

## تأثیر جایگزینی مصالح بتن با سرباره به همراه الیاف پلیمری در افزایش مقاومت بتن های غلتکی تسلیح شده در روسازی راهها در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن

شاهین شعبانی<sup>۱</sup>، حسن ابوالقاسمی<sup>۲</sup>

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه پیام نور واحد تهران شمال

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - راه ترابری، دانشگاه پیام نور واحد تهران شمال

Abolghasemi\_nader@yahoo.com

### چکیده

عمل یخ زدن در میان مهمترین مسائل پایایی روسازی های بتنی در شرایط آب و هوایی سرد است. همان طور که آب در منافذ موئینه یخ می زند، یخ شکل گرفته، آب درون حفره ای یخ نزده را فشرده می سازد، اگر آب بتواند به فضای اشغال نشده راه یابد، فشار هیدرولیکی آزاد می شود هر چند اگر فاصله تا فضای خالی خیلی زیاد باشد و فشار هیدرولیکی توانایی آزادسازی را پیدا نکند، فشار آب منافذ را توسعه خواهد داد که این موضوع باعث ایجاد تنشهای کششی در محدوده خمیر بتنی خواهد شد. در بتن اشباع، تنشهای کششی ممکن است سرانجام از ظرفیت کششی خمیر بیشتر گردیده و ترک خوردن اتفاق بیفتد. در تمامی نظریه ها، بر این که تکرار چرخه های یخ زدن - آب شدن باعث بروز ترک های داخلی در چسبنده سیمانی گردیده و متعاقب آن در دوره های آب شدن از آب پر شده و در پی آن روند زوال بتن سرعت بیشتری پیدا می کند، توافق دارد. برای بهبود مقاومت یخ زدگی بتن ها، ماده هوازا به مخلوط بتن اضافه می گردد، در حین این که حباب هوای عمدی مقاومت در برابر یخ زدگی را افزایش می دهد، همچنین اغلب باعث کاهش مقاومت بتن نیز می گردد و استفاده از آن در بتن غلتکی بسیار دشوار است. هدف از این تحقیق در واقع بررسی تأثیر جایگزینی مصالح بتن با سرباره به همراه الیاف پلیمری در مقاومت بتن غلتکی در برابر چرخه ذوب و یخبندان می باشد. متداولترین روش ارزیابی میزان مقاومت در برابر چرخه ذوب و یخ روش استاندارد ASTM C 666 است. بدین منظور نمونه های بتن غلتکی با ۲۰ درصد و ۴۰ درصد مصالح سرباره فولاد که جایگزین درشت دانه بتن به همراه الیاف پلیمری و یک نمونه بدون سرباره و به همراه الیاف پلیمری ساخته شد. در ادامه مقاومت نمونه ها در برابر چرخه ذوب و یخ اندازه گیری شد و شاخص دوام که پارمتر مقاومت نمونه ها در برابر چرخه ذوب و یخ می باشد محاسبه گردید و همچنین مقاومت فشاری نمونه نیز اندازه گیری شد. تحلیل نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده همزمان الیاف پلیمری و سرباره فولاد تأثیری مثبتی در شاخص دوام بتن داشته و حتی باعث بهبود آن شده است و تقریباً در هر سه نمونه تهیه شده مقدار شاخص حدوداً یکسان می باشد که میتواند یکی از دلایل آن عدم وجود آب مازاد در مخلوط باشد و در بررسی مقاومت فشاری نمونه ها مشخص شده مقدار سرباره تعیین شده در طرح و عیار سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری در مطلوبی در بتن غلتکی گردیده است.

کلمات کلیدی: روسازی بتن غلتکی، چرخه ذوب و یخبندان، الیاف، سرباره، مقاومت فشاری، شاخص دوام

### ۱- مقدمه

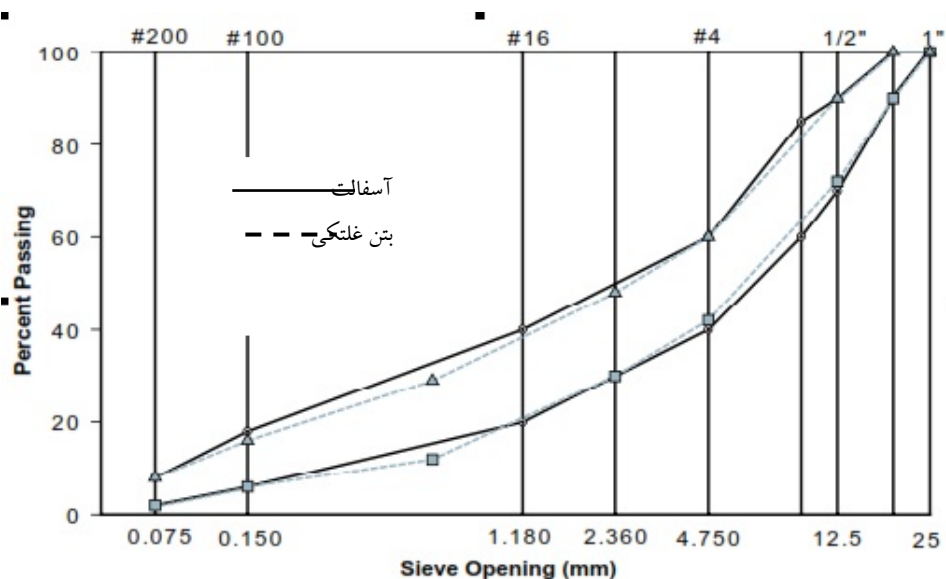
در واقع واژه بتن غلتکی به مفهوم تراکم بتن با غلتک های چرخ فولادی یا چرخ لاستیکی می باشد که از این ماشین آلات برای متراکم نمودن این نوع بتن استفاده می شود. خواص مقاومتی و مصالح تشکیل دهنده بتن غلتکی (RCC) مانند مصالح سنگی، سیمان و آب مشابه بتن معمولی است ولی طرح اختلاط آن ها با یکدیگر متفاوت است. مهم ترین تفاوت بتن غلتکی و بتن معمولی این است که درصد مصالح ریزدانه در بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی بیشتر است. استحکام این نوع بتن تا حدی است که وقتی غلتک های ویبره ای روی آن قرار می گیرند، بتواند پایدار بماند. تراکم نهایی معمولاً یک ساعت پس از اختلاط به دست می آید. برعکس روسازی های ساخته شده با بتن معمولی، برای ساختن روسازی های بتن غلتکی از قالب، میلگرد

