

بررسی تغییرات رفتار خمشی در نمونه های پیش بارگذاری شده بتن های پوزولانی مسلح به الیاف فولاد و شیشه

کمیل کریمی مریدانی *

گروه مهندسی عمران، واحد لاهیجان (مرکز سیاهکل)، دانشگاه آزاد اسلامی، سیاهکل، ایران.

چکیده

بررسی رفتار خمشی بتن، یکی از موضوعات بسیار مهم در ارزیابی رفتار مکانیکی آن محسوب می شود و یکی از معیارهای اصلی طراحی سازه های بتنی می باشد. با مطالعه و تحلیل رفتار خمشی نمونه های استاندارد بتنی در آزمایشگاه، قابلیت شبیه سازی رفتار بتن ساخته شده در مقیاس واقعی و سازه ای با دقت قابل قبول فراهم می شود. مقاومت خمشی، انرژی شکست، ضریب کشسانی خمشی و چقرمگی پارامترهایی هستند که از نتایج آزمون خمش نمونه های بتنی قابل استخراج می باشند و در طراحی های پیچیده و حساس سازه های بلندمرتبه و یا غیر ساختمانی، هر یک از اهمیت خاصی برخوردار هستند. در این پژوهش از دو پوزولان زئولیت و دوده سیلیسی و همچنین دو نوع الیاف فولاد و شیشه جهت بهبود مشخصات بتن بهره برداری شده است. بررسی تأثیر رفتار منفرد هر یک از این مواد و همچنین تأثیر آنها به صورت همزمان (هم افزایی یا تأثیر مخرب) در دستور کار این پروژه قرار می گیرد. هر یک از مواد مصرفی بکار برده شده در این پژوهش، دارای پیشینه تحقیقاتی قابل توجهی هستند. با وجود این، تحقیقات بسیار کمی در ترکیب این مواد به منظور بررسی رفتار مکانیکی بتن انجام شده است، از این رو انتظار می رود در مطالعه و کنکاش این مصالح ترکیبی، نکات مهمی وجود داشته باشد. استفاده از شرایطی خاص برای آزمون نمونه ها (پیش بارگذاری) این پروژه را از پروژه های متعارف، متمایز می سازد. پیش بارگذاری بتن های الیافی موضوع جدیدی است که می توان با استفاده از نتایج آن به ابعاد جدیدی از رفتار بتن بعد از تغییراتی قابل توجه در عملکرد سازه ای دست یافت. مشاهده گردید که در طرح های فاقد پوزولان، افزایش مقدار الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت خمشی می شود در حالی که افزایش مقدار الیاف شیشه، تأثیر چندانی بر افزایش مقدار مقاومت خمشی ندارد. همچنین در طرح های با پیش بارگذاری ترکیبی که اثر دوده سیلیسی کاهش می یابد، با کم شدن درصد دوده سیلیس اختلاف نتایج نیز کمتر می شود که نشان می دهد زئولیت نقش فعال تری در ترمیم ترک برای بازه های زمانی کوتاه تر را دارد. بررسی میزان انرژی شکست نیز نشان داده است که طرح های حاوی ۱٪ الیاف فولادی بیشترین انرژی شکست را داشته اند که مدیون عملکرد الیاف هستند. پس از آسیب دیدگی نیز این روند حفظ شده و به نظر می رسد ترک خوردگی در طرح های الیافی لزوماً منجر به برهم خوردن روند تغییرات انرژی شکست نمی شود.

واژه های کلیدی: مقاومت خمشی، زئولیت، دوده سیلیسی، پیش بارگذاری، الیاف فولادی، الیاف شیشه.

۱- مقدمه

متفاوتی هستند. این الیاف با مقطع دایره ای غالباً دارای قطرهای ۰/۲۵ میلیمتر الی ۰/۸ میلی متر هستند. معروف ترین الیاف فولادی، الیاف تولید شده در کارخانه Bekaert در کشور بلژیک است که نام تجاری آن Dramix می باشد. این الیاف به صورت منفرد و به هم چسبیده وجود دارد که در انواع به هم چسبیده، الیاف پس از تماس با آب به صورت منفرد درآمده و به طرق منظمی در خطوط موازی پراکنده می شوند. الیاف Dramix دارای انتهای خمیده بوده و قابلیت پیوستگی بهتر بین الیاف و بتن را فراهم می کند. الیاف Harex نوع دیگری از الیاف فولادی و از نوع ماشینی است که مدل رایج تر این الیاف، دارای سطح مقطع مثلثی و شامل یک سطح صاف و سطوح دیگر زبر است [۱۰].

هنگامی که الیاف شیشه به بتن افزوده می شود؛ به دلیل کاهش کارایی بتن تازه، استفاده از روانسازهای مناسب اجتناب ناپذیر است. در این وضعیت می توان به شیوه مناسب اختلاط دست یافت. از سوی دیگر، وجود الیاف شیشه ای و تمایل آن به چسبیدن و گلوله شدن در بتن تازه (پدیده گلوله شدن الیاف) سبب می شود که توزیع الیاف یکنواخت نشود؛ بنابراین برای برطرف کردن آن باید چاره اندیشی کرد [۱۱].

قطر الیاف شیشه ای مخصوص بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۵ میلی متر است؛ این الیاف هنگامی که در تولید عناصری با الیاف شیشه ای به یکدیگر اتصال یابند، قطر الیاف اتصال یافته به ۰/۰۱۳ تا ۱/۳ میلی متر می رسد [۱۲].

واقفی و همکارش در سال ۱۳۹۴ تأثیر الیاف پلی پروپیلن، فولادی و شیشه ای بر مقاومت فشاری و خمشی را در نمونه های بتنی بررسی کرد. نتایج مطالعه آنها نشان داد که الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش مقاومت خمشی می شود و بیشترین مقاومت در مقابل شکنندگی بتن در الیاف پلی پروپیلن مشاهده شد. این وضعیت عدم گسیختگی بتن بعد از شکست آن را نشان داد. یکی دیگر از نتایج مطالعه آنها، کاهش مقاومت فشاری بتن با افزودن الیاف پلی پروپیلن است. منحنی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن در ۱ درصد الیاف سیر صعودی و در محدوده ۱ الی ۶ درصد الیاف سیر نزولی دارد و بیشترین مقاومت فشاری در ۱ درصد الیاف پلی پروپیلن وجود می آید. مقاومت خمشی بتن با افزودن الیاف پلی پروپیلن افزایش می یابد و بیشترین

امروزه بتن با گذشت بیش از ۱۷۰ سال از پیدایش سیمان پرتلند، بنا به دلایلی همچون فراوانی و در دسترس بودن مصالح آن، دوام نسبتاً زیاد و عمر طولانی سازه های بتن آرمه، مقاومت در برابر آتش سوزی، فرم پذیری، مقاومت فشاری بالا و نیاز به ساخت و سازه های فراوان سازه های بتنی چون ساختمان ها، پل ها، تونل ها، سدها، اسکله ها، راه ها و سایر سازه های خاص دیگر، به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ترکیبی ساختمانی شناخته می شود [۱-۳].

وجود معایب ذاتی در بتن همچون ترد شکنی و عدم شکل پذیری باعث شده تا محققین با استفاده از انواع الیاف به بهبود خصوصیات رفتاری بتن پردازند و ضعف بتن را در شکست ترد بهبود داده و مقاومت کششی آن را افزایش دهند. در سالهای اخیر استفاده از سیمان و بتن مسلح در ترکیب با الیاف مرسوم شده است. سیمان مسلح به الیاف شیشه در قطعات پیش ساخته، پانل ها و نماهای تزئینی مورد استفاده قرار می گیرد [۴-۶].

با افزودن الیاف به بتن، دو نوع وضعیت اصلی ترک خوردگی موازی با الیاف و یا عمود بر الیاف اتفاق می افتد که در صورت عبور الیاف عمود بر لبه های ترک با پل زدن الیاف بین ترک ها یکپارچگی بتن تا تغییرشکل های زیاد حفظ می شود. همچنین به دلیل خاصیت دوزندگی الیاف، مقاومت کششی و خمشی افزایش می یابد. از دیدگاه میکروسکوپی، استفاده از آرماتورها در مقایسه با الیاف موثر واقع نمی شود و در صورت وقوع ترک، پدیده خوردگی اجتناب ناپذیر و امکان از بین رفتن کامل بتن محتمل است. در صورتی که با توزیع اتفاقی الیاف در فواصل بسیار کوچکتر از فاصله بین آرماتورها، اندازه ترک ها کوچکتر شده و باعث کاهش نفوذپذیری و پایداری بتن در محیط های مهاجم می شود [۷-۸].

