



## Properties of self-compacting concrete pavement containing steel slag and asphalt aggregates (SCC)

Peyman Piri <sup>1</sup>, Vahid Shahbazi <sup>2</sup>, Mehran Baharlooyi <sup>3</sup>

1- senior expert in civil-road and transportation engineering      Peymanpiri8@gmail.com

2-senior expert in civil-road and transportation engineering      Shahbazi.v.87@gmail.com

3-expert civil engineering - railway lines and structures      Mehranbaharlooyi@gmail.com

### Abstract

One of the strengths of self-compacting concrete compared to normal concrete is that these concretes have more fluidity. Fluidity makes the concrete penetrate well in limited areas and areas with dense reinforcement and prevents the implementation of bare or ceramic concrete. Therefore, the use of steel slag and asphalt chips, which are waste materials for the environment, as materials for Use in the selected base concrete mix.

In this research, it is desirable to achieve the mental properties in addition to the mechanical resistance by using steel slag and asphalt slag, for this purpose we made samples with different percentages of these two (steel slag and asphalt slag) as a substitute for natural aggregates. And it was subjected to tests such as G-ring test, current slump test, V-funnel, L-box and compressive strength to determine the best results and percentages.

**Keywords:** self-compacting concrete pavement, asphalt crumb, steel slag, concrete

## خصوصیات روسازی بتنی خود متراکم حاوی سرباره فولاد و مصالح خرده آسفالتی (SCC)

پیمان پیری<sup>۱</sup>، وحید شهبازی<sup>۲</sup>، مهران بهارلویی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری Peymanpiri8@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری Shahbazi.v.87@gmail.com

۳- کارشناس مهندسی عمران-خط و سازه های ریلی Mehranbaharlooyi@gmail.com

### خلاصه

از نقاط قوت بتن خود متراکم در مقابل بتن عادی این است که این بتن ها دارای سیالیت بیشتر میباشد. سیالیت باعث می شود که بتن در مناطق محدود و مناطقی که دارای تراکم آرماتور باشند به خوبی نفوذ کرده واز اجرا بتن پوک یا کرمو جلوگیری شود. از این رو استفاده از سرباره فولاد و خرده آسفالت که مواد زائد برای محیط زیست می باشند به عنوان مصالح جهت در مخلوط بتن پایه انتخاب شده است. در این تحقیق رسیدن به خاصیت روانی در کنار مقاومت مکانیکی با استفاده از سرباره فولاد و خرده آسفالت مطلوب می باشد که بدین منظور ما نمونه هایی با درصد های متفاوت از این دو (سرباره فولاد و مصالح خرده آسفالتی) به عنوان جایگزین سنگدانه های طبیعی ساختیم و مورد آزمایشاتی از قبیل آزمایش جی رینگ، اسلامپ جاری، قیف وی، جعبه ال و مقاومت فشاری قرار دادیم تا بهترین نتایج و درصد ها مشخص شوند.

**کلمات کلیدی:** روسازی بتنی خود متراکم، خرده آسفالت، سرباره فولاد، بتن

۱. مقدمه

یکی از مشکلاتی که در سازه های بتنی وجود دارد بتن ریزی در مقاطعی میباشد که دارای سطح نفوذ کم و تراکم ارماتور میباشد ما برای این مشکل از بتن خود متراکم استفاده میکنیم بتن خود متراکم بتنی است که بدون نیاز به ویبراتور به صورت متراکم در آمده و همان ویژگی های بتن از قبیل کارایی، روانی دارا باشد.

امروزه بتن خودمتراکم در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشورهای اروپایی، کانادا، آمریکا ژاپن و آسیا موضوع بحث بررسی و اجرای سازه های بتنی است. در پی استفاده گسترده از بتن خودمتراکم در ژاپن، مراکز علمی و پژوهشی در دنیا بر آن شدند تا این تجربیات را بصورت مدون و استاندارد در آورند ACI 237R می توان گفت منسجم ترین تلاش در این زمینه توسط موسسه اروپایی EFNARC در سال ۲۰۰۲ با انتشار راهنمای بتن خودمتراکم به ثمر نشست. در سال ۲۰۰۵ میلادی نیز این موسسه به همراه چهار موسسه ی دیگر تجربیات عملی در بتن خودمتراکم را تحت عنوان "راهنمای اروپایی بتن خودمتراکم، ویژگی ها، تولید و استفاده" گردآوری و منتشر نمودند.

این نوع بتن دارای ویژگی های منحصر بفردی می باشد از جمله این ویژگی ها آسان بودن اجرای آن و عدم ایجاد آلودگی صوتی به خصوص در بتن ریزی های داخل شهر به دلیل عدم استفاده از ویبراتور می باشد در دنیا این نوع بتن به بتن بی صدا مشهور می باشد و زمان اجرای سازه ها را به صورت چشمگیری کاهش می دهد [۱۰] و از نظر اقتصادی نیز صرفه جویی میشود و عدم نیاز به عملیات متراکم سازی و هم چنین اثرات زیست محیطی و کاهش آلودگی صوتی و هم چنین ایجاد سطحی صاف و بدون ترک خوردگی و درمکانهایی که دسترسی به محل بتن ریزی مشکل است نیز از دیگر کاربرد این نوع بتن می باشد از این رو استفاده از سرباره فولاد و خرده آسفالت که مواد زائد برای محیط زیست می باشند به عنوان مصالح جهت استفاده در مخلوط بتن پایه انتخاب شده است. [۶ و ۹]

سرباره فولاد عمدتاً از آهک، سیلیس و آلومین تشکیل شده است که شباهت زیادی به اجزای سیمان پرتلند دارند که جز اصلی تشکیل بتن می باشد بدین ترتیب استفاده از سرباره فولاد در بتن پایه میتواند باعث افزایش خواص مکانیکی بتن از قبیل مقاومت خمشی و فشاری شود. جایگزینی ۲۵ درصد این مواد باعث بهبود خواص مقاومتی بتن غلتکی شده و افزایش بیشتر در درصد جایگزینی سرباره باعث کاهش مقاومت گردید. [۱۱] بر مبنای تحقیقات انجام شده در تحقیق فوق با توجه به قیمت ارزان تر سرباره نسبت به سنگدانه طبیعی، استفاده از سرباره موجب کاهش هزینه های ساخت می شود [۱۲]

