

# بررسی و تحلیل آزمایشگاهی روش‌های نوین تقویت خواص مکانیکی بتن‌های ترکیبی

مجتبی فتحی<sup>۱</sup>، ساسان بشیری<sup>۲</sup>، علیرضا دایی چی<sup>۳</sup>

استادیار سازه دانشگاه رازی، عضو هیئت علمی

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشجوی دانشگاه رازی، مقطع ارشد،

کرمانشاه، ایران

گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی مهندسی، دانشجوی دانشگاه رازی، مقطع ارشد، کرمانشاه، ایران

## چکیده

در تحقیق پیش رو با مروری بر سوابق و مزیت‌های استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن‌های سبکدانه، طرح‌های مخلوطی با درصدها و اندازه‌های مختلف، تولید و آزمایش شدند و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. هدف پروژه استفاده از دانه لیکا یا به عبارت دیگر رس منبسط شده در کوره دوار به عنوان به عنوان جایگزین سنگدانه درشت یا شن در بتن معمولی و همچنین استفاده از الیاف 6mm و 12mm و 18mm در بتن سبکدانه لیکا برای رسیدن به مقاومت‌های سازه‌ای (مقاومت‌های کششی و فشاری) بالاتر از بتن معمولی و همچنین کاهش ترک خوردگی‌های سطحی بتن می‌باشد و برای انجام این کار ابتدا باید درصد‌های مختلف الیاف (pp)، (05، 15، 25، 35، 45) حجمی به کل بتن سبکدانه با طول‌های مختلف را به طور جداگانه با هم ترکیب کرد تا بتوان به درصد بهینه برای هر طول الیاف کوتاه در بتن سبکدانه حاوی لیکا دست یافت و سپس مقایسه درصد‌های بهینه الیاف‌های کوتاه مصرفی در بتن سبکدانه حاوی لیکا با یکدیگر برای دست‌یابی به بهترین طول و بهینه‌ترین درصد الیاف کوتاه پلی پروپیلن (pp) در بتن سبکدانه حاوی لیکا و همچنین عمل‌آوری نمونه‌ها در آب و آب‌آهک انجام گرفته و در سنین 7، 14 و 28 روزه و روزی مورد آزمایش‌های فشاری و کششی قرار گرفته‌اند و نتایج ارزیابی‌ها گویای این است که الیاف 18mm پلی پروپیلن بهترین طول با درصد 35% حجمی به کل بتن سبک دارای بهینه‌ترین درصد و در مقایسه با درصد‌های بهینه از طول دیگر دارای بالاترین مقاومت فشاری می‌باشد و همچنین الیاف کوتاه 6mm پلی پروپیلن بهترین طول با درصد 15% حجمی به کل بتن سبک دارای بهینه‌ترین درصد و در مقایسه با درصد‌های بهینه از طول‌های دیگر دارای بالاترین مقاومت کششی برزیلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الیاف پلی پروپیلن، سبکدانه لیکا (سبکدانه رسی). مقاومت کششی برزیلی. مقاومت فشاری

## ۱. مقدمه

بتن یکی از مهمترین مصالح ساختمانی بوده و در سال های اخیر بعنوان اولین ماده پرمصرف دنیا شناخته می شود. بتن از جمله مصالحی است که در ساخت و ساز از جایگاه ویژه ای برخوردار بوده و در حجم بالایی از عملیات ساختمانی و عمرانی بکار گرفته می شود. بتن متشکل از شن، ماسه، سیمان، آب و گاهی مواد افزودنی و الیاف است که با نسبت معین و مناسب با هم ترکیب شده و جسمی متراکم و سنگ گونه ای را پدید می آورند. در خمیر سیمانی مسلح به الیاف، عناصر باید به صورت متعارف به کار برده شوند تا بتوان در مقدار ترک خوردگی پلاستیک و حرارتی کاهش معنی داری را مشاهده کرد. انواع الیافی که در بتن استفاده می شوند، در اشکال و اندازه های مختلفی وجود دارند که عبارتند از الیاف شیشه ای، الیاف پلیمری و الیاف فولادی و... پارامتر مناسبی که یک رشته از الیاف را تعریف می کند نسبت ظاهری میباشد که این نسبت معمولاً بین ۳۰ تا ۱۰۰ است.  $(L/d)$  طول الیاف به قطر معادل الیاف است. بتن سبکدانه مزیت های زیادی در مواد ساختمانی شامل ارتقاء ایزولاسیون گرمایی و افزایش مقاومت در برابر آتش را نسبت به بتن معمولی دارد. علاوه بر این، به دلیل وزن بالای بتن ساختمانی، استفاده از بتن سبکدانه اجازه ی سطح مقطع های کوچکتر را در عضوهای باربر می دهد، و به طور متقابل کاهش در اندازه پی سازی ها، و بیشتر شدن فرصت به کارگیری سیستم های ساختمانی مانند پیش ساخته و ساختارهای بدنه ساختمانی را می دهد. مزیت ساختاری بتن سبکدانه نسبت به بتن معمولی زیاد بوده و بسیار خوب شناخته شده است. با این حال، بتن سبکدانه معمولاً قابلیت شکل پذیری کمی دارد و آن را میتوان به عنوان یک ماده ی شکننده در نظر گرفت. متأسفانه، با اینکه سبکدانه های استفاده شده واحد وزن بتن را کاهش می دهند، اما نوعاً خصوصیات الاستیک به ویژه مدول یانگ و استحکام آن را تنزل می دهند. برای بهبود خصوصیات خمشی، کششی و مقاومت ضربه ای بتن میتوان از الیاف مناسب استفاده کرد.

