



پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور  
۱۱، ۱۲ و ۱۳ شهریورماه ۱۳۹۳، دانشگاه ارومیه



## بررسی و مقایسه بتن کفهای صنعتی ساخته شده با الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی

میلااد اورک<sup>۱\*</sup>، عبدالکریم عباسی دزفولی<sup>۲</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۳</sup>

۱- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران  
miladorak@gmail.com

۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران  
a-abbasid.khouzestan.srbiau.ac.ir

۳- گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران  
m.heydarnejad@khouzestan.srbiau.ac.ir

### چکیده

کف بتنی یکی از مهمترین اجزاء سازه ای در یک تشکیلات صنعتی است. بتن بعنوان پرمصرفترین ماده ساختمانی، دارای نقاط ضعف و قوت زیادی است. بارزترین نقطه ضعف بتن، مقاومت کششی بسیار کم آن است. این ضعف بخصوص در کفها که دارای سطح وسیعی هستند، منجر به بروز ترک میشود. اگر ترکها در اثر اعمال بار اضافی یا زیرسازی نامناسب و... گسترش یابند و بهم برسند، باعث تخریب سطح میشوند. جهت جلوگیری از این مشکل، در کفها درز قرار میدهند. استفاده از الیاف در بتن راه حل دیگری است که در صورت استفاده از آن، علاوه بر ممانعت از انتشار ترکها، درزهایی کنترل را نیز میتواند حذف نمود. بر این اساس در این تحقیق به بررسی دو نوع الیاف متداول مورد استفاده در بتن یعنی الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی پرداخته شده است. جهت بررسی خواص بتن ساخته شده با این دو نوع الیاف، اقدام به ساخت ۲۱ نمونه بتنی وانجام آزمایشهای مقاومت خمشی، فشاری و ضربه ای گردیده است. نتایج حاصل از این بررسی، بهبود خواص مکانیکی بتن الیافی بخصوص قابلیت جذب انرژی آن را نشان می دهد. مقاومت خمشی، فشاری و ضربه ای بتن با الیاف پلی پروپیلن نسبت به بتن شاهد، بترتیب ۰/۴۷۱، ۵/۱ و ۴۷۱ درصد افزایش و برای بتن ساخته شده با الیاف فلزی در مقایسه با بتن شاهد، بترتیب ۰/۳۹، ۹/۴ و ۲۴۳ درصد افزایش را نشان میدهد.

واژگان کلیدی: کف صنعتی، الیاف پلی پروپیلن، الیاف فلزی، ترک خوردگی



## ۱- مقدمه

کفهای بتنی یکی از اعضاء بسیار مهم و کلیدی و همچنین مشکل از نظر اجرا در پروژه های صنعتی میباشند. با توجه به نوع کاربری، اینگونه کفها ممکن است در معرض صدماتی قرار گیرند که تعمیر آنها موجب صرف هزینه های زیاد و تعطیلی موقت و تحمیل خسارت گردد. طراحی و اجرای یک کف با دوام و با کیفیت در مکانهایی مانند سالن تولید، انبارها، راهروها، سکوها، بارگیری و تخلیه و غیره یکی از اساسی ترین نیازهای اینگونه پروژه ها میباشد [1]. کفهای صنعتی دو کار انجام میدهند: یکی تحمل بارهای عملیاتی از قبیل بارهای سخت و زیاد، انبار کردن کالا، بارهای ناشی از چرخ لیفتراک و نیم طبقات و انتقال این بارها به بستر خاکی زمین بدون ایجاد گسیختگی سازه ای و دوم ایجاد سطحی مناسب که عملیات را تسهیل کرده و ایمنی و باردهی را بالا برد [2]. برای بهبود کارایی و کاهش خسارات احتمالی به این کفها، لازم است خصوصیات بتن مورد استفاده ارتقا داده شود. بتن به عنوان مصالحی نسبتا ترد و شکننده در هنگام قرارگرفتن در معرض بارهای ضربه ای و تنشهای نرمال شناخته شده است. همچنین مقاومت کششی بتن حدود یک دهم مقاومت فشاری آن میباشد. در نتیجه این خصوصیات، اعضاء بتنی نمی توانند بارها و تنش های وارده را بخصوص در مورد تیرها و دال ها تحمل نمایند. از لحاظ تاریخی، اعضاء بتنی را برای مقاومت در برابر تنشهای کششی و جبران ترد شکنی و مقاومت بتن، با میلگردهای پیوسته مسلح میکردند. بر این اساس میلگردهای مسلح کننده در محلهای بحرانی در اعضاء بتنی برای غلبه بر تنشهای کششی و برشی بالقوه مورد استفاده قرار میگرفتند. علاوه بر اینکه میلگردهای مسلح کننده باید مقاومت بتن را افزایش دهند، برای تولید یک بتن با خواص کششی متجانس، از توسعه ترک نیز باید جلوگیری کنند. با این مقدمه الیاف به عنوان راه حلی برای توسعه بتن از منظر افزایش مقاومت خمشی و کششی که به شکل خرد و ترکیب شده با سیمان پرتلند در بتن مورد استفاده قرار گرفت. این الیاف غالبا بصورت غیر ممتد و دارای توزیع اتفاقی در کل ماتریس سیمانی میباشند.