بر اساس نتایج استفاده از ترکیب ۱۰ درصد سرباره و ۱۵ درصد پودر سنگ آهک جایگزین سیمان، ضمن اقتصادی کردن طرح مخلوط، سبب افزایش دوام بتن ها می شود. در این تحقیق، به کارگیری چنین ترکیبی از مواد سیمانی، برای ساخت بتن های در مجاورت یون سولفات و از جمله ابنیه مسیر راه و پایه های پل توصیه شده است. [۳] از سوی دیگر هوانگ و همکاران، به بررسی تأثیر استفاده از خرده آسفالت در مخلوط های بتنی معمولی پرداخته اند که نتایج آزمون مقاومت فشاری و مقاومت کششی غیرمستقیم، نشان دهنده

کاهش مقاومت در مخلوط های حاوی خرده آسفالت بود. در بخش دیگری از این پژوهش، بررسی شاخص چقرمگی در سنین مختلف حاکی از افزایش قابلیت جذب انرژی در مخلوط های حاوی خرده آسفالت بوده است. [۵]

پژوهش مشابهی در دانشگاه فلوریدا در رابطه با افزودن خرده آسفالت به بتن معمولی انجام شده است. خرده آسفالت با درصد های مختلف ۰، ۲۰، ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ به مخلوط بتن معمولی اضافه گردید. نتایج نشان دهنده کاهش در مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و مقاومت کششی غیرمستقیم با افزایش درصد خرده آسفالت بود. میزان کاهش مقاومت خمشی کمتر از مقاومت فشاری و کششی غیرمستقیم بود. ولی شاخص انبساط حرارتی و انقباض ناشی از خشک شدن با افزایش درصد خرده آسفالت افزایش یافت. [۷] یکی از پدیده های خاصی که در بتن دیده می شود، افت یا انقباض خود به خودی بتن است که موجب ترک خوردگی بتن در چند روز اول می گردد. در بتن خودمتراکم به دلیل استفاده از مقادیر زیادی مواد پودری، انقباض خمیری و خزش بیشتری را نسبت به بتن معمولی باید در نظر داشت. [۴]

همچنین ممکن است افت پلاستیک ها با خزش بیشتری نسبت به بتن معمولی از خود نشان دهد، بنابراین مساله خزش باید در زمان طراحی در نظر گرفته شود، چرا که این موضوع از مسائل پر اهمیت در سازه های بتنی است که نادیده گرفتن آن اثرات مخربی را به همراه خواهد داشت. طبق تحقیقات انجام شده در سوئد حدود ۵۰ درصد هزینه بتن ریزی به صورت معمولی، هزینه نیروی انسانی است. لذا با استفاده از بتن خودمتراکم علیرغم اینکه هزینه مصالح بتن ریزی افزایش می یابد، اما هزینه های نیروی انسانی کاهش بسزایی خواهد داشت. [۱]

از این رو شناخت صحیح رفتار، مزایا، معایب و نهایتاً آرایه ی طرح اختلاط مناسب برای بتن خودمتراکم هنری است که با استفاده از آن می توان از مزایای این نوع بتن بیشترین بهره را جست و به موارد طرح شده در تعریف این بتن، یعنی کارایی بالا و عدم جداشدگی، دست یافت.

## ۲. مواد و روش

در این تحقیق پس از انتخاب مصالح و ایجاد طرح اختلاط با درصد های مختلف از سرباره فولاد و خرده آسفالت ۱۲ نمونه آزمایشی تهیه شد که آب موردنیاز هیدراتاسیون شیمیایی از دو منبع تأمین می شد قسمتی از آن از طریق آب اضافی (آب آزاد) در ریزدانه ها و درشت دانه ها تأمین می شود و قسمت دیگر آن با اضافه کردن آب به همزن تأمین شد کیفیت آب مصرفی باید الزامات استاندارد ASTM C1602 را داشته باشد. همچنین، شن و ماسه معادن منطقه ۱۸ تهران که طبق استاندارد ASTM مطابق جدول ۱ و ۲ تعیین شده است در این پژوهش از سرباره فولاد کارخانه ذوب آهن اصفهان با مشخصات شیمیایی مطابق جدول ۴ و مشخصات فیزیکی جدول ۶ استفاده شد. همچنین از سیمان تیپ ۲ تهران که از نظر شیمیایی ملزومات استاندارد ملی شماره ۱۶۹۲ و از نظر فیزیکی استاندارد ملی شماره ۳۹۰ تا ۳۹۴ را دارد برای نمونه ها ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی مطابق جدول ۳ میباشد استفاده شده است. و در نهایت از خرده آسفالت بازیافتی کارخانه آسفالت اسلامشهر استفاده شد که مشخصات آن مطابق جدول ۵ است.

در این تحقیق محدوده دانه بندی مصالح مورد استفاده مطابق دستور عمل موسسه سیمان آمریکا PCA مطابق جدول ۱ و ۲ است. [۱۳] برای ساخت نمونه ها از ۱۲ طرح اختلاط استفاده کردیم که در این طرح ها سرباره فولاد با نسبت های ۰،۳۰،۵۰،۷۰ درصد جایگزین سیمان و خرده آسفالت بازیافتی با نسبت های ۰،۲۵،۵۰ درصد جایگزین مصالح سنگی شد.

درصد عبوری مصالح		اندازه الک (mm)
بادامی	نخودی	
۰	۰	۲/۳۶
۵	۷۸	۹/۵
۱۴	۹۷	۱۲/۵
۶۹	۱۰۰	۱۹
۱۰۰	۱۰۰	۲۵

جدول ۱\_ درصد عبوری از هر الک برای مصالح درشت دانه

درصد عبوری مصالح		اندازه الک (mm)
ماسه شکسته	ماسه طبیعی	
۰	۰	۰/۰۷۵
۸	۱۰	۰/۳
۱۴	۳۲	۰/۶
۲۰	۴۶	۱/۱۸
۴۱	۶۷	۲/۳۶
۹۹	۹	۴/۷۵
۱۰۰	۱۰۰	۹/۵

جدول ۲\_ درصد عبوری از هر الک برای مصالح ریزدانه



مقدار (درصد)	ترکیبات شیمیایی
۶۲	CaO
۲۱	SiO <sub>2</sub>
۴.۷۵	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۳.۶۱	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۱.۱۹	MgO
۲.۳۵	SO <sub>3</sub>
۰.۶۱	K <sub>2</sub> O
۰.۵۴	Na <sub>2</sub> O
۳.۱۶	سایر

جدول ۳\_ ترکیبات شیمیایی سیمان

درصد	ترکیبات شیمیایی
۳۸.۲	SiO <sub>2</sub>
۹.۱	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۳۶.۶	CaO
۷.۶	MgO
۱.۵	MnO
۲.۳	S
۴.۸	سایر

جدول ۴\_ ترکیبات شیمیایی سرباره مصرفی

در این پژوهش کلیه مصالح مورد آزمایش قرار گرفته ان که آزمایشات مربوط به سیمان مطابق جداول پیوست میباشد از آنجایی که حداکثر زمان ساخت نمونه ها ۶ ماه بود، این سیمان شامل کهنگی در اثر مرور زمان نشد. این آزمایش وزن مخصوص و جذب اب به

تفکیک برای مصالح انجام شد که نتایج در جداول پیوست درج گردید. برای تعیین وزن مخصوص اشباع، از حجم سنگدانه ها با در نظر گرفتن حفرات موجود در آن ها استفاده شد.