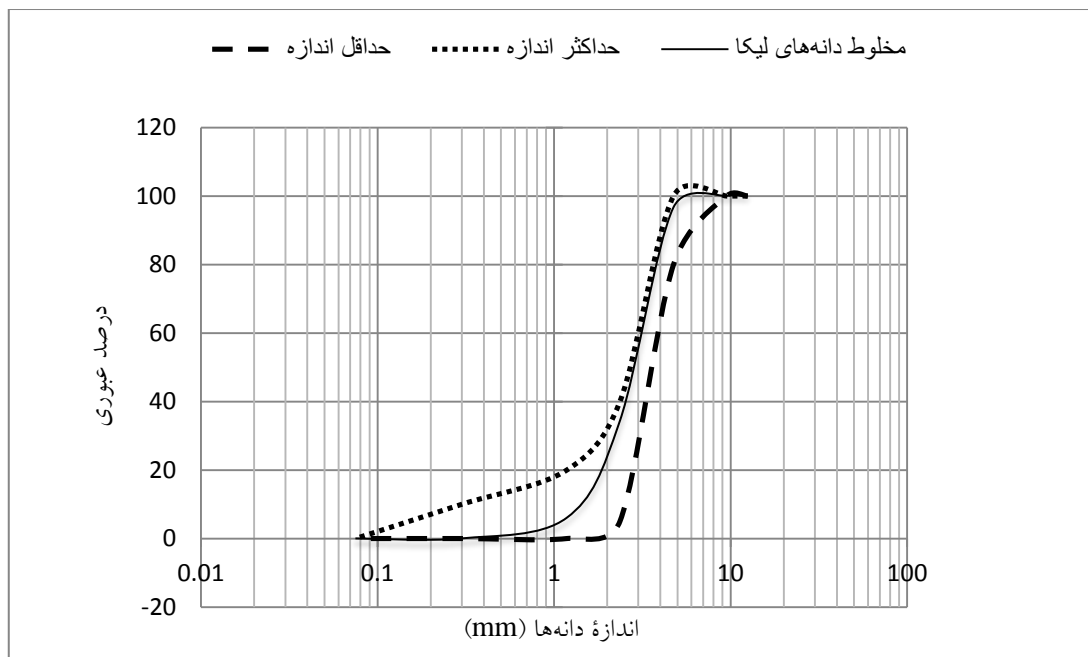
## ۲. مصالح. نحوه انجام آزمایش ها و نمونه های مورد مطالعه

لیکای مصرفی در این پروژه، لیکای ۵۰۰ تولیدی شرکت لیکای اذربایجان می باشد. اگرچه به منظور تولید بتن سبکدانه سازه ای لازم است از لیکای ۷۰۰ استفاده شود اما با توجه به اهداف اصلی مورد توجه در این طرح تحقیقاتی که بررسی استفاده از الیاف پلی پروپیلین در بتن های سبکدانه می باشد و همچنین بدلیل موجود نبودن لیکای ۷۰۰ در بازار و.. تولید نشدن آن توسط شرکت نامبرده (در آن مقطع زمانی) در این پروژه از لیکای ۵۰۰ استفاده گردید (شکل ۱) مشخصات لیکای ۵۰۰ مصرفی در ادامه بیان شده است.



شکل ۱- لیکای ۵۰۰ مورد استفاده در این پروژه

نمودار دانه بندی سبکدانه لیکا در شکل ( ۲ ) نشان داده شده است. این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C330 انجام شده است. همانگونه که در نمودار نشان داده شده است 95% سبکدانه لیکا اندازه‌های در محدوده 9.5 تا 150mm میلیمتر دارند.



