

## ارزیابی آزمایشگاهی میرایی ویسکوز معادل در تیرهای بتن آرمه خودتراکم حاوی الیاف

حمیدرضا توکلی \*

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

مسعود فلاح تبار شباده

عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی

امید لطفی عمران

دانشجوی دکتری مهندسی عمران - سازه، دانشگاه گیلان

### چکیده

جهت اجتناب از فروپاشی سازه و همچنین کاهش هزینه تعمیرات پس از زمین لرزه، اکثر آیین نامه‌های طراحی بر روی شکل پذیری کافی سازه تمرکز کرده‌اند. ائتلاف بخش اعظمی از انرژی لرزه‌ای وارد شده به سازه و در پی آن میرایی ویسکوز معادل بالا، یک فاکتور مهم جهت دستیابی به یک سازه مقاوم لرزه‌ای است. در این مقاله، نتایج مطالعه آزمایشگاهی جهت ارزیابی میرایی ویسکوز معادل تیر بتن آرمه خودتراکم حاوی تسلیح کننده‌های الیافی ارائه شده است. دو نوع الیاف فولادی و پلی‌فینیل سولفاید (PPS) مورد بررسی قرار گرفته است. نسبت حجمی الیاف به بتن ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ انتخاب گردیده و بتن فاقد الیاف به عنوان بتن مرجع در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف موجب افزایش میرایی ویسکوز معادل می‌شود. مقایسه تأثیر دو نوع الیاف مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد که بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی، مقادیر میرایی ویسکوز معادل بیشتری را نسبت مقدار متناظر در بتن خودتراکم حاوی الیاف PPS نتیجه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بتن خودتراکم، الیاف، میرایی ویسکوز معادل.

\* نویسنده مسؤول: tavakoli@nit.ac.ir

## ۱- مقدمه

پاسخ دینامیک یک سازه تحت ارتعاش آزاد یا اجباری به خواص میرایی آن نیز بستگی دارد. اثرات دینامیک، زمانی به طور ویژه شدت می‌یابد که فرکانس ارتعاش یک بار هارمونیک، به فرکانس تشدید سازه نزدیک باشد. آزمایش بر روی دینامیک سازه‌ها نشان داده که حضور لوازم جانبی میرایی به طور مؤثری می‌تواند پاسخ دینامیک را محدود کند. محدود کردن پاسخ دینامیک در یک سازه می‌تواند با عناصر گسسته میرایی به دست آید. در مهندسی عمران، خواص میرایی بتن آرمه در مهندسی زلزله بسیار با اهمیت است؛ زیرا میرایی، اتلاف انرژی سازه را در خلال زمین‌لرزه‌های متوسط تا قوی فراهم می‌کند [۱].

میرایی ویسکوز یکی از فاکتورها جهت تشریح ظرفیت عناصر سازه در اتلاف انرژی زمین‌لرزه است. مکانیزم‌های میرایی برای یک سازه را می‌توان با یک نسبت میرایی ویسکوز بیان کرد [۲]. عاملی که باعث کاهش دامنه ارتعاش آزاد بطور پیوسته می‌شود میرایی نام دارد. در میرایی، انرژی سیستم ارتعاشی با مکانیزم‌های مختلف تلف می‌شود و اغلب ممکن است بیش از یک مکانیزم در یک زمان وجود داشته باشد. در ارتعاش یک ساختمان بتن آرمه این مکانیزم‌های مختلف می‌تواند شامل: ترک خوردگی، جاری شدن تسلیح‌کننده‌ها و اصطکاک میان بتن و تسلیح‌کننده‌ها در خلال لغزش باشد. در بتن آرمه الیافی، اصطکاک میان الیاف و ماتریس، جاری شدن الیاف و شکستن یا بیرون کشیدگی الیاف از ماتریس نیز از مکانیزم‌های اضافی هستند. میرایی در سازه‌های واقعی متعارف، در یک فرم بسیار ایده‌آل بیان می‌شود. حالتی که انرژی ارتعاشی تلف شده آن، معادل انرژی تلف شده ترکیب تمام مکانیزم‌های میرایی باشد؛ برای سازه واقعی ارائه می‌شود. از اینرو، این ایده‌آل‌سازی را میرایی ویسکوز معادل می‌نامند. میرایی ویسکوز معادل به‌عنوان یک تقریب قابل پذیرفته شده است [۳].

طبق روش طراحی براساس جابجایی، امکان انتخاب یک معیار خسارت مطلوب و کارا، برای یک عضو سازه‌ای یا سازه در یک سطح خطر وجود دارد [۴]. این یکی از ویژگی‌های جذاب روش طراحی براساس جابجایی است؛ بنابراین مهندسان می‌توانند یک معیار خسارت مطلوب و کارا قبل از طراحی هر عضو سازه‌ای انتخاب کنند [۵]. انتخاب اهداف کارا می‌تواند به طور مستقیم با سطوح شکل‌پذیری جابجایی مرتبط باشد که می‌تواند به نوبه خود با میرایی ویسکوز معادل در ارتباط باشد [۶] و این یکی از پارامترهای حیاتی در استفاده از روش طراحی براساس جابجایی است. در طراحی لرزه‌ای میرایی ویسکوز معادل برای یک عضو بتن مسلح منحصر به فرد از پاسخ هیستریزس تحت بارگذاری سیکلی برآورد می‌شود [۵-۸].

به وضوح مشخص شده است که در هنگام وقوع زمین‌لرزه، انرژی لرزه‌ای از طریق حرکت زمین وارد سازه شده و سازه در معرض بارگذاری معکوس قرار می‌گیرد که باعث خسارت کششی بتن و زوال پیوندها می‌شود. انرژی لرزه باید تلف شود تا از فروپاشی سازه جلوگیری شود [۷، ۹].

به منظور ارزیابی پاسخ یک سازه تحت زلزله، تعیین خواص مکانیکی سازه از قبیل سختی مماسی، مقاومت، شکل‌پذیری نیاز و ظرفیت پسماند ضروری است. همچنین برای محاسبه پاسخ واقعی سازه، شایسته است که از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی استفاده گردد. با توجه به نقش پارامترهای مختلف بر خواص مکانیکی سازه و اندرکنش میان آن‌ها و همچنین تفاوت میان سازه واقعی و مدل‌سازی شده؛ تفسیر نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی می‌تواند با عدم قطعیت و دشواری همراه باشد. علاوه بر این هزینه‌های مرتبط با انجام آزمایش‌های تجربی و ساخت نمونه با مقیاس واقعی می‌تواند به‌عنوان یکی از مشکلات و موانع اجرایی تحلیل دینامیکی سازه مطرح باشد [۱۰]. این نوع آزمایش‌ها نیز می‌توانند دارای تقریب باشند. از آنجایی که رفتار لرزه‌ای می‌تواند با یک سری از سیکل‌های بارگذاری متناوب با دامنه‌های مختلف شبیه‌سازی شود [۱۱]، می‌توان بر مشکلات مواجه شده در آزمایش دینامیک غیرخطی سازه، با انجام آزمایش بارگذاری سیکلی روی اعضای سازه‌ای یا مجموعه‌ای از اجزای سازه (مانند اتصال تیر-ستون) غلبه کرد. اگر به طور معمول شرایط آزمایش شبه استاتیکی استفاده می‌شود، بدان دلیل است که فرکانس طبیعی نمونه آزمایش برابر فرکانس تحریک نیست.

