

بررسی نیاز به آزمایشگاه بتن در فرآیند کنترل تولید سیمان

علی اکبر کفاش بازاری^۱، مهدی نعمتی چاری^۲، زیور نیکفال^۳

۱- رئیس آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه کارخانه سیمان تهران

۲- عضو هیات علمی بخش فناوری بتن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی-دکتری عمران-دانشگاه تهران

۳- رئیس آزمایشگاه فیزیک کارخانه سیمان تهران

Eliaskafash@gmail.com

چکیده

وجود آزمایشگاه بتن در فرآیند کنترل تولید سیمان، وجه مشترکی برای تولیدکنندگان سیمان و بتن در کشور است. اهمیت این موضوع زمانی محرز می‌گردد که عملکرد و رئولوژی سیمان در بتن، فارغ از ارزیابی‌های فیزیکی-شیمیائی می‌باشد. البته انجام محدود آزمایش‌های فیزیکی سیمان همچون تعیین نرمی (بلین)، زمان گیرش (ویکات)، تعیین مقاومت فشاری ملات و غیره در آزمایشگاه شرکت‌های تولیدکننده بتن کمی پیش‌تر راه‌اندازی شده است؛ لیکن به نظر می‌رسد که بازخورد نتایج آزمایشگاه بتن در کارخانه‌های سیمان بسیار مطلوب‌تر می‌باشد. در توضیح این پیشنهاد باید گفت که برخی کارشناسان انتظار تبعیت همیشگی رفتار سیمان در ملات استاندارد و بتن را دارند، اما تحقیقات نشان می‌دهند که این موضوع همیشه صدق نمی‌کند. در این مقاله ضمن مرور کلی نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های بسیار متعددی از سیمان تحلیل‌هایی صورت پذیرفته است تا بتوان ضرورت اهمیت این موضوع را تشریح نمود. بطور خلاصه می‌توان گفت نتایج متنوع آزمایش‌های فیزیکی-شیمیائی سیمان، مقاومت ملات و بتن بر روی بیش از ۳۰۰ نمونه سیمان نشان دادند که: ۱- شاخص بلین حدود 3100 gr/cm^2 و مانده روی الک ۴۵ میکرون کمتر از ۱۲٪ حالت بهینه در محصول آسیاب مورد بررسی بوده است؛ ۲- جهت تولید سیمان مطلوب ساخت بتن، توجه به فازهای کلینکر، میزان قلیائی‌ها، خاصیت آب مورد تقاضای سیمان در رسیدن به w/c و کارایی مطلوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، که آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان به ما کمک شایانی می‌نماید؛ ۳- با توجه به پیچیدگی موضوع، نقش هر یک از عوامل در هر تولیدی سیمان، نیاز به تفسیر و بررسی بومی دارد.

کلمات کلیدی: تولیدکننده، سیمان، بتن، شیمیائی، w/c .

F-00069-AB

۱. مقدمه:

همواره واحدهای کنترل کیفی و تولید سعی در مهار نوسان کیفیت و به حداقل رساندن اثر عوامل آنها هستند. بدیهی است آزمایش‌ها و تکنیک‌هایی برای شناسائی، کنترل و کاهش این نوسان‌ها در تولید سیمان وجود دارد، اما الویت‌بندی در تاثیر تغییرات فرآیند بسیار مهم می‌باشد. به عنوان مثال شاید یک نوسان اندک در سایش مواد خام کلینکر تاثیرات چندانی محسوس در نتایج آزمایش‌های فیزیکی محصول نهائی (سیمان) نشان ندهد، اما ممکن است این تغییر باعث شود عملکرد سیمان در بتن متفاوت باشد (و یا بالعکس). لیکن به زعم نگارندگان تاسیس آزمایشگاه فعال بتن در کارخانه‌های تولید سیمان بسیار ضروری و موردنیاز می‌باشد؛ زیرا این موضوع علاوه بر کمک در جلب رضایت مشتریان تولیدکننده سیمان، در نهایت به سهولت در ارتقاء صنعت بتن نیز می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تحقیقات مرتبطی با موضوع این مقاله یعنی نتایج

آزمایش‌های بتن در روند کنترل کیفیت سیمان در دسترس نمی‌باشد. البته انجمن^۱ NIST با تشکیل کنسرسیوم VCCTL^۲ سعی بر بهسازی زیرساخت‌های مرتبط با این موضوع دارد [۱].

واقعیت آنست که در کشور عزیزمان، ملاک‌های تولیدکننده بتن برای انتخاب سیمان، عمدتاً: ۱- کسب کارایی خمیری-که معمولاً با آزمایش اسلامپ [۲] تعیین می‌گردد؛ ۲- تامین مقاومت کافی در بتن؛ ۳- فاصله حمل به لحاظ تامین سریع و ۴- قیمت تمام شده می‌باشد. لیکن پیشنهاد می‌گردد جهت انتخاب بهتر با نگاه جامع‌تر به تحقیق بومی انجام گرفته [۳] مراجعه شود. نتایج آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان می‌تواند کمک موثری در این موضوع (انتخاب) داشته باشد. بطور مثال معمولاً تولیدکننده بتن، توزیع دانه‌بندی سیمان را بررسی نموده و میزان تاثیر تغییرات این پارامتر بر روی مقاومت بتن چندان واضح نمی‌باشد. طبق مرجع [۴]، میزان ذرات بین ۳ تا ۳۰ میکرون (30-Δ3) برای سیمان با مقاومت ملات بالا ۵۵-۶۵٪ است، اما برخی مراجع دیگر [۵] حداقل ۵۰٪ را برای این پارامتر مطلوب ذکر نموده‌اند؛ حال آنکه شاخصی برای بتن نداریم.