شکل ۲- نمودار دانه بندی لیکا

الیاف مصرفی در این پروژه از نوع پلیمری و با نام پلی پروپیلن (PP) می باشد. الیاف مذکور توسط شرکت تولید الیاف پلی پروپیلن تولید شده است. دانسیته این الیاف 0.98 gr/cm<sup>3</sup> است در این پروژه از الیاف با ظرافت 22 میکرون و با سه طول الیاف کوتاه که توسط دستگاه برش الیاف و در محل کارخانه تولیدی برش داده شده اند به طول های 18mm، 12mm، 6mm استفاده گردیده است. شکل (۳) تصویری از الیاف کوتاه مصرفی را نشان می دهد.



شکل ۳: تصویر الیاف کوتاه مصرفی در این پروژه

الیاف مصرفی به منظور مطالعه خصوصیات فیزیکی ظاهری توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی سطح طولی و سطح مقطع الیاف پلی پروپیلن مورد مشاهده قرار گرفت که الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده دارای سطح مقطع دایره ای و سطح طولی بسیار صاف می باشند.

برای استفاده از الیاف به صورت بهینه و انتخاب درصد الیاف مناسب در بتن، الیاف پلی پروپیلن با سه طول (6mm, 12mm, 18mm) با درصد حجمی مختلف (%.05, .15, .25, .35, .45) بتن مورد استفاده قرار گرفتند. پس از تهیه طرح مخلوط های مختلف و آزمایش های گوناگون بر روی نمونه های بتن تولیدی، طول الیاف و درصد بهینه آن انتخاب گردید.

مراحل ساخت بتن شامل توزین مصالح با توجه به طرح مخلوط موجود و مخلوط کردن آنها می باشد. پس از تعیین مشخصات فیزیکی و دانه بندی مصالح سنگی، چندین طرح بتن به صورت آزمایشی ساخته شد و طرح نهایی بر اساس ملاحظات مقاومتی، دوام و کارپذیری تعیین گردید. برای انتخاب طرح مخلوط محدوده مقاومت فشاری 20 مگاپاسگال و دانسیته حدود  $1700 \text{ kg/m}^3$  در نظر گرفته شدو در روش عمل آوری با آب آهک از مخلوط آب و آهک با غلظت 6 گرم بریک لیتر آب استفاده شده است و طرح های آزمایشی بر این اساس ارزیابی و در نهایت طرح ارائه شده در این پروژه انتخاب گردید در جدول 1 طرح اختلاط مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول ۱: طرح های اختلاط بتن سبکدانه لیکای مقاوم شده با الیاف (نسبتهای وزنی)

شماره	نسبت آب به سیمان %	آب $\text{Kg/m}^3$	سیمان $\text{Kg/m}^3$	ماسه اشباع $\text{Kg/m}^3$	سبکدانه اشباع لیکا $\text{Kg/m}^3$	حباب زا %	ابر روان کننده پلی کربوکسیلات %	طول الیاف mm	درصد الیاف به حجم کل بتن %	اسلامپ mm	وزن واحد حجمی $\text{Kg/m}^3$
1 (شاهد)	35	168	480	848	308	.05	.4	-	-	66	1702
2	35	168	480	848	308	.05	.48	6	.05	70	1710
3	35	168	480	848	308	.05	.5	6	.15	65	1701
4	35	168	480	848	308	.05	.56	6	.25	60	1752
5	35	168	480	848	308	.05	.62	6	.35	75	1798
6	35	168	480	848	308	.05	.7	6	.45	64	1698
7	35	168	480	848	308	.05	.51	12	.05	80	1695
8	35	168	480	848	308	.05	.57	12	.15	85	1721
9	35	168	480	848	308	.05	.62	12	.25	58	1699
10	35	168	480	848	308	.05	.71	12	.35	72	1712
11	35	168	480	848	308	.05	.77	12	.45	70	1716
12	35	168	480	848	308	.05	.55	18	.05	71	1733
13	35	168	480	848	308	.05	.65	18	.15	65	1690
14	35	168	480	848	308	.05	.69	18	.25	52	1714
15	35	168	480	848	308	.05	.78	18	.35	76	1698
16	35	168	480	848	308	.05	.84	18	.45	87	1730