نوع مصالح	خرده اسفالت
جذب آب (%)	۲.۱
چگالی	۲.۳۵
درصد قیر (%)	۵.۲
درصد نفوذ قیر (0.1mm)	۱۶

جدول ۵\_ مشخصات خرده آسفالت بازبافتی

نام مصالح	شرکت تولیدکننده	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	جذب آب %
سرباره	فولاد مبارکه	۳/۴۳	۰/۵۷

جدول ۶\_ جدول مشخصات سرباره

### ۳. رواداری آزمایشات

برای هر طرح مخلوط خصوصیات تازه خود متراکم شامل قابلیت جریان، قابلیت عبور و پایداری مطابق پیشنهاد آیین نامه EFNARC توسط آزمایش اسلامپ و حله جی، قیف وی و جعبه ال انجام گرفته گرفته است. در جدول ۷ رواداری پذیرش بتن خود متراکم نمایش داده شده است [۸] همچنین جدول ۸ نام نمونه ها همراه با درصد های متفاوت مصالح سرباره فولاد و خرده اسفالت را نمایش داده است.

ردیف	روش آزمایش	واحد	حدود تغییرات اندازه ها	
			حداکثر	حداقل
۱	جریان اسلامپ	mm	۸۰۰	۶۵۰
۲	حلقه ج	mm	۱۰	۰
۳	قیف ۷	sec	۱۲	۶

۴	جعبه L	%	۱	۰.۸
---	--------	---	---	-----

جدول ۷- رواداری آزمایشات

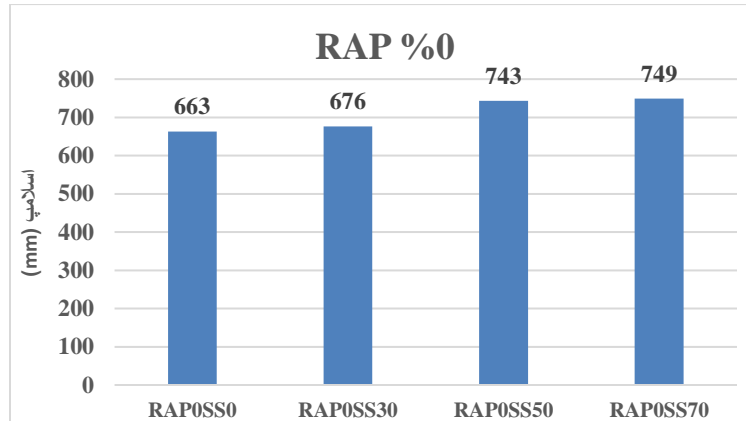
ردیف	نام نمونه	درصد سیمان	درصد سرباره فولاد	درصد خرده آسفالت	درصد مصالح سنگی
۱	Rap0ss0	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
۲	Rap0ss30	۷۰	۳۰	۰	۱۰۰
۳	Rap0ss50	۵۰	۵۰	۰	۱۰۰
۴	Rap0ss70	۳۰	۷۰	۰	۱۰۰
۵	Rap25ss0	۱۰۰	۰	۲۵	۷۵
۶	Rap25ss30	۷۰	۳۰	۲۵	۷۵
۷	Rap25ss50	۵۰	۵۰	۲۵	۷۵
۸	Rap25ss70	۳۰	۷۰	۲۵	۷۵
۹	Rap50ss0	۱۰۰	۰	۵۰	۵۰
۱۰	Rap50ss30	۷۰	۳۰	۵۰	۵۰
۱۱	Rap50ss50	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
۱۲	Rap50ss70	۳۰	۷۰	۵۰	۵۰

جدول ۸- مشخصات و نسبت اختلاط مخلوط ها

۴. بررسی نتایج آزمایشات بتن تازه

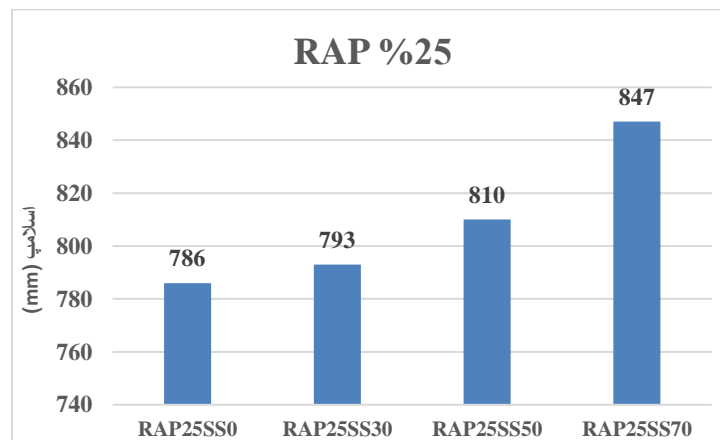
۴-۱. بررسی نتایج آزمایش اسلامپ جاری





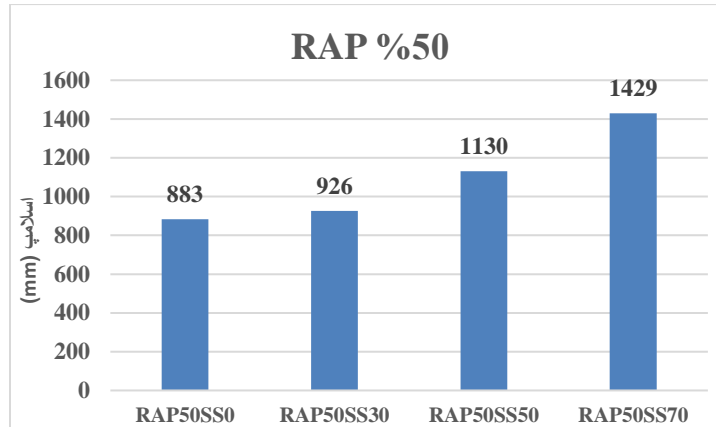
شکل ۱\_ آزمایش اسلایپ جاری با خرده آسفالت صفر درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر صفر درصد باشد هر چهار نمونه با درصد های مختلف سرباره فولاد از روانی و کارایی مناسبی برخوردار می باشند.