اتصال یا آرماتور استفاده نمی شود. روسازی های بتن غلتکی سخت، متراکم و دارای دوام بالا هستند. این مشخصه ها و هزینه و سرعت ساخت آنها باعث می شود که استفاده از روسازی بتن غلتکی گزینه ای مناسب هنگام ساخت پارکینگ ها، فرودگاه ها و مناطق نظامی، شانه های بزرگراه ها، خیابان ها و بزرگراه ها باشد. از بتن غلتکی می توان به عنوان لایه زیرین در روسازی های مرکب نیز استفاده نمود. در سال های اخیر استفاده از بتن غلتکی به خصوص هنگام ساختن جاده ها و توقفگاه ها به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. بتن غلتکی مورد استفاده در راهسازی، یک تکنولوژی در حال پیشرفت است. حدود سه دهه است که پروژه های متعدد روسازی در امریکا، کشورهای اروپایی نظیر فرانسه، اسپانیا، آلمان، کشور استرالیا و هندوستان و ژاپن با RCC، اجرا شده است و روند استفاده از آن همچنان در حال گسترش است و در شکل ۱ روند افزایش استفاده از روسازی بتن غلتکی را نشان می دهد.



شکل ۱- روند افزایشی استفاده از روسازی های بتن غلتکی از اوایل سال ۱۹۸۰ [5]

روسازی بتن غلتکی ترکیبی از بعضی خواص روسازی بتن معمولی و روسازی آسفالتی را دارا می باشد. به هر حال، در حالیکه نحوه تراکم و دانه بندی روسازی های بتن غلتکی مشابه روسازی های بتن غلتکی مشابه روسازی های آسفالتی می باشد (شکل ۲)، خواص مصالح و همچنین عملکرد سازه ای روسازی RCC به روسازی بتن معمولی شباهت دارد. با مصالح خوب دانه بندی شده، مقدار آب و سیمان مناسب و تراکم مناسب، می توان خصوصیات مقاومتی بتن غلتکی را به بتن معمولی نزدیک نمود. مقدار رطوبت ترکیبات RCC باید به اندازه ای باشد که بعد از ریختن آن ها بتوانند وزن غلتک های و بیره ای را تحمل نمایند، همچنین مقدار آب موجود در ترکیب یکسان و یکنواخت باشد. برای پوشش اجزای سنگدانه ها و پر نمودن خلل و فرج بتن باید میزان چسبندگی بتن کافی باشد که برای این کار باید یک طرح اختلاط مناسب داشته باشیم. برای داشتن یک روسازی سخت و با دوام و همچنین انتقال مناسب بار از سنگدانه ها باید سطح اجزای سنگدانه ها به نحو مناسبی پوشش داده شوند. در اثر تراکم بتن غلتکی، فاصله بین اجزای سنگدانه ها کمتر می شود، حجم هوای داخل بتن کاهش یافته و چگالی آن افزایش می یابد. افزایش چگالی بتن باعث افزایش مقاومت روسازی می شود. متراکم نمودن روسازی را باید قبل از سخت شدن (گیرش) سیمان موجود بین سنگدانه ها انجام داد.



شکل ۲- شباهت منحنی دانه بندی یک نوع بتن غلتکی با منحنی دانه بندی یک لایه آسفالت [5]

دستیابی به چگالی مناسب طی غلتک زدن باعث جلوگیری از تحکیم غیر یکنواخت روسازی می شود. بسته به نوع ترکیب و تجهیزات استفاده شده، تراکم انجام شده توسط غلتک ها می تواند باعث کاهش بین ۵ تا ۲۵ درصد از حجم لایه روسازی شود. کاهش حجم هوای داخل بتن غلتکی تاثیر زیادی در دوام آن دارد، تخلل زیاد بتن باعث جلوگیری از ورود آب و هوا به داخل آن می شود. نبود هوا باعث ضعیف شدن ترکیب می شود این در حالی است که وجود آب اضافه می تواند باعث خرابی مصالح در اثر ذوب و یخ شدن های متوالی شود. زمانی می توان بهترین عملکرد را از بتن غلتکی انتظار داشت که جداسازی بین دانه های آن اتفاق نیافتد و به اندازه (یا در حدود) چگالی حداکثر متراکم شود. مقاومت بتن غلتکی رابطه مستقیمی با چگالی آن دارد.

