

# تأثیر الیاف بر خواص بتن‌های غلطکی روسازی راه (RCCP)

مهرداد فرداد، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی نور، نور، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [mehrdad.fardad2002@gmail.com](mailto:mehrdad.fardad2002@gmail.com)

دریافت: 96/01/10 - پذیرش: 96/03/28

## چکیده

اهمیت و ضرورت بتن، به عنوان پرمصرف ترین و مهمترین مصالح ساختمانی قرن بیستم معرفی شده است و پس از آب، بیشترین ماده ای است که بشر مصرف می‌کند. این، در حالی است که فقط حدود دو قرن از ابداع سیمان و بتن گذشته است و این مصرف به سرعت در حال فزونی می‌باشد. بتن غلتکی در دو زمینه کاملاً مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین زمینه کاربرد بتن غلتکی در سد سازی و دومین زمینه کاربرد آن در روسازی راه می‌باشد. امروزه در ساخت بتن از کامپوزیت‌ها به عنوان یک فناوری نوین در صنعت ساخت و ساز استفاده می‌شود. از جمله مواد جدیدی که جایگاه ویژه‌ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی‌های بتن و الیاف تقویت کننده می‌باشد. در این پژوهش هدف اصلی بررسی اجمالی بتن غلتکی روسازی از لحاظ پارامترهای مختلف فنی و همچنین بررسی اثر الیاف در آن می‌باشد. زیرا امروزه ترک خوردگی بتن به عنوان یکی از مسائل روز دنیا مطرح می‌باشد و یکی از راهکارهای کاربردی در این امر استفاده از الیاف می‌باشد. الیاف های مورد استفاده در این پژوهش شامل الیاف های فولاد صنعتی و شیشه از شرکت میسون و الیاف پلی پروپیلن از مرکز تحقیقات راه سازی و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان می‌باشد. استفاده از این الیاف‌ها در بتن غلتکی، مقاومت فشاری و کششی را بهبود می‌بخشد و در تمامی نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف سرعت پالس عبور از بتن کاهش پیدا کرده است که این نشان از کیفیت بهتر بتن الیافی نسبت به بتن معمولی دارد. نتایج این پژوهش گویای اهمیت کاربرد الیاف جهت بهبود عملکرد بتن غلطکی روسازی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن غلطکی روسازی (RCCP)، الیاف، آزمون اولتراسونیک، خواص مقاومتی

## 1- مقدمه

قیمت در مقایسه با آسفالت، اجرای بتن غلتکی می‌باشد. امروزه استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه‌ها و سدها بشدت افزایش یافته است که یکی از مهمترین علل این موضوع توجهات فنی و اقتصادی استفاده از این روش می‌باشد. تسریع عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت، سادگی در تولید و عدم نیاز به تجهیزات و تاسیسات انواع سازه‌های بتنی مورد توجه است، مسئله‌ی ترک خوردگی آن می‌باشد. یکی از راهکارهای مهم در کنترل ترک خوردگی استفاده از الیاف می‌باشد که در این تحقیق

راه‌ها از اهمیت بسیار زیادی در ساختار یک شهر و جامعه برخوردارند. در نتیجه برای ایجاد راه‌های بیشتر و بهبود وضعیت آن‌ها باید برنامه‌ریزی دقیقی انجام شود. حال آنکه با افزایش روزافزون قیمت حامل‌های انرژی در چند دهه اخیر و مخصوصاً قیمت قیر تهیه آسفالت و اجرای آن هزینه‌ها شده است. یکی از روش‌های ارزان اجرایی از دیگر عوامل موثر جهت استفاده از این نوع بتن در ساخت و سازها می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم که امروزه در بحث اجرای

به تاثیر استفاده از الیاف در بتن غلتکی روسازی پرداخته شده است.

## 2- تاثیر الیاف بر بتن

پیدایش در تحقیق خود تأثیر افزایش درصد الیاف پلیروپیلن در بتن الیافی ترکیبی را مورد بررسی قرار داده است. 3٪ مختلف الیاف پلی پروپیلن را در 1٪ الیاف فولاد صنعتی جایگزین کرده است. نهایتاً خواص مکانیکی نمونه‌های بتن الیافی ترکیبی فولاد صنعتی و پلی پروپیلن شامل طاقت و مقاومت خمشی با یکدیگر و بتن شاهد مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده آن است که هر چه الیاف فولاد صنعتی با درصد بیشتر، از الیاف پلیروپیلن جایگزین شود، میزان مقاومت خمشی و جذب انرژی کاهش می‌یابد.

وظیفه خواه در تحقیق خود به بررسی مقاومت کششی بتن مسلح به الیاف فولادی با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف الیاف می‌پردازد. الیاف‌ها به میزان 0، 0/3، 0/6، 0/9 و 1/2٪ حجمی بتن مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین جهت انجام آزمایش از سه نوع نمونه استوانه ای به ابعاد  $15 \times 7/5 \times 15$  سانتی‌متر،  $20 \times 10$  سانتی‌متر،  $15 \times 30$  سانتی‌متر و یک نمونه منشوری به ابعاد  $10 \times 10 \times 50$  سانتی‌متر، استفاده کرده است. با استفاده از تست برزیلی و مقاومت کششی نمونه منشوری را با استفاده از آزمایش خمش تعیین کرده است. نتایج آزمایش نشان داده که مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای با مقدار 1/2٪ حجمی الیاف به میزان 26٪، و مقاومت کششی نمونه منشوری نیز به میزان 29٪ نسبت به بتن بدون الیاف افزایش داشته است.

