

Laboratory Study on the Influence of Ghorī Cement Storage Time on the Physical and Mechanical Properties of Concrete

Esmatullah Kamran¹, Mohammad Arif Koshyar^{2*}, Nisar Ahmad Karimzada³, Abol Qasem Rashed⁴

1-Assistant Lecturer in Civil Department, Faculty of Engineering, Dawat University, Kabul Afghanistan

2-Assistant Professor in Civil and Industrial Department, Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan

3- Assistant Professor in Civil and Industrial Department, Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan

4-Assistant Professor, Descriptive Geometry and Technical Drawing Department, Kabul Polytechnic University Kabul, Afghanistan

koshyar1363@gmail.com and arifkoshyar@kpu.edu.af

Received: 26 December 2025 **Revised:** 17 June 2026 **Accepted:** 14 July 2026

Research paper

Abstract

This experimental study was conducted in a laboratory to investigate the effect of storage duration of Ghorī cement on the physical and mechanical properties of concrete. Cement was obtained from the Ghorī Cement Factory and stored for three periods: fresh cement (1 week), moderately stored cement (1–6 months), and long-term stored cement (1 year). Fine aggregate (sand) and two sizes of coarse aggregates (4–12 mm and 12–20 mm) were used. For each test, three specimens were prepared, and experiments were conducted periodically at monthly intervals over a six-month period on both cement and the produced concrete.

Following preliminary testing, a target concrete strength of 25 MPa was selected. Concrete specimens were cast in cube (10×10×10 cm), cylinder (15 cm diameter × 30 cm height), and prism (10×10×50 cm) forms to evaluate mechanical properties, including compressive, tensile, and flexural strengths at curing ages of 7 and 28 days. Physical tests for cement included specific gravity, density, fineness, and setting time, while for concrete they included slump (workability), water absorption, dry density, and porosity. All tests were conducted in accordance with ASTM standards.

The results indicate that increasing storage duration significantly deteriorates the physical and mechanical properties of cement and concrete. Slump, setting time, porosity, and water absorption increased, whereas compressive, tensile, and flexural strengths and cement fineness decreased (i.e., fineness residue increased). For instance, cement fineness residue increased from 3.55 g (fresh) to 16.33 g (after 1 year). Concrete workability ranged from 14.5 cm to 22.1 cm. Water absorption increased from 2.05% in the first week to 5.36% in the twelfth month. Density decreased from 2.5 to 2.3 g/cm³, while porosity increased from 4.9% to 12.8%. Furthermore, compared to fresh cement, the compressive, tensile, and flexural strengths of one-year stored cement decreased by 35.04%, 50.96%, and 53.9%, respectively.

These findings highlight the critical importance of proper cement storage management in construction projects. Adherence to standard storage conditions can minimize quality deterioration and reduce the risk of structural deficiencies.

Keywords: Ghorī Cement; Storage Duration; Physical and Mechanical Properties; Concrete Quality.

*Corresponding Author: Mohammad Arif Koshyar

Kamran E, Koshyar M A, Karimzada N A, Rashed A Q. Laboratory Evaluation on the Influence of Ghorī Cement Storage Time on the Physical and Mechanical Properties of Concrete. J. Concr. Struct. Mater.. 2026;10(1):200-225 (In Persian). <http://doi.org/10.30478/jcsm.2026.568726.1411>

2538-5828/ © 2026The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

بررسی آزمایشگاهی تأثیر زمان نگهداری سیمان غوری بالای خواص فیزیکی و مکانیکی بتن

عصمت الله کامران^۱، محمدعارف کوشیار^{۲*}، نثار احمد کریم زاده^۳، ابوالقاسم راشد^۴

۱-استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه دعوت

۲-استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پولی تکنیک کابل

۳-استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پولی تکنیک کابل

۴-استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پولی تکنیک کابل

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: koshyar1363@gmail.com and arifkoshyar@kpu.edu.af
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مدت زمان نگهداری سیمان غوری بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن، بصورت آزمایشگاهی انجام گرفته است. در این مطالعه، سیمان تولیدی کارخانه غوری در سه بازه زمانی مختلف شامل سیمان تازه (یک هفته‌ای)، سیمان نگهداری شده به مدت یک تا شش ماه، و سیمان یک ساله مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مصالح سنگی شامل ماسه و دو نوع سنگ دانه درشت با اندازه‌های (۴ تا ۱۲) و (۱۲ تا ۲۰) میلی‌متر تهیه گردید. برای هر آزمایش، سه نمونه در نظر گرفته شد و آزمایش‌ها به صورت متواتر و ماهانه در طول شش ماه بر روی سیمان و بتن ساخته شده انجام پذیرفت.

پس از آزمایش‌های مقدماتی، سیمان با مقاومت هدف ۲۵ مگاپاسکال انتخاب شد و نمونه‌های بتنی به صورت مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر)، استوانه‌ای (با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) و منشوری با ابعاد ۵۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر برای ارزیابی خواص مکانیکی شامل مقاومت فشاری، کششی و خمشی آماده شدند. نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌های فیزیکی سیمان شامل (وزن مخصوص، تعیین چگالی، نرمی) و آزمایش‌های فیزیکی بتن شامل آزمایش (اسلامپ (کارایی)، جذب آب، چگالی خشک و تخلخل) بوده و تمامی آزمون‌ها مطابق استانداردهای ASTM اجرا گردیدند.

نتایج حاصل نشان داد که با افزایش مدت زمان نگهداری، خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان و بتن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که میزان اسلامپ، زمان گیرش، تخلخل و جذب آب افزایش، در حالی که مقاومت فشاری، کششی، خمشی و نرمی سیمان کاهش نمود. نتایج نشان داد که میزان نرمی سیمان تازه ۳/۵۵ گرم بوده که در سیمان یک ساله به ۱۶/۳۳ گرم افزایش یافته است. کارایی بتن از ۱۴/۵ تا ۲۲/۱ سانتی‌متر تغییر نموده و جذب آب از ۲/۰۵ درصد در هفته نخست به ۵/۳۶ درصد در ماه دوازدهم افزایش نمود. چگالی از ۲/۵ به ۲/۳ کاهش نمود و تخلخل از ۴/۹ تا ۱۲/۸ درصد افزایش را نشان داد. همچنین، مقاومت فشاری در

سیمان یک‌ساله ۳۵/۰۴ درصد، مقاومت کششی ۵۰/۹۶ درصد و مقاومت خمشی ۵۳/۹ درصد نسبت به سیمان تازه (یک‌هفته‌ای) کاهش را نشان داد.

این نتایج اهمیت مدیریت صحیح نگهداری سیمان را در پروژه‌های ساختمانی برجسته می‌سازد. رعایت شرایط و معیارهای مناسب نگهداری می‌تواند از کاهش کیفیت جلوگیری کرده و خطر بروز نواقص سازه‌ای را کاهش دهد.

کلیدواژه‌ها: سیمان غوری، مدت زمان نگهداری، خواص فیزیکی و مکانیکی، کیفیت سیمان.

۱- مقدمه

سیمان یکی از اصلی‌ترین مصالح ساختمانی است که در تولید بتن، ملات، گچ‌کاری و بسیاری از کاربردهای عمرانی نقش اساسی و تعیین‌کننده دارد [۱] ولی عدم مدیریت مناسب آن باعث مشکلات فراوان خواهد شد [۲]. در کشورهایی مانند افغانستان، که پروژه‌های ساختمانی با چالش‌های اقتصادی، فنی و زیربنایی گسترده‌ای روبه‌رو هستند، کیفیت و دوام سازه‌ها به‌طور مستقیم به کیفیت مصالح ساختمانی، به‌ویژه سیمان، وابسته است. سیمان به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی بتن، عامل اصلی در استحکام، پایداری و عملکرد درازمدت سازه‌ها محسوب می‌شود [۳]. با این حال، این ماده مانند سایر مصالح ساختمانی به شرایط محیطی و نحوه نگهداری بسیار حساس است و در صورت انبارداری طولانی‌مدت یا نامناسب، خواص فیزیکی و مکانیکی آن دچار افت قابل محسوس می‌گردد.

در بسیاری از موارد، سیمان پیش از مصرف برای ماه‌ها در محیط‌هایی نگهداری می‌شود که از نظر رطوبت، دما، تهویه و حفاظت در برابر عوامل محیطی با استانداردهای بین‌المللی مطابقت ندارد. عواملی نظیر رطوبت بالا، دمای زیاد، بارندگی، تهویه ناکافی، روش‌های غیراصولی بارگیری و تخلیه، فشار طبقاتی در انبارها و حمل‌ونقل نادرست، همگی در کاهش کیفیت سیمان مؤثرند. این شرایط می‌تواند منجر به کاهش تدریجی خواص فیزیکی سیمان، مانند نرمی و کارایی، و در نهایت افت مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بتن گردد. پیامدهای این تغییرات، کاهش عمر مفید و دوام سازه‌ها و افزایش احتمال بروز آسیب‌های سازه‌ای خواهد بود و نیز باید گفت که موضوعات ایمنی کار از مسائلی تلقی می‌شود که بر روند اجرای پروژه‌ها، کارکنان و دقت در امور تاثیر داشته و باعث می‌شود خطرات کاهش یابد و باید جدی در نظر گرفته شود [۴].

ویژگی این پژوهش در بررسی آزمایشگاهی تأثیر مدت‌زمان واقعی نگهداری سیمان غوری تحت شرایط انبارداری رایج در افغانستان و تحلیل دقیق تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی آن در بازه‌های زمانی مختلف از سیمان تازه تا یک‌ساله می‌باشد.

