نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ویژه ۲، سال ۱۳۹۹، صفحه ۵ تا ۲۱

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارزیابی تاثیر خاکستر بادی ، پودر زئولیت و الیاف شیشه بر رفتار خمشی تیرهای سبک سازه‌ای حاوی سنگدانه اسکوریا

ابوالفضل رضایی [۱]، یوسف زندی [۲*]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه علوم تحقیقات آذربایجان شرقی

۲-استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

چکیده

در این کار پژوهشی برای ساختن بتن سبک از سنگدانه اسکوریا استفاده شده و برای افزایش مقاومت خمشی تیرهای مورد آزمایش از الیاف شیشه ، همچنین جهت کاهش استفاده از سیمان، کاهش آلاینده‌های زیستی در ایران و همچنین افزایش کارایی بتن از پودر زئولیت و خاکستربادی استفاده شده است و مشخصات مکانیکی این بتن‌های سبک به ویژه رفتار خمشی تیرهای سبک سازه‌ای در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله گویای این است که در تیر بتنی سبک ساخته شده و نمونه‌های فشاری، در کرنش‌های زیاد، به علت وجود شبکه‌ای از الیاف تا ۳ درصد وزنی سیمان و انعطاف‌پذیری حاصله، از تردی و شکست آن جلوگیری می‌کند و باعث افزایش تا ۲۰ درصد مقاومت فشاری و ۱۰ درصد مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد.همچنین افزودن پودرزئولیت در کنار خاکستربادی تا ۱۵درصد وزنی سیمان، خاصیت چسبندگی همانند سیمان به بتن سبک داده و باعث افزایش مقاومت خمشی تا ۱۵ درصد گردیده است.

کلمات کلیدی: بتن سبک سازه‌ای ، اسکوریا ، الیاف شیشه ، خاکستربادی ، پودرزئولیت . مقاومت خمشی

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2018.129538.1549
۱۳۹۷/۰۲/۱۳	۱۳۹۷/۰۸/۰۱	۱۳۹۷/۰۹/۰۹	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	doi: 10.22065/JSCE.2018.129538.1549

*نویسنده مسئول: یوسف زندی

پست الکترونیکی: zandi@iaut.ac.ir

Evaluation of the effect of fly ash and zeolite powder and glass fiber on flexural behavior of structural lightweight beams made of Scoria

yousef zandi[*1] , Abolfazl Rezaei [2]

1 Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2 Master student in East Azarbaijan Science and Research university

ABSTRACT

Lowering the weight of concrete used in buildings and other structures has been one of the main priorities of the specialists. This will reduce the dead load and the forces involved in the structure during the earthquake. A wide range of research has been done around the world.In this work, a research on the construction of lightweight aggregates of Scoria has been used to increase the flexural strength of the beams tested in the glass fiber, as well as to reduce the use of cement, reduce the amount of pollutants in Iran, as well as increase the efficiency of concrete from zeolite and ash powder The wind has been used and the mechanical characteristics of these lightweight concrete structures, in particular the flexural behavior of lightweight structural beams, have been investigated in the laboratory environment, and the results indicate that light concrete was constructed and pressurized in Due to the presence of a network of fibers up to 3% by weight of cement and the resulting flexibility, the strain is very crisp And preventing it from breaking down and increasing the compressive strength by up to 20% and 10% of the flexural strength compared to the control sample. Addition of powdered zeolite along with ash to 15% by weight of cement has the same adhesion properties as cement to light concrete Data has increased the flexural strength by up to 15%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 May 2018
Revise Date: 23 October 2018
Accept Date: 30 November 2018

Keywords:
Structural lightweight concrete, Ascoria, glass fiber, Fly ash, Zeolite powder, bending strength

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

10.22065/JSCE.2018.129538.1549

*Corresponding author: yousef zandi
Email address: zandi@iaut.ac.ir

۱- مقدمه

اساساً بتن سبک یک ماده جدید نیست و از روزگار امپراتوری رم تاکنون شناخته شده است بکارگیری سبکدانه بیشتر بر اساس مواد خام در دسترس بوده است [1]. برخی محققین [۱،۲]،درتحقیقاتشان روی بتن‌های سبکدانه حاوی سبکدانه‌های طبیعی چون توف و پرلیت یا سبکدانه‌های مصنوعی چون رس منبسط شده یا شل مطالعه کرده اند .آن ها به این نتیجه رسیده‌اند که افزودنی هایی مانند خاکستربادی، میکروسیلیس و پوزولان های طبیعی در بتن سبک، سبب بهبود مشخصات مختلفی در بتن می شود؛ چرا که واکنش های پوزولانی منجر به بهبود مشخصات مکانیکی می‌شود [۳] .مقاومت فشاری در بتن سبک سازه‌ای، ۲۱ تا ۲۸ مگا پاسکال است[۴]در ایران هم به دلیل زلزله خیز بودن منطقه و گرایش به بلند مرتبه سازی لزوم استفاده از مصالح سبک وزن سازه‌ای همراه با تکنولوژی روز دنیا جهت بالا بردن خصوصیات مکانیکی محصول حاصل احساس میشود.در آلمان و نروژ تنوع وسیعی از سبکدانه‌ها بر اساس رس منبسط شده (liapor and lica) تولید شده است. در هند از سویی دیگر تکنولوژی تولید سبک دانه بر اساس flay ash توسعه یافته است. در ایسلند کاربرد سنگ سخت یک روش معمولی است که تکنولوژی توسعه یافته بر اساس پامیس میباشد.از سوی دیگر به علت نیاز روزافزون به استفاده از مواد ترکیبی برای دستیابی به خواص و عملکردهای مطلوب استفاده از مصالح کامپوزیت به طور قابل توجهی در صنعت ساختمان رو به رشد بوده و با سرعت فوق‌العاده در حال توسعه می‌باشد. اولین تحقیقات انجام شده در این زمینه از اوایل دهه ۱۹۸۰ آغاز شد [۵،۶،۷] .Criag وهمکاران در سال۱۹۸۴ تیرهایی با ۲درصد حجمی الیاف را مورد آزمایش قرار دادند آنها نتیجه گرفتند که با افزودن الیاف به بتن، افزایش قابل توجهی در شکل پذیری و مقاومت خمشی تیرها حاصل شده بود. [۸]Mansour& Trainaدر سال ۱۹۹۱ به بررسی تاثیر الیاف بر پیک تنش- کرنش تحت بارگذاری تک محوری و دو محوری پرداختند، آنها نتیجه گرفتند در فشار تک محوره بر روی نمونه های دارای الیاف، مقاومت نهایی نسبت به بتن بدون الیاف افزایش چشمگیری دارد. ماکزیمم افزایش مقاومت فشاری که آنها مشاهده کردند برای ۵/۱درصد حجمی الیاف بود که باعث شد ۲۲ درصد افزایش مقاومت رخ دهد و در قسمت دومحوری ۱/۵ درصد الیاف باعث افزایش ۸۵ درصد درمقاومت فشاری شد. [۹]Ahmed el و همکاران در سال۲۰۱۵عملکرد سازه ای تیرهای بتن سبک با ترکیب الیاف شیشه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند نتایج تجربی نشان دهنده‌ی کفایت مدلهای مورد استفاده در پیش بینی ظرفیت حمل بار، انحراف، عرض ترک و تغییر شکل از تیرهای بتن سبک سازه‌ای میباشد. [۱۰]. ضعیف ترین جزء بتن سبک، ماتریس سیمان یا منطقه تماسی نیست، بلکه سبک دانه است . به همین دلیل مشخصات مکانیکی بتن سبک تنها با کیفیت ماتریس سیمان آن سنجیده نمی‌شود و مشخصات سبک دانه، حجم سبک دانه ها در بتن موثرند[۲،۱۱].

