JCES

نشریه مهندسی عمران و سازه

دوره (۱) ، شماره (۱) ، تابستان ۱۳۹۶

آلیاژهای حافظه دار شکلی و فرصت عرضه خاصیت فوق ارتجاعی در سازه های بتن آرمه

حمید رضا اشرفی[۱]، پیمان بیرانوند[۲*]

[۱و۲] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

[*] **پست الکترونیکی نویسنده مسئول: peyman51471366@gmail.com**

چکیده

اثر حافظه شکلی و خاصیت فوق ارتجاعی دو ویژگی منحصر به فرد در آلیاژهای حافظه دار شکلی می باشند. به منظور بهره برداری از خاصیت اثر حافظه شکلی نیاز به حرارت دهی به آلیاژ می باشد. اما ویژگی فوق ارتجاعی در این آلیاژها در صورت فراهم بودن شرایط لازم به شکل خودکار عرضه می گردد. در صورت کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی به عنوان آرماتورهای طولی در سازه های بتن آرمه با توجه به مدفون شدن آنها در بتن، بهره برداری از ویژگی اثر حافظه شکلی مشکلات خاص به خود را به همراه خواهد داشت که این مشکلات در مورد خاصیت فوق ارتجاعی مصداق نخواهند داشت. با توجه به ظرفیت پذیرش درصد بالای کرنش (۳ تا ۸ درصد) در آلیاژهای حافظه دار با رفتار فوق ارتجاعی و محدود بودن این ظرفیت در بتن، لازم است شرایط به گونه ای فراهم گردد که آلیاژ حافظه دار فرصت عرضه خاصیت فوق ارتجاعی را داشته باشد. در این تحقیق با شبیه سازی مدل آزمایشگاهی ستون بتن آرمه مربعی کوتاه در نرم افزار ANSYS و در روندی چند مرحله ای و افزایشی آرماتورهای طولی از جنس آلیاژهای حافظه دار شکلی و با رفتار فوق ارتجاعی جایگزین آرماتورهای فولادی شده و با متغیر قرار دادن نوع آلیاژ حافظه دار شکلی (آلیاژ با پایه مس و با پایه نیکل)، فرصت بروز خاصیت فوق ارتجاعی در این آلیاژها و با ایفای نقش آرماتور طولی در ستون بتن آرمه مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی

آلیاژهای حافظه دار شکلی ، رفتار فوق ارتجاعی ، اثر حافظه شکلی، ستون کوتاه بتن آرمه.

تاریخ دریافت مقاله: ۳ خرداد ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۴ مرداد ۱۳۹۶

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

۱- مقدمه

استعداد بازگشت به شکل اولیه و رفع کرنش های قابل توجه (۱۰-۳ درصد) با اعمال شرایط مناسب حرارتی و بارگذاری مبنای معرفی دسته ای از آلیاژهای فلزی تحت عنوان آلیاژهای حافظه دار شکلی شده است. این آلیاژها در رده مواد هوشمند گروه دوم که محرک های محیطی اصلی آنها دما و تنش می باشند، محسوب می گردند. با توجه به دما، این آلیاژها در دو فاز پایدار آستنیت (فاز در دمای بالا) و مارتنزیت (فاز در دمای پایین) رفتار نموده که تحت محرک های محیطی یاد شده قابلیت تغییر فاز را دارا می باشند. با توجه به نوع فلز پایه، آلیاژهای با پایه نیکل، مس و آهن از انواع معروف و پرکاربرد این نوع از آلیاژها هستند. خواص ویژه و منحصر به فرد این آلیاژها باعث کاربرد روز افزون آنها شده به نحوی که از مهندسی پزشکی گرفته تا سایر شاخه های مهندسی مانند هوا فضا، مکانیک و سازه و غیره...در صدد بهره برداری از این خواصند. اثر حافظه شکلی و خاصیت فوق ارتجاعی (سوپرالاستیک) دو ویژگی اختصاصی این آلیاژهاست که در مهندسی سازه امکان کاربرد این آلیاژها به عنوان مستهلک کننده های انرژی ، رفع کننده و یا کاهش دهنده تغییر شکل ها ، ایجاد کننده پیش و پس کرنش در المان های سازه ای را فراهم می نمایند. حد خستگی بالا و مقاومت مناسب در برابر عوامل خورنده از دیگر مزایای این آلیاژهاست. در کنار این امتیازات قابل توجه قیمت بالا، مشکل بودن فرایند تولید، عدم بروز خواص کامل حافظه داری در المان های سازه ای با سطح مقطع واقعی، تفاوت رفتار در فشار و کشش را می توان از جمله معایب این آلیاژها دانست که در کاربرد آنها باید مدنظر قرار گیرند.

اولین گزارشات در مورد ویژگی حافظه داری در فلزات در سال ۱۹۳۰ منتشر گردید. اولاندردر سال ۱۹۳۲ رفتار سوپرالاستیک در آلیاژهای Au-Cd را کشف نمود. در سال ۱۹۳۸ گرینینگر و موردین پیدایش و سپس از بین رفتن یک فاز مارتنزیتی را در اثر کاهش و افزایش دما در آلیاژCu-Zn گزارش نمودند. پایه و اساس رفتار حافظه داری و نیز رفتار الاستیک حرارتی در فاز مارتنزیت توسط کردجامو و خاندروس در سال ۱۹۴۹ و نیز بوسیله چانگ و رید در سال ۱۹۵۱ تشریح گردید.در سال های نخست دهۀ ۱۹۶۰ بهلر و همکارانش در آزمایشات خود ویژگی حافظه داری را در آلیاژ نیکل- تیتانیم با نسبت اتمی معادل کشف نمودند. این آلیاژ نایتینول نامیده شد. [۱] بررسی های انجام شده در مورد کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی در سازه های بتن مسلح نیز به لحاظ کمی و کیفی جالب توجه می باشند. اورتگا و همکارش با استفاده از خاصیت اثر حافظه شکلی آلیاژهای حافظه دار توانایی این آلیاژها در ایجاد پیش تنیدگی در تیر بتنی را در مطالعه ای آزمایشگاهی گزارش نمودند. [۳] لی و همکارانش در یک بررسی آزمایشگاهی قابلیت اثر حافظه شکلی آلیاژ نیتینول درکاهش تغییر شکل ها و عرض ترک ها در تیر بتن مسلح را پس از بارگذاری و اعمال حرارت به آلیاژ ثبت نمودند. [۵] قاسمیه و همکارانش در مطالعات نرم افزاری رفتار دیوار برشی بتن مسلح را با درصدهای مختلف استفاده از آلیاژ حافظه دار به جای آرماتورهای طولی فولادی تحت بارهای لرزه ای بررسی نمودند. نتایج حاصله از افزایش شکل پذیری و کاهش مقاومت و تغییر شکل های ماندگار در دیوار برشی با افزایش درصد آلیاژ حافظه دار حکایت داشتند. [۱۰] علم و همکارانش در یک تحقیق نرم افزاری دو قاب هشت طبقه ساختمانی بتن مسلح را که یکی از آنها با آرماتورهای فولادی متعارف مسلح شده ودر قاب دیگر در نواحی تشکیل مفاصل پلاستیک تکیه گاه ها از میله هایی از جنس آلیاژ نیتینول و در سایر قسمت ها از آرماتورهای فولادی معمولی در جهت تسلیح بتن استفاده شده، تحت بارهای لرزه ای مورد مطالعه قرار می دهند. نتایج نشان از بازیابی درصد بالایی از تغییر شکل های پلاستیک در قاب مسلح شده توسط آلیاژ حافظه دار دارد. [۴]