به منظور کاهش تأثیر منفی جذب آب توسط سبکدانه در هنگام تهیه مخلوط بتن و جلوگیری از کاهش کارایی سریع بتن سبکدانه تازه، قبل از مخلوط کردن مصالح، مقدار مشخصی آب معادل تفاوت مقدار جذب آب نیم ساعت و مقدار رطوبت محتوی سبکدانه به لیکا اضافه میگردد. این آب در محاسبه نسبت آب به سیمان مؤثر لحاظ شده است. پس از اینکه آب به لیکای توزین شده اضافه گردید، لیکا توسط دست مخلوط میگردد. سپس روی ظرف با قطعه پلاستیکی پوشانیده می شود تا از تبخیر آب جلوگیری شود. مدت ۱۶ دقیقه زمان برای جذب آب سبکدانه داده می شود. (حالت SSD بروی سبکدانه ها انجام گرفته) قالب گیری، تراکم و عمل آوری این نوع بتن، همانند بتن معمولی انجام گرفت. الیاف کوتاه پلی پروپیلن قبل از اینکه همراه با سایر مصالح مخلوط گردند در یک ظرف خیسانده می شوند تا عملکرد مناسبی در هنگام مخلوط کردن در میکسر داشته باشد و پخش آن به صورت همگن و یکنواخت در حجم بتن به آسانی صورت پذیرد.

وقتی الیاف پلی پروپیلن قبل از افزودن به بتن خیس شوند، در هنگام مخلوط شدن با بتن در میکسر به خوبی از هم باز می شوند و پراکندگی یکنواختی را در حجم بتن تولیدی از خود نشان می دهند. همانگونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، پراکندگی الیاف در حجم بتن باعث پیوستگی بتن تر می شود و تا حدودی باعث افزایش پلاستیسیته بتن و قابلیت شکل پذیری آن می گردد. (مدت زمان مخلوط کردن در میکسر ۴ دقیقه می باشد) این موضوع به خصوص برای ملات های ترمیمی و یا بتن های مورد استفاده در قطعات نما از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. اضافه نمودن الیاف به بتن و سایر محصولات سیمانی یادآور اضافه نمودن کاه به گل در مصارف ساختمانی در سال های گذشته می باشد. در شکل ۴ به خوبی چسبندگی مناسب اجزای بتن به یکدیگر را میتوان مشاهده نمود.



شکل ۴: تصویر بتن سبکدانه الیافی تولید شده

### ۳. آزمایش های انجام شده و نتایج آن ها و بحث

#### مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بتن سخت شده مطابق استاندارد ASTM C39 بر روی آزمون های مکعبی به ابعاد  $15 \times 15 \times 15$  سانتیمتر انجام گرفته است. برای هر طرح اختلاط 36 آزمون فشاری ساخته شد که در زمان های ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز مورد آزمون قرار گرفتند. عمل آوری نمونه ها در حوضچه آب و آب آهک انجام شده است. نتایج مربوط به مقاومت فشاری با استفاده از ضرایب کاهش به مقاومت استوانه ای استاندارد تبدیل شده اند دستگاه آزمون تعیین مقاومت فشاری مورد استفاده با ظرفیت ۲۵۰ تن می باشد

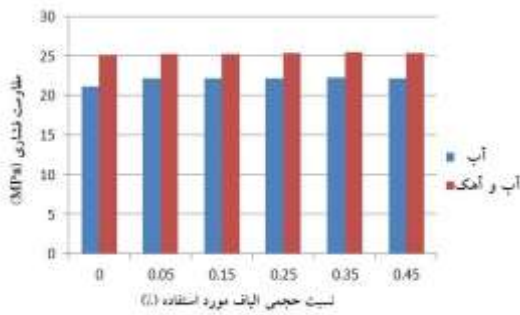
## مقاومت کششی برزیلی

آزمون مقاومت کششی (برزیلی) برای بتن سخت شده مطابق استاندارد ASTM C469 بر روی نمونه های استوانه ای به ابعاد  $30 \times 15$  سانتیمتر و در سن ۷ روزه ۱۴ روزه ۲۸ روز انجام شد. دستگاه آزمون مقاومت کششی دارای ظرفیت ۲۵۰ تن می باشد.