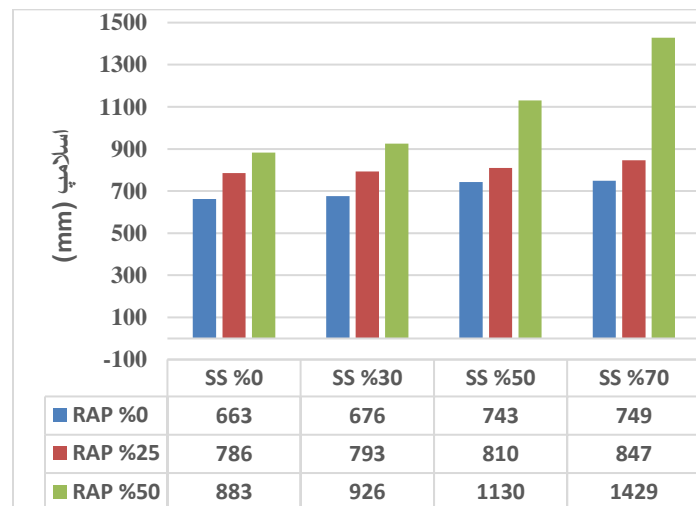
شکل ۲\_ آزمایش اسلایپ جاری با خرده آسفالت ۲۵ درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۲۵٪ باشد نمونه های با سرباره فولاد صفر و ۳۰ درصد از روانی و کارایی بالاتری برخوردار می باشند.



شکل ۳\_ آزمایش اسلامپ جاری با خرده آسفالت ۵۰ درصد

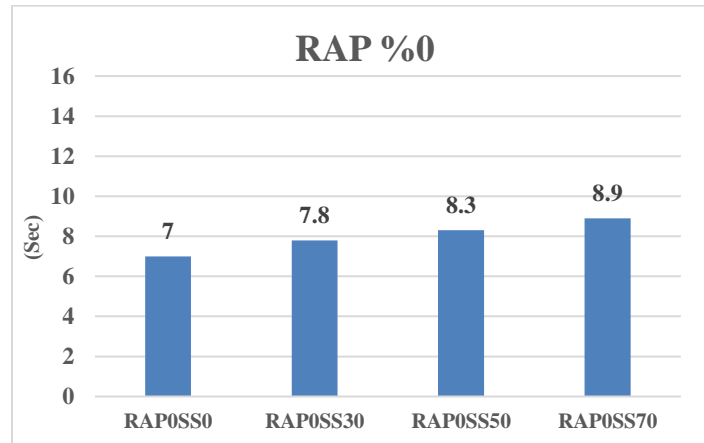
با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۵۰٪ باشد هیچ کدام از نمونه ها روانی و کارایی مناسبی نخواهند داشت.



شکل ۴\_ آزمایش اسلامپ جاری با درصد های مختلف خرده آسفالت و سرباره فولاد

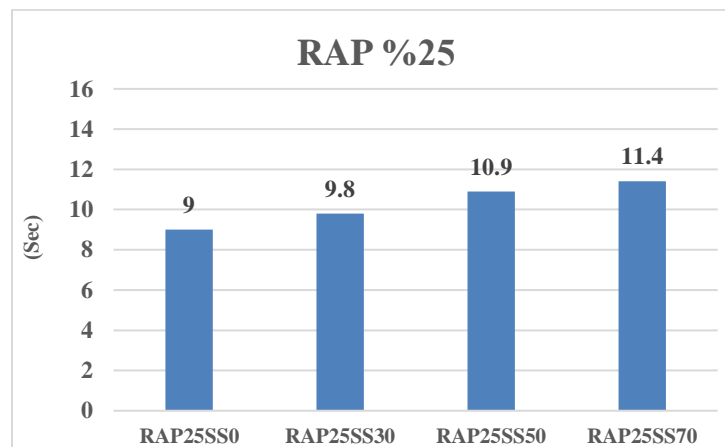
در مورد بتن خود متراکم آزمایش جریان اسلامپ به عنوان آزمایش پایه و اساسی برای معتبر ساختن ترکیب بتن به عنوان بتن خود متراکم انتخاب شده است. براساس EFNARC مقدار اسلامپ می تواند بین ۶۵۰ تا ۸۰۰ میلی متر باشد که این عدد به درجه قابلیت پر کنندگی بستگی دارد. برای کاهش یافتن سختی، استفاده از دانه بندی ریز و برای تنزل لزجت، استفاده از دانه بندی درشت پیشنهاد می شود. نمونه های با خرده آسفالت صفر درصد با درصد سرباره های مختلف و نمونه های با خرده آسفالت ۲۵ درصد با درصد سرباره فولاد صفر و ۳۰ از روانی و کارایی مناسبی در آزمایش اسلامپ برخوردار می باشند.

## ۲-۴. بررسی نتایج آزمایش قیف V



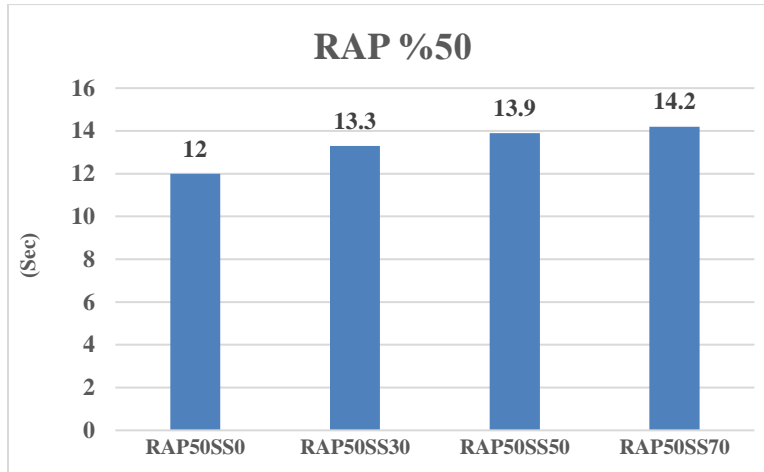
شکل ۵\_ آزمایش قیف V با خرده آسفالت صفر درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۰٪ باشد همه نمونه ها از ویسکوزیته مناسبی برخوردار می باشند.