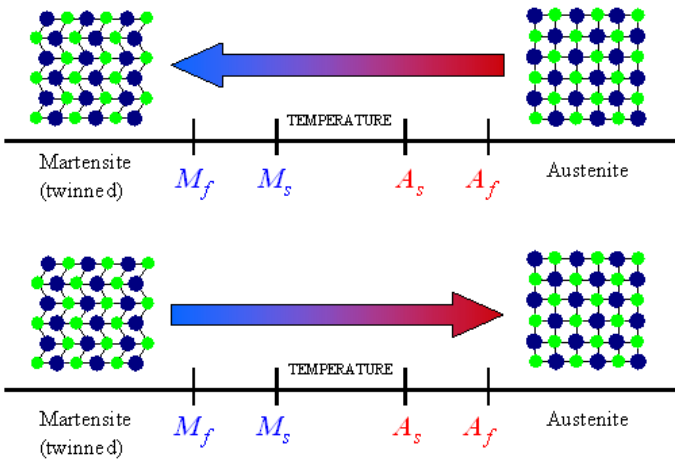
چوی و همکارانش در یک بررسی آزمایشگاهی بر روی یک ستونک دایره ای (h/d=2) مقایسه هایی بین رفتار ستونک های غیر مسلح و ستونک های را که صرفاً دارای تنگ ها و دورپیچ های از جنس آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل بودند(بدون آرماتورهای طولی) انجام دادند. به منظور ساخت تنگ های دایره ای دو انتهای سیمها به وسیله جوشکاری تیگ تحت محافظت گاز آرگون به هم متصل می شوند. نوع آلیاژ حافظه دار به نوعی انتخاب می گردد که در دمای اتاق نه در فاز مارتنزیت و نه در فاز آستنیت باشد بلکه با توجه به وجود هیسترزیس حرارتی در تغییرات فازی این گونه آلیاژها، نمونه آلیاژ مورد استفاده در فاز انتقال بین مارتنزیت و آستنیت می باشد.تمامی نمونه ها تحت پیش کرنش ۷ درصد قرار می گیرند. نمونه ها در دو حالت کلی تحت بارگذاری محوری قرارمی گیرند. در حالت اول نمونه ها در دمای معمولی بارگذاری شده(محصورکنندگی غیر فعال) ونتایج حاصله از رشد قابل توجه مقاومت در تمامی نمونه ها (۱۶ تا ۱۸ درصد) و شکل پذیری صرفاً در نمونه های دورپیچ شده (کرنش های محوری ۴ تا ۵ برابر) حکایت دارد. در حالت دوم به منظور بهره

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

گیری از اثر حافظه شکلی نمونه ها تا ورود به فاز آستنیت حرارت دهی شده(محصورکنندگی فعال) و سپس بارگذاری می شوند. در نتایج به دست آمده تاثیر مثبتی از اثر حافظه شکلی در محصور کنندگی فعال مشاهده نمی گردد. [۶]

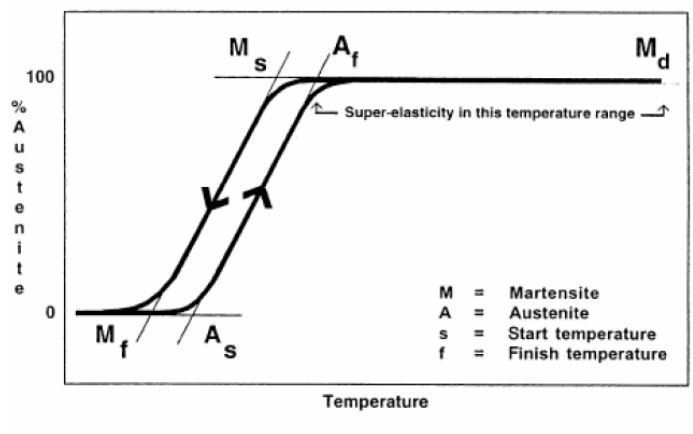
۲- خواص ویژه آلیاژهای حافظه دار شکلی

همانطور که اشاره گردید توانایی تحمل تغییر شکل های بزرگ ورفع این تغییر شکل ها و برگشت به شکل اولیه خاصیت منحصر به فرد در آلیاژهای حافظه دار شکلی می باشد. برگشت به شکل اولیه هم می تواند در اثر اعمال حرارت (اثر حافظه شکلی) و هم با برداشتن بار(اثر سوپر الاستیک) صورت گیرد. از آنجا که این ویژگیها ریشه در استعداد استحاله مارتنزیتی برگشت پذیر این آلیاژها دارد مطلوبتر آن است قبل از بیان ویژگیها در مورد استحاله مارتنزیتی کنکاش لازم انجام گردد. استحاله مارتنزیتی یک استحاله فازی غیرنفوذی در جامدات است که در آن اتم ها به صورت دسته جمعی حرکت می کنند و معمولا این حرکت بوسیله مکانیزم شبه برشی می باشد. اغلب در این نوع استحاله فاز مادر (فاز دمای بالا) دارای ساختار کریستالی مکعبی و فاز مارتنزیتی (فاز دمای پایین) از تقارن کمتری برخوردار است. در آلیاژهای حافظه دار شکلی هم تغییرات دمای آلیاژ و هم اعمال بار می توانند عامل استحاله مارتنزیتی باشند. بطورکلی آلیاژهای حافظه دار شکلی در دو فاز پایداریافت می شوند. فاز مادر آستنیت نامیده می شود و پس از استحاله فاز مارتنزیت شکل می گیرد. فاز مارتنزیت در دمای پایین و تحت تنش بالا پایدار بوده اما فاز آستنیت در دمای بالا و تحت تنش پایین پایدار است. تفاوت این دو فاز مربوط به ساختار کریستالی و به عبارتی مربوط به نحوه چیدمان اتمها در آنها می باشد.فازمارتنزیت که دارای تقارن کریستالی کمتری می باشد هم در ساختار کریستالی دو قلویی چند واریانتی و هم در ساختار کریستالی غیر دو قلویی تک واریانتی می تواند پایدار باشد. فاز مادر یا فاز آستنیت صرفاً دارای ساختار کریستالی مکعبی منظم می باشد و تمایل به سختر و قویتر شدن دارد. ساختارهای ذکر شده در آلیاژهای حافظه دار شکلی قابلیت تبدیل شدن به یکدیگر را داشته و در واقع خصوصیات منحصر به فرد این آلیاژها ریشه در این توانایی دارد. محرک های که می توانند عامل این تغییرات ساختاری(استحاله مارتنزیتی برگشت پذیر) گردند عبارتند از حرارت و تنش. به منظور معرفی استحاله مارتنزیتی حرارتی لازم است حدهای دمایی A_S (دمای شروع ورود به فاز آستنیت) وA_F (دمای اتمام ورود به فاز آستنیت) و M_S (دمای شروع ورود به فاز مارتنزیت) و M_F (دمای اتمام ورود به فاز مارتنزیت) و M_d (حداکثر دمایی که آلیاژ واجد خصوصیات حافظه داری است) معرفی شوند. اگر دمای آلیاژ کمتر از M_F باشد آلیاژ در فاز مارتنزیت بوده و در بازه دمایی A_F تا M_d در فاز آستنیت رفتار می کند. با نوسان دمایی و ورود به حدهای دمایی مذکور فازهای آستنیت و مارتنزیت قابلیت تغییر داشته و چون این حدهای دمایی بر هم منطبق نیستند تغییرات فازی همراه با هیسترزیس حرارتی خواهد بود. [۱]