الیاف فولادی بیشترین کاربرد را در تهیه ی بتن الیافی دارند. این الیاف برای نخستین بار در سال ۱۹۶۲ میلادی در آمریکا تولید شدند. الیاف فولادی به دلیل افزایش دادن مقاومت و شکل پذیری بتن، تنوع در شکل ظاهری جهت بهبود خصوصیات مکانیکی و اجرائی بتن، اختلاط آسان آنها با مواد افزودنی بتن، دوام زیاد و آسان بودن قالب بندی جهت بتن ریزی، بیشتر از سایر الیاف مورد توجه محققین و دست اندرکاران اجرائی قطعات و سازه های بتنی قرار دارند [۹]. الیاف فولادی دارای اشکال مقطع و اندازه های

نرمی آن برابر ۲/۷۵ است. دانه بندی ماسه مصرفی مطابق استاندارد ASTM C33 [۱۸] می باشد. شکل ۱ نمودار دانه بندی ماسه مصرفی را نشان می دهد.

شن مصرفی نیز مخلوط رودخانه ای بوده و از کارخانه لوله سازی شمال تهیه گردیده است. ماکزیمم اندازه دانه های آن ۱۲/۵ میلیمتر، وزن مخصوص ظاهری و جذب آب ۱/۵ درصد می باشد. دانه بندی براساس استاندارد ASTM C33 [۱۸] انجام شده است. نمودار دانه بندی شن مصرفی در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی سیمان

مشخصات شیمیایی و فیزیکی	سیمان پرتلند
SiO ₂	۲۱/۳۲
Al ₂ O ₃	۴/۸۱
Fe ₂ O ₃	۳/۸۳
MgO	۱/۴۸
CaO	۶۲/۸۵
SO ₃	۲/۳۲
K ₂ O	۰/۶۹
Na ₂ O	۰/۴۷
TiO ₂	-
LOI	۲/۰۴
وزن مخصوص (gr/cm ³)	۳/۱۵
سطح مخصوص (cm ² /gr)	۲۹۱۰
گیرش اولیه (دقیقه)	۱۵۰
گیرش نهایی (دقیقه)	۲۰۵
انبساط اتوکلاو (%)	۰/۰۷

مقاومت خمشی در ۶ درصد الیاف پلی پروپیلن می باشد [۱۳].

سروشیان و همکارانش در بتن معمولی و بتن حاوی ۰.۳٪ حجمی الیاف پلی پروپیلن و الیاف فولادی، وضعیت انتشار ترک ها را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که الیاف پلی پروپیلن و فولاد می تواند آغاز ترک را به تاخیر بیندازند [۱۴].

نتایج کار کورینالدسی و موریکنی نشان داد که الیاف فولادی سبب بهبود مقاومت های فشاری و خمشی و سبب افزایش مدول الاستیسیته و کاهش انقباض نمونه های بتنی می شوند [۱۵].

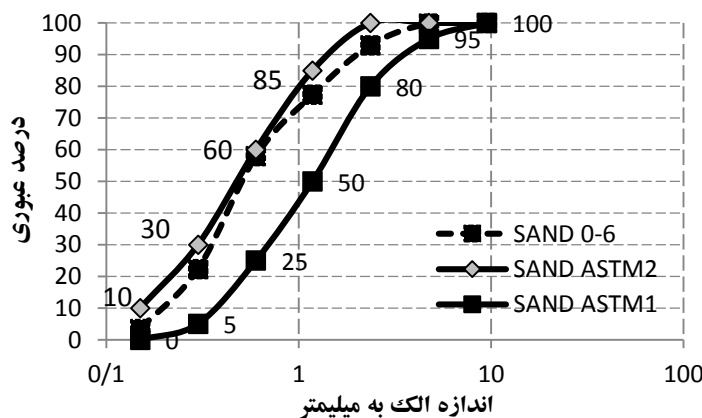
چن و لیو مطالعاتی را بر روی بتن با مقاومت بالا، با نسبت آب به سیمان ۰/۳۳ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که وجود الیاف فولادی سبب بهبود مقاومت فشاری و کششی این نوع بتن می شود [۱۶].

پژوهش سیواکومار و ساتانام با استفاده از الیاف فولادی در بتن مقاومت بالا، بهبود کلیه مقاومت های فشاری، کششی و خمشی و همچنین افزایش مدول الاستیسیته این نوع بتن را نتیجه داد [۱۷].

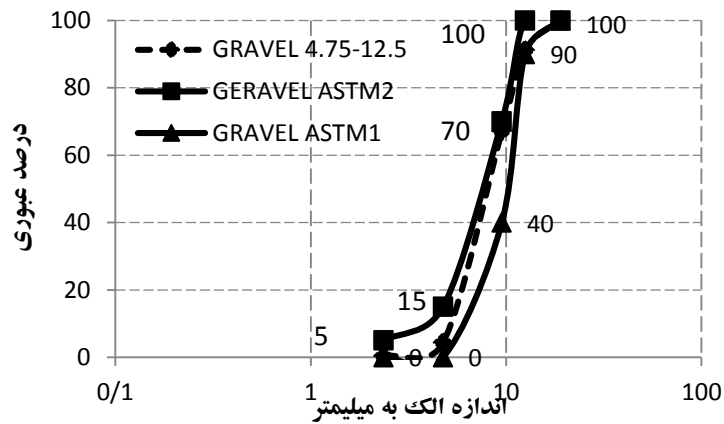
۲- مطالعه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان هگمتان استفاده شد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان مصرفی در جدول ۱ آورده شده است. ماسه مورد استفاده رودخانه ای و گردگوشه بوده و تحت عنوان ماسه ۰-۶ از کارخانه لوله سازی شمال تهیه شده است. توده ویژه ماسه مصرفی در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۲۶۰۰ Kg/m³، جذب آب آن ۲/۴٪ و مدول



شکل ۱- نمودار دانه بندی ماسه مطابق استاندارد ASTM C33 [۱۸]



شکل ۲- نمودار دانه بندی شن مطابق استاندارد ASTM C33 [۱۸]

زئولیت با نسبت وزنی ۰ و ۱۰ درصد به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی بکار برده شده است. در پژوهش حاضر به منظور رسیدن به روانی مطلوب و کمک به توزیع بهتر ذرات در مخلوط بتن از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر با نام تجاری FARCO PLAST P10N محصول شرکت شیمی ساختمان استفاده شده است. مشخصات این فوق روان کننده در جدول ۲ نشان داده شده است:

جدول ۲- مشخصات فوق روان کننده مصرفی

مشخصات فنی	
ترکیب شیمیایی	کوپلیمرهای اصلاح شده پلی کربوکسیلیک اسید
طبیعت یونی	آنیونی
رنگ	سبز تیره
حالت فیزیکی	مایع
وزن مخصوص (kg/lit)	1.1 ± 0.02 در 20°C
کلراید (PPM) ^۱	حداکثر ۵۰۰

۲-۲- طرح‌های اختلاط

در این پژوهش با هدف بررسی اثر متغیرهای الیافی و پوزولان‌ها به صورت منفرد و همچنین اثر استفاده همزمان از آن‌ها بر خصوصیات مکانیکی بتن همچون مقاومت فشاری و خمشی، ۱۲ طرح اختلاط شامل مقادیر مختلف الیاف و مواد پوزولانی ساخته شد.

الیاف مورد استفاده در این پژوهش، شامل دو نوع الیاف فولادی و الیاف شیشه می باشد. شکل ۳ مربوط به الیاف شیشه و شکل ۴ مربوط به الیاف فولادی است.



شکل ۳- الیاف شیشه مورد استفاده در طرح



شکل ۴- الیاف فولادی مورد استفاده در طرح

میکروسیلیس مصرفی تولید کارخانه فروسیلیس ایران است که دارای وزن مخصوص 2200 Kg/m^3 می باشد. این افزودنی بدون حل کردن در آب به حالت خشک و به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط بتن اضافه شده می شود. همچنین از دو نوع پوزولان دوده سیلیس با نسبت های وزنی ۰، ۵ و ۱۵ درصد و

^۱Part per million

بررسی تغییرات رفتار خمشی در نمونه های پیش بارگذاری شده ...

