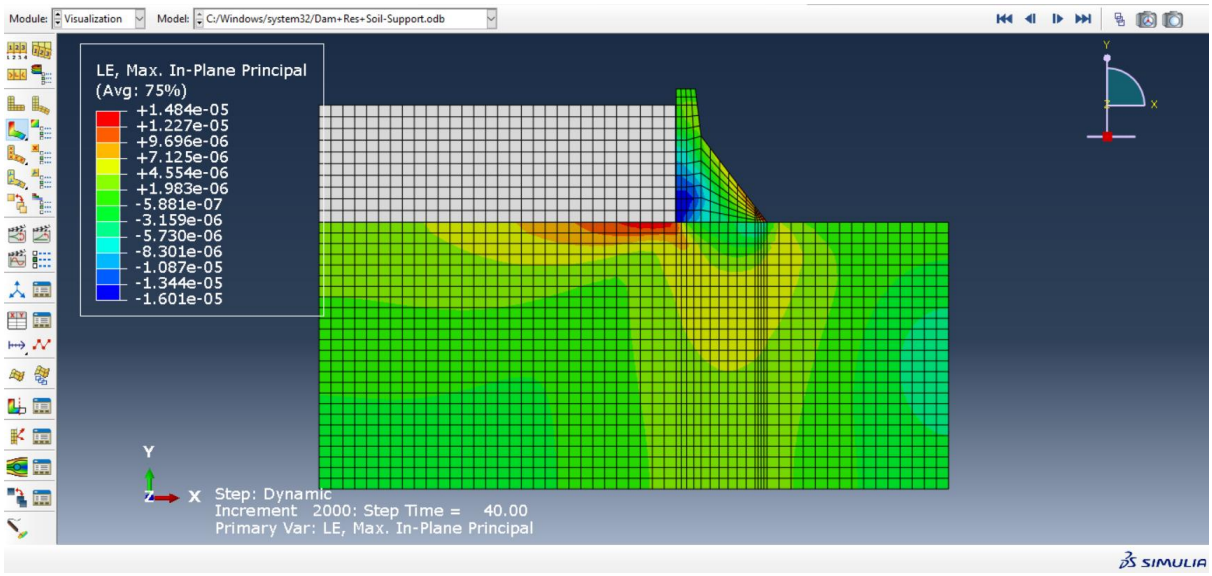
مقید کردن قسمت پایین خاک



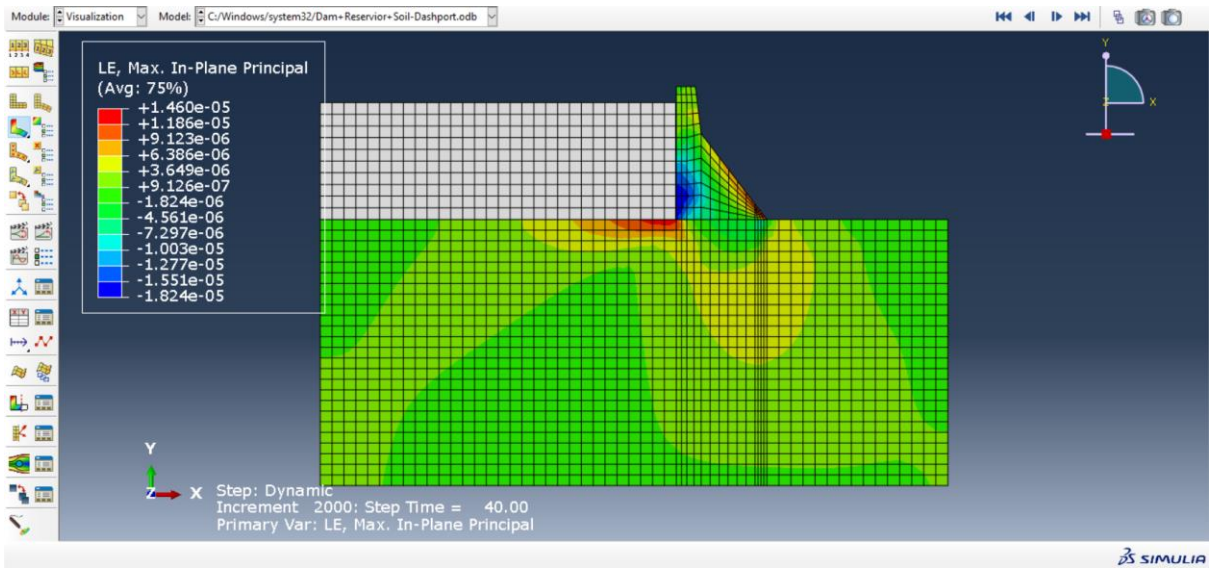
تنش در حالت تکیه‌گاه (*Support*)



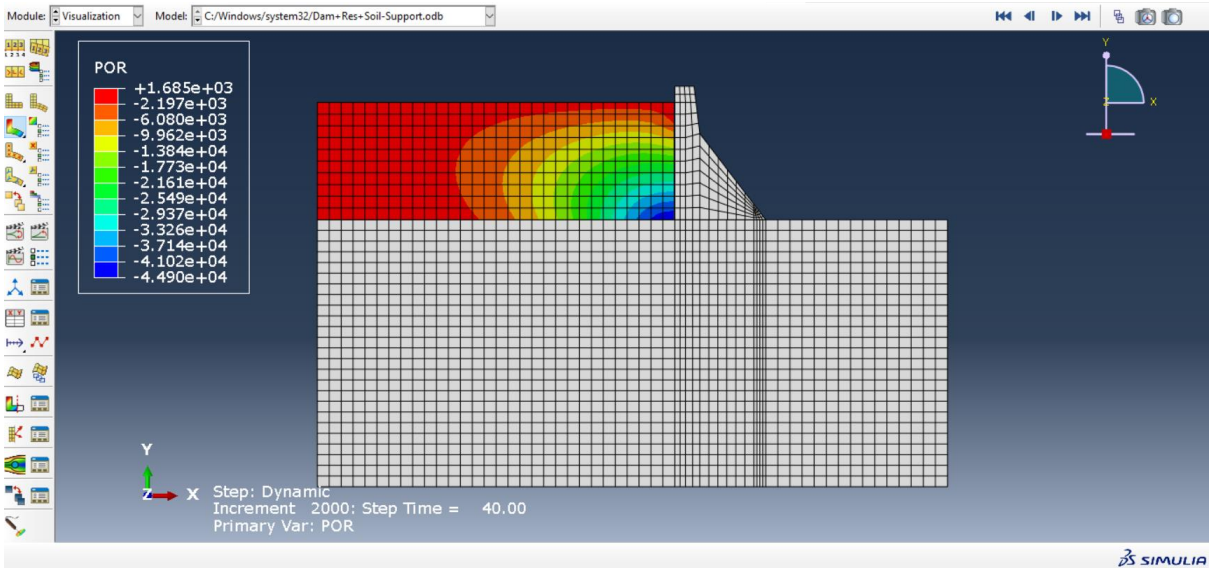
تنش در حالت فنر (*Dashport*)



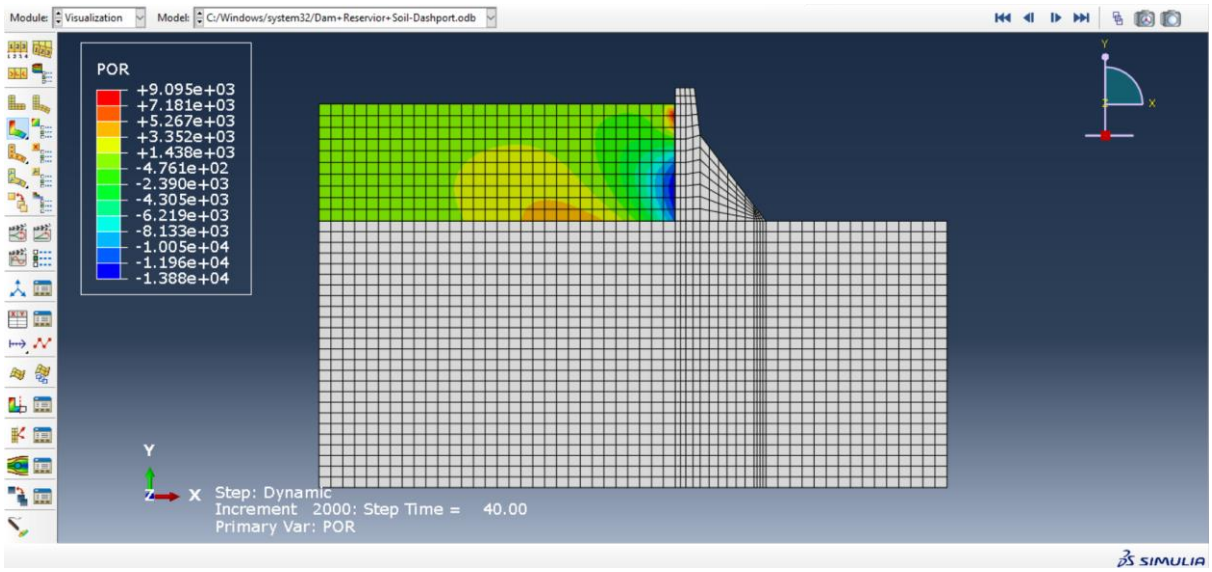
کرنش در حالت تکیه‌گاه (*Support*)



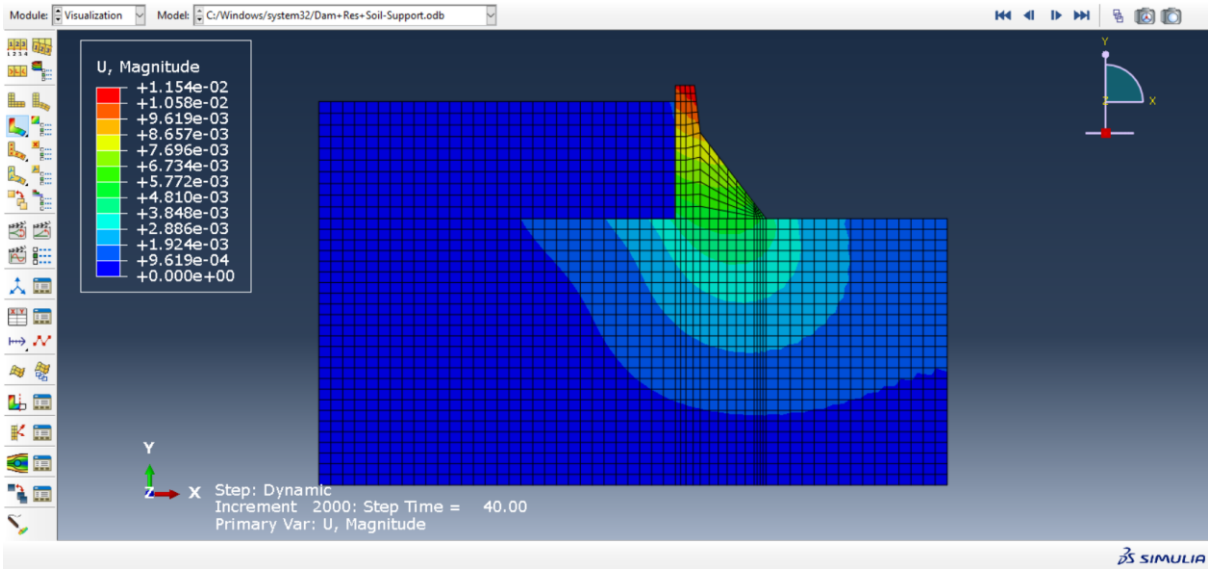
کرنش در حالت فنر (*Dashport*)



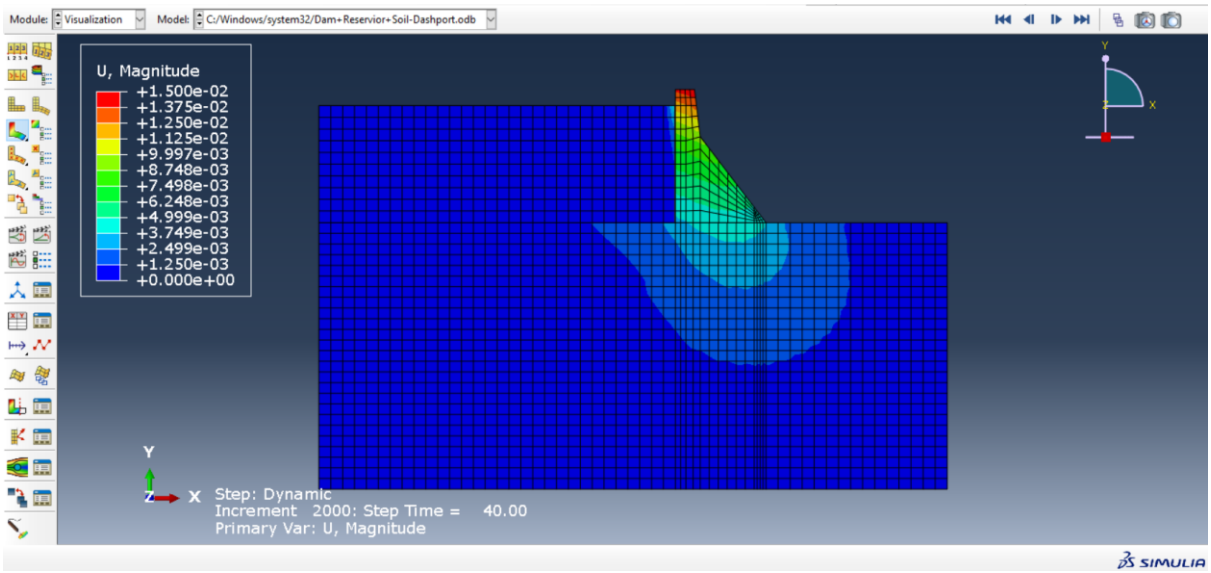
فشار هیدرواستاتیک در حالت تکیه‌گاه (*Support*)



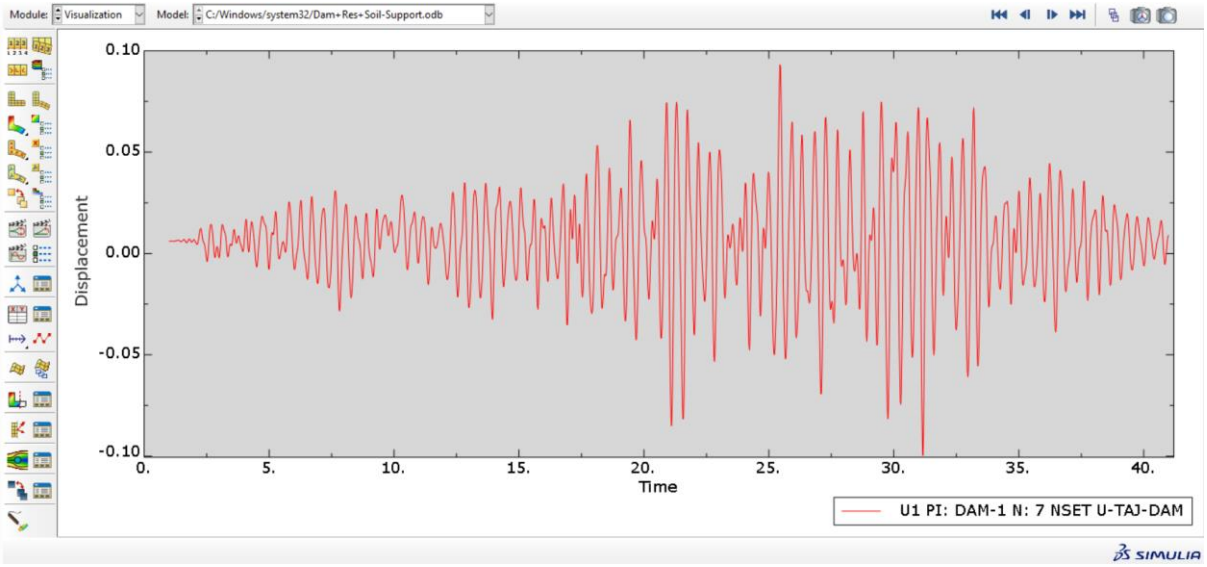
فشار هیدرواستاتیک در حالت فنر (*Dashport*)



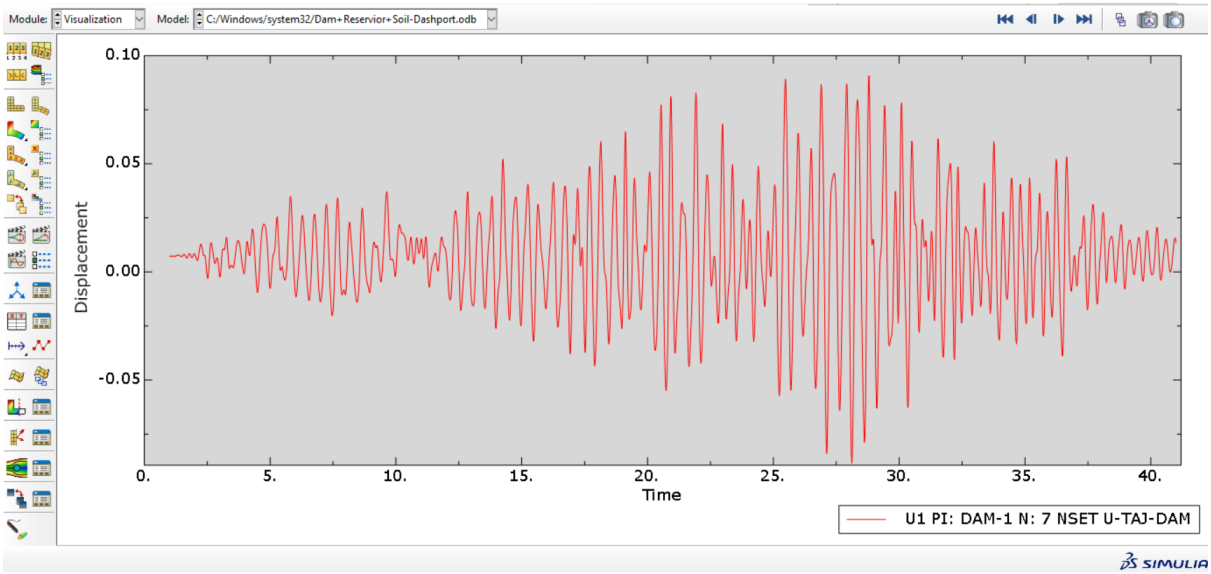
جابجایی در حالت تکیه‌گاه (*Support*)



جابجایی در حالت فنر (*Dashport*)



نمودار جابجایی در حالت تکیه‌گاه (*Support*)



نمودار جابجایی در حالت فنر (*Dashport*)

- صحت سنجی مدل ساخته شده با نتایج مقاله

Soil Dynamics and Earthquake Engineering 53 (2013) 217–229

Contents lists available at ScienceDirect

Soil Dynamics and Earthquake Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soildyn

Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams

Sherong Zhang, Gaohui Wang*

State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China

ARTICLE INFO

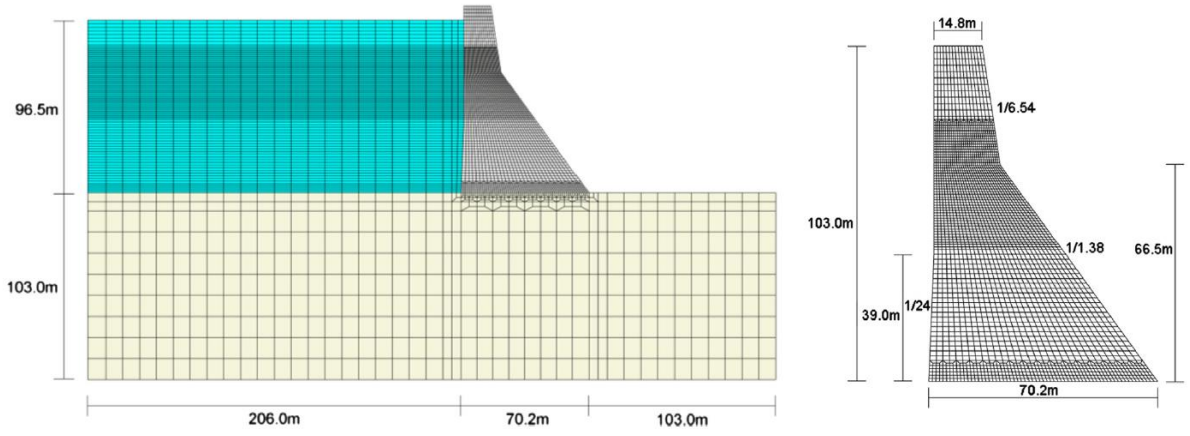
Article history:
Received 23 January 2013
Received in revised form
14 June 2013
Accepted 25 July 2013
Available online 13 August 2013

Keywords:
Concrete gravity dams
Nonlinear dynamic analysis
Seismic damage
Concrete damaged plasticity (CDP) model
Near-fault ground motions
Far-fault ground motions
Dam–reservoir–foundation interaction
Damage index

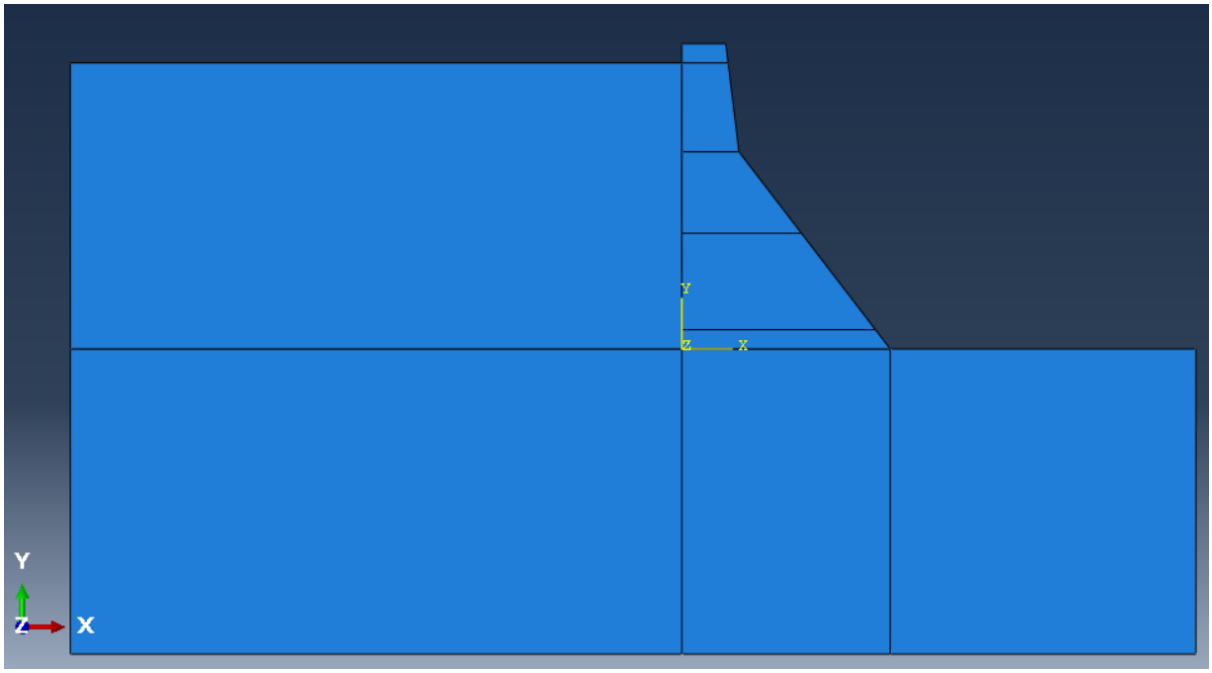
ABSTRACT

As the forward directivity and fling effect characteristics of the near-fault ground motions, seismic response of structures in the near field of a rupturing fault can be significantly different from those observed in the far field. The unique characteristics of the near-fault ground motions can cause considerable damage during an earthquake. This paper presents results of a study aimed at evaluating the near-fault and far-fault ground motion effects on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams including dam-reservoir-foundation interaction. For this purpose, 10 as-recorded earthquake records which display ground motions with an apparent velocity pulse are selected to represent the near-fault ground motion characteristics. The earthquake ground motions recorded at the same site from other events that the epicenter far away from the site are employed as the far-fault ground motions. The Koyna gravity dam, which is selected as a numerical application, is subjected to a set of as-recorded near-fault and far-fault strong ground motion records. The Concrete Damaged Plasticity (CDP) model including the strain hardening or softening behavior is employed in nonlinear analysis. Nonlinear dynamic response and seismic damage analyses of the selected concrete dam subjected to both near-fault and far-fault ground motions are performed. Both local and global damage indices are established as the response parameters. The results obtained from the analyses of the dam subjected to each fault effect are compared with each other. It is seen from the analysis results that the near-fault ground motions, which have significant influence on the dynamic response of dam–reservoir–foundation systems, have the potential to cause more severe damage to the dam body than far-fault ground motions.

صفحه اول مقاله مورد نظر



مدل سد بهمراه مخزن و پی مقاله



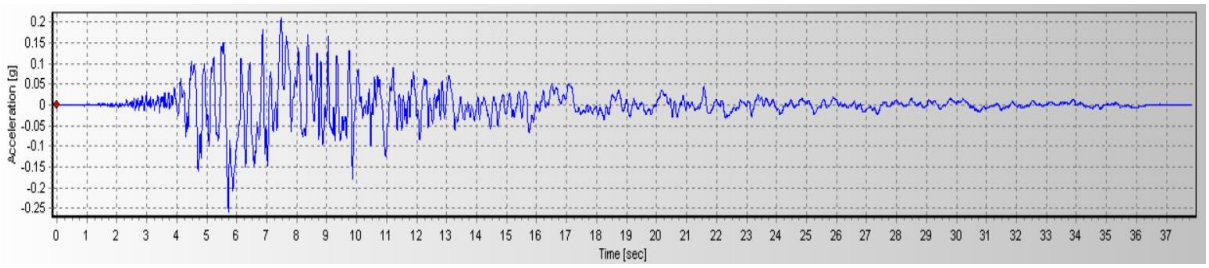
مدل سد بهمراه مخزن و پی ساخته شده در آباکوس

Table 1
Properties of selected near-fault and far-fault ground motions considered in this investigation.

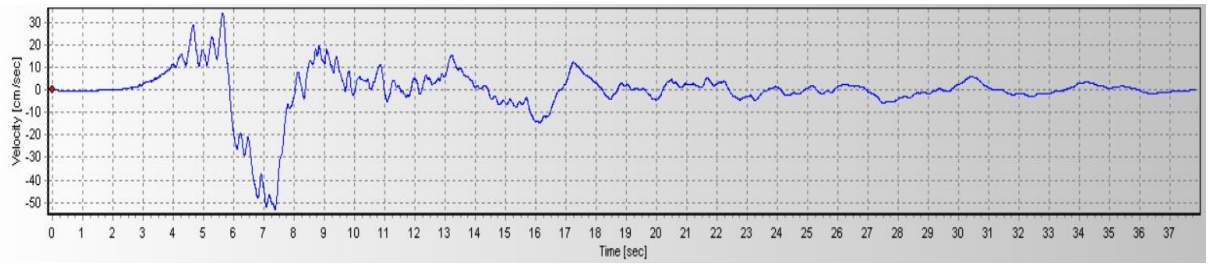
No.	Ground motion	Earthquake	Distance to fault (km)	Station location	M_w	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	PGV/PGA (s)
1	Near-fault	Northridge 1994	7.1	Newhall, CA – Los Angeles County Fire #24279	6.7	360	578.20	94.70	0.164
2	Far-fault	Northridge 1994	18.4	Los Angeles, CA – Fire Station 108 #5314	6.7	35	576.93	29.75	0.052
3	Near-fault	Northridge 1994	8.6	Sylmar, CA – Jensen Filtration Plant #655	6.7	22	560.30	77.23	0.138
4	Far-fault	Northridge 1994	29.4	Warm Springs #24272	6.7	90	221.20	13.40	0.061
5	Near-fault	Northridge 1994	8.6	Los Angeles Reservoir #2141	6.7	64	317.6	44.54	0.140
6	Far-fault	Northridge 1994	17.9	Tarzana, CA – Cedar Hill #24436	5.3	90	365.30	11.80	0.032
7	Near-fault	Imperial Valley 1979	5.2	El Centro, CA – Array Sta 5 #0952	6.5	230	360.37	95.89	0.266
8	Far-fault	Imperial Valley 1979	21.7	El Centro, CA – Array Sta 13 #5059	6.5	230	121.07	12.70	0.096
9	Near-fault	Imperial Valley 1979	8.8	Holtville, CA – Post Office #5055	6.5	225	242.96	51.90	0.214
10	Far-fault	Imperial Valley 1979	21.8	Superstition Mtn, CA – Camera Site #0286	6.5	135	182.10	8.65	0.047
11	Near-fault	Loma Prieta 1989	6.3	Gilroy Array Sta 3 # 47381	6.5	90	362.00	43.80	0.121
12	Far-fault	Loma Prieta 1989	22.7	Gilroy Array Sta 7 #57425	6.5	90	314.30	16.30	0.052
13	Near-fault	Loma Prieta 1989	2.8	Corralitos, CA #57007	6.5	90	469.40	47.50	0.101
14	Far-fault	Loma Prieta 1989	16.9	Coyote Lake Dam, CA #57217	6.5	285	471.00	37.50	0.079
15	Near-fault	Chi-Chi 1999	8.9	Taichung, Taiwan #TCU050	7.6	90	142.70	32.40	0.227
16	Far-fault	Chi-Chi 1999	32.0	Ilan, Taiwan #ILA067	7.6	90	195.70	11.40	0.058
17	Near-fault	Chi-Chi 1999	7.9	Taichung, Taiwan #TCU072	7.6	90	466.90	70.80	0.152
18	Far-fault	Chi-Chi 1999	37.2	Chiayi, Taiwan #CHY014	7.6	0	254.90	22.90	0.090
19	Near-fault	Chi-Chi 1999	3.2	Taichung, Taiwan #TCU076	7.6	90	336.10	59.00	0.176
20	Far-fault	Chi-Chi 1999	31.1	Chiayi, Taiwan #CHY086	7.6	0	201.60	17.9	0.089

زلزله‌های در نظر گرفته شده برای سازه

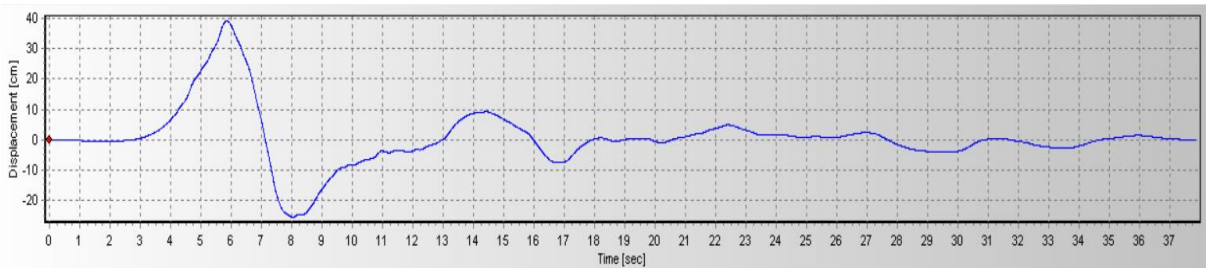
زلزله شماره ۹ به منظور صحت سنجی در نظر گرفته شده است.



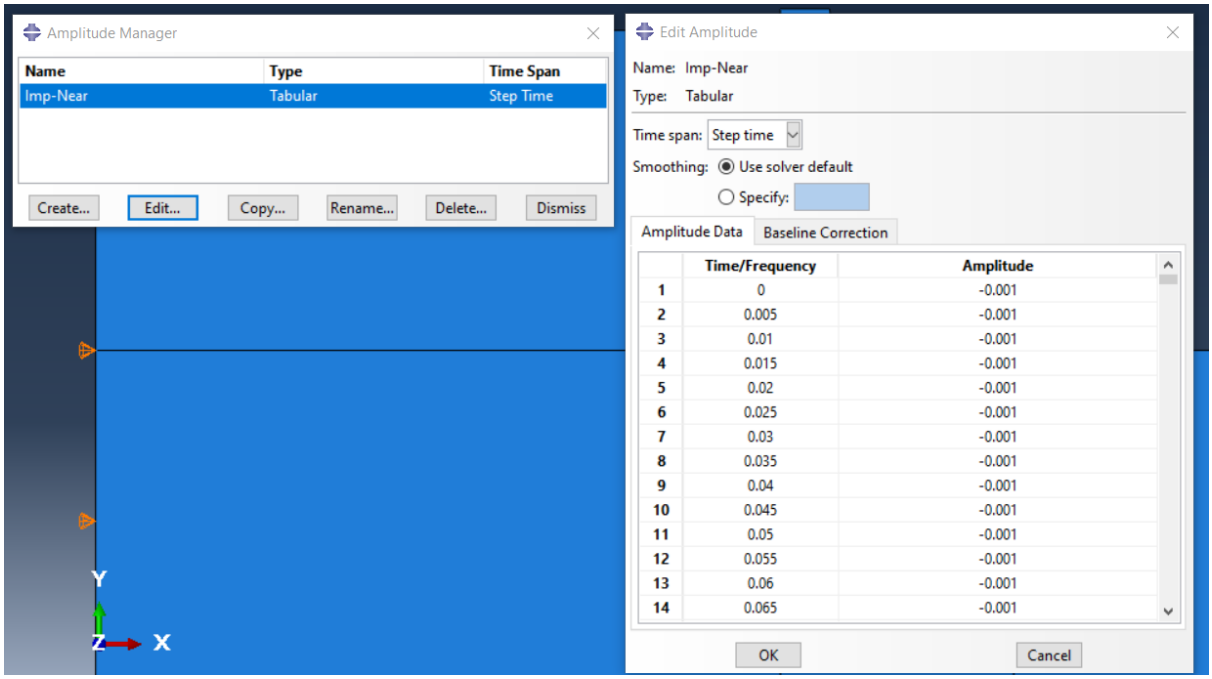
نمودار شتاب – زمان رکورد زلزله انتخابی



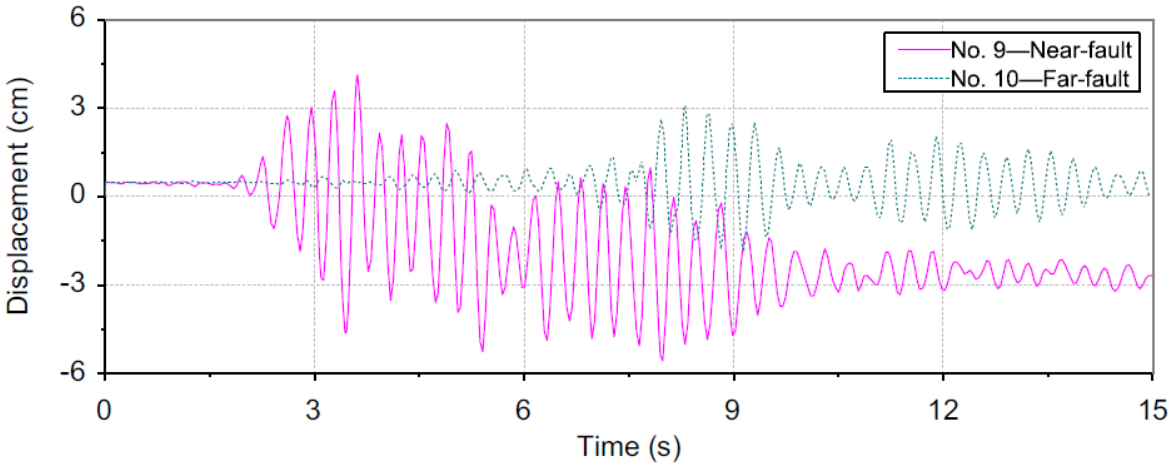
نمودار سرعت – زمان رکورد زلزله انتخابی



نمودار جابجایی – زمان رکورد زلزله انتخابی

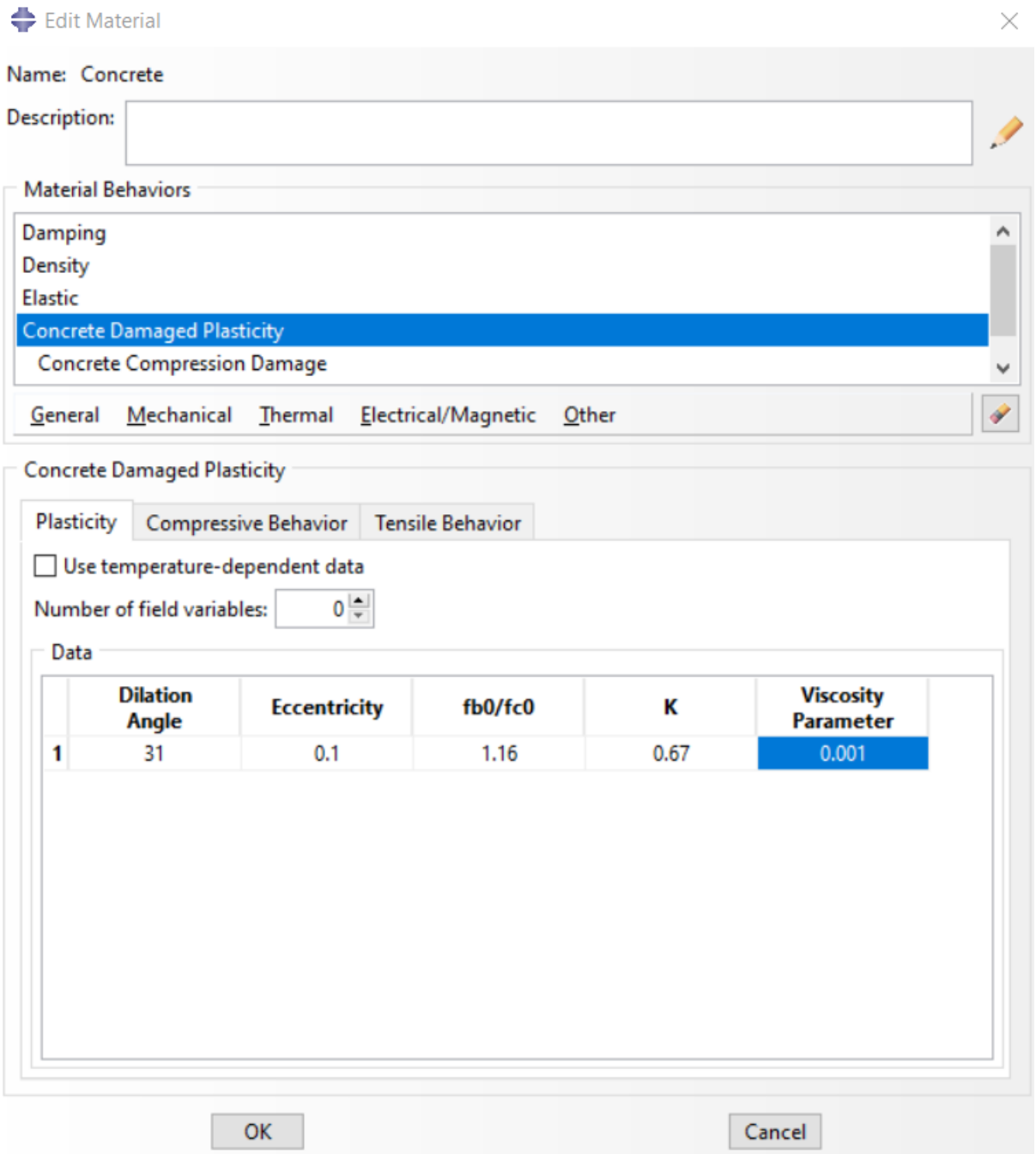


زلزله وارده به مدل در نرم‌افزار



نمودار جابجایی – زمان به دست آمده در مقاله

مشخصات خرابی بتن (CDP) به آن وارد گردیده که در ادامه تعریف آن و تغییرات ایجاد شده ذکر گردیده است.



مشخصات آسیب بتن

مشخصات فشاری بتن

Compressive (CDP)	
stress	in-strain
7230000	0
14890747	5.81E-05
19337107	0.000166
22219095	0.000342
23698231	0.000578
24100000	0.000853
22641794	0.001483
20213640	0.002154
17732357	0.002827
15516332	0.00349
13630283	0.004137
12050554	0.004772
10730411	0.005396
9622959	0.00601
8687864	0.006617
7892336	0.007218
7210285	0.007814
6621092	0.008406
6108448	0.008995
5659395	0.00958
5263572	0.010164
4912638	0.010746
4599825	0.011326
4319601	0.011905
4067412	0.012482
3839482	0.013059
3632660	0.013634
3444297	0.014209
3272157	0.014783
3114338	0.015356
2969215	0.015929
2835391	0.016501
2711663	0.017073
2596985	0.017645
2490450	0.018216
2391261	0.018787
2298722	0.019358
2212216	0.019928
2131203	0.020498

مشخصات آسیب فشاری بتن

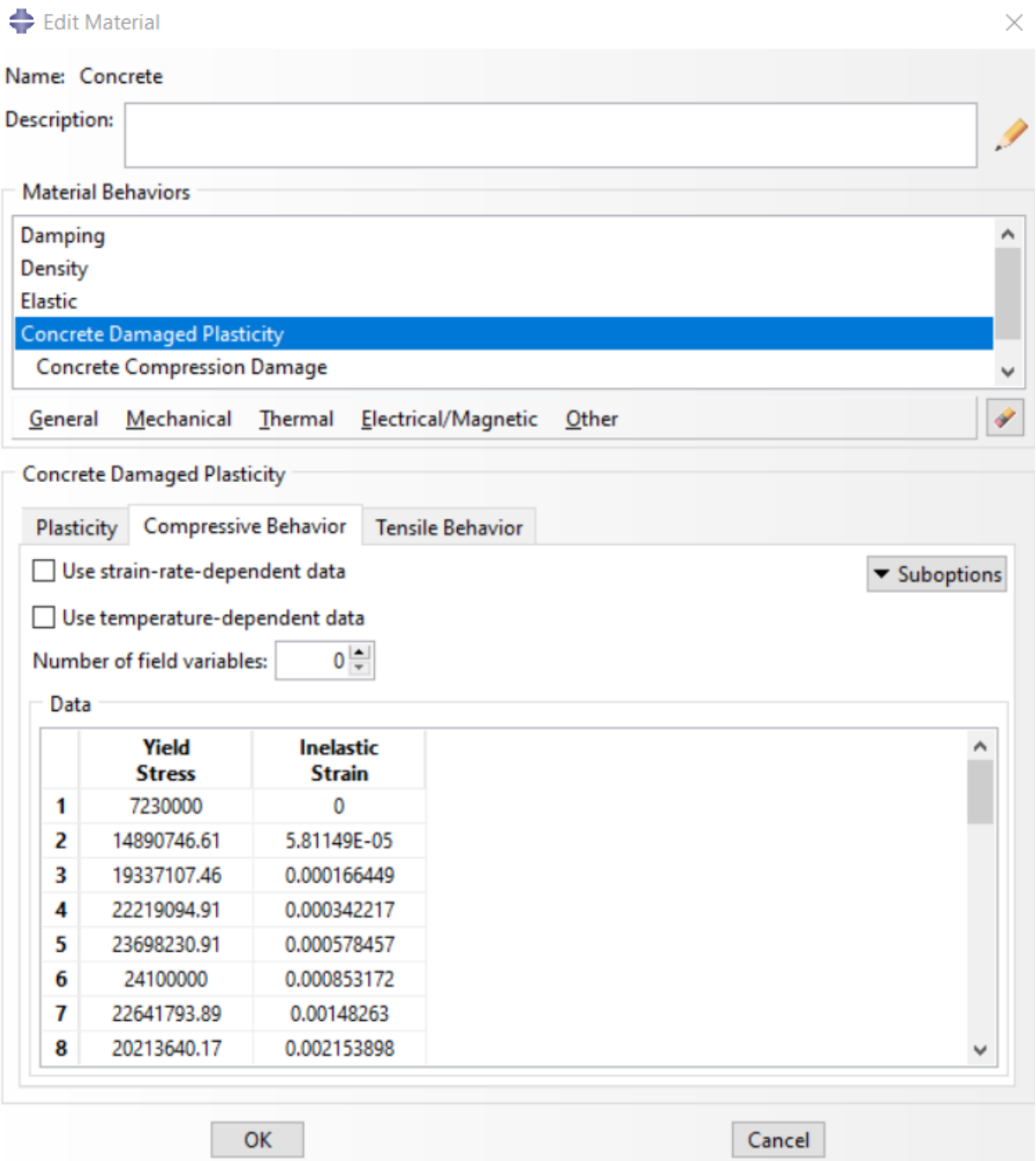
Compressive Damage	
damage	in-strain
0	0
0.026443	5.81E-05
0.05652	0.000166
0.096813	0.000342
0.14521	0.000578
0.197674	0.000853
0.313057	0.001483
0.42581	0.002154
0.526002	0.002827
0.610164	0.00349
0.678722	0.004137
0.733764	0.004772
0.777755	0.005396
0.812965	0.00601
0.841285	0.006617
0.864218	0.007218
0.882933	0.007814
0.898327	0.008406
0.911093	0.008995
0.921761	0.00958
0.930744	0.010164
0.93836	0.010746
0.944862	0.011326
0.950446	0.011905
0.955272	0.012482
0.959465	0.013059
0.963127	0.013634
0.966342	0.014209
0.969175	0.014783
0.971684	0.015356
0.973915	0.015929
0.975905	0.016501
0.977688	0.017073
0.97929	0.017645
0.980734	0.018216
0.982039	0.018787
0.983223	0.019358
0.984299	0.019928
0.98528	0.020498

مشخصات کششی بتن

Tensile (CDP)	
stress	in-strain
1072851	0
625757.8	0.000279
501381.5	0.000532
435110.9	0.000781
391953.3	0.001028
360824.5	0.001274

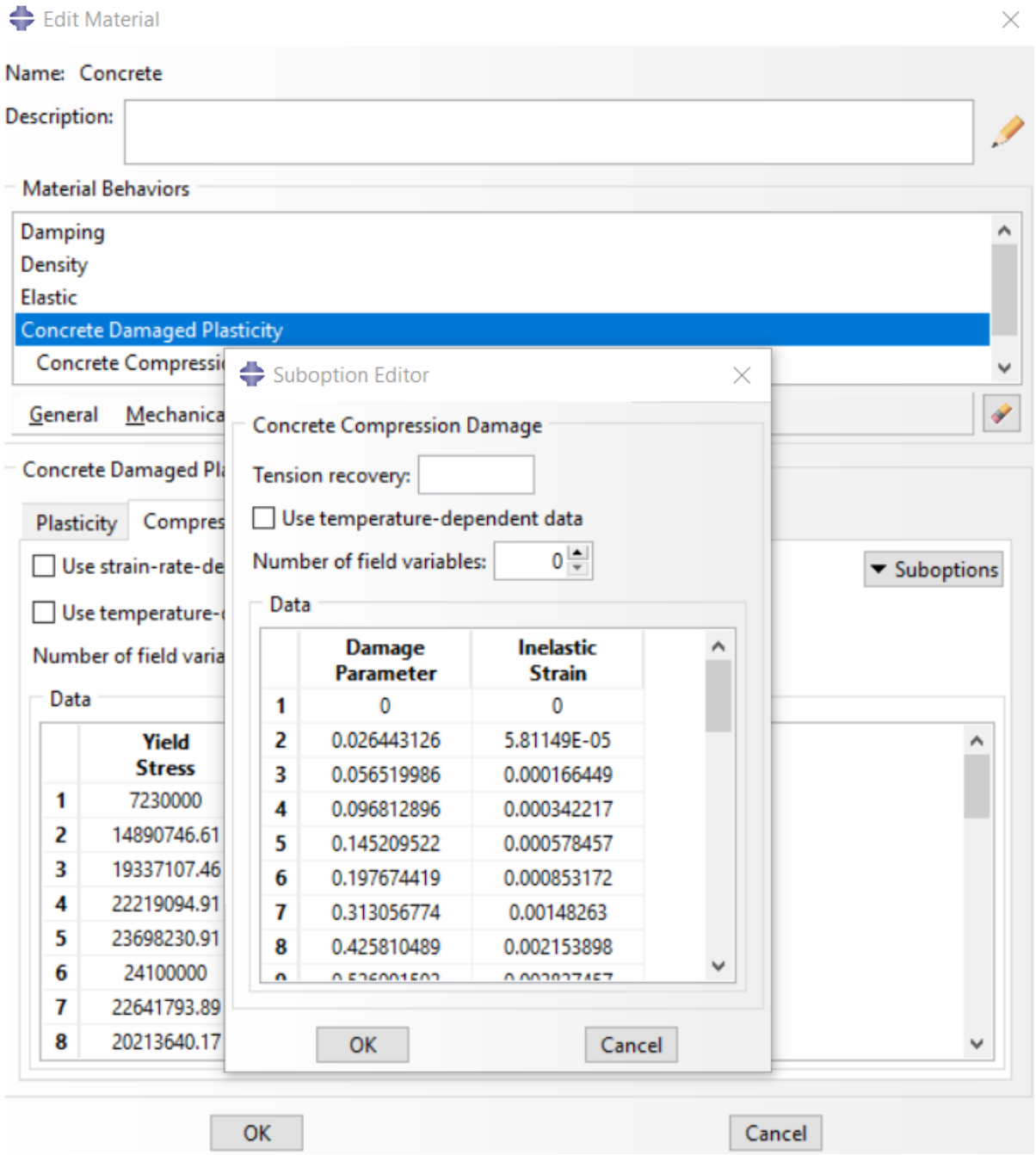
مشخصات آسیب کششی بتن

Tensile Damage	
damage	in-strain
0	0
0.834408	0.000279
0.923069	0.000532
0.953019	0.000781
0.967359	0.001028
0.975546	0.001274

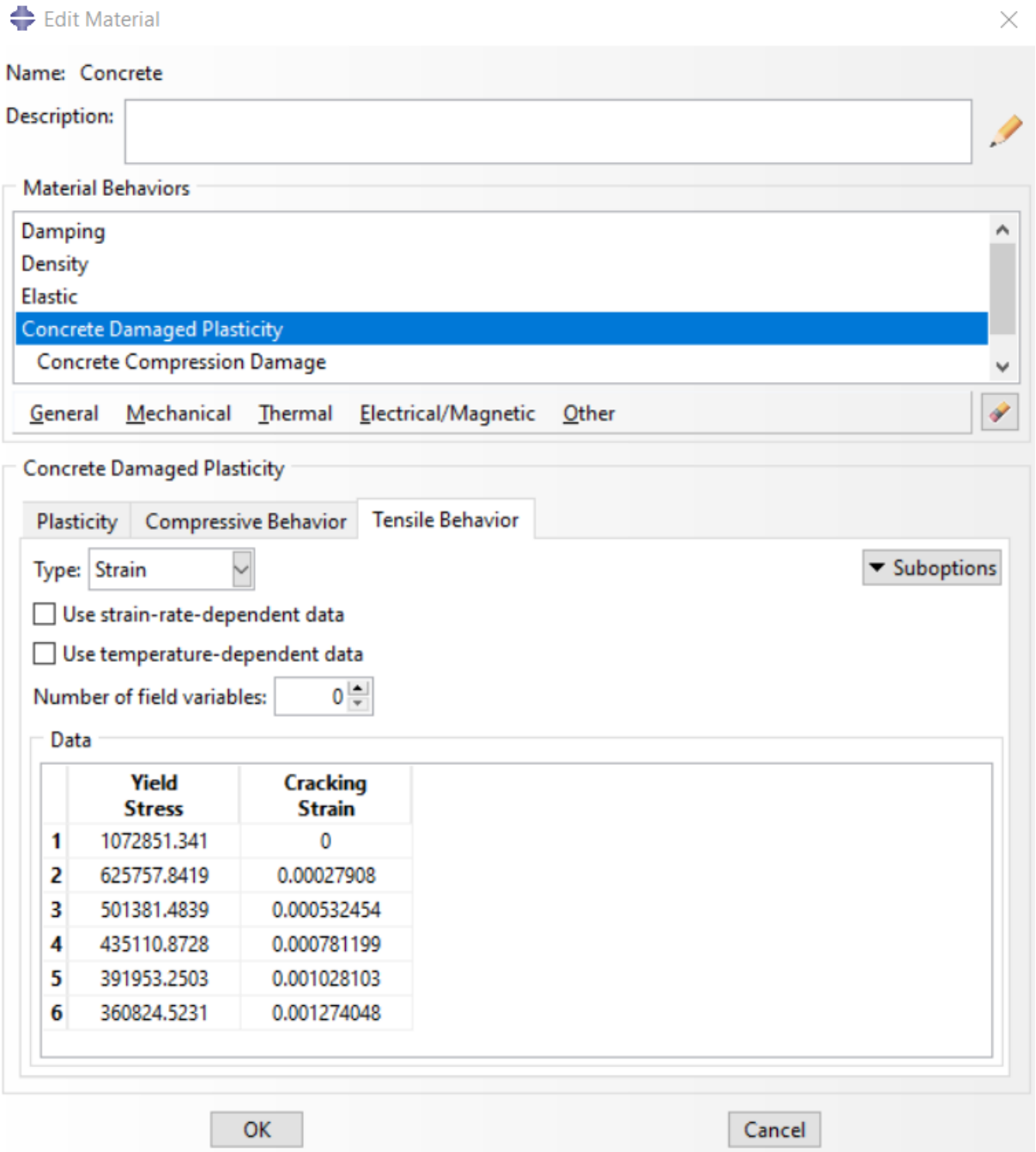


	Yield Stress	Inelastic Strain
1	7230000	0
2	14890746.61	5.81149E-05
3	19337107.46	0.000166449
4	22219094.91	0.000342217
5	23698230.91	0.000578457
6	24100000	0.000853172
7	22641793.89	0.00148263
8	20213640.17	0.002153898

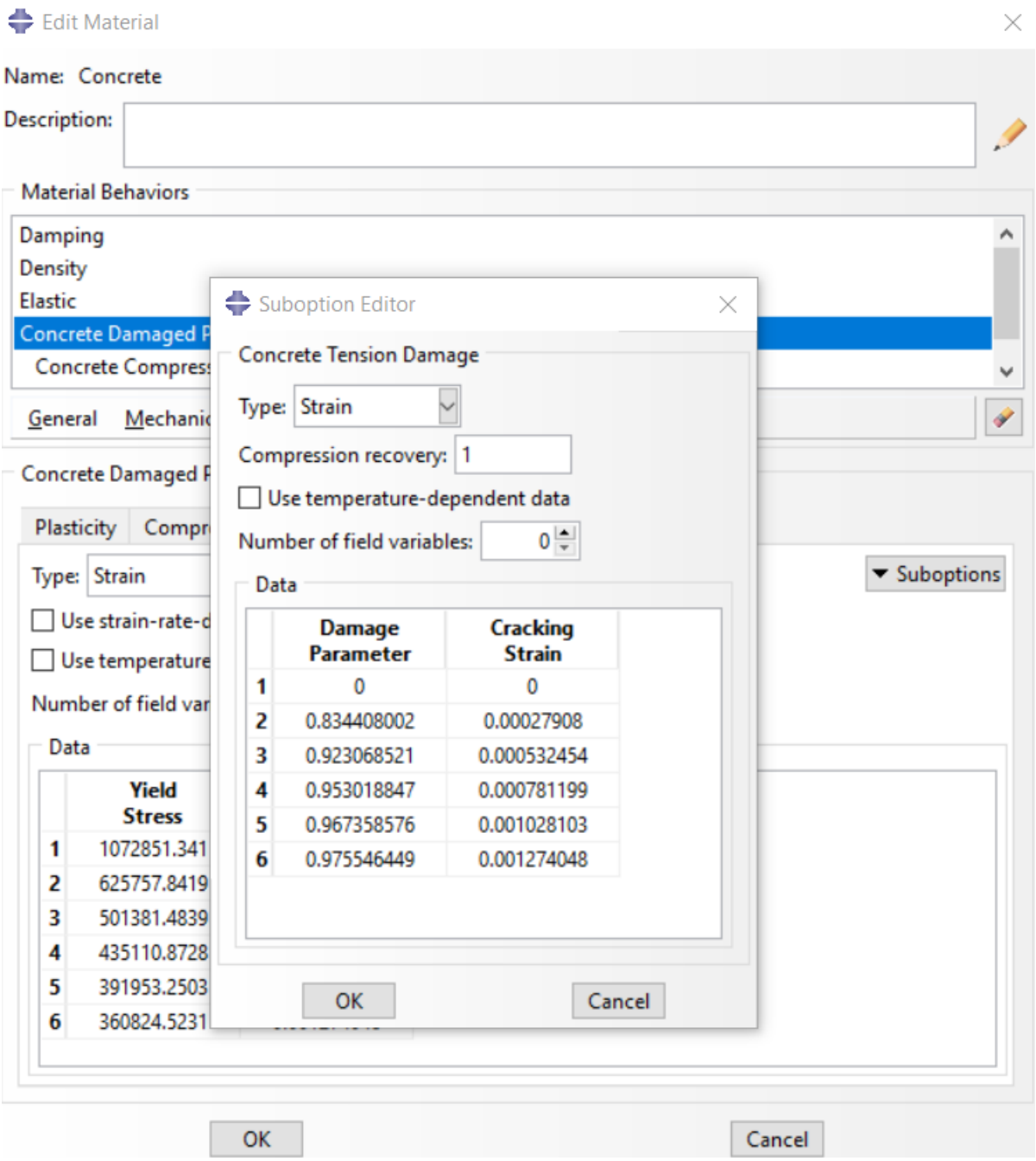
اختصاص رفتار فشاری بتن در نرم‌افزار



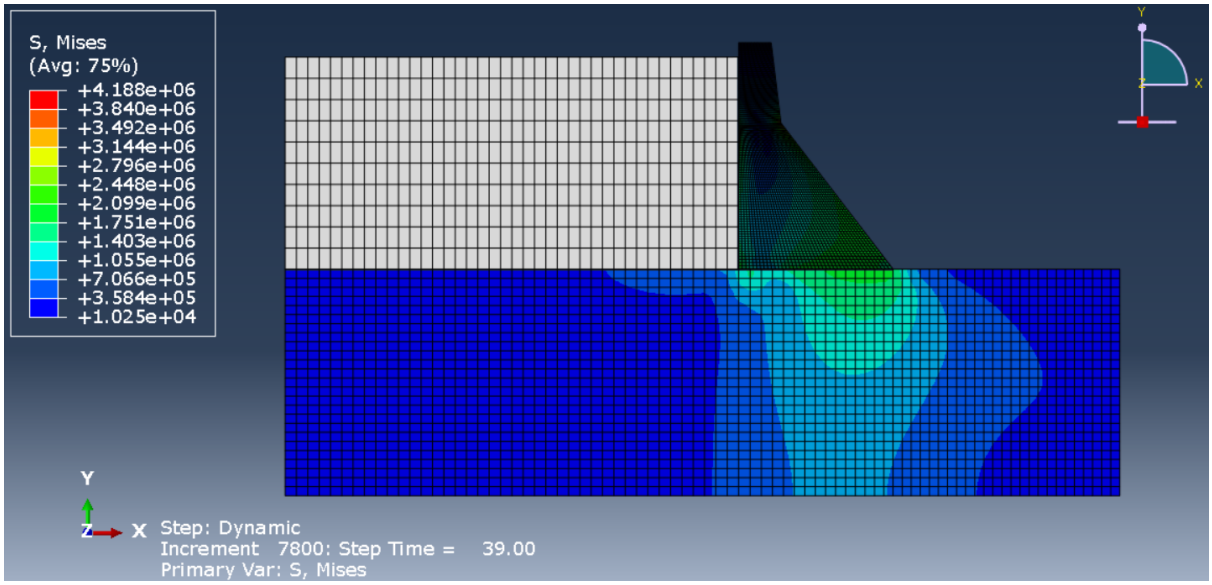
اختصاص آسیب فشاری بتن در نرم‌افزار



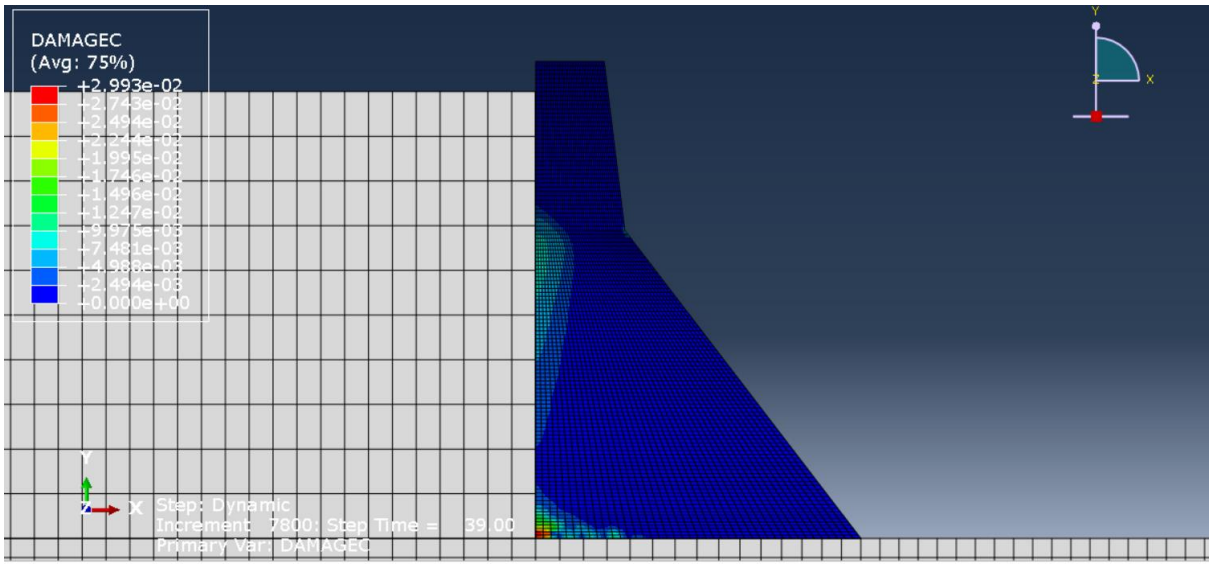
اختصاص رفتار کششی بتن در نرم‌افزار



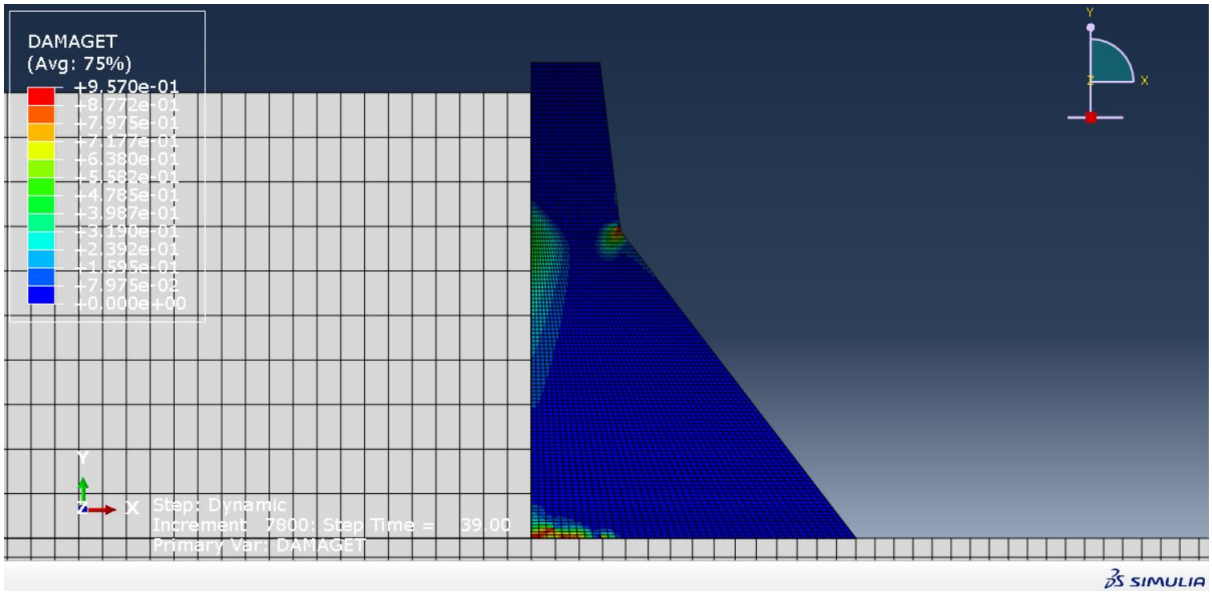
اختصاص آسیب کششی بتن در نرم‌افزار



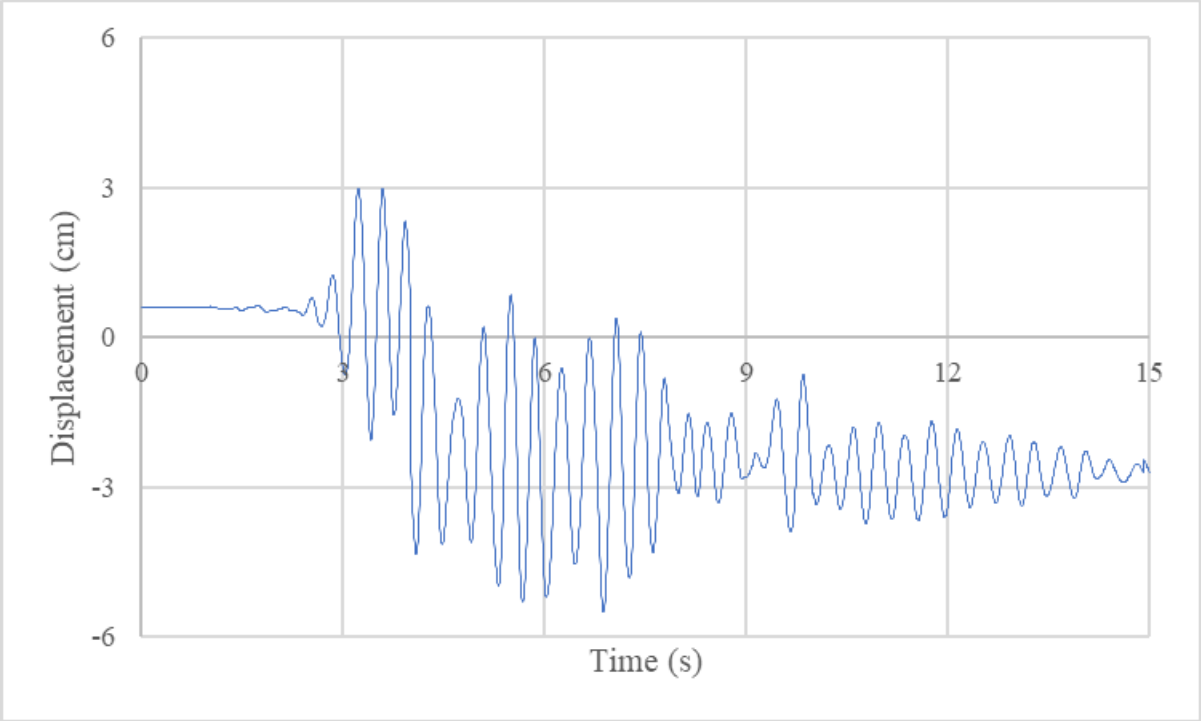
تنش ایجاد شده در سازه



خرابی فشاری سد



خرابی کششی سد



نمودار زمان – جابجایی سازه برای زلزله مورد نظر

اعمال رکورد زلزله با مقیاس سازی جدید

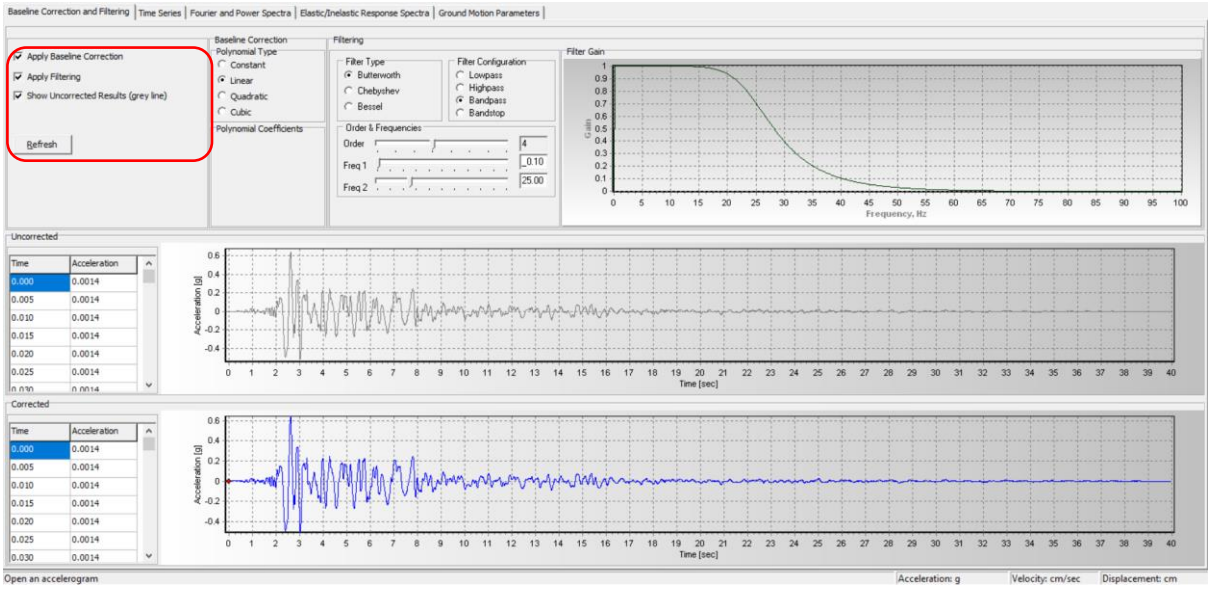
از جدول زیر یک زلزله برای حوزه نزدیک و یک زلزله برای حوزه دور انتخاب شده است که از زلزله *Loma Prieta* که در ردیف ۱۱ و ۱۲ به ترتیب برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور انتخاب شده است.

