بررسی پل قوسی سنگی سه دهانه درودگران ملایر تحت زلزله

محمود کیوان نیا
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران
m_kivannia@yahoo.com

امیر هوشنگ اخویسی
استادیار، گروه عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
Ahakhaveissy@razi.ac.ir

کلید واژه‌ها : *پل قوسی، مصالح بنایی، المان محدود، نرم افزار آباکوس*

چکیده

در این پژوهش پل قوسی سنگی سه دهانه واقع درمنطقه درودگران شهرستان ملایر که مطابق نقشه های تیپ وزارت راه و شهرسازی از مصالح بنایی (سنگ و ملات ماسه سیمان) ساخته شده است، با استفاده از روش المان محدود، در نرم افزار آباکوس شبیه سازی شده و با اعمال شرایط نزدیک به شرایط واقعی، عملکرد پل در برابر بارهای ثقلی و چند زلزله مهم مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور دقیق بودن مدل سازی، ابتدا از مصالح به کار رفته در ساخت پل شامل سنگ و ملات ماسه سیمان، دو نمونه بنایی ساخته شد و پس از نگهداری در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۲۸ روز مطابق با استاندارد ASTM، تحت آزمایش فشاری قرار گرفت. سپس این نمونه در نرم افزار آباکوس مدل سازی و نتایج بدست آمده از خروجی برنامه، در پارامترهای ورودی برنامه اصلی به منظور مدلسازی پل لحاظ گردیده است. بدین ترتیب با وارد کردن ابعاد، مشخصات مصالح مصرفی، اعمال بارگذاری ثقلی و اعمال رکوردهای شتاب افقی زلزله طبس و ال سنترو، سازه مورد بررسی قرار گرفته و با بدست آمدن نتایج خروجی و تفسیر آن‌ها، آسیب پذیری پل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که پل تحت اثر وزن خودش و سربار ناشی از خاک روی آن دچار آسیب‌دیدگی نمی‌گردد. برای زلزله ال سنترو، پل در پایه‌های میانی دچار آسیب دیدگی می‌شود. برای زلزله طبس، بیش‌تر پایه های پل دچار آسیب دیدگی اساسی می‌شوند.

مقدمه

شناخت نقاط ضعف و عملکرد پل‌ها که بخشی از شریان‌های حیاتی کشور می‌باشند در شرایط بحرانی دارای اهمیت زیادی است. در این میان پل‌های ساخته شده با مصالح بنایی به دلیل عملکرد ضعیف مصالح در برابر زلزله که ناشی از عدم شکل پذیری آنهاست، بیش‌تر در معرض آسیب می‌باشند(kishi et al, 2011 and betti et al, 2006) در این راستا با توجه به نقشه های تیپ منتشره از سوی وزارت راه و شهرسازی و گستردگی به‌کارگیری پل‌های قوسی با مصالح بنایی در سطح کشور، پیش بینی رفتار آن‌ها در برابر زلزله های احتمالی به منظور تعیین سطح عملکرد آنها ضروری به نظر می‌رسد. شایان توجه است رفتار ترد و شکننده سازه های بنایی سبب می‌شود که انعطاف پذیری این نوع از سازه‌ها کاهش یابد. (Akhaveissy and Desai, 2011 and Akhaveissy and milani, 2013)از این رو مدلسازی چنین سازه هایی و ایجاد همگرایی در تحلیل بسیار مشکل می‌باشد. در این راستا استفاده از درشت مدلسازی مناسب و کاربردی می‌باشد (Akhaveissy and Desai, 2011 and Akhaveissy and milani, 2013).

مدل سازی هندسی پل در نرم افزار آباکوس

نحوه مدل رفتاری نمونه در نرم افزار

به منظور دقیق بودن مدل سازی، ابتدا از مصالح به کار رفته در ساخت پل درودگران شامل سنگ و ملات ماسه سیمان، دو نمونه بنایی ساخته شد و پس از نگهداری در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۲۸ روز مطابق با استاندارد ASTM، تحت آزمایش فشاری قرار گرفت. نتایج این

آزمایش مقاومت متوسط ۱۲/۵ مگاپاسکال را مشخص نمود.