سرباره ها همواره یکی از مشکلات کارخانجات فولاد سازی بوده است که باید برای دیپوی آن فضای وسیعی را در نظر داشت. تخصیص این فضا می تواند هزینه های مالی سنگینی را برای این کارخانه ها به همراه داشته باشد. در چنین شرایطی که وجود سرباره ها در این کارخانه ها مضر محسوب می شود و نبود سنگدانه ها در بسیاری از مناطق یا کشورهای دیگر، پروژه های عمرانی را دچار مشکل می سازد و هزینه های ساخت رادراین مناطق افزایش می دهد. در صورتی که بتوان از سرباره ها به عنوان سنگدانه در پروژه های عمرانی استفاده نمود می توان مشکلات کارخانجات فولادسازی و نبود مصالح سنگی برای این مناطق را به طور همزمان برطرف نمود و همچنین منابع طبیعی سنگی که تجدید ناپذیر می باشند را نیز حفظ نمود که از دیدگاه زیست محیطی اهمیت بسزایی دارد. هزینه اجرای روسازی در پروژه های راهسازی تقریباً ۳۰ درصد کل پروژه است از این رو بسیاری از مراکز تحقیقاتی در دنیا سالانه هزینه زیادی بابت بالا بردن کیفیت روسازی و افزایش عمر آن می پردازند. نمونه های شاخص آن ایالات مختلف آمریکا است که هر ساله گزارش هایی در این خصوص چاپ می کنند. در ایران نیز در سال های گذشته سعی شده است کیفیت آسفالت را با افزودنی های مختلف افزایش دهند اما در مجموع عمر روسازی آسفالتی در ایران در حدود ۴ الی ۵ سال است که یکی از دلایل اصلی خرابی زودرس در روسازی آسفالتی ضعف آن در برابر چرخه ذوب و یخبندان است. از طرفی با ورود فرآورده های نفتی به بورس، قیمت قیر که یکی از مصالح اصلی روسازی آسفالتی است به شدت گران و کم یاب شد بنابراین جایگزین کردن روسازی بتنی به جای روسازی آسفالتی مورد توجه مسئولین قرار گرفته است. استفاده از افزودنی های گوناگون در بتن و محصولات سیمانی در سالهای اخیر مورد توجه ویژه محققین مختلف قرار گرفته است. الیاف پلیمری تقویت کننده بتن را نیز می توان در این بخش به عنوان یکی از پر مصرف ترین این افزودنی ها در

نظر گرفت. نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در خصوص استفاده از این نوع الیاف در بتن نشان دهنده تاثیر مثبت آن در این محصولات در جهت کنترل ترک خوردگی سطحی و افزایش برخی پارامترهای مقاومتی آن می باشد. در این راستا، این تحقیق با توجه به سوابق مطالعاتی مثبت استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن و ویژگی هایی که می توان با افزودن به بتن فراهم آورد، انجام خواهد شد و مقاومت بتن سرباره ای با افزودن الیاف پلی پروپیلن در برابر تغییرات حرارتی در این تحقیق بررسی می شود. شبکه حمل و نقل هر کشور رگ های حیات هر کشور و از عظیم ترین سرمایه های ملی به حساب می آید، فرودگاه ها، ترمینال های مسافری و باری، بندرها و راه ها را می توان به عنوان اجزاء اصلی این شبکه برشمرد. در حال حاضر با توجه به توسعه شبکه حمل و نقل، راه ها نقش مهمی در کارایی شبکه ایفا می کنند. اجرای هر کیلومتر از راه در کشور ما بسته به کلاس راه و نوع آن و منطقه مورد اجرا حدود ۵ تا ۱۰ میلیارد تومان هزینه به همراه دارد، که هزینه بالایی است. این هزینه را می توان به سه بخش هزینه های ساخت و نگهداری و هزینه استفاده کنندگان تقسیم بندی کرد.

## ۲- مصالح مورد استفاده

- سیمان پرتلند تیپ ۲ تهران
- آب شرب شهر تهران
- شن و ماسه رودخانه ای تهیه شده از معدن بهار شهریار
- الیاف پلی پروپیلن
- سرباره کوره قوس الکتریکی اصفهان

از جدول ۱ الی ۴ مشخصات شیمیائی، فیزیکی، مکانیکی، نتایج آزمایشات بر روی سرباره مصرفی و جدول ۵ مشخصات الیاف پلی پروپیلن مصرفی، جدول ۶ برخی از خواص فیزیکی سنگدانه های مصرفی ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی سرباره فولاد (قوس الکتریکی)

TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	MgO	CaO	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe
1.2%	0.7%	1.2%	10%	32.5%	4.3%	18%	30%

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سرباره فولاد (قوس الکتریکی)

مصلح طبیعی	سرباره فولاد	خصوصیات
2.6-2.8	3.6-3.2	چگالی حقیقی (ton/m <sup>3</sup> )
1-4	حداکثر ۳	جذب آب (%)
1600-1800	1600-1920	وزن مخصوص (kg /m <sup>3</sup> )

جدول ۳- مشخصات مکانیکی سرباره فولاد (قوس الکتریکی)

مصلح طبیعی	سرباره فولاد	خصوصیات
20-25	13-18	سایش لوس آنجلس (%)
3-5	6-7	سختی مور
<5	<1	سلامت (%)

جدول ۴- نتایج آزمایشات بر روی سرباره

مصالح طبیعی	سرباره فولاد	نام آزمایش
2600-2800	3250	وزن مخصوص اشباع (kg /m <sup>3</sup> )
1- 4	2.9	جذب آب (درصد)
20 - 24	18	سایش لس آنجلس (درصد)
0- 5	0.4	سلامت (درصد)

