

بررسی تاثیر تغییرات مدول نرمی مخلوط سنگدانه بر مشخصات بتن تازه و سخت شده

علی اکبر کفاش بازاری

رئیس آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه کارخانه سیمان تهران

Eliaskafash@gmail.com

چکیده

برای فعالان صنعت بتن واضح است که نقش مصالح سنگدانه‌ای بر مشخصات فنی بتن تازه و سخت شده بسیار مهم می‌باشد. لذا یکی از مهمترین پارامترهای کنترل مصالح سنگدانه‌ای، دانه‌بندی می‌باشد که معمولاً برای شن و ماسه به صورت جداگانه بررسی می‌گردد. اما معمولاً دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها (شن و ماسه) کنترل نمی‌شود. هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای بر مشخصات بتن تازه و سخت شده و فارغ از محدودیت شرایط مصرف بتن بود. لذا مقدار زیادی مصالح سنگدانه‌ای تهیه شد و با سرند نمودن آنها، انواع مخلوط سنگدانه‌های بتن با دانه‌بندی متنوعی فراهم گردید. دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای به گونه‌ای تنظیم گردید تا توان متناظر (n) در رابطه فولر-تامسون اصلاح شده (طرح ملی مخلوط بتن) به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۶۷، ۰/۷۰ و ۰/۸۰ تنظیم گردد که مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی ساخته شده با آنها به ترتیب N35، N50، N60، N67، N70 و N80 نام‌گذاری گردید. علاوه بر تعیین چگالی، مشخصات ظاهری بتن تازه شامل استعداد جداسازی، آب‌انداختگی، کارپذیری، قوام و غیره به صورت توصیفی کنترل گردید. سپس بر روی بتن سخت شده پارامترهای چگالی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، تعیین نفوذپذیری به کمک اندازه‌گیری نرخ/آهنگ جذب آب اولیه، ثانویه و وزنی صورت گرفت. نتایج نشان دادند که عوامل متعددی در به کارگیری بهینه سنگدانه‌های بتن موثرند.

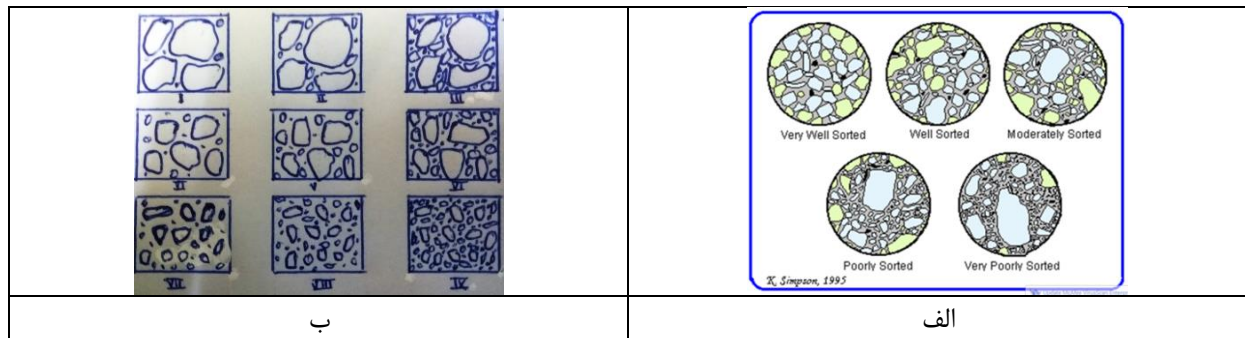
کلمات کلیدی: مدول نرمی، بتن تازه، بتن سخت شده.

۱. مقدمه

واضح است که پارامتر دانه‌بندی، یکی از شاخص‌های مهم کنترل کیفیت مصالح سنگدانه‌ای مصرفی در بتن می‌باشد. لذا بررسی سایر مشخصات سنگدانه‌ها موثر در کیفیت بتن که منابع و مطالب مختلفی برای آنها وجود دارند [۴-۱]، موضوع اصلی این مطالعه نمی‌باشد. منظور دقیق از کنترل دانه‌بندی سنگدانه‌های بتن، حصول اطمینان از بهترین چیدمان دانه‌ها به کمک دسته‌بندی آنها بر حسب اندازه و تعیین سهم هر دسته می‌باشد. برای درک بهتر مفاهیم آرایش دانه‌ها و جوشدگی سنگدانه‌ها شکل ۱ این موضوع را به خوبی تشریح می‌کند. در شکل ۱-الف جوشدگی دانه‌ها به نمایش در آمده است. جوشدگی بسیار خوب معرف آنست که اندازه دانه‌ها بسیار نزدیک به هم بوده و در آزمایش دانه‌بندی همه ذرات فقط بر روی ۱-۲ سرند باقی خواهند ماند. از سوئی دیگر جوشدگی بسیار ضعیف حاکی از وجود تنوع اندازه و طیف وسیعی از دانه‌های بزرگ تا کوچک می‌باشد. به صورت کلی هدف از کنترل دانه‌بندی برای سنگدانه‌های بتن، کسب اطمینان از جوشدگی ضعیف مخلوط سنگدانه‌ها است، زیرا با آرایش مناسب دانه‌ها از خمیر سیمان کمتری استفاده می‌شود؛ می‌دانیم که غالباً استحکام خمیر سیمان سخت شده، به مراتب کمتر از سنگدانه‌ها می‌باشد [۵]. در شکل ۱-ب تعداد ۹ مخلوط سنگدانه بتن به طور شماتیک دیده می‌شود که از پائین به بالا حداکثر اندازه سنگدانه‌ها (MSA^1) آنها بیشتر می‌شود، و از چپ به راست جوشدگی ضعیف‌تر

