

مقایسه آنالیز متداول و چند مرحله‌ای (با اثرات خزش) و بررسی اثر شاخصهای مؤثر بر کوتاه‌شدگی قائم غیر الاستیک اعضای بتن آرمه در ساختمان‌های بلند

وحید قلی‌زاده *

دانشجوی دکتری عمران، گرایش سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

علی خیرالدین

استاد ممتاز، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

داوود مستوفی‌نژاد

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

محمد ایمان خداکرمی

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

چکیده

در سال‌های اخیر، با افزایش ساخت و ساز ساختمان‌های بلند، توجه به رفتار زمان‌مند بتن و اثرات آن بر عملکرد سازه‌ای اهمیت ویژه‌ای یافته است. یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در این زمینه، کوتاه‌شدگی قائم (غیر الاستیک) اعضای بتن آرمه ناشی از خزش و جمع‌شدگی است که می‌تواند منجر به ایجاد تنش‌های اضافی، ترک خوردگی و حتی آسیب به اجزای غیرسازه‌ای شود. تحلیل‌های متداول سازه‌ای معمولاً با فرض بارگذاری همزمان تمامی طبقات انجام می‌شود، در حالی که در واقعیت، بارهای مرده و سربار به صورت تدریجی و همگام با پیشرفت ساخت به اعضا وارد می‌شوند. این تفاوت در نحوه بارگذاری و همچنین اثرات وابسته به زمان مانند خزش، می‌تواند نتایج تحلیل را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد. در پژوهش حاضر، با هدف بررسی دقیق‌تر این موضوع، یک ساختمان بتن آرمه ۲۰ طبقه تحت سه روش تحلیل شامل آنالیز متداول (تک‌مرحله‌ای)، آنالیز چندمرحله‌ای (توالی ساخت) و آنالیز چندمرحله‌ای با لحاظ اثرات خزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین اثر شاخصهایی چون رطوبت نسبی، مقاومت بتن و نرخ ساخت بر میزان کوتاه‌شدگی اعضا بررسی شده است. جهت صحت‌سنجی مدل، یک قاب دو بعدی به صورت دستی تحلیل شده و با نتایج نرم‌افزار مقایسه شده است. همچنین تحلیل مرحله‌ای با منظور نمودن اثرات خزش به تفصیل بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد که لحاظ نمودن توالی ساخت و خزش در تحلیل‌ها، منجر به پیش‌بینی واقع‌بینانه‌تر تغییر شکل‌ها و کاهش ریسک‌های اجرایی و بهره‌برداری در ساختمان‌های بلند می‌شود و باید به عنوان یک ضرورت در طراحی سازه‌های بتن آرمه (بلند مرتبه) مدنظر قرار گیرد.

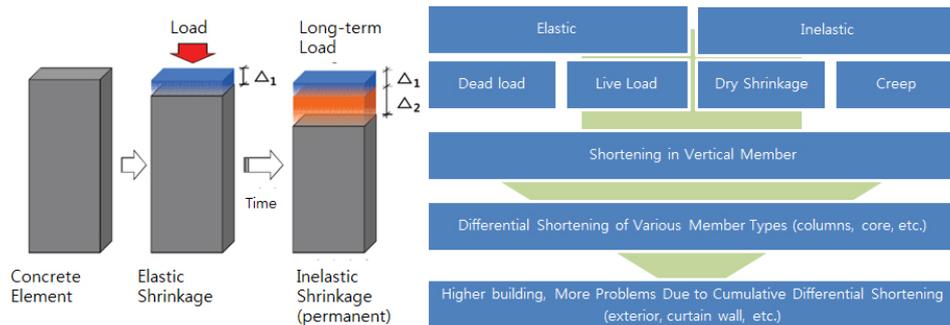
واژه‌های کلیدی: تحلیل متداول، اثرات وابسته به زمان، تحلیل چند مرحله‌ای (توالی ساخت)، خزش، کوتاه‌شدگی غیر الاستیک قائم.

* نویسنده مسئول: vahid_gholizadeh@Ymail.com

۱- مقدمه

می کند. عوامل مؤثر بر این پدیده ها شامل رطوبت، نسبت سطح به حجم، تنش های محوری، درصد آرماتور و سن بارگذاری است. اگرچه تحقیقات زیادی برای تعیین این اثرات انجام شده است، اما پدیده خزش هنوز یک موضوع تحقیقاتی جالب است و به طور کامل درک نشده است. تحقیقات بنیادی که اثرات خزش و انقباض در بتن را بررسی می کنند، تاکنون توسط چندین دانشمند منتشر شده است [۱-۵].

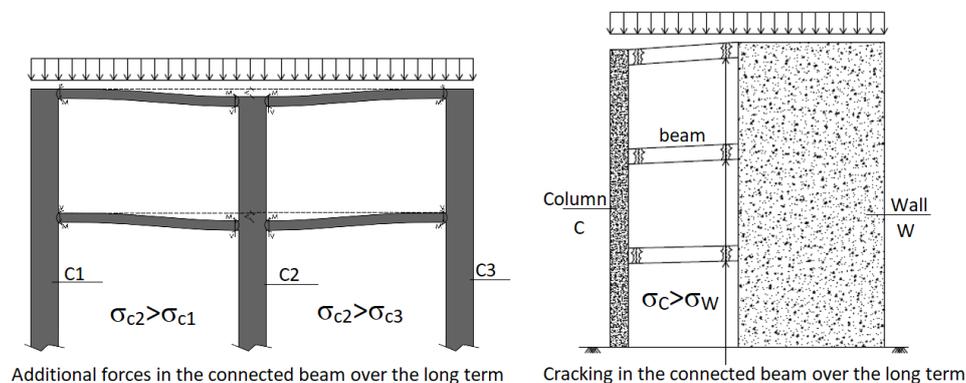
تفاوت اصلی سازه های فولادی و بتنی در رفتار زمان مند بتن است که به آن «موجود زنده» گفته می شود و تغییرات شاخصهای وابسته به زمان، مانند خزش و جمع شدگی، نقش مهمی در تحلیل سازه های بتنی دارند. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود خزش باعث ایجاد کرنش های غیرالاستیک و برگشت ناپذیر در بتن می شود و جمع شدگی نیز تغییر شکل هایی مستقل از بار ایجاد



شکل ۱- کرنشهای الاستیک و غیر الاستیک

کوتاه شدگی های غیر همسان در اعضای باربر قائم به علت درونزا و تغییر شکل های غیرالاستیک می شوند که اگر در تحلیل ها لحاظ نشوند، می توانند باعث آسیب های جدی در اعضا و المان های غیرسازه ای شوند. خزش و جمع شدگی به ویژه در سازه های بلندمرتبه و سیستم های دوگانه باربر جانبی اهمیت زیادی دارند و کوتاه شدگی ناهمسان اعضای قائم، موجب ایجاد نیروهای داخلی و لنگرهای اضافی در تیرها و دال ها می شود. تحقیقات گذشته نشان داده اند که عدم توجه به این پدیده ها در طراحی و تحلیل سازه ها می تواند منجر به ترک خوردگی، کماتش، و اختلال در عملکرد سازه شود.

در سازه های بتن مسلح، این تغییر شکل ها موجب ایجاد تنش های درونزا و تغییر شکل های غیرالاستیک می شوند که اگر در تحلیل ها لحاظ نشوند، می توانند باعث آسیب های جدی در اعضا و المان های غیرسازه ای شوند. خزش و جمع شدگی به ویژه در سازه های بلندمرتبه و سیستم های دوگانه باربر جانبی اهمیت زیادی دارند و کوتاه شدگی ناهمسان اعضای قائم، موجب ایجاد نیروهای داخلی و لنگرهای اضافی در تیرها و دال ها می شود. تحقیقات گذشته نشان داده اند که عدم توجه به این پدیده ها در طراحی و تحلیل سازه ها می تواند منجر به ترک خوردگی، کماتش، و اختلال در عملکرد سازه شود.



Additional forces in the connected beam over the long term

Cracking in the connected beam over the long term

شکل ۲- تلاش ها داخلی خودزا به علت کوتاه شدگی ناهمسان و احتمال آسیب تیر بتنی

است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. در سال ۲۰۰۷ میرقادی و ایپکچی [۲۰] به بررسی اثر شاخصهای وابسته به زمان نظیر خزش و جمع شدگی در سازه‌های بتنی پرداختند. وفایی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در پژوهش خود به بررسی تأثیر شاخصهای مؤثر بر خزش و آب رفتگی سازه‌های بتنی تحت آنالیز غیرخطی مرحله‌ای پرداختند [۲۱]. خیرالدین و جلیل‌زاده [۲۲] در سال ۲۰۱۷ مدلی جهت تحلیل سازه‌های بلند بتنی مبتنی بر شاخصهای وابسته به زمان ارائه نمودند. در این مطالعه تلاش شده است تا عوامل مؤثر بر کوتاه شدگی ستون‌ها همراه با تحلیل سازه‌ای شامل ساخت تک مرحله‌ای (آنالیز متداول) و ساخت چند مرحله‌ای خطی و غیرخطی (با اثر خزش)، در یک سازه ۲۰ طبقه بررسی شود. شاخصهای متعددی مانند توزیع بار (تنش اعضا)، سرعت ساخت، رطوبت نسبی، مقاومت مشخصه بتن در کوتاه شدگی‌های غیر الاستیک مد نظر بوده‌اند. به کمک نرم افزار تجاری ETABS سازه مورد نظر تحلیل و طراحی شده و از مدل (NZS3101-2006) [۲۳] نیز برای آنالیزهای خزشی استفاده شده است. برای جزئیات بیشتر در تحلیل و طراحی سازه مورد مطالعه، نگارنده به جزئیات بیشتر در خصوص اثر مش‌بندی و ضرایب ترک خوردگی پیشنهادی [۲۴] ACI در پاسخهای سازه در یک مقاله [۲۵] دیگر پرداخته است. برای تأیید مدل (NZS3101-2006)، از یک قاب دو بعدی برای صحت سنجی استفاده شده و نتایج آنالیز دستی با نرم افزار ETABS نیز مقایسه شده است.

۲- مشخصات سازه مورد مطالعه

یک ساختمان ۲۰ طبقه برای مطالعه موردی انتخاب شد. تمام مقاطع شامل دیوارهای سازه‌ای با بازه‌های مختلف اندازه و ابعاد ستون در یک محدوده مناسب انتخاب گردید. سپس با استفاده از آنالیز متداول (یک مرحله‌ای) تحلیل شده و طبق معیارهای ACI-318 (مؤسسه بتن آمریکا) اعضاء طراحی شدند. ابعاد ستون‌ها، تیرها و دیوارها در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. شماتیک ساختمان‌های مورد مطالعه نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. ارتفاع تمام طبقات ثابت و ۴ متر منظور شده است و فرض بر این است که در منطقه‌ای با خطر نسبی بسیار زیاد و در تهران واقع شده است. مقاطع ستونها و دیوارها هر ۴ طبقه تغییر نموده است. دیوار هسته‌ای بتن آرمه کوپله شده و وجود بازشو در مجاور ستون که با

از جمله پژوهشگرانی که طی تحقیقاتشان به مسأله فوق پرداخته‌اند می‌توان به کیم و همکاران در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود که الگوریتم آنالیز دو مرحله‌ای را جهت تخمین دقیق کوتاه‌شدگی ستون‌ها مطرح نمودند [۶]. ایشان در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به ترتیب اثر مقیدکنندگی اعضای افقی و توزیع بهینه آرماتورگذاری را در کاهش میزان کوتاه شدگی بررسی کردند [۷]. شارما و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثر سختی تیر و آرماتور ستون را در رفتار خزشی و آب رفتگی سازه‌های قابی مورد مطالعه قرار دادند [۸] و [۹]. انجومو و ازی در سال ۲۰۱۴ و پارک و همکاران در سال ۲۰۱۳ از جمله افرادی هستند که با استفاده از الگوریتم ژنتیک سعی در مینیمم نمودن کوتاه‌شدگی ستون داشته‌اند [۱۰] و [۱۱]. موراگاسیتیا و همکاران در سال ۲۰۱۰ مدلی عددی جهت برآورد دقیق میزان کوتاه‌شدگی‌های محوری سازه‌های بتنی با در نظر گرفتن پدیده‌های وابسته به زمان بتن ارائه دادند [۱۲]. ون یو و همکاران در سال ۲۰۱۲ تکنیک‌های تحلیلی مختلف در بررسی اثر افزودنی‌ها بر آب رفتگی بتن‌های مقاوم با عملکرد بالا را مورد بررسی قرار دادند [۱۳]. روسی و همکاران در سال ۲۰۱۳ طی مطالعات آزمایشگاهی خود به بررسی اثر سطوح مختلف تنش‌های فشاری بر کرنش خزشی و کرنش ماندگار المانهای باربر ثقلی پرداختند [۱۴]. در سال ۲۰۱۹ کیم و همکاران خزش خشک شدگی بتن تحت فشار، کشش و خمش را بررسی کردند [۱۵]. در سال ۲۰۱۸ ژینگ ژانگ و همکاران [۱۶] اثرات تغییر شکلهای وابسته به زمان را در ستونهای بتن آرمه با بار برون محوری در آزمایشگاه بررسی نمودند. در سال ۲۰۱۷ روبن و پائولو سیلوا [۱۷] روشی ساده برای ارزیابی اولیه اثرات کوتاه‌شدگی ستونهای بتنی بر پاسخ ساختمانهای بلند ارائه کردند. ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۱۸] در یک کار تحقیقاتی مشترک توسط بخش مهندسی سازه دانشگاه‌های تانگجی چین و توکیو ژاپن و با همکاری مهندسی طراحی و تحقیقاتی شرق چین، مدل B3 با اثر توزیع رطوبت در مقاطع بزرگ به منظور پیش‌بینی کوتاه‌شدگی وابسته به زمان در ساختمان‌های فوق بلند (SUPER TALL BUILDING) اصلاح نمودند. در سال ۲۰۱۴ دوژان و همکاران تأثیر خزش و انقباض خشک شدن در دیوارهای برشی بتن مسلح بر کوتاه شدن محوری ساختمانهای بلند را بررسی نمودند [۱۹].

