



بررسی خواص مکانیکی بتن خودمتراکم ساخته شده از ضایعات کاشی شکسته شده

فاطمه صفی خانی^۱، مهدی مهدی خانی^{۲*}

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

^{۲*} استادیار، گروه مهندسی عمران واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (mahdikhani@qiau.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۴/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۷/۱۲)

چکیده

بتن خود متراکم بتنی است که تحت اثر وزن خود جاری می شود و ضمن حفظ همگنی خود بدون نیاز به ویبراتور تمامی قالب را پر کرده و شکل ظرف را به خود می گیرد. با داشتن کارایی زیاد این بتن در اجرا خطر جداسازی سنگدانه ها و خمیر را نداشته و در عین حال مقاومت زیاد و دوام نسبتا بالایی برخوردار است. از طرفی وجود انبوه ضایعات کاشی و دفن این ضایعات توسط کارخانجات تولید کاشی و سرامیک اهمیت به کارگیری از این محصول ثانویه را در دیگر صنایع از جمله صنعت ساختمان مشخص می کند. همچنین استفاده از این ضایعات موجب حفظ محیط زیست نیز می گردد. در این مطالعه آزمایشگاهی، در مرحله اول طرح اختلاط بتن خود متراکم تعیین و سپس با طرح اختلاط به دست آمده نمونه هایی با طرح اختلاط سنگدانه بازیافتی، جایگزین سنگدانه طبیعی، با درصد حجمی ۰/۰، ۲۵/۰، ۵۰/۰ و ۱۰۰/۰ ساخته شد. لازم به ذکر است که نسبت آب به سیمان و درصد فوق روان کننده ثابت می باشد و مقدار سنگ آهک و دوده ی سیلیس در تمام طرح ها ثابت در نظر گرفته شده است. آزمایشات جریان اسلامپ برای تعیین کارایی بتن تازه و آزمایش مقاومت فشاری و جذب آب مویینه در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه در این مطالعه انجام شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که به طور کلی با افزایش درصد جایگزینی کاشی شکسته شده با سنگدانه طبیعی، کارایی بتن تازه و مقاومت فشاری بتن سخت شده کاهش و دوام بتن سخت شده افزایش یافته است و به طور ویژه در ۱۰۰/۰ جایگزینی سنگدانه طبیعی با کاشی شکسته شده تغییرات به صورت عمده مشاهده شده است ولی تا ۷۵/۰ جایگزینی تغییرات عمده ای مشاهده نشده است.

کلمات کلیدی

بتن خودمتراکم، ضایعات کاشی، سنگدانه های بازیافتی، کارایی، جذب آب مویینه، مقاومت فشاری.



Study of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Made by Broken Tile Waste

Fatemeh Safi Khani ¹, Mehdi Mehdi Khani ^{2*}

¹ M.Sc. of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

^{2*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.(mahdikhani@qiau.ac.ir)

(Date of received: 12/07/2019, Date of accepted: 03/11/2019)

ABSTRACT

Self-compacting concrete is one kind of concrete under its weight flows and simultaneous with maintaining homogeneity, without need to vibrator can be filled mold and takes the shape of the container. This concrete due to high performance in construction doesn't have any risk in aggregates separation. Also, self-compacting concrete has high strength and relatively durability. On the other hand, the existence of huge tile waste and sepulture of these waste by ceramic and tile factories indicates the importance of using this secondary product in the other industries, including the construction industry. Also, with apply of waste material environment can be healthy and safe. In present experimental study, firstly the self-compacting concrete mixing scheme was determined. Then, according to the obtained mixing scheme with replacing recycled aggregates with natural particles, samples with 0, 25, 50 and 100 percentages (by volume) have been made. It should be noted water to cement ratio and percentage of high plasticizer are constant. The amount of limestone and silica fume in all of the mixtures have been fixed. In prepared specimen's slump test to determine efficiency and compression and water-absorbing tests in 3, 7, 14 and 28 days curing have been performed. Results of the present study show generally with increasing waste tile efficiency and compression strength decrease. Although, durability goes up. Also, especially, with replacing 100% of recycled material with exist particles major changes have been observed but up to 75% have not been seen.

Keywords:

Self-compacting concrete, Tile waste, Recycled aggregates, Durability, Water-absorbing, Compression strength.



۱- مقدمه

امروزه بتن پر مصرف ترین ماده مصرفی بشر بعد از آب شناخته می شود و با توجه به روند رو به ساخت و ساز در ایران، صنعت بتن از جمله صنایع مهم کشور به شمار می رود. این مسئله اهمیت بالای این مصالح ساختمانی و ضرورت شناخت دقیق و عالمانه ی آن را، به منظور ساخت سازه های بتنی با کیفیت نشان می دهد. پژوهشگران عرصه ساختمانی طی سال ها در تلاش بوده اند تا به ایجاد تغییراتی در اجزای مختلف این ماده، اصلاحاتی را مطابق با نیازهای موجود اعمال کرده و به خواص جدید یا برتری از بتن دست پیدا کنند. این تلاش ها در طی سال ها منجر به پیدایش بتن های توانمند، فوق توانمند، سبک، الیافی و غیره شده است. یکی از این انواع بتن که ظهور آن به چندین دهه قبل باز می گردد، بتن خودمتراکم است که با ویژگی های خاص خود، ویژگی مناسب را در اختیار مهندسین قرار داده است که با استفاده از آن ها می توان بر مشکلات ناشی از عدم تراکم مناسب در سازه های بتنی، از جمله کاهش عمر مفید و دوام سازه ها فائق آمد. با اینکه در ابتدا بتن خودمتراکم در زمره ی بتن های خاص و پیچیده محسوب می شود، توانایی ها و مشخصات بتن SCC، این نوع بتن را به سرعت به یکی از انواع پرکاربرد در کشورهای پیشرفته ی دنیا تبدیل کرد. با این حال، در کشورهایی مانند ایران، هنوز این بتن یک فناوری جدید در عرصه ی ساخت و ساز به شمار می آید و می توان گفت استفاده از آن هنوز محدود می باشد و آشنایی و دانش کافی درباره ی آن نزد اغلب مهندسین وجود ندارد [۱]. در سال ۲۰۱۳ Herbudiman و Saptaji به بررسی بتن خود متراکم با پودر کاشی بازیافتی از کاشی سقف پرداختند. ۱۲ طرح اختلاط تعریف کرده اند نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که که طرح اختلاط با سیمان ۷۵٪، سیلیس ۵٪، پودر کاشی ۲۰٪، درشت دانه ۴۵٪ حجم آب $w/p=0.32$ ، 180 kg/cm^3 و فوق روان کننده ۱.۵٪ بیشترین اسلامپ با ۶۵ سانتی متر و بیشترین مقدار مقاومت فشاری برابر با ۶۷.۷۲ Mpa و توانایی جریان خوبی را درآزمایش قیف ۷ شکل از خود نشان داده است و همچنین شستن سنگدانه ها باعث افزایش ۱۷٪ در مقاومت فشاری و ۴۲٪ در مقاومت کششی می شود [۲].

