



مطالعه آزمایشگاهی و عددی مقاوم سازی پایه پل های بتن آرمه

هادی فقیه ملکی*^۱، مرتضی حسینی ثابت^۲

*^۱ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن، ایران.

(h.faghihmaleki@gmail.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۰۵)

چکیده

بکارگیری انواع روش های بهسازی و مقاوم سازی پل ها در چند دهه اخیر پیشرفت چشم گیری یافته است. قبل از مقاوم سازی، مطالعه بر روی پل باید انجام گیرد که چگونه و با چه روشی می توان طول عمر مفید پل را افزایش داد. در این پژوهش رفتار لرزه ای پایه ستون بتن آرمه تقویت شده با دورگیری ژاکت فلزی و ژاکت بتنی با ابعاد ۳/۵*۳/۵ متر دارای شبکه آرماتور مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. مدل هایی جهت برآورد پارامترهای لرزه ای آن به صورت غیرخطی هندسی و مصالح تحلیل گردید با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می شود که با استفاده از دورگیری ژاکت فلزی، میزان جذب انرژی، مقاومت نهایی و شکل پذیری افزایش یافته اما کمتر از ژاکت بتنی که با استفاده از باکس ژاکت بتنی با ابعاد ۳/۵*۳/۵ میزان جذب انرژی، مقاومت نهایی و شکل پذیری به مقدار ۳۸، ۱۴، ۱۳ درصد افزایش یابد. لذا می توان نتیجه گیری کرد که با استفاده از ژاکت بتنی می توان میزان موارد ذکر شده در سیستم ستون بتنی را افزایش داد.

کلمات کلیدی

ژاکت بتنی، ژاکت فلزی، مقاوم سازی، جذب انرژی، شکل پذیری، مقاومت نهایی.



Experimental and Numerical Retrofitting of Reinforced Concrete Bridge Piers

Hadi Faghih Maleki ^{1*}, Morteza Hoseyni Sabet ²

^{1*} Assistant, Faculty of Civil Engineering, Ayandegan College of Tonekabon, Tonekabon, Iran

(h.faghihmaleki@gmail.com)

² M.Sc. of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Ayandegan College of Tonekabon, Tonekabon, Iran

(Date of received: 07/02/2020, Date of accepted: 24/04/2020)

ABSTRACT

The use of a variety of bridge improvement and reinforcement methods has made significant progress in recent decades. Before strengthening, a study of the bridge should be done on how and in what way the useful life of the bridge can be extended. In this study, the seismic behavior of reinforced reinforced concrete columns was evaluated and compared with the distance of metal jacket and concrete jacket with dimensions of 3.5 x 3.5 m with reinforcement network. Models for estimating its seismic parameters were analyzed non-linearly geometric and materials. Use of concrete jacket box with dimensions of 3.5 x 3.5, increase energy absorption, final strength and ductility by 38, 14, 13 percent. Therefore, it can be concluded that by using a concrete jacket, the amount of items mentioned in the concrete column system can be increased.

Keywords:

Concrete jacket, Steel jacket, Retrofitting, Energy absorption, Ductility, Ultimate strength.



۱- مقدمه

شاید بتوان گفت مهمترین بخش هر تحقیق را کار عملی و چگونگی جمع آوری اطلاعات و نحوه تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده تشکیل می‌دهد. بنابراین انتخاب روش یا روش‌هایی که بتواند به بهترین وجه خصوصیات و ویژگیهای اطلاعات جمع آوری شده را تحلیل و گزارش نماید از اهمیت خاصی برخوردار است [۱]. انتخاب روش تحقیق به ماهیت موضوع و اهداف آن بستگی دارد، به عبارت دیگر انتخاب روش تحقیق به پرسش‌های تحقیق و امکانات اجرایی تحقیق وابسته است. خسارات زلزله به یک ستون می‌تواند نتایج جدی در بر داشته باشد، به طور صریح، شکست یک ستون برای افرادی که رو یا زیر ستون هستند خطرناک است. همچنین ستون باید بعد از زلزله جایگزین شود یا یک مسیر دیگر تعریف شود. حذف یک ستون حتی اگر موقت باشد عواقب زیادی دارد زیرا ستون‌ها اغلب شریان‌های حیاتی در سیستم حمل و نقل هستند. در شرایط بحرانی بعد از زلزله، حذف یک ستون نقصان در عملکرد اورژانس ایجاد می‌کند. اثر اقتصادی حذف ستون با افزایش طول زمان بسته بودن ستون افزایش می‌یابد. با رشد و توسعه رایانه‌ها و قابلیت‌های نوین نرم‌افزارهای رایانه‌ای، می‌توان ستون و سازه‌های دیگر را به سادگی مدل سازی نمود و به صورت خودکار شبکه بندی نمود و به تجزیه و تحلیل آن‌ها پرداخت. در سال‌های اخیر، روش‌های عددی مختلفی از جمله روش اجزا محدود، روش تفاضل محدود، روش اجزا مرزی، روش اجزا گسسته و غیره برای تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، امروزه تقریباً در تمامی ستون‌ها، تحلیل‌های عددی انجام می‌گیرند، برای مدل سازی ستون، روش اجزا محدود بسیار مناسب می‌باشد. در این روش علمی که متناسب با موضوع آن برگزیده شده است شرح داده می‌شود که شامل توضیحات مختصری در مورد فرایند تحقیق، هدف، ماهیت و روش انجام آن، ابزار سنجش و گردآوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل و استنتاج می‌باشد [۲]. Fahmy و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۳]، مطالعه ای در مورد قابلیت بازیابی مورد نیاز پل‌های مهم بتنی تقویت شده (RC) موجود که با پلیمرهای تقویت شده با فیبر (FRP) تکمیل شده اند تا وظایف اصلی شان را بعد از یک زلزله متوسط یا قوی انجام دهند، ارائه دادند. مطالعه در مراحل زیر انجام گرفت: استفاده از سختی پس از تسلیم به عنوان یک شاخص لرزه ای، اثر پوشش های FRP در افزایش عملکرد مرحله غیرارتجاعی ستون های بتنی تقویت شده شکل ناپذیر برای پایگاه های داده در دسترس به دقت بررسی شد. عملکرد ستون هایی که به طور موفقیت آمیز از سختی بعد از تسلیم بدست می آیند، مطابق با قابلیت بازیابی مورد نیاز بعد از زلزله طبقه بندی شده است؛ و مطابق با تعریف سازه قابل بازیابی قابل کنترل، ضخامت مناسب پوشش کامپوزیتی محاسبه شده است. از نظر یک مدل مکانیکی پیشنهاد شده آسیب FRP_RC سازه قابل کنترل، ۶۱ ستون پایگاه داده در دسترس، عملکرد جانبی ایده آل با سختی پس از تسلیم پایدار یا سختی ثانویه را نشان دادند. در نهایت، فرض های مناسب طراحی FRP و مفاهیم تصدیق کننده سختی پس از تسلیم داده شده است. علاوه بر این، با توجه به ویژگی های طراحی لرزه ای پل های بزرگراه ها در ژاپن، دستورالعمل طراحی تشدیدکننده FRP که قابلیت بازیابی ساختاری را بررسی و ارزیابی می کنند، پیشنهاد شدند. Guerrero و Navarrete در سال ۲۰۱۶ [۴]، پل های RC را با یک زیرسازه مطابق با کلاهک خمشی متصل شده به ستون RC تکمیل شده با پوشش RC را مورد بررسی قرار می دهند. اثرات سیستم تکمیلی براساس منحنی های شکنندگی برآورد شده از طریق تحلیل پارامتری است که ۶ مورد تکمیلی و چندین سناریوی لرزه ای برای تعیین ۴ حالت حدی را بررسی می کند. نتایج، کمیت اثر ضخامت پوشش و نسبت تقویت طولی برای احتمال رسیدن به رفتار چندین حالت حدی را تعیین می کند. در تمام حالت ها، پوشش RC ظرفیت برش پایه پل را افزایش و آسیب پذیری لرزه ای را کاهش می دهد. هم چنین مشخص شد که نسبت طولی فولاد، پارامتری با بیشترین تاثیر روی آسیب پذیری لرزه ای پایه ها می باشد و نتایج اجازه استنتاج مناسب ترین پارامترها را می دهند که می توانند به عنوان پوشش RC استفاده شوند.