مطالعات تئوری در ایران نیز برای اثرات کوتاه‌شدگی انجام شده

در آنالیز مرحله‌ای (بدون منظور نمودن اثرات وابسته به زمان) آنچه دارای اهمیت است، صرفاً گام‌های اجرایی و اعمال بارها در هر مرحله به سازه است. توزیع بارها در هر مرحله ساخت مطابق با شکل ۵ اعمال گردید. در آنالیز سوم مقدار کرنشهای خزشی نیز محاسبه می‌شوند. تفکیک اثر خزش بدون منظور نمودن تحلیل گام به گام (توالی ساخت) عملاً موجب اشتباه صرف است. اصل موضوع خزش تحت بارهای ثقلی دائم اتفاق می‌افتد. اگر مطابق مرجع [۲۴] ترکیب بار تحلیل خزشی را معادل با مجموع بار مرده (D,SD) و نیمی از بار زنده (0.5L) منظور نماییم (بار مرده مقدار باری تعریف می‌شود که در طول عمر سازه ثابت بوده و بار زنده نیز متغیر است)، با مجزا نمودن بار مرده به دو قسمت وزن المانهای سازه (D) و سربار مرده روی سازه (SD)، وزن ناشی از المانهای سازه‌ای مقدار بسیار قابل توجهی خواهد بود. لذا منظور نمودن اثرات خزش در پایان سن ساخت و یا هر سن دیگری نتایج غیر قابل قبولی ارائه می‌دهد. همچنین مورد توجه است که نتایج مدل‌های پیش‌بینی خزش تابعی از سن بتن و مشخصات آن است. از طرفی سازه بتنی به طور متوالی ساخته شده و لذا منظور نمودن تحلیل مطابق با روش اجرا دارای اهمیت است. توزیع بارها در آنالیز مرحله‌ای با اثر خزش در سازه مذکور مطابق شکل ۶ می‌باشد در ضمن یادآور می‌شود توالی بارگذاری مذکور در حالت آنالیز مرحله‌ای بدون اثرات وابسته به زمان نیز می‌تواند با همین گامها منظور شود و بازه‌های زمانی تعریف شده در نرم افزار، تاثیری در نتایج تحلیل نخواهند داشت.

یک تیر پیوند کوتاه طراحی شده است، از مشخصات بارز سازه است. سازه مورد نظر در جهت محور X به طور کامل به لحاظ سختی و هندسی متقارن و منظم است. در جهت محور Y به طور کامل به لحاظ سختی متقارن بوده ولیکن از نظر هندسی و توزیع تنش در اعضای قائم به علت وجود بازشو در مجانب ستون، نامتقارن هندسی است. هرچند سختی دیوار و ستون مجاور بازشو طوری منظور شده است که سازه به لحاظ سختی نیز در این جهت منظم باشد. به طور فرضی از دال یکطرفه با توزیع بار نشان داده شده در پلان شکل ۴ استفاده گردید. سازه مطالعه حاضر با روش تحلیل طیفی خطی به طور یک مرحله‌ای مطابق شاخصهای جدول ۲ به عنوان سازه مرجع، تحلیل شد. سپس با استفاده از تحلیل ساخت مرحله‌ای غیرخطی (با و بدون اثرات وابسته به زمان) سازه مذکور مجدداً تحلیل گردید. تحلیل‌های مورد نظر با تغییر شاخصهای مشخص شده در جدول ۲ به صورت تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای تکرار شد.

در آنالیز متداول و یا یک مرحله‌ای تمام بارهای ثقلی و بارهای جانبی به سازه اعمال شده و با روابط آیین‌نامه و ترکیب پاسخ‌های هر الگوی بار، پاسخ سازه شامل تغییر شکل‌ها و تلاش‌های اعضا حاصل می‌شود. در این مقاله نتایج آنالیز یک مرحله‌ای تحت بارهای ثقلی ماندگار بدون ضریب مورد توجه است. بارهای ثقلی ماندگار ۱۰۰ درصد بار مرده و ۵۰ درصد بار زنده است [۲۴]. در آنالیز دوم برای منظور نمودن توالی ساخت لازم است تا بارهای اعمال شده در هر مرحله از ساخت به طور مجزا به سازه اعمال شود.

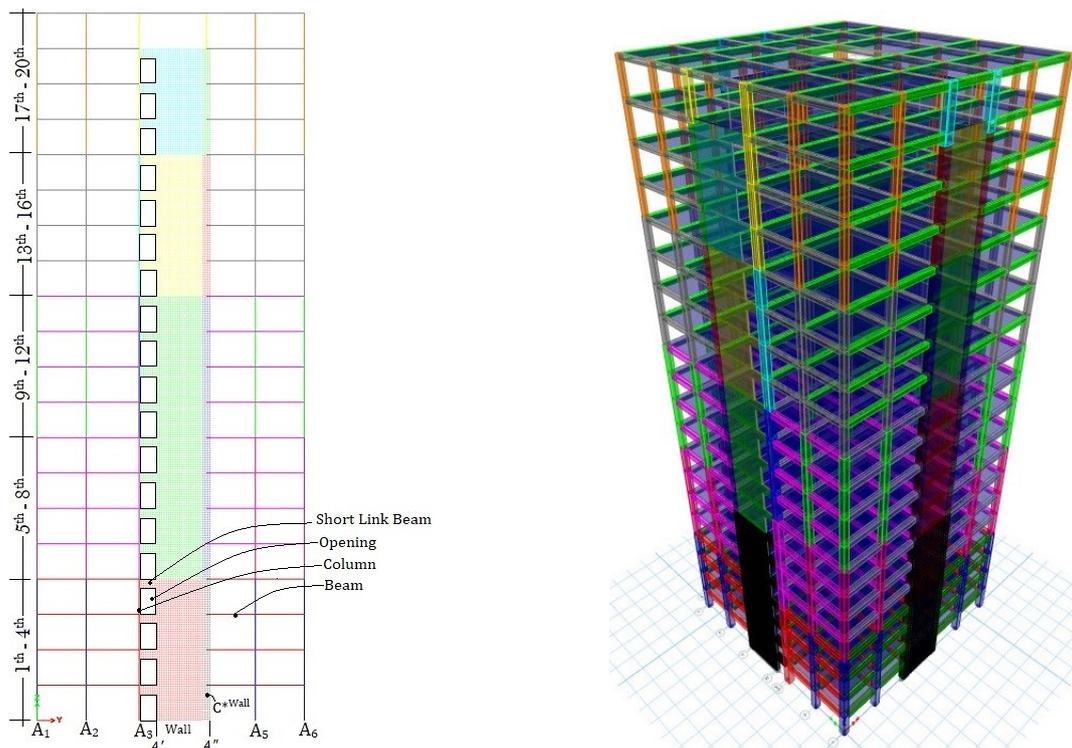
جدول ۱- مشخصات مقاطع ستون‌ها، تیرها و دیوارها

Story	C1	C2	CW1	CW2	W1	W2	W3	B1	B2
17-20	500*500(12Φ20)	900*500(18Φ18)	900*500(18Φ18)	900*500(18Φ18)	300*	400*	500**	500*500	600*500
13-16	600*600(20Φ20)	900*600(20Φ20)	900*600(20Φ20)	900*600(20Φ20)	400	500	500	500*500	600*500
9-12	700*700(24Φ20)	900*700(22Φ20)	900*700(22Φ20)	900*700(22Φ20)	500	600	600	600*600	700*600
5-8	700*700(24Φ25)	900*800(24Φ28)	900*700(22Φ20)	900*700(22Φ20)	500	600	700	600*600	700*600
1-4	800*800(24Φ25)	900*900(26Φ28)	900*800(24Φ28)	900*800(24Φ28)	600	700	800	700*700	800*700

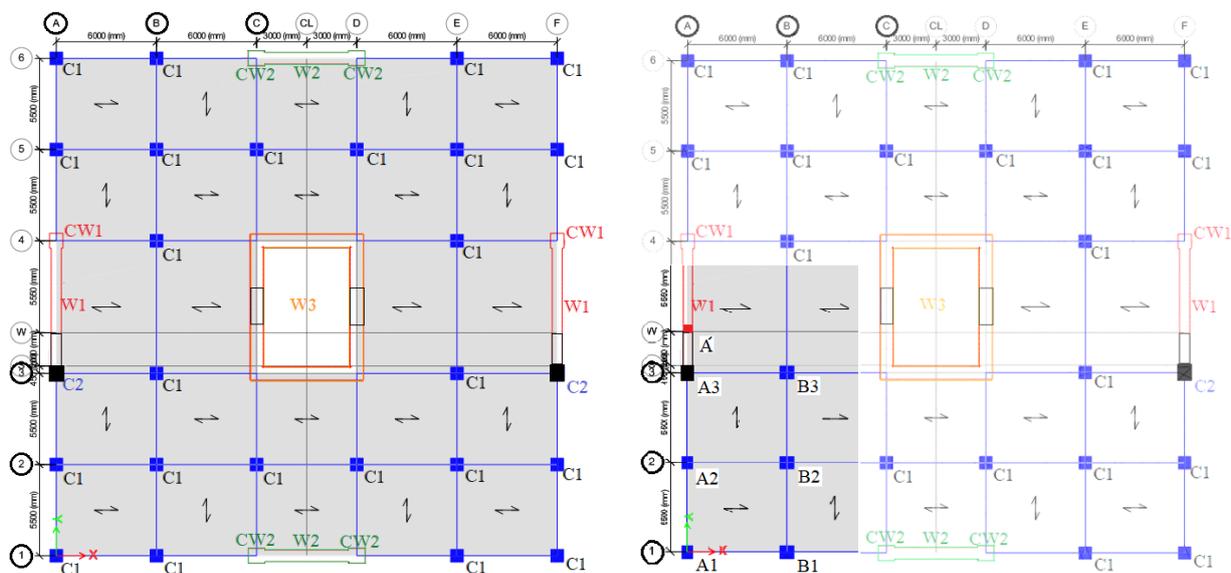
*در طبقه ۲۰ دیوارهای W1 و W2 حذف شده اند و CW1 و CW2 ادامه داشته است.

**در طبقه ۱۹ و ۲۰ دیوار W3 حذف شده است و ستون C1 در دو طبقه آخر روی دیوار هسته سازه طرح شده است.

مقایسه آنالیز متداول و چند...



شکل ۳- تصویر سه بعدی ساختمان مورد مطالعه به همراه نمای قاب محور A از داخل ساختمان



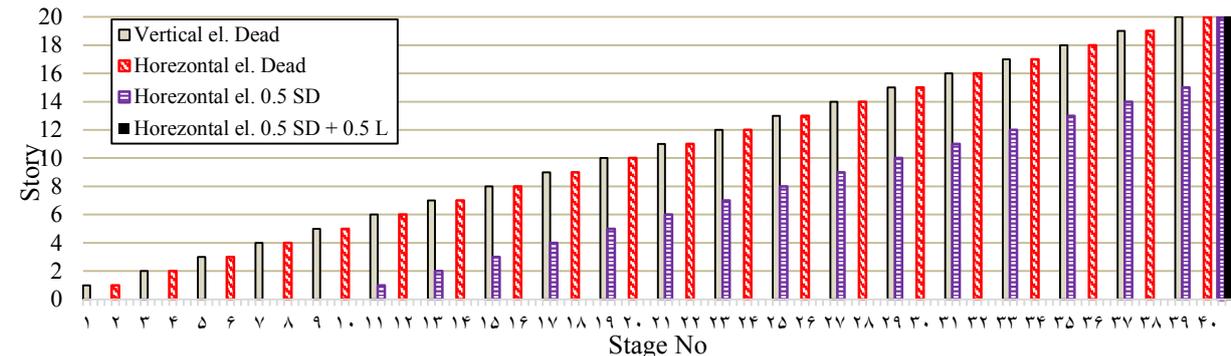
شکل ۴- پلان طبقه ۱۰ و نحوه توزیع بار به همراه ستونهای مشخص شده در تحقیق حاضر برای مقایسه نتایج

جدول ۲- تغییرات شاخصهای مورد بررسی در مطالعه حاضر در سازههای تحلیلی

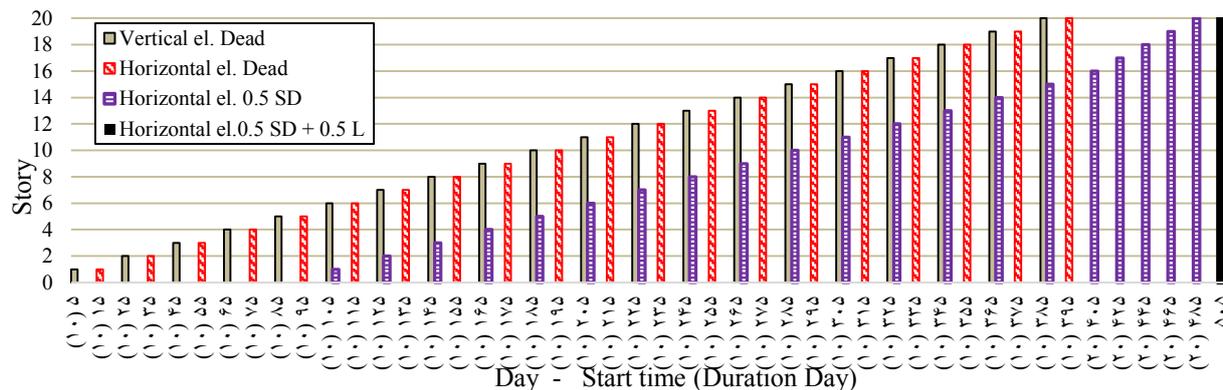
St-6	St-5	St-4	St-3	St-2	St-1 (مرجع)	سازههای مورد بررسی
۳۰	۳۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	رده مقاومتی بتن (MPa)
۵۰	۹۰	۴۰	۵۰	۵۰	۵۰	رطوبت نسبی (%)
۴۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	نرخ ساخت Day/story

در آنالیز خزشی این تحقیق، دوره تکمیل هر طبقه ۲۰ روز فرض شده است. دوره عملیات ساخت اعضای قائم (دیوار و ستون) و

اعضای افقی (تیر و سقف) به طور یکسان ۱۰ روز منظور شده است. برای اعضای قائم و افقی ۵ روز پس از بتن ریزی (در سن ۵ روزه بتن)، اعمال وزن اعضاء (Dead) منظور شده است. از طرفی زمان اعمال سربار مرده (SD) شامل بارهای حاصل از کفسازی و ... در هر طبقه، ۱۰۰ روز پس از بتن ریزی ستونهای هر طبقه اعمال می شوند. به طور مثال در آغاز ساخت طبقه ششم (روز ۱۱۰۵م از شروع ساخت و ۱۰۵ روز پس از بتن ریزی ستونهای سقف اول و



شکل ۵- نمودار توالی ساخت و بارگذاری در آنالیز مرحله‌ای مستقل از اثرات وابسته به زمان



شکل ۶- نمودار توالی ساخت و بارگذاری در آنالیز مرحله‌ای توأم با خزش

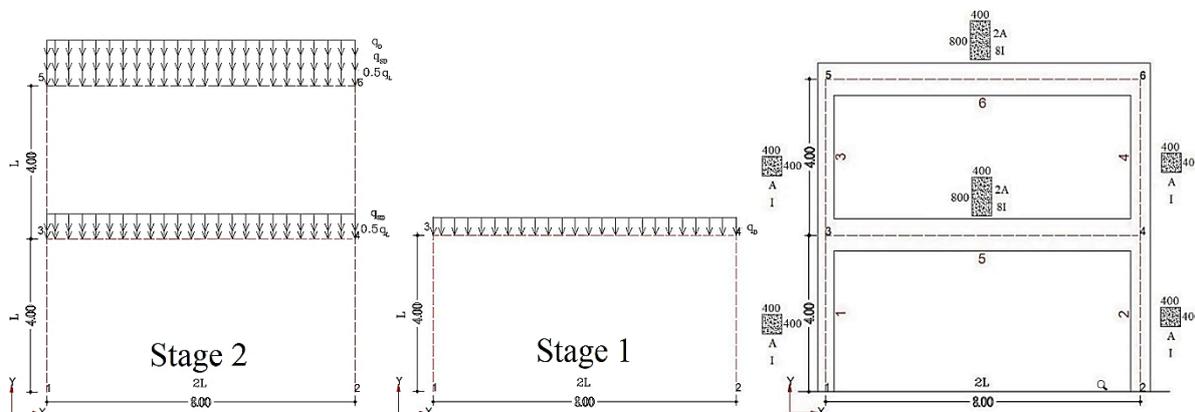
مشخص شده برای اعضاء در تفکیک ضریب خزشی اعضاء استفاده می شود. برای اثر وزن اعضاء و دال‌های متصل به آن از یک بار گسترده مرده با الگوی بار D در قاب دو بعدی در محاسبات دستی و نرم افزار، استفاده شده است. الگوی بارهای ثقلی شامل بار مرده فرضی ناشی از وزن اعضاء Dead(D)، بار مرده سربار Super Dead(SD) به صورت بار خطی با شدت ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر طول و بار زنده Live(L) با شدت ۵۰۰ کیلوگرم بر متر طول مد نظر است (شکل ۷). کوتاه شدگی‌های قائم قاب برای ترکیب بارهای (L + SD + D) مجموع بارهای ثقلی بدون

۳- صحت سنجی مدل

برای اطمینان از نتایج تحلیل خزشی سازه مورد مطالعه، ابتدا قاب دو بعدی یک دهانه و دو طبقه بتنی با مشخصات مندرج در شکل ۷ در نرم افزار ETABS مدل‌سازی و تحلیل شده و تحلیل دستی نیز انجام و نتایج باهم مقایسه می شود. سطح مقطع (A)، و ممان اینرسی اعضاء (I) بوده و کلیه اعضاء از یک نوع بتن و بارده C₃₀ می باشند. ابعاد مقاطع بر حسب میلیمتر، طول اعضاء بر حسب متر و شدت بارهای اعمالی ثقلی بر حسب کیلوگرم بر متر می باشند. هر گره و عضو با یک شماره مجزا مشخص شده‌اند. از شماره

ضریب، تحت آنالیز مرحله‌ای در حالات مستقل از اثر خزش و توام با اثر خزش پس از ۵۰۰۰ روز، به صورت دستی و مقایسه با نتایج نرم افزار تعیین می‌شود.