در سال ۲۰۱۴ Tayfun و همکاران به بررسی استفاده از سنگ مرمر و دانه های بازیافتی در بتن خود متراکم برای پایداری محیط زیست پرداختند. در این مطالعه از ضایعات سنگ مرمر (MW) و سنگدانه بازیافتی از بتن خورد شده (RA) استفاده شده است. و نمونه کنترلی از سنگ آهک شکسته شده (LS) با مقادیر مختلف در نسبت آب به بیندر می باشد. نتایج حاصل نشان می دهد که استفاده از MW به جای LS کارایی بتن خودمتراکم تازه را افزایش می دهد و همچنین استفاده از سنگ دانه بازیافتی باعث کاهش وزن مخصوص بتن خودمتراکم می شود. علاوه بر این تفاوتی در خواص مکانیکی بتن خود متراکم با استفاده از RA و MW مشاهده نشده است به طور مثال مقاومت فشاری بتن ساخته شده با MW در کمترین نسبت آب به بیندر ۶٪ و بتن ساخته شده با RA در کمترین نسبت آب به بیندر ۵،۶٪ نسبت به بتن ساخته شده با LS کاهش یافته است و مقاومت فشاری بتن ساخته شده با MW در بیشترین نسبت آب به بیندر ۳۱،۵٪ و بتن ساخته شده با RA در بیشترین نسبت آب به بیندر ۷،۰٪ نسبت به بتن ساخته شده با LS کاهش یافته است به طور کلی، کاهش مقاومت در هنگام استفاده از سنگ مرمر و یا سنگدانه های بازیافتی به جای سنگدانه سنگ آهک در بتن خودمتراکم در کمترین نسبت آب به بیندر مهم نیست به همین علت می توان از ضایعات سنگ مرمر و سنگدانه بازیافتی از بتن خورد شده به جای سنگ آهک شکسته شده در بتن خودمتراکم استفاده کرد [۳].

در سال ۲۰۱۵ Tennich و همکاران به بررسی مخروط پر کننده از سنگ مرمر و کاشی ضایعاتی در ترکیب بتن خود متراکم پرداختند. بتن ساخته شده SCCW (پرکننده آهک) به عنوان نمونه کنترلی در نظر گرفته شده است. از دو نوع فوق روان کننده SP1 که بر پایه کلرکوپلیمرهای آکرولیک و SP2 بر پایه ی پلی کربوکسیلات و فسفات تغییر یافته، استفاده شده است و SCCW بتن با پرکننده زباله بازیافتی می باشد. نتایج حاصله نشان می دهد که استفاده از 150.250 kg/m^3 از پرکننده های ضایعاتی سیالیت رضایت بخشی را در SCCW می دهد. ترکیب ضایعات سنگ مرمر و کاشی کارخانه ای به عنوان پرکننده در بتن خود متراکم



باعث افزایش فشردگی و همچنین افزایش مقاومت فشاری بیش از ۲۳٪ و افزایش مقاومت کششی ۴،۶٪ و افزایش سرعت انتشار امواج ۲،۶٪ می شود [۴]. در سال ۲۰۱۷ Vinay Kumar و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی بر روی استفاده از درشت دانه و ریزدانه سنگدانه بازیافتی بتن، در بتن خود متراکم پرداختند. ۴ طرح اختلاط طراحی شده است کنترل مخروط ها با مصالح طبع است ۲۰٪ CRCA (درشت دانه بتن بازیافتی) ۲۰٪ FRCA (ریزدانه بتن بازیافتی) و ۲۰٪ جایگزینی از هردو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می دهد که ۲۰٪ CRCA و FRCA از نظر معیار پذیرش EFNARC (فدراسیون اروپایی انجمن های ملی به نمایندگی از بتن) رضایت بخش بوده است. مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸ روزه و مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن حاوی سنگدانه بتن بازیافت شده کمی بالاتر از طرح کنترلی است. دوام بعد از ۳۰ روز غوطه وری در محلول H_2SO_4 ، $NasO_4$ مقاومت فشاری آن به ترتیب ۱۱٪ و ۴۰٪ کاهش یافته است [۵]. در سال ۲۰۱۷، Iris و همکاران به پیش بینی خواص بتن خودمتراکم با استفاده از بتن ویبره شده بازیافتی پرداختند. با توجه به بررسی گذشته بتن خودمتراکم انتظار می رود که خواص آن مشابه خواص بتن ویبره شده باشد بنابراین خواص بتن خودمتراکم با سنگدانه بازیافتی (SCRC) با استفاده از بتن ویبره شده قابل پیش بینی خواهد بود. آن ها بیش از ۵۰ طرح اختلاط را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج حاصل نشان می دهد که همان طور که در بتن بازیافتی ویبره شده با افزایش مقدار سنگدانه بازیافتی مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی کاهش می یابد در SCRC نیز کاهش می یابد با توجه به این خصوصیت، اختلاط درشت دانه بتن بازیافتی در بتن خودمتراکم مشابه بتن ویبره شده می باشد [۶]. به طور کلی در مطالعات زیادی که بر روی بتن با سنگدانه های بازیافتی توسط افراد مختلف انجام شده است، نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که خواص بتن تازه و سخت شده تابعی از جنس مصالح بازیافتی مورد استفاده می باشند و نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که کارایی بتن تازه و مقاومت بتن سخت شده نسبت به نمونه شاهد کاهش و یا افزایش یافته است که این کاهش و یا افزایش وابسته به جنس و درصد مصالح بازیافتی مورد استفاده می باشد [۱] - [۱۶].

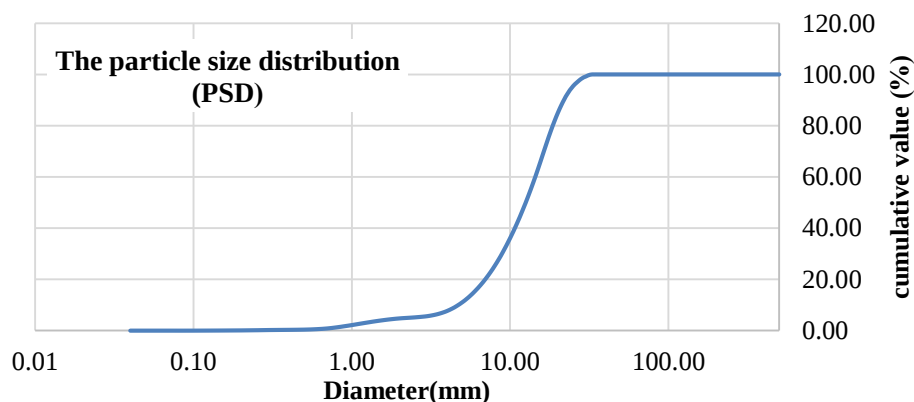
۲- برنامه های آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح

در این مطالعه از سیمان پرتلند نوع دو آبیک و دوده سیلیسی نامیکاران که به صورت پاکت های ۸ کیلویی در مصالح فروشی های قزوین در دسترس بوده، استفاده شده است. توزیع اندازه ذرات (PSD) در شکل (۱) و ترکیب شیمیایی مواد خام از طریق تجزیه و تحلیل XRF در جدول (۱) قابل مشاهده می باشد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی مواد خام از طریق تجزیه و تحلیل XRF.

