

بررسی تاثیر دانه بندی سنگدانه های معادن مختلف استان البرز بر خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم

سعید بزرگمهرنیا*، لیلا اکبری نسب^۲

۱- مدیر تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران . saeed.bozorgmehr@gmail.com

۲- کارشناس ارشد تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران. leila.akbarinasab67@gmail.com

چکیده:

در سالهای اخیر بتن خودتراکم کاربرد گسترده ای در سازه های بتنی مسلح با شرایط قالب بندی سخت پیدا کرده است. برای چنین کاربردهایی، بتن تازه بایستی از قابلیت جریان و چسبندگی بالایی برای جلوگیری از انواع جداشدگی برخوردار باشد سنگدانه ها می توانند در خواص مورد نیاز بتن خودتراکم به نحو موثری تاثیر بگذارند. یکی از مهمترین عوامل موثر در کیفیت بتن خود تراکم، نوع دانه بندی و جنس مصالح سنگی آن می باشد که باید در هر منطقه ای با توجه به شرایط منطقه مورد شناسایی قرار گیرد. اندازه و شکل مصالح سنگی و نسبت سنگدانه های درشت به ریزدانه ها به طور مستقیم بر قابلیت جریان و عبور کنندگی بتن خودتراکم اثر میگذارد به طوری که دانه های کوچکتر و کروی تر باعث کاهش احتمال قفل شدگی و افزایش قابلیت جریان می شوند. از سوی دیگر نقش یکپارچگی و توزیع خوب ریزدانه ها در دانه بندی را نباید فراموش کرد به گونه ای که در روش های طراحی اختلاط از ماسه های ترکیبی برای ایجاد یک منحنی مناسب استفاده شود. در این مطالعه سعی شده خصوصیات ده معدن شن و ماسه استان البرز به دقت مورد سنجش و ارزیابی قرارگیرد تا شناخت بهتری نسبت به منابع سنگی استان حاصل گردد. در این مطالعه ده طرح اختلاط با مصالح معادن مختلف با نسبت آب به سیمان ثابت ۰٫۳۵ و با عیار سیمان ۴۲۵ کیلوگرم مورد مقایسه قرارگرفتند. نتایج بدست آمده درزمینه بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم، که خود شامل بررسی نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی (شکافت)، مقاومت خمشی با ساخت نمونه های مکعبی ، استوانه ای و منشوری پرداخته می شود و نقاط ضعف و قوت هر یک از سنگدانه های معادن مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که با گردگوشه تر شدن ریزدانه و شکسته تر شدن درشت دانه خصوصیات مکانیکی بتن بهبود می یابد.

واژه های کلیدی: بتن خود تراکم ، مصالح سنگی استان البرز، خواص مکانیکی بتن خودتراکم

۱. مقدمه

بتن خودتراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. [۱]. تعیین نسبت مواد بتن خودتراکم، به دلیل الزامات مختلف برای حصول اطمینان از خصوصیات عالی جاری شدن و خواص مکانیکی مطلوب، پیچیده است. سنگدانه ها در بتن خود تراکم تقریباً $\frac{3}{4}$ حجم آنرا تشکیل می دهند از اینرو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگدانه ها نه تنها در مقاومت بتن خود تراکم بسیار موثرند، بلکه دوام و پایداری بتن خود تراکم نیز تا حد زیادی تحت تاثیر این ماده قرار می گیرد. دانه های سنگی معمولاً بوسیله هوازدگی و فرسایش و یا بطور مصنوعی با خرد کردن سنگ های مادر تشکیل می شوند. بنابراین بسیاری از خواص سنگدانه ها نظیر ترکیبات شیمیایی و کانی های تشکیل دهنده، طبقه بندی و مشخصات از نظر سنگ شناسی، توده ویژه، سختی، مقاومت، پایداری فیزیکی و شیمیایی، تخلخل، رنگ خواص دیگر بستگی به خصوصیات سنگ مادر دارد. علاوه بر این خواص دیگری در سنگ ها وجود دارد که در سنگ مادر نیست مثلاً شکل دانه ها و اندازه آنها، بافت سطحی و جذب از این خواص می باشند. تمامی این خواص تاثیرات قابل ملاحظه ای بر روی کیفیت بتن خود تراکم تازه و سخت شده خواهند داشت [۲]. Su و همکاران یک روش ساده طرح اختلاط بتن خودتراکم را پیشنهاد دادند. در این روش ابتدا مقادیر سنگدانه های ریز و درشت مشخص می شود سپس میزان خمیر سیمان لازم جهت پر کردن منافذ باقیمانده و ایجاد خواص مطلوب بتن تازه محاسبه می شود. در این روش مقدار خمیر سیمان پیشنهادی به طور متوسط، چیزی در حدود ۳۸۰ لیتر در یک مترمکعب بتن خواهد شد [۳]. Hung و Hwang روشی را برای طراحی مخلوط بتن خودتراکم پیشنهاد داده است. در این روش ابتدا ترکیبات مختلف سنگدانه های ریز و درشت جهت دستیابی به متراکم ترین حالت تهیه و مطابق استاندارد ASTM C29 متراکم میشود. پس از تعیین متراکم ترین ترکیب سنگدانه ها، حجم خمیر سیمان لازم جهت پر کردن منافذ و ایجاد خواص مطلوب بتن تازه محاسبه می شود. در این روش مقدار خمیر پیشنهادی به طور متوسط ۳۶۰ لیتر در یک متر مکعب بتن خواهد شد [۴]. Bui & Montgomery روشی را به منظور تعیین نسبت های اجزا بتن خودتراکم با حداقل خمیر سیمان پیشنهاد دادند. در این روش ابتدا مقدار خمیر سیمان لازم در بتن خودتراکم از نسبت های مختلف اختلاط تعیین می شود. سپس نمودار حداقل حجم خمیر سیمان لازم در بتن خودتراکم بر مبنای درصد شن به کل سنگدانه رسم می شود. در مرحله بعد برای تعیین نسبت اجزای مختلف بتن خودتراکم مطلوب، این نمودارها به عنوان راهنما استفاده می شود. براساس این روش، همواره در یک درصد مشخص شن به کل سنگدانه، مقدار خمیر سیمان لازم جهت دستیابی به یک بتن خودتراکم حداقل است [۵].