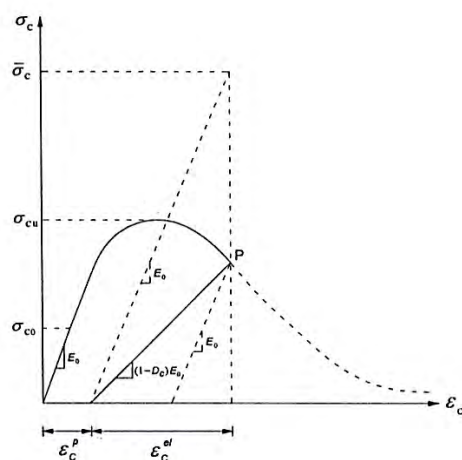
دائمی و خالو در سال ۱۳۹۵ [۵]، ۳ روش عمده برای مقاوم سازی ستون های بتنی شامل تقویت ستون با استفاده از ورق های FRP، استفاده از ژاکت فولادی و استفاده از ژاکت بتنی در مقاوم سازی ستون مورد بررسی و مقایسه قرار دادند که در این راستا



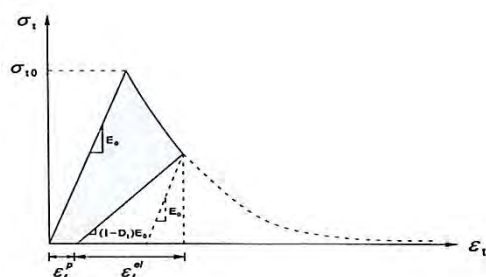
مقاوم سازی ستون های بتنی تحت بارهای لرزه ای با بکارگیری تحلیل های عددی با استفاده از نرم افزار ABAQUS و استفاده از دستورالعمل FEMA [6] انجام گرفت و روش عددی با نتایج حاصل از مطالعات تجربی صحت سنجی گردید. در ۳ روش، میزان مقاومت، شکل پذیری و افزایش ظرفیت جذب انرژی بر اساس نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نمونه عای تقویت شده با ورق های FRP، عمدتاً باعث بهبود در شکل پذیری شده اند. نمونه های تقویت شده با بتن اگرچه باعث بهبود قابل توجه در تحمل حداکثر مقاومت برشی شده و دامنه عملکرد خطی را ارتقاء داده اند و نیز قابلیت جذب انرژی را بهبود بخشیده اند لیکن شکل پذیری مناسبی از خود نشان نداده اند و نمونه های تقویت شده با ژاکت فولادی، ضمن بهبود در بیشینه مقاومت برشی و قابلیت جذب انرژی، شکل پذیری مناسبی را از خود نشان داده اند. در حالتی که متغیرهای سه روش مقاوم سازی با بار محوری ثابت را طوری تغییر دادیم که ظرفیت باربری جانبی یکسان داشته باشند، نمونه ژاکت فولادی و بتنی شکل پذیری بهتری نسبت به نمونه تقویت شده با FRP نشان می دهد، همچنین نمونه تقویت شده با ژاکت فولادی بیشترین جذب انرژی را دارد.