Composition	Silica fume
SiO ₂	92.41
Al ₂ O ₃	0.748
Fe ₂ O ₃	0.829
CaO	0.44
MgO	0.902
SO ₃	0.19
Na ₂ O	0.294
TiO ₂	N.D.
LOI*	1.7



شکل ۱: توزیع اندازه ذرات (PSD) دوده سیلیسی.

Justnes و Vikan [۱۷] با انجام آزمایش هایی بر روی خمیر سیمان، برای دست یابی به بتن خودتراکم، دریافتند که جایگزینی سیمان با دوده سیلیسی تا میزان ۱۰ درصد حجمی باعث افزایش تنش تسلیم می شود. در این مطالعه نیز ۱۰٪ وزن سیمان از دوده سیلیسی استفاده شده است که این مقدار در تمام طرح اختلاط ها ثابت در نظر گرفته شده است. مواد افزودنی شیمیایی بتن توسط آیین نامه ASTM C494 [۱۸] به طور جداگانه به ۸ گروه طبقه بندی شده است و با توجه به این که فوق روان کننده مورد استفاده در این مطالعه دیرگیر نیز می باشد طبق تعریف ASTM جز گروه G قرار می گیرد. سنگدانه های طبیعی مورد استفاده از معادن استان قزوین و ضایعات کاشی از کارخانه کاشی و سرامیک البرز تهیه شده است. با توجه به این که با افزایش مقدار حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها و افزایش درصد درشت دانه موجب کاهش کارایی و قابلیت عبور بتن می شود لذا در این مطالعه حداکثر اندازه اسمی مورد استفاده سنگدانه ها، عبوری از الک ۳/۸ می باشد و از ۶۰٪ ماسه و ۴۰٪ شن استفاده شده است. آزمایش برای دانه بندی مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه به وسیله الک مطابق استاندارد ASTM-C136 انجام شده است [۱۹]. با توجه به اینکه در این مطالعه درصد های وزنی به صورت مجزا مشخص شده است تمام سنگدانه ها از الک های استاندارد ۳/۸، #۱/۴، #۴، #۸، #۱۶، #۳۰، #۵۰ و #۱۰۰ عبور داده شده اند. لازم به ذکر است که با توجه به کم بودن مقدار سنگدانه های طبیعی عبوری از الک ۵۰، از پودر سنگ استفاده شده است به طوری که ۵۰٪ وزن مصالح مانده روی الک ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰٪ پن با پودر سنگ تامین شده است. درصد وزنی پودر سنگ مورد استفاده در تمام طرح اختلاط ها ثابت نگه داشته شده است. برای شکستن کاشی ها از دو روش دستی (شکستن با پتک) و دستگاه لس آنجلس استفاده شده است به طوری که سنگدانه های شکسته شده از الک ۳/۸ عبور داده شده و مانده روی الک، مجددا شکسته شده اند. سنگدانه های عبوری از الک ۳/۸ نیز طبق الک های استاندارد دانه بندی شده است. در شکل (۲) دانه بندی سنگدانه طبیعی و در شکل (۳) دانه بندی کاشی شکسته قابل مشاهده می باشد.



شکل ۲: دانه بندی سنگدانه طبیعی.



شکل ۳: دانه بندی کاشی شکسته شده.

برای تعیین چگالی و جذب آب مصالح سنگی ریزدانه از استاندارد ASTM-C128 [۲۰] و برای تعیین چگالی و جذب آب مصالح سنگی درشت دانه از استاندارد ASTM-C127 [۲۱] استفاده شده است. وزن مخصوص سنگدانه طبیعی ۲۵۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب و کاشی شکسته شده ۲۳۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد که وزن مخصوص کاشی شکسته شده ۸,۳۵٪ کم تر از سنگدانه طبیعی می باشد. درصد جذب آب شن طبیعی ۱/۶۸۰٪ و درصد جذب آب ماسه طبیعی ۱/۸۶۵٪ می باشد و درصد جذب آب درشت دانه کاشی شکسته شده ۰/۹۶۵٪ و درصد جذب آب ریزدانه کاشی شکسته شده ۱/۰۲٪ می باشد.



۲-۲- روند انجام آزمایشات

شکرچی زاده [۲۲] نیز به بررسی تاثیر دانه بندی سنگدانه ها بر خواص بتن تازه و سخت شده پرداخته اند که نتایج حاصل نشان می دهد که کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها تاثیر زیادی بر مشخصات رفتار شناسی بتن تازه و مشخصات مکانیکی بتن سخت شده دارد. بنابراین برای ساخت بتن خودتراکم استفاده از سنگدانه های با کیفیت مناسب و خوب دانه بندی شده تاثیر زیادی بر مشخصات رفتاری بتن تازه خودمتراکم خواهد داشت و نسبت شن به ماسه در بتن های خودمتراکم کم تر از بتن های معمولی می باشد که این امر باعث افزایش قابلیت عبور می شود و امکان بروز پدیده انسداد را کاهش می دهد. دانه بندی ماسه تاثیر بیشتری بر مشخصات رفتار شناسی بتن خودمتراکم می گذارد. به همین منظور در ابتدا سه نمودار دانه بندی انتخاب گردیده است که دانه بندی شن مطابق جدول (۲) و دانه بندی شن مطابق جدول (۳) می باشد و طرح اختلاط آزمایشات انجام شده مطابق جدول (۴) می باشد. با توجه به نمودار استاندارد دانه بندی و مشخص بودن حد بالا و پایین دانه بندی، نمودار های دانه بندی به این نحو انتخاب شده است که نمودار دانه بندی ۱ نزدیک به حد بالا، نمودار دانه بندی ۲ نزدیک به میانه حد بالا و پایین، به سمت حد بالا و نمودار دانه بندی ۳ نزدیک به حد پایین انتخاب شده است تا تاثیر دانه بندی بر طرح اختلاط مشخص شود.

جدول ۲: دانه بندی شن.

شماره الک	درصد عبوری دانه بندی ۱	درصد عبوری دانه بندی ۲	درصد عبوری دانه بندی ۳
۳/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱/۴	۵۰	۵۰	۵۰
۴	۰	۰	۰

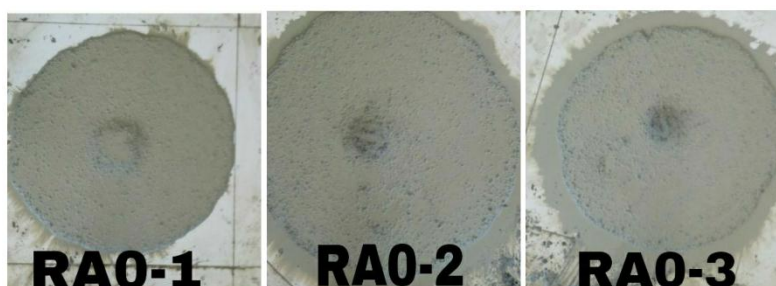
جدول ۳: دانه بندی ماسه.