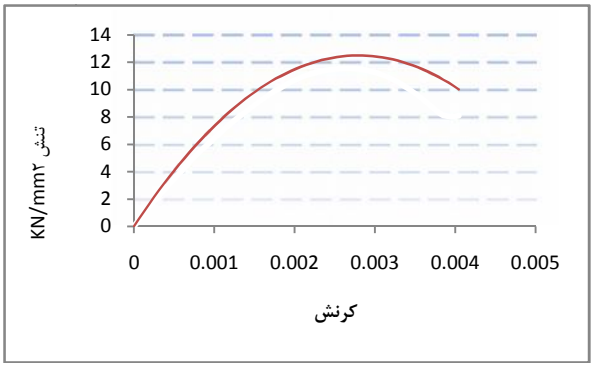
با بدست آمدن مقاومت فشاری نمونه ها، با استفاده از رابطه (۱) اقدام به رسم نمودار تنش-تغییر مکان گردید.

$$f_m = f'_m \left[2\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2 \right] \varepsilon \le \varepsilon_0 \qquad (۱)$$

سپس نمونه در نرم افزار آباکوس مدل سازی و پارامترهای مختلفی به عنوان مشخصات مصالح در برنامه وارد شد. پس از سعی و خطا و اجرای برنامه به تعداد حدود ۳۰ بار، پارامترهای مناسب مشخصات مصالح تعیین گردید. سپس نمودار تنش-کرنش ناشی از آزمایش عملی و خروجی برنامه ترسیم و نمودار ها با هم مقایسه گردید. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که شکل منحنی‌ها به هم نزدیک می‌باشد. بنابراین مشخصات مصالح در نظر گرفته شده در نرم افزار قابل قبول است و می‌تواند در برنامه اصلی استفاده شود. شکل ۱ تصویر نمونه ساخته و آزمایش شده در آزمایشگاه را نشان می‌دهد.

شکل۱ نمونه بنایی ساخته شده از مصالح پل درودگران تحت آزمایش

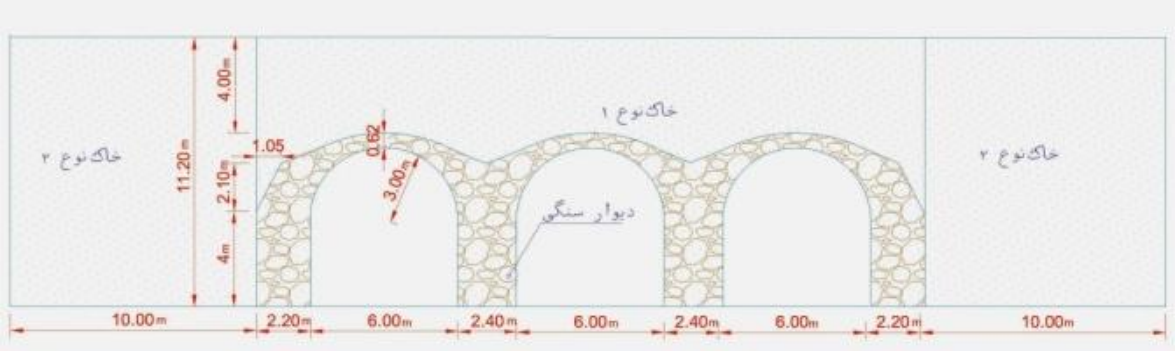
نمودار ۱ منحنی تنش-کرنش بدست آمده را نشان می‌دهد.



نمودار۱: منحنی تنش-کرنش مصالح بنایی پل درودگران

مشخصات کلی سازه پل و مدل سازی در نرم افزار

شکل ۲ نقشه نمای روبرو پل طاقی سه دهانه درودگران را نشان می‌دهد



شکل ۲:نقشه نمای روبرو پل قوسی سنگی درودگران

مشخصات اجرایی پل به شرح جدول۱ می‌باشد. توضیح اینکه پل از نوع قوسی طاقی (نیم دایره ای کامل) از جنس مصالح بنایی سنگ و ملات ماسه سیمان ۱:۳ می‌باشد. عرض مدل(در راستای محور Z) به میزان ۱۰۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است امکان مدل کردن سازه در مقیاس واقعی (عرض ۲۳ متر) بدلیل تعداد زیاد المانها وجود ندارد.