۲- مدل سازی عددی

با توجه به قابل اعتماد بودن مدل سازی صورت گرفته در فصل قبل، به مقایسه عملکرد لرزه ای ستون بتنی معمولی و ستون بتنی تقویت شده با ژاکت فلزی و همچنین ستون بتنی تقویت شده با ژاکت بتنی پرداخته است. برای شناسایی بهتر مدل ها آنها را همانگونه که در جدول (۱) نشان داده شده است نامگذاری شده است. در این مقاله واحد طول، متر و واحد نیرو، نیوتن است و به دو روش ستون معمولی مورد تقویت قرار می گیرد، روش اول استفاده از ژاکت فولادی است و روش دوم استفاده از ژاکت بتنی با ابعاد $3/5 \times 3$ متر و با ارتفاع ۶ متر است. برای تحلیل از نوع استاتیکی غیرخطی با روش کنترل تغییر مکان استفاده شده است. در این پژوهش برای تعریف بتن از المان حجمی و برای تعریف آرماتور طولی از المان حجمی و برای مدل سازی آرماتور عرضی از المان حجمی استفاده شده است. برای تعریف مصالح بتن مطابق با شکل (۱) برای رفتار بتن در فشار و مطابق شکل (۲) برای رفتار بتن در کشش استفاده شده است.



شکل ۱: نمودار رفتار بتن در فشار خالص.



شکل ۲: نمودار رفتار بتن در کشش خالص.

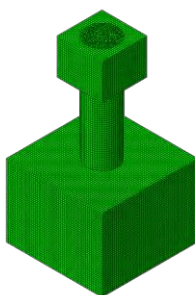
جدول ۱: مقادیر عددی مصالح بتن در فشار و کشش.

فشار خالص		کشش خالص	
کرنش (m)	تنش (N/m ²)	کرنش (m)	تنش (N/m ²)
0.00000	20972037.3	0	15000000.00
0.00082	24525632.5	0.00082	16650000.00
0.00119	26215046.6	0.0063	12300000.00
0.00274	29186085.2	0.0177	6040000.00
0.00407	31038615.2	0.022	4540000.00

برای بررسی کامل تاثیر وجود تقویت شده بر عملکرد سیستم ستون تقویت شده سیستم را با دو حالت با ژاکت فلزی و ژاکت بتنی به روش کاشت میلگرد مورد بررسی قرار داده شده است که مشخصات آن در جدول (۲) ذکر شده است. در شکل (۳) مدل سازی تقویت با روش دورگیری و کاشت در نرم افزار آباکوس [۷] نمایش داده شده است.

جدول ۲: مشخصات مدل های تحقیق.

تقویت وضعیت	ارتفاع ستون	شماره مدل
تقویت نشده	10 m	M-1
تقویت شده با ژاکت فلزی	10 m	M-2
تقویت شده با ژاکت بتنی	10 m	M-3



شکل ۳: مدل سازی تقویت با روش دورگیری و کاشت در نرم افزار آباکوس.

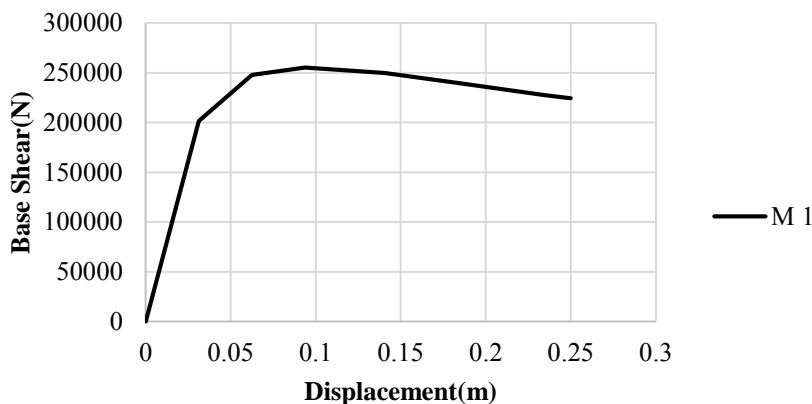


۱-۲- بررسی نتایج مدل M-1

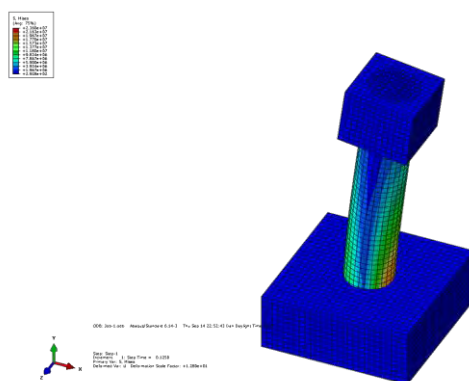
در این مرحله با توجه به خروجی‌های بدست آمده از نرم‌افزار آباکوس، محاسبه مقادیر تنش موجود در اجزای سازه‌ای مطابق با جدول ۳ پرداخته می‌شود. با توجه به مقادیر مشاهده می‌شود که تنش موجود در بتن از مقدار مدول ترک خوردگی بتن که مطابق با رابطه $0.6\sqrt{f_c}$ که در بتن مذکور برابر با مقدار $3/52$ مگاپاسکال می‌باشد، بزرگتر است. لذا ترک خوردگی در نقاط بحرانی پایه ستون که همان پایه پل است، ملاحظه می‌گردد. همچنین با توجه به مقدار تنش موجود در آرماتورها، تسلیم آرماتورها در اثر کشش اتفاق افتاده است. شکل (۴) نمودار بار-جابجایی M-1، جدول (۳) نتایج مدل M-1، شکل ۴ نمودار بار-جابجایی M-1، شکل (۵) شروع تسلیم در مدل M-1، شکل ۶ توالی تسلیم در مدل M-1، شکل (۸) تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی پی در مدل M-1 را نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج مدل M-1

نام مدل	شکل پذیری	جابجایی تسلیم (m)	جذب انرژی (kN.m)	مقاومت نهایی (KN)
M-1	8.14	0.0307	53.14	255



