

مطالعه و بررسی اثر نوع بتن معمولی و پرمقاومت بر ضریب رفتار (R) پل های صندوقه‌ای پیش تنیده

سیدعلی موسوی داودی^۱، حسینعلی بیگی^۲، هادی فرهادی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی طبری

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه نوشیروانی بابل

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، مرکز آموزش عالی صالحان

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (Ali_mousavii@yahoo.com)

چکیده

قبل از پیدایش تکنیک پیش تنیدگی، پل های بتن آرمه تنها برای پوشش دادن به دهانه های نسبتاً کوتاهی بکار برده می شدند. محدودیت طول دهانه در این پل ها دارای دو عوامل اساسی بوده است. زیرا اولاً برای دهانه های بلندتر حجم مصالح مصرفی (بتن و فولاد) با سرعت افزوده می گردد. بطوریکه بار مرده سازه خود یک عامل بحرانی در طراحی مقطع محسوب خواهد شد. ثانیاً هزینه های مربوط به قالب بندی و شمع گذاری چنین عرشه‌هایی مقادیر بسیار بزرگی را بخود اختصاص خواهد داد. با توجه به دو عامل یاد شده، معمولاً راه حل دیگر استفاده از شاه تیرهای فولادی می باشد. طراحی و اجرای پل های بتنی پیش تنیده با مقاطع جعبه‌ای در سال های اخیر در ایران، همانند دیگر کشورهای جهان، بدلیل نیاز به گسترش مسیرهای ارتباطی جاده‌ای توسعه بسیار زیادی پیدا کرده است. به تدریج در دامنه وسیعی از ابنیه فنی، پل های بتنی پیش تنیده جایگزین پل های بتن مسلح شده‌اند. بدین ترتیب با صرف هزینه کمتر، پل های با دهانه بزرگ ساخته می شوند. از طرف دیگر استفاده از این مصالح امکان به کارگیری تکنیک های جدید پل سازی می دهد. پل های پیش تنیده نیز در زمان ساخت و گذشت زمان دچار مشکلاتی نظیر گسیختگی ناشی از بارهای وارده در مرحله ساخت اعم از نیروی پیش تنیدگی، فرسایش، افزایش بار، خزش و انقباض بتن و شل شدگی کابل های پیش تنیده می گردد که این امر باعث افزایش تغییر شکل وسط دهانه و کاهش ظرفیت باربری پل پیش تنیده می گردد. با توجه به این مهم در این مقاله سعی گردید، که به بررسی و مطالعه اثر پارامتریکی اثر نوع بتن مصرفی بر روی پل پیش تنیده با مطالعه موردی پل (آزادراه تهران-شمال) که دارای دو دهانه ۸۳ متری و یک دهانه ۱۵۳ متری می باشد، تحت نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدل سازی گردد و اثر تاثیر بارهای وارد در حین ساخت بر روی رفتار مکانیکی پل های پیش تنیده را مورد مطالعه قرار داد.

کلمات کلیدی: پل های پیش تنیده، شاه تیرهای صندوقه ای، مکانیزم شکست، تحلیل اجزای محدود.

۱. مقدمه

بشر همواره بدنبال راهی برای حمل و نقل کالا از محلی به محل دیگر بوده است. حمل و نقل از طریق رودخانه توسط قایقهای اولیه، اولین روشی بود که بشر بدان دست یافت. رودخانه و دریا در هر امتداد و مسیر دلخواه وجود نداشت و بشر ناگزیر به فکر ساخت و استفاده از راه های زمینی شد. اولین راه های ساخته شده شاید راه های ارتباطی بین چند روستا باشد. لزوم سرعت بیشتر در ارتباطات و همچنین سنگین تر شدن محمولات و استفاده از وسایل حمل و نقل پیشرفته تر بشر را به این فکر انداخت که برای عبور از دره ها و رودخانه معبری ایجاد نماید که امروزه به آن پل می گویند. هرچه سرمایه گذاری اولیه در ساخت پل بیشتر باشد هزینه های استهلاک وسایل نقلیه و زمان، در آینده کمتر خواهد بود. علاوه بر مسائل اقتصادی-سیاسی-اجتماعی، پل ها نقش استراتژیک و تعیین کننده ای در مسائل نظامی دارند. از این لحاظ است که در تاریخ

جنگ ها یکی از اهداف مهم تخریب پل ها و سازه های مربوط به آن بود. از لحاظ تاریخی ، اولین پل ها ، تیرهای ساده از جنس سنگ یا چوب بودند که در دهانه های بزرگ توسط الیاف ها به صورت معلق مهار می شدند. ایجاد پل ها و گذرگاه ها برای عبور از دره ها و رودخانه ها از قدیمیترین فعالیت های بشر است .پلهای قدیمی معمولاً از مصالح موجود در طبیعت مثل چوب و سنگ و الیاف گیاهی بصورت معلق یا با تیرهای حمال ساخته می شدند . همزمان با پیشرفت بشر و نیاز جوامع به ارتباط با هم ، راهسازی و پلسازی گسترش یافته و روش های جدیدی نیز برای ساختن این ابنیه اختراع شده است . به ترتیبی که در دوران قبل از رومیها پلهای سنگی و طاقی ساخته شدند و در اوایل قرن نوزدهم پلهای معلق و قوسی ابداع شدند و از شروع قرن بیستم ساختن پلهای فلزی و بتن مسلح آغاز شد.[۱] در یک تقسیم بندی کلی، شالوده و پایه های پل را زیرسازه و آن قسمت که به صورت سیستم خمشی وظیفه تحمل عبورگاه (عرشه) را بین پایه ها به عهده دارد، رو سازه نامیده می شود. پل را از جهات مختلف می توان طبقه بندی نمود. [۲]

- طبقه بندی پل ها از نقطه نظر طول دهانه [۲]

- دهانه های کوتاه (زیر ۸ متر)
- دهانه های متوسط (بین ۸ تا ۶۰ متر)
- دهانه های بلند (بزرگتر از ۶۰ متر)

