



University Of Qom



Experimental Investigation of the Effect of Mold Type and Mold Oil on the Physical Characteristics of Self-Compacting Concrete

Neda Azizi¹, Mahdi Sharifi², Mohamad Reza Shokrzadeh³

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: Neda.azizi.eng@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: M.sharifi@qom.ac.ir
3. Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: MR.Shokrzadeh@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 02 Jul 2024

Revised 05 Sep 2024

Accepted 21 Sep 2024

Published 22 Sep 2024

Keywords:

Self-Compacting Concrete,
Type of Mold,
Type of Mold Oil,
Concrete Processing Conditions,
Physical Characteristics of Concrete.

ABSTRACT

Today, in addition to the durability properties of concrete, its aesthetic qualities and appearance are also being researched and examined. The appearance of concrete depends on the type of concrete, the characteristics of the materials, the method of construction, and the curing process. Among the various parameters affecting the aesthetic appearance of concrete during construction, the type of formwork, the type of release agent used, and the curing conditions are significant factors. The main objective of this research is to investigate the parameters of formwork type, curing conditions, and type of release agent on the surface quality of concrete. In this context, various samples were produced using self-compacting concrete with ABS, PVC, untreated wooden, MDF, and metallic formworks, utilizing two types of release agents based on water and petroleum solvents, or with no release agent at all. Two curing conditions were also examined: curing in water and curing in an environment outside water. Different tests, including water absorption, abrasion, Schmidt hammer, and water droplet penetration tests, were conducted. The water droplet test was proposed and examined for a rapid assessment of the aesthetic quality of concrete. Test results show ABS and PVC samples perform well under various conditions. ABS with solvent-based mold oil resists water absorption, while PVC with water-based oil shows good impact resistance. ABS with water-based oil excels in compressive strength. Samples without mold oil have better surface quality. Non-water-cured samples offer superior aesthetics, while water-cured ones have enhanced physical properties due to higher density. Material choice and manufacturing conditions significantly impact product quality, aiding production optimization.

Cite this article: Azizi N, Sharifi M, Shokrzadeh MR. Experimental Investigation of the Effect of Mold Type and Mold Oil on the Physical Characteristics of Self-Compacting Concrete. Civil Infrastructure Researches. 2024; 10(2): 81-98. <https://doi.org/10.22091/cer.2024.10881.1559>



بررسی آزمایشگاهی اثر نوع قالب و روغن قالب بر مشخصات فیزیکی بتن خودتراکم

ندا عزیزی^۱، مهدی شریفی^۲، محمدرضا شکرزاده^۳

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: Neda.azizi.eng@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: M.sharifi@qom.ac.ir

۳. گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: MR.Shokrzadeh@srbiau.ac.ir

چکیده

امروزه علاوه بر خواص دوامی بتن، زیبایی‌شناختی و ظاهر آن نیز در حال تحقیق و بررسی است. حفظ ظاهر بتن تابع نوع بتن، ویژگی مصالح، نوع ساخت و عمل‌آوری است. از جمله پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر روی زیبایی ظاهر بتن حین ساخت، نوع قالب، نوع روغن قالب و شرایط عمل‌آوری است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی پارامترهای نوع قالب، شرایط عمل‌آوری و نوع روغن قالب در کیفیت ظاهری بتن می‌باشد. در این راستا نمونه‌های مختلفی با بتن خودتراکم، قالب‌های ABS، PVC، چوبی عمل‌آوری نشده، چوبی MDF و آهنی، با دو نوع روغن قالب بر پایه حلال آب و حلال نفت و یا عدم استفاده از روغن قالب و دو نوع شرایط عمل‌آوری که شامل عمل‌آوری در محیط آب و محیط خارج از آب می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات مختلفی از جمله جذب آب، سایش، چکش اشमित، نفوذ قطره آب انجام شده است. آزمایش قطره آب به جهت بررسی سریع کیفیت ظاهری بتن پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد نمونه‌های ساخته‌شده با قالب‌های ABS و PVC در شرایط مختلف عملکرد مطلوبی دارند. نمونه‌های ABS با روغن قالب بر پایه حلال نفت در جذب آب مقاومت خوبی نشان دادند. نمونه‌های PVC با روغن قالب بر پایه آب در آزمایش چکش اشमित مقاومت مناسبی در برابر ضربه داشتند. نمونه‌های ABS با روغن قالب بر پایه آب نیز در مقاومت فشاری عملکرد خوبی نشان دادند. آزمایش‌های سایش و بررسی سطح نشان دادند نمونه‌های ABS ساخته‌شده بدون روغن قالب کیفیت سطح بهتری دارند. نمونه‌های عمل‌آوری نشده در آب از نظر زیبایی بهتر بودند، در حالی که نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب به دلیل تراکم بیشتر، خواص فیزیکی بهتری داشتند. به طور کلی، انتخاب مواد و شرایط ساخت بر کیفیت محصولات تأثیر قابل توجهی دارد و می‌تواند به بهینه‌سازی تولید کمک کند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

بتن خود تراکم،

نوع قالب،

نوع روغن قالب،

شرایط عمل‌آوری بتن،

مشخصات فیزیکی بتن.

استناد: عزیزی ندا، شریفی مهدی، شکرزاده محمدرضا. بررسی آزمایشگاهی اثر نوع قالب و روغن قالب بر مشخصات فیزیکی بتن خودتراکم.

پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۱۴۰۳؛ ۱۰(۲): ۸۱-۹۸. <https://doi.org/10.22091/cer.2024.10881.1559>

۱- مقدمه

در عصر حاضر، الزامات زیبایی‌شناسی دیگر محدود به کارهای معماری نمی‌شود؛ بلکه تمایل دارد در طیف گسترده‌ای از کارهای ساختمانی از جمله سازه‌های بتنی گسترش یابد [۱ و ۲]. در سالیان اخیر، توجه مهندسان و کارفرمایان بر کیفیت ظاهری بتن به عنوان بتن نمایان^۱ بیشتر شده است [۳-۷]. کیفیت ظاهری سطح بتن، بعد از بازکردن قالب‌ها قابل مشاهده است. ظاهر و کیفیت این سطوح به نوع بتن، نوع قالب و نوع روغن مورد استفاده به عنوان جداساز بستگی دارد [۸-۱۰]. در این میان، شرایط عمل‌آوری نیز بر روی کیفیت ظاهر بتن مؤثر است. اصول قاعده‌مند و استاندارد شده‌ای جهت بررسی کیفیت ظاهر بتن وجود ندارد. در مطالعات اخیر، یکنواختی رنگ سطح آن، مسطح بودن، عدم وجود حفرات (سوراخ‌های سطحی) در سطوح بتنی را از الزامات مربوط به زیبایی سطح بتن معرفی می‌نمایند [۱۱-۱۴]. در مطالعات دیگر، محققان به بهینه‌سازی مخلوط‌های بتن خودتراکم و استفاده از روش‌های محاسباتی و مواد دوست‌دار محیط‌زیست در تولید بتن پرداختند [۱۵-۱۷]. در این راستا آزمایشات متداول و مشهوری نیز مورد اجماع نظر محققان و مهندسان نمی‌باشد. با توجه به این توضیحات، هدف از این تحقیق بررسی زیبایی ظاهر سطوح بتن با در نظر گرفتن اثر نوع قالب، نوع جداساز و شرایط عمل‌آوری مختلف است. در این راستا آزمایشات مختلف که می‌تواند بیانگر کمی برای مقایسه کیفیت ظاهری بتن باشد، از جمله مقاومت فشاری، چکش اشمیت، درصد جذب آب، مقاومت سایشی، آزمایش تصویرنگاری و آزمایش نفوذ و عبور قطره از سطح استفاده شده است. این آزمایشات بیشتر جهت مقایسه و استفاده سایر محققان جهت انجام مطالعات بیشتر برای استانداردسازی این آزمایشات صورت گرفته است.

۱-۱- تاریخچه تحقیقات و ضرورت انجام تحقیق

مطالعات مختلفی با هدف بررسی تأثیر قالب‌ها و روغن قالب بر سطوح نمونه‌های بتنی انجام شده است [۱۱، ۱۸-۲۶]. این تحقیقات نشان می‌دهند که نوع روغن قالب می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر خوردگی قالب‌های فولادی و زیبایی‌شناسی بتن تأثیر بگذارد. تحقیقات نشان می‌دهد ترکیب روغن‌های گیاهی و مصنوعی بهترین نتیجه را برای سطح نمونه بتنی به همراه دارد و روغن‌های قالب معدنی و مصنوعی منجر به غیریکنواختی رنگ سطوح بتنی می‌شوند. همچنین مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از روغن با روش اسپری کردن، کیفیت پایین‌تری برای سطوح بتنی ایجاد می‌کند و روغن‌های گیاهی بهترین محافظت را از سطح فلز در برابر خوردگی ارائه می‌دهند [۲۶]. جنس و نوع قالب نیز اثر بسزایی در کیفیت ظاهر بتن دارد. قالب‌های نفوذناپذیر کیفیت ظاهری بهتری را در میزان حفرات سطحی و تراکم سطحی برای بتن ایجاد می‌نمایند. به‌طور مثال، آستر CPF^۲ به تخلیه آب و حباب هوا اجازه می‌دهد و از سیمان و سایر ذرات ریز محافظت می‌کند. این امر باعث کاهش نسبت آب به سیمان در بتن و حفظ رطوبت مورد نیاز سیمان می‌شود که در نتیجه، تراکم و مقاومت سطحی بتن افزایش می‌یابد [۲۷]. قالب‌های نفوذپذیر نظیر قالب‌های تخته سه‌لا ممکن است منجر به دستیابی کیفیت پایین سطح بتن شوند. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که قالب‌های PVC و فولاد می‌توانند سطوح بتنی با کیفیت متوسط تولید کنند [۲۸]. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در کیفیت ظاهری بتن نوع روغن قالب است. به‌طور کلی، چسبندگی ذاتی بتن به سطح قالب، عاملی است که باعث استفاده از روغن قالب (روغن جداساز) جهت جلوگیری از ایجاد چسبندگی می‌شود. بعضی روش‌های دیگر، جهت حذف چسبندگی قالب و بتن استفاده می‌شود. به‌طور مثال، اعمال پلاریزاسیون، که شامل اعمال جریان الکتریکی بین میله‌های فولادی و دیواره فلزی قالب برای ایجاد لایه نازکی از آب و