بررسی ها نشان می دهد که تفکر استفاده از الیاف از روزگاران باستان وجود داشته است. مصریان قدیم از کاه برای مسلح کردن آجرهای گلی استفاده می کردند. همچنین الیاف پنبه نسوز برای مسلح کردن رس در ۵۰۰۰ سال پیش استفاده میشده است [3].



در حدود ۳۵۰۰ سال پیش از کاه برای مسلح کردن آجر برای ساخت پشته های ۵۷ متری در عقرقوف در نزدیکی بغداد استفاده شده است. از حدود سال ۱۹۰۰ میلادی، الیاف آزبست شروع به توسعه پیدا کرد و بطور گسترده برای بهبود خواص ماتریس سیمانی توسط بنتور و میندس<sup>۱</sup> تولید گردید [4]. اما طی دهه های ۶۰ و ۷۰ میلادی مواردی از خطرات استفاده از این الیاف برای سلامتی انسان گزارش شده و اکنون سالهاست که استفاده از آن ممنوع شده و الیاف فلزی جایگزین آن گردیده است [5]. به هر حال از سال ۱۹۷۰ تا امروز استفاده از الیاف فلزی بعنوان یک مسلح کننده تمام عیار جهت افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی، مقاومت خمشی، برشی و ضربه ای در اعضاء بتنی درجا ریخته شده یا پیش ساخته گسترش یافته است [6]. از سال ۱۹۹۷ شرکت های ژاپنی استفاده از الیاف مصنوعی را جایگزین الیاف فلزی کردند. سپس این تکنولوژی در استرالیا، اروپا و شمال آمریکا گسترش یافت و اکنون در سراسر دنیا در حال استفاده میباشد [5].

از میان انواع الیاف مختلفی که تا کنون در بتن استفاده شده و هر کدام دارای خصوصیات، قیمت و تاثیرگذاری مختلفی هستند، دو نوع الیاف فلزی و پلی پروپیلن متداول ترین الیاف برای ساخت بتن الیافی میباشد.

در این تحقیق نیز تلاش شده تا عملکرد این دو نوع الیاف در بتن مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. با توجه به خصوصیات مورد انتظار در کفهای صنعتی، مهمترین پارامترهایی که لازم است مورد بررسی قرار گیرند، مقاومت های خمشی و ضربه ای میباشد. بر همین اساس، ۶ تیر بتنی جهت آزمایش مقاومت خمشی، ۶ دیسک بتنی جهت آزمایش مقاومت ضربه ای و ۹ مکعب بتنی جهت آزمایش مقاومت فشاری ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته اند.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- کفهای صنعتی بتنی

کفهای صنعتی که نوعی دال روی زمین بحساب می آیند از جمله اعضاء بتنی بسیار مهم و حساس میباشد. دالهای روی زمین با سایر اعضاء سازه ای تفاوت های زیادی دارند؛ اول اینکه آنها بطور مستقیم توسط خاک ساپورت می شوند و عملکردشان بیش از نحوه ساخت دال به کیفیت خاک وابسته است و دوم اینکه این اعضاء بیش از سایر اعضاء در معرض دید کارفرما قرار دارند [7].