شماره الک	درصد عبوری دانه بندی ۱	درصد عبوری دانه بندی ۲	درصد عبوری دانه بندی ۳
۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۷
۸	۹۷	۹۵	۸۵
۱۶	۸۰	۷۷	۵۵
۳۰	۵۵	۵۰	۳۰
۵۰	۲۵	۲۵	۱۵
۱۰۰	۵	۵	۳
۲۰۰	۳	۰	۲
pan	۰	۰	۰



جدول ۴: درصد اختلاط بر اساس دانه بندی های مختلف برای تعیین نمونه شاهد.

شماره آزمایش	نمودار دانه بندی	درصد آب به سیمان	وزن شن	وزن ماسه	وزن سیمان	وزن دوده سیلیس	درصد فوق روان کننده
RA0-1	مطابق با دانه بندی ۱	۰/۴	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA0-2	مطابق با دانه بندی ۲	۰/۴	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA0-3	مطابق با دانه بندی ۳	۰/۴	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵



شکل ۴: اسلامپ طرح اختلاط های RA0-1، RA0-2 و RA0-3.

همان طور که در شکل (۴) مشاهده می شود در هر سه طرح اختلاط آب انداختگی و عدم پخش شدگی مناسب دیده می شود که به علت کم بدون پرکننده در نمودار دانه بندی می باشد بدین منظور دانه بندی مطابق جدول های (۵) و (۶) اصلاح شده است. مجدداً طرح قبلی با نمودار دانه بندی جدید انجام شده است که عدم آب انداختگی و پخش شدگی همگن مشاهده شده است.

جدول ۵: دانه بندی شن (طرح اختلاط نمونه شاهد).

شماره الک	درصد عبوری	مانده روی الک
۳/۸	۱۰۰	۰
۱/۴	۵۰	۵۰
۴	۰	۵۰

جدول ۶: دانه بندی ماسه (طرح اختلاط نمونه شاهد)

شماره الک	درصد عبوری	مانده روی الک
۴	۱۰۰	۰
۸	۹۵	۵
۱۶	۷۷	۱۸
۳۰	۵۰	۲۷
۵۰	۳۰	۲۰
۱۰۰	۱۵	۱۵
۲۰۰	۷	۸
pan	۰	۷



شش طرح اختلاط جدید مطابق جدول (۷) تعریف شده است که با توجه به اسلامپ و نوع پخش شدگی و عدم مشاهده جداسازی و آب انداختگی طرح اختلاط نهایی انتخاب شده است.

جدول ۷: درصد اختلاط بر اساس نمودارهای دانه بندی برای تعیین نمونه شاهد.

شماره آزمایش	درصد آب به سیمان	وزن شن	وزن ماسه	وزن سیمان	وزن دوده سیلیس	درصد فوق روان کننده	اسلامپ (mm)
۱	۰/۳۷۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱	۶۱
۲	۰/۳۷۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵	۶۴/۵
۳	۰/۴	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱	۶۷
۴	۰/۴	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵	۷۱/۵
۵	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱	۷۰/۵
۶	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵	۷۷/۵

با توجه به اسلامپ و نحوه پخش شدگی طرح اختلاط شماره ۶ به عنوان نمونه شاهد انتخاب شده است. پس از مشخص شدن نمونه شاهد ۴ طرح اختلاط دیگر نوشته شده است که در جدول (۸) آورده شده است. نمونه شاهد با سنگدانه های طبیعی ساخته شده است و درصد کاشی شکسته در آن صفر می باشد. و در هر طرح ٪۲۵ حجمی سنگدانه های طبیعی جایگزین سنگدانه های بازیافتی شده است تا ٪۱۰۰ سنگدانه های طبیعی جایگزین سنگدانه های بازیافتی شود.

جدول ۸: طرح اختلاط های نهایی.

شماره آزمایش	درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی	درصد آب به سیمان	وزن شن	وزن ماسه	وزن سیمان	وزن دوده سیلیس	درصد فوق روان کننده
RA0	٪۰	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA25	٪۲۵	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA50	٪۵۰	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA75	٪۷۵	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵
RA100	٪۱۰۰	۰/۴۲۵	۵۴۰	۱۲۶۰	۴۵۰	۵۰	٪۱/۵

نمونه شاهد RA0 نامیده شده است که نحوه نامگذاری به این صورت است که RA مخفف Recycle Aggregate می باشد و 0 نشان دهنده درصد مصالح کاشی شکسته می باشد و RA25، RA50، RA75 و RA100 نیز به همین ترتیب نام گذاری شده اند. نمونه ها پس از قالب گیری به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق زیر پلاستیک به منظور جلوگیری از تبخیر آب سطح نمونه ها نگهداری می شوند. پس از ۲۴ ساعت و گیرش اولیه نمونه ها، قالب ها باز شده اند. نمونه ها پس از خارج شدن از قالب ها داخل حوضچه پر از آب با دمای 20 ± 2 قرار داده شده اند تا فرآیند عمل آوری بتن تا رسیدن به سن مورد نظر انجام شود.



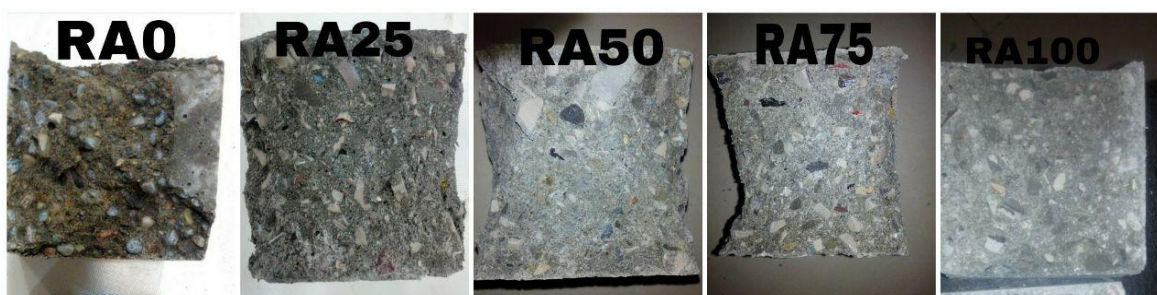
۲-۳- آزمایشات

آزمایشات بتن تازه طبق استاندارد موسسه EFNARC [۲۳] و آزمایش جذب آب موئینه طبق دستورالعمل RILEM CPC 11.2. TC 14-CPC [۲۴] انجام گردید. این آزمایش در مورد نمونه های آزمایشگاهی $10 \times 10 \times 10$ cm و ۲ نمونه از هر طرح اختلاط انجام گرفت. نمونه ای از شرایط انجام آزمایش در شکل (۵) قابل مشاهده می باشد.