بتن خودتراکم اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن

بتن خودتراکم اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن

بتن خودتراکم اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن

بتن خودتراکم اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن

افزایش داده و روی ترک‌ها پل بزند [۲۶]. مهمترین مزایای افزودن الیاف به بتن این است که مانع توسعه میکروترک‌ها بوده و انتشار میکروترک‌ها به فرم ماکروترک را به تأخیر می‌اندازد و شکل‌پذیری بهتری پس از شکل‌گیری ماکروترک را نتیجه می‌دهد [۲۷].

در سال‌های اخیر، چند کار تحقیقاتی و پروژه‌های واقعی گزارش شده‌است که از الیاف فولادی به تنهایی و یا با مسلح‌کننده‌های مرسوم استفاده شده‌است [۲۸ و ۲۹]. یک مطالعه روی تیرهای بتن آرمه با مقاومت بالا تحت بارگذاری سیکلی توسط دانیل و لوکیلی [۷] انجام شده‌است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که گنجاندن الیاف باعث افزایش سختی سازه‌ای تیر تا بار اوج شده و علاوه بر این افزودن الیاف بلند، اتلاف انرژی در هر دو دامنه الاستیک و غیرالاستیک برای تمامی نسبت‌های تسلیم طولی را افزایش می‌دهد. مطالعه جامعی توسط حمید و همکاران [۳۰] در سال ۲۰۱۳، اثر الیاف بر رفتار تیرهای بتن آرمه را بررسی کرده و نیز توکلی و فلاح تبار [۳۱] در سال ۲۰۱۴ به بررسی اثرات الیاف بر اتلاف انرژی تیرهای بتن آرمه خودتراکم پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها نتایج حاکی از آن بوده است که افزودن الیاف باعث بهبود رفتار تیر بعد از ترک خوردگی شده و نیز اتلاف انرژی و نسبت میرایی رشد قابل توجهی داشته‌اند.

الیاف می‌تواند نقش مؤثری در بهبود رفتار سازه‌ای و عملکرد بلندمدت سازه‌های بتن آرمه بازی کند. با این حال محدودیت‌هایی برای استفاده کاربردی آن در سازه وجود دارد که نیاز به رفع این موانع بوده تا بتن آرمه الیافی به یک ماده ساختمانی قابل قبول تری تبدیل شود [۳۲]. یکی از این محدودیت‌ها، کاهش قابل توجه کارایی بتن معمولی با افزودن الیاف است. از این رو فرض همگن بودن بتن صادق نبوده و مقطع بتن آرمه همگن به دست نمی‌آید. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با دستیابی به یک طرح اختلاط بتن خودتراکم سازگار با حضور الیاف به بررسی اثرات الیاف بر رفتار تیرهای بتن آرمه خودتراکم پرداخته شود.

خودتراکم، توسط ازوا<sup>۱</sup> (۱۹۸۹) و اکامورا<sup>۲</sup> (۱۹۹۳) در دانشگاه توکیو انجام گرفت [۱۲-۱۴]. طبق نظریه‌ای، 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 بتن‌ریزی به صورت یکپارچه باقی بماند و به راحتی در خلال آرماتورهای متراکم حرکت کند [۱۵-۱۸].

ماتریس شکننده‌ای مانند بتن ظرفیت بار کششی خود را تقریباً بلافاصله پس از اولین ترک از دست می‌دهد [۱۹]. افزودن الیاف انعطاف‌پذیر می‌تواند برخی از خصوصیات مکانیکی، مانند مقاومت در برابر ترک خوردگی، شکل‌پذیری، مقاومت ضربه و مقاومت خستگی را بهبود بخشد. هنگامی که ماتریس شکننده ترکیب شده با الیاف، تحت بارگذاری خمشی قرار می‌گیرد، ترک‌ها توسط الیاف پل زده می‌شوند [۲۰]. وقتی که الیاف به همراه تسلیم‌کننده‌های طولی فولادی استفاده می‌شود، به دلیل ظرفیت بالای کامپوزیت (ترکیب)، تغییر شکل کششی بالا در تسلیم‌کننده‌های طولی دخالت کرده و به عنوان یک نتیجه، شکل‌پذیری اعضای سازه‌ای به دست می‌آید [۲۱].

تحت بارگذاری لرزه‌ای، ممکن است تنش در عضو سازه‌ای منجر به یک پاسخ شکننده در غیاب تقویت کافی شود. اگر به هر صورتی، کاهش شکنندگی میسر شود، رفتار شکست غیرخطی به نمایش گذاشته شده تا زمانی که کرنش در نقطه خصوصی غالب شود. پس از این مرحله به مقاومت باقیمانده کافی نیاز است تا اطمینان حاصل شود که سازه می‌تواند در شرایط بارگذاری بعدی شامل تغییر شکل‌های بزرگ، که ممکن است نتیجه یک زمین لرزه باشد، ایستادگی کند [۲۲].

یک منظر مهم در کارایی سازه تحت بارگذاری سیکلی، توانایی سازه در اتلاف انرژی کافی است. ظرفیت اتلاف انرژی به عنوان یک معیار توانایی عضو سازه‌ای برای تحمل بارگذاری سیکلی غیرالاستیک استفاده شده‌است [۱۳]. به منظور ارتقای عملکرد سازه تحت بارگذاری لرزه‌ای، استفاده از بتن مسلح به الیاف موضوع بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی در سال‌های اخیر بوده است [۲۴، ۲۵]. تحت بارگذاری سیکلی، بتن دچار خسارات شدید بیشتری شده و حضور الیاف می‌تواند مقادیر کرنش را

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی

برای انجام این آزمایش از دستگاه یونیورسال ۱ استفاده شده و آزمایش سیکلی خمشی با مکانیزم کنترل تغییر مکان انجام شده بود که سرعت دستگاه ۲mm/min بوده است. الگوی بارگذاری سیکلی از آیین نامه FEMA461 [۳۳] اخذ شده و برای این منظور ابتدا یک نمونه از هر طرح اختلاط به روش استاتیکی مورد آزمایش قرار گرفته و براساس آن الگوی بارگذاری طرح گردید. تعداد کل دامنه‌های بارگذاری برابر ۱۱ دامنه بود و هر دامنه ۲ بار تکرار شده است و دامنه‌ها به تدریج از ۰/۶mm تا ۲۰mm تغییر می‌کرد. طرح کلی دستگاه در شکل (۲) الگوی بارگذاری انتخابی در شکل (۳) آمده است.