Table 1
Properties of selected near-fault and far-fault ground motions considered in this investigation.

No.	Ground motion	Earthquake	Distance to fault (km)	Station location	M_w	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	PGV/PGA (s)
1	Near-fault	Northridge 1994	7.1	Newhall, CA – Los Angeles County Fire #24279	6.7	360	578.20	94.70	0.164
2	Far-fault	Northridge 1994	18.4	Los Angeles, CA – Fire Station 108 #5314	6.7	35	576.93	29.75	0.052
3	Near-fault	Northridge 1994	8.6	Sylmar, CA – Jensen Filtration Plant #655	6.7	22	560.30	77.23	0.138
4	Far-fault	Northridge 1994	29.4	Warm Springs #24272	6.7	90	221.20	13.40	0.061
5	Near-fault	Northridge 1994	8.6	Los Angeles Reservoir #2141	6.7	64	317.6	44.54	0.140
6	Far-fault	Northridge 1994	17.9	Tarzana, CA – Cedar Hill #24436	5.3	90	365.30	11.80	0.032
7	Near-fault	Imperial Valley 1979	5.2	El Centro, CA – Array Sta 5 #0952	6.5	230	360.37	95.89	0.266
8	Far-fault	Imperial Valley 1979	21.7	El Centro, CA – Array Sta 13 #5059	6.5	230	131.07	12.70	0.096
9	Near-fault	Imperial Valley 1979	8.8	Holtville, CA – Post Office #5055	6.5	225	242.96	51.90	0.214
10	Far-fault	Imperial Valley 1979	21.8	Superstition Mtn, CA – Camera Site #0286	6.5	135	182.19	8.65	0.047
11	Near-fault	Loma Prieta 1989	6.3	Gilroy Array Sta 3 # 47381	6.5	90	362.00	43.80	0.121
12	Far-fault	Loma Prieta 1989	22.7	Gilroy Array Sta 7 #57425	6.5	90	314.30	16.30	0.052
13	Near-fault	Loma Prieta 1989	2.8	Corralitos, CA #57007	6.5	90	469.40	47.50	0.101
14	Far-fault	Loma Prieta 1989	16.9	Coyote Lake Dam, CA #57217	6.5	285	471.00	37.50	0.079
15	Near-fault	Chi-Chi 1999	8.9	Taichung, Taiwan #TCU050	7.6	90	142.70	32.40	0.227
16	Far-fault	Chi-Chi 1999	32.0	Ilan, Taiwan #ILA067	7.6	90	195.70	11.40	0.058
17	Near-fault	Chi-Chi 1999	7.9	Taichung, Taiwan #TCU072	7.6	90	466.90	70.80	0.152
18	Far-fault	Chi-Chi 1999	37.2	Chiayi, Taiwan #CHY014	7.6	0	254.90	22.90	0.090
19	Near-fault	Chi-Chi 1999	3.2	Taichung, Taiwan #TCU076	7.6	90	336.10	59.00	0.176
20	Far-fault	Chi-Chi 1999	31.1	Chiayi, Taiwan #CHY086	7.6	0	201.60	17.9	0.089

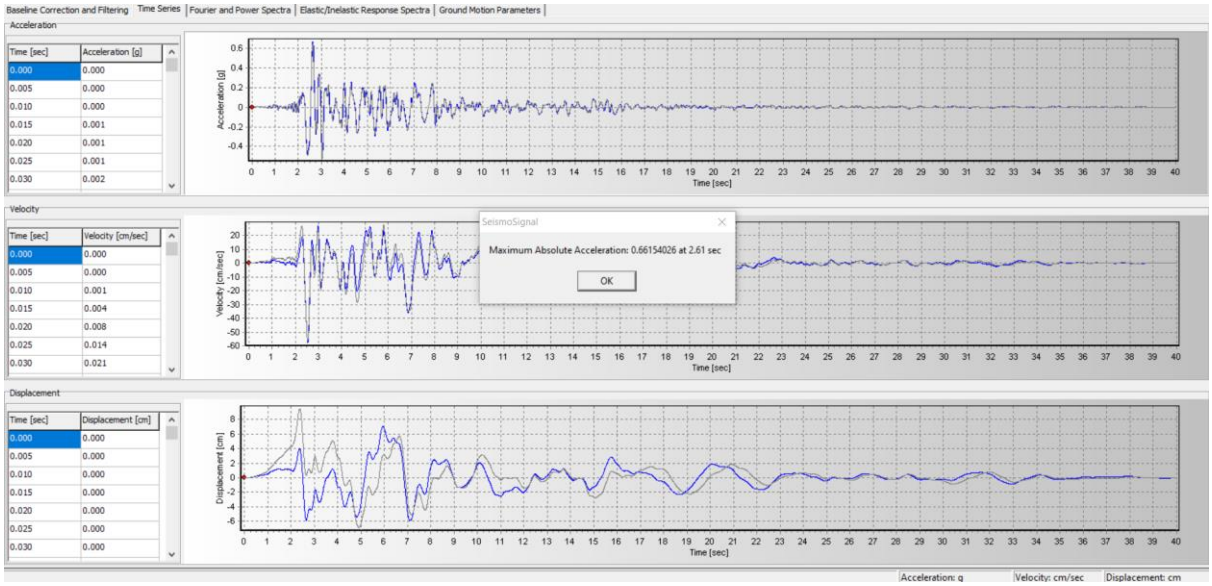
زلزله‌های انتخابی

در ابتدا فیلترینگ رکورد زلزله لنجام شده است که در شکل زیر نشان داده شده است:



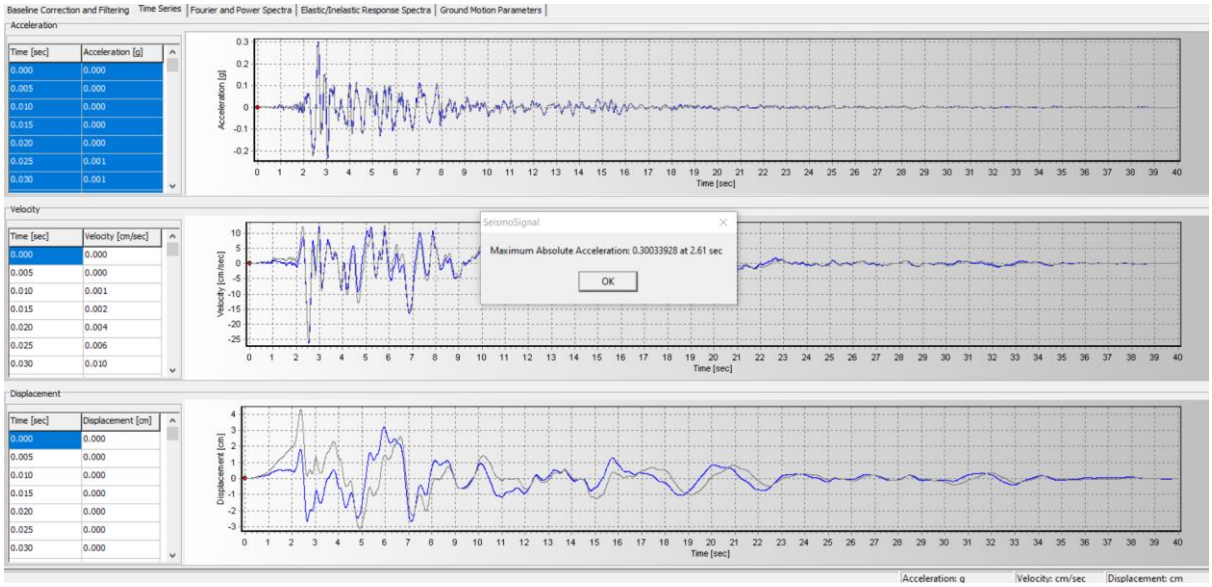
اعمال فیلترینگ رکورد زلزله

رکورد زلزله به ۰/۳g مقیاس شده است که بدین منظور ۰/۳ به حداکثر شتاب افقی زمین (*PGA*) تقسیم شده و به رکوردهای زلزله ضرب گردیده است.

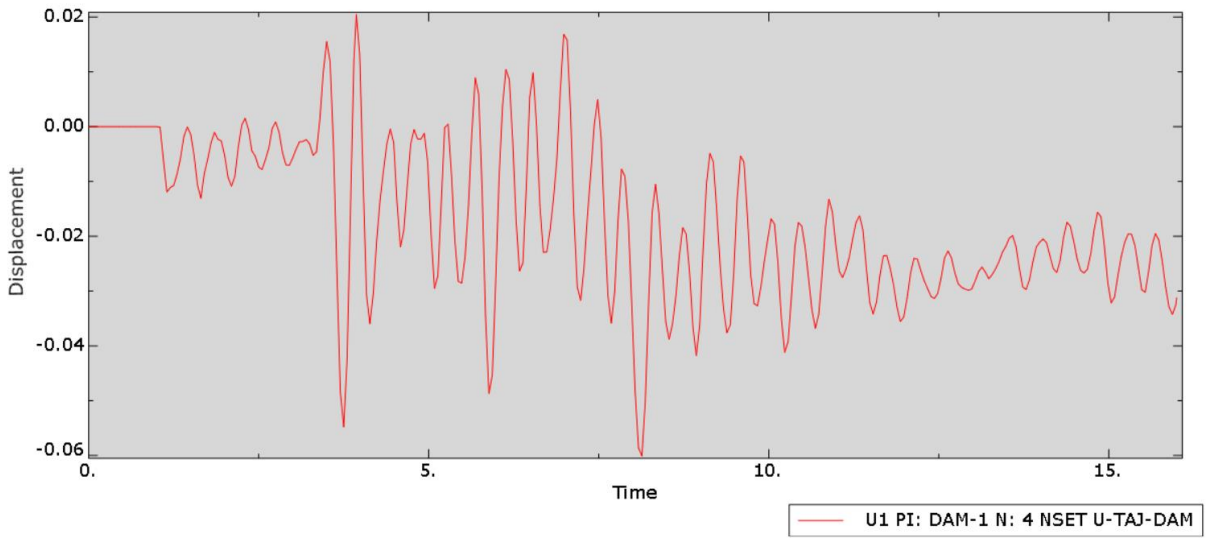


حداکثر *PGA* زلزله *Loma* حوزه نزدیک (*PGA=0.6615*)

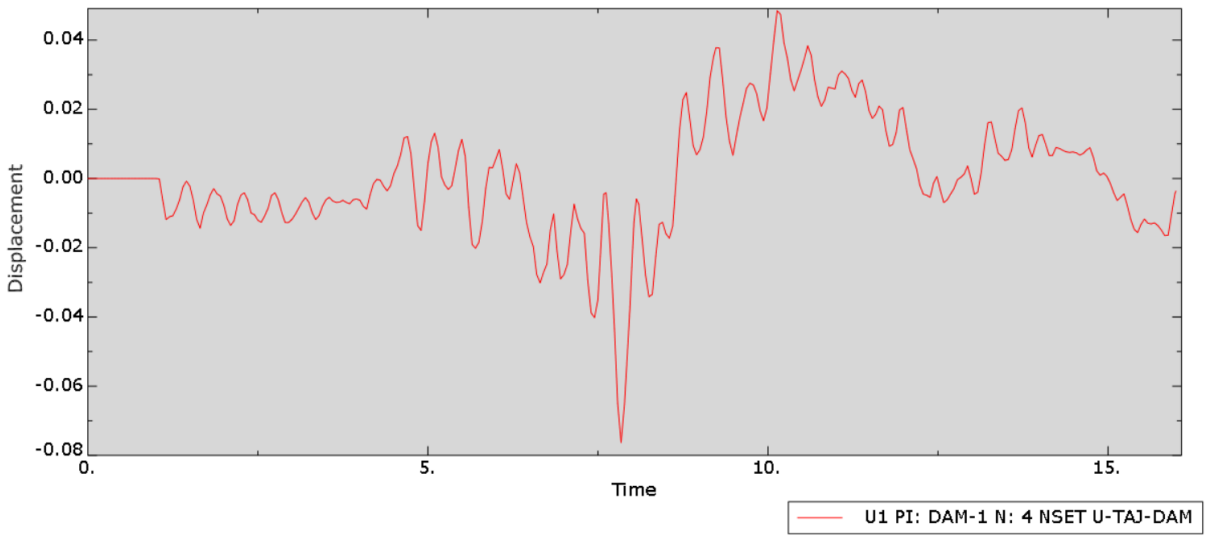
با تقسیم ۰/۳ بر ۰/۶۶۱۵ عدد ۰/۴۵۳ به دست آمده که این عدد به تمامی رکوردهای زلزله ضرب شده و این رکورد زلزله به نرم افزار وارد خواهد گردید.



مقیاس زلزله به ۰/۳g



جابجایی تاج سد در زلزله *Loma Prieta* نزدیک گسل



جابجایی تاج سد در زلزله *Loma Prieta* دور گسل

اعمال رکوردهای زلزله

۲۰ رکورد زلزله نزدیک گسل و ۲۰ زلزله دور گسل مطابق آئین‌نامه *FEMA P695* انتخاب شده و همه آنها به ۰/۳ مقیاس گردیده و به مدل وارد گردیده است که زلزله‌های انتخابی در زیر نشان داده شده است.

زلزله‌های نزدیک گسل

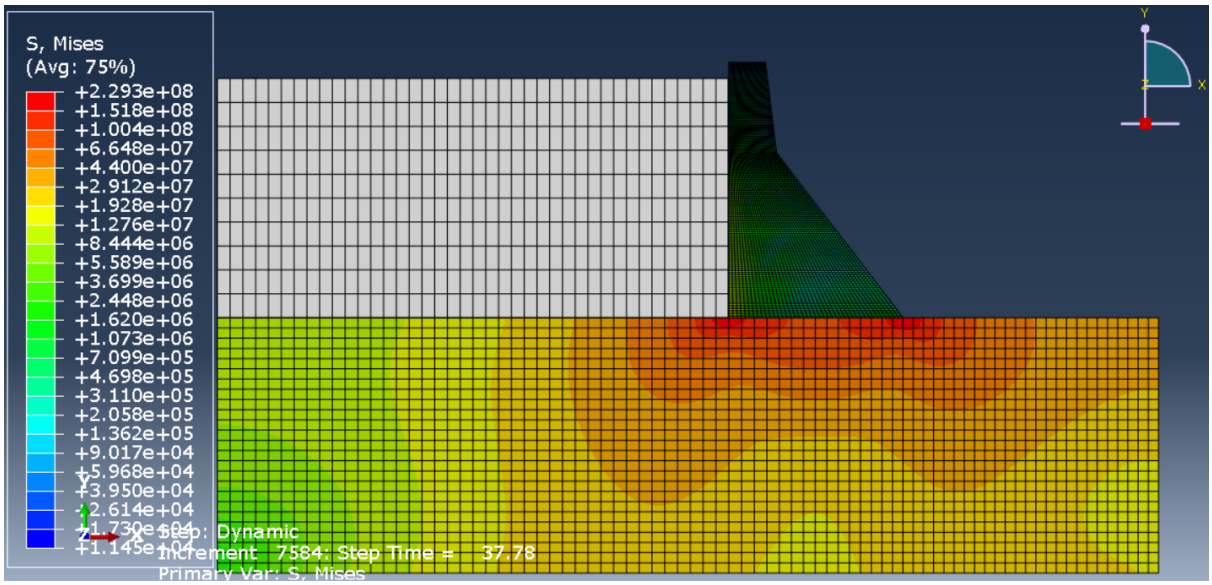
ردیف	نام زلزله	ایستگاه	PGA (g)	Mag		ضریب مقیاس
۱	Imperial Valley-06	El Centro Array #7	0.593	6.5	0.361	0.506
۲	Irpinia, Italy-01	Sturno	0.249	6.9	0.668	1.209
۳	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	0.489	6.5	1.075	0.614
۴	Loma Prieta	Saratoga - Aloha	0.5	6.9	0.62	0.601
۵	Erzican, Turkey	Erzincan	0.479	6.7	0.823	0.627
۶	Cape Mendocino	Petrolia	0.597	7.0	0.527	0.503
۷	Landers	Lucerne	0.709	7.3	0.328	0.423
۸	Northridge-01	Rinaldi Receiving Sta	0.972	6.7	0.728	0.308
۹	Northridge-01	Sylmar - Olive View	0.622	6.7	0.772	0.483
۱۰	Kocaeli, Turkey	Izmit	0.224	7.5	0.586	1.339
۱۱	Chi-Chi, Taiwan	TCU065	0.834	7.6	1.129	0.36
۱۲	Chi-Chi, Taiwan	TCU102	0.276	7.6	1.401	1.09
۱۳	Duzce, Turkey	Duzce	0.335	7.1	0.695	0.898
۱۴	Gazli, USSR	Karakyr	0.606	6.8	0.431	0.495
۱۵	Imperial Valley-06	Bonds Corner	0.574	6.5	0.477	0.501
۱۶	Imperial Valley-06	Chihuahua	0.256	6.5	0.579	1.158
۱۷	Loma Prieta	BRAN	0.467	6.9	0.45	0.643
۱۸	Northridge-01	LA - Sepulveda VA	0.772	6.7	0.595	0.389
۱۹	Loma Prieta	Corralitos	0.661	6.93	0.475	0.453
۲۰	Kocaeli, Turkey	Yermica	0.281	7.51	1.294	1.067

زلزله‌های دور گسل

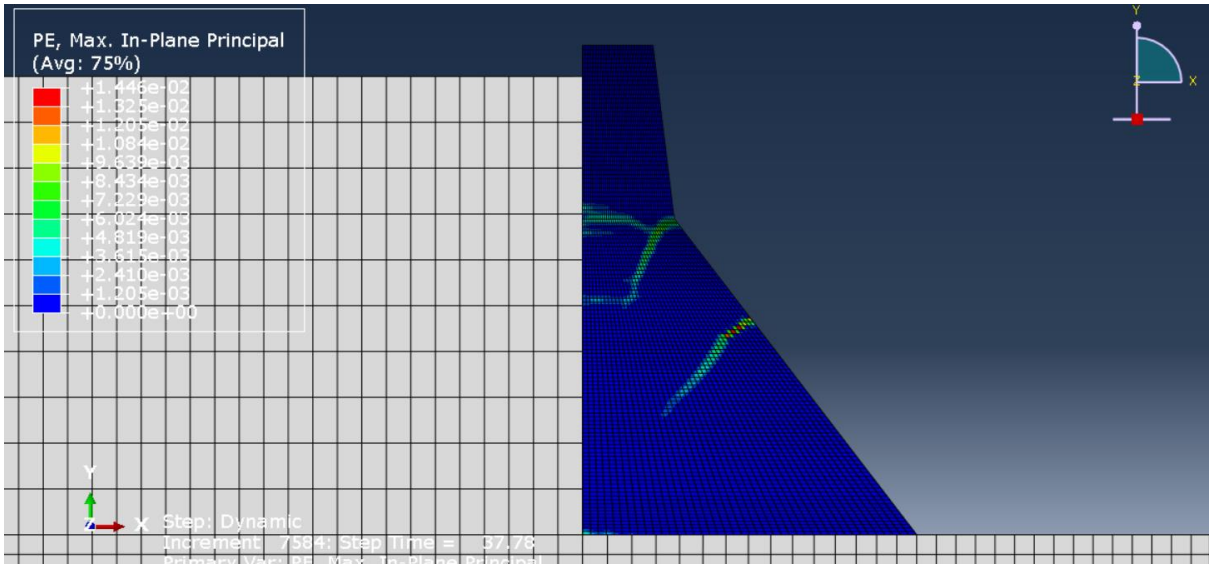
ردیف	نام زلزله	ایستگاه	PGA (g)	Mag		ضریب مقیاس
۱	Northridge	Beverly Hills - Mulhol	0.313	6.7	0.189	0.958
۲	Northridge	Canyon Country-WLC	0.41	6.7	0.566	0.731
۳	Duzce, Turkey	Bolu	0.714	7.1	0.543	0.42
۴	Hector Mine	Hector	0.263	7.1	0.607	1.14
۵	Imperial Valley	Delta	0.239	6.5	0.625	1.26
۶	Imperial Valley	El Centro Array #11	0.132	6.5	0.448	2.272
۷	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	0.509	6.9	0.487	0.59
۸	Kobe, Japan	Shin-Osaka	0.238	6.9	0.744	1.26
۹	Kocaeli, Turkey	Duzce	0.325	7.5	1.001	0.923
۱۰	Kocaeli, Turkey	Arcelik	0.218	7.5	0.304	1.382
۱۱	Landers	Yermo Fire Station	0.226	7.3	0.897	1.327
۱۲	Landers	Coolwater	0.28	7.3	0.425	1.071
۱۳	Loma Prieta	Capitola	0.514	6.9	0.489	0.584
۱۴	Loma Prieta	Gilroy Array #3	0.334	6.9	0.272	0.898
۱۵	Manjil, Iran	Abbar	0.552	7.4	0.314	0.543
۱۶	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	0.376	6.5	0.664	0.797
۱۷	Superstition Hills	Poe Road (temp)	0.466	6.5	0.478	0.643
۱۸	Chi-Chi, Taiwan	CHY101	0.338	7.6	1.042	0.887
۱۹	San Fernando	LA - Hollywood Stor	0.012	6.6	1.395	27.272
۲۰	Friuli, Italy	Tolmezzo	0.344	6.5	0.395	0.874

نتایج حاصل از تحلیل

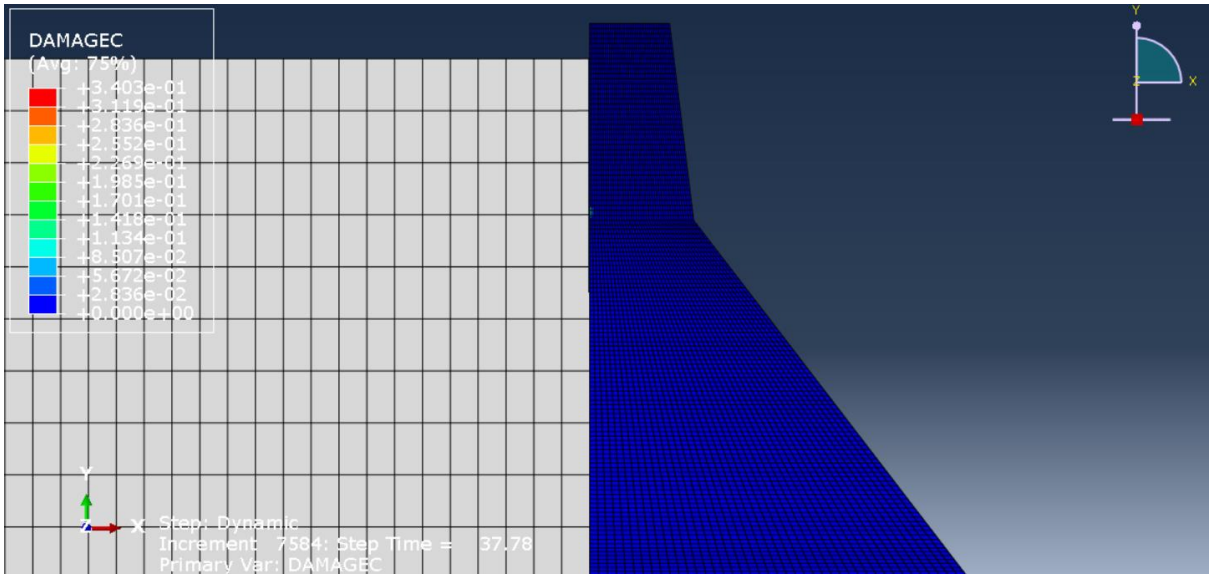
- زلزله‌های نزدیک گسل
- زلزله ***Bonds Corner***



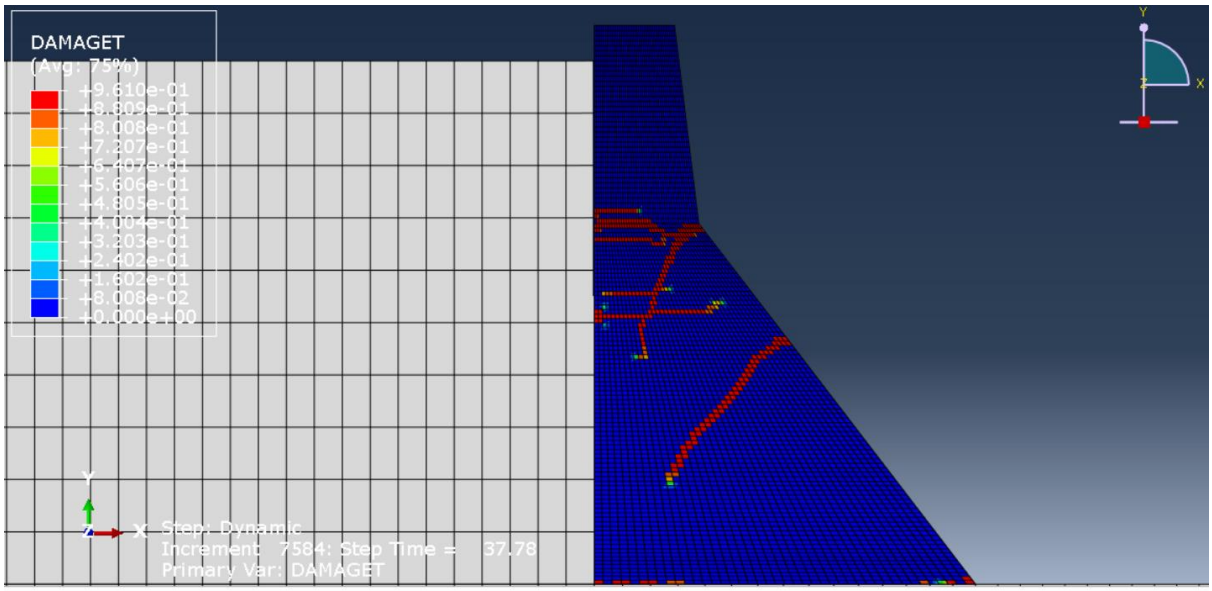
تنش فون میزس



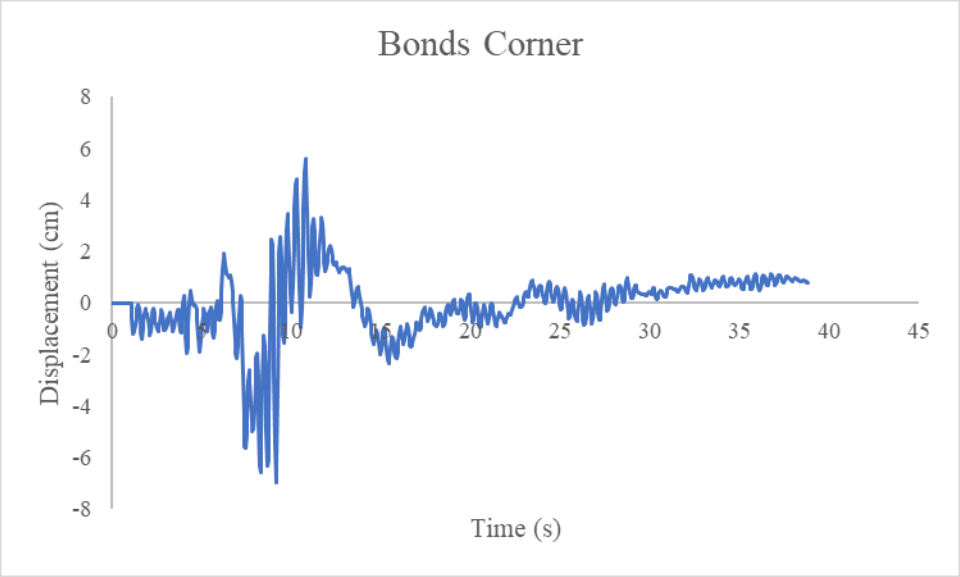
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

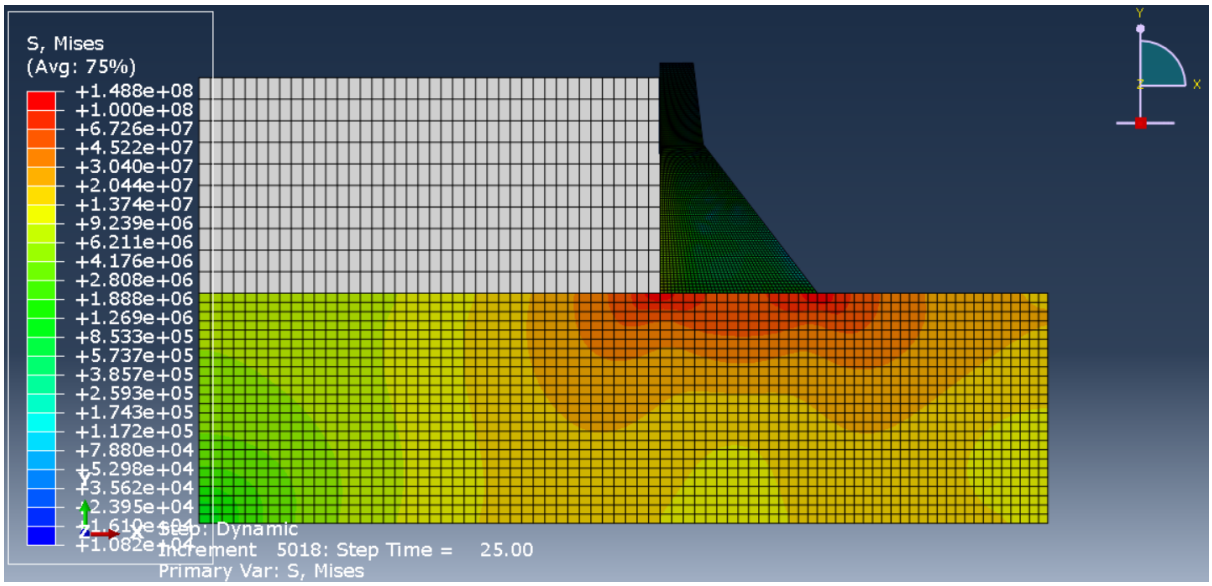


خرابی کششی

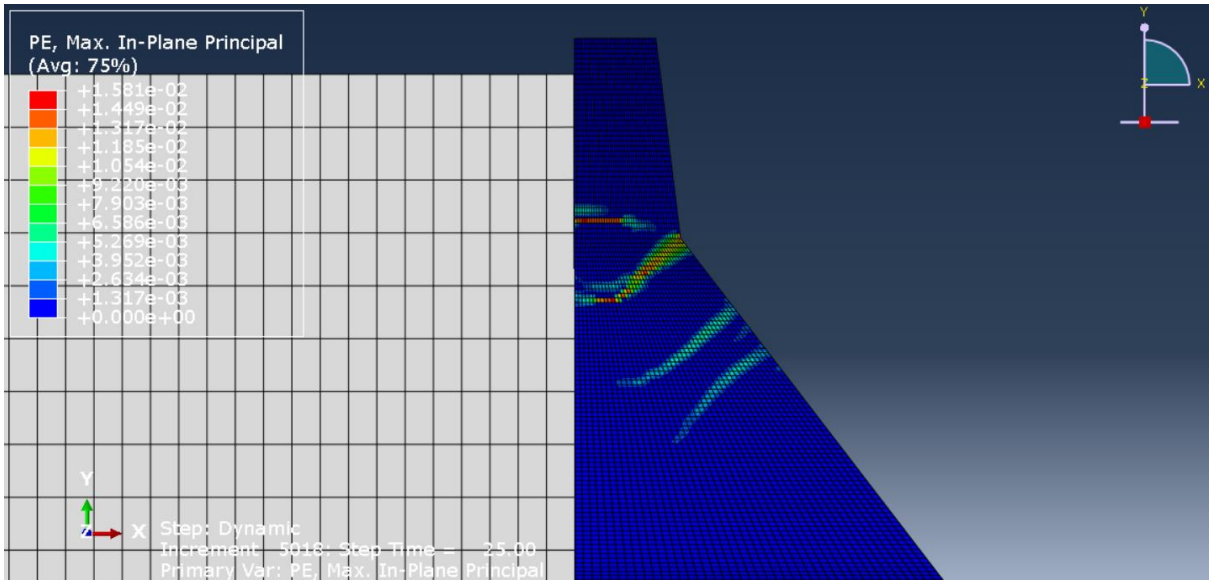


نمودار جابجایی تاج سد

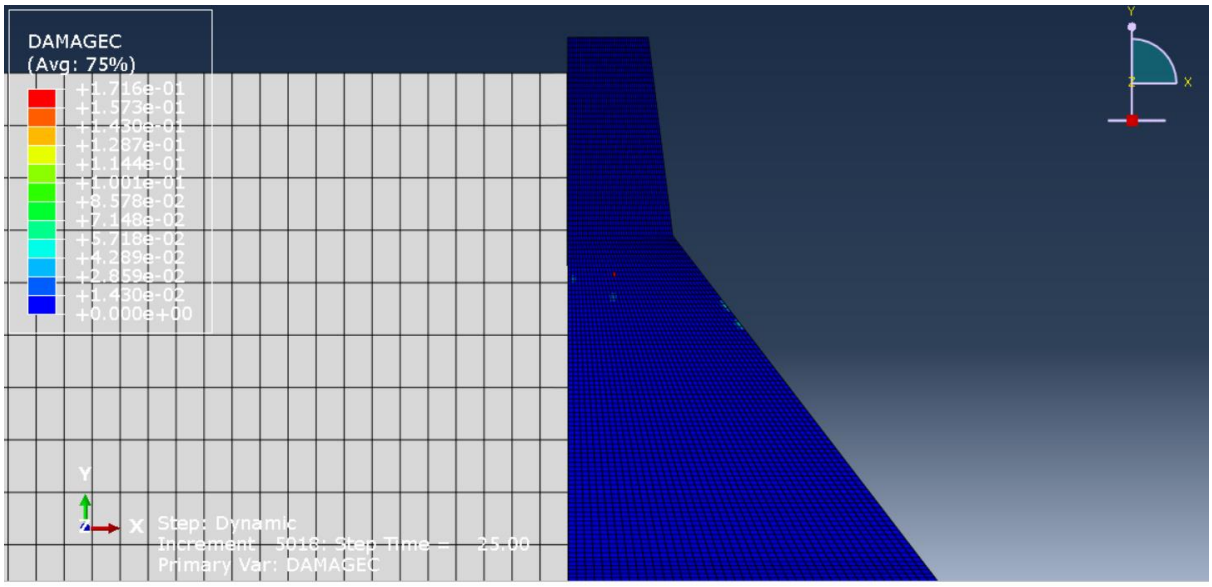
- زلزله ***BRAN***



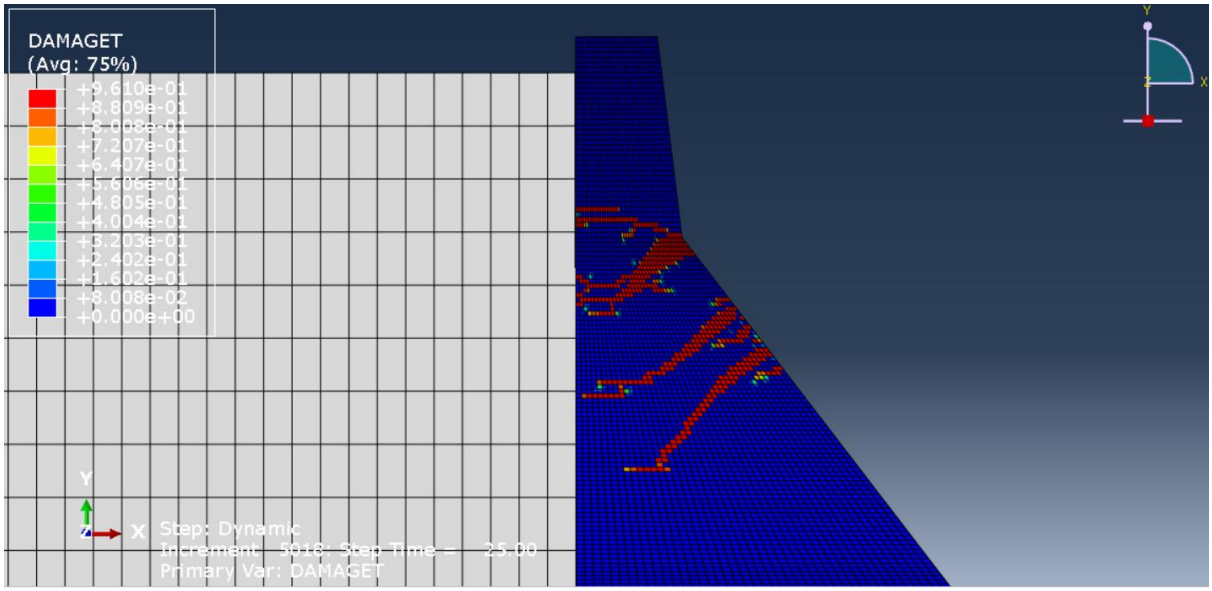
تنش فون میزس



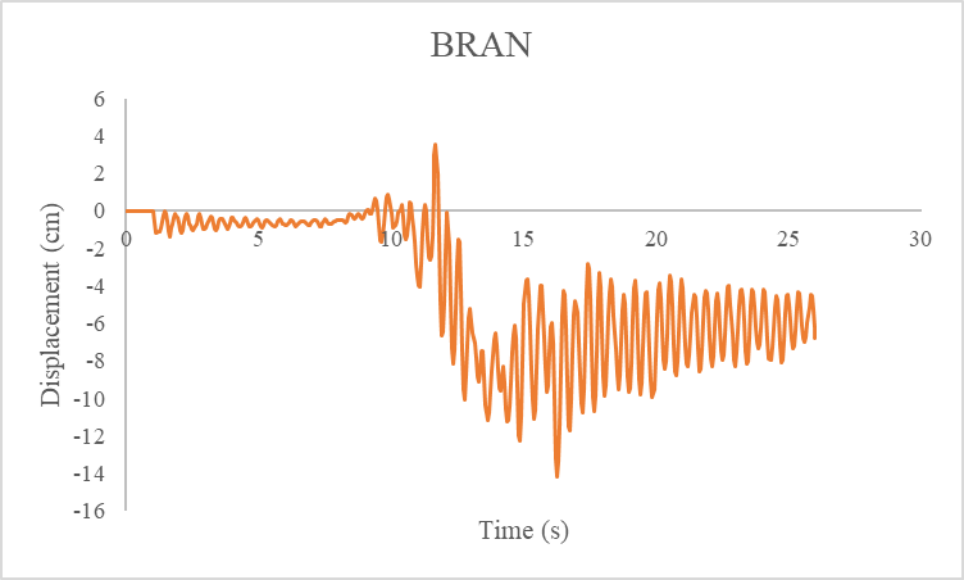
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

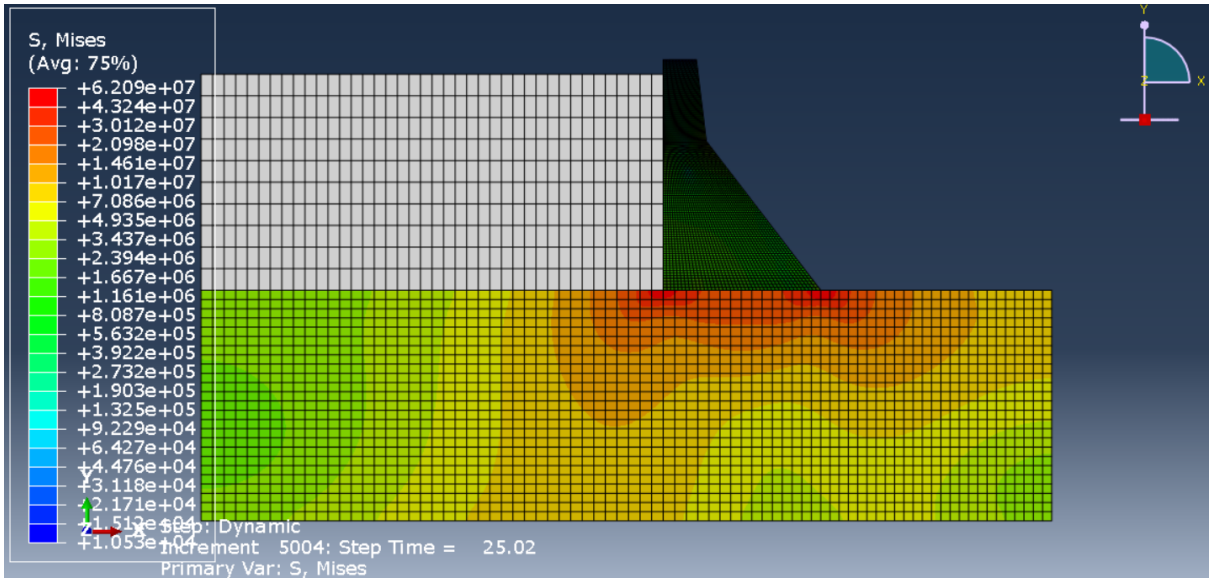


خرابی کششی

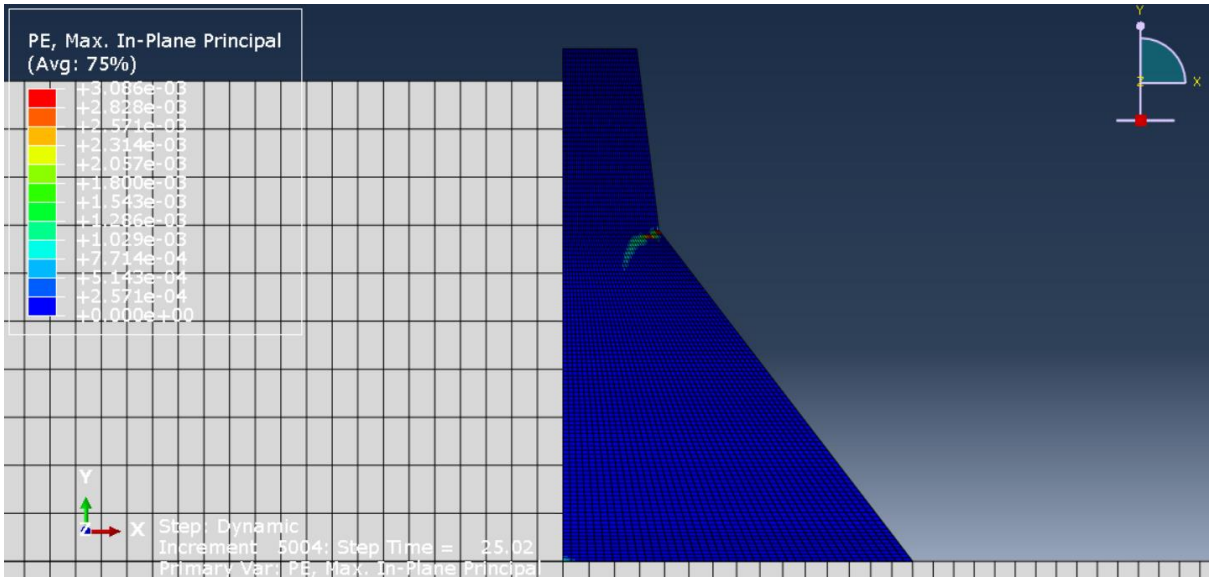


نمودار جابجایی تاج سد

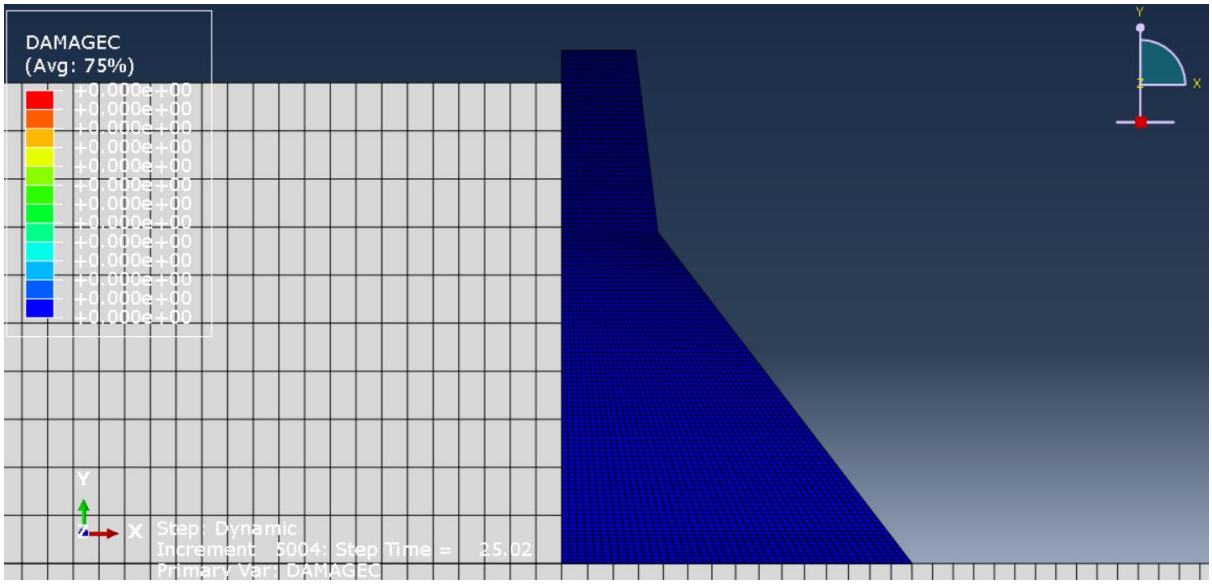
- زلزله *Chihuahua*



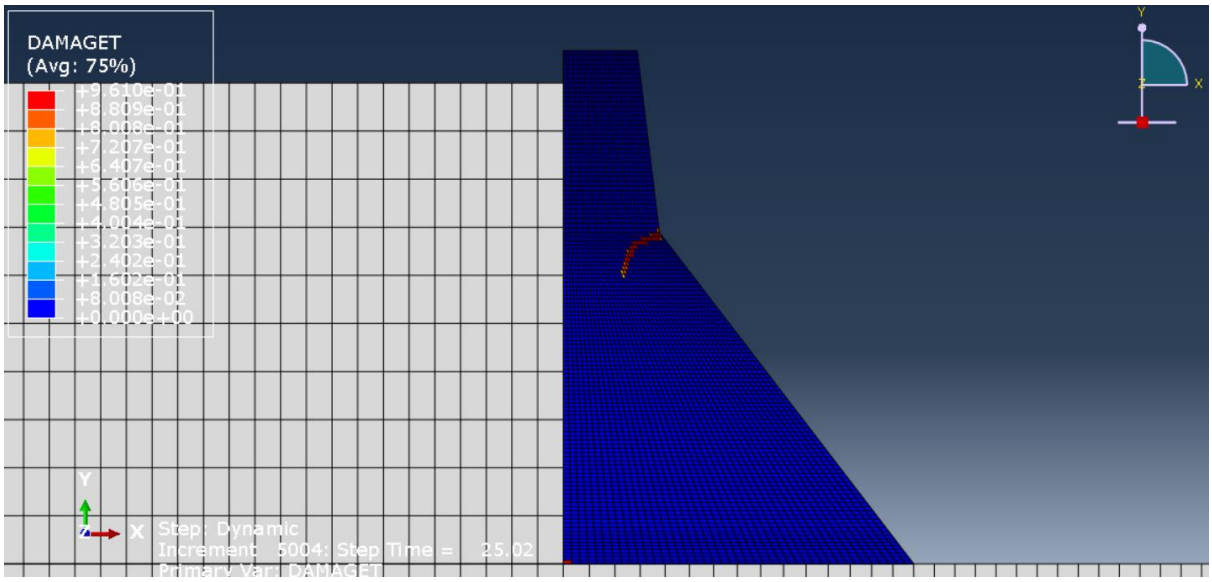
تنش فون میزس



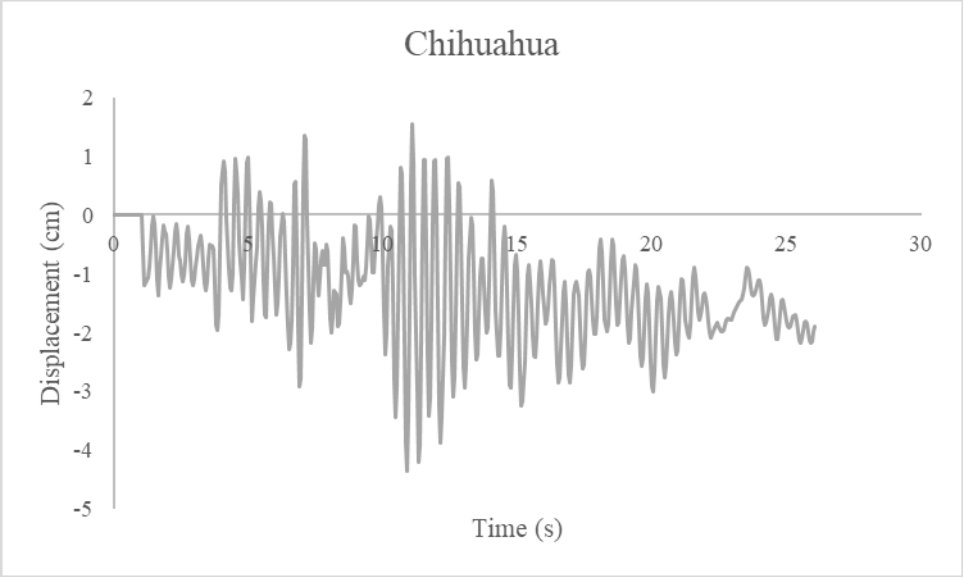
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

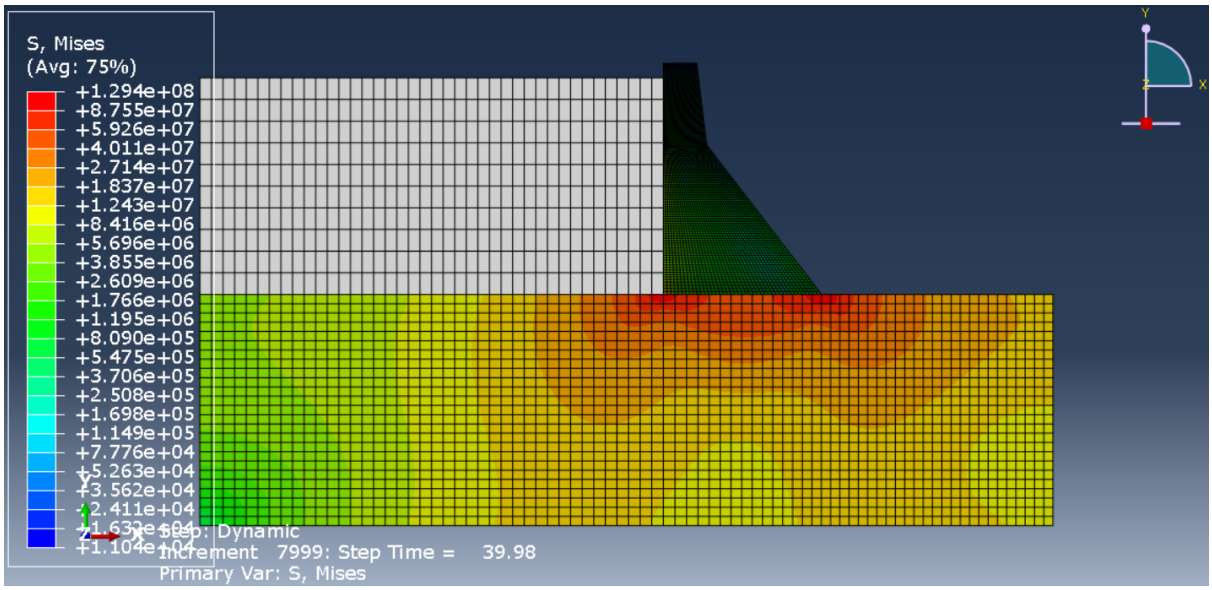


خرابی کششی

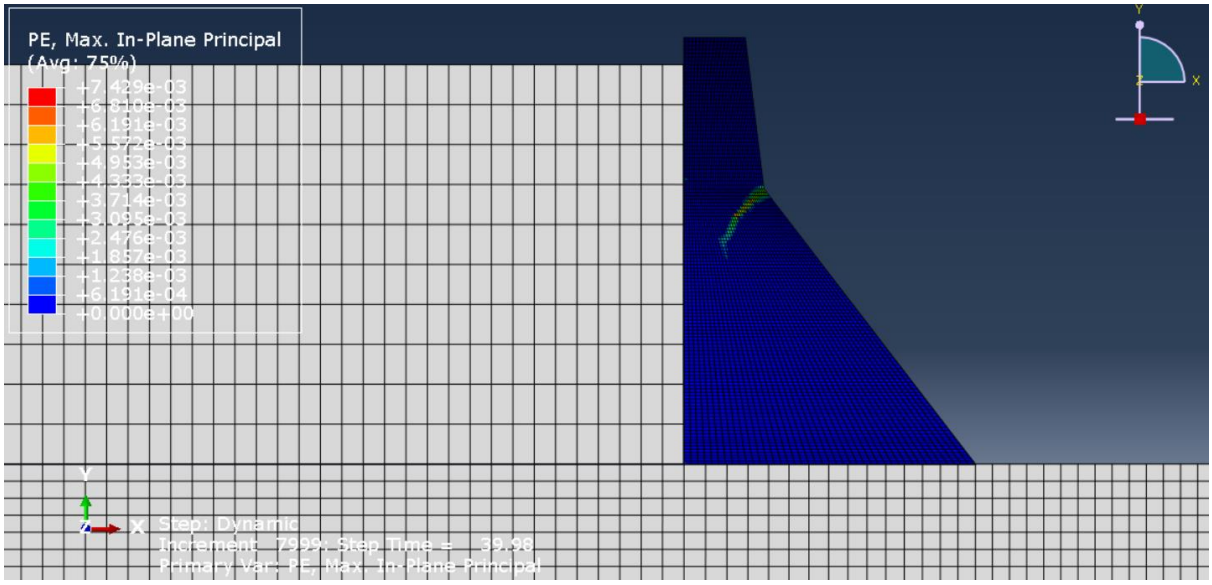


نمودار جابجایی تاج سد

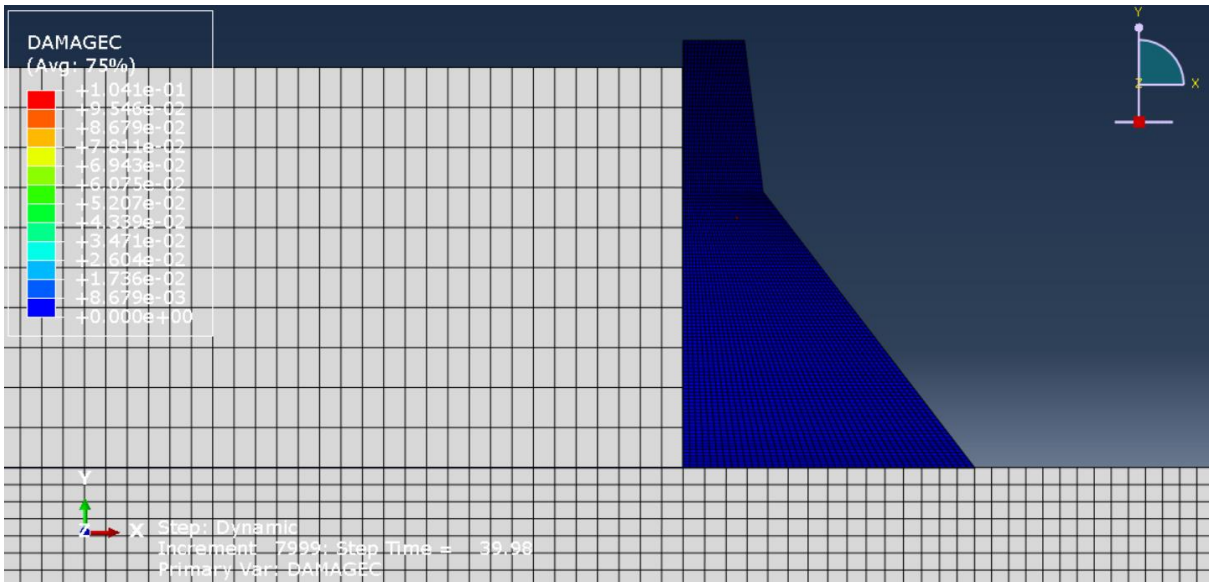
- زلزله ***Corralitos***



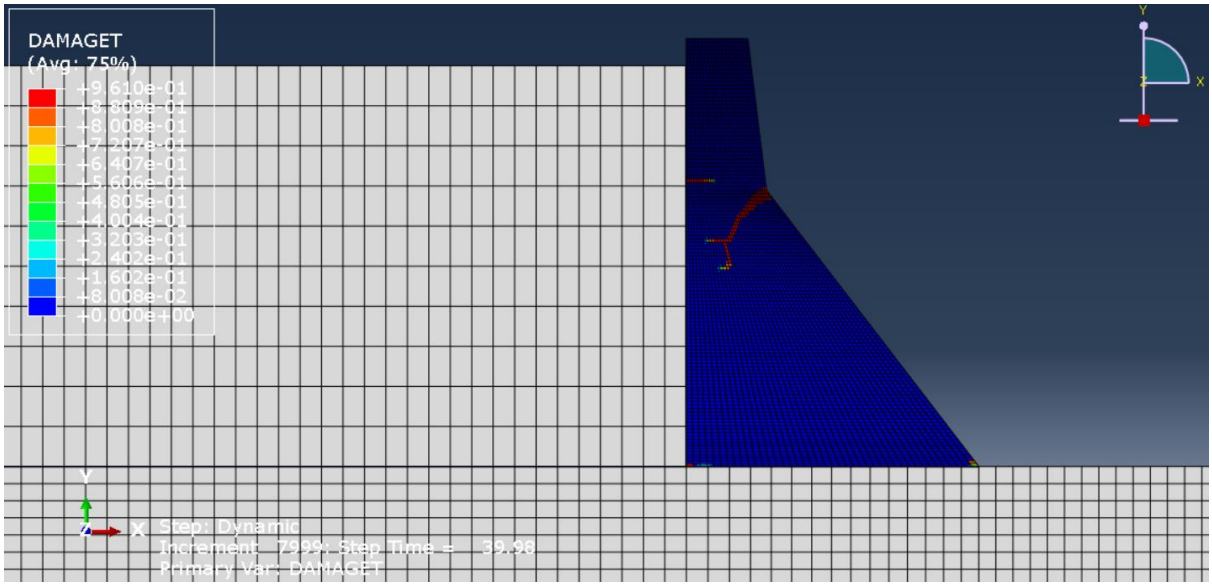
تنش فون میزس



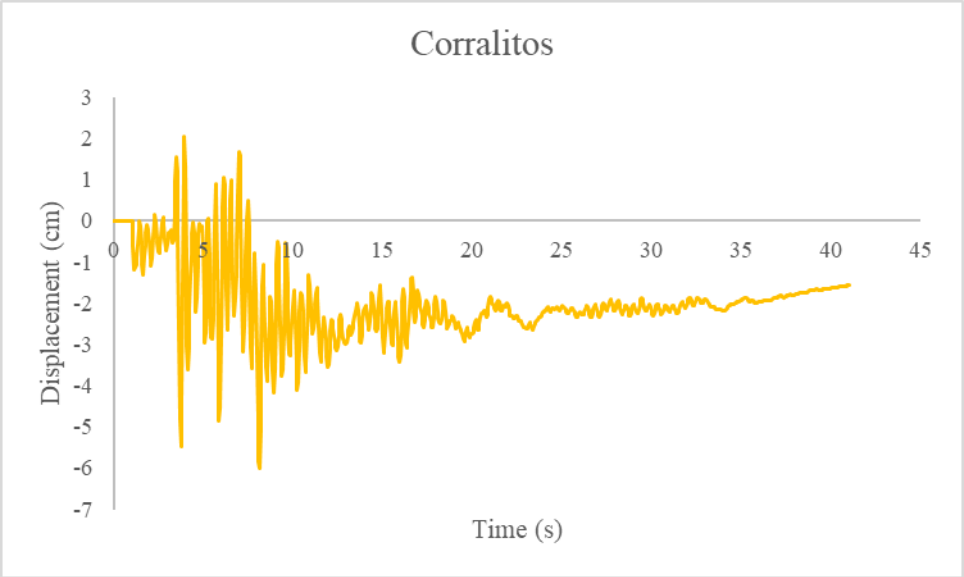
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