شکل ۵: نمونه ای از شرایط آزمایش جذب آب موئینه.

برای آزمایش مقاومت فشاری از آیین نامه ASTM C39 [۲۵] و BS 1881-116:1983 [۲۶] استفاده شده است. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد ۱۰۰ میلی متر انجام شده است. آزمایش مقاومت فشاری در سن ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام شده است. در هر طرح و در هر سن، ۳ نمونه مکعبی قالب گیری شده است و میانگین ۳ نمونه به عنوان مقاومت فشاری در هر سن در نظر گرفته شده است. نمونه های شکسته شده در شکل (۶) قابل مشاهده می باشد.



شکل ۶: نمونه های شکسته زیرجک مقاومت فشاری از هر طرح.



۳- نتایج و بحث

۳-۱- جریان اسلامپ

نتایج حاصل از جریان اسلامپ در جدول (۹) آورده شده است. با توجه به نتایج آزمایشات و تعریف راهنمای EFNARC [۲۳] مشاهده می شود که RA0 با دارا بودن جریان اسلامپ ۷۷۵ mm در رده بتن SF3، RA25، RA50 و RA75 با دارا بودن جریان اسلامپ در بازه ۶۶۰-۷۵۰ mm در رده بتن SF2 و RA100 با دارا بودن جریان اسلامپ ۶۰۵ mm در رده بتن SF1 قرار می گیرد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش مقدار سنگدانه بازیافتی در بتن مقدار اسلامپ کاهش می یابد و این روند کاهشی تا ۷۵ درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی به صورت ناچیز می باشد ولی با ۱۰۰ درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی کاهش اسلامپ به صورت چشم گیری مشاهده می شود. کم ترین کاهش جریان اسلامپ در RA25 و بیشترین کاهش جریان اسلامپ در RA100 که به ترتیب برابر ۳،۲٪ و ۲۱،۹٪ نسبت به نمونه شاهد می باشد و همانطور که مشاهده می شود RA50 و RA75 رفتار مشابهی در کاهش جریان اسلامپ از خود نشان داده اند. از آنجایی که سنگدانه های طبیعی به صورت گرد گوشه و سنگدانه های بازیافتی به صورت تیز گوشه می باشند و درصد آب به مواد سیمانی در تمام طرح ها ثابت می باشد و با توجه به اینکه مقدار آب مورد نیاز سنگدانه های تیز گوشه بیشتر از سنگدانه های گرد گوشه می باشد و همچنین گرد گوشه بودن سنگدانه ها موجب می شود تا سنگدانه ها راحت روی هم بلغزند بنابراین با افزایش مقدار سنگدانه های تیز گوشه اسلامپ نیز کاهش می یابد. در سال ۲۰۱۵ Carro-López و همکاران [۸] نیز به نتیجه مشابه رسیده اند که با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی (بتن بازیافتی) اسلامپ کاهش یافته است که تا ۵۰ درصد جایگزینی تغییرات زیاد نیست و تا ۲۰ درصد اسلامپ مشابه بتن مرجع می باشد لازم به ذکر است که از سنگدانه بازیافتی به عنوان ریزدانه استفاده شده است. در سال ۲۰۱۶ Güneyisi و همکاران [۱۴] نیز به بررسی خواص رئولوژی بتن تازه خود متراکم حاوی درشت دانه (CRCA) و ریزدانه (FRCA) بتن بازیافتی پرداختند که جریان اسلامپ با افزایش درصد جایگزینی کاهش یافته است. در سال ۲۰۱۶ بررسی دوام بتن خودمتراکم ساخته شده با سنگدانه بتن بازیافتی و مواد افزودنی معدنی توسط kanish Kapoor و همکاران [۱۱] انجام گرفت که در این مطالعه نیز با افزایش درصد سنگدانه بازیافتی (بتن بازیافتی) اسلامپ کاهش یافته است لازم به ذکر است که از سنگدانه بازیافتی به عنوان درشت دانه استفاده شده است.

جدول ۹: نتایج حاصل از آزمایشات برای جریان اسلامپ.

اسلامپ (mm)	نام نمونه
۷۷۵	RA0
۷۵۰	RA25
۷۱۰	RA50
۷۰۰	RA75
۶۰۵	RA100

۳-۲- مقاومت فشاری

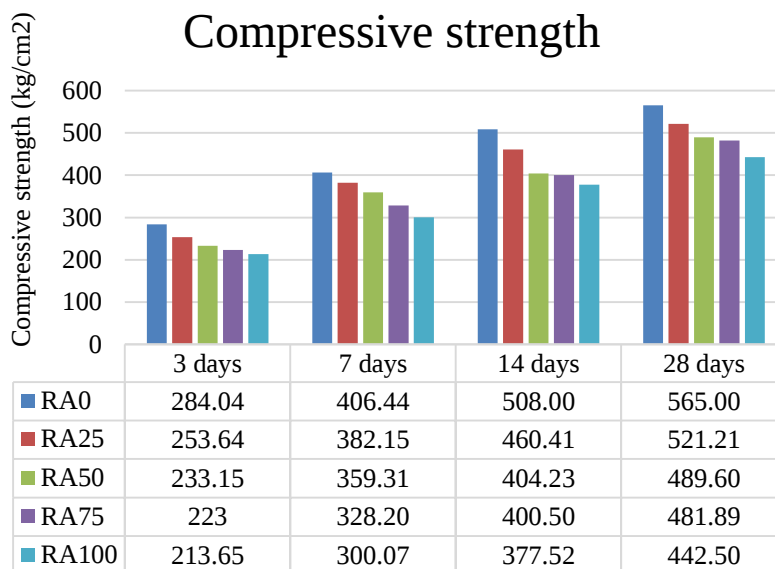
نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری در جدول (۱۰) مشاهده می شود. همان طور که مشاهده می شود مقاومت فشاری با افزایش سن نمونه افزایش یافته است و با افزایش درصد کاشی شکسته بازیافتی مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. کاهش مقاومت در نمونه RA100 در تمام سنین تقریباً یکسان و حدود ۲۵٪ کاهش مقاومت در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان داده است. کاهش مقاومت در نمونه RA75 تا سن ۱۴ روز حدود ۲۰٪ و در سن ۲۸ روز حدود ۱۴٪ در مقایسه با نمونه شاهد،



مشاهده شده است. در نمونه RA50 تا سن ۱۴ روز حدود ۱۵٪ کاهش مقاومت در مقایسه با نمونه شاهد و در سن ۲۸ روز ۱۳٪ کاهش مقاومت در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شده است. نمونه RA25 تا سن ۱۴ روز حدود ۹٪ کاهش مقاومت و در سن ۲۸ روز ۷٪ کاهش مقاومت در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان داده است.