برای هر یک از طبقه بندی های فوق سیستم های مناسبی در نظر گرفته می شود

- طبقه بندی پل ها از نقطه نظر سیستم سازه ای [۲]

- پل های صفحه ای (دال و تیر)
- پل های خرپایی
- پل های قوسی (طاقی)
- پل های معلق
- پل های قابی

- طبقه بندی پل ها از نقطه نظر مصالح [۳]

- پل ها با مصالح بنایی و بتن غیر مسلح
- پل های بتن مسلح (درجا و پیش ساخته)
- پل های بتن پیش تنیده (پیش کشیده و پس کشیده)
- پل های فولادی
- پل های مرکب (فولاد و بتن)

سازه پیش تنیده Prestressed structure سازه ای است که با ترکیب رشته ها یا میلگردهای فولادی (Tendon) و بتن ساخته شده که با تحت کشش قرار گرفتن کابل های فولادی باعث افزایش ظرفیت باربری بتن می گردد. میله های فولادی در پروسه ساخت یا پس از ساخت، تحت کشش (مثلاً با جک های هیدرولیک) قرار می گیرند. این تدبیر باعث می شود که بتن موجود در سازه تحت تنش فشاری قرار گیرد. از آنجا که مقاومت بتن در فشار بسیار بیشتر از مقاومت آن در کشش هست، اعمال این بارهای خارجی مذکور به سازه، موجب کاهش تنش کششی در بتن می شوند؛ بنابراین بتن موجود یا تحت تنش

کششی قرار نمی‌گیرد یا مقدار بسیار کمی تنش کششی (کمتر از استحکام شکست بتن) تحمل می‌کند. این تدبیر باعث می‌شود که قابلیت تحمل بار سازه با بتن تحت فشار بسیار بیشتر از سازه مشابه بدون پیش تنیدگی باشد. [۴]



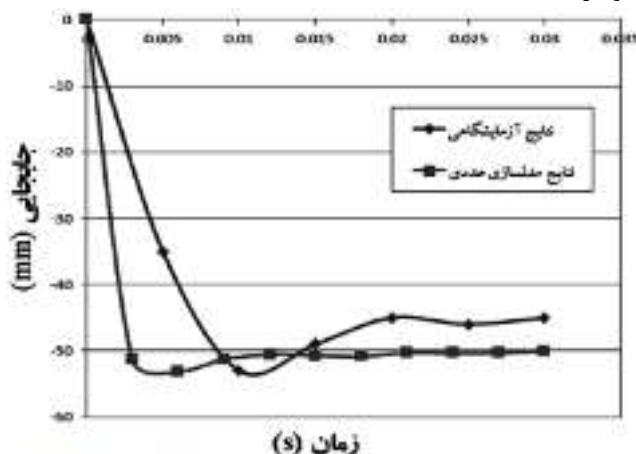
شکل ۱- پل کابلی سازه پیش‌تنیده بر روی رود یانگ‌تسه [۴]

برای درک بهتر مزایای پیش تنیدگی دانستن اطلاعاتی از خواص بتن مفید خواهد بود. بتن در برابر فشار بسیار مقاوم است، اما در برابر کشش ضعیف است. به عنوان مثال وقتی نیرویی کششی به مقطع بتنی اعمال شود، ترک می‌خورد. به طور متداول در سازه‌های بتنی وقتی باری شبیه به خودرو در یک پارکینگ بر روی دال بتنی یا تیرها قرار گیرد، تیر تمایل به انحنای خم شدن دارد. این تغییر شکل خمیدگی باعث می‌شود پایین تیر اندکی دچار کشیدگی و ازدیاد طول (کرنش، Strain) شود. معمولاً همین مقدار اندک کشیدگی برای ایجاد ترک در بتن کافی است. میلگردهای تقویتی (bars) فولادی به صورت مدفون در بتن به عنوان تقویت کشش برای محدود کردن عرض ترک قرار داده می‌شود. میلگردها در این حالت وقتی فقط به صورت مدفون در بتن قرار داده می‌شود به صورت نیروهای Passive عمل می‌کند و تا زمانی که خیز در بتن به مرحله قبل از ایجاد ترک نرسیده است نیرویی را تحمل نمی‌کند. اما Tendon یا همان فولادهای پیش تنیدگی به صورت نیروهای Active در سیستم عمل می‌کنند. در سیستم پیش تنیدگی، فولاد به عنوان عامل مقاوم و مؤثر عمل می‌کند. به طوری که امکان بوجود آمدن ترک در بتن وجود نخواهد داشت. سازه‌های پیش تنیده حتی اگر تحت بارگذاری کامل قرار گیرند، می‌توانند طوری طراحی شوند که کمترین خیز و ترک در سازه ایجاد شود. اجرای سیستم پیش تنیدگی در مراحل ساخت، سرهم کردن قطعات (مونتاز)، برپاسازی و نصب در موقعیت به معلومات و دانش تخصصی و فنی نیاز دارد، ولی می‌توان مفهوم کلی کار را با مثال زیر توضیح داد: اگر تعدادی بلوک چوبی که درون آن‌ها سوراخی اجرا شده‌است و از میان سوراخ نوار لاستیکی عبور داده شود و دو طرف انتهای نوار لاستیکی را نگاه داریم، بلوک‌ها از قسمت پایین از هم جدا می‌شوند. در این شرایط پیش تنیدگی توسط قرار دادن یک جفت مهره در دو انتهای نوار لاستیکی قابل شرح است بطوری که با پیچاندن مهره‌ها کم‌کم بلوک‌ها در قسمت پایین به هم نزدیک شده و نهایتاً به طور محکم به هم فشار خواهند آورد. در این حالت اگر از دو قسمت انتهایی مجموعه را بلند کنیم این بار مجموعه بلوک‌ها از هم جدا نمی‌شود بلکه بطور مستقیم و در کنار هم موقعیت خود را حفظ می‌کنند. این نوارهای لاستیکی محکم شده در واقع همان Tendon (فولادهای پس تنیدگی) در مقیاس واقعی می‌باشند که توسط وسایل مهاری گوه‌ای شکل در محل انتهایی بسته می‌شوند. [۵]