¹ Maximum Size of Aggregate

می‌گردد. مطابق توضیحات ارائه شده، ستون سمت راست دارای آرایش مناسب‌تری است. باید تاکید شود که مباحث یاد شده فارغ از توجه به کاربرد و کارایی بتن بود. شرط درستی مقایسه‌ها، یکنواختی درصد منافذ و هوای بتن است. در منابع مختلف به اهمیت مطالعه مقطع نازک بتن سخت‌شده تحت نور فلورسنت و تعیین درصد هوای آن اشاره داشته‌اند [۱۰-۶]. برای دستیابی به تراکم یکسان در بتن‌ها با دانه‌بندی متنوع، نیاز به صرف انرژی مختلفی می‌باشد. به نظر می‌رسد در طراحی مخلوط بتن به روش انگلیسی [۱۱] نسبت به روش‌های امریکایی [۱۲] و ملی [۱۳]، توجه زیادی به آرایش سنگدانه‌ها شده است.



شکل ۱- نمایش شماتیک انواع جورشدگی دانه‌ها (الف) و آرایش دانه‌های بتن بر مبنای MSA و جورشدگی

یکی از شاخص‌های دانه‌بندی، کنترل مدول نرمی FM^2 می‌باشد که حدود آن برای سنگدانه ریز در استاندارد ملی [۱۴] اختیاری است. البته این شاخص درک دقیقی از توزیع و آرایش ذرات به ما نشان نمی‌دهد. باید افزود که کاهش FM سنگدانه ریز بتن منجر به افزایش مقاومت می‌گردد. افزایش نرخ کاهش مقاومت بتن به واسطه افزایش FM ناشی از افزایش w/c است [۱۵]. در حقیقت آرایش سنگدانه‌ها (که حدود ۹۰-۷۰٪ بتن را تشکیل می‌دهد) در w/c و بالطبع مقاومت بتن بسیار موثرند. هر چند استفاده از حداکثر اندازه‌های (MSA) کوچک‌تر، مطلوبیت‌های خاصی دارد، اما برای مصرف سیمان کمتر، بهتر است تا حد امکان از حداکثر اندازه‌های بزرگتر بهره‌گیری نمود [۱۶]. افزایش MSA^3 باعث کاهش مصرف سیمان (=صرفه‌جویی اقتصادی) می‌شود و در نتیجه کاهش نسبت حجم خمیر به حجم سنگدانه، کاهش مشکل جمع‌شدگی (Shrinkage) بتن حاصل می‌گردد. افزایش MSA منجر به افزایش مقاومت فشاری بتن نیز می‌شود [۱۷]؛ زیرا با افزایش MSA به علت کاهش سطح تماس سنگدانه‌ها، مصرف آب در بتن کمتر شده و همچنین اثر مقاومت سنگدانه‌ها بر مقاومت بتن بیشتر می‌گردد؛ باید دقت شود که همواره این رابطه در همه بتن‌ها برقرار نبوده و بطور مثال مصرف سنگدانه با MSA کمتر (۱۰ و یا ۵ میلی‌متر) در بتن‌های سبک یا بتن‌های پر مقاومت منتهی به مقاومت‌های بالایی می‌گردد [۲۰-۱۸]. از طرفی دیگر تحقیقات و تجربیات متعددی وجود دارند که نشان می‌دهند کاهش MSA نیز مزایای متعددی دارد [۲۱]. البته در این مطالعه اثر MSA بررسی نشده است، اما مدول نرمی با بزرگ شدن MSA، مشابه درشت بافت شدن سنگدانه‌ها می‌باشد.

به هر حال محققان اثر پیوستگی دانه‌بندی را بر کیفیت بتن نشان نموده‌اند [۲۲-۲۳] و نیز اثبات کرده‌اند که کنترل دانه‌بندی مخلوط بتن به روش ۸-۱۸ بهترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه را نسبت به سایر روش‌ها (امریکائی [۲۴]، انگلیسی [۲۵] و غیره) حاصل می‌نماید؛ اما این روش برای کسب کارایی مطلوب نبود [۲۶]. آنسون (۲۰۱۱) مطالعات بسیار گسترده‌ای بر روی اهمیت دانه‌بندی ترکیبی بهینه برای پایداری بتن انجام داد و بر این مطلب صحه‌گذاری نمود [۲۷-۲۸]. مقایسه فاکتور درشتی (درصد مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر/درصد مانده روی الک ۲/۳۶ میلی‌متر) و فاکتور کارپذیری (درصد عبوری از الک ۲/۳۶

^۲ Fineness Module - مجموع درصد‌های تجمعی مواد مانده روی الک‌های به شماره ۱۰۰، ۵۰، ۳۰، ۱۶، ۸، ۴ و ۹/۵ میلی‌متر، ۱۹، ۳۷/۵ و نیز

الک‌های بزرگتر با افزایش دهانه چشمه به نسبت ۲ به ۱ و تقسیم حاصل جمع بر عدد ۱۰۰.

^۳ در برخورد فرانسوی، فرض می‌شود که مقدار سیمان با ریشه پنجم MSA متناسب باشد که اهمیت این پارامترها را نشان می‌دهد.

میلی‌متر) بر روی نمودار (MDOT) نیز دید مناسبی در این زمینه به ما می‌دهد [۲۹]. باید افزود که با استفاده بهینه از سنگدانه‌های بتن حتی می‌توان در اصلاح الگوی مصرف آب نیز گام برداشت [۳۰].
ساده‌ترین راه بررسی آرایش دانه‌ها پس از ساخت بتن، کنترل دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها به روش شستشوی بتن تازه [۳۱] است. به کمک این روش اطمینان از دانه‌بندی و حتی درصد شکستگی مخلوط سنگدانه‌ها حاصل می‌شود.

