

بررسی موردی تاثیر نگهداری سیمان طی ۲ ماه بر روند افت مقاومت فشاری بتن و ملات استاندارد

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

۱ رئیس آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه کارخانه سیمان تهران (نویسنده مسئول)؛

۲ رئیس آزمایشگاه فیزیک و حفاری کارخانه سیمان تهران؛

۳ استادیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

Eliaskafash@gmail.com

چکیده

زمان نگهداری سیمان در سیلو موضوعی است که همواره کمتر مورد توجه بوده است. در این مطالعه برای تبیین این موضوع یک فرآیند طراحی گردید. لذا حدود ۱۰۰ کیلوگرم نمونه سیمان تهیه شد و در ظرفی مشابه سیلو سیمان (از نظر دما و رطوبت) به مدت ۵۶ روز نگهداری گردید. در ادامه پس از ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز نگهداری در این ظروف، از این سیمان ملات استاندارد و مخلوط بتنی (۶ بهر مجزا) تهیه گردید. مقاومت فشاری آزمون‌های ۲، ۷ و ۲۸ روزه ملات استاندارد و ۷ و ۲۸ روزه بتن برای هر شش سری ملات و بتن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که ماندن سیمان به تدریج افت مقاومتی ایجاد می‌کنند. این افت مقاومت برای سیمان با عمر ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز در آزمون‌های ۲۸ روزه به ترتیب ۰.۲٪، ۰.۴٪، ۰.۶٪، ۰.۹٪ و ۱.۳٪ بود. همچنین برای آزمون‌های ۷ روزه به ترتیب ۰.۸٪، ۰.۴٪، ۰.۸٪، ۰.۹٪ و ۱.۹٪ می‌باشد. بنابراین در صورتیکه سیمان در سیلو بماند، طی ۲ ماه به تدریج دچار افت مقاومت به ویژه در سن ۲۸ روزه نسبت به نمونه سیمان تازه می‌شود.

کلمات کلیدی: سیمان، بتن، نگهداری، مقاومت فشاری.

۱. مقدمه (تاریخچه و هدف پژوهش):

رامگ و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر ذخیره‌سازی سیمان بر خواص اولیه سیستم‌های سیمانی را بررسی نمودند. آنها به منظور تأیید اهمیت پیش‌هیدراتاسیون برای کاربردهای عملی، یک سری آزمایش‌هایی در موسسه تحقیقات و آزمایش مواد فدرال آلمان (BAM) انجام دادند. بررسی آنها بر روی انواع مختلف ملات و بتن نشان داد که تأثیر شرایط ذخیره‌سازی برای بتن‌های خاص آمیخته (مخلوط بهینه شده و حاوی مواد افزودنی) بسیار واضح‌تر است. با این وجود، این اثرات برای بتن معمولی نیز رخ می‌دهد و نباید از آنها چشم‌پوشی کرد [۲].

سوریکانتا (۲۰۱۷) تأثیر ذخیره‌سازی بر مقاومت سیمان را مطالعه نمود. به زعم او علیرغم بهترین اقدامات احتیاطی صورت گرفته برای ذخیره سیمان، مشخص می‌شود که طی ذخیره طولانی‌مدت، مقاومت سیمان کاهش می‌یابد. بنابراین باید تلاش شود تا حد امکان ذخیره‌سازی سیمان برای زمان کمتری صورت گیرد. از این رو باید قبل از آنکه سیمانی که مدت زیادی ذخیره شده است در کارهای مهم مصرف شود، مقاومت آن بررسی گردد. کاهش مورد انتظار مقاومت بتن با سیمان ذخیره شده در جدول ۱ آورده شده است. [۳].