۱.۱. مواد مضر سنگدانه ها : مواد مضر سنگدانه ها عموماً ناخالصیهایی هستند که ممکن است در فعل و انفعالات و هیدراتاسیون سیمان تاثیر بگذارند و یا به صورت پوششی از ایجاد چسبندگی بین دانه ها و خمیر سیمان جلوگیری کنند. پاره ای از این پارامترها به قرار ذیل می باشند [۶]:

- ❖ ناخالصی های مواد آلی
- ❖ رس و ذرات بسیار ریز
- ❖ ناخالصی های نمکی

۱.۲. خصوصیات بتن خود تراکم و ارتباط آن با سنگدانه ها

خود متراکم شونده مستلزم ارضای وظایف زیر برای بتن تازه می باشد:

۱.۲.۱. قابلیت پرکنندگی

عبارتست از توانایی بتن خود تراکم در جاری شدن و پر کردن تمام فضاهای درون قالب تحت اثر وزن خودش. توانایی تغییر شکل بتن رابطه نزدیکی با قابلیت شکل پذیری خمیر دارد که با محدود کردن مقدار ریزدانه نسبت به پودر (ذرات کوچکتر از ۰.۱۲۵ میلیمتر) و نیز استفاده از فوق روان کننده افزایش می یابد.

۱.۲.۲. قابلیت عبور

در مواقعی که در قالب ها با بازشوهای تنگ و باریک و یا با تراکم زیاد آرماتور مواجه هستیم نیاز به ارضای الزام دیگری می باشد تا از انسداد سنگدانه های درشت در دهانه های باریک جلوگیری شود. برای این منظور مقدار درشت دانه باید به اندازه ای باشد که تک تک دانه ها به طور کامل در مخلوط ملات غوطه ور باشند تا امکان حرکت مناسب مخلوط معلق سنگدانه ها و خمیر سیمان فراهم گردد.

۳.۲.۱. قابلیت پایداری

به توانایی بتن خود تراکم در همگن ماندن ترکیباتش اطلاق می گردد. برای جلوگیری از جدا شدگی مهم ترین مسئله رئولوژی خمیر سیمان و ساختار دانه ها و اندازه حداکثر دانه می باشد.

۲. برنامه آزمایشگاهی

در این مطالعه سعی شده خصوصیات ده معدن شن و ماسه استان البرز به دقت موردسنجش و ارزیابی قرارگیرد تا شناخت بهتری نسبت به منابع سنگی استان حاصل گردد. هدف از این مقاله بررسی تاثیر سنگدانه در ویژگی ها شامل قابلیت پر کنندگی، قابلیت عبور و قابلیت پایداری است. تغییر مشخصات سنگدانه در یک نسبت آب به سیمان ثابت باعث تغییر کارایی بتن و در نتیجه تغییر تمامی ویژگی های ذکر شده می گردد. به این دلیل برای امکان مقایسه نتایج به دست آمده از طرح های مختلف با یکدیگر نسبت آب به سیمان در تمامی طرح ها در به نحوی تنظیم شده است که مقدار جریان اسلامپ در تمامی طرح ها در محدوده ۶۵ تا ۷۰ سانتیمتر می باشد. به این ترتیب با ثابت نگه داشتن قابلیت پر کنندگی تمامی بتن های ساخته شده، تاثیر خصوصیات سنگدانه بر قابلیت عبور و قابلیت پایداری بررسی می گردد. در این مطالعه جهت بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم، که خود شامل بررسی نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی (شکافت)، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته است، با ساخت نمونه های مکعبی، استوانه ای و منشوری پرداخته می شود و نقاط ضعف و قوت آن را در سه گروه مورد بحث قرار خواهیم داد:

(۱) استفاده از مصالح سنگی معادن بدون شستشو و اصلاح دانه بندی در یک طرح اختلاط ثابت (G1)؛

(۲) استفاده از مصالح سنگی معادن پس از شستشو و بدون اصلاح دانه بندی در همان طرح (G2)؛

(۳) استفاده از مصالح سنگی معادن پس از شستشو و اصلاح دانه بندی مطابق استاندارد ISIRI 302 در همان طرح اختلاط (G3).

۴) ۱.۲. مشخصات مصالح مصرفی

برای عمل آوری بتن خود تراکم و ساخت نمونه ها، از آب موجود در شبکه آبرسانی شهری استفاده شده است. **سیمان:** سیمان بکار رفته در این تحقیقات نوع سیمان پرتلند تیپ I - 425 تولید کارخانه سیمان سپاهان می باشد. دارای وزن مخصوص ۳۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و ترکیبات شیمیایی عناصر و اکسیدهای موجود سیمان پرتلند تیپ I-425 در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول(۱): مشخصات شیمیایی و درصد ترکیبات سیمان

ترکیبات	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
سیمان	۲۳/۲۷	۳/۰۶	۶/۲۱	۶۴/۰۷	۲/۹۶	۰/۲۷	۱/۹۶

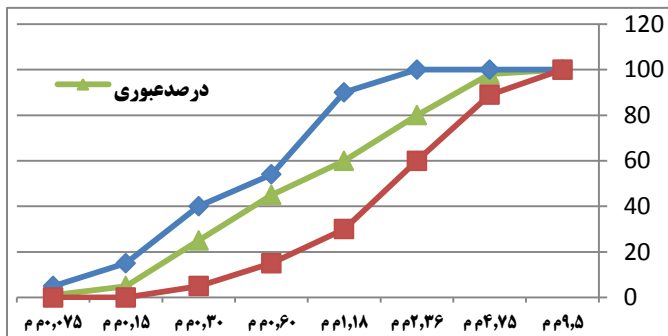
۱.۱.۲. **ماسه:** بدلیل اینکه ماسه از دانه بندی استاندارد برخوردار نبودند لذا با استفاده از نمودار های مربوط به استاندارد ملی ایران جهت تعیین اختلاط مناسب ماسه با درصد ترکیبات متفاوت، درصد بهینه اختلاط انواع ماسه برای بدست آوردن دانه بندی مناسب و استاندارد محاسبه گردید. وزن مخصوص ظاهری درون اشباع با سطح خشک و مدول نرمی ماسه مخلوط برای کلیه معادن در جدول (۲) ارائه شده است. نمودار های مربوط به دانه بندی ماسه نیز در نمودار (۱) نشان داده شده است.