### ۲-۲- نگهداری و عمل آوری

با اتمام پروسه اختلاط، بتن در داخل قالب‌ها ریخته شده و تا ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شد. نمونه‌ها پس از این مدت از قالب‌ها جدا شده و در استخر آب با دمای ۲۲-۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا زمان آزمایش فرا برسد (نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند).

### ۲-۲- طرح اختلاط

در این تحقیق، ۹ طرح اختلاط شامل دو نوع الیاف (فلزی: ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی، PPS: ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. در تمام ۹ طرح اختلاط که در جدول (۳) آمده است به غیر از نوع و مقدار الیاف، تمامی اجزای تشکیل دهنده بتن ثابت در نظر گرفته شدند. نسبت آب به مصالح سیمانی (W/C) برابر است با ۰/۳۹ و طرح cont که بتن خودتراکم فاقد الیاف است به عنوان طرح شاهد در نظر گرفته شد. ( $V_f$  (%)) موجود در جدول (۳) همان درصد حجمی الیاف یعنی نسبت حجم الیاف به حجم بتن می باشد.

### ۲-۳- نمونه‌های آزمایش و طرز کار آزمایش

هر طرح اختلاط شامل ۲ تیر با ابعاد مقطع ۲۰۰×۱۵۰ mm و با طول ۱۳۰۰ mm بوده است. ۴ میلگرد فولادی (۲ میلگرد کششی و ۲ میلگرد فشاری) به قطر ۸ میلی‌متر با مقاومت تسلیم ۴۰۰ MPa به عنوان تسلیح کننده‌های مرسوم استفاده شده است. شکست خمشی تیرها با فراهم کردن تسلیح برشی لازم (۱۰۰mm C/C @ ۶ mm Ø) تضمین شده بود.

### ۳- بررسی و تفسیر نتایج

#### ۳-۱- بررسی خواص فیزیکی (رئولوژی) بتن خودتراکم تازه

در این تحقیق از طرح اختلاطی استفاده شد که با وجود استفاده از الیاف در بتن، بتن خواص خودتراکمی SCC را داشته باشد. لذا برای سنجش کارایی بتن خودتراکم الیافی از پارامترهای سنجش بتن خودتراکم استفاده نمودیم. جهت بررسی خواص متفاوتی از قبیل قابلیت عبور و پایداری بتن خودتراکم در برابر جداشدگی از آزمایش L-BOX و جهت ارزیابی تغییر شکل پذیری یا روانی بتن خودتراکم از آزمایش اسلامپ استفاده گردید که در این آزمایش پس از جاری شدن بتن بر روی میز اسلامپ دو قطر عمود برهم اندازه گیری می‌شوند و میانگین آنها بیانگر روانی بتن مذکور می‌باشد. همچنین زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر (برحسب ثانیه) با توجه به علامت گذاری در داخل صفحه آزمایش اسلامپ ثبت می‌شود که بیانگر نرخ تغییر شکل با تعریف یک فاصله روانی است. با آزمایش L-BOX ارتفاع SCC تازه پس از عبور از میان فواصل مشخص شده بین

### ۳-۳- میرایی ویسکوز معادل

معمول‌ترین روش تعریف میرایی ویسکوز معادل به صورت انرژی تلف شده در یک سیکل ارتعاش سازه واقعی و سیستم ویسکوز معادل است. برای یک سازه واقعی منحنی بار-جابجایی از آزمایش بارگذاری سیکلی به دست می‌آید؛ مانند منحنی اختیار شده در شکل (۵).

برای هر سیکل  $\dot{a}$  میرایی ویسکوز معادل،  $e_q$ ، با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۲].

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{E_D}{E_S} \right) \quad (1)$$

که  $E_D$ ، مساحت داخل منحنی پاسخ نیرو-جابجایی غیرالاستیک بوده و بیانگر مقدار میرایی هیستریزس یا ظرفیت انرژی تلف شده عضو بوده و  $E_S$  مقدار انرژی الاستیک قابل بازیابی ذخیره شده در سیستم الاستیک خطی را نمایش می‌دهد.  $E_D$  و  $E_S$  هر دو در شکل (۵) تعریف شده‌اند.

نتایج به دست آمده در مورد نسبت میرایی ویسکوز معادل در تیرهای بتن آرمه خودتراکم حاوی الیاف فولادی در شکل‌های (۷) ارائه شده‌است. با بررسی این شکل می‌توان دریافت که مانند مورد قبل نسبت میرایی در چرخه ابتدایی بیشتر از چرخه بعدی می‌باشد. همچنین با حضور الیاف فولادی در بتن مقادیر نسبت میرایی رشد پیدا کرده‌است. همچنین با افزایش جابجایی مقادیر میرایی رشد بیشتری پیدا کرده به طوری که در طرح Steel40 در چرخه بیست و یکم این نسبت به  $23/3$  درصد می‌رسد. نکته قابل توجه در این نمودار مربوط به مقادیر نسبت میرایی به دست آمده در چرخه‌های ابتدایی است که در آن‌ها تفاوت میان طرح‌های مختلف زیاد محسوس نیست، ولی در چرخه‌های بالاتر و جابجایی‌های بیشتر این تفاوت مشهود شده‌است. این موضوع به علت ماهیت الیاف فولادی و تأثیر بیشتر الیاف فولادی در ترک‌های بزرگ می‌باشد. این افزایش در مقدار میرایی ویسکوز معادل در تیرهای حاوی الیاف می‌تواند به دلیل اتلاف انرژی توسط الیاف از طرقی مانند اصطکاک میان الیاف و ماتریس، جاری شدن الیاف و شکستن یا بیرون کشیدن الیاف باشد.

آرماتورهای فلزی و جریان در یک مسیر در نظر گرفته شده، اندازه گیری می‌گردد و با این مقدار که حداقل  $0/8$  می‌باشد، قدرت عبور و انسداد آن تخمین زده می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایشات در شکل (۴) ارائه شده‌است. مطابق آیین‌نامه اروپا [۳۴] جریان اسلامپ بتن خودتراکم باید در محدوده  $60-75$  سانتی‌متر و زمان T50 باید حداقل ۳ و حداکثر ۶ ثانیه باشد.