^۱- expose

^۲- Controlled Permeable Formwork

استفاده از قالب‌ها با پودر اسید پلی‌لاکتیک یا الیاف کربن بازیافتی- اکریلونیتریل بوتادین استایرن برای قالب‌های سه‌بعدی می‌تواند به عنوان قالب‌های ارزان‌تر مورد توجه باشند [۱]. در نهایت، مرور مقالات علمی در زمینه سیستم‌های قالب‌بندی بتن نشان می‌دهد که گرایش به استفاده از مواد قابل بازیافت و رباتیک، به‌ویژه چاپ سه‌بعدی برای بهبود ویژگی‌های ظاهری نمونه‌های بتن در حال افزایش است [۳۱].

با توجه به مطالعات فوق، این تحقیق با هدف بررسی اثر نوع قالب، نوع جداساز و شرایط عمل‌آوری، بر روی ویژگی‌های ظاهری نمونه‌های بتن خودتراکم صورت گرفته است. جزئیات بیشتر در بخش بعدی ارائه گردیده است.

۲- روش مطالعه

روش مطالعه در این تحقیق به‌صورت آزمایشگاهی می‌باشد. پارامترهای منظور شده در این تحقیق شامل نوع قالب، شامل قالب‌های PVC، ABS، چوبی فرآوری‌نشده، چوبی فرآوری‌شده MDF، قالب فلزی، نوع جداساز شامل جداساز بر پایه حلال آب و حلال نفت، نوع عمل‌آوری در محیط‌های داخل و خارج از آب، می‌باشد. آزمایشات صورت گرفته شامل مقاومت فشاری، چکش اشمیت، مقاومت سایشی، جذب آب، نفوذ قطره و عبورگریزی قطره آب و تصویرنگاری از سطح نمونه‌های مختلف است. آزمایشات در سن ۱، ۲۸ و ۳۵ روز بتن صورت گرفته است. گستره آزمایشات در نظر گرفته شده براساس مطالعات مشابه بگونه‌ای انتخاب شده است که مشخصات فیزیکی و ظاهری نمونه‌های بتن را بیان نماید. جزئیات آزمایش‌ها و استانداردهای مربوط به هر یک از آزمایش‌ها به شرح جدول ۱ است.

نام‌گذاری هر یک از پارامترهای مورد بررسی و آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه، ابعاد، سن و تعداد نمونه‌ها و نامگذاری روغن‌های قالب استفاده شده به شرح جدول ۲ می‌باشند.

جداسازی قالب است، یکی از این روش‌هاست. نتیجه مطالعات نشان داده‌اند که این روش می‌تواند بتن را بدون نیاز به روغن قالب‌برداری جدا کند و سطح با کیفیت بالایی ارائه دهد [۲۹]. البته اجرایی بودن این روش‌ها مورد سوال و چالش است. مطالعات دیگر نشان داده‌اند که با استفاده از تکنیک قالب‌بندی In-Place (SIP) Stay، قالب‌های مورد استفاده برای ساخت دیوارها، پس از اتمام بتن‌ریزی یا سایر عملیات ساختمانی، در جای خود باقی می‌مانند و به عنوان بخشی از ساختار نهایی ساختمان عمل می‌کنند. این قالب‌ها علاوه بر ایجاد شکل‌دهی اولیه برای بتن یا مواد ساختمانی دیگر، معمولاً ویژگی‌های عایق‌بندی حرارتی یا صوتی نیز دارند و می‌توانند به بهبود عملکرد کلی ساختمان کمک کنند. به‌جای قالب‌بندی‌های سنگین بتنی سنتی در مناطق گرم و سرد، می‌تواند عملکرد انرژی و راحتی بهتری داشته باشد و در کاهش نیاز به خنک‌کنندگی مؤثر باشد [۳۰].

یکی از روش‌های پایش کیفیت ظاهر بتن، استفاده از تصاویر و اسکن کیفیت ظاهر بتن است. پارامترهای فنی تجهیزات نظیر دقت، سرعت و ارتفاع اسکنر، پارامترهای محیطی مانند دما، نور و رطوبت سطح بتن، در تفسیر این نتایج تأثیرگذار است. در تحقیقات بیان گردیده است که دقت، سرعت و ارتفاع اسکنر به طور قابل‌توجهی بر جمع‌آوری اطلاعات سطح بتن نمایان تأثیر می‌گذارند. بهترین کارایی در تفسیر تصاویر در دقت ۳۰۰ dpi، سرعت ۱۸۵ میلی‌متر بر ثانیه و ارتفاع ۳/۵ میلی‌متر به‌دست می‌آید. در بین این پارامترها دما تأثیر کمی دارد و نور محیطی در محدوده ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ لوکس نتیجه پایداری می‌دهد و کاهش رطوبت سطح به زیر ۵٪ تأثیر قابل‌توجهی ندارد [۸].

تکنیک استفاده از قالب‌های نوین نظیر چاپگر سه‌بعدی و استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف، در حال افزایش است. تحقیقات نشان می‌دهند که این تکنیک‌ها می‌توانند قالب‌های پیچیده‌تر و بادوام‌تری را با سرعت بیشتر و احتمالاً هزینه بالاتر تولید کنند.

نشان می‌دهد که شامل نمونه عمل‌آوری شده در آب (CW) و عمل‌آوری شده در محیط (WCW) است. بخش چهارم، سن نمونه را نشان می‌دهد که شامل یک روزه (۱)، بیست و هشت روزه (۲۸) و سی و پنج روزه (۳۵) است. بخش پنجم نیز ابعاد نمونه‌ها را نشان می‌دهد که شامل مکعب $15 \times 15 \times 15$ (F)، مکعب $3 \times 20 \times 20$ (G) و نمونه $3 \times 10 \times 10$ (H) است.

شناسه نمونه‌ها به پنج بخش تقسیم می‌شود. بخش اول، نشان‌دهنده نوع قالب است که شامل چوبی فرآوری نشده (W)، چوبی فرآوری شده (MDF)، فلزی (I)، قالب پلاستیکی ABS و قالب پلاستیکی PVC است. بخش دوم، نوع جداساز را نشان می‌دهد که شامل بر پایه حلال آب (WB)، بر پایه حلال نفت (SD) و بدون استفاده از جداساز (WMO) است. بخش سوم، شرایط عمل‌آوری را

جدول ۱- استانداردهای مربوط به آزمایش‌ها

عنوان آزمایش	مرجع
بررسی کیفیت سطح نمونه‌ها	مطالعات خیاط و همکاران [۲۸]
نفوذ قطره آب	مطالعات گیدریوس و همکاران [۲۲]
سایش و کاهش جرم	استاندارد ^(*) IS1237-2012 [۳۲]
مقاومت فشاری	استاندارد BS1881-part116 [۳۳]
چکش اشمیت	استاندارد ISIRI 3201-7 [۳۴]
درصد جذب آب	استاندارد ملی ایران، ۱۶۰۸-۱۲۲ [۳۵]
^(*) کلیات آزمایش براساس این استاندارد بوده و ابعاد با توجه به دستگاه در دسترس انتخاب شده است.	

جدول ۲- معرفی اختصارات استفاده شده برای هریک از پارامترها در طول مطالعه

حروف اختصاری	پارامترها	حروف اختصاری	پارامترها
CW	داخل آب	W	چوبی فرآوری نشده
WCW	خارج از آب	MDF	چوبی فرآوری شده
۱	یک روزه	I	آهنی
۲۸	۲۸ روزه	ABS	پلاستیک ABS
۳۵	۳۵ روزه	PVC	پلاستیک PVC
F	$15 \times 15 \times 15$	WB	بر پایه حلال آب
G	$20 \times 20 \times 3$	SB	بر پایه حلال نفت
H	$10 \times 10 \times 3$	WMO	عدم استفاده از روغن قالب

ماسه در جدول ۳ و مشخصات روغن‌های قالب استفاده شده در جدول ۴ بیان شده است.

۲-۲- قالب‌ها

در این مطالعه قالب‌های استفاده شده از جنس‌های آهنی، چوبی فرآوری نشده، چوبی MDF، پلاستیکی PVC، پلاستیکی ABS و در دو حالت مکعبی و موزاییکی است. تصاویر شکل ۱، نشان‌دهنده قالب‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌باشند.

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

مصالح مورد استفاده در این مطالعه جهت ساخت بتن خودتراکم شامل سیمان، ماسه، پودر سنگ، روان‌کننده و آب و روغن‌های قالب استفاده شده بر پایه حلال آب و حلال نفت می‌باشند. در این مطالعه، از روان‌کننده بتن بر پایه پلی‌کربوکسیلات استفاده شده است. همچنین آب مورد نیاز از آب شرب استان قم و پودر سنگ استفاده شده از پودر شدن سنگ آهک و تولید شده در استان قم تأمین شده است. مشخصات سیمان و

سطح نمونه‌ها و همچنین از قالب‌های مکعبی شکل جهت انجام آزمایش‌های درصد جذب آب، چکش اشمیت و مقاومت فشاری استفاده شده است [۱۱، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۷ و ۲۸].

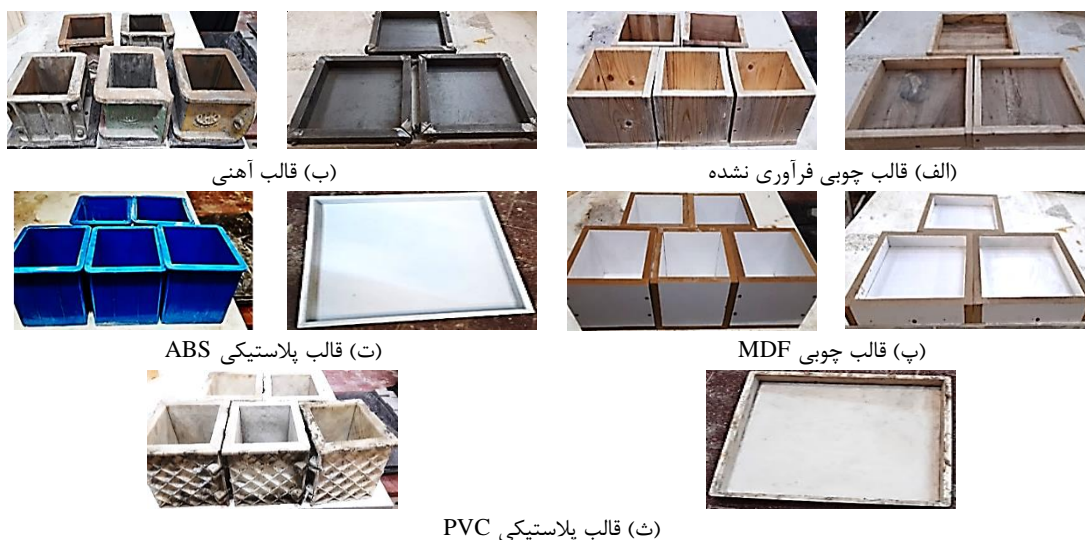
با توجه به نهای نبودن روش‌های مطالعه وضعیت ظاهری نمونه‌های بتنی، مشخصات نمونه‌ها براساس مطالعات اخیر محققین از قالب‌های موزاییکی شکل جهت انجام آزمایش‌های قطره آب، سایش سطح و بررسی کیفی

جدول ۳- مشخصات سیمان و ماسه استفاده شده در این مطالعه

نام مصالح	نوع	وزن مخصوص (ton/m^3)
سیمان	تیپ ۱-۳۲۵	۳/۵
ماسه	رودخانه‌ای	۲/۵۲۳

جدول ۴- مشخصات روغن‌های قالب استفاده شده در این مطالعه

قابلیت انحلال	رنگ	وزن مخصوص (gr/cm^3)	حالت
در حلال نفتی	زرد	۰/۸۵	مایع
در حلال آب	سفید- شیری	۰/۸۵	مایع



شکل ۱- تصاویر قالب‌های مکعبی و موزاییکی شکل

۳-۲- ساخت بتن و طرح اختلاط

سنگ توزین شده داخل میکسر به مدت ۱ الی ۲ دقیقه به صورت خشک مخلوط شدند. سپس مخلوط آب و روان‌کننده به مصالح مخلوط شده اضافه شده و ۳ الی ۴ دقیقه اختلاط صورت گرفت. بتن تهیه شده به داخل قالب‌ها منتقل شده و بعد از ۲۴ ساعت از قالب‌ها جدا شدند.

با توجه به اینکه پارامترهای طرح اختلاط در این مطالعه بررسی نشده است، یک طرح اختلاط از مطالعات تحقیقاتی مشابه در حال انجام استفاده شده است. مشخصات طرح اختلاط بتن در جدول ۵ ارائه شده است. جهت ساخت بتن خودتراکم، ابتدا ماسه، سیمان و پودر

جدول ۵- طرح اختلاط بتن خودتراکم برای یک متر مکعب

مواد تشکیل‌دهنده	ماسه	سیمان	پودر سنگ	آب	روان‌کننده
وزن برحسب (kg/m^3)	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۴+۱۸۰	۵

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- درصد جذب آب

محاسبه میزان درصد جذب آب نمونه‌های مکعبی بتن از رابطه (۱) برگرفته از استاندارد ملی ایران، شماره ۱۶۰۸-۱۲۲ می‌باشد:

$$(۱) \quad \text{درصد آب جذب شده} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

که در آن، m ، وزن نمونه بعد از عمل‌آوری در آب و m_0 ، وزن نمونه بعد از خشک‌شدن در دستگاه آون است [۳۵].

۳-۲- مقاومت فشاری

مطابق استاندارد BS1881-part116، مقاومت فشاری با تقسیم نمودن حداکثر بار وارده بر روی آزمون در حین آزمون بر میانگین سطح مقطع نمونه محاسبه می‌شود [۳۳].

۳-۳- چکش اشمیت

این آزمایش مطابق استاندارد ISIRI 3201-7 انجام شده است [۳۴]. انجام آزمایش چکش اشمیت با رعایت موارد زیر صورت گرفته است:

(الف) از حداقل ۹ خواندن برای کسب یک تخمین قابل‌اعتماد در مورد نمره برجش برای منطقه آزمون استفاده گردیده است.

(ب) هیچ دو نقطه تماسی نباید فاصله نزدیک‌تر از ۲۵ میلی‌متر و هیچکدام یک لبه ۵۰ میلی‌متر داشته باشند.

(پ) اگر بیش از ۲۰ درصد از خواندن‌ها با مقدار میانگین، بیش از ۱۰ واحد اختلاف داشته باشند، کل مجموعه خواندن‌ها باطل فرض شده و قرائت مجدد صورت گرفته است.

۳-۴- بررسی کیفی سطح نمونه‌های بتن

جهت بررسی کیفی سطح بتن از مطالعات خیاط و همکاران الگوبرداری شده است. در این مطالعه و در این بررسی کیفی، عکسبرداری از سطح نمونه‌های بتن ساخته شده در سنین ۱ و ۲۸ روز در حالت‌های با و بدون عمل‌آوری شده در آب در محیط داخلی آزمایشگاه تحت نور معمولی و در محیط خارج از آزمایشگاه تحت نور معمولی محیط بیرونی، صورت می‌پذیرد تا ویژگی‌های زیبایی‌شناختی بتن نظیر عدم وجود منافذ، یکنواختی رنگ سطح بتن و درخشندگی در سطح بررسی شود [۲۸]. با توجه به عدم وجود آزمایش مورد توافق و استاندارد شده، این روش استفاده است.

۳-۵- جذب قطره آب

اولین بار آزمایش جذب قطره در مطالعات ساوکایتیس^۳ و همکاران انجام شده است و مبنای انتخاب در این تحقیق بوده است. در این آزمایش، اندازه‌گیری کمی به عنوان یک پارامتر جهت نفوذ سطحی اندازه‌گیری می‌شود [۱۹]. در این مطالعه، جهت بررسی میزان زاویه قطره آب ایجاد شده روی سطوح بتنی با هدف بررسی تراکم نمونه‌ها، سه حالت از قطره آب یعنی قطره کوچک آب که ناشی از سه قطره آب، قطره بزرگ آب که ناشی از ۲۰ قطره آب و عبور گریزی قطره (قطره جاری شده بر روی سطح) که شامل اعمال CC ۰/۵ آب در دو نقطه از سطح نمونه توسط سرنگ و با ایجاد زاویه ۱۱۰ درجه برای نمونه می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش تصاویر قطره بر روی سطوح بتنی در زمان‌های صفر ثانیه، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه، تا زمان جذب کامل قطره کوچک و بزرگ آب، زوایه‌های آنها ثبت گردیده است. در این بررسی، دمای محیط برای تمامی نمونه‌ها یکسان و برابر ۲۲ الی ۲۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین این بررسی برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در محیط خارج از آب در سن ۲۸ روز و برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب، با خارج کردن نمونه‌ها

³ Savukaitis

۳-۷- تجزیه تحلیل آماری

برای بررسی تأثیر متغیرهای تعریف شده بر روی خصوصیات فیزیکی بتن خودتراکم در این مقاله، از طرح‌های آماری فاکتوریل استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار Spss23 انجام شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت. برای هر نمونه سه تکرار انجام شد.

۴- نتایج و تفسیر

در این قسمت در ابتدا به خلاصه‌ای از نتایج مطلوب به‌دست آمده و سپس به تفسیر نتایج پرداخته می‌شود.

۴-۱- درصد جذب آب

نتایج حاصله از آزمایش جذب آب در جدول ۶ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد بیشترین میزان درصد جذب آب مربوط به نمونه ساخته شده در قالب W و کمترین میزان درصد جذب آب مربوط به نمونه ABS-SB-CW-28-F است.

۴-۲- مقاومت فشاری

نتایج حاصله از مقاومت فشاری در جدول ۶ ارائه شده است. کمترین میزان مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های ساخته شده در قالب W و همچنین در میان این نمونه‌ها بیشترین میزان مقاومت فشاری مربوط به نمونه I-WB-CW-28-F است.