جدول۱: مشخصات اجرایی پل قوسی سه دهانه درودگران

شرح	مقدار
طول کل پل (عرض رودخانه)	۲۷/۲ متر
عرض کل پل	۲۳ متر
عرض پل در مدل آباکوس	۱ متر
طول دهانه ها	۶ متر
خیز طاق	۳ متر
هاارتفاع روبنا (خاکریز) از روی تاق	۴ متر
ارتفاع کل از کف تا روی جاده	۱۱/۲۰ متر
ضخامت پایه های کناری	۲/۲۰ متر
ضخامت پایه های میانی	۲/۴۰ متر
طول خاک مدل شده در هر طرف از پل	۱۰ متر

جدول۲ مشخصات بخش های مختلف سازه شامل پل، خاک مجاور و روی پل که در نرم افزار مدل سازی شده است را نشان می‌دهد.

جدول۲: مشخصات پل درودگران ملایر در نرم افزار

نام مصالح	وزن واحد حجم (N/mm3)	مدول الاستیسیته (N/mm2)	ضریب پواسون
سنگ و ملات ماسه سیمان	۱۰E-۲/۳	۷۴۶۲	۰/۲۰
خاک نوع ۱	-۱۰E۲/۰	۸۵	۰/۳۵
خاک نوع ۲	-۱۰E۲/۱	۸۵	۰/۳۵

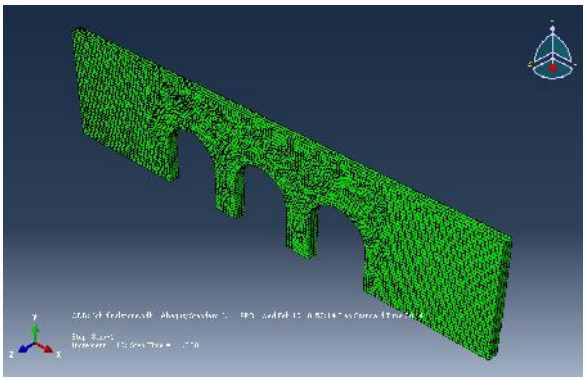
همچنین رفتار مصالح خاک بصورت الاستیک در نظر گرفته شده است.

بارگذاری استاتیکی و دینامیکی پل

بارگذاری در دو گام استاتیکی و دینامیکی تعریف شده است. در مرحله اول سازه بصورت استاتیکی تحت بار ثقلی و در مرحله دوم بصورت دینامیکی تحت بار زلزله قرار داده شده است. بار استاتیکی شامل وزن پل و خاک روی آن و بار دینامیکی شامل شتاب نگاشت یکی از زلزله های طبس و زلزله ال سنترو می‌باشد.

المان بندی سازه

تعداد گره‌ها برابر ۲۲۸۴۸ عدد و تعداد المان‌ها برابر ۱۵۸۱۹ عدد و ابعاد المانها برابر ۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر تعریف شده اند. شکل ۳ نمای مش بندی مدل را در نرم افزار نشان می‌دهد



شکل۳:نمای مش بندی مدل پل درودگران در نرم‌افزار

تحلیل سازه و خروجی نرم افزار

پیش فرض برنامه برای تحلیل بصورت Full analysis و در دو گام استاتیکی و دینامیکی تعریف شده است. با تنظیم پارامترهای نرم افزار، تحلیل سازه آغاز و خروجی نرم افزار در قالب پلات های مختلف و گرافیکی نمایان می‌شود که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشد :

U1 تغییر مکان در جهت y (قائم)

U2 تغییر مکان در جهت x (افقی) در راستای نیروی زلزله

U3 تغییر مکان در جهت z (عمود بر راستای زلزله)