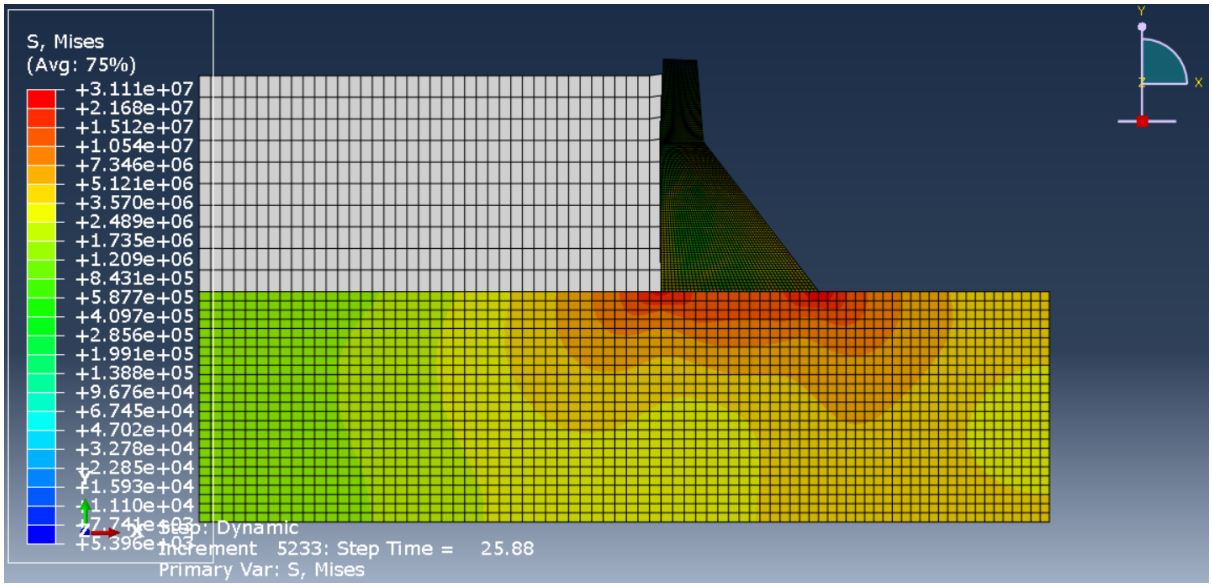


خرابی کششی

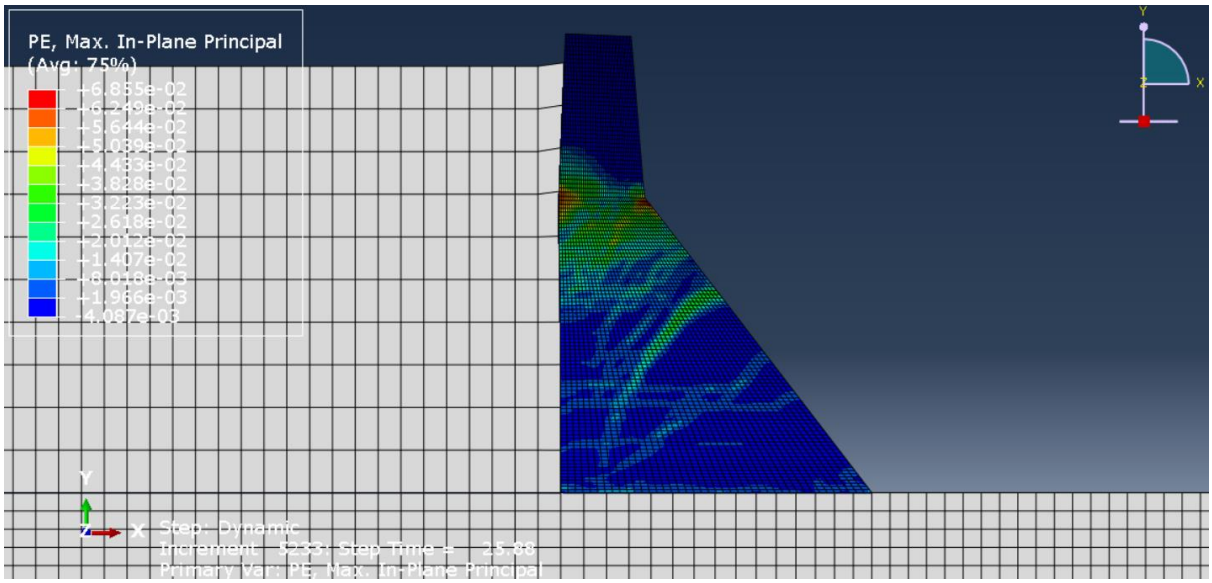


نمودار جابجایی تاج سد

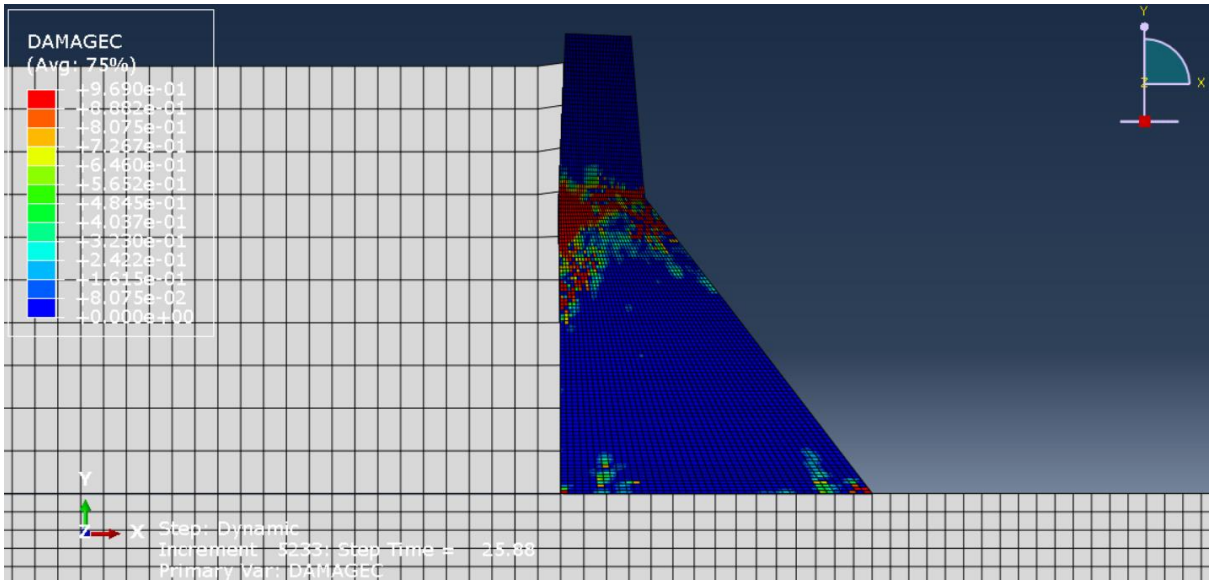
- زلزله *Duzce*



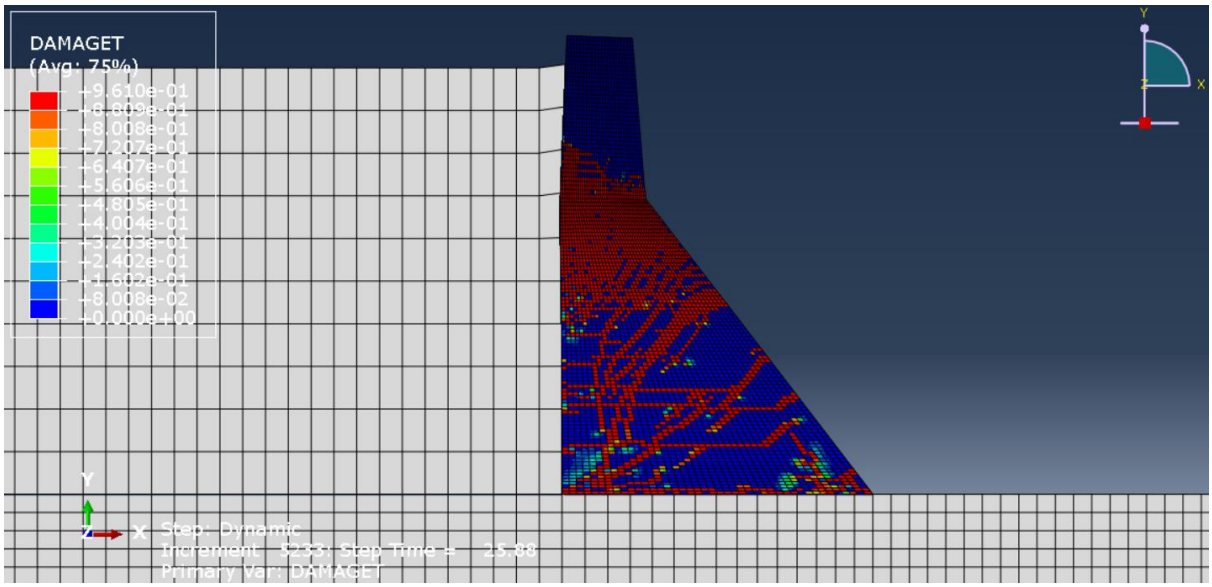
تنش فون میزس



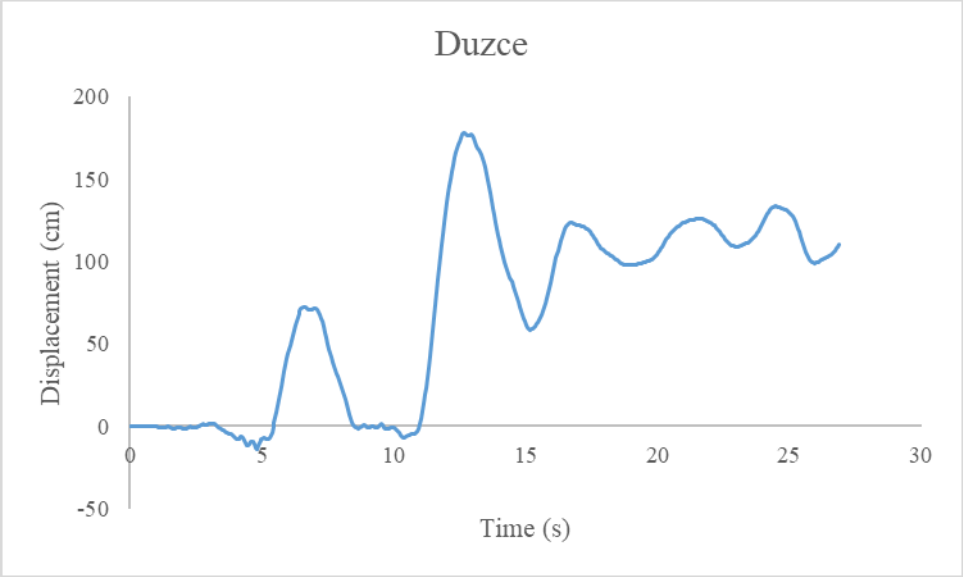
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

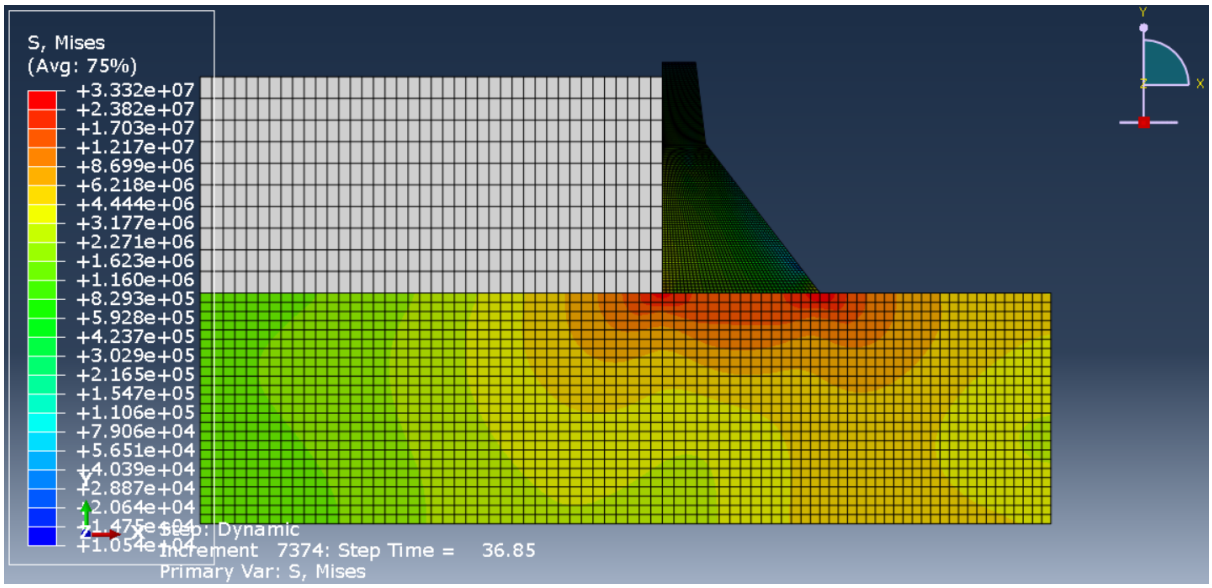


خرابی کششی

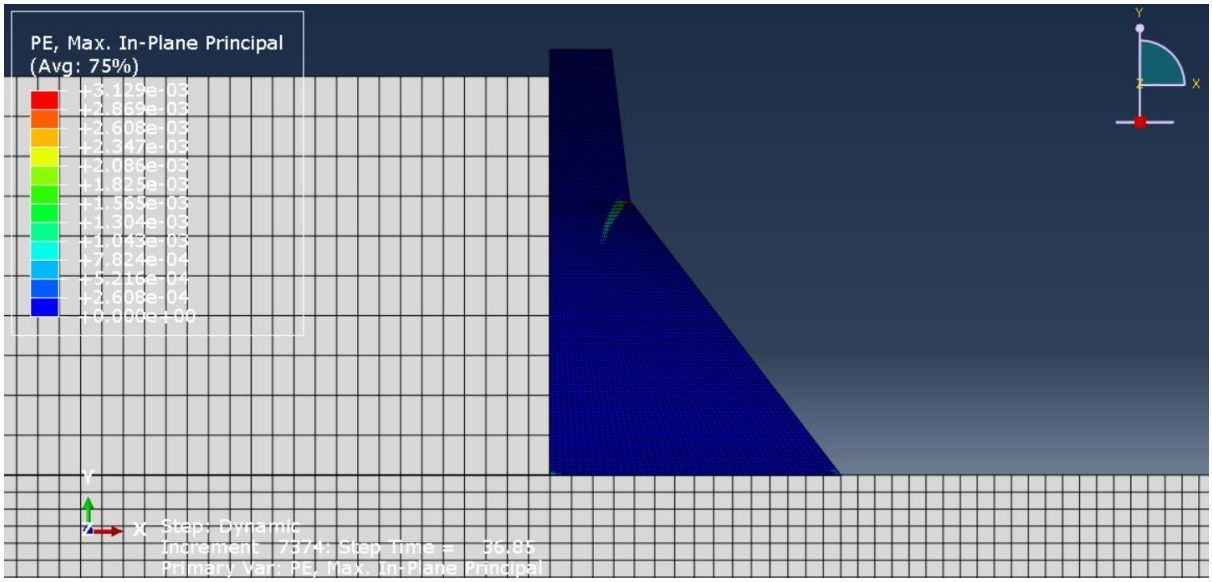


نمودار جابجایی تاج سد

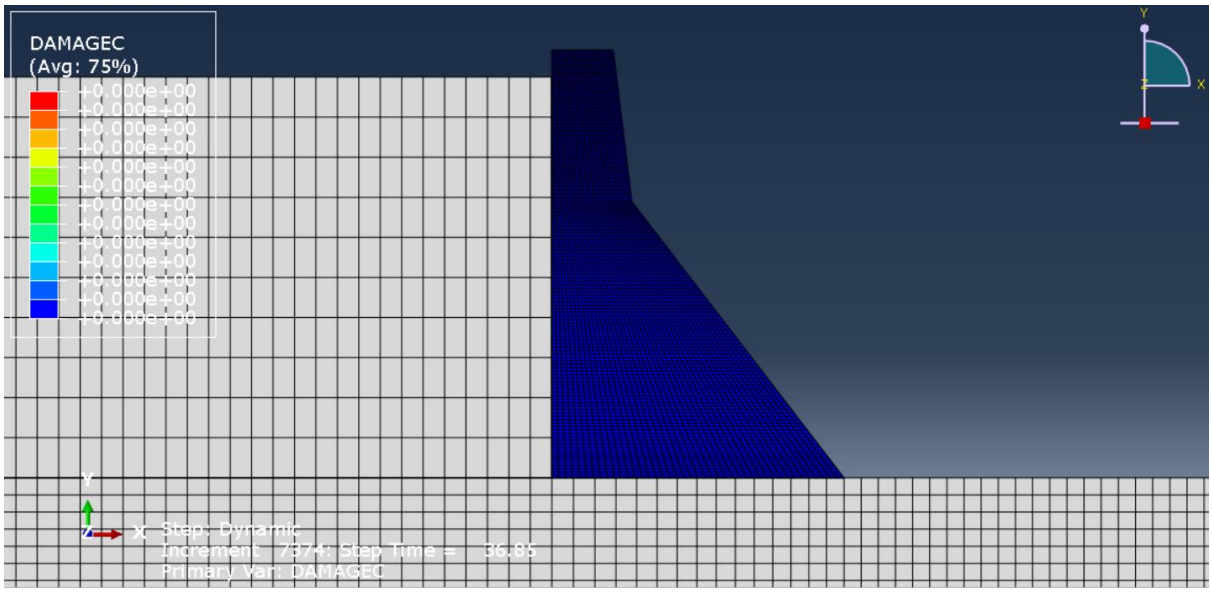
- زلزله ***El Centro Arrey***



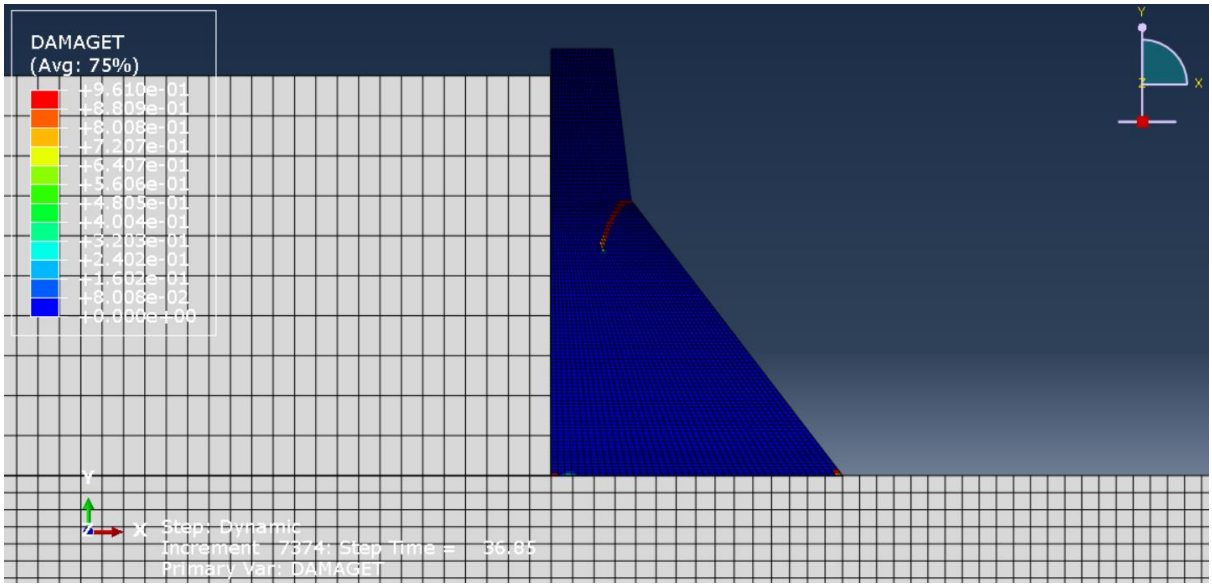
تنش فون میزس



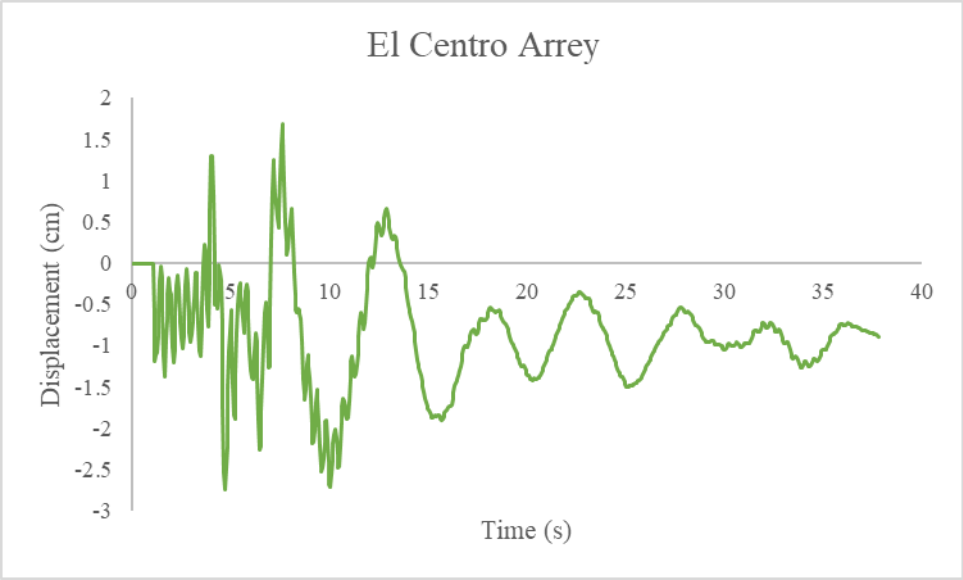
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

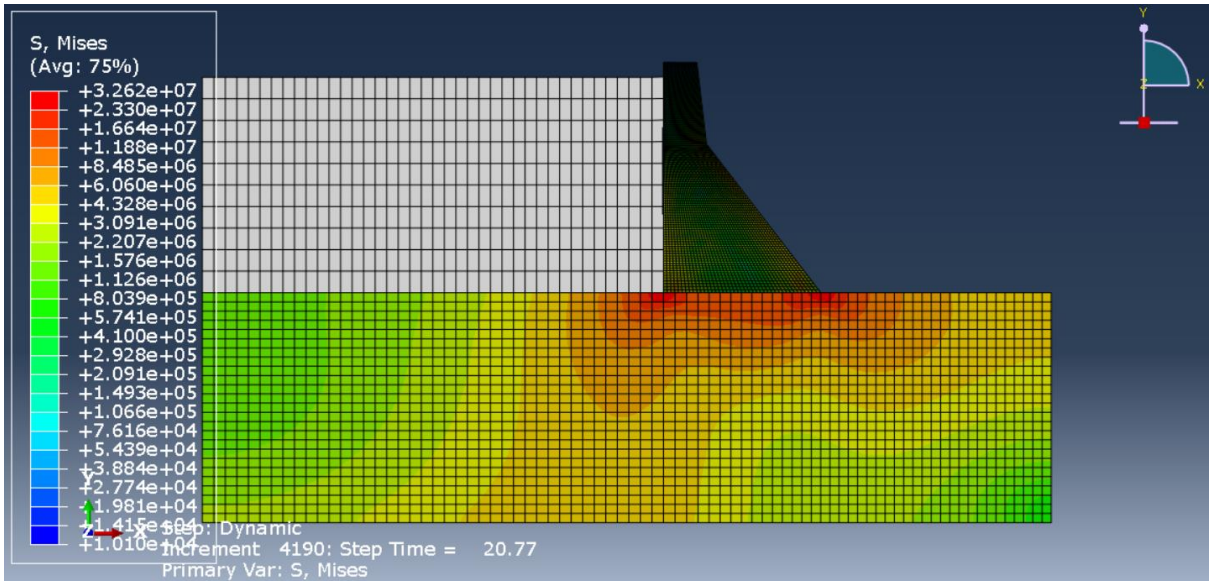


خرابی کششی

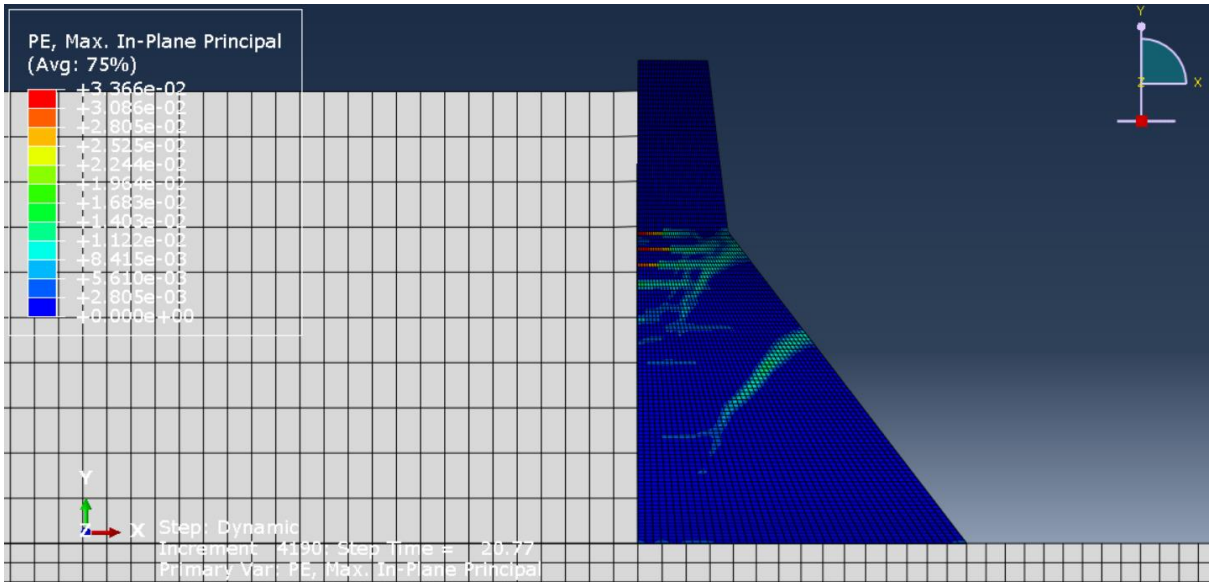


نمودار جابجایی تاج سد

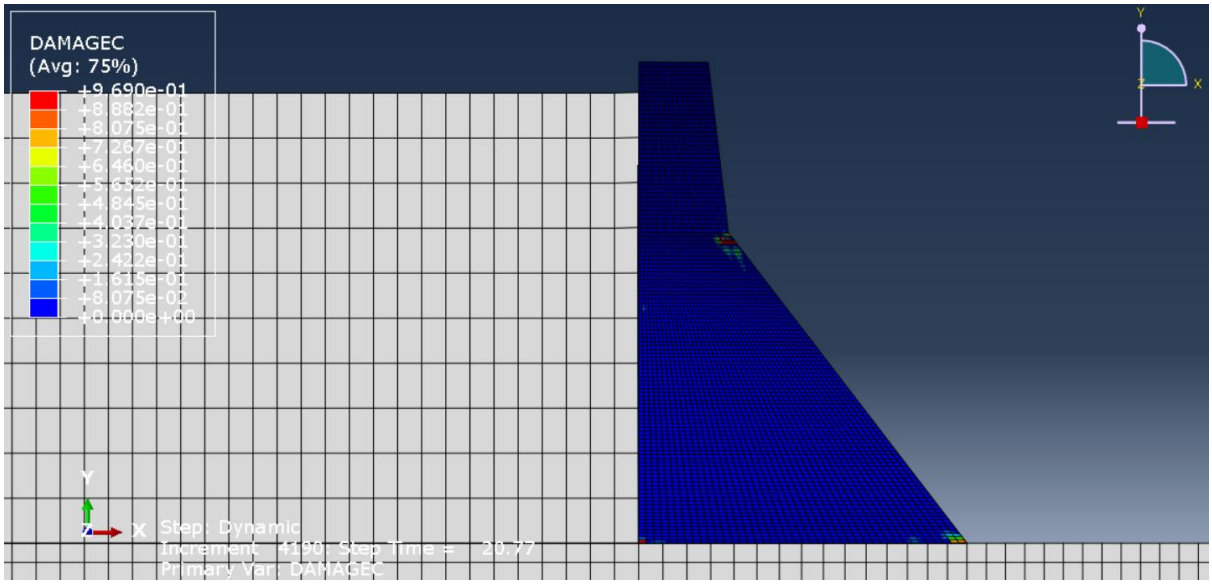
- زلزله ***Erzincan***



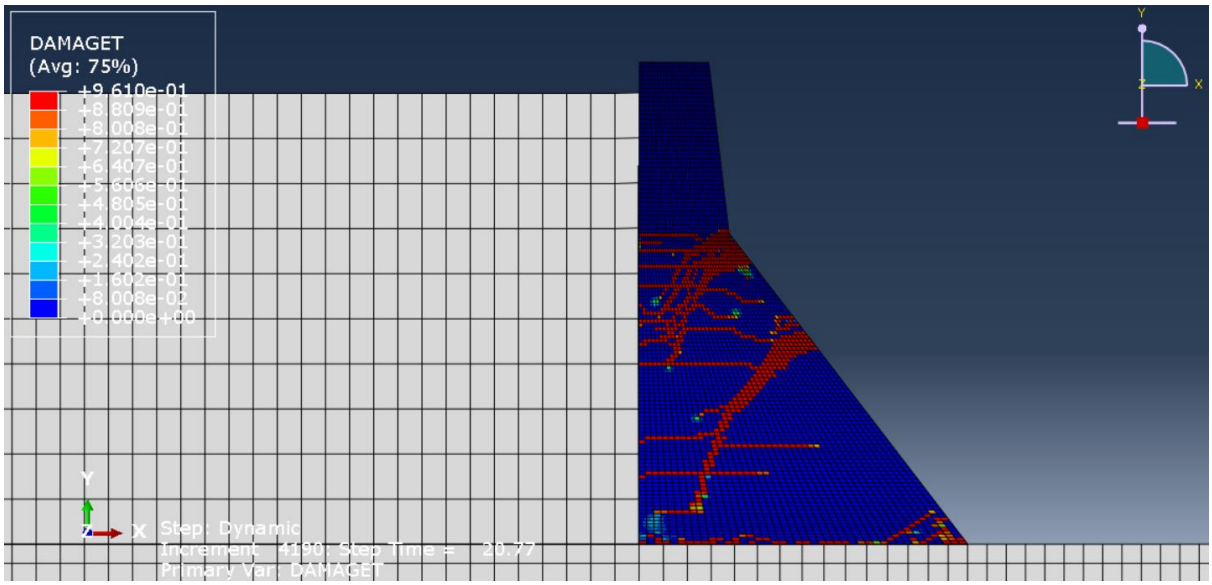
تنش فون میزس



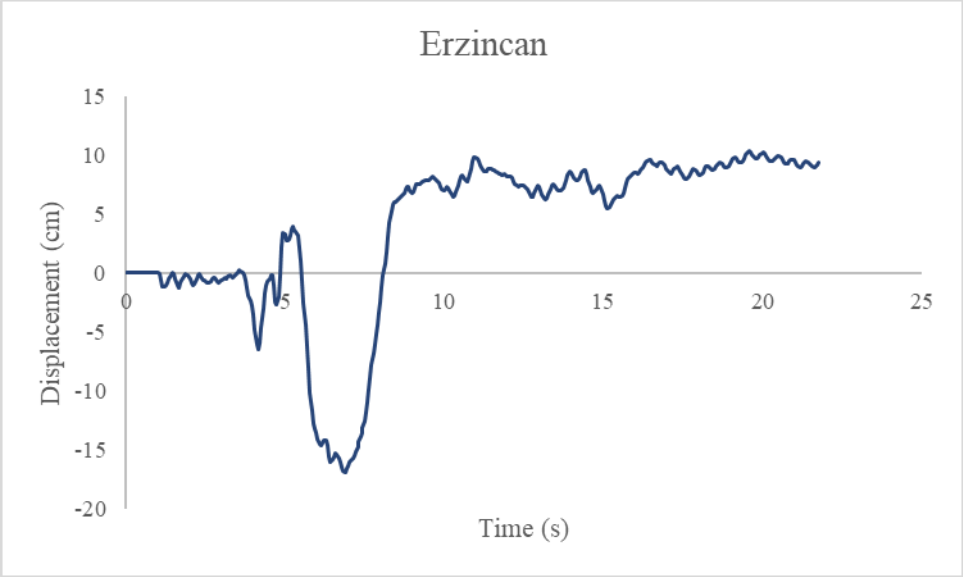
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

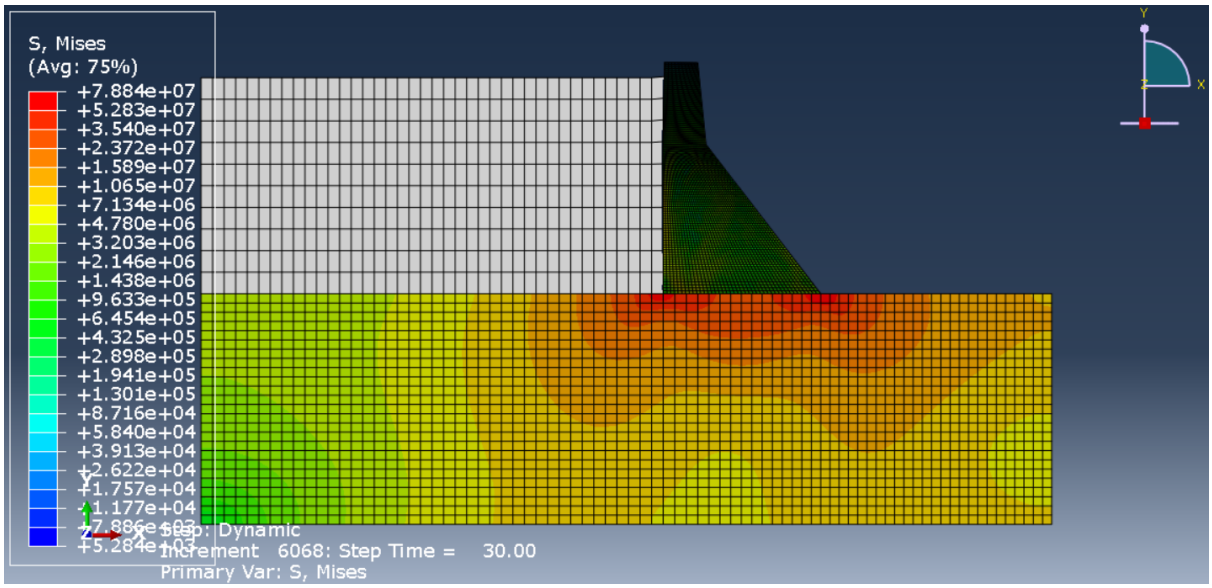


خرابی کششی

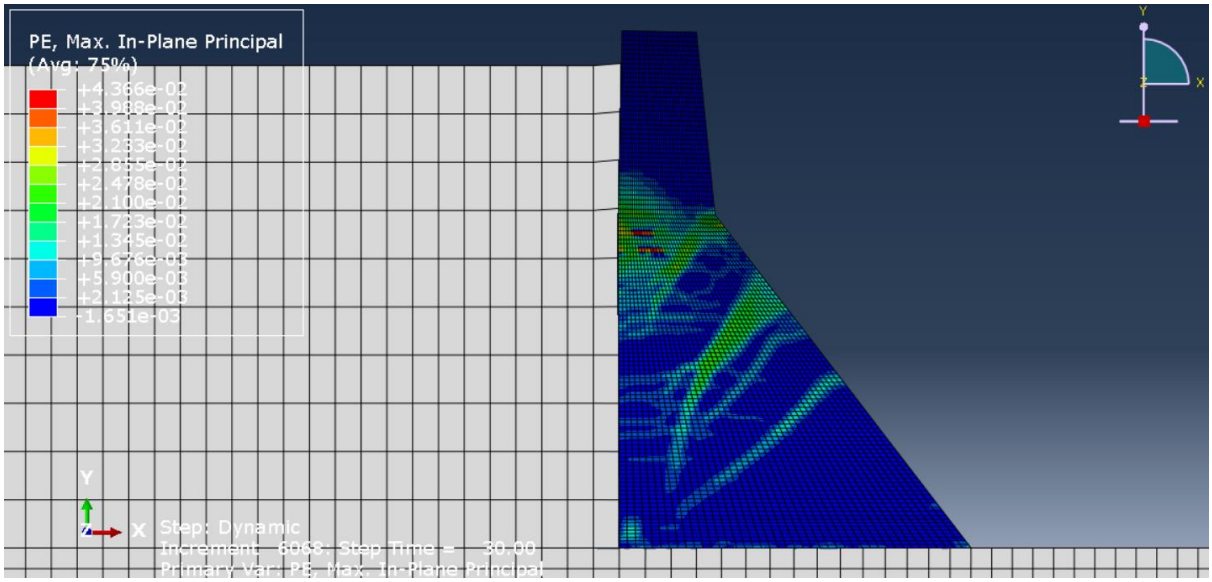


نمودار جابجایی تاج سد

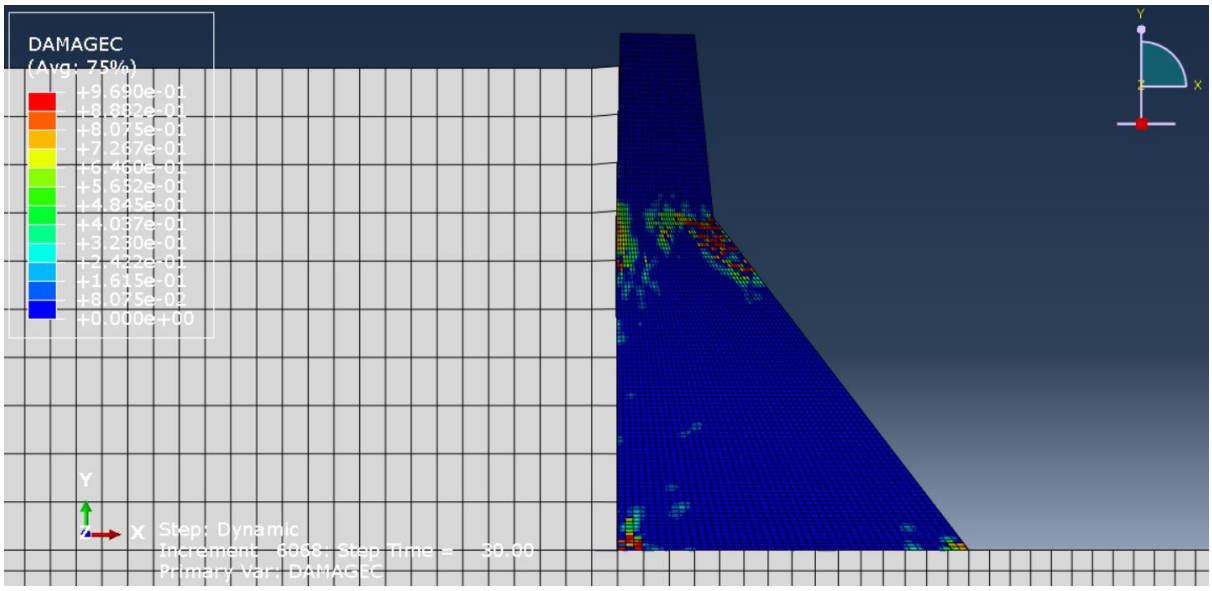
- زلزله ***Izmit***



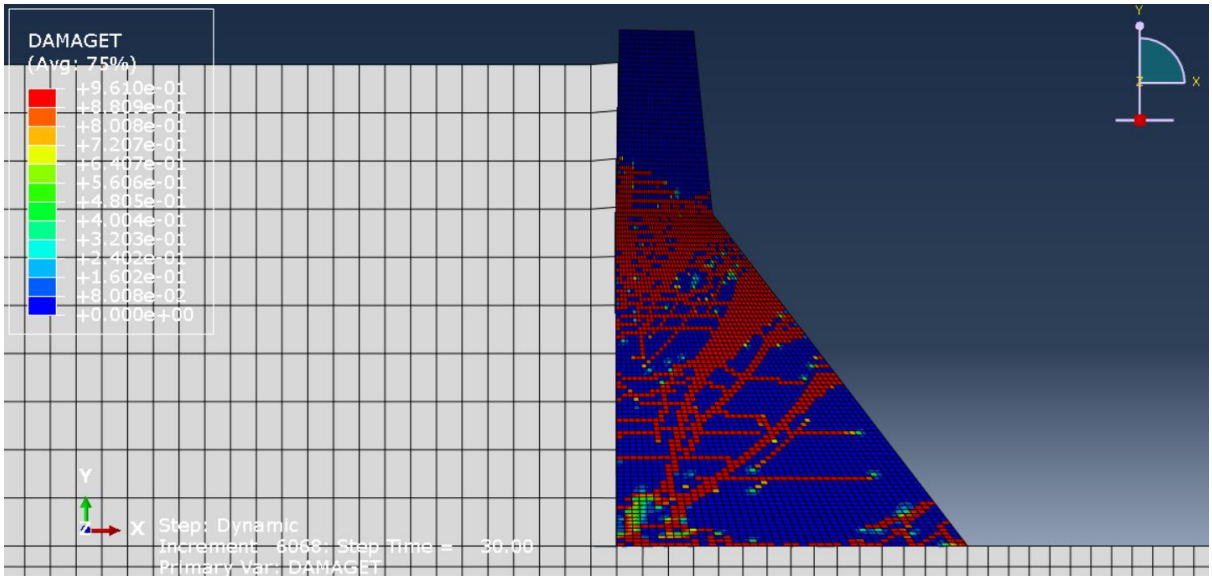
تنش فون میزس



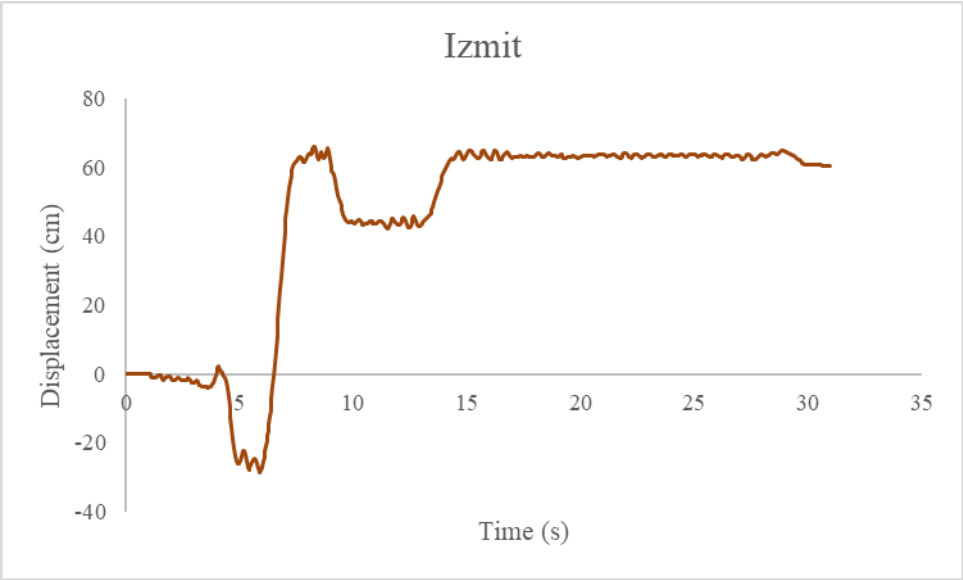
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

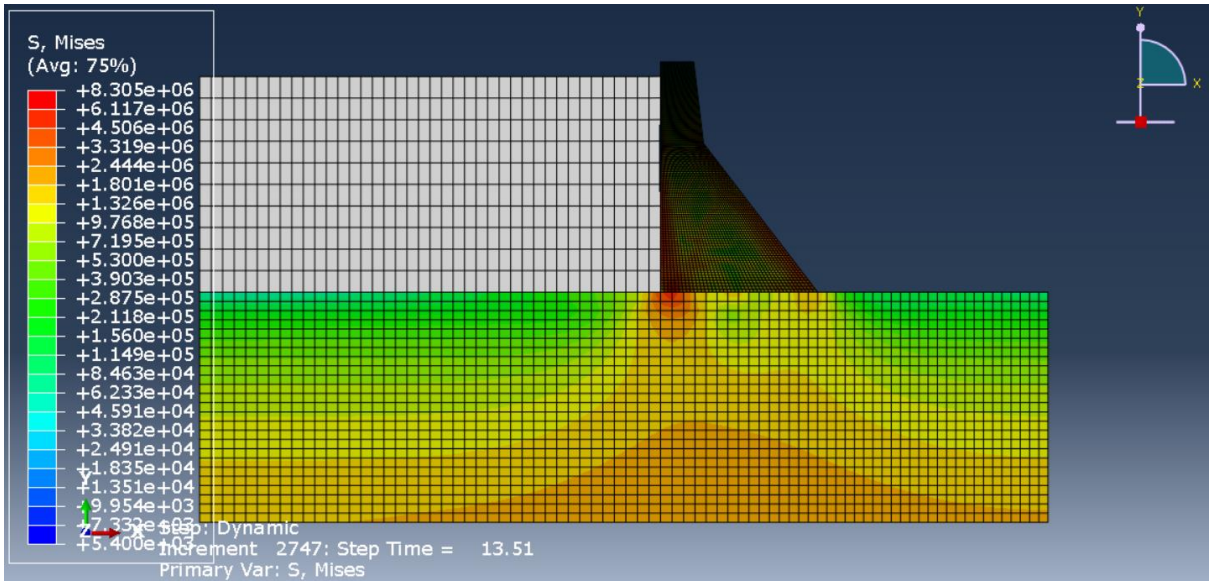


خرابی کششی

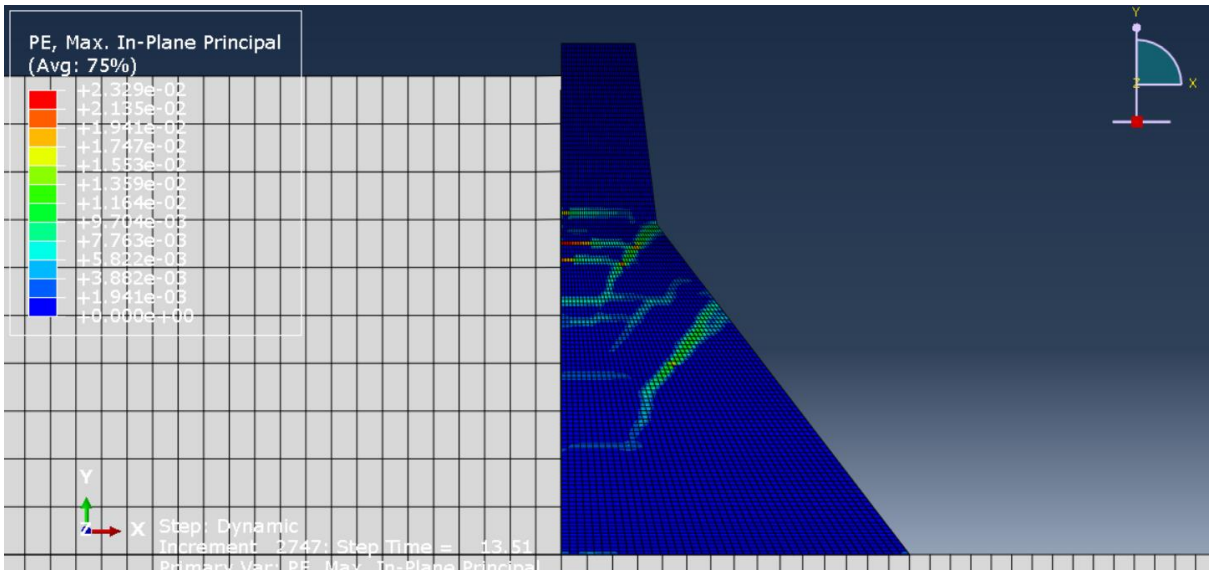


نمودار جابجایی تاج سد

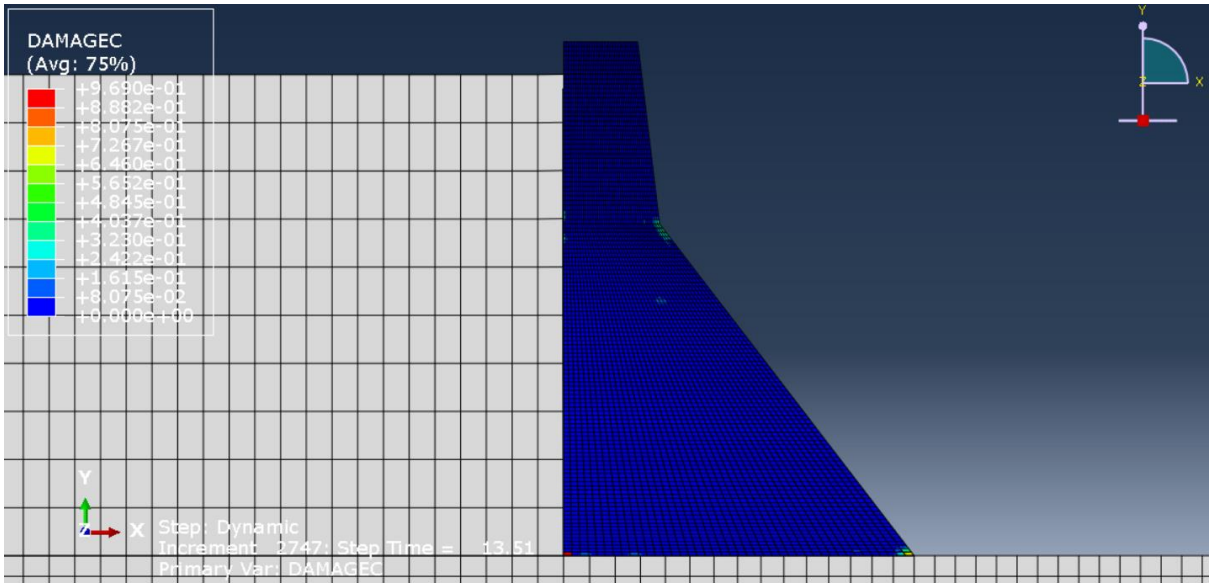
- زلزله ***Karakyr***



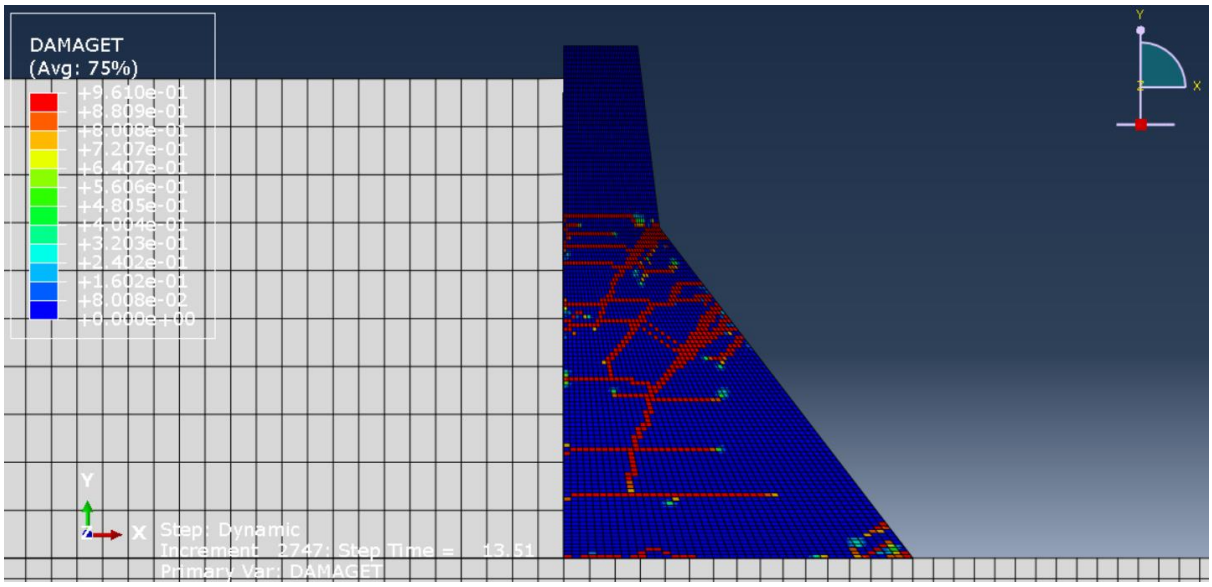
تنش فون میزس



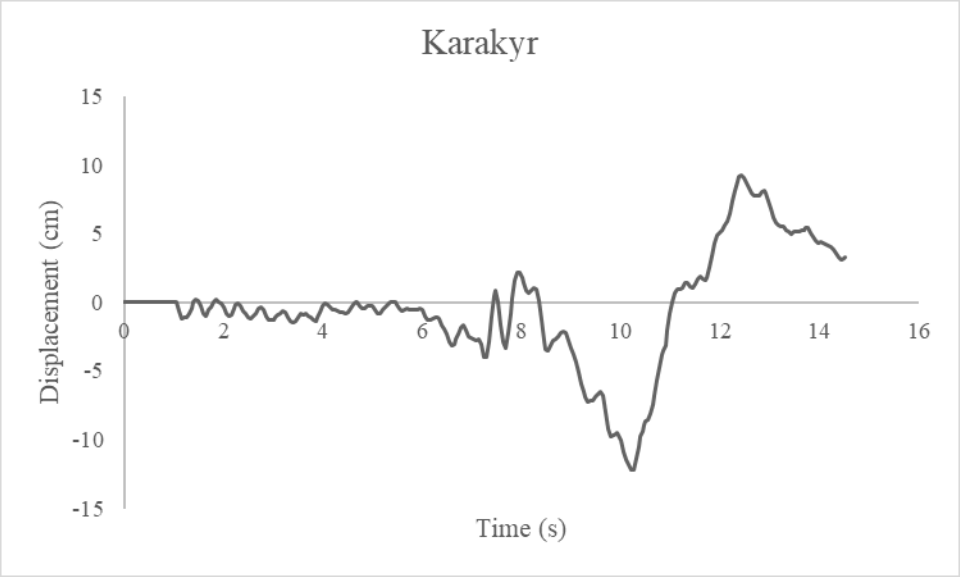
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

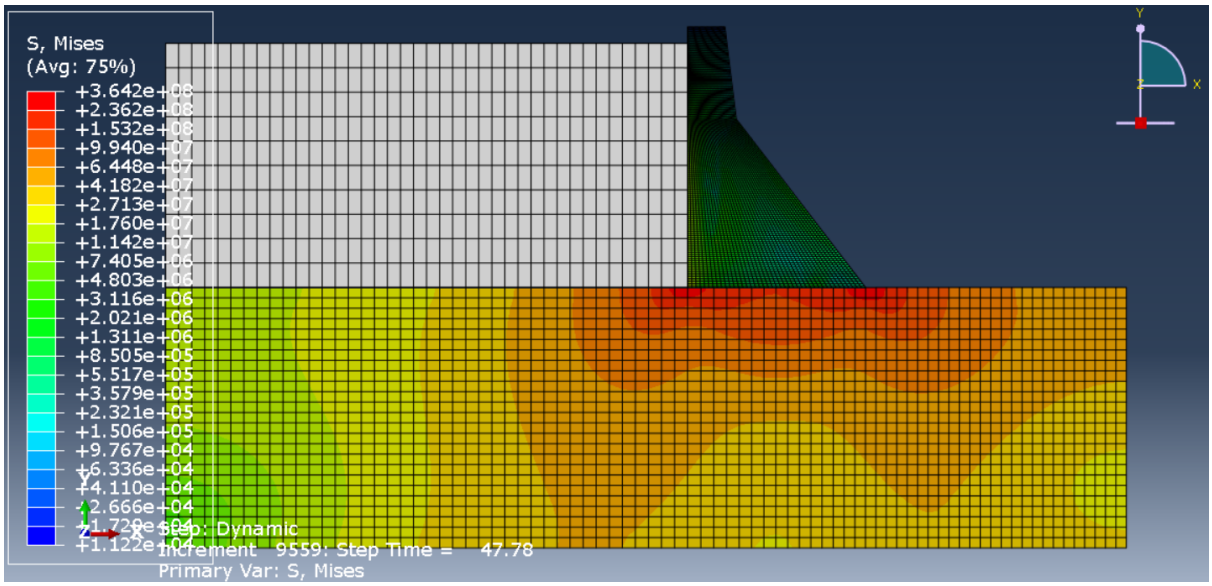


خرابی کششی

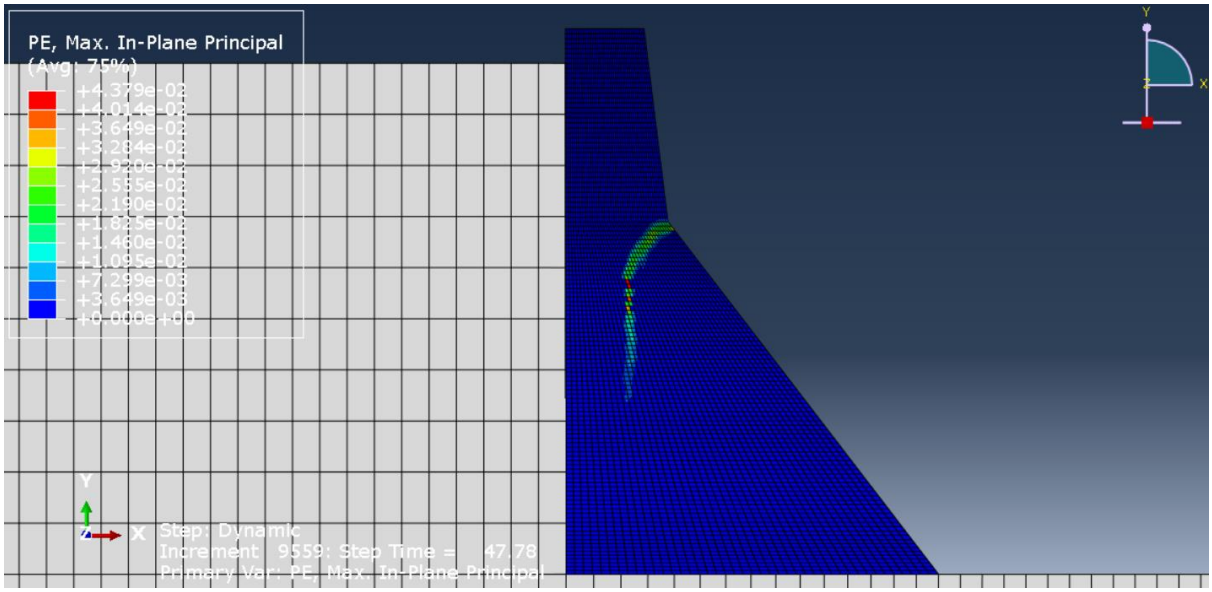


نمودار جابجایی تاج سد

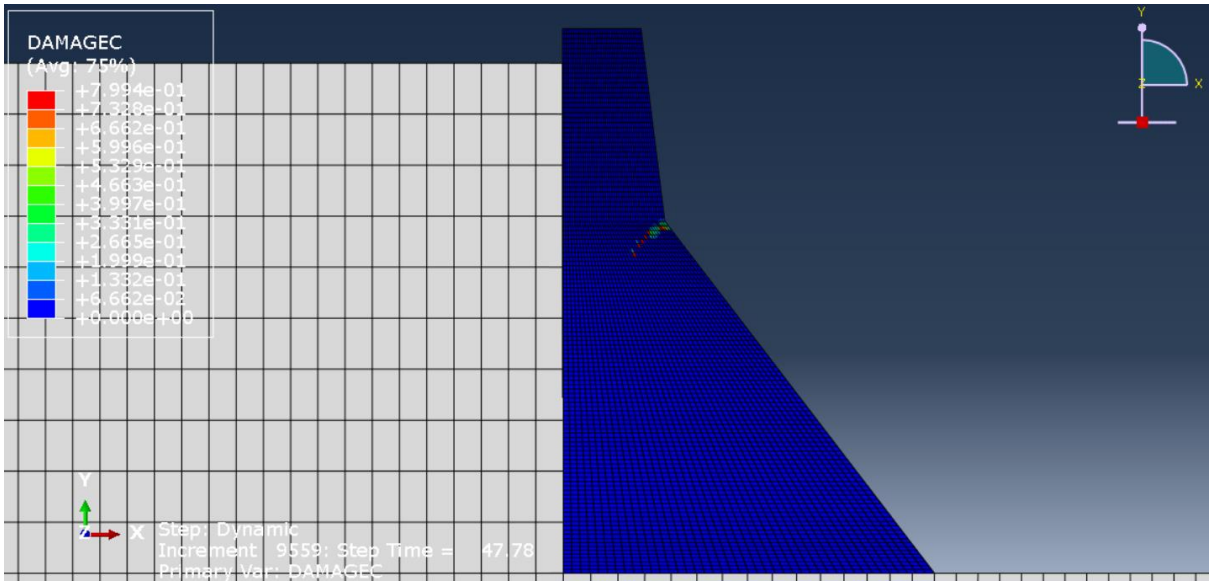
- زلزله ***LA Sepulveda***



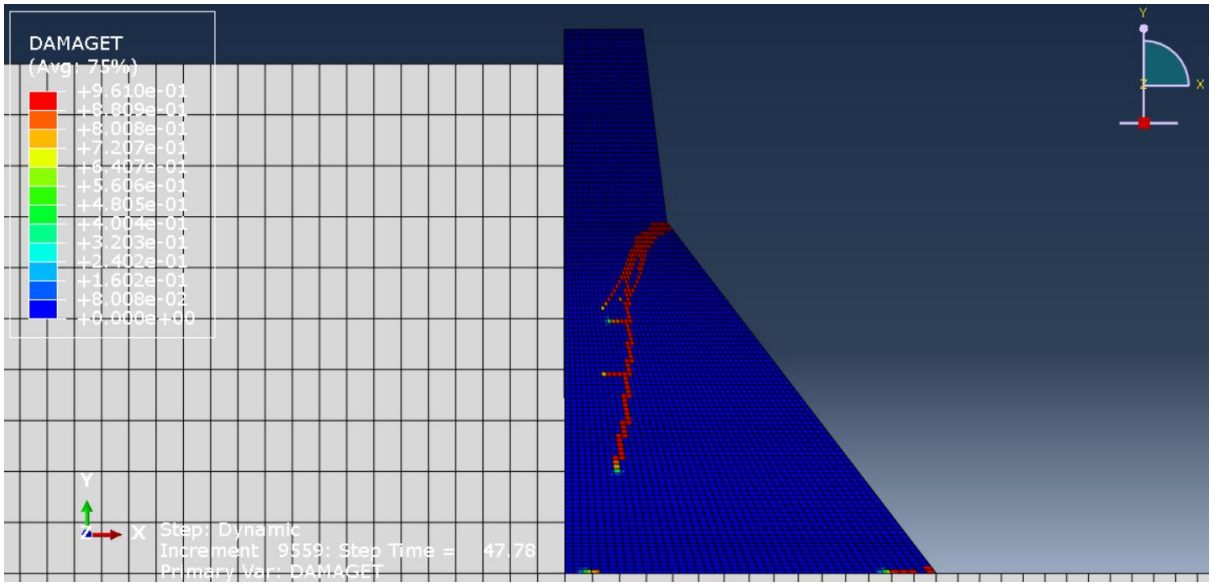
تنش فون میزس



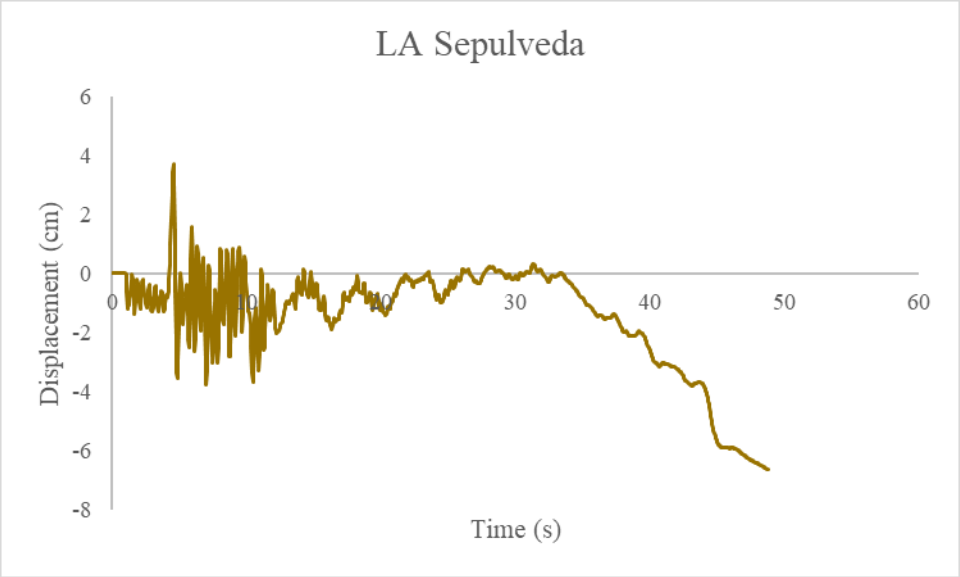
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