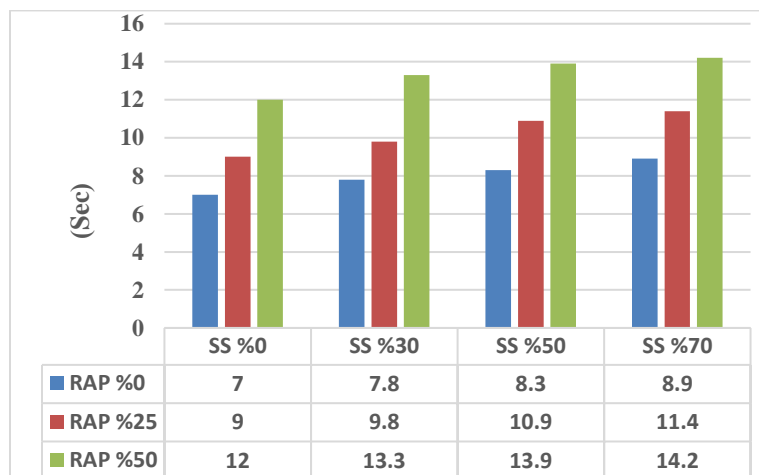
شکل ۶\_ آزمایش قیف V با خرده آسفالت ۲۵ درصد

با توجه به نتایج زمانی که خرده آسفالت برابر ۲۵٪ باشد نمونه های با سرباره فولاد صفر و ۳۰ درصد از ویسکوزیته مناسبی برخوردار می باشند.



شکل ۷\_آزمایش قیف V با خرده آسفالت ۵۰ درصد

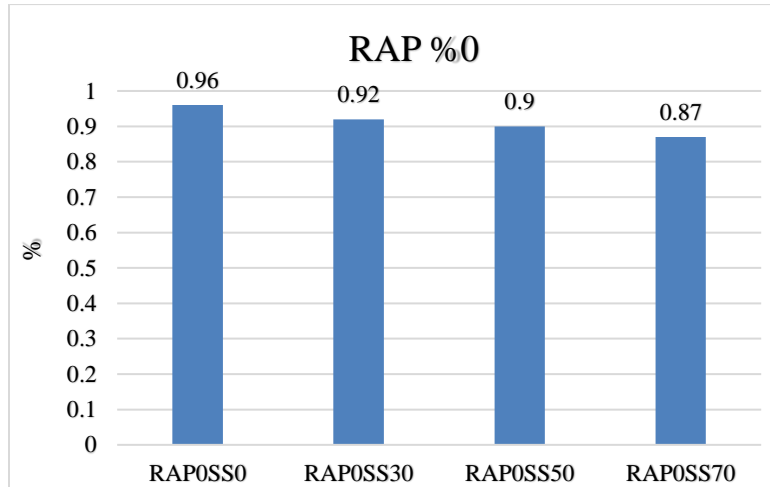
با توجه به نتایج زمانی که خرده آسفالت برابر ۵۰٪ باشد هیچ کدام از نمونه ها ویسکوزیته مناسبی ندارند.



شکل ۸\_آزمایش قیف V با درصد های مختلف خرده آسفالت و سربراره فولاد

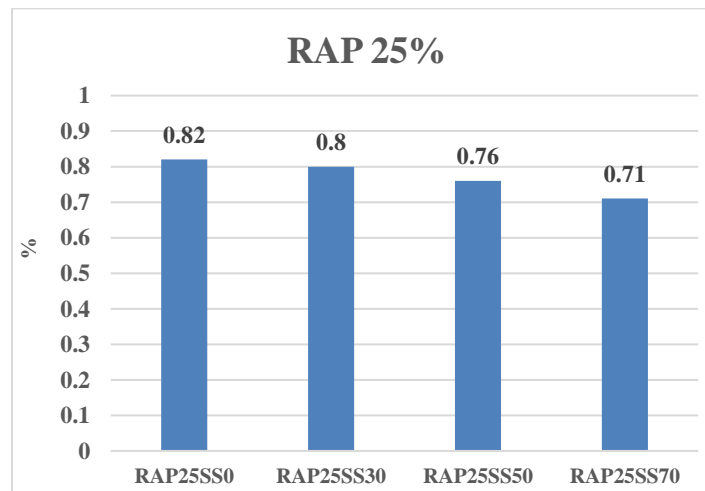
در آیین نامه EFNARC، آزمایش قیف وی معیاری برای تعیین لزجت (ویسکوزیته) بتن خود متراکم می باشد که محدوده قابل قبول برای این آزمایش ۶ تا ۱۲ ثانیه می باشد. بنابر این نمونه های با خرده آسفالت صفر درصد با همه درصد های سربراره فولاد و همچنین خرده آسفالت ۲۵ درصد با درصد سربراره فولاد صفر و ۳۰ از ویسکوزیته مناسبی برخوردار می باشند.

۳-۴. بررسی نتایج آزمایش جعبه L



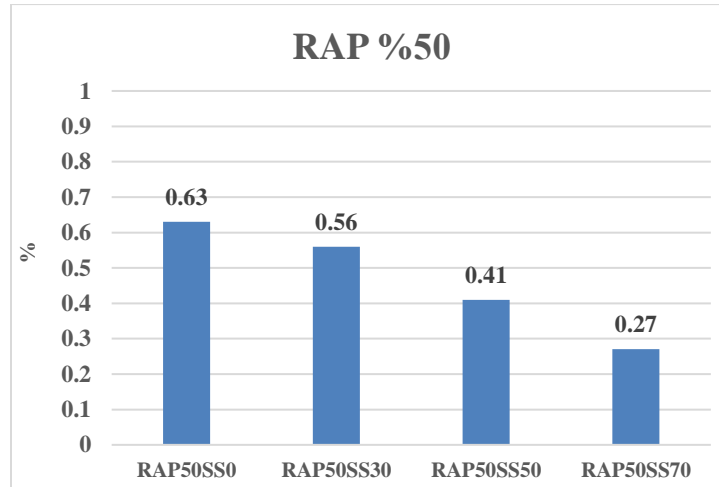
شکل ۹\_آزمایش جعبه L با خرده آسفالت صفر درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۰٪ باشد همه نمونه ها از توان عبور مناسبی برخوردار می باشند.