جدول ۱۰: نتایج حاصل از مقاومت فشاری.

mix description	Compressive strength (kg/cm ²) 3 days	Compressive strength (kg/cm ²) 7 days	Compressive strength (kg/cm ²) 14 days	Compressive strength (kg/cm ²) 28 days
RA0	284/04	406/44	508/00	565/00
RA25	253/64	382/15	460/41	521/21
RA50	233/15	359/31	404/23	489/60
RA75	223	328/20	400/50	481/89
RA100	213/65	300/07	377/52	442/50



شکل ۷: مقادیر مقاومت فشاری در سنین مختلف بر حسب درصد‌های مختلف کاشی شکسته بازیافتی.

همان طور که در شکل (۷) مشاهده می شود در تمام سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز بیشترین مقاومت در RA0 و کم ترین مقاومت در RA100 مشاهده می شود. افت مقاومت با افزایش درصد سنگدانه بازیافتی جایگزین سنگدانه طبیعی، در سنین پایین تر بیشتر از سنین بالاتر می باشد یعنی بیشترین کاهش مقاومت در سن ۳ روز و کمترین کاهش مقاومت در سن ۲۸ روز مشاهده شده است. افزایش مقاومت فشاری نمونه ها تا سن ۲۸ روز ادامه یافته است که بیشترین افزایش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم تا سن ۳ روز می باشد که حدود ۵۰ درصد مقاومت فشاری سن ۲۸ روز را کسب کرده است. افزایش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم تا سن ۷ روز حدود ۷۰ درصد و تا سن ۱۴ روز حدود ۸۵ درصد مقاومت فشاری سن ۲۸ روز می باشد. در حالت کلی در طرح اختلاط یکسان مقاومت فشاری نمونه ساخته شده با سنگدانه تیز گوشه به علت چفت و بست بهتر سنگدانه ها با یکدیگر، بیشتر از سنگدانه



های گرد گوشه می باشد ولی در این مطالعه پس از شکستن نمونه ها زیر جک مقاومت فشاری مشاهده شده است که شکست در نقاطی که کاشی وجود داشته است اتفاق افتاده است لذا با افزایش مقدار کاشی شکسته شده افت مقاومت فشاری افزایش می یابد. در سال ۲۰۱۵ بررسی رئولوژی بتن خودمتراکم با جایگزینی ریزدانه بتن بازیافتی توسط Carro-López و همکاران [۸] انجام گرفت که نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که با ۱۰۰٪ جایگزینی، مقاومت ۲۸ روزه ۴۸٪ کاهش می یابد اگرچه با ۲۰٪ جایگزینی ۹٪ کاهش در مقاومت فشاری داریم. Kanish Kapoor و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۶ به بررسی دوام بتن خودمتراکم ساخته شده با سنگدانه بتن بازیافتی و مواد افزودنی معدنی پرداختند که مقاومت فشاری ۲۸ روزه زمانی که ۱۰۰٪ سنگدانه طبیعی جایگزین سنگدانه بازیافتی (بتن بازیافتی) شده است ۱۳٪ کاهش می یابد البته لازم به ذکر است که فقط درشت دانه جایگزین شده است و از مواد معدنی برای جبران کاهش مقاومت فشاری حاصل از جایگزین سنگدانه بازیافتی استفاده شده است. در سال ۲۰۱۶ بررسی مقاومت کربناته و الکتیریک بتن خود متراکم ساخته شده با سنگدانه بتن بازیافتی درشت دانه و متاکائولین توسط Navdeep Singh [۱۲] انجام گرفت. که نتایج حاصل نشان می دهد مقاومت فشاری با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه کاهش یافته است. در سال ۲۰۱۶ بررسی خواص مکانیکی بتن با استفاده از ضایعات سرامیک به عنوان درشت دانه توسط Anderson [۱۳] انجام گرفت. مقاومت فشاری با افزایش درصد ضایعات کاشی کف و دیوار جایگزین سنگدانه طبیعی کاهش یافته است ولی مقاومت فشاری با استفاده از ضایعات سرامیک افزایش یافته است.

۳-۳- جذب آب مویینه

میزان آب جذب شده در واحد سطح در زمان های ۱، ۳، ۲۴ و ۷۲ ساعت بر حسب gr/cm^2 در روزهای ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز عمل آوری برای طرح اختلاط های RA0، RA25، RA75 و RA100 در جدول (۱۱) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود میزان آب جذب شده در واحد سطح با گذشت زمان افزایش یافته است که بیشترین مقدار در زمان ۷۲ ساعت و کمترین مقدار آن در زمان ۱ ساعت می باشد به طور مثال در سن ۳ روز در طرح RA0 بیشترین مقدار در $i_{72}=0.304$ و کم ترین مقدار در $i_{135}=0.135$ مشاهده شده است این روند در تمام سنین نمونه ها و در تمام درصدهای جایگزینی کاشی شکسته با سنگدانه طبیعی مشاهده می شود.

جدول ۱۱ نتایج حاصل از آزمایش جذب آب مویینه بر حسب میزان آب جذب شده در واحد سطح در زمان های مختلف.

نام نمونه	سن (روز)	$i_1 (\text{gr/cm}^2)$	$i_3 (\text{gr/cm}^2)$	$i_{24} (\text{gr/cm}^2)$	$i_{72} (\text{gr/cm}^2)$
RA0	3	0.135	0.180	0.257	0.304
RA25	3	0.084	0.123	0.208	0.250
RA50	3	0.078	0.123	0.187	0.236
RA75	3	0.073	0.106	0.172	0.215
RA100	3	0.069	0.101	0.165	0.202
RA0	7	0.107	0.148	0.233	0.285
RA25	7	0.066	0.094	0.135	0.187
RA50	7	0.064	0.089	0.127	0.175
RA75	7	0.060	0.082	0.116	0.140
RA100	7	0.057	0.078	0.106	0.117
RA0	14	0.103	0.138	0.215	0.259
RA25	14	0.070	0.103	0.168	0.215
RA50	14	0.066	0.101	0.157	0.191
RA75	14	0.061	0.086	0.142	0.176



RA100	14	0.060	0.082	0.137	0.172
RA0	28	0.100	0.128	0.177	0.225
RA25	28	0.074	0.091	0.149	0.050
RA50	28	0.067	0.085	0.139	0.067
RA75	28	0.058	0.075	0.119	0.103
RA100	28	0.050	0.067	0.090	0.115