کیانی به بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی الیاف سلولزی و پلیروپیلن پرداخته است. در این تحقیق از الیاف سلولزی با درصدهای 0/075، 0/125 و 0/175

و الیاف پلی پروپیلن با 0/125٪ استفاده شده است. در نهایت مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و مقاومت بیرون کشیدگی نمونه‌های ساخته شده تعیین و با بتن بدون الیاف مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج آزمایش نشان داده که بتن حاوی 0/125٪ الیاف سلولزی باعث افزایش مقاومت خمشی به میزان 15٪ و بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت خمشی به میزان 30/0 نسبت به بتن بدون الیاف شده است. غلامی در تحقیق خود با استفاده از سه نوع الیاف فولاد صنعتی، پلیروپیلن و کربنی و ساخت نمونه‌های مختلف از هر کدام و سپس با انجام آزمایشهای فشاری، کششی و خمشی نشان داده است که الیاف فولاد صنعتی تأثیر بهتری بر روی مقاومت بتن نسبت به دو نوع دیگر الیاف از خود نشان داده است. قاسم نیا در تحقیق خود تأثیر طول الیاف پلیروپیلن را بر خواص مکانیکی بتن مورد بررسی قرارداد است. تحقیق نشان داده که در محدوده بین 5 تا 9٪ افزایش طول الیاف، شاهد افزایش خصوصیات مکانیکی بتن شامل مقاومت فشاری و خمشی خواهیم بود.

پورمقدم تحقیقی تحلیلی بر روی نحوه پخش و جهت‌گیری الیاف فولادی در بتن انجام داده و نتایج تحلیل خود را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده است. و در پی آن توانسته فرمولی در خصوص مقدار الیاف در هر متر مکعب بتن ارائه نماید.

وسوک در تحقیق خود تأثیر الیاف بر مقاومت برشی بتن سبک را مورد بررسی قرارداد است. الیاف استفاده شده در این تحقیق، فولاد صنعتی و درصدهای استفاده شده 0/5، 0/75، 1٪ بوده است. نتیجه تحقیق حاکی از آن است که با افزایش درصد الیاف فولاد صنعتی مقاومت برشی نیز افزایش پیدا می‌نماید. که به تبع آن ترک‌های کمتری در بتن ایجاد خواهد شد.

جیائو در تحقیقی که انجام داده تأثیر الیاف فولاد صنعتی را در بتن با مقاومت بالا مورد ارزیابی قرار داده است. بتن با مقاومت بالا به دلیل مصالح به کار رفته در آن دارای کارایی پایینی می‌باشد. با استفاده از الیاف فولاد صنعتی می‌توان خواص بتن را در حد بتن مسلح افزایش داد. نتایج تحقیق نیز نشان می‌دهد که رفتار بتن الیافی به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به بتن بدون الیاف بهتر شده است. هریسون آزمایشی را بر اساس الیاف فولاد صنعتی و پلیمری در بتن انجام داده است که وی نیز به

نتایج مطلوبی دست پیدا نموده است. پراکنندگی الیاف در بتن باعث کاهش تنش‌ها می‌شود و از این رو نسبت به بتن مسلح معمولی ارجحتر است. رمادی رفتار مکانیکی بتن را با استفاده همزمان از دو نوع الیاف فولاد صنعتی و پلیمری مورد ارزیابی قرار داده است. درصدهای مختلف الیاف در بتن مورد آزمایش قرار گرفته است. نتیجه بدست آمده، حاکی از بهبود خواص مقاومتی، بخصوص مقاومت خمشی بتن می‌باشد.

### 3-2- سنگدانه‌ها

سنگدانه مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی، از معدن متوساک تأمین گردید و داخل ماشین به محل آزمایشگاه مصالح و بتن شد و به داخل آزمایشگاه برای ثابت ماندن رطوبت انتقال یافت. ماسه مصرفی، ماسه طبیعی تمیز و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه 19 میلیمتر در دو بخش نخودی و بادامی می‌باشد. همانطور که در شکل 1 ملاحظه می‌شود، دانه بندی شن و ماسه مصرفی در ناحیه مورد پذیرش استاندارد ACI 325 برای دانه بندی با حداکثر قطر سنگدانه 19 میلیمتر می‌باشد. مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی در جدول 1 ارائه شده است.

### 3- مشخصات مصالح مصرفی

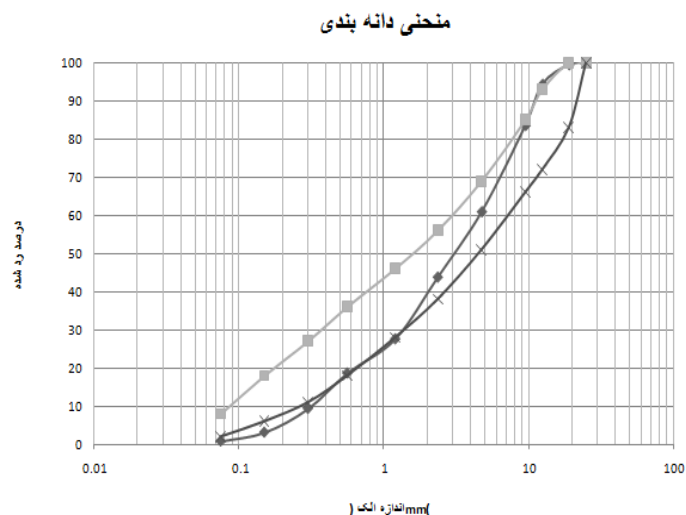
لزوم تأمین مقاومت و دوام در روسازی، انتخاب مصالح برای مخلوط های بتن غلطکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مصالح مورد استفاده در بتن غلطکی شامل آب، مواد سیمانی، ریزدانه و درشت دانه می باشد که در ادامه شرح داده می شود. در ساده ترین حالت، بتن مخلوطی از ژل (سیمان، آب و هوا) و مواد پرکننده (سنگدانه) است. اما مواد دیگری مانند مواد جایگزین و افزودنی‌های شیمیایی نیز ممکن است به بتن اضافه شود.

