

بررسی تاثیر تغییرات مدول نرمی مصالح سنگدانه‌ای 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 (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 جداسدگی، آب‌انداختگی، کارپذیری، قوام و غیره به صورت توصیفی کنترل گردید. سپس بر روی بتن سخت‌شده پارامترهای چگالی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، تعیین نفوذپذیری به کمک اندازه‌گیری نرخ/آهنگ جذب آب اولیه، ثانویه و حجمی صورت گرفت. نتایج نشان دادند که عوامل متعددی در به کارگیری بهینه سنگدانه‌های بتن موثرند.

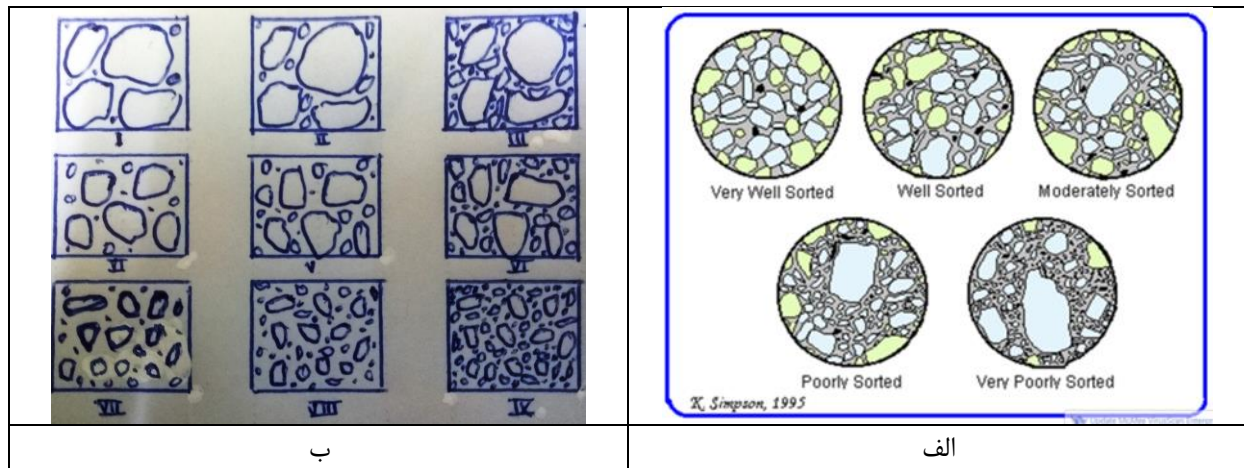
کلمات کلیدی: مدول نرمی، بتن تازه، بتن سخت شده.

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 جورشده‌گی سنگدانه‌ها شکل ۱ این موضوع را به خوبی تشریح می‌کند. در شکل ۱-الف جورشده‌گی دانه‌ها به نمایش در آمده است. جورشده‌گی 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 جورشده‌گی 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 جورشده‌گی 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). 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 جورشده‌گی 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 [۹-۵]. 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 [۱۰] نسبت به روش‌های امریکایی [۱۱] و ملی [۱۲]، 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 [۱۳] 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 [۱۴]. در حقیقت آرایش سنگدانه‌ها (که حدود ۹۰-۷۰٪ بتن را تشکیل می‌دهد) در w/c و بالطبع مقاومت بتن بسیار مؤثرند. 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 [۱۵]. 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 [۱۶]؛ 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 [۱۷-۱۹]. از طرفی دیگر تحقیقات و تجربیات متعددی وجود دارند که نشان می‌دهند کاهش MSA نیز مزایای متعددی دارد [۲۰].