جدول 5- مشخصات الیاف مصرفی

الیاف پلی پروپیلن	شکل
۰,۹۱ گرم بر سانتیمتر مکعب	وزن مخصوص
صفر	مقدار قلیایی
صفر	مقدار سولفات
صفر	میزان کلراید
۱۸ تا ۳۰ میکرون	ضخامت الیاف
۵۵۰۰ الی ۷۰۰۰ مگا پاسکال	مدول یانگ
۳۵۰ N/mm <sup>2</sup>	مقاومت کششی
۱۶۰ درجه سانتیگراد	نقطه ذوب
۱۲ میلیمتر	طول الیاف
۱,۲ - ۰,۶ کیلوگرم در هر متر مکعب	میزان مصرف

جدول ۶- برخی خواص فیزیکی سنگدانه های مصرفی

سنگدانه	ماسه شکسته	ماسه طبیعی	شن بادامی	شن نخودی
وزن مخصوص حقیقی (kg /m <sup>3</sup> )	۲,۴۷۵	۲,۴۸۷	۲,۵۱۶	۲,۵۱۷
جذب آب (درصد)	۳,۳	۳,۱	۲,۲	۲,۲
مدول نرمی	۳,۵۹	۳,۷۶	--	--

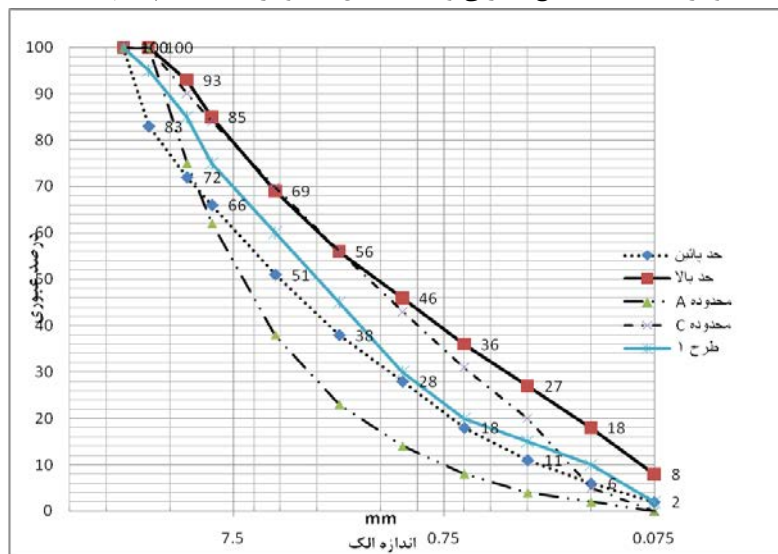
### ۳- طرح اختلاط و روش ساخت

هدف این تحقیق بررسی تاثیر سرباره و الیاف پلی پروپیلنی در مشخصات مقاومتی بتن و شاخص دوام بتن در چرخه ذوب و یخبندان می باشد. به همین دلیل تعدادی از پارامترهای موثر در مقاومت در مقاومت فشاری مانند نسبت آب به سیمان، نسبت شن به کل، دانه بندی نحوه تراکم و عمل آوری را ثابت در نظر گرفتیم و تنها پارامتر موثر که در طرح اختلاط تغییر می کند میزان سرباره است تا بدین طریق بتوان تاثیر مقدار سرباره را بر خصوصیات فیزیکی نمونه های ساخته شده بررسی کرد. دانه بندی مورد استفاده مطابق با آئین نامه ASTM C33 می باشد که اندازه اسمی بزرگترین سنگدانه برای کاهش پدیده جداسازی در هنگام بتن ریزی و پرداخت بتن به ۱۹ میلیمتر محدود است. در دانه بندی هر چه نسبت درشت دانه به کل مصالح بیشتر باشد بتن حاصل ارزان تر می گردد ولی به همان نسبت نیز سطح خشن تر می شود که این باعث کاهش کارپذیری آن می شود. طرح اختلاط مطابق جدول ۷ تهیه و در شکل ۳ نمودار دانه بندی مطابق با استاندارد ACI 325 نمودار دانه بندی طرح نمایش داده شده است.

جدول ۷- طرح اختلاط نمونه ها

شماره طرح	سیمان kg/m <sup>3</sup>	آب kg/m <sup>3</sup>	شن بادامی (kg/m <sup>3</sup> )	شن نخودی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه شکسته (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه دوار شسته (kg/m <sup>3</sup> )	الیاف پلیمری (kg/m <sup>3</sup> )	سرباره (kg/m <sup>3</sup> )
۱	۳۰۴	۱۲۲۹۰	۲۸۴	۲۷۳	۷۳۱	۵۶۹	۱۵،۲	-----
۲	۳۰۴	۱۲۲	۲۲۱	۲۲۵	۷۳۱	۵۶۹	۱۵،۲	۱۱۱
								۶۳
۳	۳۰۴	۱۲۲	۱۵۷	۱۷۷	۷۳۱	۵۶۹	۱۵،۲	۲۲۳
								۹۶

شکل ۳- نمودار دانه بندی مصالح مصرفی و مطابقت آن با نمودار دانه بندی پیشنهادی ACI 325



#### ۴- نتایج آزمایش ها و تحلیل آنها

##### ۴-۱- مقاومت فشاری

کلیه آزمایشات در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی صورت گرفت و نمونه ها بر طبق روش استاندارد و با سربار ۲۲/۷ کیلوگرمی روی میز وی بی قالب گیری شدند، به نحوی که قالب های استوانه ای ۱۵ در ۳۰ در سه مرحله پر می شدند و در نهایت سطح قالبها با ماله تسطیح شده است. نتایج بدست آمده مطابق جدول ۸ ارائه شده است.