جدول(۲): مشخصات ماسه معادن

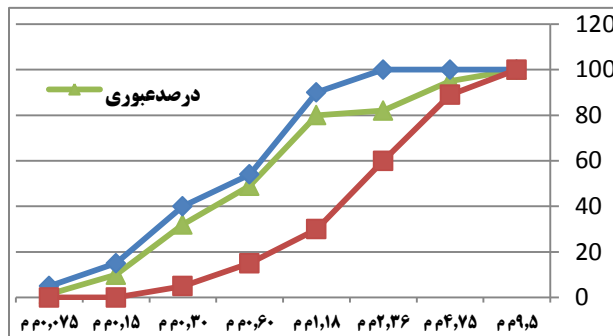
نام معدن										مشخصات
M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
۲/۶۹	۲/۷۰	۲/۷۰	۲/۷۲	۲/۶۶	۲/۶۵	۲/۶۸	۲/۶۵	۲/۶۸	۲/۷	وزن مخصوص ظاهری (SSD)

۳/۵۲	۳/۶۸	۳/۶۰	۳/۸۶	۳/۲۹	۳/۲۶	۳/۳۵	۳/۲۵	۳/۴۶	۳/۷۹	مدول نرمی
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----------

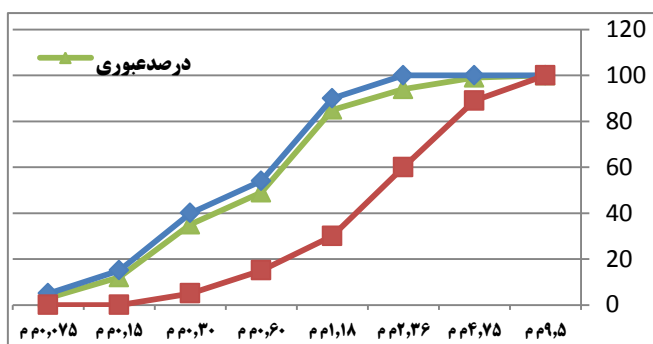
نمودار (۱) - دانه بندی ماسه معادن



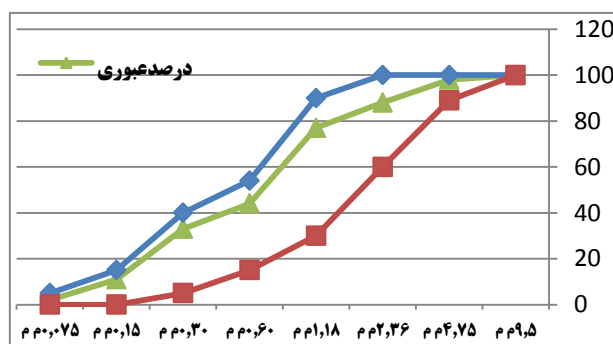
M1



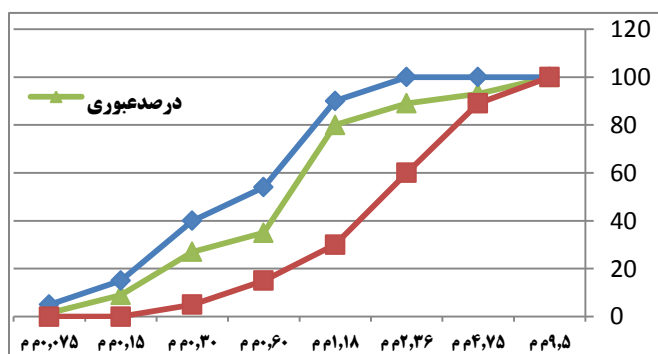
M2



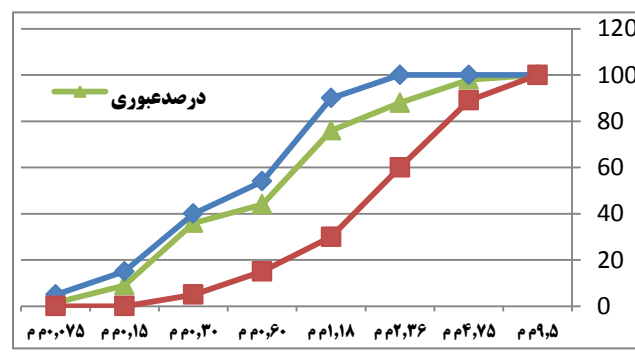
M3



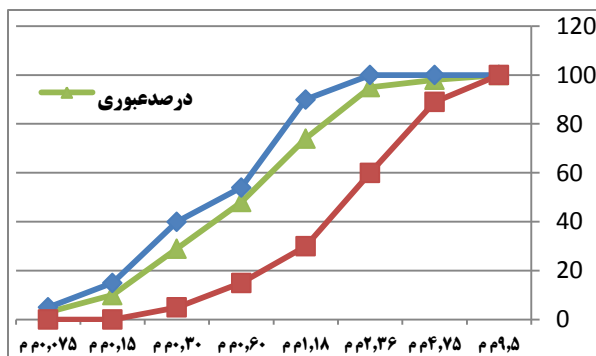
M4



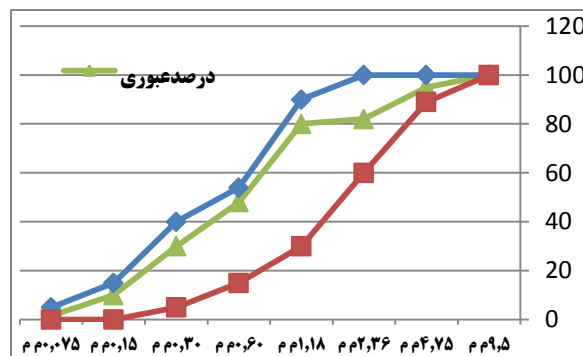
M5



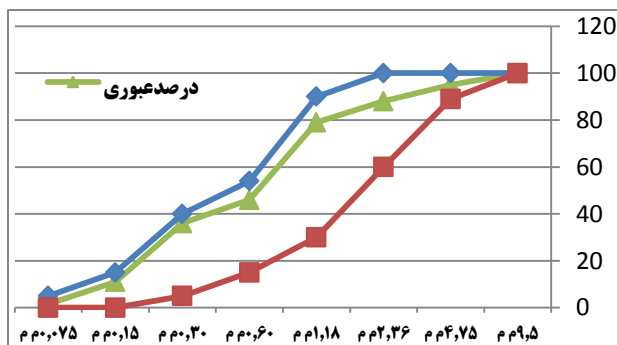
M6



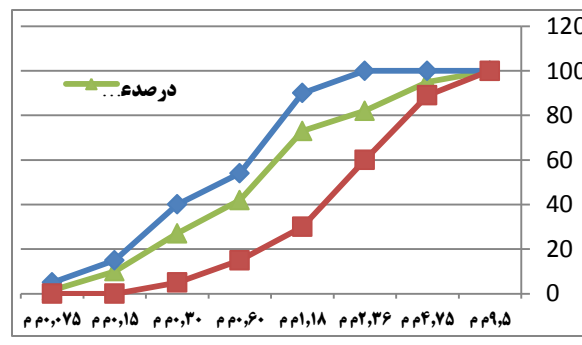