الیاف فولادی و الیاف شیشه با مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ درصد در ساخت نمونه ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مواد پوزولانی شامل دوده سیلیس و زئولیت با مقادیر مختلف به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی و همچنین سیمان تیپ ۲ با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مورد استفاده قرار گرفته است. نسبت آب به سیمان (W/C) در تمام نمونه ها ثابت و برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شده است. طرح اختلاط مربوط به نمونه های ساخته شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- طرح اختلاط مربوط به نمونه های ساخته شده

شماره طرح	کد نمونه	سیمان (Kg/m ³)	نسبت آب به سیمان	دوده سیلیس (درصد)	زئولیت (درصد)	الیاف فولادی (درصد)	الیاف شیشه (درصد)
۱	F00Z00S05G0	500	0.4	0	0	5	0
۲	F00Z00S10G0	500	0.4	0	0	10	0
۳	F00Z00S05G5	500	0.4	0	0	5	5
۴	F15Z00S05G0	500	0.4	15	0	5	0
۵	F15Z00S10G0	500	0.4	15	0	10	0
۶	F15Z00S05G5	500	0.4	15	0	5	5
۷	F00Z10S05G0	500	0.4	0	10	5	0
۸	F00Z10S10G0	500	0.4	0	10	10	0
۹	F00Z10S05G5	500	0.4	0	10	5	5
۱۰	F05Z10S05G0	500	0.4	5	10	5	0
۱۱	F05Z10S10G0	500	0.4	5	10	10	0
۱۲	F05Z10S05G5	500	0.4	5	10	5	5

بخشی از نمونه های خمشی برای بررسی اثر پیش بارگذاری بر عملکرد نهایی، در سن ۷ روز به ترتیب تا ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد مقاومت متناظر با شروع ترک خوردگی نمونه مشابه بارگذاری شدند.

نمونه های بتنی مورد آزمایش قرار گرفته در این پژوهش کامپوزیت هایی شامل دو نوع الیاف و پوزولان می باشد. الیاف های شیشه و فولاد استفاده شده در این پژوهش هر یک به تنهایی دارای ویژگیهای منحصر به فردی می باشند که استفاده از آنها به صورت ترکیبی می تواند با پوشش ضعف ها، نتایج مثبتی را به همراه داشته باشد. از سوی دیگر ترکیب پوزولان های زئولیت و دوده سیلیس می تواند در بهبود خواص مکانیکی بتن نقش مفیدی داشته باشد. ریزی دانه های دوده سیلیس و فعالیت پوزولانی بسیار شدید نسبت به زئولیت می تواند یکی از مکمل های مناسب در پوشش ضعف های زئولیت و همچنین افزایش ظرفیت مصرف پوزولان در بتن باشد.



شکل ۵- نمونه طرح های ساخته شده پیش از قالب برداری

نمونه ها پس از گذشت ۲۴ ساعت از ساخت، از قالب ها خارج شده و تا زمان آزمایش در آب با دمای محیط آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتیگراد) نگهداری شدند.

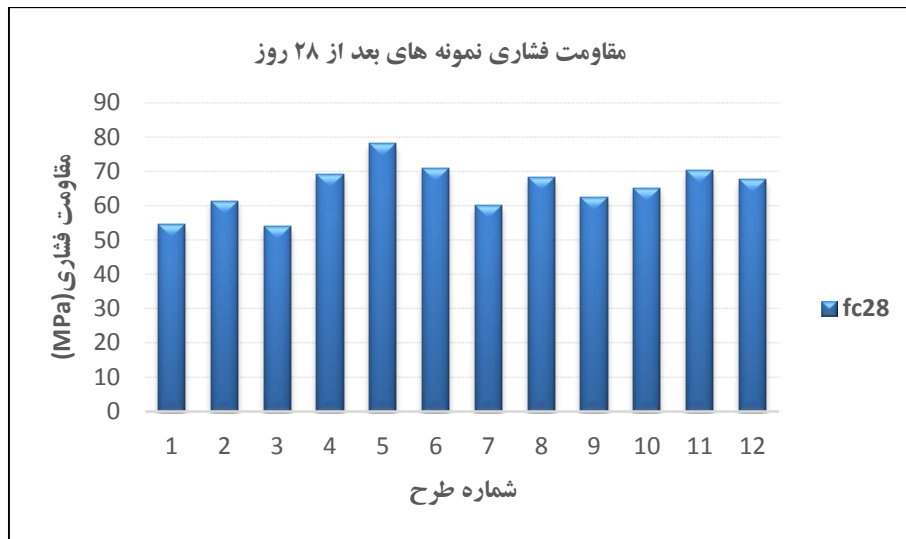
۳- بحث و نتایج

سنجش عملکرد این بتن ها در شرایط بحرانی و یا پس از آسیب های ناشی از وقوع زلزله و یا سایر بارهای شدید غیر مترقبه باشد.

۳-۱- مقاومت فشاری

از آنجایی که مقاومت فشاری به عنوان یکی از مهم ترین ویژگی های بتن سخت شده برای طبقه بندی در آیین نامه های بین المللی می باشد، بررسی آن در بتن های ساخته شده در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. آزمایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد $100 \times 100 \times 100$ میلی متر انجام شده است. نتایج حاصل در نمودار شکل ۶ و همین طور در جدول ۴ نشان داده شده است.

در این بخش نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های بتنی سخت شده بررسی می شود. برای بررسی خواص مکانیکی بتن، آزمایشهای مقاومت فشاری و مقاومت خمشی مد نظر قرار گرفت. همچنین با توجه به استفاده توام انواع الیاف و پوزولان، نمونه های بتنی ساخته شده ممکن است دارای خصوصیات منحصر به فردی باشند و به تنهایی با آزمون های رایج و استاندارد قابل تشخیص نباشد. از این رو، آزمونی ویژه برای ارزیابی رفتار این نوع بتن ها در نظر گرفته شد که پیش از این مطالعات بسیار کمی بر روی آن انجام شده است. پیش بارگذاری نمونه ها تا لحظه ترک خوردگی و نزدیک به حد گسیختگی، می تواند راهکاری برای



شکل ۶- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها

با توجه به نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری، بیشترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به طرح ۵ با مقدار 78.2 مگاپاسکال و کمترین مقدار مربوط به طرح شماره ۳ با 53.9 مگاپاسکال می باشد. طرح های شماره ۵، ۶ و ۱۱ به ترتیب با مقادیر 78.2 ، 71 و 70.3 مگاپاسکال دارای بیشترین مقدار مقاومت فشاری می باشند. تمام این طرح ها حاوی الیاف فولادی و میکروسیلیس می باشند. طرح شماره ۵ با بیشترین مقاومت فشاری حاوی بیشترین مقدار دوده سیلیس و الیاف فولادی (15 درصد دوده سیلیس و 10 درصد الیاف فولادی) در میان طرح ها می باشد.

به طور کلی وجود الیاف فولادی و میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری می شوند. همچنین طرح های شماره ۱، ۳ و ۷ به ترتیب با مقادیر 54.6 ، 53.9 و 60.1 مگاپاسکال دارای کمترین

جدول ۴- مقادیر مقاومت فشاری طرح های مختلف در سن ۲۸ روزه

شماره	کد نمونه	f_{c28} (Mpa)
1	F00Z00S05G0	54.6
2	F00Z00S10G0	61.4
3	F00Z00S05G5	53.9
4	F15Z00S05G0	69.3
5	F15Z00S10G0	78.2
6	F15Z00S05G5	71
7	F00Z10S05G0	60.1
8	F00Z10S10G0	68.2
9	F00Z10S05G5	62.4
10	F05Z10S05G0	65.1
11	F05Z10S10G0	70.3
12	F05Z10S05G5	67.6

بررسی تغییرات رفتار خمشی در نمونه های پیش بار گذاری شده ...

می شود نمونه ۶ (۱۵٪ دوده سیلیس، ۵٪ فولاد، ۵٪ شیشه) فاقد زئولیت دارای بیشترین مقاومت فشاری می باشد. همچنین در بررسی طرح های حاوی الیاف ترکیبی مشاهده می شود حضور پوزولان در طرح باعث افزایش مقاومت فشاری می شود که البته حضور میکروسیلیس نسبت به زئولیت در این مورد اثر گذاری بیشتری دارد.