شکل ۲- لنگرگاه کابل چند رشته‌ای [۵]

صفت و همکاران به منظور بررسی و مطالعه روی پل‌های پیش‌تنیده مطالعه‌ای در زمینه عملکرد پل‌های بتنی پیش‌تنیده تحت بار انفجاری در سال ۲۰۱۶ انجام دادند، آنها در این تحقیق یک مدل اجزاء محدود برای پل‌های بتنی با اجزای پیش‌تنیده بتنی با استفاده از نرم افزار آباکوس را مورد بررسی قرار دادند. همچنین دقت شبیه سازی عددی با داده‌های تست‌های آزمایشگاهی توسط کارهای آزمایشگاهی محققین دیگر مقایسه شده که در شکل (۳) می‌توانید دقت نتایج صحت سنجی کار آزمایشگاهی و نرم افزار اجزاء محدود را مشاهده نمایید. [۶]



شکل ۳- نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان مرکز دال تحت بار انفجار اعمال شده [۶]

در ادامه آنها مدل‌های ایجاد شده را تحت سناریوهای مختلف انفجاری با وزن مواد منفجره مختلف، در عرض عرشه پل قرار دادند. فرآیند تخریب اجزای پل مشاهده شده و بر روی ساز و کار آسیب وارده را مورد بحث قرار دادند. که در نتیجه آنها نتایج به دست آمده از این پژوهش، در مورد پل‌های پیش‌ساخته بتنی در مورد رفتار و پاسخ‌های احتمالی وقتی که تحت بار انفجاری شدید قرار دادند عبارت بود از اینکه: [۶]

اجزای بتنی صرفنظر از مقاومت فشاری بتن خیلی سریع شکسته می‌شوند در حالیکه میلگرد تقویتی گسیخته نمی‌شود و جابجایی زیادی را می‌تواند تحمل کند. اجزای ساز و کار باید در برابر تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگ و حد شکل‌پذیری بالا طراحی شوند. [۷] همچنین نیز به این نتیجه رسیدند که برای بار وارده بالای عرشه، بین دو جان، فشار انفجار در دال یک سوراخ ایجاد کرد، اما اطراف جان‌ها نسبتاً تغییر نکرد. این سناریو بیان می‌کند که پل ممکن است ریزش نکرده و حتی ممکن

است بلافاصله بعد از انفجار، خطوط برای عبور وسایل نقلیه باز گردد. اما برای انفجار وارده در روی جان، امواج انفجار بلافاصله باعث آسیب به جان در زیر منبع انفجار و همچنین اطراف عرشه میشود که انتظار می رود پل بلافاصله قابل سرویس دهی باشد. همچنین آنها نیز مشاهده نمودند هنگامیکه مدل پل تحت سناریوی انفجار در بالای عرشه قرار می گیرد، مشاهده می شود که گسیختگی می تواند ناشی از خردشدگی عرشه و در ادامه، ترک های خمشی گردد. این موضوع بیشتر ناشی از نیروهای فشاری تولیدشده توسط انفجار است. [۷]