M7



M8



M9



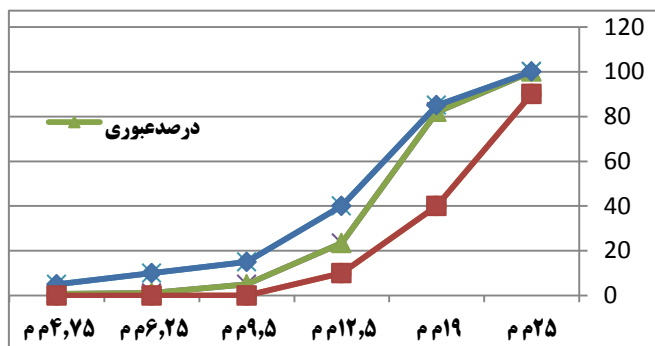
M10

۲،۱،۲. شن: شن استخراج شده از کلیه معادن پس از دانه بندی و مطابقت آنها با استاندارد ISIRI 302 مورد استفاده قرار گرفته و کیفیت آن از لحاظ وجود دانه های پولکی، همچنین درصد خاک موجود در آن توسط آزمایشات مربوطه مورد تایید قرار گرفته است و وزن مخصوص ظاهری درون اشباع با سطح خشک و جذب آب شن مخلوط برای کلیه معادن در جدول (۳) ارائه شده است. دانه بندی شن معادن موجود در نمودار (۲) نشان داده شده است [۷].

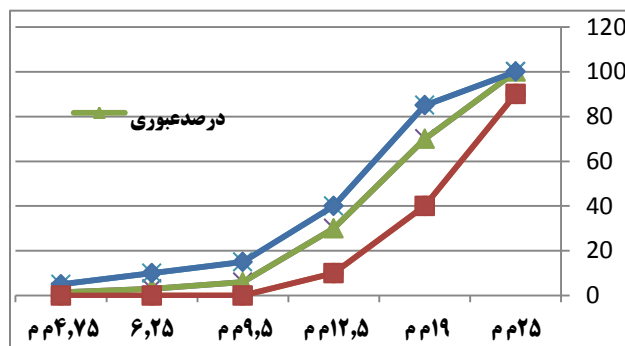
جدول (۳): مشخصات شن معادن

نام معدن										مشخصات
M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
۲/۶۵	۲/۶۳	۲/۶۲	۲/۵۵	۲/۶۶	۲/۶۶	۲/۶۵	۲/۶۸	۲/۶۲	۲/۵۹	وزن مخصوص ظاهری (SSD)
۲/۲۷	۲/۵۰	۲/۲۸	۲/۲۵	۲/۵۳	۲/۸۲	۲/۲۴	۲/۵۴	۲/۵۵	۲/۸۰	جذب آب