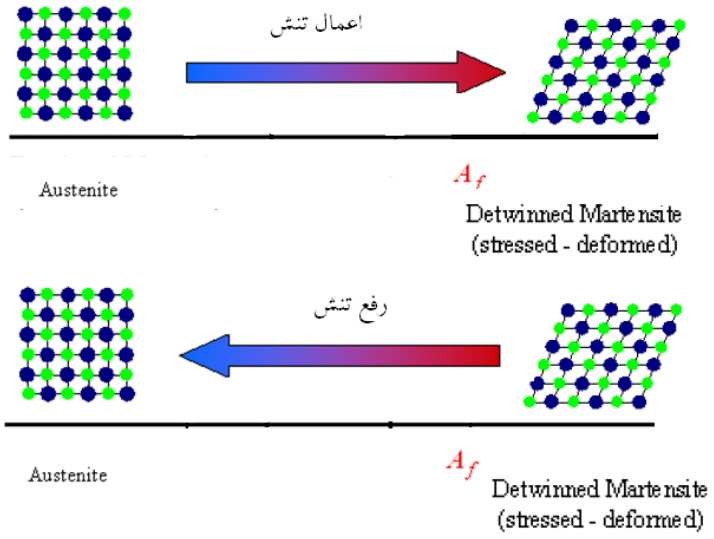
شکل۱: استحاله مارتنزیتی برگشت پذیر در آلیاژهای حافظه دار شکلی که عامل استحاله دما می باشد. [۲]

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]



شکل ۲: حدهای دمایی و هیسترزیس حرارتی در آلیاژهای حافظه دار شکلی. [۲]

اگر آلیاژ حافظه دار در فاز مادر (آستنیت) باشد با اعمال تنش در یک محدوده مناسب استحاله مارتنزیتی تنشی رخ داده و ساختار کریستالی از منظم آستنیتی به تک واریانتی غیر دو قلویی مارتنزیتی تغییر یافته و با باربرداری استحاله برگشت روی می دهد. [۱]



شکل ۳: استحاله مارتنزیتی برگشت پذیر در آلیاژهای حافظه دار شکلی که عامل استحاله تنش می باشد. [۲]

با درک مفهوم استحاله مارتنزیتی برگشت پذیر می توان خواص منحصر به فرد آلیاژهای حافظه دار شکلی را تشریح کرد.

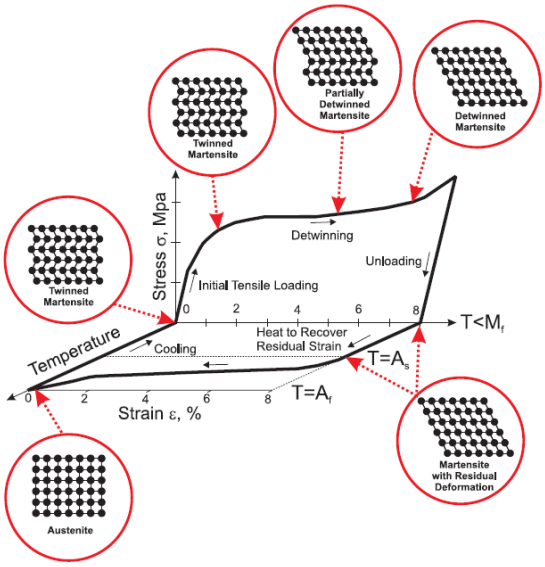
۲-۱- اثر حافظه شکلی

اگر آلیاژ حافظه دار در فاز با دمای پایین (مارتنزیت) و با ساختار کریستالی دوقلویی چند واریانتی باشد با اعمال تنش در محدوده مناسب می توان کرنش های ماندگار قابل توجهی در آلیاژ ایجاد نمود که ناشی از تغییر ساختار کریستالی به غیر دوقلویی تک واریانتی است . با اعمال حرارت و ورود آلیاژ به فاز در دما بالا (آستنیت) ساختار کریستالی به منظم آستنیتی تغییر یافته و کرنش های ایجاد شده رفع گردیده و آلیاژ شکل اولیه خود را بازیابی می نماید. این ویژگی اثر حافظه شکلی نامیده می شود. [۱]

پس از رفع کرنش ها و بازیابی شکل اولیه اگر آلیاژ حرارت خود را از دست داده و به فاز رفتاری مارتنزیت برگردد، خللی در روند تشریح شده در بالا ایجاد نخواهد شد. اثر حافظه شکلی می تواند به صورت یک طرفه و یا دو طرفه وجود داشته باشد. در اثر حافظه شکلی یک

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

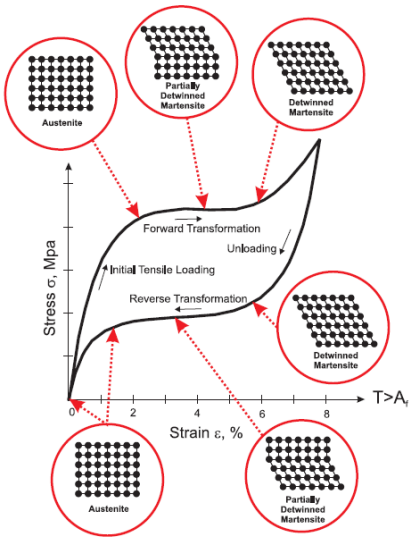
طرفه، آلیاژ صرفاً توانایی بازیابی شکل خود در فاز رفتاری مارتنزیت را خواهد داشت. اما در اثر حافظه شکلی دو طرفه، آلیاژ در هر فاز رفتاری شکلی مخصوص به خود و متفاوت با فاز رفتاری دیگر را بازیابی خواهد نمود. [۱]



شکل۴: اثر حافظه شکلی در آلیاژهای حافظه دار شکلی(نیتینول). [۲]

