تاثیر جایگزینی پودر سنگ آهک با پودر سنگ بازیافتی سنگ تراورتن بر مقاومت فشاری و جذب آب حجمی در بتن‌های خود تراکم (SCC)

محمدصادق عباسی فر[1*]، محمدرضا پیرمحمدی[2]، سید محمد میرحسینی[3]، شهره پیرمحمدی[4]

۱و ۲- دانشجو کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران

۴- دانشجو دکتری شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ایران

1*:mabbasifar1996@gmail.com

چکیده

بتن خودتراکم را می‌توان به عنوان یکی از بتن‌های نوین مطرح کرد که بدون جداشدگی سنگدانه یا آب انداختگی و بدون نیاز به تراکم و ویبره، قابلیت پرکنندگی فضاهای خالی میان آرماتورها را دارد. از این نوع بتن در مقاطعی با میزان آرماتور حجیم کـه اسـتفاده از بـتن هـای معمـولی امکان ایجاد بتنی به اصطلاح پوک و عدم پرشدگی در نقاط مختلف مقطع پس از باز شدن قالب‌ها مواجه شویم، می‌توان استفاده کرد. این نـوع بتن به دلیل قابلیت‌های صنعتی و اقتصادی می‌تواند به کمک مواد پوزولانی که نقش مهمی در افزایش مقاومت و دوام سـازه‌هـای بتنـی دارنـد، ساخته شود. از طرف دیگر استفاده از پودر سنگ آهک جایگزین بخشی از سیمان در بتن نیز به دلیل فراوانی و ارزان بودن، توجه محققان را در تکنولوژی بتن را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. در صنایع مختلف گام‌های مـوثری در جهـت اسـتفاده از ضـایعات وبازیافـت آن‌هـا برداشته شده است. در صنعت ساختمان استفاده از ضایعات و بازیافت مواد بتازگی مورد توجه قرار گرفته اسـت و نیازمنـد مطالعـات فـراوان در زمینه استفاده حداکثری از مواد قابل بازیافت به منظور به حداقل رساندن آلودگی محیط زیست،رشد اقتصادی و رسیدن به اهداف توسعه پایدار می‌باشد. استفاده مجدد از ضایعات تولید شده در صنایع مختلف به عنوان جایگزینی برای مصالح مورد استفاده در بتن بیشتر مـورد توجـه قـرار گرفته است. تعداد بسیار زیادی معدن و کارخانه سنگ در سراسر جهان وجود دارند که ضایعات قابل توجهی را به صورت لاشـه و پـودر سـنگ تولید می‌کنند. با توجه به فراگیر شدن استفاده از سنگ تراورتن به دلیل دوام بالا و زیبایی آن در ساختمان‌ها، شاهد آن هستیم که پس از برش خوردن سنگ تراورتن در کارخانه برش سنگ، میزان قابل توجهی ضایعات غیرقابل استفاده در محوطه این کارخانه‌هـا دپـو مـی‌شـوند. در ایـن پژوهش مقایسه و ارزیابی بر روی بتن‌های خودتراکم حاوی میکروسیلیس و پودر سنگ تراورتن انجام شد. بدین منظور ۷ طرح اختلاط بر اساس جایگزینی نسبت پودر سنگ تراورتن در مقادیر صفر درصد به‌عنوان شاهد، ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد به‌جای میزان پودر سنگ آهک موجود در طرح شاهد ساخته و مقاومت فشاری ۱۴روزه و جذب آب حجمی ۴۸ ساعته آن‌ها اندازه گیری شد. نتایج این پژوهش نشـان داد کـه استفاده همزمان از هر دو پودرسنگ به میزان مساوی(٪۵۰)، باعث بهبود مقاومت فشاری، جذب آب حجمی و خواص رئولوژی بـتن خـودتراکم می‌شود. استفاده از پودر سنگ بازیافتی تراورتن علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست(به‌علت حذف این پودر از محیط زیست پیرامون)، قیمـت تمام شده بتن را نیز کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: تراورتن، جذب حجمی، خودتراکم، میکروسیلیس، مقاومت فشاری

Effect of Replacement of Limestone Powder with Recycled Stone Travertine Powder on Compressive Strength and Volumetric Water Absorption in Self-Compacting Concrete (SCC)

Mohammad sadegh abbasifar[۱]*, mohammad reza pirmohammadi[۲],Seyyed mohammad mirhosayni[۳], Shohreh pirmohammadi[۴]

1&2 - Student of Civil Engineering, Islamic Azad University of Arak, Iran
3- Assistant Professor department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Arak, Iran
4- PhD Student of Urban Planning, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Iran