۲- مرورادبیات (پیشینه تحقیق)

بررسی‌های گوناگون نشان داده‌اند که نگهداری طولانی‌مدت سیمان منجر به جذب رطوبت، کاهش فعالیت‌های شیمیایی و افت نرمی آن می‌شود. این فرایندها در نهایت سبب کاهش تدریجی مقاومت فشاری، کششی، خمشی، چگالی و نرمی سیمان شده و تأثیر مستقیمی بر خواص بتن بر جای می‌گذارند. در پژوهشی که توسط احمد و همکاران [۵] انجام شد، نتایج نشان داد که مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه به ترتیب پس از ۹۰ روز، ۶ ماه و یک سال نگهداری سیمان، به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش یافته است. در تحقیق که توسط پیترو و همکاران [۶] صورت گرفته است مشخص شده که با افزایش مدت نگهداری، واکنش‌پذیری سیمان کاهش یافته و این امر موجب افت مقاومت فشاری، افزایش زمان گیرش و افزایش نیاز به آب می‌شود. نتایج پژوهش بیتال [۷] نیز بیانگر آن است که نرمی سیمان حدود ۱۸ درصد و مقاومت فشاری بتن حدود ۲۲ درصد کاهش یافته است. رمضان پور و همکارانش

در تحقیق خود نتیجه گرفتند که افزایش دوره‌ی ذخیره‌سازی سبب افت مقاومت فشاری و کاهش روانی ملات می‌شود، به‌طوری‌که بیشترین کاهش پس از گذشت شش ماه مشاهده گردید. ریزا زول و همکارانش [۸] بیان کردند که خواص فیزیکی سیمان تا هشت هفته پس از تولید، بر اساس استانداردهای ASTM و BDS EN تغییر محسوسی ندارد؛ اما مقاومت فشاری سیمان پرتلند معمولی طبق استاندارد BDS EN با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر، دانگول و همکاران [۹] گزارش کردند که سیمان‌های سه کارخانه را مورد بررسی قرار داده و به‌طور میانگین حدود ۱۷ درصد از مقاومت خود را از دست داده‌اند. در پژوهشی که توسط موتال و همکاران [۱۰] انجام شد، مشخص گردید که با افزایش زمان و سرعت فرآیند اختلاط، کارایی بتن کاهش و در عوض مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. این مطالعه رابطه‌ای معکوس میان کارایی و مقاومت فشاری در حضور مواد افزودنی شیمیایی و نسبت آب به سیمان ثابت را نشان داد. نتایج مقاله که توسط راهداران و همکاران [۱۱] ارائه شده حاکی از آن بود که افزایش زمان نگهداری موجب کاهش مقاومت فشاری و افزایش زمان گیرش می‌گردد. ابراهیم و همکاران [۱۲] بعد از انجام آزمایشات اذعان کردند که گذر زمان در شرایط دمایی بالا نسبت به شرایط معمولی اثر منفی بیشتری بر مقاومت بتن دارد. همچنان مشخص شد که نگهداری نامناسب می‌تواند منجر به پیش‌هیدراسیون زودهنگام در سیمان شده و تأثیر منفی بر رفتار مکانیکی اولیه آن داشته باشد. کوشیار و همکاران [۱۳] اظهار داشتند که استفاده از الیاف پلی پروپیلن در نمونه‌های ژئوپلیمری باعث کاهش جذب آب گردید و همچنان باعث افزایش مقاومت فشاری شد. وانگ و همکاران [۱۴] بیان داشتند که مقاومت فشاری بتن نه تنها تحت تأثیر عوامل خارجی، بلکه به‌شدت از پارامترهای داخلی نظیر نوع سیمان، نسبت آب به سیمان و شرایط عمل‌آوری نیز تأثیر می‌پذیرد. همچنان در نتیجه تحقیق بیان گردیده که سیمان در صورت تماس طولانی با هوا یا رطوبت، به تدریج کیفیت خود را از دست می‌دهد [۱۵]. کیفیت سیمان در انبارهای غیراستاندارد با سرعت بیشتری افت کرده و زمان گیرش و مقاومت آن کاهش می‌یابد [۱۶]. ابی خلیل [۱۷] تأثیر رطوبت نسبی بالا (۷۰ تا ۹۸ درصد) را بر تشکیل محصولات پیش‌هیدراسیون در سطح سیمان مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که با افزایش رطوبت نسبی، میزان این محصولات افزایش یافته و پس از رسیدن به حالت اشباع، این روند متوقف می‌شود. همت و همکاران [۱۸] تأثیر خاکستر پوسته برنج را بر خواص میخانیکی و دوام کانکریت بررسی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که تغییر در خصوصیات مواد سمنی می‌تواند بر مقاومت، کارایی و دوام کانکریت تأثیر قابل توجهی داشته باشد. در پژوهش علی اکبر کفاح بازاری و همکاران [۱۹] نتایج نشان داد که نگهداری طولانی سیمان به تدریج موجب کاهش مقاومت می‌شود. این کاهش برای سیمان‌های با عمر ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۵۶ روز به ترتیب ۲، ۴، ۶، ۹ و ۱۳ درصد در نمونه‌های ۲۸ روزه و ۸، ۴، ۸، ۹ و ۹ درصد در نمونه‌های ۷ روزه گزارش شده است. بدین ترتیب، در صورتی که سیمان تا دو ماه در سیلو باقی بماند، افت محسوسی در مقاومت، به‌ویژه در سن ۲۸ روزه نسبت به سیمان تازه رخ می‌دهد. در مطالعه‌ی محمد سلمان و همکاران [۲۰] مشخص گردید که ویژه‌گی‌هایی مانند اسلامپ و نفوذپذیری افزایش یافته، اما مقاومت فشاری ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

در جمع‌بندی کلی، بر اساس مطالعات انجام‌شده بر سیمان‌های مختلف در کشورهای گوناگون و نتایج متنوع حاصل از آن‌ها، می‌توان گفت در افغانستان نیز سیمان‌ها غالباً پیش از مصرف برای مدت‌های طولانی در شرایطی نگهداری می‌شوند که از نظر رطوبت، دما، تهویه و حفاظت در برابر عوامل محیطی، با استانداردهای بین‌المللی مطابقت ندارند. عواملی همچون رطوبت بالا، گرما، بارندگی، تهویه ناکافی، بارگیری و تخلیه‌ی غیراصولی، فشار طبقاتی در انبارها و حمل‌ونقل نادرست، منجر به کاهش کیفیت سیمان و در نهایت افت کیفیت بتن می‌شوند. این افت کیفی می‌تواند موجب کاهش خواص فیزیکی سیمان و مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن شده و در نتیجه، عمر مفید سازه‌ها را کاهش داده و خطرات ساخت‌وساز را افزایش دهد.

در این پژوهش، سیمان تولیدی کارخانه غوری در سه بازه زمانی مختلف شامل سیمان تازه، میان‌مدت و یک‌ساله مورد آزمایش قرار

گرفت تا تأثیر مدت زمان نگهداری آن بر ویژه‌گی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شود چون تا حالا معلومات کافی در این زمینه به صورت واضح وجود ندارد و اگر از تولید سیمان غوری مدت زمان مشخص سپری گردد چه تغییرات به وجود خواهد آمد. در بخش ویژه‌گی‌های فیزیکی، شاخص‌هایی نظیر نرمی سیمان، کارایی، جذب آب، تخلخل و چگالی خشک بتن ارزیابی شده و در بخش ویژه‌گی‌های مکانیکی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

نتایج حاصل از این تحقیق، ضمن افزایش دانش فنی در حوزه مصالح ساختمانی، می‌تواند با تبیین درصد کاهش مقاومت‌ها و تغییرات فیزیکی، راهنمای مؤثری برای مهندسان عمران، معماران، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان سیمان در کشور باشد تا در زمینه خرید، انبارداری و مصرف بهینه سیمان، تصمیم‌هایی علمی و آگاهانه اتخاذ نمایند. در نهایت، این یافته‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت پروژه‌های ساختمانی و افزایش دوام و ایمنی سازه‌ها در افغانستان کمک شایانی نماید.

۳- مواد و روش‌ها

در این بخش، مواد مصرفی، مشخصات فیزیکی و شیمیایی، روش ساخت نمونه‌های بتنی، شرایط عمل‌آوری و آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انجام‌شده به‌منظور بررسی تأثیر زمان نگهداری سیمان غوری بر خواص بتن تشریح می‌شود. هدف از این جزئیات، فراهم‌آوردن اطلاعات کافی، برای تکرار آزمایش‌ها توسط پژوهشگران دیگر است.

۱-۳- مواد مورد نیاز

۱-۱-۳- سیمان

سیمان مورد استفاده در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند تیپ ۱ با رده‌ی مقاومتی ۴۰۰ بوده که توسط کارخانه‌ی سیمان غوری تأمین شده که در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه‌های سیمان در کیسه‌های اصلی کارخانه، در محیط آزمایشگاه نگهداری گردیدند و دوره‌های زمانی نگهداری سیمان شامل سه گروه، سیمان تازه (با عمر یک هفته)، سیمان با مدت نگهداری بین یک تا شش ماه و سیمان با مدت نگهداری یک ساله بودند. شرایط نگهداری در آزمایشگاه شامل دمای محیط بین ۹ تا ۳۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بیش از ۲۵ درصد (با توجه به تغییرات فصلی از دی تا تیرماه در شهر کابل) بود. در تمامی مراحل تهیه‌ی نمونه‌ها، دمای آب اختلاط تا 1 ± 26 درجه‌ی سانتی‌گراد تنظیم گردید تا اثر نوسانات حرارتی محیط بر فرآیند هیدراسیون سیمان به حداقل برسد. درصد ترکیب شیمیایی سیمان در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) - سیمان تهیه شده از کارخانه سیمان غوری

جدول (۱) - درصد تقریبی ترکیبات شیمیایی سیمان غوری

نماد شیمیایی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+ K ₂ O	H ₂ O
وزن تقریبی (درصد)	۲۲-۲۰	۶-۴	۴-۲	۶۷-۶۲	۳-۱	۳-۲	۱/۵-۰/۵	۱-۰/۵

۳-۱-۲- سنگدانه ها

همانطوریکه در شکل (۲) نشان داده شده است سنگدانه‌های درشت از نوع شن شکسته شده در دو محدوده‌ی دانه بندی ۴ تا ۱۲ میلی‌متر و ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر از منابع محلی تهیه گردید. همچنین، ماسه طبیعی (دریایی) شسته‌شده به‌عنوان سنگدانه‌ی ریز مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش دانه‌بندی مطابق با استاندارد ASTM C136 انجام شد [۲۱]. وزن مخصوص ظاهری و درصد جذب آب سنگدانه‌های درشت و ریز نیز به ترتیب بر اساس استانداردهای ASTM C127 [۲۲] و ASTM C128 تعیین گردیدند [۲۳].



(الف) (ب) (ج)

شکل - (۲)

(الف): ماسه طبیعی مورد استفاده، (ب): شن ریز دانه (۴-۱۲ میلی‌متر)، (ج): شن درشت دانه (۱۲-۲۰ میلی‌متر)

۳-۱-۳- آب

آب مصرفی از نوع آب آشامیدنی سالم بوده و مطابق الزامات استاندارد ASTM C1602 برای استفاده در بتن آماده گردید [۲۴].