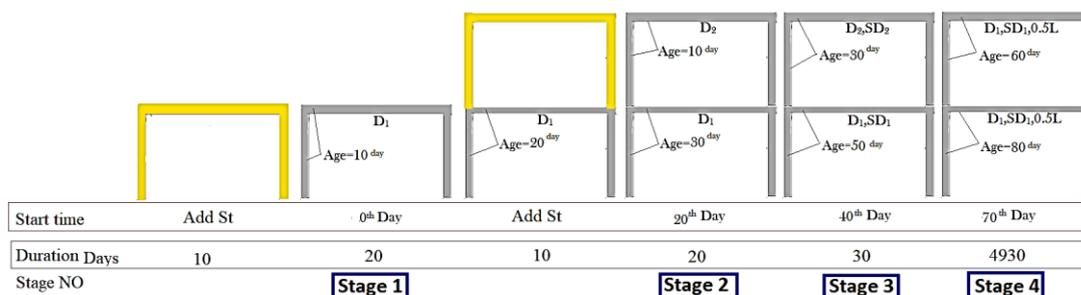
در تحلیل‌های (دستی و نرم افزار) قاب صحت سنجی از تغییر شکل‌های برشی صرف نظر شده و همچنین مقاطع ترک نخورده فرض شده است.



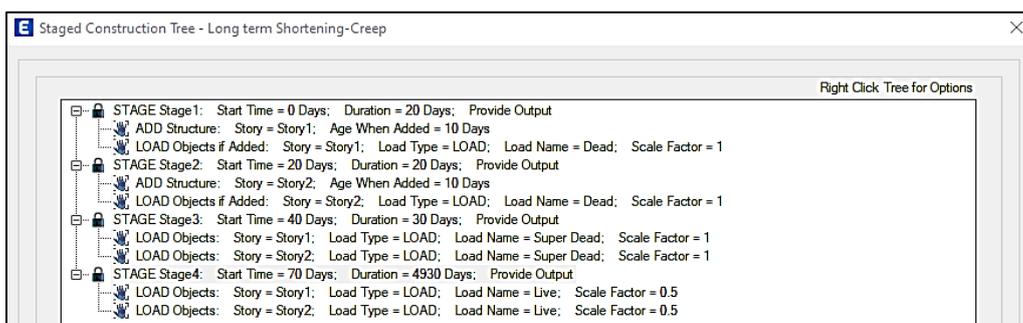
شکل ۷- تصویر قاب دوبعدی صحت سنجی و مشخصات اعضاء، گام‌های ساخت در آنالیز مرحله‌ای بدون اثرات وابسته به زمان

در آنالیز توالی ساخت همراه با اثرات وابسته به زمان (خزش) علاوه بر مقدار بار در هر مرحله، زمان اعمال بارها نیز بسیار حائز اهمیت است. دقت در برنامه زمان بندی و همچنین انطباق برنامه ساخت به لحاظ زمانی با تحلیل‌های وابسته به زمان دارای اهمیت ویژه است. با این عمل، اثر توالی ساخت همراه با اثرات وابسته به زمان در تحلیل اعمال می‌گردد. در تحلیل مرحله‌ای قاب مورد بررسی، اعمال بارگذاری به طبقات در سن ۱۰ روزه بتن طبقات مورد نظر است (شکل ۸).

ضمناً یادآوری می‌شود که در مراحل تحلیل دستی و نرم افزار، بتن ریزی ستون و تیرها به طور همزمان فرض شده است. زمان اعمال ۵۰٪ بار زنده (بار ماندگار) ۷۰ روز پس از آغاز بارگذاری (۸۰ روز پس از بتن ریزی) طبقه اول فرض شده است. در حالت کلی در این مدل صحت سنجی، توالی ساخت، سن بتن و اعمال بار در حالت دستی و در نرم افزار ETABS مطابق با شکل‌های ۸ و ۹ منظور شده است.



شکل ۸- مراحل ساخت و گام‌های زمانی در مدل صحت سنجی در محاسبات دستی با منظور نمودن اثرات وابسته به زمان



شکل ۹- مراحل ساخت و گام‌های زمانی در مدل صحت سنجی در نرم افزار ETABS با منظور نمودن اثرات وابسته به زمان

در پژوهش حاضر و همچنین در قاب صحت سنجی از مدل آیین- نامه نیوزلند (NZS3101-2006) برای محاسبه اثرات خزش و تعیین ضریب خزشی استفاده شده است. کرنش خزشی در هر زمان (t) ناشی از یک تنش پایدار ثابت (σ_0) باید از رابطه ۱ محاسبه شود:

$$\varepsilon_{CC} = \Phi_{CC}(\sigma_0/E_c) \quad (1)$$

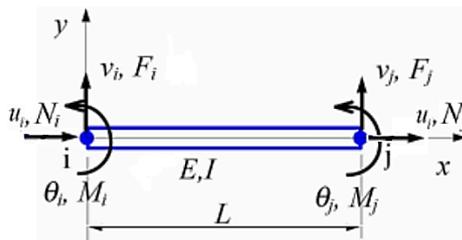
ضریب خزش طراحی برای بتن در هر زمان t ، (Φ_{CC}) باید از ضریب خزش پایه $(\Phi_{CC,b})$ توسط هر مدل ریاضی پذیرفته شده، پیش‌بینی می‌شود. همچنین می‌توان از مدل زیر (رابطه ۲)، ضریب خزشی (Φ_{CC}) را در هر زمان تعیین نمود.

$$\Phi_{CC} = k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \Phi_{CC,b} \quad (2)$$

مکان‌های قائم گره‌ای اثر چندانی نخواهند داشت.

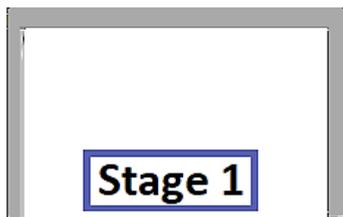
با روی هم گذاری ماتریس سختی اعضاء، ماتریس سختی قاب طبقه اول مطابق شکل ۱۱ حاصل می‌شود. ممان اینرسی هر عضو بر اساس تابعی از سطح مقطع منظور شده است. اگر از آنالیز خزشی صرف نظر کنیم $(\Phi_{CC} = 1)$ ، ماتریس سختی همان ماتریس سختی قاب تحت آنالیز مرحله‌ای بدون خزش است.

کوتاه شدگی در ستونها با جانمایی ضریب خزش پایه در ماتریس سختی قابل محاسبه است. ضروری است ضریب خزش پایه در هر عضو را محاسبه نموده و در هر گام از تحلیل، ماتریس سختی هر عضو را تعیین نمود. مورد توجه است که با توجه به اینکه ضریب خزشی هر عضو در هر گام از تحلیل می‌تواند متفاوت باشد، لذا



$$k = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L(\Phi_{CC}^{el})} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L(\Phi_{CC}^{el})} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L(\Phi_{CC}^{el})} & 0 & 0 & \frac{AE}{L(\Phi_{CC}^{el})} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

شکل ۱۰- ماتریس سختی المان میله‌ای $(\Phi_{CC}^{el} = 1)$ تغییر شکل‌های الاستیک و Φ_{CC}^{el} برای هر عضو تغییر شکل‌های غیرالاستیک خزشی



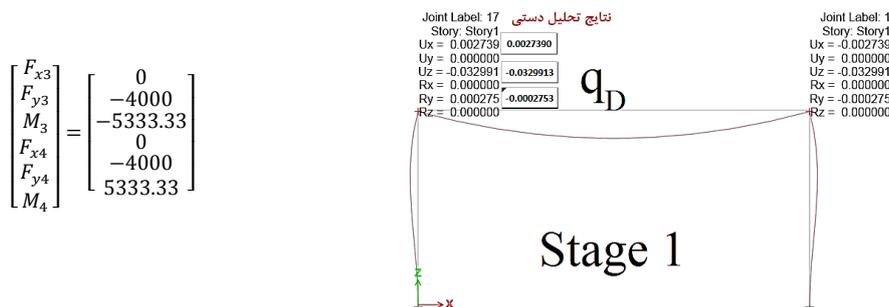
$$\frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{L^2} + \frac{1}{\Phi_{CC}^5} & & & & & \\ & \frac{A}{L^2} + \frac{1}{\Phi_{CC}^1} & & & & \\ & \frac{0.5A}{L} & \frac{A}{L} & \frac{4A}{3} & & \\ & -\frac{1}{\Phi_{CC}^5} & 0 & 0 & \frac{A}{L^2} + \frac{1}{\Phi_{CC}^5} & \\ & 0 & -\frac{A}{L^2} & -\frac{A}{L} & 0 & \frac{A}{L^2} + \frac{1}{\Phi_{CC}^2} \\ & 0 & \frac{A}{L} & \frac{4A}{3} & \frac{0.5A}{L} & -\frac{A}{L} & \frac{5A}{3} \end{bmatrix}$$

شکل ۱۱- ماتریس سختی قاب در گام اول ساخت

مدول الاستیسته بتن در ماتریس سختی شکل ۱۱ و با دسترس بودن ماتریس نیروهای خارجی در مرحله اول ساخت (QD) تغییر شکل- های قاب در مرحله اول به روش دستی حاصل شده که عیناً مطابق

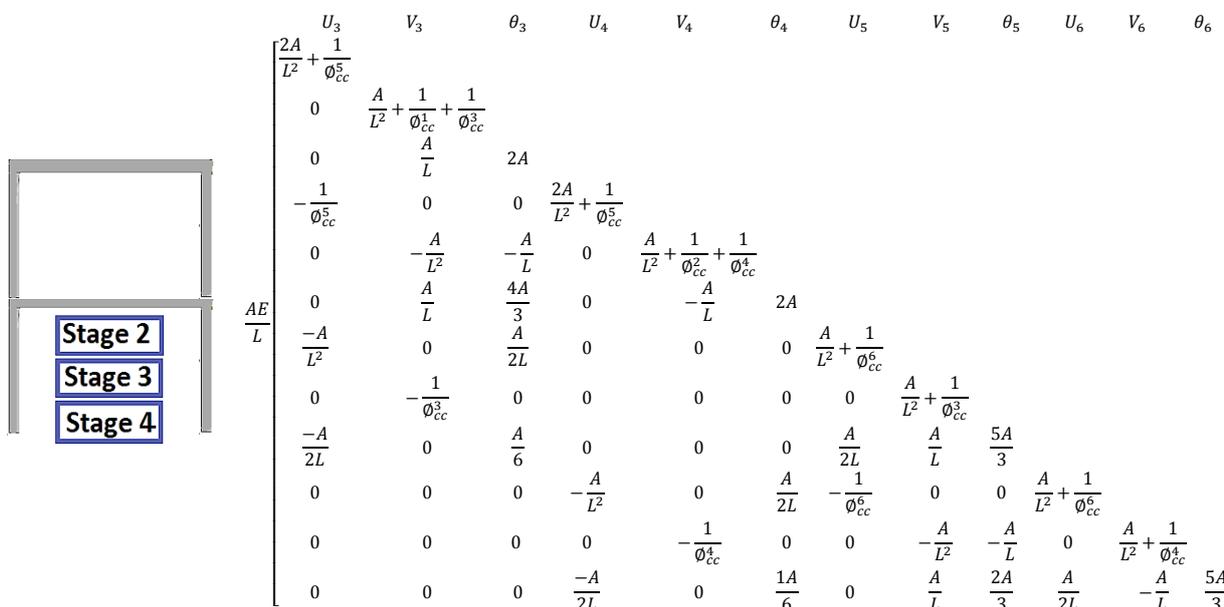
۱-۳- آنالیز مرحله اول ساخت (قاب صحت سنجی) به منظور آنالیز مرحله‌ای بدون اثرات وابسته به زمان و تعیین مقدار کوتاه شدگی‌های الاستیک، با جایگذاری مشخصات اعضاء و

نرم افزار است. تغییر شکل های برشی در محاسبات دستی و نرم افزار صرف نظر (شکل ۱۲). لازم به ذکر است که در قاب صحت سنجی شده از شده است.



شکل ۱۲- تغییر شکل های الاستیک مرحله اول (نتایج نرم افزار و تحلیل دستی) تحت ماتریس نیروهای خارجی مرحله اول

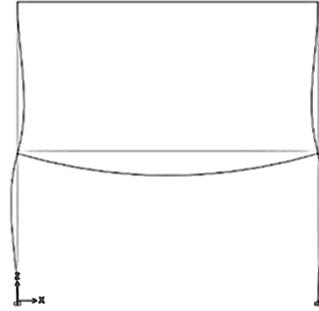
۲-۳- آنالیز مرحله دوم ساخت (قاب صحت سنجی)
ماتریس سختی سازه در مرحله دوم (مرحله ای که کل سازه تکمیل شده است)، عیناً مشابه روش تک مرحله ای یا همان آنالیز متداول است. ضروری است قبل از بدست آوردن جابجایی و دورانهای سازه تحت بارهای خارجی، ابتدا تغییر شکل های ایجاد شده در مرحله اول را به نوعی در مرحله دوم منظور نماییم. با داشتن ماتریس سختی سازه دو طبقه (شکل ۱۳- مرحله دوم) و مقدار جابجایی ها در مرحله اول، نیروی خارجی فرضی متناسب با تغییر شکل های ایجاد شده در مرحله اول ساخت (شکل ۱۴-ج) محاسبه می شوند تا عیناً همان تغییر شکل های مرحله اول در سازه در مرحله دوم ایجاد شود. حال برای محاسبه تغییر شکل های مرحله دوم، از تجمیع تلاشهای خارجی فرضی محاسبه شده با سایر نیروها و لنگرهای اعمال شده در مرحله دوم به عنوان ماتریس نیرو استفاده می شود. در شکل ۱۵ نتایج آنالیز دستی و نرم افزار در قاب دو بعدی در انتهای مرحله دوم ساخت مشاهده می شود.