باید توجه داشت که معمولاً خاصیت نیاز آب سیمان (آب مورد تقاضا)^۳ برای تولید بتن‌های رایج در کشورمان دیده نشده است. با توجه به کمبود مصرف افزودنی‌ها، منظور از بتن رایج، بتن با کارایی خمیری-اسلامپ: ۱۰-۵ سانتی‌متر-بدون افزودنی است، که کاربرد گسترده‌ای در صنعت ساختمان کشورمان دارد. به عنوان مثال در تولید سیمان با مقاومت بالا می‌توان نرمی سیمان (بلین) را به مقدار زیادی افزایش داد، اما در تولید بتن‌های رایج با این نوع سیمان، نیاز به مصرف آب بیشتری است؛ بنابراین اثر افزایش نرمی سیمان با افزایش نسبت w/c خنثی می‌گردد [۶] و در نهایت علیرغم افزایش مقاومت ملات به افزایش مقاومت این بتن نمی‌گردد. البته در تولید بتن‌های ویژه مصرف این نوع سیمان مطلوب است.

کمک دیگری که آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان به مصرف‌کننده دارد، شناسایی واکنش (فیزیکی یا شیمیایی) سیمان با افزودنی‌های بتن و توصیه‌های موردنیاز برای تولیدکنندگان بتن و گروت است. از سوئی دیگر در صورت واکنش‌پذیری پائین سیمان با افزودنی‌ها در بتن، تولیدکننده سیمان سعی در بهبود این موضوع خواهد داشت.

هدف از این مقاله آنست که ضمن ارائه مختصر و کلی نتایج آزمایش‌های بسیار زیاد و متنوع انجام گرفته بر روی نمونه‌های بتن و سیمان در آزمایشگاه‌های مجتمع صنعتی سیمان تهران (شکل ۱)، مطالب مندرج در مراجع و تجربیات نگارندگان، ضرورت شناسایی کامل و دقیق رئولوژی و عملکرد سیمان در بتن با کمک آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان معرفی گردد تا کمک مناسبی در موارد مشابه در صنعت باشد. طبق تعریف، ملات نوعی بتن می‌باشد. برخی کارشناسان انتظار تبعیت همیشگی رفتار سیمان در ملات استاندارد و بتن را دارند، اما با نگاهی دقیق به راحتی می‌توان گفت "همواره رفتار سیمان در ملات استاندارد از رفتار همان سیمان در بتن تبعیت نمی‌کند و این انتظار دور از واقعیت است" [۷]. طی حدود ۳ سال اخیر، تولیدکنندگان سیمان در کشور گام به سوی تاسیس آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان گذاشته‌اند که البته بسیار مطلوب است.



شکل ۱- محل انجام پروژه-آزمایشگاه‌های مجتمع صنعتی سیمان تهران

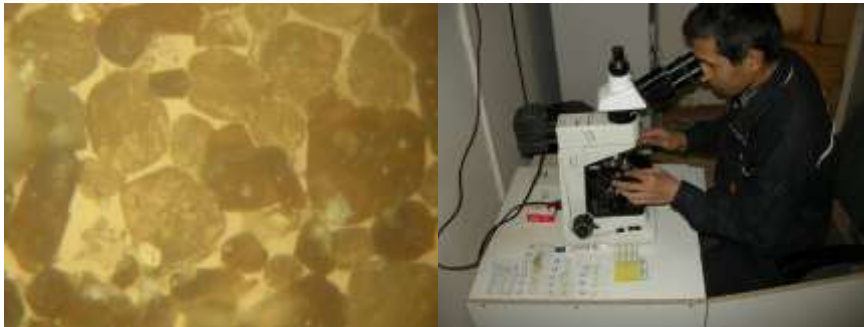
¹ National Ready Mixed Concrete Association

² Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory

³ Water demand

۲. برنامه آزمایشگاهی و مواد تحقیق:

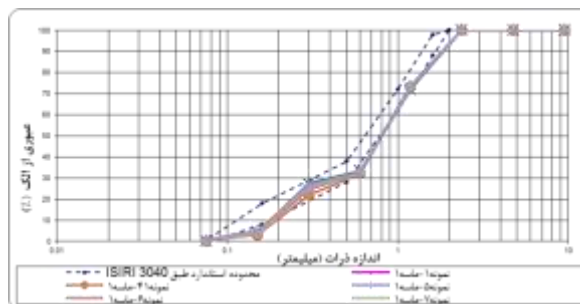
در این مطالعه، نمونه‌های سیمان از کارخانه سیمان تهران تهیه شده است. در گام اول نمونه‌ها کدگذاری و برخی از آنها بطور تصادفی مورد مطالعات میکروسکوپی و دانه‌بندی لیزری قرار گرفتند. سپس با ساخت ملات‌های استاندارد و مخلوط‌های بتنی، مقاومت فشاری نمونه‌ها در آزمایش‌های ملات ۲، ۷ و ۲۸ روزه و بتن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه اندازه‌گیری شدند. جهت شناسایی دقیق فازهای سیمان از مطالعات میکروسکوپی کلینکر بهره‌گیری شد (شکل ۲) که خلاصه برخی مشاهدات و تفسیر آنها در جدول ۲ دیده می‌شود.