Tensile damage-DMAGETکه عددی بین ۰ و ۱ است و معرف خرابی بعلت کشش المان می‌باشد

Compressive damage- DMAGEC که عددی بین ۰و۱ است و معرف خرابی بعلت فشار المان می‌باشد

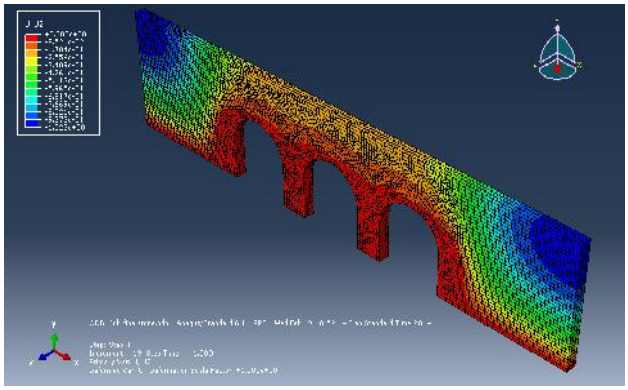
PE کرنش پلاستیک المانها

RF نیروی عکس العمل گره ها

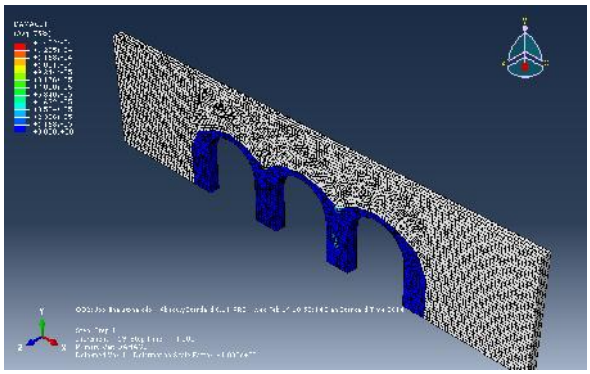
تحلیل سازه با بار ثقلی

سازه تحت بارگذاری های استاتیکی زیر قرارگرفته و نتایج خروجی نرم افزار، مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرد. بارهای وارده عبارتند از بارثقلی ناشی از وزن سازه و خاک روی آن.

بررسی نتایج تحلیل استاتیکی بار ثقلی نشان می‌دهد که سازه تحت بارهای وارده ناشی از وزن سازه و خاک روی آن، در جهت قائم تغییرمکانی به میزان ۱- میلیمتر داشته است. (علامت منفی نشان دهنده نشست در خلاف جهت محور y است). پارامتر Tensile Damage تقریبا برابر صفر است و حکایت از این دارد که سازه دچار مشکل خاصی نمی‌باشد.شکل۴و۵ پلات های خروجی نرم افزار شامل تغییر مکان قائم و Tensile Damage را تحت بارگذاری ثقلی نشان می‌دهند.



شکل۴:پلات تغییرمکان قائم پل تحت بارثقلی-تحلیل استاتیکی

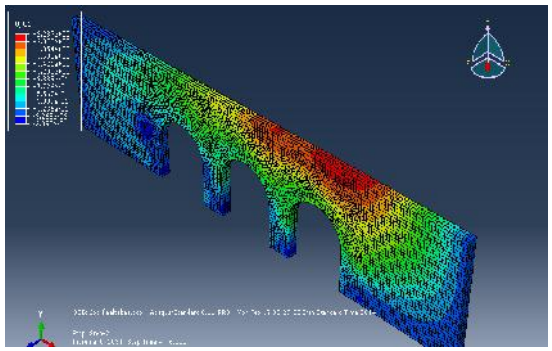


شکل ۵:پلات Tensile Damage پل تحت بارثقلی-تحلیل استاتیکی

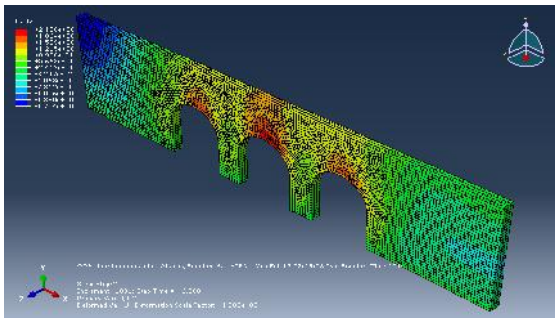
همانگونه که از شکل ۵ مشخص است رفتار سازه تحت بارگذاری به صورت الاستیک عمل می‌کند.