### 3-2-1- آزمایش دانه بندی

دانه بندی ترکیبی شن و ماسه، به نحوی انتخاب شد که در حد امکان در چارچوب محدوده دانه بندی توصیه شده توسط مراجع معتبر قرار گیرد.

### 3-1- مواد سیمانی

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ 1 اصفهان استفاده شده است که مطابق با استاندارد ASTM C150 می‌باشد.



شکل 1. منحنی دانه بندی سنگدانه مصرفی

جدول 1. مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی

سنگدانه	چگالی ( $\text{gr/cm}^3$ )	جذب آب (%)	حداکثر قطر مخلوط سنگدانه	مدول نرمی مخلوط سنگدانه
ماسه	2/56	3	19 میلیمتر	4/9
شن نخودی	2/57	2/3		
شن بادامی	2/58	1/1		

جدول 2. مشخصات الیاف های مصرفی

نایلون	پلی پرو پیلن	شیشه	مشخصات الیاف
1.07	0.9	2.6	چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )
0.018	0.018	0.018	قطر (mm)
6	6	6	طول (mm)
4	5	80	ضریب ارتجاعی (GPA)
0.9	0.5	4-2	مقاومت کششی (GPA)

### جدول 3. فهرست طرح‌های اولیه

طرح اختلاط بتن غلطکی با سیمان تپ 525-1 اصفهان	
مصالح مورد نیاز جهت یک متر مکعب بتن تازه بر اساس حجمی با توجه به وزن واحد حجم مصالح RCC	
نوع مصالح	حجم مصالح در حالت خشک (مترکعب)
سیمان	0/238
شن بادامی	0/229
شن نخودی	0/070
ماسه	0/917
آب	0/148
الیاف	0.1-2.5

#### 3-3- آب

آب مورد استفاده در ساخت آزمون‌های بتنی و ملات، آب شرب شهر اصفهان است که برای ساخت بتن کیفیت مطلوبی را داراست.

مشخصات هر کدام از الیاف ها در جدول زیر آمده است. الیاف‌های فولاد صنعتی و شیشه از شرکت میسون واقع در تهران تهیه شده است الیاف پلی پروپیلن از مرکز تحقیقات راه سازی و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان تهیه شده است.

#### 3-4- الیاف

در این تحقیق از سه نوع الیاف استفاده شده است جهت شروع کار و ساخت آزمون‌های اولیه از تجربه‌های گذشته و روادیدهای ACI 325 استفاده شد. در این پروژه تعداد 9 طرح با درصد‌های الیاف مختلف و همچنین یک طرح اختلاط شاهد ساخته شد و با سنجش مقاومت فشاری در سنین 7 و 28 روزه و همچنین بررسی مقاومت کششی برزیلی و آزمایش آلتراسونیک که به عنوان یکی از اصلی‌ترین پارامترهای دوام بتن به شمار می‌رود، به طور کامل مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. به طور کامل مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. طرح‌های ساخته شده به شرح زیر است:

در جدول 4 طرح C نمونه شاهد می‌باشد و

طرح CP نمونه با الیاف پ پ و طرح CN نمونه با

#### 4- طرح اختلاط

الیاف نایلون و طرح CG نمونه با الیاف شیشه می‌باشد.

#### 5- ساخت بتن و آزمون‌های بتنی

بدلیل ماهیت نسبتاً خشک بتن RCCP برای ساخت این بتن از بچینگ‌هایی که برای بتن‌های معمولی به کار گرفته می‌شود نمی‌توان استفاده کرد، لذا در آزمایشگاه از یک بچینگ زمینی 60 لیتری که دارای بازوهای محرک برای مخلوط کردن بتن است، استفاده شد. پس از توزین مواد و مصالح مور استفاده شامل شن بادامی، شن نخودی، ماسه، سیمان، آب و الیاف با درصد های مختلف ابتدا مصالح دانه‌ای و سیمان توسط دستگاه میکسر 60 لیتری به مدت 30 ثانیه مخلوط شدند. در مورد الیاف شیشه قبل

آزمایش، آزمون‌ها مطابق با استاندارد 3206 ملی ایران مورد آزمایش قرار می‌گرفتند. (49)

جدول 4. فهرست طرح‌های اولیه

نام طرح	مقدار سیمان ( $\text{kg/m}^3$ )	نسبت آب به سیمان	میزان سنگدانه ( $\text{Kg/m}^2$ )	درصد الیاف
C	305	0/42	1565	0
CP1	305	0/42	1565	0/3
CP2	305	0/42	1565	0/6
CP3	305	0/42	1565	0/9
CN1	305	0/42	1565	0/3
CN2	305	0/42	1565	0/6
CN3	305	0/42	1565	0/9
CG1	305	0/42	1565	0/3
CG2	305	0/42	1565	0/6
CG3	305	0/42	1565	0/9

از اضافه نمودن آب، الیاف با سایر مصالح مخلوط شدند و سپس آب در سه قسمت مساوی در حین چرخش دیگ میکسر به مخلوط اضافه گردید اما در مورد الیاف پلی پروپیلن و نایلون با توجه به جاذبه الکترواستاتیک الیاف به یکدیگر ابتدا الیاف مذکور در مقدار آب مصرفی جداسازی شده و در سه قسم مساوی به ما بقی مصالح اضافه گردیدند.