شکل ۲- مطالعات میکروسکوپی برخی از کلینکرهای مورد استفاده در سیمان‌های این تحقیق
جدول ۱- خلاصه نتایج مطالعات میکروسکوپی

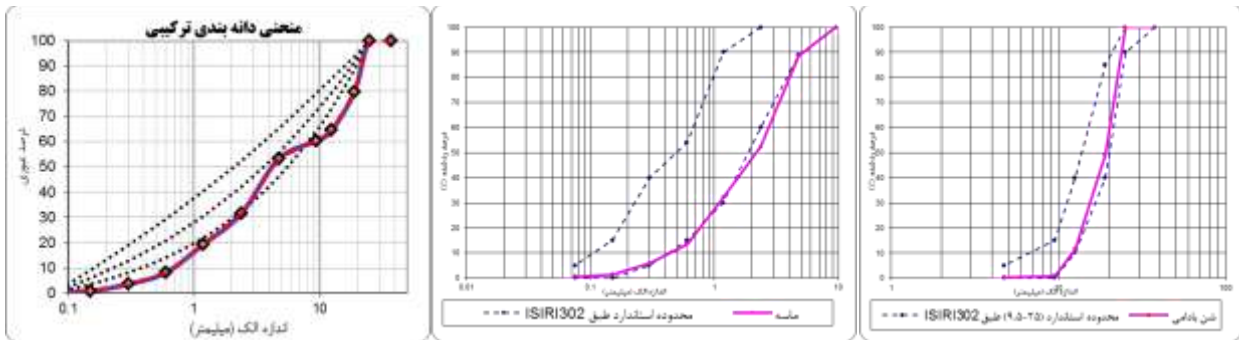
کد نمونه	درصد بلیت (C ₂ S)	درصد آلایت (C ₃ S)	حفره و فضای خالی	نحوه خنک شدن	زمان پخت شدن	سرعت افزایش گرما
A	۱۵-۲۰	۶۵	۱۰ (۱۲)	سریع	نسبتا بالا	متوسط تا نسبتا بالا
B	۱۰-۱۲	۶۵ (۷۰)	۸-۵	سریع	طولانی	نسبتا سریع
C	۱۰-۱۲ (۱۵)	۶۵-۷۰	۸-۵	نسبتا سریع	نسبتا طولانی	متوسط
D	۱۲-۱۰	۶۵-(۷۰)	۱۰-۸	نسبتا سریع	نسبتا طولانی	نسبتا سریع
E	۱۲-۱۵	۶۵-۶۸	۸-۵	سریع	متوسط	نسبتا سریع
F	۵	۷۲-۷۵	۸-۵	سریع	نسبتا طولانی	نسبتا سریع
G	۱۲	۶۸-۷۰	۵	سریع	طولانی	نسبتا سریع

جهت حصول اطمینان از کیفیت ماسه استاندارد مورد استفاده در تعیین مقاومت ملات استاندارد، نمودار دانه‌بندی برخی از آنها بررسی گردید (شکل ۳).



شکل ۳- دانه‌بندی ماسه مورد استفاده جهت تعیین مقاومت ملات استاندارد

به علت تعدد نمونه‌های سیمان (۳۱۰ مورد)، نتایج فیزیکی و شیمیایی فقط بصورت نمودار بررسی خواهند شد. می‌دانیم که استفاده از سنگدانه با حداکثر اندازه (MSA^4) بزرگتر (تا حدودی)، منجر به افزایش مقاومت، کاهش هزینه، افزایش چگالی [۸]، کاهش پمپ‌پذیری، کاهش قابلیت بتن‌ریزی در مقاطع نازک یا تراکم آرماتور، افزایش آب‌انداختگی و ... می‌شود. از این‌رو بطور عملیاتی، غالباً ساخت بتن‌های آماده با سنگدانه $MSA:25mm$ انجام می‌گیرد. مبنای انتخاب مصالح سنگی برای تهیه مخلوط بتن‌های آزمایشی در این تحقیق نیز بر همین منوال (نزدیک بودن به واقعیت‌های اجرایی) بوده است. شکل ۵ و جدول ۲ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در این مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به عدم استفاده شن ریز (نخودی) در اکثر کارگاه‌ها (که البته مشکلات اجرایی همچون ایجاد انبارک جداگانه و غیره را در بر دارد)، در این مطالعه نیز جهت یکسان‌سازی با شرایط اجرائی از این نوع سنگدانه استفاده نشده است. محل تهیه مصالح سنگی باز یافتی از شن شوئی جنوب تهران می‌باشد. استفاده بهینه از سنگدانه‌های درشت به لحاظ اینکه باعث کاهش مصرف سیمان [۹] می‌شود، نیز مورد توجه بود و در مجموع رویه‌های اجرایی موجود در اغلب تولیدی‌های بتن آماده با رویکرد بتن ارزان قیمت، مدنظر بوده است.