شکل ۱۳- ماتریس سختی قاب در گام های دوم تا چهارم

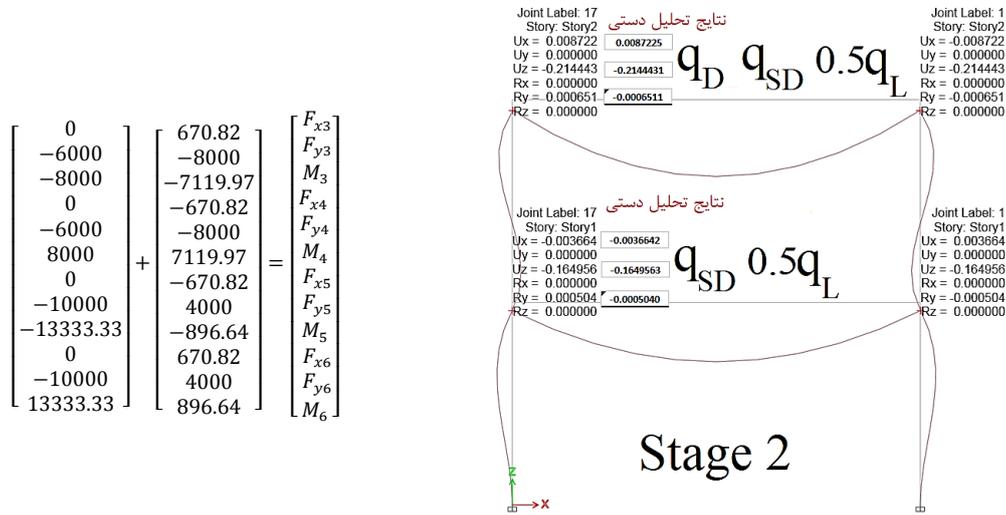
۳-۳- آنالیز خزشی (قاب صحت سنجی)
به تفکیک برای هر عضو، در بازه زمانی مشخص و با توجه به سن بتن در هنگام اعمال بار، بایستی تعیین شود. در رابطه ۲ ضریب در ابتدا بایستی ضریب خزش طراحی را محاسبه نمود. این ضریب

خزش پایه بتن $\phi_{cc,b}$ میانگین مقدار نسبت کرنش خزش نهایی به الاستیک است که از جدول ۳ تعیین می‌گردد. همچنین ضرایب k_2, k_3, k_4, k_5, k_6 به ترتیب تاثیرات نسبت حجم به سطح عضو، سن بتن در زمان بارگذاری، رطوبت نسبی، مقاومت فشاری بتن، و اثر جنس سنگدانه بر ضریب خزش پایه نظری است و به ترتیب مطابق روابط ۳ الی ۶ و جداول ۴ و ۵ تعیین می‌شود.

$$\begin{bmatrix} 670.82 \\ -8000 \\ -7119.97 \\ -670.82 \\ -8000 \\ 7119.97 \\ -670.82 \\ 4000 \\ -896.64 \\ 670.82 \\ 4000 \\ 896.64 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ M_3 \\ F_{x4} \\ F_{y4} \\ M_4 \\ F_{x5} \\ F_{y5} \\ M_5 \\ F_{x6} \\ F_{y6} \\ M_6 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0.002739 \\ -0.032991 \\ -0.000275 \\ -0.002739 \\ -0.032991 \\ 0.000275 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_3 \\ V_3 \\ \theta_3 \\ U_4 \\ V_4 \\ \theta_4 \\ U_5 \\ V_5 \\ \theta_5 \\ U_6 \\ V_6 \\ \theta_6 \end{bmatrix}$$


الف- شماتیک قاب در آغاز تکمیل مرحله دوم ب- جابجایی‌های گام اول روی سختی مرحله دوم ساخت ج- نیروهای خارجی فرضی برای تغییر شکلهای گام اول

شکل ۱۴- منظور نمودن تغییر شکلهای مرحله اول ساخت در آغاز تحلیل مرحله دوم



شکل ۱۵- تغییر شکلهای الاستیک مرحله دوم (نرم افزار و دستی)، تجمیع ماتریس نیروهای خارجی با ماتریس نیروهای فرضی

جدول ۴- بدست آوردن فاکتور k_4 بر حسب درصد رطوبت

درصد رطوبت %	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰
k_4	۰/۲۱	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۷۴

جدول ۵- بدست آوردن فاکتور k_6 از روی نوع سنگدانه

Aggregate Type	Auckland basalt	Northern greywacke	Central greywacke	Southern greywacke	Other andesite/basalt/gabro	Taranaki andesite	Dunedin phonolite
Factor k_6	1.1	1.0	0.8 - 1.4	0.9	1.2	0.9	0.8

برای مثال خلاصه نتایج و محاسبه ضریب خزش در مرحله اول، طبق رابطه ۲ برای عضو شماره ۵ (تیر سقف اول در قاب) در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

محاسبات فوق عیناً با نتایج نرم افزار Etabs محاسبه شده است (شکل ۱۶) و نتیجه برای عضو شماره ۵ طبق مدل نیوزلند و در دوره

$$t_h = \frac{2A_g}{u_e} \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{\alpha_2 t^{0.8}}{t^{0.8} + 0.15 t_h} \quad (4)$$

$$\alpha_2 = 1 + 1.12 \exp(-0.008 t_h)$$

$$k_3 = \frac{2.7}{1 + \log t} \quad t > 1 \text{ day} \quad (5)$$

$$f'_c \leq 50 \text{ MPa}$$

$$k_5 = 1$$

$$100 \text{ MPa} \geq f'_c > 50 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$k_5 = (2 - \alpha_3) - 0.02(1 - \alpha_3)f'_c$$

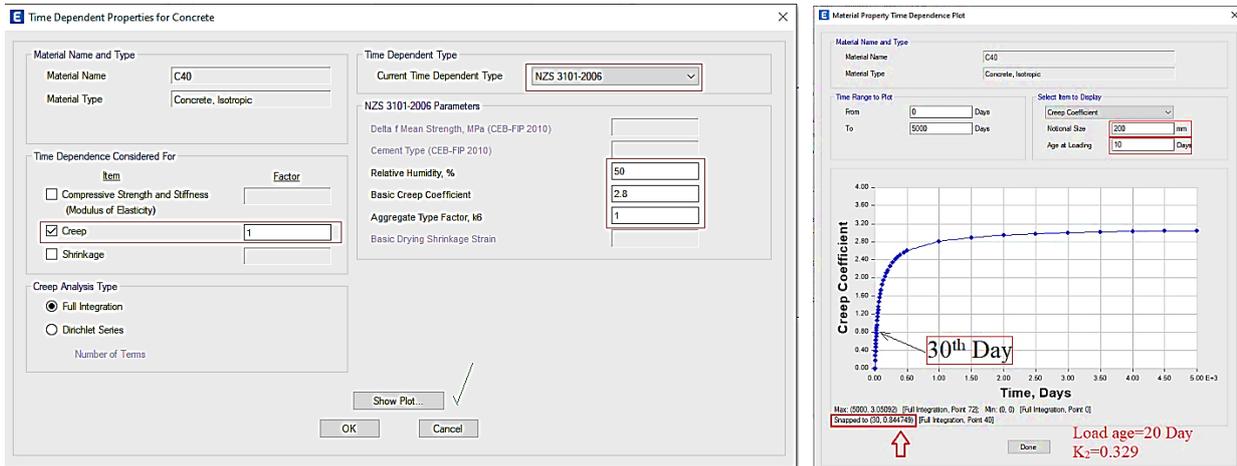
جدول ۳- ضریب خزش پایه بر حسب مقاومت مشخصه

f'_c	۱۰۰	۸۰	۶۵	۵۰	۴۰	۳۲	۲۵	۲۰
$\phi_{cc,b}$	۱/۵	۱/۷	۲	۲/۴	۲/۸	۳/۴	۴/۲	۵/۲

حضور بار دائم D1 به مدت ۲۰ روز روی بتن با بلوغ ۱۰ روزه با خزش طراحی برای هر عضو در هر مرحله محاسبه و در جدول ۷ نتایج محاسبات دستی یکسان می‌باشد. به همین ترتیب ضرایب نشان داده شده است.

جدول ۶- محاسبه ضریب خزش طراحی ϕ_{cc} در مرحله اول برای عضو شماره ۵

شاخص	$2A_g$	u_e	t_h	α_2	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	$\phi_{cc,b}$	ϕ_{cc}
مقدار	۳۲۰۰۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰	۱/۲۲۶	۰/۳۲۹	۱/۳۵	۰/۶۸	۱	۱	۲/۸	۰/۸۴۵



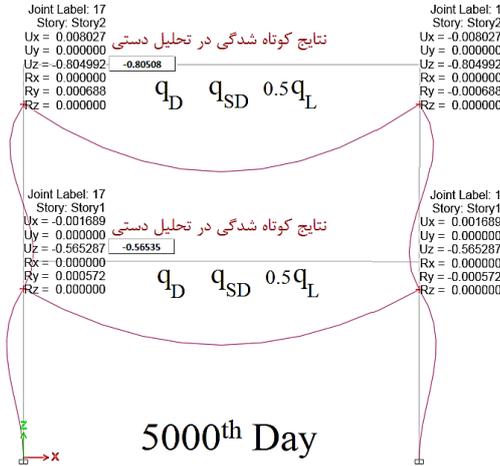
شکل ۱۶- ضریب خزش طراحی ϕ_{cc} برای عضو شماره ۵، مطابق با خروجی نرم افزار ETABS

جدول ۷- محاسبه ضریب خزش طراحی ϕ_{cc} برای تمام اعضاء در گامهای مختلف تحلیل

شاخص	$2A_g$	شماره عضو	عضو ۱	عضو ۲	عضو ۳	عضو ۴	عضو ۵	عضو ۶
Stage 1	Age Concrete ¹ =10 Day Start time=0 Duration days=20 D_1	سن بتن در زمان اعمال بار (روز)	۱۰	۱۰	۱۰	*	۱۰	*
		مدت حضور دائم بار تا گام بعدی (روز)	۲۰	۲۰	۲۰	*	۲۰	*
		(ϕ_{cc})	۰/۸۴۵	۰/۸۴۵	۰/۶۲۷	*	۰/۸۴۵	*
Stage 2	Age Concrete ² =10 Day Start time=20 Duration days=20 D_1, D_2	سن بتن در زمان اعمال بار (روز)	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰	۳۰	۱۰
		مدت حضور دائم بار تا گام بعدی (روز)	۴۹۷۰	۴۹۷۰	۴۹۷۰	۴۹۷۰	۴۹۷۰	۴۹۷۰
		(ϕ_{cc})	۰/۲۳۵	۰/۲۳۵	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴
Stage 3	Start time=40 Duration days=30 SD_1, SD_2	سن بتن در زمان اعمال بار (روز)	۵۰	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۳۰
		مدت حضور دائم بار تا گام بعدی (روز)	۴۹۵۰	۴۹۵۰	۴۹۵۰	۴۹۵۰	۴۹۵۰	۴۹۵۰
		(ϕ_{cc})	۰/۲۲۶	۰/۲۲۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
Stage 4	Start time=70 Duration days=4920 $0.5L_1, 0.5L_2$	سن بتن در زمان اعمال بار (روز)	۸۰	۸۰	۸۰	۶۰	۸۰	۶۰
		مدت حضور دائم بار تا گام بعدی (روز)	۴۹۲۰	۴۹۲۰	۴۹۲۰	۴۹۲۰	۴۹۲۰	۴۹۲۰
		(ϕ_{cc})	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۱۹۲	۰/۱۹۲	۰/۱۹۲	۰/۱۹۲

* ضریب خزش طراحی در در مرحله دوم از ساخت برای بار D1، در تحلیل دستی و نرم افزار در یک ضریب پیری (X) ضرب شده است.

به منظور در نظر گرفتن اثرات وابسته به زمان، لازم است برای هر گام، ماتریس سختی شکل ۱۱ و ۱۳ را با جایگذاری ضرایب خزش طراحی برای هر عضو تشکیل داده و با داشتن ماتریس نیروها مقدار کوتاه شدگی ناشی از خزش را محاسبه نمود. سپس مجموع نتایج کوتاه شدگی الاستیک و کوتاه شدگی خزشی قابل تعیین است. از این رو نتایج تحلیل نرم افزار ETABS و نتایج تحلیل دستی که در نرم افزار اکسل تنظیم شده است برای گام آخر تحلیل و در روز ۵۰۰۰ام از شروع ساخت (۴۹۹۰ روز پس از بارگذاری اولین طبقه) در شکل ۱۷ مشخص شده است. نتایج تحلیل دستی عیناً مطابق با نتایج نرم افزار است.



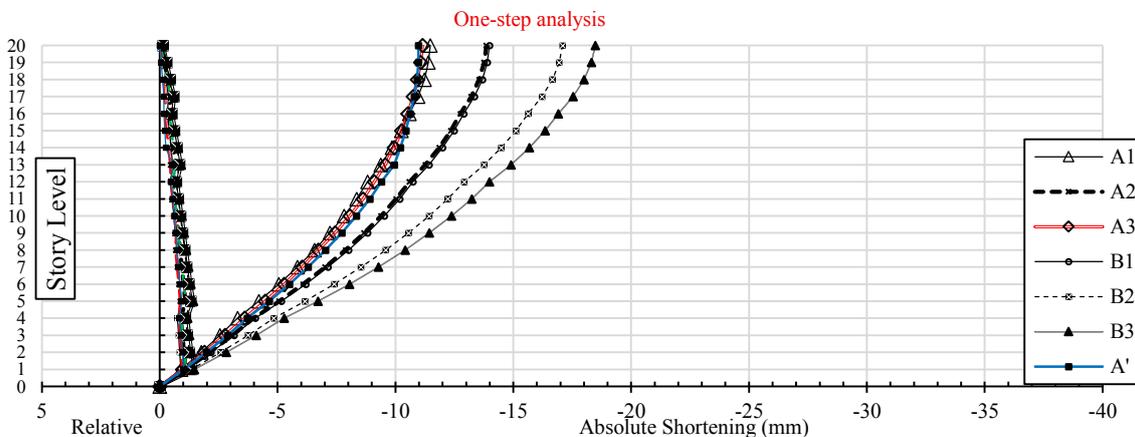
شکل ۱۷- تجمیع تغییر شکل های الاستیک و غیر الاستیک (خزشی) در روز ۵۰۰۰ام از شروع ساخت در تحلیل دستی و نرم افزار

در مقایسه ستونهای C1 بیشترین کوتاه شدگی در ستون B3 (ستون میانی) و در سایر ستونهای C1 به ترتیب برای ستونهای B1، B2، A2 و A1 کوتاه شدگی بیشتری حاصل شده است. ستون C2 و لبه دیوار سازه ای بتن آرمه در مجانب باز شو به علت تنشهای محوری کمتر در بارهای ماندگار، کوتاه شدگی کمتر حاصل گردید. برای مقایسه بهتر هر سه آنالیز، در نمودار شکل ۲۱ نتایج کوتاه شدگی نسبی و مطلق برای ستون A1 تحت هر سه آنالیز در یک نمودار باهم مقایسه شده اند.