با توجه به استاندارد ASTM D1557 و انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی غیر مستقیم برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌های استوانه ای در زردار به قطر 150 میلیمتر و ارتفاع 300 میلیمتر استفاده گردید. به ازای هر بار اختلاط سه نمونه استوانه آماده گردید به این ترتیب که پس از تخلیه مخلوط به داخل فرغون هر قالب در 5 لایه مساوی متراکم شد.

در این تحقیق نمونه های آزمایشگاهی به روش استاندارد ASTM D1557 [6] ساخته شده‌اند.

## 6-آزمایش‌ها

### 6-1- آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

(استاندارد 3206 ایران)

آزمایش مقاومت فشاری، متداول‌ترین آزمایش برای ارزیابی آزمون‌های بتنی است. مقاومت فشاری بتن یکی از مهمترین خواص بتن در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که در عمل در بسیاری از شرایط، مشخصات دیگری از بتن نظیر دوام و نفوذپذیری بتن نیز از اهمیت بسزایی برخوردارند. بهر حال مقاومت فشاری نمونه بتنی می‌تواند شمای کلی از کیفیت بتن را به دست دهد و نمایانگر روند فعالیت‌های سیمانی شدن، کیفیت ماتریس سیمانی بتن و پیوستگی آن با سنگدانه‌ها باشد.

آزمایش مقاومت فشاری در سنین 7، 28 روز بر روی تمامی آزمون‌های بتنی انجام شد. به منظور بررسی این پارامتر، آزمون‌های بتن استوانه‌ای با ابعاد  $30 \times 15$  سانتیمتر ساخته شد، که این آزمون‌ها تا سن آزمایش در محلول آب آهک اشباع عمل‌آوری شدند. در هر دوره

### 6-2- آزمایش مقاومت کششی آزمون‌های بتنی

(استاندارد 6047 ایران)

مقاومت کششی بتن از دیگر خصوصیات مکانیکی آن می‌باشد. به طور معمول مقاومت کششی بتن حدود 10 تا 15 درصد مقاومت فشاری آن است. گسیختگی در کشش بر اثر تعداد محدودی ترک‌های اتصالی رخ می‌دهد، درحالی‌که در گسیختگی حالت فشاری، تعداد زیاد ترک‌ها عامل این شکست است.

آزمون‌های استوانه ای  $15 \times 30$  سانتیمتری تهیه شده برای این آزمایش تا سن آزمایش در محلول آب آهک اشباع در دمای آزمایشگاه (22 تا 25 درجه سانتیگراد) نگهداری شدند. آزمون بین رکاب‌های بالا و پائین دستگاه قرار داده شده و بار بطور مداوم، یکنواخت و بدون تغییرات ناگهانی، با سرعت ثابتی در حدود 700 تا 1400 کیلوپاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی آزمون

جدول 5. کیفیت بتن با توجه به نتایج آلتراسونیک

گروه	پالس سرعت (Km/sec)	کیفیت بتن
1	بیشتر از 4.5	عالی
2	3/5-4/5	خوب
3	3-3/5	متوسط
4	کمتر 3	بد

## 7- تحلیل نتایج آزمایشگاهی

### 7-1- آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

آزمایش مقاومت فشاری معمولترین آزمایش برای ارزیابی نمونه های بتنی است. از آنجا که از هر بتنی یک مقاومت حداقل انتظار می رود، این آزمایش مهم و اساسی به نظر می رسد. مقاومت فشاری نمونه بتنی می تواند نمایانگر روند فعالیت های سیمانی و کیفیت ماتریس سیمانی بتن و پیوستگی آن با سنگدانه ها باشد. جدول 4 و 5 تغییرات مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی و نمونه‌های کربناته شده با درصد سیمان‌های مختلف را در سنین مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، در تمامی نمونه‌های شاهد و اصلی (جدول 4) مقاومت 28 مگاپاسکال در تمامی طرح‌ها حاصل شده است.

با مشاهده نتایج آزمایش درمی‌یابیم که به طور کلی مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی با افزایش سن آن افزایش می‌یابد، که این به دلیل پیشرفت فرآیند هیدراتاسیون با توجه به سن آزمون‌ها می‌باشد.

در شکل 2 روند افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های مختلف آزمایش به طور کامل نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل 2 ملاحظه می‌شود، مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی با 0/6 درصد الیاف بهترین مقاومت را در بین تمامی نمونه‌ها داشته است. با افزایش میزان الیاف تا 0/9 درصد از میزان مقاومت 5-10 درصد کاهش پیدا کرده است. در بین همه الیاف‌ها، نایلون بهترین عملکرد را داشته و با رشد حدود 15 درصدی در افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد همراه بوده

اعمال شد. بیشترین بار اعمال شده در زمان گسیختگی که توسط دستگاه آزمایش نشان داده شده ثبت می‌شد. با استفاده از رابطه زیر مقاومت کششی دو نیم شدن آزمون محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{2P}{\Pi \cdot L \cdot d} \quad (1)$$

که در آن  $T$  مقاومت کششی دو نیم شدن برحسب کیلوپاسکال،  $P$  حداکثر بار اعمال شده بر حسب کیلونیوتن،  $L$  طول آزمون برحسب میلیمتر،  $d$  قطر آزمون برحسب میلیمتر است. این آزمایش در سن 28 روز بر روی تمامی آزمون‌ها انجام شد.