به هر حال محققان اثر پیوستگی دانه‌بندی را بر کیفیت بتن محرز نموده‌اند [۲۱-۲۲] و نیز اثبات کرده‌اند که کنترل دانه‌بندی مخلوط بتن به روش ۸-۱۸ بهترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه را نسبت به سایر روش‌ها (امریکائی [۲۳]، انگلیسی [۲۴] و غیره) حاصل می‌نماید؛ اما این روش برای کسب کارایی مطلوب نبود [۲۵]. آنسون (۲۰۱۱) مطالعات بسیار گسترده‌ای بر روی اهمیت دانه‌بندی ترکیبی بهینه برای پایداری بتن انجام داد و بر این مطلب صحه‌گذاری نمود [۲۶-۲۷]. 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 Finesse 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 [۲۸]. باید افزود که با استفاده بهینه از مصالح سنگدانه‌ای بتن حتی می‌توان در اصلاح الگوی مصرف آب (با توجه به بحران خشکسالی کنونی) نیز گام برداشت [۲۹]. ساده‌ترین راه بررسی آرایش دانه‌ها پس از ساخت بتن، کنترل دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها به روش شستشوی بتن تازه [۳۰] 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).

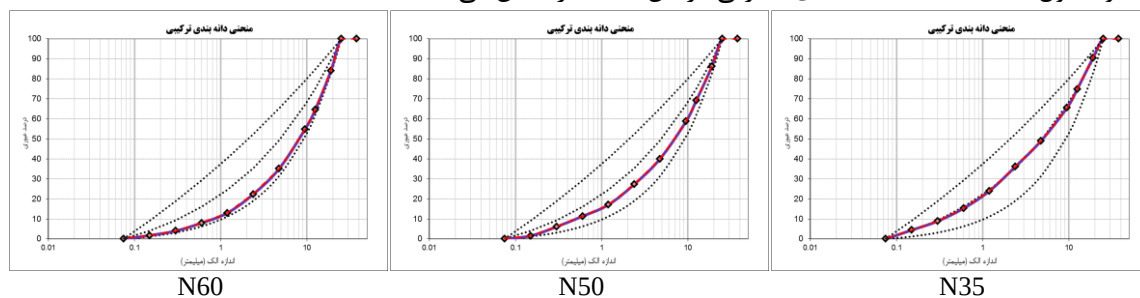
جدول ۱- مشخصات شیمیایی نمونه سیمان‌های مورد استفاده در این پروژه

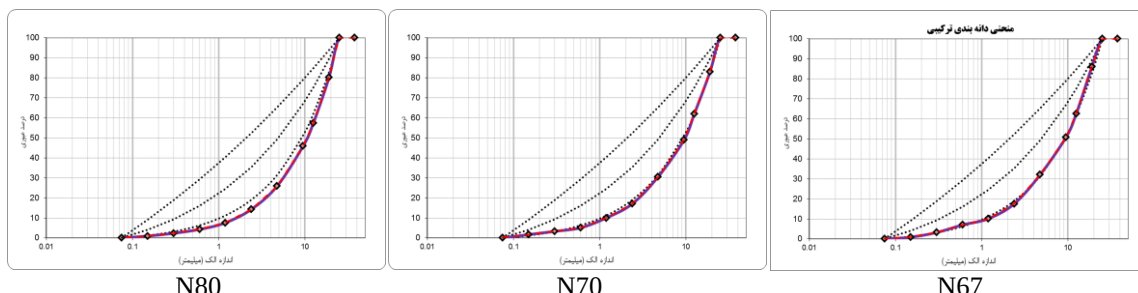
%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%SO ₃	%K ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A
20.94	4.65	3.70	61.68	3.32	1.87	0.64	50.0	22.3	6.1

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)	Expantion (%)
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، ۶ نوع 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 [۳۱]) 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.





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

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

عبوری از الک ۷۵ میکرون (%)	شکستگی (%)	وزن مخصوص (SSD)	جذب آب (%)	مدول نرمی (FM)	نوع مصالح
۰/۲	۶۰	۲/۵۴	۱/۶	۷/۵	شن
۲/۹	*	۲/۵۲	۳/۱	۳/۹	ماسه