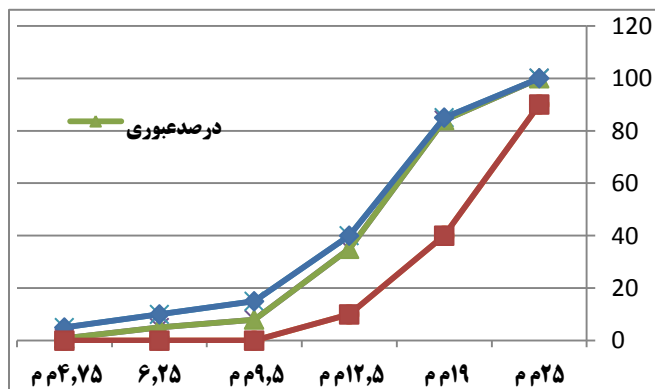
نمودار (۲) - نمودار دانه بندی شن معادن



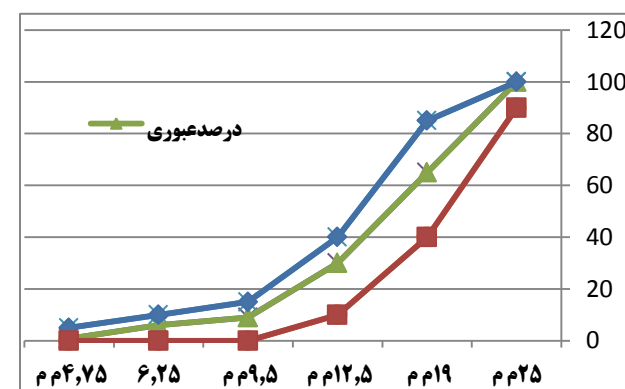
M1



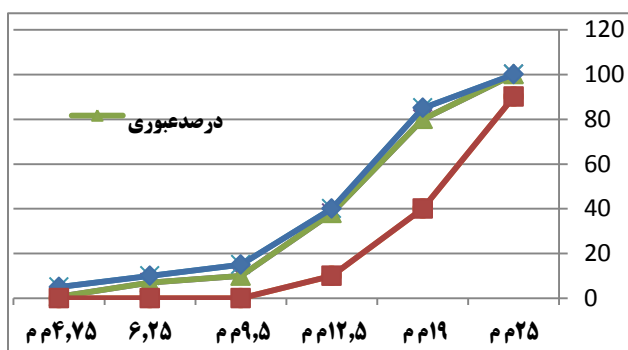
M2



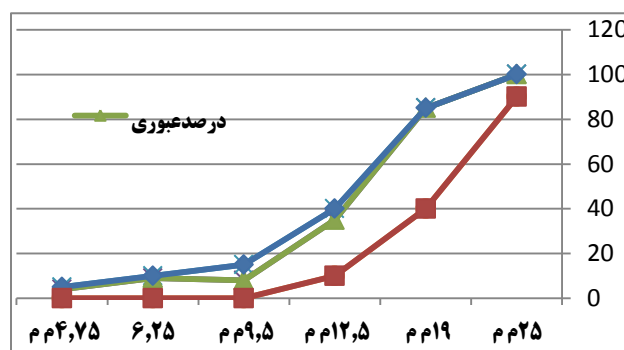
M3



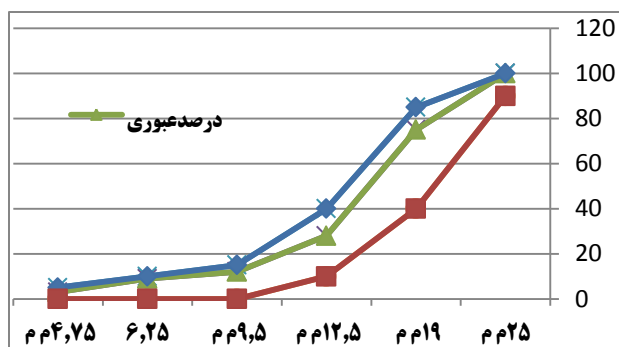
M4



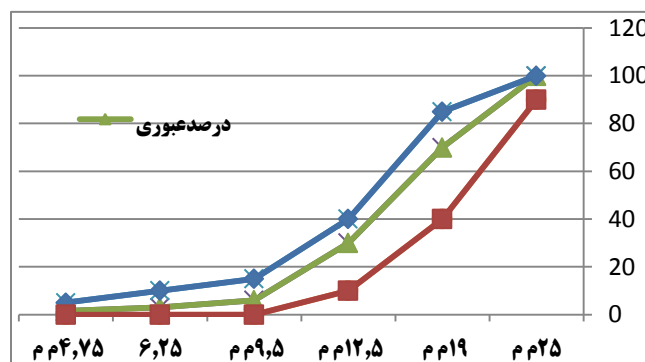
M5



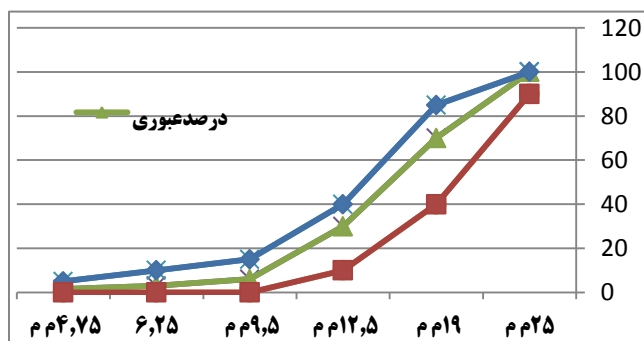
M6



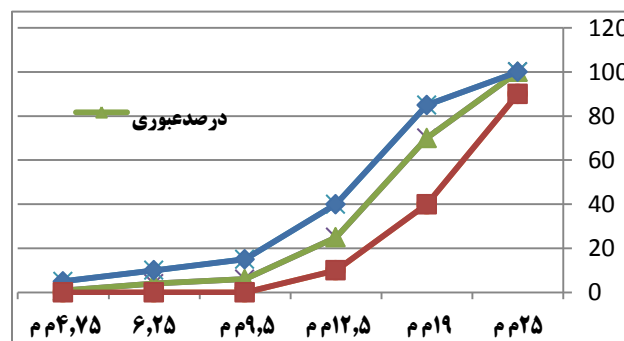
M7



M8



M9



M10

۲.۲. طرح های اختلاط و آماده سازی نمونه ها

برای بدست آوردن بتن خود تراکم با خصوصیات و عملکرد مورد نظر، اولین قدم انتخاب مصالح می باشد. توصیه های عمومی در بتن های خود تراکم، کاهش حجم درشت دانه و افزایش حجم ریزدانه ها است. به این ترتیب همگنی بتن بهبود یافته و احتمال ایجاد ناپایداری در بتن کاهش می یابد. زیرا با افزایش حجم درشت دانه احتمال بروز انسداد افزایش یافته و مقاومت در برابر جداشدگی کاهش می یابد. تعیین نسبت های اختلاط بتن خود تراکم، مرحله ای است که با آن می توان به ترکیب مناسبی از سیمان، سنگدانه ها و آب برای ساخت بتن خود تراکم از طریق مشخصات مربوطه رسید. از این رو برای ساخت بتن خود تراکم در آزمایشگاه از میکسر با ظرفیت ۵۰ لیتر بتن خود تراکم استفاده شده است. در این مطالعه نسبت آب به مصالح سیمانی ۰/۳۵ و عیار مصالح سیمانی ۴۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. همچنین مصالح سنگی به نسبت ۶۵/۳۵ به ترتیب برای شن و ماسه بوده که به ترتیب عیار ماسه ۱۱۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب و عیار شن ۶۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. طرح اختلاط بتن خود تراکم در جدول (۴) نشان داده شده است. جهت انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی (شکافت) و مقاومت خمشی به ترتیب از نمونه های مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی متر، استوانه ای ۱۵*۳۰ سانتی متر و منشوری ۱۵*۱۵*۶۵ سانتی متر استفاده شده است. بعد از قالب گیری بر روی نمونه ها گونی خیس جهت جلوگیری از تبخیر آب موجود به مدت ۱۰ ساعت قرار داده و در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت بر طبق ISIRI 17040 قرار گرفته و تمامی نمونه ها جهت انجام آزمایش های فوق یک روز پس از بتن خود تراکم ریزی و بعد از قالب برداری در آب با درجه حرارت $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ عمل آوری شده اند [۸].

جدول (۴) - طرح اختلاط بتن خود تراکم

طرح اختلاط	سیمان Kg/m ³	میکروسیلیس Kg/m ³	شن Kg/m ³	ماسه Kg/m ³	آب Kg/m ³	فوق روان کننده Kg/m ³	جمع کل Kg/m ³
SCC آپتوس	۴۲۵	۲۵	۶۳۰	۱۱۷۰	۱۳۰	۰,۵٪ وزن سیمان	۲۳۵۵

۳,۲. روان کننده ها در طرح اختلاط بتن

۱,۳,۲. میکرو سیلیس

میکرو سیلیس مصرفی به عنوان پرکننده، از کارخانه صنایع معدنی کانسار تهیه شده است. مشخصات شیمیایی میکرو سیلیس مصرفی در جدول (۵) آورده شده است.

۲,۳,۲. فوق روان کننده

در این طرح از فوق روان کننده P10-3R دیرگیر با پایه کربوکسیلیک اصلاح شده ساخت شرکت شیمی ساختمان استفاده می شود. مشخصات فوق روان کننده ی مصرفی در جدول (۶) مشخص شده است.