۴-۳- چکش اشمیت

نتایج به‌دست آمده از آزمایش چکش اشمیت در جدول ۶ نشان داده شده است. کمترین مقدار حاصله مربوط به نمونه‌های ساخته شده در قالب W و بیشترین مقدار حاصله مربوط به نمونه P-WB-CW-28-F است.

در سن ۲۸ روز از داخل حوضچه آب و قرارگیری به مدت ۷ روز در محیط با دمای معمولی جهت از بین رفتن رطوبت سطحی نمونه، در سن ۳۵ روز انجام شده است. اعمال قطره کوچک و بزرگ آب و ثبت تصاویر و به‌دست آوردن زوایای آنها در زمان‌های مختلف و اعمال قطره آب جاری شده بر روی سطح و دمای محیط در نظر گرفته شده و همچنین قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۷ روز در محیط خارج از آب، یک موضوع ابتکاری می‌باشد.

۳-۶- سایش

جهت انجام آزمایش سایش، نمونه‌های موزاییکی شکل با دستگاه برش بتن به ابعاد تقریباً ۱۰ سانتیمتری برش داده می‌شوند [۳۴]. سطح این نمونه‌ها در دستگاه سایش در تماس با چرخنده این دستگاه قرار گرفته و سطح آنها به مدت یک دقیقه و هر دقیقه معادل ۷۵ دور، به واسطه چرخش چرخنده و همراه با پودر کراندوم (پودر سفیدرنگ موردنیاز دستگاه سایش جهت انجام سایش)، دچار سایش می‌شود. هر نمونه از یک قسمت مشخص از سطح به تعداد سه مرتبه و با شرایط یکسان دچار ساییدگی قرار می‌گیرد و وزن اولیه نمونه قبل از شروع سایش و وزن‌های نمونه طی هر مرحله بعد از سایش اندازه‌گیری می‌شود. همچنین عمق سایش هریک از نمونه‌ها مطابق رابطه (۲) که برگرفته از استاندارد IS1237-2012 می‌باشد، محاسبه می‌گردد:

$$t = \frac{(W_1 - W_2)V}{W_1 \times A} \quad (2)$$

که در آن، W_1 وزن اولیه نمونه قبل از سایش، W_2 وزن نمونه بعد از انجام سایش، V حجم نمونه و A مساحت نمونه، است [۳۴].

فرمول محاسبه عمق سایش از استاندارد اشاره شده اقتباس شده است و بررسی سایش در مراحل مختلف جهت بررسی وضعیت تراکم در عمق توسط نگارنده صورت گرفته است.

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های درصد جذب آب، مقاومت فشاری و چکش اشمیت

نام نمونه‌ها	درصد جذب آب (%)	مقاومت فشاری (Mpa)	چکش اشمیت (Mpa)
I-WB-CW-28-F	۱/۴۵±۰/۰۴ ^{ab}	۴۸/۲۰±۱/۸ ^c	۳۶/۳۳±۰/۰۴ ^{ab}
MDF-WB-CW-28-F	۱/۶۰±۰/۰۷ ^b	۴۳±۱/۷ ^c	۳۶/۵۰±۰/۰۴ ^{ab}
W-WB-CW-28-F	۱/۶۹±۰/۰۸ ^b	۲۴/۴۰±۰/۹ ^d	۲۸/۸۷±۰/۰۴ ^{ab}
P-WB-CW-28-F	۱/۶۹±۰/۰۸ ^b	۴۱/۵۰±۱/۶ ^c	۴۲/۵۳±۰/۰۴ ^{ab}
ABS-WB-CW-28-F	۱/۴۶±۰/۰۵ ^{ab}	۴۷/۵۰±۱/۷ ^c	۴۲/۳۴±۰/۰۴ ^{ab}
I-SB-CW-28-F	۱/۳۷±۰/۰۴ ^a	۳۳/۳۰±۲/۱ ^{cd}	۳۱/۵۷±۰/۰۴ ^{ab}
MDF-SB-CW-28-F	۱/۳۲±۰/۰۳ ^a	۳۶/۶۰±۱/۸ ^{cd}	۳۲/۲۳±۰/۰۴ ^{ab}
W-SB-CW-28-F	۱/۶۱±۰/۰۹ ^b	۳۰/۶۰±۱/۸ ^d	۳۱±۰/۰۴ ^{ab}
P-SB-CW-28-F	۱/۲۳±۰/۰۲ ^a	۳۸/۴۰±۴/۳ ^{cd}	۳۸/۴۳±۰/۰۴ ^{ab}
ABS-SB-CW-28-F	۱/۰۷±۰/۰۱ ^a	۴۵/۶۰±۲/۱ ^c	۳۸/۸۰±۰/۰۴ ^{ab}
I-WMO-CW-28-F	۱/۸۸±۰/۰۷ ^a	۳۰/۷۰±۱/۷ ^c	۲۷/۳۳±۰/۰۷ ^e
MDF-WMO-CW-28-F	۱/۸۹±۰/۰۹ ^a	۳۰/۴۰±۱/۶ ^c	۲۷/۳۳±۰/۰۹ ^e
W-WMO-CW-28-F	۱/۹۲±۰/۰۳ ^b	۲۳/۳۰±۱/۳ ^d	۲۴/۴۰±۱/۳ ^{ef}
P-WMO-CW-28-F	۱/۸۴±۰/۰۴ ^b	۳۷±۱/۵ ^{cd}	۳۷/۸۳±۱/۷ ^f
ABS-WMO-CW-28-F	۱/۸۰±۰/۰۶ ^{ab}	۴۴/۸۰±۱/۲ ^d	۳۸/۳۰±۱/۷ ^f

۴-۴- بررسی کیفی سطح نمونه‌ها

از تمام نمونه‌ها، تصاویر در سن یک و ۲۸ روزه در دو حالت عمل‌آوری شده در آب و بدون آب، تهیه شده است. در شکل ۲، نمونه‌ای از این تصاویر ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند، در نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب، در سطح رنگ یکنواخت ملاحظه نمی‌گردد. در واقع، رسیدن آب به سطح باعث از دست رفتن درخشندگی و یکنواختی نمونه می‌گردد. این نتیجه نشان می‌دهد آب‌گریز کردن سطوح، یکی از پارامترهای اصلی جهت افزایش کیفیت ظاهر بتن است. در حالی که نمونه‌های بدون عمل‌آوری در آب، رنگ سطح یکنواخت‌تری را دارند. همچنین درخشندگی سطح، با گذشت زمان و رسیدن به سن ۲۸ روز کاسته شده و یا به‌طور کامل از بین می‌رود. در بین قالب‌ها، آثار بافت چوب در سطح نمونه‌های ساخته شده در قالب W ملاحظه می‌گردد. همچنین، نمونه ABS_B-WMO-WCW-28-G دارای هر سه ویژگی زیبایی شناختی، یعنی درخشندگی سطح، عدم

وجود منافذ و یکنواختی رنگ سطح نمونه می‌باشد. در این نمونه‌ها نیز با افزایش سن نمونه کاهش درخشندگی دیده می‌شود.

۴-۵- قطره آب

در شکل ۳، نحوه جاری شدن قطره بر روی سطح نمونه‌ها و در شکل ۴، نتایج مدت زمان جذب قطره‌های کوچک و بزرگ آب در زمان‌های مختلف تا زمان جذب کامل نشان داده شده است. اختصارات به‌کار رفته در آزمایش به شرح زیر می‌باشند:

D: آزمایش قطره آب،

SCC: بتن خودتراکم،

I_S, MDF_S, W_S, P_S و ABS_S: بررسی قطره کوچک

آب به ترتیب در قالب‌های، آهنی، چوبی MDF،

چوبی فرآوری نشده، پلاستیک PVC و پلاستیک

ABS،

I_C, MDF_C, W_C, P_C و ABS_C: بررسی قطره بزرگ

آب به ترتیب در قالب‌های، آهنی، چوبی MDF،

MDF، چوبی فرآوری نشده، پلاستیک PVC و

پلاستیک ABS.

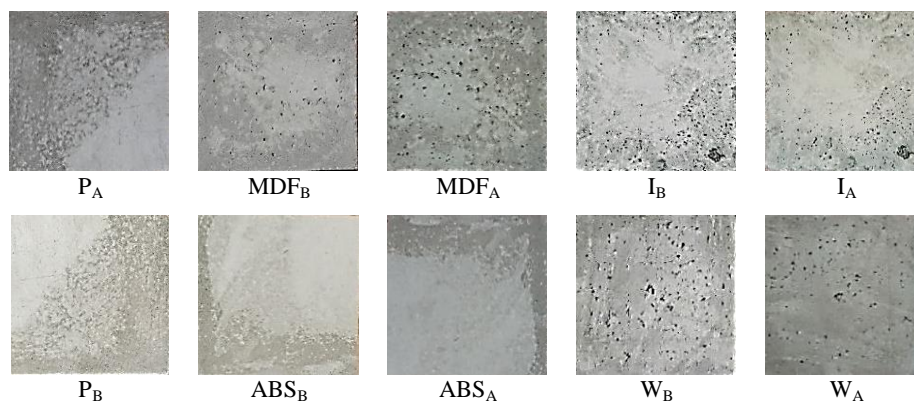
به‌طورکلی نمونه‌های متراکم‌تر در این آزمایش دارای زاویه قطره آب بیشتر در لحظه اول و مدت زمان بیشتر جذب کامل قطره می‌باشند.