Namanدر سال ۱۹۸۵ نمونه‌های استوانه‌ای بتن را تحت فشار قرار دادند تا منحنی تنش - کرنش مخلوط دارای الیاف را بدست آورند، آنها نتیجه گرفتند که الیاف اضافه شده باعث افزایش قابل توجه در نقطه پیک منحنی تنش-کرنش و همچنین باعث افزایش شکل پذیری و مقاومت خمشی مشخصی در ناحیه قبل از نقطه پیک منحنی تنش-کرنش شده است.[۱۲]Paweł و همکاران در سال ۲۰۱۵ به جایگزینی خرده شیشه با شن و ماسه همچنین استفاده از خاکستر بادی در بتن سبک پرداخته اند و نتایج بدست آمده حاکی از این است که این جایگزینی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای در حدود ۱۶٪ و مقاومت خمشی در حدود ۱۴٪ گردیده است. [۱۳] Payamدر سال ۲۰۱۳خواص مهندسی بتن سبک پوسته بادام حاوی خاکستربادی را مورد مطالعه قرار داد و اثر جایگزینی سیمان با خاکستربادی در ۰٪ ، ۱۰٪ ، ۳۰٪ ، ۵۰٪ برای خواصی مانند کارایی، چگالی، مقاومت فشاری و کششی، استحکام خمشی، جذب آب مورد بررسی قرار داد نتایج آزمایشات نشان داد که با تعویض تا ۵۰٪ از سیمان با خاکستربادی میتوان به بتن سازه‌ای با مقاومت بالا دست یافت بنابراین از خواص استحکام خمشی و کششی این بتن می توان در ساخت تیر های سبک سازه ای بهره جست. [۱۴]Chao & Yingli Gao Zou در سال۲۰۱۵ با اضافه کردن خاکستربادی به بتن دانه سبک نتیجه می گیرند که درجه تفکیک بتن کاهش می یابد و باعث افزایش اسلامپ بتن و در نتیجه کاهش نسبت آب به سیمان می گردد و همچنین آزمون خواص مکانیکی نشان می دهد که مقاومت فشاری افزایش و شکنندگی بتن کاهش می یابد [۱۵] .

هدف این مقاله بررسی خواص مکانیکی تیرهای بتن سبک سازه‌ای با استفاده از دانه‌های سبک از جنس اسکوریا همراه با خاکستربادی، پودرزئولیت و الیاف شیشه میباشد این بتن نرم با قابلیت خمش عمدتاً از همان اجزای بتن معمولی منهای ذرات درشت ساخته می شود. از نظر ظاهری نیز این ماده همانند بتن معمولی است ولی در کرنش های زیاد، به علت وجود شبکه ای از الیاف، خاکستربادی و پودر زئولیت انعطاف پذیری حاصله، از تردی و شکست آن جلوگیری می کند.

Krishna Lekha & Lathi Karthi در سال۲۰۱۷ یک بررسی تجربی برای ارزیابی خواص مکانیکی بتن با زئولیت به عنوان جایگزینی جزئی سیمان انجام دادند. علاوه بر این، سازگاری مخلوط سیمان و پودرزئولیت مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل بر روی بتن سبک M30 انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن زئولیت بر روی بتن توان مقاومت فشاری را نسبت به بتن معمولی کاهش می دهد. این ممکن است به علت افزایش تخلخل بتن توسط افزودن زئولیت همراه با واکنش طولانی مدت پوزولانیک زئولیت باشد. زئولیت دارای واکنش پوزولانیک کندتر نسبت به واکنش هیدراتاسیون سیمان پرتلند است. اما مقاومت کششی بتن با جایگزینی سیمان با زئولیت تا سطح ۱۵ درصد جایگزین در مقایسه با نمونه شاهد، افزایش یافته است [۲۳].

Nikola tosic وهمکاران در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی ۶ نمونه تیر بتنی حاوی خاکستر بادی و سنگدانه‌های بازیافتی و معمولی ساختند نمونه‌ها را در سن ۷ و ۲۸ روزه تحت بارگذاری قرار دادند. برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ویژگی شکست، ترک، کشش، خزش و انقباض نمونه ها را مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قراردادند.نتایج بدست آمده با موارد پیش بینی شده مورد مقایسه قرار گرفت و حاکی از افزایش یکسان در همه ویژگی‌های ارزیابی شده نسبت به تیر شاهد بود [۲۴].

۲- مواد

۲-۱-مصالح به کار رفته

۲-۱-۱- مشخصات سنگدانه سبک

سنگدانه اسکوریا (SA) یا سنگ پا از معدن طبیعی در نزدیکی سلماس (آذربایجان غربی ــ ایران) تهیه شده است. بزرگترین سنگدانه سبک که در تهیه بتن استفاده شد ۱۹ mm است. این سنگ بیشتردر دهانه کوههای آتش‌فشانی و از گدازه‌های مذابی که سیلیس کمی دارند (بازالت)ایجاد میشود.رنگ آن تیره است و میتواند به رنگ‌های قهوه ای مایل به قرمز، قرمز، خاکستری، و یا سیاه باشد. بیستر این سنگ ها وزن مخصوص بیشتر ازیک دارند. برای نمونه‌برداری و دانه‌بندی به ترتیب طبق استاندارد ASTM D۷۵ [۱۶] و C۱۳۶ ASTM[۱۷] عمل شد. برای مقایسه سنگدانه‌های مصرف شده با حدود استاندارد، محدوده استاندارد دانه‌بندی توصیه شده ASTM C۳۳۰ [۱۸] ملاک عمل قرار داده شد.

جدول (۱) مشخصات فیزیکی اسکوریا

	جذب آب (٪)			چگالی		چگالی توده ای (kg/m^3)	
	۲۴ ساعت	۳۰ دقیقه		خشک (OD)	اشباع با سطح خشک (SSD)	غیر متراکم	متراکم
اسکوریا (SA)	*14.84*	*11.63*		*1.60*	*1.84*	*895*	*995*

۲-۱-۲- سیمان

سیمان استفاده شده در تهیه کلیه نمونه‌ها منطبق بر استاندارد ASTM C150 [۱۹]، سیمان پرتلند نوع II (PC) کارخانه سیمان صوفیان با چگالی ۳/۱۵ بود. مقاومت ۲۸ روزه ملات مکعبی ساخته شده با PC ، MPa ۳۹/۳ و زمان گیرش اولیه ۷۰ دقیقه و نهایی ۴/۰۵ ساعت تعیین شده‌اند.

جدول (۲) مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲ صوفیان

نوع اکسید	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	Na2O	MgO	K2O	SO3	L.O.I
سیمان پرتلند (II) (PC)	*21.45*	*4.88*	*3.58*	*64.33*	*0.41*	*1.75*	*0.91*	*1.94*	*0.62*

۲-۱-۳- فوق روان کننده[1]و آب مصرفی

در این تحقیق از فوق روان ساز پلی کربکسیلات پایه نفتالین مطابق با آیین‌نامه ASTM C۴۹۴ [۲۰]به میزان ۱ درصد وزن سیمان استفاده شده است. آب استفاده شده در تهیه بتن و آب عمل‌آوری نمونه‌ها از آب شرب آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه آزادتبریز تامین شد.

۳-روش شناسی

نسبت های اختلاط بتن در ابتدا بر اساس شیوه پیشنهاد شده در ACI 211.1 [۲۱] منظور شد و با طرح اختلاطهای متفاوت و انجام آزمایش فشاری تک محوری روی نمونه‌های بتن، طرح‌های مناسب برای اجرای تحقیق انتخاب شد. ۸ مخلوط LWAC برای تعیین مقاومت فشاری و مقاومت خمشی در نظر گرفته شد که برای هر طرح اختلاط ۲ نمونه برای ۷ روزه و ۲ نمونه برای ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفت. دانه بندی وزنی (درصد رد شده) سبک دانه اسکوریا در محدوده استانداردASTM C 330[۱۸]میزان سیمان بتن از۴۵۰ کیلوگرم در مترمکعب انتخاب گردید و از خاکستربادی و پودرزئولیت هریک به میزان۱۵٪ وزن سیمان به صورت جداگانه و باهم جایگزین سیمان استفاده شد. نسبت w/cباتوجه به آزمایشهای اولیه با مقدار ۰.۳، ۰.۴، ۰.۵ و مقایسه مقاومت فشاری بدست آمده ۰.۴۵ انتخاب شد که در آن w مقدارآب آزاد و فوق روان کننده و c میزان مواد سیمانی (سیمان ،خاکستربادی، پودرزئولیت) می‌باشد.