۲-۳- مقاومت خمشی

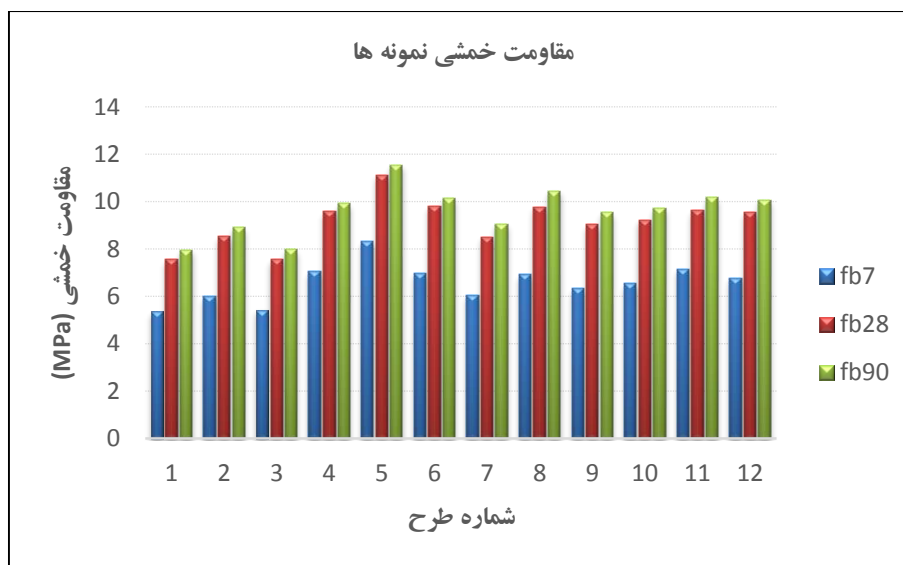
این آزمایش برای تعیین مدول گسیختگی بتن به روش سه نقطه ای بر روی نمونه ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شده است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۵ و شکل ۷ نشان داده شده است.

مقادیر مقاومت فشاری می باشند به طور کلی می توان گفت عدم استفاده از پوزولان به خصوص میکروسیلیس باعث کاهش مقدار مقاومت فشاری و همچنین جایگزینی الیاف شیشه با الیاف فولادی باعث کاهش مقاومت فشاری می شود. همانطور که مشاهده می شود در تمامی طرح ها با افزایش الیاف فولادی مقدار مقاومت افزایش می یابد و در تمام طرح ها جایگزینی الیاف شیشه با الیاف فولادی باعث کاهش مقاومت می شود.

همچنین در حالت کلی طرح های حاوی دوده سیلیس نسبت به طرح های حاوی زئولیت مقاومت فشاری بیشتری دارند. با مقایسه طرح های حاوی الیاف های ترکیبی (نمونه های ۳، ۶، ۹ و ۱۲) مشاهده

جدول ۵- مقادیر مختلف مقاومت خمشی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

شماره	کد نمونه	مقاومت خمشی (Mpa)		
		مقاومت خمشی ۷ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۹۰ روزه
1	F00Z00S05G0	5.357	7.557	7.953
2	F00Z00S10G0	5.995	8.524	8.921
3	F00Z00S05G5	5.428	7.54	7.961
4	F15Z00S05G0	7.059	9.579	9.93
5	F15Z00S10G0	8.305	11.117	11.548
6	F15Z00S05G5	6.989	9.823	10.158
7	F00Z10S05G0	6.061	8.497	9.061
8	F00Z10S10G0	6.934	9.775	10.447
9	F00Z10S05G5	6.325	9.03	9.536
10	F05Z10S05G0	6.531	9.225	9.723
11	F05Z10S10G0	7.16	9.634	10.169
12	F05Z10S05G5	6.781	9.562	10.067



شکل ۷- نمودار مقاومت خمشی نمونه ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

با توجه به نتایج بدست آمده نمونه شماره ۵ (۱۵ درصد دوده سیلیس و ۱۰ درصد الیاف فولاد) دارای بیشترین مقدار مقاومت خمشی در سنین مختلف می باشد. همچنین نمونه شماره یک حاوی فقط ۵٪ الیاف فولادی دارای کمترین مقدار مقاومت خمشی می باشد. در طرح های فاقد پوزولان افزایش مقدار الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت خمشی می شود در حالی که افزایش مقدار الیاف شیشه تاثیر چندانی بر افزایش مقدار مقاومت خمشی ندارد. در طرح های حاوی پوزولان نیز مانند طرح های بدون پوزولان افزایش مقدار الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت خمشی می شود در حالی که استفاده از الیاف شیشه هرچند باعث افزایش مقاومت خمشی می شود اما این افزایش چشمگیر نیست.

در میان طرح های حاوی الیاف ترکیبی (فولادی و شیشه) طرح شماره ۶ (۱۵٪ دوده سیلیس، ۵٪ الیاف فولاد و ۵٪ الیاف شیشه) دارای بیشترین مقاومت خمشی و طرح شماره ۳ فاقد پوزولان (۵٪ فولاد و ۵٪ شیشه) دارای کمترین مقدار مقاومت خمشی می باشد. با مقایسه طرح های ۹ و ۱۲ مشاهده می شود در حالت کلی حضور دوده سیلیس باعث افزایش مقدار مقاومت خمشی می شود.

بررسی نتایج نشان می دهد بیشترین مقدار افزایش مقاومت خمشی از سن ۷ تا ۹۰ روز مربوط به نمونه شماره ۸ حاوی ۱۰٪ زئولیت و ۱۰٪ فولاد می باشد همچنین کمترین روند افزایشی در مقاومت خمشی مربوط به طرح های شماره ۱، ۲ و ۳ می باشد که همگی فاقد پوزولان می باشد.

۳-۳- مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۲۸ روز

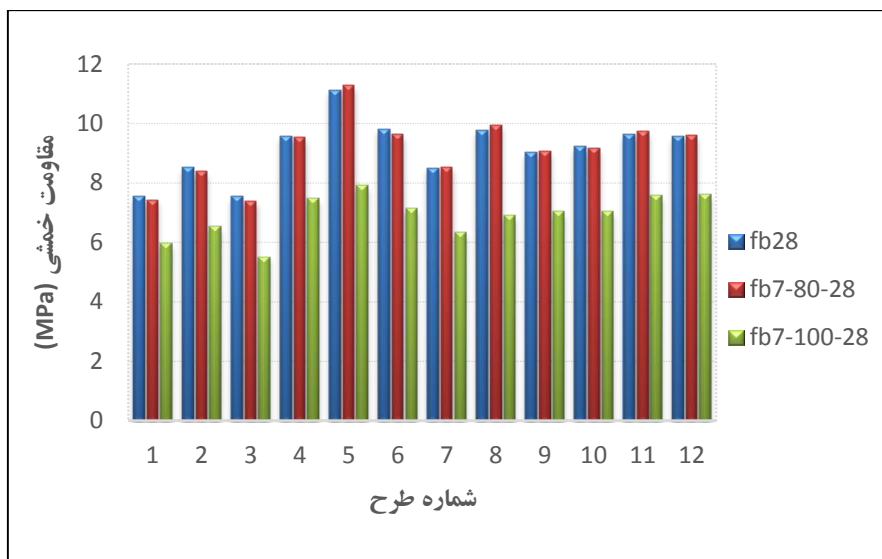
به منظور بررسی عملکرد نمونه های بتنی در شرایط بحرانی و یا پس از آسیب های ناشی از بارهای شدید غیرمترقبه همچون زلزله، پیش بارگذاری نمونه ها تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪) و نزدیک به حد گسیختگی (۸۰٪) انجام گرفت. همچنین مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۲۸ روز و مقایسه آن با مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه ها در شرایط عادی بررسی می شود. مقادیر مربوط به مقاومت خمشی نمونه های ۲۸ روزه پیش بارگذاری شده (در سن ۷ روز) در جدول ۶ و شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۶- مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های بدون و با پیش بارگذاری در سن ۷ روز

شماره	کد نمونه	f_{b28} (MPa)	$f_{b7-80-28}$ (MPa)	$f_{b7-100-28}$ (MPa)
1	F00Z00S05G0	7.557	7.423	5.973
2	F00Z00S10G0	8.524	8.373	6.525
3	F00Z00S05G5	7.54	7.398	5.507
4	F15Z00S05G0	9.579	9.539	7.471
5	F15Z00S10G0	11.117	11.272	7.925
6	F15Z00S05G5	9.823	9.637	7.143
7	F00Z10S05G0	8.497	8.535	6.352
8	F00Z10S10G0	9.775	9.951	6.905
9	F00Z10S05G5	9.03	9.066	7.038
10	F05Z10S05G0	9.225	9.16	7.031
11	F05Z10S10G0	9.634	9.733	7.584
12	F05Z10S05G5	9.562	9.595	7.606

$f_{b7-80-28}$: مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های با پیش بارگذاری نزدیک به حد گسیختگی (۸۰٪) در سن ۷ روز

$f_{b7-100-28}$: مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های با پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪) در سن ۷ روز



شکل ۸- نمودار مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۲۸ روز

۴-۳- مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۹۰ روز

در این بخش به بررسی مقاومت خمشی در سن ۹۰ برای نمونه های پیش بارگذاری ۱۰۰٪ و ۸۰٪ شده در سن ۷ روز می پردازیم. مقادیر مربوط به مقاومت های خمشی ۹۰ روز پیش بارگذاری شده و شرایط عادی (بدون پیش بارگذاری) در جدول ۷ و نمودار شکل ۹ نمایش داده شده است.