چوبی فرآوری نشده، پلاستیک PVC و پلاستیک

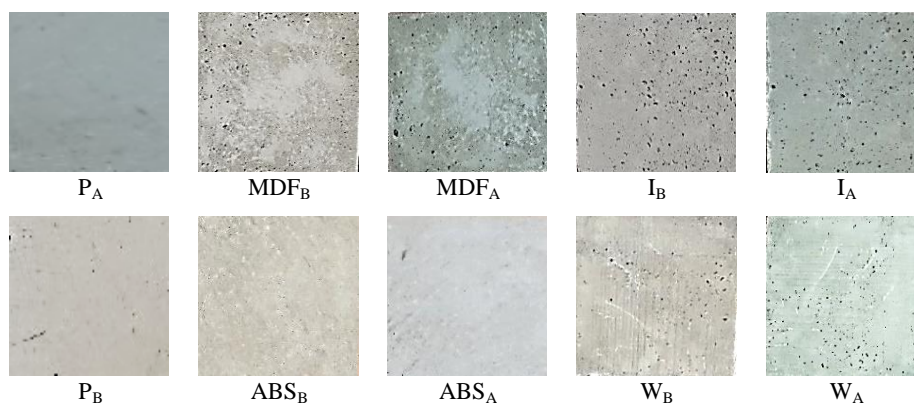
ABS.

P_F ، W_F ، MDF_F ، I_F و ABS_F : بررسی گریز قطره

آب در سطح به ترتیب در قالب‌های آهنی، چوبی



الف) نمونه‌های WB-1-G



ب) نمونه‌های WCW-WB-G-۲۸

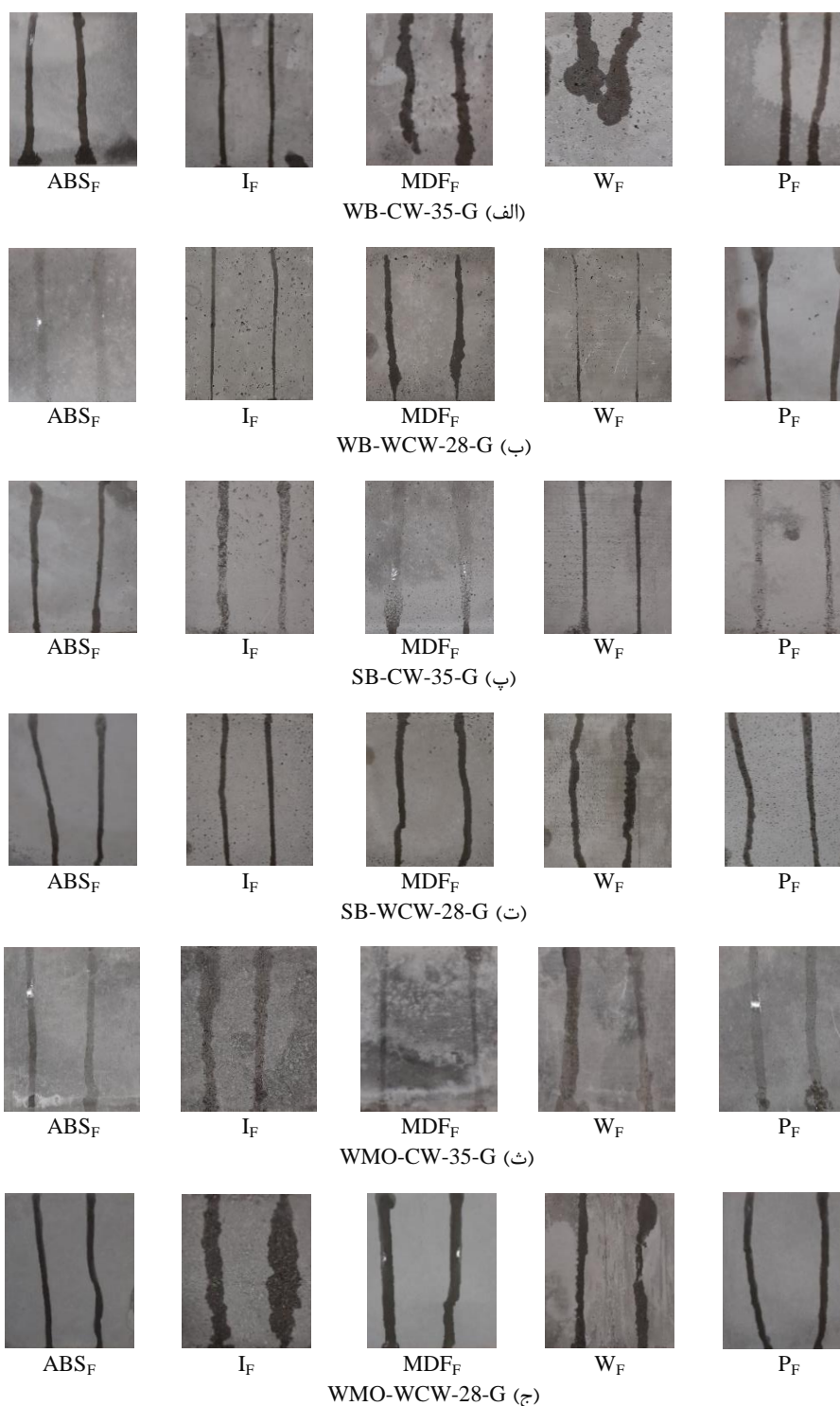
*اندیس‌های A و B قرار داده شده برای قالب‌ها معرف تصاویر نمونه‌های عکس‌برداری شده در هر قالب به ترتیب تحت نور معمولی محیط داخل و خارج از آزمایشگاه می‌باشند.

شکل ۲- نمونه‌ای از نتایج تصاویر عکس‌برداری شده از سطح نمونه‌ها در حالت‌های با و بدون عمل‌آوری شدن در آب در سنین یک و ۲۸ روز تحت نور محیط داخل و خارج از آزمایشگاه

دارد. همچنین در نمونه‌های ساخته شده در قالب پلاستیکی ABS در سری نمونه WMO-CW، قطره نیز به صورت کامل و بدون پخش‌شدگی در سطح جاری شده است. جهت بررسی و ارزیابی آزمایش پیشنهادی قطره، نتایج آن با نتایج سایش نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند، تفاسیر برداشت شده از آزمایش قطره می‌تواند بیانگر تراکم نمونه‌ها باشد. مطالعات در این

در آزمایش گریز قطره در سطح آن نیز جاری شدن قطره به طور کامل و بدون پخش‌شدگی است. در شکل ۵، نتایج تصویربرداری شده ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین تراکم به نمونه ABS_S -WMO-CW-35-G با زاویه قطره آب ۵۳ در لحظه اول و مدت زمان ۶۰ دقیقه برای جذب کامل قطره آب و نمونه ABS_C -WMO-CW-35-G با زاویه قطره آب ۲۲ در لحظه اول و مدت زمان ۶۰ دقیقه برای جذب کامل قطره آب، اختصاص

حوزه، اولیه بوده و امید است با انجام مطالعات بیشتر این روش‌ها نهایی شود.



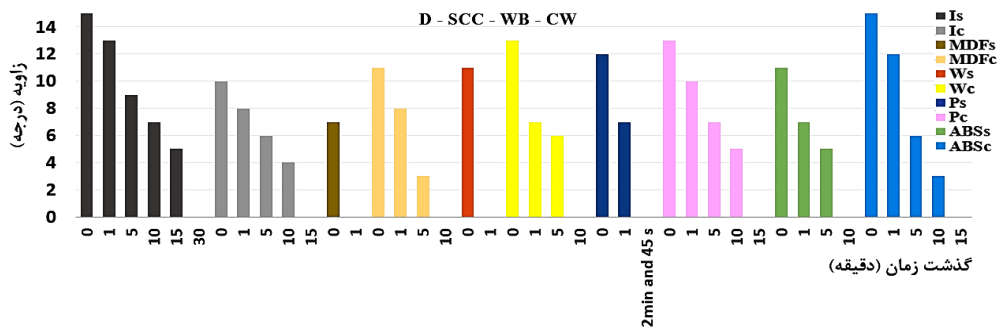
شکل ۳- تصاویر مربوط به نحوه جاری شدن قطره آب در سطوح

۴-۶- سایش

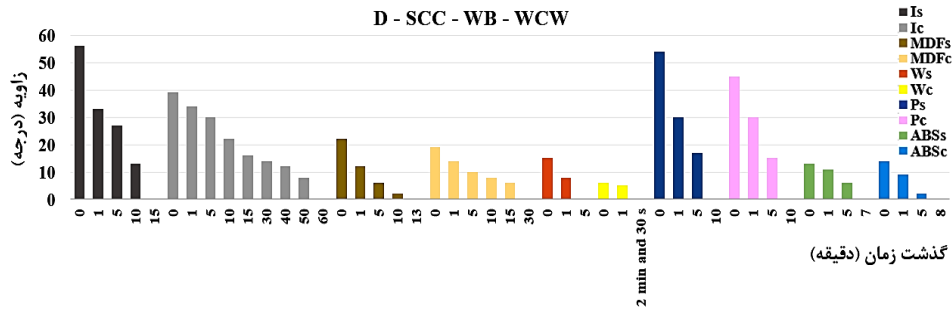
میزان درصد سایش در سه مرحله در جدول ۷ و به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ مورد بررسی قرار گرفتند. پارامترهای ارائه شده برای بیان نتایج عبارتند از: t ، عمق سایش و a_1

نتایج حاصله از آزمایش سایش در سه دسته شامل میزان کاهش جرم ناشی از سایش، میزان عمق سایش و

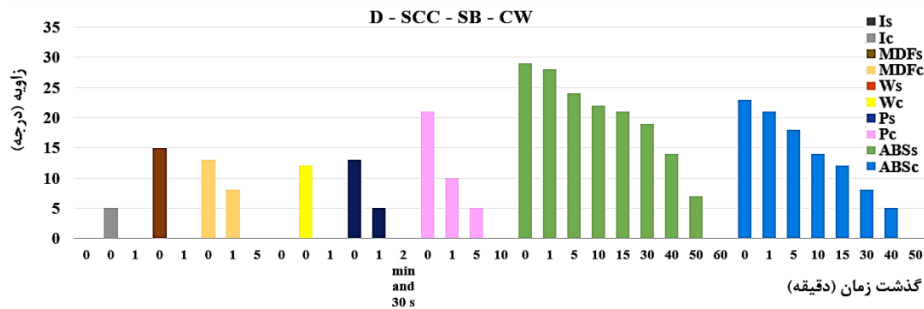
۲ و ۳ درصد سایش در مراحل اول، دوم و سوم از سایش.