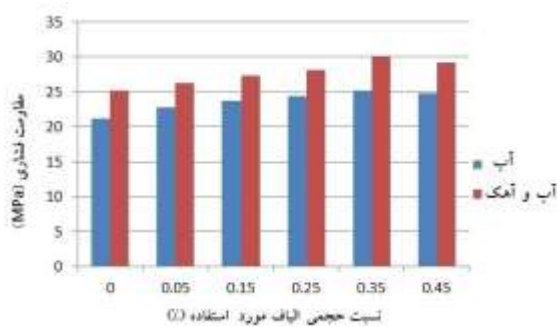
## نتایج ارزیابی های

همانگونه که گفته شد، در این پروژه از الیاف پلی پروپیلن با سه طول و پنج درصد حجمی متفاوت استفاده شد و در این پروژه شانزده طرح مخلوط مشابه که در آنها تنها پارامتر متغیر الیاف و مقدار ابر روان کننده بودند مورد استفاده قرار گرفتند

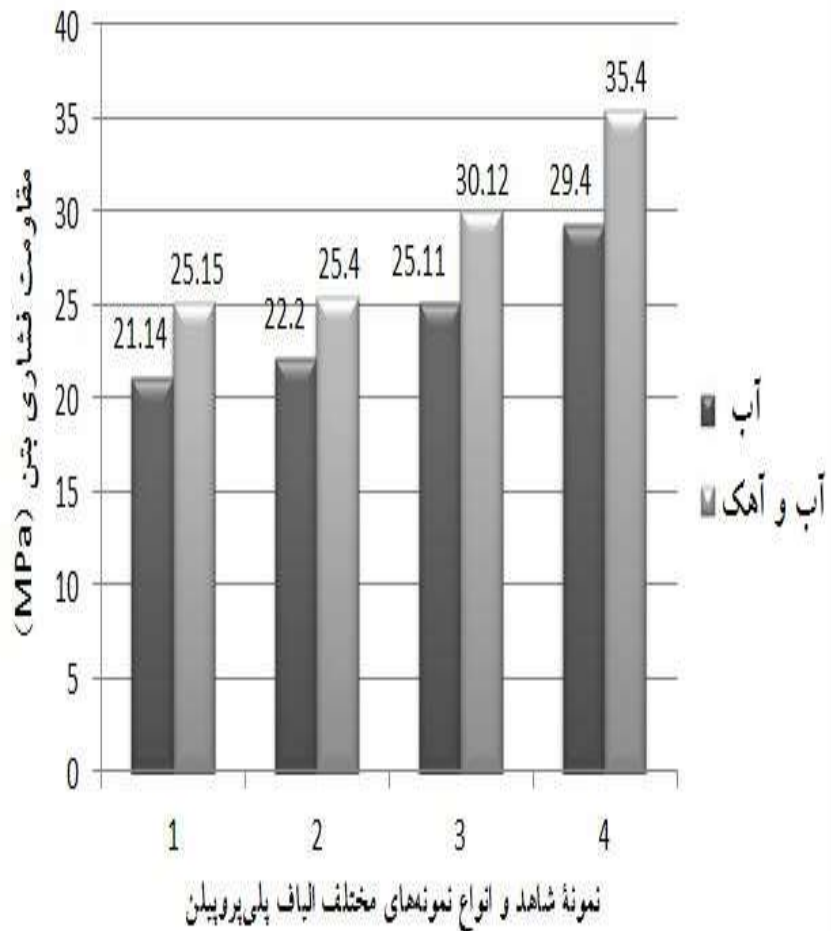
## رسم نمودار های مقاومت فشاری



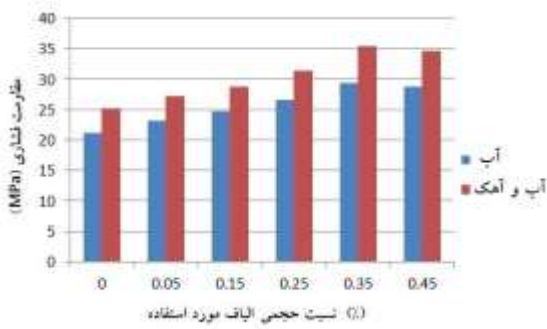
مقاومت فشاری برای نسبت های حجمی مختلف الیاف پلی پروپیلن با طول ۶ میلی متر



مقاومت فشاری برای نسبت های حجمی مختلف الیاف پلی پروپیلن با طول ۱۲ میلی متر

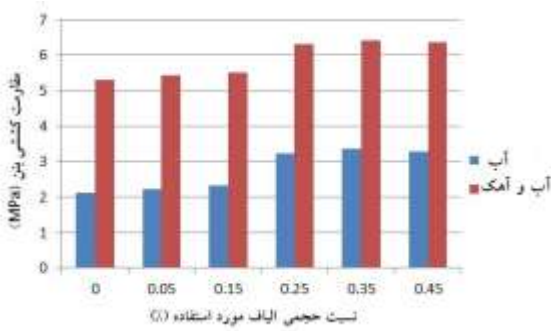




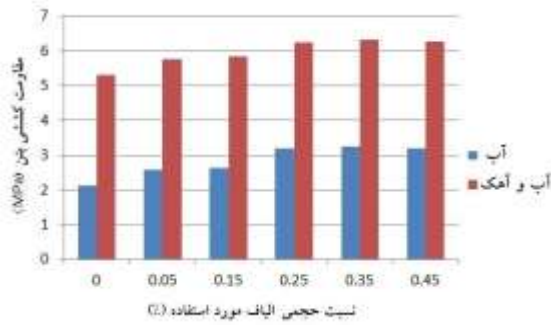


مقاومت فشاری برای نسبت‌های حجمی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۱۸ میلی‌متر مقایسه مقاومت‌های فشاری نمونه شاهد و سایر نمونه