شکل ۴: نمودار بار-جابجایی M-1

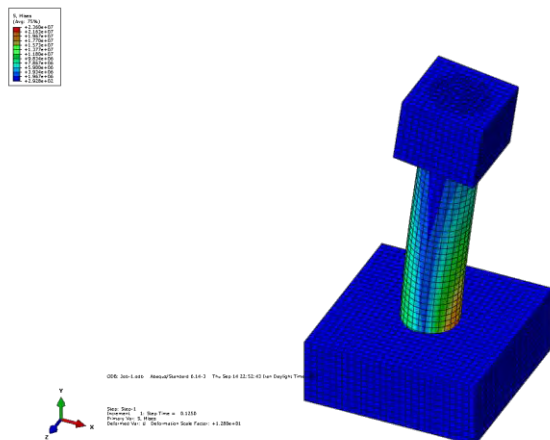


شکل ۵: شروع تسلیم در مدل M-1

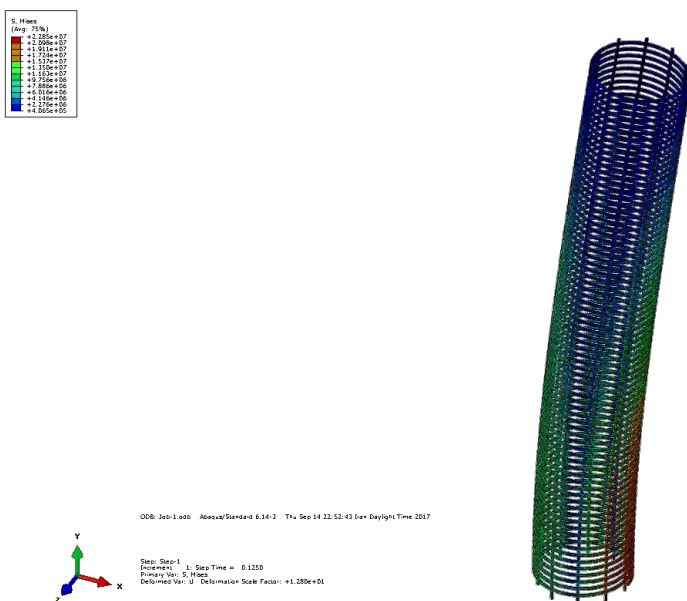


جدول ۴: مقادیر تنش موجود در اعضای مدل M-1 در هنگام گسیختگی

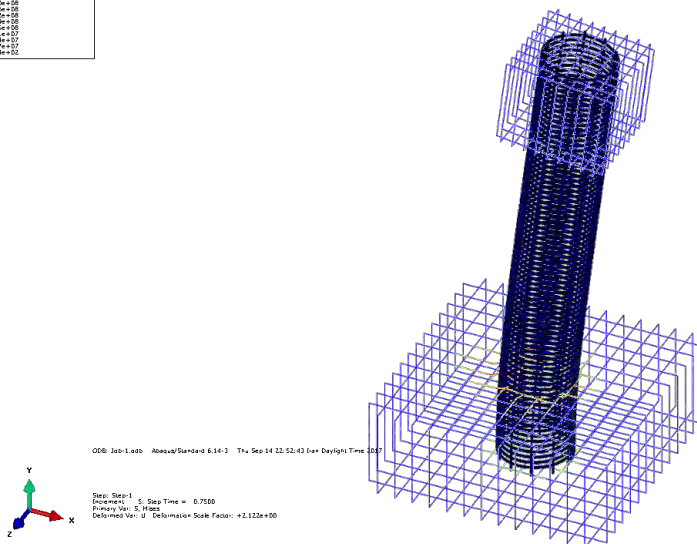
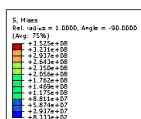
نام مدل	ماکزیمم تنش موجود در بتن
M-1	46 MPa



شکل ۶: توالی تسلیم در مدل M-1.



شکل ۷: تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی در مدل M-1.



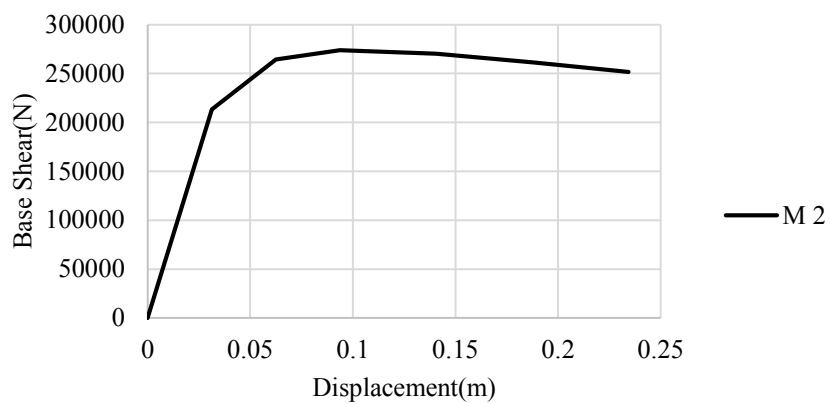
شکل ۸: تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی پی در مدل M-1.