برای تمامی مخلوط‌ها بزرگترین اندازه سنگدانه۱۹ میلیمتر در نظر گرفته شده است. جهت جلوگیری از افت سریع اسلامپ، سنگدانه‌های سبک از قبل به مدت ۳۰ دقیقه در آب اشباع و بعد از بیرون آوردن از آب در یک ظرف مشبک نظیر سرند ریخته شدند تا آب اضافی از سطح سنگدانه‌ها جدا شود. سپس سنگدانه‌های ریز به مصالح سبک پیش خیس شده اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه کاملاً مخلوط شدند. آنگاه سیمان، خاکستربادی و پودرزئولیت را به آنها افزوده و مجدداً تمام اجزای تشکیل دهنده بتن با هم مخلوط شدند. در انتها آب لازم و فوق روان کننده به مصالح اضافه گردیده و به مدت ۵ دقیقه کل مصالح به هم زده شدند تا بتن همگن ایجاد شود. اما زمانی که در طرحها ی اختلاط از الیاف شیشه‌ای استفاده میشد برای جلوگیری از گلوله گلوله شدن الیاف ابتدا الیاف شیشه‌ای را با آب و سیمان مخلوط کرده وسپس سنگدانه‌ها را اضافه میکردیم این روش باعث همگن پخش شدن الیاف داخل مخلوط بتنی میشد اسلامپ نمونه‌ها در محدوده صفر تا ۵۰ میلی متر و بعضاً ریزشی بودندوبه دلیل اینکه مقاومت بتن ساخته شده مد نظر بود و در مقابل از افزودنی‌هایی مانند خاکستر-بادی و پودر زئولیت که هر کدام جاذب زیاد آب میباشد وبه کاربردن الیاف شیشه که به تنهایی باعث کاهش کارایی بتن میشود از افزایش آب برای بدست آوردن اسلامپ مناسب استفاده نشد. مخلوط‌های بتن برای بدست آوردن مقاومت فشاری در قالب‌های پلاستیکی با ابعاد

[1]- Superplasticizer

۱۵*۱۵*۱۵ و۱۰*۱۰*۱۰و برای بدست آوردن مقاومت خمشی تیرها در قالب فلزی با ابعاد ۱۰*۱۰*۵۰ سانتی متر ریخته شده و با یک میز لرزان متراکم شدند. بعد از ۲۴ ساعت، قالب‌ها باز گردیده و نمونه‌ها تا زمان آزمایش در آب$^{\circ}C$ ۲±۲۳ نگهداری و عمل‌آوری شدند.

۱-۳- سرند و شستشوی سنگدانه

به دلیل تهیه سنگدانه های اسکوریا از محل معدن و به صورت فله‌ای، مجبور بودیم تمام سنگدانه ها را سرند کنیم تا به اندازه دانه مورد نظر برسیم در همین راستا برای بدست آوردن سنگدانه های ریز از الک نمره ۴ ASTM (mm۴.۷۵یا$in^{3}/_{16}$) استفاده کردیم و همچنین برای بدست آوردن سبکدانه‌های درشت از الک$^{3}/_{4}$ inیا۲۰ میلی متر ASTM استفاده کردیم تا با رعایت نکات آئین‌نامه در طرح اختلاط بتن با مشکل روبه رو نباشیم. ناخالصی هایی که در فرایند هیدراتاسیون سیمان دخالت میکنند، قشرهای پوششی که از پیوستگی کامل بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان جلوگیری می کنند و بعضی از دانه‌های خاصی که خود ضعیف و ناسالم هستند مقاومت بتن را کاهش میدهند.[۵] به همین دلیل برای رسیدن به مقاومت فشاری و خمشی بالا سنگدانه‌ها را شسته و از تمام ذرات ریز شامل خاک رس ، لای و ... پاک کرده تا به نتیجه مطلوب دست پیدا کنیم.

۲-۳- اختلاط الیاف شیشه‌ای در بتن

در این تحقیق با انجام آزمایش‌های متداول به این نتیجه رسیدیم که قبل از افزودن الیاف شیشه به مخلوط بتن باید رشته‌های الیاف از هم جداسازی شده و سپس به مخلوط افزوده شود تا الیاف فرصت گلوله شدن در مخلوط را پیدا نکند روش اول مخلوط کردن الیاف شیشه با آب و روش دوم مخلوط کردن الیاف شیشه با خمیر سیمان میباشد. البته روش دوم مزیت دیگری نیز در این تحقیق داشته به این دلیل که آب مورد نیاز فقط صرف واکنش هیدراتاسیون سیمان میشود و از جذب آب توسط سنگدانه‌های سبک که خود جاذب بسیار آب میباشند جلوگیری به عمل می آیدو این باعث کاهش آب مصرفی در بتن میشود.بعد از مخلوط کردن الیاف شیشه با سیمان، مخلوط حاصل با سرعت پایین و کم کم به سنگدانه‌های در حین چرخش میکسر اضافه میشود باید یادآوری کرد که بعد از اختلاط الیاف به مخلوط بتنی نباید بیش از ۵ دقیقه زمان اختلاط طول بکشد چون باز هم باعث گلوله شدن الیاف خواهد شد.

۴-نتایج آزمایشگاهی

۱-۴-مقاومت فشاری LWAC

در ابتدا آزمایشهایی (جدول(۳))جهت بدست آوردن مقدار بهینه‌ی سنگدانه، الیاف و همچنین مقدار آب به سیمان انجام دادیم اضافه کردن ماسه طبیعی به مخلوط بتنی باعث افزایش وزن مخصوص بتن و همچنین افزایش مقاومت نهایی آن میشود و با توجه به استفاده از الیاف شیشه به مقدار ۵ و۱۰ درصد وزنی سیمان، مشاهده شد که با افزایش درصد الیاف، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد تا جایی که مقدار الیاف را به ۱.۵، ۲، ۳ درصد رساندیم و طرح های اختلاط اصلی را با این درصد ها آزمایش کردیم و همچنین مقدار آب به سیمان را با درصد های ۰.۳، ۰.۴، ۰.۵ آزمایش کردیم که با توجه به نتایج بدست آمده مقدار آب به سیمان را برابر ۰.۴۵ در نظر گرفتیم و مقدار سنگدانه ها را با توجه به مقاومت‌های بدست آمده از آزمایش انتخاب نمودیم . اسامی برای هر طرح با توجه به حرف اول اسم لاتین مواد و مصالح سبکدانه تشکیل دهنده مخلوط بتن انتخاب شده است.

جدول (۳) آزمایشهای انجام شده جهت بدست آوردن مقدار سنگدانه و الیاف ومقدار آب به سیمان بهینه

شماره طرح	سیمان (kg/m3)	خاکستر بادی (kg/m3)	پودر زئولیت (kg/m3)	الیاف شیشه (kg/m3)	اسکوریا (ریزدانه) (kg/m3)	اسکوریا (درشتدانه) (kg/m3)	ماسه (kg/m3)	$\frac{W}{C}$	فوق روان کننده	مقاومت ۷ روزه (Mpa)	وزن مخصوص خشک (kg/m3)
۱	٤٥٠	٦٧,٥	٦٧,٥	٢٢,٥	٧٧٠	٤٤٤,٥	-	٠,٥	٠,٠١	١٩,٦	١٦٢٠
٢	٤٥٠	٦٧,٥	٦٧,٥	٤٥	٧٧٠	٤٤٤,٥	-	٠,٥	٠,٠١	١٧,٣	١٦٧١
٣	٤٥٠	-	-	-	٢٩٦	٤٩٦	٥٩٣	٠,٣	٠,٠١	٢٦,٢	١٧٢٥
٤	٤٥٠	-	-	١٣,٥	٢٩٦	٦٧٤	٥٩٣	٠,٤	٠,٠١	٣٠	١٧٤١
٥	٣٨٢,٥	٦٧,٥	-	-	٢٩٦	٥٩٢,٦	٥٩٣	٠,٣	٠,٠١	١٧,٥	١٧٧٦
٦	٣٨٢,٥	-	٦٧,٥	-	٢٩٦	٥٩٢,٦	٥٩٣	٠,٣	٠,٠١	١٩,٢	١٧٣٣