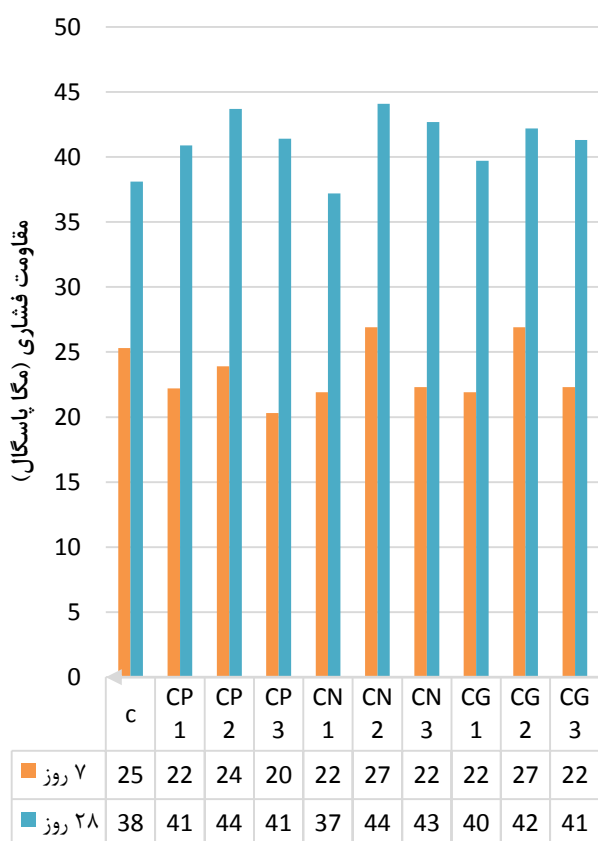
### 3-6- آزمایش آلتراسونیک

از میان روش های غیر مخرب موجود، استفاده از امواج التراسونیک علاوه بر اینکه امکان سختی سنجی در مورد سازه واقعی را بدست می دهد، برخی از عیوب خطرناک را نیز می تواند آشکار کند. به طور کلی زمان عبور، میزان تضعیف و محتوی فرکانسی امواج گذرنده از داخل مواد، همبستگی نزدیکی با خواص الاستیکی آنها دارد، از روش تست سرعت پالس التراسونیک می‌توان برای کاربردهایی نظیر تعیین یکنواختی بتن، تخمین مقاومت بتن، تعیین مدول الاستیسیته، اندازه گیری خواص بتن با گذشت زمان، بررسی درجه هیدراتاسیون سیمان، دوام بتن، عمق لایه آسیب دیده در بتن و تخمین عمق ترک استفاده نمود. کاربرد روش التراسونیک در مورد بتن در سال‌های اخیر توسعه یافته است. یک حسن مهم این روش قابل حمل بودن تجهیزات مربوطه می باشد.

داده‌های حاصل از این آزمایش شامل، تعیین عمق ترک و وجود حفره void در جسم بتن، تعیین میزان سرعت نفوذ صوت در بتن velocity speed که بر اساس استاندارد های ASTM C215 و IS13311 (part1):1992 طبق جدول 5 بیانگر کیفیت بتن خواهد بود.

جدول 4. نتایج مقاومت فشاری آزمون‌ها (MPa)

نام طرح	درصد الیاف	مقاومت فشاری 7 روزه	مقاومت فشاری 28 روزه
C	0	25.3	38.1
CP1	0/3	22.2	40/9
CP2	0/6	23/9	43/7
CP3	0/9	20/3	41/4
CN1	0/3	21/9	37/2
CN2	0/6	26/9	44/1
CN3	0/9	22/3	42/7
CG1	0/3	21/9	39/7
CG2	0/6	26/9	42/2
CG3	0/9	22/3	41/3

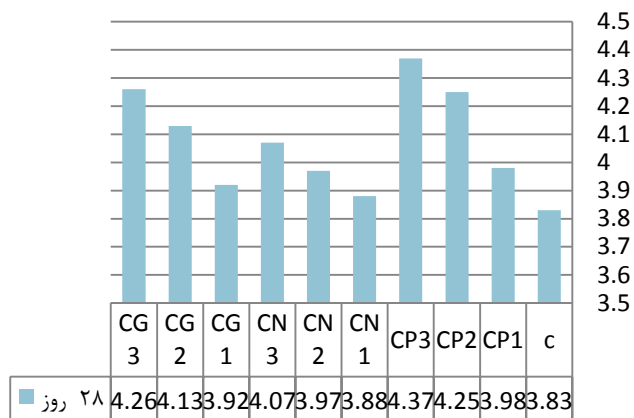


شکل 2. نمودارهای مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف

است. بعد از آن الیاف پ پ و سپس الیاف شیشه رشد 10-15 درصدی مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد داشته‌اند. در این قسمت فرضیه اول در خصوص افزایش مقاومت بتن در صورت استفاده از الیاف اثبات می‌گردد ولی نکته مهم در اینجا درصد الیاف مصرفی در بتن می‌باشد. همچنان که در نتایج مشخص است، با افزایش درصد الیاف از 0/6 به 0/9 درصد مقاومت فشاری کاهش یافته است. دلیل این امر نیز مربوط به عدم اختلاط خوب در صورت افزایش درصد الیاف و در نتیجه تشکیل ماتریس‌های ضعیف در ساختار بتن می‌باشد. عملاً با افزایش درصد الیاف بیشتر 0/6 هم جنبه اقتصادی طرح زیر سوال می‌رود و هم در نتایج مقاومت کششی نتیجه عکس مشاهده می‌گردد.

