



کد مقاله: ۲-۱۴۰

ارزیابی تجربی تاثیر نوع کنترل بارگذاری سیکلی بر رفتار مکانیکی تیرهای بتن آرمه حاوی الیاف

حمیدرضا توکلی^۱، پدram جلالی^۲

۱-عضو هیأت علمی، دانشگاه نوشیروان بابل، Tavakoli@nit.ac.ir

۲-کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه نوشیروان بابل

چکیده

در تحریکات نیرومند زمین، امواج مختلف با ویژگی‌های متفاوت از زمین وارد سازه می‌شوند و پارامترهای اندازه‌گیری شده همچون شتاب و جابجایی در هر لحظه متفاوت خواهد بود. جهت تعیین رفتار سازه‌ها و ارزیابی مقاومت و ظرفیت شکل‌پذیری المان‌های سازه‌ای تحت جنبش‌های زمین، آیین‌نامه‌های مختلف، الگوهای بارگذاری متعددی را به عنوان نماینده جهت شبیه‌سازی زلزله‌های به وقوع پیوسته ارائه کرده‌اند. تمامی الگوهای بارگذاری ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ها مفهومی از تغییر شکل (جابجایی نسبی میان طبقه‌ای، نسبتی از تغییر مکان تسلیم و ...) را به عنوان کمیتی جهت اعمال بار، کنترل تخریب ایجاد شده و اتمام روند اجرای آزمایش در نظر گرفته‌اند در نتیجه تمامی این آزمایشات تحت شرایط کنترل تغییر مکان انجام خواهد شد در حالیکه ارتعاشات ناشی از زلزله صرفاً در فرم کنترل تغییر مکان نبوده و تلفیقی از نیرو و تغییر مکان می‌باشد. جهت انجام آزمایشات در شرایط کنترل نیرو، تعداد محدودی از آیین‌نامه‌ها تنها پیشنهاداتی را ارائه کرده و به دلیل وابستگی این نوع بارگذاری به ویژگی‌های عضو و شرایط محیطی امکان ارائه یک الگوی مدون وجود ندارد. در این تحقیق بارگذاری تحت دو حالت کنترل تغییر مکان و نیرو انجام شده و عملکرد عضو تحت این دو نوع کنترل بار مقایسه شده است. بدین منظور تیرهای بتنی از ۴ طرح اختلاط شامل بتن خودتراکم حاوی الیاف فلزی (۰،۱، ۰،۲ و ۰،۳ درصد حجمی) و بتن فاقد الیاف به عنوان بتن مرجع تحت الگوهای بارگذاری مختلف و هر کدام در دو حالت کنترل نیرویی و تغییر مکان قرار گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه خواهد شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد در صورت اعمال بار در ناحیه الاستیک، تفاوت چندانی میان دو نوع کنترل بار وجود ندارد اما با افزایش دامنه‌های بارگذاری و رفتار غیرخطی نمونه، در حالت نیرو-کنترل به سبب ایجاد تغییر شکل‌های زیاد، مقدار سختی به مراتب بیشتر از حالت تغییر مکان-کنترل افت پیدا کرده، در حالیکه استهلاک انرژی و مقدار میرایی به مراتب بیشتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: بتن خود تراکم، بتن الیافی، نوع کنترل بار، بارگذاری سیکلی

۱- مقدمه

بتن خودتراکم^۱ اولین بار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن خودتراکم توسط Ozawa (۱۹۸۹) و Okamura (۱۹۹۳) در دانشگاه توکیو انجام گرفت. [1,2,3] بتن خودتراکم بتنی است که دارای سیالیتی باشد که تراکم، بدون نیاز به انرژی خارجی انجام شود و علاوه بر آن در حین و پس از اتمام بتن ریزی بصورت یکپارچه باقی مانده و به راحتی در خلال آرماتورهای متراکم حرکت کند. [4,5] بتن خود تراکم به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دو دهه اخیر معرفی شد. ژاپنی ها از سال ۱۹۹۰ به بعد از بتن خودتراکم که نیاز به هیچ ویریه ای نداشت و به تراکم کامل می رسید در ساخت پل ها، تونل ها و ساختمان ها استفاده کرده اند. [6,7]