<sup>1</sup> Bentur and Mindess



کفهای صنعتی بدلیل اینکه بار تجهیزات و طبقات را تحمل کرده و بیش از سایر اعضاء با امور مربوط به تولید، جابجایی محصولات، تردد ماشین آلات و پرتاب و واژگونی تجهیزات مواجه هستند، ممکن است در معرض آسیب و رطوبت قرار گیرند. از آنجایی که بتن ماده ای است که در کشش بسیار ضعیف است احتمال ترک خوردن آن حتی در ساعات اولیه پس از بتنریزی بسیار زیاد است، وقوع اینگونه ترکها که ناشی از جمع شدگی خمیری میباشد طبیعی و بدیهی است. اما مواردی مانند نحوه اعمال بار، زیرسازی، کیفیت نامطلوب بتن و... می توانند موجب تشدید ترکها و انتشار آنها پس از سخت شدن بتن گردند. برای جلوگیری از این گسترش، در دالهای روی زمین که معمولا سطوح وسیعی را شامل میشوند از درزهای کنترل استفاده میشود. این درزها از وقوع ترک جلوگیری نمیکند بلکه صرفا برای کنترل محل بروز ترک و یا جلوگیری از گسترش ترک از پانلی به پانل مجاور، ساخته می شوند. عمق این درزها باید  $\frac{1}{4}$  ضخامت دال باشد. در صورتی که این عمق رعایت نشود، خود درزهای ساخته شده محلی ضعیف و مستعد آسیب خواهند بود. لذا بدلیل حساسیت اندازه و فاصله این درزها و همچنین محدودیتهای ایجاد شده در مورد زمان و تجهیزات مورد استفاده برای قرار دادن درز، امکان حذف این درزها نقطه قوتی برای پروژه خواهد بود. یکی از راههای جایگزینی درز کنترل، استفاده از الیاف در بتن میباشد.

نقش الیاف افزوده شده، جلوگیری از طولیل شدن ترکها و اتصال آنها به همدیگر است. وجود الیاف مناسب باعث دوخته شدن انتهای ترک می شود و در این شرایط بجای ترک های ریز ممتد، تعدادی ترک منقطع دیده میشود که این اثر تا زمان جدا شدن الیاف از بتن یا بریده شدن آنها، تشکیل ترکهای بزرگ و تجمع آنها را به تاخیر می اندازد [8].

این پدیده که مانند دوختن دوطرف ترک به یکدیگر است را پل زدن<sup>۲</sup> گویند. واضح است که بریده شدن الیاف در اثر اعمال بار بطور مستقیم به مقاومت کششی و مدول الاستیسیته الیاف بستگی دارد.

در مورد دال های روی زمین، بررسی مقاومت خمشی از مقاومت فشاری مهمتر است. زیرا در اثر اعمال بارهای فشاری، بخش قابل توجهی از بتن تحت خمش، به کشش می افتد و ضعف بتن در کشش منجر به بروز ترک می شود. لذا از آنجا که علت گسیختگی بیشتر دال ها ایجاد تنش های خمشی است، در نتیجه، تنش های خمشی و مقاومت خمشی بتن در کف ها برای تعیین ضخامت دال، ملاک قرار می گیرد [9].