جدول (۴) طرح‌های اختلاط نهایی

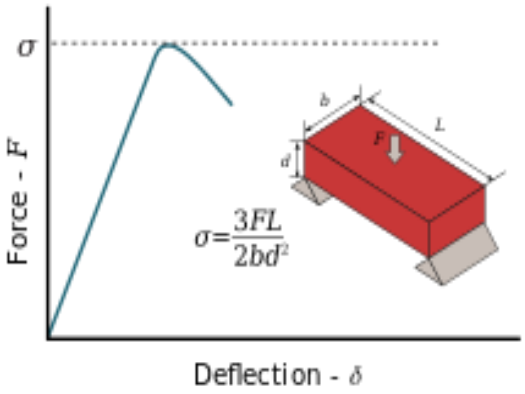
ردیف	نام طرح	سیمان (kg/m3)	درشت دانه اسکوریا (kg/m3)	ریزدانه اسکوریا (kg/m3)	ماسه (kg/m3)	الیاف شیشه (kg/m3)	خاکستر بادی (kg/m3)	پودر زئولیت (kg/m3)	w/c	f_c (Mpa) روزه۷	f_c (Mpa) روزه۲۸	وزن مخصوص (یک روزه) (kg/m3)
1	S	450	515.3	554	257.6	-	-	-	0.45	۳۰,۷	36.4	١٨٦٨
2	G1S	450	515.3	554	257.6	13.5	-	-	0.45	۳٥	٤٢,٧	١٩٠٥
3	G2S	450	515.3	554	257.6	9	-	-	0.45	۳۲	٣٩,٤	١٨٧٥
4	G۳S	450	515.3	554	257.6	6.75	-	-	0.45	۳۰,۱	٣٥,٣	١٨٧٤
5	G4S	450	530	568.5	228.5	6.75	-	-	0.48	۲۷	٣١,٣	١٨٧٣
6	FS	382.5	515.3	554	257.6	-	67.5	-	0.45	٢٤,١	٢٧,٣	١٩٣٤
7	ZS	382.5	515.3	554	257.6	-	-	67.5	0.45	٢٣,٨	٣٢,٦	١٨٩٦
8	FZS	315	515.3	554	257.6	-	67.5	67.5	0.45	٢٠,٢	26	١٨٨٠

طرح اختلاط S مربوط به نمونه ای است که در آن هیچ مواد افزودنی استفاده نشده است و از آن به عنوان نمونه شاهد نام برده شده و طرح اختلاطهایG1S، G2S و G3S مربوط به نمونه‌های دارای الیاف شیشه با درصدهای متفاوت میباشد. طرح G4S از نمونه‌های الیافدار با نسبت آب به سیمان متفاوت میباشد و طرحهای FS و ZS به ترتیب دارای خاکستربادی و پودرزئولیت و همچنین طرح FZS حاوی خاکستربادی و پودرزئولیت به صورت توام میباشد.درحالت کلی آنچه می‌توان از جدول (۴) نتیجه گرفت این است که افزودن الیاف شیشه تا مقدار ۳ درصد وزنی سیمان، عامل اصلی در میزان مقاومت فشاری LWAC است.در طرح G4S با افزودن نسبت آب به سیمان به میزان ۰.۰۳ درصد شاهد کاهش محسوس در مقاومت فشاری هستیم.

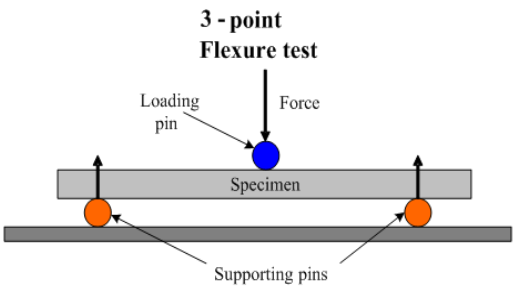
۲-۴- مقاومت خمشی:

برای بررسی مقاومت خمشی تیر سبک سازه‌ای با افزودنی‌هایی مانند الیاف شیشه، پودر زئولیت وخاکستربادی، نمونه هایی به اندازه ۵۰ cm*۱۰cm*۱۰cm از هر طرح اختلاط بتنی ساخته شد و بعد از عمل‌آوری همانند نمونه‌های فشاری، توسط دستگاه خمش

طبق معیارها و شرایط ASTM C 293 [۲۲] (شکل(۱)وشکل (۲))شکسته شدند و داده‌های مورد نیاز اعم از بیشترین نیرو خمشی و حداکثر خیز تحمل شده تیرها بدست آمد.



شکل(۱) منحنی تنش –کرنش بتن

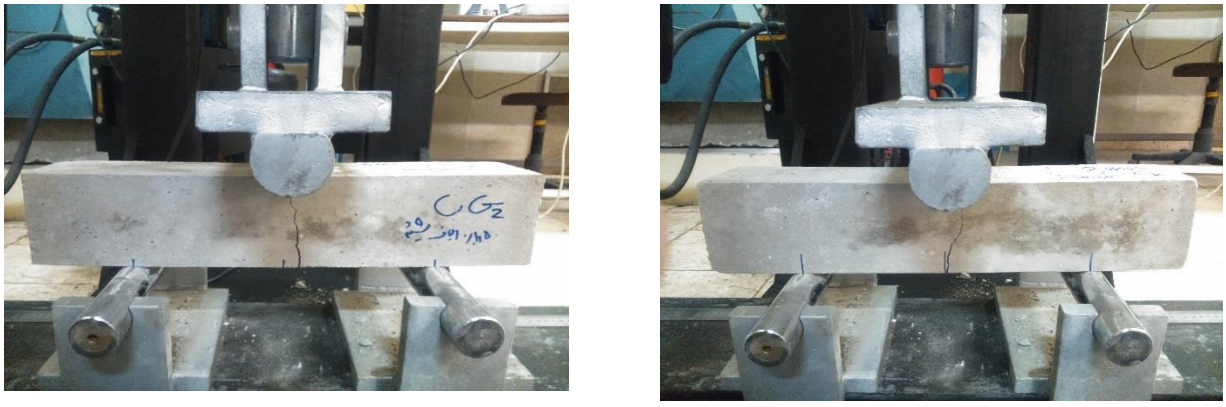


شکل(۲) آزمایش خمش سه نقطه ای

ما برای مقایسه تیرها از مدول گسیختگی(رابطه۱) که معیاری از ظرفیت نهایی تیرمیباشد استفاده کردیم. مدول گسیختگی برابربا نسبت لنگر خمشی در نقطه گسیختگی به مدول مقطع تیر میباشد. مدول گسیختگی در واقع همان مقاومت کششی در خمش میباشد.

$$R= 3\,PL/2bd2 \qquad (۱)$$

R=مدول گسیختگی($^{kg}/_{Cm^2}$) P=بیشترین نیروی وارده (kg) L=طول نمونه(cm) b=عرض متوسط نمونه(cm)
d=عمق متوسط نمونه (cm)



شکل (۳) شکستن تیر توسط دستگاه خمش

جدول شماره (۵) شامل مشخصات تیرهای ساخته شده از ۸ طرح اختلاط متفاوت همراه با تمام مصالح بکار رفته ونسبت آب به سیمان ونتایج بدست آمده از آزمایش خمشی تیرها میباشد. نتیجه میگیریم که مدول گسیختگی تیرها با افزودن الیاف شیشه ای تا مقدار مشخص، افزایش می یابد اما افزودن پودرزئولیت و خاکستربادی در مواردی باعث افزایش و در مواردی باعث کاهش مدول گسیختگی شده است ودلیل آن هم بیشتر بستگی به واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته مابین سیمان، پودرزئولیت و خاکستربادی در مخلوط بتن میباشد.

جدول(۵) مدول گسیختگی نمونه تیرهای سبک سازه‌ای

ردیف	نام طرح	سیمان (Kg/m^3)	درشت دانه اسکوریا (Kg/m^3)	ریز دانه اسکوریا (Kg/m^3)	ماسه (Kg/m^3)	الیاف (Kg/m^3)	خاکستر بادی (Kg/m^3)	پودر زئولیت (Kg/m^3)	W/C	مدول گسیختگی ۲۸روزه (Kg/Cm^2)	وزن مخصوص یک روزه (Kg/m^3)
۱	*BS*	450	515.3	554	257.6	-	-	-	0.45	45.61	۱۸٦۸
۲	*BG1S*	450	515.3	554	257.6	13.5	-	-	0.45	45.7	۱۹۰۵
۳	*BG2S*	450	515.3	554	257.6	9	-	-	0.45	36.45	۱۸۷۵
٤	*BG3S*	450	515.3	554	257.6	6.75	-	-	0.45	21.69	۱۸۷٤
٥	*BG4S*	450	530	568.5	228.5	6.75	-	-	0.48	37.19	۱۸۷۳
٦	*BFS*	450	515.3	554	257.6	-	67.5	-	0.45	35.41	۱۹۳٤
۷	*BZS*	450	515.3	554	257.6	-	-	67.5	0.45	39.95	۱۸۹٦
۸	*BFZS*	450	515.3	554	257.6	-	67.5	67.5	0.45	49.5	۱۸۸۰