۲-۲- بررسی نتایج مدل M-2

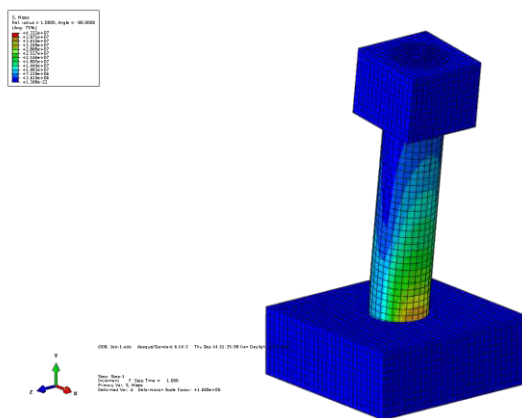
در این مرحله با توجه به خروجی‌های بدست آمده از نرم‌افزار محاسبه مقادیر تنش موجود در اجزای سازه‌ای مطابق با جدول ۵ پرداخته می‌شود. با توجه به مقادیر مشاهده می‌شود که تنش موجود در بتن از مقدار مدول ترک‌خوردگی بتن که مطابق با رابطه $0.6\sqrt{f_c}$ که در بتن مذکور برابر با مقدار ۳/۵۲ مگاپاسکال می‌باشد بزرگتر است لذا ترک خوردگی در نقاط بحرانی پایه ستون که همان پایه ستون است، ملاحظه می‌گردد. اما در این مدل با استفاده ژاکت فلزی، مقدار تنش موجود در بتن تا حد ۱۱ درصد کاهش یابد و دلیل این موضوع را می‌توان در فشار همه جانبه در بتن دید. شکل (۹) نمودار بار- جابجایی M-2، شکل (۱۰) شروع تسلیم در مدل M-2، شکل (۱۱) توالی تسلیم در مدل M-2، جدول (۶) مقادیر تنش موجود در اعضای مدل M-2 در هنگام گسیختگی، شکل (۱۲) تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی دورپیچ ستون در مدل M-2، شکل (۱۳) تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی پی در مدل M-2 را نشان می‌دهد.

جدول ۵: نتایج مدل M-2.

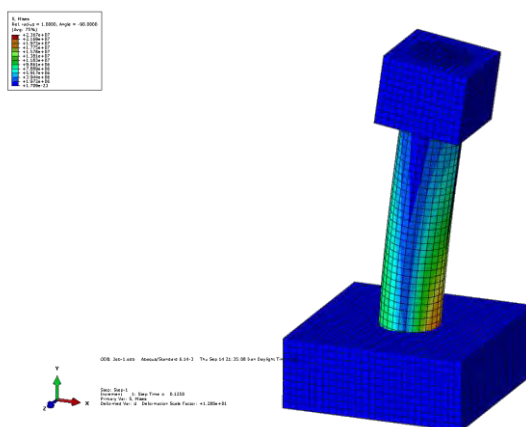
نام مدل	شکل پذیری	جابجایی تسلیم (m)	جذب انرژی (kN.m)	مقاومت نهایی (KN)
M-2	8.36	0.03	58.22	274



شکل ۹: نمودار بار-جابجایی M-2.



شکل ۱۰: شروع تسلیم در مدل M-2.

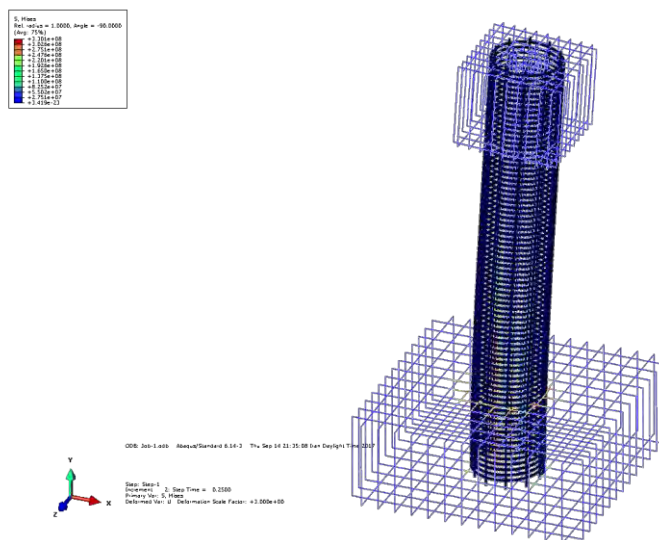


شکل ۱۱: توالی تسلیم در مدل M-2.

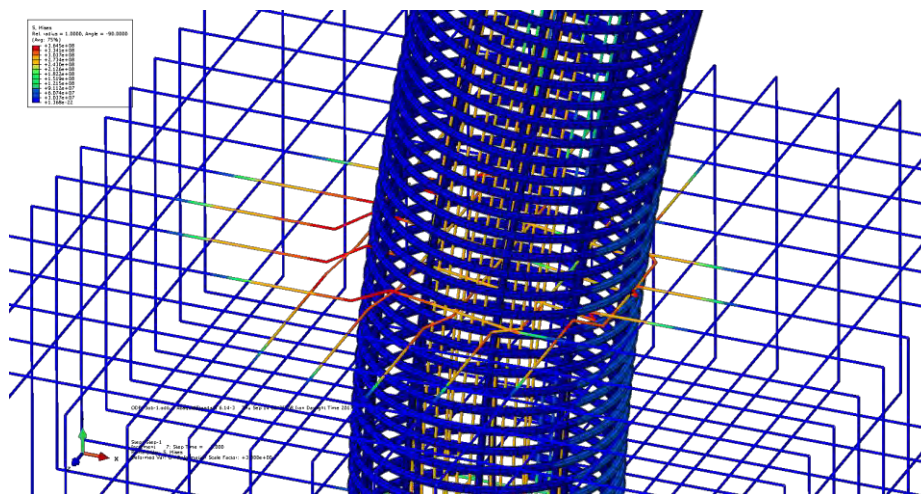


جدول ۶: مقادیر تنش موجود در اعضای مدل M-2 در هنگام گسیختگی.

نام مدل	ماکزیمم تنش موجود در بتن
M-2	41 MPa



شکل ۱۲: تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی دورپیچ ستون در مدل M-2.



شکل ۱۳: تنش ایجاد شده در آرماتورهای طولی و عرضی پی در مدل M-2.