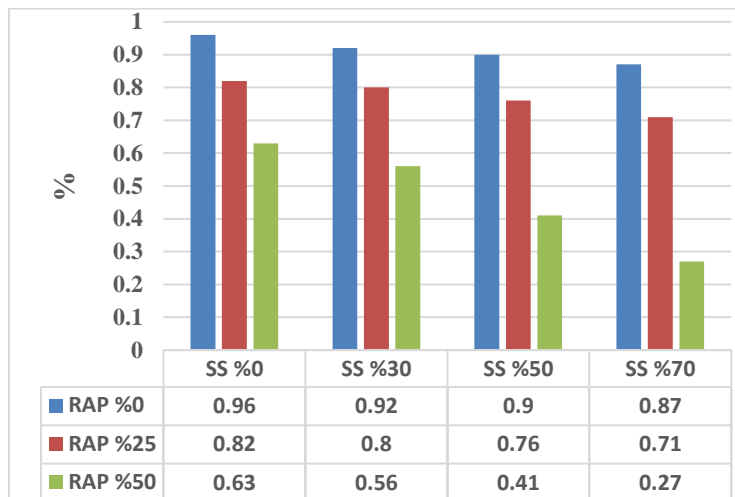
شکل ۱۰\_آزمایش جعبه L با خرده آسفالت ۲۵ درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۲۵٪ باشد نمونه های با سرباره فولاد صفر و ۳۰ درصد از توان عبور مناسبی برخوردار می باشند.



شکل ۱۱\_آزمایش جعبه L با خرده آسفالت ۵۰ درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۵۰٪ باشد هیچ کدام از نمونه ها توان عبور مناسبی ندارند.

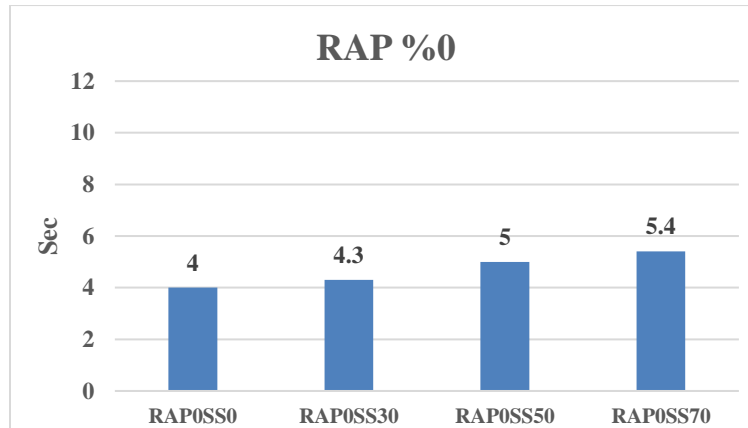


شکل ۱۲\_آزمایش جعبه L با درصد های خرده آسفالت و سربراره فولاد

در آیین نامه EFNARC، آزمایش جعبه L معیاری برای سنجش توانایی عبور بتن خود متراکم می باشد که محدوده سنجش برای این آزمایش در آیین نامه بین ۰.۸ تا ۱ می باشد بنابراین این نمونه های با خرده آسفالت صفر درصد با درصد های مختلف سربراره فولاد و همچنین نمونه های با خرده آسفالت ۲۵ درصد و سربراره فولاد صفر و ۳۰ درصد توانایی عبور مناسبی دارند.

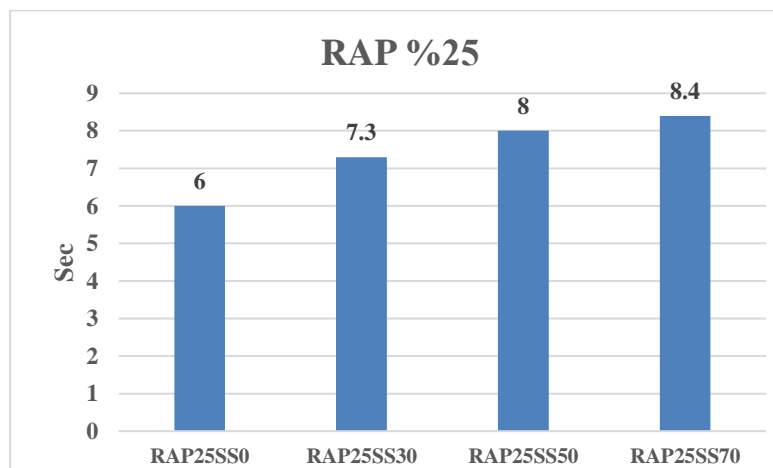


## ۴-۴. بررسی نتایج آزمایش جی رینگ



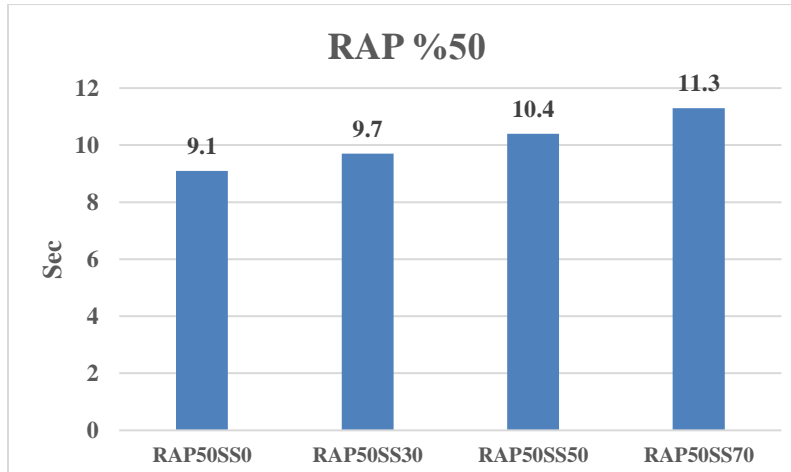
شکل ۱۳\_آزمایش جی رینگ با خرده آسفالت صفر درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۰٪ باشد همه نمونه ها مقاومت در برابر جداشدگی مناسبی برخوردار می باشند .