۳-۲- طرح اختلاط

نسبت آب به سیمان (W/C) در تمامی طرح‌ها برابر ۰/۵۵ در نظر گرفته شد و مقاومت فشاری هدف بتن در سن ۲۸ روزه برابر ۲۵ مگاپاسکال تعیین گردید. طرح اختلاط بر اساس روش ACI 211 محاسبه شده است [۲۵]. مقادیر مواد طرح اختلاط بتن برای هر مترمکعب بتن در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲) - مقادیر مواد طرح اختلاط بتن برای هر مترمکعب

اجزای ترکیب	نسبت آب به سیمان	سیمان	آب	شن	ماسه	کل وزن مصالح
مقدار (Kg/m ³)	۰/۵۵	۳۸۲	۲۱۰	۱۱۳۸/۱۳	۶۲۵	۲۳۵۵/۱۳

۴- ساخت و انجام آزمایشات

۴-۱- شیوه ساخت و عمل آوری

برای تهیه نمونه ها، از قالب های استاندارد که در شکل (۳) نشان داده شده مطابق با الزامات ASTM طوری استفاده گردید که قالب نمونه مکعبی با ابعاد (۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی متر) برای آزمایشات مقاومت فشاری طبق الزامات ASTM C109 [۲۶] و قالب نمونه استوانه ای با قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر برای آزمایشات مقاومت کششی غیرمستقیم طبق ASTM C496 [۲۷] و همچنان قالب نمونه منشوری با ابعاد (۵۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی متر) برای آزمایشات مقاومت خمشی طبق روش ASTM C78 بکار برده شد. برای هر آزمایش، سه نمونه از هر گروه سیمان، تهیه شد و آزمایش ها در فواصل زمانی ماهانه به صورت متوالی انجام و میانگین نتایج سه نمونه، به عنوان نتیجه ی نهایی گزارش گردید [۲۸].



شکل (۳) - قالب های استاندارد نمونه های آزمایشی

(الف): قالب نمونه استوانه ای، (ب): قالب نمونه مکعبی، (ج): قالب نمونه منشوری.

نمونه های آزمایشی پس از ۲۴ ساعت از قالب ها خارج و در حوضچه ی آب با دمای 22 ± 1 درجه سانتی گراد به طور کامل غوطه ور و عمل آوری شدند. در شکل (۴-الف) نحوه ی عمل آوری و نگهداری نمونه های بتنی در حوضچه ی آب نشان داده شده است. تمامی نمونه ها یک روز قبل از انجام آزمایش، از آب خارج و در شرایط محیطی تا رسیدن به حالت سطح خشک نگهداری گردیدند و سپس آزمایش ها اجرا شد.



شکل (۴) - طرز عمل آوری و نگهداری نمونه های بتنی در حوضچه ی آب و آزمایش وزن مخصوص سیمان

(الف): نحوه عمل آوری و نگهداری نمونه های بتنی در حوضچه ی آب، (ب): آزمایش وزن مخصوص سیمان با بالن لوشاتلیه

۴-۲- آزمایش‌ها

در این پژوهش، دو گروه آزمایش‌ها شامل آزمایش‌های فیزیکی و آزمایش‌های مکانیکی به‌منظور بررسی تأثیر زمان نگهداری سیمان غوری بر خواص بتن انجام شد. جزئیات هر دسته از آزمایش‌ها بر سیمان و بتن در ادامه ارائه می‌گردد:

۴-۲-۱- آزمایش‌های سیمان

۴-۲-۱-۱- آزمایشات فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی سیمان شامل تعیین وزن مخصوص، چگالی و نرمی سیمان است که در ادامه هر یک از این آزمایش‌ها تشریح می‌شود.

۴-۲-۱-۱-۱- وزن مخصوص:

وزن مخصوص یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های فیزیکی سیمان است که در طراحی اختلاط بتن، محاسبه نسبت آب به سیمان و کنترل کیفیت مصالح نقش حیاتی دارد. این پارامتر به‌طور مستقیم نشان‌دهنده تراکم ذرات سیمان می‌باشد. وزن مخصوص در واقع نشان‌دهنده نسبت چگالی سیمان به چگالی آب است و بیان می‌کند که سیمان چند برابر آب سنگین‌تر است. این پارامتر شاخصی از تراکم ذرات سیمان بوده و به‌طور مستقیم بر رفتار هیدراسیونی و مقاومت نهایی بتن تأثیر دارد. شکل (۴-ب) آزمایش تعیین وزن مخصوص سیمان را نشان می‌دهد که مطابق با استاندارد ASTM C188 و با استفاده از رابطه (۱) انجام گرفت [۲۹].

$$\text{وزن مخصوص} = \frac{W_p - W_l}{(W_f - W_l) - (W_p - W_p)(0.79)} \quad (1)$$

در فورمول فوق:

(W_1) : وزن بالن لوشاتلیه

(W_2) : وزن نمونه + بالن لوشاتلیه

(W_3) : وزن بالن لوشاتلیه + روغن + سیمان

(W_4) : وزن بالن لوشاتلیه + روغن دیزل تعریف گردیده اند.

۴-۲-۱-۱-۲- چگالی

چگالی سیمان مطابق با استاندارد ASTM C188 تعیین شد. روش انجام آزمایش طوری است که وزن نمونه سیمان معادل ۶۴ گرم بود و این مقدار در بالن لوشاتلیه حاوی روغن دیزل ریخته شده و حجم مایع قبل و بعد از اضافه شدن سیمان اندازه‌گیری شد. تفاوت حجم، برای محاسبه چگالی حجمی سیمان استفاده گردید. روش آزمایش در شکل (۵-الف) داده است.



(ب)

(الف)

شکل (۵)- جریان آزمایش چگالی و نرمی سیمان تازه
(الف): جریان آزمایش تعیین چگالی سیمان، (ب): جریان دریافت نرمی سیمان تازه (یک هفته‌ای)

۳-۱-۱-۲-۴- نرمی سیمان

نرمی سیمان یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر سرعت هیدراسیون، کسب مقاومت اولیه، و کارایی بتن است. در این راستا، معمولاً از روش استاندارد تعیین نرمی سیمان مبتنی بر اندازه‌گیری سطح مخصوص به‌وسیله دستگاه بلین که بر اساس زمان عبور جریان هوا از میان بستر متراکم سیمان ارزیابی می‌گردد عمل می‌کند. با این حال، در تحقیق حاضر به‌دلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی، امکان انجام کامل آزمایش بلین برای تمامی نمونه‌ها در دوره‌های مختلف نگهداری فراهم نگردید. از این رو، به‌منظور ارزیابی تغییرات نسبی ظرافت سیمان، از آزمایش الک با استفاده از الک شماره ۲۰۰ مطابق استاندارد ASTM C136 به‌عنوان یک شاخص غیرمستقیم و مناسب برای بررسی توزیع اندازه ذرات و میزان ذرات درشت‌تر به‌کار گرفته شد. طبق الزامات استاندارد (OPC) IS-269 [۳۰]، اگر باقی‌مانده روی الک بیش از ۸ الی ۱۰ درصد و مطابق ASTM C150 بیش از ۳۴ درصد باشد، سیمان غیر مجاز می‌شود [۳۱]. در این تحقیق، برای هر مرحله زمانی، مقدار ۱۰۰ گرم سیمان مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها ابتدا به‌مدت ۵ دقیقه به‌صورت دستی و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از دستگاه لرزاننده الک شدند [۳۲]. پس از اتمام فرآیند، مقدار باقی‌مانده روی الک وزن شده و درصد آن نسبت به وزن اولیه محاسبه گردید. به‌منظور افزایش دقت، برای هر حالت سه تکرار در نظر گرفته شد. در نهایت، میانگین مقادیر به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش گردید. درصد باقی‌مانده روی الک به‌عنوان شاخصی غیرمستقیم از تغییرات ظرافت سیمان در طول زمان نگهداری در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۴- آزمایشات بتن

۱-۲-۲-۴- آزمایشات فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی بتن شامل اسلامپ، جذب آب، چگالی خشک بتن و تخلخل می‌باشد که در ادامه هر یک از این آزمایش‌ها تشریح می‌شود:

۱-۱-۲-۲-۴- اسلامپ (کارایی)

کارایی بتن به توانایی مخلوط در اختلاط، حمل، ریختن و تراکم بدون جداشده‌گی و یکنواخت گفته می‌شود. عوامل مؤثر بر کارایی شامل: اندازه سیمان، دانه‌بندی سنگدانه‌ها، نسبت ماسه و آب به سیمان است. اندازه اسلامپ در مطابقت با استاندارد ASTM C143 و با استفاده از مخروط فلزی که در شکل (۶) نشان داده شده انجام گرفت [۳۳].



شکل (۶) - آزمایش اسلامپ بتن تازه

۲-۱-۲-۲-۴- جذب آب

جذب آب یکی از عوامل مهم در دوام بتن و ملات تلقی می‌گردد که تعداد زیادی از محققین درصد جذب آب را بالای ۱۰ درصد گزارش داده‌اند. در این مطالعه، نمونه‌های مکعبی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ میلی‌متر پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در شرایط غوطه‌وری کامل در آب مورد آزمایش قرار گرفتند [۳۵]. همانطوریکه شکل (۷) وزن نمونه اشباع و حالت خشک شده آنرا نشان می‌دهد، ابتدا نمونه‌ها پس از پایان دوره عمل‌آوری، از آب خارج شده و جرم حالت اشباع آنها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا رطوبت آنها به‌طور کامل حذف شود. روز بعد، جرم خشک نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شده و در نهایت، مقدار جذب آب بتن با استفاده از رابطه استاندارد (۲) محاسبه شد.

$$W = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

درفورمول فوق:

(W) : درصد جذب آب

(W₁) : وزن نمونه خشک شده

(W₂) : وزن نمونه اشباع می‌باشند.



(ب)

(الف)

شکل - (۷)

(الف): وزن نمونه مکعبی در حالت اشباع ، (ب): نمونه مکعبی در حالت خشک (خشک شده آون).

۲-۱-۲-۲-۴- چگالی خشک

این آزمایش نیز روی نمونه‌های مکعبی بتن انجام شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، وزن آنها ثبت شده و بر حجم اشغال شده تقسیم شد تا چگالی خشک بتن محاسبه گردد و نظر به رابطه محاسبه گردید.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

درین رابطه :

ρ : چگالی خشک بتن

m : مقدار جرم نمونه

V : حجم اشغال شده می‌باشد.