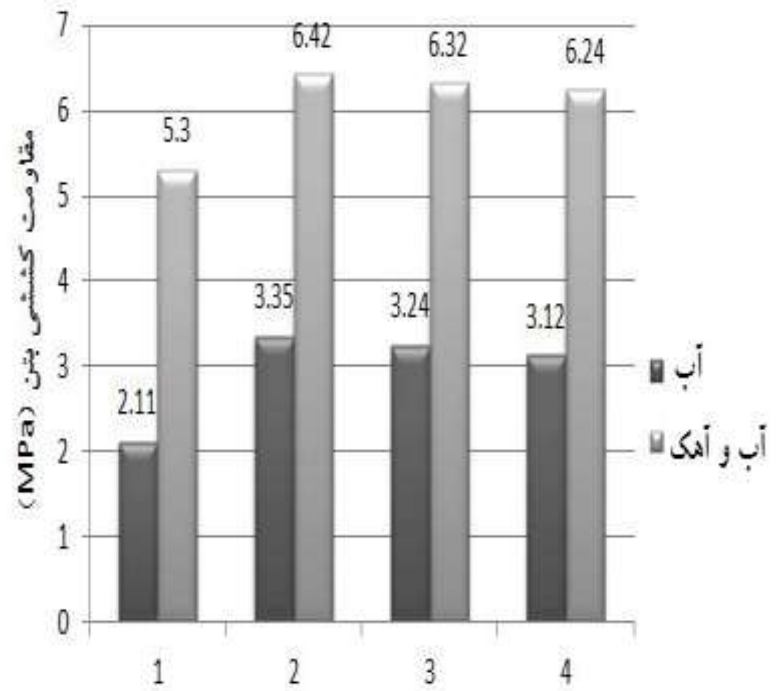
### رسم نمودارهای مقاومت کششی برزیلی



مقاومت کششی برای نسبت‌های حجمی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۶ میلی‌متر

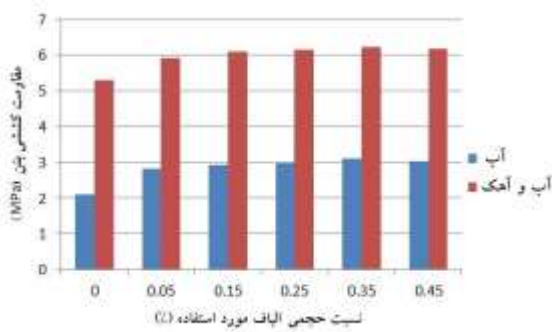


مقاومت کششی برای نسبت‌های حجمی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۱۲ میلی‌متر



### نمونه شاهد و انواع مختلف الیاف پلی‌پروپیلن

مقایسه مقاومت‌های کششی نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها با ۰/۳۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن



مقاومت کششی برای نسبت‌های حجمی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۱۸ میلی‌متر