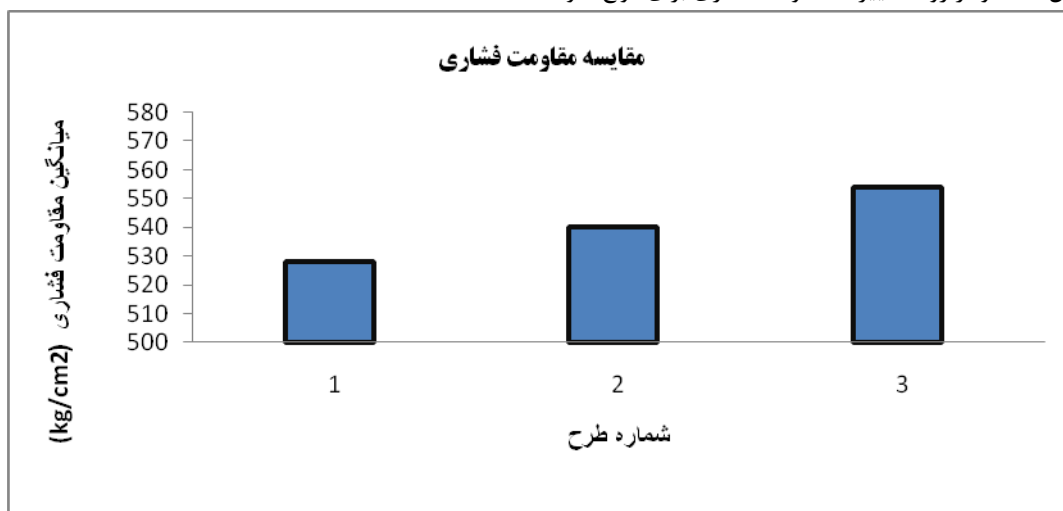
جدول ۸- نتایج مقاومت فشاری مخلوط های ساخته شده

مقاومت فشاری Kg/cm <sup>2</sup>				وزن مخصوص بتن تازه طبق استاندارد astm c 1170 Kg/m <sup>3</sup>	زمان وب sec	شماره طرح
۲۸ روزه						
میانگین	نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱			
۵۲۸	۵۱۹	۵۴۰	۵۲۴	۲۳۵۰	۳۰	۱
۵۴۰	۵۵۳	۵۲۷	۵۴۱	۲۳۶۰	۳۰	۲
۵۵۴	۵۴۷	۵۴۱	۵۷۳	۲۳۸۰	۳۵	۳

بعد از ساخت ۳ نمونه برای هر طرح اختلاط و عمل آوری به مدت ۲۸ روز نمونه ها تحت آزمایش مقاومت فشاری شکسته شدند و نتایج آن در جداول ۴-۲ و شکل ۴-۲ آمده است. مقاومت بتن غلتکی به مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان (W/C)، کیفیت مصالح دانه ای و درجه تراکم بتن بستگی دارد. به طور کلی، مقادیر مقاومت فشاری در مقایسه با بتن معمولی می توانند بسیار بیشتر باشند و مقدار آن معمولاً بین ۲۸ تا ۴۱ مگاپاسکال است. متراکم بودن دانه بندی سنگدانه های بتن همانطور که از نمودار بالا مشخص است با جایگزین کردن سرباره با مصالح درشت دانه در بتن غلتکی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن غلتکی می شود. در این طرح اختلاط تنها درصد جایگزینی سرباره متفاوت می باشد و بقیه پارامترهای موثر در مقاومت فشاری ثابت در نظر گرفته شده است.

البته در تحقیقات صورت گرفته در خصوص مقدار سرباره در مخلوط بتنی مقدار پیشنهادی ۲۰ الی ۲۵ درصد می باشد و با افزایش مقدار سرباره مقاومت کاهش می یابد ولی در این تحقیق حتی با افزایش مقدار سرباره تا ۴۰ درصد مقاومت فشاری بتن آن کاهش پیدا نکرد به طور کلی در بتن ۳ ناحیه وجود دارد که شکست در هر ناحیه ای که رخ دهد باعث شکست نمونه می شود. این سه ناحیه متشکل از سنگدانه ها، خمیر سیمان و ناحیه تماس سنگدانه ها و خمیر سیمان است. برای بتن معمولی و بتن سرباره ای خمیر سیمان مشابه می باشد و با توجه به نتایج آزمایش ها سنگدانه ای چنین برداشت می شود که سرباره ها محکمتر از سنگدانه های طبیعی هستند بنابراین تنها ناحیه ای که ممکن است سبب کاهش مقاومت فشاری در بتن سرباره ای شود ناحیه تماس سرباره ها و خمیر سیمان است. البته یکی دیگر از دلایل کاهش مقاومت فشاری می تواند وجود درصد بالای آهک در ترکیب سرباره باشد، آهک در تماس با آب شکفته می شود و بتن را دچار انبساط حجمی می کند و ترکهایی در آن به وجود می آورد که موجب کم شدن مقاومت فشاری بتن می شود با همه این مطالب دلیل افزایش مقاومت فشاری در مخلوط بتنی وجود الیاف می باشد که با اتصال بین دانه ها بتن غلتکی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است.

شکل ۴- نمودار روند تغییرات مقاومت فشاری برای انواع نمونه‌ها



#### ۴-۲- نتایج آزمایش چرخه ذوب و یخبندان

برای تعیین دوام بتن در برابر چرخه ذوب و یخبندان روش‌های آزمایشگاهی متعددی وجود دارد که مهم‌ترین آنها دستورالعمل ASTM-C666 می‌باشد که شامل دو روش است که در ادامه توضیح داده شده است.  
الف) دستورالعمل A: (ASTM Procedure A)  
نمونه‌های بتن به تعداد لازم در چرخه‌های یخبندان به تعداد ۳۰۰ سیکل قرار گرفته و یخبندان و ذوب نمونه‌ها در مجاورت آب انجام می‌گیرد.