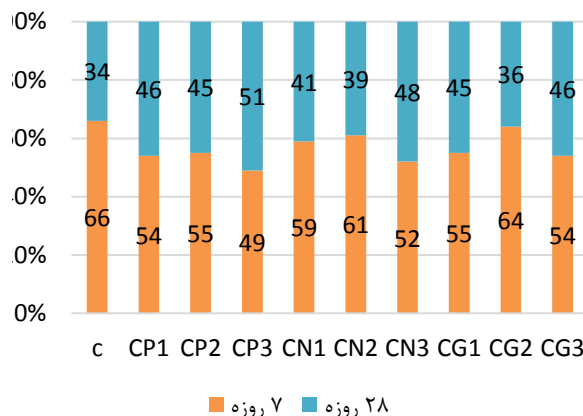
میزان رشد مقاومت فشاری در تمامی طرح‌ها در بازه‌های زمانی مختلف، در شکل 3 نمایش داده شده است. با توجه به روند کسب مقاومت آزمون‌های بتن غلتکی، مشاهده می‌گردد که در نمونه شاهد و بدون الیاف درصد رشد اولیه و 7 روزه بتن از بتن‌های دارای الیاف بیشتر بوده و تا 66 درصد از رشد مقاومت بتن در این بازه زمانی اتفاق می‌افتد. علت این امر هیدراتاسیون سریع‌تر در نمونه بدون الیاف می‌باشد. زیرا در نمونه‌هایی که از الیاف استفاده شده است، الیاف در روزهای اولیه سن بتن، سخت‌شدگی بتن را به تاخیر می‌اندازد و هیدراتاسیون و کسب مقاومت بتن به تاخیر می‌افتد ولی با بالا رفتن سن بتن مقاومت فشاری بتن از نمونه بدون الیاف بیشتر می‌شود. در واقع با گذشت زمان حفرات و منافذ ایجاد شده توسط الیاف در بتن با استفاده از محصولات واکنش‌های سیمانی پر شده و در طول زمان بیشتری بتن متراکم می‌گردد. در این مقایسه الیاف شیشه با درصد الیاف 0/6 بهترین عملکرد را در بین همه نمونه‌ها داشته است و تا 64 درصد از مقاومت فشاری خود را در سن 7 روزه کسب کرده است.





شکل 4. نمودار تغییرات مقاومت کششی آزمون‌ها

با مشاهده نتایج آزمایش مقاومت کششی در می‌یابیم که به طور کلی در تمام موارد مقاومت کششی آزمون‌های بتنی با افزایش درصد الیاف در نمونه‌های بتنی، مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، در هر سه نوبه الیاف افزایش داشته است. در این بین الیاف پ پ بهترین عملکرد را بین 3 الیاف مصرفی داشته است و حدود 15 درصد در مقاومت کششی افزایش داشته است. از جمله معایب بتن مقاومت کششی بسیار ناچیز آن می‌باشد که این رفتار ترد و شکننده، موجب شکست ناگهانی و فرو ریختن سازه‌های بتنی هنگام زلزله می‌گردد. مشکل ترد بودن بتن را می‌توان با مسلح کردن آن توسط آرماتورهای فولادی برطرف نمود. اما در موارد متعددی جهت این نیروهای کششی به طور دقیق معلوم نمی‌باشد. از طرفی در بتن تازه به دلیل جمع شدگی، ترک‌هایی به وجود می‌آیند که نتایج این ترک‌ها در بتن سبب افزایش نفوذ پذیری، از بین رفتن سطح بتن، خوردگی آرماتورها و کاهش خواص مکانیکی می‌باشد. یکی از راه‌های مناسب مقابله با این مشکلات، استفاده از مقادیر کمی الیاف به منظور کنترل رشد ترک و افزایش مقاومت کششی بتن می‌باشد. همچنین با ورود الیاف به بتن، مستقل از مواد تشکیل دهنده، دو نوع وضعیت اصلی موازی و عمود بین ترک و الیاف مشاهده می‌شود که در صورت عبور الیاف عمود بر لبه‌های ترک با پل زدن الیاف بین ترک‌ها



شکل 3. میزان رشد مقاومت فشاری نمونه‌ها در بازه‌های زمانی مختل

## 7-2- آزمایش مقاومت کششی آزمون‌های بتنی (استاندارد 6047 ایران)

برای انجام این آزمایش آزمون‌های استوانه‌ای به قطر 15 سانتی‌متر و ارتفاع 30 سانتی‌متر در محلول اشباع آب آهک نگهداری شدند. آزمایش مقاومت کششی در سن 28 روزه بر روی تمامی آزمون‌ها انجام شد. این آزمون‌ها تحت آزمایش برزیلی قرار گرفته‌است، نتایج در جدول 5 قابل مشاهده است. همچنین شکل 4 تغییرات مقاومت کششی آزمون‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 5. نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی (MPa)

نام طرح	درصد الیاف	مقاومت فشاری 28 روزه
C	0	3.83
CP1	0.3	3.98
CP2	0.6	4.25
CP3	0.9	4.37
CN1	0.3	3.88
CN2	0.6	3.97
CN3	0.9	4.07
CG1	0.3	3.92
CG2	0.6	4.13
CG3	0.9	4.26

### 7-3- آزمایش آلتراسونیک

برای انجام این آزمایش نمونه‌های استوانه‌ای به قطر 15 سانتی متر و ارتفاع 30 سانتی متر در محلول اشباع آب آهک نگهداری شدند. آزمایش در سن 28 روزه بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد. نتایج در جدول 6 قابل مشاهده است.