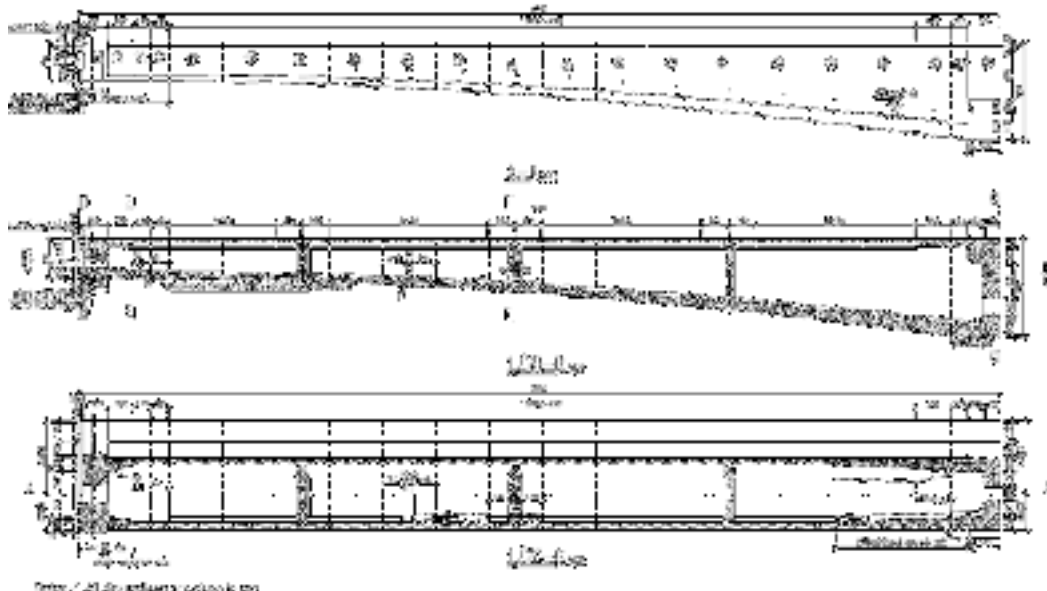
۲. معرفی روش تحقیق

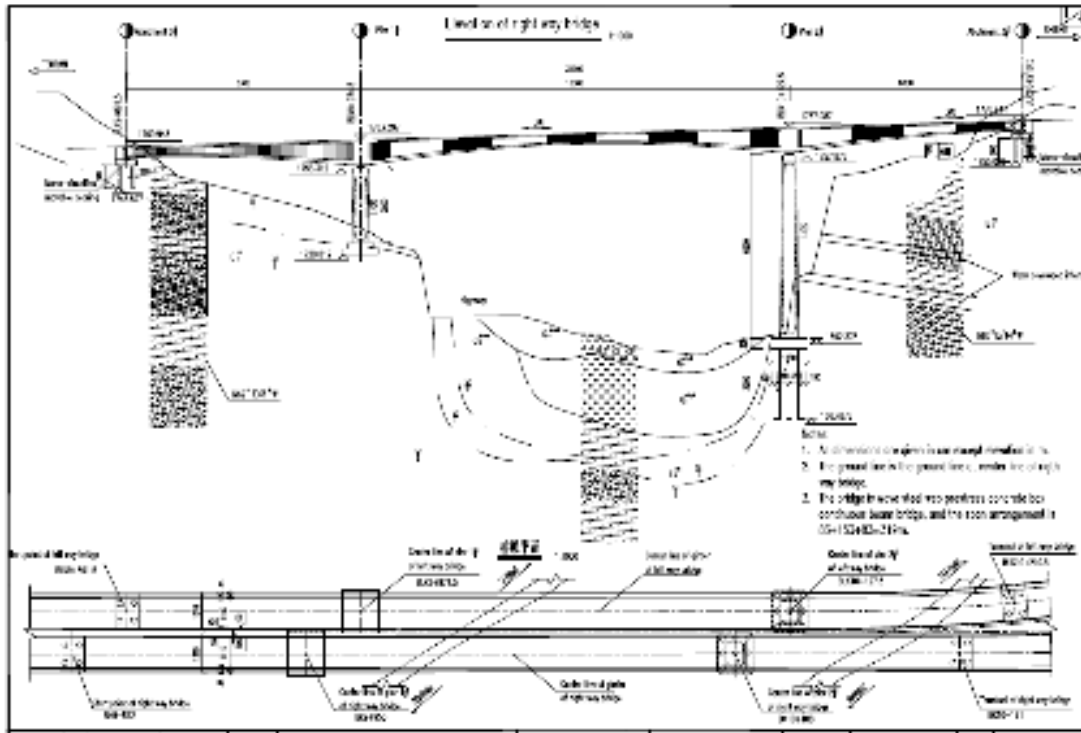
در این پژوهش بمنظور بررسی و مطالعه اثر نوع بتن معمولی و پرمقاومت بر رفتار مکانیکی پل های صندوقه ای پیش تنیده از دو نمونه مدل مورد مطالعاتی استفاده گردید، که توسط برنامه آباکوس مورد تحلیل قرار خواهند گرفت در جدول (۱) مشخصات این نمونه و پارامترهای موثر این دو نمونه را مشاهده می نماییم در حالت کلی تشریح شده است.

جدول ۱- معرفی مشخصات نمونه های مطالعاتی

مقاومت فشاری بتن	نوع میلگرد مصرفی	نام نمونه مورد تحلیل
25mpa	S۴۰۰	مدل A
70mpa		مدل B

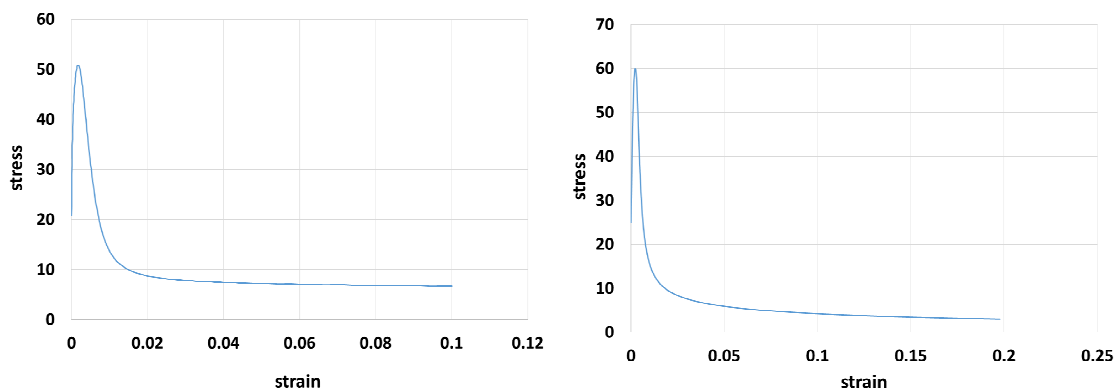
در شکل (۴) مشخصات هندسی و دتایل اجرایی مدل های مورد استفاده قرار گرفته در این پژوهش را مشاهده می گردد. همانطوری که در شکل (۴) مشاهده می گردد ابعاد دهانه پل مورد تحلیل دارای دارای طول ۸۳ متر می باشد.





شکل ۴- جزئیات هندسی مدل A و B

برای تعریف بتن در نرم افزار آباکوس، یک مدل رفتاری به نام *concrete damaged plasticity* وجود دارد. این مدل توانایی کلی برای مدل سازی رفتار بتن یا هر ماده دیگر با رفتار نیمه ترد را دارد. این مدل برای مدل سازی رفتار غیر الاستیک بتن، از مفهوم شکست ایزوتروپیک در محدوده الاستیک در کنار رفتار فشاری در محدوده پلاستیک استفاده می نماید. در این پژوهش در مدل های مورد بررسی در گروه های A، B با مقطع هندسی L شکل از بتن با مقاومت های فشاری ۲۵ و ۷۰ مگاپاسکال استفاده شده است. رفتار بتن از خاصیت الاستیک و پلاستیک تبعیت می کند. در شکل (۵) نمودار تنش-کرنش بتن هایی که در مدل سازی استفاده گردید نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار تنش-کرنش بتن مصرفی در مدل سازی نمونه های A و B

مدول الاستیسیته بتن بر اساس رابطه زیر محاسبه شد

$$E_c = 4770 \sqrt{f_c} \quad (3-1)$$

برای تعریف ساده تر رفتار غیرخطی میلگرد در نرم افزار آباکوس، منحنی تنش-کرنش فولاد به صورت دو خطی فرض شده است. بنابراین کافی است دو شیب به عنوان مدل الاستیسیته اولیه و ثانویه و مقدار تنش جاری شدن مشخص گردد. مشخصات فولاد مصرفی برای مدل های A,B استفاده شده در این مدل سازی در جدول (۲) تا (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات ایزوتروپیک خطی مکانیکی میلگرد فولادی در نمونه های مدل A,B