بررسی ها نشان می دهد مقاومت خمشی ۹۰ روزه تمام نمونه ها در هر دو شرایط پیش بارگذاری ۱۰۰٪ و ۸۰٪ نسبت به مقاومت خمشی بدون پیش بارگذاری کاهش می یابد، این کاهش برای حالت پیش بارگذاری ۱۰۰٪ در محدوده ۱۰ تا ۲۲ درصد می باشد که در قیاس با حالت قبل (مقاومت ۲۸ روزه) افزایش داشته است. بیشترین کاهش مقاومت برای حالت پیش بارگذاری ۱۰۰٪ مربوط به نمونه شماره ۱ (حاوی فقط ۵٪ الیاف فولاد) و برای حالت پیش بارگذاری ۸۰٪ مربوط به نمونه ۳ (حاوی ۵٪ الیاف فولاد و ۵٪ الیاف شیشه) می باشد.

بررسی ها نشان می دهد با افزایش مقدار الیاف میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بارگذاری شده کاهش می یابد همچنین جایگزینی الیاف شیشه بجای الیاف فولادی در طرح باعث می شود میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بارگذاری شده نسبت به حالت عادی افزایش یابد که این مورد به خصوص در حالت پیش بارگذاری ۸۰٪ شدت بیشتری دارد.

بررسی نتایج حاصله نشان می دهد بیشترین مقدار مقاومت خمشی در بین نمونه های پیش بارگذاری شده در هر دو حالت ۸۰٪ (نزدیک به حد گسیختگی) و ۱۰۰٪ (لحظه ترک خوردگی) در سن ۲۸ روز مربوط به نمونه شماره ۵ می باشد. همچنین بررسی ها نشان می دهد پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی نمونه ها در سن ۷ روز باعث می شود بین ۲۰ تا ۳۰ درصد مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه ها کاهش یابد. بیشترین مقدار کاهش مقاومت خمشی پیش بارگذاری شده (۱۰۰٪) مربوط به نمونه شماره ۸ (۱۰٪ ژئولیت و ۱۰٪ الیاف فولاد) و پس از آن مربوط به نمونه های ۵ (۱۵٪ دوده سیلیس و ۱۰٪ الیاف فولاد) و ۶ (۱۵٪ دوده سیلیس، ۵٪ الیاف فولاد و ۵٪ الیاف شیشه) می باشد. همچنین بررسی مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های پیش بارگذاری شده (۸۰٪) در سن ۷ روز نشان می دهد در بعضی از موارد همچون نمونه های شماره ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۲ مقاومت خمشی نمونه پیش بارگذاری شده نسبت مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های بدون پیش بارگذاری افزایش یافته است. در مورد نمونه های حاوی الیاف ترکیبی مشاهده می شود مقاومت خمشی ۲۸ روزه تمام آنها پس از پیش بارگذاری ۱۰۰٪ در سن ۷ روز کاهش می یابد ولی در مورد مقاومت خمشی پیش بارگذاری ۸۰٪ نمونه های ۳ و ۶ (بدون ژئولیت) کاهش و نمونه های ۹ و ۱۲ (حاوی ژئولیت) افزایش می یابد. در تمام نمونه های بدون پوزولان و فقط حاوی الیاف مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه های پیش بارگذاری شده ۱۰۰٪ و ۸۰٪ همگی نسبت به مقاومت خمشی بدون پیش بارگذاری کاهش می یابند.

مقایسه و بررسی نمونه های حاوی الیاف ترکیبی نشان می دهد بیشترین میزان کاهش مقاومت خمشی در اثر پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی مربوط به نمونه شماره ۳ (بدون پوزولان) با ۲۲٪ کاهش و کمترین مقدار کاهش مقاومت خمشی در اثر پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی مربوط به نمونه شماره ۱۲ (حاوی هر دو پوزولان زئولیت و دوده سیلیس) می باشد. همچنین در حالت پیش بارگذاری ۸۰٪ (نزدیک به حد گسیختگی) بیشترین مقدار کاهش در میان نمونه های حاوی الیاف ترکیبی مربوط به نمونه شماره ۶ (حاوی دوده سیلیس الیاف فولاد و شیشه) و کمترین مقدار کاهش مربوط به نمونه ۱۲ (حاوی هر دو نوع پوزولان زئولیت و دوده سیلیس) می باشد.

جدول ۷- مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های بدون و با پیش بارگذاری در سن ۷ روز

شماره	کد نمونه	f_{b90} (MPa)	$f_{b7-80-90}$ (MPa)	$f_{b7-100-90}$ (MPa)
1	F00Z00S05G0	7.953	7.853	6.142
2	F00Z00S10G0	8.921	8.813	7.042
3	F00Z00S05G5	7.961	7.851	6.241
4	F15Z00S05G0	9.93	9.864	7.946
5	F15Z00S10G0	11.548	11.485	9.732
6	F15Z00S05G5	10.158	10.014	8.553
7	F00Z10S05G0	9.061	8.924	7.305
8	F00Z10S10G0	10.447	10.445	8.416
9	F00Z10S05G5	9.536	9.406	8.105
10	F05Z10S05G0	9.723	9.586	8.284
11	F05Z10S10G0	10.169	10.037	9.089
12	F05Z10S05G5	10.067	10.003	8.926

$f_{b7-80-90}$: مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های با پیش بارگذاری نزدیک به حد گسیختگی (۸۰٪) در سن ۷ روز

$f_{b7-100-90}$: مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های با پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪) در سن ۷ روز



شکل ۹- نمودار مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۹۰ روز

بررسی تغییرات رفتار خمشی در نمونه های پیش بارگذاری شده ...

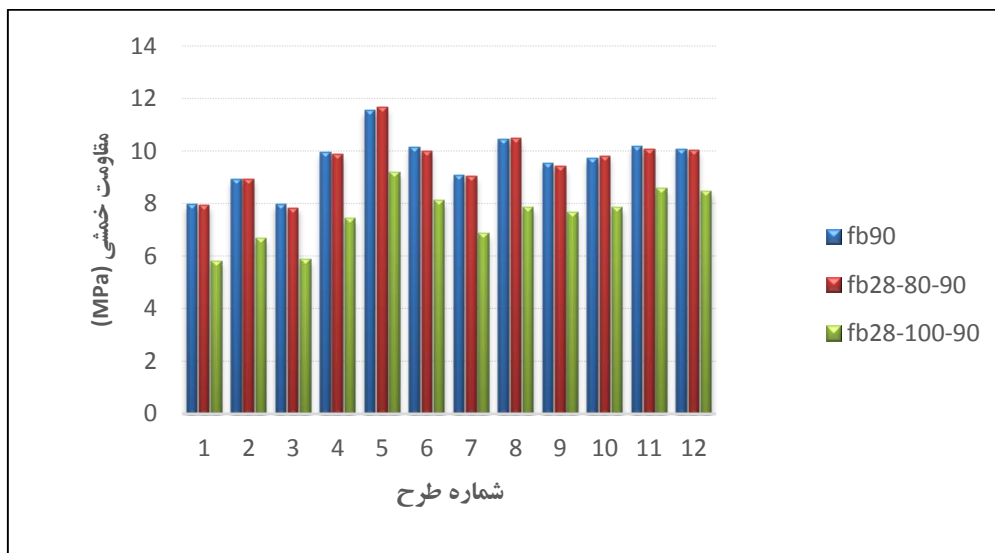
۳-۵- مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز
 به دست آمده با مقاومت خمشی نمونه ها در حالت بدون پیش بارگذاری مقایسه می شود. مقادیر مربوط به مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه ها در حالت پیش بارگذاری شده (در سن ۲۸ روزه) و حالت بدون پیش بارگذاری در جدول ۸ و نمودار شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