الیاف برای کنترل عرض ترک و نیز جهت افزایش مقاومت کششی، نرمی، قابلیت جذب انرژی و فراهم آوری یک سیستم یکپارچه استفاده می شود. در حال حاضر صدها نوع الیاف تولید می شود که فقط تعدادی از آن ها برای استفاده در بتن مناسب می باشند. [8] خواص مکانیکی بتن الیافی^۲ تحت تاثیر نوع، درصد، نسبت طول به قطر معادل (نسبت منظر)، اندازه، شکل و نحوه تهیه نمونه ها و اندازه و شکل مصالح سنگدانه ای قرار دارد. الیاف در همه حالات گسیختگی^۳ بخصوص آن هایی که مانند خمش موجب خستگی^۴ و کشیدگی می شوند، بر خواص مکانیکی بتن و ملات اثر می گذارد. در صورتی که الیاف آجدار باشد، تقویت بتن توسط الیاف به صورت درگیری میان الیاف و زمینه خواهد بود. با ترک خوردن زمینه، تنش میان الیاف و زمینه تقسیم می گردد و از آن پس کل تنش به طور افزاینده ای به الیاف انتقال می یابد. [9]

آزمایشات آزمایشگاهی المان های سازه ای بتن مسلح برای تعیین رفتار آن ها تحت بارگذاری یک زلزله شبیه سازی شده از اهمیت بالایی برخوردار است. پارامترهایی همچون سختی^۵، مقاومت، شکل پذیری^۶، توانایی جذب و اتلاف انرژی^۷ و خرابی های بوجود آمده در اثر بارگذاری سیکلی، از جنبه های مورد نظر رفتار، در طراحی لرزه ای اعضای سازه ای می باشد که نمی توانند با اطمینان کامل توسط روش های تحلیلی تعیین گردند و نیاز است تا به وسیله آزمایشات آزمایشگاهی ارزیابی گردند. روش های متفاوتی جهت شبیه سازی زلزله شدید همانند روش میز لرزه، روش شبه دینامیکی و روش شبه استاتیکی وجود دارد که از مزایای روش های شبه استاتیکی می توان به سرعت پایین آزمایش و امکان مشاهده جزئیات در حین آزمایش و اقتصادی بودن آن اشاره کرد.

^۱ Self Compacting Concrete (SCC)

^۲ Fiber Reinforced Concrete (FRC)

^۳ Failure

^۴ Fatigue

^۵ Stiffness

^۶ Ductility


^۷ Energy dissipation

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲- مصالح مصرفی:

در ساخت نمونه های مربوط به این تحقیق از فوق روان کننده نسل سوم بر پایه پلیکبوکسیلیک اتر استفاده شده است. این ماده در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد دارای وزن مخصوص ۱,۱ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. الیاف مصرفی در نمونه های آزمایش شده ، الیاف فولادی می باشد که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات الیاف فولادی

الیاف	شکل	مدول الاستیسیته GPa	طول (mm)	قطر (mm)	نسبت منظر
فولادی		۱۶۰	۳۶	۰.۷	۵۰

شن مصرفی در بتن دارای حداکثر ابعاد ۱۲,۵ میلیمتر و ماسه مصرفی نیز زیر الک ۴,۷۵ میلیمتر انتخاب شده است و دارای هم ارز ماسه ای ۸۰ درصد بوده که منحنی دانه بندی سنگدانه ها در محدوده استاندارد ASTM می باشد. در ساخت نمونه های بتنی از سیمان پرتلند تیپ ۲ و پودر سنگ با وزن مخصوص ۲,۶ گرم بر سانتیمتر مکعب استفاده شده است.