۳-۴- شاخص مقاومت خمشی:

در این تحقیق نمونه‌های مورد آزمایش دارای جرم حجمی متفاوتی هستند واین باعث شده وزن تیرهای مورد آزمایش متفاوت باشند به همین دلیل ما برای مقایسه تیرها با یکدیگر مجبور به دخالت وزن تیرها هستیم به همین منظور از شاخص مقاومت خمشی با نسبت مدول گسیختگی به وزن مخصوص استفاده کردیم و تیری که بیشترین شاخص مقاومت خمشی را داشته باشد بهترین تیر شناخته میشود.

$$S \text{ شاخص مقاومت خمشی} = \frac{\text{مدول گسیختگی } (kg/Cm^2)}{\text{وزن مخصوص } (kg/m3)}$$

جدول (۶) شاخص مقاومت خمشی

ردیف	نام طرح	f_c (Mpa) ۲۸روزه	مقاومت خمشی ۲۸روزه kg/cm2	وزن مخصوص (یک روزه) (Kg/m^3)	وزن مخصوص خشک (Kg/m^3)	شاخص مقاومت خمشی S
۱	*BS*	36.4	45.61	۱۸٦۸	۱۸۳۴	0.0245
۲	*BG1S*	٤۲,۷	45.7	۱۹۰۵	۱۸۳۶	0.0240
۳	*BG2S*	۳۹,٤	36.45	۱۸۷۵	۱۸۰۱	0.0195
٤	*BG3S*	۳٥,۳	21.69	۱۸۷٤	۱۷۹۴	0.0116
٥	*BG4S*	۳۱,۳	37.19	۱۸۷۳	۱۷۶۰	0.0198
٦	*BFS*	۲۷,۳	35.41	۱۹۳٤	۱۷۳۰	0.0183
۷	*BZS*	۳۲,٦	39.95	۱۸۹٦	۱۷۴۰	0.0211
۸	*BFZS*	26	49.5	۱۸۸۰	۱۷۵۵	0.0263

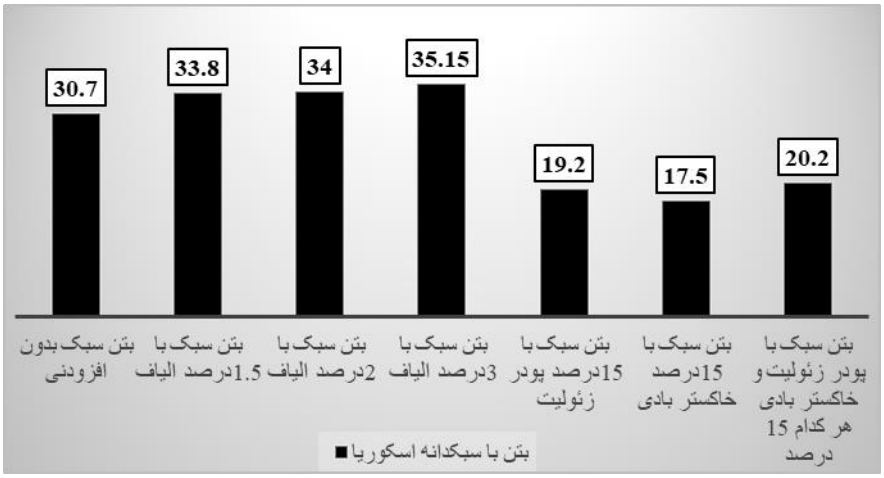
با توجه به جدول بالا در حالت کلی تیرهایی که دارای وزن سبکتر هستند شاخص مقاومت خمشی بیشتری از خود نشان میدهند

۵- ارزیابی نتایج داده‌های آزمایش

۵-۱-مقدمه

با توجه به فعالیت های عملی و آزمایشهای انجام شده برای این تحقیق، دراین فصل سعی شده تمام یافته‌های بدست آمده به طور مفصل تجزیه و تحلیل گردد این یافته‌ها شامل مقاومت فشاری ۷روزه و ۲۸ روزه برای 8 طرح اختلاط بتن سبک، روند رشد مقاومت فشاری

برای بتن سبک با سنگدانه های مختلف و با افزودنی های متفاوت، مقدار جذب آب، مقاومت خمشی تیرهای ساخته شده برای تمام طرح-های اختلاط و در نهایت مقایسه تمام نتایج بدست آمده ارائه میگردد.



شکل (۴) مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه (mpa)

نکته قابل توجه این است که بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده رسیدن به یک عدد خاص در آزمایش اسلامپ رسیدن به هدف که بدست آوردن مقاومت بالاتر است را تضمین نمی‌کند و آن طور که مشاهده شد برخی نمونه‌ها با وجود عدم داشتن اسلامپ مطلوب در حین ویبره از شیره سیمان کافی برخوردار بودند و شاهد مقاومت های بالاتر در مقایسه با نمونه‌هایی با اسلامپ مطلوب بودیم.از سوی دیگر در آب به سیمان های پایین تر به دلیل عدم پوشش سنگدانه با شیره سیمان به اندازه کافی بتن با اسلامپ ریزشی و با مقاومت پایین حاصل شد . در نتیجه تعیین آب به سیمان بهینه در بتن های حاوی اسکوریای درشت دانه حائز اهمیت است که این نیز تاییدی بر استفاده از فوق روان کننده در بتن‌های فوق‌الذکر می‌باشد.

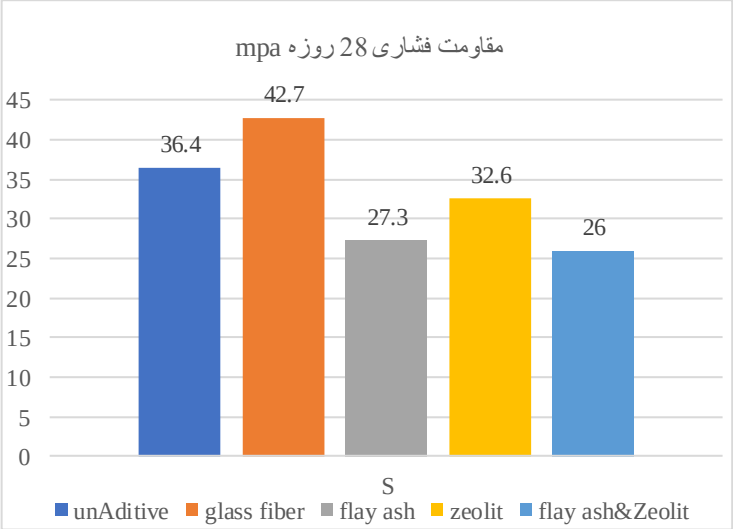
با توجه به نمودار فوق به این نتیجه میرسیم که افزودن الیاف شیشه‌ای با درصد های متفاوت ۱.۵، ۲و ۳ باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است البته با درصدهای ۵و ۱۰ نیز آزمایش انجام شد که نتایج حاصله، کمتر از بتن با الیاف شیشه‌ای ۳ درصد بود علت این امر به عدم درگیری سنگدانه‌ها موقع افزودن بیش از حد الیاف در بتن میباشد. جایگزینی پودر زئولیت و خاکستربادی،هر کدام به جای ۱۵ درصد وزنی سیمان باعث کاهش تا $1/3$مقاومت فشاری در بتن های حاوی سنگدانه اسکوریا گردید همچنین در طرح‌هایی که خاکستر-بادی و پودرزئولیت به طور هم زمان و هر کدام به میزان ۱۵ درصد وزنی سیمان اضافه شدند شاهد کاهش مقاومت فشاری در طرح‌ها بودیم بررسی‌ها نشان میدهد واکنش شیمیایی ایجاد شده بین خمیر بتن که حاصل اختلاط آب، سیمان، پودرزئولیت وخاکستربادی می باشد تاثیر بسزایی بر مقاومت فشاری بتن دارد افزودن الیاف شیشه به مخلوط بتن تا یک مقدار معین، باعث درگیری بیشتر سنگدانه ها گردیده و افزایش مقاومت نهایی را در پی دارد.