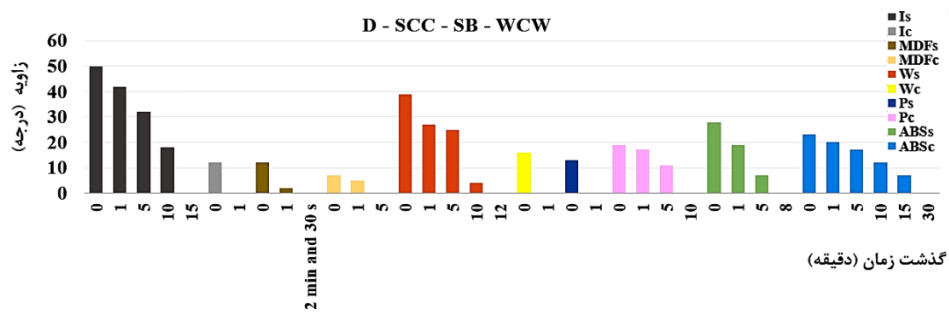
(الف)



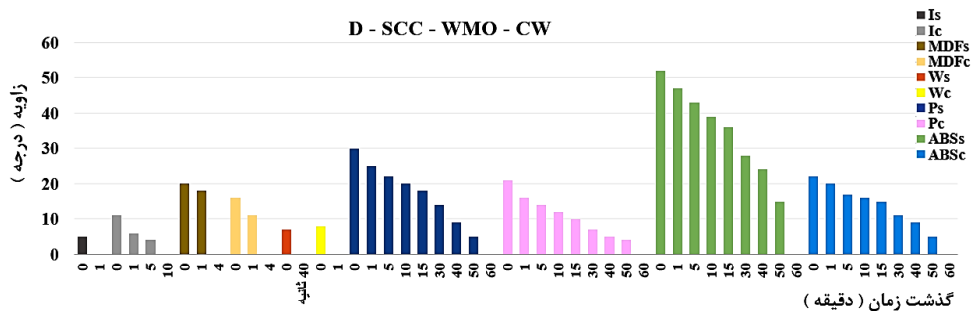
(ب)



(پ)

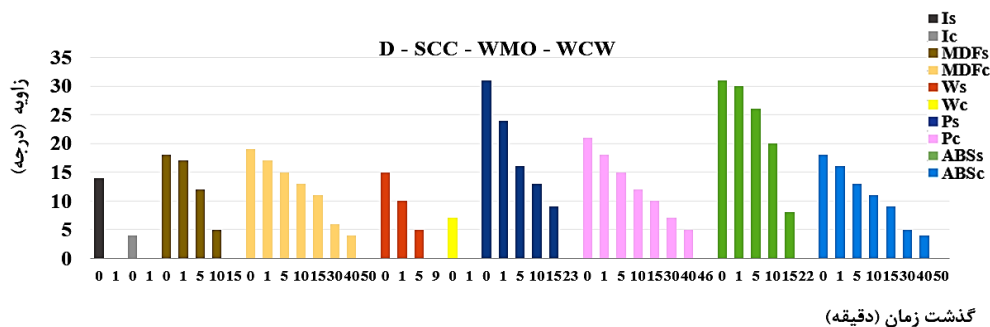


(ت)

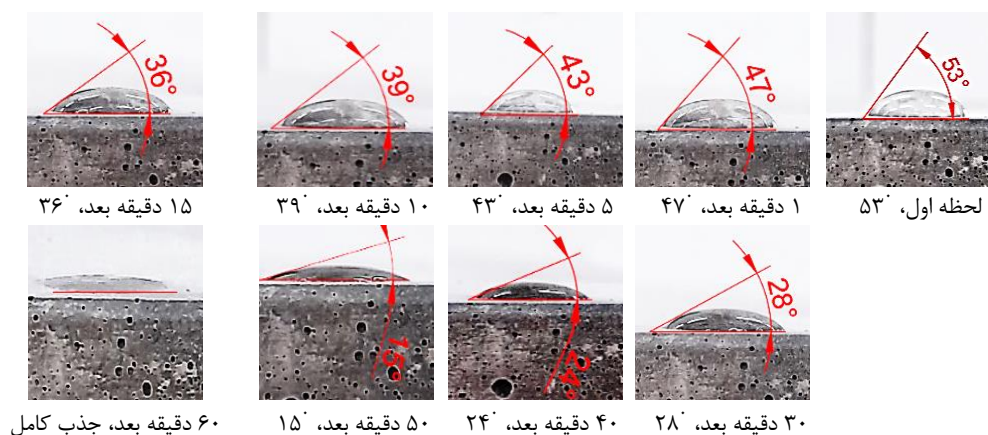


(ث)

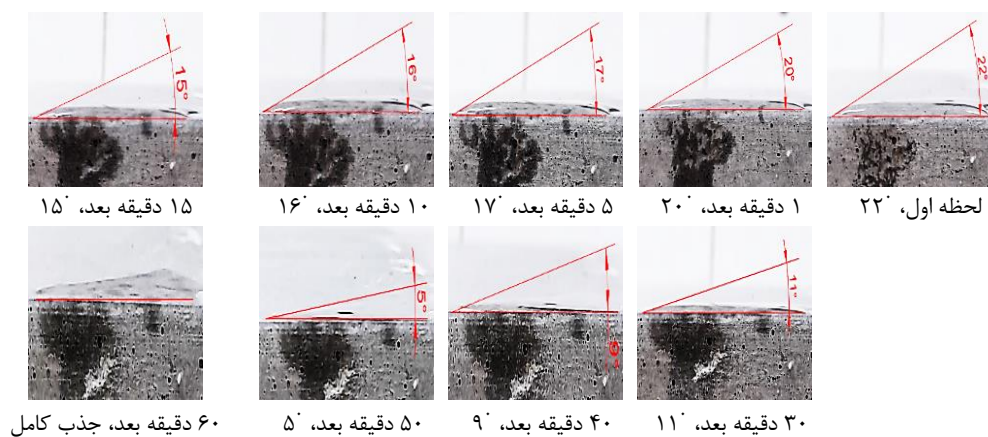
شکل ۴- تصاویر مربوط به نمودارهای زاویه‌های قطره آب در سطوح نمونه‌ها براساس میزان زاویه قطره آب با گذشت زمان برحسب دقیقه



(ج)
شکل ۴- ادامه



ABS_s (الف)



ABS_c (ب)

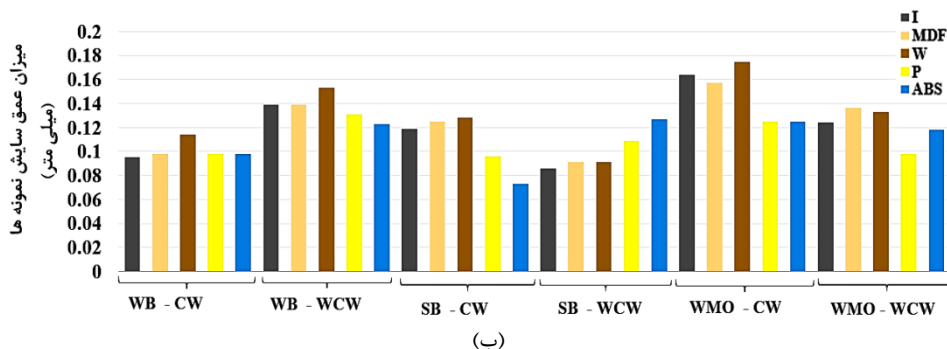
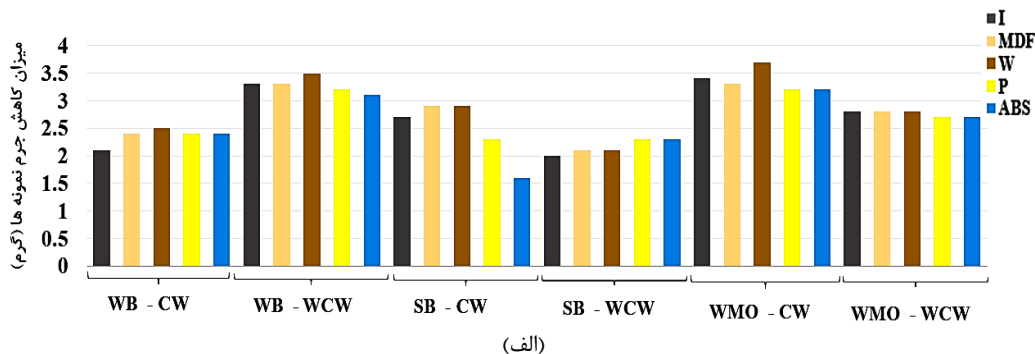
شکل ۵- تصاویر زاویه‌های ایجاد شده مربوط به قطره‌های کوچک و بزرگ آب در سطح نمونه ABS-WMO-CW-35-G