۲-۲- خاصیت فوق ارتجاعی

اگر آلیاژ در فاز در دمای بالا (آستنیت) باشد و تحت تنش در محدوده مناسب قرار گیرد ساختار کریستالی از منظم آستنیتی به غیر دوقلویی تک واریانتی مارتنزیتی تغییر یافته و پیامد آن توانایی آلیاژ در تحمل کرنش های است که بسته به نوع آلیاژ می تواند به ۱۰ درصد برسد. اگر در همین شرایط دمایی باربرداری صورت گیرد کرنش های ایجاد شده به شکل آنی برگشت یافته و آلیاژ شکل اولیه خود را بازیابی می کند. [۱]



شکل۵:خاصیت فوق ارتجاعی در آلیاژهای حافظه دار شکلی(نیتینول). [۲]

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

۳- مشخصات مدل آزمایشگاهی و شبیه سازی به روش اجزا محدود

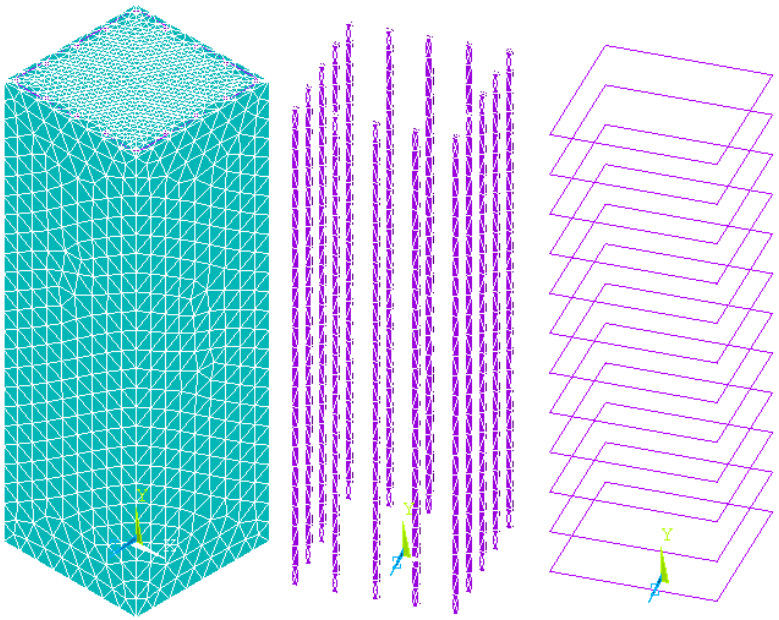
مدل آزمایشگاهی در این بخش ستون مربعی به ضلع ۴۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۱۲۰۰ میلیمتر می باشد. آرماتورهای طولی ستون به قطر ۱۶ میلیمتر و به تعداد ۱۶ عدد می باشند.آرماتورهای عرضی (خاموت) به قطر ۶ میلیمتر و به فاصله ۱۰۰ میلیمتر از هم قرار می گیرند. در مدل آزمایشگاهی به منظور توانایی در مقید نمودن ستون به صورت یک ستون طره، پایه ای بتن مسلح به ضخامت ۶۰۰ میلیمتر که با ستون یکپارچه بتن ریزی می شود، نیز موجود می باشد که در مدل شبیه سازی شده نرم افزاری در جهت کاهش حجم محاسبات در مدل سازی لحاظ نشده و عملکرد این پایه با بستن درجات آزادی پای ستون شبیه سازی می گردد. مقاومت مشخصه فشاری ستون ۲۹/۴ مگا پاسکال بوده و تنش جاری شدن در آرماتورهای طولی ۳۹۴ مگا پاسکال و در آرماتورهای عرضی ۳۸۳ مگا پاسکال می باشد. بارگذاری ستون در دو مرحله انجام می گردد. در مرحله اول با محوری فشاری ثابتی به میزان ۱۶۰ کیلو نیوتن در بالای ستون اعمال شده و سپس در مرحله دوم بارگذاری های جانبی وارد می شوند. بارگذاری جانبی به گونه ای است که در بالای ستون و با روند افزایشی و تا مرحله گسیختگی ستون ادامه می یابد و در این بین چند پارامتر کلیدی اندازه گیری می شوند که شامل: بار جانبی که اولین آثار جاری شدن را در آرماتورهای طولی ایجاد کرده (P_y) و تغییر مکان جانبی بالای ستون معادل آن (δ_y) و نیز بار جانبی که گسیختگی ستون را به همراه دارد (P_u) و تغییر مکان جانبی معادل آن (δu)، می باشد. [۸]

در نرم افزار ANSYS صرفاً المان های SOLID توانایی مدل نمودن خواص حافظه داری را به شکل مستقیم دارا هستند. [۱۱] بنابراین به منظور مدل نمودن آرماتورهای طولی ستون المان های SOLID بکار گرفته شده و در جهت هر چه دقیق تر شدن نتایج تحلیل، روش شبکه بندی اتوماتیک (Free) و با اندازه حداکثر شبکه ها به میزان ۵۰ میلیمتر بکارگیری می شود. در جهت کمک به نظم شبکه بندی، آرماتورهای طولی با مقطع مربعی و به ضلع ۱۵ میلیمترمدل می شوند. با این ترفند، نحوه انطباق گره ها در شبکه های بتنی و آرماتورهای طولی در دقیق تر شدن نتایج و نیز در کاستن از حجم محاسبات تاثیر گذار خواهند بود. آرماتورهای عرضی نیز با المان LINK8 و پس از شبکه بندی مصالح بتنی و آرماتورهای طولی و بین گره های حاصله از شبکه بندی مورد اشاره و در محل های مطابق مدل آزمایشگاهی تعبیه می گردند. نوع المان های بکار گرفته شده و نحوه شبکه بندی مدل شبیه سازی شده به ترتیب در جدول شماره ۱ و شکل۶ مشاهده می گردد.

جدول۱ : نوع المان های بکار رفته در مدل سازی

نوع المان	مصالح
SOLID65	بتن
SOLID45	آرماتورهای طولی فولادی
SOLID185	آرماتورهای طولی حافظه دارشکلی
LINK8	آرماتورهای عرضی

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]



شکل۶: شبکه بندی اجزا مختلف مدل شبیه سازی شده

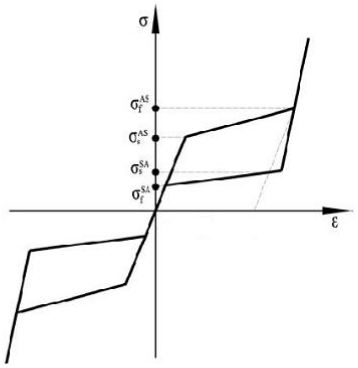
مدل شبیه سازی شده تحلیل شده و پارامترهای کلیدی معرفی شده در مدل آزمایشگاهی و مدل شبیه سازی شده در قالب جدول مقایسه ای شماره ۲ نمایش داده می شود. اختلافی که در پارامترهای کلیدی دو مدل مشاهده می شود ناشی از حذف پایه بتنی در مدل شبیه سازی شده می باشد.