جدول ۱- میزان کاهش مقاومت سیمان طی ذخیره‌سازی و مرور زمان [۳]

مدت ذخیره‌سازی	تازه	۳ ماه	۶ ماه	۱ سال	۵ سال
نسبت به مقاومت ۲۸ روزه (%)	۱۰۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰

متلاکاه و سروسیمان (۲۰۱۹) مقاله‌ای با عنوان "ماندگاری سیمان فعال شده قلیایی: تأثیر شرایط نگهداری و مدت زمان آن" را ارائه نمودند. به زعم آنها سیمان‌های هیدرولیکی آلومینوسیلیکات قلیایی نسبت به سیمان پرتلند نوع I واکنش بیشتری نشان می‌دهند. ایشان به منظور ارزیابی اثرات نگهداری در هوا و در حالت فضای بسته، بر خصوصیات و عملکرد سیمان‌های آلومینوسیلیکات قلیایی، یک مطالعه تجربی انجام دادند. در این مطالعه تجربی مدت زمان نگهداری مختلف تا ۲۸ روز در نظر گرفته شد. سیمان‌های هیدرولیکی بر اساس مورفولوژی، شیمی و کانی شناسی، واکنش هیدراتاسیون، ویژگی‌های توسعه مقاومت و ساختار محصولات هیدراتاسیون حاصل مورد بررسی قرار گرفتند. طی ذخیره‌سازی سیمان آلومینوسیلیکات قلیایی، واکنش هیدراتاسیون در سنین اولیه و ویژگی‌های توسعه مقاومت تغییر می‌یابد، به ویژه هنگامیکه سیمان در معرض هوا قرار دارد. سیمان‌های قدیمی نیز محصولاتی را طی هیدراتاسیون تولید می‌کردند که در هنگام خشک شدن در خلاء مستعد ترک‌خوردگی هستند. تأثیر ذخیره‌سازی سیمان در شرایط بسته شده یا در معرض هوا بر ویژگی‌های توسعه مقاومت بلندمدت سیمان کمتر از ویژگی‌های توسعه مقاومت کوتاه‌مدت آنها بود [۴].

منابع مختلف علمی و کاربردی توصیه‌هایی برای انبارش سیمان در سیلو برای تولیدکنندگان برای جلوگیری از مشکلات ارائه نموده‌اند [۵-۹].

موارد متعددی وجود دارد که ماندن سیمان در سیلو (تولیدکننده یا مصرف‌کننده) طی یک دوره کوتاه‌مدت و به علل مختلف از جمله توقف در تولید، باعث کاهش افت کیفیت سیمان می‌شود. لیکن شناخت دقیقی از میزان افت کیفیت وجود ندارد. لذا هدف از این مطالعه شناخت افت تدریجی مقاومت سیمان طی ۲ ماه می‌باشد.

۲. برنامه آزمایشگاهی و مواد تحقیق:

در اولین مرحله حدود ۱۰۰ کیلوگرم سیمان پرتلند نوع ۲ از کارخانه سیمان تهران تهیه شد. جداول ۲ و ۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مصرفی در این عملیات آزمایشگاهی را نمایش می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نمونه سیمان مصرفی در این مطالعه

زمان گیرش (دقیقه)	غلظت	مانده روی الک (%)				مقاومت ملات استاندارد (kg/cm ²)			بلین	سلامت	
		90μ	75μ	45μ	32μ	۳روزه	۷روزه	۲۸روزه			
نهایی	اولیه	نرمال (%)	16.9	7.5	2.0	1.6	555	397	237	3085	0.07

جدول ۳- آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی در این مطالعه

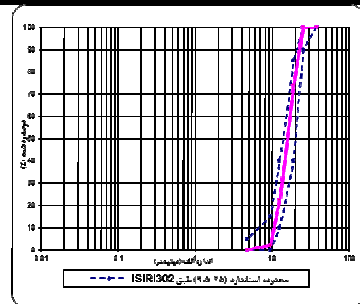
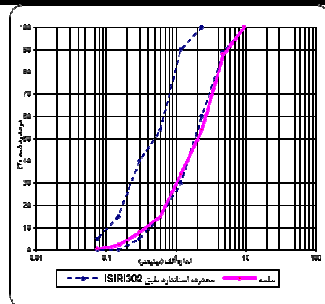
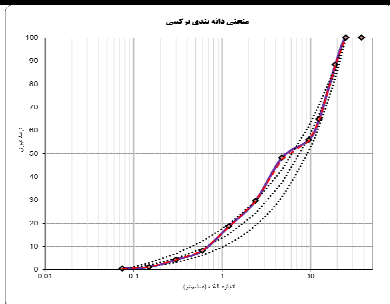
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	LOI	F.L.	C ₂ S	C ₃ S	C ₂ A	C ₄ AF
20.76	4.50	3.78	63.58	3.44	2.39	0.61	1.29	1.26	58.5	15.54	5.5	11.5