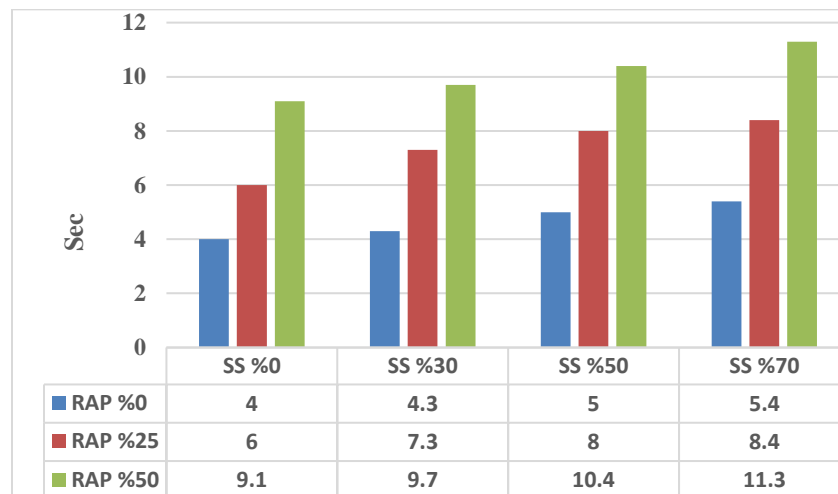
شکل ۱۴\_آزمایش جی رینگ با خرده آسفالت ۲۵ درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۲۵٪ باشد نمونه های با سرباره فولاد صفر و ۳۰ درصد از مقاومت در برابر جداشدگی مناسبی برخوردار می باشند.



شکل ۱۵\_آزمایش جی رینگ با خرده آسفالت ۵۰ درصد

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار نشان می دهد زمانی که خرده آسفالت برابر ۵۰٪ باشد هیچ کدام از نمونه ها مقاومت در برابر جداسدگی مناسبی ندارند.

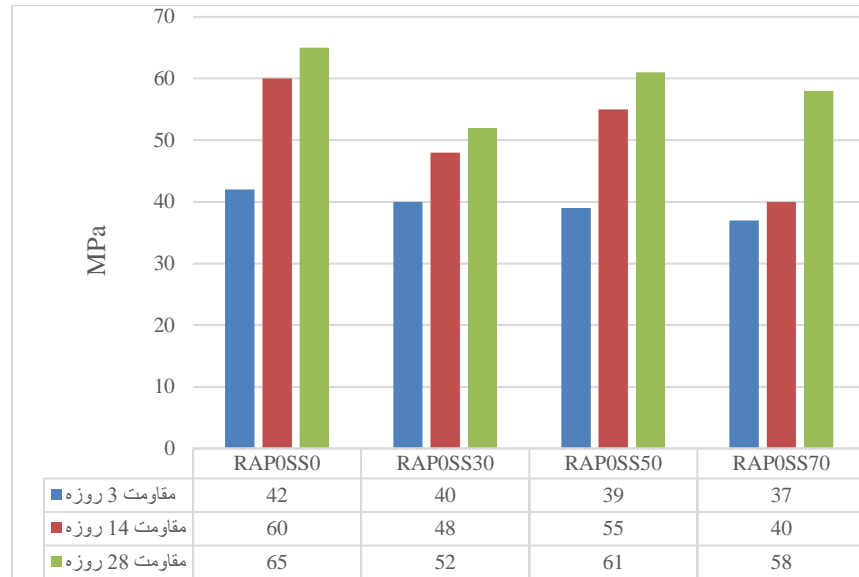


شکل ۱۶\_آزمایش جی رینگ با درصد های مختلف خرده آسفالت و سرباره فولاد

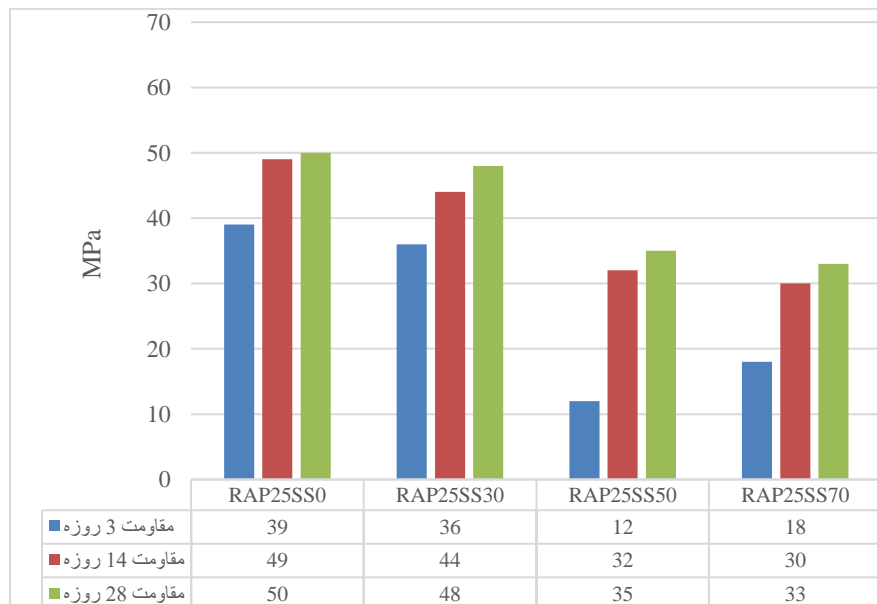
در آیین نامه EFNARC، آزمایش جی رینگ برای مشخص شدن مقاومت در برابر جداسدگی بتن خود متراکم می باشد و محدوده قابل قبول برای این آزمایش در آیین نامه ۵ تا ۱۰ ثانیه می باشد که با توجه به نتایج بدست آوردیم از این آزمایش نمونه های با خرده آسفالت صفر درصد با درصد های مختلف سرباره فولاد و همچنین نمونه های با خرده آسفالت ۲۵ درصد با سرباره فولاد صفر و ۳۰ از مقاومت در برابر جداسدگی مناسبی برخوردار می باشند.

## ۵. آزمایش های بتن سخت شده

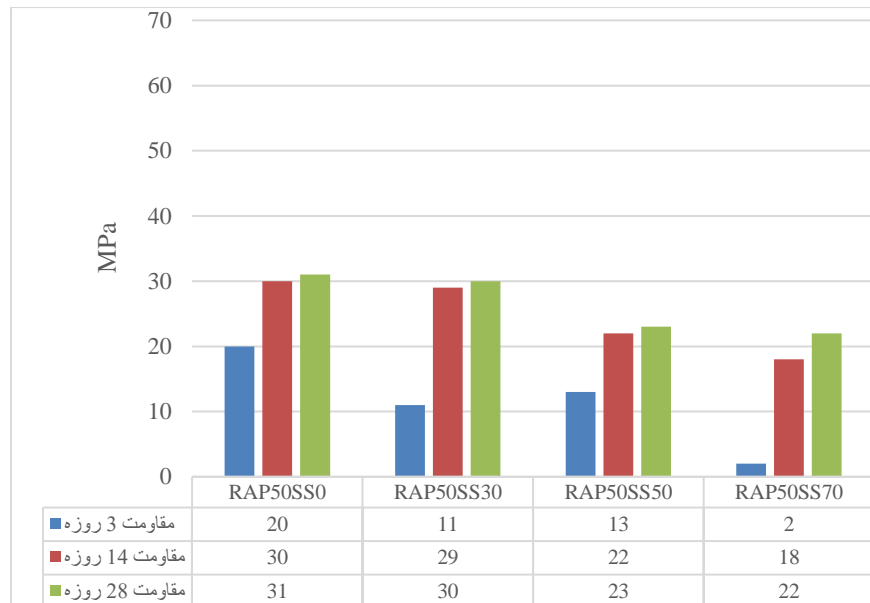
## ۵-۱. بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری



## شکل ۱۷\_ آزمایش مقاومت فشاری با خرده آسفالت صفر درصد



## شکل ۱۸\_ آزمایش مقاومت فشاری با خرده آسفالت ۲۵ درصد



شکل ۱۹\_ آزمایش مقاومت فشاری با خرده آسفالت ۵۰ درصد

اگرچه هدف اصلی در بتن خود متراکم، دست یافتن به یک خصوصیات رئولوژیکی مناسب می باشد، اما مقاومت فشاری یک موضوع کلیدی در طراحی بتن به شمار می آید. به دلیل اینکه بتن خود متراکم با مقاومت فشاری کم در صنعت ساختمان مورد استفاده نیست، به همین دلیل مقاومت فشاری کمتر از ۲۸ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز معیاری برای سنجش مقاومت فشاری می باشد.

#### ۶. نتیجه گیری و پیشنهادات

- مقدار اسلامپ بالا گواه بر خود متراکم بودن بتن نمی باشد، حتی اگر هیچ گونه جداسدگی و یا آب انداختگی وجود نداشته باشد، زیرا ممکن است پارامترهای دیگر بتن همچون قابلیت عبور و پرکنندگی در آزمایش های دیگر ارضا نشده باشد.
- کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها تاثیر به سزایی در خواص تازه و سخت شده بتن خود متراکم دارند، به طوریکه در برخی موارد بخش ریز دانه همانند فیلر عمل کرده و سبب تنظیم لزجت خمیری بتن می گردد.
- بخش ریز دانه مصالح سنگی نسبت به درشت دانه اثر گذاری بیشتری روی رئولوژی بتن خود متراکم دارد. مطابق نتایج با استفاده از سنگدانه درشت تر، لزجت خمیری افزایش یافته و به سبب آن احتمال جداسدگی، انسداد و آب انداختگی افزایش می یابد، ولی با استفاده از مصالح سنگی ریز تر از مقدار تنش تسلیم کاسته شده که خود باعث بهبود رئولوژی می شود و همچنین سبب بهبود مقاومت فشاری بتن خود متراکم نیز می گردد.
- طرح اختلاط خرده آسفالت صفر درصد با درصد های مختلف سرباره فولاد و همچنین خرده آسفالت ۲۵ درصد با سرباره فولاد صفر و ۲۵ درصد می توانند مخلوط های مناسبی برای بتن خود متراکم باشند.

- مخلوط های فوق اگر مقاومت فشاری بالای ۲۷.۵ مگاپاسکال داشته باشند در بناهای فوقانی یا روبناها کاربرد دارند و می توانند استفاده شوند.
- مخلوط هایی که بیشتر از ۲۴ مگاپاسکال و کمتر از ۲۷.۵ مگاپاسکال مقاومت فشاری داشته باشند در روسازی و سازه ها کاربرد دارند.
- مخلوطهایی که بیشتر از ۲۲.۱ مگاپاسکال و کمتر از ۲۴ مگاپاسکال مقاومت فشاری دارند در روسازی و عرشه پل ها استفاده می شوند.
- استفاده از سرباره فولاد و خرده آسفالت در مخلوط های بتن خودمتراکم کمک شایانی به محیط زیست و کمتر شدن مواد زائد در طبیعت می گردد.

## ۷. مراجع

- [۱] مهدی کوهردق و مهدی شیردل ۱۳۹۰ (بررسی خواص بتن خودمتراکم و مقایسه آن با بتن معمولی با استفاده از نتایج آزمایش محمد کاظم شربتدار ، ابوذر حمزه نژادی و محمد قاسمیان ۱۳۹۰) (بررسی خواص بتن خودمتراکم طبیعی SCC و بتن خودمتراکم تهیه شده از مصالح بازیافتی RA-SCC)
- [۲] مستوفی نژاد و نظری منفرد ۱۳۸۵ (افزودن سرباره و پودر سنگ آهک به بتن جهت افزایش دوام آن در محیط سولفاتی)
- [۳] عبدالحسین پور سلطانی ، معصومه یعقوبی و حکیمه کریمزاده کارنما ۱۳۹۰ (آزمایشهای بتن خودمتراکم و تفسیر نتایج به دست آمده در برآورد پایداری بتن تازه)
- [5] B. Huang, X. Shu, and E. G. Burdette, "Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements," *Concrete*, no. 5, pp. 313–320, 2006.
- [6] D. Morian, T. Van Dam, and R. Perera, "Use of Air-Cooled Blast Furnace Slag as Coarse Aggregate in Concrete Pavements," no. March, p. 137, 2012.
- [7] N. Hossiney, G. Wang, M. Tia, and M. J. Bergin, "Evaluation of concrete containing RAP for use in concrete pavement," 87th Annu. Meet. Transp. Res. Board, vol. 3, no. 5, pp. 251–258,
- [8] Liu, H., Duan, G., Wang, F., Zhang, J., Zhou, Y., Feng, Y., & Zhang, K. Investigation on mechanical behaviors of Self-compacting concrete containing reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 346, 128421. (2022).
- [9] Bíly, P., Fládr, J., & Haase, M. Experimental verification of properties of roller-compacted concrete for pavements. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1124, pp. 307-312). Trans Tech Publications Ltd. (2015).
- [10] Cortez, E. R., & Eaton, R. A. Environmental monitoring and performance evaluation of roller-compacted concrete pavement: Conley Terminal, Boston, Massachusetts. *COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LAB HANOVER NH.* (1991).

- [11] Hesami, S., Hikouei, I. S., & Emadi, S. A. A. Mechanical behavior of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of cleaner production*, 133, 228-234. (2016).
- [12] Delatte, "Design and construction of streets and roads with Roller Compacted Concrete." p. Civil & Environmental Engineering Department, Clev, 2009
- [13] Tennis, P. D., Leming, M. L., & Akers, D. J. *Pervious concrete pavements* (Vol. 8). Skokie, IL: Portland Cement Association. (2004).