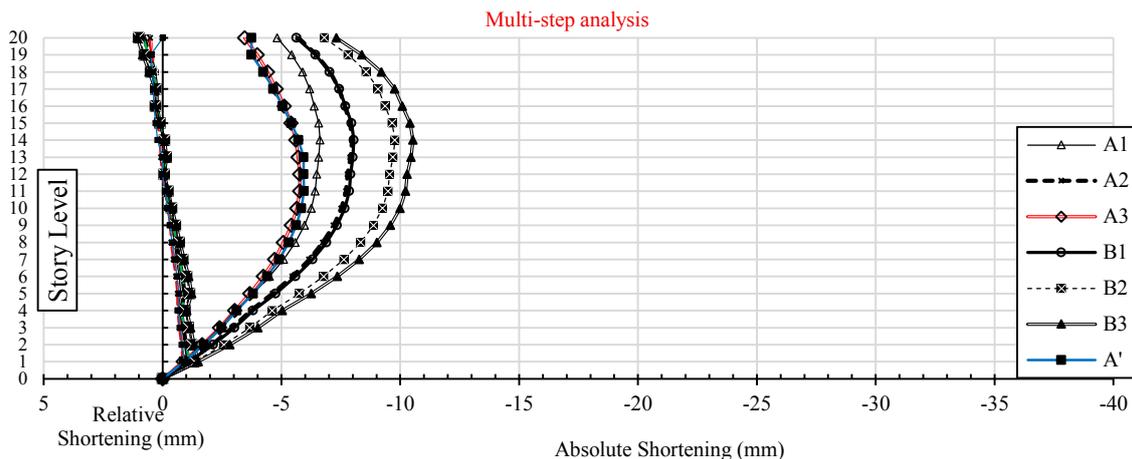
۴- بررسی نتایج ساختمان ۲۰ طبقه

۴-۱- مقایسه آنالیز متداول و مرحله ای با و بدون اثر خزش

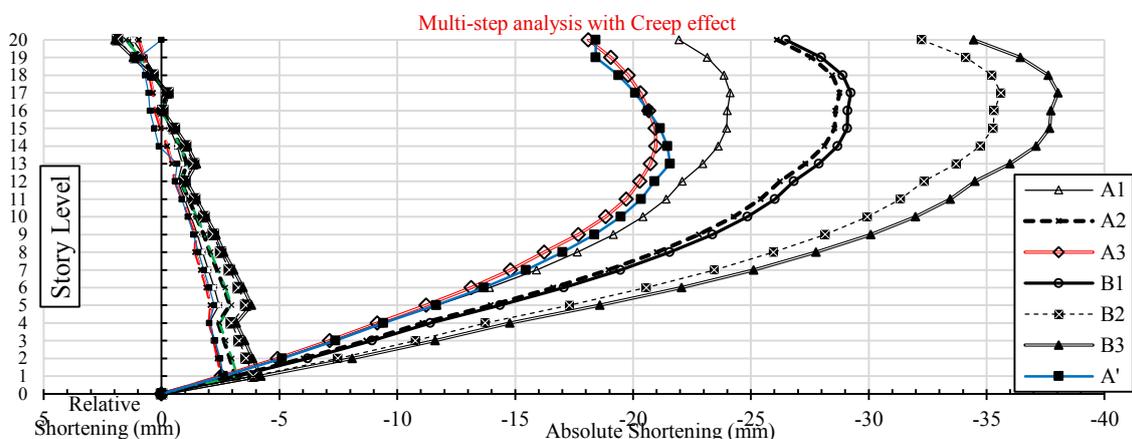
کوتاه شدگی تفاضلی و تجمعی در ستونهای (A1-A2-A3) و لبه دیوار در مجانب باز شو (A') در پلان سازه مورد بررسی تحت سه آنالیز متداول، مرحله ای با و بدون اثر خزش، در شکلهای ۱۸ الی ۲۰ با هم مقایسه شده است. تیپ تمام ستونها به جز ستون مجانب باز شو (C2)، یکسان است.



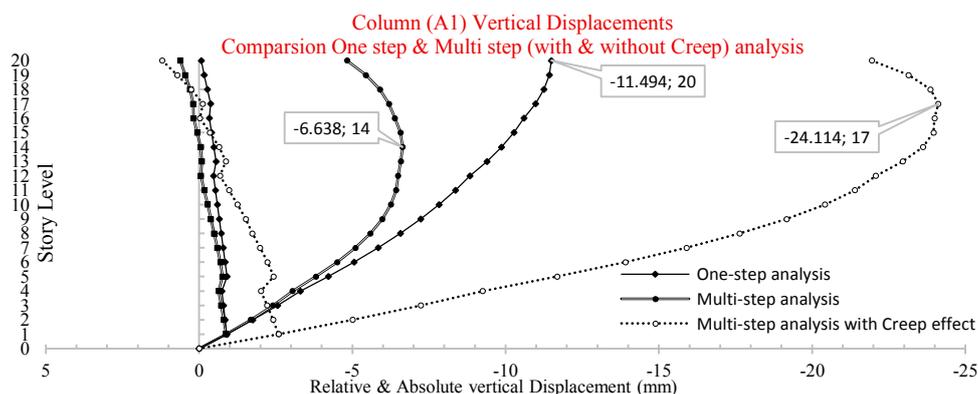
شکل ۱۸- کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستونها و لبه دیوارهای پلان شکل ۳ تحت آنالیز متداول



شکل ۱۹- کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستونها و لبه دیوارهای پلان شکل ۳ تحت آنالیز مرحله‌ای بدون خزش



شکل ۲۰- کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستونها و لبه دیوارهای پلان شکل ۳ تحت آنالیز مرحله‌ای با اثر خزش



شکل ۲۱- کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستون A1 تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای بدون خزش، مرحله‌ای با اثر خزش

در آنالیز یک مرحله‌ای (تمام بارهای ماندگار ثقلی همزمان به سازه اعمال می‌شود) همیشه مقادیر جابجایی قائم در هر طبقه به صورت کوتاه شدگی الاستیک عضو قائم بروز می‌کند. کوتاه شدگی الاستیک هر طبقه تابع مقدار نیروی محوری، طول عضو، سطح مقطع و مدول الاستیسیته مصالح است. اگر در هر طبقه جابجایی گره پایینی طبقه را (δ_1) و جابجایی گره فوقانی طبقه را (δ_2) نامگذاری کنیم، در پایین‌ترین طبقه مقدار جابجایی قائم گره تحتانی (δ_1) با صرف نظر از هرگونه خزش در فونداسیون صفر است. جابجایی گره فوقانی در پایین‌ترین طبقه (δ_2) به علت کوتاه

شدگی اعضای قائم است. جابجایی نسبی هر طبقه از رابطه 81-
 82 حاصل می‌گردد. جابجایی مطلق در هر طبقه از تجمع جابجایی‌های نسبی منتج می‌شود. منظور از جابجایی مطلق، میزان تغییر شکل قائم طبقه نسبت به تراز طراحی و نقشه‌ها است. اگر مدول الاستیسیته مصالح و سطح مقطع ثابت فرض شده و توزیع و مقدار بارهای ثقلی ماندگار در طبقات یکسان باشد، لذا بیشترین و کمترین کوتاه شدگی قائم الاستیک به ترتیب در پایین‌ترین و بالاترین طبقه رخ می‌دهد. با تغییرات زیاد در مقطع ستون بتن آرمه ممکن است تغییر شکل نسبی ماکزیم الزاماً در پایین‌ترین طبقه نباشد. در صورتی که نوع مصالح، ارتفاع طبقات، جهت توزیع بارهای ماندگار و مقدار آنها در ارتفاع ثابت بوده ولی سطح مقطع اعضا در ارتفاع کاهش یابد (همانند مطالعه حاضر)، این امکان وجود دارد که حداکثر جابجایی نسبی در ستون بتن آرمه پایین‌ترین طبقه رخ ندهد. لذا هرچقدر مقدار تغییرات مقطع در ارتفاع تدریجی و با نرخ کمتری صورت پذیرد، امکان وقوع جابجایی نسبی بیشتر در طبقه بالا نسبت به پایین کمتر است. در شکل 19 تحت هر سه آنالیز در محل تغییر مقطع ستون بتن آرمه A1 افزایش کوتاه شدگی نسبی ستون نسبت به طبقه زیرین مشهود است و در نمودار تجمعی نیز تغییرات شیب در این محل مشخص است. کوتاه شدگی نسبی الاستیک تحت آنالیز متداول در بالاترین طبقه صفر نبوده و هرگز نمیتواند مقدار مثبت داشته باشد. اثر کاهش سطح مقطع در آنالیزهای چند مرحله به ویژه با اثر توام خزش، مشهودتر است.

در آنالیز چند مرحله‌ای (بارهای ثقلی حین ساخت در هر گام از ساخت اعمال شده و پس از تغییر شکل، گام بعدی اجرا شده است و سایر بارهای ثقلی ماندگار در انتهای دوره ساخت اعمال شده است) فرض بسیار حائز اهمیت این است که در هر مرحله از ساخت، طبقات و المانها دقیقاً در تراز طراحی خود واقع شوند. به طور مثال، طبقه اول ابتدا دقیقاً در تراز مورد نظر اجرا شده، سپس تغییر شکل‌ها در این طبقه در اثر بخشی از بارهای ثقلی ماندگار ایجاد می‌شود. سپس طبقه دوم مجدداً در تراز طراحی خود اجرا می‌شود. هرچند در این گام از ساخت، ارتفاع اعضای قائم طبقه دوم به میزان کوتاه شدگی ناچیز گام قبلی با افزایش بسیار جزئی همراه است اما حتماً در تراز خود واقع می‌شوند. کوتاه شدگی‌های نسبی و مطلق در آنالیز چند مرحله‌ای همیشه از آنالیز متداول (تک

مرحله‌ای) کمتر است (شکل 19).
 در آنالیز چند مرحله‌ای مقدار حداکثر جابجایی مطلق اغلب در طبقه فوقانی اتفاق نمی‌افتد. ضمناً مقدار مثبت جابجایی نسبی، مشروط بر اینکه تمام طبقات در تراز طراحی شده، اجرا شده باشند بیانگر افزایش ارتفاع طبقه است. به طور مثال اگر تمام طبقات در تراز خود احداث شوند بیشترین کوتاه شدگی ستون A1 نسبت به تراز طراحی شده، در طبقه چهاردهم اتفاق افتاده و طبقات بالاتر آن با افزایش ارتفاع همراه خواهند بود.

اختلاف بین آنالیز یک مرحله‌ای و آنالیز چند مرحله‌ای به مقدار سهم بارهای حین ساخت از کل بارهای ثقلی ماندگار وابسته است. هرچقدر بارهای حین ساخت منجمله وزن خود اعضا بیشتر باشد، اختلاف کوتاه شدگی‌های قائم الاستیک در تحلیل تک و چند مرحله‌ای بیشتر خواهد بود. در مقایسه آنالیز مرحله‌ای توام با خزش با آنالیز بدون اثر خزش، کوتاه شدگی‌ها در هر مرحله به علت کوتاه شدگی خزشی افزایش می‌یابد.

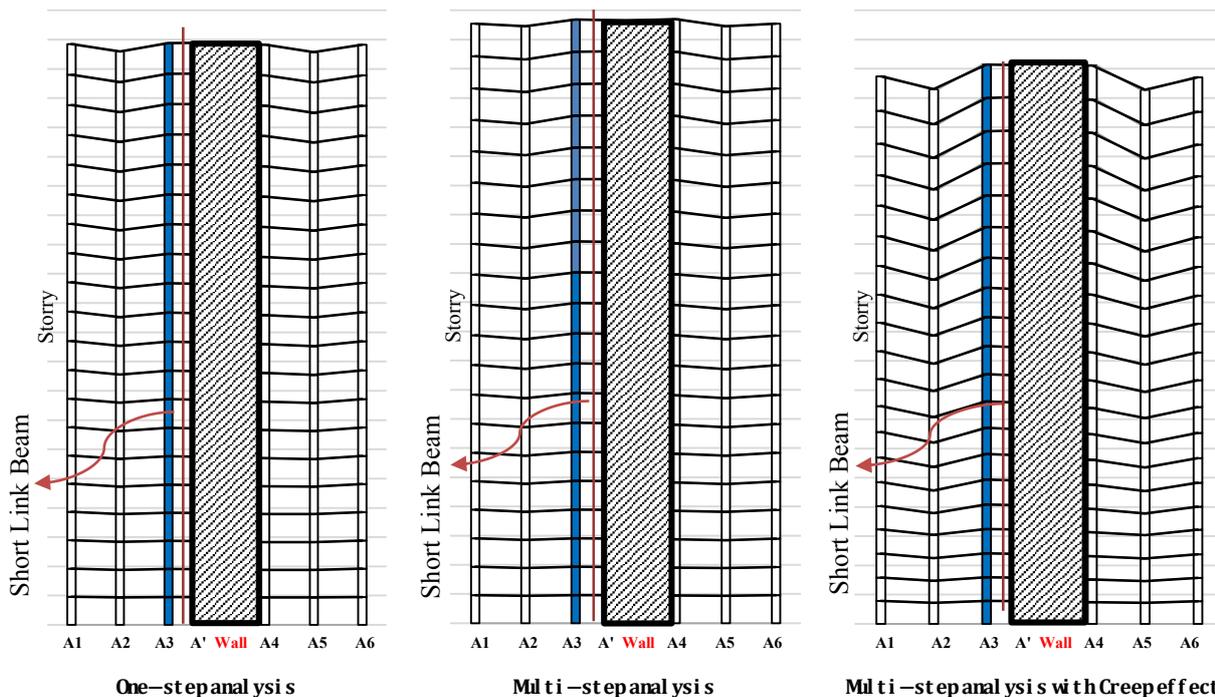
حداکثر جابجایی مطلق با منظور نمودن اثرات خزش نیز در طبقه‌ای پایین‌تر از آخرین طبقه، و بالاتر از طبقه‌ای که حداکثر جابجایی در حالت بدون اثر خزش اتفاق افتاده است، ایجاد خواهد شد. در ستون A1 کوتاه شدگی مطلق تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای و آنالیز مرحله‌ای توام با اثر خزش به ترتیب در طبقات 20، 14 و 17 بوده است. همانطور که پیشتر بیان شد، نتایج آنالیز مرحله‌ای نشان می‌دهد که مقادیر جابجایی نسبی مثبت صرفاً بیانگر افزایش ارتفاع عضو قائم اجرا شده نسبت به طول تحلیلی است. توجه به این مورد بسیار ضروری است که بخشی از کوتاه شدگی‌های نسبی مثبت در آنالیزهای خزشی اعضای قائم پس از اجرای سازه و ایجاد قیود در اعضا پدید می‌آید.