#### ب) دستورالعمل B: (ASTM Procedure B)

دقیقا مثل دستورالعمل A است با این تفاوت که یخبندان نمونه در مجاورت آب و ذوب آن در مجاورت هوا انجام می‌گیرد. بعد از اتمام چرخه‌های یخبندان و ذوب میزان تخریب نمونه‌ها با معیارهای مختلفی سنجیده می‌شود که شامل موارد عمده زیر است:

تغییر در مقاومت فشاری: افت بیش از ۱۰٪ نشان دهنده تخریب است.

تغییر در وزن نمونه: افت بیش از ۵٪ نشانه تخریب است.

در صورتیکه جدا شدن قطعاتی از نمونه با چشم رویت شود به شرط قابل توجه بودن می‌توان حکم به تخریب نمونه داد. تغییر در پاسخ امواج: با عبور امواج ماورای صوت از نمونه در قیل و بعد از آزمایش اگر به میزان ۴۰٪ افت در سرعت امواج عبوری مشاهده شد، نمونه تخریب شده است. تغییر در طول ابعادی نمونه: کرنش‌های نمونه با ابزارهای دقیق سنجیده می‌شود در صورتیکه از مقادیر توصیه شده تجاوز کند (این مقادیر در مرجع‌های گوناگون و به ازای بتن‌های مختلف متفاوت است) نمونه به حالت تخریب رسیده است. در این تحقیق از روش ASTM Procedure A استفاده شده است. نمونه‌های استوانه‌ای در ابعاد ۱۵\*۳۰ سانتیمتر تهیه شده بعد از ۱۴ روز عمل‌آوری نمونه‌ها در ابعاد ۷\*۱۰\*۳۰ برش داده شد و قبل از قراردادن نمونه‌ها درون دستگاه ذوب و یخبندان ابتدا از نمونه‌ها مدول دینامیکی گرفته می‌شود که بعنوان مدول دینامیکی نمونه شاهد در نظر گرفته شده است. به کمک دستگاه آتراسونیک، امواج الکترومغناطیسی از نمونه عبور داده شده و با محاسبه زمان عبور موج از طول نمونه می‌توان شاخص دوام شاهد را برای نمونه مورد نظر ثبت نمود در این مرحله نمونه‌ها تحت سیکل‌های ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند. به این ترتیب که در هر سیکل دما از ۴+ شروع و تا ۱۸- ادامه پیدا



می‌کند و این سیکل به همین صورت تکرار می‌گردد. مدت زمان هر سیکل بین ۲,۵ تا ۵ ساعت بوده که بعد از گذشت ۳۶ سیکل دستگاه خاموش و نمونه‌ها از دستگاه خارج می‌گردد که در این مرحله نمونه‌ها کاملاً یخ زده می‌باشند. پس از حدود ۸ ساعت که یخ نمونه‌ها باز شد می‌توان از نمونه‌ها مدول دینامیکی گرفت به این صورت که با عبور امواج الکترو مغناطیسی از نمونه و محاسبه زمان عبور موج از طول نمونه می‌توان میزان افت دوام نمونه را اندازه گرفت. به این ترتیب هرچه نمونه از نظر دوام افت بیشتری کرده باشد سرعت عبور امواج به دلیل وجود فضاهای خالی درون نمونه کمتر بوده و هرچه نمونه متراکم تر و شامل افت کمتر باشد سرعت عبور موج بیشتر و در نتیجه شاخص دوام بالاتری خواهد داشت. این کار تا زمانی که مدول اندازه گیری شده به میزان ۶۰٪ نمونه اولیه و شاهد برسد ادامه پیدا می‌کند و زمانی که مدول نمونه کمتر از ۶۰٪ نمونه اولیه باشد آزمایش اتمام می‌پذیرد. هر هفته یک بار نمونه‌ها از دستگاه خارج و پس از باز شدن یخ نمونه‌ها که حدوداً ۸ ساعت طول می‌کشد از نمونه‌ها مدول گرفته می‌شود که شاخص دوام نمونه‌ها طبق آن تعیین می‌گردد. نمونه‌های بتن منشوری حاصل از نمونه‌های اخذ شده بتن غلتکی براساس طرح اختلاط با استفاده از میز لرزان مورد آزمایش قرار گرفت که در نتایج آن در جداول (۳-۴) الی (۵-۴) ارائه شده است.

جدول ۴-۳- نتایج آزمایش چرخه ذوب و یخبندان طرح شماره یک- نمونه با الیاف و بدون سرباره

توضیحات (وضعیت ظاهری نمونه)	شاخص دوام $Df = P_n \times N / 300$	مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی $P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2}$	فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل (f1)	شماره سیکل (N)	فرکانس اولیه (f)	شماره آزمایشگاهی نمونه
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۱۱	۱۰۰	۶۷۴۰	۳۳	۶۷۵۰	نمونه طرح شماره یک با الیاف بدون سرباره
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۲۲	۹۶	۶۶۱۳	۶۸		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۳۶	۹۶	۶۶۰۰	۱۱۳		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۴۸	۹۳	۶۵۲۰	۱۵۵		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۶۲	۹۳	۶۵۰۵	۲۰۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۷۷	۹۳	۶۴۹۵	۲۵۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۹۰	۹۰	۶۴۲۰	۳۰۰		

جدول ۴-۴- نتایج آزمایش چرخه ذوب و یخبندان طرح شماره یک- نمونه با الیاف و با ۲۰ درصد سرباره