۴-۲-۲-۲-۴- تخلخل

تخلخل بتن به عنوان نسبت حجم فضای خالی به حجم کل نمونه تعریف می شود و یکی از شاخص های مهم در ارزیابی کیفیت و دوام بتن به شمار می آید. مطابق استاندارد ASTM C642 تخلخل بتن از وزن اشباع و وزن خشک نمونه ها که در آزمایش جذب آب به دست آمد، محاسبه شد [۳۴]. افزایش تخلخل نشان دهنده کاهش تراکم و کیفیت بتن است. تخلخل نمونه ها مطابق رابطه محاسبه گردیده است.

$$PV(\%) = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{SSD} - W_{Sub}} \times 100 \quad (۴)$$

در فرمول فوق:

(PV) : تخلخل بتن

(W_{SSD}) : وزن اشباع سطح خشک نمونه

(W_{SSD}) : وزن خشک نمونه در آون

(W_{Sub}) : وزن نمونه در آب

۴-۲-۲-۲-۳- آزمایشات مکانیکی

در این تحقیق، سه ویژگی مهم مکانیکی بتن تهیه شده از سیمان غوری (مقاومت فشاری، کششی و خمشی) به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. جزئیات انجام هر آزمایش به شرح زیر است:

۴-۲-۲-۲-۱- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری عمدتاً ناشی از سنگ دانه های بتن است و مقدار آن در بتن های مختلف، متفاوت می باشد. روش محاسبه و دریافت مقاومت فشاری بتن مطابق روش ASTM-C109 [۲۶]. انجام پذیرفت. برای این آزمایش نمونه مکعبی دارای ابعاد (۱۰×۱۰×۱۰) سانتی متر در دو بازه زمانی ۷ روزه که به هدف بررسی کیفیت اولیه بتن و ۲۸ روزه برای مقایسه با مقاومت هدف تعیین شده صورت گرفت. آزمایش مقاومت فشاری در شکل (۸) نشان داده شده که توسط دستگاه اتوماتیک LE با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلو نیوتن انجام پذیرفت.



(ب)

(الف)

شکل (۸) - نمونه مکعبی جهت آزمایش مقاومت فشاری

(الف): نمونه قبل از آزمایش، (ب): جریان آزمایش نمونه.

۴-۲-۲-۲-۲- مقاومت کششی

مقاومت کششی نمونه ها به صورت کششی غیر مستقیم یا دونیم شدن آزمون‌های استوانه‌ای (برزیلی) طبق استاندارد ASTM C496 [۳۵] با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انجام پذیرفت. مقاومت کششی یکی از عوامل موثر برای شکست سازه‌ها شمرده می‌شود. طبق این استاندارد، بار به صورت خطی در بعد ارتفاعی نمونه که به حالت خوابیده در دستگاه قرار داده بود بدست آمد. مقاومت کششی طبق رابطه (۵) محاسبه گردید.

$$F = \frac{2P}{\pi LD}$$

(۵)

F نشان دهنده مقاومت کششی نمونه به مگاپاسکال، P حداکثر نیرویی که توسط دستگاه بر حسب نیوتن بدست می‌آید، L طول یا ارتفاع و d قطر نمونه به میلی‌متر می‌باشد. شکل (۹) نمونه استوانه‌ای در حال آزمایش کششی، قبل و بعد از شکست را نشان می‌دهد.



(ب)

(الف)

شکل (۹) - نمونه استوانه‌ای در حال آزمایش مقاومت کششی

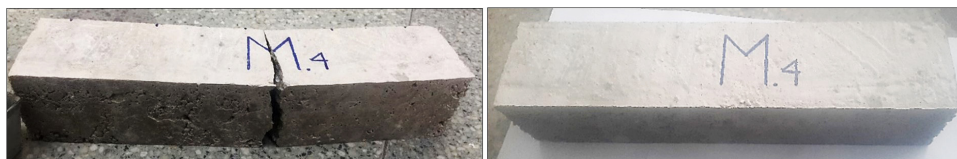
(الف) نمونه قبل از شکست و (ب) نمونه بعد از شکست را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲-۲-۳- مقاومت خمشی

مقاومت خمشی نمونه‌ها با در نظر داشت عمر سیمان در بازه‌های زمانی مشخص شده، در مطابقت با استاندارد ASTM-C293-02 [۳۶] بر روی نمونه‌های منشوری با ابعاد (۵۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر) توسط دستگاه دستی انجام پذیرفت. در این آزمایش، بار به صورت متمرکز در مرکز نمونه اعمال گردید که مطابق با روش استاندارد بارگذاری سه نقطه‌ای جهت تعیین مقاومت خمشی بتن می‌باشد. مقاومت خمشی توسط رابطه (۶) محاسبه گردید. نمونه‌ها در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

$$F_r = \frac{M_{max}}{l} \times \frac{h}{2} = \frac{3PL}{bh^2}$$

(۶)



(ب)

(الف)

شکل (۱۰) - نمونه منشوری قبل و بعد از آزمایش مقاومت خمشی

(الف) نمونه قبل از آزمایش و (ب) بعد از آزمایش را نشان می‌دهد.

۵- نتایج و بحث

نتایج حاصله از این پژوهش در دو بخش اصلی تنظیم و مورد بررسی قرار گرفت. بخش نخست به ارایه و تحلیل نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر سیمان اختصاص دارد، درحالی‌که بخش دوم شامل نتایج آزمایش‌های مرتبط با بتن می‌باشد که در ادامه هر بخش به‌صورت واضح تشریح می‌گردد.

۵-۱- نتایج آزمایش فیزیکی سیمان

۵-۱-۱- وزن مخصوص

وزن مخصوص سیمان به‌عنوان یکی از مشخصات اولیه و مهم فیزیکی سیمان، مطابق استاندارد ASTM C188 [۲۹] که در شکل (۴-ب) نشان داده شده است تعیین گردید. به‌منظور افزایش دقت نتایج، این آزمایش سه مرتبه بر روی نمونه سیمان مورد استفاده تکرار شد و میانگین مقادیر حاصل شده تحت عنوان تکرارهای اول، دوم و سوم مشخص شدند و نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین وزن مخصوص سیمان غوری برابر ۲۰۹ محاسبه گردید. اختلاف اندک میان تکرارهای آزمایش نشان‌دهنده یکنواختی نمونه و همچنان ناشی از خطاهای آزمایشگاهی، توزین نمونه‌ها، ناهم‌هنگی طبیعی ذرات سیمان و تغییرات ناچیز در مراحل اختلاط آزمایش می‌باشد. مقدار به‌دست‌آمده با محدوده متعارف وزن مخصوص سیمان هم‌راستا بوده و این آزمایش صرفاً به منظور سلامت سیمان انجام پذیرفته و بر مبنای مقایسه اثر زمان نگهداری سیمان نمی‌باشد.

جدول (۳) - نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص سیمان غوری

شماره	توضیحات	واحدها	تکرارهای آزمایش		
			تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم
۱	وزن بالن لوشاتلیه (w_1)	گرم	۲۷/۹۵	۲۷/۹۵	۲۷/۹۵
۲	وزن بالن لوشاتلیه + روغن دیزل (w_4)	گرم	۶۷/۶۴	۶۷/۶۴	۶۷/۶۴
۳	وزن بالن لوشاتلیه + روغن + سیمان (w_3)	گرم	۷۹/۸۸	۸۲/۳۶	۸۲/۰۱
۴	وزن نمونه + بالن لوشاتلیه (w_2)	گرم	۴۴/۹۵	۴۵/۳۱	۴۵/۲
۵	وزن بالن لوشاتلیه + آب (w_5)	گرم	۷۶/۶۰۱	۷۶/۶۰۱	۷۶/۶۰۱
۶	وزن مخصوص سیمان		۲/۳۶	۳/۰۲۹	۲/۹۲۴
۷	میانگین وزن مخصوص سیمان		۲/۹		

۵-۱-۲- چگالی

برای افزایش دقت نتایج، آزمایش چگالی سیمان برای هر نمونه به‌صورت سه‌بار تکراری و مستقل انجام گردید. نتایج حاصل به‌عنوان تکرار اول، دوم و سوم در جدول (۴) ارائه شده است و مقدار میانگین آن‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد.

نتایج ارائه‌شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که مقادیر چگالی در تکرارهای مختلف دارای تغییرات بسیار جزئی می‌باشد که این اختلاف‌ها در محدوده خطای آزمایشگاهی قرار دارد. بنابراین، این نتایج بیانگر یکنواختی نسبی روش آزمایش و دقت قابل قبول اندازه‌گیری‌ها است. با توجه به اینکه آزمایش چگالی در یک بازه زمانی واحد انجام شده است، امکان ارزیابی مستقیم تأثیر زمان

نگهداری بر چگالی سیمان در این بخش وجود ندارد. لذا، تغییرات مشاهده شده در جدول (۴) به عنوان تغییرات ناشی از خطای آزمایش یا ناهمگنی جزئی نمونه ها در نظر گرفته می شود، نه اثر گذشت زمان. باید گفت که چگالی سیمان به طور کلی وابسته به ساختار فیزیکی ذرات، میزان فشردگی و وجود رطوبت جذب شده در سطح آن می باشد و برای بررسی دقیق تأثیر زمان نگهداری، انجام آزمایش در دوره های زمانی مختلف ضروری است.