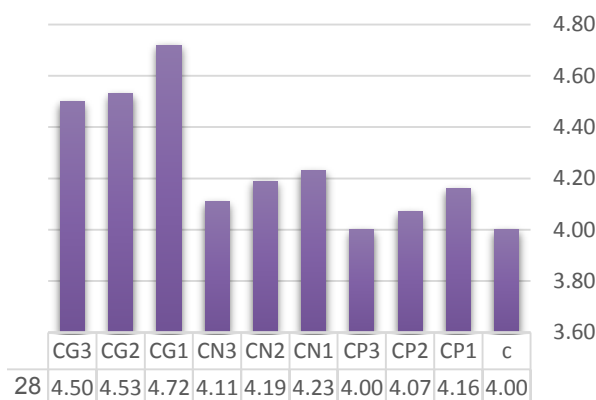
نمونه‌های بتن الیاف شیشه بسیار عملکرد خوبی داشته و نمونه 0/9 درصد شیشه سرعتی بیشتر 4/5 را دارا می‌باشد که نشان کیفیت عالی بتن می‌دهد (طبق جدول 6). هرچند تمامی نمونه‌های ساخته شده با توجه به نتایج نشان از کیفیت خوب بتن دارد، ولی نمونه‌های دارای الیاف شیشه نسبت به همه نمونه‌ها از کیفیت بسیار بهتری برخوردار می‌باشد. سرعت عبور امواج به پارامترهای مختلفی در بتن بستگی دارد. از جمله پارامترهای موثر در سرعت عبور امواج، اندازه، دانه‌بندی، نوع و مقدار سنگ‌دانه، نوع سیمان، نسبت آب به سیمان، مواد افزودنی، سن بتن، دما، رطوبت و شرایط عمل آوری، طول مسیر، اندازه و شکل نمونه‌ها و اثر آرماتور می‌باشد.

با توجه به این که در این تحقیق سعی شده است تا تمامی شرایط بالا بجز مواد افزودنی برای نمونه‌ها یکسان باشد، در نتیجه در اینجا تنها دلیل تفاوت در نتایج مربوط به الیاف مورد مصرفی می‌گردد. یکی از علل آن را می‌توان چگالی زیاد الیاف شیشه نسبت به الیاف نایلون و پ پ بیان نمود. زیرا با افزایش چگالی سرعت امواج نیز افزایش می‌یابد. در عبور یک موج صوتی از یک محیط به محیطی دیگر بسته به سرعت موج در آن محیط‌ها، قسمتی از موج منعکس می‌گردد و قسمتی دیگر از آن عبور می‌کند و البته این امواج در زوایای مختلف به انواع دیگری از امواج صوتی تبدیل می‌شوند. هرچه اختلاف سرعت در دو محیط بیشتر باشد، میزان انعکاس افزایش می‌یابد و با توجه به این که سرعت صوت در گازها بسیار کمتر از جامدات است، هنگام عبور موج از بتن در صورت وجود فاصله هوائی از جمله تخلخل یا ترک، قسمت اعظم موج

یکپارچگی بتن تا تغییر شکل‌های زیاد حفظ شده و مقاومت خمشی و کششی به دلیل خاصیت دوزندگی الیاف بالا می‌رود. بنا به دلایل ذکر شده استفاده از آرماتورها از دیدگاه میکروسکوپی در کنترل ترک‌ها مفید واقع نشده و حتی در صورت بروز ترک با پدیده خوردگی مواجه می‌شوند و بتن کاملاً از بین می‌رود.

جدول 6. نتایج آلتراسونیک

نام طرح	درصد الیاف	پالس سرعت (Km/sec)
C	0	4.00
CP1	0.3	4.16
CP2	0.6	4.07
CP3	0.9	4.00
CN1	0.3	4.23
CN2	0.6	4.19
CN3	0.9	4.11
CG1	0.3	4.72
CG2	0.6	4.53
CG3	0.9	4.50



شکل 5. نتایج آزمایش آلتراسونیک

همانطور که از نتایج این آزمایش مشخص است، در تمامی نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف سرعت پالس عبور از بتن کاهش پیدا کرده است. در مقایسه با بتن معمولی و بتن الیافی نیز، بتن الیافی از سرعت پالس بیشتری برخوردار است، که این نشان از کیفیت بهتر بتن بتن الیافی نسبت به بتن معمولی دارد. در این بین

منعکس شده و فقط بخش بسیار ناچیزی از آن عبور می‌کند. این خاصیت امواج التراسونیک در پیدا کردن هرگونه تخلخل در بتن و تخمین عمق ترک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## 7- نتیجه‌گیری

در این بخش به مرور اجمالی نتایج آزمایش‌های صورت گرفته، پرداخته و جمع‌بندی نهایی ارائه می‌گردد: مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی با 0/6 درصد الیاف بهترین مقاومت را در بین تمامی نمونه‌ها داشته است. با افزایش میزان الیاف تا 0/9 درصد از میزان مقاومت 5-10 درصد کاهش پیدا کرده است. در بین همه الیاف‌ها، نایلون بهترین عملکرد را داشته و با رشد حدود 15 درصدی در افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد همراه بوده است. بعد از آن الیاف پ پ و سپس الیاف شیشه رشد 10-15 درصدی مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد داشته‌اند. با افزایش درصد الیاف از 0/6 به 0/9 درصد مقاومت فشاری کاهش یافته است. دلیل این امر نیز مربوط به عدم اختلاط خوب در صورت افزایش درصد الیاف و در نتیجه تشکیل ماتریس‌های ضعیف در ساختار بتن می‌باشد. عملاً با افزایش درصد الیاف بیشتر 0/6 هم جنبه اقتصادی طرح زیر سوال می‌رود و هم در نتایج مقاومت کششی نتیجه عکس مشاهده می‌گردد.