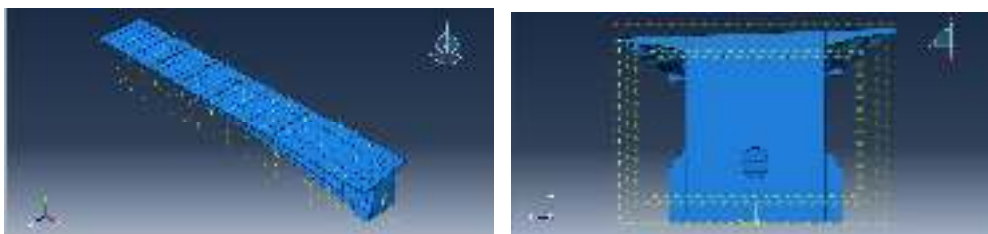
Young's Modulus (MPA)	Poisson's Ratio
۱۹۹۰۰۰	۰/۳

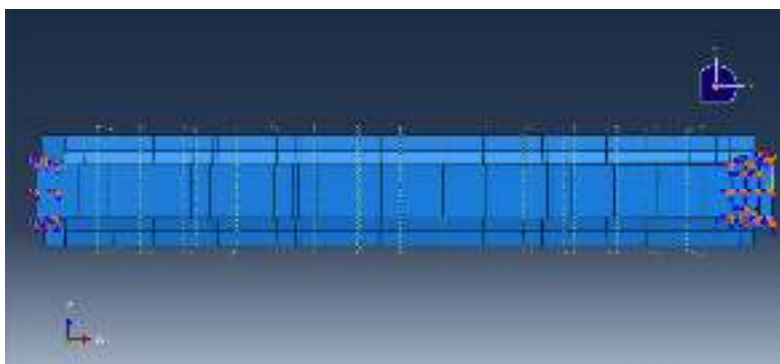
جدول ۳- مشخصات ایزوتروپیک دو خطی میلگرد فولادی در نمونه های مدل A,B

Yield stress (MPA)	Plastic strain
۴۶۵	۰
۶۰۰	۰/۱۲

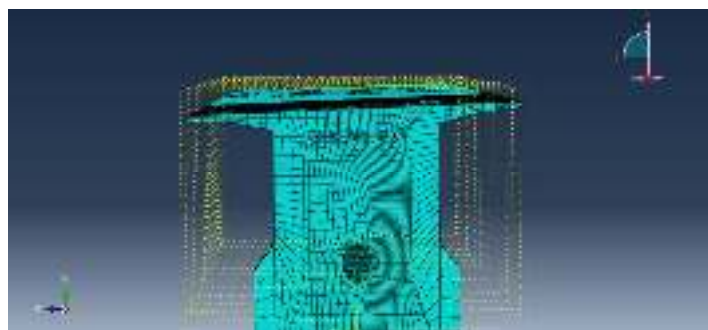
۳. روش مدل سازی مدل (A) و (B) در برنامه آباکوس

در این پژوهش از دو نمونه مدل به نام مدل های A, B استفاده می کنیم، به همین جهت مدل سازی نمونه های طراحی شده، از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شد. جهت مدل سازی بتن از المان SOLID استفاده شد و جهت مدل سازی مقاطع فولادی از المان Shell استفاده گردید، و همچنین برای مدل سازی میلگردها از المان WIRE استفاده شده است. در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار آباکوس رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیر خطی لحاظ گردید. در نمونه A مشخصات میلگرد فولادی S۴۰۰ استفاده شده است همچنین، از مشخصات مکانیکی فولاد نرمه (ST ۳۷)، و بتن با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال استفاده شده است. برای نمونه مدل B مشخصات میلگرد فولادی S۴۰۰ استفاده شده است و همچنین برای تیوب فولادی از فولاد ST۳۷ و بتن با مقاومت فشاری ۷۰ مگاپاسکال استفاده شد، جهت اتصال تمامی لبه های جوش شونده به یکدیگر از قید Tie و برای تعریف وضعیت سطح تمامی صفحات دارای تماس با یکدیگر از قید Contact به صورت سطح به سطح استفاده شد.



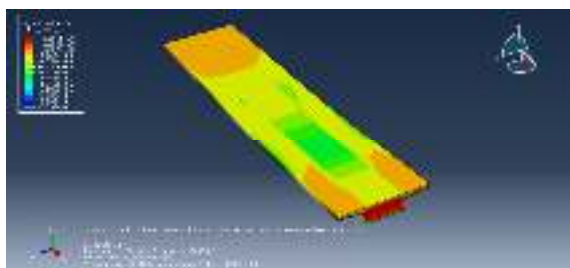


شکل ۵- نمونه‌های مدل‌سازی شده پل صندوقه‌ایی

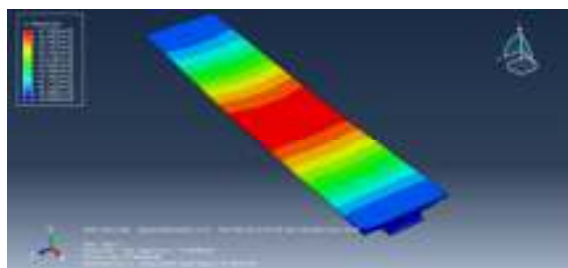


شکل ۶- نمونه‌های مش‌بندی شده پل صندوقه‌ایی

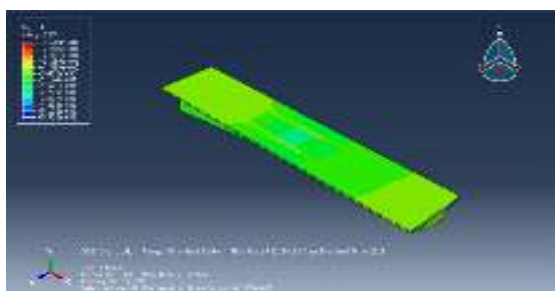
پس از اینکه تحلیل نمونه‌های مطالعاتی توسط برنامه آباکوس انجام گرفت، برای مشاهده نتایج حل از محیط Visualization استفاده شد. در اشکال (۷) و (۸) و (۹) می‌توان خروجی و کانتورهای مختلف پارامترهای تحلیل مدل A و مدل B را مشاهده کرد. در شکل (۸) الی (۱۱) می‌توان کانتور توزیع تغییرمکان ایجاد شده مشاهده کرد.