شکل ۴- نمودارهای دانه‌بندی شن (سمت راست)، ماسه (وسط) و ترکیب مصالح (سمت چپ) مصرفی در مخلوط‌های بتن

جدول ۲- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح‌های مخلوط بتنی

نوع مصالح	مدول نرمی (FM)	درصد جذب آب	وزن مخصوص (SSD)	درصد شکستگی	درصد گذشته از الک ۲۰۰
شن متوسط نیمه شکسته (بادامی)	۷/۵	۲/۲۰	۲/۵۵	۴۵	۰/۴
ماسه نیمه شکسته	۳/۹	۳/۳	۲/۵۱	*	۳/۱

در کلیه طرح‌های مخلوط بتنی، کیفیت مصالح (اعم از شن و ماسه) و آب (آشامیدنی)، مقادیر وزنی مصالح، شرایط فیزیکی همچون دما، ابزار مورد استفاده، آزمون‌گرها، شرایط عمل‌آوری و ... تا حد امکان ثابت بوده‌اند تا با ایجاد شرایطی یکسان تنها متغیر سیمان مصرفی باشد (شکل ۵). عیار سیمان مورد استفاده در کلیه طرح‌ها ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب (پروکاربردترین نوع) بوده است. طراحی مخلوط‌ها به روش ملی انجام شد و توان متناظر (n) در رابطه فولر-تامسون با استفاده از جدول پیشنهادی مربوطه حدود ۰/۳۵ (میانگین ۰/۱ تا ۰/۶۷) در نظر گرفته شد که کاربرد گسترده‌ای (تیر، دال، ستون و مقاطع مختلف با رده روانی خمیری تا روان) دارد [۱۰]. بعلت فقدان ذرات شن ریز (نخودی) نمودار دانه‌بندی از محدوده مجاز کمی منحرف شد. برای تهیه این مخلوط ۶۰٪ ماسه با ۴۰٪ شن مخلوط شده است (شکل ۵). معمولاً محققان برای شناسایی اثر تغییرات یک پارامتر، کلیه پارامترها را ثابت نگه می‌دارند. اما در این تحقیق علیرغم اینکه پارامتر متغیر سیمان مدنظر می‌باشد، اما نسبت W/C نیز کمی متغیر بوده است. علت آنست که در این پروژه مبنای تهیه مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی، رسیدن به کارائی مناسب (اسلامپ $1/5 \pm 0/5$ سانتی‌متر) می‌باشد. در نهایت مقاومت آزمون‌های بتنی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه اندازه‌گیری شدند.

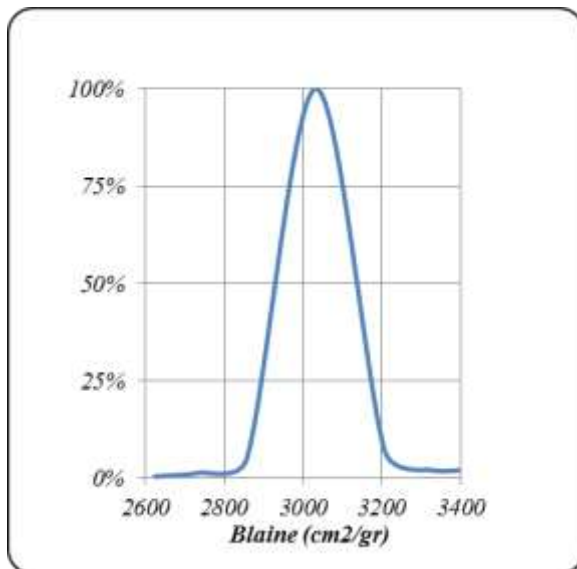
⁴ Maximum Size Aggregate



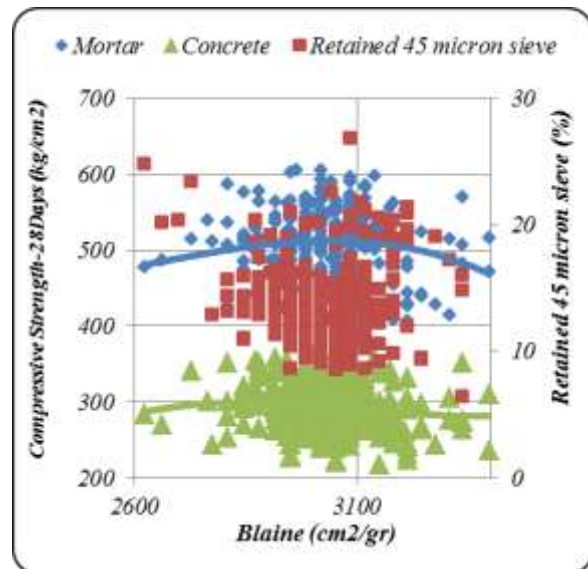
شکل ۵- نماهایی از عملیات آزمایشگاهی در این تحقیق

۳. نتایج آزمایشگاهی، بحث و تحلیل:

در اولین گام نتایج مقاومت فشاری ملات و بتن در برابر نرمی سیمان (محصول آسیاب غلتکی) مقایسه شده‌اند (شکل ۶). تصور بر آنست که همواره با افزایش نرمی (بلین)، مقاومت (۷ و ۲۸ روزه) ملات و بتن افزایش یابد، اما نتایج (۲۸ روزه) نشان می‌دهند که نرمی بهینه سیمان شاخص بلین حدود 3100 gr/cm^2 و مانده روی الک ۴۵ میکرون کمتر از ۱۲٪ می‌باشد. توجه این موضوع اینگونه به نظر می‌رسد که با افزایش میزان بلین تا حدود 3100 gr/cm^2 میزان مانده روی الک ۴۵ میکرون کاهش می‌یابد، اما با افزایش بیش از حد آن، میزان مانده روی الک ۴۵ میکرون کاهش؛ در نتیجه احتمالاً سهم ذرات بسیار ریز افزایش می‌یابد. در افزایش نرمی سیمان عمدتاً ذرات سنگ گچ نرم می‌شوند. سیمان نرم تر دارای آلومینات در دسترس بیشتری است و با آب سریع‌تر واکنش می‌دهد. Aitcin و همکارانش عنوان نمودند که سیمان درشت‌تر از ۳۰ میکرون حاوی بلیت بیشتری است، اما ذرات کوچکتر از ۴ میکرون حاوی سولفات و قلیائی‌های بیشتری هستند [۱۱]. در مخلوط‌های بتن آماده، سیمان نرم اثر مهمی در افزایش آب مورد نیاز بتن، چسبندگی، پرداخت کاری، مقاومت اولیه و کاهش آب‌انداختگی دارد [۱۲]. رویهم رفته اثر مهم کیفیت سایش آسیاب بر شرایط سیمان در بتن واضح است. نمودار شکل ۷ توزیع نرمال نتایج شاخص بلین نمونه‌ها را نمایش می‌دهد که نشانگر یکنواختی نسبی نمونه‌ها می‌باشد.