## ۲-۲- الیاف پلی پرویلن

<sup>2</sup> Bride Cracking



امروزه الیاف پلی پروپیلن در شکلها و ابعاد گوناگونی تولید می شوند. اگرچه الیاف پلی پروپیلن با بتن پیوند شیمیایی محدودی ایجاد میکنند اما در حقیقت پیوند مکانیکی مناسب آنها با بتن، باعث می شود که این الیاف در بتن امکان شکست کششی را داشته باشند. ماده پلی پروپیلن از  $C_3H_6$  که یک هیدروکربن خالص است بدست می آید و روند تولید الیاف آن شبیه تولید الیاف نایلون و رایون میباشد. الیاف پلی پروپیلن خصوصیات منحصر به فردی دارند که آنها را برای مخلوطهای بتنی مناسب می کند. این الیاف از لحاظ شیمیایی خنثی بوده و در محیطهای قلیایی بتن بسیار پایدارند. الیاف پلی پروپیلن در بتن با نسبتهای حجمی پایین، نوعا در روکش راهها، پیاده روها، دالهای روی زمین، سیستمهای کف، المانهای دال و دیوار ساختمانها و پاشیدن بتن در دیواره تونلها، کانالها و مخازن برای بهبود خواص ترک خوردگی، شکل پذیری و مقاومت در برابر ضربه مورد استفاده قرار میگیرد. نسبت حجمی این الیاف در بتن معمولا در محدوده  $0/3-0/5$  درصد میباشد که در این حجم نسبتا کم، معمولا هیچ محاسبه اضافی در برآورد نسبتهای اختلاط بخاطر وجود الیاف نیاز نیست [10].

این الیاف دارای مدول الاستیسیته پایین (3-5GPa) میباشند. همچنین این الیاف از جمع شدگی خمیری در ۲۴ ساعت اولیه پس از بتنریزی جلوگیری میکنند. به محض بروز ترک، این الیاف با اعمال مقدار معینی بار جابجایی بسیار ناچیزی برای جلوگیری از انتشار ترک خواهند داشت. همچنین رشته رشته بودن الیاف پلی پروپیلن موجب چسبندگی بهتر آنها به بتن و افزایش اثر بخشی آن خواهد بود. البته هرچه بتن بیشتر به بلوغ برسد و سخت تر شود، اثر بخشی الیاف پلی پروپیلن کمتر میشود [11].

از دیگر خصوصیات مثبت الیاف پلی پروپیلن باید به اثر آنها در مواجهه با آتش اشاره کرد. در مواجهه با آتش الیاف پلی پروپیلن ناپدید میشوند (الیاف به نقطه ذوب خود میرسند) و از محل کانالهای بسیار زیادی که در حجم سازه پخش هستند خارج میشوند. این کانالها مانند یک مجرای انبساطی برای خروج بخار آب تحت فشار آتش عمل میکنند. بنابراین استفاده از الیاف پلی پروپیلن نه تنها اثر منفی در مواجهه با آتش ندارند بلکه تا حدودی نیز زمان لازم تا تخریب سازه را افزایش میدهند [11].

مشخصات الیاف پلی پروپیلن استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱ – جزئیات الیاف پلی پروپیلن استفاده شده

جنس	Polypropylene
طول	۶ mm
قطر	$20 \mu m$
نسبت ظاهری (l/d)	۳۰۰
چگالی	$0/9 \text{ gr/cm}^3$
مقاومت کششی	۲۵۰MPa



## ۲-۳- الیاف فلزی

کفهای صنعتی و روسازیها از عمده ترین مصارف بتن مسلح به الیاف فلزی میباشد [12]. الیاف فلزی مدول الاستیسیته بالایی دارند (حدود 200GPa) و از مقاومت کششی بالایی برخوردار هستند (800-2500Mpa). در سنین اولیه بتن، ممکن است ترکهای بسیار ریزی در اثر جمع شدگی بتن پدیدار شود. همچنین در این دوره، الیاف دارای چسبندگی کافی با بتن نابالغ نیستند. بر همین اساس الیاف فلزی تاثیر زیادی در مقابله با انتشار ترکها در سنین پایین بتن ندارند ولی در سنین بالاتر، اثر بخشی این الیاف افزایش یافته و انتشار ترکها کاهش خواهد یافت. در صورت استفاده از الیاف فلزی، ممکن است خوردگی اتفاق بیافتد. این خوردگی که معمولاً در سطح اتفاق می افتد، موجب رنگ پریدگی بتن نما<sup>۳</sup> می شود اما بر ظرفیت باربری سازه تاثیری نخواهد داشت. پتانسیل خوردگی که در الیاف فلزی وجود دارد با اعمال موارد زیر می تواند به حداقل برسد:

- بهینه کردن طرح مخلوط بتن مسلح الیافی
- استفاده از الیاف گالوانیزه شده و زنگ نزن

نگرانی دیگری که در مورد استفاده از الیاف فلزی وجود دارد، مقاومت سازه در برابر آتش است. الیاف فلزی رفتار مشخصی در مواجهه با آتش ندارند و باید در نظر داشت که آنچه مورد تاکید است این است که بتن الیافی نباید در مقابل آتش رفتاری بدتر از بتن معمولی داشته باشد [11]. در جدول ۲ مشخصات الیاف فلزی مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است:

جدول ۲ - جزئیات الیاف فلزی استفاده شده

جنس	Steel
طول	۲۵ mm
قطر	۱ mm
نسبت ظاهری (l/d)	۲۵
مقاومت کششی	۱۰۰MPa

<sup>3</sup> Exposed



میزان مصرف معمول و توصیه شده الیاف فلزی  $20-40 \text{ Kg}/m^3$  می باشد. هرچه میزان الیاف بیشتر شود، مقاومت خمشی بتن نیز بیشتر می شود. معمولاً در سیستمهایی که با نوار نقاله مصالح به میکسر اضافه می شوند، الیاف با مصالح سنگی مخلوط شده و از طریق نوار نقاله وارد میکسر می شوند. اگر اندازه نسبت ظاهری الیاف فلزی کمتر از ۵۰ باشد، نگرانی از وقوع پدیده گلوله ای شدن وجود نخواهد داشت. اما در صورت استفاده از الیاف با نسبت ظاهری بالاتر باید تدابیری برای جلوگیری از پدیده گلوله ای شدن اتخاذ گردد. به هر حال انجام بازرسی های لازم برای بررسی توزیع مناسب الیاف ضروری است.

### ۳- شرح کار آزمایشگاهی

در این تحقیق با توجه به خصوصیات مورد انتظار و آسیبهای احتمالی در کفهای بتنی، اقدام به بررسی مقاومتهای خمشی، فشاری و ضربه ای از سه طرح بتنی مسلح به الیاف پلی پروپیلن، مسلح به الیاف فلزی و غیر مسلح (شاهد) گردید. جهت بررسی مقاومت خمشی، ۶ تیر بتنی به ابعاد  $60 \times 12 \times 7/5$  سانتیمتر مطابق ASTM C293-02 [13] و برای بررسی مقاومت فشاری، ۹ مکعب بتنی به ابعاد  $15 \times 15 \times 15$  سانتیمتر مطابق ASTM C39 [14] و جهت ارزیابی مقاومت ضربه ای، ۶ دیسک بتنی بقطر ۶ اینچ و ضخامت ۱/۵ اینچ مطابق ACI 544-2R [15] ساخته شد. سیمان مصرفی، سیمان پرتلند تیپ ۲ از کارخانه سیمان خوزستان، شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر 19mm و ماسه مورد استفاده، ماسه شسته از معادن شوشتر بوده است. آب مصرفی کاملاً زلال و قابل شرب بوده و در ساخت نمونه ها از هیچ ماده افزودنی استفاده نشده است. طرح اختلاط بتن ساخته شده به ازاء یک متر مکعب بتن در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳- مصالح بکار رفته در ساخت بتن ( $\text{Kg}/m^3$ )

جرم ( $\text{kg}$ )	مصالح
۳۵۰	سیمان
۹۰۰	شن
۸۷۵	ماسه
۱۷۵	آب

مقدار الیاف پلی پروپیلن بکار رفته جهت ساخت یک متر مکعب بتن با الیاف پلی پروپیلن یک کیلوگرم و مقدار الیاف فلزی جهت ساخت یک متر مکعب بتن مسلح به الیاف فلزی ۳۰ کیلوگرم میباشد.