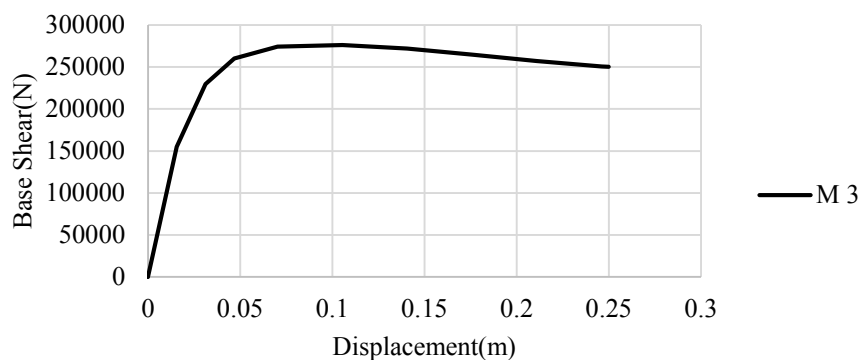


۳-۲- بررسی نتایج مدل M-3

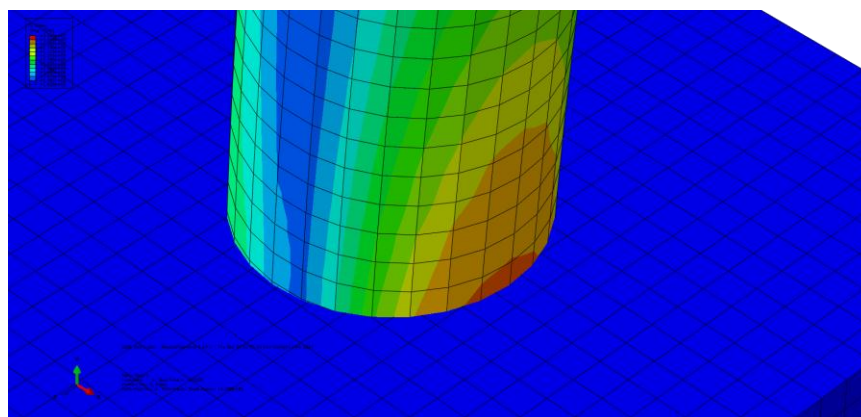
در این مرحله با توجه به خروجی‌های بدست آمده از نرم‌افزار محاسبه مقادیر تنش موجود در اجزای سازه‌ای مطابق با جدول (۷) پرداخته می‌شود. با توجه به مقادیر مشاهده می‌شود که تنش موجود در بتن از مقدار مدول ترک‌خوردگی بتن که مطابق با رابطه‌ی $0.6\sqrt{f_c}$ که در بتن مذکور برابر با مقدار $3/52$ مگاپاسکال می‌باشد بزرگتر است لذا ترک خوردگی در نقاط بحرانی پایه ستون که همان پایه ستون است، ملاحظه می‌گردد. اما در این مدل با استفاده از ژاکت بتنی، مقدار تنش موجود در بتن تا حد ۱۵ درصد کاهش یابد و دلیل این موضوع را می‌توان در فشار همه جانبه در بتن دید. شکل (۱۴) نمودار بار-جابجایی M-3، شکل ۱۵ شروع تسلیم در مدل M-3، شکل (۱۶) توالی تسلیم در مدل M-3، جدول ۸ مقادیر تنش موجود در اعضای مدل M-3 در هنگام گسیختگی،

جدول ۷. نتایج مدل M-3.

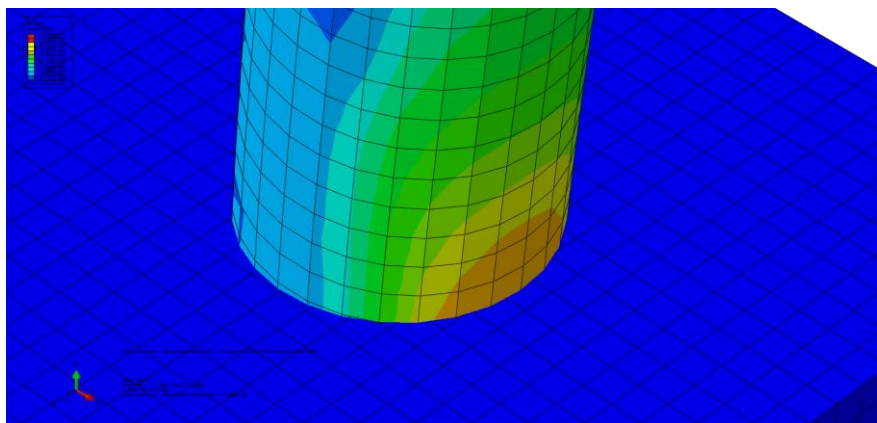
نام مدل	شکل پذیری	جابجایی تسلیم (m)	جذب انرژی (kN.m)	مقاومت نهایی (KN)
M-3	11.21	0.022	60.1	276



شکل ۱۴: نمودار بار-جابجایی M-3.



شکل ۱۵: شروع تسلیم در مدل M-3.



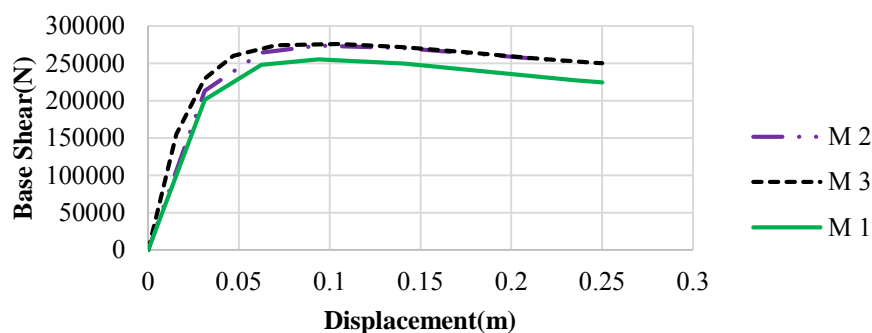
شکل ۱۶: توالی تسلیم در مدل M-3.