### ۳-۲- ترک خوردگی و خورد شدن

به علت سطح خشن بتن یک باند خوب در ماتریس بتن ایجاد شده بود. عمل الیاف بلافاصله بعد از ترک خوردگی شروع شده و سعی در متوقف کردن ترک با انجام عمل پل زدن می‌کنند. به عنوان یک نتیجه، به صورت بصری مشاهده شد که در تیرهای حاوی الیاف فولادی عرض ترک در یک جابجایی ثابت کمتر از تیر بدون الیاف بوده‌است. در بازشدگی ترک بیشتر، هنگامی که تنش در الیاف بیشتر می‌شود و از مقاومت کششی الیاف تجاوز می‌کند، الیاف فولادی می‌شکنند در حالی که در الیاف PPS عمل بیرون کشیدگی صورت می‌گیرد. الیاف PPS دارای سطح تقریباً صاف هستند که باعث مقاومت باند ضعیف با ماتریس بتن شده و باعث بیرون کشیدگی آن می‌شود. این الیاف تا مقادیر خاصی از بازشدگی ترک عمل کرده و در بازشدگی ترک بزرگتر، از ماتریس بتن بیرون کشیده می‌شود. در حالی که الیاف فلزی به علت داشتن قلاب در انتها پیوند خوبی با ماتریس بتن برقرار کرده و در بازشدگی ترک بزرگتر نیز کارایی خود را از دست نمی‌دهد.

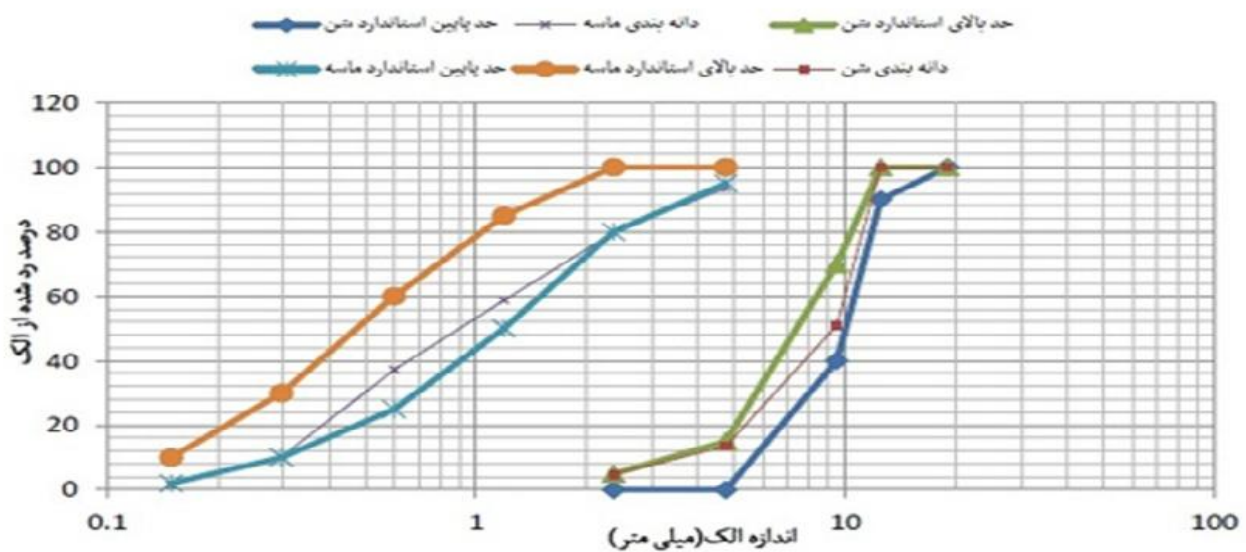
خرد شدن پوشش بتنی یکی از مسائل شایع در عناصر سازه‌ای تحت بارگذاری سیکلی است، زیرا هر عنصر متناوباً تحت فشار و کشش قرار می‌گیرد. در این مطالعه مشاهده شده‌است که خرد شدن بتن الیافی در مقایسه با بتن بدون الیاف شدید نبوده، زیرا الیاف همیشه ماتریس بتن را در میان خود نگهداری می‌کند. خرد شدن شدیدی در پوشش بتنی تیر بدون الیاف مشاهده شده بود. کاهش خرد شدن بتن با استفاده از الیاف (به خصوص الیاف فولادی) در سازه‌های بتن آرمه تحت بارگذاری سیکلی منجر به کاهش هزینه تعمیر و نگهداری بعد از زمین‌لرزه‌های متوسط می‌شود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف های مصرفی

الیاف	مدول الاستیسیته (GPa)	طول (mm)	قطر (mm)	نسبت منظر	چگالی ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
Steel	۱۶۰	۳۶	۰/۷	۵۰	۷/۸
PPS	۳/۵	۵۰	۰/۰۷	۷۰۰	۰/۹۱

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی سیمان و پودر سنگ (wt%)

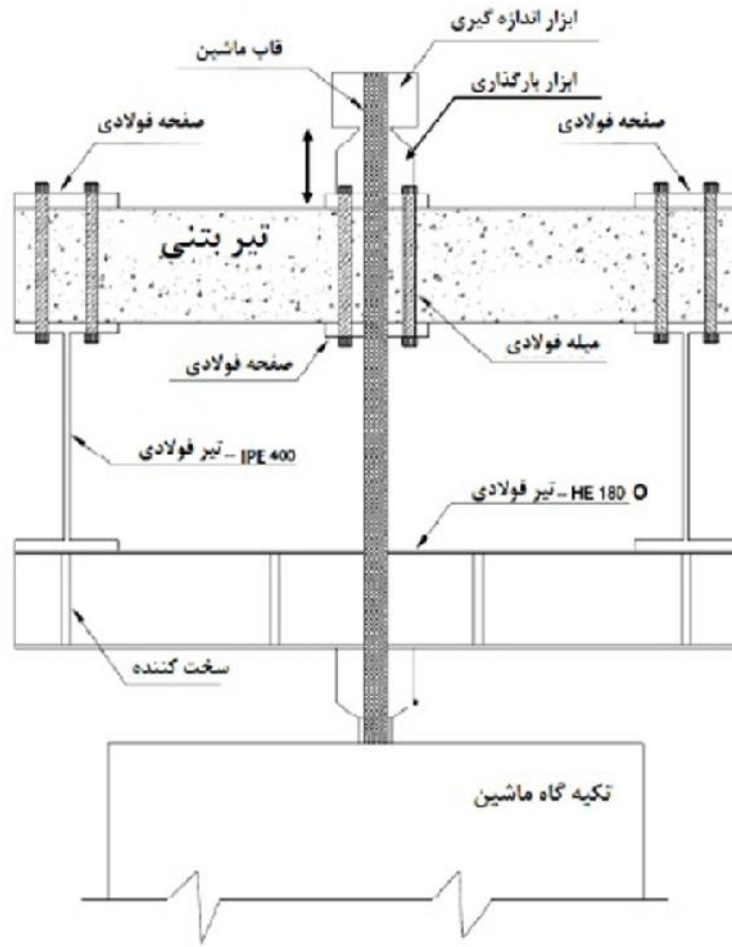
نام مواد	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	L.O.I
سیمان	۲۱/۹	۴/۸۶	۳/۳	۶۳/۳۳	۱/۱۵	۲/۱	-	۲/۴
پودر سنگ	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۰۲	۵۲/۳۵	۰/۰۲	۵۲/۳۵	۹۹/۳	-