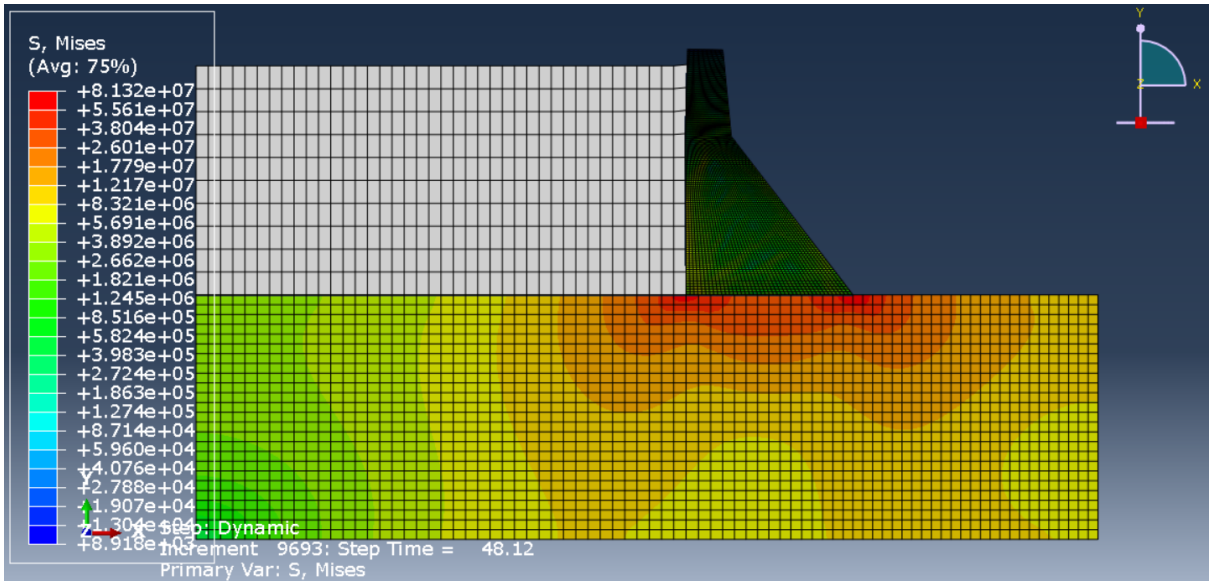


خرابی کششی

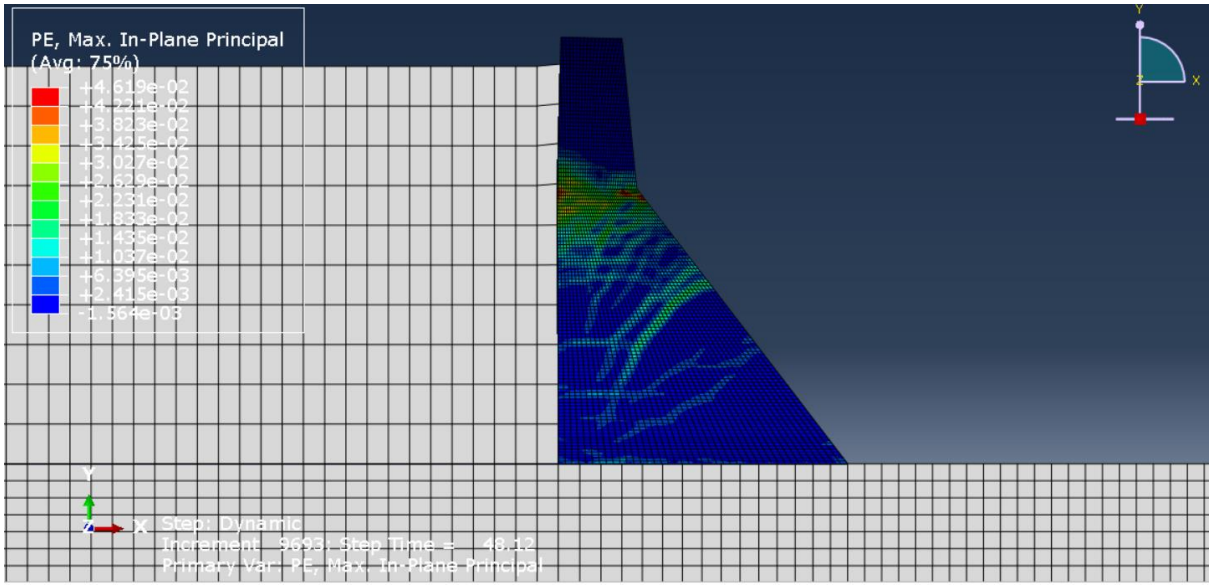


نمودار جابجایی تاج سد

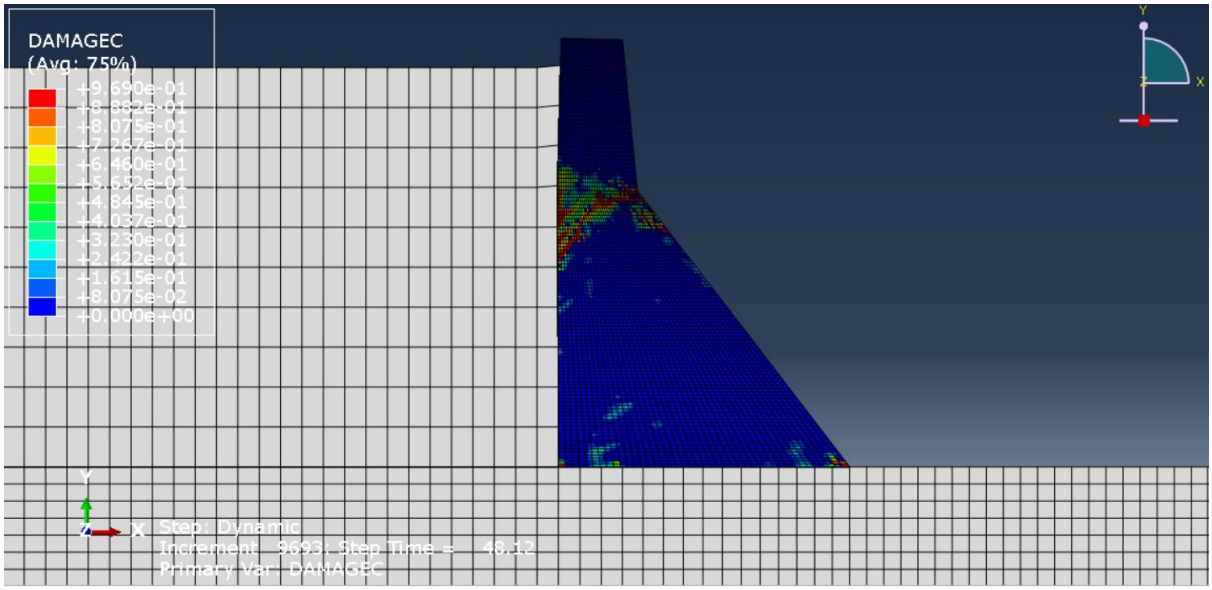
- زلزله *Lucerne*



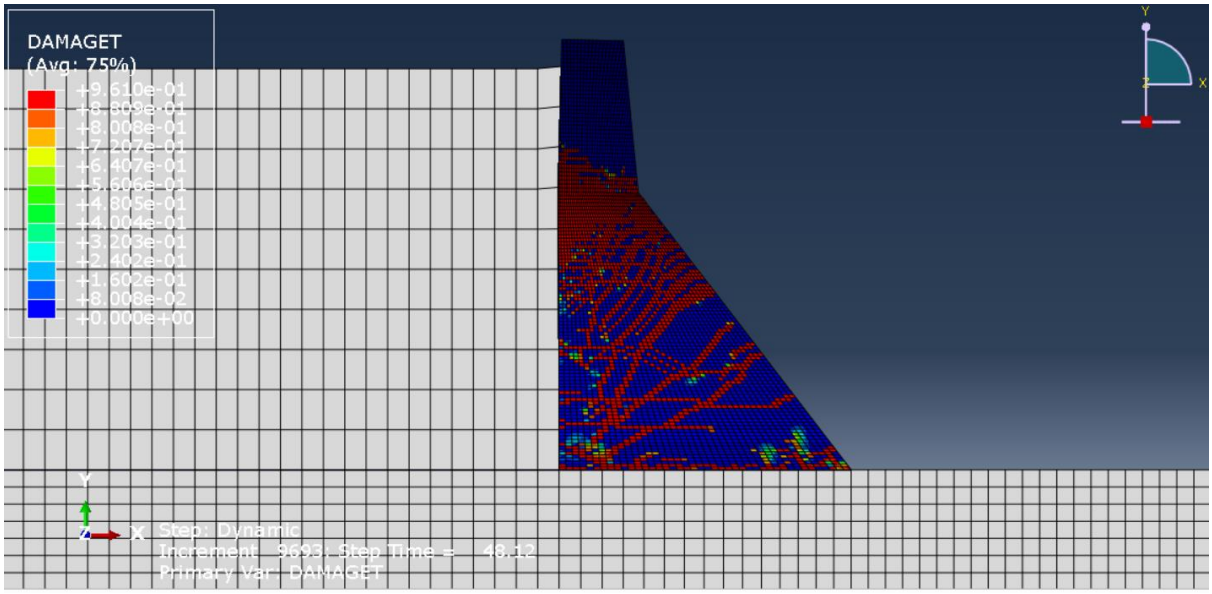
تنش فون میزس



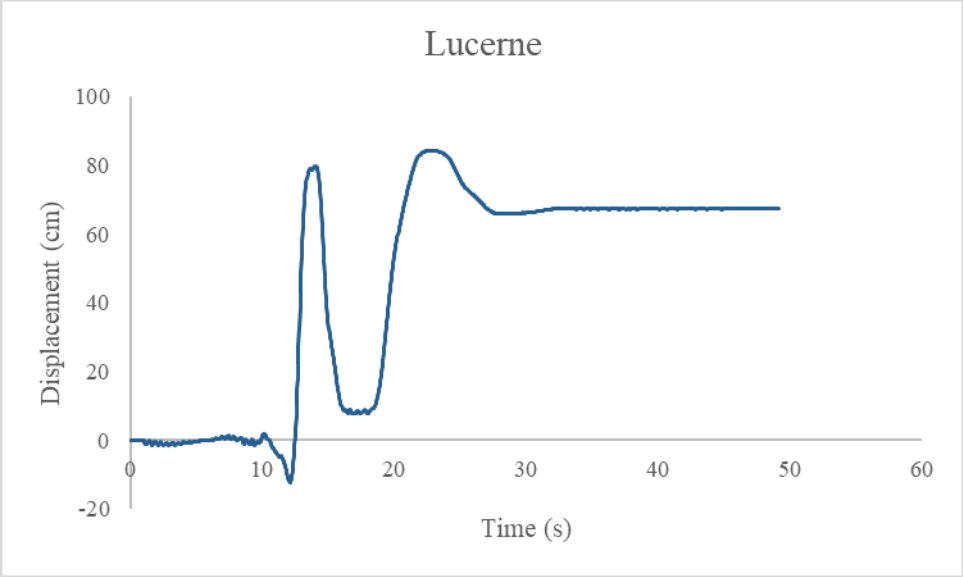
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

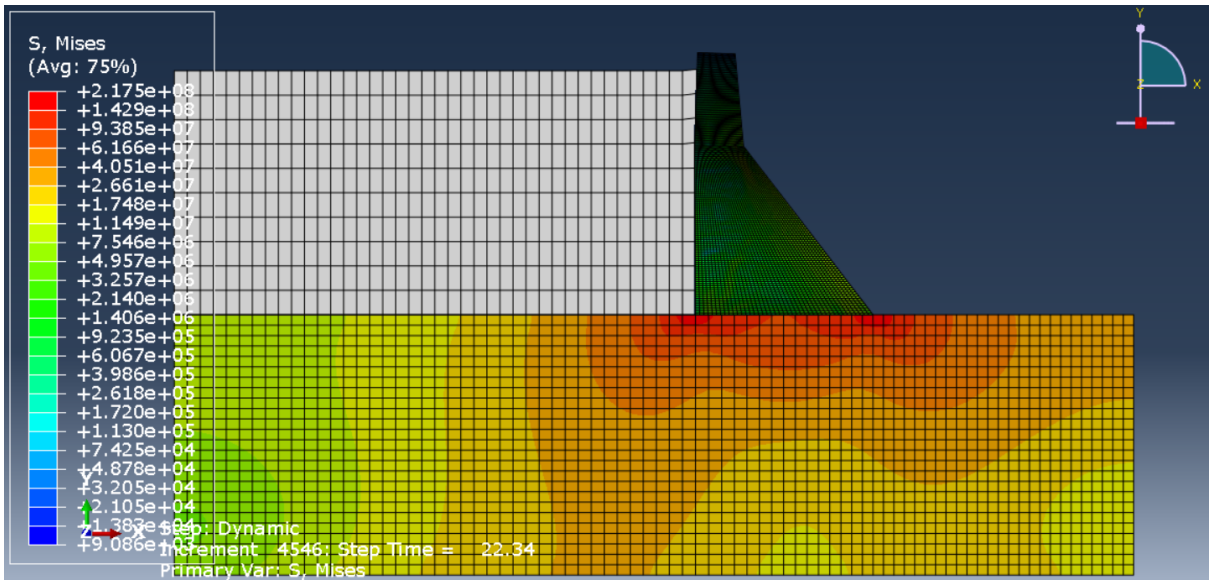


خرابی کششی

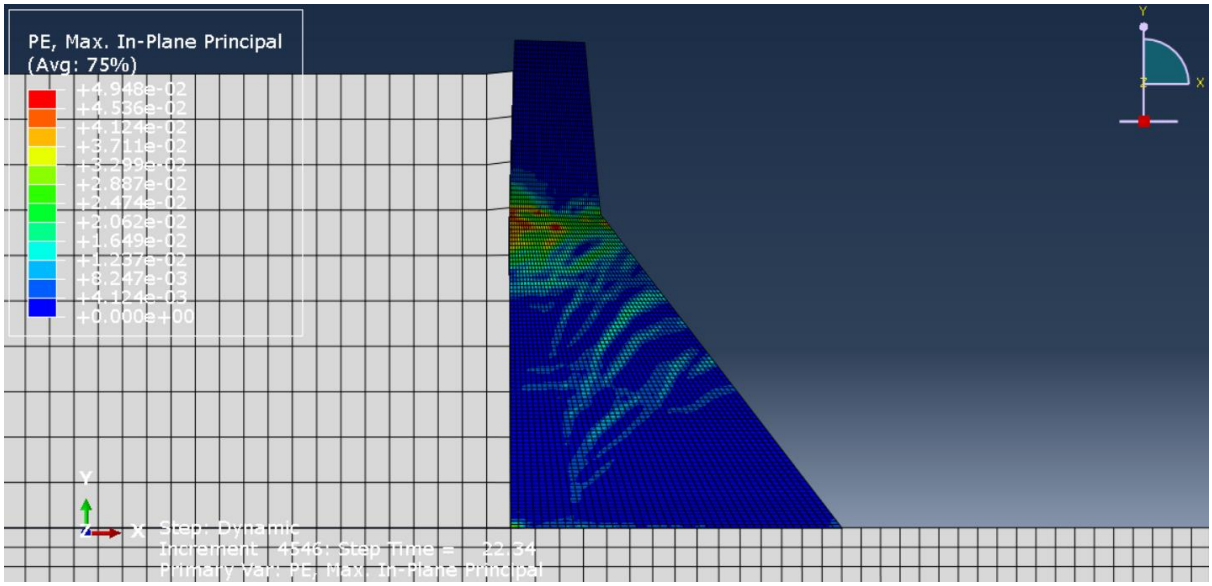


نمودار جابجایی تاج سد

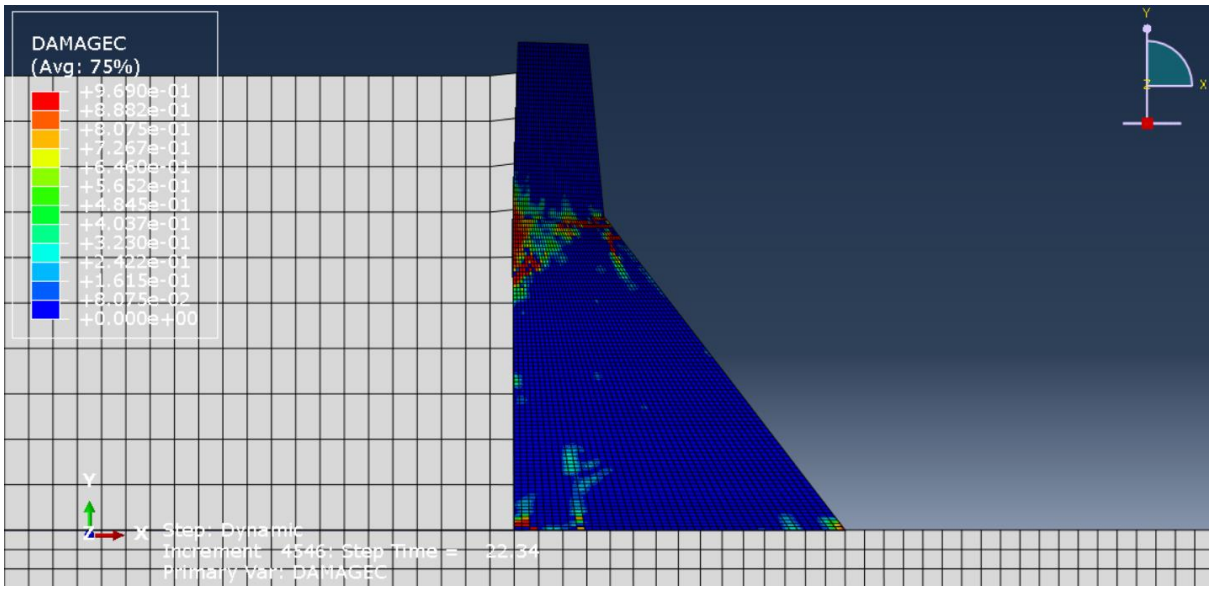
- زلزله ***Parachute Test Site***



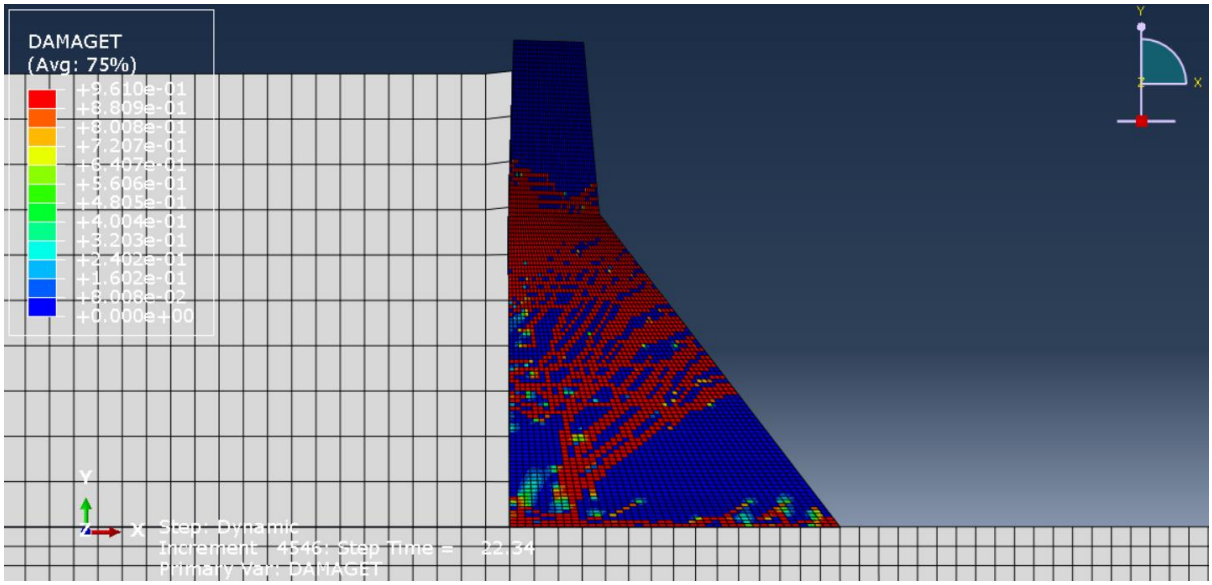
تنش فون میزس



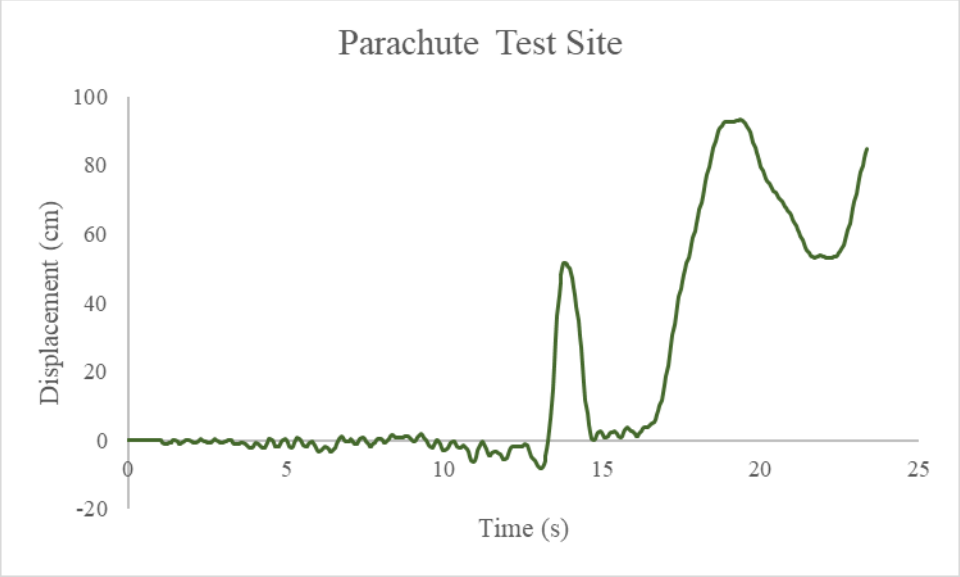
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

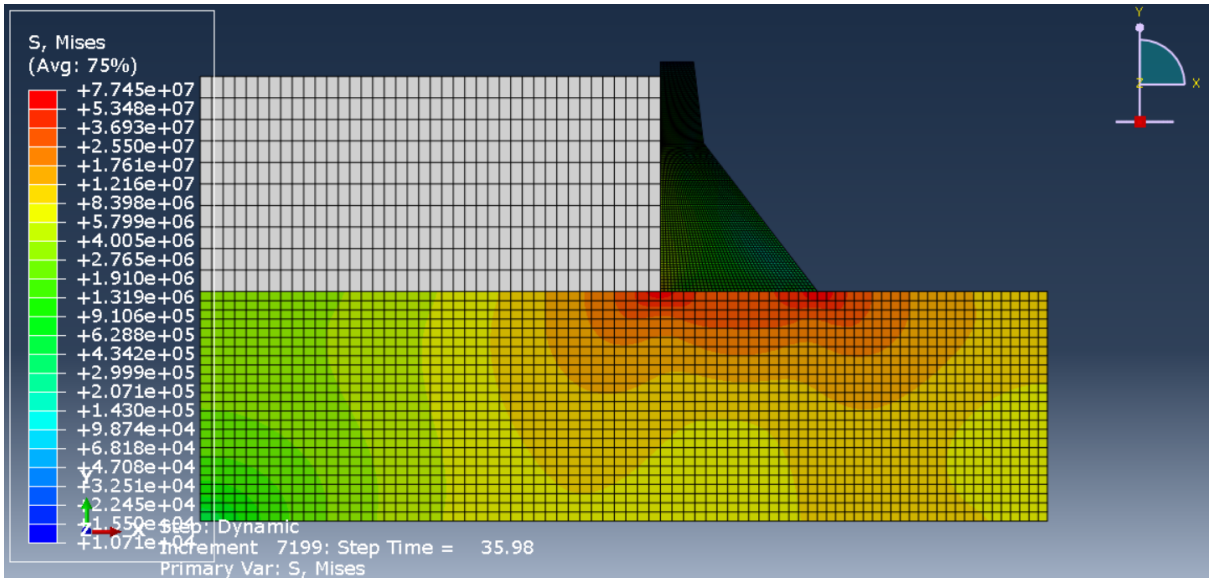


خرابی کششی

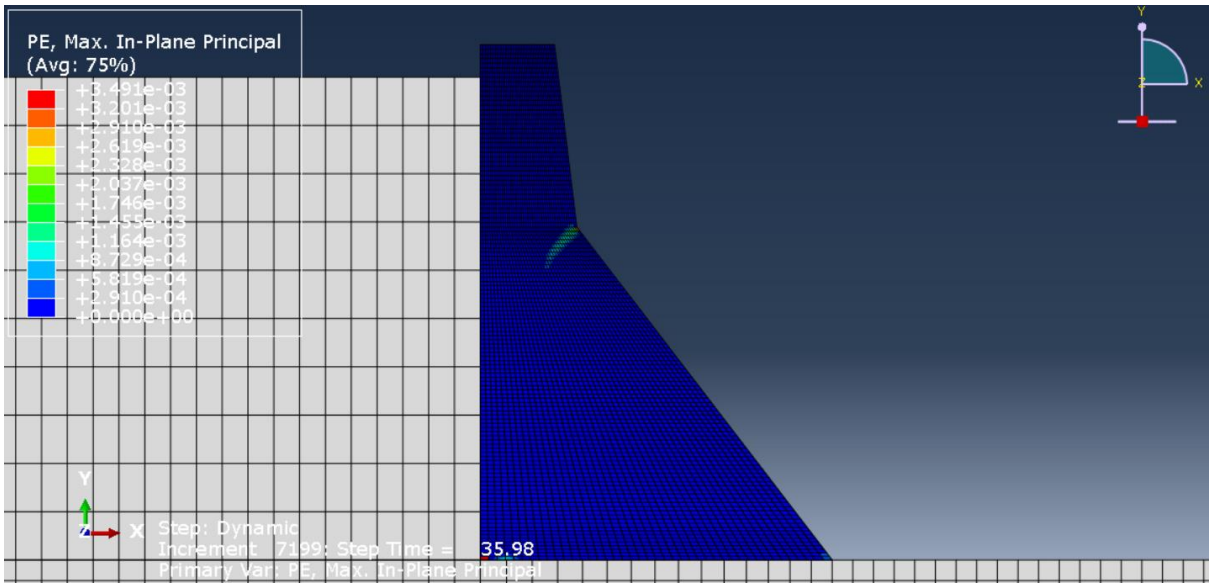


نمودار جابجایی تاج سد

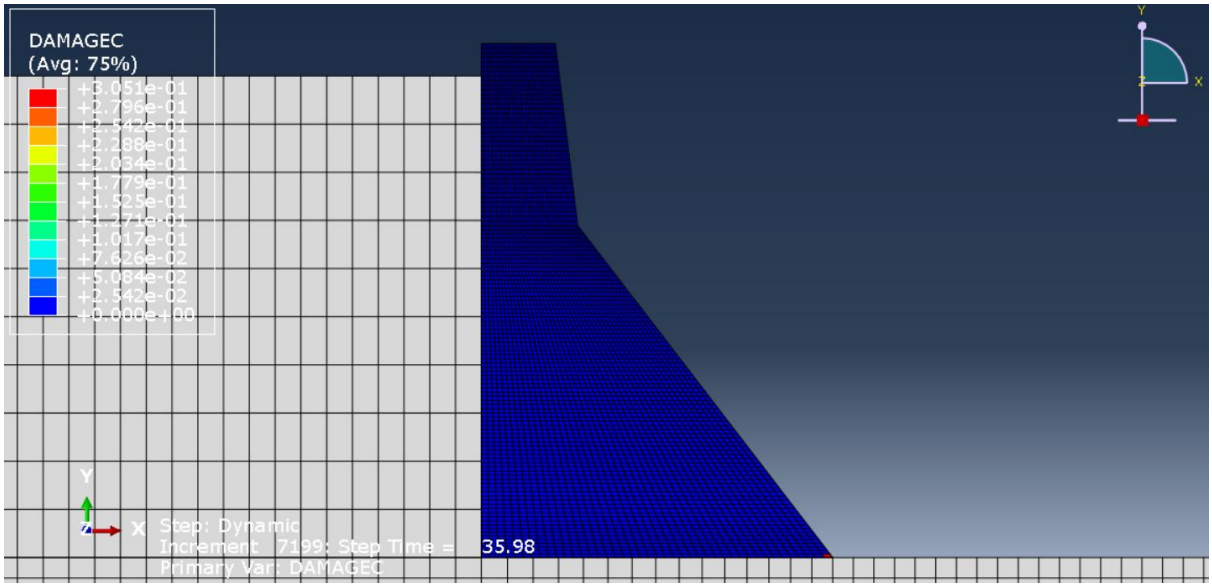
- زلزله ***Petrolia***



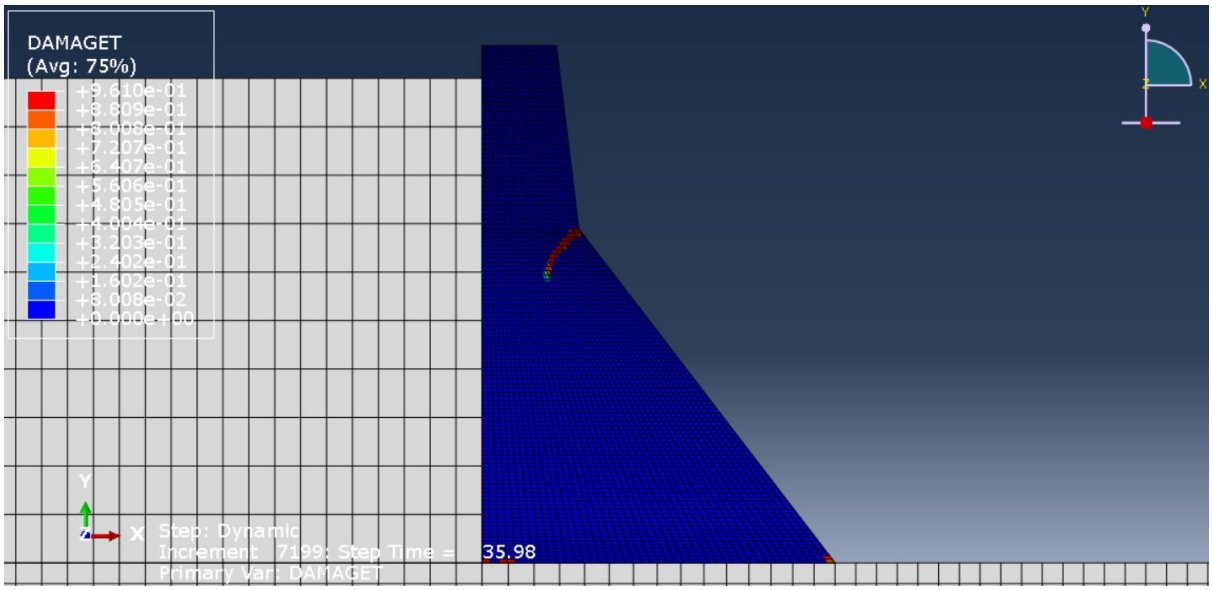
تنش فون میزس



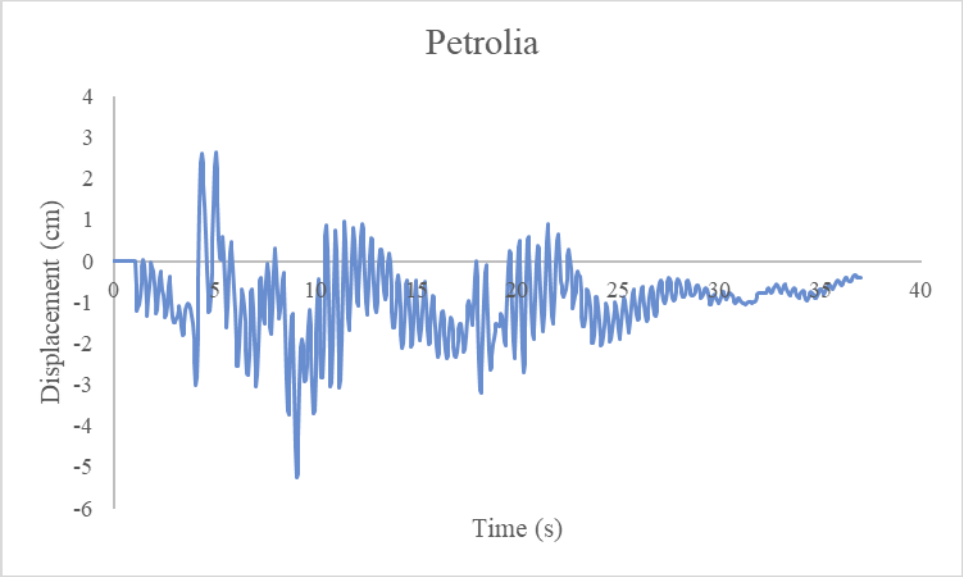
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

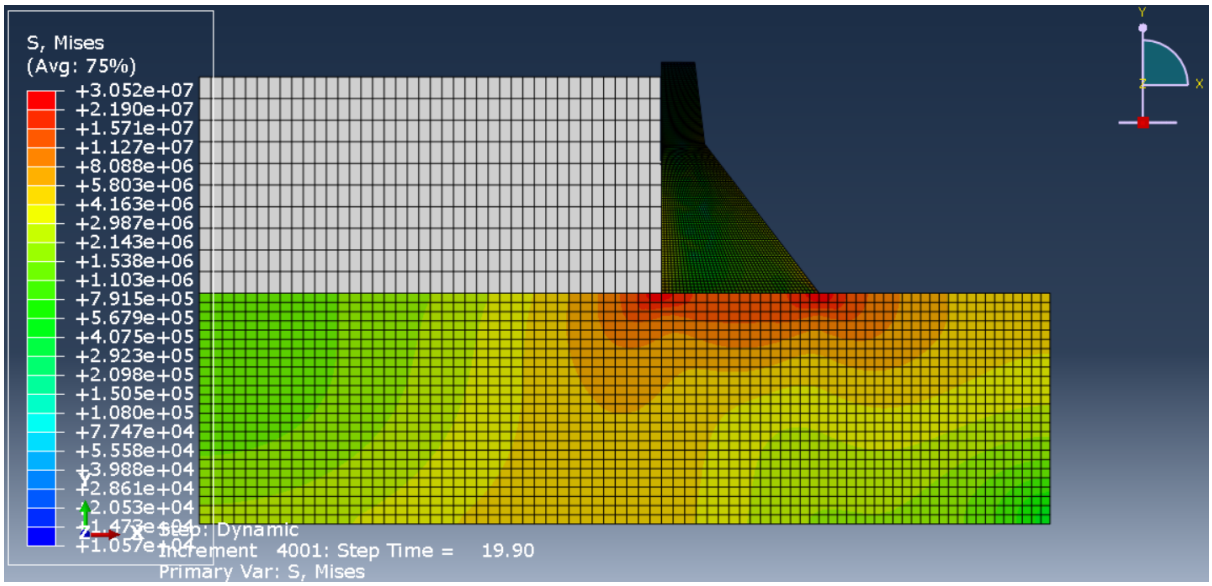


خرابی کششی

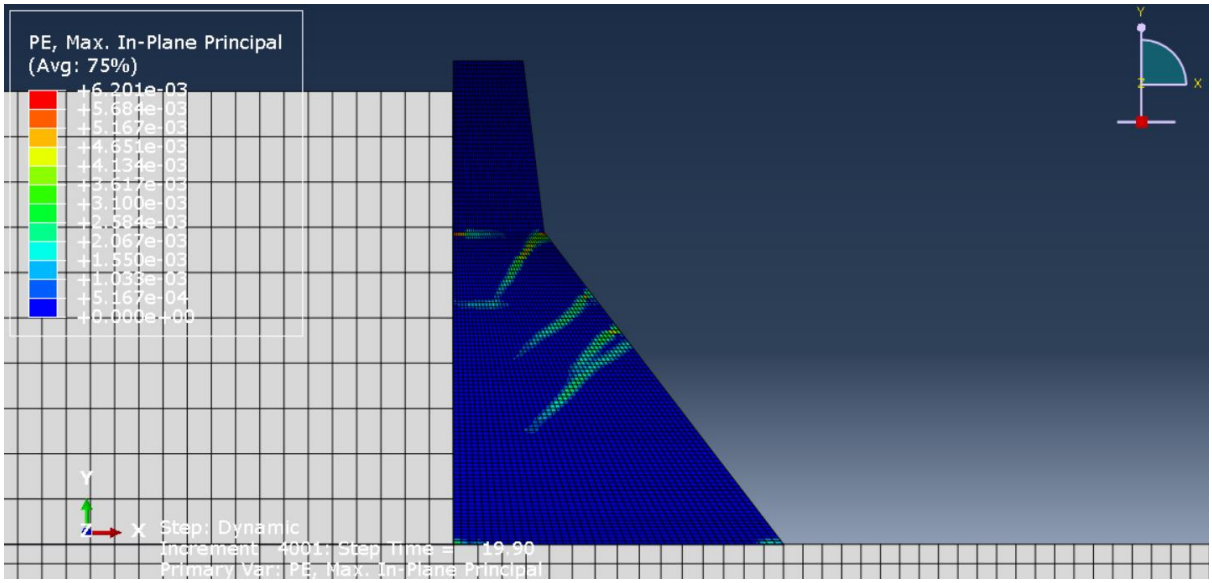


نمودار جابجایی تاج سد

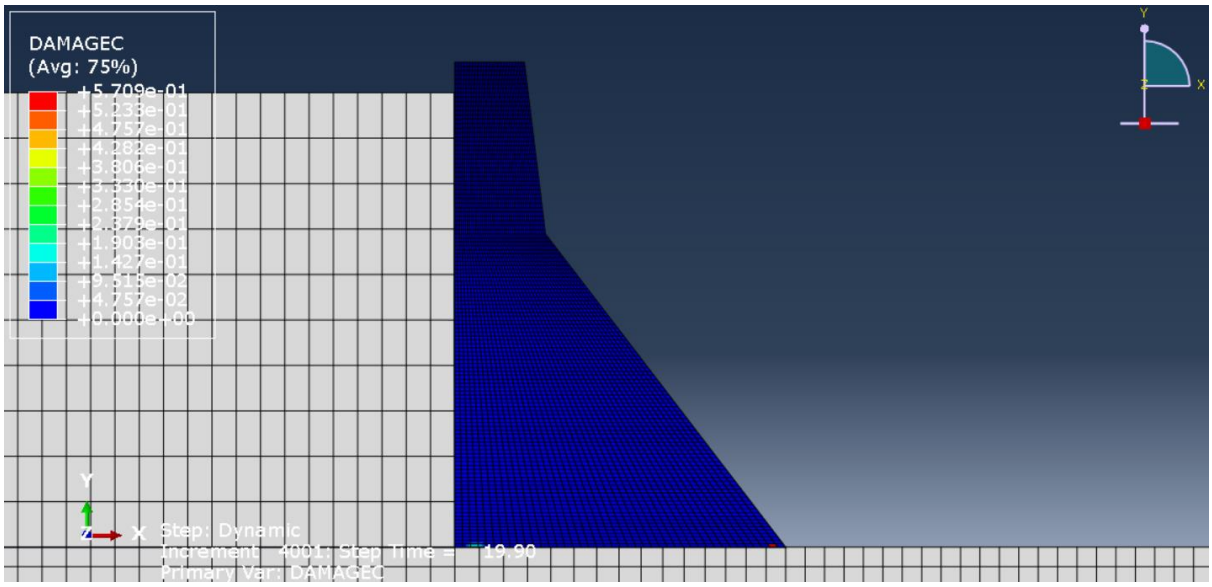
- زلزله ***Rinaldi Receiving Sta***



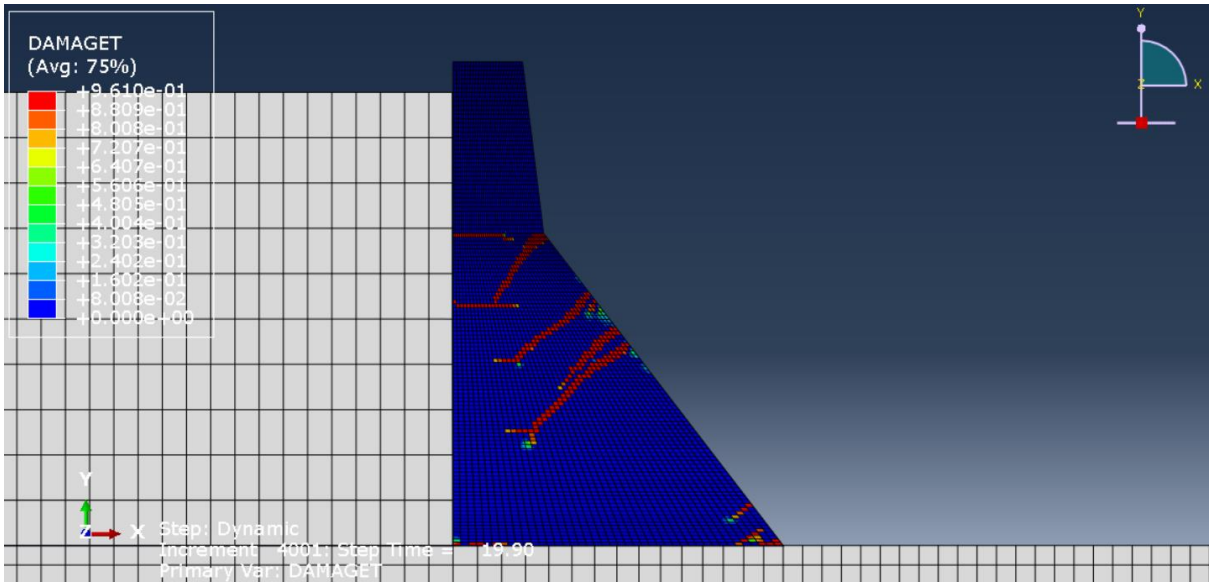
تنش فون میزس



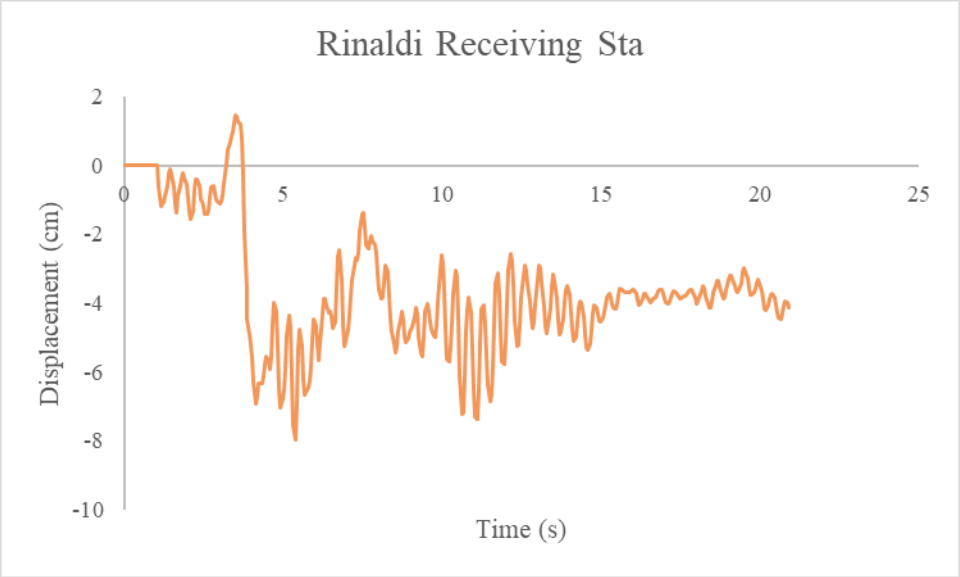
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

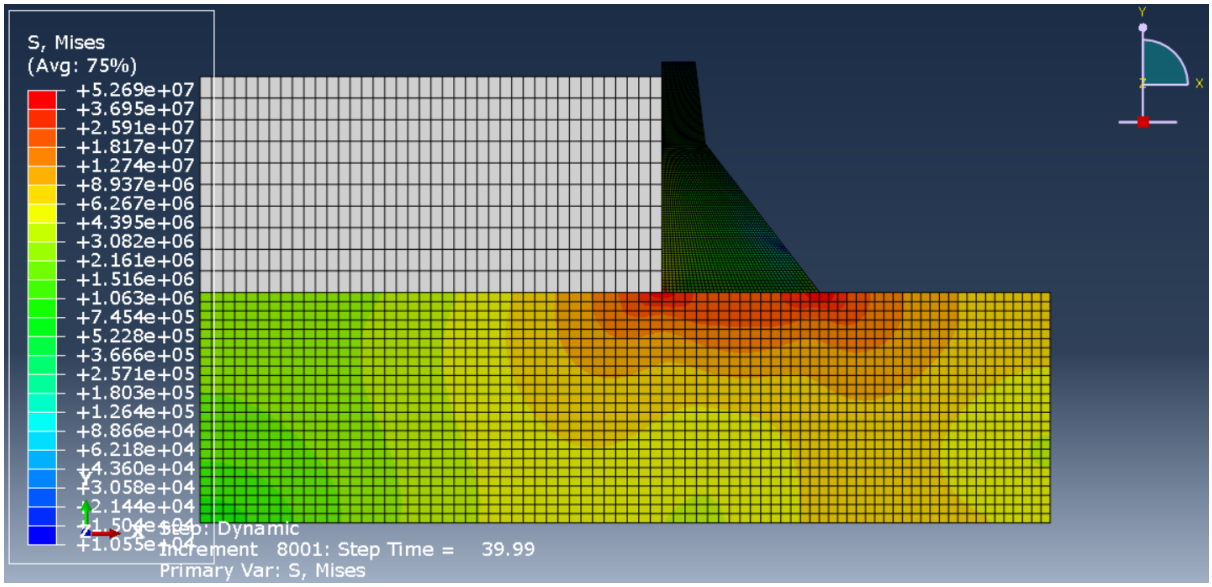


خرابی کششی

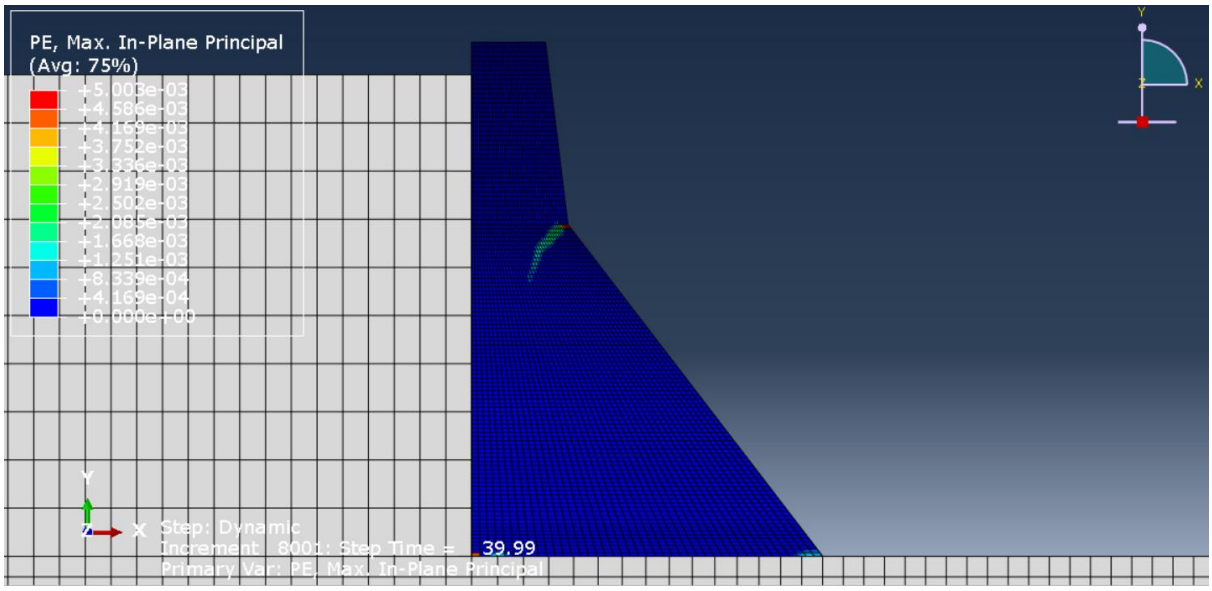


نمودار جابجایی تاج سد

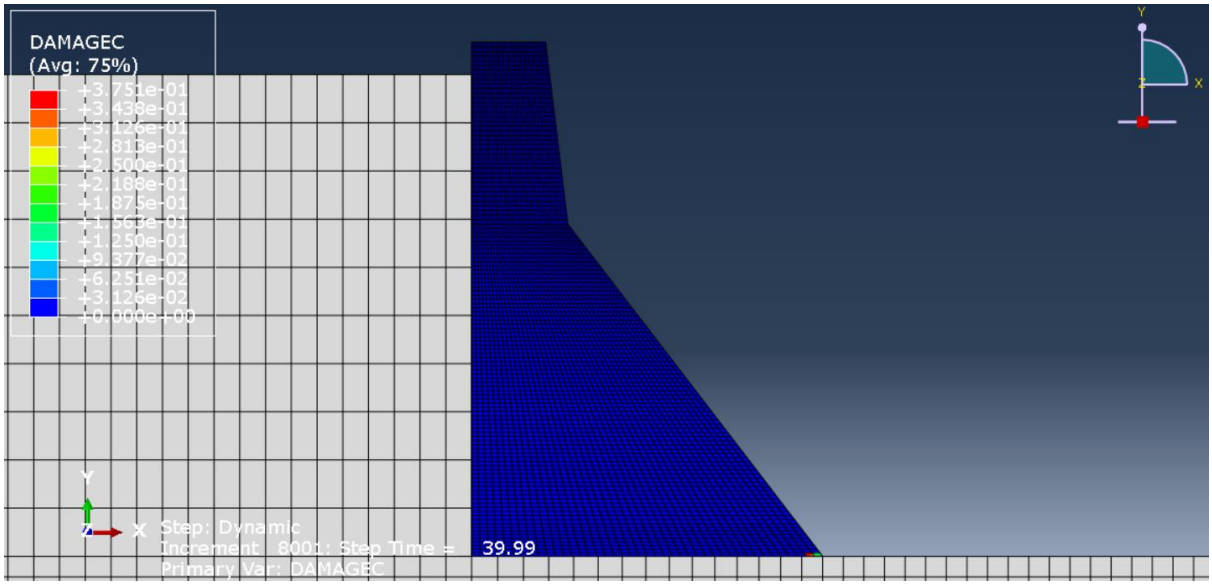
- زلزله *Saratoga*



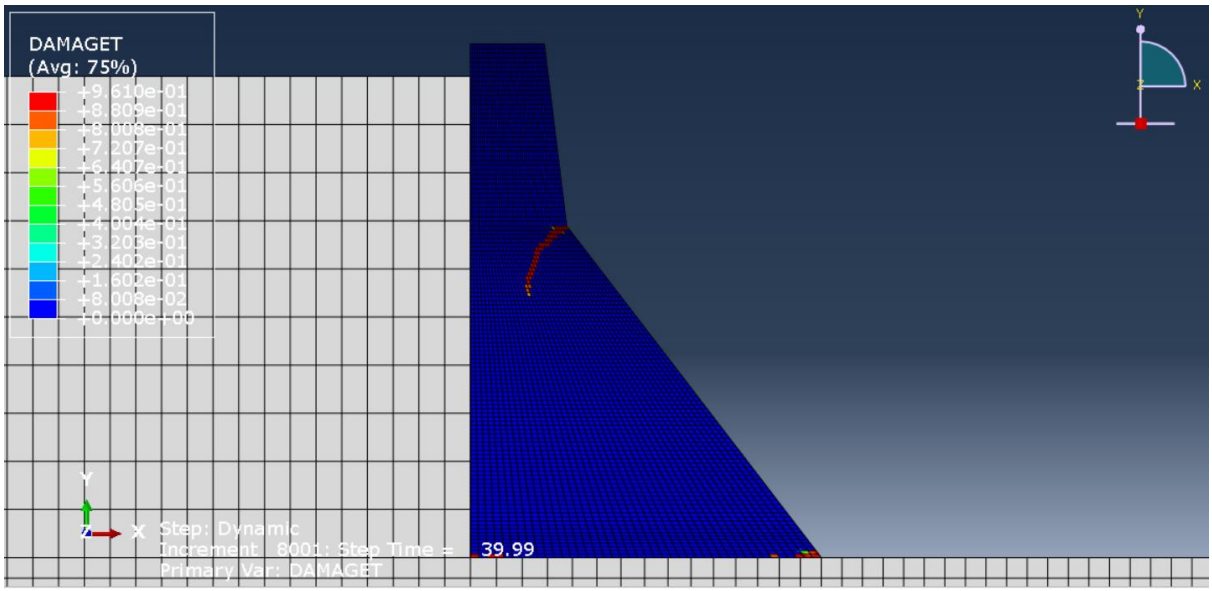
تنش فون میزس



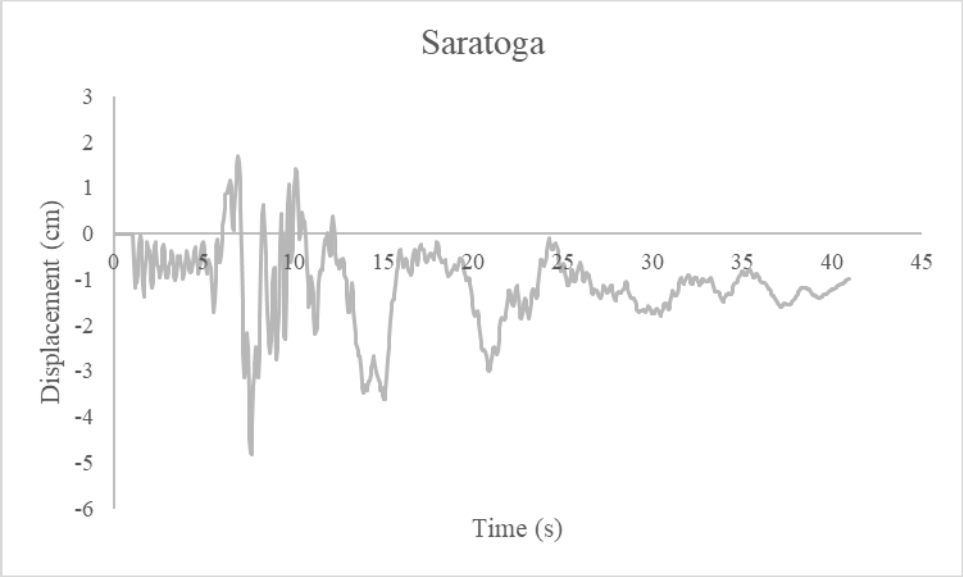
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

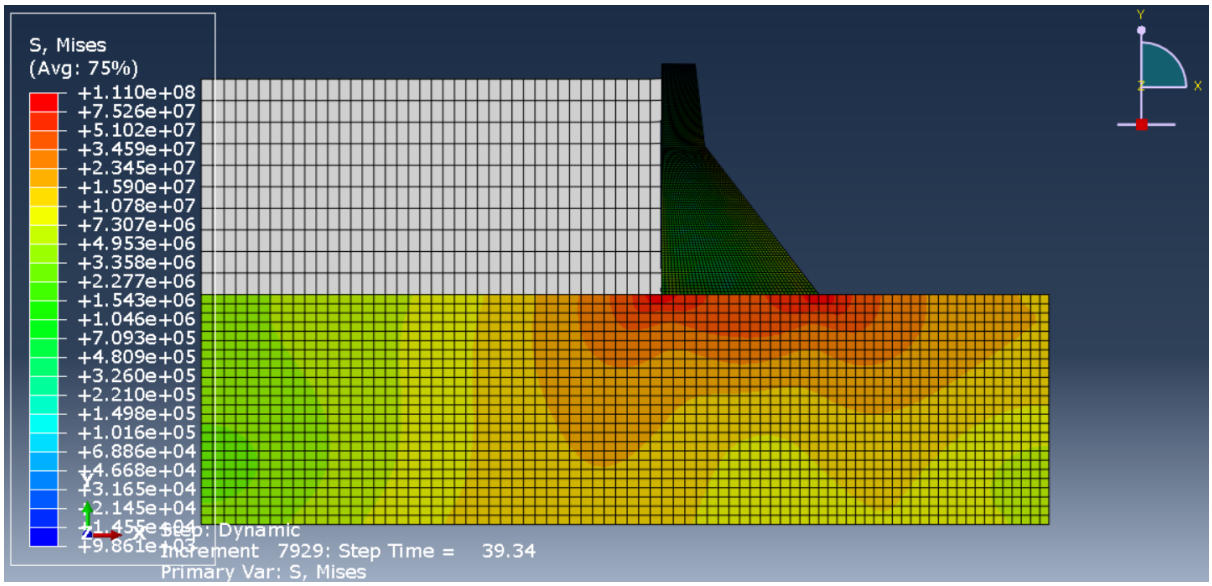


خرابی کششی

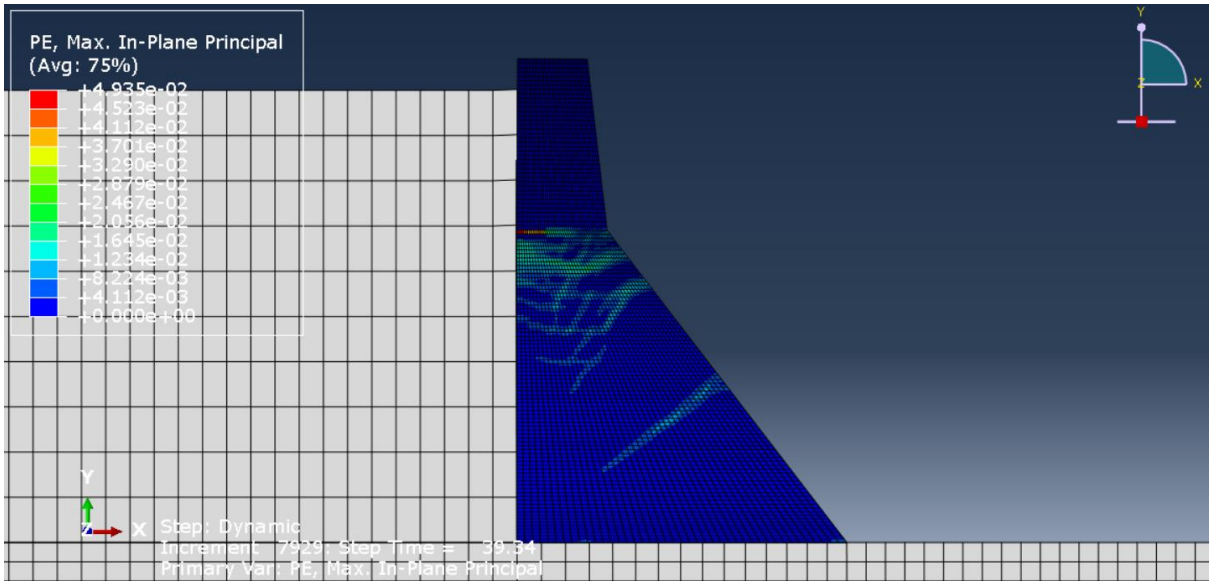


نمودار جابجایی تاج سد

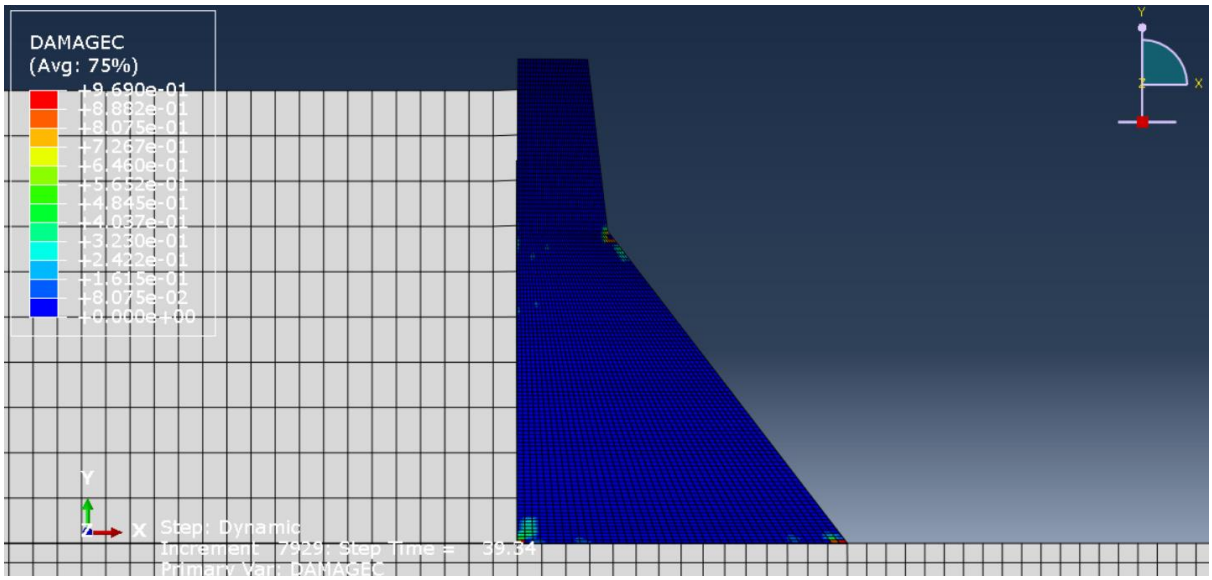
- زلزله ***Sturno***



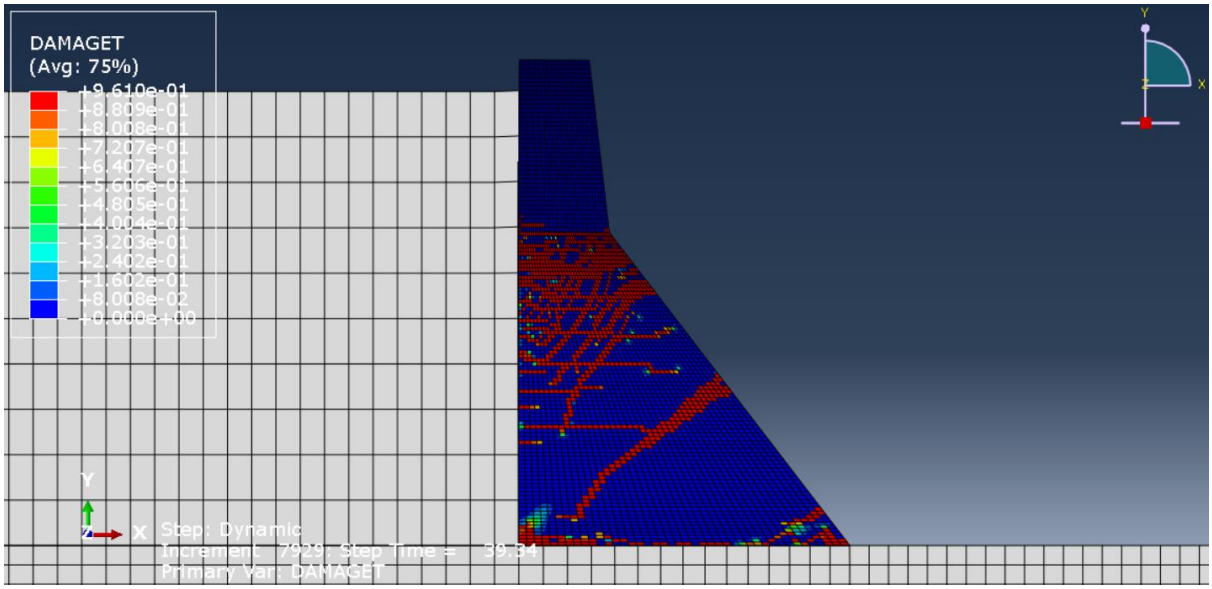
تنش فون میزس



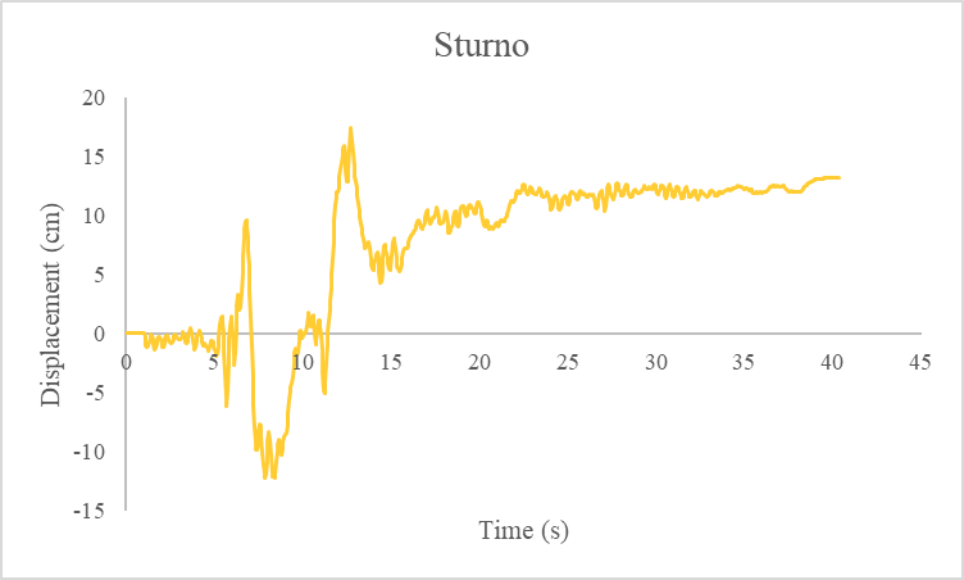
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