معادله خط برازش شده برای نقاط عمق معادل نفوذ آب بر حسب مجذور زمان و ضریب جذب آب موئینه S (شیب خط برازش شده) و ثابت جذب آب موئینه C (عرض از مبدا خط برازش شده) در جدول (۱۲) قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می شود ضریب جذب آب موئینه در تمام طرح اختلاط ها با افزایش زمان عمل آوری کاهش می یابد به طور مثال در RA0 ضریب جذب آب موئینه در سن ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب 0.0305، 0.0298، 0.0267، 0.0222 می باشد که روند نزولی آن مشهود می باشد و به همین ترتیب ثابت جذب آب موئینه نیز در تمام طرح اختلاط ها با افزایش زمان عمل آوری کاهش می یابد به طور مثال در RA0 ضریب جذب آب موئینه در سن ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب 0.0772، 0.0586، 0.0568، 0.0546 می باشد این روند در تمام طرح ها و در تمام سنین عمل آوری قابل مشاهده می باشد. همچنین میزان آب جذب شده در واحد سطح در زمان های ۱، ۳، ۲۴ و ۷۲ ساعت با افزایش درصد کاشی شکسته در تمام سنین عمل آوری کاهش می یابد به طور در سن ۳ روز i1 برای RA0، RA25، RA75 و RA100 به ترتیب برابر ۰/۱۳۵، ۰/۰۸۴، ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۳ و ۰/۰۶۹ می باشد که روند کاهشی آن قابل مشاهده می باشد این روند در i3، i24 و i72 در تمام سنین عمل آوری قابل مشاهده می باشد. بیشترین ضریب جذب آب موئینه در سن ۳ روز و برای طرح RA0 و کم ترین ضریب جذب آب موئینه در سن ۲۸ روز و برای طرح RA100 می باشد. در هر یک از سن های عمل آوری درصد کاهش آب جذب شده در واحد سطح در زمان های مختلف نسبت به نمونه شاهد با افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی افزایش می یابد و به طور کلی در یک سن عمل آوری درصد کاهش آب جذب شده در واحد سطح با گذشت زمان کاهش می یابد. بیشترین درصد کاهش آب جذب شده در واحد سطح در RA100 و کم ترین درصد کاهش آب جذب شده در واحد سطح در طرح RA25 مشاهده می شود. در هر یک از سنین عمل آوری با گذشت زمان مقدار آب جذب شده در واحد سطح افزایش می یابد که این امر بدیهی می باشد زیرا هرچه نمونه مدت طولانی تری داخل آب قرارگیرد آب بیشتری جذب خواهد کرد که در نتیجه، مقدار آب جذب شده در واحد سطح نیز افزایش می یابد. در این مطالعه در طرح اختلاط ها تمام درصدها ثابت می باشد جز جنس سنگدانه ها - سنگدانه های طبیعی جایگزین کاشی شکسته شده می شود - و با توجه به اینکه درصد جذب سنگدانه های کاشی شکسته کم تر از سنگدانه های طبیعی می باشد با افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی ضریب جذب آب موئینه کاهش می یابد. با توجه به اینکه عمل هیدراتاسیون بتن با گذشت زمان کاهش می یابد بتن در سنین پایین تر تمایل به جذب آب بیشتری برای تکمیل فرآیند هیدراتاسیون دارد به همین علت ضریب جذب آب موئینه در سنین پایین تر بیشتر می باشد. در سال ۲۰۱۵ بررسی رئولوژی بتن خودمتراکم با جایگزینی ریزدانه بتن بازیافتی توسط Carro-López و همکاران [۸] انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد جذب آب موئینه با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی (بتن بازیافتی) افزایش یافته است لازم به ذکر است که جذب آب سنگدانه های بازیافتی بیشتر از سنگدانه های طبیعی می باشد. kanish Kapoor و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۶ به بررسی دوام بتن خودمتراکم ساخته شده با سنگدانه بتن بازیافتی و مواد افزودنی پرداختند که طبق نتایج حاصل از آزمایشات با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی درشت دانه (بتن بازیافتی) جذب آب موئینه افزایش یافته است.



جدول ۱۲: معادله خط برازش شده برای نقاط عمق معادل نفوذ آب بر حسب مجذور زمان و ضریب جذب آب موئینه S و ثابت جذب آب موئینه C.

نام نمونه	سن (روز)	معادله خط برازش شده	S (cm/hr ^{0.5})	C (cm)
RA0	3	$y = 0/0305x + 0/0772$	0/0305	0/0772
RA25	3	$y = 0/0269x + 0/0464$	0/0269	0/0464
RA50	3	$y = 0/0249x + 0/0444$	0/0249	0/0444
RA75	3	$y = 0/0229x + 0/0395$	0/0229	0/0395
RA100	3	$y = 0/0216x + 0/0379$	0/0216	0/0379
RA0	7	$y = 0/0298x + 0/0586$	0/0298	0/0586
RA25	7	$y = 0/023x + 0/0373$	0/023	0/0373
RA50	7	$y = 0/0202x + 0/0381$	0/0202	0/0381
RA75	7	$y = 0/0188x + 0/0326$	0/0188	0/0326
RA100	7	$y = 0/0183x + 0/0313$	0/0183	0/0313
RA0	14	$y = 0/0267x + 0/0568$	0/0267	0/0568
RA25	14	$y = 0/0192x + 0/0345$	0/0192	0/0345
RA50	14	$y = 0/0179x + 0/0334$	0/0179	0/0334
RA75	14	$y = 0/0141x + 0/0343$	0/0141	0/0343
RA100	14	$y = 0/0114x + 0/0348$	0/0114	0/0348
RA0	28	$y = 0/0222x + 0/0546$	0/0222	0/0546
RA25	28	$y = 0/0169x + 0/0392$	0/0169	0/0392
RA50	28	$y = 0/0165x + 0/0368$	0/0165	0/0368
RA75	28	$y = 0/0139x + 0/0324$	0/0139	0/0324
RA100	28	$y = 0/0113x + 0/0278$	0/0113	0/0278

۳-۴- چگالی

چگالی نمونه های سخت شده در جدول (۱۳) قابل مشاهده می باشد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش مقدار سنگدانه های بازیافتی چگالی نمونه ها کاهش می یابد. بیشترین مقدار کاهش در چگالی نمونه ها در RA100 برابر ۱۵٪ و کمترین مقدار کاهش در نمونه RA25 برابر ۹٫۷٪ مشاهده شده است. با توجه به این که چگالی کاشی شکسته کمتر از سنگدانه های طبیعی می باشد لذا با افزایش درصد کاشی شکسته وزن مخصوص نیز کاهش می یابد. در سال ۲۰۱۵ استفاده از بلوک های بتنی کف با سنگدانه آجر و کاشی شکسته توسط Ivana Milicevic و همکاران [۹] انجام گرفت که نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد استفاده از آجر و کاشی شکسته شده حدود ۱۵٪ چگالی را نسبت به بتن ساخته شده با سنگدانه طبیعی کاهش می دهد.

جدول ۱۳ چگالی نمونه های سخت شده.