سپس ظروفی (مخازن آزمایشگاهی) تهیه شدند که دما و رطوبت داخل آن مشابه دما و رطوبت داخل سیلوهای سیمان می‌باشد. بر اساس مشاهدات تجربی دما و رطوبت داخل سیلوهای سیمان تابع شرایط محیطی است. از این‌رو در بازه زمانی مطالعه انجام شده (اسفند ۹۷ الی اردیبهشت ۹۸) هوای محیط دارای دمای حدود ۲۸-۸ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی حدود ۴۶-۱۸ درصد بوده است که مخازن آزمایشگاهی نیز دارای همین مشخصات رطوبت و دمایی بوده‌اند (شکل ۱). در گام سوم نمونه سیمان نگهداری گردید و در سنین ۰، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز ملات استاندارد و مخلوط بتنی (۶ بهر مجزا) تهیه گردید. سپس برای تهیه طرح مخلوط بتن‌های آزمایشگاهی با استفاده از سیمان‌های مذکور، از یک ترکیب نسبتاً ثابت بهره گرفته شد.



شکل ۱- محل تهیه نمونه، مخازن آزمایشگاهی نگهداری سیمان و انجام پروژه مجتمع صنعتی سیمان تهران
 در ساخت مخلوط بتن آزمایشگاهی حداکثر اندازه سنگدانه‌ها MSA: ۲۵mm بود. شکل ۲ و جدول ۴ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در این مطالعه را نشان می‌دهد. محل تهیه مصالح سنگدانه‌ای از جنوب تهران می‌باشد.
 جدول ۴- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح‌های مخلوط بتنی

نوع سنگدانه	مدول نرمی (FM)	درصد جذب آب	وزن مخصوص (SSD)	درصد شکستگی	درصد گذشته از الک ۲۰۰
شن متوسط نیمه شکسته (بادامی)	۷/۲	۱/۵۰	۲/۵۷	۴۵	۰/۵
ماسه نیمه شکسته	۴/۰	۳/۳۹	۲/۵۳	*	۴/۴



شکل ۲- نمودارهای دانه‌بندی شن (سمت راست)، ماسه (وسط) و ترکیب مصالح (سمت چپ) مصرفی در مخلوط‌های بتن در کلیه مخلوط‌ها، کیفیت مصالح سنگدانه‌ای و آب، 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. عیار سیمان مورد استفاده در کلیه طرح‌ها نیز 350 kg/m^3 بود. طراحی مخلوط‌ها به روش ملی انجام شد و توان متناظر در رابطه فولرتامسون با استفاده از جدول پیشنهادی مربوطه حدود $n: 0.35$ (میانگین 0.1 تا 0.67) در نظر گرفته شد که کاربرد گسترده‌ای (تیر، دال، ستون و مقاطع مختلف با رده روانی خمیری تا روان) دارد [۱]. برای تهیه این مخلوط ۶۰٪ ماسه با ۴۰٪ شن درشت استفاده شد (شکل ۲). در این پروژه مبنای تهیه مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی، رسیدن به کارایی مناسب (اسلامپ $8/5 \pm 0$ سانتی‌متر) بود که $W/C = 0.55 \pm 0.01$ به دست آمد. در نهایت مقاومت آزمون‌های بتنی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه اندازه‌گیری شدند (شکل ۳).



شکل ۳- نمائاتی از عملیات سیمان سازی آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی در این تحقیق

۳. نتایج آزمایشگاهی، بحث و تحلیل:

جدول ۵ خلاصه نتایج مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی. ملات‌های استاندارد در این مطالعه را نشان می‌دهد. اشکال ۴ و ۵ نمودار کلیه آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری در ۷ مخلوط بتن آزمایشگاهی (۴۲ نمونه) و ۷ بهر ملات استاندارد را نشان می‌دهد.