۲. برنامه آزمایشگاهی و مواد تحقیق:

سیمان مصرفی در این مطالعه پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان تهران بود. بر روی نمونه سیمان آزمایش‌های فیزیکی، و شیمیایی صورت گرفت (جداول ۱ و ۲).

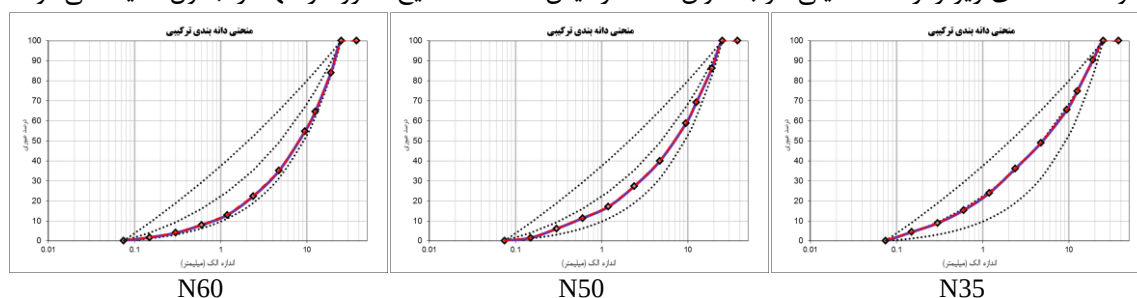
جدول ۱- مشخصات شیمیایی نمونه سیمان‌های مورد استفاده در این پروژه

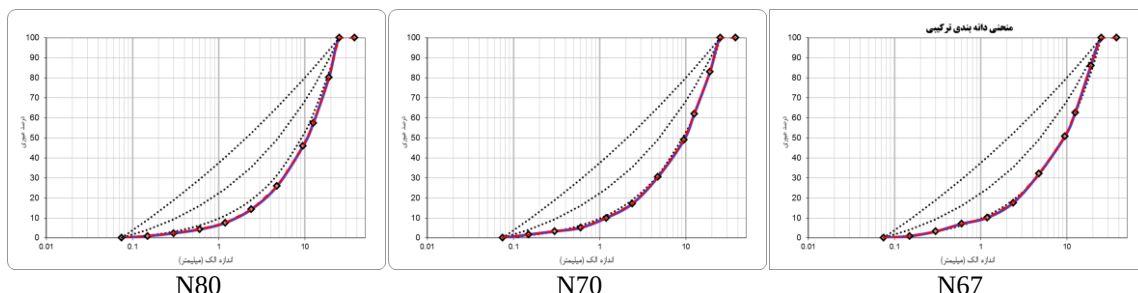
%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%SO ₃	%K ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A
20.94	4.65	3.70	61.68	3.32	1.87	0.64	50.0	22.3	6.1

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نمونه سیمان‌های مورد استفاده در این پروژه

Compressive Strength-Mortar (kg/cm ²)			Setting Time (min)		Retained on sieve (%)			Blaine (cm ² /gr)	Expansion (%)
2 Days	7 Days	28 Days	Initial	Final	90μ	45μ	32μ		
206	350	483	165	235	1.2	9.7	18.0	3085	0.02

غالباً در کارگاه‌های ساخت بتن با سنگدانه MSA:25mm انجام می‌گیرد. مبنای انتخاب MSA برای مصالح سنگدانه‌ای مخلوط بتن‌های آزمایشی در این تحقیق نیز بر همین منوال-مشابه اجرا- بوده است. حجم بسیار زیادی مصالح سنگدانه‌ای از مجتمع پریفاب تهیه شد. مصالح سرند و به ۱۱ دسته: مانده روی سرندهای ۱۹، ۱۲، ۹/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۳، ۰/۱۵، ۰/۰۷۵ میلی‌متر و عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر تفکیک شدند. سپس محاسبات صورت گرفت و با توزین آنها، عنوع مخلوط سنگدانه‌های بتن با دانه‌بندی متنوعی فراهم گردید. دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای به گونه‌ای تنظیم شد تا توان متناظر (n) در رابطه فولر-تامسون (طرح ملی مخلوط بتن [۳۲]) به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۶۷، ۰/۷۰ و ۰/۸۰ تنظیم گردد که مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی ساخته شده با آنها به ترتیب N35، N50، N60، N67، N70 و N80 نام‌گذاری گردید. تاکید می‌شود که در طراحی هر ۶ مخلوط از ۱۱ دسته سنگدانه (همه اندازه‌ها) استفاده شد، اما در هر مخلوط سهم دسته‌ها متفاوت بودند. تلاش زیادی شد تا منحنی دانه‌بندی مصالح کاملاً بر منحنی دانه‌بندی محاسباتی (به کمک رابطه مذکور) منطبق شود. شکل ۳ و جدول ۵ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در این مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه برای محاسبات طرح مخلوط بتن به مشخصات سنگدانه‌ها نیاز است، لذا سنگدانه‌های درشت‌تر از ۴/۷۵ میلی‌متر تجمیع و تحت عنوان شن آزمایش شدند و سنگدانه‌های ریزتر از ۴/۷۵ میلی‌متر با عنوان ماسه آزمایش شدند که نتایج ۲ گروه از آنها در جدول ۵ دیده می‌شود.