۲-۲- طرح اختلاط

در این تحقیق ۴ طرح اختلاط شامل نمونه های حاوی الیاف فولادی (۰,۱, ۰,۲, ۰,۳ درصد حجمی) و طرح اختلاط فاقد الیاف به عنوان نمونه شاهد مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. در تمامی ۴ طرح اختلاط بررسی شده در این تحقیق که در جدول ۲ ارائه شده است ، به غیر از مقدار الیاف ، تمامی اجزای تشکیل دهنده بتن ثابت در نظر گرفته شده است. نسبت آب به سیمان (w/c) برابر با ۰,۳۹ می باشد. (Vf موجود در جدول ۲ همان درصد حجمی الیاف و برابر با نسبت حجم الیاف به حجم بتن می باشد)

جدول ۲. طرح اختلاط بتن (kg/m³)

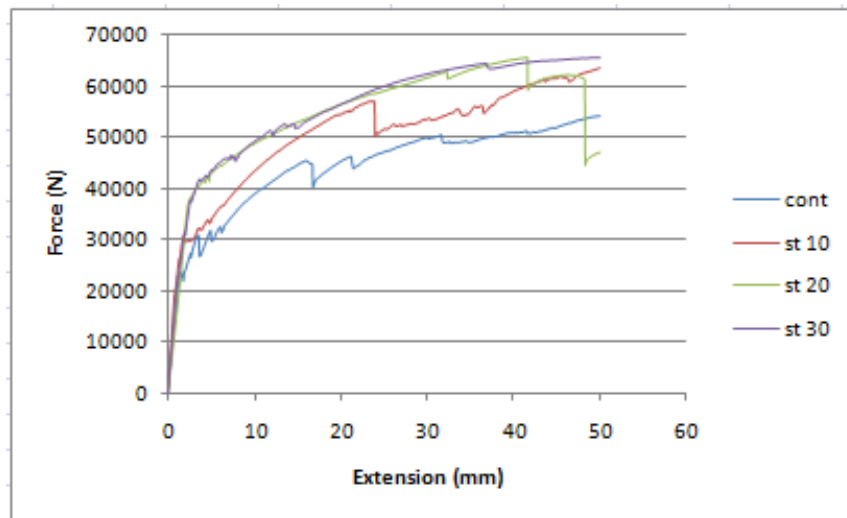
فوق روان کننده	آب	سیمان	پودر سنگ	ماسه	شن	مقدار الیاف (Vf) %	شماره طرح
۷	۱۶۲	۴۱۳.۱	۲۸۸.۹	۸۲۶	۷۲۲	-	cont
۷	۱۶۲	۴۱۳.۱	۲۸۸.۹	۸۲۶	۷۲۲	۰.۱	St 10
۷	۱۶۲	۴۱۳.۱	۲۸۸.۹	۸۲۶	۷۲۲	۰.۲	St 20
۷	۱۶۲	۴۱۳.۱	۲۸۸.۹	۸۲۶	۷۲۲	۰.۳	St 30

۳-۲- نگهداری و عمل آوری نمونه ها

پس از اتمام پروسه اختلاط ، بتن در قالب ها ریخته شده و تا ۲۴ ساعت در داخل قالب ها و در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شده است. پس از آن ، نمونه ها از قالب خارج شده و در استخر آب با دمای ۲۲-۲۵ درجه سانتیگراد تا زمان آزمایش قرار گرفته اند. (نمونه ها پس از ۲۸ روز نگهداری در استخر مورد آزمایش قرار گرفته اند). هر طرح اختلاط شامل ۵ عدد تیر بتنی به ابعاد ۱۵*۲۰*۱۳۰ سانتیمتر بوده که تحت آزمایش خمش قرار گرفته اند.