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. عیار سیمان مورد استفاده در کلیه طرح‌ها نیز همان نوع پرکاربرد 350 kg/m^3 بود. طراحی اولیه مخلوط بتنی برای سیمان شاهد $W/C: 0/55$ بود. در این پروژه مبنای تهیه مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی، رسیدن به کارایی مناسب (اسلامپ 80 ± 5 سانتی‌متر) می‌باشد. واضح است که نسبت W/C در مخلوط‌های بتنی به علت تغییرات دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای، متغیر بوده است. 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 آزمون‌های بتنی برای سنین ۱، ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تهیه شدند. بر روی بتن سخت‌شده پارامترهای چگالی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی [۳۲]، تعیین نفوذپذیری به کمک اندازه‌گیری نرخ/آهنگ جذب آب اولیه، ثانویه به روش ISIRI 19895 و حجمی 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 آزمون‌های 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. طبق این جدول و شکل ۴ محرز می‌گردد که صرفاً دانه‌بندی مخلوط سنگدانه اثر بسیار زیادی بر مشخصات بتن تازه دارد؛ بطوریکه با ریز شدن مخلوط سنگدانه‌ها، شاخص‌های کارایی و کارپذیری اولیه 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

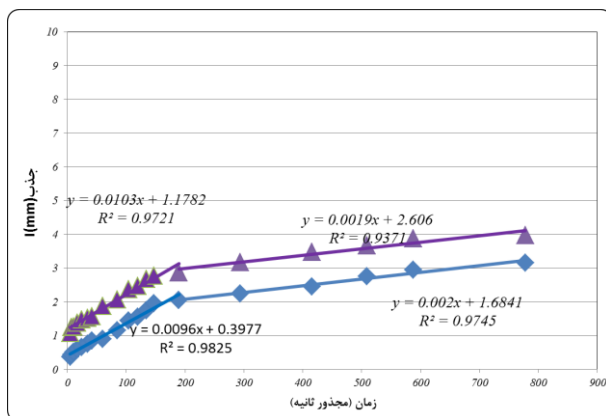
وضعیت مخلوط بتن آزمایشگاهی						پارامتر	روش سنجش
N80	N70	N67	N60	N50	N35	W/C	اندازه‌گیری شده
0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	اسلامپ (سانتی‌متر)	
8.0	8.0	8.5	8.0	8.5	8.0	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	
2.34	2.33	2.34	2.33	2.33	2.335		
*	*	**	***	****	****	قوام	توصیفی-نظری **
*	**	***	***	****	****	اولیه	
*	**	**	***	**	**	کارپذیری ^۴ با تاخیر	
*	**	***	***	**	****	قابلیت اولیه	
*	**	***	**	*	*	پرداخت کاری ^۵ و ماله‌کشی با تاخیر	
*	*	**	**	***	****	پمپ‌پذیری ^۶	
*	*	***	***	****	****	قابلیت فشرده‌گی با دست	
*	*	*	**	***	****	چسبندگی اولیه	
*	*	*	**	**	**	چسبندگی با تاخیر	
****	****	**	*	*	*	بافت خشن	
****	****	**	*	*	*	استعداد جداشدگی ^۷	
*	*	**	***	****	****	استعداد جمع‌شدگی	
**	**	***	***	****	****	روند کاهش اسلامپ طی ۱ ساعت	
***	***	***	***	**	**	زمان گیرش بتن	
****	****	**	*	*	*	استعداد آب‌انداختگی	

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

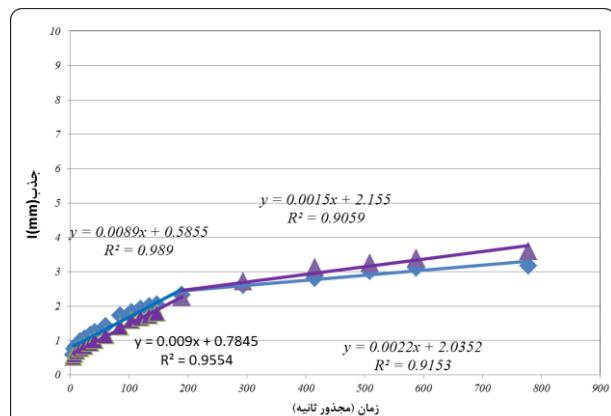
⁴ Workability
⁵ Finishing
⁶ Pumpability
⁷ Segregation

نتایج مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی در جدول ۵ و شکل ۶ دیده می‌شود.
جدول ۵- خلاصه نتایج طرح‌های مخلوط بتن آزمایشگاهی