۲-۵-مقایسه نتایج بدست آمده از مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح‌های اختلاط

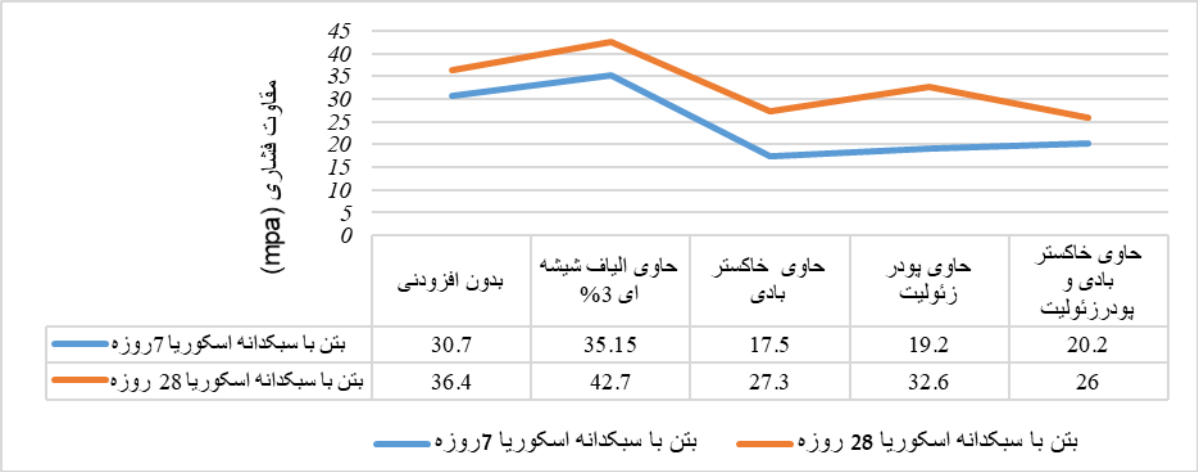
با توجه به شکل (۵) و نتایج بدست آمده از نمونه‌های فشاری ۲۸ روزه می توان دریافت همه نمونه‌ها دارای افزایش مقاومت فشاری هستند و این یک امر بدیهی است اما افزایش مقاومت در نمونه‌ی حاوی زئولیت چشمگیر تر از بقیه نمونه‌ها میباشد و میتوان نتیجه گرفت که مخلوط سیمان در حضور پودر زئولیت و با گذشت زمان مقاومت بیشتری نسبت به خاکستر بادی از خود نشان میدهد.

۵-۳-مقایسه روند رشد مقاومت فشاری

روند رشد مقاومت فشاری برای همه طرح‌های اختلاط بتن سبک بررسی شده و نتایج حاصل در شکل‌های زیر آورده شده است با توجه به موازی بودن تقریبی خطوط موجود در نمودارها میتوان به این نتیجه رسید که هر کدام از بتن‌های ساخته شده با سه سنگدانه اسکوریا ،پومیس و لیکا دارای روند رشد با درصد مشابهی میباشند و علت این امر بیشتر بستگی به نحوه ی عمل‌آوری بتن میباشد از آنجا که همه نمونه ها در محیطی با شرایط یکسان عمل آوری شده اند دارای روند رشد نزدیک به هم میباشند.



شکل (۵) مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه

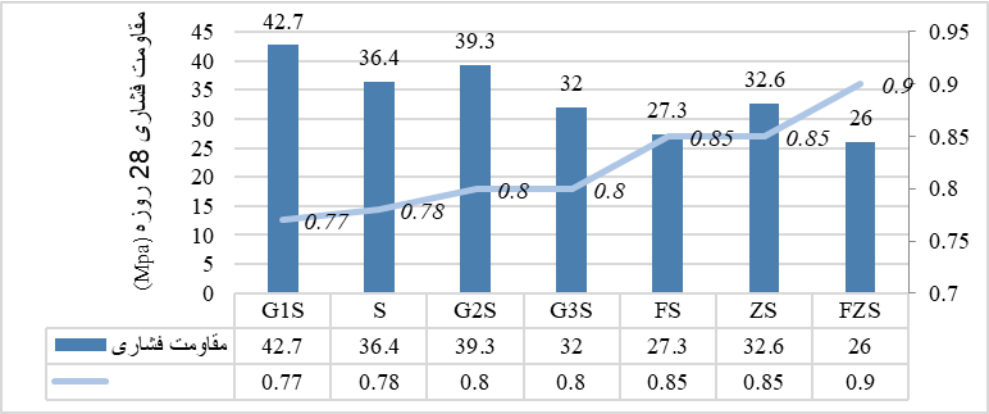


شکل (۶) مقایسه روند رشد مقاومت فشاری برای بتن های ساخته شده با اسکوریا

۵-۴-جذب آب و مقاومت فشاری

با مشاهده شکل(۷) پی خواهیم برد که میزان جذب آب نمونه‌ها به طور غیرمستقیم به مقاومت فشاری آن‌ها بستگی دارد .به طوری که در هر یک از نمونه‌ها، افزایش مقاومت فشاری با کاهش جذب آب آن‌ها همراه بوده و بالعکس. با بررسی نتایج بدست آمده و ساختار

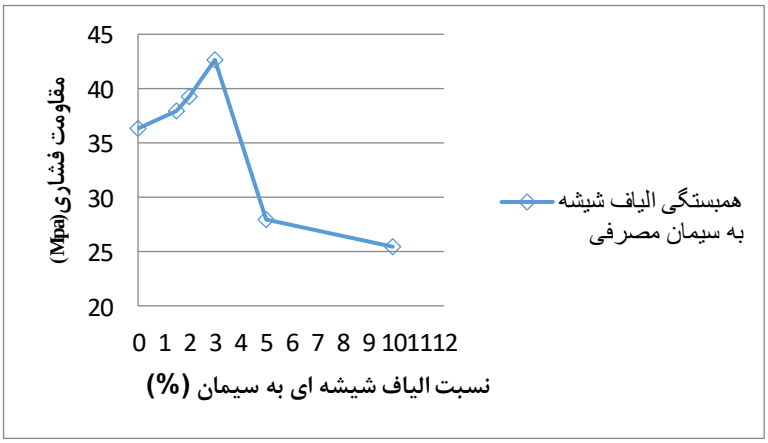
ساختمانی نمونه‌های حاصل می توان گفت هر چه سنگدانه‌ها به هم پیوسته‌تر و مخلوط بتنی دارای الیاف باشد میزان تخلخل کمتر و مقدار جذب آب نیز کمتر خواهد بود.



شکل(۷) جذب آب ومقاومت فشاری نمونه ها

۵- ۵- الیاف شیشه و مقاومت فشاری

یکی از اهداف اصلی این تحقیق یافتن تاثیر الیاف شیشه بر روی رفتار خمشی تیرهای سبک سازه‌ای است اما به اقتضای نیاز، آزمایش هایی با ۱.۵، ۲، ۳، ۵و۱۰درصد الیاف شیشه‌ای، برای دست یابی به تاثیر این الیاف بر روی مقاومت فشاری نمونه های سبک بتنی نیز انجام پذیرفت با توجه به شکل(۸)که حاصل نتایج بدست آمده از آزمایشها میباشد به این نتیجه میرسیم که با افزودن الیاف شیشه‌ای تا مقدار ۳درصد وزنی سیمان، به طرح‌های اختلاط بتنی سبک، شاهد افزایش مقاومت فشاری هستیم اما موقعی که مقدار الیاف را از ۳درصد بیشتر میکنیم شاهد کاهش مقاومت فشاری هستیم این نشان میدهد که افزودن الیاف شیشه‌ای برای بتن یک مقدار بهیه دارد و استفاده الیاف بیش از این مقدار باعث نتیجه بالعکس و کاهش مقاومت فشاری میگردد . چون الیاف زیاد باعث عدم درگیری بین سنگدانه-های بتن میشود و موقع فشار به گسیختگی بین سنگدانه‌ها کمک میکند.