شکل ۲- منحنی‌های دانه‌بندی ترکیبی مصالح سنگدانه‌ای مورد استفاده / MSA:25

جدول ۳- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح‌های مخلوط بتنی

نوع مصالح	مدول نرمی (FM)	جذب آب (%)	وزن مخصوص (SSD)	شکستگی (%)	میکرون ۷۵ (%)	عبوری از الک ۷۵ میکرون (%)
شن تولیدی	۷/۵	۱/۶	۲/۵۴	۶۰		۰/۲
ماسه تولیدی	۳/۹	۳/۱	۲/۵۲	*		۲/۹
شن دست‌ساز (N35)	۷/۱	۱/۸	۲/۵۶	۵۰		۰/۹
ماسه دست‌ساز (N35)	۳/۵	۳/۷	۲/۵۵	*		۱/۹
شن دست‌ساز (N67)	۷/۴	۰/۸	۲/۵۵	۵۳		۰/۴
ماسه دست‌ساز (N67)	۴/۲	۲/۲	۲/۵۴	*		۲/۳

در کلیه طرح‌های مخلوط بتنی، آب، سیمان، مقادیر وزنی مصالح و افزودنی‌ها، شرایط فیزیکی همچون دما، ابزار مورد استفاده، آزمون‌گرها، شرایط عمل‌آوری و غیره تا حد امکان ثابت بوده‌اند تا با ایجاد شرایطی یکسان تنها متغیر دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای مصرفی باشد. ۲٪ هوای غیرعمدی برای بتن لحاظ گردید. عیار سیمان مورد استفاده در کلیه طرح‌ها نیز همان نوع پرکاربرد 350 kg/m^3 بود. مبنای تهیه مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی، رسیدن به کارایی مدنظر یعنی اسلامپ 80 ± 5 میلی‌متر می‌باشد؛ لذا برای دستیابی به اسلامپ مدنظر، نسبت $W/C: 0.55$ در طراحی مخلوط بتنی لحاظ شد؛ البته این مقدار با ساخت مخلوط‌های متعددی به دست آمد. واضح است که نسبت W/C در مخلوط‌های بتنی به علت تغییرات دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای، کمی متغیر خواهد بود. از طرفی با توجه به تنوع چگالی و جذب آب سنگدانه‌ها، مقادیر مصرف آنها در ۶ مخلوط متفاوت بودند. بتن تازه تعیین چگالی شد و مشخصات ظاهری بتن تازه شامل استعداد جداسازی، آب‌انداختگی، کارپذیری، قوام و غیره به صورت توصیفی کنترل گردید (شکل ۴). سپس ۱۲ آزمون بتنی برای سنین ۱، ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه (۹ آزمون تعیین مقاومت فشاری و کششی، ۳ آزمون برای تعیین جذب آب) تهیه شدند. بر روی بتن سخت‌شده پارامترهای چگالی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی [۳۳]، تعیین نفوذپذیری به کمک اندازه‌گیری نرخ/آهنگ جذب آب اولیه، ثانویه به روش ISIRI 19895 و وزنی به روش BS 1881: Part 122 : 1983 صورت گرفت. به لحاظ اینکه امکان ایجاد شرایط آماده‌سازی آزمون‌ها در این روش فراهم نبود، با در نظر گرفتن شرایط یکسان برای کلیه نمونه‌های تحت آزمایش از این موضوع صرف‌نظر گردید. همانگونه که در این روش استاندارد ذکر شده، برای آماده‌سازی، آزمون‌ها باید کاملاً اشباع شوند تا آهنگ جذب آب در این شرایط کنترل گردد. محل انجام پروژه آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه مجتمع صنعتی سیمان تهران بود (شکل ۳).



شکل ۳- نماهایی از عملیات آزمایشگاهی (از راست به چپ: تعیین مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نرخ جذب آب)

		
		
N35	N50	N60
		
		
N67	N70	N80

شکل ۴- تهیه مخلوط بتنهای آزمایشگاهی و بررسی ظاهری آنها
 در آخرین مرحله آزمونهائی که تحت تنش فشاری قرار گرفته بودند، بصورت ظاهری بررسی شدند (شکل ۵).



شکل ۵- بررسی ظاهری آزمونه‌های تحت تنش فشاری (به ترتیب از راست به چپ: N35، N50، N60، N67، N70 و N80)

۳. نتایج آزمایشگاهی، بحث و تحلیل:

جدول ۴ مشخصات بتن تازه مخلوط‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. این جدول و شکل ۴ نشان می‌دهد که دانه‌بندی مخلوط سنگدانه اثر مهمی بر مشخصات بتن تازه دارد؛ بطوریکه با ریز شدن مخلوط سنگدانه‌ها، شاخص‌های کارپذیری بتن بلافاصله پس از تولید بسیار بهبود می‌یابد. اما با توجه به سنجش‌های توصیفی-نظری می‌توان گفت که اثر بهبود به صورت موقت می‌باشد و روند افت کارایی به سرعت اتفاق می‌افتد. از سوئی دیگر با درشت شدن مخلوط سنگدانه‌ها تقریباً شاخص‌های کارایی و کارپذیری به شدت نامطلوب می‌گردد. اگر بطور مثال به مخلوط N70 دقت شود، هر چند مقاومت خوبی را تامین می‌کند، اما کارایی این بتن بسیار ضعیف است. علیرغم اینکه برای طراحی دانه‌بندی همه مخلوط‌ها از همه نوع اندازه سنگدانه‌های ۰-۲۵ میلی‌متر استفاده شده بود، اما فقط به علت آرایش دانه‌ها، مشخصات فیزیکی مخلوط‌های بتن متنوع بود.