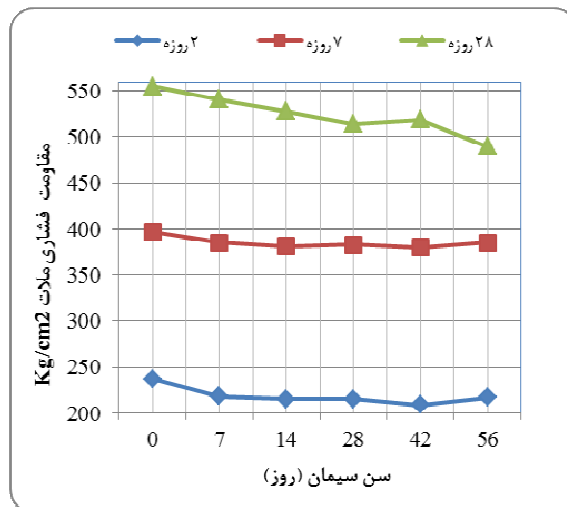
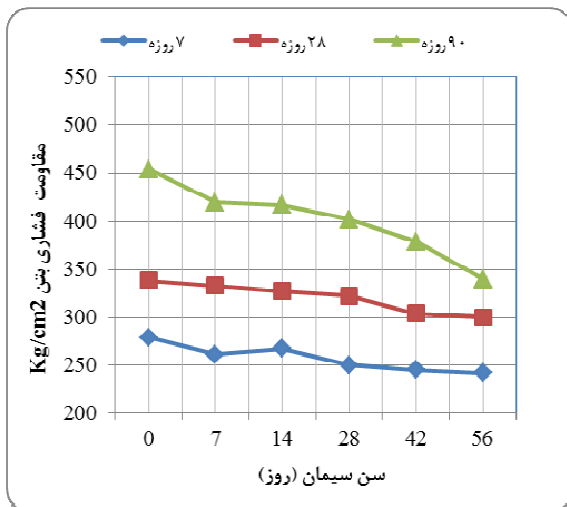
جدول ۵- خلاصه نتایج مخلوط‌های بتنی عملیات آزمایشگاهی

سن نمونه سیمان (روز)	بتن تازه		مقاومت بتن (kg/cm ²)			مقاومت ملات استاندارد (kg/cm ²)		
	w/c	اسلامپ (cm)	۷روزه	۲۸روزه	۹۰روزه	۲روزه	۷روزه	۲۸روزه
0	0.54	8.0	279	338	454	237	397	555
7	0.54	8.0	261	333	420	218	385	541
14	0.54	8.0	267	327	417	215	381	528
28	0.54	8.0	250	322	402	215	383	514
42	0.55	8.0	245	304	379	209	380	519
56	0.55	8.0	242	300	340	217	385	490

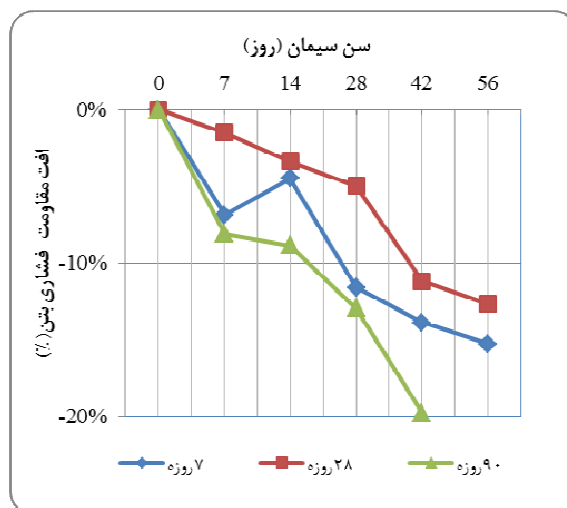
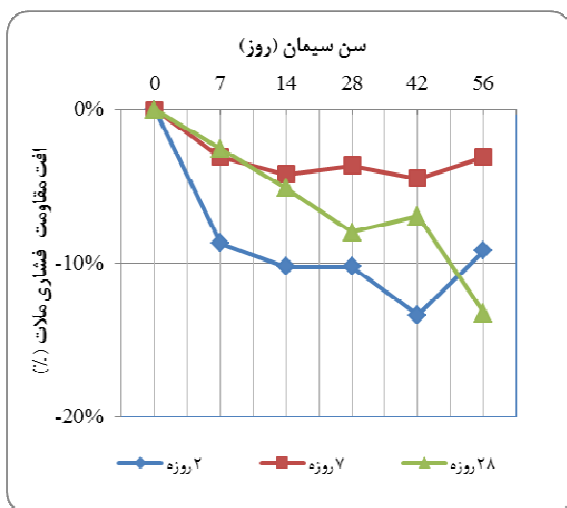
بر اساس منابع قبلی دور از ذهن نبود که با افزایش سن سیمان یا ماندن آن در مخزن، مقاومت فشاری کوتاه، میان و بلند مدت (۲، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه) ملات و بتن کاهش یابد. این کاهش به صورت جدول ۶ جمع‌بندی می‌گردد.