جدول۲ : پارامترهای کلیدی در مدل آزمایشگاهی و مدل شبیه سازی شده

نوع مدل	$P_{y(KN)}$	$\delta_{y(mm)}$	$P_{u(KN)}$	$\delta u_{(mm)}$
مدل آزمایشگاهی	۲۱۴/۹	۶/۱۴	۳۰۹/۸	۱۶/۵۸
مدل شبیه سازی شده	۲۰۵/۵	۵/۰۹	۳۰۸/۲۵	۱۴/۳۳

۳-۱- مدل فوق ارتجاعی و مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه دار بکار رفته

مدل فوق ارتجاعی بکار رفته به گونه ای است که آلیاژ حافظه دار در دمای ثابت تحت تغییر شکل های بزرگ، تغییر شکل پسماندی از خود به جای نمی گذارد. در شکل ۷ نمودار تنش –کرنش در مدل فوق ارتجاعی بکار رفته و مشخصات مکانیکی مورد نیاز جهت معرفی آلیاژ به نرم افزار نشان داده می شود. [۱۱]



شکل۷ : شبیه سازی کششی- فشاری فوق ارتجاعی. [۱۱]

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

در این تحقیق دو نوع آلیاژ حافظه دار شکلی با رفتار فوق ارتجاعی در مدل شبیه سازی شده جایگزین آرماتورهای طولی فولادی شده و با مبناء قرار دادن میزان تنش در آرماتورهای حافظه دار شکلی، وقوع استحاله مارتنزیتی تنشی و عرضه خاصیت فوق ارتجاعی در آنها مورد ارزیابی قرار می گیرد. مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه دار شکلی مورد استفاده مطابق جدول ۳ می باشد.

جدول ۳ : مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه دار شکلی بکار رفته در مدل سازی[۷و۹]

آلیاژپایه نیکل	آلیاژپایه مس	تعریف	نماد مشخصات
۴۲۰	۱۴۰	تنش مربوط به آغاز تبدیل فاز مستقیم(مگاپاسکال)	σs^{AS}
۵۰۰	۲۷۰	تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم(مگاپاسکال)	σ_f^{AS}
۳۰۰	۲۰۰	تنش مربوط به آغاز تبدیل فاز معکوس(مگاپاسکال)	σ_S^{SA}
۲۰۰	۷۰	تنش مربوط به پایان تبدیل فاز معکوس(مگاپاسکال)	σ_f^{SA}
۰/۰۶۵	۰/۰۳	حداکثر کرنش ایجاد شده در اثر تبدیل فاز	ϵ_L
۰/۱۵	۰/۲۷	کمیت بیانگر تفاوت رفتار در کشش و فشار	α
۶۰	۶۰	مدول الاستیسیته(گیگاپاسکال)	E

۴- نتایج تحلیل

همچنانکه اشاره گردید هدف از این تحقیق بررسی قابلیت عرضه خاصیت فوق ارتجاعی آلیاژهای حافظه دار شکلی در سازه های بتن آرمه می باشد. مشخصات دو آلیاژ معرفی شده در جدول به تفکیک در مدل شبیه سازی شده وارد گشته و در مورد هر آلیاژ، ستون هایی با درصد آرماتورهای طولی حافظه دار ۲۵ و ۳۷/۵ و ۶۲/۵ و ۱۰۰ درصد مدل گردیده و تحلیل می شوند. به عبارت دیگر در مورد آلیاژهای معرفی شده به تفکیک در مرحله اول۴ آرماتور حافظه دار، در مرحله دوم ۶ آرماتور حافظه دار و در مرحله سوم ۱۰ آرماتور حافظه دار به شکل متقارن جایگزین آرماتورهای فولادی شده و در نهایت و در مرحله چهارم تمامی آرماتورهای طولی ستون با آرماتورهای حافظه دار جایگزین می شوند. در هر مرحله میزان تنش در آرماتورهای طولی حافظه دار استخراج شده (با معیار قرار دادن تسلیم فون مایسس) و در مورد فرصت عرضه خاصیت فوق ارتجاعی در آنها بررسی لازم انجام می گردد.

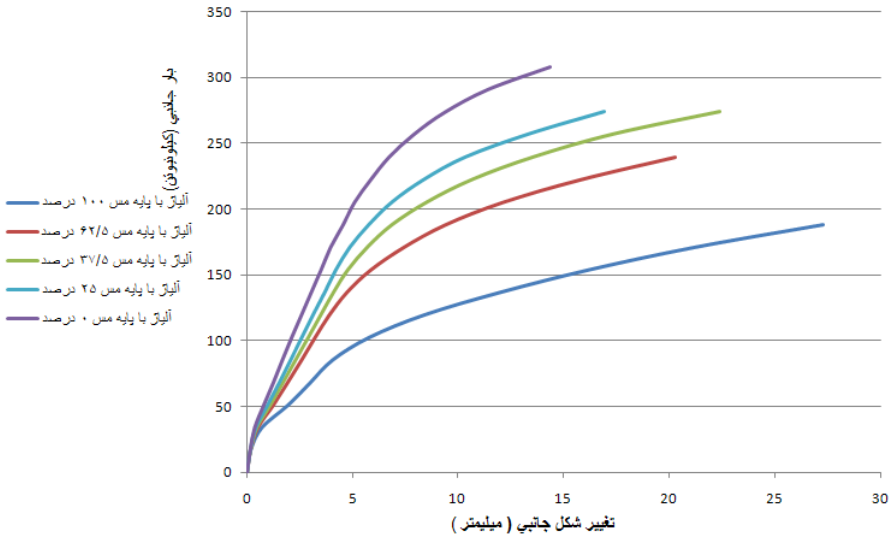
بطور کلی می توان گفت آلیاژ حافظه داری به هدف مورد نظر این تحقیق خواهد رسید که میزان تنش های ایجاد شده در مراحل یاد شده در آن در محدوده مابین تنش مربوط به آغاز تبدیل فاز مستقیم (σs^{AS}) و تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) قرار گرفته و به هر میزان این تنش ها به تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) نزدیک تر باشند، آلیاژ کارایی بیشتری در به فعلیت رساندن خاصیت فوق ارتجاعی خود خواهد داشت. [۱]

لازم به ذکر است بارگذاری در تمامی مدل ها همانند مدل آرمایشگاهی انجام می شود. همانطور که در قبل اشاره گردید بارگذاری دو مرحله ای بوده و در مرحله اول بار محوری فشاری ثابت ۱۶۰ کیلونیوتن به ستون ها اعمال گردیده و سپس بار جانبی وارد می شود. بارگذاری جانبی به گونه ای است که در بالای ستون و با روند افزایشی و تا مرحله گسیختگی ستون ادامه می یابد. [۸]