جدول (۵) - مشخصات شیمیایی دوده سیلیس

درصد	مشخصات شیمیایی
۹۵/۱	SiO ₂
۰/۴۹	CaO
۱/۳۲	Al ₂ O ₃
۰/۸۷	Fe ₂ O ₃
۰/۹۷	MgO
۰/۱	SO ₃

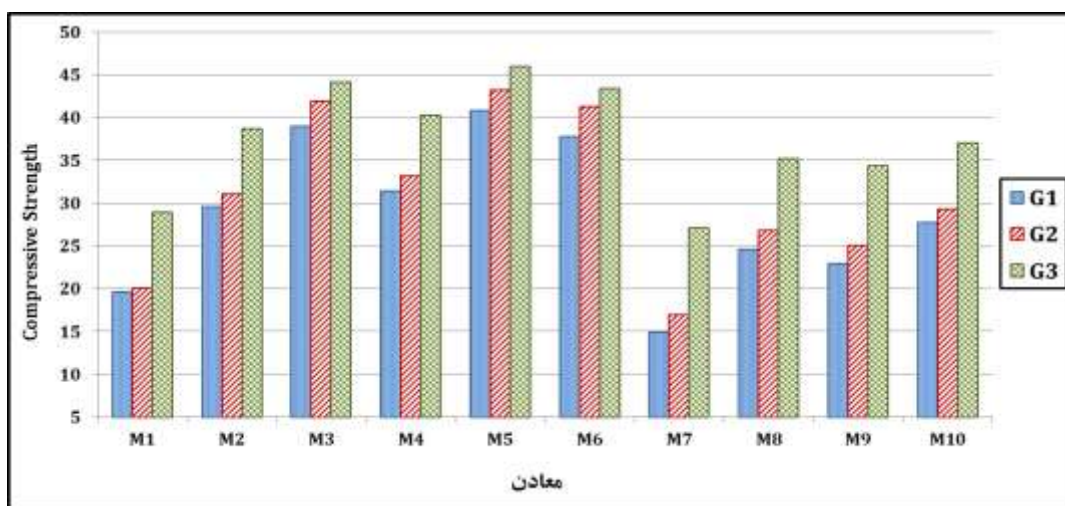
جدول (۶) - مشخصات فوق روان کننده

مشخصات	ساختار
مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ	ظاهر
۱/۰۸ تا ۱/۱ در ۲۰ °C	وزن مخصوص (gr/cm ³)
۶/۹	PH
وجود ندارد	یون کلر
۰/۵ تا ۱ درصد وزنی سیمان	میزان مصرف

۳. نتایج آزمایشگاهی و بررسی آنها

۳.۱. بررسی تغییرات مقاومت فشاری

یکی از مهمترین خواص بتن خود تراکم در بحث تکنولوژی بتن خود تراکم، مقاومت فشاری آن میباشد، معمولاً در کنار آزمایش های مختلفی که بر روی بتن خود تراکم انجام میگردد مقاومت فشاری از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. از مهمترین عوامل تاثیرگذار در مقاومت فشاری بتن خود تراکم؛ نسبت آب به سیمان، کیفیت مصالح سنگی و مقدار مصالح چسباننده می باشد. در اختلاط های این مطالعه نسبت آب به سیمان و مقدار مصالح چسباننده در تمامی مخلوط ها یکسان میباشد، لذا تاثیر این عوامل در تمام بتن خود تراکم ها یکسان بوده و عامل متغیر در این مطالعه کیفیت مصالح سنگی بکار رفته در بتن خود تراکم می باشد. در شکل (۱) تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های بتن خود تراکمی گروه های (G1، G2 و G3) معادن مختلف ارائه گردیده است.

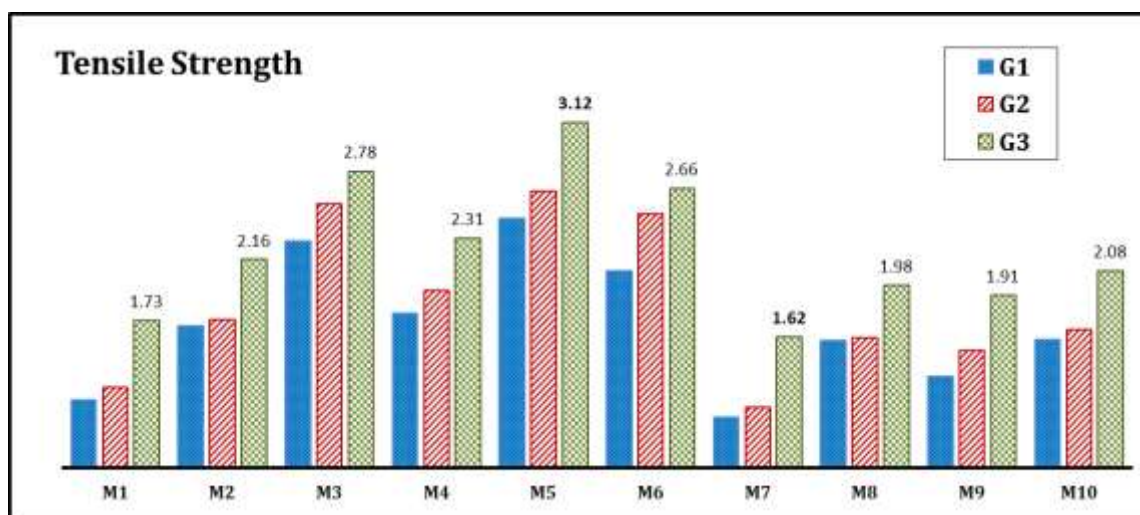


شکل ۱: تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های بتن خود تراکمی گروه های (G1، G2 و G3) معادن مختلف

همانطور که مشاهده می گردد مقاومت فشاری نمونه های گروه (G3) که با اصلاح دانه بندی همراه است برای کلیه معادن ارتقاء یافته است. این افزایش مقاومت برای نمونه های سنگدانه شسته شده (G2) نیز تا حدی دیده می شود که این میزان افزایش چشمگیر نمی باشد. همچنین مشاهده می گردد مقاومت فشاری با اصلاح دانه بندی مصالح بین ۱۲/۷۳ تا ۸۰/۸۷ درصد افزایش می یابد. همچنین ملاحظه می گردد که معدن (M7) دانه بندی نامناسب تری نسبت معادن دیگر داشته همچنین معدن (M5) دانه بندی مناسبی را دارا می باشند.