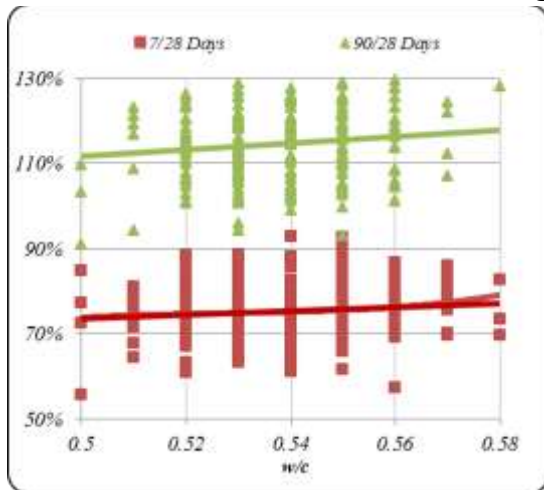


شکل ۷- نمودار توزیع نرمال نتایج شاخص بلین در نمونه‌های مورد مطالعه

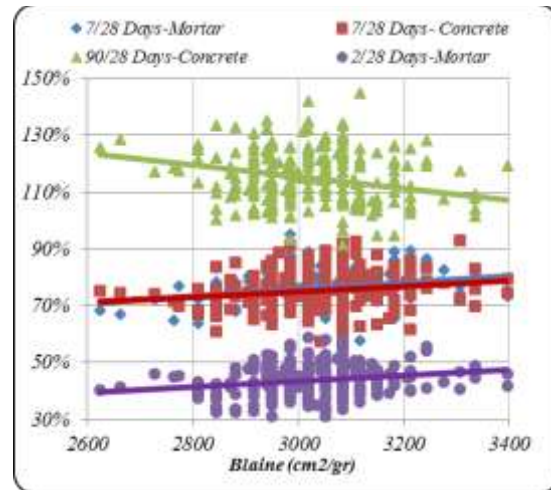


شکل ۶- نمودار روابط بین نتایج مقاومت فشاری ملات و بتن ۲۸ روزه، شاخص بلین و مانده روی الک ۴۵ میکرون

در گام بعدی اثرات فیزیکی رشد مقاومت ملات و بتن در سنین مختلف بررسی شدند. در نمودار الف-شکل ۸، روند افزایش نرمی سیمان بر رشد مقاومت ملات استاندارد و بتن در سنین مختلف دیده می‌شود. پر واضح است که افزایش نرمی سیمان بر افزایش مقاومت کوتاه‌مدت (۲ و ۷ روزه) ملات و بتن موثر است؛ اما در بلندمدت (۹۰ روزه) افزایش شاخص بلین اثر کاهشی واضحی بر مقاومت دارد. از طرفی دیگر، افزایش آب مورد تقاضا در بتن و در نتیجه افزایش نسبت W/C ، در کاهش مقاومت‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه موثر است. البته در بلند مدت این اثر بیشتر نشان می‌دهد (نمودار ب-شکل ۸).

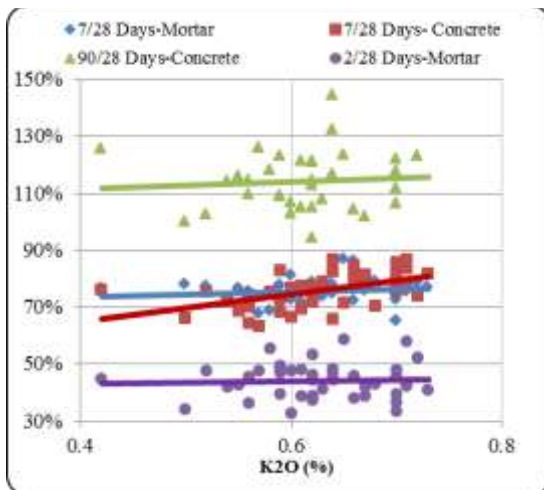


(ج)

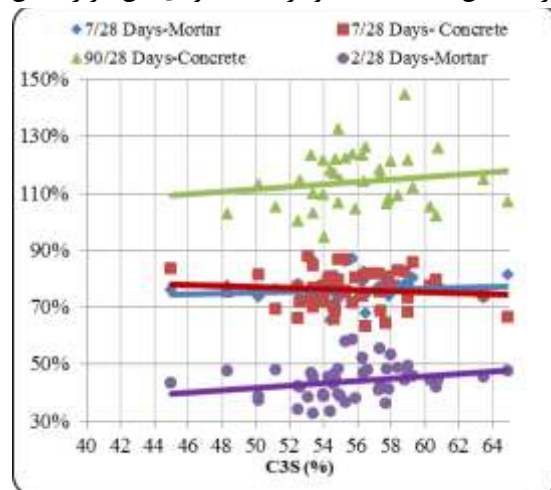


(الف)