جدول ۸: مقادیر تنش موجود در اعضای مدل M-3 در هنگام گسیختگی.

نام مدل	ماکزیمم تنش موجود در بتن
M-3	39 MPa

۳- مقایسه مدل های مورد بررسی

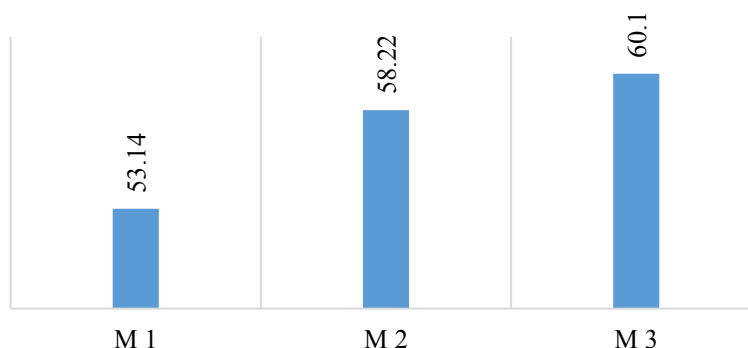
با توجه به گرافک شکل (۱۷) می توان مقایسه ای بین نمودار نیروی برش - جابجایی، شکل (۱۸) نمودار میله ای جذب انرژی، شکل (۱۹) نمودار میله ای مقاومت نهایی و شکل (۲۰) نمودار میله های شکل پذیری برای سه مدل مورد بررسی در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۱۷: مقایسه نمودار بار - جابجایی مدل های مورد بررسی در این پژوهش.



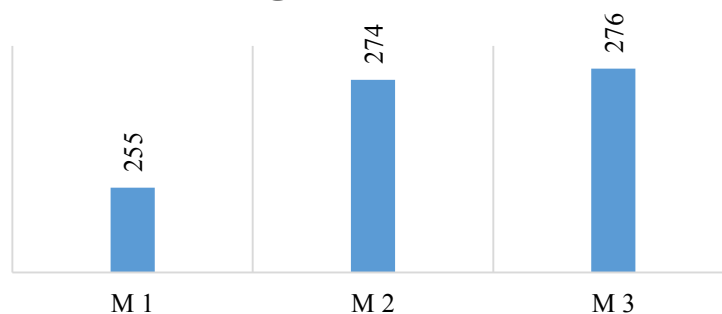
جذب انرژی



شکل ۱۸: نمودار میله‌ای جذب انرژی مدل‌های مورد بررسی (جذب انرژی بر حسب KN.m).

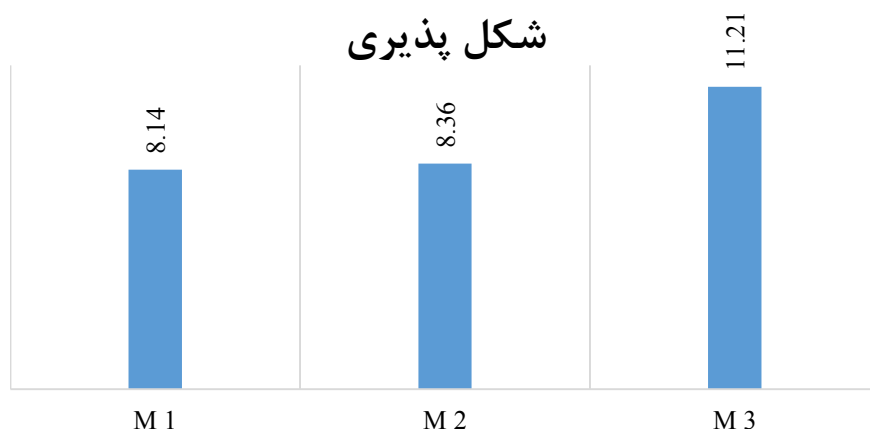
با توجه به نتایج به دست آمده در شکل (۱۷) و شکل (۱۸) مشاهده می‌شود که با استفاده از دورگیری ژاکت فلزی، میزان جذب انرژی به مقدار ۹٫۵ درصد افزایش یابد و با استفاده از باکس ژاکت بتنی با ابعاد $3/5 \times 3/5$ میزان جذب انرژی را به مقدار ۱۳ درصد افزایش یابد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از ژاکت بتنی می‌توان میزان جذب انرژی سیستم ستون بتنی پل را افزایش داد.

مقاومت نهایی



شکل ۱۹: نمودار میله‌ای مقاومت نهایی مدل‌های مورد بررسی (مقاومت نهایی بر حسب KN).

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل (۱۹) مشاهده می‌شود که با استفاده از دورگیری ژاکت فلزی، میزان مقاومت نهایی را به مقدار ۷/۵ درصد افزایش یابد و با استفاده از باکس ژاکت بتنی با ابعاد $3/5 \times 3/5$ میزان مقاومت نهایی را به مقدار ۳۴ درصد افزایش یابد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از ژاکت می‌توان میزان مقاومت نهایی سیستم ستون بتنی پل را افزایش داد.



شکل ۲۰: نمودار میله‌ای شکل‌پذیری مدل‌های مورد بررسی.

۴- مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی پایه پلی آسید دیده و ضعیف شده، که به روش ژاکت بتنی مقاوم سازی شده است. آسیب دیدگی پایه مورد نظر شامل ترک برشی و خوردگی بتن و آرماتور می باشد که بر اثر سیل و جریان تند رودخانه و همچنین اشتباهات و مشکلات اجرایی بوجود آمده است. شکل (۲۱) خوردگی پایه پل مدل آزمایش و شکل (۲۲) ترک برشی پایه پل مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱: خوردگی پایه پل مدل آزمایش.



شکل ۲۲: ترک برشی پایه پل مدل آزمایشگاهی.