توضیحات (وضعیت ظاهری نمونه)	شاخص دوام $Df = P_n \times N / 300$	مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی $P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2}$	فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل (f1)	شماره سیکل (N)	فرکانس اولیه (f)	شماره آزمایشگاهی نمونه
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۱۱	۱۰۰	۶۸۴۸	۳۳	۶۸۵۶	نمونه طرح شماره یک با الیاف ۲۰ درصد سرباره
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۲۲	۹۶	۶۷۱۰	۶۸		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۳۵	۹۲	۶۵۹۰	۱۱۳		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۴۷	۹۱	۶۵۵۴	۱۵۵		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۶۰	۹۰	۶۵۲۰	۲۰۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۷۵	۹۰	۶۴۹۰	۲۵۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۸۸	۸۸	۶۴۲۰	۳۰۰		

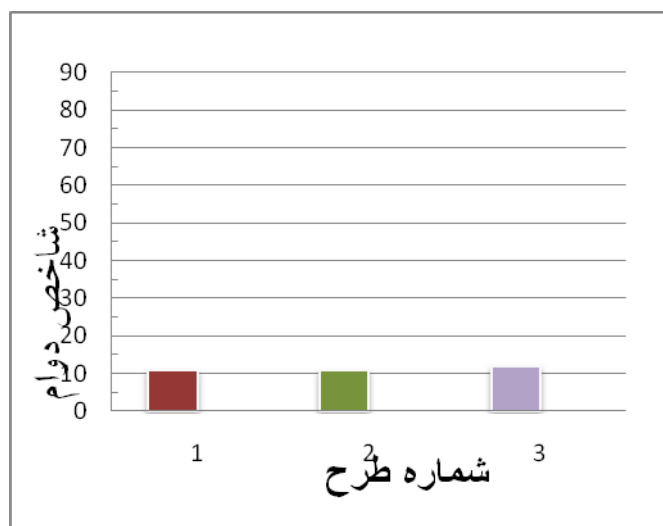
جدول ۴-۵- نتایج آزمایش چرخه ذوب و یخبندان طرح شماره یک- نمونه با الیاف و با ۴۰ درصد سرباره

توضیحات (وضعیت ظاهری نمونه)	شاخص دوام $Df = P_n \times N / 300$	مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی $P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2}$	فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل (f1)	شماره سیکل (N)	فرکانس اولیه (f)	شماره آزمایشگاهی نمونه
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۱۲	۱۰۰	۶۸۴۲	۳۳	۶۸۵۹	نمونه طرح شماره یک با الیاف ۴۰ درصد سرباره
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۳۰	۹۶	۶۷۳۲	۶۸		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۴۲	۹۶	۶۷۱۸	۱۱۳		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۵۶	۹۱	۶۵۵۱	۱۵۵		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۶۸	۹۱	۶۵۳۰	۲۰۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۸۰	۹۰	۶۵۱۵	۲۵۰		
سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش	۹۰	۹۰	۶۵۰۰	۳۰۰		

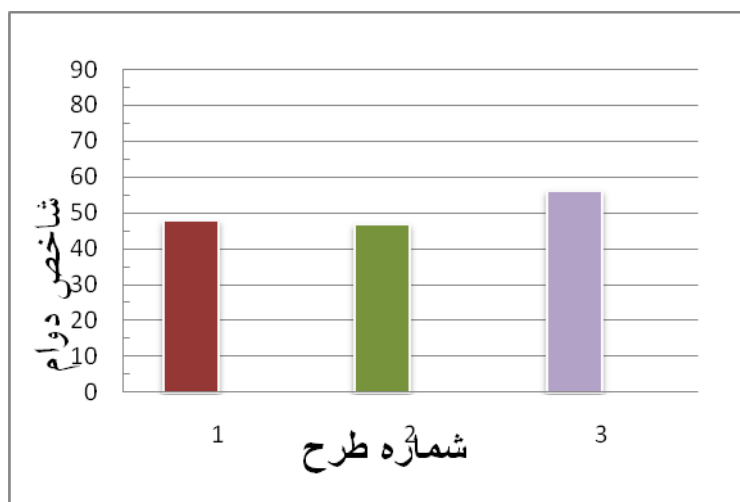
همانطور که از نتایج آزمایش مشخص است شاخص دوام در سیکل‌های در نظر گرفته شده در هر سه نمونه تقریباً مشابه بوده است و همچنین در نمودار شکل های ۳-۴ الی ۵-۴ تغییرات شاخص دوام را برای انواع نمونه‌های بدون سرباره و با سرباره نشان داده شده است، با توجه به نتایج مندرج در جداول بالا و نمودارهای رسم شده می توان نتیجه گرفت که استفاده از سرباره و الیاف در بتن تاثیر مثبتی در مقاومت مخلوط در برابر چرخه ذوب و یخ داشته و شاخص دوام دچار افت نگردیده و در حد مناسبی بوده و نمونه دچار تخریب نشده که عدم تخریب می توانند تحت یکی از شرایط ذیل باشد:

۱- بتن تا حد بحرانی با آب اشباع نمی شود (یعنی آنقدر اشباع نمی شود که با یخ زدن خراب شود).