1*:mabbasifar1996@gmail.com

Abstract

Self-compacting concrete can be considered as one of the new concrete that has no aggregate separation or thinning, without the need for density and vibration capability to fill the voids between the reinforcement. This type of concrete can be used in sections with bulk reinforcement that can be used with ordinary concrete to create the so-called hollow concrete and non-filling in different sections after the molds are opened. Due to its industrial and economical capabilities, this type of concrete can be manufactured with the help of pozzolanic materials that play an important role in increasing the strength and durability of concrete structures. On the other hand, the use of limestone powder as a substitute for part of cement in concrete has attracted the attention of researchers in concrete technology in recent years due to its abundance and low cost. Effective steps have been taken in various industries to utilize and recycle waste. In the construction industry, the use of waste and recycling materials has recently received increasing attention and requires extensive studies on the maximum use of recyclable materials in order to minimize environmental pollution, economic growth and achieve sustainable development goals. The Reuse of waste produced in various industries as a substitute for materials used in concrete has received more attention. There are many mines and stone processing plant around the world that produce significant waste in the form of carcass and stone powder. Due to the widespread use of travertine stone due to its high durability and beauty in buildings, we find that after processing travertine stone at the stone cutting plant, there is a significant amount of unused waste in the premises of these depots. In this study, we compare and evaluate on self-compacting concrete containing micro-silica and Travertine powder. For this purpose, in this study, ۷ mixing schemes based on replacement of travertine stone powder ratio at zero percent as control plot, ۲۰, ۴۰, ۵۰, ۶۰, ۸۰ and ۱۰۰٪ instead of limestone powder in control design and ۱۴ day compressive strength and volumetric water absorption ۴۸ Their hours were measured. The results showed that simultaneous application of both powders (۵۰٪) improved compressive strength, bulk water uptake and rheological properties of self-compacting concrete. The use of travertine recycled stone powder in addition to reducing environmental pollution (due to its removal from the environment), also reduces the finished cost of concrete.

Keywords: Travertine, Volumetric absorption, Self-compacting, Micro silica, Compressive strength

۱– مقدمه

بتن خودتراکم، بتنی است که تحت اثر وزن خود متراکم شده و نیاز به هیچ لرزاننده ای برای ایجاد تراکم ندارد. این مسأله باعث صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش زمان ساخت و ساز و در نتیجه بالا رفتن راندمان نهایی می شود[۱]. از آنجا که برای ایجاد سازه‌های بتنی با دوام، تراکم کافی توسط نیروی کار ماهر مورد نیاز است، بحران کاهش نیروی کار ماهر در صنعت ساخت و ساز ژاپن در اوایل دهه ۸۰ میلادی از یک سو و تراکم نامناسب ناشی از افزایش حجم آرماتورهای مصرفی و همچنین تمایل به استفاده از آرماتورهایی با قطر کمتر به منظور کنترل ترک خوردگی باعث کاهش کیفیت کارهای اجرائی انجام گرفته گردید. این موضوع برای چندین سال مورد بحث و بررسی قرار گرفت تا اینکه نظریه بتن خودمتراکم، بتنی که خودش متراکم شود و احتیاج به تراکم توسط ویبراتور نداشته باشد به عنوان راه حلی برای رفع مشکل دوام سازه‌های بتنی توسط اوکامورا در سال ۱۹۸۶ مطرح گردید.

۱–۱ مروری بر تحقیقات گذشته

اولین مدل بتن خودتراکم در سال ۱۹۸۸ تکمیل و ساخته شد. این بتن با ویژگی‌های خاص خود، امکانات جدیدی را در اختیار قرار داده که با استفاده از آن می-توان بر مشکلاتی که ناشی از عدم تراکم مناسب در سازه‌های بتنی می‌باشد از جمله کاهش عمر و دوام سازه‌ها فائق آمد[۱]. امروزه چنین بتنی به خصوص با تولید نسل جدید فوق روان کننده‌ها و افزودنی‌های بتن در بسیاری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مزایای استفاده از بتن خودمتراکم می‌توان به افزایش سرعت اجرا، کاهش نیروی انسانی، اطمینان از تراکم کافی بتن در مناطق با تراکم آرماتور بالا، کاهش آلودگی صوتی، بالا رفتن کیفیت نهایی محصول و از همه مهمتر صرفه‌جویی اقتصادی اشاره کرد [۲].

بتن خود تراکم علاوه براستفاده فراوانی که در سازه‌های با تراکم بالای آرماتور را دارد گاهی نیز بصورت غیرمسلح، مثلاً در خاکریزها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای دیگر استفاده از آن می‌توان به کاهش آلودگی صوتی ناشی از سروصدای لرزاننده‌ها، کاهش نیروی انسانی، حفظ سلامت کارگران و جلوگیری از بیماریهای ناشی از استفاده از لرزاننده‌ها و بالا رفتن کیفیت محصولات نهایی اشاره کرد [۱].

در مقایسه با ژاپن، تحقیقات در اروپا و آمریکا اخیراً آغاز گردیده و در حالیکه اکنون در ژاپن به بتن خودمتراکم از نقطه نظر بتن با مقاومت بالا نگاه می‌شود، در اروپا بتن خودمتراکم با مقاومت متوسط همچنان مورد نظر می باشد [۳].

استفاده از پودر های پوزولانی در بتن تاریخچه ای طولانی و موفق دارد [۴]. پوزولان نوعی ماده سیمانی با منشاء طبیعی یا مصنوعی حاوی سیلیس فعال است. استفاده از مواد پوزولانی مانند متاکائولن ومیکروسیلیس به عنوان یک ماده معدنی جدید که بصورت تجاری وارد عرصه ساخت و ساز شده است، در تولید بتن و ملات با کارایی بالا بسیار اثر بخش بوده و رسیدن به خصوصیات مطلوب رفتار شناسی و مکانیکی در یک روند کنترل شده را آسان می‌سازد[۵ و ۶]. از طرفی جایگزینی سیمان با متاکائولن و میکروسیلیس نیاز به فوق روان کننده را جهت کنترل قطر پخش شدگی اسلامپ کوچک افزایش می‌دهد[۷]. همچنین مواد پوزولانی مهم‌ترین عامل کاهش دهنده نفوذپذیری، از طریق کاهش حجم حفرات بزرگ است [۸]. تخریب بتن از طریق وارد شدن عوامل مخرب نظیر گازها، آب، عناصر شیمیایی و راه یافتن این عوامل از طریق منافذ است. بنابراین هرچه بتن دارای منافذ و فضاهای خالی پیوسته کمتری باشد، دوام آن در برابر عوامل مخرب بالاتر خواهد بود[۹]. حجم این منافذ به وسیله سرعت جذب آن‌ها سنجیده می‌شود که هرچه حجم منافذ پیوسته داخل بتن کمتر باشد دوام آن در برابر عناصر مخرب افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین عوامل در شدت آسیب دیدگی بتن رفتار سطحی بتن می‌باشد[۱۰]. میکروسیلیس در بتن خودتراکم باعث سیالیت بالا بتن شده ودوام بتن را نیز افزایش می‌دهد و نقش های مهمی در چسبندگی و پراکندگی بتن دارد [۱۱].