۲-۴- آزمایشات انجام شده

بارگذاری بر روی نمونه ها در حالت سیکلی با استفاده از دو نوع الگوی بارگذاری و در دو حالت بارگذاری بصورت کنترل تغییر مکان و کنترل نیرو انجام شده است. هر یک از الگوهای بارگذاری شامل ۳۰ سیکل بوده که در حالت تغییر مکان کنترل شامل دامنه های ۵۰٪ و ۱۵۰٪ تغییر مکان تسلیم بوده (بارگذاری اول در ناحیه الاستیک و دیگری در ناحیه پلاستیک) که یک پارامتر وابسته به مشخصات نمونه می باشد. به علت استفاده از الیاف با مقادیر مختلف در هر طرح اختلاط ، خصوصیات رفتاری نمونه ها با طرح اختلاط های مختلف با یکدیگر متفاوت می باشد به همین دلیل جهت تعیین پارامتر مذکور ابتدا یک آزمایش بارگذاری یکطرفه برای هر طرح اختلاط انجام شده و سپس بر اساس نمودارهای بدست آمده که در شکل ۱ نشان داده شده است ، مقادیر دامنه های بارگذاری مشخص شده است که نتایج آن در جدول ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱. نتایج آزمایش بارگذاری یکطرفه

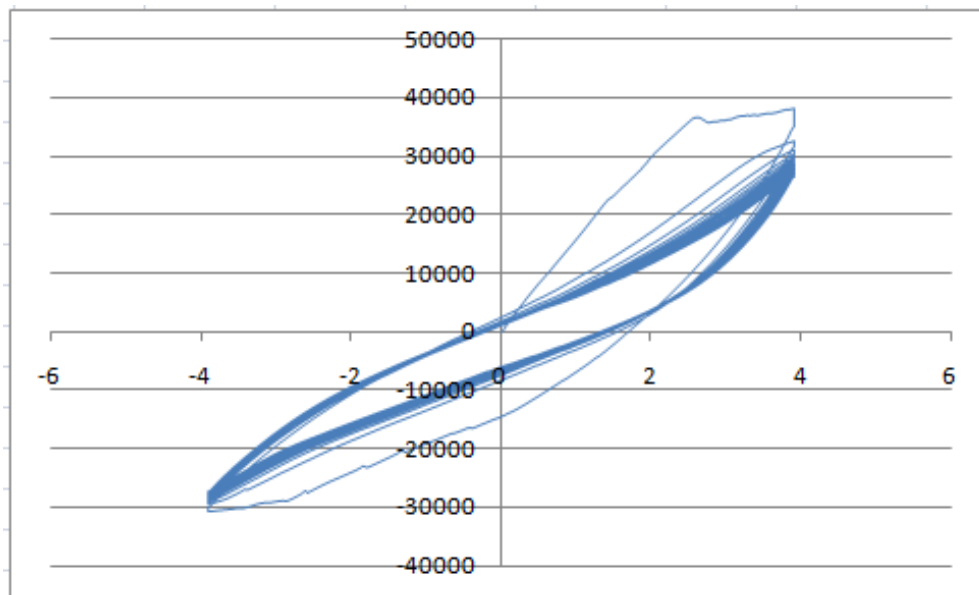
اما در حالت کنترل نیرو ، دامنه های بارگذاری برابر است با نیروی متناسب با ۵۰٪ و ۱۵۰٪ تغییر مکان تسلیم که مقادیر آن نیز از منحنی بارگذاری یکطرفه بدست آمده و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مقادیر دامنه های بارگذاری

طرح اختلاط	تغییر مکان تسلیم	دامنه بارگذاری (کنترل تغییر مکان) mm		دامنه بارگذاری (کنترل نیرو) N	
		50% Δ_y	150% Δ_y	50% Δ_y	150% Δ_y
cont	۱.۴۵	50% Δ_y	۰.۷۲۵	50% Δ_y	۱۱۵۰۰
		150% Δ_y	۲.۱۷۵	150% Δ_y	۲۵۰۰۰
St 10	۱.۸۵	50% Δ_y	۰.۹۲۵	50% Δ_y	۱۵۰۰۰
		150% Δ_y	۲.۷۷۵	150% Δ_y	۳۲۰۰۰
St 20	۲.۳	50% Δ_y	۱.۱۵	50% Δ_y	۱۸۰۰۰
		150% Δ_y	۳.۴۵	150% Δ_y	۳۸۰۰۰
St 30	۲.۶	50% Δ_y	۱.۳	50% Δ_y	۱۸۵۰۰
		150% Δ_y	۳.۹	150% Δ_y	۳۹۰۰۰