جدول (۴) - نتایج آزمایش تعیین چگالی سیمان

شماره	تعداد آزمایشات	واحدها	تکرارهای آزمایش		
			تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم
۱	وزن سیمان تازه	gr	۶۴	۶۴	۶۴
۲	حجم اولیه	ml	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۸۸
۳	حجم نهایی	ml	۲۲	۲۳	۲۲/۲
۴	حجم تغییر یافته	ml	۲۰/۲۱	۲۲/۰۱	۲۱/۳۲
۵	چگالی	gr/ml	۲/۹۷	۲/۹۰۷	۳/۰۰۱
۶	میانگین چگالی سیمان	gr/ml	۲/۹۷		

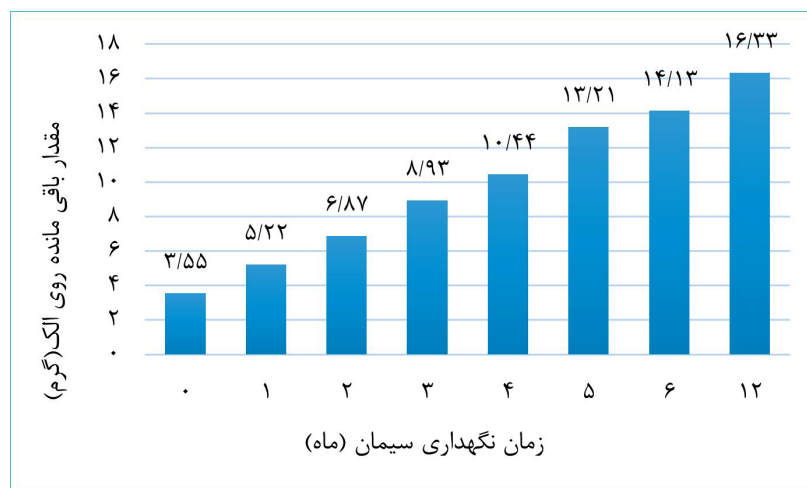
۳-۱-۵- نرمی سیمان

نتایج حاصل از آزمایش الک شماره ۲۰۰ دوره های مختلف در جدول (۵) و شکل (۱۱) نشان می دهد که با افزایش زمان نگهداری سیمان، درصد باقی مانده روی الک به طور تدریجی افزایش می یابد. این روند بیانگر افزایش سهم ذرات درشت تر و در نتیجه کاهش نسبی ظرافت سیمان در طول زمان است. کاهش ظرافت را می توان به کلوخه شدن ذرات سیمان در اثر جذب رطوبت محیطی و وقوع واکنش های اولیه هیدراسیون نسبت داد؛ به طوری که ذرات ریز به یکدیگر چسبیده و به ذرات بزرگ تر تبدیل می شوند که از الک عبور نمی کنند. این تغییرات می تواند منجر به کاهش سطح تماس مؤثر با آب، کندشدن فرآیند هیدراسیون و در نهایت کاهش مقاومت اولیه بتن گردد. با این حال، نتایج ارائه شده مبتنی بر آزمایش الک بوده و به عنوان شاخصی غیرمستقیم از تغییرات ظرافت سیمان تفسیر می شود؛ لذا تعیین دقیق نرمی سیمان (سطح مخصوص) مستلزم استفاده از روش های استاندارد مانند روش بلین می باشد. روند مشاهده شده با یافته های [۷] سازگاری داشته و نشان دهنده افت ظرافت سیمان در اثر نگهداری طولانی مدت می باشد.

جدول (۵) - نتایج مقدار باقی مانده سیمان روی الک شماره ۲۰۰ در دوره های مختلف نگهداری

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
الک (#)	۲۰۰							
مقدار باقی مانده روی الک (گرم)	۳/۵۵	۵/۲۲	۶/۸۷	۸/۹۳	۱۰/۴۴	۱۳/۲۱	۱۴/۱۳	۱۶/۳۳

بطور کلی، از شکل (۱۱) معلوم می گردد که میزان نرمی در سیمان تازه (۷ روزه) و در ماه های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ ماه به ترتیب به مقدار ۳/۵۵، ۵/۲۲، ۶/۸۷، ۸/۹۳، ۱۰/۴۴، ۱۳/۲۱، ۱۳/۱۴ و ۱۶/۳۳ گرم بوده که کاهش محسوس کیفیت سیمان را نشان می دهد.



شکل (۱۱) - تغییرات نرمی سیمان نظر به افزایش زمان نگهداری

۵-۲- نتایج آزمایش فیزیکی بتن

۵-۲-۱- اسلامپ (کارایی)

اسلامپ بتن، شاخصی است که سهولت اختلاط، جابجایی، ریختن و تراکم بتن را در محل اجرا نشان می‌دهد و تحت تأثیر اندازه ذرات سیمان و خصوصیات شیمیایی آن قرار دارد. نتایج آزمایشات اسلامپ بتن نظر به زمان نگهداری در جدول (۶) این مفهوم را می‌رساند که بین مقدار اسلامپ بتن و باقیمانده سیمان روی الک رابطه مستقیم وجود دارد. به عبارت دیگر، هر چه سیمان نرمی خود را از دست دهد، اسلامپ بتن افزایش می‌یابد زیرا آب کمتر توسط ذرات سیمان جذب می‌شود. از شکل (۱۲) هویداست که میزان تغییرات اسلامپ در دوره‌های مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ ماه نظر به سیمان تازه (۷ روزه) به ترتیب به مقدار ۲/۰۸، ۶/۸۹، ۶/۸۷، ۱۱/۷۲، ۲۰، ۲۳/۴۴، ۲۹/۶۵ و ۵۲/۴۱ درصد افزایش نموده که خود دلیل کاهش کیفیت سیمان را نظر به ماه‌های قبلی نشان می‌دهد. این نتیجه با گزارش‌های [۶، ۱۵، ۱۶، ۱۹] هم‌راستا بوده که نشان می‌دهند کاهش نرمی و فعالیت سیمان در اثر نگهداری طولانی‌مدت، موجب افزایش کارایی و اسلامپ بتن می‌گردد.

جدول (۶) - نتایج اسلامپ بتن با افزایش زمان نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
اندازه اسلامپ (ملی‌متر)	۱۴۵	۱۴۸	۱۵۵	۱۶۲	۱۷۴	۱۷۹	۱۸۸	۲۲۱
تغییرات اسلامپ (درصد)	۰	۲/۰۸	۶/۸۹	۱۱/۷۲	۲۰	۲۳/۴۴	۲۹/۶۵	۵۲/۴۱



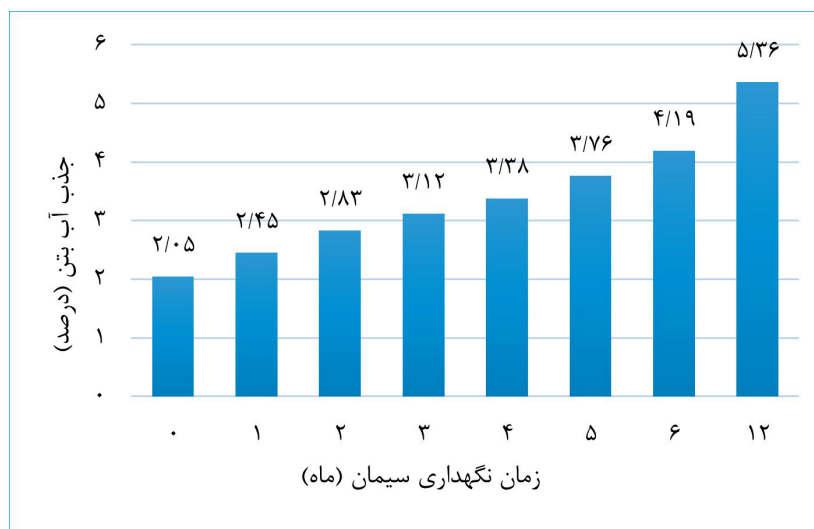
شکل (۱۲) - تغییرات اسلامپ بتن در دوره‌های مختلف نگهداری سیمان

۲-۲-۵- جذب آب

بررسی نتایج آزمایش جذب آب بتن نشان داد که زمان نگهداری سیمان اثر قابل توجهی بر رفتار تخلخلی و میزان نفوذپذیری بتن دارد. مطابق داده‌های جدول (۷)، که نتایج آزمایش درصد جذب آب بتن در دوره‌های مختلف نگهداری را نشان می‌دهد نمونه‌های ساخته شده با سیمان تازه، کمترین درصد جذب آب را نشان دادند؛ در حالی که با افزایش مدت نگهداری سیمان به ویژه در دوره‌های بیش از ۳ تا ۶ ماه روندی افزایشی و قابل ملاحظه در میزان جذب آب مشاهده شد. این تغییر رفتاری کلی ۳/۳۱ درصد از سیمان تازه الی ماه دوازدهم، بیانگر کاهش کیفیت فیزیکی سیمان در اثر گذر زمان است. کاهش تدریجی ریزدانه‌گی و افزایش کلوخه‌شدن ذرات، موجب می‌شود که سیمان توانایی کافی برای ایجاد ساختار متراکم و کم‌تخلخل در بتن را از دست بدهد. در نتیجه، بتن تولیدشده با سیمان کهنه‌تر، دارای منافذ ریز و درشت بیشتری بوده و در برابر نفوذ آب آسیب‌پذیرتر می‌شود. این پدیده افزایش درصد جذب آب بتن با افزایش زمان نگهداری در شکل (۱۳) نیز به وضوح قابل تشخیص است؛ به گونه‌ای که روند افزایشی جذب آب، با افزایش زمان نگهداری سیمان کاملاً هم‌بستگی دارد. همچنین، اختلاف وزنی نمونه‌ها در حالت اشباع و خشک، مطابق روش استاندارد ارائه‌شده، نشان می‌دهد که بتن حاصل از سیمان یک ساله، بیشترین درصد جذب آب را داراست.

جدول (۷) - نتایج آزمایش درصد جذب آب بتن در دوره‌های مختلف نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
وزن خشک نمونه ۲۴ ساعت (گرم)	۲۵۰۱	۲۴۸۳	۲۴۷۲	۲۴۶۳	۲۴۵۳	۲۴۴۲	۲۴۳۱	۲۳۸۴
وزن اشباع نمونه ۲۴ ساعت (گرم)	۲۵۵۰	۲۵۴۴	۲۵۴۲	۲۵۴۰	۲۵۳۶	۲۵۳۴	۲۵۳۳	۲۵۱۲
مقدار جذب آب (درصد)	۲/۰۵	۲/۴۵	۲/۸۳	۳/۱۲	۳/۳۸	۳/۷۶	۴/۱۹	۵/۳۶



شکل (۱۳) - افزایش درصد جذب آب بتن با افزایش زمان نگهداری سیمان

۳-۲-۵- چگالی خشک

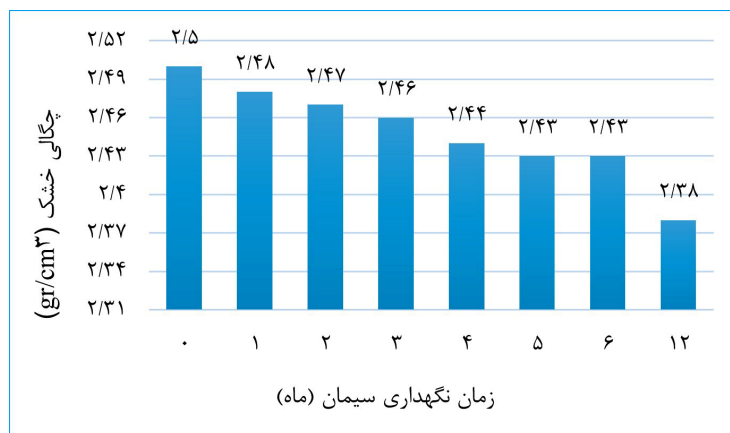
نتایج به دست آمده از بررسی چگالی خشک و اشباع بتن در دوره‌های مختلف نگهداری در جدول (۸) نشان می‌دهد که چگالی بتن ساخته شده با سیمان تازه، در بالاترین مقدار خود قرار دارد؛ اما به تدریج و با گذشت زمان، روندی کاهشی و کاملاً معنادار در چگالی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. چگالی نمونه مکعبی که با سیمان یک هفته‌ای ساخته شده، حدود $2/505$ گرم بر سانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شد، در حالی که این مقدار در ماه ششم به $2/431$ و در ماه دوازدهم به $2/384$ گرم بر سانتی‌مترمکعب کاهش یافت. این کاهش یکنواخت بیانگر افت تدریجی کارایی سیمان و تأثیر مستقیم آن بر تراکم و ساختار بتن است. این یافته در راستای مطالعات [۶، ۹، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹] بوده و تأیید می‌کند که کاهش نرمی سیمان و افزایش نیاز آبی در طول زمان، با ایجاد ساختار متخلخل‌تر، منجر به کاهش چگالی بتن می‌شود.