تحلیل سازه با بار ثقلی و زلزله طبس

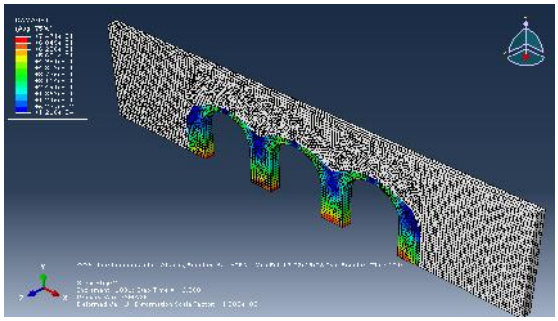
تحلیل بصورت استاتیکی و دینامیکی بوده و زمان مورد نیاز در Time Period به میزان یک ثانیه برای تحلیل استاتیکی و ۶ ثانیه برای تحلیل دینامیکی در نظر گرفته شده است.شکل ۶ الی ۸ پلات های خروجی نرم افرار تغییر مکان افقی، تغییر مکان قائم و Tensile Damage را تحت بارگذاری ثقلی نشان می‌دهند.



شکل ۶:پلات تغییرمکان افقی پل تحت بار ثقلی و زلزله طبس-تحلیل دینامیکی

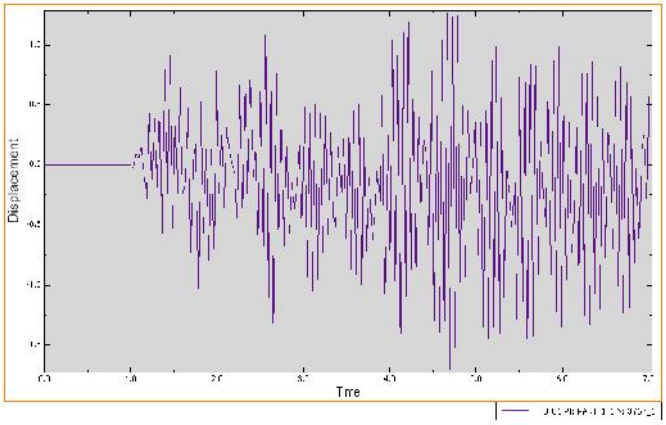


شکل۷: پلات تغییرمکان قائم پل تحت بار ثقلی و زلزله طبس-تحلیل دینامیکی

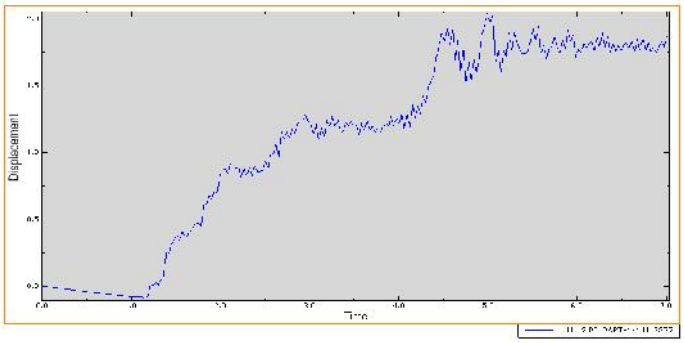


شکل ۸:پلات Tensile Damage پل تحت بار زلزله طبس-تحلیل دینامیکی

شکل ۸ نشان می‌دهد که پایه های پل تحت بار زلزله آسیب دیده و توانایی ارائه خدمات دهی بی وقفه را ندارد. همچنین نمودارهای ۲ و ۳ تغییر مکان‌های افقی و قائم گره روی قوس دهانه میانی را در طول زمان (ثانیه) برحسب میلیمتر نشان می‌دهند.