جدول ۴- مشخصات اولیه مخلوط بتن‌های آزمایشگاهی

وضعیت مخلوط بتن آزمایشگاهی						پارامتر	روش سنجش
N80	N70	N67	N60	N50	N35		
0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	W/C	
8.0	8.0	8.5	8.0	8.5	8.0	اسلامپ (سانتی‌متر)	اندازه‌گیری شده
2.34	2.33	2.34	2.33	2.33	2.335	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	
*	*	**	***	****	****	قوام (اصطلاحاً عسلی بودن و لوز داشتن بتن)	توصیفی-نظری ⁺⁺ (این کنترل صرفاً بصورت تجربی و شهودی انجام گرفته است؛ مخلوط بتنی با هم مقایسه شده‌اند و نسبت به هم ارزیابی گردیده‌اند و ملاک یا شاخص خاصی برای آن تعریف نشده است.)
*	**	**	**	**	*	کارپذیری ^۴ (راحتی در جابجایی بتن و غیره)	
*	**	**	**	**	*	قابلیت پرداخت کاری ^۵ (و ماله‌کشی یا صاف نمودن سطح بتن)	
*	**	**	**	*	*	پمپ‌پذیری ^۶ (بافت ظاهری نرم، کمبود سنگدانه‌های تیز گوشه، درشت و غیره)	
*	*	**	**	***	****	قابلیت تراکم (فشرده‌گی با دست و منسجم شدن بتن)	چسبندگی اجزای بتن به هم و انسجام آن بافت خشن (فرم‌پذیری بد به علت اصطحکاک سنگدانه‌ها با هم) استعداد جداسازی ^۷ (تفکیک خودکار شن، ماسه و خمیره بتن) استعداد جمع‌شدگی (که بسیار کم محسوس است) روند کاهش اسلامپ طی ۱ ساعت زمان گیرش بتن و صعوبت در پرداخت کاری و جابجایی با تاخیر آن استعداد آب‌انداختگی (جمع شدن آب بر روی سطح بتن)
*	*	*	*	**	***	اولیه	
****	****	**	*	*	*	با تاخیر	
****	****	**	*	*	*	اولیه	
*	*	*	*	*	*	با تاخیر	چسبندگی اجزای بتن به هم و انسجام آن بافت خشن (فرم‌پذیری بد به علت اصطحکاک سنگدانه‌ها با هم) استعداد جداسازی ^۷ (تفکیک خودکار شن، ماسه و خمیره بتن) استعداد جمع‌شدگی (که بسیار کم محسوس است) روند کاهش اسلامپ طی ۱ ساعت زمان گیرش بتن و صعوبت در پرداخت کاری و جابجایی با تاخیر آن استعداد آب‌انداختگی (جمع شدن آب بر روی سطح بتن)
****	****	**	*	*	*	اولیه	
****	****	**	*	*	*	با تاخیر	
****	****	**	*	*	*	اولیه	

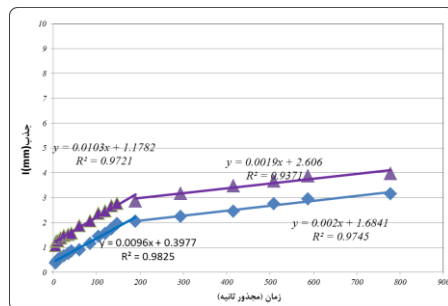
⁺⁺ (*: بسیار کم؛ **: کم؛ ***: متوسط؛ ****: زیاد؛ *****: خیلی زیاد)

نتایج مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی در جدول ۵ و شکل ۶ دیده می‌شود.

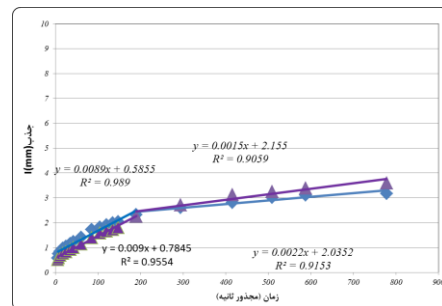
⁴ Workability
⁵ Finishing
⁶ Pump ability
⁷ Segregation

جدول ۵- خلاصه نتایج طرح‌های مخلوط بتن آزمایشگاهی

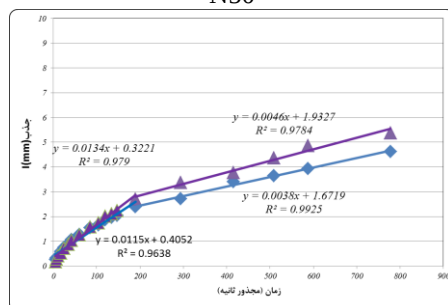
Code	FM (mix)	Hardened Concrete									
		Compressive Strength-(MPa)					Density (gr/cm ³)	Tensile Strength- (MPa)	Water absorption (%)	initial rate of water absorption (mm/√s) (*10-4)	secondary rate of water absorption (mm/√s) (*10-4)
		1 Days	3 Days	7 Days	28 Days	90 Days	28 Days				
N35	5.06	7.6	16.4	21.9	27.3	31.3	2.345	3.8	5.3	90	19
N50	5.51	7.8	16.2	22.4	28.7	30.0	2.34	4.4	6.0	100	20
N60	5.77	7.7	15.4	21.7	29.8	31.7	2.34	4.8	6.8	127	24
N67	5.92	7.5	16.5	22.5	30.6	34.5	2.35	5.0	6.5	125	42
N70	6.00	8.0	16.0	21.6	29.9	31.5	2.34	4.8	7.0	208	66
N80	6.19	7.7	16.3	21.7	30.2	30.9	2.34	5.0	7.0	206	77