یکی از مواد افزودنی که تحقیقات بر روی آن تقریبا از ۱۵ سال قبل شروع شده است، پودر سنگ آهک است. استفاده از این مصالح به دلیل در دسترس بودن زیاد، هرروز بیشتر می‌شود. به طوری که استاندارد EN ۱۹۷-۱ اروپا در سال ۲۰۰۰ دو نوع سیمان پرتلند سنگ آهکی که یکی شامل ۲۰-۶ درصد سنگ آهک (type II/A-L)و دیگری حاوی ۳۵-۲۱ درصد سنگ آهک (type II/B-L) است را وارد استاندارد سیمان اروپا کرده است [12]. حدود ۱۰ درصد از سنگ جهان در ایران تولید می‌شود(سالانه ۱۲ میلیون تن) و حدود ۴۵ درصد از این تولیدات درمبداء و در صنایع تبدیلی بعنوان دور ریز دور ریخته می‌شود. امروزه ضایعات سنگ مشکل و تهدیدی جدی برای محیط زیست تمدن مدرن است. از آنجایی که این مواد تجزیه ناپذیر می‌باشند، خطرات متعددی را بوجود می‌آورند. اگر این ضایعات بر روی زمین رها شوند می‌توانند منجر به کاهش میزان نفوذ باران و بدتر از آن کاهش حاصل خیزی خاک گردند. همچنین رها سازی ضایعات سنگ در رودخانه‌ها،رودها و دریاها نیز سبب آلودگی آب و دریا نیز می‌شوند. پودرسنگ آهک جزو ضایعات سنگبری‌ها می‌باشد و استفاده از این مصالح در

ساخت بتن بسیار مفید بنظر می‌رسد. زیرا در صورت استفاده مناسب از آن، علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست می‌توان قیمت تمام شده بتن را کاهش داد [13]. استفاده از پودرسنگ ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن SCC را از طریق پر کردن منافذ و فراهم کردن ساختار متراکم‌تر بهبود بخشیده است[14]. ضایعات سنگ-های مختلف مانند مرمر، گرانیت، سنگ آهک، تراورتن، ماسه سنگ و غیره خصوصیات متفاوتی دارند. در تحقیقات گذشته پژوهشگران یافتند که در ضایعات برش، اکسیدکلسیم(CaO) و در ضایعات پرداخت، دی اکسیدسیلسیم(SiO_2) اجزای اصلی می‌باشند[15]. هدف از تحقیق حاظر، بررسی تاثیر پودرسنگ تراورتن بعنوان فیلر و جایگزین پودرسنگ آهک بر روی فاز خمیری، مقاومت فشاری و جذب آب حجمی بتن خوتراکمSCC حاوی میکروسیلیس می‌باشد که تمامی آزمایشات در مرکز تحقیقات تخصصی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک انجام شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

ماسه مصرفی در این مقاله از نوع طبیعی دوبارشوی با سطح خشک و مصالح شن از نوع نخودی کاملا خشک می باشد(جدول۱). لازم به ذکر است مصالح استفاده شده به صورت خشک در هوای اتاق بوده و در شرایط نرمال بدون دخالت و تغییر در وضعیت مصالح موجود، به عبارتی استفاده از مصالح بصورت خام و دست نخورده انجام شده است(عدم خشک کردن در آون). نمودار شکل ۱ معرف وضعیت دانه بندی انتخاب شده برای این مصالح سنگی است.

سیمان پرتلند مصرفی در این مقاله، از نوع سیمان دلیجان نوع ۲ است که ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی آن در جدول ۲ درج شده است. خصوصیات میکروسیلیس، پودر سنگ آهک و پودر سنگ تراورتن مصرفی نیز در جدول ۲ آمده است. در این پژوهش از فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی کربوکسیلات استفاده شده که میزان مصرف آن در بتن های معمولی (بر اساس توصیه سازنده) ۱ الی ۲ درصد وزن سیمان می‌باشد که در طرح‌های ساخته شده در این مقاله ۳ درصد وزنی سیمان درنظر گرفته شده است. وزن مخصوص این فوق روان کننده ۱,۱۱ کیلوگرم بر لیتر وPH آن ۶-۴ می‌باشد. مشخصات شیمیایی فوق‌روان کننده مصرفی در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها

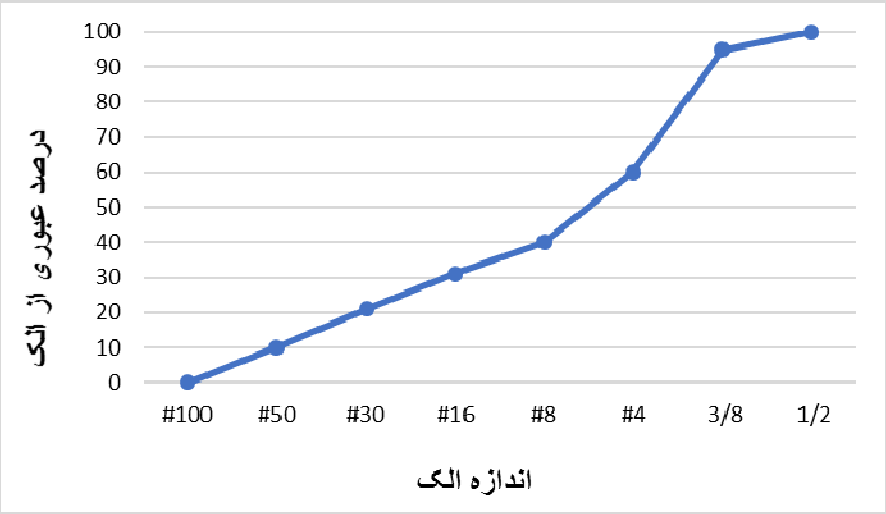
سنگ‌دانه	نوع	وزن مخصوص(gr/cm^3)	حداکثر اندازه (mm)	درصد جذب آب
شن	نخودی	۲,۷	۱۲,۵	۰,۰۰۹۵
ماسه	رودخانه‌ای	۲,۶۵	۴,۷۵	۰,۰۵

جدول ۲: ترکیبات شیمیایی سیمان و پوزولان مصرفی

نوع افزودنی شیمیایی	قانون بوگ (٪)				آنالیز شیمیایی							مشخصات فیزیکی
	C_4AF	C_3A	C_3S	C_2S	LOI	SO_3	Na_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	وزن ویژه (gr/cm^3)
سیمان	-	۸	-	-	1.05	۳	0.38	۵	64.07	٦	٦	۲۰	۳,۱۵
میکروسیلیس	-	-	-	-	3.54	0.49	0.98	1.6	0.16	0.2	0.13	91.4	۲,۲
پودرسنگ آهک	-	-	-	-	٤۲,۸٦	-	-	۰,۳٤	٥٥,۰۷	۰,٤٤	۰,۱۸	۰,۲۲	۲,۷
پودرسنگ تراورتن	-	-	-	-	-	۰,۳	۰,۱۲	۰,۳۳	٥٤,۲۳	۰,۰۸	۰,۰٤	۰,٤۹	۲,٥۱

جدول ۳: مشخصات شیمیایی فوق‌روان‌کننده مصرفی

Appearance	Light yellow colored liquid
PH	4-6
Volumetric mass @ ۲۰ °C	1.11 kg/lit
Chloride content	Nil to IS:۴۵۶
Alkali content	Typically less than ۱٫۵ g Na_2O equivalent / litre of admixture



شکل۱: دانه بندی مصالح سنگی

۲-۲ طرح اختلاط بتن خود متراکم

در مرحله ساخت نمونه‌ها ملاک تایید، دارا بودن خواص بتن خودتراکم با استفاده از آزمایش‌های بتن تازه است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم مورد نظر مطابق جدول ۴ ساخته شد. همچنین برای بررسی عملکرد پودرسنگ تراورتن در بتن خودتراکم در مقایسه با بتن خودتراکم حاوی پودر سنگ آهک، یک طرح اختلاط به عنوان طرح شاهد می‌باشد که دارای نسبت مناسب بدست آمده پودرسنگ آهک در آزمایش‌های گذشته می‌باشد که با نام اختصاری SM۱ می‌باشد. همچنین ۶ طرح اختلاط دیگر با نسبت ساخت مشابه طرح SM۱ با استفاده از فیلر پودرسنگ تراورتن با نسبت‌های ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد که جایگزین پودرسنگ آهک طرح شاهد شدند، با نام‌های اختصاری RSC ساخته شدند.

جدول ۴: جزییات طرح اختلاط (kg/m^3)

درصد جایگزینی	فوق‌روان‌کننده	ماسه	شن نخودی	پودر سنگ تراورتن	پودرسنگ آهک	آب	میکروسیلیس	سیمان	mix name
۰	۱۲	۷۶۸	۵۱۳	۰	۳۸۰	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	SM-۱
۲۰	۱۲	۷۶۸	۵۱۳	۷۶	۳۰۴	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۱
۴۰	۱۲	۷۶۸	۵۱۳	۱۵۲	۲۲۸	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۲
۵۰	۱۲	۷۶۸	۵۱۳	۱۹۰	۱۹۰	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۳
۶۰	۱۱	۷۶۸	۵۱۳	۲۲۸	۱۵۲	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۴
۸۰	۱۱	۷۶۸	۵۱۳	۳۰۴	۷۶	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۵
۱۰۰	۱۱	۷۶۸	۵۱۳	۳۸۰	۰	۲۱۵	۶۰	۴۰۰	RSC-۶

۳-۲ ساخت نمونه‌ها

پس از پایان یافتن اختلاط و ساخت نمونه‌ها، آزمایش‌های بتن تازه مورد نظر بر روی هر مخلوط انجام میشود و پس از طی این مراحل، مخلوط بدون هیچ گونه ویبره و تراکم داخل قالب‌های مورد نظر ریخته می‌شود. نمونه‌های ساخته شده پس از قالب‌گیری حدود ۲۴ ساعت درون قالب باقی مانده و در این مدت سطح نمونه‌ها و شرایط محل نگهداری آن‌ها مرطوب نگه داشته می‌شود. نمونه‌ها پس از بازشدن قالب‌ها ، بلافاصله در شرایط عمل‌آوری در حوضچه‌های آب با دمای اتاق (۲۵-۱۹ درجه سانتی گراد) قرار می‌گیرند. دمای محیط آزمایشگاه در مدت عمل‌آوری ۲۲ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. برای ارزیابی مشخصات فیزیکی ، مکانیکی ، میزان جذب و آزمایش‌های مربوط به بتن تازه و بتن سخت شده نمونه‌هایی مکعبی با ابعاد ثابت و یکسان ۱۰×۱۰×۱۰cm ساخته شده است.