نمودار ۲: نمودار تغییرمکان افقی گره روی قوس دهانه میانی تحت بار زلزله طبس

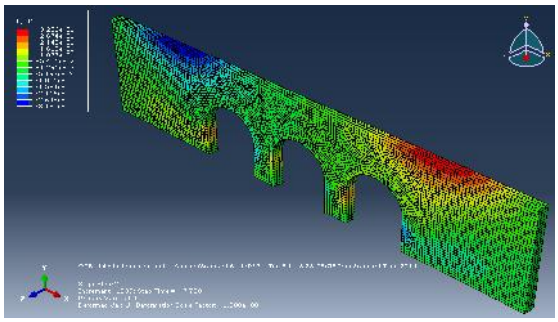


نمودار ۳:تغییرمکان قائم گره روی قوس دهانه میانی تحت بار زلزله طبس

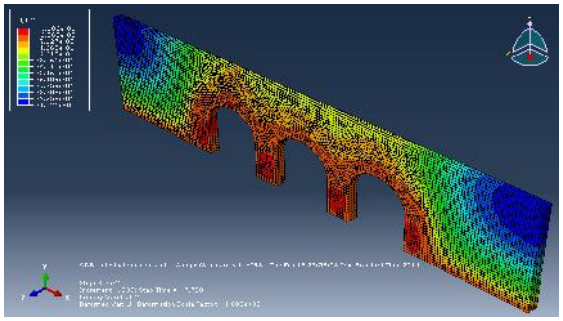
سازه تحت بارهای ثقلی و زلزله طبس در جهت افقی تغییر مکانی بیشینه‌ای به میزان ۲/۳ میلیمتر در جهت افقی و ۲/۲ در جهت قائم دارد. تقریبا تمام پایه های پل دچار ترک خوردگی گردیده و پارامتر Tensile Damage برابر ۰/۷۵ بوده که عدد قابل توجهی می‌باشد و حکایت از این دارد که سازه دچار مشکل جدی شده است. این مساله با تغییرمکانهای ماندگار در نمودارهای ۲ و ۳ نیز مورد تایید قرار می‌گیرد. در ادامه این پل تحت زلزله ال سنترو مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

تحلیل سازه با بار ثقلی و زلزله ال سنترو

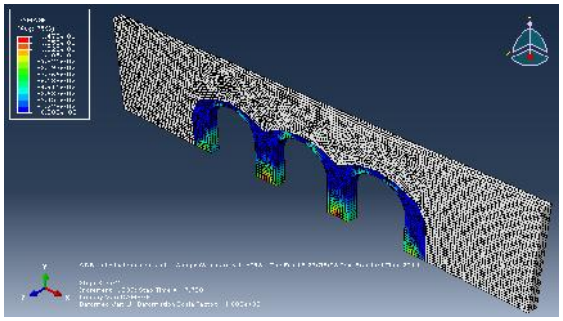
تحلیل بصورت استاتیکی و دینامیکی بوده و زمان مورد نیاز در Time Period به میزان یک ثانیه برای تحلیل استاتیکی و ۷/۷ ثانیه برایتحلیل دینامیکی تعریف شده است. تعداد گامهای بارگذاری برابر۱۲۰۰و مقدار خطا به منظور ایجاد همگرایی در تحلیل ۰/۰۰۱ تعریف شده است. شکل ۹ الی ۱۱ پلات‌های خروجی نرم افزار تغییر مکان افقی، تغییر مکان قائم و Tensile Damage را تحت بارگذاری ثقلی نشان می‌دهند.