جدول ۸- مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های بدون و با پیش بارگذاری در سن ۲۸ روز

شماره	کد نمونه	f_{b90} (MPa)	$f_{b28-80-90}$ (MPa)	$F_{b28-100-90}$ (MPa)
1	F00Z00S05G0	7.953	7.919	5.817
2	F00Z00S10G0	8.921	8.929	6.682
3	F00Z00S05G5	7.961	7.829	5.879
4	F15Z00S05G0	9.93	9.858	7.429
5	F15Z00S10G0	11.548	11.679	9.173
6	F15Z00S05G5	10.158	10.006	8.121
7	F00Z10S05G0	9.061	9.016	6.854
8	F00Z10S10G0	10.447	10.47	7.839
9	F00Z10S05G5	9.536	9.415	7.67
10	F05Z10S05G0	9.723	9.81	7.854
11	F05Z10S10G0	10.169	10.083	8.565
12	F05Z10S05G5	10.067	10.029	8.477

$f_{b28-80-90}$: مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های با پیش بارگذاری نزدیک به حد گسیختگی (۸۰٪) در سن ۲۸ روز

$F_{b28-100-90}$: مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های با پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪) در سن ۲۸ روز



شکل ۱۰- نمودار مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز

نتایج حاصل از آزمایشها و مقادیر به دست آمده نشان می دهد و حالت پیش بارگذاری تا حد گسیختگی (۸۰٪) وجود ندارد و اختلاف چندانی میان مقاومت خمشی حالت بدون پیش بارگذاری این اختلاف حداکثر ۱/۵ درصد می باشد که در بعضی نمونه ها

کاهش و در برخی دیگر به خصوص طرح های حاوی الیاف فولادی شاهد افزایش مقاومت خمشی را نشان می دهد. همچنین با بررسی مقادیر مربوط به حالت پیش بارگذاری ۱۰۰٪ مشاهده می شود مقاومت خمشی ۲۸ روزه تمام نمونه ها نسبت به حالت بدون پیش بارگذاری کاهش یافته و محدوده این کاهش ۱۶ الی ۲۷ درصد می باشد که بیشترین مقدار کاهش مقاومت مربوط به نمونه ۱ (فقط حاوی الیاف فولادی) و کمترین مقدار کاهش مقاومت مربوط به نمونه های ۱۱ و ۱۲ (حاوی هر دو نوع پوزولان) می باشد، در حالت کلی میتوان نتیجه گرفت با وجود پوزولان به خصوص استفاده از ترکیب دو پوزولان دوده سیلیس و زئولیت در طرح نمونه ها در شرایط پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی عملکرد بهتری داشته و میزان کمتری از مقاومت خمشی اولیه خود را از دست می دهند.

۶-۳- مقاومت خمشی نمونه های پیش بارگذاری شده

در سن ۷ و ۲۸ روز بعد از ۹۰ روز

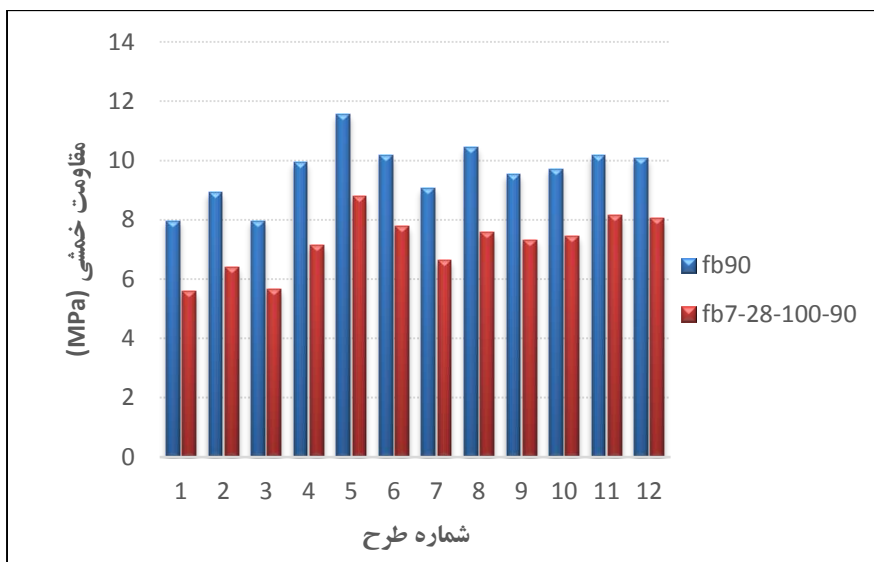
در این بخش، مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه ها در حالتی که در دو سن ۷ و ۲۸ روز تحت اثر پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪)، بررسی و با مقادیر مقاومت خمشی ۹۰ روزه در حالت بدون پیش بارگذاری مقایسه می شود. مقادیر مربوط به مقاومت خمشی نمونه ها در حالت پیش بارگذاری شده و حالت بدون پیش بارگذاری در جدول ۹ و نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است.

مقایسه میان نمونه های حاوی الیاف ترکیبی نشان می دهد نمونه ۳ (حاوی فقط الیاف) دارای بیشترین کاهش در مقاومت خمشی می باشد و نمونه ۱۲ (حاوی بیشترین مقدار پوزولان) دارای کمترین میزان کاهش مقاومت خمشی می باشد که این موضوع همانطور که پیشتر اشاره شد نشان دهنده اثر مثبت استفاده از پوزولان در

جدول ۹- مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های بدون و با پیش بارگذاری در سنین ۷ و ۲۸ روز

شماره	کد نمونه	f_{b90} (MPa)	$f_{b7-28-100-90}$ (MPa)
1	F00Z00S05G0	7.953	5.586
2	F00Z00S10G0	8.921	6.385
3	F00Z00S05G5	7.961	5.672
4	F15Z00S05G0	9.93	7.141
5	F15Z00S10G0	11.548	8.779
6	F15Z00S05G5	10.158	7.783
7	F00Z10S05G0	9.061	6.634
8	F00Z10S10G0	10.447	7.566
9	F00Z10S05G5	9.536	7.325
10	F05Z10S05G0	9.723	7.442
11	F05Z10S10G0	10.169	8.15
12	F05Z10S05G5	10.067	8.039

$f_{b7-28-100-90}$: مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های با پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی (۱۰۰٪) در سنین ۷ و ۲۸ روز



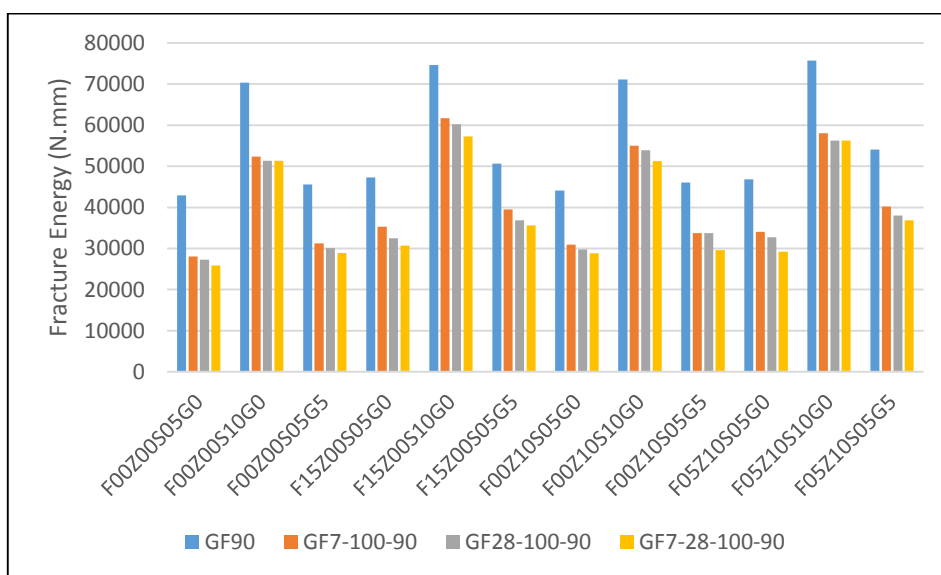
شکل ۱۱- نمودار مقاومت خمشی نمونه های پیش بار گذاری شده ۷ و ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز

نسبت به طرح هایی که فقط در آن ها از یک نوع پوزولان استفاده شده است کاهش کمتری در مقاومت داشته را نشان می دهد. بررسی ها نشان می دهد افزایش میزان الیاف باعث میشود میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بار گذاری کمتر شود و همچنین طرح های حاوی دو نوع الیاف (فولاد و شیشه) در قیاس با طرح های فقط حاوی الیاف فولادی کاهش مقاومت کمتری در حالت پیش بار گذاری شده دارند.