جدول (۸) - نتایج آزمایش چگالی خشک و اشباع بتن در دوره‌های مختلف نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
وزن خشک نمونه (گرم)	۲۵۰۱	۲۴۸۳	۲۴۷۲	۲۴۶۳	۲۴۵۳	۲۴۴۲	۲۴۳۱	۲۳۸۴
وزن اشباع نمونه (گرم)	۲۵۵۰	۲۵۴۴	۲۵۴۲	۲۵۴۰	۲۵۳۶	۲۵۳۴	۲۵۳۳	۲۵۱۲
چگالی خشک (gr/cm^3)	۲/۵۰۱	۲/۴۸۳	۲/۴۷۲	۲/۴۶۳	۲/۴۵۳	۲/۴۴۲	۲/۴۳۱	۲/۳۸۴
چگالی اشباع (gr/cm^3)	۲/۵۵۰	۲/۵۴۴	۲/۵۴۲	۲/۵۴۰	۲/۵۳۶	۲/۵۳۴	۲/۵۳۳	۲/۵۱۲

شکل (۱۴) روند کاهش چگالی خشک بتن مکعبی را با افزایش زمان نگهداری سیمان به صورت تصویری تأیید می‌کند. این کاهش چگالی ناشی از یک سازوکار وابسته و زنجیروار میان پارامترهای مختلف می‌باشد، نه عوامل کاملاً مستقل. به گونه‌ای که با افزایش زمان

نگهداری، نرمی سیمان کاهش یافته و در نتیجه کارایی مخلوط بتن افت می‌کند. برای جبران این کاهش کارایی و دستیابی به اسلامپ مطلوب، مقدار آب اختلاط افزایش می‌یابد. افزایش آب مصرفی، موجب بالا رفتن نسبت آب به سیمان شده و در نهایت تخلخل ساختار بتن سخت‌شده را افزایش می‌دهد. تخلخل بیشتر نیز سبب افزایش جذب آب و کاهش پیوستگی ماتریس سیمانی گردیده و در نتیجه، حجم مؤثر مواد جامد کاهش یافته و چگالی خشک بتن کاهش می‌یابد. بنابراین، کاهش چگالی بتن را می‌توان حاصل یک فرآیند پیوسته دانست که از کاهش نرمی سیمان آغاز شده و از طریق افزایش نیاز آبی، افزایش تخلخل و جذب آب، به کاهش چگالی منتهی می‌گردد.



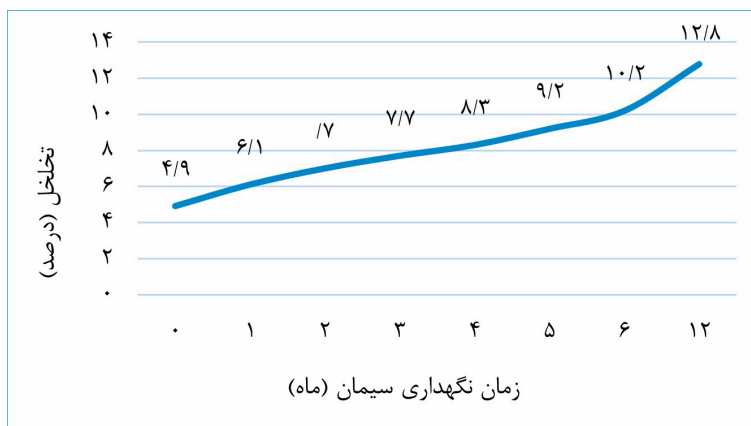
شکل (۱۴) - کاهش چگالی خشک بتن مکعبی با افزایش زمان نگهداری سیمان

۴-۲-۵- تخلخل

افزایش تخلخل بتن با گذشت زمان نگهداری سیمان نشان‌دهنده کاهش کیفیت چسبندگی بین ذرات سیمان و سنگدانه‌ها است. نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۹) درصد تخلخل بتن مکعبی در دوره‌های مختلف نگهداری سیمان را نشان می‌دهد که با افزایش زمان نگهداری سیمان، روند افزایشی دارد. این پدیده به دلیل کاهش نرمی سیمان و بزرگ‌تر شدن ذرات آن رخ می‌دهد که منجر به کاهش چسبندگی کافی بین سنگدانه‌ها و ایجاد فضای خالی بیشتر در داخل ساختار بتن می‌گردد. همان‌گونه که در شکل (۱۵) افزایش تخلخل بتن نمونه مکعبی با افزایش زمان نگهداری سیمان مشاهده می‌شود، روند افزایش تخلخل با گذر زمان نگهداری سیمان کاملاً مشهود است و در نمونه سیمان تازه ۹/۴ درصد بوده در حالیکه نمونه‌ای که سیمان به مدت ۱۲ ماه نگهداری شده، درصد تخلخل به ۱۸/۱۲ درصد رسیده است که نسبت به سیمان تازه ۱۳/۲۲ درصد افزایش را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات [۹، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹] مطابقت دارد که افزایش تخلخل بتن را ناشی از افت چسبندگی و افزایش کلوخه‌شدن ذرات سیمان در اثر نگهداری طولانی مدت بیان نموده‌اند.

جدول (۹) - نتایج آزمایش درصد تخلخل بتن مکعبی در دوره‌های مختلف نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
وزن نمونه خشک (گرم)	۲۵۰۱	۲۴۸۳	۲۴۷۲	۲۴۶۳	۲۴۵۳	۲۴۴۲	۲۴۳۱	۲۳۸۴
وزن نمونه اشباع (گرم)	۲۵۵۰	۲۵۴۴	۲۵۴۲	۲۵۴۰	۲۵۳۶	۲۵۳۴	۲۵۳۳	۲۵۱۲
مقدار خلا (درصد)	۴/۹	۶/۱	۷/۰	۷/۷	۸/۳	۹/۲	۱۰/۲	۱۲/۸



شکل (۱۵) - افزایش تخلخل بتن نمونه مکعبی با افزایش زمان نگهداری سیمان

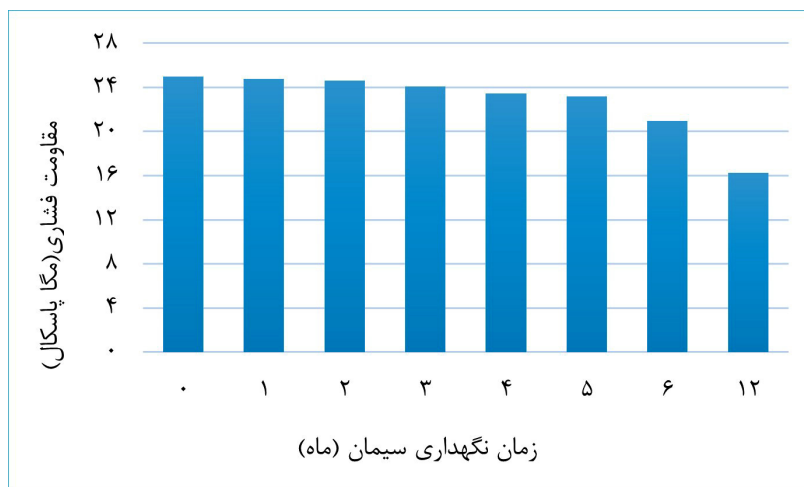
۵-۳- خواص مکانیکی

۵-۳-۱ - مقاومت فشاری

مقاومت فشاری یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی کیفیت بتن محسوب می‌شود و نشان‌دهنده توانایی بتن در تحمل بارهای فشاری است. در این تحقیق، آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ در سنین ۷ روزه و ۲۸ روزه انجام شد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه بتنی نظر به زمان نگهداری برای هر دوره زمانی در جدول (۱۰) بطور میانگین ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سیمان تازه (یک هفته) مقاومت مطلوب را حاصل نموده، بعد از گذشت یک ماه از سیمان تازه، $1/04$ درصد کاهش مقاومت در نمونه‌های مکعبی رونما شده که نظر به شکل (۱۶) درصد کاهش مقاومت در ماه‌های دوم تا دوازدهم به ترتیب $1/6$ ، $3/6$ ، $6/25$ ، $7/32$ ، $16/12$ و $35/04$ درصد مشهود می‌باشد. این کاهش مقاومت فشاری عمدتاً ناشی از دو عامل است. نخست، کاهش نرمی سیمان. دوم، افزایش مقدار اسلامپ بتن که جذب آب را افزایش داده و منجر به افزایش تخلخل و کاهش چگالی بتن گردیده است. این نتیجه با مطالعات [۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱۸] هم‌راستا بوده و نشان می‌دهد که کاهش فعالیت سیمان و افزایش مقدار آب در مخلوط، باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.