شکل ۹: پلات تغییرمکان قائم پل تحت بار ثقلی و زلزله السنترو-تحلیل دینامیکی

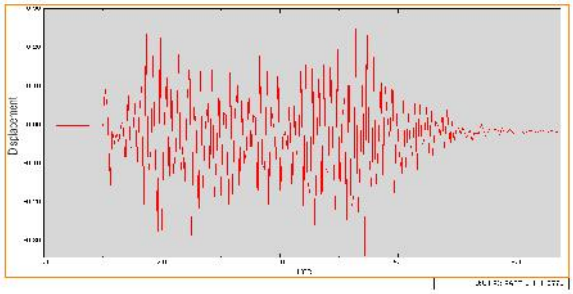


شکل ۱۰: پلات تغییرمکان قائم پل تحت بار ثقلی و زلزله السنترو-تحلیل دینامیکی

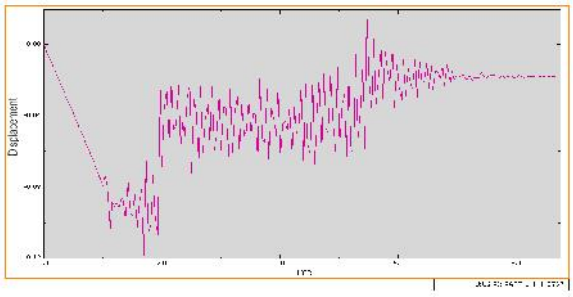


شکل ۱۱:پلات Tensile Damage پل تحت بار ثقلی و زلزله السنترو-تحلیل دینامیکی

نمودارهای ۴ و ۵ : تغییر مکان‌های افقی و قائم گره روی قوس دهانه میانی را در طول زمان (ثانیه) برحسب میلیمتر نشان می‌دهند.



نمودار۴: تغییرمکان افقی گره روی قوس دهانه میانی تحت بار زلزله السنترو–میلیمتر



نمودار۵:تغییرمکان قائم گره روی قوس دهانه میانی تحت بار زلزله السنترو–میلیمتر

سازه تحت بارهای ثقلی و زلزله ال سنترو در جهت افقی تغییر مکانی بیشینه ای به میزان ۰/۳ میلیمتر در جهت افقی و ۱/۰ میلیمتر در جهت قائم دارد. پارامتر خرابی پارامتر Tensile Damage برای این بارگذاری به میزان ۱۵٪ بوده و پل در پایه های میانی دچار آسیب دیدگی گردیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از بررسی پل قوسی سنگی سه دهانه درودگران ملایر تحت زلزله در نرم افزار آباکوس نشان می‌دهد که مدل خرابی به کار رفته در برنامه آباکوس با تنظیم پارامترهای مناسب می‌تواند پاسخ های مناسبی را در دسترس قرار دهد. همچنین همانگونه که انتظار می‌رفت

سازه بسیار ترد بوده و از شکل پذیری کافی برخوردار نمی‌باشند، بنابراین دور از انتظار نیست که پل تحت بارهای توام ثقلی و جانبی دچار آسیب گردد. پل تحت اثر وزن خودش و سربار ناشی از خاک روی آن در حالت سرویس دچار آسیب دیدگی نشده است.، پارامتر خرابی برای زلزله طبس به میزان ۷۵٪ بوده و در این حالت تمام پایه‌های پل دچار آسیب‌دیدگی اساسی می‌گردد.برای زلزله ال سنترو، پل در پایه‌های میانی دچار آسیب‌دیدگی شده ولی سایر بخش‌های سازه آسیبی نمی‌بیند. پارامتر خرابی در این حالت ۱۵٪ است. شایان ذکر است که این خرابی جزو مدل‌های ماکرو بوده و بدون استفاده از ریز مدل سازی و افزایش درجات آزادی می‌توان به نتایج مطلوبی دست یافت.

مراجع

AkhaveissyAH and Desai CS(2011)Unreinforced Masonry Walls: Nonlinear Finite Element Analysiswith a Unified Constitutive Model,*Arch Comput Methods Eng*, Vol. 18, pp.485–502

Akhaveissy AH andMilani G (2013) Pushover analysis of large scale unreinforced masonry structures by means of a fully 2D non-linear model,*Construction and Building Materials*, Vol. 41 , pp. 276–295, 2013

Betti GA, Drosopoulos GE and Stavroulakis(2006) on the collapse analysis of single span masonry/stone arch bridges with fill interaction/ Arch’07 – *5th International Conference on Arch Bridges*, 617-624

KishiY,Nozaka K and Izuno K (2011) Nonlinear Behavior of Masonry Arch Bridge Under Ground Deformation/*Journal of Disaster Research*, No.1, Vol.6, page 44-45