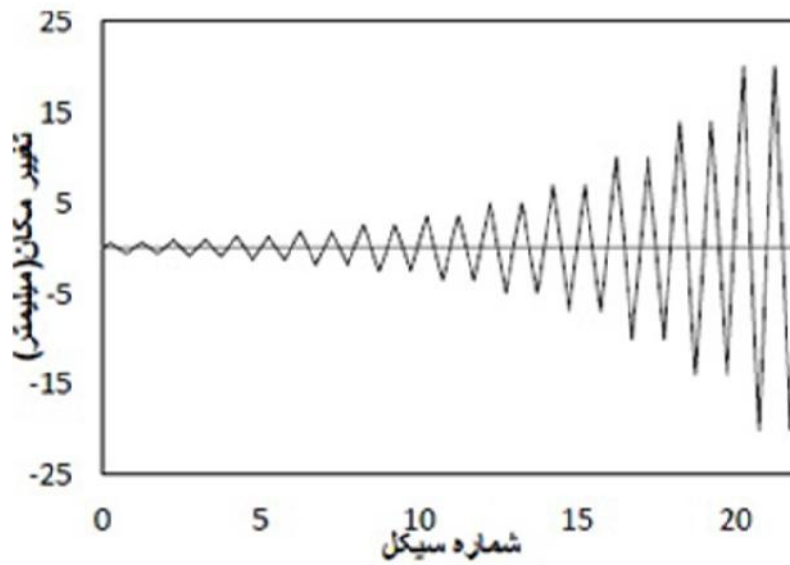
شکل ۱- منحنی دانه بندی سنگدانه ها

جدول ۳- طرح اختلاط بتن (برحسب  $\text{kg}/\text{m}^3$ )

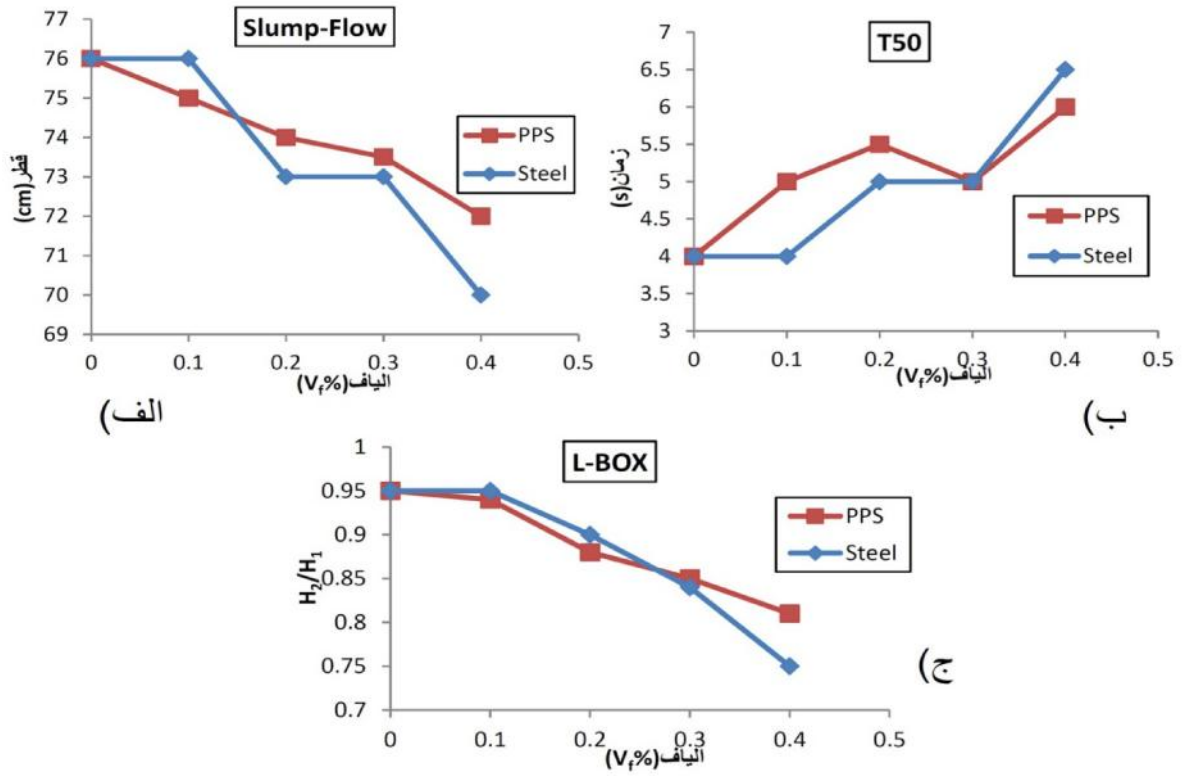
شماره طرح	الیاف (%) Vf	شن	ماسه	پودر سنگ	سیمان	آب	فوق روان کننده
cont	-	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
Steel10	۰/۱	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
Steel20	۰/۲	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
Steel30	۰/۳	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
Steel40	۰/۴	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
PPS10	۰/۱	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
PPS20	۰/۲	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
PPS30	۰/۳	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷
PPS40	۰/۴	۷۲۲	۸۲۶	۲۸۸/۹	۴۱۳/۱	۱۶۲	۷