ابعاد پایه پل به قطر $1/2$ و ارتفاع 10 متر و همچنین ابعاد ژاکت بتنی $3/5 \times 3/5$ به ارتفاع 6 متر است. بعد از پاکسازی سطوح آسیب دیده عملیات کاشت میلگرد صورت پذیرفت. سائز میلگردهای طولی 20 و سائز میلگردهای اسپیرال 12 ، که در دو شبکه با فاصله 20 سانتی متر کاشته شده است. فاصله میلگردهای طولی $20@$ و فاصله اسپیرال $10@$ می باشد. شکل (۲۳) کاشت میلگرد در پایه پل مدل آزمایشگاهی را نشان میدهد.



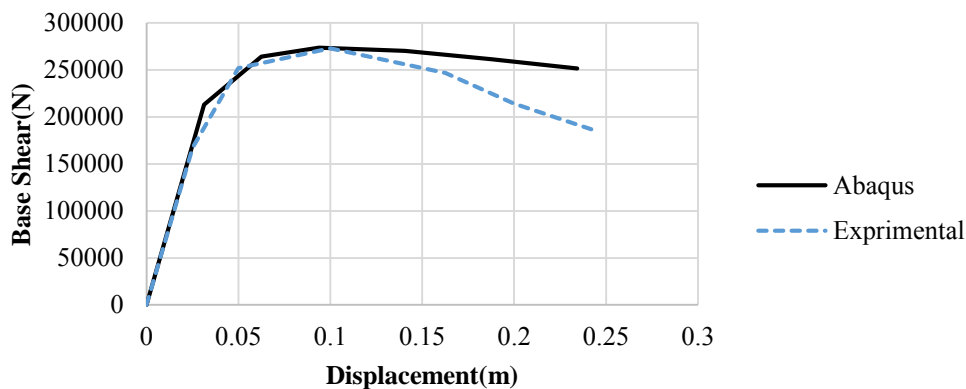
شکل ۲۳: کاشت میلگرد در پایه پل مدل آزمایشگاهی.

سپس آرماتور باکس ژاکت بتنی با اتصال به آرماتور کاشته شده اجرا گردید. سائز میلگردهای طولی 20 به فاصله $20@$ و سائز میلگردهای عرضی 8 با فاصله $20@$ بسته شده است. پس از اجرای عملیات قالب بندی، بتن ریزی با عیار 400 و مواد افزاینده فوق روان کننده ریخته شد تا کارایی بهتری داشته باشد. شکل ۲۴ آرماتوربندی ژاکت بتنی پایه پل مدل آزمایشگاهی را نشان میدهد.



شکل ۲۴: آرماتوربندی ژاکت بتنی پایه پل مدل آزمایشگاهی.

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که با استفاده از دورگیری ژاکت فلزی، میزان شکل‌پذیری را به مقدار ۳ درصد افزایش یابد و با استفاده از باکس ژاکت بتن با ابعاد $3/5 \times 3/5$ میزان شکل‌پذیری را به مقدار ۳۸ درصد افزایش یابد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از ژاکت می‌توان میزان شکل‌پذیری سیستم ستون بتنی پل را افزایش داد.



شکل ۲۵: مقایسه نتایج مدل آزمایشگاهی و المان محدود.

در نتیجه از مدل نرم افزاری ژاکت بتنی بهترین عملکرد را از لحاظ شکل‌پذیری، مقاومت نهایی و ضریب انرژی و همچنین نمودار بارجابجایی، حاصل شده است که مبنی بر انجام این روش گشته است.



۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق رفتار لرزه‌ای پایه ستون بتن آرمه تقویت شده با دورگیری ژاکت فلزی و با ژاکت بتنی با ابعاد ۳,۵*۳,۵ متر دارای شبکه آرماتور مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. مدل‌هایی جهت برآورد پارامترهای لرزه‌ای آن به صورت غیرخطی هندسی و مصالح تحلیل گردید. بر اساس مدل‌های رفتاری تقویت با استفاده از دورگیری ژاکت فلزی و باکس ژاکت بتنی، از لحاظ میزان جذب انرژی سیستم، مقاومت نهایی سیستم و شکل‌پذیری باکس ژاکت بتنی عملکرد بهتری نسبت به دورگیری ژاکت فلزی دارد و بنابراین در مدلسازی آزمایشگاهی از این روش استفاده گردید و با مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی صحت نوع سیستم تقویت ستون پایه پل‌ها مشخص شد.

۶- منابع

- [1]-A. Nanni Chairman, H. Saadatmanesh Secretary, M. R. Ehsani, 2020, **Subcommittee chairman for the State-of-the-Art Report**, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures Reported by ACI Committee 440.
- [2]- Chestre, Carlos, Manual A.G. Silva, 2010, **Monotonic axial behavior and modeling of RC circular columns confined with CFRP**, Engineering Structures, 32, 8, 2268-2277.
- [3]-Fahmy, M. Wu, Zhishen. Wu, Gang, 2009, **post-earthquake recoverability of existing RC bridge piers retrofitted with FRP composites**, Construction and Building Materials, 24, 980-998.
- [4]- Navarrete, A., and Guerrero, J., 2016, **Influence of RC jacketing on the seismic vulnerability of RC bridges**, Engineering Structures, 126, 236-246.
- [۵]- دائمی، عطیه و خالو، علیرضا، ۱۳۹۵، مقایسه تاثیر مقاوم سازی لرزه ای ستون بتنی با استفاده از ژاکت بتنی، ژاکت فولادی و FRP به وسیله ی مدلسازی عددی، نشریه علمی -ترویجی مصالح و سازه های بتنی، ۱، ۱، انجمن علمی بتن ایران- به زبان فارسی.
- [6]-FEMA-440, Applied Technology Council, 2005, **Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures**, Washington, Federal Emergency Agency, Jun.
- [7]- ABAQUS Analysis User's Manual version 6.10.1.