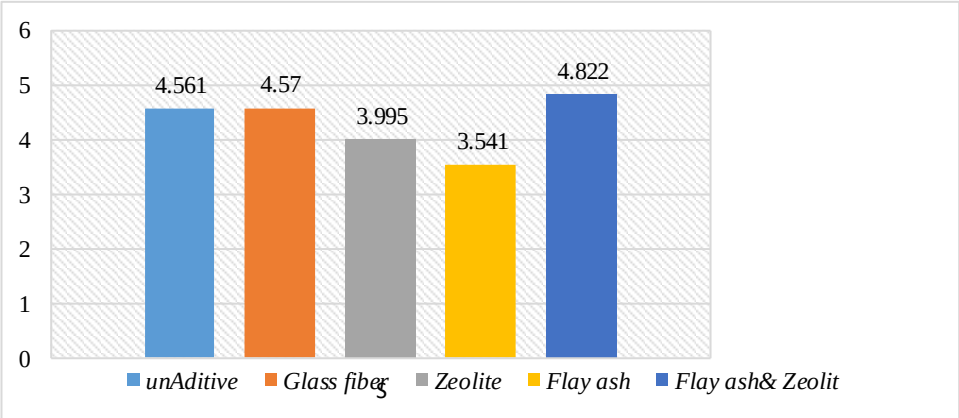


شکل(۸) همبستگی الیاف شیشه به سیمان مصرفی

۶-۵- ظرفیت نهایی تیرهای سبک سازه‌ای

برای بدست آوردن ظرفیت نهایی تیرها از مدول گسیختگی تیر که برابر است با نسبت لنگر خمشی در نقطه گسیختگی، به مدول مقطع تیر، استفاده کردیم. بیشترین مدول گسیختگی در نمونه‌ها مربوط به طرح اختلاطی است که در آن از الیاف شیشه‌ای به میزان ۳درصد وزنی سیمان استفاده شده است در واقع می توان گفت افزودن الیاف شیشه به بتن سبک نتیجه‌ای مثبت در افزایش مقدار باربری تیر خواهد داشت و با شکل پذیر کردن تیر ظرفیت آن را افزایش می دهد.

افزودن پودرزئولیت و خاکستربادی به تنهایی باعث کاهش، ولی افزودن آنها به صورت یکجا، باعث افزایش مدول گسیختگی در بتن سبک حاوی سنگدانه اسکوریا شده است با این توصیف می توان گفت پودر زئولیت و خاکستربادی در حضور یکدیگر خاصیت چسبندگی همانند سیمان بدست آورده و باعث بهبود ظرفیت نهایی تیر می شوند.



شکل (۹) مدول گسیختگی تیرهای مورد آزمایش ($\frac{N}{CM^2}$)

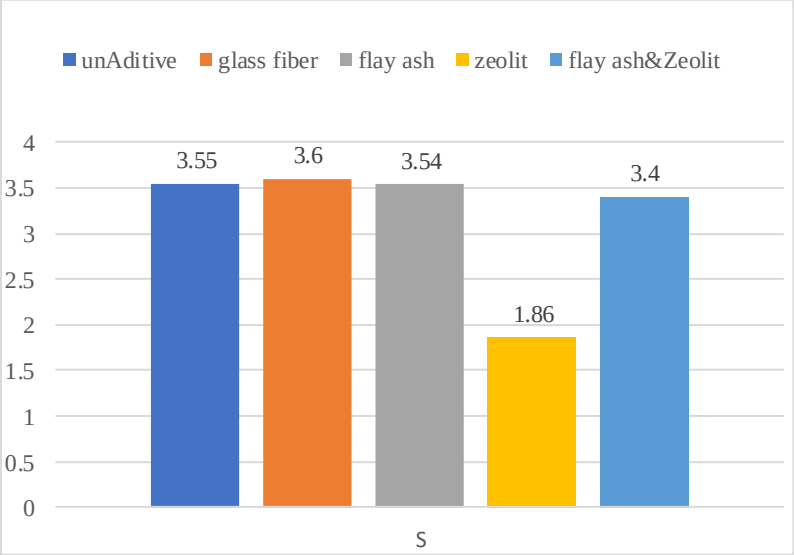
در حالت کلی میتوان به این نتیجه رسید که از الیاف شیشه‌ای جهت بالا بردن مقاومت خمشی میتوان استفاده نمود اما کاربرد پودرزئولیت و خاکستربادی در حضور همدیگر باعث دسترسی به این امر مهم میشود.

۵-۷-خیز نهایی در تیر

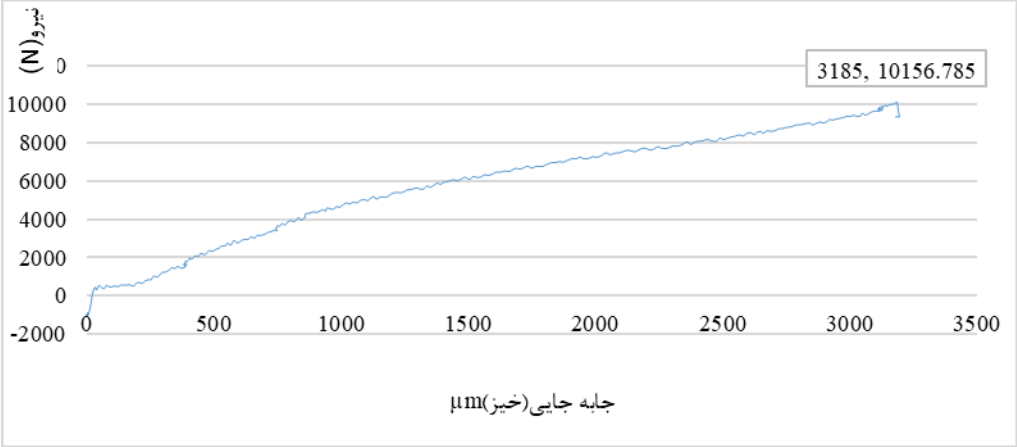
در این تحقیق یکی از هدف‌های مورد نظر محاسبه خیر تیرهای مورد آزمایش ومقایسه آنها با هم بود در همین راستا خیز تیرها توسط دستگاه خمش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و درنگاه کلی می توان گفت خیز تیر رابطه مستقیمی با مقدار مقاومت فشاری بتن مورد استفاده دارد به طوری که مقاومت فشاری قسمت فوقانی تار خنثی نقش اصلی را در کسب بیشترین خیز نهایی را در تیر دارد.در نگاه جزئی افزودن الیاف شیشه به تیرها باعث شده خیز برابر و درمواردی بیشتربدست آید واین حاکی از این است که استفاده از الیاف شیشه در تیر های سبک سازه ای خیلی مفید می باشد.افزودن پودر زئولیت تغییر چندانی در خیر تیر ایجاد نمیکند اما خاکستربادی همان طور که باعث کاهش مقاومت فشاری میگردد باعث کاهش خیز در تیر ها نیز شده است.

۵-۸- نمودار نیرو خیز

در زیر نمودار مربوط به یک نمونه تیر حاوی سنگدانه اسکوریا با ۳درصد الیاف شیشه‌ای را نشان میدهد با توجه به این نمودار مشخص میشود نحوه اعمال نیرو و جابه جایی یا خیز به صورت خطی میباشد.



شکل (۱۰) خیز نهایی در تیرهای مورد آزمایش (mm)



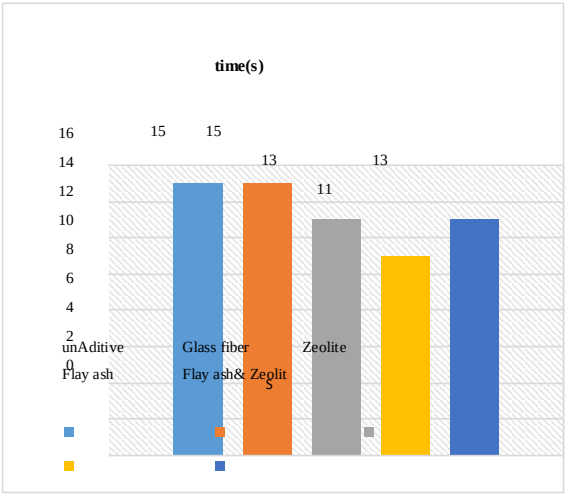
شکل (۱۱) نمودارنیرو خیزتیر G1S

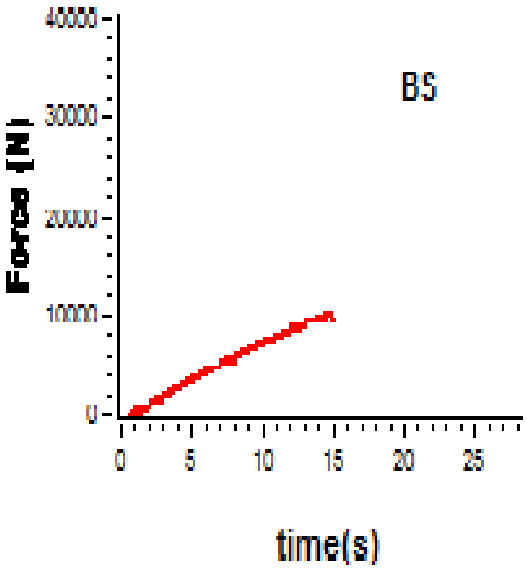
۹-۵- زمان شکست نمونه تیرهای مورد آزمایش

قبل از انجام آزمایش شکست بر روی تیرهای خمشی انتظار می رفت تیرهایی که در آنها از الیاف شیشه‌ای استفاده شده است زمان طولانی تری تا مرحله شکست از خود نشان دهند و این فرضیه بعد از انجام آزمایش و بررسی داده‌ها به خوبی محقق شد.