۳.۲. بررسی تغییرات مقاومت کششی (شکافت)

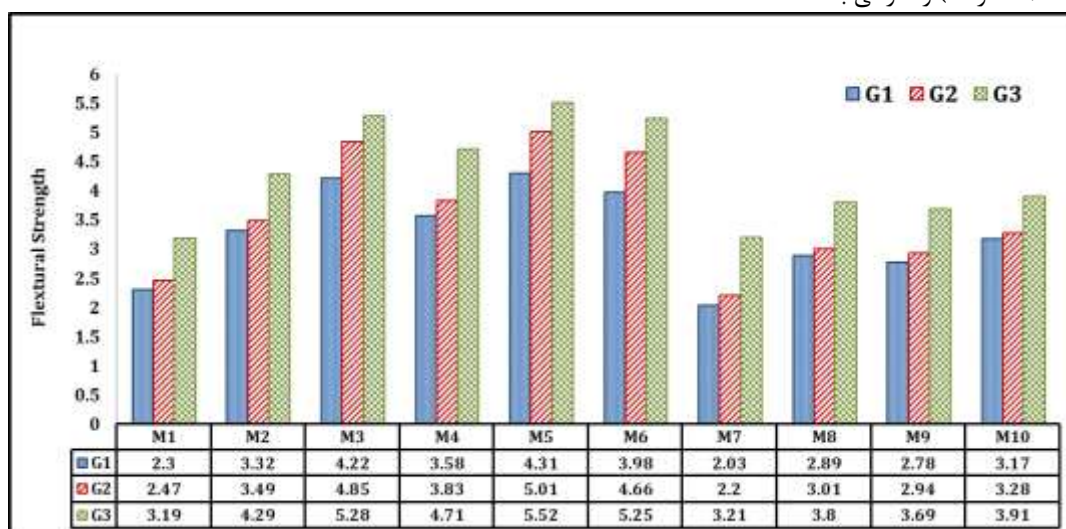
در شکل (۲) تغییرات مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه برای هر سه گروه از مصالح سنگی نشان داده شده است. مطابق با آنچه در ارتباط با مقاومت فشاری نمونه ها ذکر شد، ملاحظه می گردد که با ارتقاء کیفیت سنگدانه نمونه های بتن خود تراکمی، مقاومت کششی آن نیز افزایش می یابد. مطابق شکل زیر تغییرات مقاومت کششی بین ۲۱/۳۹ تا ۵۴/۲۸ درصد در معادن مختلف افزایش را نشان می دهد.



شکل ۲: تغییرات مقاومت کششی نمونه های بتن خود تراکمی هر سه گروه (G1, G2, G3) در سن ۲۸ روزگی

۳.۳. بررسی تغییرات مقاومت خمشی

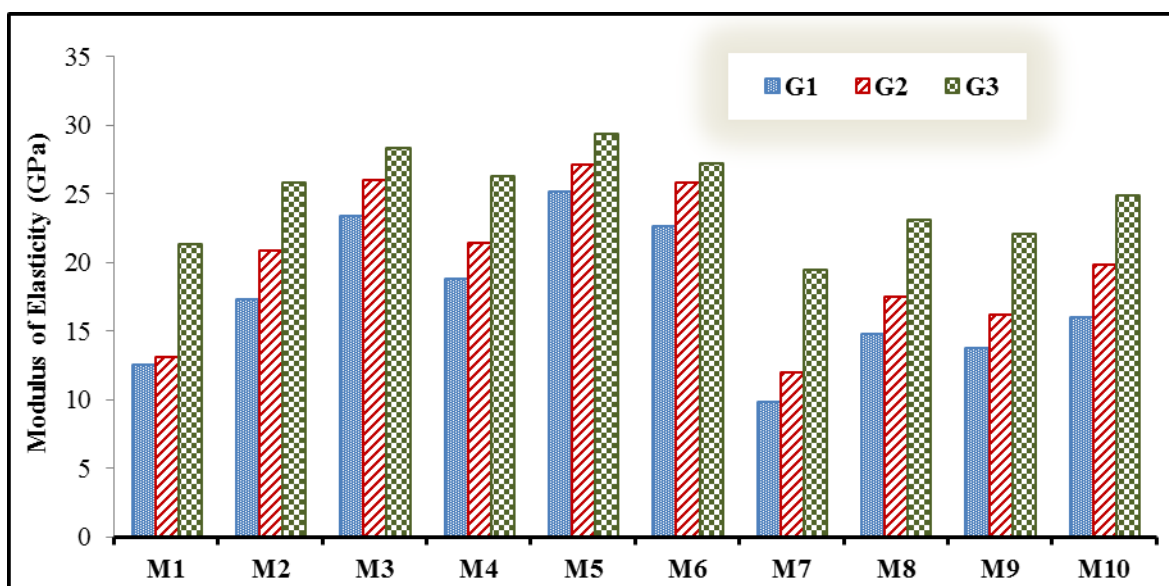
نتایج حاصل از انجام آزمایش مقاومت خمشی (مقاومت کششی ناشی از خمش) بر روی نمونه های هر سه گروه در سن ۲۸ روزه در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می گردد روند افزایش مقاومت خمشی همانند مقاومت فشاری می باشد. همانند آنچه در ارتباط با سایر مشخصه های مکانیکی بتن خود تراکم ذکر شد، مقاومت خمشی نیز با افزایش سن افزایش می یابد به گونه ای در ابتدا رشد افزایش مقاومت خمشی بیشتر بوده و با گذشت زمان کاهش می یابد. همچنین میانگین افزایش مقاومت خمشی بین سنین ۷ و ۲۸ روزه برای بتن خود تراکم های ساخته شده در گروه های (G1, G2, G3) بترتیب ۲۰/۶۶٪، ۲۰/۲۵٪ و ۱۲/۴۵٪ بوده؛ مشاهده می شود که با ارتقاء کیفیت مصالح این پارامتر کاهش یافته است. همچنین با مقایسه مقاومت های گروه های (G1) و (G3) در معادن دهگانه مشاهده می شود که معدن (M7) بیشترین افزایش مقاومت (حدوداً ۶۸/۷۵ درصد) و معدن (M10) کمترین افزایش مقاومت (حدوداً ۲۲/۳۶ درصد) را دارایی باشند.