جدول ۶- مقادیر افت مقاومت ملات و بتن طی سنین مختلف در این مطالعه

سن نمونه سیمان (روز)	افت مقاومت بتن (%)			افت مقاومت ملات استاندارد (%)		
	۷روزه	۲۸روزه	۹۰روزه	۲روزه	۷روزه	۲۸روزه
7	7%	2%	8%	9%	3%	3%
14	4%	3%	9%	10%	4%	5%
28	12%	5%	13%	10%	4%	8%
42	14%	11%	20%	13%	4%	7%
56	15%	13%	34%	9%	3%	13%



شکل ۴- نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های ملات استاندارد (سمت راست) و بتن (سمت چپ)



شکل ۵- نتایج افت مقاومت فشاری آزمون‌های ملات استاندارد (سمت راست) و بتن (سمت چپ)

۴. نتیجه‌گیری

- در این مطالعه تاثیر تاثیر نگهداری سیمان طی ۲ ماه بر روند افت مقاومت فشاری بتن و ملات استاندارد به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که ماندن سیمان به تدریج افت مقاومتی ایجاد می‌کند. این افت مقاومت برای سیمان با عمر ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز در آزمون‌های ۲۸ روزه به ترتیب ۰.۲٪، ۰.۴٪، ۰.۶٪، ۰.۹٪ و ۱.۳٪ بود.
- افت مقاومت برای سیمان با عمر ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز برای آزمون‌های ۷ روزه به ترتیب ۰.۸٪، ۰.۴٪، ۰.۸٪، ۰.۹٪ و ۰.۹٪ می‌باشد.
- در صورتیکه سیمان در سیلو بماند، طی ۲ ماه به تدریج دچار افت مقاومت به ویژه در سن ۲۸ روز نسبت به نمونه سیمان تازه می‌شود و حداقل ۱۰٪ از مقاومت ملات و بتن ۷ یا ۲۸ روزه آن کاسته می‌شود.

۵. قدردانی

تشکر و قدردانی ویژه‌ای از مدیران، کارشناسان، و تکنسین‌های آزمایشگاه و سایر پرسنل زحمتکش مجتمع صنعتی سیمان تهران و نیز آقای مهندس اسلامی جهت کمک در طراحی این مطالعه داریم.

۶. مراجع

- [۱] "راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۳۳.
- [۲] Peter Ramge. & Wolfram Schmidt & HansCarsten Kühne (January ۲۰۱۳) "Effect of the storage of cement on early properties of cementitious systems " .
- [۳] Suryakanta (April ۹, ۲۰۱۴) "EFFECT OF STORAGE ON STRENGTH OF CEMENT".
www.civilblog.org.
- [۴] Faris Matakaha & Parviz Soroushianb (۲۰۱۹). "Shelf life of alkali activated cement: Effects of storage condition and duration". Construction and Building Materials, Volume ۲۲۲, ۲۰ October ۲۰۱۹, Pages 664672.
- [۵] Loh Han Sen Territory Sales Manager (۲۰۱۵). "Blockages in Cement Storage Silos". CLAUDIUS PETERS. AFCM ۲۰۱۵ Hanoi, April ۲۱st to ۲۴th, ۲۰۱۵.
- [۶] IBAU HAMBURG. "Silo conversions and modifications for the Cement Industry."
- [۷] GLEB GENNADIEVICH MEJEUMOV (December ۲۰۰۷). "IMPROVED CEMENT QUALITY AND GRINDING EFFICIENCY BY MEANS OF CLOSED MILL CIRCUIT MODELING". Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY
- [۸] www.cemax.com.
- [۹] Loh Han Sen (۲۰۱۵). "Blockages in Cement Storage Silos". AFCM ۲۰۱۵ Hanoi, April ۲۱st to 24th, 2015. Claudius Peters Projects GmbH.