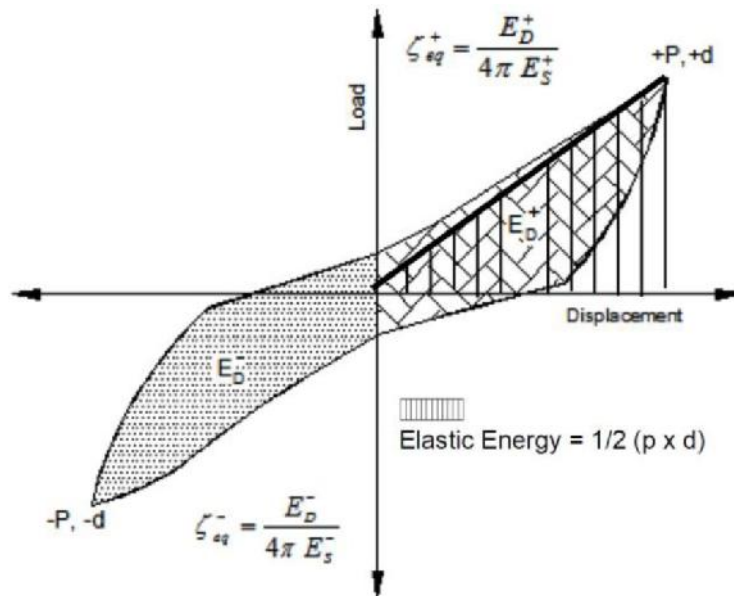
شکل ۲- طرح کلی انجام آزمایش خمشی سیکلی روی تیر



شکل ۳- الگوی بارگذاری جهت آزمایش خمشی سیکلی

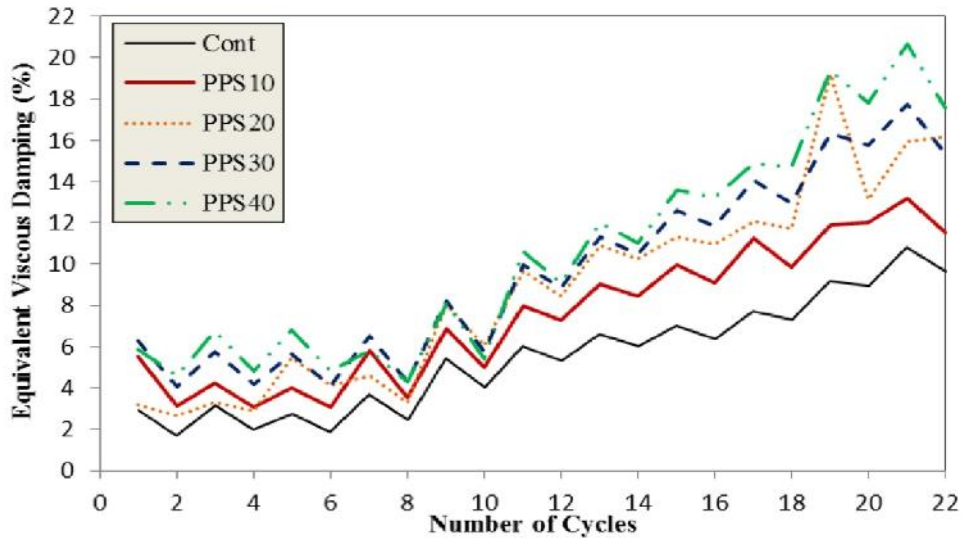


شکل ۴- نتایج آزمایش‌های بتن تازه

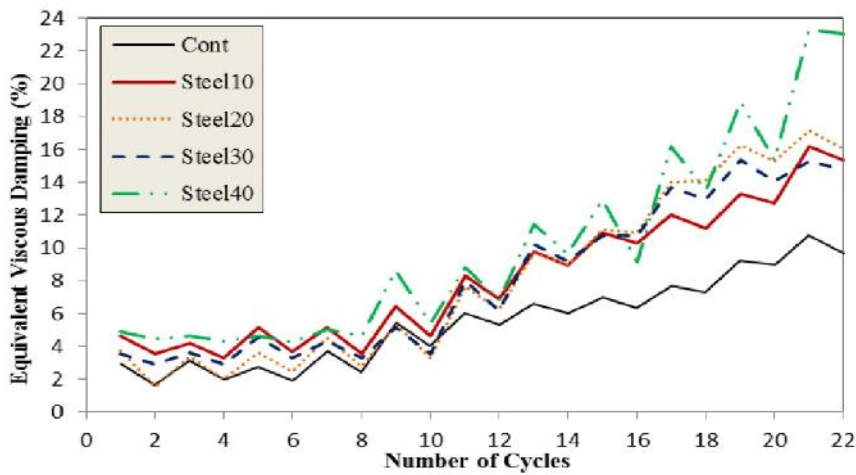


شکل ۵- میرایی ویسکوز معادل در یک سیکل بارگذاری نمونه

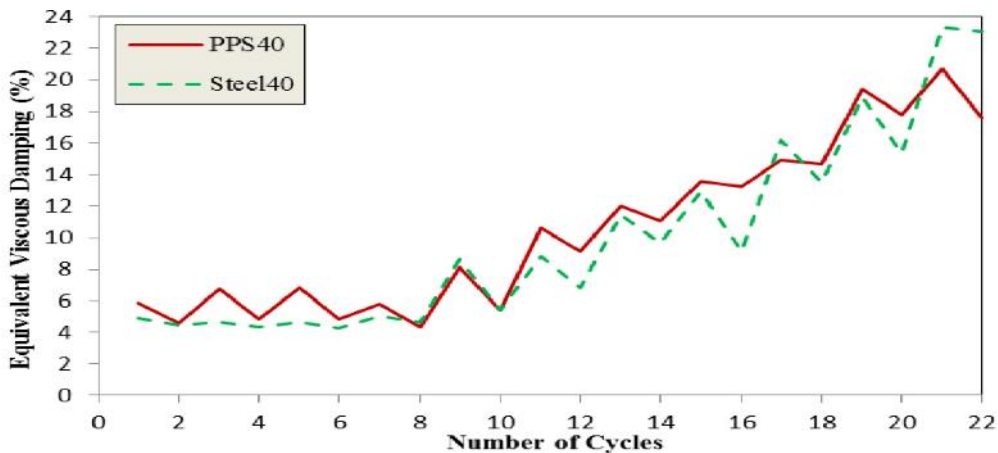




شکل ۶- میرایی ویسکوز معادل (الیاف PPS و بتن شاهد)



شکل ۷- میرایی ویسکوز معادل (الیاف فولادی و بتن شاهد)



شکل ۸- میرایی ویسکوز معادل (الیاف فولادی در برابر الیاف PPS)

مقایسه میان الیاف فولادی و PPS که برای نمونه مقدار الیاف در شکل (۸) ارائه شده است نشان می‌دهد که تأثیر الیاف فولادی کمی بهتر از الیاف PPS بوده و این می‌تواند به دلیل مقاومت بالاتر و جاری شدن الیاف فولادی باشد. در کل تأثیر الیاف در تغییر مکان‌های کم (تا ۳ میلی‌متر) زیاد مشهود نبوده و آن می‌تواند به دلیل وارد عمل نشدن الیاف تا آن تغییر مکان باشد

بتن خودتراکم تازه دارند. همچنین طرح‌های حاوی الیاف PPS تأثیر کمتری بر خواص رئولوژی داشته و در مقایسه با الیاف‌های دیگر در مقادیر یکسان، نتایج بهتری را ثبت کرده‌است.