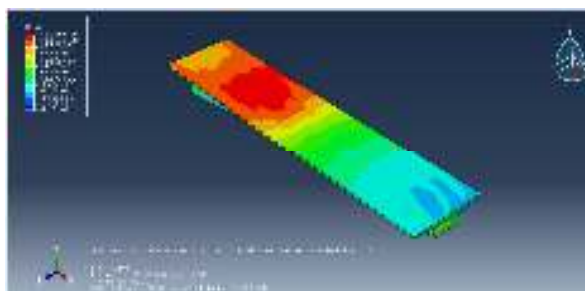
شکل ۸- توزیع تنش فون مایسز در مدل A



شکل ۷- توزیع تغییر مکان magnitude در مدل A



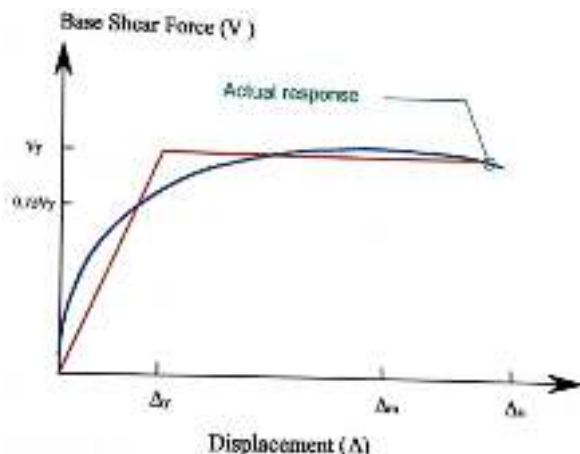
شکل ۱۰- توزیع تغییرمکان U_2 در مدل B



شکل ۹- توزیع تغییرمکان U_2 در مدل B

۴- روابط محاسبه ضریب رفتار سازه

در این روش که توسط پریستلی و پائولی [۸] بیان شد یک مقدار برای V_y (مقاومت تسلیم سازه) فرض شده، سپس از مبدأ به نقطه $0.75V_y$ روی منحنی تغییرمکان-نیروی برش پایه (شکل ۱۰) وصل نموده و تا خط V_y ادامه داده می‌شود. از محل تقاطع این دو خط منحنی مذکور افقی فرض می‌شود.



شکل-۱۱ روش Priestley & Paulay [۸]

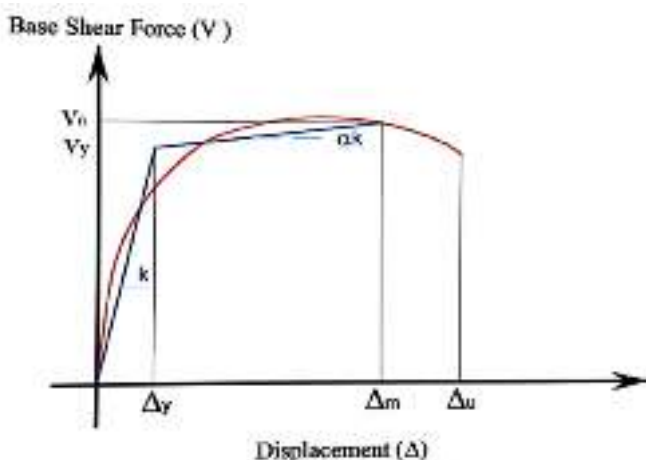
در شکل (۱۱) که مربوط روش پریستلی و پاولی می‌باشد یک نمودار دو خطی برش پایه- جابه‌جایی نشان داده شده است که K_0 (K) سختی الاستیک نمودار دو خطی است که شیب قسمت خطی منحنی نیرو- تغییرمکان است و K_1 سختی سازه بعد از تسلیم می‌باشد که به صورت ضریبی از K_0 خواهد بود: [۸]

$$K_1 = \alpha K_0 = \frac{V_0 - V_y}{\Delta_m - \Delta_y} \quad (1)$$

در رابطه فوق V_y نیروی برش تسلیم، V_0 نیروی برشی ماکزیمم (بر روی منحنی دو خطی)، Δ_m تغییرمکان متناظر با V_0 ، Δ_y تغییر مکان متناظر با V_y و Δ_u تغییر مکان در آستانه شکست سازه می‌باشد. [۸]

قابلیت یک سازه در داشتن تغییرمکان بالاتر از حد خطی و جذب انرژی در تغییرشکل‌های بزرگ به وسیله رفتار غیرخطی را شکل‌پذیری می‌گویند. معمولاً نسبت شکل‌پذیری به صورت زیر تعریف می‌شود: [۸] و [۹]

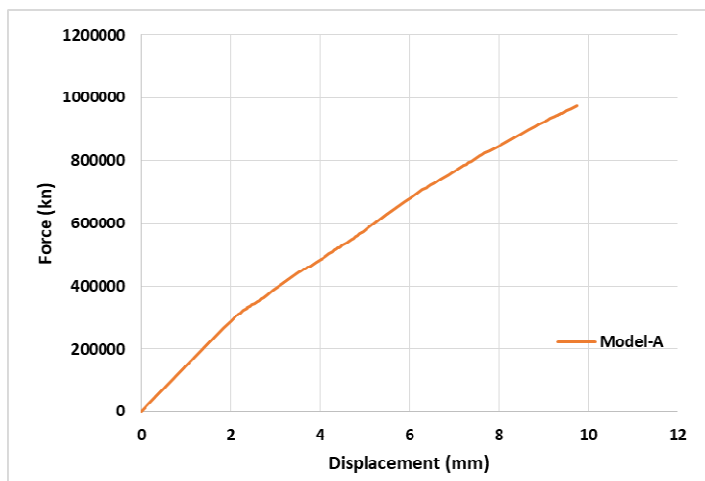
$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}, \mu_{max} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2)$$