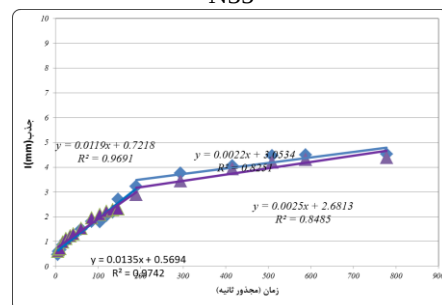
N50



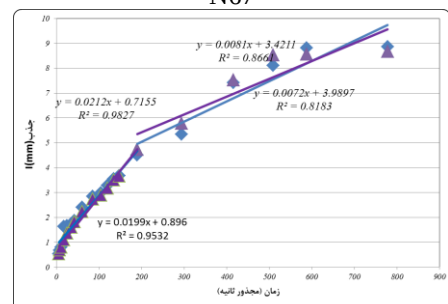
N35



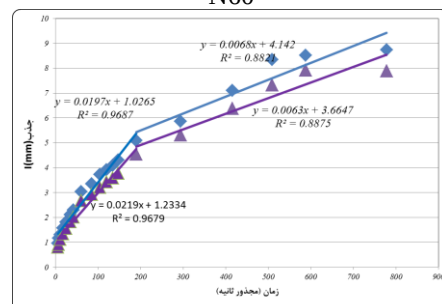
N67



N60



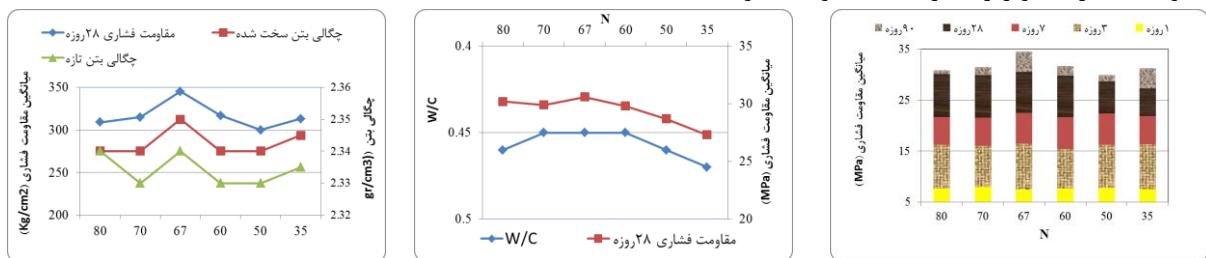
N80



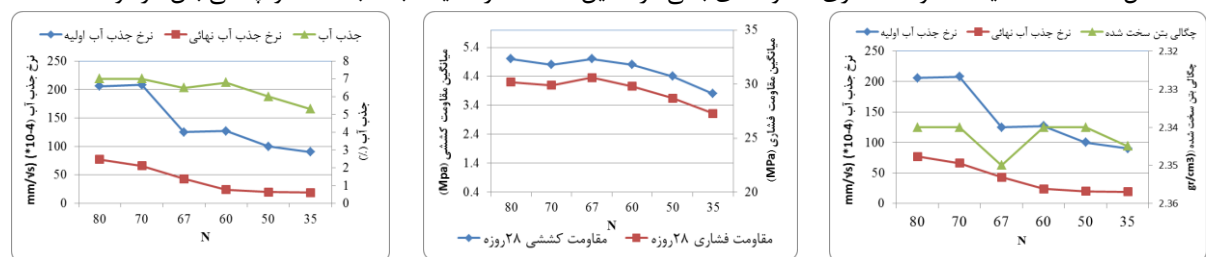
N70

شکل ۶- منحنی‌ها و نتایج آزمایش تعیین نرخ جذب آب مؤثر در مخلوط‌های بتنی

مقایسه نتایج مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی مختلف طی سنین کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۷ روزه) اختلاف اندکی (۰-۶٪) و میانگین (۳٪) نشان می‌دهد. لیکن همانگونه که انتظار می‌رفت، اصلاح دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگدانه‌ای در بهبود مقاومت فشاری اثر داشت؛ بطوریکه میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه (۳ آزمون برای هر مخلوط بتن) در نمونه N67 نسبت به مخلوط N35، ۱۳٪ افزایش یافته است. البته بهبود آرایش سنگدانه‌ها و نیز کاهش نسبت w/c بتن در افزایش چگالی بتن (تازه و سخت‌شده) تاثیر داشت که غالباً هر یک در افزایش مقاومت بتن تاثیر مطلوبی دارند (نمودارهای شکل ۷). کاهش مدول نرمی مخلوط سنگدانه‌ها (به ویژه در مخلوط N35) منجر به بهبود مشخصات مربوطه به کارائی بتن تازه شد؛ و البته آزمون‌های سخت‌شده دارای سطوح صاف و کنج‌های بسیار مناسب و بدون لب‌پریدگی بودند (شکل ۵). مقایسه نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه نیز اختلاف ۳۲٪ مخلوط‌های مذکور را نشان می‌دهد (شکل ۸). نتایج مقاومت فشاری ۹۰ روزه نیز نشان داد که آزمون مخلوط بتن N67 نسبت به آزمون مخلوط N35، ۴٪ افزایش یافته است. در مجموع به نظر می‌رسد که نتایج مقاومتی (فشاری و کششی) حاصل شده برای مخلوط بتنی N67 با مدول نرمی ۵/۹۲ نسبت به سایر مخلوط بهتر است، حال آنکه در مخلوط بتن N80 که درشت‌تر و دارای مدول نرمی ۶/۱۹ می‌باشد، اثر کاهش سطوح سنگدانه برای مصرف آب و کارائی، با تخلخل‌های ایجاد شده خنثی می‌گردد. نتایج آزمایش‌های تعیین نرخ جذب آب (شکل ۶) بطور خلاصه در نمودار شکل ۸ دیده می‌شوند. شاخص‌های دوام (نفوذپذیری بتن، نتایج آزمایش‌های تعیین جذب آب و نرخ جذب آب اولیه و نهائی) در مخلوط‌های بتنی (سنگدانه) درشت‌بافت N70 و N80، بیشترین مقادیر را نشان می‌دهند که نامطلوب است، حال آنکه در مخلوط‌های بتنی ریزبافت N35 و N50 پائین‌ترین نتایج را کسب نموده‌اند؛ چنانکه اختلاف در پارامترهای نرخ جذب آب اولیه و نهائی بین مخلوط‌های درشت و ریز به ترتیب ۵۴٪ و ۷۳٪ بوده است.