۶-نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل های انجام شده می توان نتیجه‌گیری‌های نهایی زیر را مطرح نمود:





شکل (۱۲) زمان شکست نمونه تیرهای مورد آزمایش

۱. با استفاده از مواد سیمانی با عیار ۴۵۰ Kg/m^3 و نسبت آب به سیمان۰.۴۵، جایگزینی خاکستربادی و پودر زئولیت به مقدار ۱۵ درصد وزنی سیمان، افزودن الیاف شیشه به میزان ۳ درصد وزنی سیمان، اسکوریا با بیشینه اندازه ۱۹ میلی متر، ماسه معمولی، سیمان

پرتلند نوع ۲، فوق روان کننده به میزان ۱ درصد وزن مواد سیمانی، بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بین نمونه‌ها، مربوط به مخلوط G1S بوده که برابر mpa ۴۲.۷ است.کمترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مخلوط FZS است که برای نمونه مکعبی برابر mpa ۲۶ است.

۲. جذب آب در مخلوط دارای ۳ درصد الیاف شیشه، کمترین مقدار ودر مخلوط حاوی پودر زئولیت و خاکستربادی، بیشترین مقداراست واین جاذب بودن پودر زئولیت و خاکستربادی حتی در حضور سیمان را نشان میدهد با هیدراته شدن خمیر سیمان در سنین بالا درصد جذب آب بتن کاهش مییابد. نتایج جذب آب آزمونه ها عملاً با مقاومت فشاری نمونه ها رابطه معکوس دارد.

۳. افزودن الیاف شیشه تا ۳ درصد وزنی سیمان به مخلوط بتن سبک باعث افزایش مقاومت فشاری اما در ۵ و ۱۰ درصد شاهد کاهش مقاومت فشاری بودیم.

۴. بیشترین ظرفیت نهایی(مقاومت خمشی) تیر سبک سازه‌ای مربوط به مخلوط BFZS که دارای پودرزئولیت و خاکستربادی به میزان ۱۵ درصد وزنی سیمان به صورت یکجا و برابر با $۴۹.۵ kg/Cm^2$ است و کمترین آن مخلوط BFS ، با ۱۵درصد خاکستربادی برابر با $۳۵.۴۱ kg/Cm^2$ میباشد در نتیجه پودر زئولیت و خاکستربادی در حضور یکدیگر خاصیت چسبندگی همانند سیمان بدست آورده و در مقایسه نمونه بدون افزودنی باعث بهبود ظرفیت نهایی تیر شده است.

۵. بیشترین خیز نهایی تیر مربوط به طرح BG1S با ۳ درصد الیاف شیشه، برابر با ۳.۶ میلی متر است در تیر بتنی سبک ساخته شده و نمونه های فشاری،در کرنش های زیاد، به علت وجود شبکه ای از الیاف تا ۳ درصد وزنی سیمان و انعطاف پذیری حاصله ، از تردی و شکست آن جلوگیری می کند و باعث افزایش تا ۲۰ درصد مقاومت فشاری و ۱۰ درصد مقاومت خمشی میگردد.

۶. وجود الیاف شیشه ،پودرزئولیت و خاکستربادی باعث انعطاف‌پذیری بتن و جلوگیری از ترکیدن آن موقع آزمایش خمشی و فشاری شد و ترکهای ایجاد شده به صورت مویی و با تعداد زیاد مشاهده گردید.

منابع

[1]. تدین، محسن،" (۱۳۸۱) ، بررسی و ارزیابی مقاومت کششی، مدول ارتجاعی، ضریب پواسون و شدت خوردگی بتن سبک پر مقاومت با مصالح موجود در ایران"، *پایان نامه دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.*

[2]. Ke Y., Beacour A.L., Ortola S., Dumontets H., Cabrillac R (2009)., "Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete", *Construction and Building Materials* , 23(8):2821-2828 ·

[3]. Demirboga R., Orung I., Gul R., "Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of lowdensity concretes". *Cement and Concrete Research* . 31(11) (2001) 1627-1632

[4]. Chen H.J., Yen T., Lia T.P., Huang Y.L. (1999), "Determination of dividing strength and it's relation to the concrete strength in lightweight aggregate concrete", *Cement and Concrete Composition* , Vol. 21, 29-37.

[5]. Nanni. A. , and gold. W. (1998), "strength assessment of external frp reinforcement", *American Concrete Institute (ACI)*, Vol. 20, No. 6, PP. 39- 42.

[6]. Nanni, a. , Focacci, And Codd.c.a. (1988) , "Proposed Procedure for the Design of RC Flexural Members Strengthened with FRP Sheets", *proceeding ICCI, Tucson, Ariz.* , Vol. PP. 187- 201.

]. 7[Jackson, J.A., J. Mehl, and K. Neuendorf (2005) Glossary of Geology , *American Geological Institute*, Alexandria, Virginia. 800 pp.

[8]. Craig, R. McConnell, J. Germann, H. Dib, N. and Kashani, F., (1984), "Behavior of reinforced firous concrete clounms," *ACI Special publication*, SP 81, pp 69-105.

[9]. Traina, L.A. and Mansour, S.A., (1991), "Biaxial strength deformational behavior of plain steel fiber concrete," *ACI Journal*, 88 (4), pp 354-362.

[10]. Ahmed El Refaia, Farid Abedb, Abdullah Al-Rahmanib (2015),Structural performance and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars , *Construction & Building Materials* , Pages 518–529

[11]. European Union-Brite Euram III,(1998), "*Definitions and international consensus report*, BE96-3942/R1".

[12]. Fanella, D.A. and Naaman, A.E., (1985), "Stress – strain propertises of fiber reinforced mortar in compression," *ACI Journal*, 82 (4), pp 475-483.

[13]. Paweł Walczaka, Jan Małolepszyb, Manuela Rebenb, Karol Rzepab (۲۰۱۵)،Mechanical properties of concrete mortar based on mixture of CRT gass cullet and fluidized fly ash, *Procedia Engineering*، pages 453 – 458.

[14]. Payam Shafigh, U. Johnson Alengaram, Hilmi Bin Mahmud, Mohd Zamin Jumaa,(August 2013) , Engineering properties of oil palm shell lightweight concrete containing fly ash, *Materia ls and Design ,* Pages 613-621.

[15]. Tommy Yiu Lo, Hongzhi Cui, Shazim Ali Memon, , Takafumi Noguch(2016) ,Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbon fly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete، *Journal of Cleaner Production ,* Pages 753-762.، Part 1,

[16] .ASTM D75 / D75, Standard Practice for Sampling Aggregates, ASTM International.

[17]. ASTM C136 / C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International.

[18].ASTM C۳۳۰-۹۹, "Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete", American Society for Testing And Materials, March 1999 .

[19]. ASTM C150-99a, "Standard specification for portland cement", American Society For Testing And Materials, November 1999.

[20]. ASTM C 494/C, "Standard specification for chemical admixtures for concrete", American Society For Testing And

Materials, December 1999.

[21]. ACI 211.2-98, "Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete", American Concrete Institute, 1998.

[22].ASTM C293 / C293, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), ASTM International.

[23]. Lathi Karthi, Alester Joseph Vanreyk & Krishna Lekha (2017) Effect of zeolite powder on mechanical properties of concrete, *International Journal of Development Research*, Volume: 7Article ID: 9172 -4 pages.

[24]. Nikola Tosic, Snezana Marinkovic, Nenad Pecic (2018) Long-term behaviour of reinforced beams made with natural or recycled aggregate concrete and high-volume fly ash concrete, *Construction and Building Materials*, Pages 344-358.