شکل-۱۲ نمودار دو خطی برش پایه-جابه‌جایی [۸]

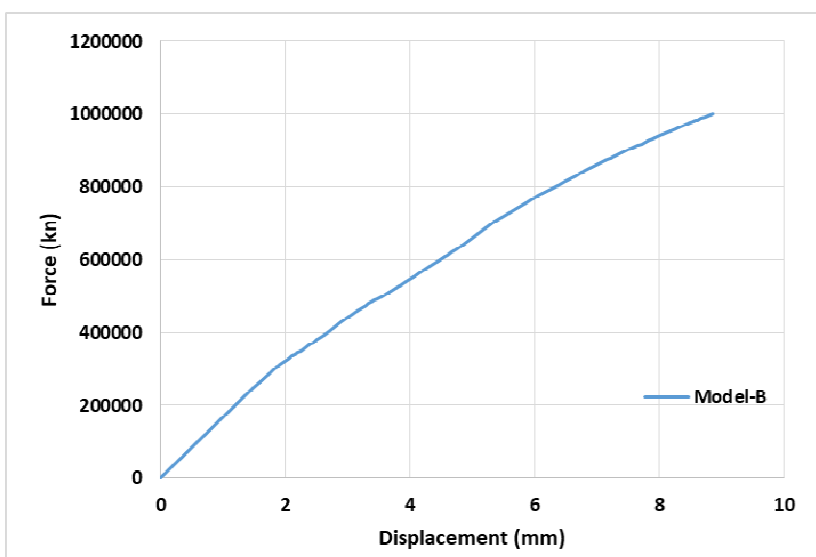
۵- نتایج تحلیل گروه (A) و (B)

بعد از انجام مدلسازی و انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) مدل مطالعاتی نمونه (A) که پل صندوقه ایی با دهانه ۸۳ متری بود و با بتن مصرفی معمولی با مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال تحت برنامه اجزای محدود آباکوس مورد تحلیل قرار گرفت بعد از اتمام تحلیل نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) پل صندوقه ایی مدل A ترسیم شد. در شکل (۱۳) می‌توان منحنی ظرفیت مدل A ناشی از تحلیل استاتیکی غیر خطی پوش‌آور را مشاهده کرد.



شکل ۱۳-نمودار نیرو- تغییر مکان مدل A تحت پارامتر متغیر بتن فشاری ۲۵ مگاپاسکال

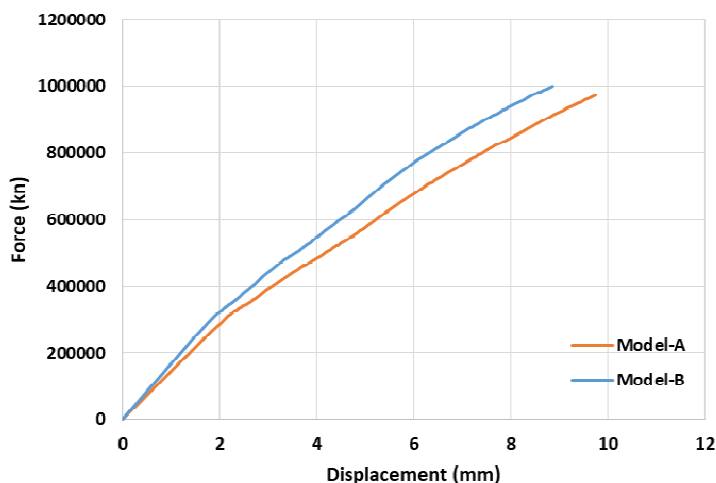
همچنین نیز بعد از انجام مدلسازی و انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) مدل مطالعاتی نمونه (B) که پل صندوقه ایی با دهانه ۸۳ متری بود و با بتن مصرفی پرمقاومت با مقاومت مشخصه ۷۰ مگاپاسکال تحت برنامه اجزای محدود آباکوس مورد تحلیل قرار گرفت بعد از اتمام تحلیل نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) پل صندوقه ایی مدل B ترسیم شد. در شکل (۱۳) می‌توان منحنی ظرفیت مدل B ناشی از تحلیل استاتیکی غیر خطی پوش‌آور را مشاهده کرد.



شکل-۱۴ نمودار نیرو-تغییر مکان مدل B تحت پارامتر متغیر بتن فشاری ۷۰ مگاپاسکال

در شکل (۱۴) نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه (۱۵) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن مشاهده می‌شود. با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه (A) و (B) در شکل (۱۴) مشاهده شد، با تغییر مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال در پل صندوقه ایی به طور میانگین مقاومت ۲۴،۵۳ درصد افزایش پیدا کرد به همین ترتیب شکل‌پذیری، سختی، قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه‌های پل نیز افزایش یافت.

÷



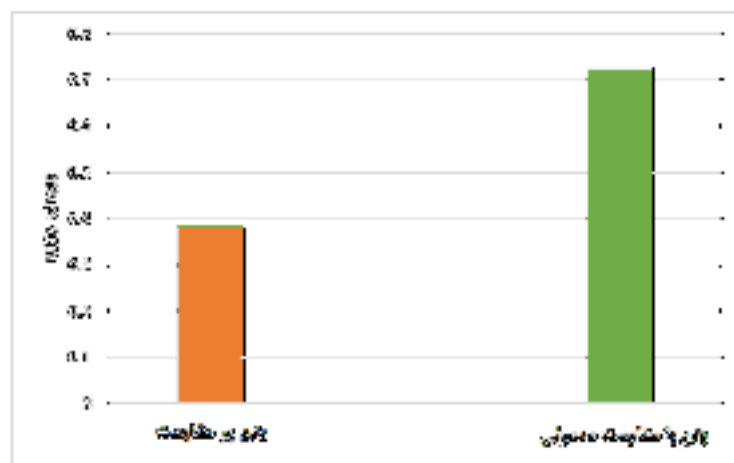
شکل-۱۵ نمودار نیرو-تغییر مکان مدل B, A تحت پارامتر متغیر بتن

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی پوش اور (NSP) مقدار ضریب رفتار مدل A و مدل B از پل صندوقه‌ای با استفاده از روابط پریستلی پائولی محاسبه گردید. که در جدول (۴) مقادیر ضریب رفتار (R) محاسبه شده نشان داده شده است.