۳- جزئیات آزمایش‌ها و نتایج آن‌ها

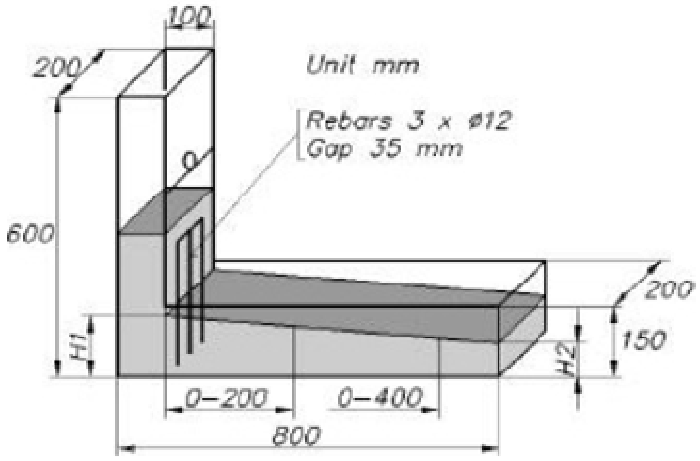
۳-۱ آزمایش های بتن تازه

۳-۱-۱ آزمایش جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر (T_{50})

این آزمایش یکی از آزمایش‌های رایج برای سنجش خصوصیات بتن خودمتراکم است و به منظور تعیین توانائی تغییر شکل بتن تحت اثر وزن خود بدون وجود هیچ قیدی بجز اصطکاک صفحه جریان تعریف شده است. این روش برای اولین بار در ژاپن برای استفاده در برآورد کارایی بتن‌های اجرا شونده در زیر آب مورد استفاده قرار گرفت. روش آزمایش بر مبنای آزمایش تعیین اسلامپ می‌باشد و قطر دایره بتن معیاری برای قابلیت جریان و پر کنندگی بتن می‌باشد [۱۶]. باتوجه به اینکه میزان اسلامپ بتن خودمتراکم معمولاً بیش از ۲۵۰ میلیمتر است، قطر توده پخش شده بتن به جای میزان اسلامپ به عنوان معیار سنجش مطرح می‌گردد و بتن با قطر توده ۶۲۵ میلیمتر می‌تواند به عنوان بتن خودمتراکم در نظرگرفته شود. در این آزمایش همچنین جداشدگی ذرات در صورت وجود در اطراف حاشیه بتن پخش شده قابل مشاهده می‌باشد [۱۷]. این آزمایش برای بتن‌هایی با اندازه ذرات بیشتر از ۴۰ میلیمتر کاربرد ندارد [۱].

۲-۱-۳ آزمایش جعبه L

این آزمایش جریان یابی بتن و همچنین انسداد ناشی از فاصله میلگردها را تشریح می کند . از نتیجه این آزمایش، شیب قرارگیری بتن در حالت توقف حاصل می-شود که معیاری برای قابلیت گذرندگی یا درجه‌ای از حدود فاصله میلگردها برای گذر بتن خواهد بود. قسمت افقی جعبه می‌تواند ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر از دریچه امتداد داشته باشد زمان لازم برای پر شدن این فاصله به عنوان عاملی برای سنجش لزجت خمیری ملات شناخته شده و معیاری برای قابلیت پرکنندگی است. قطر میلگردها و فاصله آنها از هم اختیاری است. براساس قرارداد، در صورت استفاده از میلگردهای معمولی، فاصله بین آنها به مقدار سه برابر بزرگترین اندازه دانه سنگی در نظر گرفته می‌شود.پس از پرشدن قالب عمودی سطح آن را صاف کرده و بلافاصله زمان با کورنومتر اندازه گیری می‌شود. پس از گذشت یک دقیقه از پرشدن قالب دریچه را بدون اعمال ضربه به قالب جعبهL، بالا کشیده می‌شود و بتن اجازه عبور از دریچه را خواهد داشت. پس از توقف کامل بتن ارتفاع H_1 و H_2 اندازه گیری شده، با تقسیم H_2 بر H_1 میزان نسبت جعبهL بدست خواهد آمد.