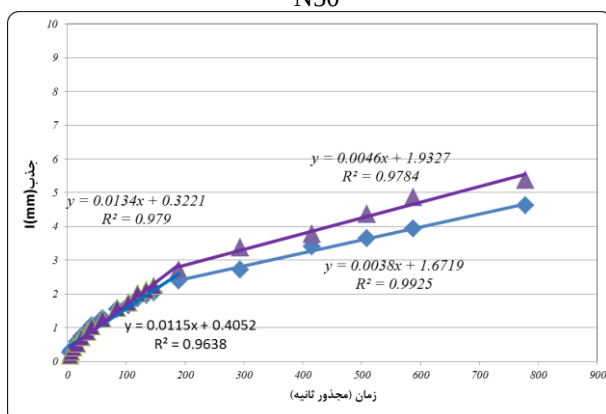
Hardened Concrete											
Code	FM (mix)	Compressive Strength-(kg/cm ²)					Density (gr/cm ³)	Tensile Strength-(kg/cm ²)	Volume water absorption (%)	initial rate of water absorption (mm/√s) (*10-4)	secondary rate of water absorption (mm/√s) (*10-4)
		1Days	3 Days	7 Days	28 Days	90 Days					
N35	5.06	76	164	219	273	313	2.345	38	5.3	90	19
N50	5.51	78	162	224	287	300	2.34	44	6.0	100	20
N60	5.77	77	154	217	298	317	2.34	48	6.8	127	24
N67	5.92	75	165	225	306	345	2.35	50	6.5	125	42
N70	6.00	80	160	216	299	315	2.34	48	7.0	208	66
N80	6.19	77	163	217	302	309	2.34	50	7.0	206	77