جدول ۴- مقدار ضریب رفتار (R) محاسبه شده از روابط پریستلی پائولی

ضریب رفتار (R)	بتن مصرفی	نوع پل	خاک مدل
۸٫۹۵	۲۵ مگاپاسکال	پیش تنیده بتنی	Model-A
۵٫۳۴	۷۰ مگاپاسکال		Model-B

در شکل (۱۶) می‌توان نمودار توزیع تنش های ایجاد شده در اعضای به وجود آمده اعضای سازه ایی در دو نمونه مطالعاتی در بتن معمولی (۲۵ مگاپاسکال) و بتن پر مقاومت (۷۰ مگاپاسکال) را مشاهده کرد.



شکل ۱۶- مقایسه نسبت تنش ایجاد شده در نمونه گروه مطالعاتی A,B

مشاهده می‌گردد، که نسبت تنش (Raito Stress) در نمونه پل صندوقه‌ای با بتن معمولی نسبت تنش بیشتری به ازای یک مقطع و بار ثابت نسبت به مدل پل صندوقه ایی با بتن پر مقاومت ایجاد شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش بمنظور بررسی اثر نوع بتن بر رفتار مکانیکی پل های صندوقه ایی پیش تنیده از دو نمونه مدل به نام مدل های A,B استفاده شد، جهت مدلسازی نمونه‌های طراحی شده، از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شد. جهت مدلسازی بتن از المان SOLID استفاده شد و جهت مدلسازی مقاطع فولادی از المان shell استفاده گردید، و همچنین برای مدلسازی میلگردها از المان WIRE استفاده شده است. در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار آباکوس رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیر خطی لحاظ گردید. بعد از مدلسازی و انجام تحلیل های اجزاء محدود نتایج زیر در این پژوهش حاصل شد:

- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A و مدل B مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال سبب افزایش ۵ درصدی مقاومت مقطع مدل B نسبت به مدل A گردید.
- با توجه به تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌اور و مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) و مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به

- ۷۰ مگاپاسکال شاهد کاهش ۲۰،۳۷ درصدی سختی مقطع مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) نسبت به مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) گردید.
- با توجه به تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور و مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) و مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال شاهد سبب افزایش ۱۹،۶۹ درصدی شکل پذیری مقطع مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) نسبت به مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) گردید.
- با توجه به تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور و مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) و مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال سبب افزایش ۲۳،۴۷ درصدی جذب انرژی مقطع مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) نسبت به مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) گردید.
- با توجه به تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور و مقایسه ضریب رفتار محاسبه شده مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) و مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال سبب افزایش ۰/۵۹٪ درصدی ضریب رفتار مقطع مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) نسبت به مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) گردید.
- با توجه به تحلیل استاتیکی خطی و مقایسه نسبت تنش (Ratio Stress) محاسبه شده مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) و مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) مشاهده گردید، با افزایش ۲/۸ برابری مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۷۰ مگاپاسکال سبب کاهش ۰/۵۷٪ درصدی نسبت تنش (Ratio Stress) مقطع مدل B (پل با بتن ۷۰ مگاپاسکال) نسبت به مدل A (پل با بتن ۲۵ مگاپاسکال) گردید.

۷-مراجع

- [1] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۱۳۷۹ آیین نامه بارگذاری پل ها، نشریه شماره ۱۳۹ تجدید نظر اول، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- [2] عملکرد پل های بتنی پیش تنیده تحت بار انفجاری، احسان مهدوی صفت، مهدی وطنی فصلنامه علمی ترویجی پدافند غیر عامل، سال هفتم، شماره ۱، بهار ۹۵ (پیاپی)
- [3] طراحی بهینه وزن عرشه پل های بتنی پیش تنیده قوطی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ماشالله عرب نائینیف علی خیرالدین، حسین نادرپور، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران- تهران ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۱
- [4] اثر رفتار تابع زمان مصالح بر عملکرد عرشه پل های پیش تنیده طره ای، محمدرضا عبداله زاده و شاهرخ مالک، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی دوره ۴۵، شماره ۵، دی ماه ۱۳۹۰، از صفحه ۵۵۷ تا ۵۶۵
- [5] T. Rabczuk and J. Eibl, "Modelling dynamic failure of concrete with meshfree methods," Int. J. Impact Eng., ۳۲:۱۸۷۸e۹۷, ۲۰۰۶.
- [6] K. Xu and Y. Lu, "Numerical simulation study of spallation in reinforced concrete plates subjected to blast loading," Comput. Struct., ۸۴:۴۳۱e۸, ۲۰۰۶.
- [7] E. B. Williamson and D. G. Winget, "Risk Management and Design of Critical Bridges for Terrorist Attacks," Journal of Bridge Engineering, vol. ۱۰, no. ۱, pp. ۹۶-106, 2005.

- [۸] . D. G. Winget, K. A. Marchand, and E. B. Williamson, “Analysis and Design of Critical Bridges Subjected to Blast Loads,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, no. 8, pp. 1243-1255, 2005.
- [۹] J. Magnusson and M. Hallgren, “Reinforced High Strength Concrete Beams Subjected to Air Blast Loading,” *Structures Under Shock and Impact VIII*, edited by N. Jones and C. A. Brebbia, Computational Mechanics Inc., Billerica, Ma., pp. 53-62, 2004.
- [۱۰] . J. Li and H. Hao, “Influence of brittle shear damage on accuracy of the two-step method in prediction of structural response to blast loads,” *Int. J. Impact Eng.*, 54:217e31, 2013.
- [۱۱] J. Li and H. Hao, “Numerical study of structural progressive collapse using