شکل ۲: ابعاد جعبه L

نتایج آزمایش‌های بتن تازه اَعم از آزمایش جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر (T۵۰) و آزمایش جعبه L در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۵: نتایج آزمایش‌های بتن تازه

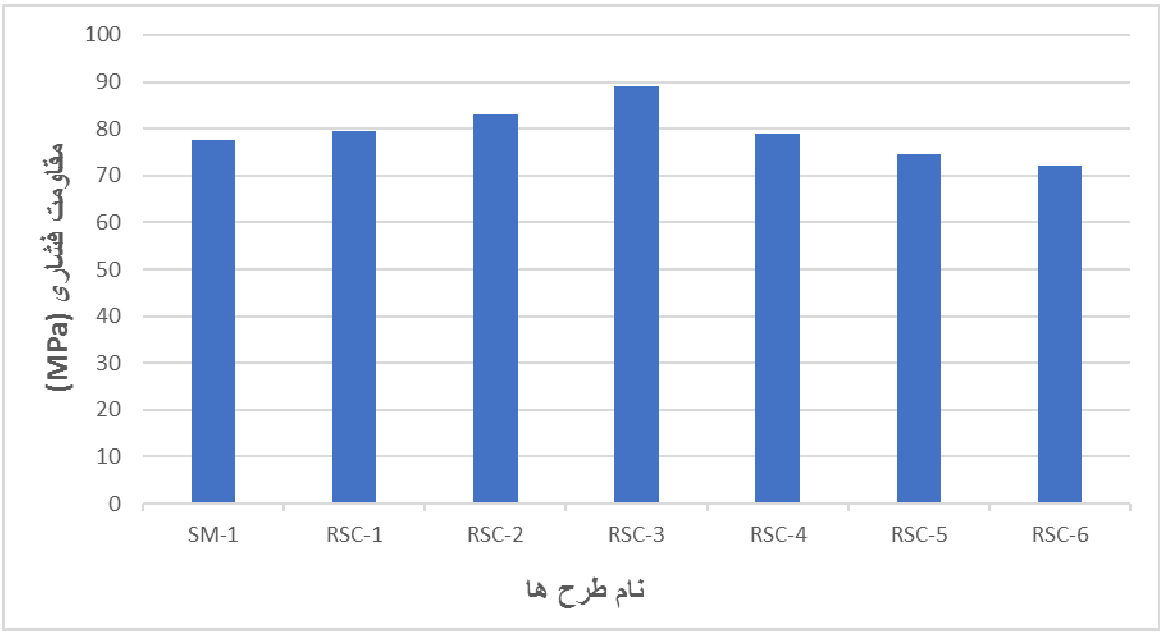
عنوان طرح	جریان اسلامپ		جعبه L	جداشدگی
	اسلامپ (cm)	T۵۰		
SM-۱	۷۳	۴,۳	۰,۹۲	ندارد
RSC-۱	۷۳,۵	۴	۰,۹۲۵	ندارد
RSC-۲	۷۴	۳,۵	۰,۹۴	ندارد

RSC-۳	۷۵,۵	۳	۰,۹۶	ندارد
RSC-۴	۷۵	۳,۲	۰,۹۵	ندارد
RSC-۵	۷۴,۲	۳,۸	۰,۹۳۸	ندارد
RSC-۶	۷۴	۴,۲	۰,۹۳	ندارد

۲-۳ آزمایش‌های بتن سخت شده

۱-۲-۳ آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها مکعبی

آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها مکعبی با ابعاد ثابت و یکسان ۱۰×۱۰×۱۰cm با مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه بر ۷ طرح مورد نظر انجام شده است. از هر نمونه طرح اختلاط، تعداد ۲ عدد ساخته شده است و باتوجه به ۷ طرح اختلاط موجود ۱۴ عدد نمونه مورد تست و بررسی قرار گرفتند و میانگین مقاومت فشاری آن‌ها لحاظ شده است. آزمایش بین نمونه شاهد(عدم وجود پودرسنگ تراورتن) و نمونه‌های بتن SCC ساخته شده با مقادیر مختلف از پودرسنگ آهک و تراورتن نشان از عملکرد بهتر نمونه حاوی هردو پودرسنگ در مقادیر مساوی دارد. نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در نمودار شکل۳ آمده است.



شکل ۳: مقاومت فشاری ۲۸ روزه

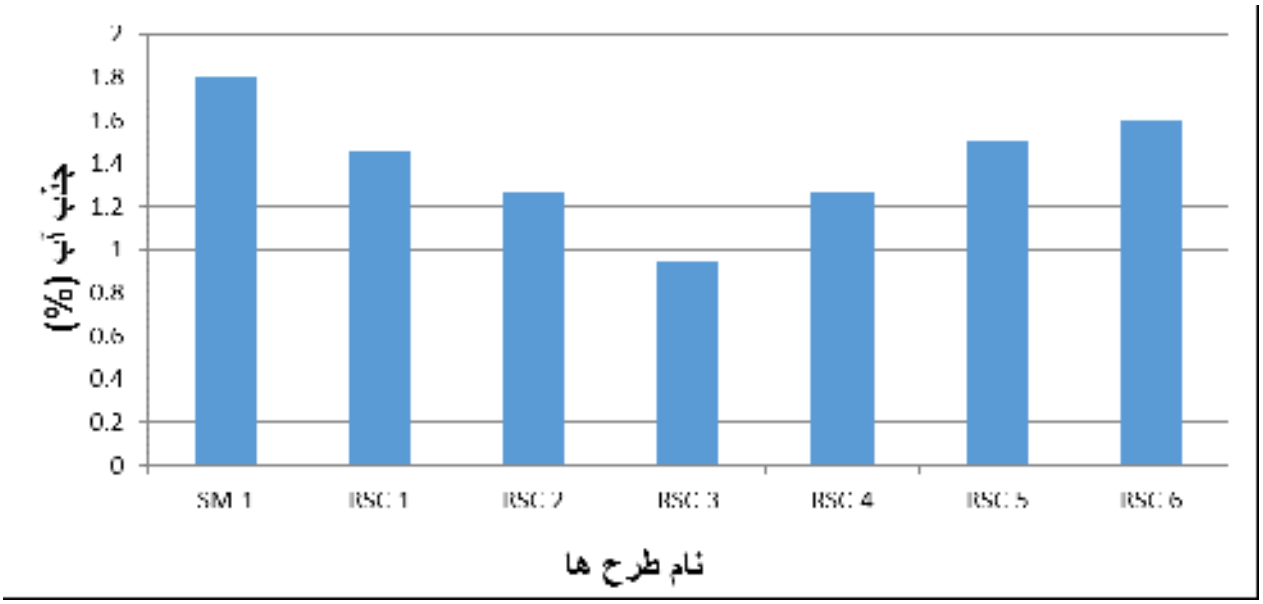
در نمودار شکل ۲ شاهد هستیم که نسبت به طرح شاهد دارای تغییرات محسوسی در نمونه‌های حاوی پودرسنگ تراورتن می‌باشیم. نمونه شاهد با نام طرح SM-۱ یک طرح اختلاط بهینه می‌باشد که طی آزمایشاتی که در گذشته انجام شده بدست آمده است. این طرح کاملا فاقد پودرسنگ بازیافتی تراورتن می‌باشد(۰٪) و به