بررسی مقادیر بدست آمده نشان می دهد مقاومت خمشی ۹۰ روزه نمونه های پیش بار گذاری شده در سنین ۷ و ۲۸ روز به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به حالت بدون پیش بار گذاری کاهش می یابد که در قیاس با حالت های قبلی که فقط یک مرحله پیش بار گذاری، افزایش یافته است. نمونه شماره ۱ (فقط حاوی الیاف فولادی) دارای بیشترین میزان کاهش و نمونه های ۱۱ و ۱۲ (حاوی دو نوع پوزولان و الیاف) دارای کمترین میزان کاهش مقاومت خمشی در میان نمونه ها هستند. مقایسه طرح های حاوی الیاف ترکیبی نشان می دهد طرح های حاوی پوزولان در مقایسه با طرح های بدون پوزولان کاهش کمتری در مقاومت خمشی داشته اند. همچنین طرح شماره ۱۲ حاوی هر دو نوع پوزولان دوده سیلیس و زئولیت

۲-۳- انرژی شکست خمشی

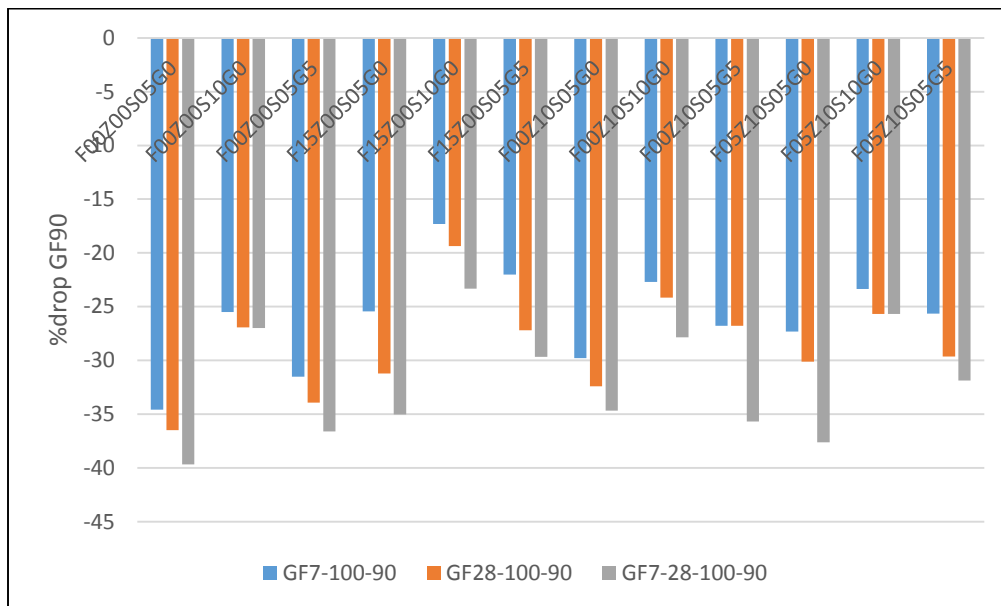
انرژی شکست خمشی سن ۹۰ روزه طرح های مختلف پیش بار گذاری شده در سنین مختلف در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- انرژی شکست خمشی سن ۹۰ روزه طرح های مختلف پیش بار گذاری شده در سنین مختلف

بیشترین انرژی شکست را داشتند که عملکرد مناسب الیاف را نشان می دهد. پس از آسیب دیدگی نیز این روند حفظ شده است و به نظر می رسد ترک خوردگی در طرح های الیافی لزوماً منجر به برهم خوردن روند تغییرات انرژی شکست نمی شود. در شکل ۱۳ افت انرژی شکست خمشی در سن ۹۰ روز نمونه های پیش بارگذاری شده در سنین مختلف نسبت به نمونه های بارگذاری نشده، نشان داده شده است.

افت شدید انرژی شکست پس از آسیب دیدگی اولین نکته ای است که در شکل ۱۲ حایز اهمیت تلقی می شود. اما سن آسیب دیدگی، تغییر چندانی در مقدار انرژی شکست نمونه ها در سن ۹۰ روز ایجاد نمی کند. بیشترین مقدار انرژی شکست در طرح ترکیبی ۵٪ دوده سیلیسی و ۱۰٪ زئولیت با ۱٪ الیاف فولادی حاصل شده است که اختلاف ناچیزی در حد ۱,۴٪ نسبت به رقیب خود (طرح حاوی ۱۵٪ دوده سیلیسی) دارد. در مجموع طرح های حاوی ۱٪ الیاف فولادی،



شکل ۱۳- افت انرژی شکست خمشی در سن ۹۰ روز نمونه های پیش بارگذاری شده در سنین مختلف نسبت به نمونه های بارگذاری نشده

۴- نتیجه گیری

براساس تحقیقات انجام گرفته نتایج حاصل از آزمایشات به صورت خلاصه در موارد زیر ذکر می گردد:

- عدم استفاده از پوزولان به خصوص میکروسیلیس و همچنین جایگزینی الیاف شیشه با الیاف فولادی باعث کاهش مقاومت فشاری می شود.
- در حالت کلی طرح های حاوی دوده سیلیس نسبت به طرح های حاوی زئولیت مقاومت فشاری بیشتری دارند.
- بررسی طرح های حاوی الیاف ترکیبی مشاهده می شود حضور پوزولان در طرح باعث افزایش مقاومت فشاری می شود که البته حضور میکروسیلیس نسبت به زئولیت در این مورد اثرگذاری بیشتری دارد.
- در طرح های فاقد پوزولان، افزایش مقدار الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت خمشی می شود در حالی که افزایش مقدار

نتایج مربوط به افت انرژی شکست تا حد قابل توجهی نسبت به مقاومت خمشی متفاوت است. در این نتایج می توان به خوبی مشاهده نمود که طرح ۱۵٪ خاکستر کمترین افت را داشته است و این اختلاف فارغ از سن آسیب رسانی حداقل ۷/۶٪ می باشد که البته در پیش بارگذاری دو مرحله ای اختلاف کمتر می شود و دوده سیلیسی فرصت ترمیم خود را از دست می دهد. هر چند طرح های حاوی زئولیت امکان احیای مقاومت خمشی را تا حدی فراهم نموده و در این زمینه با طرح حاوی ۱۵٪ دوده سیلیسی رقابت داشتند اما در مورد انرژی شکست می توان گفت دوده سیلیسی ترمیم بیشتری را به همراه داشته است. در طرح با پیش بارگذاری ترکیبی که اثر دوده سیلیس کاهش می یابد، با کم شدن درصد دوده سیلیس اختلاف نتایج نیز کمتر می شود که نشان می دهد زئولیت نقش فعال تری در ترمیم ترک برای بازه های زمانی کوتاه تر دارد.

مقاومت کمتر می شود و البته جایگزینی بخشی از الیاف فولادی با الیاف شیشه (استفاده از الیاف ترکیبی) باعث می شود درصد کاهش مقاومت کمتر نیز شود.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۷ و ۲۸ روز بعد از ۹۰ روز مقایسه طرح های حاوی الیاف ترکیبی نشان می دهد طرح های حاوی پوزولان در مقایسه با طرح های بدون پوزولان کاهش کمتری در مقاومت خمشی دارد.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۷ و ۲۸ روز بعد از ۹۰ روز بررسی ها نشان می دهد افزایش میزان الیاف باعث میشود میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بارگذاری کمتر شود.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۷ و ۲۸ روز بعد از ۹۰ روز، طرح های حاوی دو نوع الیاف (فولاد و شیشه) در قیاس با طرح های فقط حاوی الیاف فولادی، کاهش مقاومت کمتری در حالت پیش بارگذاری شده دارند.

• بررسی میزان انرژی شکست نشان داده است که طرح های حاوی ۱٪ الیاف فولادی بیشترین انرژی شکست را داشتند که مدیون عملکرد الیاف هستند. پس از آسیب دیدگی نیز این روند حفظ شده است و به نظر می رسد ترک خوردگی در طرح های الیافی لزوماً منجر به برهم خوردن روند تغییرات انرژی شکست نمی شود.