نسبت آب به سیمان برای تمام مخلوطها (اعم از الیافی و شاهد) ثابت و برابر ۰/۵ بوده است.

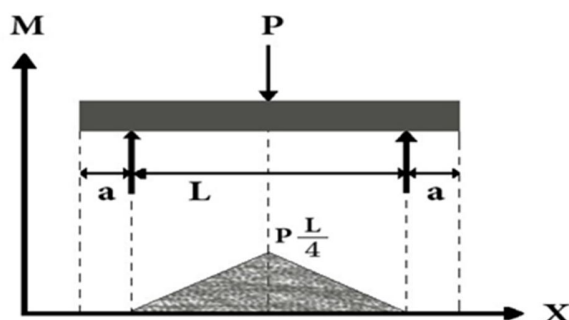
دمای هوا هنگام ساخت بتن  $36^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی 40% و سرعت وزش باد  $7\text{ Km/h}$  بوده است. نمونه های ساخته شده بمدت ۴۸ ساعت بصورت مرطوب عمل آوری شده و سپس از قالب جدا شده و بمدت ۲۸ روز در حوضچه های عمل آوری بحالت مستغرق نگهداری و سپس مورد آزمایش قرار گرفته اند.

لازم بذکر است که در ساخت بتنهای الیافی، الیاف بصورت دستی و مرحله به مرحله به ترکیب اضافه شده اند و درتمام مراحل، بازرسی های لازم برای جلوگیری از بروز پدیده گلوله ای شدن انجام شده است.

#### ۴- نتایج آزمایشها

کلیه آزمایشها در آزمایشگاه فنی ومکانیک خاک استان خوزستان تحت شرایط استاندارد درحالیکه دمای محیط  $34^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی ۳۶% اندازه گیری شده، انجام گردیده است.

جهت آزمایش مقاومت خمشی تیر مطابق شکل ۱، از سیستم اعمال بار نقطه ای در وسط تیر استفاده شده است. این آزمایش توسط چک هیدرولیکی باظرفیت ۳۰۰ تن تحت بارگذاری باسرعت  $0/1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{Sec}$  انجام شده که نتایج آن در جدول ۴ بیان شده است.



شکل ۱- تصویر شماتیک نحوه بارگذاری در آزمایش خمشی

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت خمشی





ردیف	شماره نمونه	نوع نمونه	حداکثر بار وارده (KN)	متوسط حداکثر بار وارده (KN)	متوسط حداکثر لنگر وارده (KN.m)
۱	۱	بتن معمولی	۲۲	۲۳/۵	۲/۹۲۷۵
۲	۲	بتن معمولی	۲۵		
۳	۳	بتن با الیاف فلزی	۳۰	۳۲/۵	۴/۰۶۲۵
۴	۴	بتن با الیاف فلزی	۳۵		
۵	۵	بتن با الیاف pp	۴۵	۴۰	۵
۶	۶	بتن با الیاف pp	۳۵		

اعداد این جدول افزایش ۷۱/۴ درصدی مقاومت خمشی بتن ساخته شده با الیاف پلی پروپیلن نسبت به بتن شاهد و همچنین افزایش ۳۹ درصدی مقاومت خمشی بتن ساخته شده با الیاف فلزی در مقایسه با بتن شاهد را نشان میدهد.