برای درک بهتر کوتاه شدگی‌ها تحت سه آنالیز متداول (تک مرحله‌ای)، چند مرحله‌ای و چند مرحله‌ای توام با اثر خزش میزان کوتاه شدگی در تمام اعضای قاب مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به صورت تصویر شماتیک و تغییر شکل یافته در قابهای A، C از محور قائم سازه و قابهای 1 و 3 از محور افقی سازه تحت هر سه آنالیز ترسیم شده است (شکل 22 الی 25). کوتاه شدگی‌ها در تصویر شماتیک نسبت به هم با یک مقیاس یکسان و 400 برابر ارتفاع طبقه ترسیم شده است.

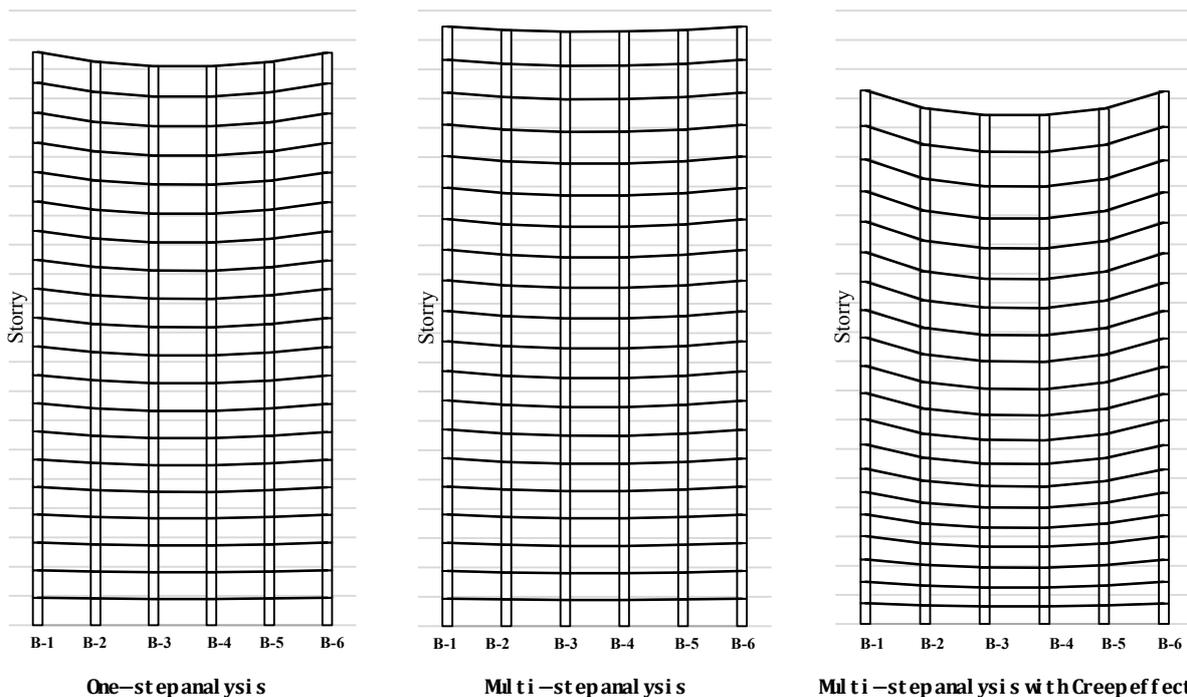
در تصاویر زیر چند نکته بسیار حائز اهمیت است. همانطور که

است. هرچند این مقطع بر اساس تحلیل و طراحی خطی برای بار جانبی حاصل شده است، اما وابستگی مستقیم تفاوت کوتاه شدگی‌های اعضای قائم را بر تنش‌های حالت سرویس به وضوح نشان می‌دهد. انتخاب مقطع بر اساس تنش‌های حالت حدی سرویس و توزیع مناسب بارهای ثقلی در ساختمان‌های بلند بتن آرمه حائز اهمیت است.

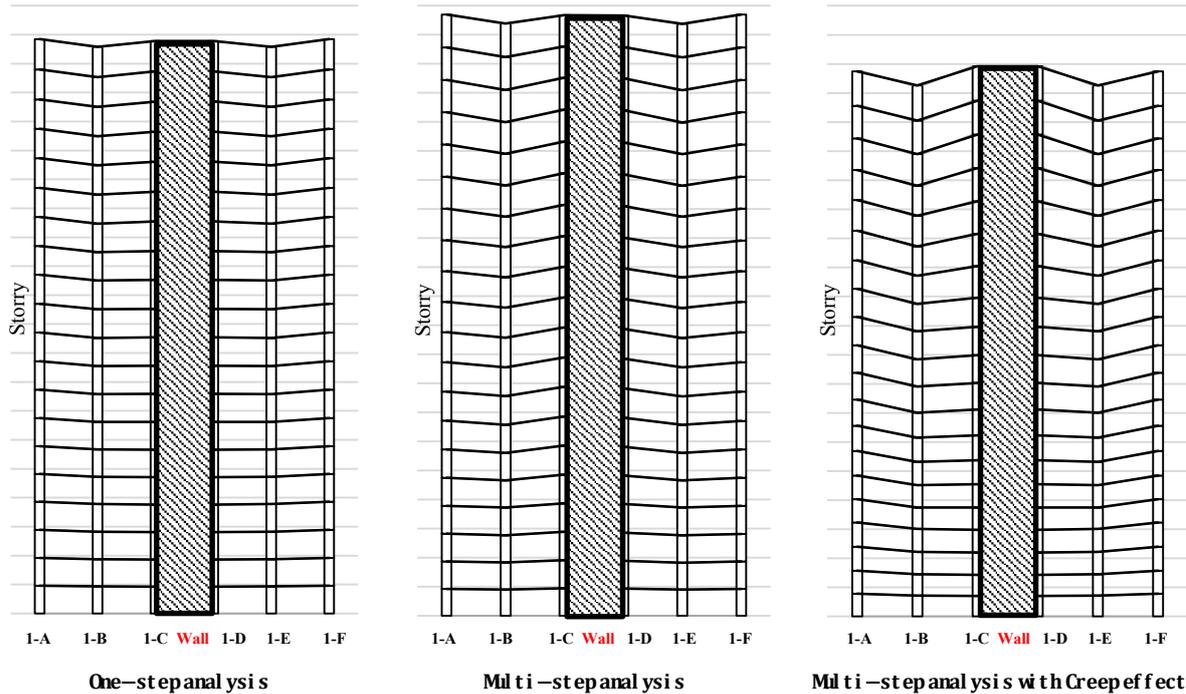
انتظار می‌رفت، کوتاه‌شدگی اعضای قائم با بار ثقلی بیشتر در ستون‌های C1 مشخص است. هرچند کوتاه‌شدگی دیوارها نسبت به ستون‌های باربر مجاور آنها کمتر بوده است. بیشترین تفاوت کوتاه‌شدگی در تصاویر مشهود است. نکته مورد توجه تفاوت کوتاه‌شدگی ناچیز در دو سر تیر رابط کوتاه است. این موضوع به دلیل انتخاب مقطع بزرگتر برای ستون A3 نسبت به سایر ستون‌ها



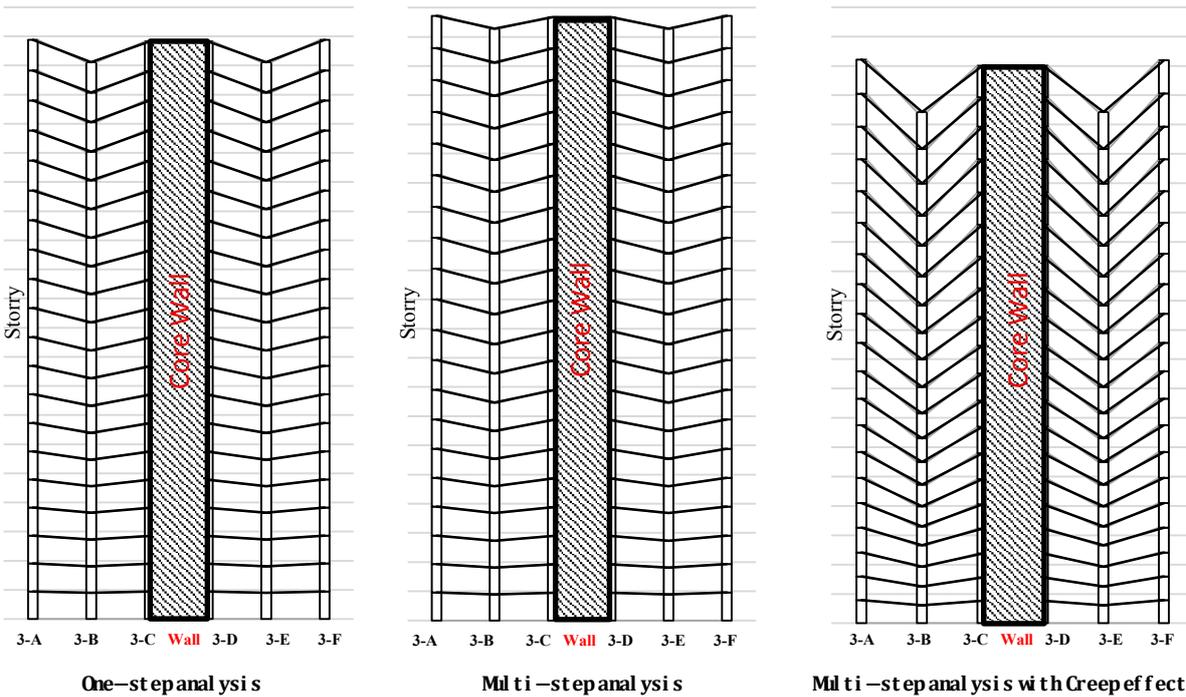
شکل ۲۲- تصویر شماتیک کوتاه‌شدگی اعضای قائم در قاب A تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای و مرحله‌ای توأم با اثر خزش



شکل ۲۳- تصویر شماتیک کوتاه‌شدگی اعضای قائم در قاب B تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای و مرحله‌ای توأم با اثر خزش



شکل ۲۴- تصویر شماتیک کوتاه شدگی اعضای قائم در قاب ۱ تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای و مرحله‌ای توأم با اثر خزش



شکل ۲۵- تصویر شماتیک کوتاه شدگی اعضای قائم در قاب ۳ تحت سه آنالیز متداول، مرحله‌ای و مرحله‌ای توأم با اثر خزش

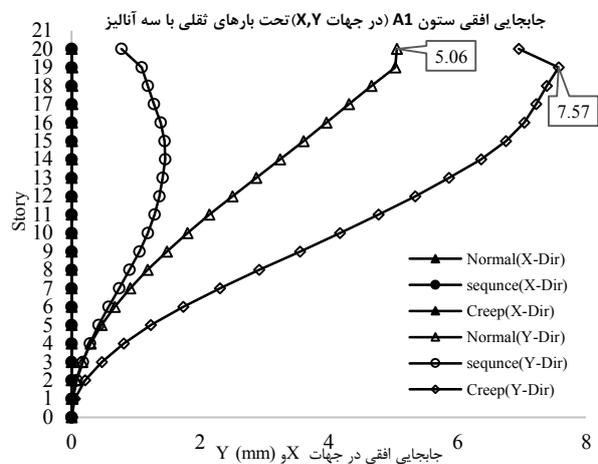
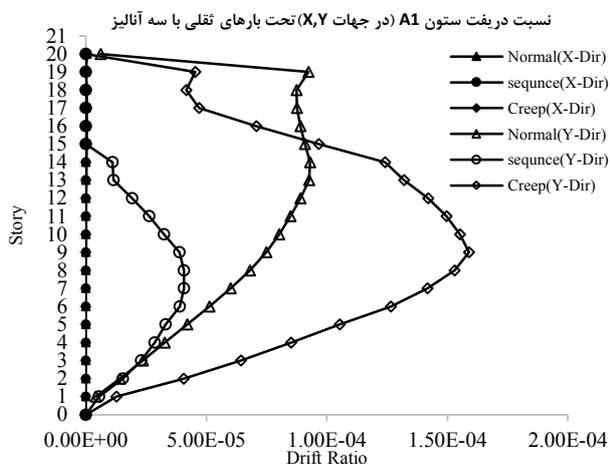
۲-۴- تأثیر کوتاه شدگی‌های غیر الاستیک در تغییر مکان‌های جانبی سازه (بروز تغییر مکان جانبی تحت بار ثقلی دراز مدت)

مجانب ستون در قابهای (A و F) مرکز جرم و سختی در راستای محور Y اختلاف بسیار ناچیز دارند. به لحاظ هندسی محور X نمیتواند محور تقارن هندسی سازه (و محور تقارن سختی محوری سازه) باشد. از این رو جابجایی‌های افقی ستون گوشه A1 در راستای محور X و محور Y بررسی شده است (شکل ۲۶). جابجایی

سازه مورد مطالعه حول هر دو محور منظم بوده و در راستای محور X مرکز جرم و سختی بر هم منطبق است. به علت وجود باز شو در

هندسی قاب A مشاهده می‌شود. همچنین تغییرشکلهایی غیر الاستیک قائم ناشی از خزش موجب افزایش جابجایی جانبی ستون A1، در دراز مدت شده است.

افقی ستون گوشه A1 در جهت محور X (در راستای قاب ۱) تحت سه آنالیز تقریباً نزدیک به صفر بوده و در جهت محور Y (در راستای قاب A) مقادیر جابجایی افقی به علت عدم تقارن



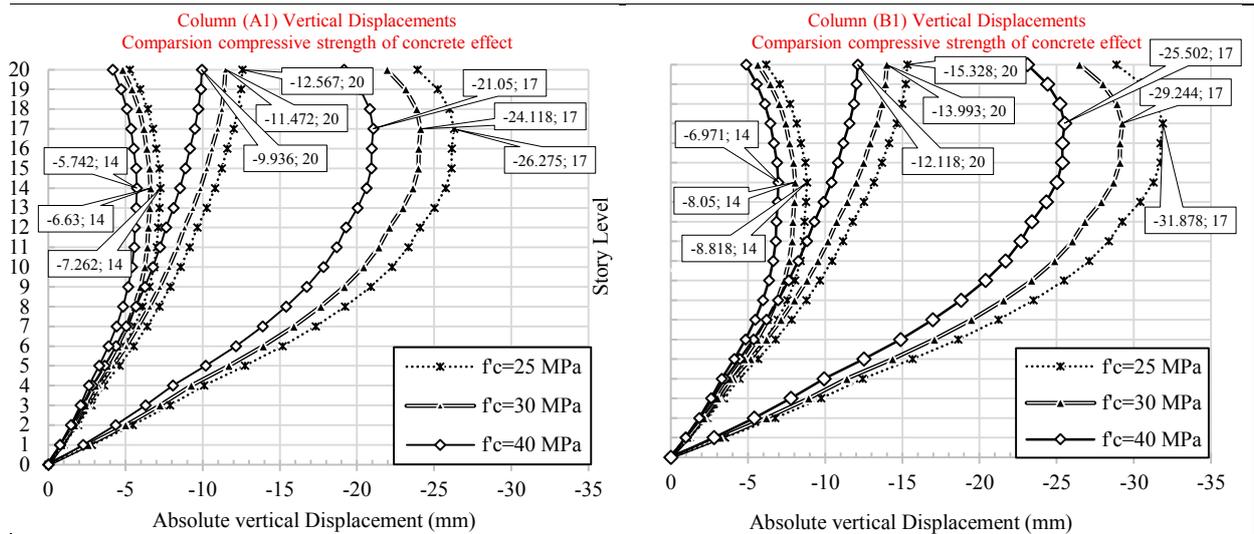
شکل ۲۶- جابجایی افقی و نسبت دریفت در جهات (X, Y) تحت بار ثقلی در ستون A1 تحت سه آنالیز

تغییرات مدول الاستیسیته است. با توجه به اینکه تغییر مدول الاستیسیته رده C25 حدود ۸/۸ درصد نسبت به رده C30 کاهش داشته است لذا نتایج تغییر مکانهای قائم در تمام اعضاء برای رده C25 نسبت به رده C30 در هر سه تحلیل، با همین نسبت با افزایش جابجایی قائم همراه بوده است. همچنین این موضوع در مقایسه رده C30 با رده C40 صادق است. نتایج تحلیل با تغییرات مقاومت فشاری بتن و سطح مقطع ثابت، به نسبت تغییرات مدول الاستیسیته و سختی محوری اعضاء تغییر می‌کند. مورد توجه است که اثر درصد آرماتور در مدل‌های خزشی تا کنون مطرح نشده است.