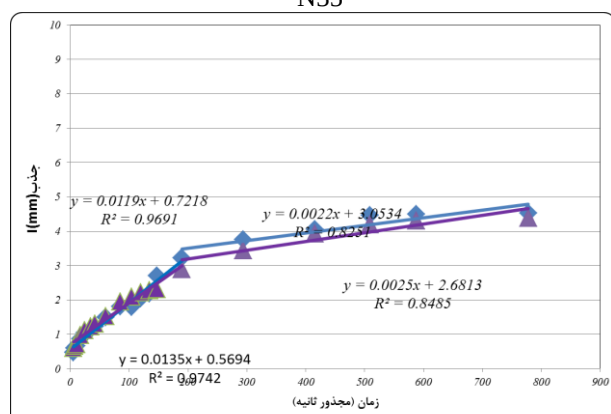
N50



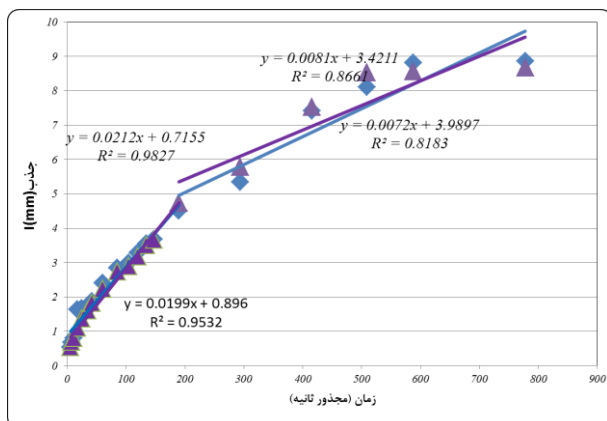
N35



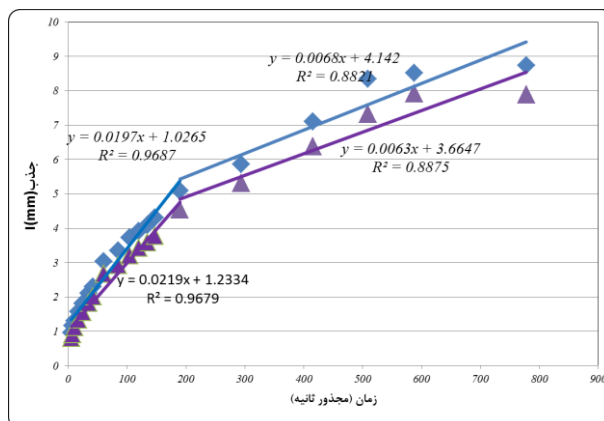
N67



N60



N80

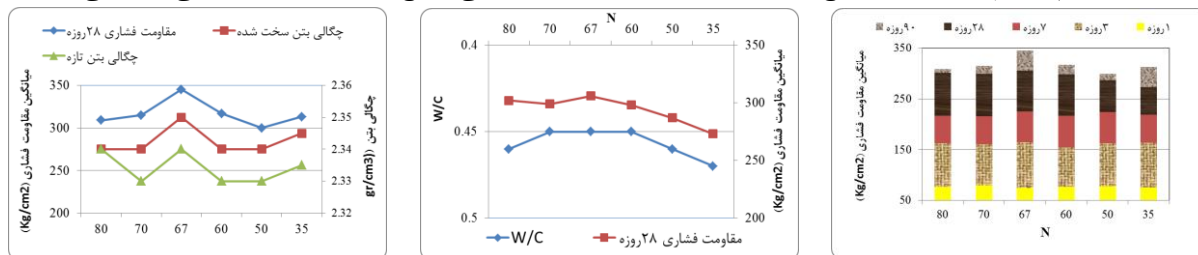


N70

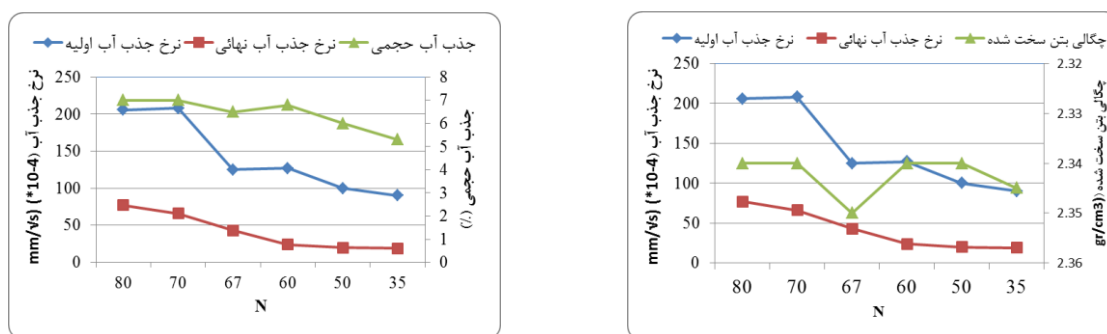
شکل ۶- منحنی‌ها و نتایج آزمایش تعیین نرخ جذب آب مؤئینه در مخلوط‌های بتنی

همانگونه که انتظار می‌رفت، اصلاح دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگدانه‌ای در بهبود مقاومت فشاری اثر بسزائی داشت؛ بطوریکه مقاومت ۲۸ روزه در مخلوط N67 نسبت به مخلوط N35، ۱۳٪ افزایش یافته است. البته بهبود آرایش سنگدانه‌ها و نیز کاهش نسبت W/C بتن در افزایش چگالی بتن تاثیر دارد 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 بدن لب‌پردگی بود (شکل ۵). مقایسه تراکم و نفوذپذیری مخلوط‌های بتنی بر این مطلب صحه‌گذاری می‌نماید، بطوریکه مخلوط N35 دارای کمترین نرخ جذب آب و مخلوط‌های N70 و N80 دارای بیشترین نرخ جذب آب می‌باشد (نمودارهای شکل ۸).

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. همچنین در مخلوط‌های N70 و N80 شاخص‌های دوام (نفوذپذیری بتن و نتایج آزمایش‌های تعیین جذب آب حجمی و نرخ جذب آب اولیه و نهائی) افت می‌کند.