نام نمونه	چگالی (kg/m ³)
RA0	2385
RA25	2197
RA50	2169
RA75	2152
RA100	2027



۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه با توجه به آزمایشات نتایج زیر حاصل می شود:

۱- در آزمایش جریان اسلامپ بتن خودمتراکم، افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه های طبیعی موجب کاهش جریان اسلامپ می شود که نشان دهنده افزایش لزجت بتن می باشد. بیشترین مقدار جریان اسلامپ در نمونه شاهد مشاهده شده است که مقدار آن ۷۷۵ میلی متر می باشد. تا ۷۵٪ جایگزینی ۹٫۷٪ کاهش جریان اسلامپ و با افزایش درصد جایگزینی تا ۱۰۰٪ کاهش جریان اسلامپ به ۲۱٫۹٪ می رسد. تغییرات جریان اسلامپ تا ۷۵٪ جایگزینی کم و با افزایش آن به ۱۰۰٪ قابل ملاحظه می باشد.

۲- در آزمایش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم، افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه های طبیعی موجب کاهش مقاومت فشاری می شود. افت مقاومت با افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی، در سنین پایین تر بیشتر از سنین بالاتر می باشد یعنی بیشترین کاهش مقاومت در سن ۳ روز و کمترین کاهش مقاومت در سن ۲۸ روز مشاهده شده است. افزایش مقاومت فشاری نمونه ها تا سن ۲۸ روز ادامه یافته است که بیشترین افزایش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم تا سن ۳ روز می باشد که حدود ۵۰ درصد مقاومت فشاری سن ۲۸ روز را کسب کرده است. افزایش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم تا سن ۷ روز حدود ۷۰ درصد و تا سن ۱۴ روز حدود ۸۵ درصد مقاومت فشاری سن ۲۸ روز می باشد. در تمام سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز بیشترین مقاومت در نمونه شاهد و کم ترین مقاومت در نمونه با ۱۰۰٪ درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی مشاهده می شود.

۳- در آزمایش جذب آب موئینه میزان آب جذب شده در واحد سطح در زمان های ۱، ۳، ۲۴ و ۷۲ ساعت با افزایش درصد کاشی شکسته در تمام سنین عمل آوری کاهش می یابد. در هر یک از سنین عمل آوری با گذشت زمان مقدار آب جذب شده در واحد سطح افزایش می یابد و درصد کاهش آب جذب شده در واحد سطح در زمان های مختلف نسبت به نمونه شاهد با افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی افزایش می یابد. ضریب جذب آب موئینه در تمام طرح اختلاط ها با افزایش زمان عمل آوری کاهش می یابد.

۴- وزن مخصوص نمونه های سخت شده با افزایش درصد کاشی شکسته جایگزین سنگدانه طبیعی کاهش می باید که کم ترین مقدار وزن مخصوص در RA100 برابر 2027 Kg/m^3 که ۱۵٪ نسبت به نمونه شاهد کم تر می باشد.

۵- مراجع

- ۱- رمضانپور ع، کاظمیان ع، ۱۳۹۲، بتن خودتراکم، فناوری و کاربرد، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- 2-Herbudiman, B., Saptaji, A. M., 2013, **Self-compacting concrete with recycled traditional roof tile powder**, Procedia Engineering.
- 3-Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., Çelik, A. G., 2014, **Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability**, Journal of cleaner production, Vol.4, pp.24-36.
- 4- Tennich, M., Kallel, A., Ouezdou, M. B., 2015, **Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes**, Construction and building materials, Vol.4, pp.52-66.
- 5- Kumar, B. V., Ananthan, H., and Balaji, K. V., 2017, **Experimental studies on utilization of coarse and finer fractions of recycled concrete aggregates in self compacting concrete mixes**, Journal of Building Engineering, Vol.5, pp.65-78.



- 6- González-Taboada, I., González-Fontebao, B., Pérez-Ordóñez, J. L. and Eiras-López, J., 2017, **Prediction of self-compacting recycled concrete mechanical properties using vibrated recycled concrete experience**, Construction and Building Materials, Vol.3, pp.12-21.
- 7- Elçi, H., 2016, **Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production**, Journal of Cleaner Production, Vol.6, pp.80-92.
- 8- Carro-López, D., González-Fontebao, B., de Brito, J., Martínez-Abella, F., González-Taboada, I. and Silva, P., 2015, **Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates**, Construction and Building Materials, Vol.7, pp.30-45
- 9- Miličević, I., Bjegović, D., and Siddique, R., 2015, **Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricks and tiles aggregate**, Construction and Building materials, Vol.3, pp.72-85
- 10- Ghafoori, N., Spitek, R., and Najimi, M., 2016, **Influence of limestone size and content on transport properties of self-consolidating concrete**, Construction and Building Materials, Vol.3, pp.70-85
- 11- Kapoor, K., Singh, S. P. and Singh, B., 2016, **Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures**, Construction and Building Materials, Vol.1, pp.50-63.
- 12- Singh, N. and Singh, S. P., 2016, **Carbonation and electrical resistance of self compacting concrete made with recycled concrete aggregates and metakaolin**, Construction and Building Materials, Vol.3, pp.45-56
- 13- Anderson, D. J., Smith, S. T. and Au, F. T., 2016, **Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate**, Construction and Building Materials, Vol.5, pp.60-72.
- 14- Güneyisi, E., Gesoglu, M. and Algin, Z., 2016, **Rheological and fresh properties of self-compacting concretes containing coarse and fine recycled concrete aggregates**, Construction and Building Materials, Vol.3, pp.81-93
- 15- Señas, L., Priano, C., and Marfil, S., 2016, **Influence of recycled aggregates on properties of self-consolidating concretes**, Construction and Building Materials, Vol.3, 20-35.
- 16-Tennich, M., Ouezdou, M. B. and Kallel, A., 2017, **Behavior of self-compacting concrete made with marble and tile wastes exposed to external sulfate attack**, Construction and Building Materials, Vol.1, pp.30-42.
- 17- Vikan, H., and Justnes, H., 2003, **Influence of silica fume on rheology of cement paste**, International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. RILEM Publications SARL.
- 18-ASTM C494-13, 2013, **Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**, Book of ASTM Standards.
- 19-ASTM, C. 1984, **Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates**, Book of ASTM Standards
- 20- ASTM, 2012, **Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate**, Annual Book of ASTM (American Society of Testing Material) Standards, 04.02. ASTM International West Conshohocken, PA, 2012.



21- ASTM C 127, 2012, **Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate**, Annual Book of ASTM (American Society of Testing Material) Standards, 04.02. ASTM International West Conshohocken, PA, 2012

۲۲- شکرچی زاده م، لیبرن، ماهوتیان م، مهدی پور، ۱۳۸۵، تأثیر دانه بندی سنگدانه بر خواص بتن خود تراکم تازه و سخت شده، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، تهران، دانشگاه تهران، انستیتومصالح دانشکده فنی.

23- BIBM, CEMBUREAU, and EFCA ERMCO., 2005, **e EFNARC, The European Guidelines for Self Compacting Concrete.**

24- Rilem, T. C., 1994, **CPC 11.2 Absorption of water by concrete by capillarity**, RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials, pp. 34-35.

25- ASTM C39., 2001, **Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens**, ASTM International.

26- BS 116, 1983, **Testing Concrete-Part 116: Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes**, British Standard.