جدول (۱۰) - نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن نظر به زمان نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
مقاومت (۷ روزه) (مگا پاسکال)	۱۴/۵	۱۴/۱۲	۱۳/۸۶	۱۲/۳۱	۱۳/۴۸	۱۲/۴۴	۱۰/۹۷	۸/۷۶
مقاومت (۲۸ روزه) (مگا پاسکال)	۲۵	۲۴/۷۴	۲۴/۶۰	۲۴/۱	۲۳/۴۳	۲۳/۱۷	۲۰/۹۷	۱۶/۲۴
تفاوت مقاومت نسبت به	۰	۱/۰۴	۱/۶	۳/۶	۶/۲۵	۷/۳۲	۱۶/۱۲	۳۵/۰۴
مقاومت ۲۸ روزه (درصد)								



شکل (۱۶) - مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی از اثر زمان نگهداری سیمان

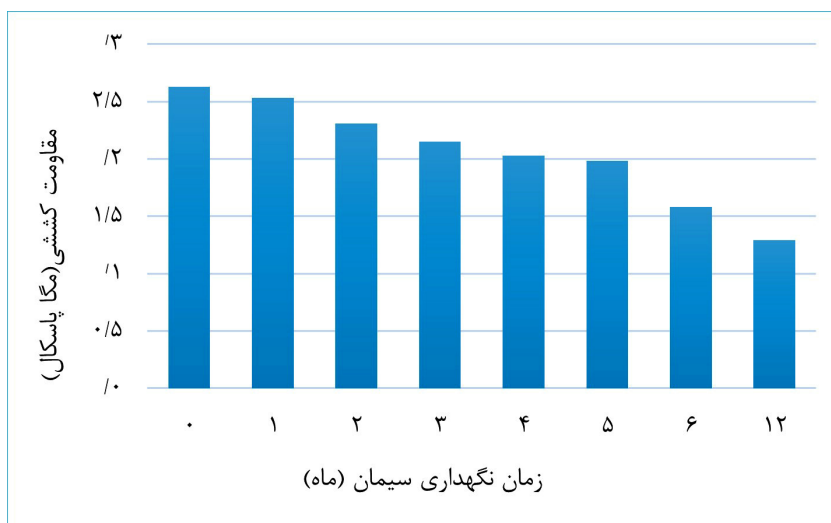
۲-۳-۵- مقاومت کششی

مقاومت کششی بتن یکی از شاخص‌های حیاتی برای ارزیابی عملکرد مکانیکی و دوام سازه‌ای است. میانگین نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن نمونه استوانه‌ای نظر به زمان نگهداری در سنین ۷ و ۲۸ روزه در جدول (۱۱) ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای با افزایش زمان نگهداری سیمان کاهش قابل توجهی دارد. در آزمایش سیمان تازه مقاومت هدف را تکمیل نموده ولی در ماه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ ماه مقاومت کششی به ترتیب $3/80$ ، $12/16$ ، $18/25$ ، $22/82$ ، $24/72$ ، $39/93$ و $50/96$ درصد کاهش مقاومت را نشان داد و نمونه‌های ۱۲ ماهه تقریباً نیمی از مقاومت اولیه خود را نسبت به مقاومت سیمان تازه از دست داده‌اند.

نتایج به دست آمده با مطالعات متعدد [۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۸] مطابقت دارد که کاهش مقاومت کششی بتن را ناشی از افت کیفیت سیمان، افزایش تخلخل و کاهش چسبندگی داخلی در اثر نگهداری طولانی مدت بیان نموده‌اند.

جدول (۱۱) - نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن نمونه استوانه‌ای نظر به زمان نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
مقاومت ۷ روزه (مگا پاسکال)	۱/۴۰	۱/۲۶	۱/۱۵	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۰۴	۰/۸۲	۰/۶۳
مقاومت ۲۸ روزه (مگا پاسکال)	۲/۶۳	۲/۵۳	۲/۳۱	۲/۱۵	۲/۰۳	۱/۹۸	۱/۵۸	۱/۲۹
تفاوت مقاومت نسبت به مقاومت ۲۸ روزه (درصد)	.	۳/۸۰	۱۲/۱۶	۱۸/۲۵	۲۲/۸۲	۲۴/۷۲	۳۹/۹۳	۵۰/۹۶



شکل (۱۷) - تفاوت مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای نظر به زمان نگهداری سیمان

۳-۳-۵- مقاومت خمشی

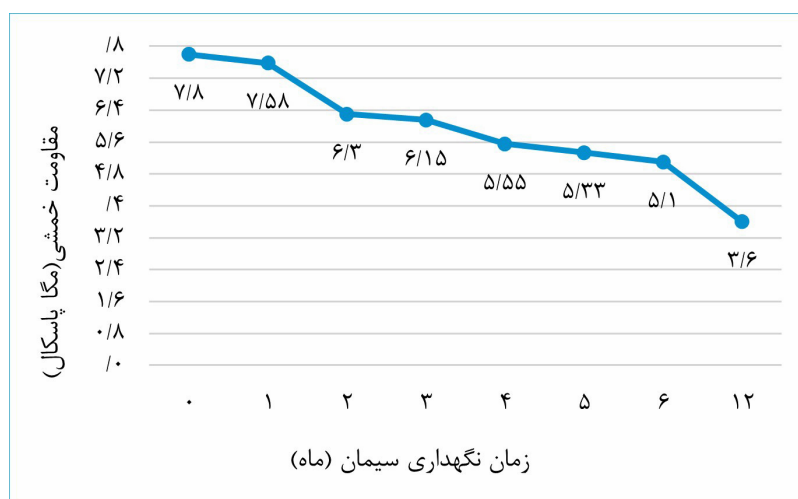
در این پژوهش، نتایج حاصل از آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌های منشوری بتن، در سن ۲۸ روزه، با در نظر گرفتن زمان‌های مختلف نگهداری سیمان، در جدول (۱۲) و شکل (۱۸) ارائه شده است. مطابق داده‌های به‌دست‌آمده، روندی نزولی در مقدار مقاومت خمشی بتن با افزایش مدت زمان انبارداری سیمان مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر منفی گذر زمان بر کیفیت فنی سیمان و در نتیجه کاهش ظرفیت باربری خمشی بتن می‌باشد.

این کاهش مقاومت به‌صورت درصدی در بازه‌های زمانی مختلف از زمان نگهداری سیمان (به ترتیب در ماه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲) به ترتیب برابر با ۲/۸۲، ۱۹/۲۳، ۲۱/۱۵، ۲۸/۸۴، ۳۱/۶۶، ۳۴/۶۱ و ۵۳/۹ درصد گزارش شده است. نوسانات قابل توجه در این درصدها نشان می‌دهد که اثر افت کیفی سیمان بر مقاومت خمشی بتن، صرفاً تابع زمان نیست بلکه ممکن است تحت تأثیر عوامل دیگری مانند شرایط محیطی نگهداری، درصد رطوبت، تهویه، و نحوه انبارش سیمان نیز قرار گیرد.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش زمان نگهداری سیمان موجب افت معنادار مقاومت‌های مکانیکی بتن می‌گردد. مقاومت کششی به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر، حتی در دوره‌های کوتاه‌مدت نگهداری سیمان کاهش محسوسی از خود نشان می‌دهد و در نمونه‌های با سیمان نگهداری‌شده به مدت ۱۲ ماه، میزان افت آن به حدود ۵۰ درصد نسبت به سیمان تازه می‌رسد. در مقابل، مقاومت خمشی روندی کاهش آن کمتر بوده و رفتار بتن در خمش پایدارتر ارزیابی می‌شود. مقایسه کمی نتایج نشان می‌دهد که مقاومت خمشی بتن به‌طور متوسط حدود ۲ تا ۲/۵ برابر مقاومت کششی و از نظر نسبت به مقاومت فشاری نیز، مقاومت کششی در حدود ۸ تا ۱۲ درصد و مقاومت خمشی در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد مقاومت فشاری بتن قرار می‌گیرد که این مقادیر بیانگر برتری عملکرد بتن در برابر تنش‌های خمشی نسبت به تنش‌های کششی مستقیم است [۳۷]. این یافته در راستای مطالعات احمد و همکاران [۵]، پیترو و همکاران [۶]، بیتال [۷]، رمضانپور و همکاران و دانگول و همکاران [۹] بوده که تأیید می‌کنند افت کیفیت سیمان در اثر نگهداری طولانی‌مدت، منجر به کاهش ظرفیت خمشی بتن می‌شود.

جدول (۱۲) - نتایج میانگین آزمایش مقاومت خمشی بتن نمونه منشوری نظر به زمان نگهداری سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان نگهداری سیمان (ماه)	سیمان تازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲
مقاومت ۲۸ روزه (کیلو نیوتن)	۱۰/۴۱	۱۰/۱۱	۸/۴	۸/۲	۷/۴	۷/۱	۶/۸	۴/۸
مقاومت ۲۸ روزه (مگا پاسکال)	۷/۸۰	۷/۵۸	۶/۳	۶/۱۵	۵/۵۵	۵/۳۳	۵/۱۰	۳/۶۰
تفاوت مقاومت نسبت به مقاومت ۲۸ روزه (درصد)	۰	۲/۸۲	۱۹/۲۳	۲۱/۱۵	۲۸/۸۴	۳۱/۶۶	۳۴/۶۱	۵۳/۹



شکل (۱۸) - تفاوت مقاومت خمشی نمونه منشوری نظر به زمان نگهداری سیمان

۶- نتیجه گیری

با توجه به تمام مراحل و نتایج به دست آمده از این تحقیق، می توان نتیجه گرفت که افزایش مدت زمان نگهداری سیمان تأثیر قابل ملاحظه ای بر خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان و بتن دارد. به طور کلی، با گذشت زمان، کیفیت سیمان کاهش یافته و در نتیجه خواص فیزیکی و مقاومت های مکانیکی بتن نیز به صورت چشمگیر تنزل می یابد.

این تحقیق نشان داد که بررسی سیمان غوری تحت شرایط واقعی نگهداری در افغانستان، یک دیدگاه عملی و بومی از رفتار فیزیکی و مکانیکی سیمان ارائه می دهد که نتایج آن از نظر میزان افت خواص، تفاوت قابل توجهی با مطالعات انجام شده در شرایط استاندارد بین المللی دارد و این امر نوآوری و ارزش کاربردی این پژوهش را نشان می دهد.

۱-۶- خواص فیزیکی

بر اساس آزمایشات انجام شده، تغییرات عمده در پارامترهای فیزیکی به شرح زیر است:

۱- **نرمی سیمان:** از ۳/۵۵ گرم در سیمان تازه به ۱۶/۳۳ گرم در سیمان نگهداری شده به مدت یک سال افزایش یافته است که نشان دهنده کاهش ریزدانه گی و آغاز توده ای شدن ذرات سیمان می باشد.

- ۲- کارآیی (اسلامپ) بتن: از ۱۴/۵ سانتی متر در سیمان تازه به ۲۲/۱ سانتی متر در سیمان یک ساله افزایش یافته که ناشی از کاهش توان جذب آب و کاهش چسبندگی ذرات سیمان است.
- ۳- درصد جذب آب: از ۲/۰۵ درصد در سیمان تازه به ۵/۳۶ درصد در سیمان یک ساله افزایش یافته است که دلیل آن کاهش تراکم ذرات و افزایش خلل و فرج در بافت بتن می باشد.
- ۴- چگالی خشک: از ۲/۵ به ۲/۳ گرم بر سانتی متر مکعب کاهش یافته که نشان دهنده کاهش فشردگی و افزایش تخلخل نمونه ها است.
- ۵- تخلخل: از ۴/۹ درصد در سیمان تازه به ۱۲ درصد در سیمان نگهداری شده به مدت یک سال افزایش یافته که نشان دهنده از دست رفتن خاصیت چسپندگی و پیوستگی درون ساختی سیمان است.