شکل ۸- اثر تغییرات فیزیکی شامل نرمی سیمان و نسبت W/C بتن بر رشد مقاومت در ملات استاندارد و بتن اثر عوامل شیمیایی در رشد مقاومت ملات و بتن در سنین مختلف در مرحله سوم بررسی گردید (شکل ۹). در نمودار الف-تاثیر افزایش آلایت بر مقاومت مشخص می‌گردد. می‌دانیم که آلایت در مقاومت کوتاه و میان‌مدت و بلیت در مقاومت بلند مدت اثرگذار است که نتایج نیز موید همین موضوع می‌باشد. باید دقت داشت که این نتایج حاصل آنالیز شیمیایی به روش تر و محاسبات بر مبنای روابط بوگ بوده و احتمالاً با واقعیت کمی تفاوت دارد. از این‌رو باید به نتایج مطالعات میکروسکوپی مراجعه نمود. همچنین افزایش میزان قلیائی‌ها بالاخص مقدار K_2O موجب می‌گردد تا حدودی روند کسب مقاومت از سن ۷ روزه به ۲۸ روزه کاهش یابد [۱۱]. نمودار ب تا حدودی این اثر را نشان می‌دهد.



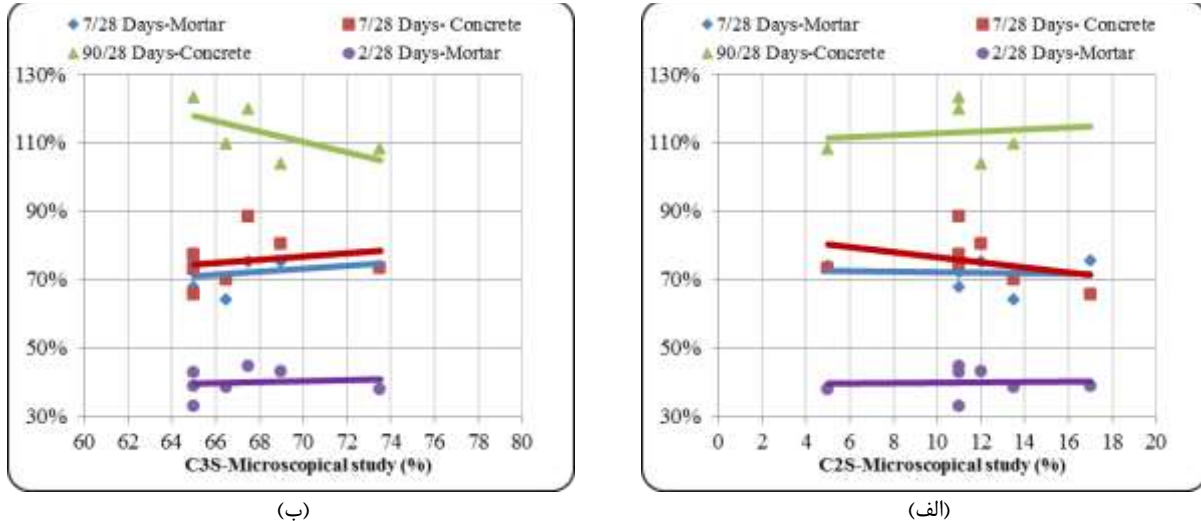
(ب)



(الف)

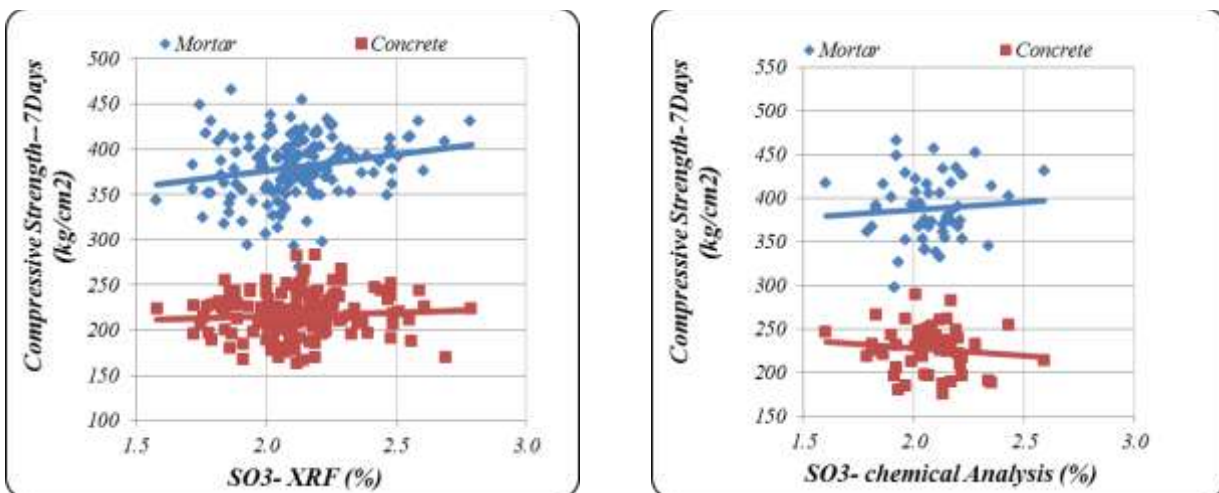
شکل ۹- اثر تغییرات شیمیایی (آلایت و اکسید پتاسیم) بر رشد مقاومت ملات استاندارد و بتن مطالعات میکروسکوپی (جدول ۱) نشان می‌دهند که شرایط پخت کلینکر مطلوب و یکنواخت می‌باشد؛ لیکن پی‌جوئی اثرات آن در محصول نهایی موید آنست که تغییرات اندک در مقادیر و اندازه‌های آلایت و بلیت مشاهده شده در کلینکر، تاثیر شگرفی

بر مقاومت ملات و بتن نهائی ندارد، اما می‌توان مقادیر C_2S و C_3S حاصل از مطالعات میکروسکوپی را بر رشد مقاومت ملات و بتن تا حدودی تعمیم داد (شکل ۱۰).