طور کامل از پودرسنگ آهک استفاده شده است. مقاومت ۲۸ روزه بدست آمده مقاومت مطلوبی می‌باشد. در طرح RSC-۱ به میزان ۲۰٪ پودرسنگ تراورتن جایگزین پودرسنگ آهک شده که شاهد افزایش مقاومت به میزان ۳٫۲٪ می‌باشیم. در طرح RSC-۲ به میزان ۴۰٪ پودرسنگ تراورتن جایگزین پودرسنگ آهک شده که به میزان ۷٫۸٪ افزایش مقاومت مشاهده می‌شود. در طرح RSC-۳ که به میزان ۵۰٪ درصد پودرسنگ تراورتن جایگزین پودرسنگ آهک شده است مشاهد می‌شود که به میزان ۱۵٫۶٪ افزایش مقاومت نسبت به طرح شاهد داشته است. در RSC-۴ به میزان ۶۰٪ پودرسنگ تراورتن جایگزین پودرسنگ آهک شده افزایش مقاومت ۲٫۶٪ را شاهد می‌باشیم. اما در طرح‌های RSC-۵ و RSC-۶ بترتیب با میزان جایگزینی ۸۰٪ و ۱۰۰٪ پودرسنگ تراورتن با پودر سنگ آهک شاهد کاهش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد می‌باشیم که این کاهش مقاومت برای ۸۰٪ پودرسنگ تراورتن برابر با ۳٫۸٪ و برای ۱۰۰٪ پودرسنگ تراورتن برابر با ۵٫۸٪ می‌باشد.

۲-۲-۳ آزمایش جذب آب حجمی

آزمایش جذب آب حجمی نمونه‌ها بصورت قرارگیری آن‌ها در حوضچه آب سرد به مدت ۴۸ ساعت می‌باشد. برای بدست آوردن درصد جذب آب حجمی، ابتدا هر نمونه پس از عمل‌آوری بمدت ۱۴ روز در آب سرد، بمدت ۲۴ ساعت در آون با دمای (100° C) قرار داده شده، پس از خروج از آون و قرارگیری در دمای محیط و هم‌دمایی، وزن کشی شده(W_d) و سپس ۴۸ ساعت در حوضچه آب سرد قرار گرفته‌اند. پس از ۴۸ ساعت از حوضچه خارج شده و به حالت SSD وزن کشی شده‌اند(W_w). درصد جذب آب حجمی نمونه های از فرمول ۱ بدست می‌آید.

$$\left(\frac{W_w - W_d}{W_d}\right) \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$



شکل ۴ : جذب آب ۴۸ ساعته

در نمودار شکل ۴ همانطور که مشاهده می‌شود نسبت به طرح شاهد SM-۱ با افزایش میزان پودرسنگ تراورتن و کاهش میزان پودرسنگ آهک در طرح‌ها، کاهش میزان جذب و نفوذپذیری آب را شاهد هستیم. جذب آب نمونه شاهد برابر با ۱٫۸٪ می‌باشد. در طرح‌های RSC-۱ و RSC-۲ میزان جذب بترتیب برابر با ۱٫۴۶ ٪ و ۱٫۲۷٪ می‌باشد که نسبت به طرح شاهد ۱۸٪ و ۲۹٫۵٪ بهبود عدم نفوذپذیری آب مشاهده می‌شود. در طرح RSC-۳ همانطور که مشاهد می‌شود کمترین میزان جذب آب را نسبت به تمامی طرح‌ها را دارد که میزان جذب آب آن برابر۰٫۹۴٪ می‌باشد که نسبت به طرح شاهد ۴۷٫۷٪ بهبود در عدم نفوذپذیری آب مشاهده می‌شود. همچنین در طرح‌های RSC-۴، RSC-۵ و RSC-۶ میزان نفوذپذیری آن‌ها بترتیب برابر ۱٫۲۶٪، ۱٫۵٪ و ۱٫۶٪ می‌باشد که نسبت به طرح شاهد ۲۹٫۷٪، ۱۶٫۶٪ و ۱۱٫۱٪ بهبود عدم نفوذپذیری را شاهد می‌باشیم.