۲-۶- خواص مکانیکی

نتایج آزمایشات نشان می دهد که با افزایش مدت زمان نگهداری سیمان، مقاومت های مکانیکی (فشاری، کششی و خمشی) به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته اند.

۱-۲-۶- مقاومت فشاری

سیمان تازه (یک هفته ای) مقاومت طرح را تکمیل نموده است، اما پس از گذشت یک ماه مقاومت حدود ۱/۰۴ درصد کاهش یافته و در ماه های دوم، سوم، چهارم، پنجم، ششم و دوازدهم به ترتیب ۱/۶، ۳/۶، ۶/۲۵، ۷/۳۲، ۱۶/۱۲ و ۳۵/۰۴ درصد کاهش مقاومت را نشان داده است.

۲-۲-۶- مقاومت کششی

مقاومت کششی نیز روند نزولی مشابهی داشته و در ماه های ۱ تا ۱۲ به ترتیب ۳/۸۰، ۱۲/۱۶، ۱۸/۲۵، ۲۲/۸۲، ۲۴/۷۲، ۳۹/۹۳ و در نهایت ۵۰/۹۶ درصد کاهش یافته است.

۳-۲-۶- مقاومت خمشی

در نمونه های منشوری (۱۰×۱۰×۵۰ سانتی متر)، مقاومت خمشی از ماه اول تا دوازدهم به ترتیب ۲/۸۲، ۱۹/۳۱، ۲۱/۲۳، ۲۸/۹۲، ۳۱/۸، ۳۴/۶۸ و در نهایت ۵۳/۹ درصد کاهش مقاومت داشته است.

بطور کلی نتایج تحقیق نشان می دهد که مقاومت فشاری در سیمان یک ساله ۳۵/۰۴ درصد، مقاومت کششی ۵۰/۹۶ درصد و مقاومت خمشی ۵۳/۹ درصد نسبت به سیمان تازه (۱ هفته ای) کاهش یافته است.

۷- پیشنهادات

در پایان چند مورد پیشنهادات در روشنایی تحقیق اجرا شده به دولت و نهادهای تحت اداره دولت و همچنان فروشنده ها، طراحان و اعمار کنندگان ساختمان، صمیمانه ارایه می گردد.

۱- تأسیس کارخانه های تولید سیمان در هر زون: برای جلوگیری از کاهش کیفیت سیمان ناشی از نگهداری طولانی، توصیه می شود کارخانه های تولید سیمان حداقل در هر زون ایجاد شوند. این اقدام علاوه بر حفظ کیفیت، هزینه سیمان را نیز کاهش می دهد.

- ۲- کنترل کیفیت پیش از ورود سیمان: نهادهای مسئول، به ویژه اداره نورم و استاندارد، باید نمونه‌گیری و آزمایش سیمان‌های وارداتی انجام دهند و در صورت کیفیت پایین، از ورود آن جلوگیری نمایند.
- ۳- مصرف سیمان تازه: توصیه می‌شود سیمان حداکثر تا سه ماه پس از تولید مصرف شود. استفاده از سیمان بیش از شش ماه تنها پس از آزمایش امکان‌پذیر باشد.
- ۴- نظارت‌های تکنیکی و ایمنی: نهادهای مسئول در افغانستان باید نظارت‌های تکنیکی را تطبیق کنند، مقررات را به‌صورت جدی نافذ سازند.
- ۵- کنترل شکل و نرمی سیمان هنگام مصرف: مهندسين ناظر باید به تغییرات فیزیکی سیمان توجه داشته باشند و قبل از مصرف آن را از طریق الک نمره ۲۰۰ بررسی کنند و الزامات استاندارد را برآورده نمایند.
- ۶- برنامه‌ریزی دقیق مصرف سیمان در پروژه‌ها: جلوگیری از نگهداری طولانی سیمان در انبارها با تدوین برنامه و پلان مصرف دقیق.
- ۷- آموزش کارکنان و برجسب‌گذاری: آموزش و افزایش مهارت کارکنان و برجسب‌گذاری دقیق تاریخ تولید سیمان روی کیسه‌ها.
- ۸- مطالعات تکمیلی: تحقیق حاضر صرفاً بر خواص فیزیکی و مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی تمرکز داشته است. بررسی دوام طولانی مدت، مقاومت در برابر نفوذپذیری، یخ زدگی و سولفات‌ها بهتر است در تحقیقات آینده انجام شود.

۸- سپاس‌گذاری

از همکاری اساتید محترم، کارکنان آزمایشگاه و استاد رهنما محترم استادیار دکتر محمدعارف "کوشیار" درین تحقیق، صمیمانه قدردانی و تشکری می‌گردد.

۹- منابع

۱. محمد عراقچیان. شناخت مواد و مصالح ساختمان. ۱۳۸۹.
2. M. A. KOSHYAR, N. A. KARIMZADA, and M. ALI, "Clay-Based Geopolymer Material: A Review," 2025.
3. Dahegaokar, Dudhe. *Physical & Chemical Properties of Cement - A Study*. Dep Physics, NS-Science Arts Coll Bhadrawati Dist Chandrapur, India. 2023; 11(11): 440–
4. M. A. Q. Zada, M. A KOSHYAR, and A. J. TAFAKUR, "Safety Analysis of Construction Projects in Kabul Using the FMEA Method with a Worker Behavioral–Psychological Approach," *J. Mech. Civ. Ind. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 1–16, 2025.
5. Ibrahim A.J. *The Effect of Storage Period on the Physical and Mechanical Properties of Portland Cement*. 2022; 10(11): 1–5. www.iiste.org
6. Ramge P, Schmidt W, Kühne HC. *Effect of the storage of cement on early properties of cementitious systems* Hans-Carsten Kühne Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung *Effect of the storage of cement on early properties of cementitious systems*. 2013;(January). <https://www.researchgate.net/publication/264052338>
7. Getachew B, Adugna T, Assefa S. *Investigation on the Effect of Storage Time Due To Moisture Absorption of Cement on the Properties of Concrete*. *Int J Dev Res*. 2019; 08(1): 18558–61.

8. Haque R, Purkayastha S, Muktadir Khan A. *Variation of Physical Properties of Cement over Time*. *Int J Eng Technol*. 2018;10(6):434–9.
9. Bohara RP, Tripathi S, Shrestha SK. *An Experimental Study on Strength Loss of Nepalese Ordinary Portland Cements with Storage Time*. *Int J Adv Eng Manag*. 2019;4(November):15–9.
10. Abd El-Motaal, A. M., Abd El-Raheem, A. H., & Mahdy, M. G. (2020). *Effect of mixing time and mixing speed on concrete properties*. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 9(9), March 2020.
11. Rahdaran, A., Piran, S., & Taheri, M. (2016). *Effect of elapsed transport time on 28-day compressive strength of concrete*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Architecture and Urbanism* (pp. ...). Dubai & Masdar, UAE.
12. Ibrahim AJ, Sharba AAK, Hussain HD. *Effect of storage period in hot weather on the properties of Portland cement*. *J Eng Sci Technol*. 2021;16(6):4808–16.
13. M. A. Koshyar, O. Rezaifar, and M. K. Sharbatdar, "The Effect of Iron Slag and Polypropylene Fibers on the Strength and Impact Characteristics of Geopolymer Mortar based on Zeolite Clay Activated with Sodium Alkali Substances," *J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 8, no. 1, pp. 76–101, 2023.
14. Review A. *applied sciences The Time Variation Law of Concrete Compressive Strength : A Review*. 2023;
15. Mindess S, Young JF, Darwin D. *Concrete [Internet]*. Prentice Hall; 2003. (Prentice-Hall civil engineering and engineering mechanics series). Available from: <https://books.google.com.af/books?id=38VoQgAACAAJ>
16. K SMSJA. *Concrete Technology (Theory and Practice)*, 8e [Internet]. S. Chand Publishing; 2019. Available from: <https://books.google.com.af/books?id=4O3sDwAAQBAJ>
17. Abi-khalil S. *Mineralogy and Slurry Hydration*. 2023;(September).
18. Hemat, H. M., Koshyar, M. A., Rashed, A. Q., & Karimzada, N. A. (2026). *Effect of rice husk ash as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete: A comprehensive study*. *KPU International Journal of Engineering & Technology*, 6(1), 185–206.
19. A.A. Kaffash Bazari, Z. Nikfall, and M. Chini,
"Case study on the effect of cement storage for two months on compressive strength reduction of concrete and standard mortar,"
Proceedings of the 11th National Concrete Conference, Tehran, Iran, 2019.
Available: <https://civilica.com/doc/952784/>
20. Al-Lami MS, Atiyat D, Qutob M. *Effect of Mixing Time on Some Hardened Concrete Properties*. *Civ Eng Archit*. 2023;11(5):3154–61.
21. ASTM C136_ *Fine and Coarse Aggregate Sieve Analysis*.
22. ASTM C127: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
23. ASTM C128: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
24. ASTM C1602/C1602M: *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*.
25. ACI 211.1-16: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and*

Mass Concrete.

26. ASTM C109/C109M: *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens)*.
27. ASTM C496. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM Standard Book. 2008. p. 545-545–3.
28. ASTM C78/C78M: *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
29. ASTM C188: *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*.
30. IS 269: *Specification for Ordinary Portland Cement, 33 Grade, IS 269:2015*. Bureau of Indian Standards (via BIS search / archive). Available at: https://standardsbis.bsbedge.com/search_redirect.aspx?id=111
31. ASTM C150: *Standard Specification for Portland Cement, ASTM C150/C150M*. ASTM International. Available at: <https://store.astm.org/Standards/C150.htm>
32. ASTM C115/C115M: *Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the (No. 200) Sieve*.
33. ASTM C143/C143M: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*.
34. ASTM C642: *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Available at: <https://www.astm.org/c0642-21.html>
35. ASTM C496. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM Standard Book. 2008. p. 545-545–3.
36. ASTM C293, “*Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)* 1.” pp. 9–11, 2009.
37. Akbari, A. A., Tawakoli, A., Alim, A. T., Koshyar, M. A., & Koshyar, M. A. (2025). *Mechanical properties of lightweight concrete incorporating perlite, LECA, and supplementary materials*. *Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering*, 6(5), 40–51. <https://doi.org/10.32996/jm-cie.2025.6.5.5>