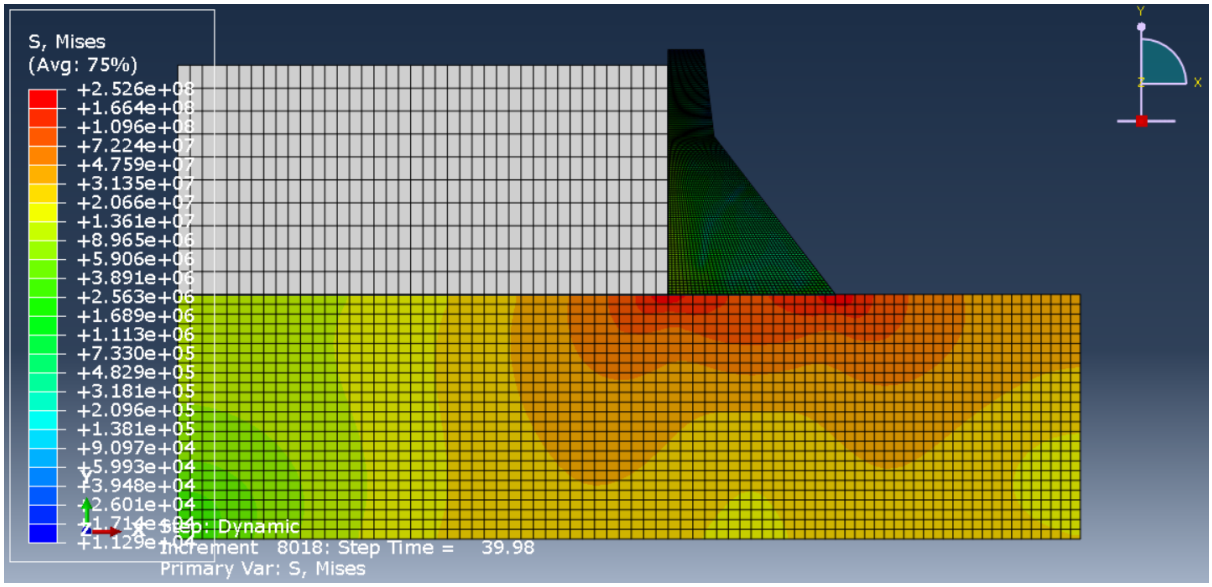


خرابی کششی

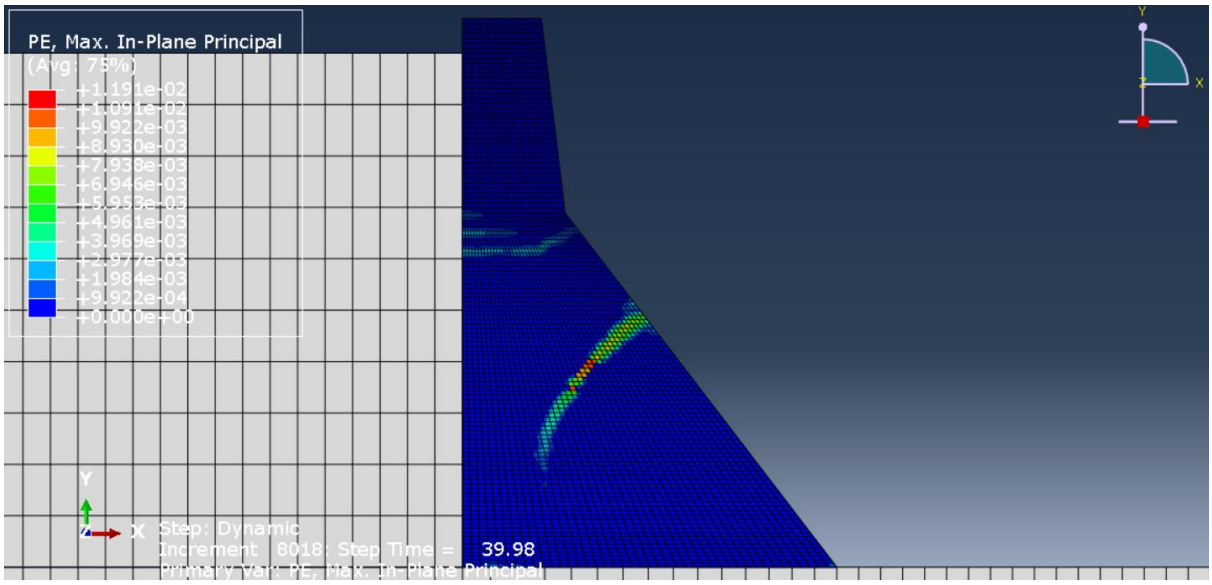


نمودار جابجایی تاج سد

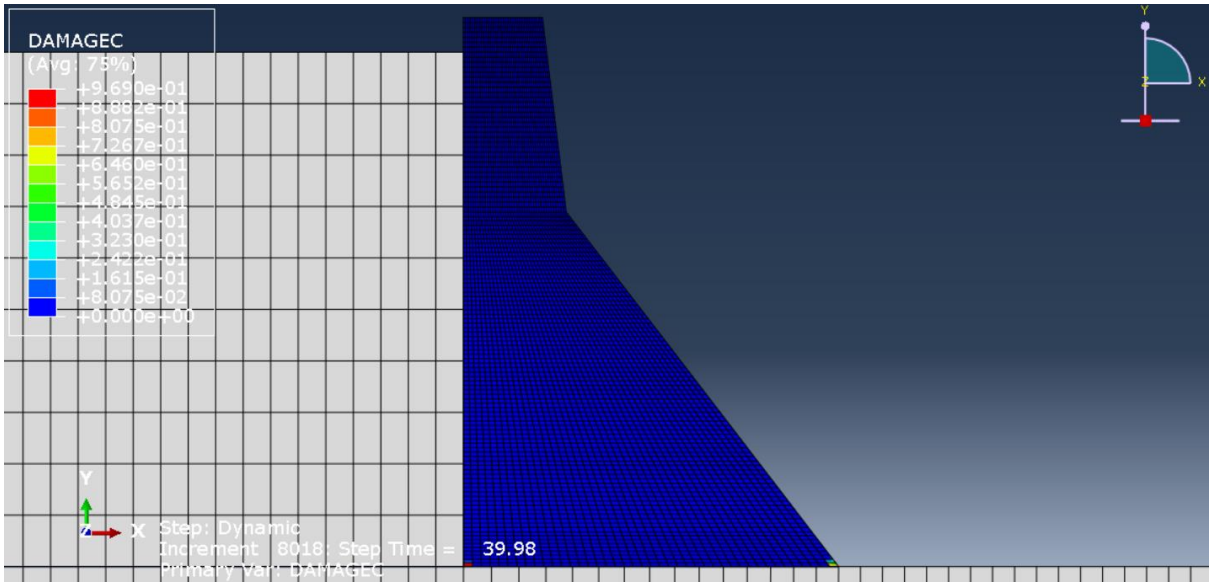
- زلزله *Symlar Olive View*



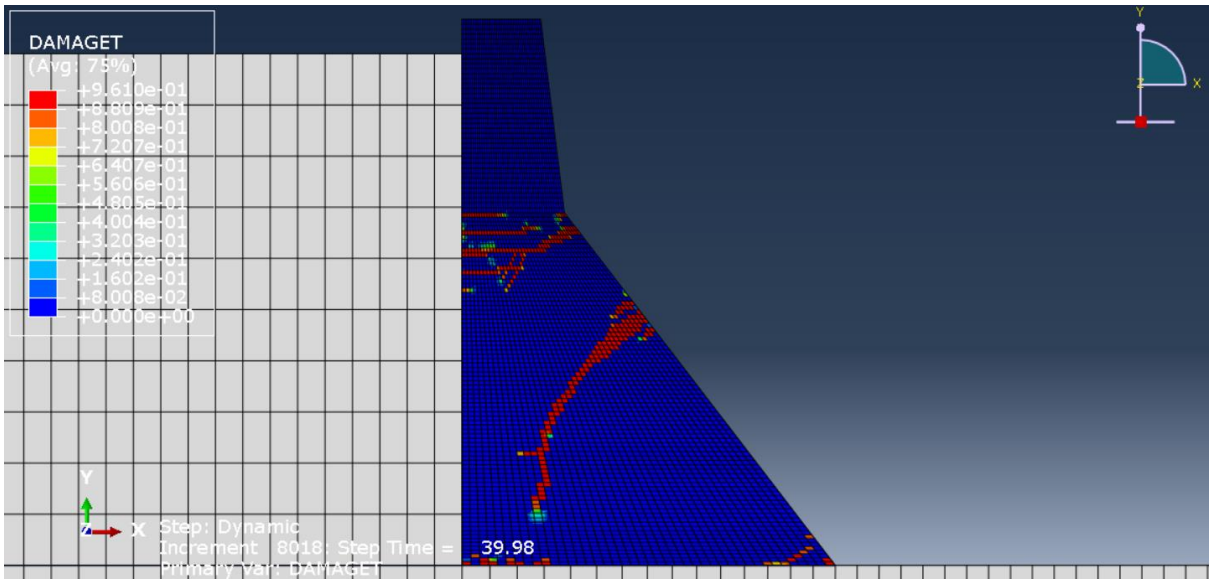
تنش فون میزس



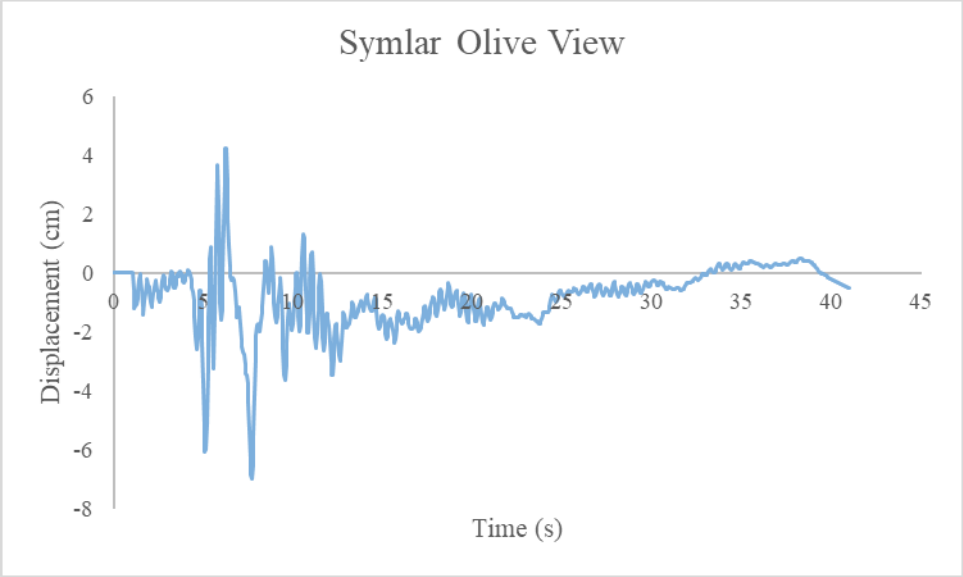
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

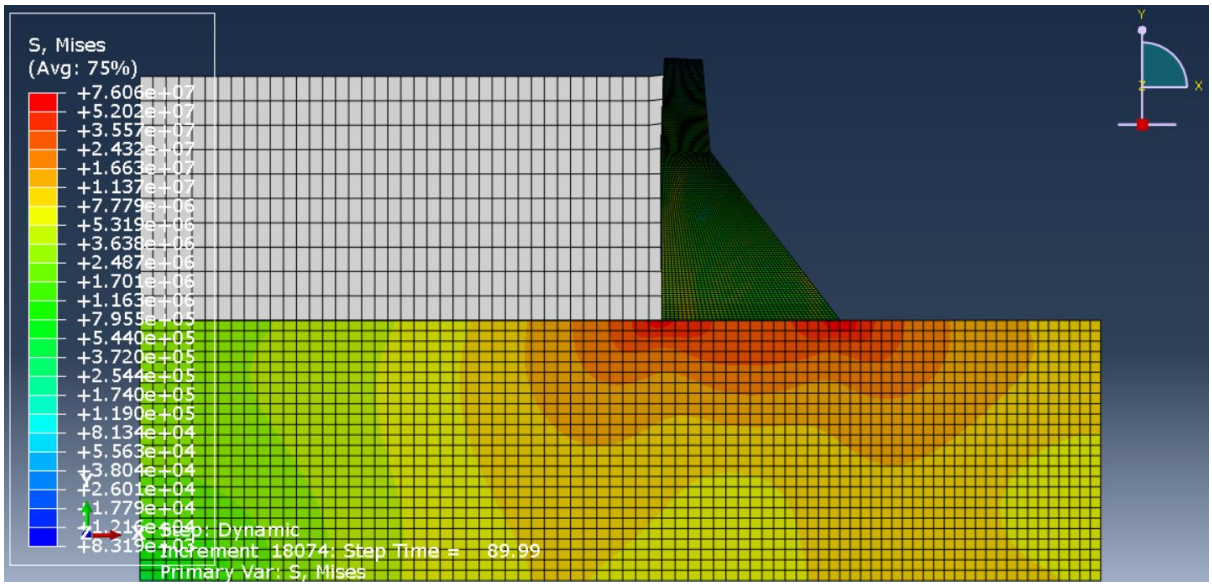


خرابی کششی

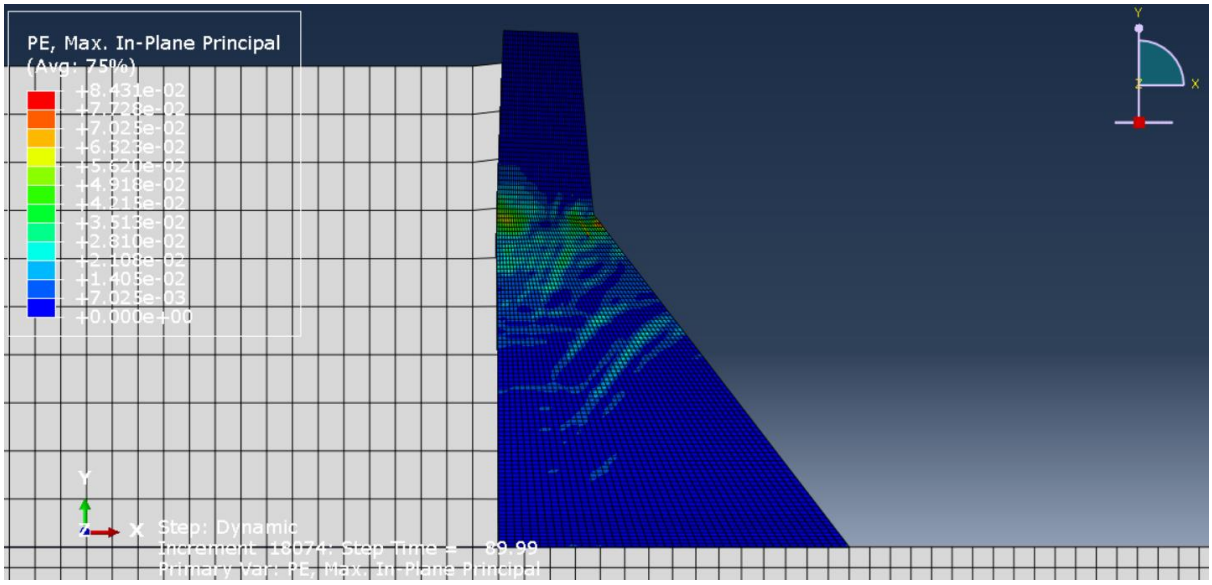


نمودار جابجایی تاج سد

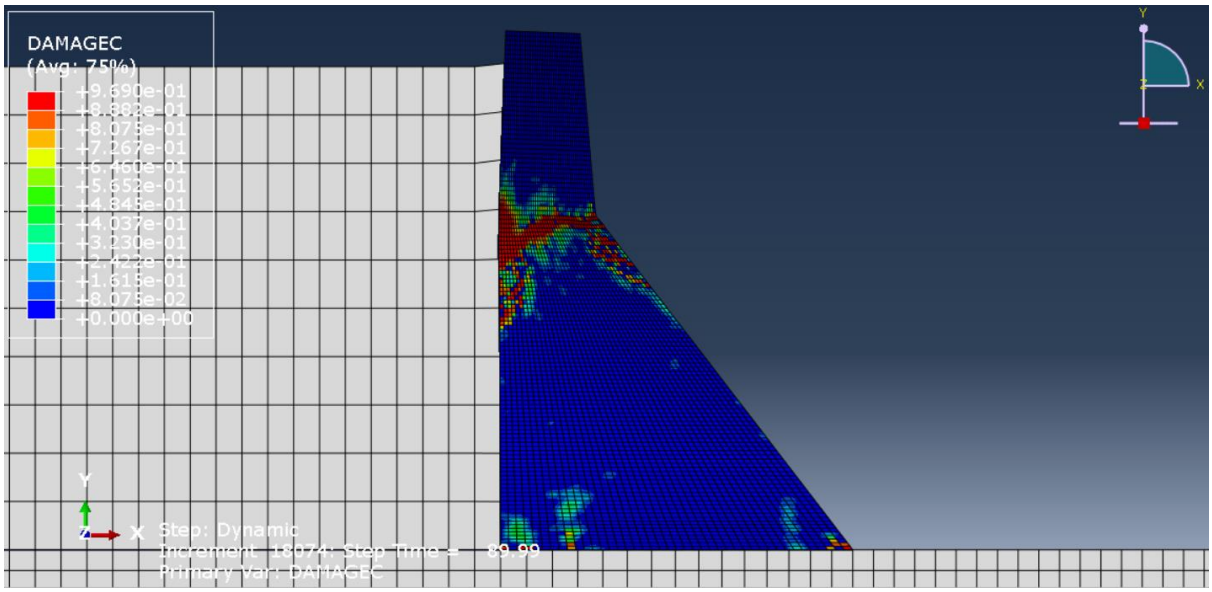
- زلزله ***TCU065***



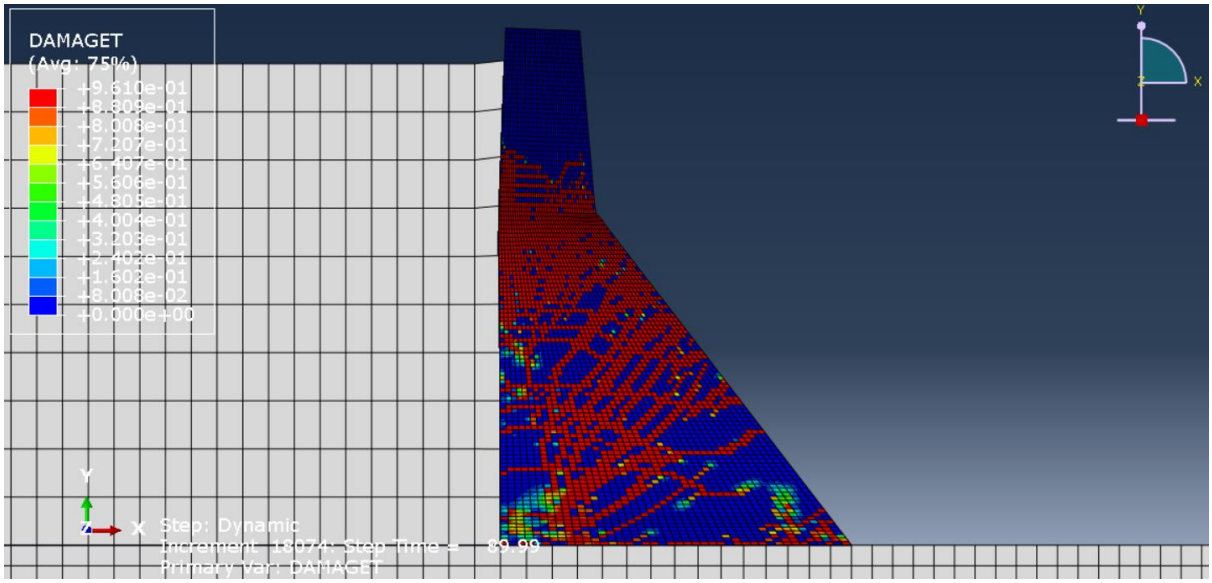
تنش فون میزس



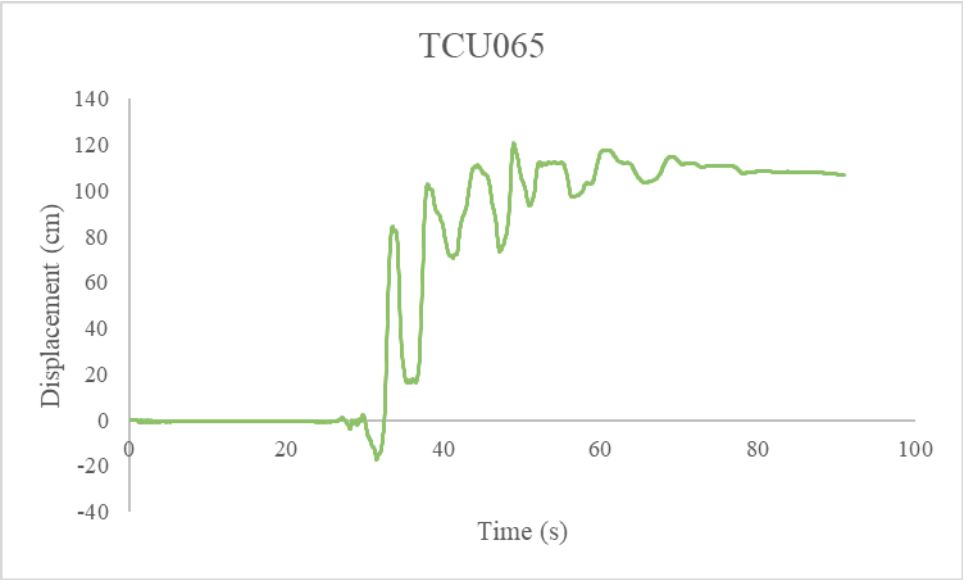
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

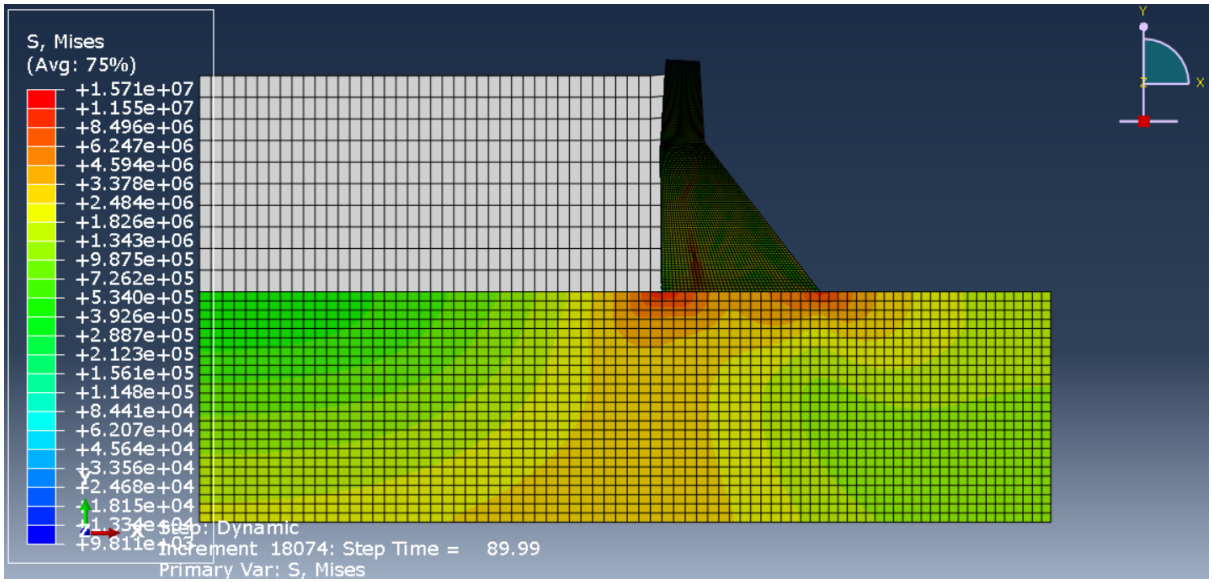


خرابی کششی

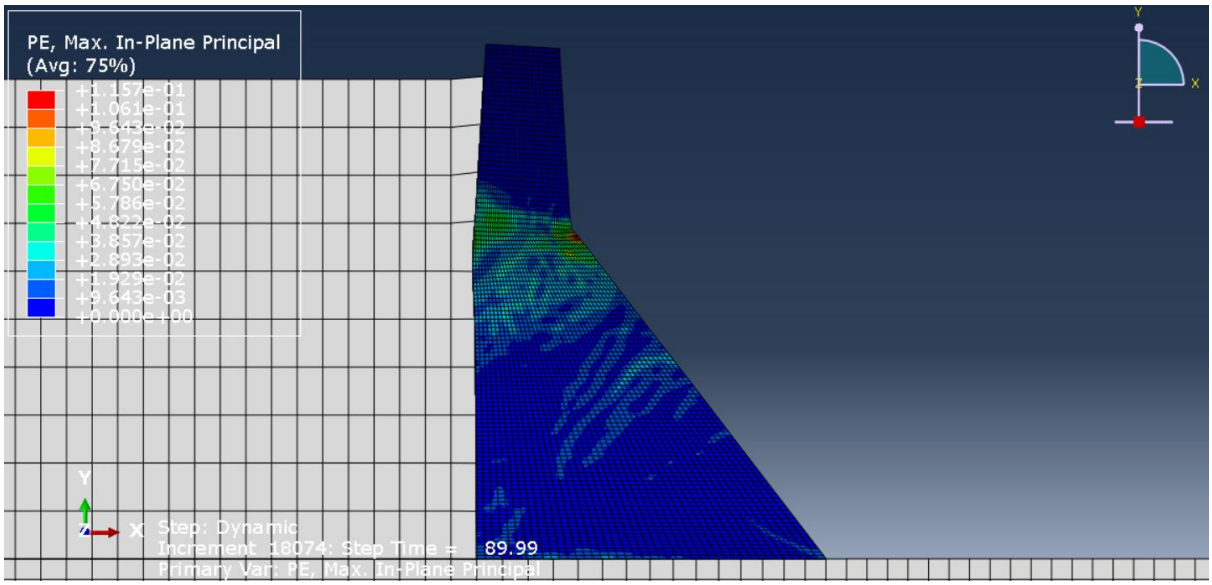


نمودار جابجایی تاج سد

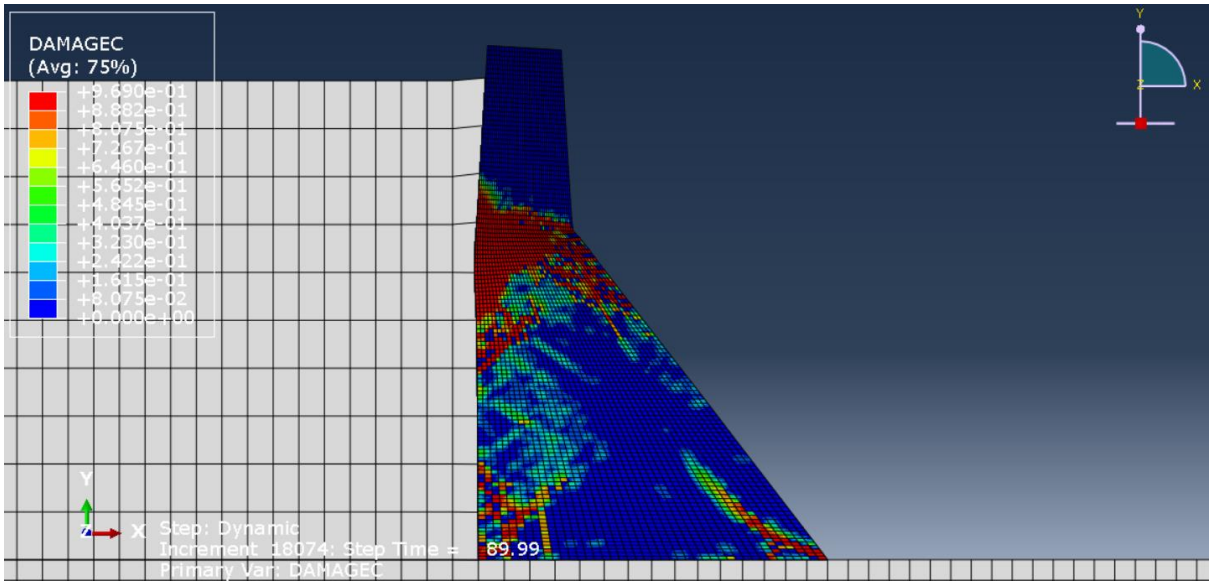
- زلزله *TCU102*



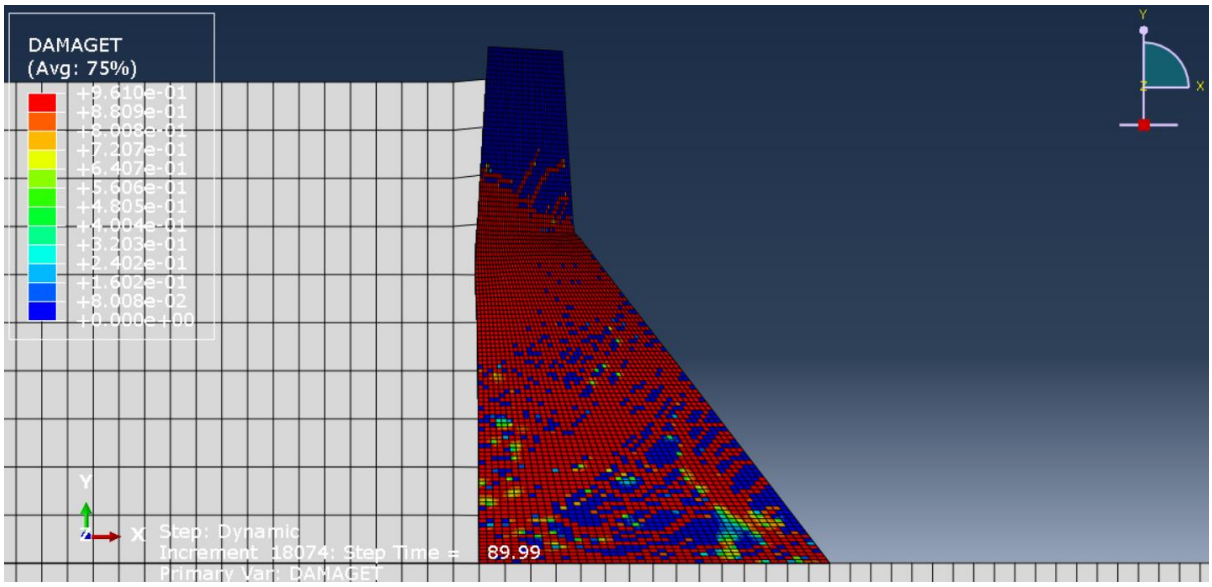
تنش فون میزس



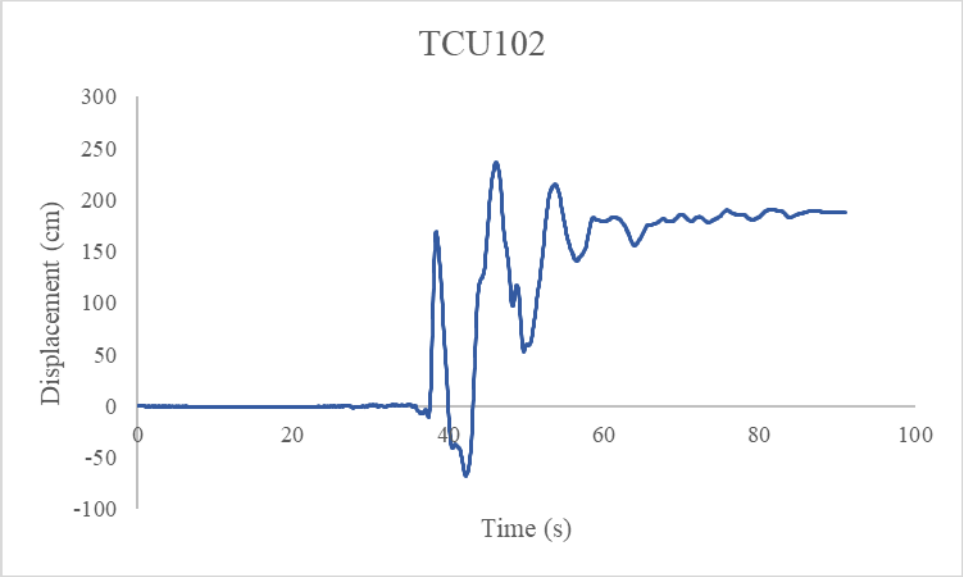
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

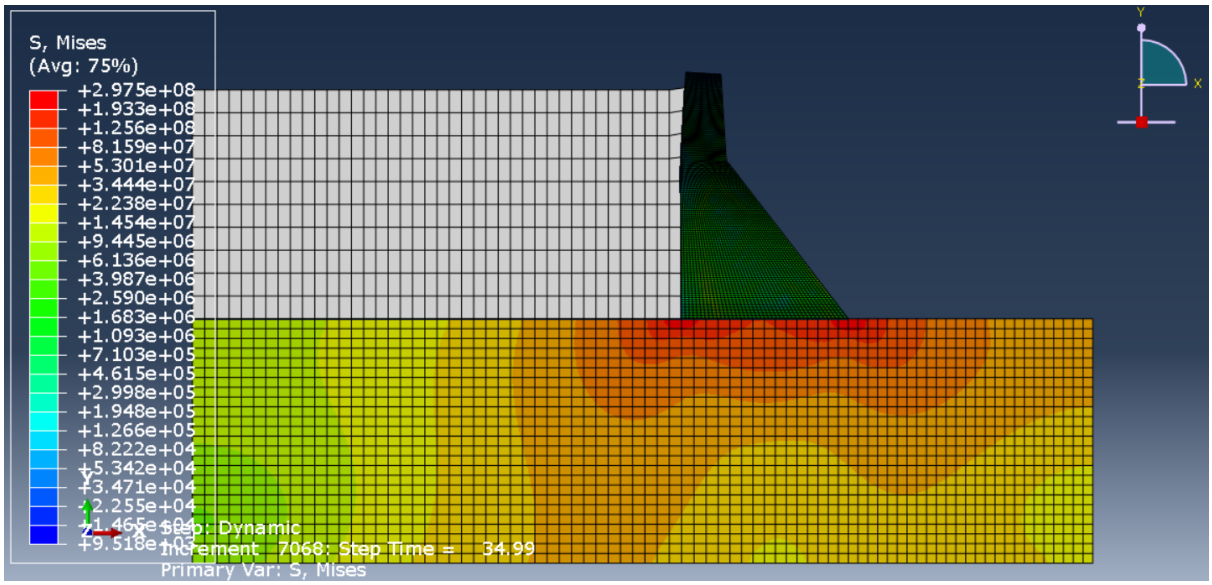


خرابی کششی

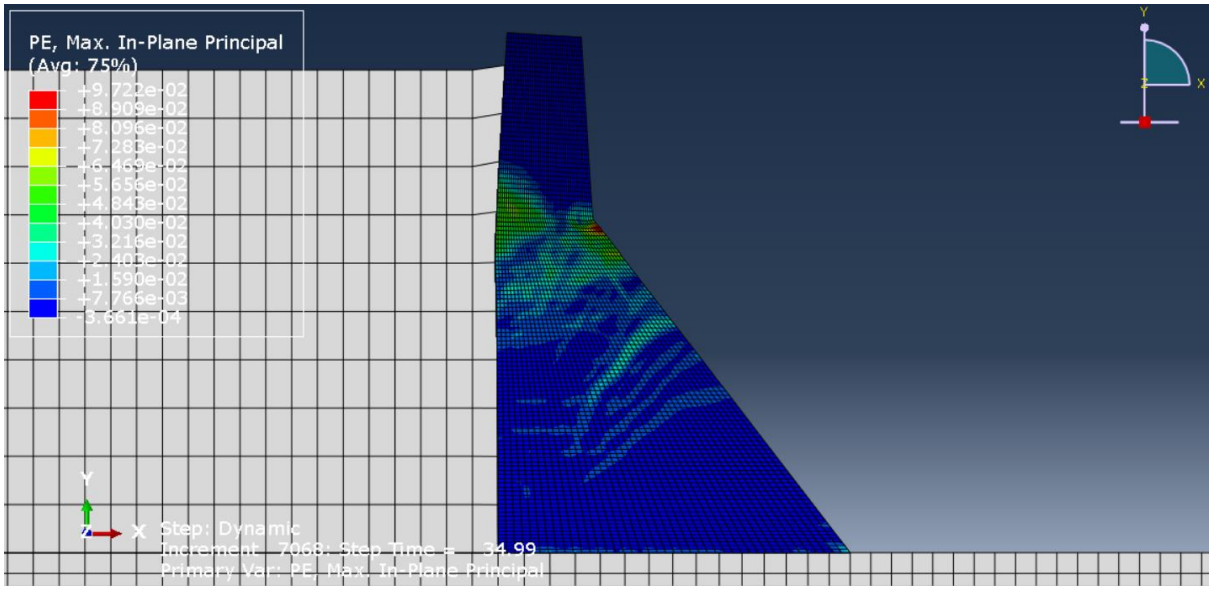


نمودار جابجایی تاج سد

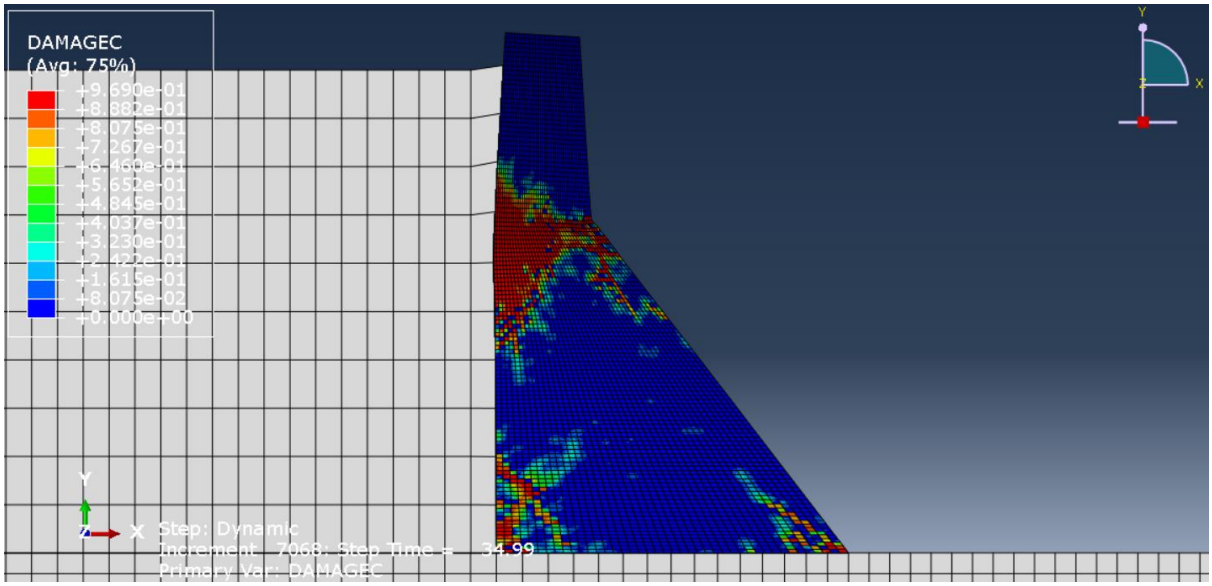
- زلزله ***Yermica***



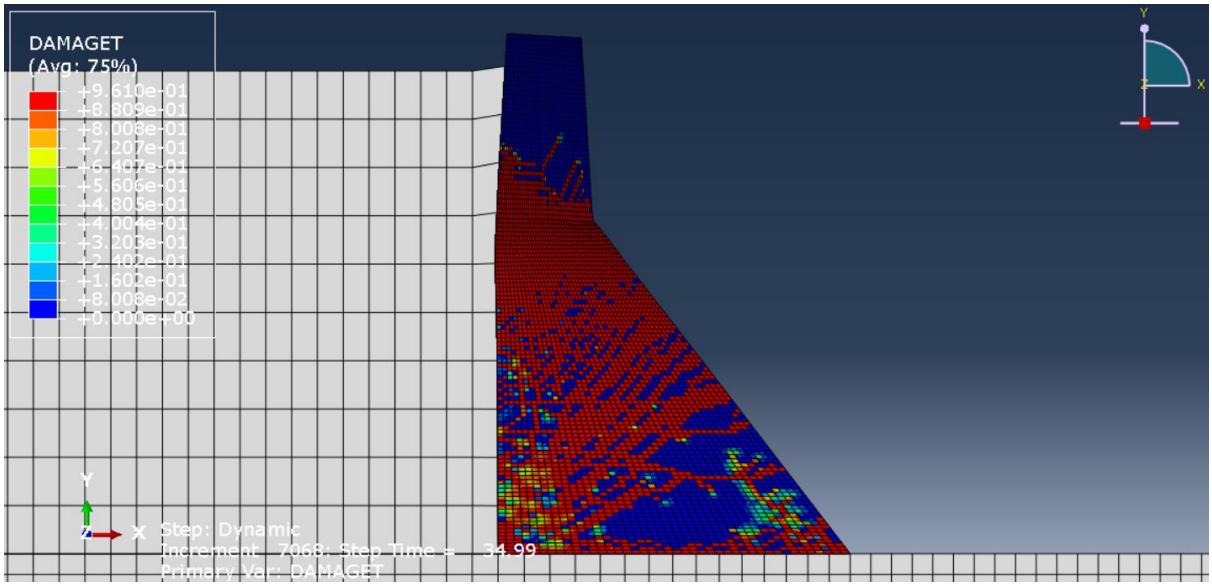
تنش فون میزس



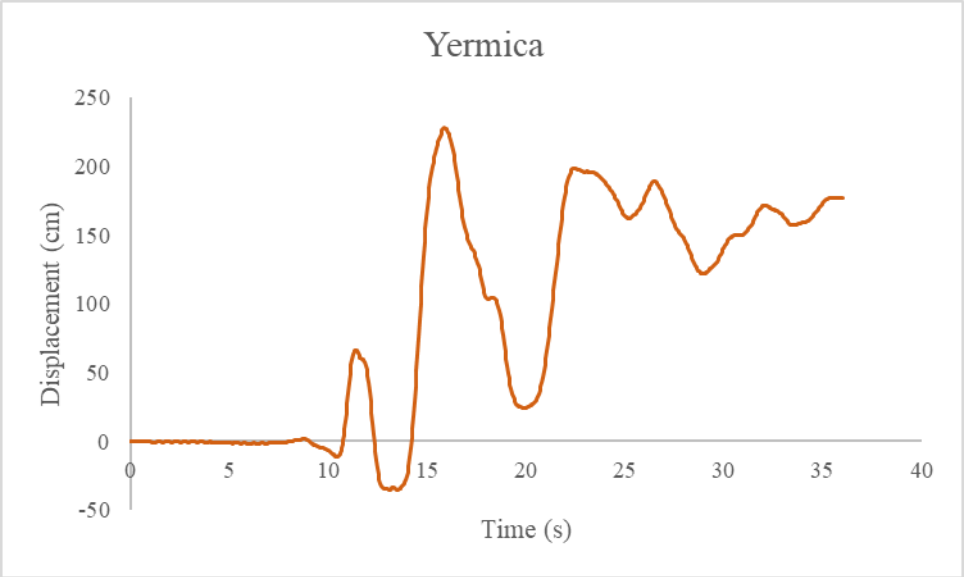
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری



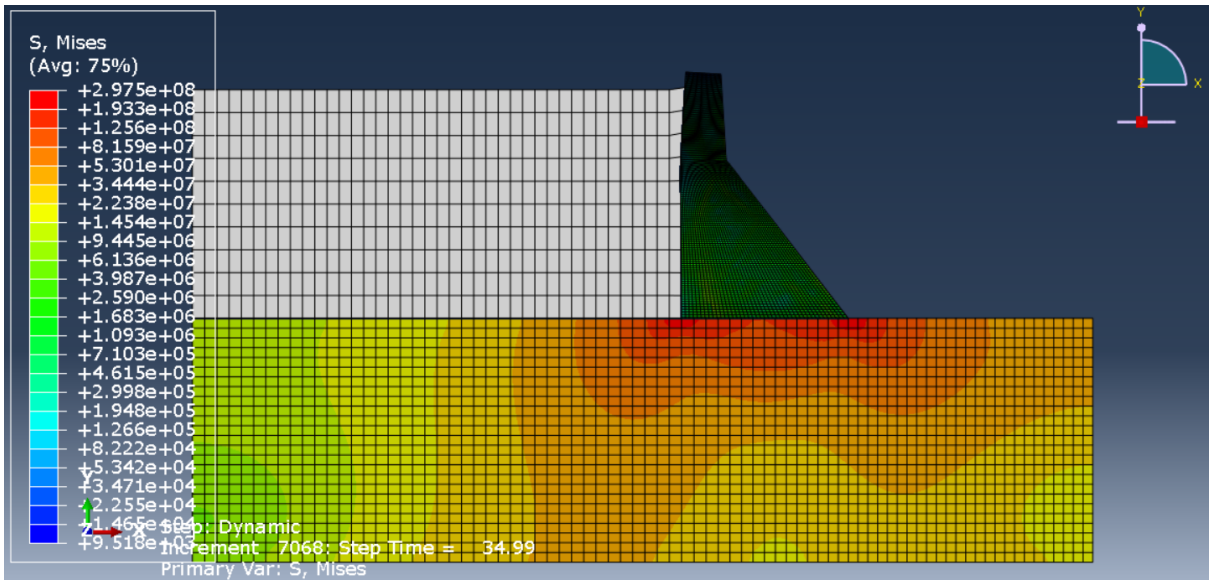
خرابی کششی



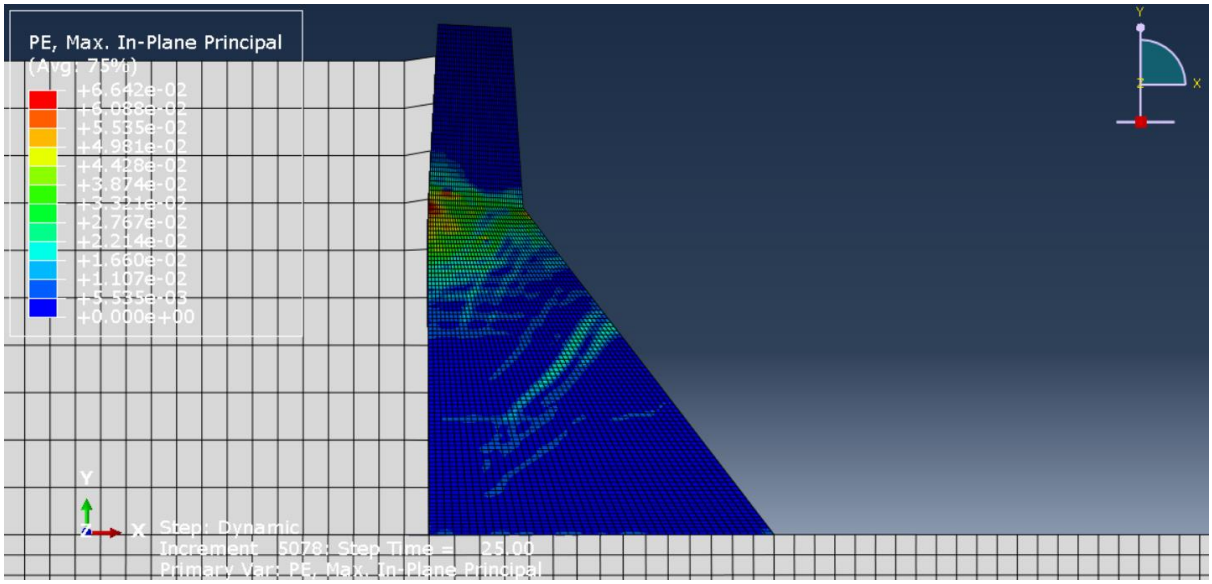
نمودار جابجایی تاج سد

- زلزله‌های دور گسل

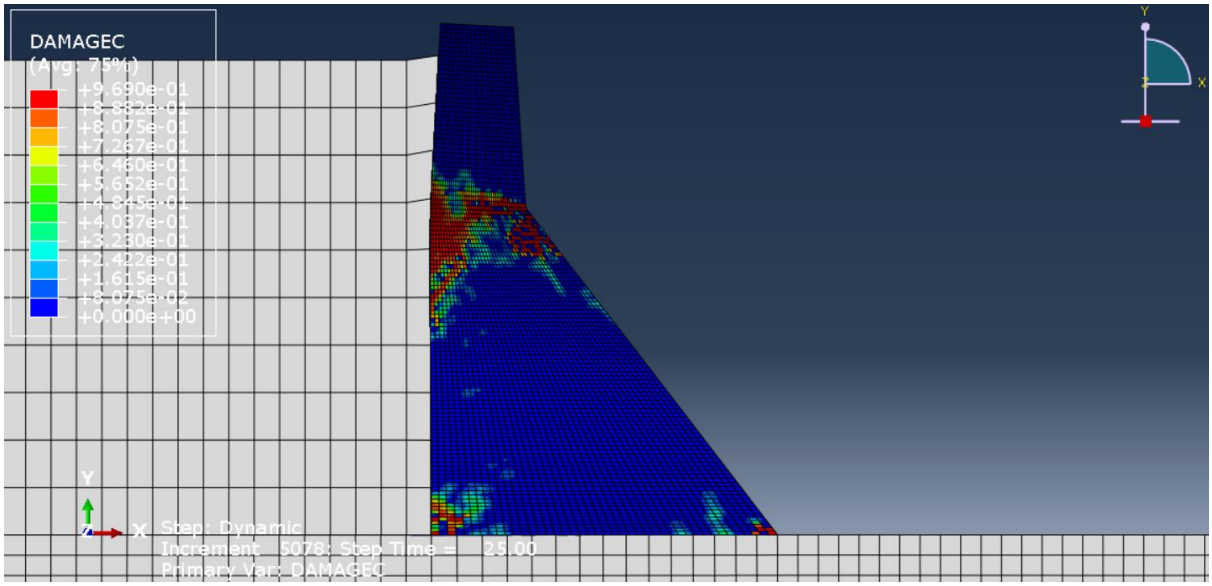
- زلزله ***Yermo Fire Station***



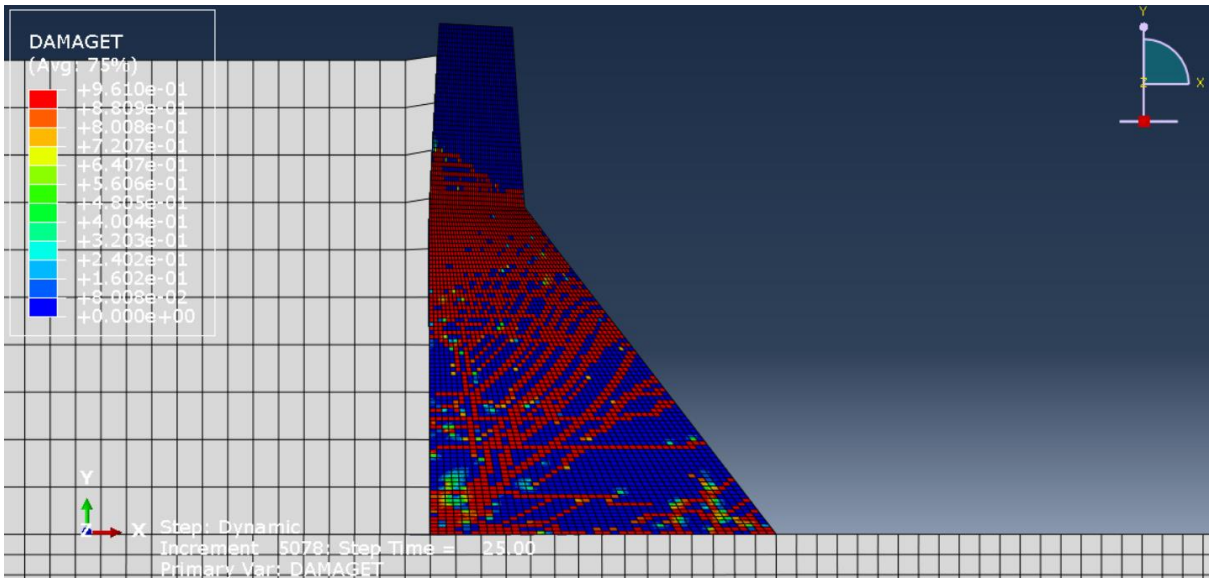
تنش فون میزس



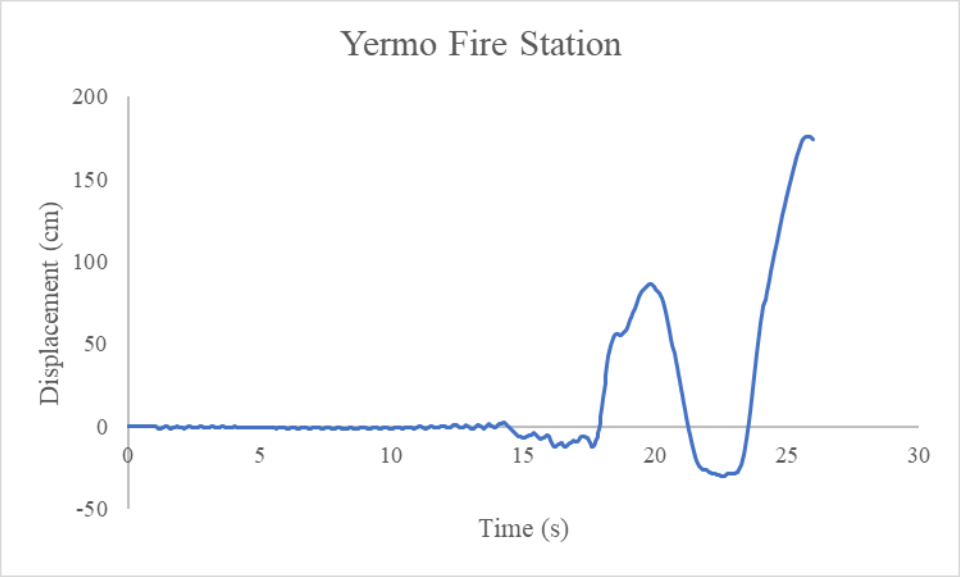
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

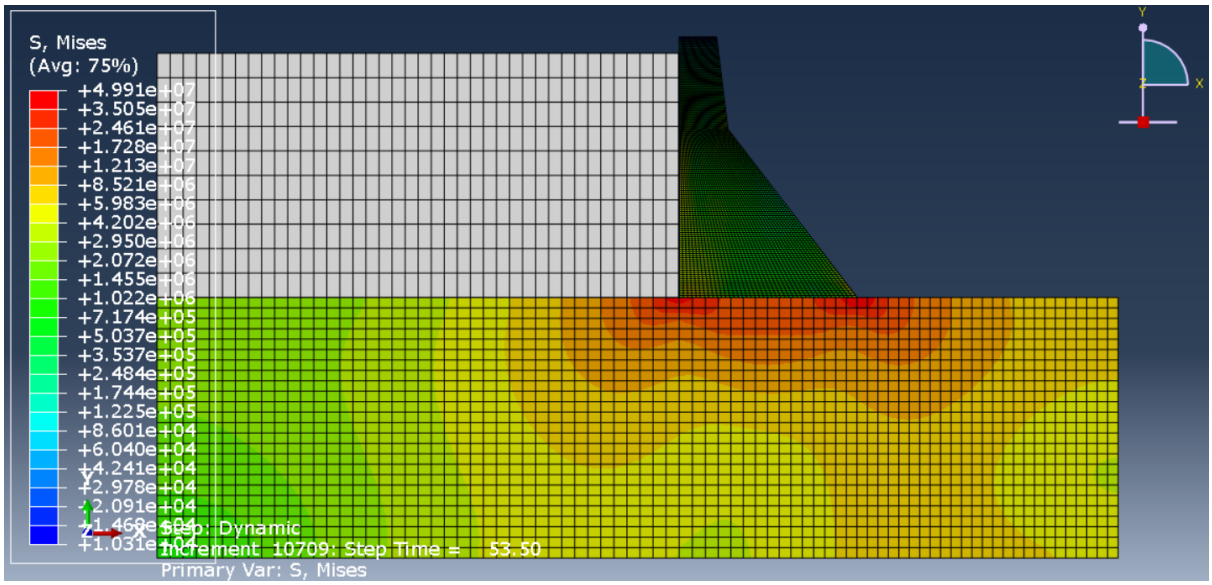


خرابی کششی

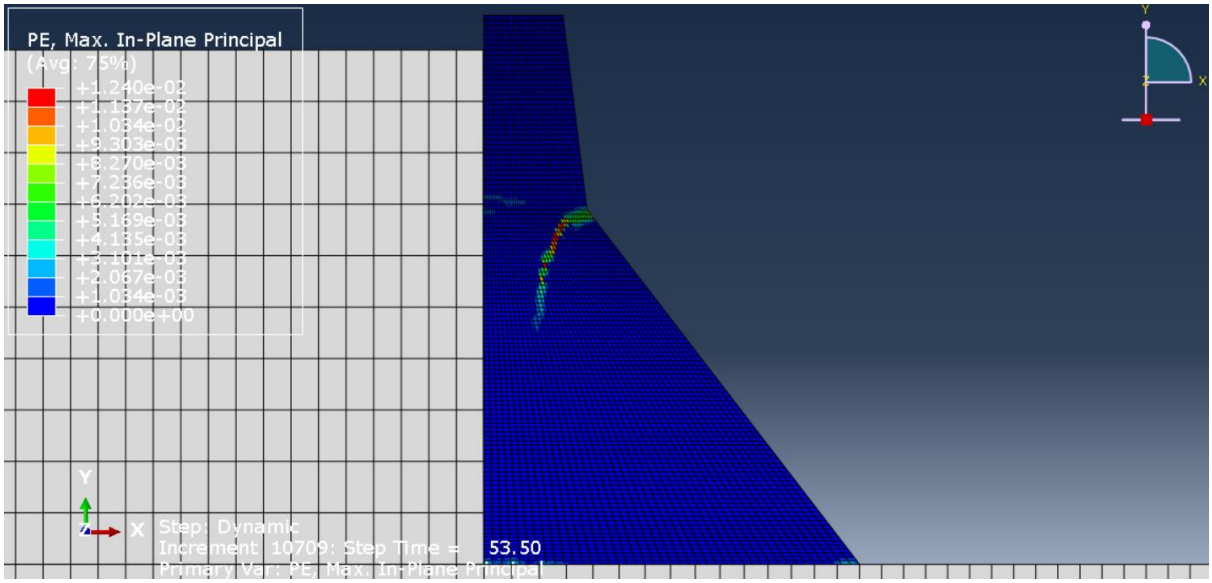


نمودار جابجایی تاج سد

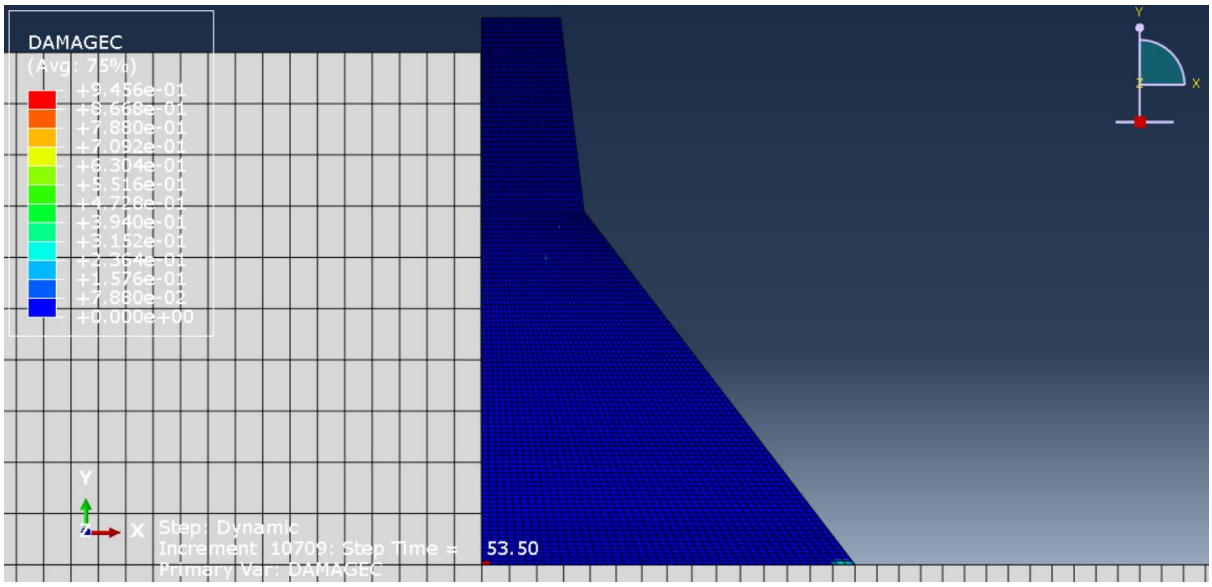
- زلزله ***Abbar***



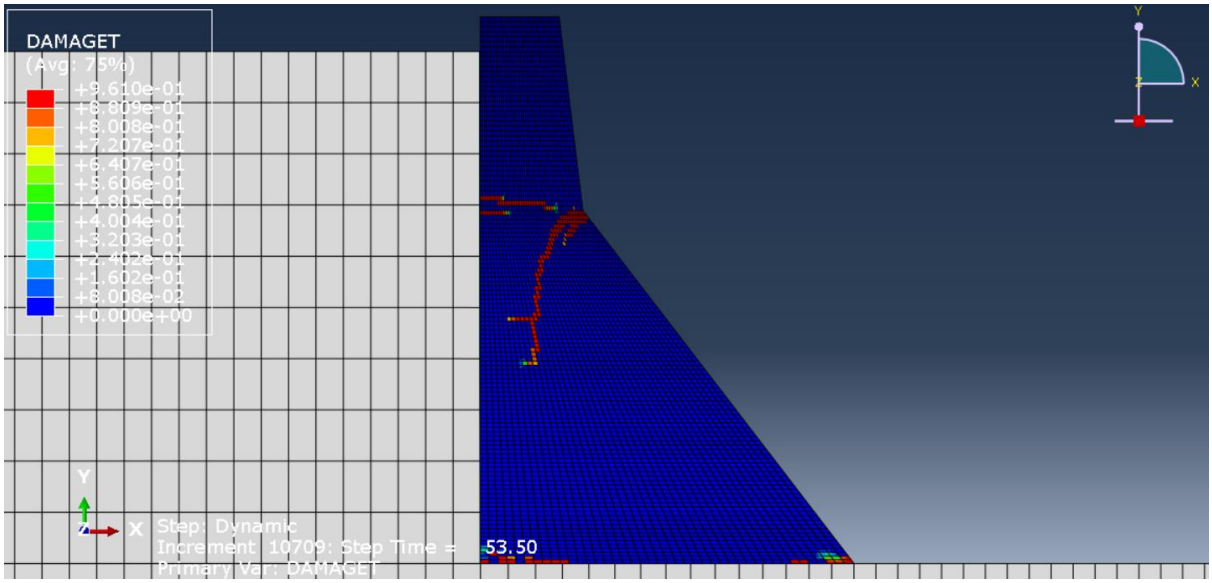
تنش فون میزس



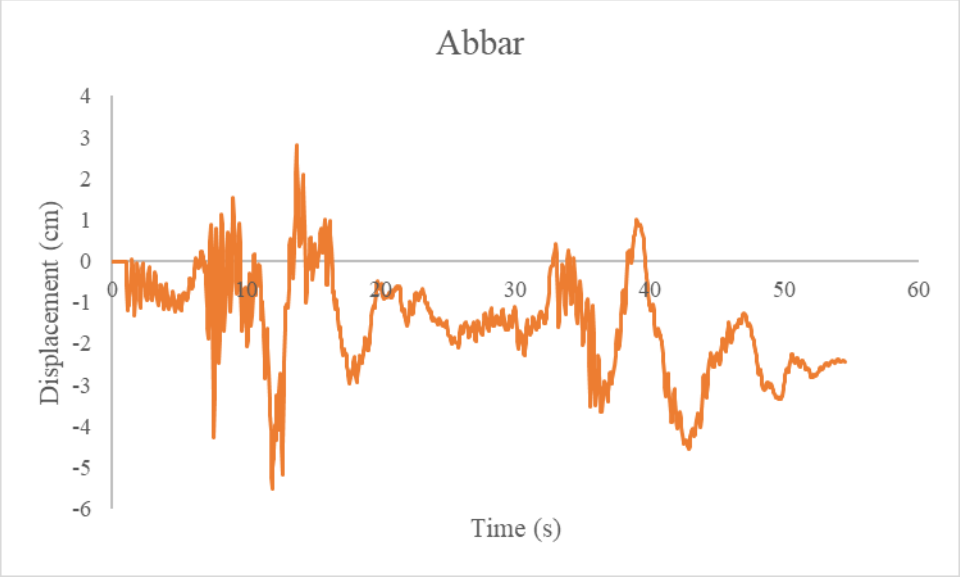
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