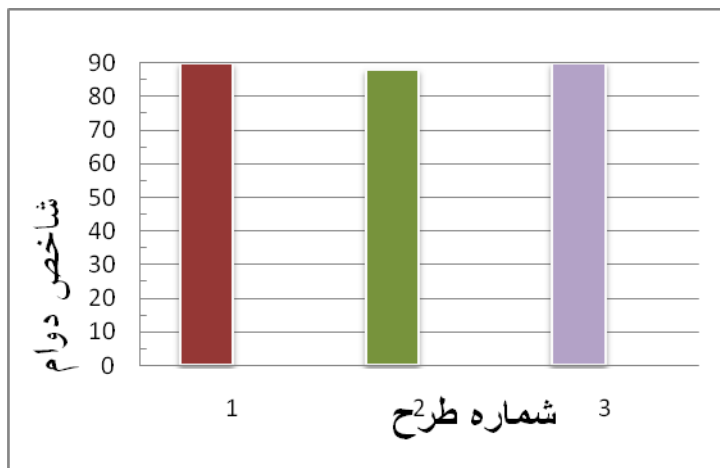
۲- بتن از سنگدانه‌هایی ساخته شده است که در برابر سرما مقاوم می باشد و نیز عمل هوازدائی در آن بخوبی انجام شده است. این امر باعث می شود که عمل آوری بتن به نحو احسن انجام شود و به این طریق از اینکه اشباع شدن نمونه در شرایط معمولی به حالت بحرانی برسد جلوگیری می شود.



شکل ۳-۴- مقایسه عملکرد بتن غلتکی شاهد و بتن غلتکی مسلح به الیاف در شاخص دوام در سیکل ۳۳



شکل ۴-۴- مقایسه عملکرد بتن غلتکی شاهد و بتن غلتکی مسلح به الیاف در شاخص دوام در سیکل ۱۵۵



شکل ۴-۵- مقایسه عملکرد بتن غلتکی شاهد و بتن غلتکی مسلح به الیاف در شاخص دوام در سیکل ۳۰۰

#### ۵- نتیجه گیری

۱- با توجه به نتایج حاصل از آزمایش ها بر روی سرباره چنین نتیجه می شود که سرباره می تواند جایگزین مناسبی برای سنگدانه باشد و از آن در ساخت اساس ، زیراساس ، روسازی آسفالتی و بتنی ، بالاست ، بستر روسازی مورد استفاده قرار گیرد و همچنین برای مناطقی که امکان دسترسی به سنگدانه طبیعی را ندارند مانند کشور های با وسعت کوچک و یا مناطقی که تامین سنگدانه طبیعی خسارت جبران ناپذیری را به محیط زیست وارد می کند، بازیافت سرباره نه تنها باعث کاهش هزینه شده بلکه از دیدگاه محیط زیست بسیار ارزشمند بوده و از آسیب به محیط زیست به دلیل دپو شدن سرباره ها جلوگیری می شود.

۲- خسارت ناشی از یخ زدگی بر بتن را می توان از چند طریق بررسی نمود و متداول ترین روش اندازه گیری تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه ها است. کاهش در این مدول پس از تعداد چرخه های یخ زدن- آب شدن نمایان میزان صدمه دیدن بتن است. با این روش می توان قبل از این که خسارت وارد بر بتن به وسیله عینی و یا هر روش دیگر مشاهده شود، به وجود آن پی برد. اثرات یخ زدگی را همچنین می توان از سنجش افت در وزن نمونه نیز بررسی نمود. تحلیل نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سرباره و الیاف در بالا بردن مقاومت فشاری بسیار مفید است و بررسی نتایج مقاومت در برابر چرخه ذوب و یخ که با شاخص دوام بیان می شود نشان داد استفاده از سرباره و الیاف در بتن تاثیر مثبتی در مقاومت مخلوط در برابر چرخه ذوب و یخ داشته و شاخص دوام دچار افت نگردیده و در حد مناسبی بوده و نمونه دچار تخریب نشده .

#### ۶- مراجع

- [1] Piarc Technical Committee on Concrete Roads, "The use of Roller Compacted Concrete for Roads", 1993
- [2] Marchand, Jacques, Pouliot, Nadia , "Prediction of the compactness of Roller compacted concrete using a granular packing Model" , Canada Quebe university , Fransisco de Larrard and Thierry Sedran, Laboratoire central des ponts et chaussées-center de Nantes, July-Agust 2001
- [3] Liu, Qingquan , "Surface texture of Roller compacted concrete pavements" , Research institute of highways , the ministry of communications, P.R, China ,Piarc Published, 1999.
- [4] American Concrete Institute,"Roller Compacted Concrete Pavements", ACI 325.10R, 1999
- [5] national concrete pavement technology center"guide for roller compacted concrete pavement

- [6] صدری، محمد رضا (۱۳۸۳) "بررسی برخی عوامل مؤثر بر طرح اختلاط بتن غلتکی" پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [7] تدوین دانش فنی طرح اختلاط الیاف پلی پروپیلن با بتن به منظور دستیابی به بتن سبکتر و مقاومتر "وزارت صنایع و معادن معاونت توسعه، برنامه ریزی و فناوری-۱۳۸۸
- [8] صدری، محمد رضا (۱۳۸۳) "بررسی برخی عوامل مؤثر بر طرح اختلاط بتن غلتکی" پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [9] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۸)، "نشریه شماره ۳۵۴: راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه های کشور
- [10] لطفی، محمد مهدی (۱۳۹۵) "بررسی اثر الیاف های پلی الفین و پلی پروپیلن بر ویژگی های مکانیکی و دوامی بتن غلتکی" نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۵، دانشگاه فردوسی مشهد
- [11] مدرس، امیر، حسینی، سیده زینب (۱۳۹۲) "بررسی خصوصیات رفتاری بتن غلتکی حاوی مصالح خرده آسفالتی" نشریه مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره ۲ زمستان ۱۳۹۴
- [12] سمینار فرآوری و کاربردهای سرباره کوره قوس الکتریک، آذر ۱۳۸۶