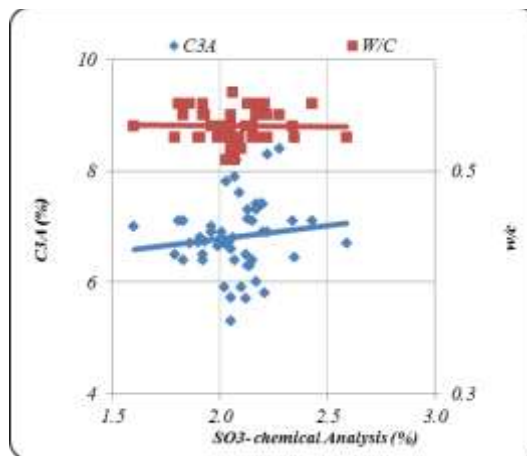
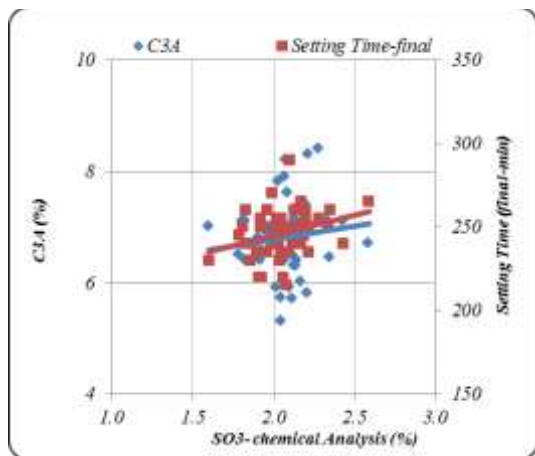
شکل ۱۰- ارتباط رشد مقاومت ملات و بتن نسبت به مقادیر فازهای بلیت و آلیت در مطالعات میکروسکوپی (الف و ب)

تجربیات در تولید سیمان نشان می‌دهد که با افزایش کنترل شده میزان سولفات، مقاومت بالاخص در سن ۷ روز بهبود می‌یابد؛ این افزایش در نتایج ملات استاندارد دیده می‌شود، اما در نتایج بتن ملاحظه نشد (شکل ۱۱). البته با توجه به اینکه عوامل متعددی در این راستا دخیل هستند، کمبود همبستگی در این نتایج دور از انتظار نیست. به نظر می‌رسد با توجه به روش ساخت مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی در این مطالعه که بر اساس افزایش آب تا رسیدن به کارائی (اسلامپ) مدنظر بوده است (و معمولاً در کارگاه‌ها نیز به همین منوال می‌باشد)، این مغایرت ایجاد می‌گردد. علت احتمالی بروز گیرش کاذب در مخلوط‌های بتنی و در نتیجه افزایش آب جهت رفع آن است.



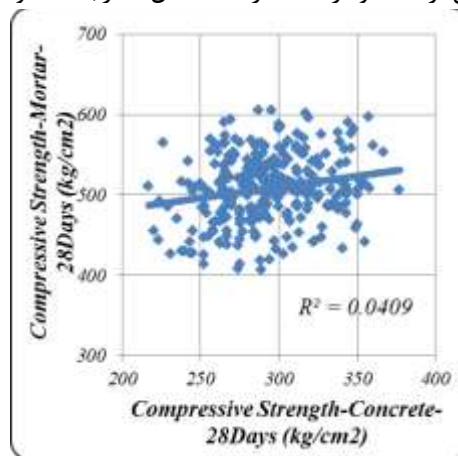
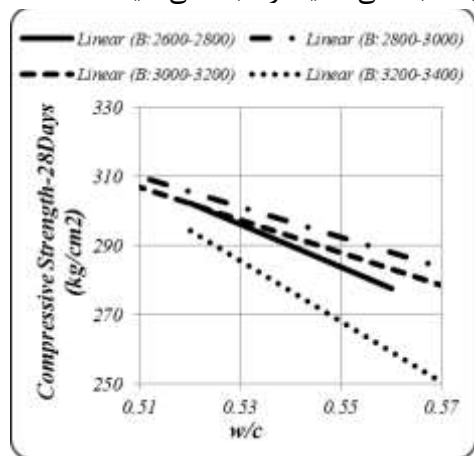
شکل ۱۱- بررسی رابطه مقاومت فشاری ملات و بتن در سن ۷ روز با میزان سولفات در آنالیز شیمی (چپ) و X-Ray (راست)