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 نرخ جذب آب اولیه، نهائی، جذب آب حجمی و چگالی بتن

۴. نتیجه گیری

۱. اثر اصلاح دانه بندی در مخلوط بتنی N67 نسبت به مخلوط بتنی N35، مقاومت کوتاه مدت چندان نمود نداشت، اما در میان و بلندمدت حدود ۱۱-۱۳٪ اثر بهبود را نشان می دهد. این اختلاف، بیشترین مقدار اثر اصلاح دانه بندی بر مقاومت بتن در این مطالعه بود.
۲. با درشت کردن سنگدانه های بتن (تا N70) نسبت w/c کاهش و در نتیجه مقاومت افزایش می یابد. از طرفی با ریزتر کردن سنگدانه ها شاخص های کارپذیری بسیار بهبود می یابد. اما در روند افت شاخص های کارایی در مخلوط بتنی ساخته شده با سنگدانه های ریز (N35 و N50) سریع می باشد.
۳. با درشت نمودن سنگدانه های مخلوط بتنی (تا N70) تخلخل و نفوذپذیری بتن افزایش می یابد. در مخلوط N35 (ریزترین آرایش سنگدانه ها در این مطالعه) نسبت به مخلوط بتنی N80 (درشت ترین آرایش سنگدانه ها در این مقاله) نرخ جذب آب اولیه ۵۶٪، افزایش، نرخ جذب آب نهائی ۷۵٪، جذب آب حجمی ۲۵٪ افزایش یافت.
۴. مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه، چگالی بتن تازه و سخت شده در مخلوط N67 بیشترین مقادیر را نشان داد.

۵. قدردانی

بر خود لازم می دانم تشکر و قدردانی ویژه ای از مدیران، کارشناسان و تکنسین های محترم آزمایشگاه های کارخانه سیمان تهران و سایر پرسنل زحمتکش 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 سنگدانه ای بر کیفیت بتن". سی امین دوره سمینار کنترل کیفیت سیمان-تهران-انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان-۱۸ و ۱۹ مهر ۹۶.
- [5] Sewell, R. & Campbell, S. (October 2001). "Petrographic examination of concrete samples".
- [6] Roy, D. & Grutzeck, M. & Scheetz, B. (June 1993). "Concrete Microscopy". SHRP-C-662
- [7] "Preparation of concrete samples for microscopic examination by buehler." (May 2010).
- [8] Scrivener, K. & Colledge, I. "The microstructure of concrete". Materials science of concrete. p127.
- [9] RILEM TC 268-SIF. (2017). "Surface delamination of concrete industrial floors and other durability-Related aspects guide".
- [10] BRE (Building Research Establishment) (Second edition-1988), "Design of normal concrete mixes".
- [11] ACI 211-1-91 (Reapproved 2002) "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".

[۱۲] "روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۶).

[۱۳] ISIRI 302 (۱۳۹۴). "سنگدانه های بتن-ویژگیها"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

- [۱۴] 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.
- [۱۵] تدین، م. (۱۳۹۰). "راهکارهای کاهش مصرف سیمان در کشور". دوره‌های آموزشی پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Obla, K. & Kim, H. & Lobo, C. (). "Effect of Continuous (Well-Graded) Combined Aggregate Grading on Concrete Performance". National Ready Mixed Concrete Association.
- [22] ABDULKAREEM, B. (July, 2012). "OPTIMIZATION OF AGGREGATE GRADATION & CONCRETE MATURITY". Thesis for the Degree of MASTER OF SCIENCE -Bachelor of Civil Engineering in Iraq.
- [23] ASTM C33 (2003) "Standard Specification for Concrete Aggregates."
- [24] BS 882:1992. "Specification for aggregates from natural sources for concrete".
- [25] 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.
- [۲۶] قلعه، ک. "نمودار ضریب درشتی، معیاری برای بتن با ترکیب مناسب". فصلنامه کیسون-دوره جدید-شماره ۵۱.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [۲۹] کفاش، ع. "بررسی تأثیر اصلاح روند مصرف آب در تولید مصالح سنگدانه‌ای و انواع بتن". اولین همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه-شیراز-۱۳۹۳.
- [30] JIS A 1112 (1989) (English), "Method of test for washing analysis of fresh concrete".
- [۳۱] "راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۳۳.
- [32] EN 12390-p6 "Testing Hardened concrete- Part6: Tensile splitting strength of test specimens", p7.

Investigation of the effect of Finesse Module 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. Finesse Module, fresh concrete, hardened concrete.