در نمونه شاهد و بدون الیاف درصد رشد اولیه و 7 روزه بتن از بتن‌های دارای الیاف بیشتر بوده و تا 66 درصد از رشد مقاومت بتن در این بازه زمانی اتفاق می‌افتد. علت این امر هیدراتاسیون سریع‌تر در نمونه بدون الیاف می‌باشد. زیرا در نمونه‌هایی که از الیاف استفاده شده

است، الیاف در روزهای اولیه سن بتن، سخت شدگی بتن را به تاخیر می‌اندازد و هیدراتاسیون و کسب مقاومت بتن به تاخیر می‌افتد ولی با بالا رفتن سن بتن مقاومت فشاری بتن از نمونه بدون الیاف بیشتر می‌شود.

به طور کلی در تمام موارد مقاومت کششی آزمون‌های بتنی با افزایش درصد الیاف در نمونه‌های بتنی، مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، در هر سه نوه الیاف افزایش داشته است. در این بین الیاف پ پ بهترین عملکرد را بین 3 الیاف مصرفی داشته است و حدود 15 درصد در مقاومت کششی افزایش داشته است. در تمامی نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف سرعت پالس عبور از بتن کاهش پیدا کرده است. در مقایسه با بتن معمولی و بتن الیافی نیز، بتن الیافی از سرعت پالس بیشتری برخوردار است، که این نشان از کیفیت بهتر بتن الیافی نسبت به بتن معمولی دارد. در این بین نمونه‌های بتن الیاف شیشه بسیار عملکرد خوبی داشته و نمونه 0/9 درصد شیشه سرعتی بیشتر 4/5 را دارا می‌باشد که نشان دهنده‌ی کیفیت عالی بتن است.

استفاده از الیاف، بتن را از یک ماده شکننده به یک ماده شکل پذیر تبدیل می‌کند، مخصوصاً در مورد بتن با مقاومت بالا که مهمترین خاصیت آن شکنندگی و عدم شکل پذیری کافی می‌باشد، استفاده از الیاف می‌تواند مؤثر واقع شود. استفاده از بتن الیافی می‌تواند تحول چشمگیری در کم و کیف سازه‌های در دست اجراء یا طرح‌های آینده کشور داشته باشد. غفلت از برتری‌های بتن الیافی و عدم کاربرد آن در طرح‌های عمرانی کشور صدمات جبران ناپذیری را به کیفیت و عمر مفید سازه‌های ملی وارد خواهد آورد.

## 8-مراجع

-Kurtis, K.E., & Monteiro, P. J, (1999), "Analysis of durability of advanced cementitious materials for rigid pavement construction in California".

-Papadakis, V.G., C.G. Vayenas, and M.N. Fardis, (1991), "Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation". ACI materials journal, 88(4).

-Browner, R.D., (1982), "Design prediction of the life for reinforced concrete in marine and other chloride environments.

-COMMIITEE, A., 325 (1995), "State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements", ACI: pp. 325-95.

-ASTM, ASTM C1176 / C1176M - 13, (2013), "Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table". ASTM International, West Conshohocken, PA.

-"تعیین مقاومت فشاری آزمون‌های بتن: استاندارد 3206" موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

-(1985), "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic Cement Concretes". ASTM C.

-"Florida Method of Test for Concrete Resistivity as an Electrical Indicator of its Permeability". FM. pp.577-578.

-اکبر، د.ع.ر.ع.، (1389)، "بررسی اثر کربناتاسیون در میزان نفوذ یون کلرید در بتن‌های حاوی دوده سیلیس". رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-استاندارد سنگدانه‌های بتن - ویژگی‌ها، (1381)، 302 ایران. "موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران".

-Hilsdorf, H. and J. Kropp, (2004), "Performance criteria for concrete durability". Vol. 12. CRC Press.

-Mehta, P.K., (1986), "Concrete. Structure, properties and materials".

-Chi, J.M., Huang, R., & Yang, C. C, (2002), "Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method".

-Jiang, L., B. Lin, and Y. Cai, (2000), "A model for predicting carbonation of high-volume fly ash concrete". Cement and Concrete Research, 30(5): pp. 699-702.

-Papadakis, V., M. Fardis, and C. Vayenas, (1992), "Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation. Materials and Structures", 25(5): pp. 293-304.

# **Study On Carbonation Phenomenon Impact On Rcc Pavements (Rccp) Technical Performance**

*M., fardad, M.Sc. Grad., Faculty of Engineering, Islamic Azad University Nour Branch, Nour, Iran.*

*E-mail: [mehrdad.fardad2002@gmail.com](mailto:mehrdad.fardad2002@gmail.com)*

Received: May 2017-Accepted: Sep. 2017

## **ABSTRACT**

Importance and necessity of concrete, as the most consumed material and the most important construction material has been introduced in the 20th century and also after the water, the material that human consume more than everything is Concrete. While only about two centuries, past after innovation of cement and concrete and also this consuming is growing rapidly. Roller compact concrete use in two different field, the first application field is in dams and the second application is in the Pavements. Today, composites are used in concrete products as a new technology in the construction industry. New materials that have a special place in construction are concrete additives and amplified fiber. In this study, main goal is to look about roller compact concrete for road pavements in terms of different technical parameters and also examine the effect of fiber in it. Because, today, cracking of concrete is considered as one of the most important issues of the day and one of practical solutions is use of fiber. The use of fiber in the roller compact concrete improves compressive strength and tensile strength; and in all the specimens, pulse velocity through concrete decreased with use of more fiber that it is a sign of a better quality of fibered concretes than ordinary concrete. The results of this study showed the importance of application of fiber to improve performance of roller compact concrete for pavements.

**Keywords:** Roller Compacted Concrete Pavements ,Fiber, Ultrasonic Testing