## بحث

### مقاومت فشاری

همانگونه که در نمودارهای مقاومت فشاری مشاهده می شود سه نمودار کوچک بیانگر این هستند که برای هر یک از طول های کوتاه الیاف پلی پروپیلین به طول 6mm,12mm,18mm درصد های مختلف از الیاف کوتاه به میزان (%0.05, .15, .25, .35, .45) درصد حجمی به کل بتن لیکا اضافه گردیده اند و به دو روش عمل آوری در آب و آب آهک مورد آزمایش فشاری قرار گرفته اند و نتایج را در نمودار های کوچک سمت چپ برای هر طول الیاف پلی پروپیلین نمایش داده شده است. و نمودار بزرگ سمت راست که حاصل نتایج از سه نمودار کوچک سمت چپ می باشد بیانگر این است که درصد های بهینه از هر طول (6mm,12mm,18mm) الیاف کوتاه پلی پروپیلین از هر سه نمودار کوچک سمت چپ به دست می آوریم و آن ها را در نمودار بزرگ سمت راست با یکدیگر و همچنین با نمودار شاهد مقایسه می کنیم تا به بهترین طول و بهینه ترین درصد الیاف پلی پروپیلین در آزمایش مقاومت فشاری دست پیدا کنیم و همانگونه که در نمودار کوچک مشاهده می کنید بهینه ترین درصد از الیاف کوتاه 0/35 درصد حجمی به کل بتن لیکای برای هر سه طول 6mm,12mm,18mm می باشد و در نمودار بزرگ سمت راست این درصد های بهینه که 0/35 درصد حجمی به کل بتن لیکای برای هر سه طول الیاف کوتاه می باشد هم بایک دیگر و هم با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفته و همانگونه که مشاهده می کنید الیاف با طول کوتاه 18mm و درصد حجمی 0/35 درصد به حجم کل بتن بهترین یا به عبارتی بیشترین مقاومت فشاری را نسبت به طول های دیگر و همچنین نسبت به نمونه شاهد از خود نشان داده است و علت این افزایش مقاومت فشاری در نمونه های با الیاف پلی پروپیلین 18mm در چسبندگی بیشتر اجزا بتنی دانست چرا که به نظر می رسد اضافه نمودن الیاف پلی پروپیلین به بتن سبب گردیده که دانه ها و اجزای تشکیل دهنده بتن به خوبی در کنار یکدیگر قرار گیرند و یک ساختار متراکمی در برابر بارهای فشاری از خود نشان دهند.

### مقاومت کششی برزیلی

همانگونه که نمودارهای مقاومت کششی برزیلی بالا را مشاهده می کنید آن سه نمودار کوچک بیانگر این هستند که برای هر یک از طول های کوتاه الیاف پلی پروپیلین به طول 6mm,12mm,18mm درصد های مختلف از الیاف کوتاه به میزان (%0.05, .15, .25, .35, .45) درصد حجمی به کل بتن لیکای اضافه گردیده اند و به دو روش عمل آوری در آب و آب آهک مورد آزمایش فشاری قرار گرفته اند و نتایج را در نمودار های کوچک سمت چپ برای هر طول الیاف پلی پروپیلین نمایش داده شده است. و نمودار بزرگ سمت راست که حاصل نتایج از سه نمودار کوچک سمت چپ می باشد بیانگر این است که درصد های بهینه از هر طول (6mm,12mm,18mm) الیاف کوتاه پلی پروپیلین از هر سه نمودار کوچک سمت چپ به دست می آوریم و آن ها را در نمودار بزرگ سمت راست با یکدیگر و همچنین با نمودار شاهد مقایسه می کنیم تا به بهترین طول و بهینه ترین درصد الیاف پلی پروپیلین در آزمایش مقاومت کششی برزیلی دست پیدا کنیم و همانگونه که در نمودار کوچک مشاهده می کنید بهینه ترین درصد از الیاف کوتاه 0/35 درصد حجمی به کل بتن لیکای برای هر سه طول 6mm,12mm,18mm می باشد و در نمودار بزرگ سمت راست این درصد های بهینه که 0/35 درصد حجمی به کل بتن لیکای برای هر سه طول الیاف کوتاه می باشد هم بایک دیگر و هم با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفته و همانگونه که



مشاهده می کنید الیاف با طول کوتاه 6mm و درصد حجمی ۰/۳۵ درصد به حجم کل بتن بهترین یا به عبارتی بیشترین مقاومت کششی برزلی را نسبت به طول های دیگر و همچنین نسبت به نمونه شاهد از خود نشان داده است.

#### ۴. جمع بندی نهایی و نتیجه گیری

با بررسی نتایج بدست آمده از آزمون های صورت پذیرفته بر بتن سبکدانه مقاوم شده با الیاف، مشاهده گردید که الیاف پلی پروپیلن تولید شده در واحد صنعتی متقاضی، در بهبود خواص مکانیکی بتن سبکدانه مؤثر است. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داده که استفاده از الیاف پلی پروپیلن ۱۸ میلیمتری با درصد بهینه ۰/۳۵ درصد حجمی به کل بتن در بتن با سبک دانه لیکا باعث افزایش حدود ۲۸/۱ درصدی نسبت به نمونه شاهد در مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن شده است. در واقع استفاده از الیاف با طول بلندتر بدلیل ایجاد همبستگی و یکپارچگی بیشتر در بتن در زمان ترک خوردگی و کاهش میزان ترک خوردگی های سطحی بتن و دارا بودن طول بلندتر در بالا بردن مقاومت فشاری مناسب تر می باشند