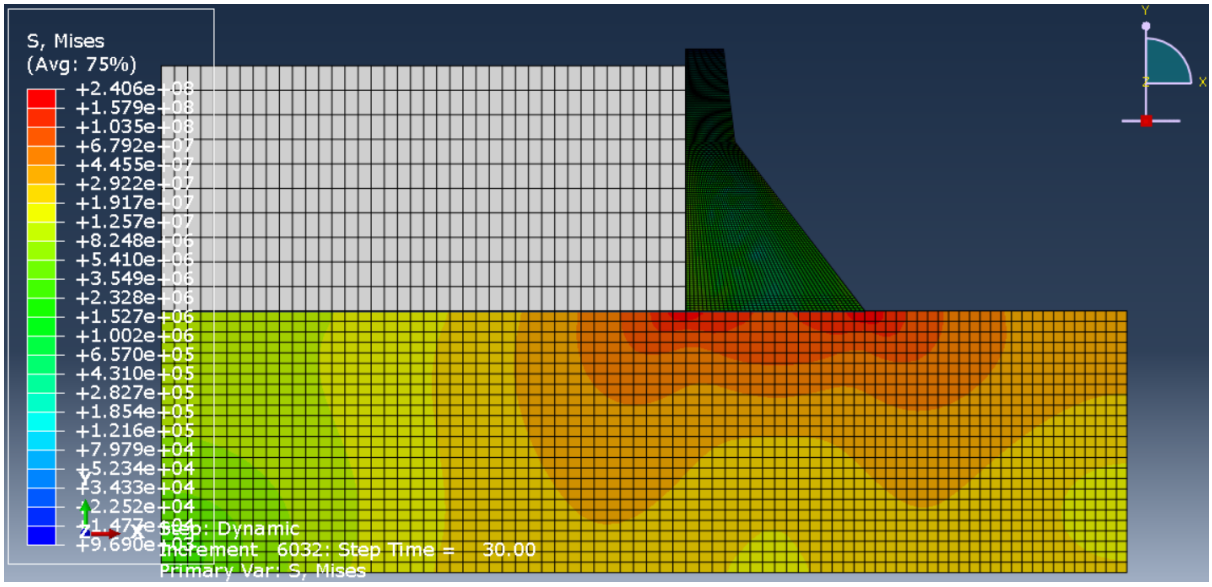


خرابی کششی

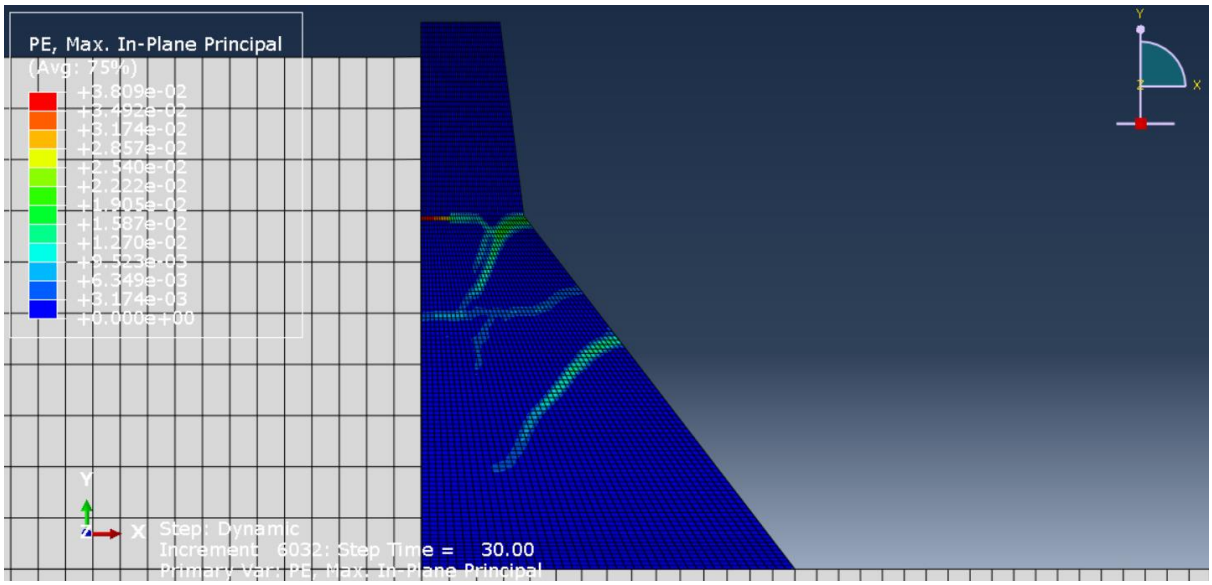


نمودار جابجایی تاج سد

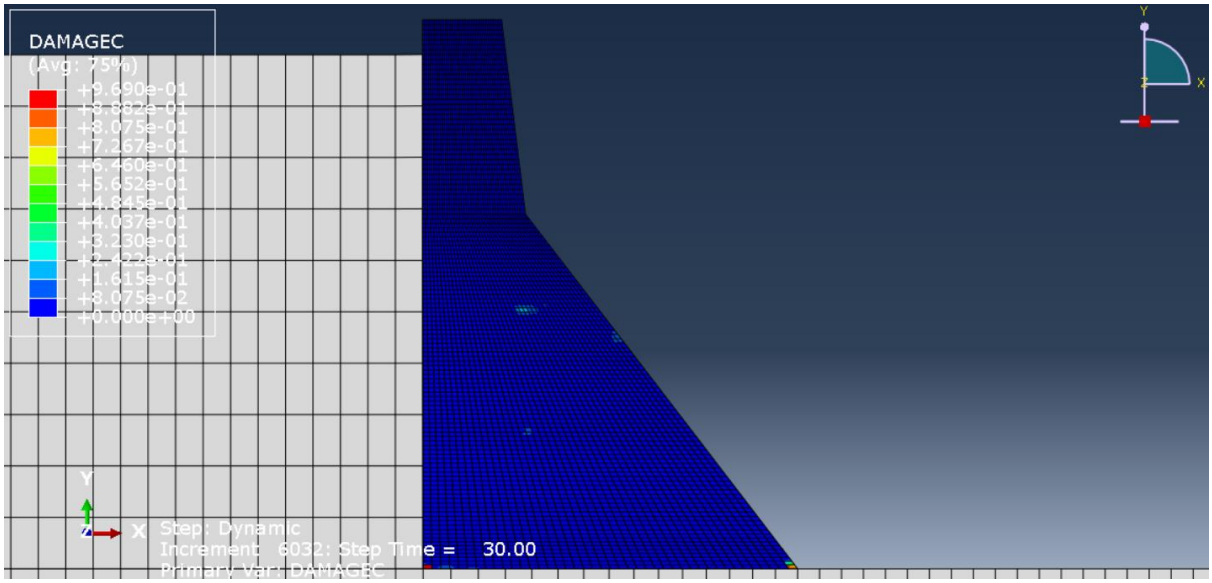
- زلزله *Arcelik*



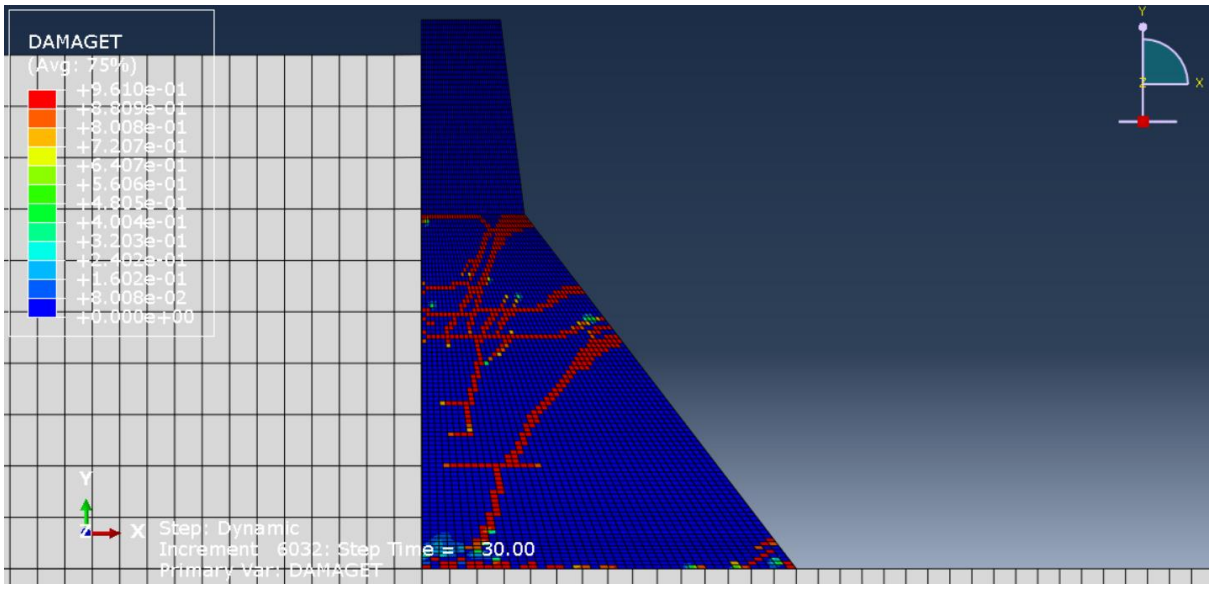
تنش فون میزس



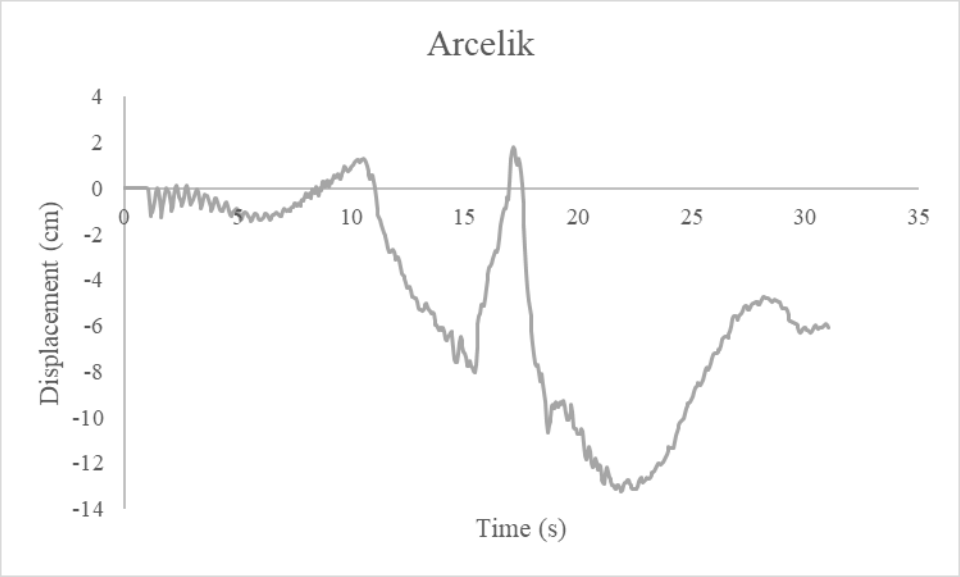
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

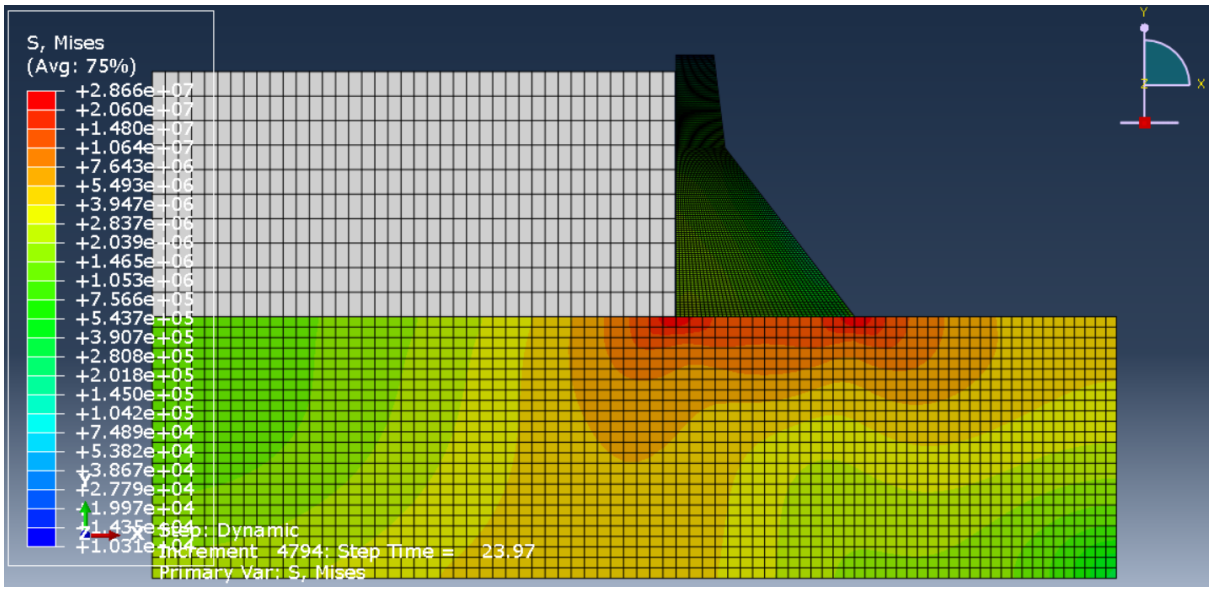


خرابی کششی

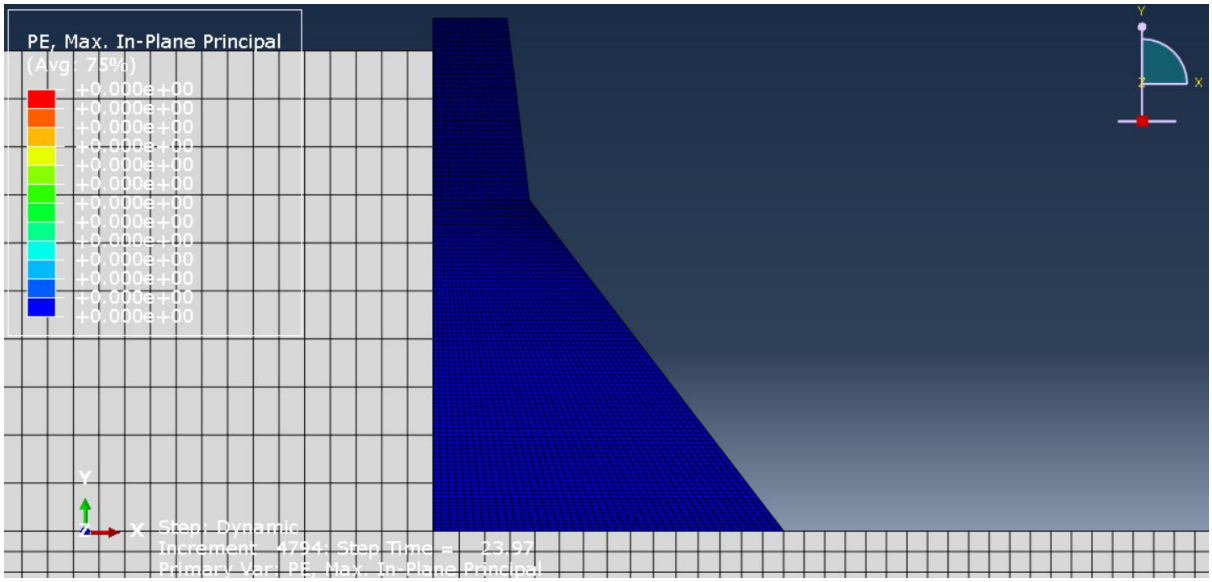


نمودار جابجایی تاج سد

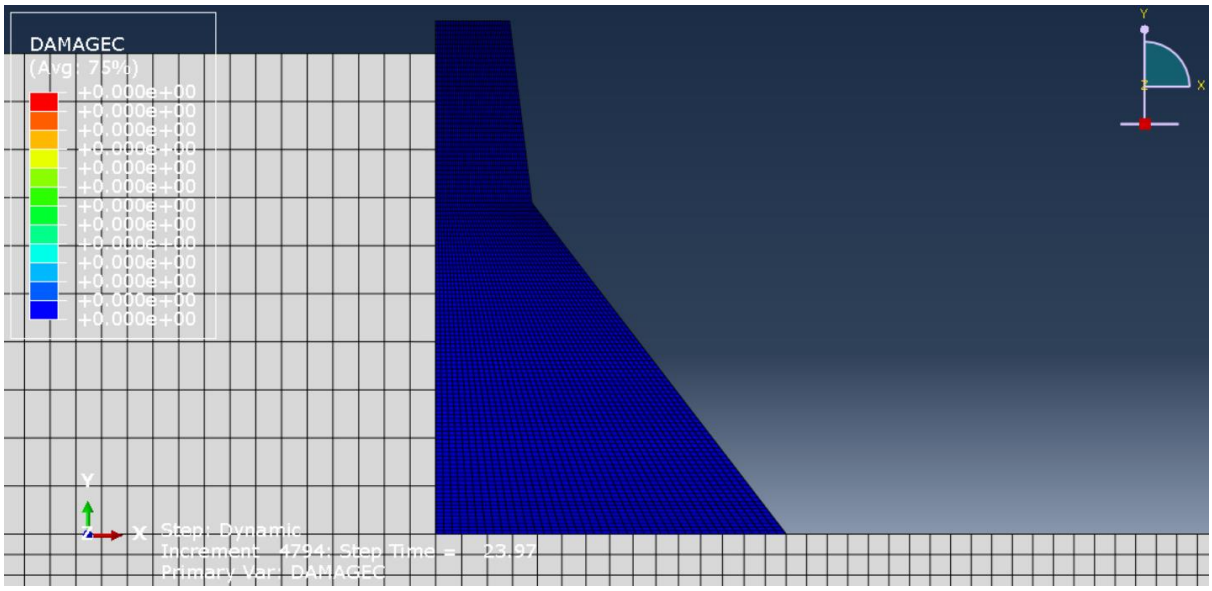
- زلزله ***Beverly Hills***



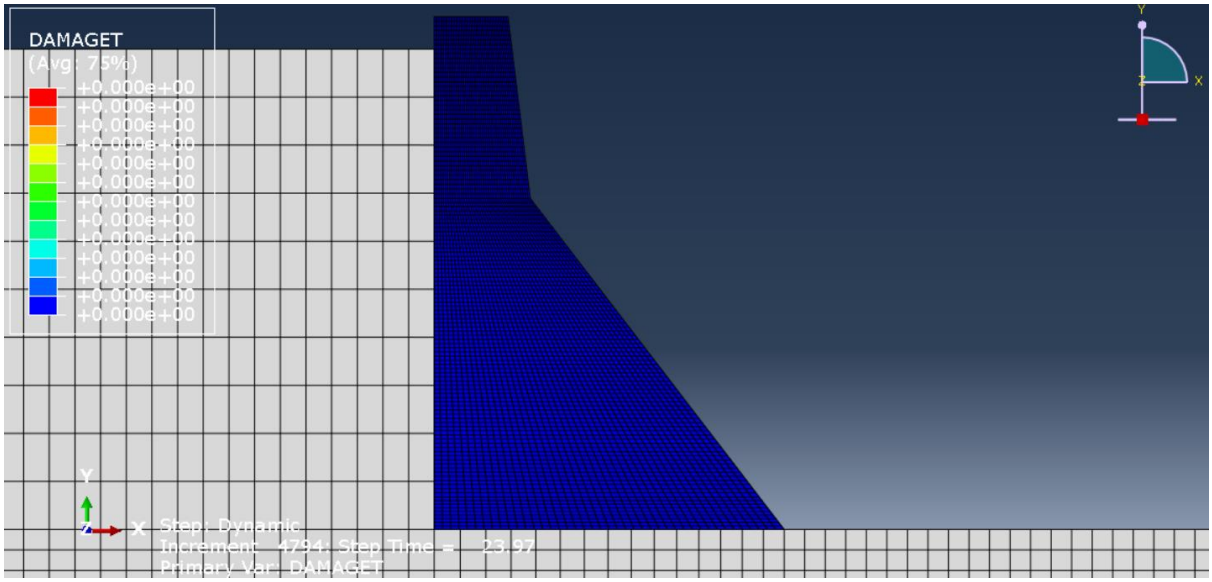
تنش فون میزس



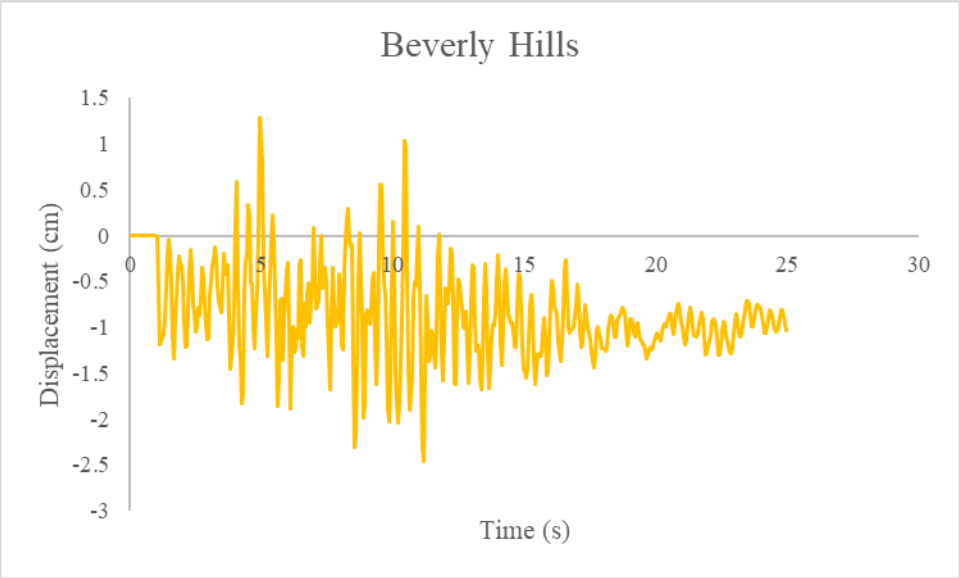
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

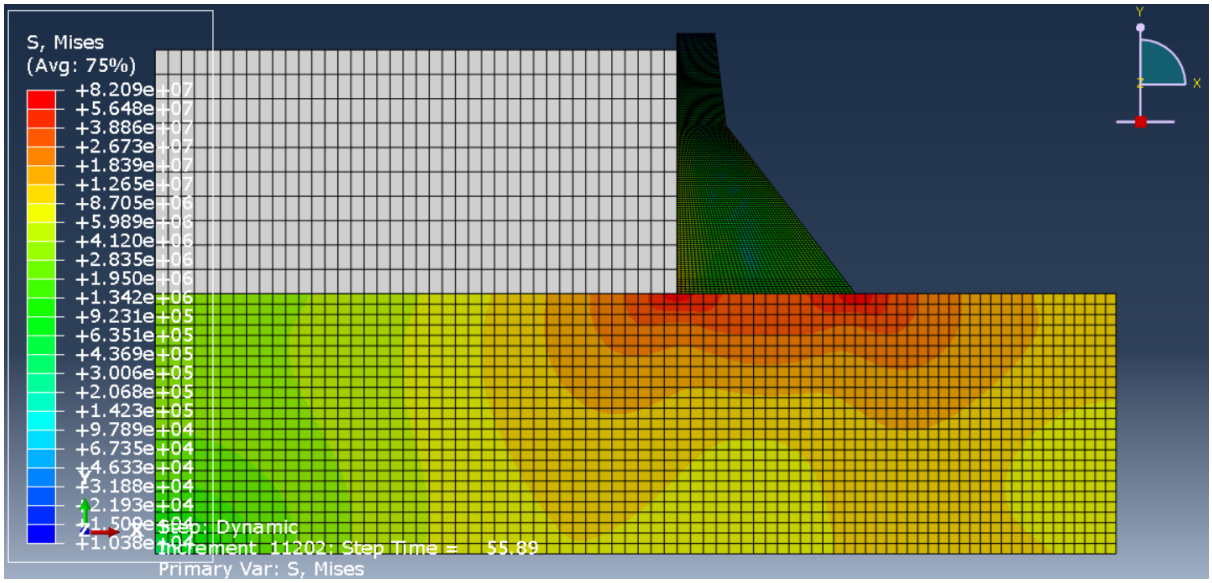


خرابی کششی

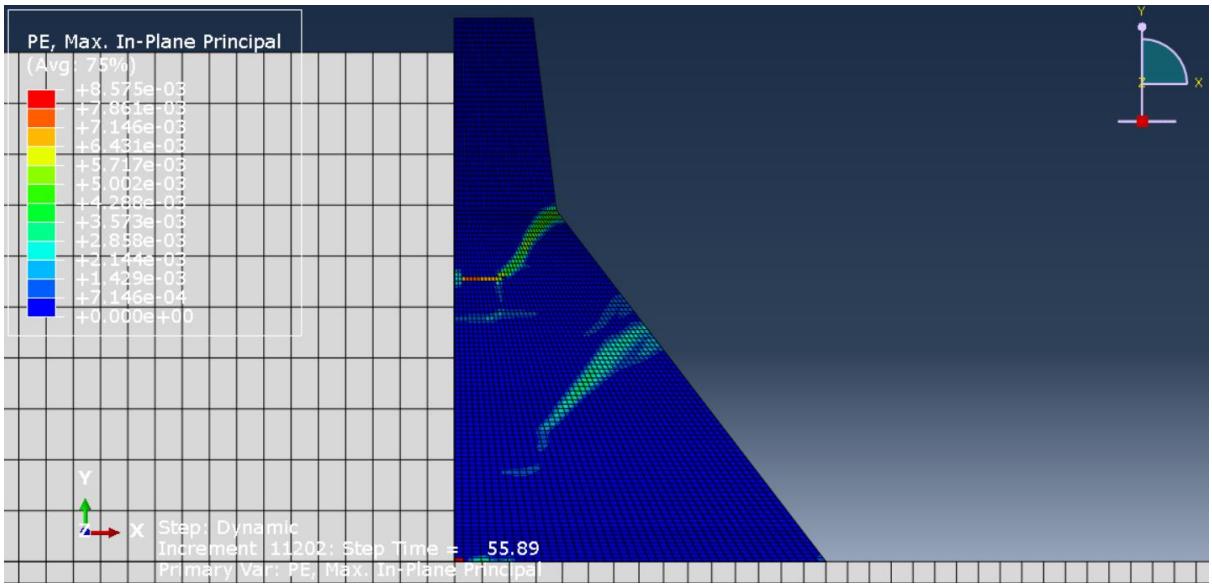


نمودار جابجایی تاج سد

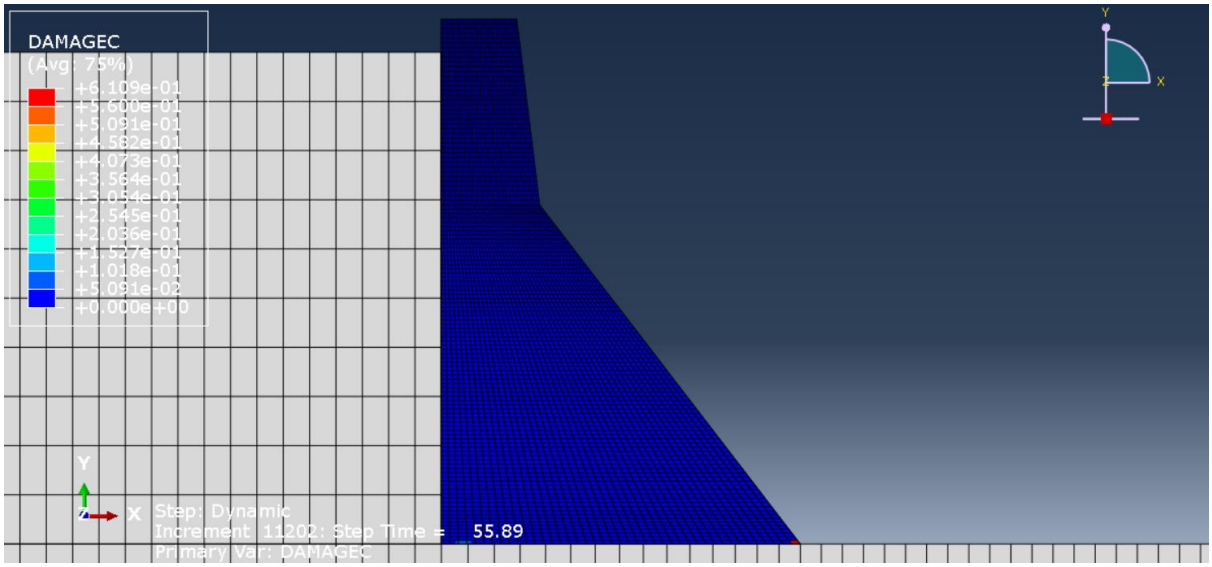
- زلزله ***Bolu***



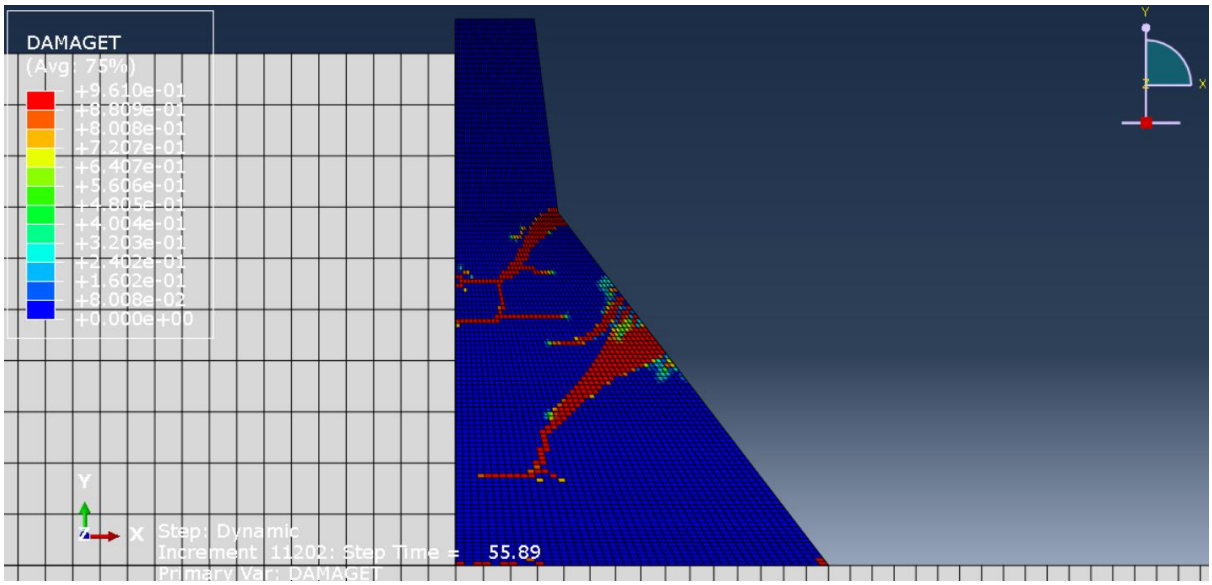
تنش فون میزس



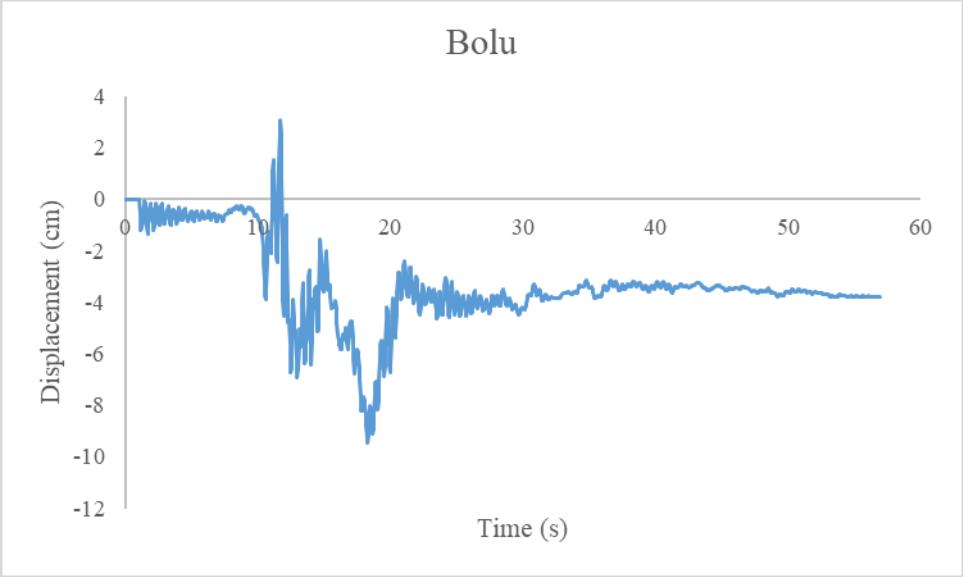
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

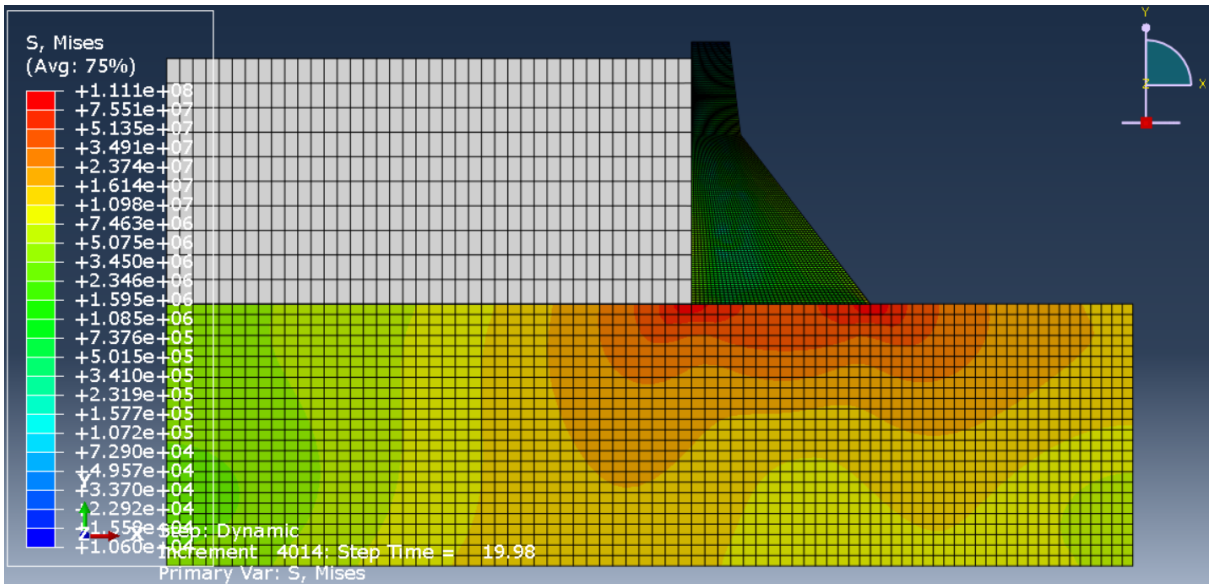


خرابی کششی

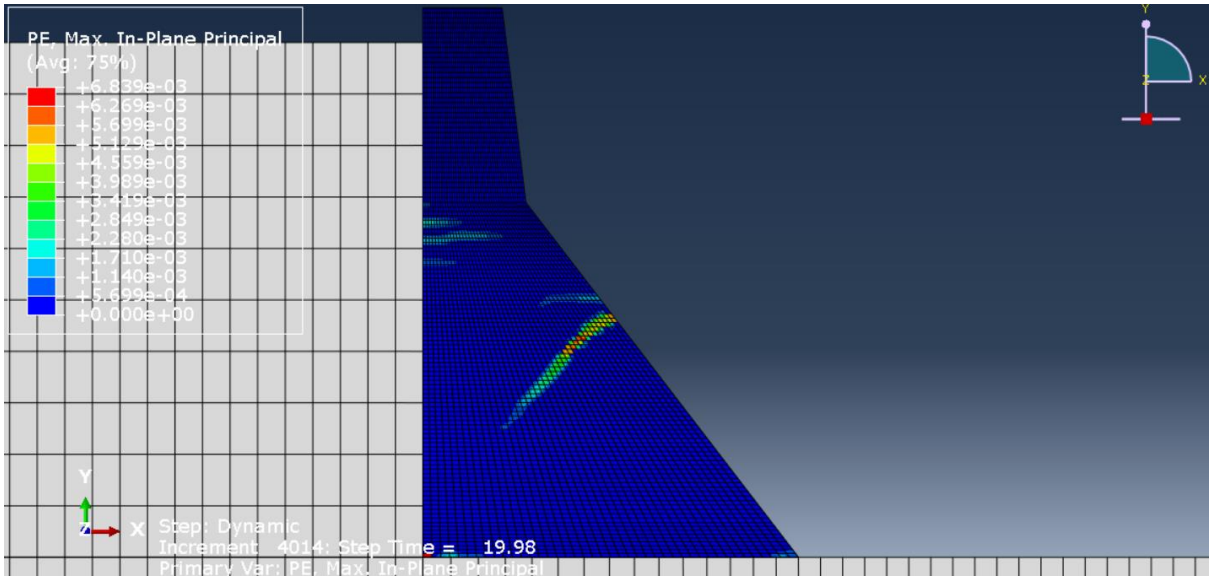


نمودار جابجایی تاج سد

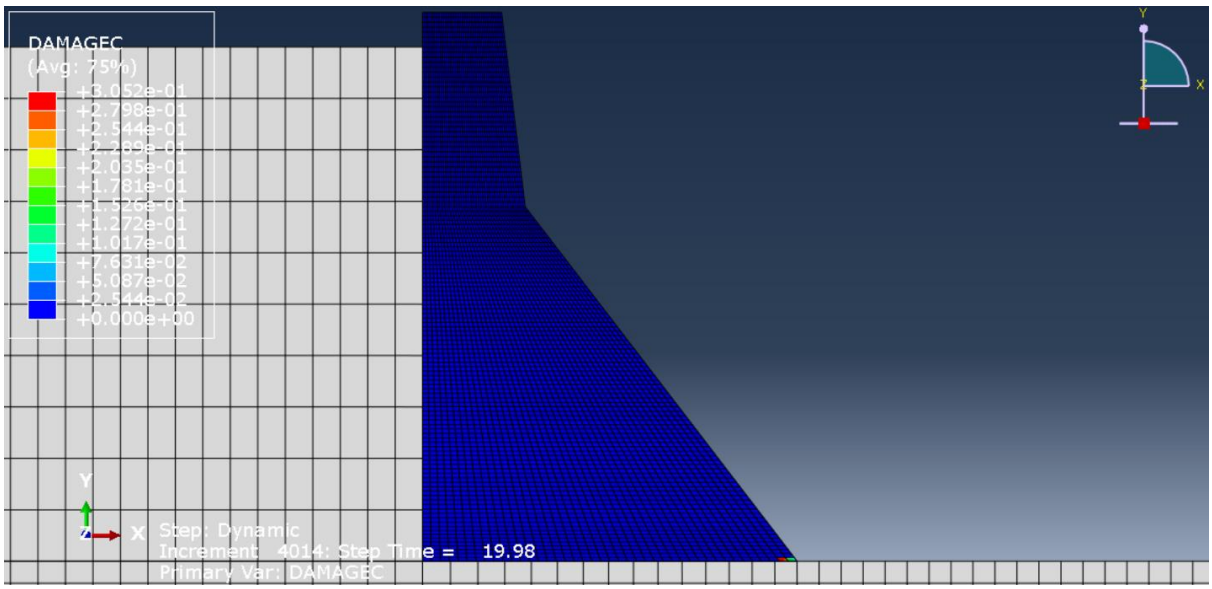
- زلزله ***Canyon Country***



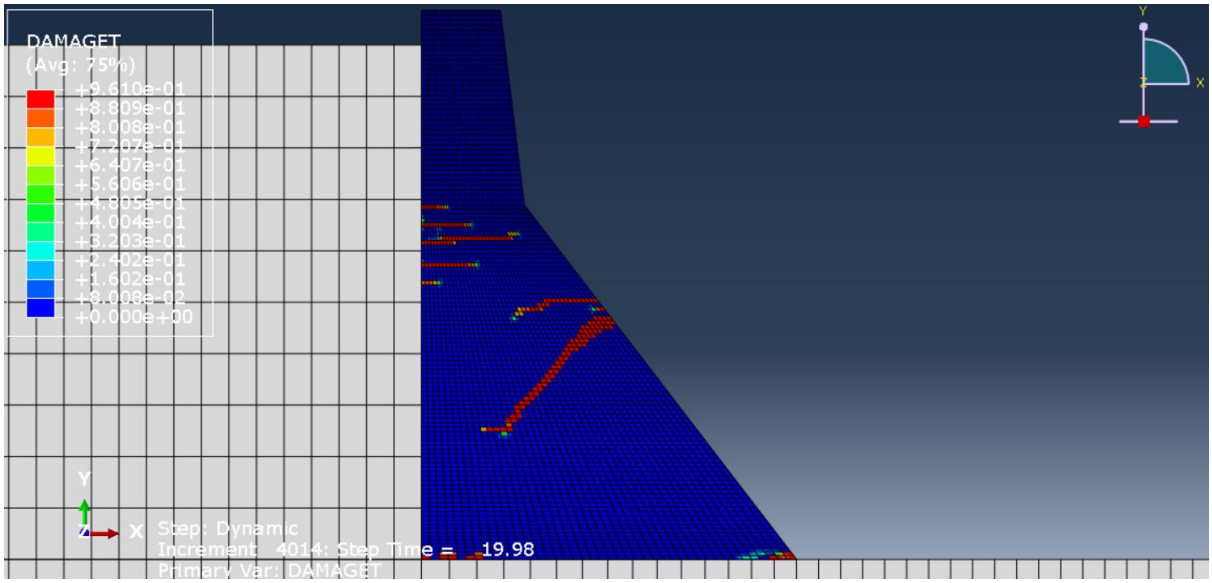
تنش فون میزس



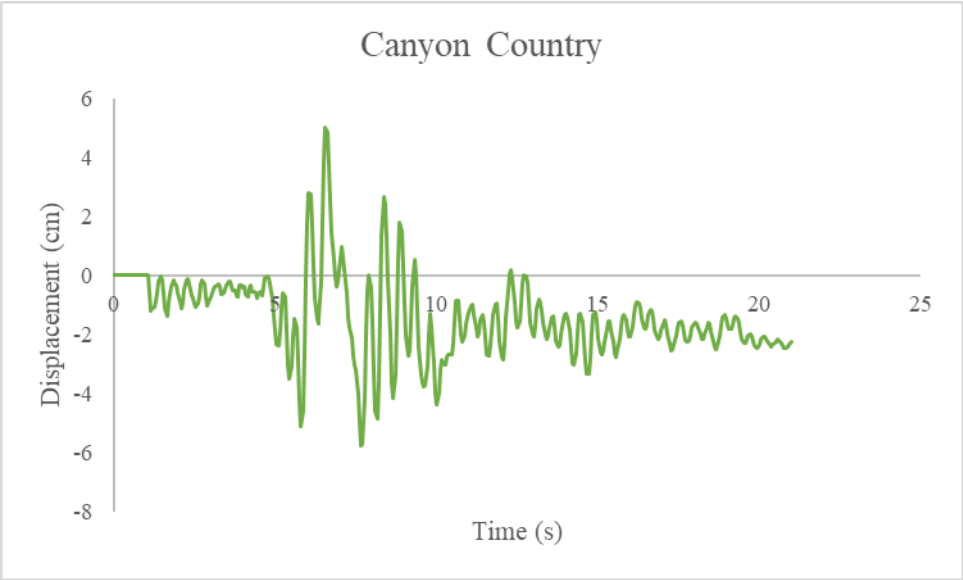
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

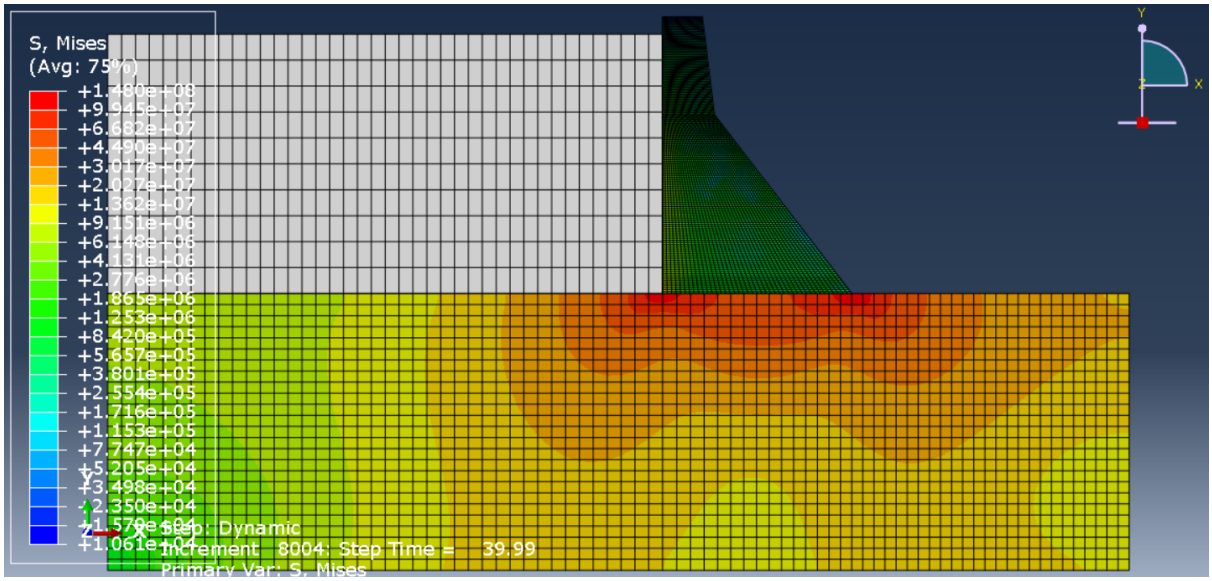


خرابی کششی

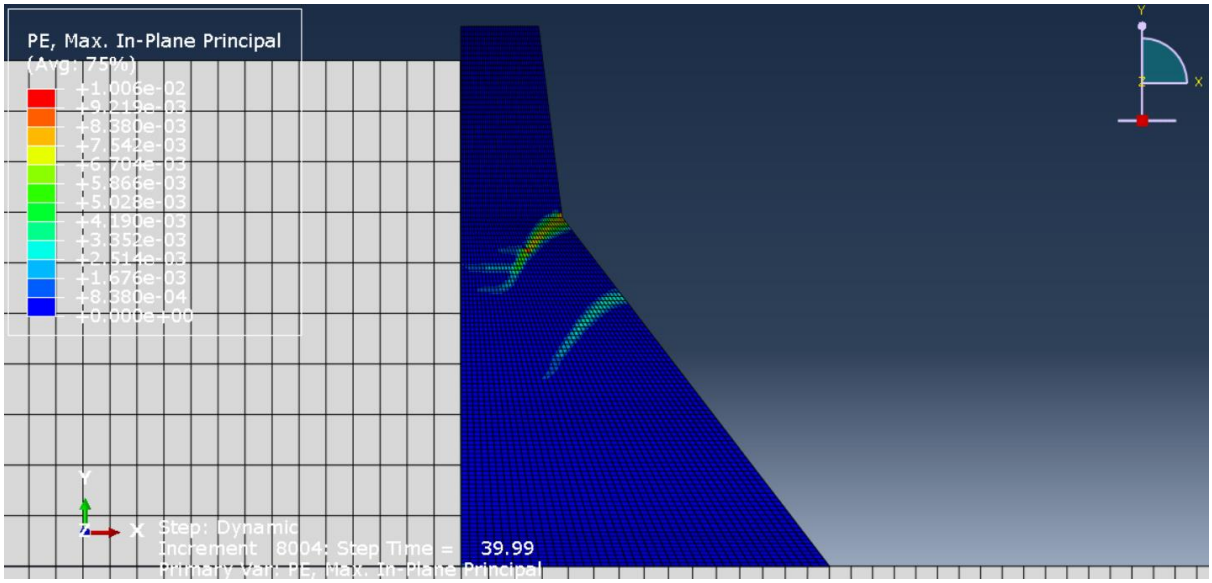


نمودار جابجایی تاج سد

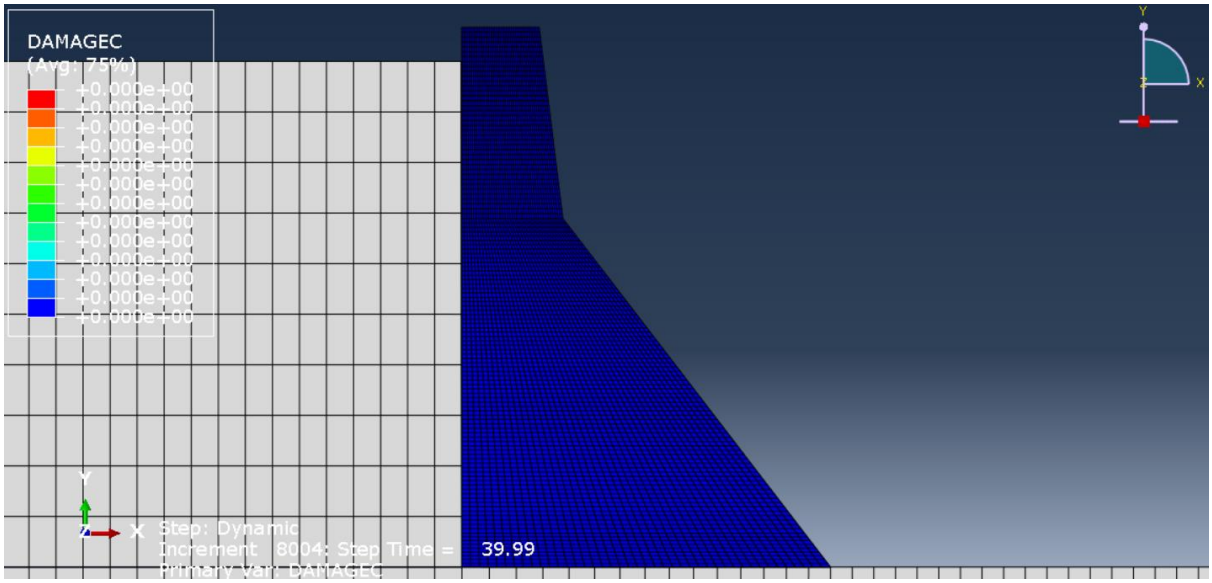
- زلزله *Capitola*



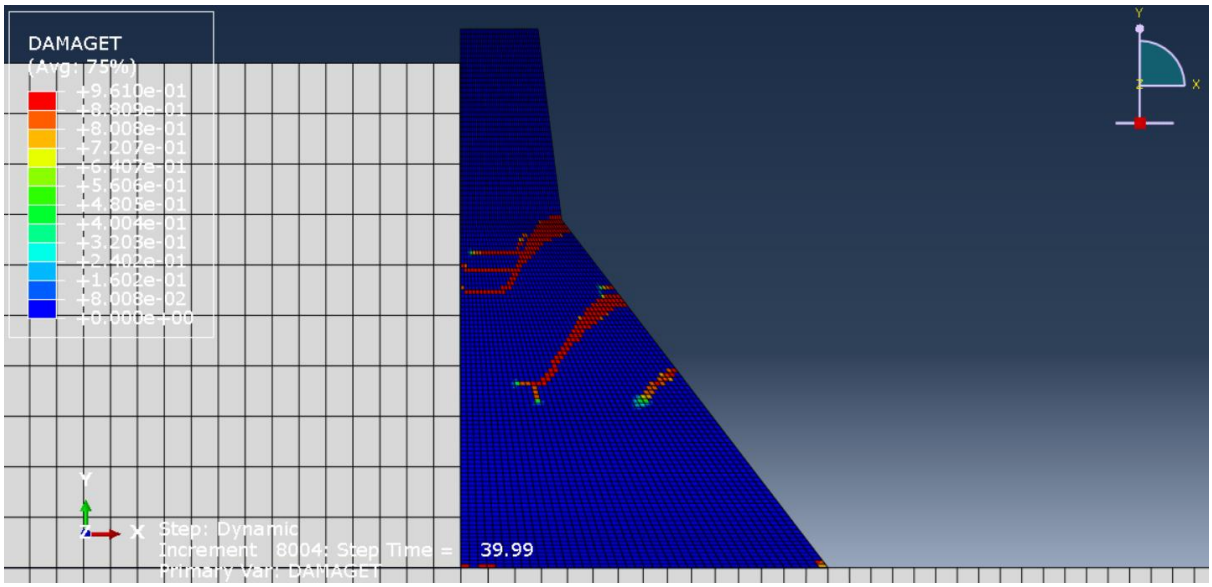
تنش فون میزس



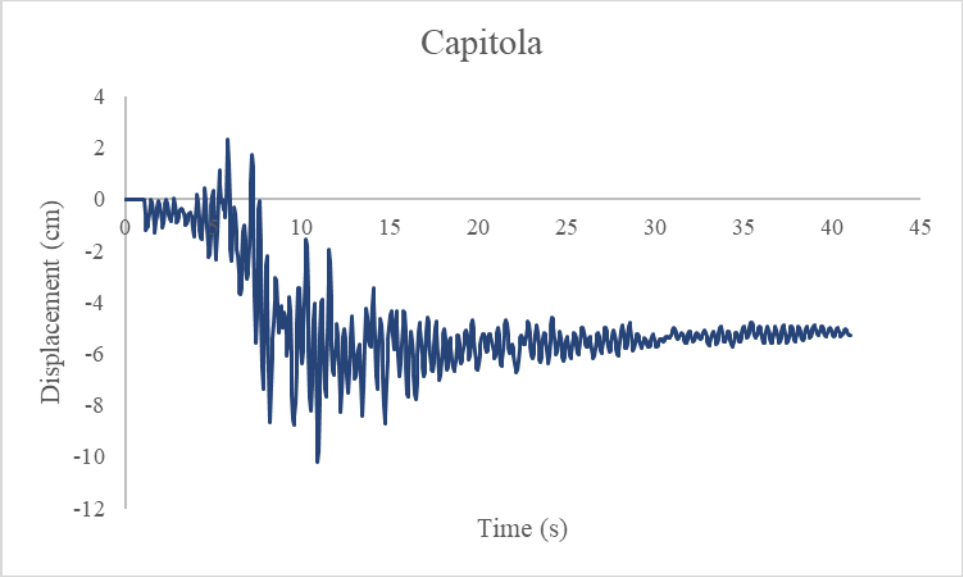
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

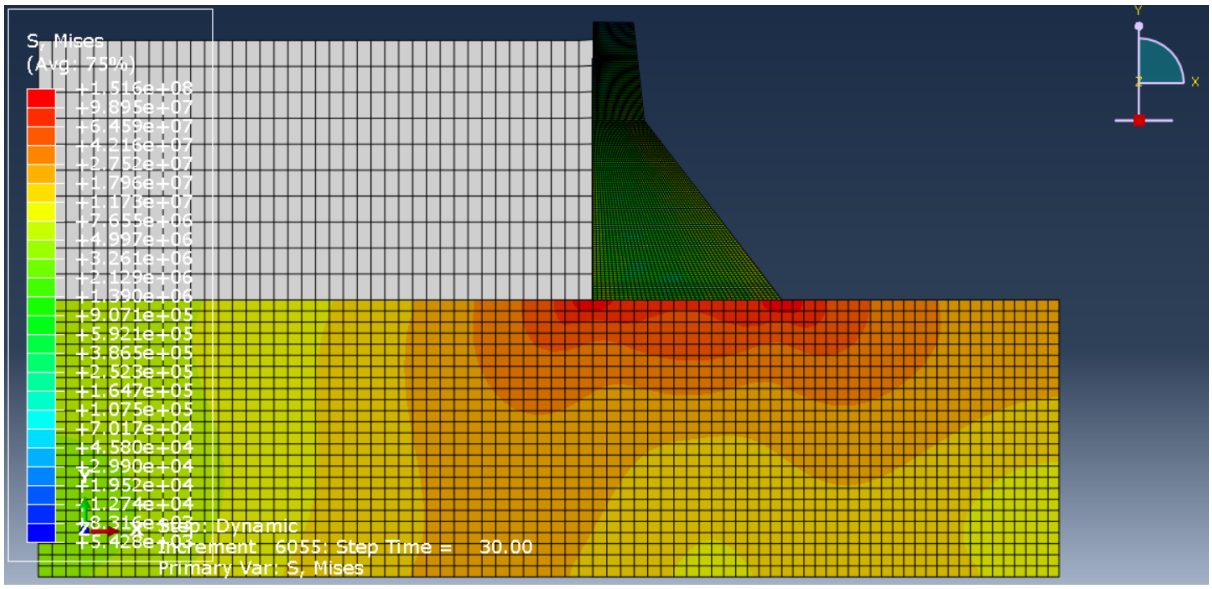


خرابی کششی

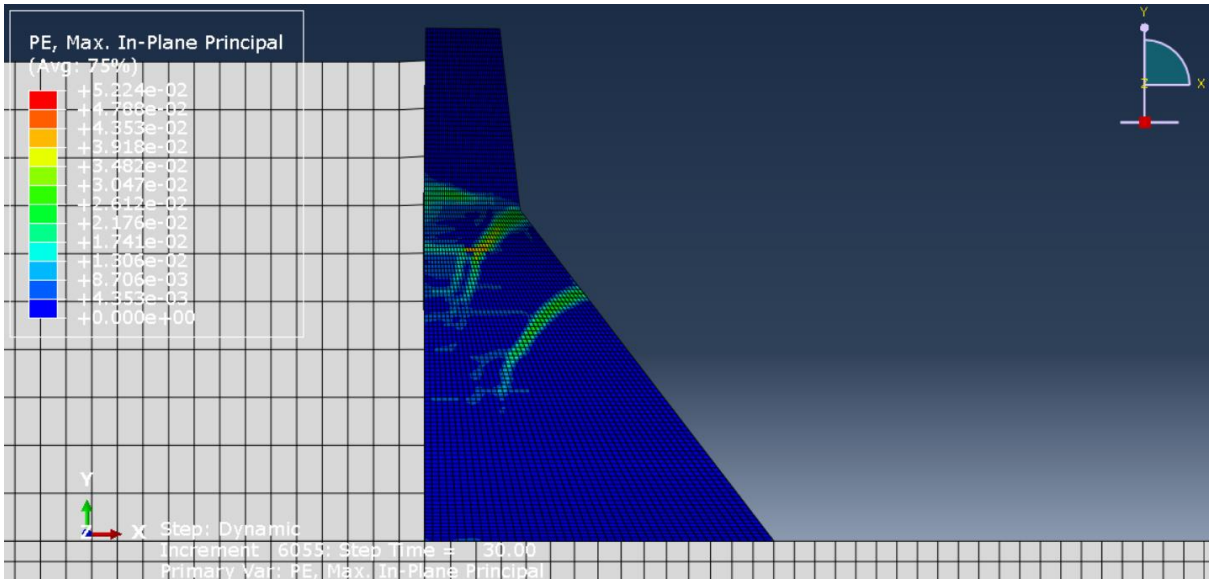


نمودار جابجایی تاج سد

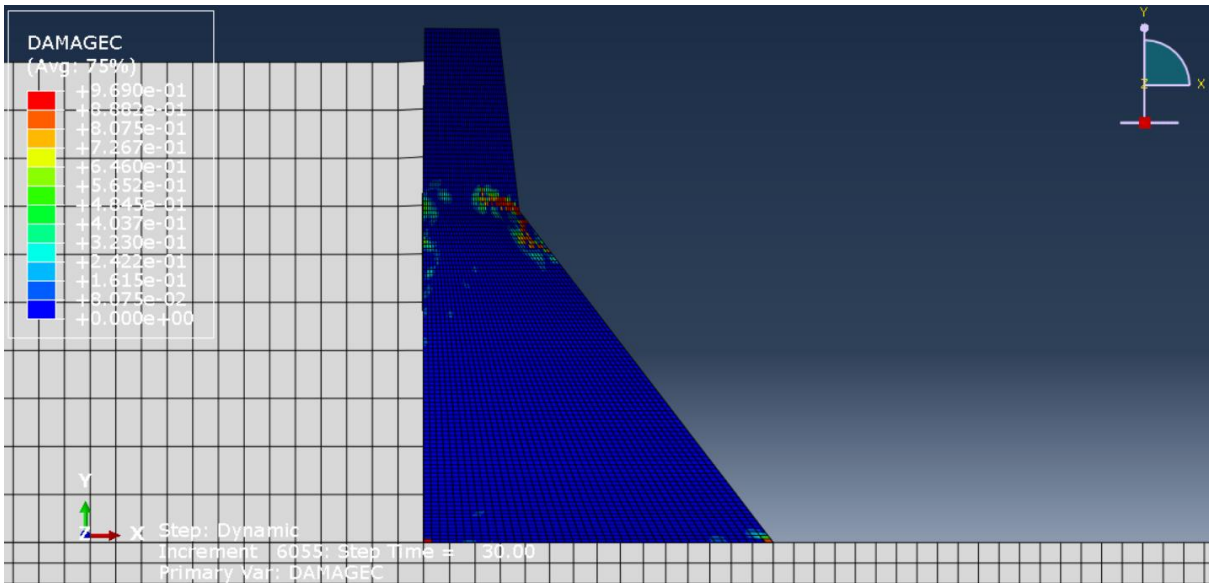
- زلزله ***Coolwater***



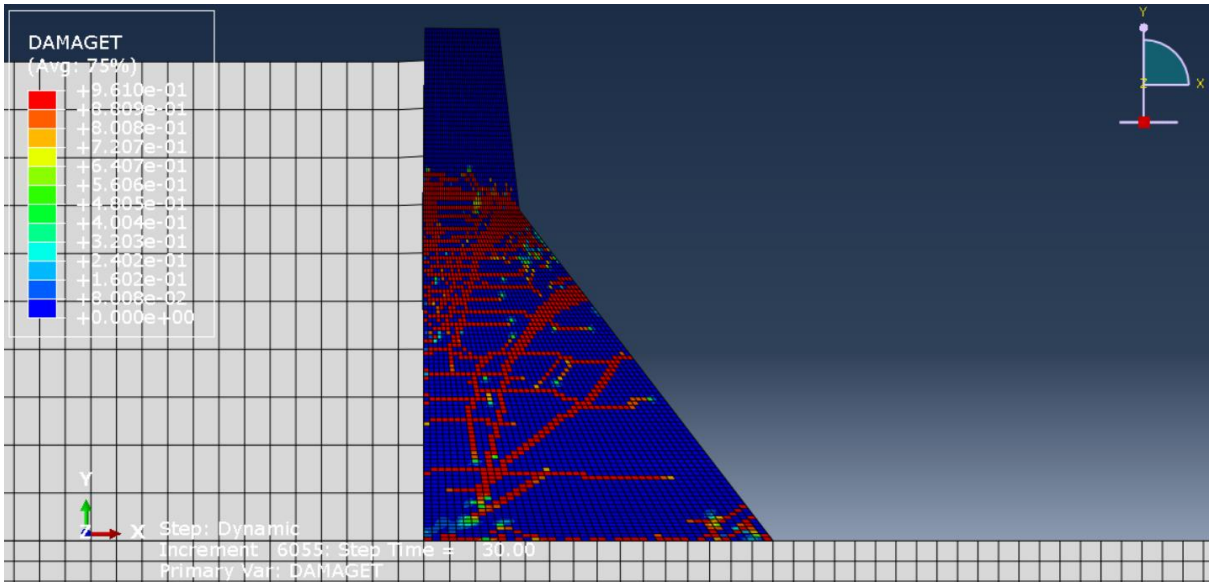
تنش فون میزس



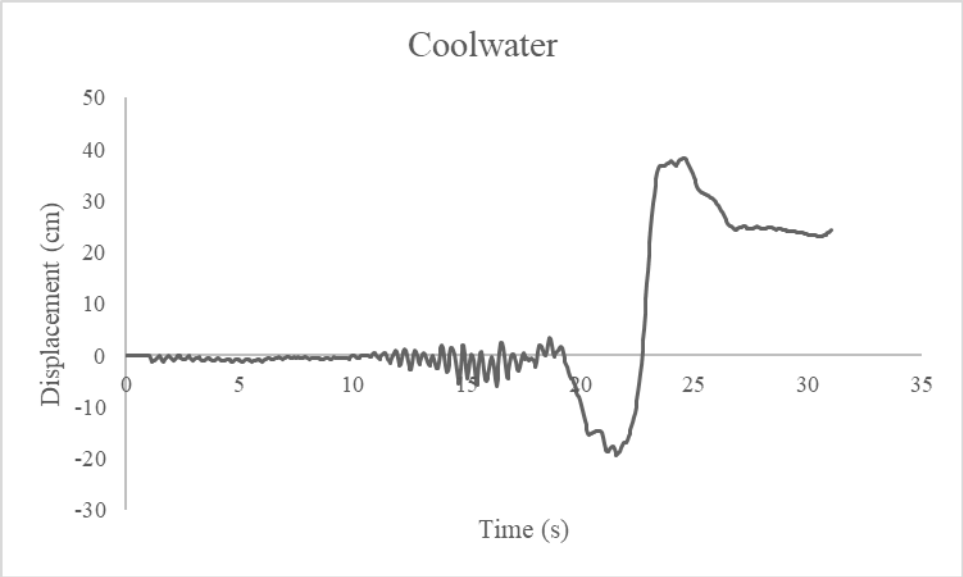
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