می‌دانیم که اگر آلومینات در سیمان افزایش یابد، اما سولفات افزایش نیافته و بدون تغییر بماند، به علت میل ترکیبی آلومینات با آب، احتمالاً گیرش کاذب اتفاق و به ناچار منجر به افزایش w/c در بتن می‌گردد؛ اما در تولید سیمان با توجه تجربیات موجود، تعادل در میزان آلومینات و سولفات اعمال می‌گردد. نتایج حاصله موید این موضوع بوده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- بررسی ارتباط میزان سولفات با میزان آلومینات، نسبت W/C و زمان گیرش نهایی

با توجه به روش (اسلامپ محور) مورد استفاده در این پروژه، واضح بوده که تغییرات نسبت W/C قابل انتظار است. بنابراین نمودار بررسی تغییرات نسبت W/C در برابر تغییرات مقاومت فشاری این آزمون‌ها گویای میزان صحت این موضوع می‌باشد (شکل ۱۳). تصور بر آنست که کاهش نسبت W/C به ترتیب همواره اثرات مطلوب دارد؛ اثراتی همچون کاهش نفوذپذیری، افزایش مقاومت، بهبود دوام، [۱۳] کاهش اندازه منافذ موئینه بتن سخت‌شده [۱۴]، کاهش زمان دستیابی به عدم پیوستگی درزه‌ها [۱۵] و غیره. اما باید توجه داشت که همواره این‌گونه نمی‌باشد؛ زیرا کاهش W/C منجر به افزایش میزان انبساط سیمان [۱۶] می‌گردد. نمودار سمت راست شکل ۱۳ رابطه مقاومت ملات و بتن با همبستگی ضعیف را اثبات می‌نماید.



شکل ۱۳- بررسی رابطه مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات و بتن (راست) و مقاومت بتن با W/C در نرمی‌های مختلف سیمان (چپ)

۴. نتیجه‌گیری

۱. نتایج آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان نشان دادند که شاخص بلین حدود 3100 gr/cm^2 و مانده روی الک ۴۵ میکرون کمتر از ۱۲٪ حالت بهینه در محصول آسیاب مورد بررسی بوده است که لزوماً این حدود در همه تولیدی‌ها مصداق ندارد؛
۲. با توجه به تفسیرهای ارائه شده در دانه‌بندی لیزری، نتایج مانده روی الک ۴۵ میکرون و $\Delta 3-30$ ، اثر مهم کیفیت سایش بر شرایط سیمان در بتن واضح گردید؛
۳. جهت تولید سیمان مطلوب ساخت بتن، توجه به فازهای کلینکر در مطالعات میکروسکوپی، میزان قلیائی‌ها، خاصیت آب مورد تقاضای سیمان در رسیدن به W/C و کارایی مطلوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، که آزمایشگاه بتن در کارخانه سیمان به ما کمک شایانی می‌نماید؛

۴. پیچیدگی در تفسیر نتایج عملیات آزمایشگاهی در این مطالعه، کمبود همبستگی و ارتباط برخی نتایج آزمایش‌ها، وجود برخی عوامل و استدلال‌ها که فقط در برخی فرآیندهای تولید مصداق دارند، وجود تحقیقات غیربومی که گاه در شرایط اجرایی کشور ما کاربردی ندارند و غیره، ضرورت آزمایش‌های بتن در کارخانه سیمان را اثبات می‌نماید؛

۵. قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم تشکر و قدردانی ویژه‌ای از مدیران، کارشناسان و تکنسین‌های محترم آزمایشگاه‌های کارخانه سیمان تهران و سایر پرسنل آن کارخانه داشته باشیم. همچنین از کارشناسان محترم شرکت تحقیق و توسعه سیمان و انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان سپاسگزاریم.

۶. مراجع

- [1] Bullard, J (2002). "The Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory Consortium". NISTIR 6962.
- [2] ASTM C143-03 "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete".
- [۳] کفاش، ع. " بررسی روش‌های پایش عملکرد سیمان در بتن ". هشتمین کنفرانس سالیانه بتن ایران-تهران-۱۵مهر۹۴، ص۱۵.
- [4] Duda, w. (1976). "Cement data book". Volume 2.
- [5] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete Properties". Prentice Hall, p22.
- [۶] کفاش، ع. سعیدی، م. " بررسی توامان تغییرات نرمی سیمان در ملات و بتن " کنفرانس بین‌المللی سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست پایدار، تهران، ۲۴ آذر ۹۴، ص ۱۲
- [۷] کفاش، ع. رفیعی، م. " بررسی ارتباط مقاومت سیمان تهران در ملات و بتن ". هفتمین کنفرانس سالیانه بتن ایران-تهران-۱۵مهر۹۴، ص ۱۰.
- [8] ACI 211-1-91 (Reapproved 2002)" Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".
- [9] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete technology". Prentice Hall, p20.
- [۱۰] "راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۳۳.
- [11] Aitcin, P.& Suxar, S. & Rrouro, M & Volant, D. (1987). "Retardation effect of superplasticizer on diffrent cement fraction". Cement and Concrete Research 17. .No.6, pp. 995-9.
- [12] DEWAR, J. & ANDERSON, R. (1992). "Manual of Ready-Mixed Concrete". Second edition. p.22.
- [13] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete technology". Prentice Hall, p20.
- [14] Mehta, K.& Menterio, (2006). "Concrete Microstructure, Properties, and Materials".
- [15] Day, K. (2006). "Concrete Mix Design, Quality Control and Specification". Third Edition. P15.
- [۱۶] تدین، ع. گلبهاری، ا. احمدی، ز. (۱۳۹۴). "هندبوک سیمان‌های جدید و خاص". انتشارات ناقوس. ص ۳۰۱.