• در طرح با پیش بارگذاری ترکیبی که اثر دوده سیلیس کاهش می یابد، با کم شدن درصد دوده سیلیس اختلاف نتایج نیز کمتر می شود که نشان می دهد ژئولیت نقش فعال تری در ترمیم ترک برای بازه های زمانی کوتاه تر را دارد.

۵- قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان "تغییرات رفتار خمشی در نمونه های پیش بارگذاری شده بتن های پوزولانی مسلح به الیاف فولاد و شیشه" است و کلیه اعتبار مالی آن توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان (مرکز سياهکل) تامین شده است. از کلیه همکاران محترم که در روند انجام آزمایش ها و ثبت نتایج آن زحمات فراوانی را متحمل شده‌اند صمیمانه سپاسگزارم.

الیاف شیشه، تاثیر چندانی بر افزایش مقدار مقاومت خمشی ندارد.

• در میان طرح های حاوی الیاف ترکیبی مشاهده می شود در حالت کلی حضور دوده سیلیس باعث افزایش مقدار مقاومت خمشی می شود.

• پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی نمونه ها در سن ۷ روز باعث می شود بین ۲۰ تا ۳۰ درصد مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه ها کاهش یابد.

• در مورد نمونه های حاوی الیاف ترکیبی مشاهده می شود مقاومت خمشی ۲۸ روزه تمام آنها پس از پیش بارگذاری ۱۰۰٪ در سن ۷ روز کاهش می یابد ولی در مورد مقاومت خمشی پیش بارگذاری ۸۰٪ نمونه های ۳ و ۶ (بدون ژئولیت) کاهش و نمونه های ۹ و ۱۲ (حاوی ژئولیت) افزایش می یابد.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۹۰ روز بررسی ها نشان می دهد با افزایش مقدار الیاف میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بارگذاری شده کاهش می یابد.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده ۷ روزه بعد از ۹۰ جایگزینی الیاف شیشه به جای الیاف فولادی در طرح باعث می شود میزان کاهش مقاومت خمشی در حالت پیش بارگذاری شده نسبت به حالت عادی افزایش یابد که این مورد به خصوص در حالت پیش بارگذاری ۸۰٪، شدت بیشتری دارد.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز حضور پوزولان به خصوص استفاده از ترکیب دو پوزولان دوده سیلیس و ژئولیت در طرح نمونه ها در شرایط پیش بارگذاری تا لحظه ترک خوردگی عملکرد بهتری داشته و میزان کمتری از مقاومت خمشی اولیه خود را از دست می دهند.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز مقایسه دو طرح حاوی الیاف ترکیبی، یکی حاوی دوده سیلیس و دیگری حاوی ژئولیت نشان دهنده میزان کاهش کمتر مقاومت خمشی در طرح حاوی ژئولیت می باشد.

• در مورد نمونه های پیش بارگذاری شده در سن ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز، با افزایش میزان الیاف در طرح میزان کاهش

۶- مراجع

فولادی و شیشه ای بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه های بتنی با

استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر"، مجله علمی پژوهشی تحقیقات بتن، گیلان، سال هشتم، شماره اول، ۱۳۹۴.

[14] Soroushian P, Elyamany H, Tlili A, and Ostowari K, 1998 "Mixed-mode Fracture Properties of Concrete Reinforced with Low Volume Fractions of Steel and Polypropylene Fibers", cement and Concrete Composites, Vol.20, pp 67-78.

[15] Corinaldesi V, Moriconi G. Characterization of self-compacting concretes pre-pared with different fibers and mineral additions. Cement and Concrete Compo-sites. 2011 May 31:33 (5), 596-601.

[16] Chen B, Liu J. Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures. Cement and Concrete Research. 2004 Jun 30:34 (6), 1065-9.

[17] Sivakumar A, Santhanam M. Mechanical properties of high strength concrete reinforced with metallic and non-metallic fibers. Cement and Concrete Compo-sites. 2007 Sep 30;29(8):603-8.

[18] ASTM C33, 2005 Srandard Specification for Concrete Aggregates, (2005).

[1] El-Dieb A.S., " Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultra-highstrength self-compacting concrete incorporating Steel fiber", Materials and Design 30 (2009) PP 4286–4292.

[2] Jingjun Li, JIANGANG Niu, Chaojun Wan, Xiaoqin Liu, Zhiyi Jin, Comparison of flexural property between high performance polypropylene fiber reinforced lightweight aggregate concrete and steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete, Construction and Building Materials, Volume 157, 2017, Pages 729-736, ISSN 0950-0618.

[۳] حسن رحیمی، "مصالح ساختمانی"، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۵).

[4] L. Shan and L. Zhang, "Experimental Study on Mechanical Properties of Steel and Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete", Applied Mechanics and Materials, Vols. 586-584, pp. 1361-1355, 2014.

[5] S. Kurtz and P. Balaguru; "Postcrack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure"; Journal of Cement and Concrete Research, Elsevier Science, Vol. 22, No.1, pp. 183-190, 2000.

[۶] نیره اکبرزاده، "بتن های الیافی"، نشر نوآور، (۱۳۹۶).

[7] A.E. Richardson; "Bond characteristics of structural polypropylene fibers in concrete with regard to post-crack strength and durable design"; Journal of Structural Survey, Vol. 23, No.3, pp. 210-230, 2005.

[۸] پوریا پایرو، خاطره مفتخری نظری پور، "بتن مسلح الیافی"، انتشارات فرهنگ و دانش، (۱۳۹۲).

[9]. C.S. Poon, S.C. Kou, L. Lam, "Compressive Strength, Chloride Diffusivity And Pore Structure Of High Performance Metakaolin And Silica Fume Concrete", Construction And Building Materials, 20(10), 858-865; (2006).

[۱۰] حسین توانایی، "الیاف بشر ساخته"، انتشارات اصفهان: نشر ارکان، (۱۳۷۷).

[۱۱]. باقری، علیرضا، پرهز کار، طیبه، قدوسی، پرویز، طاهری، افشین، (۱۳۸۷)، "کاربرد الیاف در بتن و فرآورده های سیمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن نشریه ک-۳۰۰.

[12] B Felekoğlu, K Tosun, B Baradan, (2009) "Effects of fibre type and matrix structure on the mechanical performance of self-compacting micro-concrete composites", Cement and Concrete Research, Elsevier, Sep 30;29(10):603-8.

[۱۳] واقفی، محمد؛ پولادی، علیرضا، "تأثیر الیاف پلی پروپیلن،

Investigating measurement variations of flexural behavior in preloaded specimens of pozzolanic concrete reinforced with steel and glass fibers

Komeyl Karimi-Moridani *

Department of Civil Engineering, Lahijan Branch (Siyahkal center), Islamic Azad University, Siyahkal ,Iran

Abstract

Flexural behavior investigation of concrete materials is one of the most important issues in evaluating its mechanical behavior and is one of the main criteria for the design of concrete structures. The flexural behavior analysis of concrete specimens in a laboratory can simulate the behavior of concrete in a real scale with acceptable accuracy. Flexural strength, failure energy, bending coefficient and toughness are parameters that can be extracted from concrete bending results. Each of these parameters is important in the complex and sensitive design of high-rise or non-structural structures. In this research, two pozzolans of zeolite and silica ash, as well as two types of steel and glass fibers are used to improve the concrete specifications. The effect of individual behavior of these materials and their effects simultaneously has been highlighted. The materials used in this project have a significant research background. However, in the combination of materials mentioned, little research has been done; and there are still more studying points. The results of pre-loading concrete fibers represented new aspects of concrete behavior in structural performance. It was observed that in the non-pozzolan specimens, increasing the amount of steel fibers increased flexural strength while increasing the amount of glass fibers did not have a significant effect on increasing flexural strength. Also, in the specimens with mixed pre-loading, with the decrease of the percentage of silica soot, the difference of results is reduced. This trend indicates that zeolite has a more important role in repairing cracks for shorter time intervals. Examination of fracture energy showed that specimens containing 1% steel fiber had the highest fracture energy due to fiber performance. After the specimens are damaged, this process is maintained and it seems that cracking in the fiber specimens does not necessarily lead to disruption of fracture energy changes.

Keywords: Flexural strength, zeolite, silica fume, pre-loading, steel fibers, glass fibers.

* Corresponding Author: karimi.k@srbiau.ac.ir