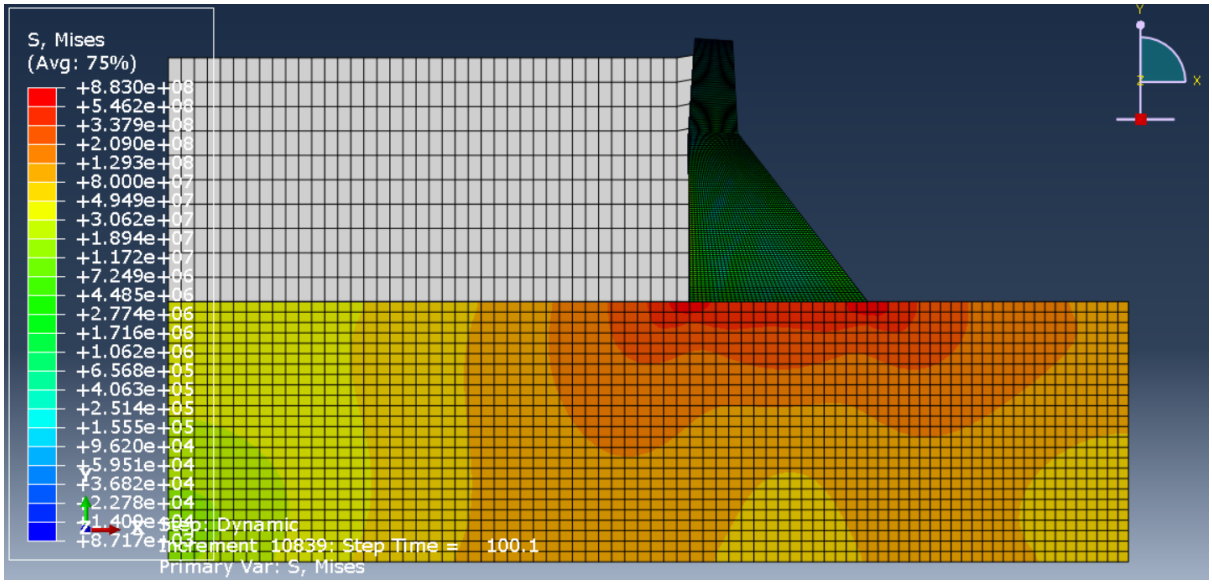


خرابی کششی

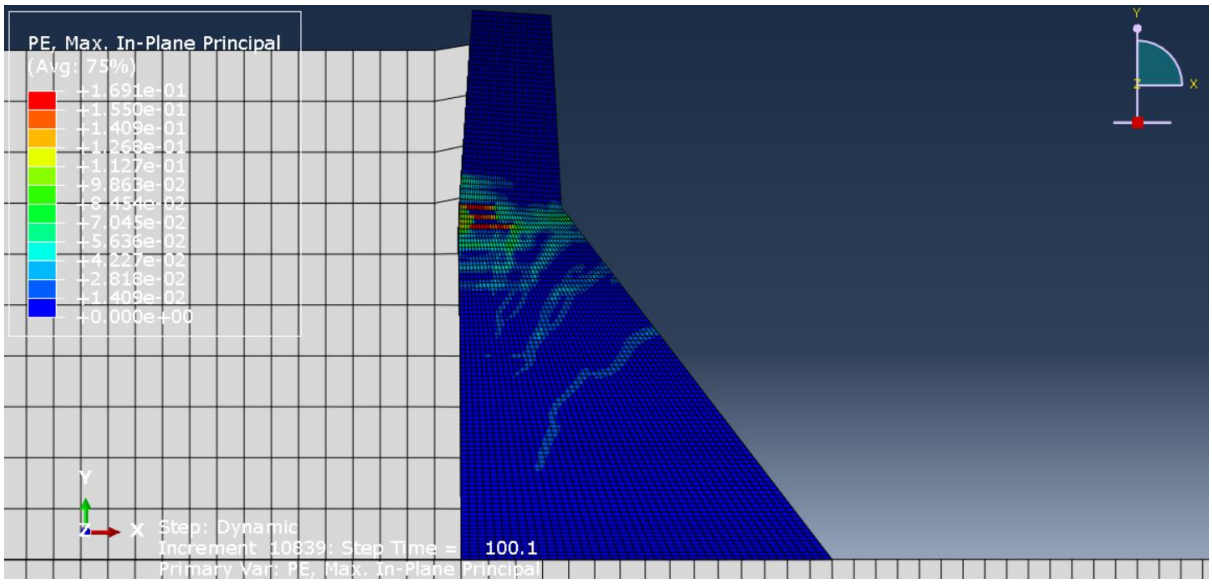


نمودار جابجایی تاج سد

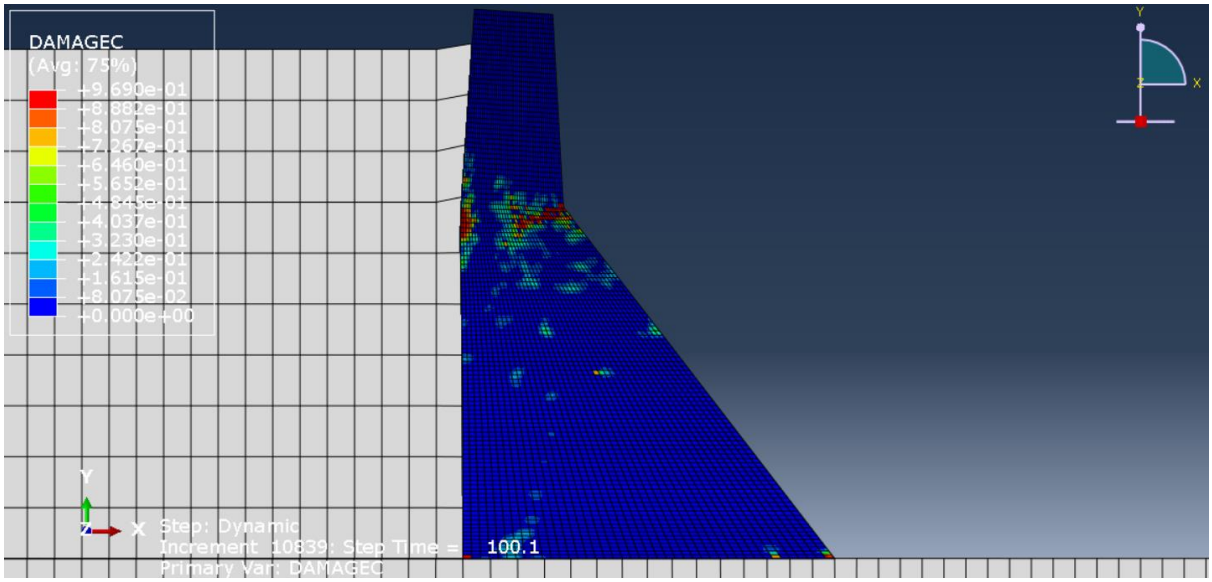
- زلزله ***Delta***



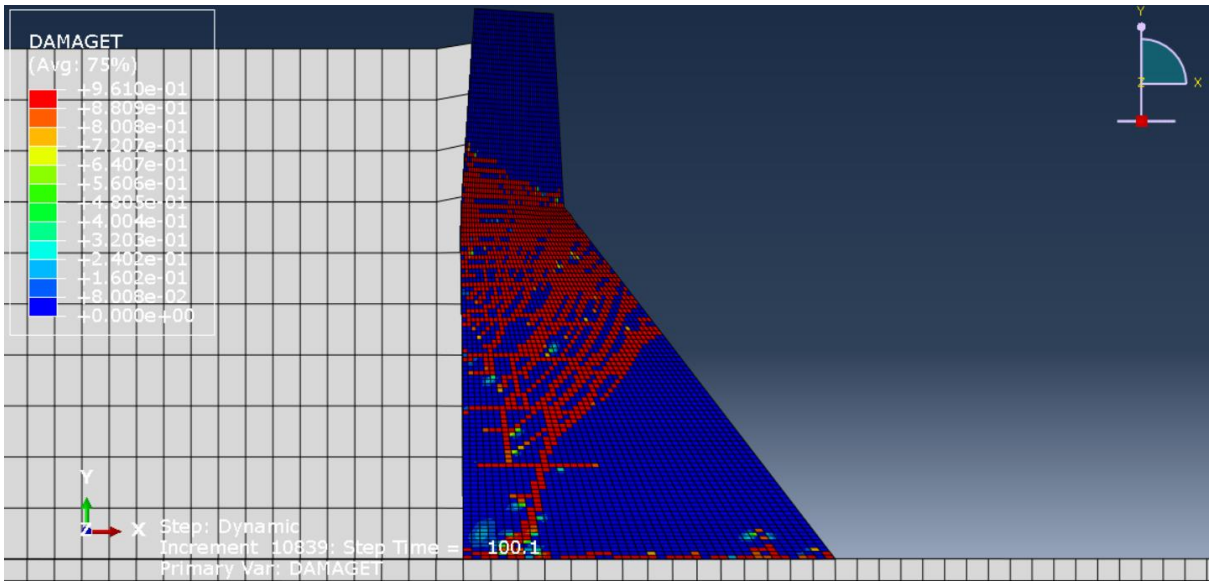
تنش فون میزس



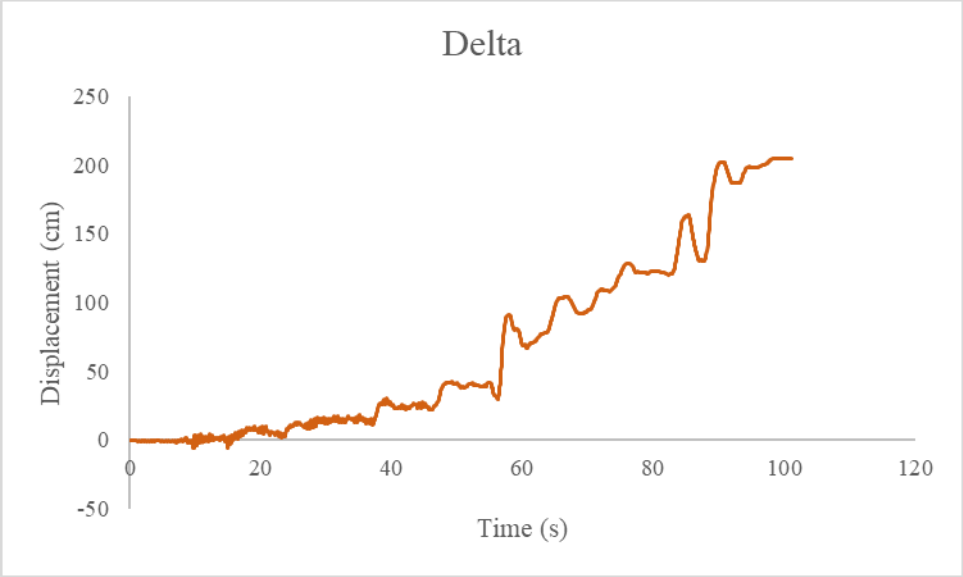
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

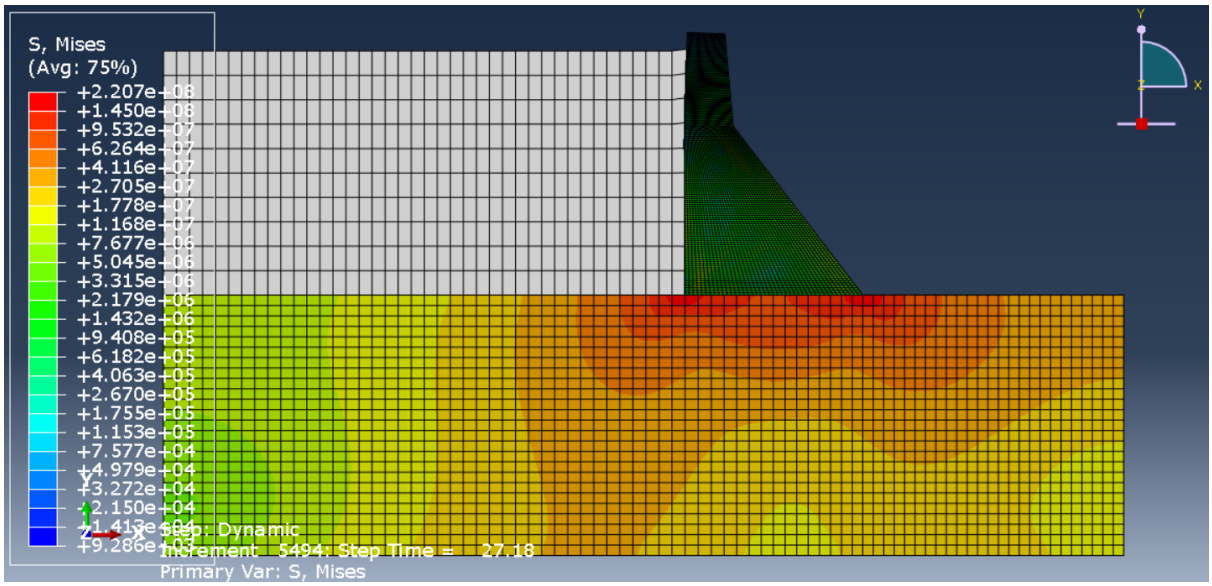


خرابی کششی

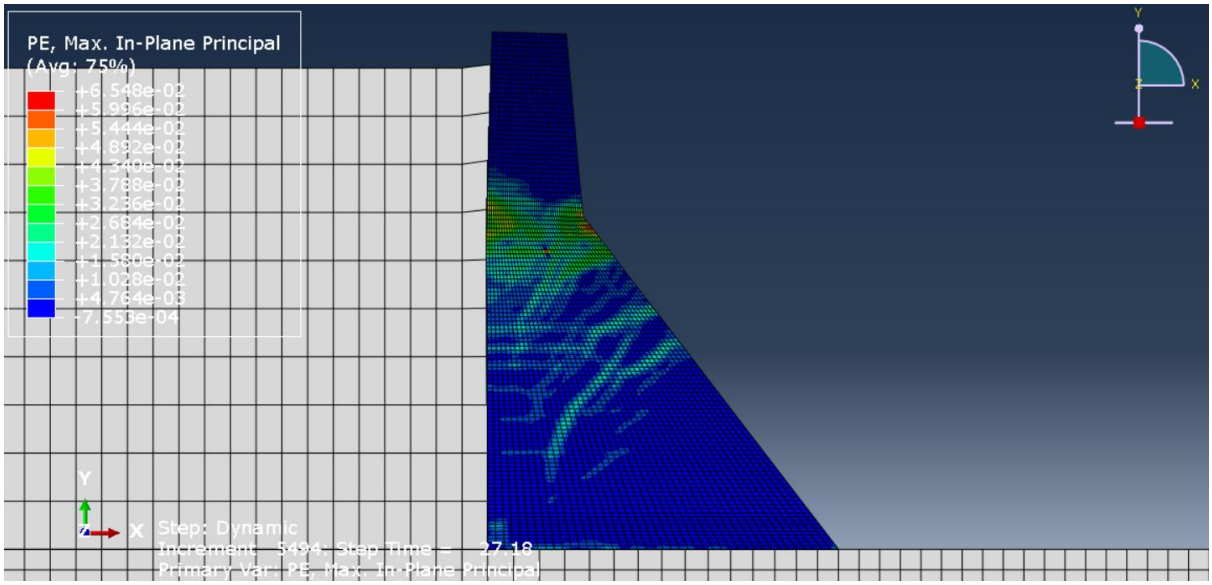


نمودار جابجایی تاج سد

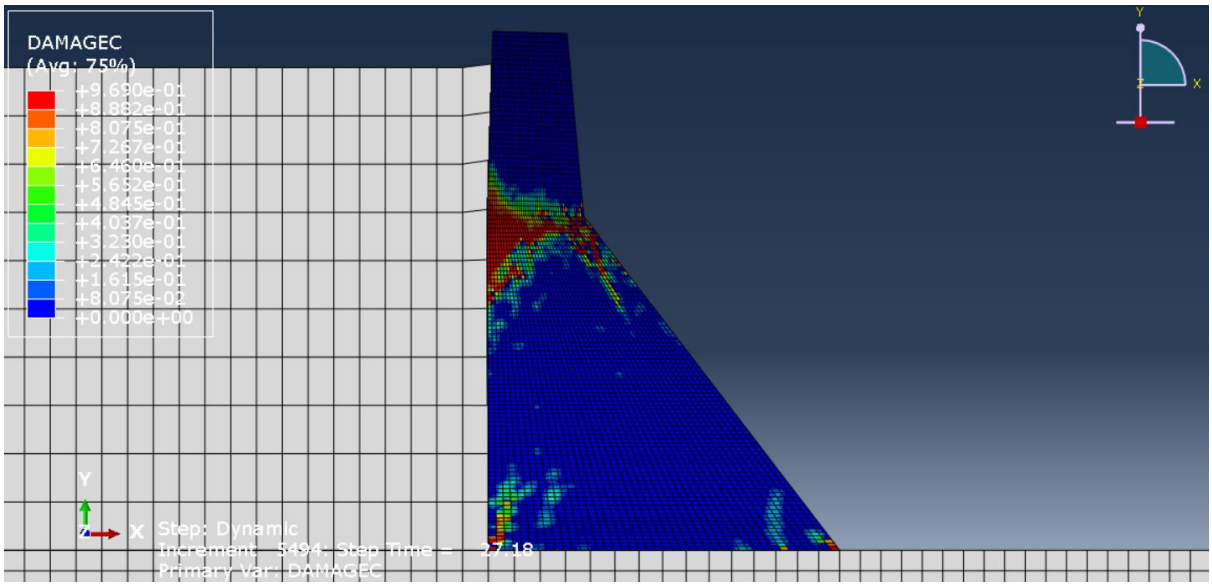
- زلزله ***Duzce***



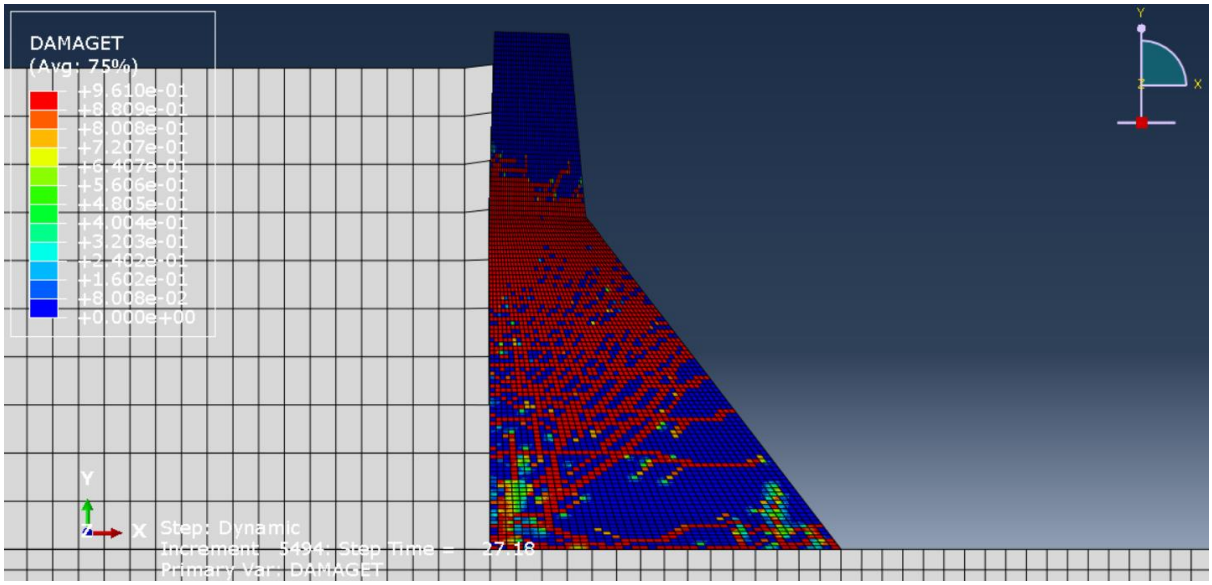
تنش فون میزس



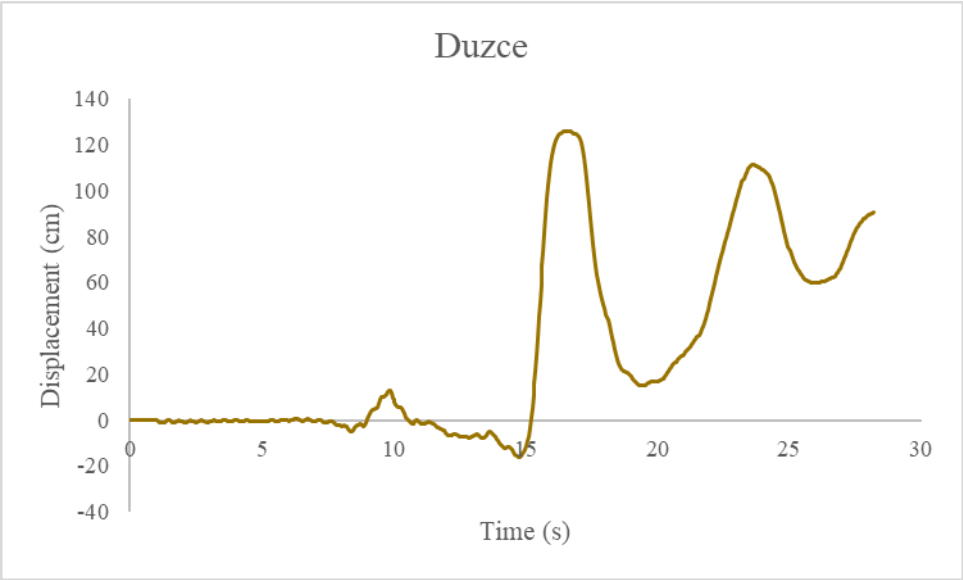
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

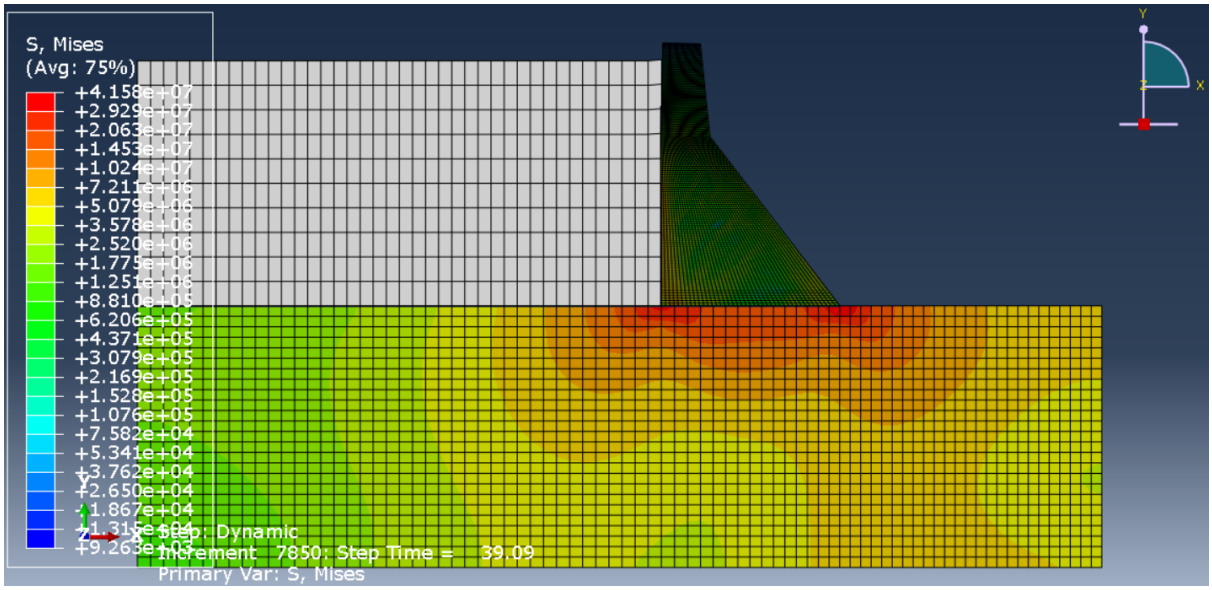


خرابی کششی

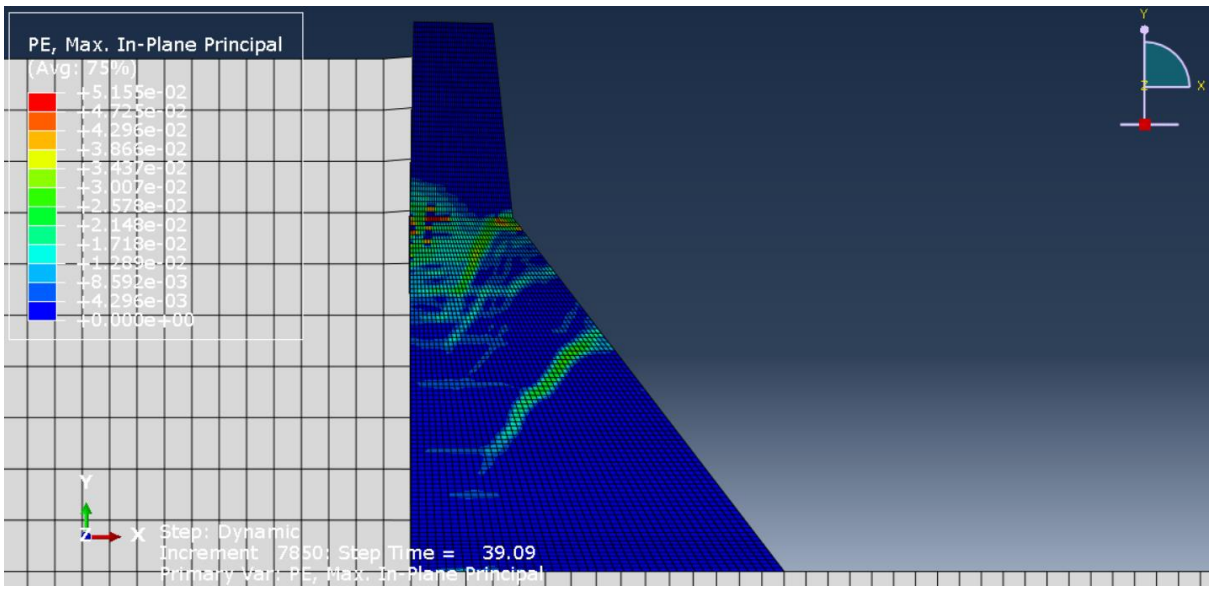


نمودار جابجایی تاج سد

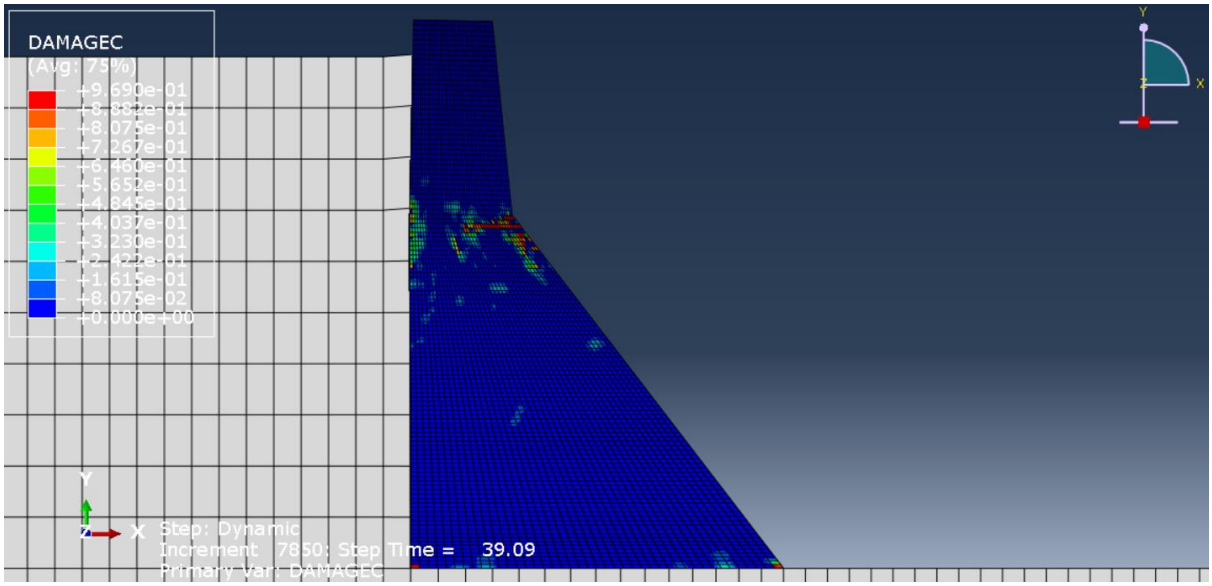
- زلزله *El Centro Arrey*



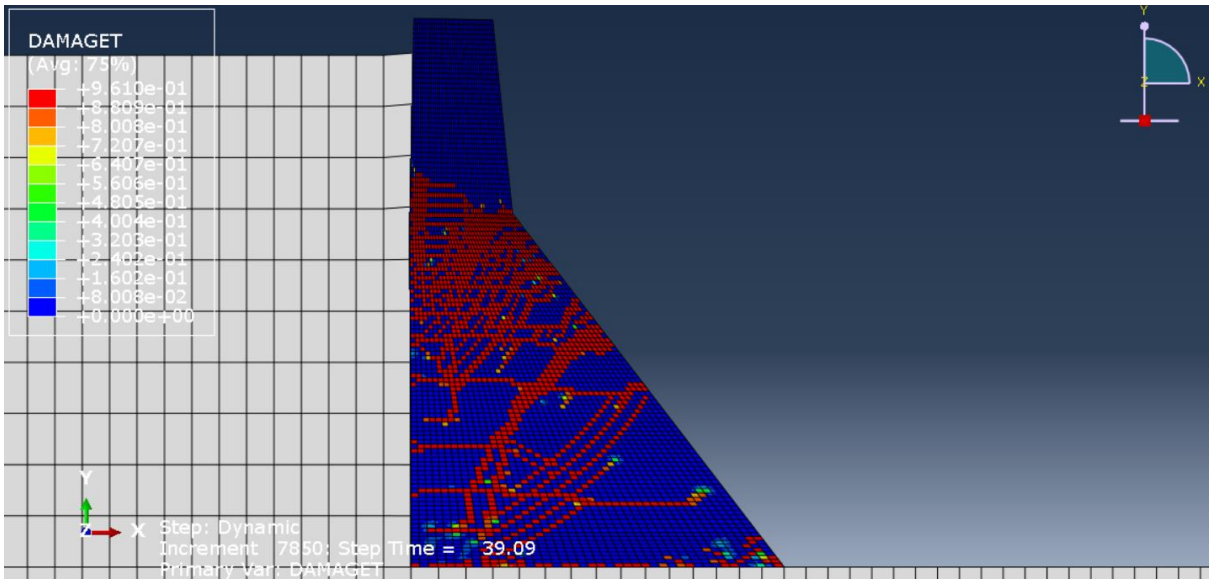
تنش فون میزس



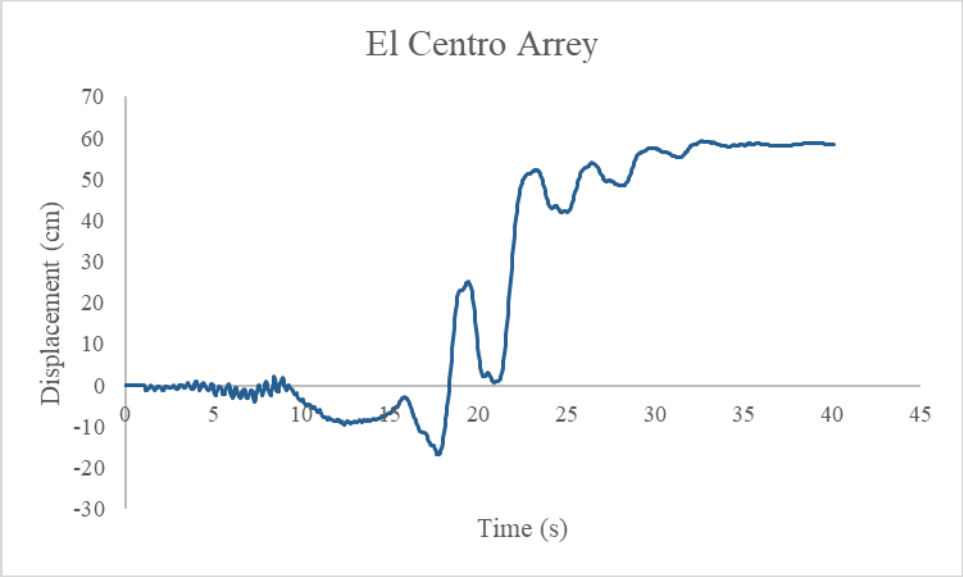
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

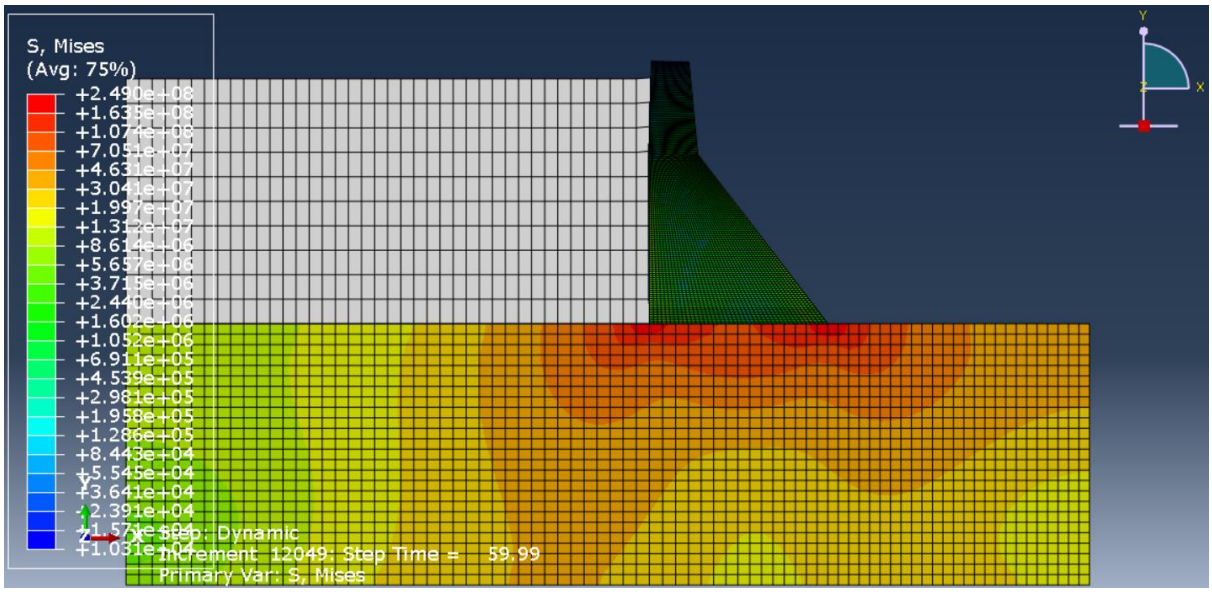


خرابی کششی

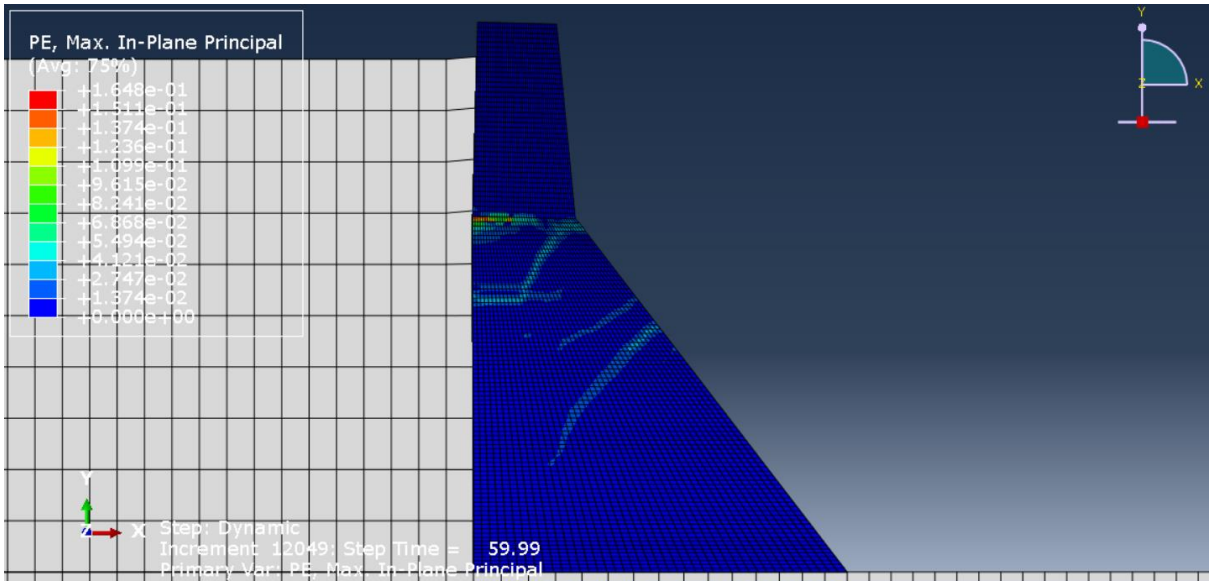


نمودار جابجایی تاج سد

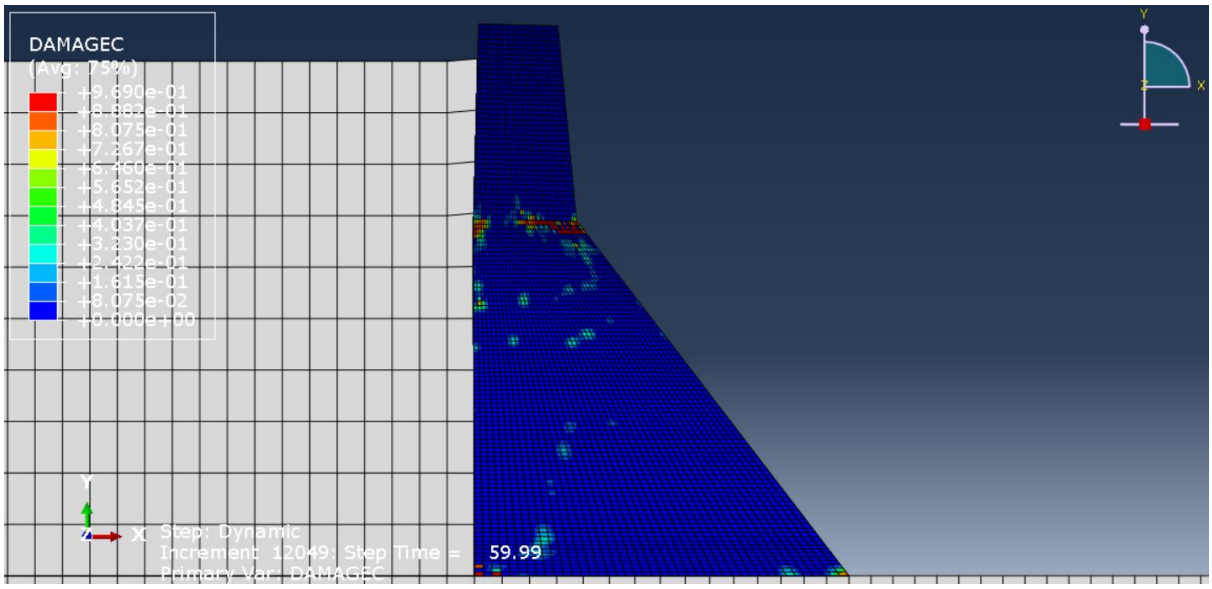
- زلزله ***El Centro Imp***



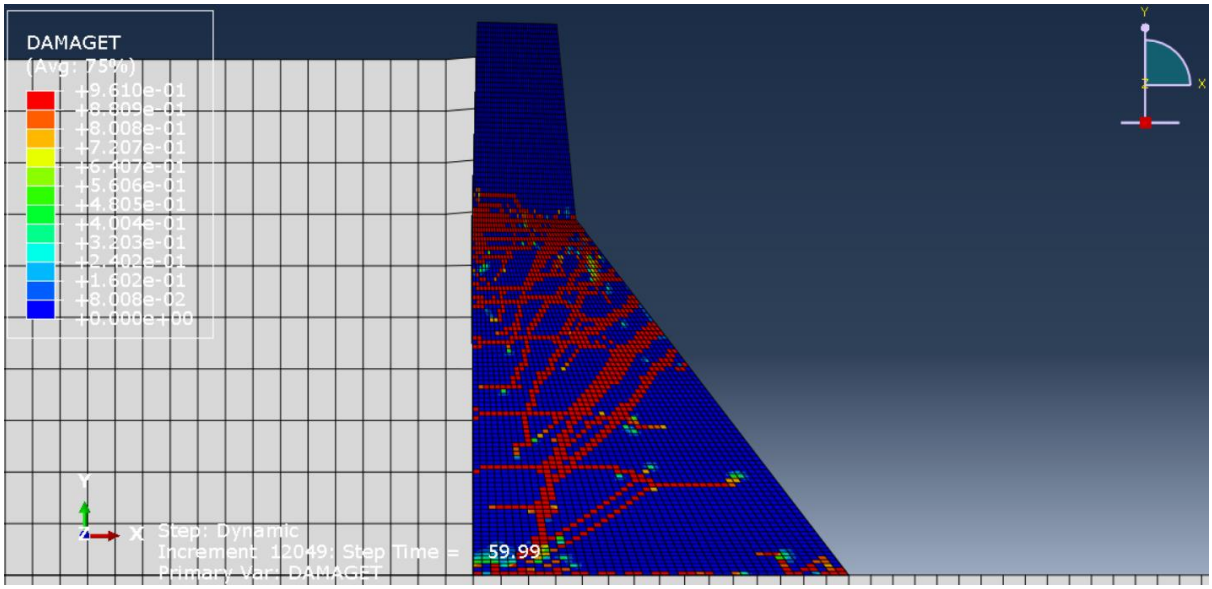
تنش فون میزس



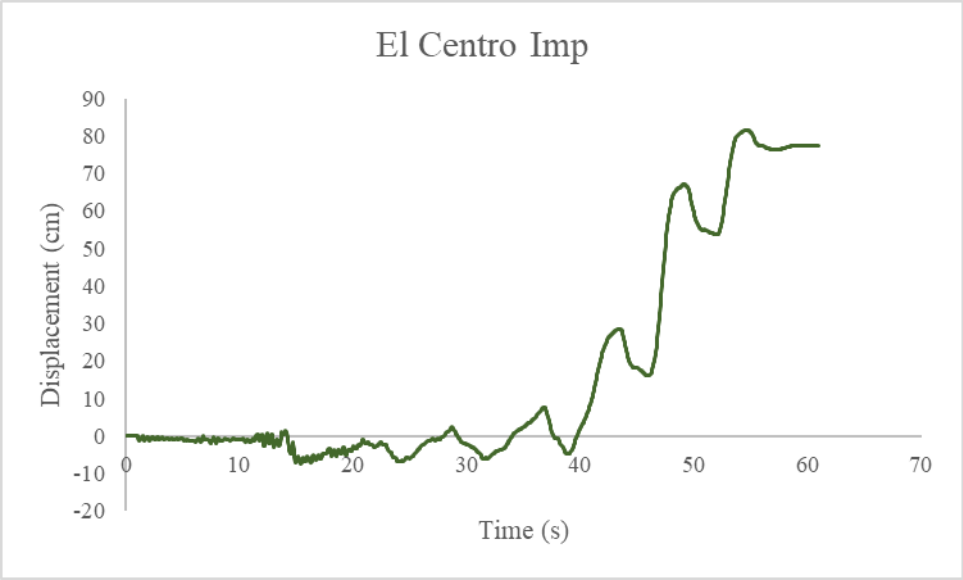
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

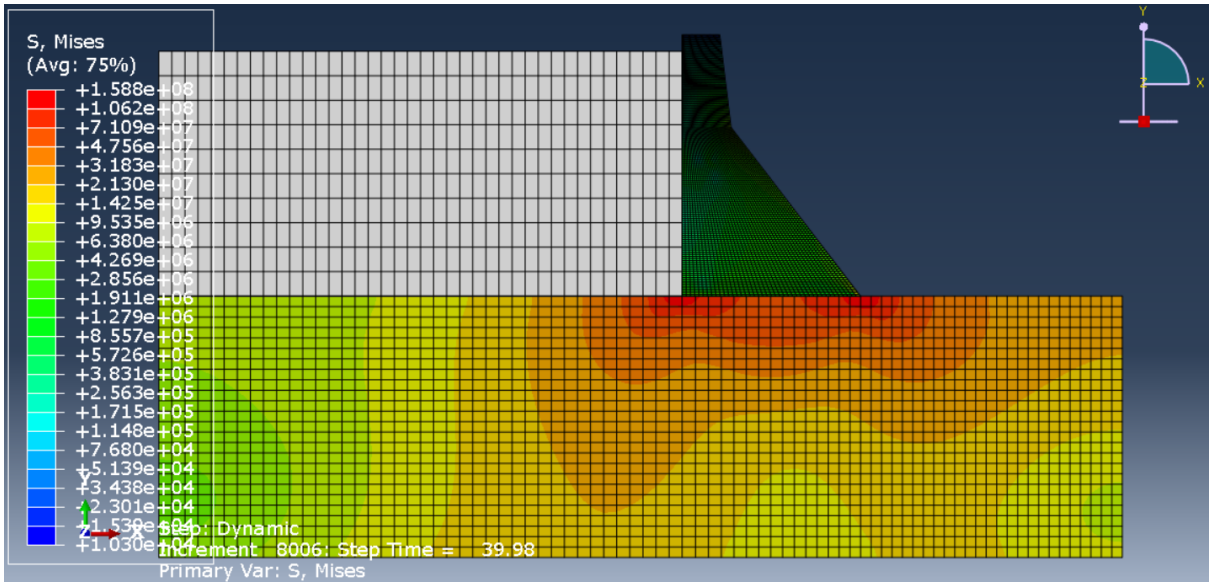


خرابی کششی

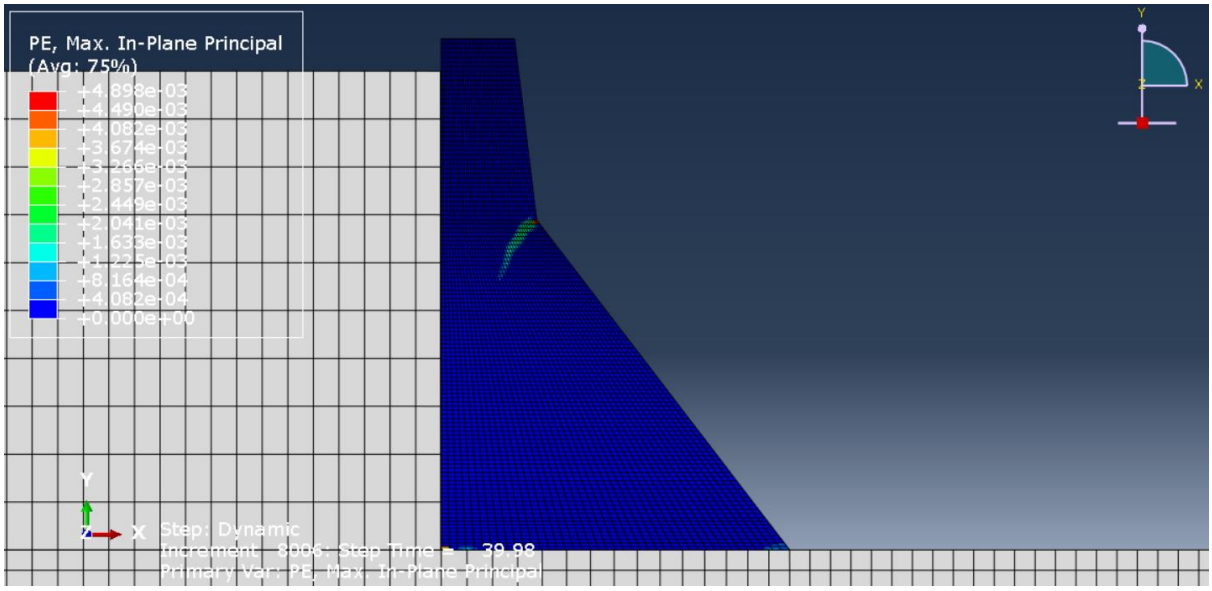


نمودار جابجایی تاج سد

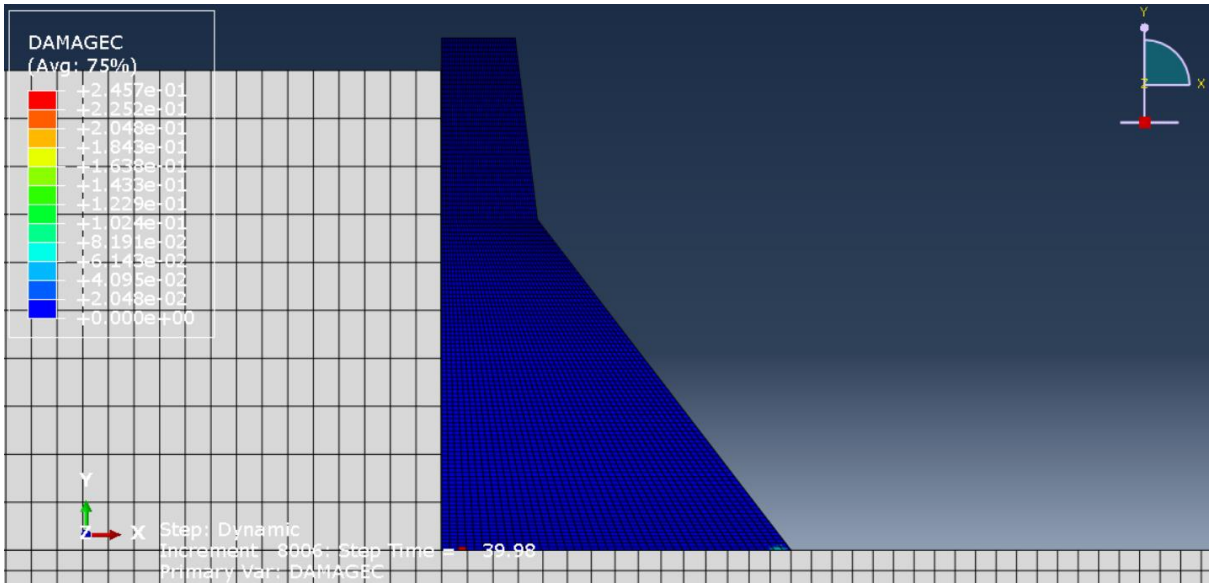
- زلزله *Gilroy Arrey*



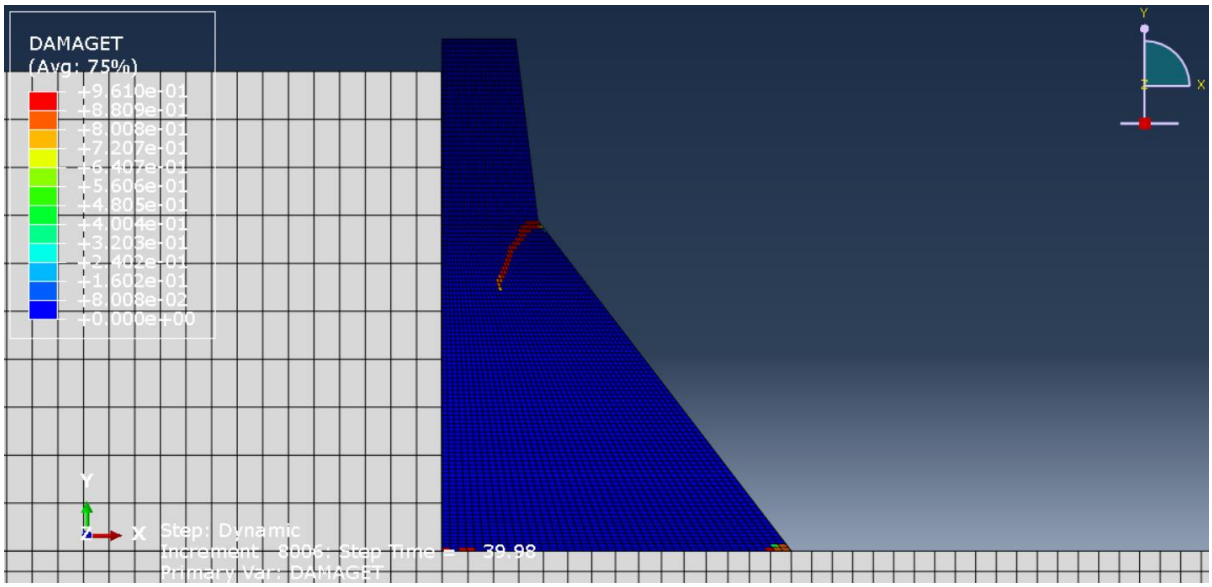
تنش فون میزس



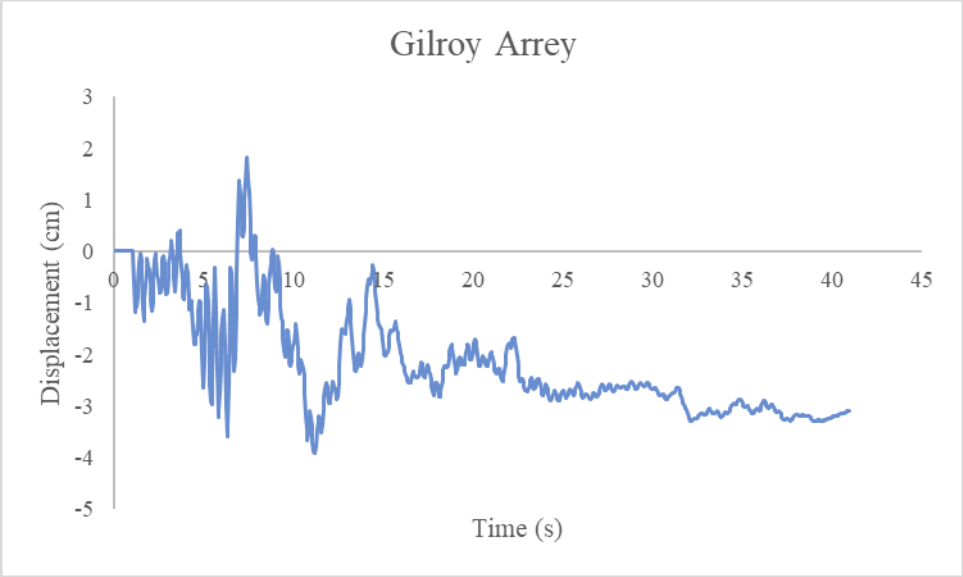
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

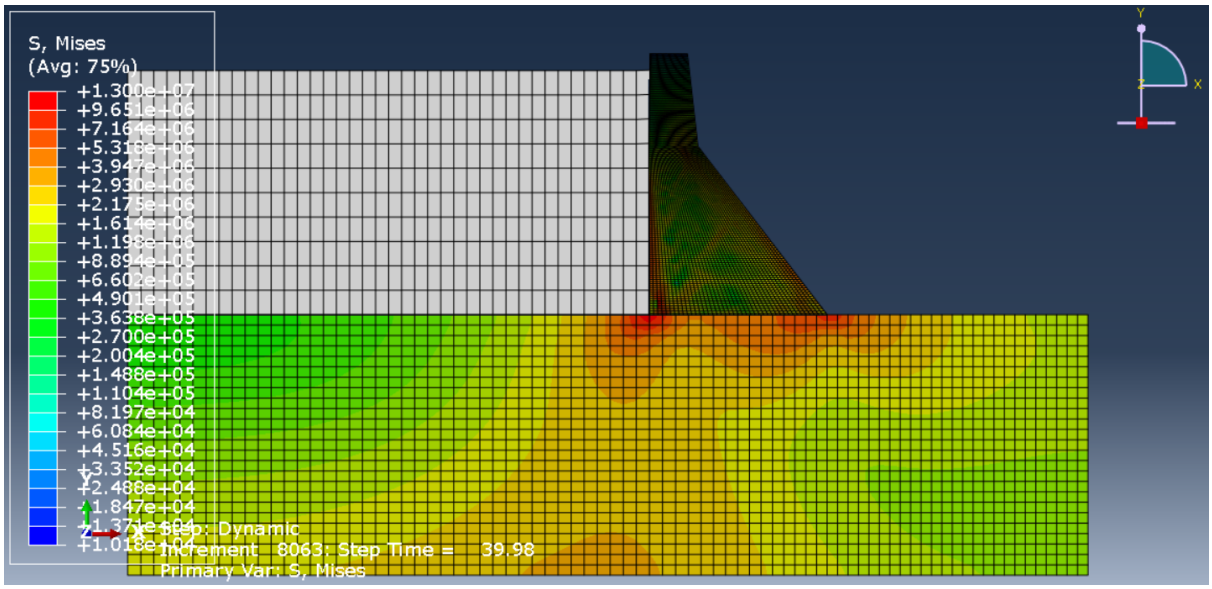


خرابی کششی

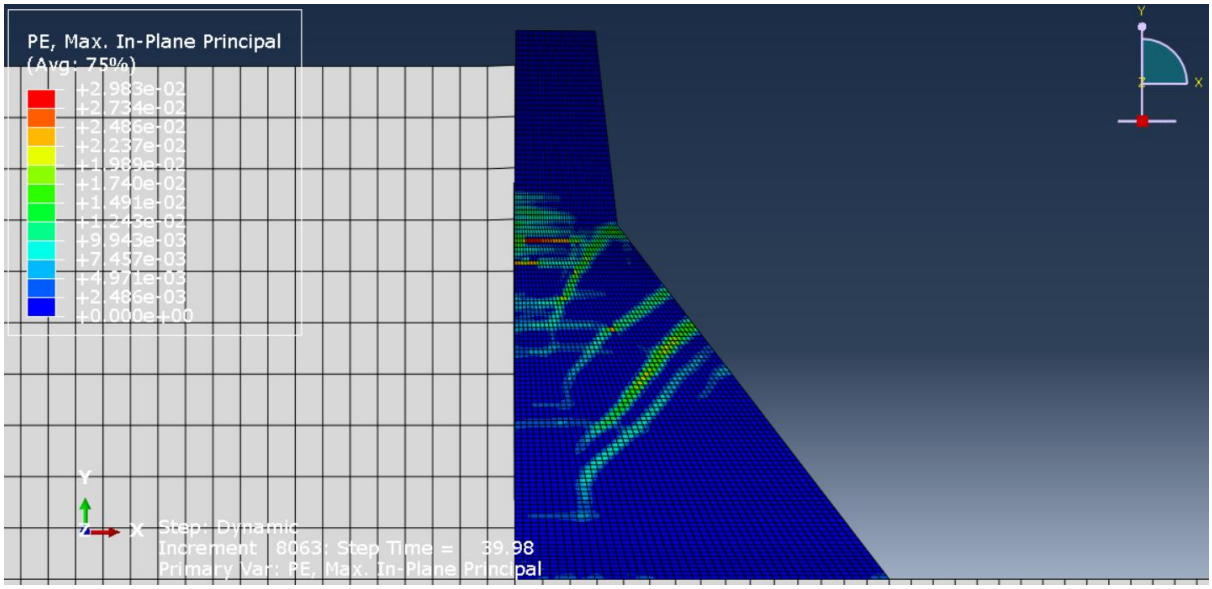


نمودار جابجایی تاج سد

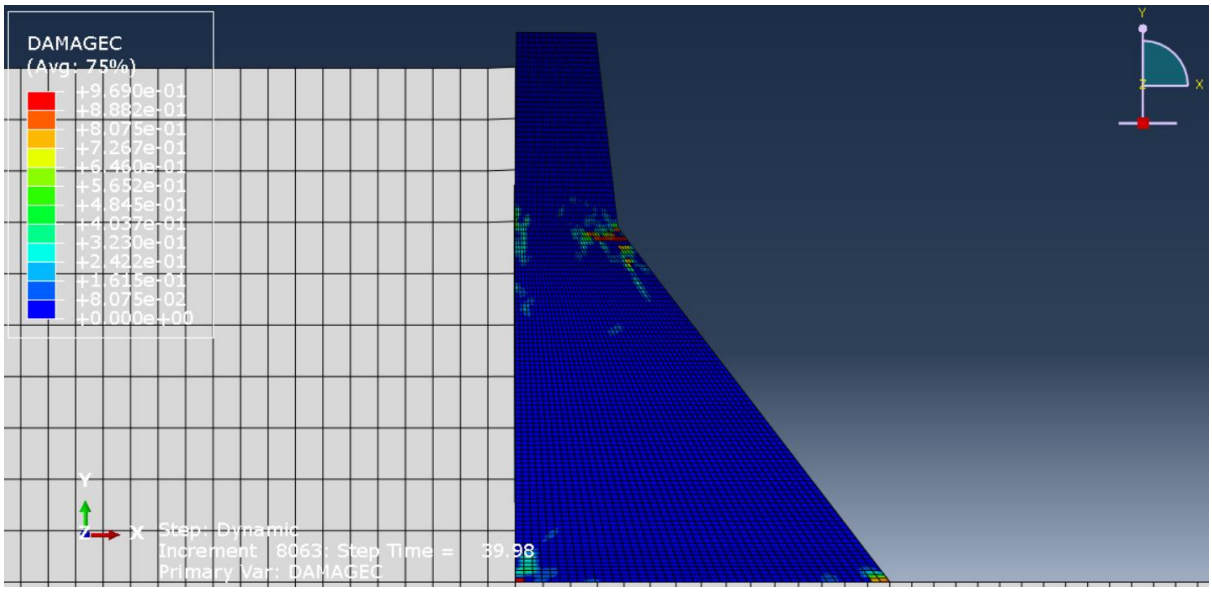
- زلزله ***Hector***



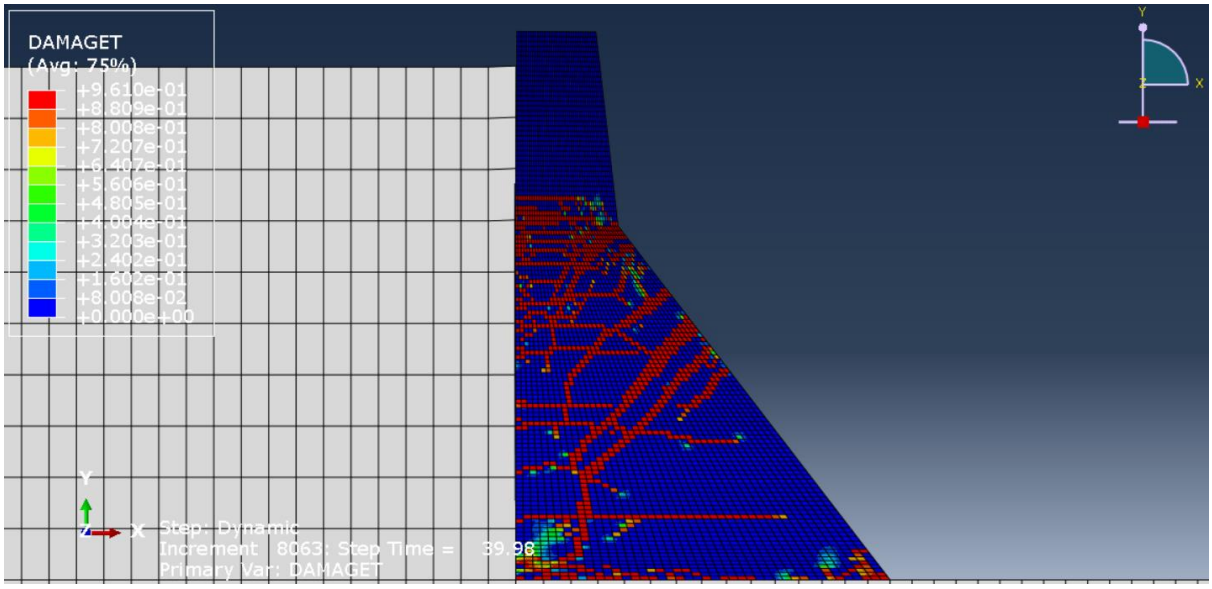
تنش فون میزس



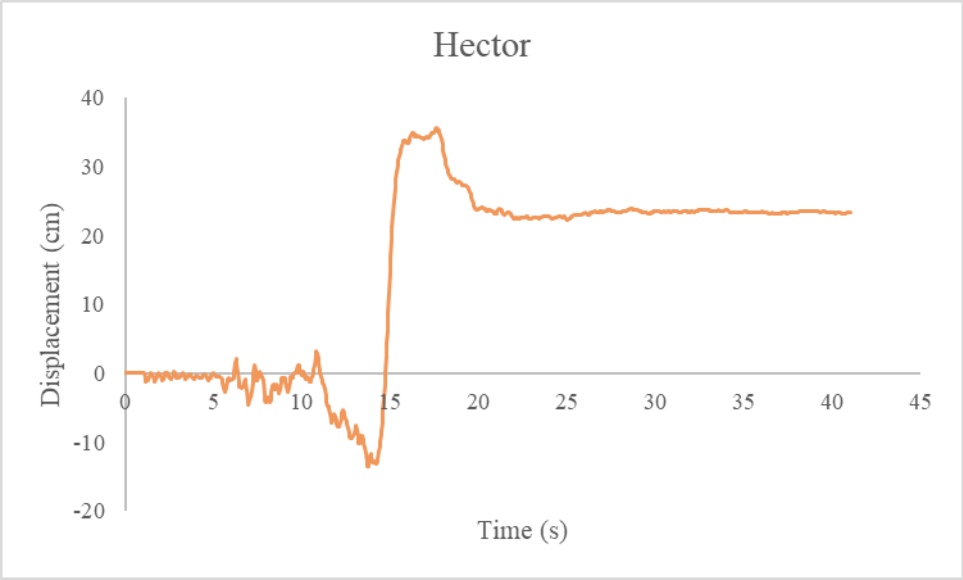
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