۳- بررسی نتایج

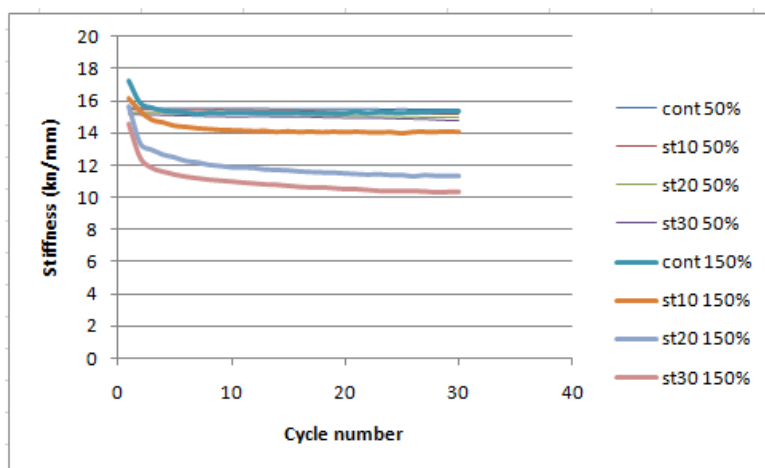
نتایج بارگذاری نمونه ST30 با دامنه ۱۵۰٪ تغییر مکان تسلیم در حالت کنترل تغییر مکان به عنوان نمونه در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. حلقه های هیستریزس نمونه آزمایش شده

۱-۳- سختی

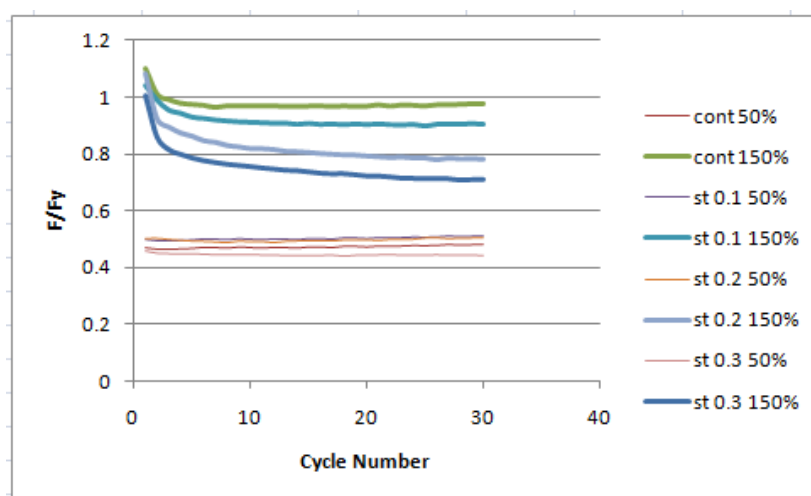
با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳ می توان دریافت که در حالت بارگذاری در ناحیه الاستیک در هر دو شرایط کنترل نیرو و تغییر مکان (۵۰٪ تغییر مکان و ۵۰٪ نیروی تسلیم) ، تغییرات سختی بسیار ناچیز بوده و افت محسوسی مشاهده نشده است اما در حالت بارگذاری با دامنه در محدوده ناحیه غیرخطی نمونه ها ، نمودار سختی روند نزولی داشته و تغییرات آن محسوس خواهد بود.