استفاده از این الیاف بر مقاومت کششی برزلی نیز بسیار مؤثر بوده به طوریکه استفاده از الیاف ۶ میلیمتری با درصد بهینه ۰/۳۵ درصد حجمی به کل بتن سبب افزایش ۳۷/۰۱ درصدی نسبت به نمونه شاهد در مقاومت کششی برزلی ها ۲۸ روزه بتن شده است. در واقع استفاده از الیاف با طول کوتاه تر دارای نتایج مقاومت کششی بهتری می باشد و دلیل آن پخش بهتر الیاف در بتن وعدم گره خوردگی آن در بتن می باشد و استفاده از الیاف با طول کوتاه تر باعث پایین آمدن کمتر کارایی نسبت به الیاف های با طول بلندتر در بتن سبکدانه لیکای می باشد.

با توجه به اهمیت یکنواختی پخش الیاف در ماتریس سیمانی لازم دانستیم تا در خصوص نحوه پخش و اضافه نمودن الیاف به طرح اختلاط دقت کافی را مبذول نماییم تا از بروز عدم یکنواختی در پخش و یا گلوله شدن الیاف در ساختار بتن جلوگیری کنیم به همین خاطر ما با انجام خیساندن الیاف در بخشی از اب طرح اختلاط قبل از مخلوط کردن باعث پخش شدن راحت تر و یکنواخت تر الیاف در بتن سبکدانه لیکای شدیم اما این کار باعث پخش شدن کاملاً عالی الیاف در بتن سبک نمی شود و ما باید تحقیقاتی را برای بهبود خصوصیات سطحی الیاف پلی پروپیلن و سازگار نمودن این لیف غیر قطبی با سیمان اب دوست انجام دهیم تا بتوان از الیاف با طول بلندتر حداکثر ۵۰ میلیمتر برای بهبود خصوصیات مقاومت های فشاری و کششی برزلی بتن سبک استفاده کرد.

#### مراجع

- [1] Kou Shi-cong<sup>a,b</sup>, poon Chi-Sun A nobel polymer concrete made with recycled glass aggregates, fly ash and metakaolin (construction and building materials 41(2013)146-151 university Shenzhen, china
- [2] Tian yaogang, Shi shuaifeng, jia kan, hu shuhuang. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with light aggregates presaturated polymer emulsion. construction and building materials 93(2015) 1151-1156. chang an university, xi an 710064, china
- [3] Valerie Spaeth, Assia Djerbi Tegger Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments International Journal of Sustainable Built Environment(2013) 2, 143-152
- [4]- Mehta, K, Monteiro, J, Conceret (Microstructure, Properties and Materials) Advanced Conceret Technology, university of California, Berkly, 2015.
- [5]- ACI. 213R, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concerete", ACI 213-R, 2015.

[6]- Behaviour of different types of fibre reinforced concrete without Admixture  
Messaoud Saidani <sup>†</sup>, Danah Saraireh, Michael Gerges :2016

[7]- Effects of different fibers on the properties of short-fiber-reinforced polypropylene composites Christoph Unterweger <sup>a,†</sup>, Oliver Brüggemann <sup>b</sup>, Christian Fürst <sup>a</sup>:2014

[8]- Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers Vahid Afroughsabet <sup>a</sup>, Togay Ozbakkaloglu <sup>b,†</sup>:2015

[9]- Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate Concretes Hasan Oktay <sup>a</sup>, Recep Yumrutas\_ <sup>b,†</sup>, Abdullah Akpolat <sup>b</sup>:2015

[10]- Influence of type of fibers on the properties of high performance cement-based composites Valeria Corinaldesi <sup>†</sup>, Alessandro Nardinocchi :2016

[11]- The Influence of Extra Mixing Water on the Properties of Structural Lightweight Aggregate Concrete Mykola Zaichenkoa,\*, Serhii Lakhtarynaa, Artem Korsunb:2015

[12]- Experimental evaluation of cement mortars with phase change material incorporated via lightweight expanded clay aggregate Miguel C.S. Nepomuceno <sup>†</sup>, Pedro D. Silva :2014

[13]- Bonding of steel reinforcement in structural expanded clay lightweight aggregate concrete: The influence of failure mechanism and concrete composition J. Alexandre Bogas <sup>†</sup>, M. Glória Gomes, Sofia Real : 2014

[14]- Long-term behaviour of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete J. Alexandre Bogas <sup>†</sup>, J. de Brito, J. Cabaço :2014

[15]- Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate Concretes Hasan Oktay <sup>a</sup>, Recep Yumrutas\_ <sup>b,†</sup>, Abdullah Akpolat <sup>b</sup>: 2015