سایش در میان نمونه‌ها در حالت عمل‌آوری شده در آب، مربوط به نمونه ABS-WMO-CW-35-H با میزان عمق سایش ۰/۰۷ میلی‌متر و در میان نمونه‌ها در حالت بدون عمل‌آوری در آب مربوط به نمونه I-WB-WCW-28-H با میزان عمق سایش ۰/۰۹ میلی‌متر می‌باشد. با مقایسه دو حالت بیان شده می‌توان نتیجه گرفت نمونه ساخته شده در قالب ABS و در حالت عمل‌آوری شده در

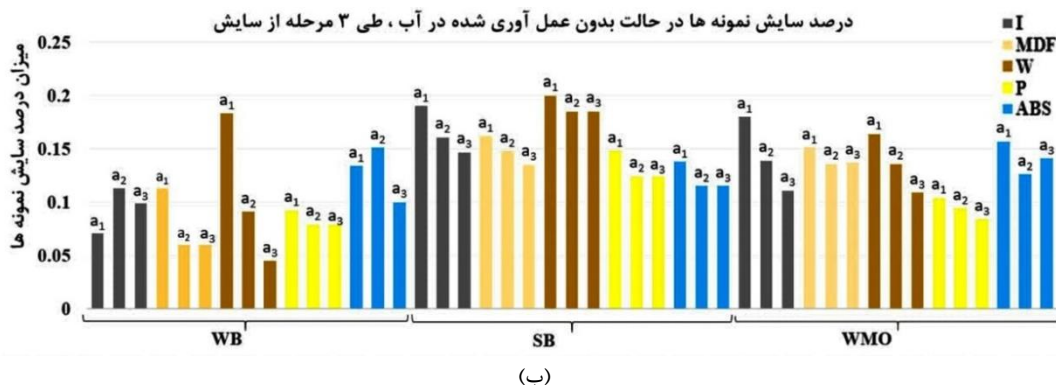
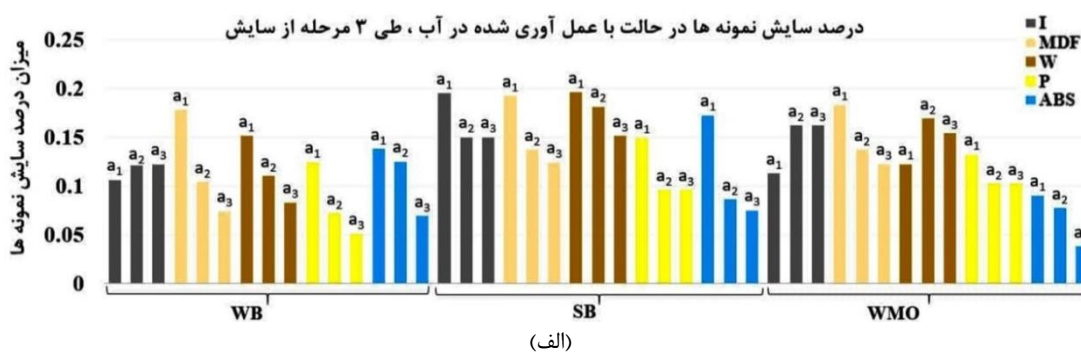
کمترین میزان کاهش جرم در میان نمونه‌ها در حالت با عمل‌آوری شده در آب مربوط به نمونه ABS-WMO-CW-35-H با میزان کاهش جرم ۱/۶۰ گرم و در میان نمونه‌های بتن در حالت بدون عمل‌آوری در آب، کمترین میزان کاهش جرم مربوط به نمونه I-WB-WCW-28-H با میزان کاهش جرم ۲/۰۰ گرم نسبت به حالت قبل از سایش خود می‌باشد. کمترین میزان عمق

عمق آن می‌باشد. جهت مقایسه بهتر نتایج، در جدول ۷، مقایسه نتایج کسب شده در کلیه آزمایشات ارائه شده است.

آب تراکم بیشتری را در نتیجه انجام آزمایش سایش سطح دارا می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود درصد سایش با نزدیک شدن به عمق رو به کاهش بوده و این موضوع بیان‌کننده بیشتر شدن تراکم این نمونه با نزدیک شدن به



شکل ۶- نمودار (الف) کاهش جرم و (ب) میزان عمق سایش نمونه‌ها در حالت‌های با و بدون عمل‌آوری شده در آب در نتیجه انجام سایش در سطح آن‌ها



شکل ۷- نمودار میزان درصد سایش در هر مرحله از سایش نمونه‌ها در حالت‌های (الف) با و (ب) بدون عمل‌آوری شده در آب

جدول ۷- مقایسه نتایج به دست آمده حاصل از آزمایش‌های انجام شده

مقایسه نتایج	نام هر سری از نمونه‌ها	آزمایش‌ها
W > P > MDF > ABS > I	a) WB - CW - 28 - F	درصد جذب آب
W > I > MDF > P > ABS	b) SB - CW - 28 - F	
W > MDF > I > P > ABS	c) WMO - CW - 28 - F	
I > ABS > MDF > P > W	d) WB - CW - 28 - F	مقاومت فشاری
ABS > P > MDF > I > W	e) SB - CW - 28 - F	
ABS > P > I > MDF > W	f) WMO - CW - 28 - F	
P > ABS > MDF > I > W	g) WB - CW - 28 - F	چکش اشمیت
ABS > P > MDF > I > W	h) SB - CW - 28 - F	
ABS > P > I = MDF > W	i) WMO - CW - 28 - F	
W > P = ABS = MDF > I	j) WB - CW - 35 - H	سایش
ABS = P > MDF = W > I	k) WB - WCW - 28 - H	
W > I = MDF > P > ABS	l) SB - CW - 35 - H	
W > I > MDF > P = ABS	m) SB - WCW - 28 - H	
MDF = W > I > P > ABS	n) WMO - CW - 35 - H	
W = MDF = I > P = ABS	o) WMO - WCW 28 - H	
I > ABS > P > MDF > W	p) WB - CW - 35 - G	
I > MDF > P > ABS > W	q) WB - WCW - 28 - G	قطره آب ^(۱)
ABS > P > MDF > I = W	r) SB - CW - 35 - G	
I > W > ABS > MDF > P	s) SB - WCW - 28 - G	
P = ABS > MDF > I > W	t) WMO - CW - 35 - G	
P > ABS > MDF > W > I	u) WMO - WCW - 28 - G	
W > MDF > I > P ~ ABS	v) WB - 1 - G	بررسی کیفی سطح نمونه‌ها ^(۲)
W > ABS ~ P ~ MDF ~ I	x) WMO - WCW - 28 - G	

قطره آب^(۱) با بررسی قطره‌های کوچک و بزرگ آب، به طور انتخابی نتایج قطره کوچک آب در این جدول آمده است.

بررسی کیفی سطح نمونه‌ها^(۲)؛ به صورت کیفی و براساس میزان حفرات ایجاد شده در سطح

مقایسه نمونه‌های ساخته شده با روغن و بدون روغن قالب حاکی از آن است که استفاده از روغن قالب بر پایه حلال آب و حلال نفت نیز دلیلی برای ایجاد غیریکنواختی رنگ روی سطح بتن و ایجاد منافذ ریز بر روی سطح و کاهش تراکم سطح است. بنابراین استفاده از روغن قالب زیبایی سطح و تراکم هرچه بیشتر را نقض می‌کند. همچنین استفاده از قالب‌های پلیمری در این مطالعه همانند قالب پلاستیکی ABS نشان داد که عدم استفاده از روغن قالب برای این نوع از قالب‌ها، ضمن ایجاد نشدن چسبندگی بین بتن و قالب، نمونه‌هایی با کیفیت سطوح بالاتر و بدون تخلخل و همراه با درخشندگی و تراکم سطح تولید می‌شود. همچنین اگرچه عمل‌آوری نمونه‌ها دلیلی بر افزایش مقاومت آنها می‌باشد؛ اما در این مطالعه، مشخص گردید که با گذشت زمان هرچه سطح نمونه‌ها بیشتر در تماس با آب باشند از درخشندگی سطح آنها کاسته می‌شود. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده اگرچه

در این مطالعه نیز همانند مطالعات خیاط و همکاران، استفاده از قالب‌های چوبی فرآوری نشده باعث تولید سطوح بتنی با کیفیت پایین به دلیل باقی ماندن آثار بافت چوب و بدون هرگونه درخشندگی سطح ملاحظه گردید [۲۸]. همچنین استفاده از قالب‌های پلیمری باعث تولید نمونه‌هایی با کیفیت بیشتر می‌شود همانگونه که در مطالعات پان^۴ و همکاران نیز این نتیجه ملاحظه می‌گردد [۱۱]. مطالعات لیبسرت^۵ و همکاران، در خصوص روغن‌های مصنوعی و معدنی بر کیفیت سطح بتن بیانگر غیریکنواختی رنگ سطح بعد از قالب‌برداری نمونه‌ها می‌باشد [۲۶]. در این مطالعه نیز استفاده از دو نوع روغن قالب دیگر، بر پایه حلال آب و حلال نفت، بیانگر این موضوع می‌باشند که اگرچه این دو نوع روغن باعث عدم ایجاد چسبندگی بین قالب و بتن می‌شود اما

^۴- Pan

^۵- Libessart

۳- رابطه جذب آب و مقاومت فشاری: مقایسه نتایج آزمایش‌های جذب آب، مقاومت فشاری و چکش اشمیت نشان می‌دهد که در نمونه‌هایی با درصد جذب آب کمتر، میزان مقاومت فشاری افزایش می‌یابد؛ اما این رابطه در برخی نمونه‌ها از جمله سری G و نمونه‌های ساخته‌شده در قالب‌های I و P مشاهده نمی‌شود (جدول ۷).