بدین ترتیب در صورت استفاده از بتن رده C50، مدول الاستیسیته مطابق با پیشنهادات مرجع [۲۴] حدود ۱/۲۹ برابر بتن رده C25 است. لذا انتظار می‌رود در صورت استفاده از بتن رده C50 جابجایی‌های قائم در هر سه تحلیل حدود ۷۷/۵ درصد کوتاه شدگی‌ها در بتن رده C25 باشد. با نگاهی به مدل خزشی نیوزلند، مشهود است که در صورت استفاده از بتن‌های مقاومت بالا (بتن با رده بیش از ۵۰ مگاپاسگال) نتایج تحلیل خزشی علاوه بر کاهش نسبی در اثر افزایش مدول الاستیسیته، با کاهشی به علت اصلاح ضریب خزشی همراه خواهد بود. بدیهی است که در صورت استفاده از بتن با مقاومت بالاتر از C50، کوتاه شدگی‌ها بیشتر از نسبت افزایش مدول الاستیسیته بتن کاهش می‌یابد.

۴-۳- تأثیر مقاومت فشاری بتن بر کوتاه شدگی قائم غیر الاستیک (خزش)

مقاومت فشاری یکی از شاخصهای تحلیل‌های سازه‌ها است؛ سازه مرجع مطالعه حاضر برای رده مقاومتی ۳۰ مگاپاسگال تحلیل و طراحی شده است. با فرض مقاطع ثابت با تغییر مقاومت فشاری مقدار کوتاه شدگی‌های المان‌های قائم تحت ترکیب بارهای ثقلی ماندگار (بدون ضریب) برای سه رده مقاومتی ۲۵، ۳۰ و ۴۰ مگاپاسگال استخراج گردید. بدیهی است که معمولاً با افزایش کاهش مقاومت فشاری مقاطع طراحی می‌توانند تغییر کنند. معمولاً مقاطع طراحی شده با توجه به محدودیت سختی و نسبت جابجایی طبقه، تعیین می‌شوند. لذا افزایش مقاومت فشاری به علت آنچه پیشتر بیان شد، اغلب موجب تغییر درصد آرماتورهای مقطع شده و تغییر ابعادی در مقاطع معمولاً توسط طراح سازه ناچیز است. در این مطالعه تغییرات افزایش مقاومت فشاری بدون تغییرات ابعادی بوده است. نتایج تغییر شکل قائم تجمعی مطلق سه تحلیل تک مرحله‌ای، چند مرحله‌ای و آنالیز چند مرحله‌ای با اثر خزش، برای ستونهای A1 و B1 در شکل ۲۷ مشاهده می‌شود. سایر شاخصها و مقاطع ثابت است. نتایج تغییر مکانهای قائم نسبی در هر طبقه و تغییر مکانهای قائم مطلق تحت آنالیز ۱ و ۲ (آنالیز یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای) نشان می‌دهد که مقدار درصد تغییر نتایج معادل



شکل ۲۷- مقایسه کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستونهای A1 و B1 با تغییرات رده مقاومتی بتن تحت سه نوع آنالیز

در این مطالعه، کوتاه شدگی اعضای قائم در قاب A سازه، برای نرخ ساخت ۲۰ و ۴۰ روز برای هر طبقه محاسبه شد و تصویر شماتیک تغییر شکل یافته قابها در شکل ۲۹ نشان داده شده است. کوتاه شدگی‌ها در تصویر شماتیک نسبت به هم با یک مقیاس یکسان ترسیم شده‌اند. واضح است که افزایش مدت زمان ساخت موجب، کاهش کوتاه شدگی طبقات شده است. اما به علت اینکه اغلب اعضاء در یک محدوده کوتاه شدگی داشته‌اند، لذا تفاضل کوتاه شدگی‌ها ناچیز خواهد بود. با این حال، نکته مهم این است که بیشترین تفاضل کوتاه شدگی در قاب مورد بررسی، در نزدیکی قسمت بالایی ساختمان و بین دیوار و ستون با مقطع کوچکتر رخ می‌دهد.

۴-۵- تأثیر درصد رطوبت نسبی محیط بر کوتاه شدگی قائم غیر الاستیک (خزش)

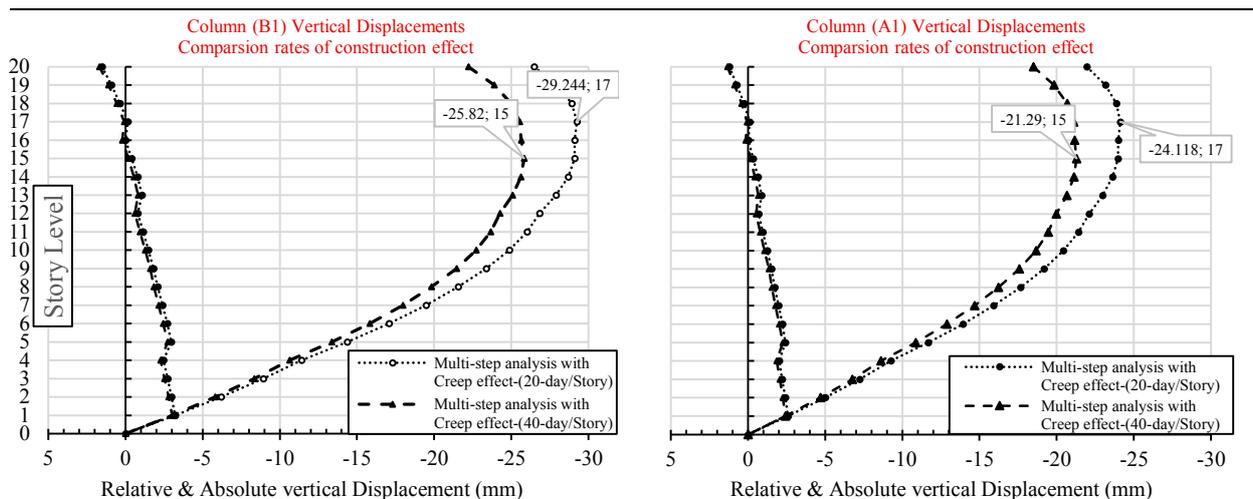
رطوبت نسبی از شاخصهای مؤثر بر نتایج تحلیل‌های وابسته به زمان است. مطالعات در مورد رطوبت نسبی مکان پروژه‌های بلند مرتبه اهمیت دارند. به دلیل تأثیر رطوبت نسبی بر نرخ هیدراتاسیون سیمان، خزش و انقباض نیز به شدت به آن وابسته هستند. در این مطالعه، رطوبت نسبی ۵۰ درصد در نتایج سازه مرجع پیشتر ارائه شد. آنالیزهای مرحله‌ای با منظور نمودن اثر خزش در پروژه مذکور برای رطوبت نسبی ۴۰ و ۹۰ درصد که مقادیر حداقل و حداکثر قابل قبول مدل خزشی مرجع [۲۳] می‌باشد نیز در نظر گرفته شده است. سایر شاخصها نسبت به سازه مرجع ثابت است. درضمن نتایج آنالیزهای

۴-۴- تأثیر نرخ ساخت ساختمان بر کوتاه شدگی قائم غیر الاستیک (خزش)

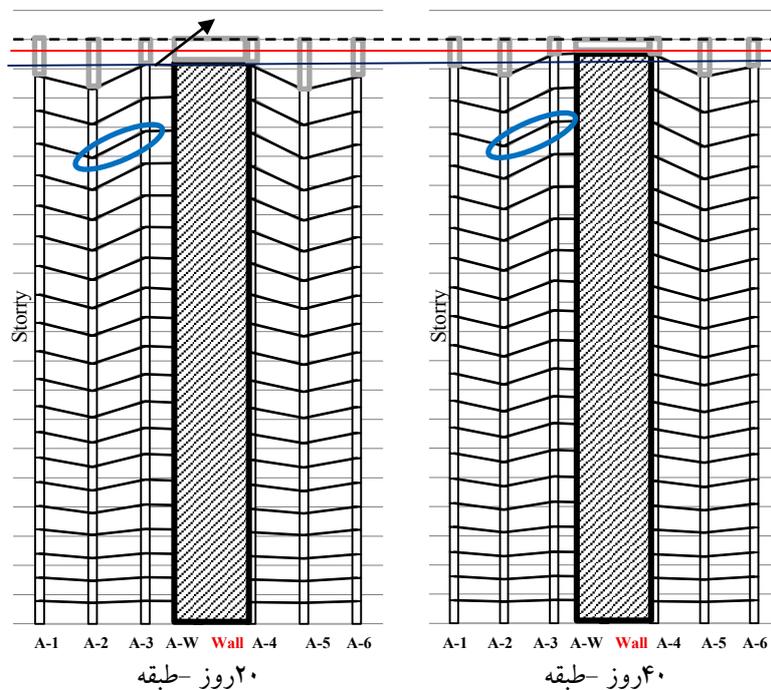
نرخ ساخت یکی از شاخصهای اصلی تحلیل‌های وابسته به زمان منجمه تحلیل خزشی است؛ این نرخ می‌تواند بر اساس شرایط مهندسی و مدیریت پروژه و شرایط آب و هوایی تعیین شود. بدیهی است که نرخ ساخت در آنالیز متداول (تک مرحله‌ای) و همچنین آنالیز چند مرحله‌ای بدون مستقل از شاخصهای وابسته به زمان هیچ اثری نداشته و در آنالیز خزشی (آنالیز وابسته به زمان) نرخ ساخت مؤثر است.

تغییر شکل‌های قائم تحت بارهای دائمی ماندگار برای ستون A1 در قاب A و ستون B1 در قاب محور ۱ برای نرخ ساخت ۲۰ و ۴۰ روز برای هر طبقه تحت آنالیز مرحله‌ای توأم با اثر خزش در شکل ۲۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر کوتاه شدگی اعضای قائم با کاهش نرخ ساخت (افزایش مدت زمان ساخت) کاهش می‌یابد. مقدار اثرپذیری نرخ ساخت در اعضای قائم با مقطع یکسان (ستونهای C1) مساوی بوده و با کاهش نرخ ساخت به نصف نرخ ساخت سازه مرجع (افزایش مدت زمان ساخت تا ۲ برابر سازه مرجع)، کوتاه شدگی مطلق بین ۶ الی ۱۸ درصد (از پایین‌ترین تا بالاترین طبقه) کاهش داشته است. مورد توجه است که در برخی اعضای قائم که تنشهای ایجاد شده تحت وزن خود اعضاء قابل توجه‌تر است (مانند دیوارها و ستون C2)، اثر کاهش نرخ ساخت در کوتاه شدگی مؤثرتر است. هرچند نهایتاً این مقدار بین ۶ الی ۱۸ درصد بدست آمد.

مستقل از زمان با تغییر رطوبت ثابت است. نتایج آنالیز مرحله با اثر خزش برای ستون A1 و B1 در شکل ۳۰ ارائه شده است.



شکل ۲۸- مقایسه کوتاه شدگی نسبی و تجمعی در ستونهای A1 و B1 با تغییرات نرخ ساخت طبقات تحت آنالیز مرحله ای توام با اثر خزش



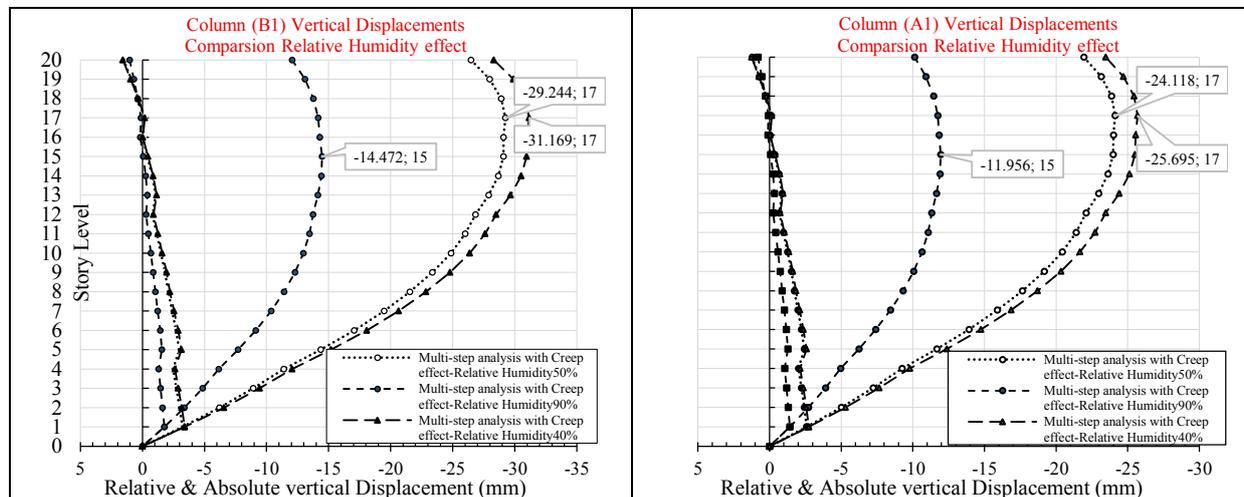
شکل ۲۹- کوتاه شدگی شماتیک اعضای قاب A با نرخ ساخت متفاوت

مؤثر واقع شود. تأثیر رطوبت نسبی بر تحلیل خزشی بسیار قابل توجه است. در واقع، مهندسان سازه باید به شرایط اقلیمی در هر منطقه توجه کنند.