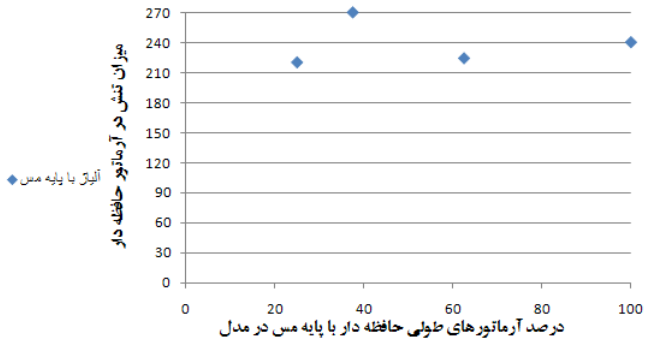
۴-۱- نتایج تحلیل مدل با آلیاژ حافظه دار با پایه مس

نتایج حاصل از تحلیل مدل های این بخش در قالب نمودارهای بار جانبی- تغییر شکل جانبی شکل ۸ نمایش داده می شوند. تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σs^{AS}) و تنش پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) در آلیاژ با پایه مس و به ترتیب ۱۴۰ و ۲۷۰ مگاپاسکال می باشند. لازم به ذکر است که این تنش ها کمتر از تنش جاری شدن در آرماتورهای فولادی می باشند. (میزان تنش در آرماتورهای طولی فولادی ۳۹۴ مگاپاسکال است).

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]



شکل۸: نمودار بار-تغییر شکل جانبی در مدل های با آلیاژ حافظه دار با پایه مس



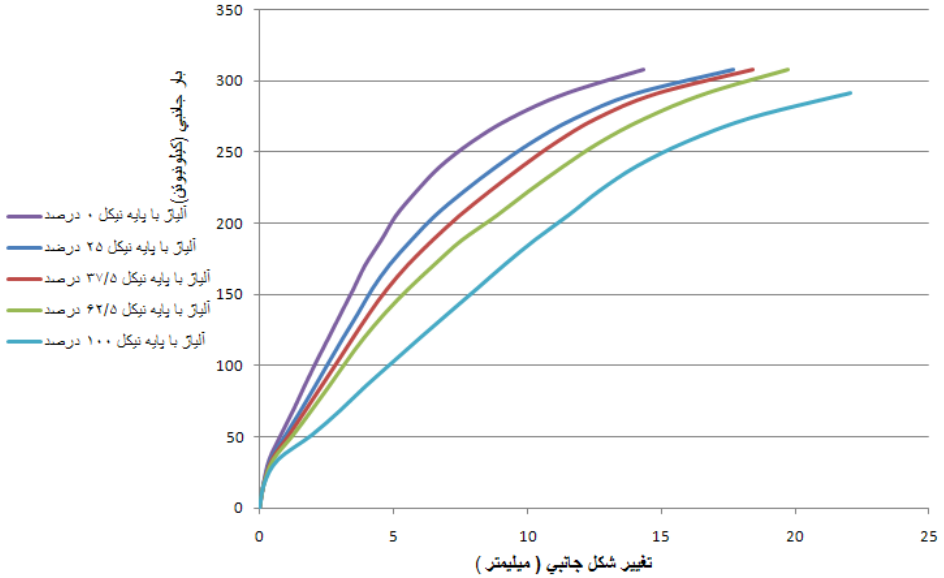
شکل۹: میزان تنش حداکثر در آرماتورهای حافظه دار با پایه مس

همانطور که از نتایج حاصله مشهود می باشد میزان تنش در آرماتورهای حافظه دار شکلی با پایه مس در محدوده ۲۱۰ تا ۲۷۰ مگاپاسکال می باشد که با توجه به تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σs^{AS}) و تنش پایان تبدیل فاز مستقیم (σf^{AS}) در آلیاژ با پایه مس که به ترتیب ۱۴۰ و ۲۷۰ مگاپاسکال می باشند، می توان نتیجه گرفت که آلیاژ با پایه مس توانایی ارایه خاصیت فوق ارتجاعی خود را در ستون بتنی دارد. لازم به ذکر است با افزایش درصد آرماتورهای حافظه دار با پایه مس، مقاومت ستون کاهش یافته و ظرفیت تغییر شکل جانبی در آن افزایش می یابد.

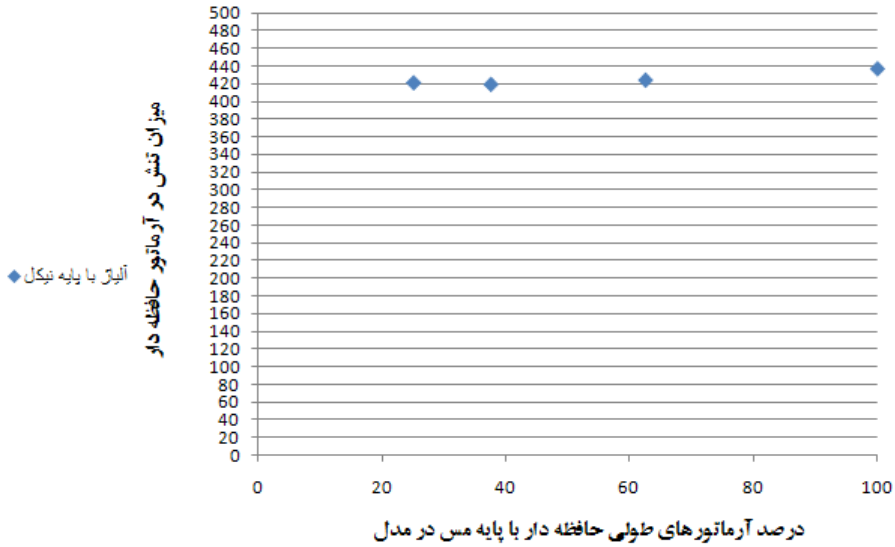
۴-۲- نتایج تحلیل مدل با آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل

تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σs^{AS}) و تنش پایان تبدیل فاز مستقیم (σf^{AS}) در آلیاژ با پایه نیکل۱به ترتیب۴۲۰ و ۵۰۰ مگاپاسکال می باشند. این تنش ها بزرگتر از تنش جاری شدن در آرماتورهای فولادی می باشند. در قالب شکل های۱۰ و ۱۱ نتایج حاصل از تحلیل مدل های شبیه سازی شده ارایه می گردد.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]



شکل۱۰: نمودار بار-تغییر شکل جانبی در مدل های با آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل