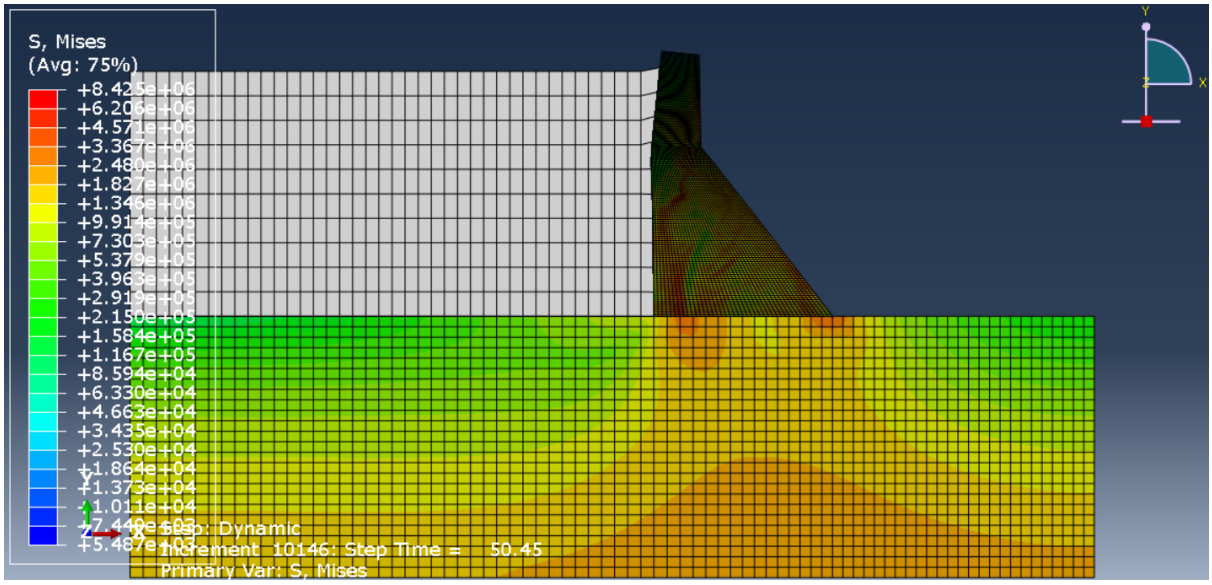


خرابی کششی

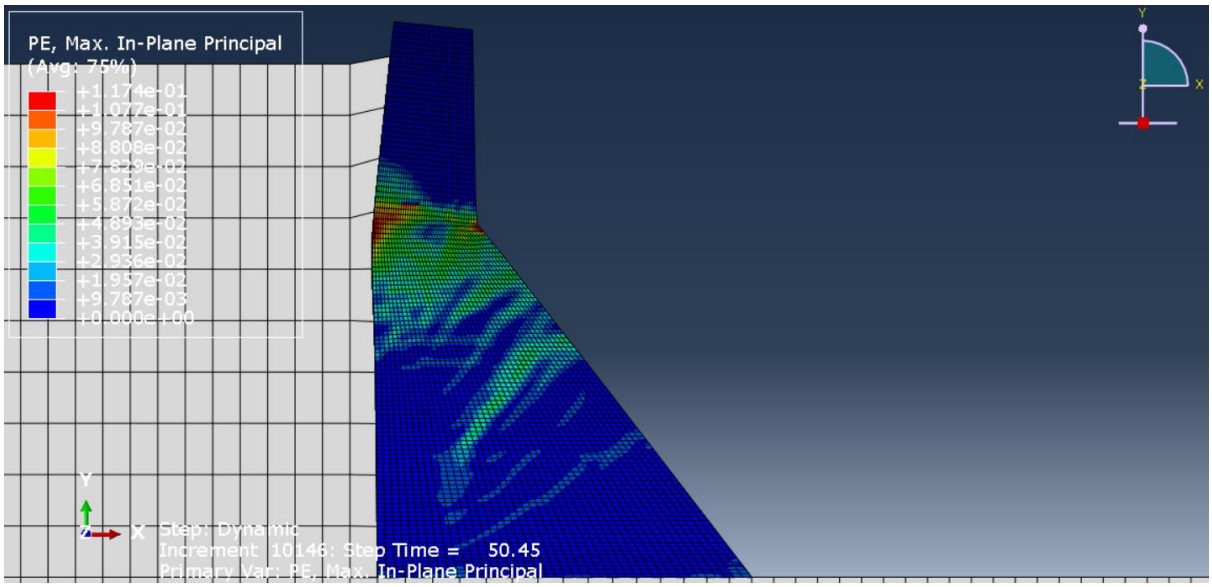


نمودار جابجایی تاج سد

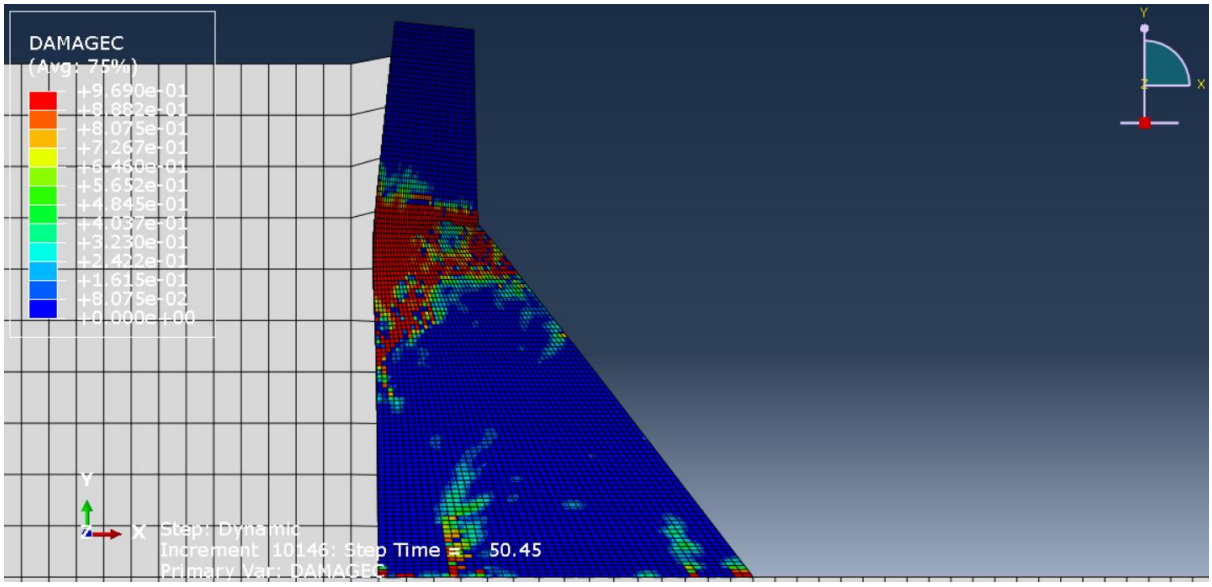
- زلزله *LA Hollywood Star*



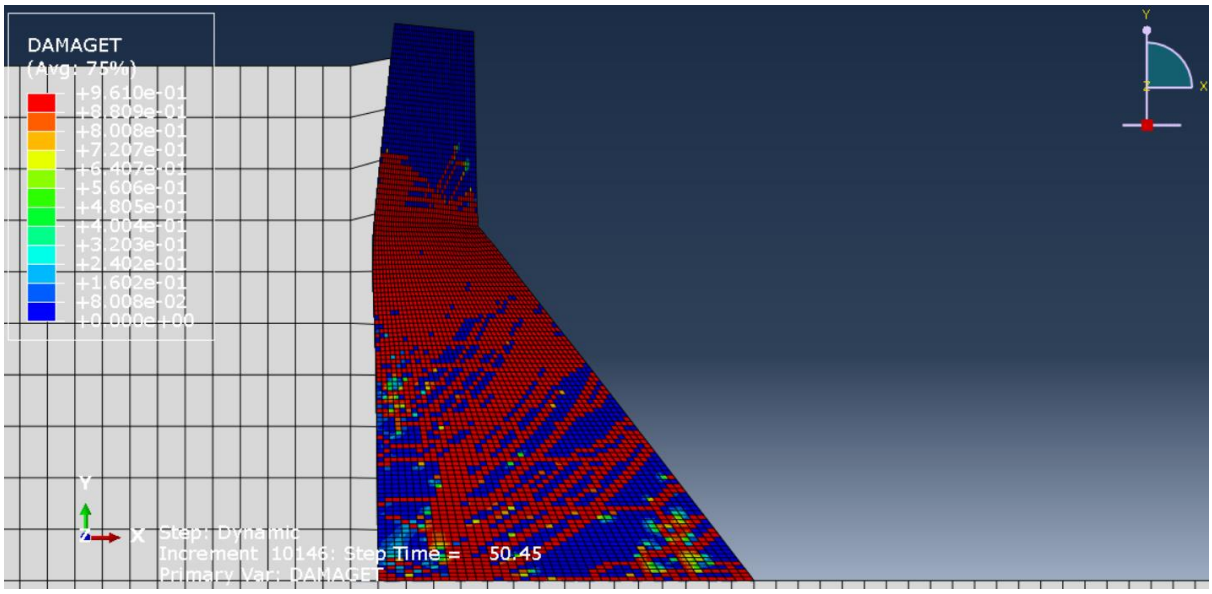
تنش فون میزس



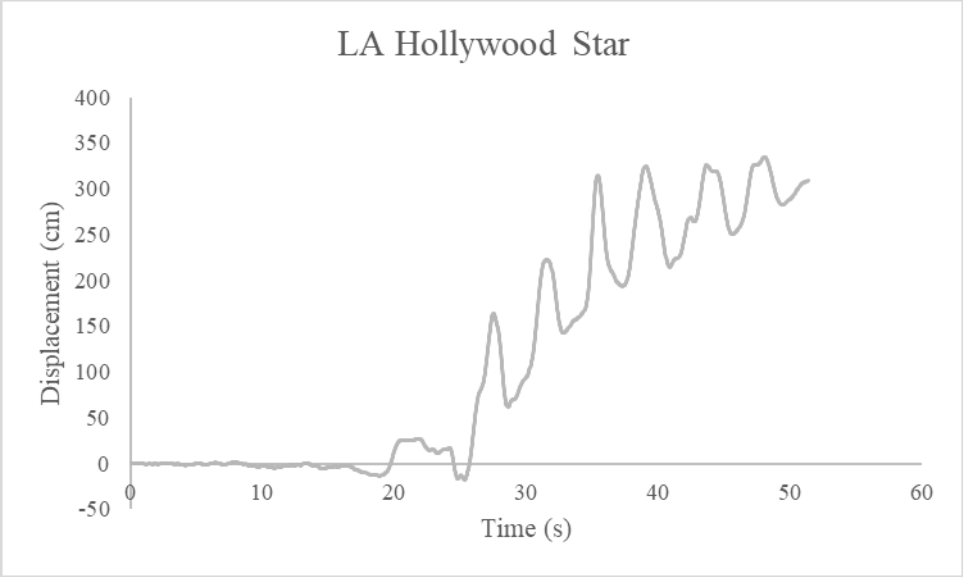
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

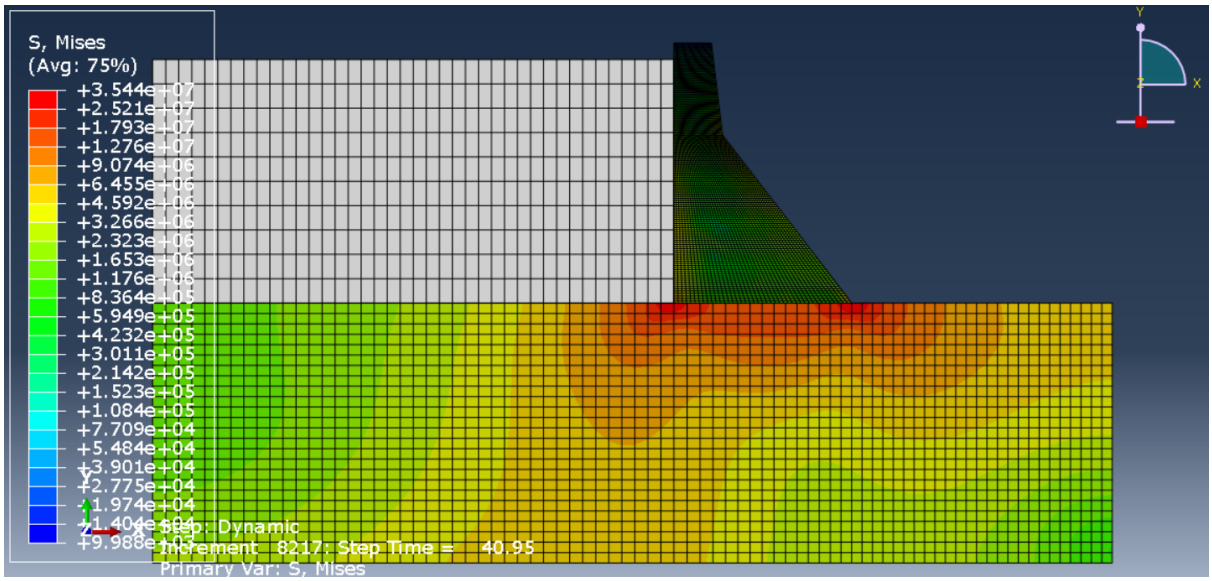


خرابی کششی

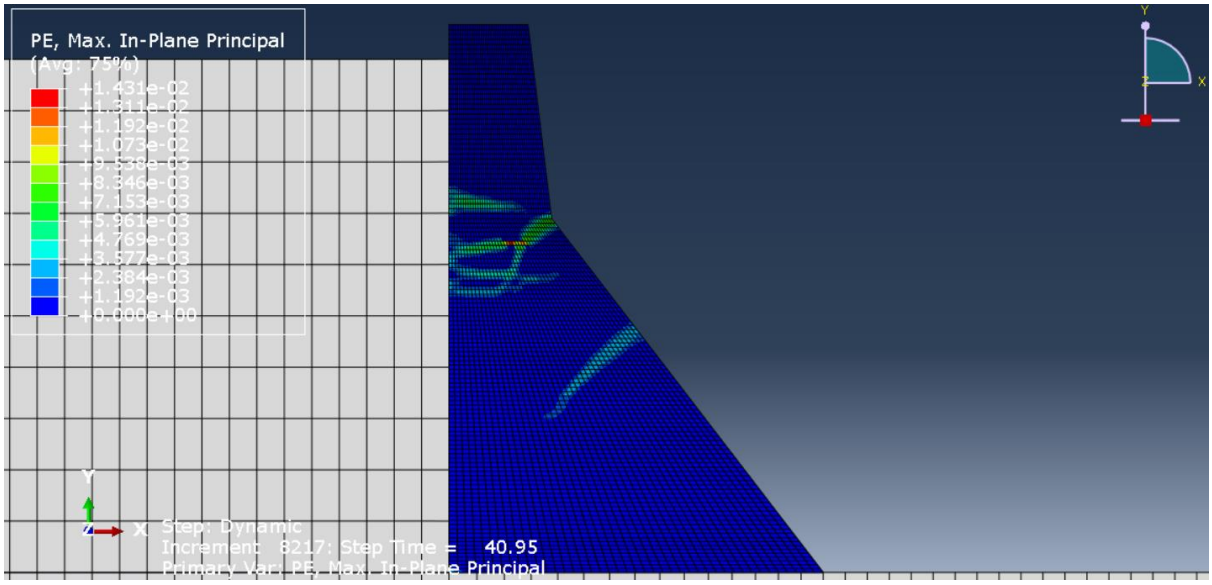


نمودار جابجایی تاج سد

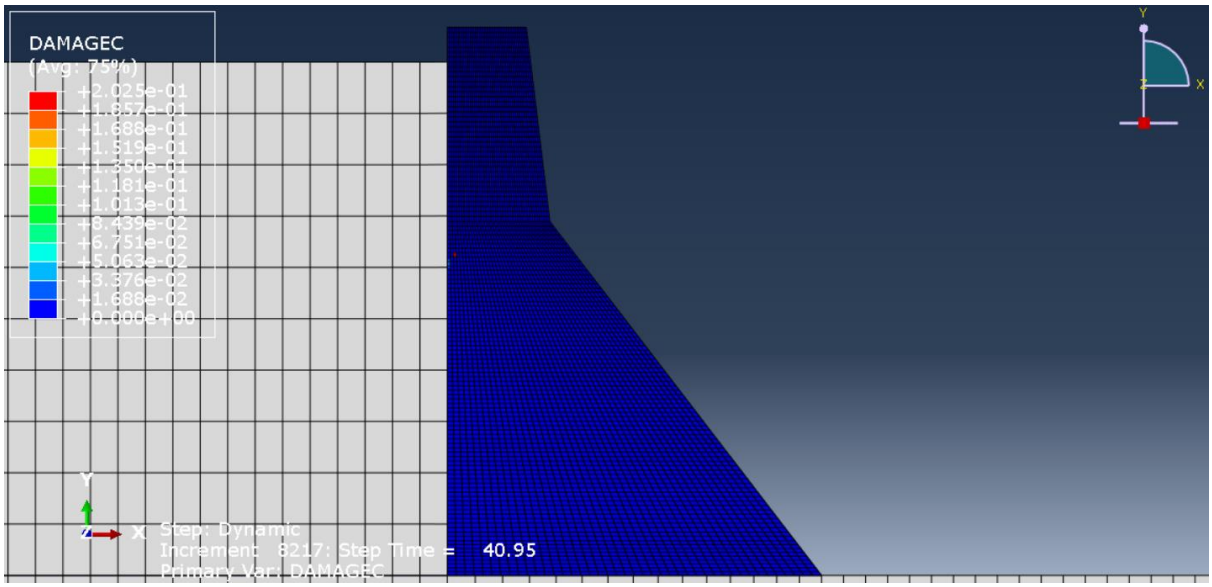
- زلزله ***Nishi Akashi***



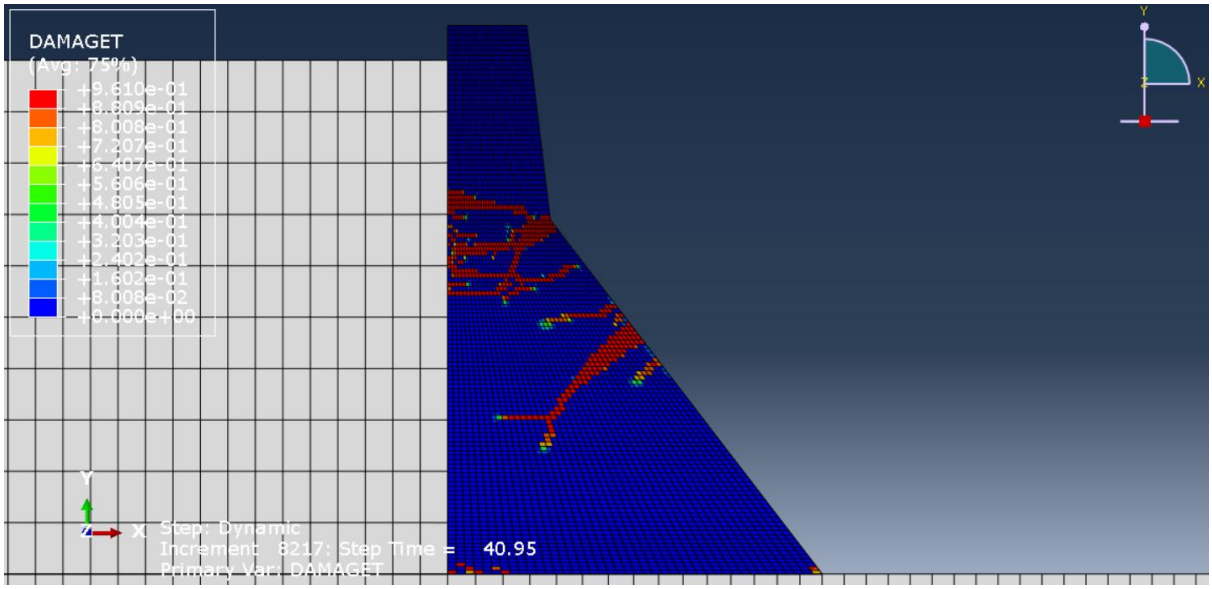
تنش فون میزس



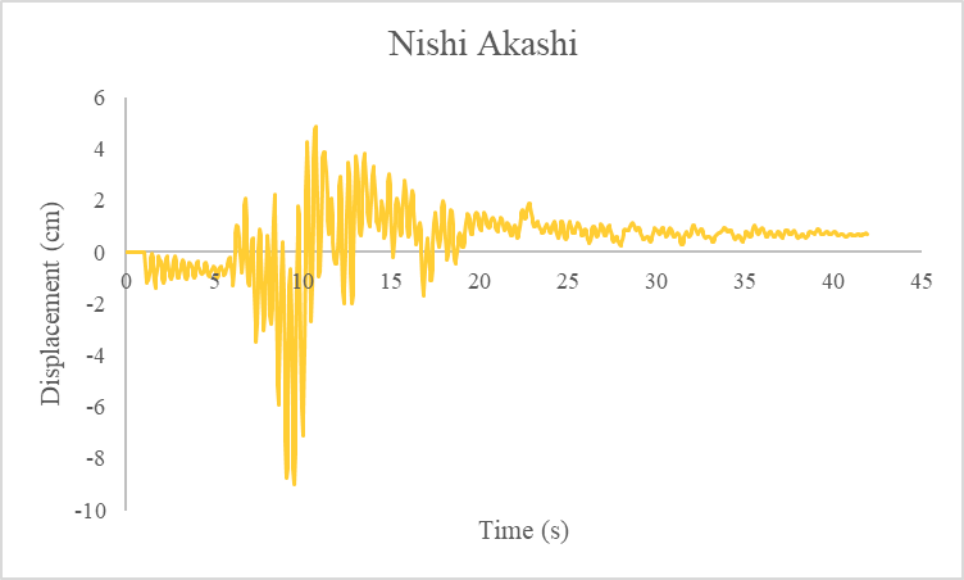
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

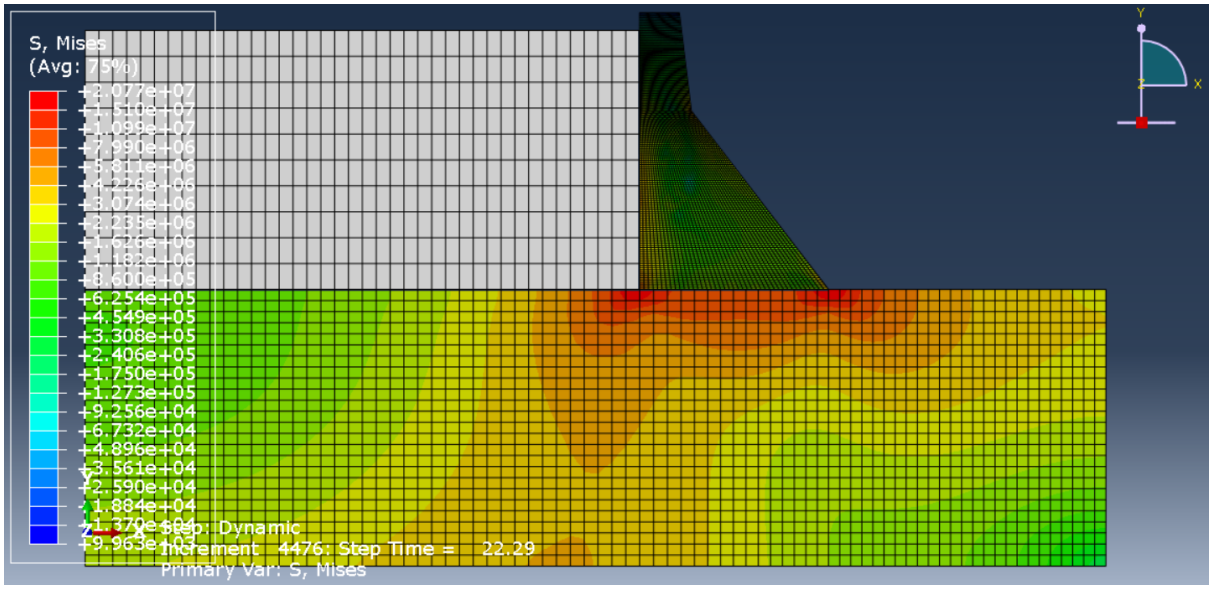


خرابی کششی

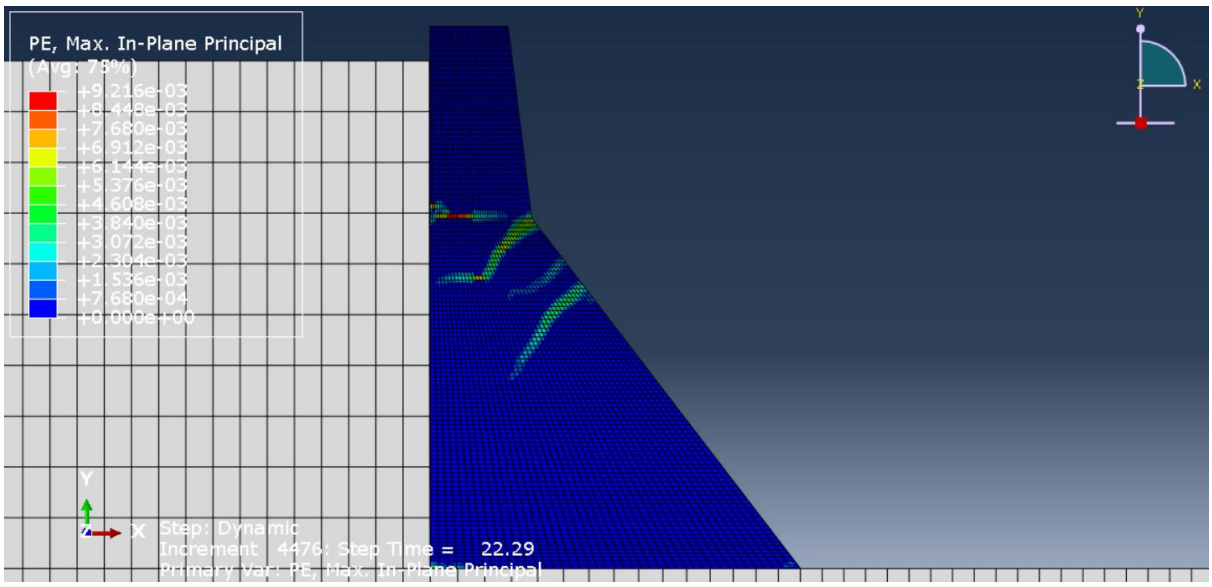


نمودار جابجایی تاج سد

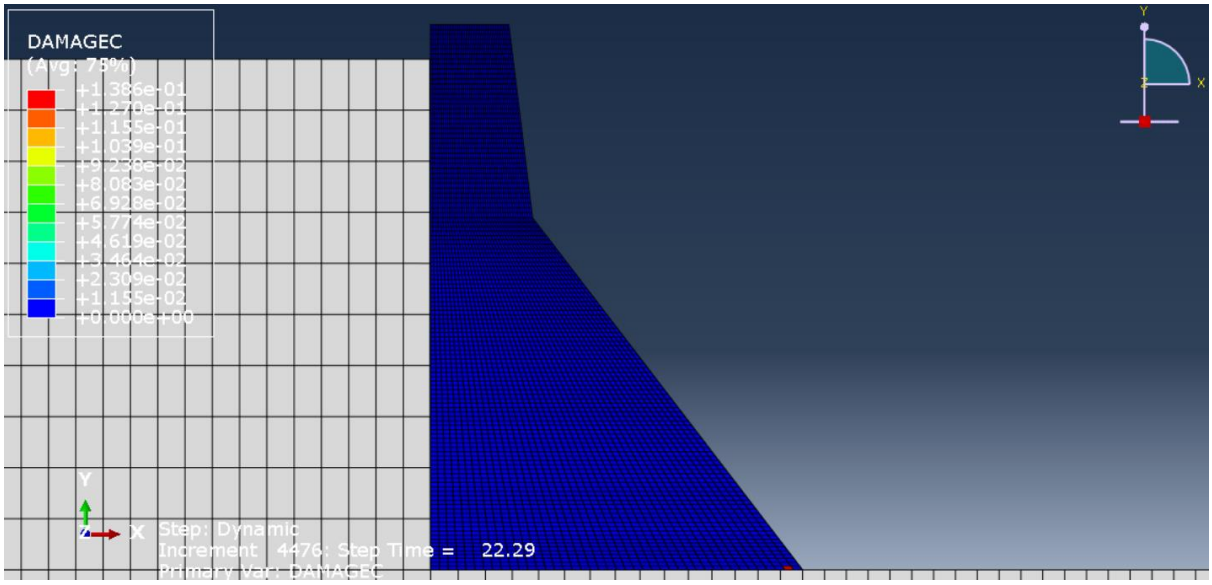
- زلزله *Poe Road*



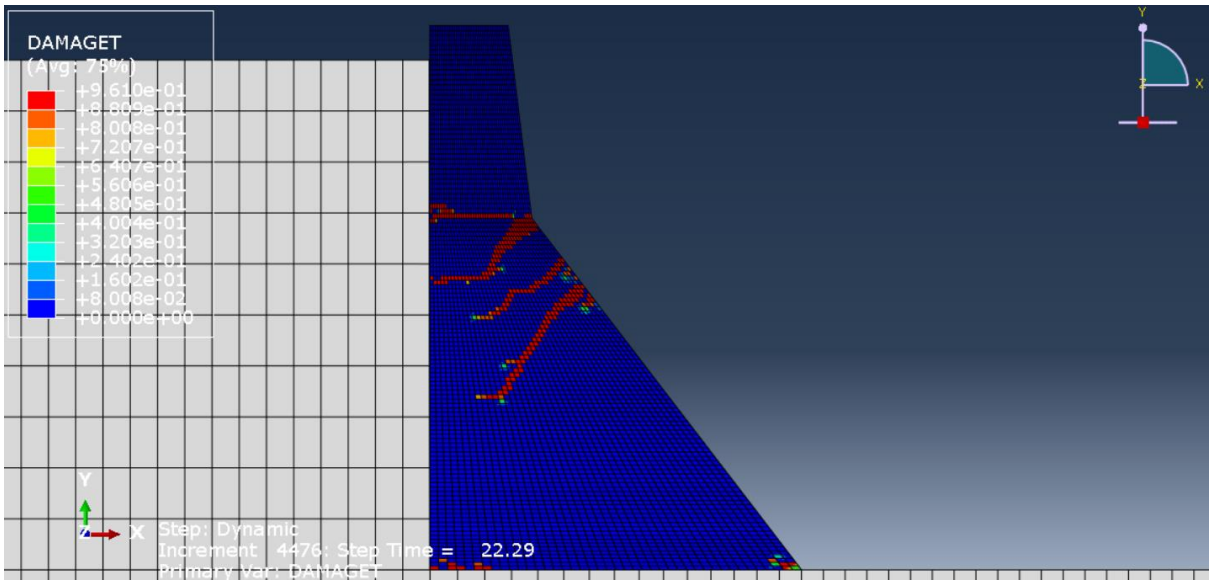
تنش فون میزس



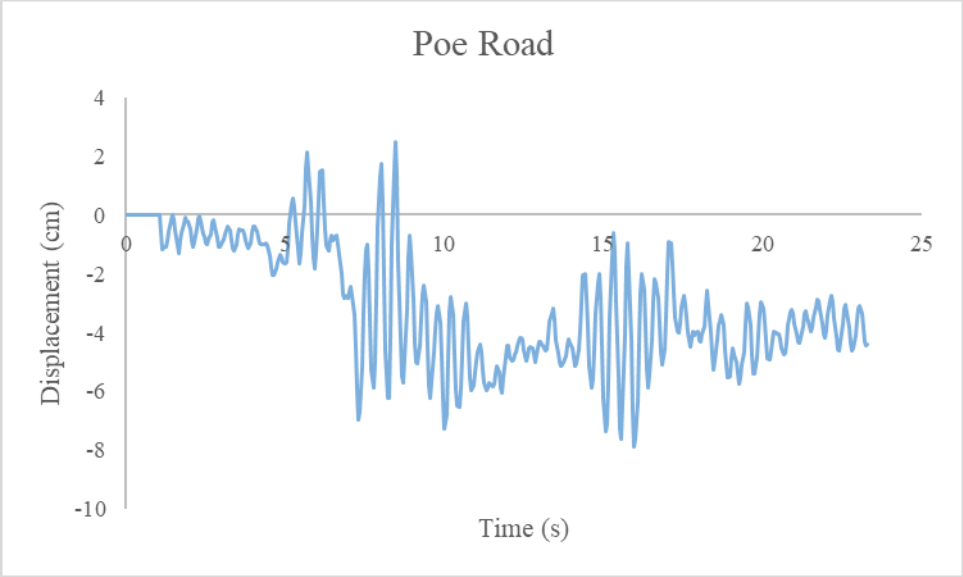
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

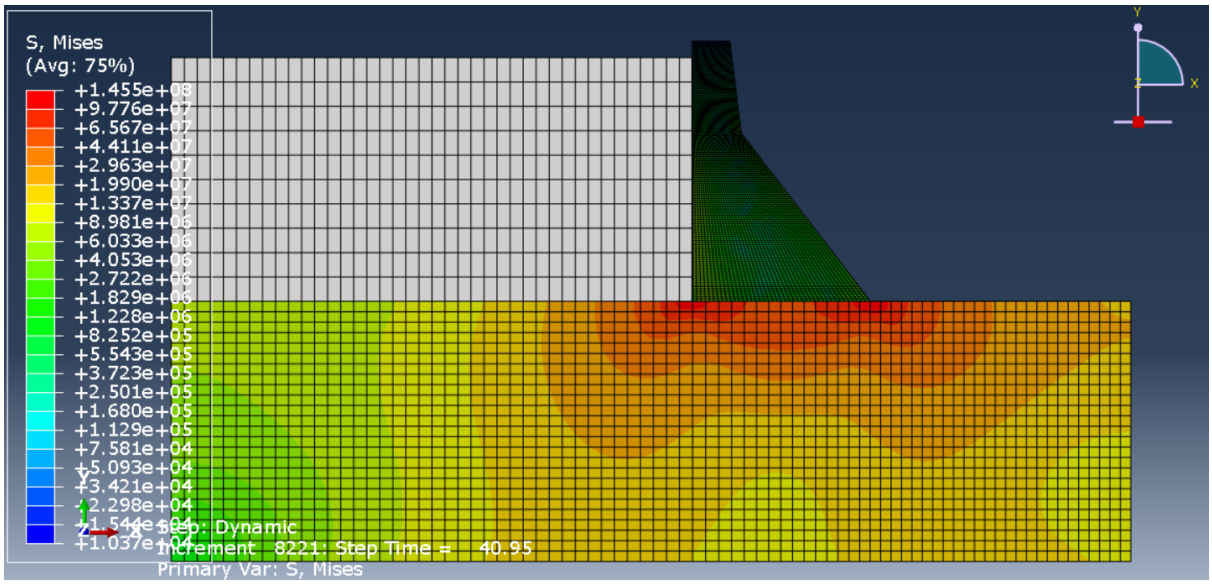


خرابی کششی

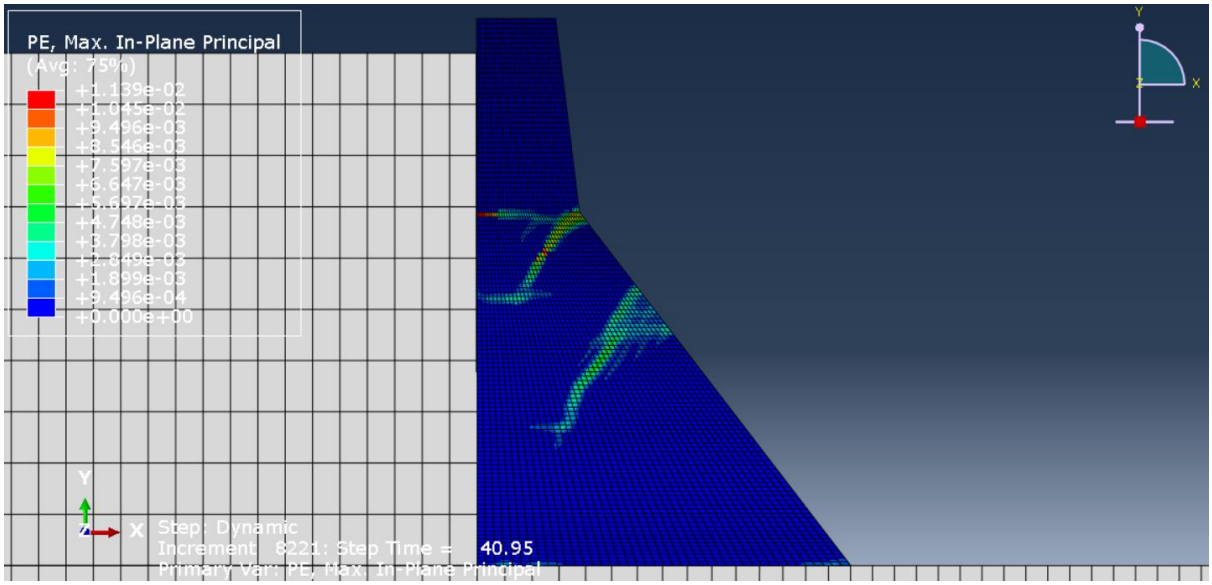


نمودار جابجایی تاج سد

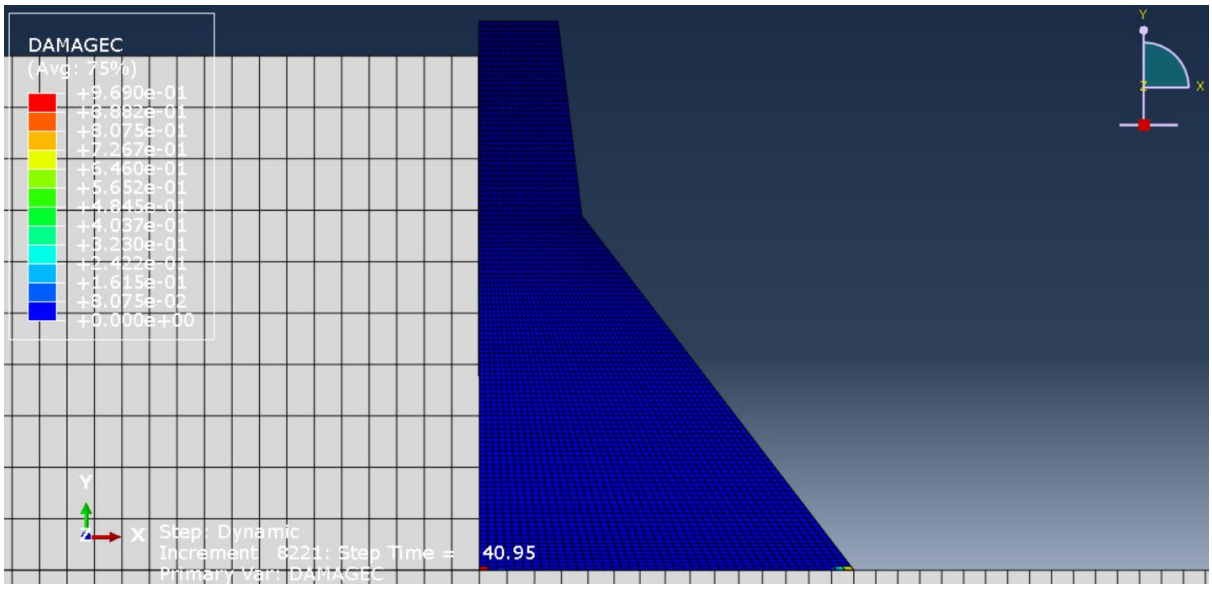
- زلزله ***Shin Osaka***



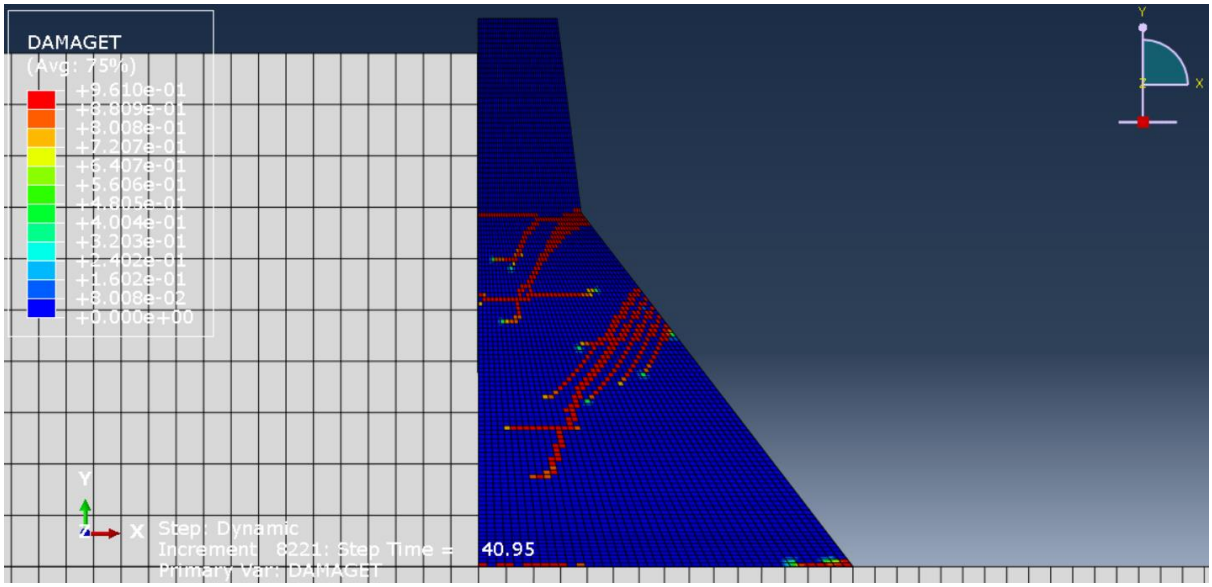
تنش فون میزس



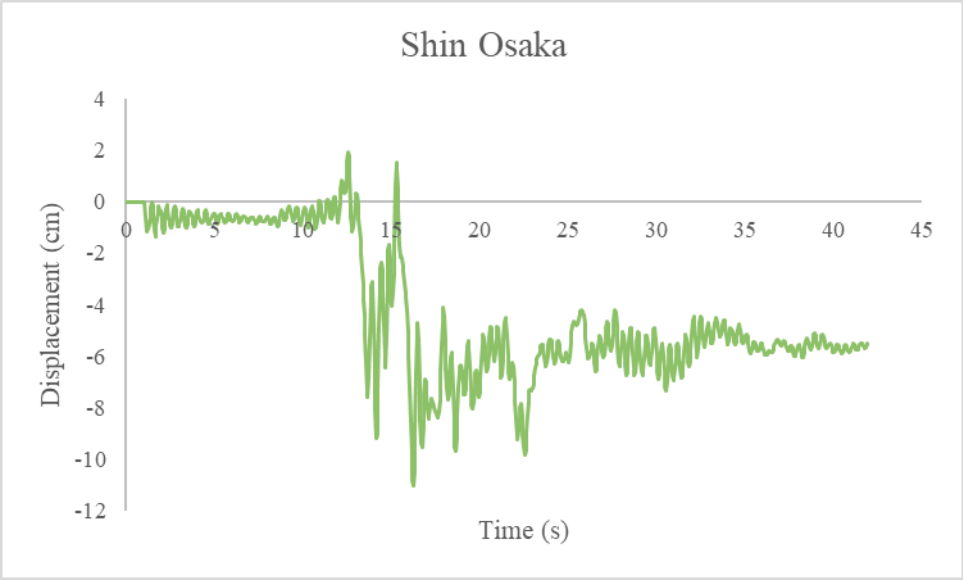
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

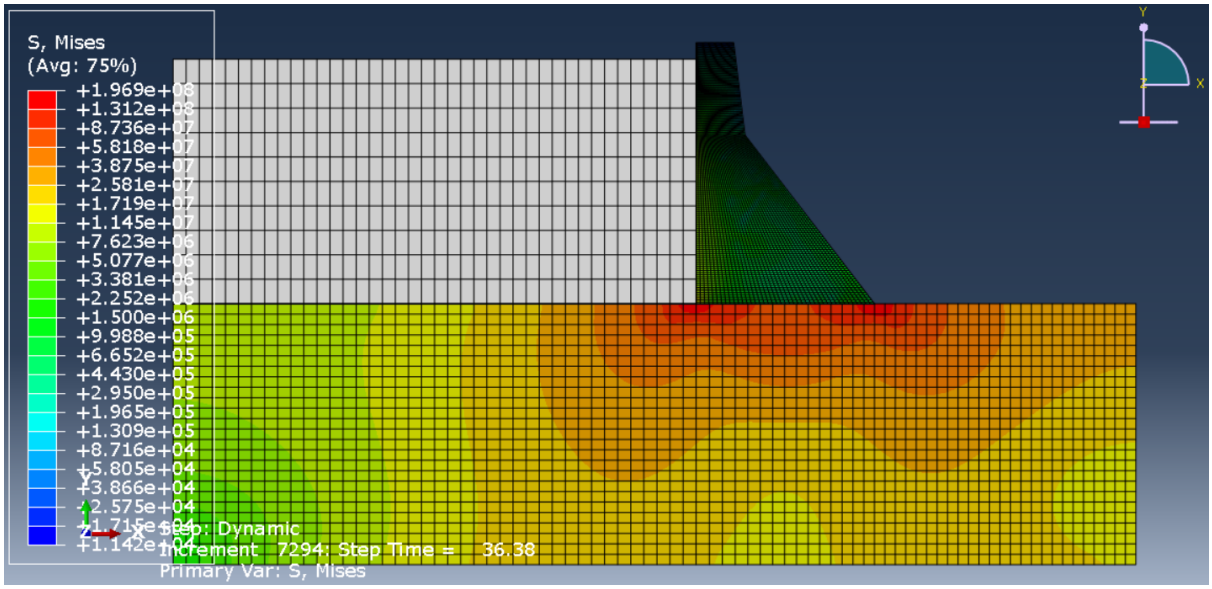


خرابی کششی

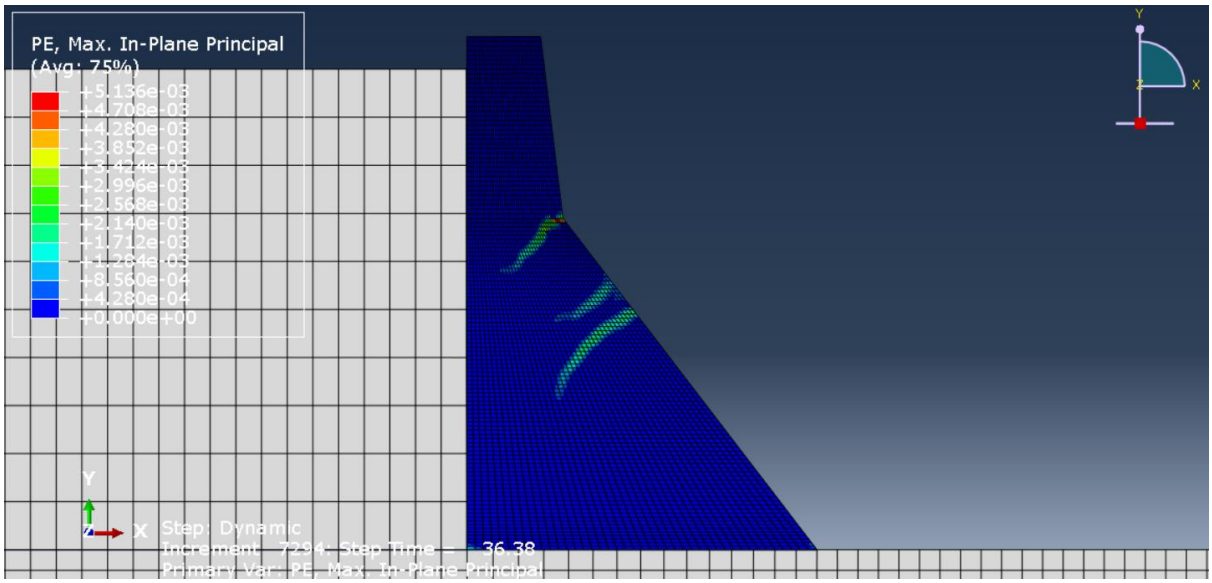


نمودار جابجایی تاج سد

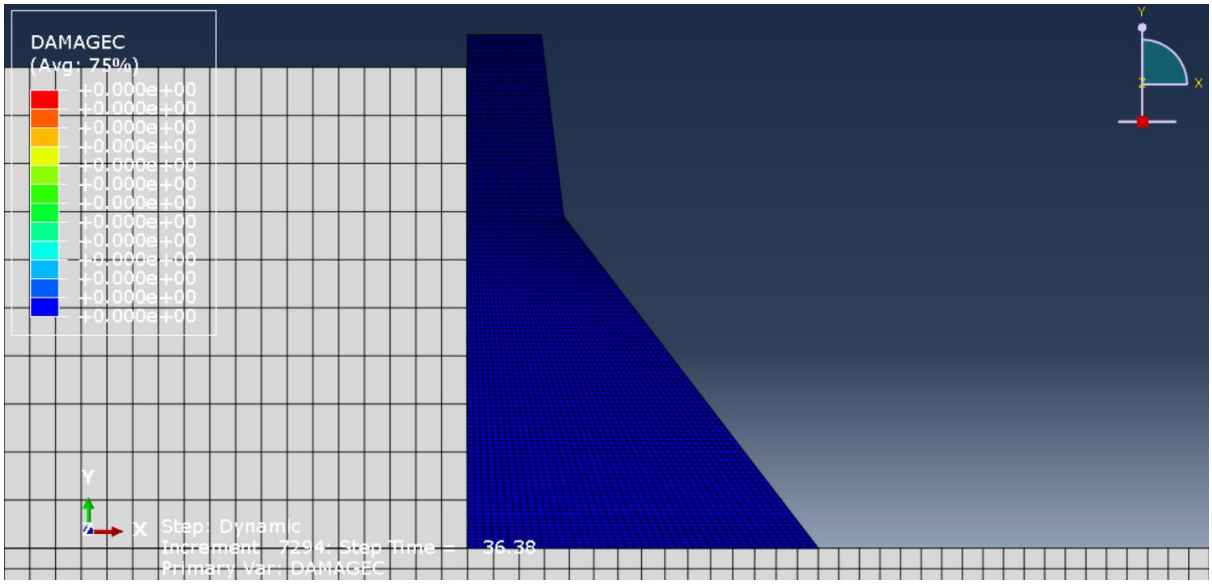
- زلزله *Tolmezzo*



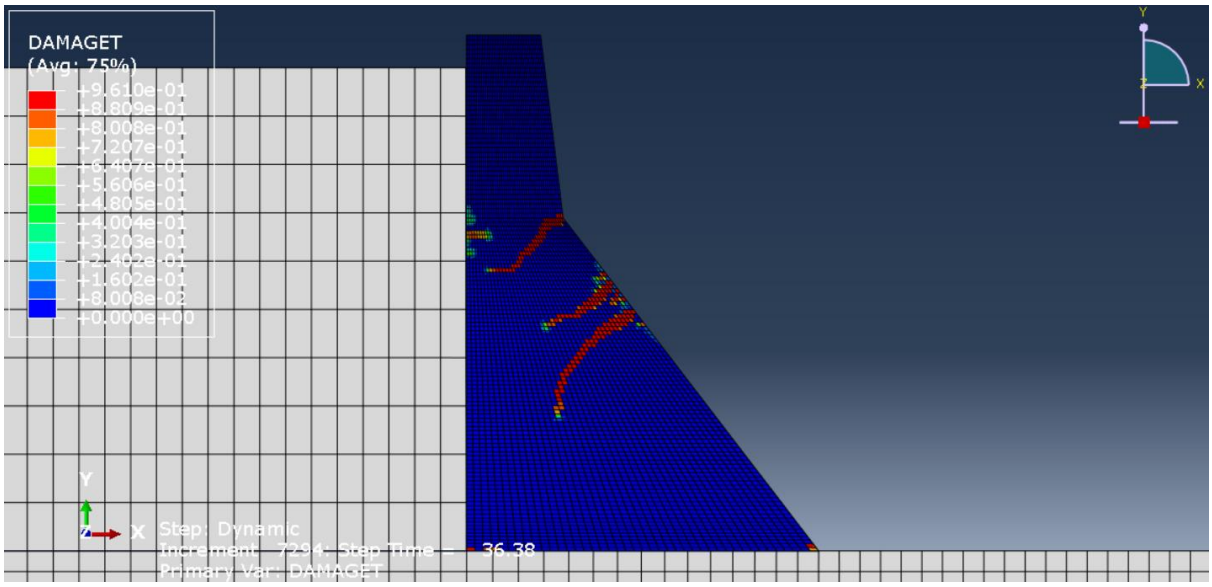
تنش فون میزس



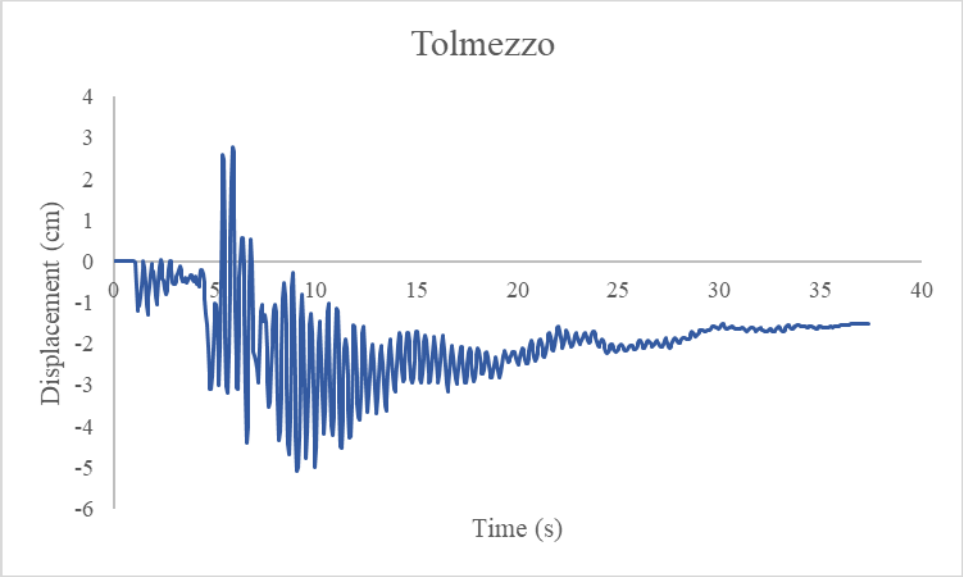
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری

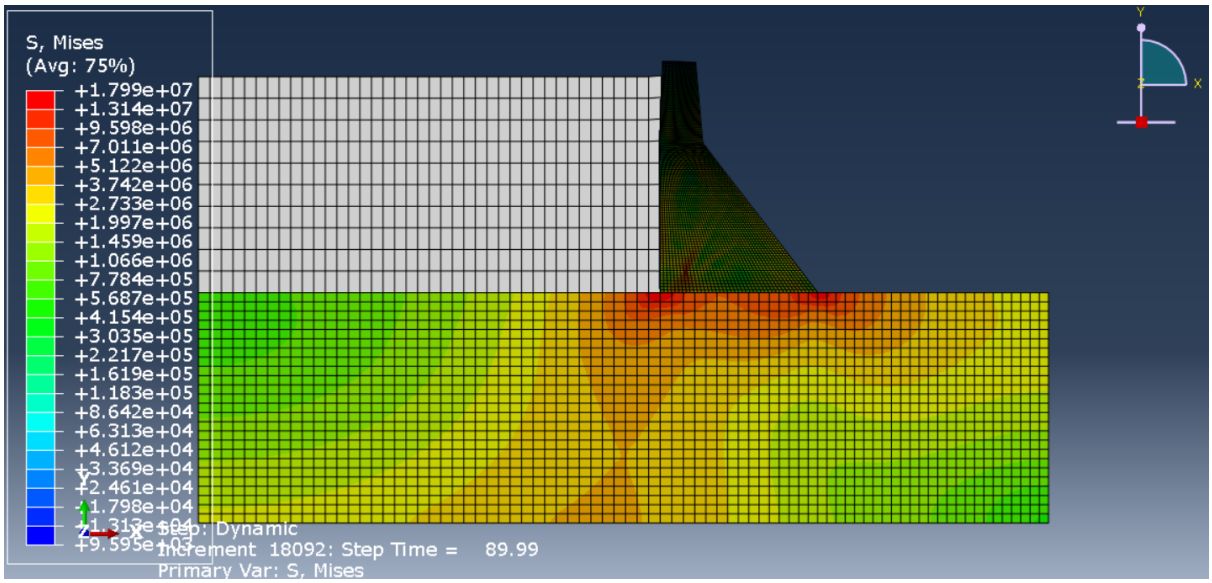


خرابی کششی

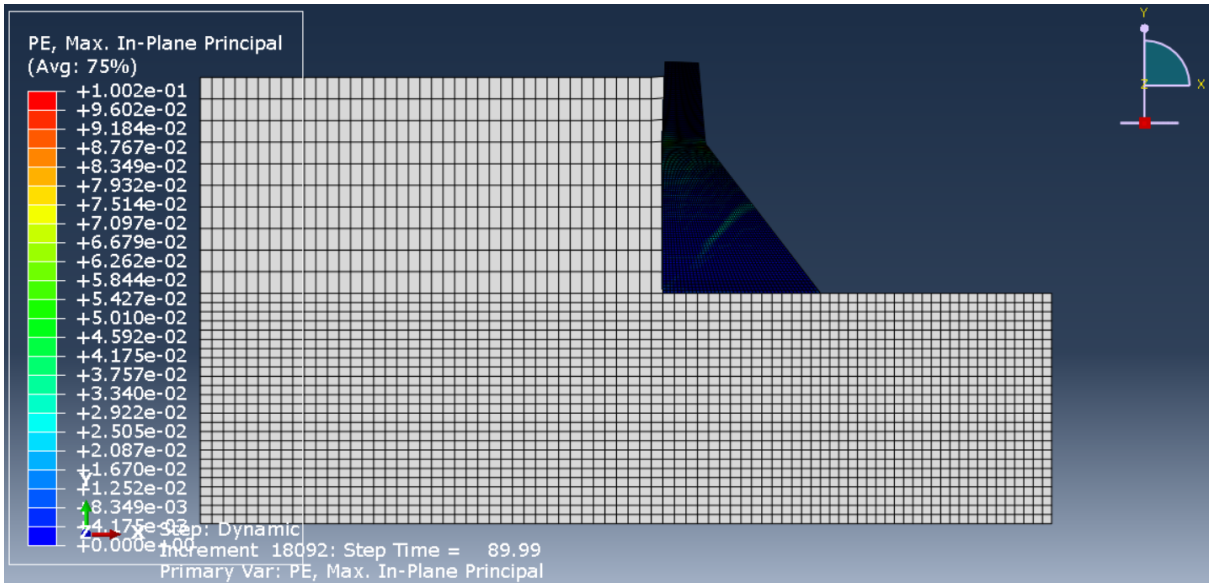


نمودار جابجایی تاج سد

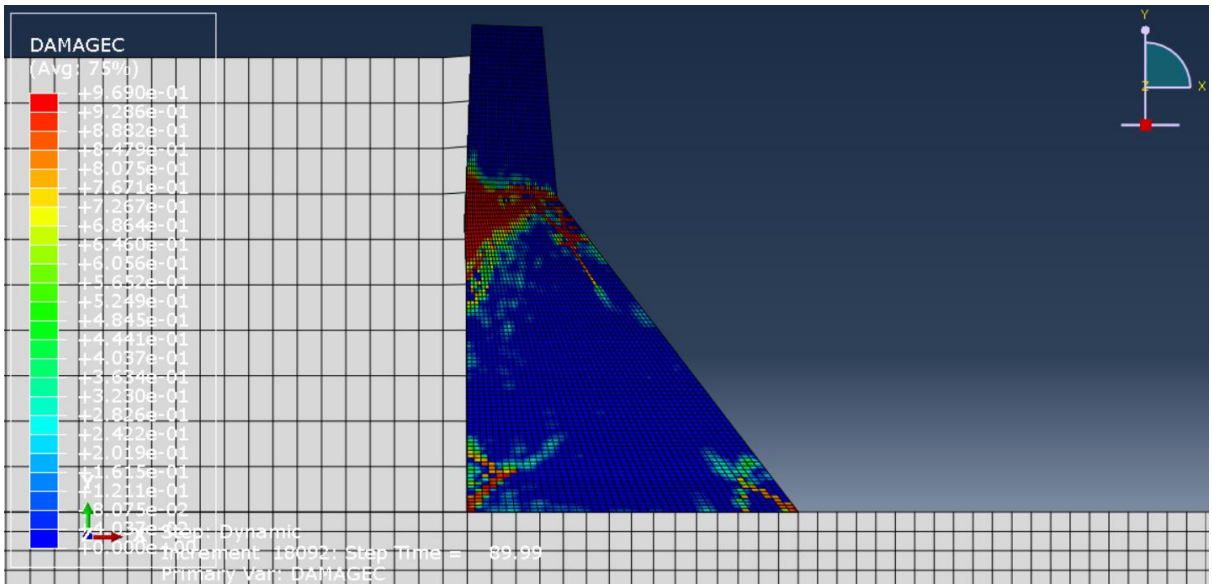
- زلزله ***CHY101***



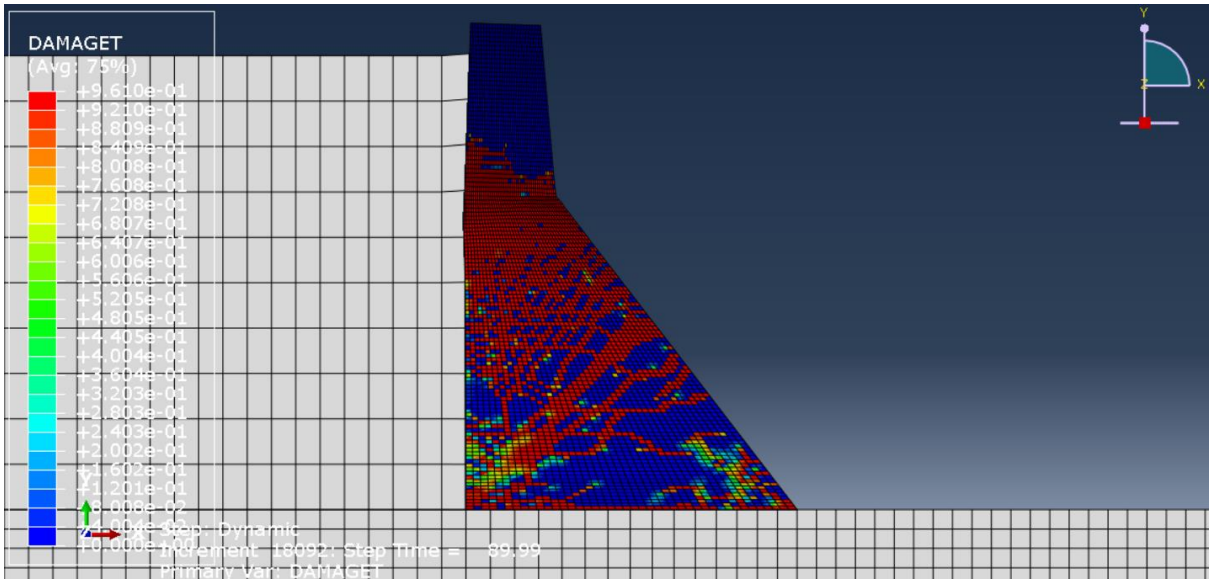
تنش فون میزس



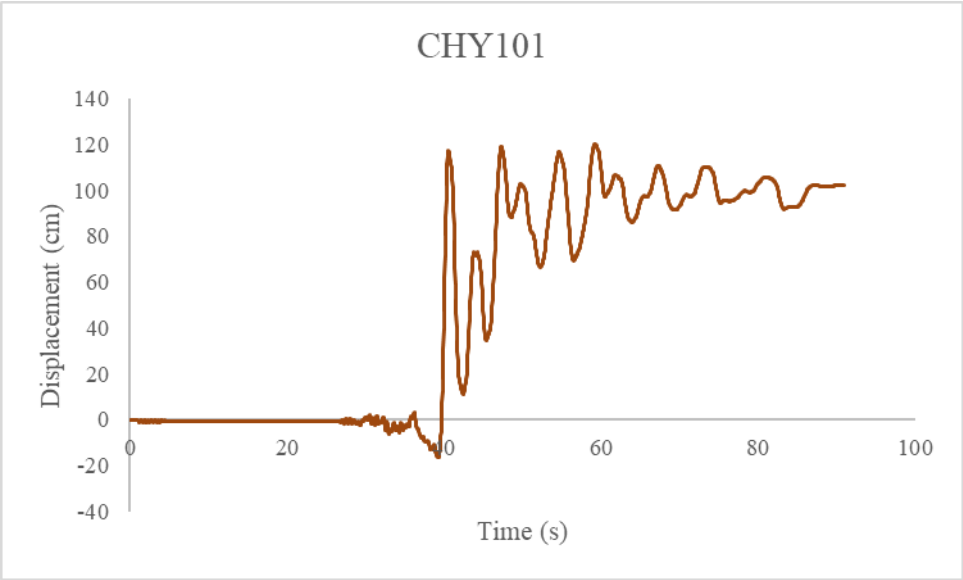
کرنش پلاستیک



خرابی فشاری



خرابی کششی



نمودار جابجایی تاج سد