جهت آزمایش مقاومت فشاری از دستگاه جک هیدرولیکی با ظرفیت ۳۰۰ تن تحت بارگذاری با سرعت  $0/3 \frac{N}{mm^2} Sec$  استفاده شده است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵ - نتایج آزمایش مقاومت فشاری

ردیف	شماره نمونه	نوع نمونه	حداکثر بار وارده (KN)	متوسط بار وارده (KN)	مقاومت فشاری ( $Kg/cm^2$ )
۱	۷	بتن معمولی	۶۰۵	۵۸۱/۶۷	۲۵۶
۲	۸	بتن معمولی	۵۶۰		
۳	۹	بتن معمولی	۵۸۰		



۲۸۰	۶۳۰	۷۴۰	بتن با الیاف فلزی	۱۰	۴
		۵۷۰	بتن با الیاف فلزی	۱۱	۵
		۵۸۰	بتن با الیاف فلزی	۱۲	۶
۲۶۹	۶۰۵	۶۴۰	بتن با الیاف pp	۱۳	۷
		۵۱۵	بتن با الیاف pp	۱۴	۸
		۶۶۰	بتن با الیاف pp	۱۵	۹

یافته های این آزمایش نشان میدهد که الیاف (پلی پروپیلن یا فلزی) تاثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری بتن ندارد. مقاومت فشاری بتن های الیافی هرچند بسیار کم ولی بهبود یافته و سهم الیاف فلزی کمی بیشتر از الیاف پلی پروپیلن بوده است. مقاومت فشاری بتن با الیاف پلی پروپیلن در مقایسه با بتن شاهد ۵/۱ درصد و بتن با الیاف فلزی ۹/۴ درصد افزایش یافته است.

جهت آزمایش مقاومت ضربه ای، مقاومت دیسکهای ساخته شده در برابر ضربه چکش ۴/۵ کیلوگرمی، به روش بار افتان از ارتفاع ۴۰ سانتیمتری مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این آزمایش انرژی وارده معادل ۲۰ ژول بوده و مقاومت دیسکها بر اساس تعداد ضربه های وارده تا ایجاد اولین ترک ملاک قرار گرفته است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۶ بیان شده است.

جدول ۶- نتایج آزمایش مقاومت ضربه ای

ردیف	شماره نمونه	نوع نمونه	تعداد ضربه تا ایجاد اولین ترک	متوسط تعداد ضربه
۱	۱۶	بتن معمولی	۹	۷
۲	۱۷	بتن معمولی	۵	
۳	۱۸	بتن با الیاف فلزی	۲۱	۲۴
۴	۱۹	بتن با الیاف فلزی	۲۷	
۵	۲۰	بتن با الیاف pp	۴۱	۴۰
۶	۲۱	بتن با الیاف pp	۳۹	

جدول ۶ نشان میدهد که قابلیت اصلی بتن الیافی در جذب انرژی فوق العاده زیاد آن نسبت به بتن شاهد میباشد. با استفاده از الیاف پلی پروپیلن مقاومت ضربه ای حدود ۵ برابر و با استفاده از الیاف فلزی حدود ۳ برابر در مقایسه با بتن معمولی افزایش یافته است.



## ۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله برای بررسی رفتار الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی در کفهای صنعتی بتنی و ارزیابی خواص و نقاط ضعف و قوت بتنهای ساخته شده با این الیاف، آزمایشهایی انجام شده که نتایج حاصله را میتوان بصورت خلاصه اینچنین بیان کرد:

- در ساخت بتن الیافی لازم است تدابیر مناسبی جهت جلوگیری از پدیده گلوله ای شدن اتخاذ گردد. این مشکل با انتخاب درصد بهینه الیاف، نسبت ابعادی مناسب و احتیاط در افزودن الیاف به ترکیب بتن قابل کنترل است.
- بتن بدون الیاف دارای رفتار ترد و شکننده است؛ درحالیکه بتن مسلح به الیاف با ممانعت از انتشار و گسترش ترک تا حدود زیادی شکنندگی بتن را کاهش میدهد.
- بدلیل ممانعت از انتشار ترک، درصورت استفاده از الیاف میتوان از قرار دادن درزهای کنترل در کف خودداری کرد. عدم ساخت درز منجر به افزایش سرعت بتنریزی، رفع نگرانی ناشی از ساخت نامناسب درز و همچنین ایجاد یک سطح صاف و یکپارچه میشود.
- استفاده از الیاف در بتن(پلی پروپیلن یا فلزی) تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری بتن کف ندارد.
- مقاومت خمشی بتن الیافی نسبت به بتن معمولی بطور چشمگیری افزایش می یابد که این افزایش در مورد استفاده از الیاف پلی پروپیلن دو برابر بیشتر از الیاف فلزی است.
- قابلیت جذب انرژی را میتوان بارزترین نقطه قوت بتن الیافی بخصوص در مورد استفاده از الیاف پلی پروپیلن عنوان کرد. این قابلیت بخصوص درمورد کفهای صنعتی که در معرض واژگونی یا پرتاب تجهیزات و محصولات هستند بسیار مهم و قابل توجه میباشد.
- الیاف پلی پروپیلن دلیل دارا بودن رشته های بیشتر و چسبندگی سریعتر به تن، بیش از الیاف فلزی از بروز ترک در ساعات اولیه که ناشی از جمع شدگی خمیری است، جلوگیری میکنند. اما الیاف فلزی دلیل مدول الاستیسیته و مقاومت کششی بیشتر، در سنین بالاتر و پس از سخت شدن بتن تاثیر بیشتری را درمقابله با ترکها درمقایسه با الیاف پلی پروپیلن دارند.



## قدردانی

از آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان خوزستان بویژه جناب آقای مهندس بهرامی بواسطه همکاری صمیمانه و ایجاد امکان بکارگیری امکانات آن آزمایشگاه، همچنین شرکت بتن سنگ مهر اهواز که کلیه عملیات ساخت و دوره عمل آوری نمونه ها در آزمایشگاه بتن آن شرکت طی شده، تشکر می نمایم .

## ۶- منابع

- ۱- اورک، م. ۱۳۹۲. بررسی کیفی و مقایسه‌ای استفاده از الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی جهت افزایش ضربه پذیری و کاهش ترک خوردگی در کفهای صنعتی بتنی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان.
- 2- Neal F.2002. Ice Design and Practice Guide: Concrete Industrial Ground Floors. Thomas Telford. London.
- ۳- وظیفه خواه، ن؛ مناف پور، ع. ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹.
- 4- Wong, Ch. 2004. Use of Short Fibres in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties. Towards the degree of Bachelor of Engineering. Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.
- 5- Newman J, Choo B.2003. Advanced Concrete Technology. Elsevier Ltd. Oxford.
- 6- Nawy E.2008. Concrete Construction Engineering Handbook. Second edn. CRC Press. Boca raton.
- 7- Newman, A. 2001. Structural Renovation of Building. Mc Graw-Hill. United States. P317-375
- ۸- قنبری، چازکتی، ع؛ رکرکیان، ع؛ اکبری، ر. ۱۳۹۱. بررسی اثر الیاف فولادی بر روی مقاومت خمشی تیر بتنی. دومین کنفرانس ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک. آبان ۱۳۹۱. مازندران.
- ۹- فارنی ج آ. ۱۳۸۸. روش‌های طراحی و اجرای روبه‌های صنعتی بتنی. ترجمه حسنی، الف؛ هاشمیان، ل. دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ۳۷۹ صفحه.
- ۱۰- مستوفی نژاد، د؛ و حاتمی، ش. ۱۳۸۳. اثر الیاف پلی پروپیلن بر ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک و کارایی بتن. نشریه دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۱۶، شماره ۱، صفحات ۷۳-۸۶.
- 11- Rossi, P. Steel or Synthetic Fiber Reinforcement?. Béton Magazine, March 2009. Paris, France.
- 12- Labib W, Eden N.2008. An investigation into the use of fibers in concrete ground-floor slabs.
- 13- ASTM C293-02: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)".2006.
- 14- ASTM C39: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".2004.
- 15- ACI Committee 544, "Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 85, pp.583-593, 1988.