شکل۱۱: میزان تنش حداکثر در آرماتورهای حافظه دار با پایه نیکل

مطابق نتایج بدست آمده از تحلیل مدل های شبیه سازی شده در این بخش، حداکثر تنش های ایجاد شده در آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل بین ۴۲۰ تا ۴۳۶ مگاپاسکال می باشد. با توجه به تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σ_s^{AS}) در این آلیاژ که ۴۲۰ مگاپاسکال می باشد، می توان نتیجه گرفت آلیاژ با پایه نیکل فرصت عرضه خاصیت فوق ارتجاعی خود را نداشته و با رسیدن تنش در آرماتورهای حافظه دار به تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σ_s^{AS}) مدل در آستانه گسیختگی قرار می گیرد. به عبارت دیگر با توجه به بزرگ بودن تنش آغاز تبدیل فاز مستقیم (σ_s^{AS}) در آلیاژ با پایه نیکل، رسیدن به این حد تنشی در آرماتورهای حافظه دار با پایه نیکل به معنای تحمیل کرنش هایی بر بتن است، که مدل را در آستانه گسیختگی قرار می دهد. نکته دیگری که می توان بدان اشاره نمود میزان حداکثر ظرفیت پذیرش کرنش در اثر تبدیل فاز در دو آلیاژ حافظه دار می باشد. در آلیاژ با پایه مس این کرنش ۳ درصد و در آلیاژ با پایه نیکل ۶/۵ درصد می باشد. با توجه به محدود بودن ظرفیت بتن در پذیرش کرنش، می توان ادعا نمود که آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل از این ظرفیت

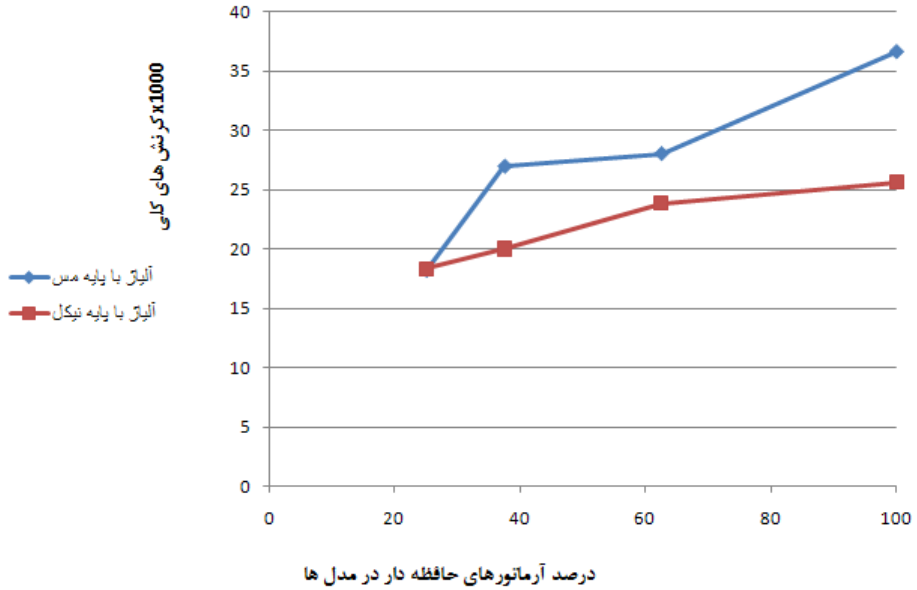
[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

نیز توانایی بهره برداری ندارد. هر چند در ستون های شبیه سازی شده با آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل رفتار ستون مخصوصاً با لحاظ نمودن معیار مقاومت مناسبتر از ستون های شبیه سازی شده با آلیاژ حافظه دار با پایه مس می باشد، اما این نکته نباید نادیده گرفته شود که در ستون های شبیه سازی شده با آلیاژ حافظه دار با پایه نیکل، از خاصیت فوق ارتجاعی این آلیاژ استفاده ای نشده و مانند مصالح متعارف و عادی بکارگیری می شود.

در ادامه میزان کرنش های کلی (مجموع کرنش های الاستیک و پلاستیک) و کرنش های پلاستیک حداکثر در مورد مدل های شبیه سازی شده (با معیار قرار دادن تسلیم فون مایسس) در مرحله آستانه گسیختگی و در قالب نمودارهای مقایسه ای شکل های ۱۲ و ۱۳ نمایش داده می شوند. ترسیم خط بین نقاط کرنشی در مدل ها به معنای تغییرات خطی کرنش در بین نقاط نبوده بلکه صرفاً به منظور وضوح بیشتر مقایسه بین مدل ها می باشد.

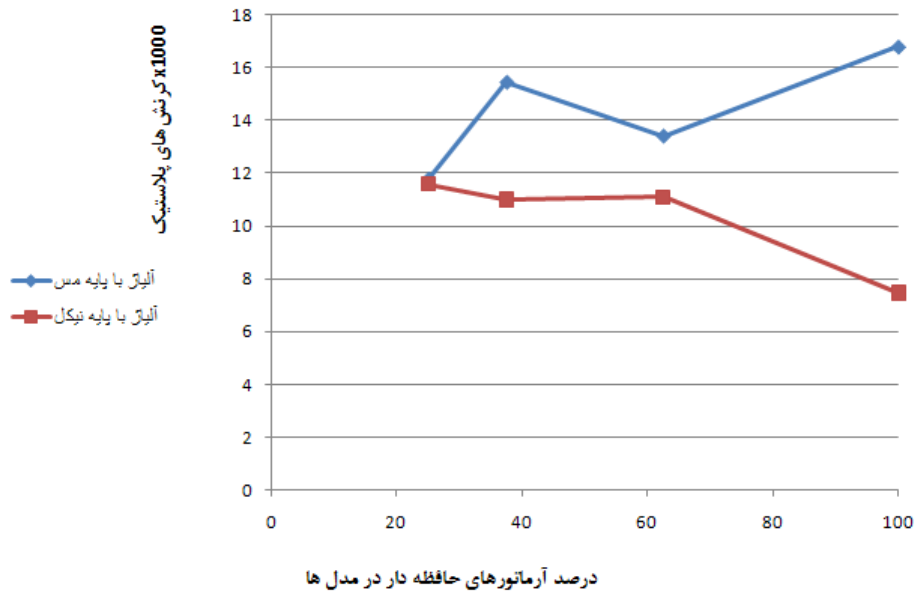
همانطور که در شکل های ۱۲ و ۱۳ مشهود می باشد به استثنای مدل های با آرماتورهای حافظه دار ۲۵ درصد در مورد سایر درصدهای حافظه داری آرماتورهای طولی در ستون های مدل شده، میزان کرنش های کلی و کرنش های پلاستیک در مدل های با آرماتورهای حافظه دار با پایه مس بالاتر از مدل های با آرماتورهای حافظه دار با پایه نیکل می باشند. این در حالی است که میزان باربری جانبی ستون های با آرماتورهای حافظه دار با پایه مس کمتر می باشد. دلیل این رفتار را باید در ایجاد استحاله مارتنزیتی تنشی در آلیاژ با پایه مس دانست. به عبارت دیگر آلیاژ با پایه مس با توجه به خصوصیات مکانیکی اش، رفتار فوق ارتجاعی از خود بروز داده و ظرفیت پذیرش کرنش های یاد شده در ستون های مدل شده را افزایش می دهد.

در مورد ستون با آرماتورهای حافظه دار با پایه مس می توان ادعا نمود به منظور دستیابی به ستونی با مقاومت و ظرفیت پذیرش تغییر شکل های جانبی در حد مناسب و قابل قبول، باید به درصد بهینه ای از آرماتورهای طولی حافظه دار رسید که در عملکرد مشترک با آرماتورهای فولادی در ستون ایفای نقش نمایند.