• از طریق مشاهدات بصری، این نکته قابل توجه بود که افزودن الیاف به بتن خودتراکم باعث کاهش عرض ترک خمشی در یک دامنه جابجایی می‌شود.

• افزودن الیاف به بتن خودتراکم، باعث کاهش چشمگیری در خردشدگی بتن می‌شود و آن می‌تواند به این دلیل باشد که الیاف، ماتریس بتن را در میان خود نگهداری کرده و مانع از خردشدن بتن می‌شود که یکی از فواید بسیار مهم استفاده از الیاف در هنگام وقوع زلزله است. علاوه بر این، به‌عنوان یک نتیجه از سطح خسارت پایین، هزینه کمتر بازسازی پس از زلزله باید مشاهده شود.

• برای تمامی تیرهای مورد آزمایش مقادیر میرایی ویسکوز معادل و اتلاف انرژی در خلال چرخه اول یک جابجایی به‌طور قابل توجهی بالاتر از مقادیر در چرخه بعدی در یک جابجایی یکسان بوده‌است. این عمدتاً به دلیل افت در خصوصیات مکانیکی کاهش سختی و تمرکز الیاف در چرخه اول، و در نتیجه افت در انرژی تلف شده و به تبع آن افت در نسبت میرایی در سیکل دوم در جابجایی یکسان بوده‌است.

• میرایی ویسکوز معادل تیر بتن خودتراکم با افزودن الیاف مورد مطالعه در این تحقیق افزایش یافته است. این افزایش بعد از دامنه خاصی از جابجایی مشهودتر است و نیز با افزایش مقدار الیاف مقادیر میرایی ویسکوز معادل افزایش می‌یابد.

#### ۵- مراجع

- [1]. Carneiro J.O., F.J.Q. deMelo, S. Jalali, V. Teixeira and M. Tomas. "The use of pseudo-dynamic method in the evaluation of damping characteristics of in reinforced concrete beams having variable bending stiffness", Mech. Res. Communications, 33; 601-613 (2006).
- [2]. Abdelsamine S. and B. Tom. "Hysteresis energy and damping capacity of flexural elements constructed with different concrete strengths", Eng. Structures, 32; 297-305 (2010)

و بعد از این جابجایی تفاوت‌ها بیشتر مشهود است. نکته مهم دیگر در مورد این نمودار تفاوت زیاد میان مقادیر میرایی تیرهای حاوی الیاف فولادی در دو چرخه‌ی یک جابجایی است که چنین تفاوتی در تیر حاوی الیاف PPS دیده نشده‌است.

محاسبات میرایی ویسکوز معادل برای یک سیکل بارگذاری به دو بخش تقسیم می‌شود به طوری که در شکل (۵) نشان داده شده است. میرایی ویسکوز معادل برای هر بخش جداگانه محاسبه شده و سپس میانگین آن دو به دست می‌آید. میانگین مقادیر برای هر سیکل برای ارائه میرایی ویسکوز معادل تیر در نظر گرفته می‌شود. میرایی ویسکوز معادل برای تیرهای مورد آزمایش در هر سیکل محاسبه شده و بررسی‌هایی به منظور اثرات الیاف مورد مطالعه در این تحقیق انجام شد.

مقایسه میان نمودارهای eq ، مربوط به تیرهای حاوی الیاف PPS و تیر حاوی بتن مرجع در شکل (۶) نشان داده شده است. با تجزیه و تحلیل این شکل می‌توان دریافت که با حضور و افزایش درصد الیاف PPS در بتن خودتراکم نسبت میرایی افزایش یافته‌است؛ بطوری که نمودار طرح PPS40 بر نمودار سایر طرح‌ها رنگ شده‌است. نکته قابل توجه در مورد نمودار نسبت میرایی این است که در چرخه ابتدایی هر جابجایی مقدار نسبت میرایی ویسکوز معادل بیشتر از مقدار آن در چرخه دوم می‌باشد. این بدان دلیل است که در چرخه ابتدایی مقادیر اتلاف انرژی بیشتر بوده و در نتیجه میرایی نیز بیشتر به دست آمده است. این روند در شکل (۶) برای اکثر جابجایی‌ها قابل مشاهده بوده است. در این شکل طرح PPS40 بهترین رشد را در نسبت میرایی ویسکوز معادل ثبت کرده بطوری که در چرخه بیست و یکم مقدار آن به ۲۰/۶ درصد رسیده‌است. این عمل به علت اتلاف انرژی صورت گرفته در این چرخه بوده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر دو نوع الیاف (فلزی و PPS) روی میرایی ویسکوز معادل نسبت به بتن خودتراکم فاقد الیاف بررسی شده و از تحلیل نتایج و تفاسیر می‌توان نتیجه گیری زیر را استنباط کرد:

• با توجه به نتایج آزمایش‌های کارایی بتن خودتراکم، مشاهده گردید که استفاده از انواع الیاف، اثرات منفی بر خواص رئولوژی