شکل ۳: تغییرات مقاومت خمشی نمونه های بتن خود تراکمی هر سه گروه (G1, G2, G3) در سن ۲۸ روزگی

۴.۳. بررسی نتایج مدول الاستیسیته

خصوصیات سنگدانه ها بر روی مدول الاستیسیته بتن خود تراکم موثر است. بطوریکه مدول الاستیسیته بتن خود تراکم متأثر از مدول الاستیسیته سنگدانه ها و نسبت حجمی آنها در بتن خود تراکم می باشد. بنابراین هرچه مدول الاستیسیته سنگدانه ها بالاتر باشد، مدول الاستیسیته بتن خود تراکم هم بالاتر خواهد رفت. در شکل (۴) مدول الاستیسیته نمونه های بتن خود تراکمی هر سه گروه (G1، G2 و G3) در سن ۲۸ روزگی نشان داده شده است.



شکل ۴: مدول الاستیسیته نمونه های بتن خود تراکمی هر سه گروه (G1، G2 و G3) در سن ۲۸ روزگی

همانگونه که از روی شکل (۴) بر می آید، با اصلاح دانه بندی در گروه (G3)، مدول الاستیسیته بتن خود تراکم افزایش می یابد. به نحوی که مدول الاستیسیته نمونه های گروه (G3) افزایشی ۸/۷۱ تا ۶۹/۸۸ درصدی در میزان مدول الاستیسیته، نسبت به نمونه های ساخته شده گروه (G1) را از خود نشان می دهند.

۴. نتیجه گیری

- * مقاومت فشاری با اصلاح دانه بندی مصالح بین ۱۳ تا ۶۰ درصد افزایش می یابد. همچنین ملاحظه می گردد که معدن (M5) دانه بندی مناسبی را نسبت به سایر معادن دارا می باشد.
- * با ارتقاء کیفیت سنگدانه نمونه های بتن خود تراکمی، مقاومت کششی افزایش می یابد. که تغییرات مقاومت کششی بین ۲۱ تا ۵۴ درصد، در معادن مختلف افزایش را نشان می دهد.
- * میانگین افزایش مقاومت خمشی بین سنین ۷ و ۲۸ روزه برای بتن خود تراکم های ساخته شده در گروه های (G1، G2 و G3) برترتیب ۲۰/۶۶٪، ۲۰/۲۵٪ و ۱۲/۴۵٪ بوده؛ مشاهده می شود که با ارتقاء کیفیت مصالح این پارامتر کاهش یافته است.
- * بیشترین افزایش مقاومت خمشی برای معدن (M7) (حدوداً ۶۸ درصد) و کمترین افزایش مقاومت خمشی مربوط به معدن (M10) (حدوداً ۲۲ درصد) می باشد.
- * مدول الاستیسیته نمونه های گروه (G3) افزایشی ۸/۷۱ تا ۶۹/۸۸ درصدی را نسبت به نمونه های ساخته شده گروه (G1) را از خود نشان می دهند.

* کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها تأثیر زیادی بر مشخصات رفتار شناسی بتن تازه و مشخصات مکانیکی بتن سخت شده دارد. بنابراین براس ساخت بتن خودتراکم استفاده از سنگدانه های با کیفیت مناسب و خوب دانه بندی شده تأثیر زیادی بر مشخصات رفتاری بتن

تازه خودتراکم خواهد داشت. در مواردی که کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها کاملا مطلوب باشد برای ساخت بتن خود تراکم خواهد داشت. در مواردی که کیفیت و دانه بندی سنگدانه ها کاملا مطلوب باشد برای ساخت بتن خودتراکم به استفاده از مواد پودری و قوام آور نیست.

- * دانه بندی ماسه نسبت به دانه بندی شن بر مشخصات رفتار شناسی بتن خودتراکم تاثیر بیشتری دارد.
- * نمودار کل سنگدانه ها در نهایت به عنوان نمودار دانه بندی انتخاب می شود و خصوصیات بتن خودتراکم تابعی از این نمودار می باشد. چه بسا ممکن است دانه بندی شن و ماسه مناسب نبوده ولی با ترکیب آنها یک نمودار مناسب دانه بندی شکل بگیرد.
- * حجم سنگدانه و اندازه درشت دانه باید به نحوی انتخاب شود که میان ملزومات مورد نیاز بتن سخت شده و بتن تازه تعادل برقرار کند. نسبت شن به ماسه در بتن های خودتراکم تا حدی کمتر از بتن های معمولی است. با کاهش نسبت شن به ماسه قابلیت عبور بتن افزایش یافته و امکان بروز پدیده انسداد کاهش می یابد.
- * به طور کلی چنانچه جنس سنگدانه ها مرغوب و منحنی دانه بندی مطلوب باشد، مصرف سیمان و همچنین مواد قوام آور برای رسیدن به خصوصیات خودتراکمی کاهش یافته و این امر موجب اقتصادی تر شدن ساخت بتن می شود.

۵. مراجع

1. Bartos, P.J.M and Grauers, M., "Self- Compacting Concrete", Concrete, Vol.33, No.4, pp9-14, 1999.
۲. مهتا - مونته نیرو، ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، ترجمه رضانیپور، ع.۱- قدوسی، پ. گنجیان، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، چاپ اول، ۱۳۸۳.
3. Nan Su, Kung- Chung Hsu, His-Wen Chai, "A Simple mix design method for self- compacting concrete", cement and concrete research 31 (2001) 1799-1807.
4. Chao- Lung Hwang, Meng - Feng Hwang, "Durability design and performance of self - consolidating lightweight concrete", construction and building materials, 2005.
۵. ACI COMMITTEE 221, "Guide for Use of Normal Weight Aggregates in concrete", ACI Journal, March/April 1984, pp. 115-39.
۶. نویل، آدام، تکنولوژی بتن خود تراکم، ترجمه علی اکبر رضانیپور و محمد رضا شاه نظری، ۱۳۸۳.
7. استاندارد ملی ایران (شماره ۳۰۲)، سنگدانه های بتن خود تراکم - ویژگی ها، سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۴
۸. استاندارد ملی ایران (شماره ۱۷۰۴۰)، اتاق اختلاط، محفظه رطوبت، اتاق رطوبت و حوضچه های آب مورد استفاده در آزمون سیمان هیدرولیکی و بتن خود تراکم ها - ویژگی ها، سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۲.