شکل۱۲: کرنش های کلی در مدل های با درصدهای مختلف آرماتور طولی حافظه دار

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]



شکل ۱۳: کرنش های پلاستیک در مدل های با درصدهای مختلف آرماتور طولی حافظه دار

۵- نتایج و پیشنهادات

۱-در کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی با رفتار فوق ارتجاعی در سازه های بتن آرمه باید به این نکته دقت شود که آلیاژ قابلیت عرضه این رفتار را داشته باشد. زیرا در غیر این صورت، کاربرد آلیاژ حافظه دار در حد کاربرد مصالح عادی تنزل می نماید.

۲- بطور کلی می توان گفت آلیاژ حافظه داری به هدف مورد نظر این تحقیق خواهد رسید که میزان تنش های ایجاد شده در آن در محدوده مابین تنش مربوط به آغاز تبدیل فاز مستقیم (σ_s^{AS}) و تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) قرار گرفته و به هر میزان این تنش ها به تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) نزدیک تر باشند، آلیاژ کارایی بیشتری در به فعلیت رساندن خاصیت فوق ارتجاعی خود خواهد داشت. خواص فوق ارتجاعی در این آلیاژها شامل افزایش ظرفیت تحمل کرنش ها و افزایش تنش های بازگشتی پس از باربرداری است.

۳-در صورت کاربرد ترکیبی آرماتورهای حافظه دار با رفتار فوق ارتجاعی و آرماتورهای فولادی در سازه های بتن آرمه، وضعیت مناسب آن است که استحاله مارتنزیتی تنشی در آلیاژ حافظه دار قبل از جاری شدن آرماتورهای فولادی، آغاز گردد. زیرا جاری شدن آرماتور فولادی به معنای تحمیل کرنش هایی بر سازه بتنی است که آن را در آستانه گسیختگی قرارداده و آلیاژ حافظه دار در شرایط عرضه رفتار فوق ارتجاعی قرار نخواهد گرفت. تحقق این شرایط منوط به انتخاب آلیاژ حافظه دار شکلی با خصوصیات مکانیکی مناسب است.

۴-در کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی با رفتار فوق ارتجاعی نباید آلیاژ در معرض تنشی فراتر از تنش مربوط به پایان تبدیل فاز مستقیم (σ_f^{AS}) قرار گیرد. در غیر این صورت در آلیاژ کرنش های غیر قابل برگشت اتفاق افتاده و آلیاژ از محدوده رفتارهای حافظه داری خارج می گردد.

۵-به غیر از نوع آلیاژ حافظه دار شکلی که ارایه رفتار فوق ارتجاعی در سازه های بتنی را تحت شعاع خود دارد و در این تحقیق بدان پرداخته شد، عوامل دیگری همچون میزان مقاومت مشخصه فشاری بتن و خصوصیات مکانیکی آرماتورهای فولادی نیز در این باره تاثیر گذار می باشند که می تواند ملاک تحقیق قرار گیرند.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

مراجع

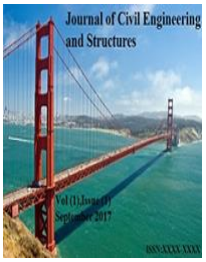
[1] K.Otsuka, C.M. Wayman, “Shape Memory Materials”, Cambridge University Press, (1998).
[2] M.Hosseini ,P.Beiranvand, A.Dehestani, K.Dehestani,“Shape memory alloys and offering superelastic property opportunity in reinforced concrete structures”, Archives of Materials Science and Engineering,vol 85,Issue 1,pp 5-13,(2017).
[3]Sherif El-Tawil,Juan Ortega-Rosales."Prestressing Concrete Using Shape Memory Alloy Tendons".ACI Structural Journal,V.101,No.6,November-December (2004).
[4]M.shahri Alam,Moncef Nehadi."Seismic performance of concrete frame structures reinforced with superelastic shape memory alloys".smart structures and system,vol.5,Issue 5,pp 565-585,(2009).
[5]Hui,Li. Zhi-qiang Liu. Jin-ping ou."Experimental study of a simple reinforced concrete beam temporarily strengthened by sma wires followed by permanent strengthening with CFRP plates" . Engineering Structures, vol 30,pp716–723,(2008).
[6]Eunsoo choi,Sun-Hee Park."Lateral reinforcement of welded SMA rings for reinforced concrete columns". Journal of Alloys and Compounds (2012)1-4.
[7]Fabio Casciati,Karim Hamdaohi."A base isolation device with bars in shape memory alloys".First international conference on self Healing Materials (2007).
[8]Jian-Guo Dai,Lik Lam,Taman Ueda."Seismic retrofit of square RC columns with terephthalate(PET) fibre reinforced polymer composites".Construction and Building Materials,pp 206-217,(2012).
[۹] مهدی قاسمیه، امیر حسین ایرانمنش ." ارزیابی بهبود عملکرد سازه های قابی تحت بارگذاری چرخه ای با استفاده از مهاربندهای از جنس آلیاژهای حافظه دار شکلی".نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران جلد ۴۰ شماره ۵ آبان ۱۳۸۵.
[۱۰] صابر دل ساده،مریم. مصطفی زاده، مهناز. قاسمیه،مهدی." تقویت و بهسازی سازه های بتنی با استفاده از آلیاژهای هوشمند". پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران،دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹.
[۱۱] مرجع جامع ANSYS .

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]

JCES

Journal of Civil Engineering and Structures

Vol (1) . Issue (1) . September 2017



Shape memory alloys and the possibility of supplying ultra-elastic property in reinforced concrete structures

Hamid reza Ashrafi [1] , Peyman Beiranvand[2*]

[1,2] Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

[*]**E-mail: peyman51471366@gmail.com**

ABSTRACT

The effect of shape memory and super-elastic property are two exclusive features in shape memory alloys. In order to exploit the properties of shape memory effect, alloy needs to be heated but super-elastic property in these alloys will be proposed automatically in case suitable conditions. In case of using shape memory alloys as Longitudinal armatures in reinforced concrete structures considering them buried in concrete, exploitation of shape memory property will have its particular problems that these problems won't happen about super-elastic property. Considering the high rate of strain capacity (3 to 8%) in memory alloys with super-elastic behavior and the limitation of this capacity in concrete, conditions are necessary to be prepared in a way that memory alloy has the opportunity to propose super-elastic property. In this study, with simulating short-square reinforced concrete column experimental model in software ANSYS and in multi-level and increasing process, longitudinal armatures with shape memory alloy material will replace steel armatures with super-elastic behavior will be investigated with making shape memory alloy kind as variable (Copper and nickel-based alloys), the opportunity of super-elastic property emergence in these alloys and with playing the role of longitudinal armature in reinforced concrete column.

KEYWORDS

Shape memory alloys,Super-elastic behaviour,Shape memory effect,Short column of reinforced concrete.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-07-06]