- [16]. Nehdi M, El-Chabib H, El-Naggar H. "Cost-effective SCC for deep foundations", *ConcrInt*;25(3):95-103, 2003.
- [17]. Khayat KH. "Workability, testing, and performance of self-consolidating Concrete". *ACI Mater J*;96(3):346-5, 1999.
- [18]. Safiuddin Md., West J.S., Soudki K.A. "Flowing ability of the mortars formulated from self-compacting concretes incorporating rice husk ash", *Construction and Building Materials*, 25 973-978, 2011.
- [19]. Fischer G., Victor C. Li, "Effect of fiber reinforcement on the response of structural members", *Engineering Fracture Mechanics*, 74, pp 258-272., 2007.
- [20]. Carpinteri A., Spagnoli A., Vantadori S., "An elastic-plastic crack bridging model for brittle-matrix fibrous composite beams under cyclic loading", *International journal of solids and structures*, 43, pp 4917-4936, 2006.
- [21]. Campione G., Letizia Mangiavillano M, "Fibrous reinforced concrete beams in flexure: experimental investigation, analytical modelling and design considerations", *Engineering structures*, 30, pp 2970-2980, 2008.
- [22]. Campione G., Mindess S., Bantia N., "Monotonic and cyclic flexural behaviour of medium and high strength fiber reinforced concrete", *Fiber reinforced concrete (FRC) BEFIB' 2000*, Proceedings of the fifth international RILEM symposium, pp 461-470, 2000.
- [23]. Sinha S. N., Naraine K. S., "Energy dissipation in brick masonry under cyclic biaxial compressive loading", *Proc. Instn Civ. Engrs*, Part 2, 91, pp 173-181, 1991.
- [24]. Filiatrault A., Pineau S., Houde J., "Seismic behaviour of steel-fiber reinforced concrete interior beam-column joints", *ACI Structural journal*, V.92, No.5, 1995.
- [25]. Kimura H., Ishikawa Y., Kambayashi A., Takatsu H., "Seismic behaviour of 200 MPa Ultra-High-Strength steel-fiber reinforced concrete columns under varying axial load", *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol.5, No.2, pp 193-200, 2007.
- [26]. Daniel L., Loukili A., Lamirault J., "Experimental behaviour of high strength fiber concrete beams under cyclic and alternated loadings", *Fiber reinforced concrete (FRC) BEFIB' 2000*, Proceedings of the fifth international RILEM symposium, pp 577-586, 2000.
- [3]. Chopra A.K. "Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering", Prentice Hal 2006.
- [4]. Priestley M.J.N. "Performance based seismic design", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Eng., Auckland, New Zealand, 2000*, State of the Art Paper No. 2831; 325-346 2000.
- [5]. Binggeng Lu, Pedro F.S., "Estimating equivalent viscous damping ratio for RC members under seismic and blast loadings", *Mech. Res. Communications*, 33; 787-795 2006.
- [6]. Hose Y.D., Silva P.F. and Seible F., "Performance evaluation of concrete bridge components and systems under simulated seismic loads", *EERI Earthquake Spectra*, 16(2); 413-442, 2000.
- [7]. Daniel L. and Loukili A., "Behaviour of high-strength fiber-reinforced concrete beams under cyclic loading", *ACI Stru. J.*, 99(3); 248-256, 2002.
- [8]. Clough R.W. and J. Penzien. *Dynamics of Structures*, second ed. McGraw Hill Inc., New York, NY, pp 635, 1993.
- [9]. Atimtay E., M.ASCE P.E., Kanit R., "Learning seismic design from the Earthquake itself", *Practice periodical on structural design and construction*, (ASCE) Vol. 11, No.3, August, 2006.
- [10]. Durgesh C. Rai, "Future Trends in earthquake-resistance design of structures", *Current Science*, Vol. 79, No.9, pp 1291-1300, 2000.
- [11]. Buyle-Bodin F., Madhkhan M., "Performance and modelling of steel fibre reinforced piles under seismic loading", *Engineering Structures*, 24, pp 1049-1056, 2002.
- [12]. Ozawa K, Maekawa K, Okamura H. "Self-Compacting high performance concrete", *Collected Papers (University of Tokyo: Department of Civil Engineering)*, 34, pp135-149, 1996.
- [13]. Okamura H. "Self Compacting High-Performance Concrete", *Concrete International*, PP 50-54, 1997.
- [14]. 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.
- [15]. Ouchi M, Hibino M, Okamura H. "Effect of super plasticizer on self-compact ability of fresh concrete", *TRR 1574*, pp 37-40, 1996.

Concrete (MFRC)", Pakistan Journal of Science, Vol. 65 No. 2 June, 2013.

[۳۱] توکلی، حمیدرضا و فلاح تبار، مسعود، "ارزیابی تجربی رفتار خمشی تیرهای بتن آرمه خودتراکم حاوی الیاف تحت بارگذاری سیکلی" مجله علمی و پژوهشی شریف، شماره مرجع ۳۰/۸۰۸/۹۲۰۸۱۳، بهمن ماه ۱۳۹۲.

[32]. Massicotte B., Bischoff P.H., "Fiber reinforced concrete: A structural perspective", Fiber Reinforced Concrete (FRC) BEFIB 2000, Fifth international RILEM Symposium, 13-15 September, Lyon, France, pp 193-202, 2000.

[33]. Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components FEMA 461 /pp13-24 June 2007.

[34]. The European Guideline for self compacting concrete specification , production and use . May 2005.

[27]. Holschemacher K., Muller T., "Influence of fiber type and concrete composition on properties of steel fiber reinforced concrete", Proceedings of International conference on "Advances in cement based materials and applications in civil infrastructure (ACBM-ACI)" Lahore-Pakistan, December 12-14, 2007, pp 633-642, 2007.

[28]. A. Domingo; C. Lazaro; and P. Serna "Construction of JCHYPAR, A steel fiber reinforced concrete thin shell structure", Fiber-Reinforced Concretes BEFIB, Sixth international RILEM Symposium, 20-22 Varenna, Italy, pp 1143-1152, 2004.

[29]. Chiaia B., Fantilli A.P., and Vallini P., "Combining fiber-reinforced concrete with traditional reinforcement in tunnel linings", Engineering Structures, Vol. 31, pp 1600-1606, 2009.

[30]. Hameed R., Khan Q. S., Turatsinze A., Siddiqi Z. A., Duprat F., Sellier A., "Equivalent Viscous Damping Of Metallic Fiber-Reinforced

## Laboratory Evaluation of Equivalent Viscous Damping on Reinforced Self Compacting Concrete Beams Containing Fibers

H.R. Tavakoli\*

Assistant professor, Department of Civil Engineering, Babol University of Technology

M. Fallahatabar shiade

Young Researchers and Elite Club, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University

O. Lotfi omran

P.H.D candidate of civil engineering, Department of Civil Engineering, Guilan University

( Received: 2014/4/30 - Accepted: 2015/3/3)

### Abstract

When earthquakes occur, energy released by the earthquake gets induced into the structure as ground motion and this energy has to be dissipated for safety reasons. To release seismic energy, the structure should damage in such a way that on one hand, collapse of structure should not occur and on the other hand, after the earthquake, damage should be economically feasible to repair. To avoid the collapse of the structures and also to reduce the repair cost after the earthquake, most design codes focus on providing sufficient ductility to structure. Dissipation of large part of injected seismic energy is an important factor for a structure to be seismically resistant. In this contribution, use of fiber to improve equivalent viscous damping (EVD) of reinforced self compacting concrete (SCC) beams subjected to cyclic loading is investigated. Two types of fibers were investigated: Steel fibers and Polyphenylene Sulfide fibers. Maximum dosage of fibers was kept equal to 0.4% ( $V_f$ ). The findings of this study showed that EVD of SCC is improved with the addition of fibers. Comparison of the effectiveness of two fibers investigated in this study on EVD revealed that increase in the EVD was greater with steel fibers.

**Keywords:** Self Compacting Concrete, Fiber, Equivalent Viscous Damping.

---

\* Corresponding author: tavakoli@nit.ac.ir