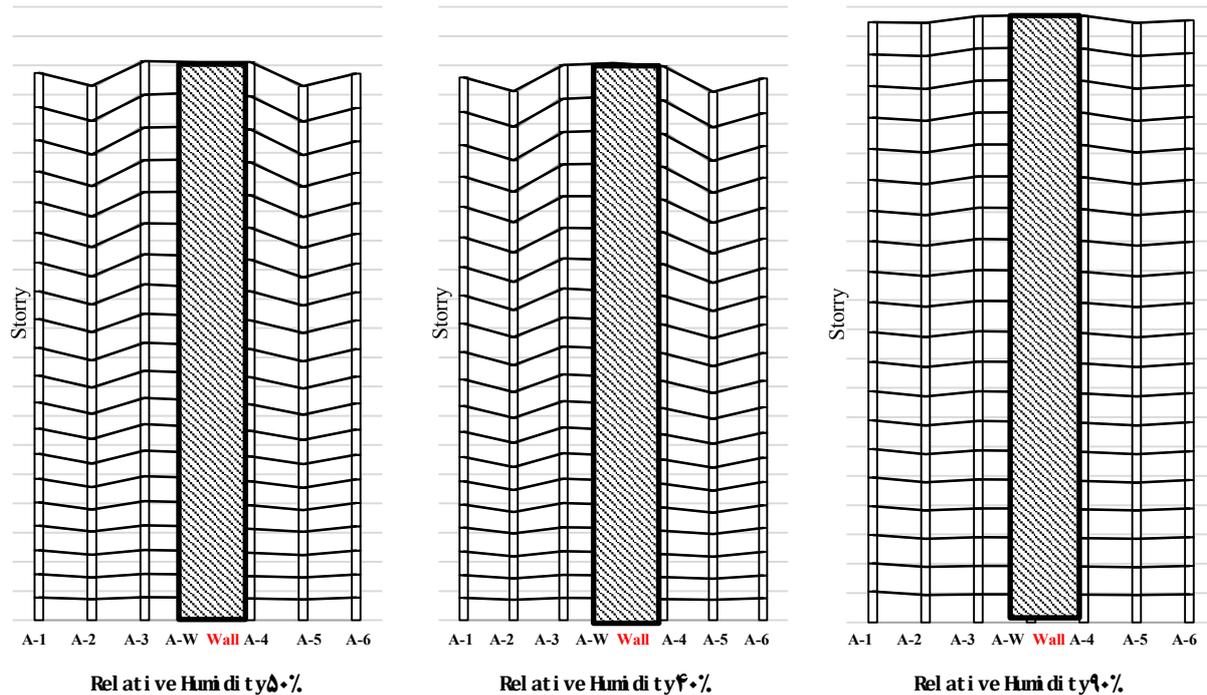
اگر به نتایج شکل ۲۸ توجه شود، واضح است که هرگاه رطوبت نسبی افزایش یابد، خزش و میزان تغییر شکل قائم کاهش می یابد. به طور کلی با مقایسه نتایج، مشخص می شود که مقادیر درصد تغییرات کوتاه شدگی برای طبقات مختلف در یک ساختمان ۲۰ طبقه با رطوبت ۹۰٪، می تواند نصف نتایج تغییر مکانهای قائم برای

منحنی مقایسه ای تحلیل های خزشی با نسبتها ۴۰، ۵۰ و ۹۰ درصد برای هر عضو قائم قابل بررسی است. از ارائه آنها صرف نظر شده و تغییر شکل شماتیک قاب A تحت آنالیز مرحله با اثر خزش با سه درصد رطوبت مذکور در شکل ۳۱ نشان داده شده است. تغییر شکل ها در هر تحلیل نسبت به هم با یک مقیاس ترسیم شده اند. به طور کلی اثر رطوبت در کل اعضاء در طول ساخت و بهره برداری قابل اهمیت است. نوع کاربری و همچنین طول دوره ساخت می تواند در انتخاب اثر رطوبت متوسط و یا افزایش گامهای تحلیل

ساختمان با رطوبت نسبی ۵۰٪ باشد. با نگاهی به شاخص k_4 در جدول ۴ مشاهده می شود که اثر پذیری تغییرات رطوبتی در رطوبت نسبی پایین ناچیز و در رطوبتهای نسبی بالا بسیار در تغییر شکلها مؤثر است. به عنوان مثال افزایش رطوبت نسبی از ۴۰ تا ۵۰ درصد موجب کاهش کوتاه شدگی تجمعی به میزان ۶ درصد شده و افزایش رطوبت نسبی از ۵۰ تا ۹۰ درصد موجب کاهش تغییر شکل تجمعی قائم به میزان ۵۰ درصد شده است. این تغییر به مقدار زیادی ناشی از رطوبتهای نسبی بالا بوده است.



شکل ۳۰- مقایسه اثر رطوبت نسبی در ستونهای A1 و B1



شکل ۳۱- مقایسه میزان کوتاه شدگی قاب A تحت آنالیز چند مرحله ای توام با اثر خزش برای رطوبتهای نسبی متفاوت

تحلیل های خزشی در رطوبتهای بسیار بالا به نتایج آنالیز مرحله ای نزدیک است. کوتاه شدگی تفاضلی بین اعضای قائم نیز به همین تناسب در رطوبتهای بسیار پایین تشدید شده و در رطوبتهای بالا نسبتاً ناچیز است. به طور کلی در رطوبتهای نسبی کمتر از ۶۰ درصد نتایج کوتاه شدگی های تفاضلی به مقدار ناچیزی متأثر از

۵- نتیجه گیری

اجرای و بهره‌برداری در ساختمان‌های بتن‌آرمه بلند، باید تحلیل‌های مرحله‌ای و اثرات وابسته به زمان بتن به صورت جدی در طراحی و مدل‌سازی مدنظر قرار گیرند.

رفتار کوتاه‌شدگی قائم اعضای بتن‌آرمه در ساختمان‌های بلند با استفاده از سه روش تحلیل (آنالیز متداول یک‌مرحله‌ای، آنالیز چندمرحله‌ای و آنالیز چندمرحله‌ای با لحاظ اثرات وابسته به زمان مانند خزش) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که:

۶- مراجع

- [1] Gilbert RI. Time effect in concrete structures, New York, Elsevier Science Publishing Company Inc., 1988.
- [2] Faber O. Plastic yield, shrinkage and other problems of concrete and their effects on design, Minutes of the Proc. of the Inst. of civil engineers, 225 (1927) 27-73.
- [3] Bazant ZP. Prediction of concrete creep effects using age-adjusted effective modulus method, ACI Journal, 69(1972)212-7.
- [4] Glanville WH. Studies in reinforced concrete III, the creep or flow of concrete under load, Building research technical paper, 12(1930)39-48.
- [5] Nielsen LF. Krichen und relaxation des beton, 65(1970)272-5.
- [6] Choi, C.-K., Chung, H.-K., Lee, D.-G., Wilson, E. L. (1992). "Simplified building analysis with sequential dead loads—CFM". Journal of Structural Engineering, 118(4), pp. 944-954. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:4(944)
- [7] Yi, T., Tong, X. (2007). "Differential column shortening effects in typical medium-to high-rise buildings". In New Horizons and Better Practices (pp. 1-10). Reston, VA: American Society of Civil Engineers. DOI:10.1061/40946(248)97.
- [8] Kwak, H.-G., Kim, J.-K. (2006). "Time-dependent analysis of RC frame structures considering construction sequences". Building and Environment, 41(10), pp. 1423-1434. DOI:10.1016/j.buildenv.2005.05.013
- [9] Kim, H., Jeong, S., Shin, S., Park, J. (2012). "Simplified column shortening analysis of a multi-storey reinforced concrete frame". The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21(6), pp. 405-415. DOI:10.1002/tal.607
- [10] Moragasipitiya, P., Thambiratnam, D., Perera, N., Chan, T. (2010). "A numerical method to quantify differential axial shortening in concrete buildings". Engineering Structures, 32(8), pp. 2310-2317. DOI:10.1016/j.engstruct.2010.04.006
- [11] Gardner, N. J. (2004). "Comparison of prediction provisions for drying shrinkage and creep of normal strength concretes". Canadian Journal of Civil Engineering, 31(5), pp. 767-775. DOI:10.1139/104-046
- [12] Goel, R., Kumar, R., Paul, D. K. (2007). "Comparative study of various creep and shrinkage

روش اجرا و برنامه زمان بندی، در مدل‌سازی بسیار حائز اهمیت است. تیرهای رابط کوتاه در صورت کوتاه‌شدگی تفاضلی زیاد در اعضای قائم متصل به آنها، موجب برش زیاد و ترک خوردگی تحت بار ثقلی خواهند شد. در پژوهش حاضر به علت تنشهای بارهای ماندگار ناچیز و ابعاد زیاد ستون مجانب بازشو، این موضوع کمتر مشاهده شده است.

رعایت اصول تقارن هندسی مقاطع، به ویژه در سازه‌های بلند بتن‌آرمه میتواند اثرات بار ثقلی ماندگار را بر تغییر مکانهای جانبی دراز مدت کاهش دهد. تنوع و تغییرات شدید در مقاطع و همچنین عدم تقارنهای هندسی سبب اختلاف تنشها ماندگار شده و تغییر مکانهای جانبی سازه بلند بتن‌آرمه را تحت بارهای بهره‌برداری در طولانی مدت به همراه خواهد داشت.

در نظر گرفتن توالی ساخت و اثرات وابسته به زمان (خزش) نسبت به تحلیل متداول، تأثیر قابل توجهی بر میزان کوتاه‌شدگی قائم اعضای بتن‌آرمه دارد. در واقع، تحلیل متداول یک‌مرحله‌ای معمولاً میزان واقعی کوتاه‌شدگی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و می‌تواند منجر به خطا در طراحی و عملکرد سازه شود. شاخصهایی مانند ارتفاع ساختمان، درصد رطوبت نسبی محیط، رده مقاومتی بتن و نرخ ساخت (سرعت اجرای طبقات) تأثیر مستقیمی بر میزان کوتاه‌شدگی دارند. به‌ویژه، با افزایش ارتفاع و کاهش رطوبت نسبی، میزان کوتاه‌شدگی افزایش می‌یابد.

در مدل‌سازی و تحلیل سازه‌های بلند، لحاظ کردن توالی ساخت و اثرات زمانی بتن (خزش و جمع‌شدگی) ضروری است. این موضوع به ویژه برای پیشگیری از آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای ناشی از نشست‌های ناهمگون، ترک خوردگی و عملکرد نامناسب اجزای غیرسازه‌ای اهمیت دارد. تحلیل‌های مرحله‌ای با لحاظ اثر خزش، نتایج دقیق‌تری نسبت به تحلیل‌های متداول ارائه می‌دهند و می‌توانند به بهبود طراحی و ایمنی سازه‌های بلند کمک کنند.

در مجموع برای دستیابی به نتایج واقع‌بینانه و کاهش ریسک‌های

Concrete Design Standard, NZS 3101:2006, Part 2, Standards Association of New Zealand, 2006, Wellington, New Zealand

[24] ACI Committee 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14). Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute.

[25] Gholizadeh, V., Kheyroddin, A., Lee, D.-G., Wilson, E. L. (2024). "The effect of mesh size and ACI different cracking coefficients on the responses of structures (case study: a 20-story building with dual system)". The first international conference on the exchange of scientific information in the field of concrete materials and structures, 118(4), <https://civilica.com/doc/1994498>.

prediction models for concrete". Journal of Materials in Civil Engineering, 19(3), pp. 249–260. DOI:10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:3(249)

[13] Yoo, S. W., Kwon, S.-J., Jung, S. H. (2012). "Analysis technique for autogenous shrinkage in high performance concrete with mineral and chemical admixtures". Construction and Building Materials, 34, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.005

[14] Rossi, P., Tailhan, J. L., Le Maou, F. (2013). "Creep strain versus residual strain of a concrete loaded under various levels of compressive stress". Cement and Concrete Research, 51, pp. 32–37. DOI:10.1016/j.cemconres.2013.04.005

[15] Kim, Seung-Gyu, Yeong-Seong Park, and Yong-Hak Lee. "Comparison of Concrete Creep in Compression, Tension, and Bending under Drying Condition." Materials 12.20 (2019): 3357.

[16] Eom, Tae-Sung, et al. "Time-Dependent Deformations of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Columns." International Journal of Concrete Structures and Materials 12.1 (2018): 1-12.

[17] Correia, Ruben, and Paulo Silva Lobo. "Simplified assessment of the effects of columns shortening on the response of tall concrete buildings." Procedia Structural Integrity 5 (2017): 179-186.

[18] Wang, Lilin, Xin Zhao, and Congzhi Yan. "Time-dependent vertical shortening prediction for super-tall buildings by using a modified B3 model to consider moisture distribution." Engineering Structures 209 (2020): 109994.

[19] Zou, Dujian, et al. "Influence of creep and drying shrinkage of reinforced concrete shear walls on the axial shortening of high-rise buildings." Construction and Building Materials 55 (2014): 46-56.

[۲۰] ایبکیچی، سیامک، ۱۳۸۶، بررسی اثر شاخصهای وابسته به زمان نظیر خزش و جمع شدگی بر رفتار سازه‌های بتنی. رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران.

[21] Smerda, Zdenek, and Vladimir Kristek. Creep and shrinkage of concrete elements and structures. Elsevier, 1988.

[۲۲] جلیل زاده افشار، سیامک، ۱۳۹۶، ارائه مدل و روش جدید جهت تحلیل سازه‌های بلند بتن آرمه با منظور نمودن اثرات توالی ساخت و شاخصهای وابسته به زمان. رساله دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

[23] NZS3101 (2006). Concrete Design Standard, NZS3101:2006, Part 1 and Commentary on the

Comparison of Conventional and Multi-Stage Analyses (with Creep Effects) and Investigation of Influential Parameters on Vertical Non-Elastic Shortening of Reinforced Concrete Members in High-Rise Buildings

Vahid Gholizadeh *

Ph.D. Candidate in Structural Engineering, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Ali Kheyroddin

Distinguished Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Davood Mostofinejad

Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Mohammad Iman Khodakarami

Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Abstract

In recent years, with the increase in the construction of high-rise buildings, special attention has been given to the time-dependent behavior of concrete and its effects on structural performance. One of the most important phenomena in this field is the vertical (non-elastic) shortening of reinforced concrete members caused by creep and shrinkage, which can lead to additional stresses, cracking, and even damage to non-structural components. Conventional structural analyses usually assume simultaneous loading of all floors, whereas in reality, dead and live loads are applied gradually and in sync with construction progress. This difference in loading method, along with time-dependent effects such as creep, can significantly affect the analysis results.

In the present study, aiming for a more precise investigation of this issue, a 20-story reinforced concrete building has been evaluated using three analysis methods: conventional (single-stage) analysis, multi-stage analysis (construction sequence), and multi-stage analysis considering creep effects. The effects of parameters such as relative humidity, concrete strength, and construction rate on member shortening have also been examined. For model validation, a two-dimensional frame was analyzed manually and compared with software results. Additionally, the staged analysis considering creep effects has been explained in detail.

The study results show that considering construction sequencing and creep in analyses leads to more realistic deformation predictions and reduces construction and operational risks in tall buildings. This should be regarded as a necessity in the design of reinforced concrete structures, especially high-rise ones.

Keywords: Conventional analysis, time-dependent effects, multi-stage analysis (construction sequence), creep, vertical non-elastic shortening.

* Corresponding Author: vahid_gholizadeh@Ymail.com