۴- نتیجه گیری

این پژوهش به منظور بررسی اثر جایگزینی پودرسنگ تراورتن بجای پودرسنگ آهک در بتن‌های خودتراکمSCC انجام شد که نتایج زیر حاصل شد:

۱- مقایسه مقاومت فشاری میان نسبت‌های مختلف جایگزینی پودرسنگ بازیافتی تراورتن، نشان داد که مقاومت فشاری در نمونه‌های با درصد جایگزینی کمتر از ۶۰٪ این پودر از خود واکنش بهتری نشان داده و باعث بهبود مقاومت فشاری بتن خودتراکم می‌شود که در بهترین حالت طرح اختلاط و مقاومت فشاری بدست آمده، استفاده همزمان هر دو پودرسنگ به میزان ۵۰٪ در بتن خودتراکم توصیه می‌شود.

۲- از مقایسه جذب آب حجمی ۴۸ ساعته بدست آمده مشاهده می‌شود که با اضافه شدن پودرسنگ تراورتن و افزایش درصد جایگزینی آن نسبت به طرح شاهد روند کاهشی جذب آب بسیار محسوسی را داشته‌ایم که با مقایسه میزان جذب آب حجمی و درصد جایگزینی پودرسنگ تراورتن، همانند مقاومت فشاری تا میزان جایگزینی کمتر از ۶۰٪ این پودر، روند بهبود عدم جذب آب بسیار عالی بوده اما در میزان استفاده بیشتر از ۶۰ ٪ از این پودر به مرور شاهد افزایش جذب آب می‌باشیم که در بالاترین میزان استفاده از این پودر(٪۱۰۰ جایگزینی) بازهم بهبود عدم جذب آب را نسبت به طرح شاهد مشاهده می‌شود.

۳- با توجه به نمودارهای مقاومت فشاری و جذب آب حجمی مشاهده می‌شود که بهترین میزان استفاده و جایگزینی پودرسنگ بازیافتی تراورتن با پودرسنگ آهک به میزان ۵۰٪ می‌باشد تا بهترین طرح اختلاط از نظر مقاومت فشاری، میزان جذب آب حجمی و همچنین قیمت اقتصادی را در بتن‌های خودتراکم را ارائه دهد.

مراجع

[۱] Skarendahl, A., Petersson, Ö. (۲۰۰۱). "State of the Art Report of RILEM". Technical Committee, ۱۷۴-SCC, Self-Compacting Concrete, No. ۲۳, pp.۱۴۱-۱۴۹.

[۲] Takada, K., pelova, G.I. and Walraven, J.C. (۲۰۰۱). "Influences of Mixing efficiency on the mixture proportions of general purpose self-compacting concrete". University of Sherbrook.

[۳] soroushian, p. (۱۹۸۶). "Secondary reinforcement adding cellulose fibers". ACI Concrete International, pp. ۲۸-۳۸.

[۴] حسن‌زاده، م.، حسن زاده، ف.، آیرون، ا.، معظمی گودرزی، س. (۱۳۸۸). "بررسی خصوصیات مکانیکی بتن حاوی میکروسیلیس". اولین کنفرانس ملی بتن.

[۵] Aitcin, PC. (۱۹۹۸). "High Performance Concrete". E&FN Spon, pp ۵۹۱.

[۶] Zhang, MH., Malhotra, VM. (۱۹۹۵). "Characteristics of a Thermally Activated Alumino-Silicate Pozzolanic Material and Its Use in Concrete". Cement Concrete Res, ۲۵(۸), pp ۲۵-۱۷۱۳.

[۷] XiaoqianQian, Zongjin Li. (۲۰۰۱). "The relationships between stress and strain for high-performance concrete with metakaolin"Cement and Concrete Research ۳۱(۲۰۰۱) ۱۶۰۷–۱۶۱۱.

[۸] نویل، الف،؛ بتن شناسی (خواص بتن)؛ ترجمه فامیلی، ه. انتشارات ابوریحان بیرونی، ۱۳۷۸.

[۹] Dehn, F., Hoischemacher, K., Weisse, D., (۲۰۰۰), Self-compacting Concrete – Time

[۱۰]Development of the Material Properties and the Bond Behavior, LACER, No. ۵, pp. 115-123.

[11] علی حمزه، محسن.، شمشیری، مصطفی. (۱۳۸۳). "بتن خودتراکم و ویژگی های آن، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، هرمزگان.

[۱۲] Tsivilis, S., Chaniotakis, E., Kakali, G., Batis, G. (۲۰۰۲). “An Analysis of the Properties of Portland Limestone Cements and Concrete”. Cement and Concrete Composites, Vol. ۲۴, pp. ۳۷۱-۳۷۸.
[۱۳] Lakhani, R., Kumar, R., Tomar, P. (۲۰۱۴). “Utilization of Stone Waste in the Development of Value Added Products: A State of the Art Review”. Journal of Engineering Science and Technology Review, vol. ۷, pp. ۱۸۰-۱۸۷.
[۱۴] Felekoğlu, B., Baradan, B. (۲۰۰۳). “Utilization of limestone powder in self-levelling binders”. Proceedings of the international symposium on advances in waste management and recycling, Thomas Telford Ltd, London, (p۴۷۵–۴۸۴).

[15] خدابخشیان، علی.، قلعه‌نوی، منصور.، اسدی شمس آبادی، الیاس. (۱۳۹۴). "تاثیراستفاده ازضایعات پودر سنگ مرمر و میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان بر خواص مکانیکی بتن". اولین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، برج میلاد.

[۱۶] EFNARC. (۲۰۰۲). “specification and Guidlines for self compacting concrete”. http://www.efnarc.Org.
[۱۷] EFNARC. (۲۰۰۵). “the European Guidelines for self-compacting concrete, pecification, production and use”. http://www.efnarc.Org.