شکل ۷- مقایسه مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی در سنین مختلف در مقایسه با نسبت w/c و چگالی بتن تازه و سخت شده



شکل ۸- مقایسه اثر تغییرات دانه‌بندی بر مقاومت کششی ۲۸ روزه، چگالی بتن، جذب آب، نرخ جذب آب اولیه و نهائی

برخی کارشناسان و متولیان در صنعت بتن آماده، تاکید بر درشت‌بافت نمودن مخلوط سنگدانه‌های بتن دارند. استدلال آنها کاهش سطح تماس سنگدانه‌ها (ناحیه انتقال)^۸، کاهش نسبت w/c ، افزایش مقاومت فشاری، افزایش نسبت حجم سنگدانه به خمیر، کاهش مشکلات جمع‌شدگی بتن، کاهش مصرف چسباننده-سیمان، کاهش بهای بتن و تجربیات سدهای بتنی است. از سوئی دیگر برخی دیگر اصرار بر ریزبافت نمودن مخلوط سنگدانه‌های بتن می‌نمایند که ادله آنان عدم کسب کارائی مطلوب در بتن‌های درشت‌بافت، انسجام بهتر در بافت سنگدانه‌های بتن، پیشگیری نسبی از جداسدگی و آب‌انداختگی، پمپ‌پذیری بهتر، تجربیات بسیار متعدد تولید بتن‌های پرمقاومت و کارا (UHPC، HPC) و غیره است. برخی دیگر نیز اصرار زیادی بر حداکثر

⁸ Transition zone

مصرف سنگدانه به کمک آرایش دقیق سنگدانه‌های بتن را دارند. در این مطالعه با تثبیت نمودن جنس سنگدانه‌های بتن، عیار سیمان و کارائی (اسلامپ) و فقط با تغییر دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها به گونه‌ای فرضیه‌های فوق بررسی شدند و اثبات گردید که در شرایط بررسی شده بافت ریز جهت بهبود نفوذناپذیری بتن مطلوب است که البته لازمه آن تراکم مناسب می‌باشد. اما تغییرات مذکور شرایط بتن تازه و سخت شده را دستخوش تغییرات متعددی می‌نماید. بطوریکه کارپذیری بتن ریزبافت بلافاصله پس از تولید مطلوب بوده، اما پس از مدت کوتاهی این شرایط افت می‌نماید. از طرفی دیگر بتن ریزبافت مقاومت فشاری و کششی کمتری نشان داد.

۴. نتیجه‌گیری

۱. در این مطالعه اثر تغییرات دانه‌بندی و آرایش سنگدانه‌های بتن بر شرایط بتن تازه و سخت شده بررسی گردید. نتایج شهودی نشان داد که کارپذیری بتن ریزبافت (N35) بلافاصله پس از مصرف کاملاً مناسب است، اما پس از مدت کوتاهی مشخصات مطلوب افت می‌نماید.
۲. اثر اصلاح دانه‌بندی در مخلوط بتنی N67 نسبت به مخلوط بتنی N35، در نتایج مقاومت کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۷ روزه) چندان نمود نداشت، اما در میان‌مدت (۲۸ روز) ۱۲٪ بهبود را نشان می‌دهد.
۳. با درشت کردن سنگدانه‌های بتن (تا N70) نسبت w/c کاهش و در نتیجه مقاومت افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر با ریزتر کردن سنگدانه‌ها شاخص‌های کارپذیری بسیار بهبود می‌یابد. اما در روند افت شاخص‌های کارائی در مخلوط بتنی ساخته شده با سنگدانه‌های ریز (N35 و N50) سریع می‌باشد.
۴. مقایسه نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه نیز بهبود ۳۲٪ مخلوط N67 نسبت به مخلوط N35 را نشان می‌دهد.
۵. با درشت نمودن سنگدانه‌های مخلوط بتنی (تا N70) تخلخل و نفوذپذیری بتن افزایش می‌یابد. در مخلوط N35 (ریزترین آرایش سنگدانه‌ها در این مطالعه) نسبت به مخلوط بتنی N80 (درشت‌ترین آرایش سنگدانه‌ها در این مقاله) نرخ جذب آب اولیه ۵۶٪، نرخ جذب آب نهائی ۷۵٪ و جذب آب ۲۵٪ افزایش یافت.
۶. مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه، چگالی بتن تازه و سخت‌شده در مخلوط N67 بیشترین مقادیر را نشان داد.

۵. قدردانی

بر خود لازم می‌دانم تشکر و قدردانی ویژه‌ای از مدیران، کارشناسان و تکنسین‌های محترم آزمایشگاه‌های کارخانه سیمان تهران و سایر پرسنل زحماتکش آن کارخانه داشته باشیم.