شکل ۳. نمودار تغییرات سختی در حالت کنترل تغییر مکان

۲-۳- مقاومت

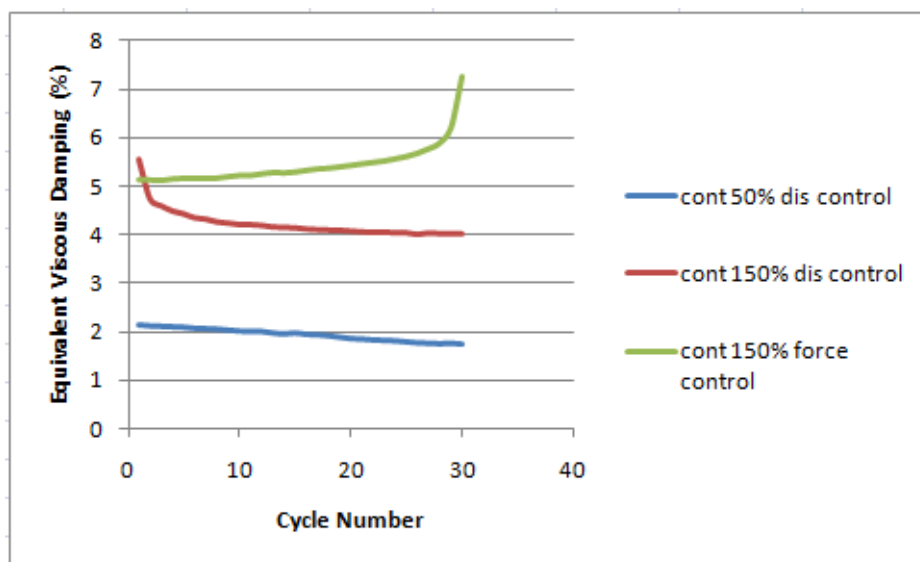
نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان می دهد که در حالت بارگذاری در ناحیه الاستیک ، تغییرات مقاومت بسیار ناچیز بوده اما با بارگذاری در محدوده غیرخطی ، افت مقاومت طی سیکل های متعدد بارگذاری ، مشهود خواهد بود.



شکل ۳. نمودار تغییرات مقاومت

۳-۳- میرایی

نتایج بدست آمده در شکل ۵ نشان می دهد که با بارگذاری در محدوده الاستیک چه در حالت کنترل نیرو و چه در حالت کنترل تغییر مکان ، مقادیر میرایی پایین بوده ولی با ترک خوردن نمونه و ورود به ناحیه غیرخطی ، مقادیر میرایی بیشتر خواهد شد. در حالت کنترل تغییر مکان با افزایش تعداد سیکل های بارگذاری ، مقدار میرایی کمتر شده اما در حالت کنترل نیرو ، با افزایش تعداد سیکل های بارگذاری ، مقدار میرایی روند صعودی خواهد داشت.



شکل ۵. نمودار تغییرات میرایی معادل ویسکوز

مراجع

- [1] Ozawa K, Maekawa K, Okamura H. "Self-Compacting high performance concrete", Collected Papers (University of Tokyo: Department of Civil Engineering), 34, pp135-149, 1996.
- [2] Okamura H. "Self Compacting High-Performance Concrete", Concrete International, PP 50-54,1997.
- [3] Okamura H, Ozawa K. "Self-Compactable high performance concrete in japan", International Workshop on High Performance Concrete, SP 169, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp 31-44,1994.
- [4] Ouchi M, Hibino M, Okamura H. "Effect of super plasticizer on self-compact ability of fresh concrete", TRR 1574, pp 37-40, 1996.
- [5] Khayat KH. "Workability, testing, and performance of self-consolidating Concrete". ACI Mater J 1999;96(3):346-5.
- [6] یاسر ملاح " بررسی تجربی مشخصات مکانیکی بتن خود تحکیم و رفتار خمشی تیرهای بتن آرمه ساخته شده از SCC , پایان نامه کارشناسی ارشد , دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۳۸۴
- [7] skarendahl , A ; petersson , O : self compacting concrete . state of the Arteport of RILEM Technical committee174. RILEM Report No 23 ,2000.
- [8] Fiber Reinforced Concrete, PCA Publication, p47, 1991.
- [9] ACI Committee 544, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete" , Concrete International, ACI, V. 4, No. 5, pp 9-30, 1982.