۶. مراجع

- [1] Neville, A. (1996). "Properties of Concrete". New York: John Wiley & Sons. P108-182.
- [2] Mehta, K. & Menterio, (2006). "Concrete Microstructure, Properties, and Materials." P253-279.
- [3] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete technology". Prentice Hall.
- [۴] کفاش، ع. "بررسی اثر کیفیت مصالح سنگدانه‌ای بر کیفیت بتن". سی‌امین دوره سمینار کنترل کیفیت سیمان-تهران-انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان-۱۸ و ۱۹ مهر ۹۶.
- [۵] معماریان، ح. "زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک". انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۳۷.
- [6] Sewell, R. & Campbell, S. (October 2001). "Petrographic examination of concrete samples".
- [7] Roy, D. & Grutzeck, M. & Scheetz, B. (June 1993). "Concrete Microscopy". SHRP-C-662

- [8] "Preparation of concrete samples formicroscopic examination by buehler."(May 2010).
- [9] Scrivener, K. & College, I. "The microstructure of concrete". Materials science of concrete. p127.
- [10] RILEM TC 268-SIF. (2017). "Surface delamination of concrete industrial floors and other durability-Related aspects guide".
- [11] BRE (Building Research Establishment) (Second edition-1988), "Design of normal concrete mixes".
- [12] ACI 211-1-91 (Reapproved 2002)" Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".
- [۱۳] "روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۶).
- [۱۴] ISIRI 302 (۱۳۹۴). "سنگدانه‌های بتن-ویژگیها"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- [۱۵] یزداندوست، م. یزدانی، م. (۱۳۹۲). "مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مدول نرمی ریزدانه بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن". مجله علمی- پژوهشی «عمران مدرس» دوره سیزدهم، ویژه نامه، بهار ۹۲. ص ۱۷۱.
- [۱۶] تدین، م. (۱۳۹۰) "راهکارهای کاهش مصرف سیمان در کشور". دوره‌های آموزشی پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد.
- [17] Ajamn, S & Ige, J. (January 2015) "Effect of Coarse Aggregate size on the compressive strength and the flexural strength of concrete Beam". S.O.Ajam.Int. Journal of Engineering Research and applications. ISSN 2248-9622. p72.
- [18] Kumar, R. and Rao K. (December 2012). "A study on the effect of size of Aggregate on the strength and sorptivity characteristics of cinder based light weight concrete". Research Journal of engineering sciences. Vol. 1(6), 27-35.ISSN 2278-9472.
- [19] Yaqub, M. and Bukhari, I. (16 - 17 August 2006). "Effect of size of coarse aggregate on compressive strength of high strength concrete". 31st Conference on our world in concrete & structures Singapore.
- [20] Kozul, R. and Darwin, D (June 1997) "Effect of aggregate type, size and content on concrete strength and fracture energy". The national science foundation Research Grants No. MSS-9021066 and CMS-9402563. Structural Engineering and Engineering Materials SM Report No. 43.
- [21] Kumar, A. & Rao, K. "A Study on the Effect of Size of Aggregate on the Strength and Sorptivity Characteristics of Cinder Based Light Weight Concrete". Research Journal of Engineering Sciences. Vol. 1(6), 27-35, December (2012). ISSN 2278 – 9472.
- [22] Obla, K. & Kim, H. & Lobo, C. (). "Effect of Continuous (Well-Graded) Combined Aggregate Grading on Concrete Performance". National Ready Mixed Concrete Association.
- [23] ABDULKAREEM, B. (July, 2012). "OPTIMIZATION OF AGGREGATE GRADATION & CONCRETE MATURITY". Thesis for the Degree of MASTER OF SCIENCE -Bachelor of Civil Engineering in Iraq.
- [24] ASTM C33 (2003) "Standard Specification for Concrete Aggregates."
- [25] BS 882:1992. "Specification for aggregates from natural sources for concrete".
- [26] Ashrafa, T. and Noorb, m. (2011). "Performance-Evaluation of Concrete Properties for Different Combined Aggregate Gradation Approaches". Elsevier Ltd. Procedia Engineering 14 2627–2634. 1877–7058 © 2011.07.330. page 2632.
- [۲۷] قلعه، ک. "نمودار ضریب درشتی، معیاری برای بتن با ترکیب مناسب". فصلنامه کیسون-دوره جدید-شماره ۵۱.

- [28] Anson, M. (2011). "Optimization of Aggregate Gradation Combinations to Improve Concrete Sustainability". A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science-Department of Civil Engineering University of Toronto.
- [29] Wealkes, S. (October 2016). "QA/QC for Local Agencies and Optimized Aggregate Gradations for DM and S2M Concrete Grades". MCA (Michigan Concrete Association) Local Concrete Seminar.
- [۳۰] کفاش، ع. "بررسی تاثیر اصلاح روند مصرف آب در تولید مصالح سنگدانه‌ای و انواع بتن". اولین همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه-شیراز-۱۳۹۳.
- [31] JIS A 1112 (1989) (English), "Method of test for washing analysis of fresh concrete".
- [۳۲] "راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۳۳.
- [33] EN 12390-p6 "Testing Hardened concrete- Part6: Tensile splitting strength of test specimens", p7.

Investigation of the effect of Fineness Module of mix aggregate changes on technical fresh and hardened concrete

Ali Akbar Kafash Bazari

Chief of Laboratory of research and development of Tehran cement Co.

Eliaskafash@gmail.com

Abstract:

It's crystal clear that the role of aggregate is very important in technical fresh and hardened concrete. So grading one of the most important parameters of Controlling Aggregate that is checked for gravel and sand separately. But commonly mix aggregate isn't checked. The goal of the study is the investigation of the effect of grading of aggregate changes on technical fresh and hardened concrete irrespective of the limitation of the conditions of consumption of concrete. Therefore aggregate was prepared and screened to assemble 6 Types of grading aggregate. The grading aggregate was adjusted in a way that corresponding power in Fuller-Thomson formula (in concrete mix design) were adjusted respectively 0.35, 0.50, 0.60, 0.67, 0.70 and 0.80 and they were denominated respectively N35, N50, N60, N67, N70 and N80. In addition to determination of density, external characteristics of concrete mixes were checked descriptively including segregation, bleeding, workability and consolidation. So, parameters like density, Compressive and tensile strength, initial & secondary rate of water absorption, volume water absorption on hardened concrete were measured. The results showed that multiple factors play role in optimum applying aggregate of concrete.

Keywords. Fineness Module, fresh concrete, hardened concrete.