۴- تحلیل سایش و تراکم سطحی: در نمونه‌هایی که دارای بیشترین تراکم سطحی می‌باشند، که این امر از طریق مدت زمان طولانی‌تر جذب کامل قطره آب مشخص می‌شود، کمترین میزان سایش سطحی مشاهده می‌گردد.

۵- حفرات سطحی و سایش: بررسی‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌هایی با تعداد بیشتری حفرات سطحی، بیشترین میزان سایش را نشان می‌دهند.

۶- تحلیل زاویه قطره آب و سایش: با بررسی میزان سایش می‌توان نتیجه گرفت که در نمونه‌هایی که زمان جذب کامل قطره آب برابر است، نمونه‌ای که زاویه اولیه قطره آب در سطح آن بیشتر است، در مرحله اول سایش کمتری را تجربه می‌کند. این امر نشان‌دهنده تراکم بیشتر در عمق نزدیک به سطح نمونه است. برای نمونه، در سری نمونه‌های WB-CW-35-G، نمونه‌های ساخته‌شده در قالب‌های W و MDF با زمان جذب برابر یک دقیقه، زاویه قطره آب به ترتیب ۱۱ و ۷ درجه بوده و درصد سایش مرحله اول به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۱۸ است (جدول ۷).

۷- ارتباط بین سایش و جریان قطره آب: بررسی جدول ۷ و مقایسه با شکل ۳ نشان می‌دهد که در هر سری از نمونه‌ها، نمونه‌هایی که دارای کمترین میزان سایش می‌باشند، قطره آب به‌صورت کامل و بدون پخش‌شدگی در سطح جاری می‌شود که این نشانگر تراکم بالاتر در این نمونه‌ها است.

میزان مقاومت در آزمایش‌های مقاومت فشاری و چکش اشمیت به ترتیب در قالب‌های آهنی و PVC بیشتر است، اما با مقایسه میزان مقاومت آنها با نمونه‌های ساخته شده در قالب ABS ملاحظه می‌گردد که اختلاف مقاومت فشاری نمونه ساخته شده در قالب آهنی با نمونه ساخته شده در قالب ABS، ۰/۳ درصد بوده و در آزمایش چکش اشمیت اختلاف مقاومت میان نمونه ساخته شده در قالب PVC و ABS، ۰/۲ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان علاوه بر قالب‌های آهنی و PVC به ترتیب در آزمایش‌های مقاومت فشاری و چکش اشمیت، قالب ABS را نیز در این دو آزمایش مطلوب نامید.

۵- تحلیل نتایج

در این بخش، نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. هدف اصلی این تحلیل، بررسی تأثیر نوع قالب و فرآوری‌های مختلف بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها از جمله درصد جذب آب، مقاومت فشاری، سایش و تراکم سطحی است. این تحلیل به ما کمک می‌کند تا روابط میان ویژگی‌های مختلف نمونه‌ها را شناسایی کرده و نمونه‌های بهینه را تعیین کنیم:

۱- بافت سطحی نمونه‌ها: نتایج بررسی کیفی سطح نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌های تولید شده با قالب چوبی خالص، نشانه‌هایی از بافت چوب در سطح نمونه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۲).

۲- خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها: نمونه‌هایی که با قالب چوبی فرآوری نشده ساخته شده‌اند، بالاترین درصد جذب آب، کمترین مقاومت فشاری، بیشترین میزان سایش، کمترین زمان جذب قطره آب و بیشترین تعداد حفرات سطحی را دارا می‌باشند. استثنائاً این الگو در برخی از نمونه‌های سری S، K، U و X مطابق با جدول ۷ مشاهده نمی‌شود.

در نهایت، باتوجه به نتایج به‌دست آمده و بررسی هریک از پارامترهای موردنظر نظیر نوع قالب، نوع روغن قالب و شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها در هر آزمایش، می‌توان بیان نمود نمونه‌های ساخته شده در قالب پلاستیکی ABS در آزمایش‌های درصد جذب آب، بررسی کیفی سطح نمونه‌ها، قطره آب و سایش، نمونه‌های ساخته شده در قالب‌های آهنی و پلاستیکی PVC به ترتیب در آزمایش‌های مقاومت فشاری و چکش اشمیت، عدم استفاده از روغن قالب در ساخت نمونه‌ها در آزمایش‌های بررسی کیفی سطح نمونه‌ها، قطره آب و سایش، استفاده از روغن قالب بر پایه حلال آب در آزمایش‌های مقاومت فشاری و چکش اشمیت و روغن قالب بر پایه حلال نفت در آزمایش درصد جذب آب، عمل‌آوری نمونه‌ها در محیط آب در آزمایش‌های قطره آب و سایش و عدم عمل‌آوری نمونه‌ها در محیط آب در آزمایش بررسی کیفی سطح نمونه‌ها، تأثیر مطلوبی دارند.

۷- پیشنهادات برای مطالعات آتی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آتی بر روی چندین جنبه مهم تمرکز کنند. اولاً، بررسی دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از قالب‌های فرم‌دار می‌تواند به فهم عمیق‌تری از تأثیر این قالب‌ها بر ویژگی‌های نهایی مواد منجر شود. همچنین، تحقیق بیشتری در خصوص ارتباط بین سایش و ویژگی‌های مربوط به قطره آب، مانند زاویه تماس و زمان جذب، ضروری است تا بتوان رابطه دقیقی بین این عوامل تعیین کرد. در نهایت، توصیه می‌شود که مشخصات فیزیکی بتن‌های دیگر، از جمله بتن‌های با مقاومت معمولی و بتن‌های توانمند، نیز به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گیرند تا مقایسه جامعی از رفتار این مواد در شرایط مختلف به‌دست آید.

۸- مقاومت فشاری نمونه‌ها: براساس نتایج جدول ۶، نمونه ساخته شده در قالب آهنی با مقاومت $48/20$ مگاپاسکال بالاترین میزان مقاومت فشاری را دارد. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده در قالب‌های آهنی و پلاستیکی ABS در سری WB-CW-28-F نشان می‌دهد که تفاوت مقاومت این دو نمونه تنها $0/47$ درصد است، که نشان‌دهنده مناسب بودن نمونه ساخته‌شده در قالب پلاستیکی ABS نیز می‌باشد.

۹- مقاومت در آزمایش چکش اشمیت: نتایج جدول ۶، حاکی از آن است که نمونه ساخته‌شده در قالب پلاستیکی PVC با مقاومت $42/53$ مگاپاسکال، بیشترین میزان مقاومت را در آزمایش چکش اشمیت دارد. مقایسه این نمونه با نمونه ساخته‌شده در قالب پلاستیکی ABS در سری WB-CW-28-F نشان می‌دهد که تفاوت مقاومت تنها $0/44$ درصد است، که نمونه ABS را نیز به عنوان یک گزینه مطلوب معرفی می‌کند.

۱۰- ارزیابی کیفی سطح و تراکم: نتایج حاصل از بررسی کیفی سطح، جذب قطره آب و سایش نشان می‌دهد که نمونه‌های با تراکم بیشتر، علاوه بر ویژگی‌های مکانیکی، از نظر زیبایی‌شناسی نیز برتر هستند.

۱۱- ویژگی‌های ظاهری نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب: نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب به دلیل یکنواخت نبودن رنگ سطح، فاقد ویژگی درخشندگی هستند.

۱۲- تراکم و مقاومت در نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب: مطابق با جدول ۷، نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب دارای مقاومت و تراکم بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها هستند.

۶- نتیجه‌گیری

References

- [1] Armstrong KO, Kamath D, Zhao X, Rencheck ML, Tekinalp H, Korey M, Hun D, Ozcan S. Life cycle cost, energy, and carbon emissions of molds for precast concrete: Exploring the impacts of material choices and additive manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*. 2023 Oct 1; 197: 107117. doi: **10.1016/j.resconrec.2023.107117**
- [2] Djelal C, Vanhove Y, Magnin A. Tribological behaviour of self compacting concrete. *Cement and concrete research*. 2004 May 1; 34(5): 821-828. doi: **10.1016/j.cemconres.2003.09.013**
- [3] S Shokrzadeh MR, Nateghi-Alahi F, Mansoori MR, Javadi P. The improvement of the threaded-based mechanical splice by modifying the threaded system: Study of techniques cold rolling and rotating friction welding. *Journal of Building Engineering*. 2023 Dec 1; 80: 107964. doi: **10.1016/j.jobbe.2023.107964**
- [4] Stohl L, Manninger T, von Werder J, Dehn F, Gorbushina A, Meng B. Bioreceptivity of concrete: A review. *Journal of Building Engineering*. 2023 Jul 7: 107201. doi: **10.1016/j.jobbe.2023.107201**
- [5] Sitnikov V. Ice formwork for high-performance concrete: A model of lean production for prefabricated concrete industry. *InStructures* 2019 Apr 1; 18: 109-116. doi: **10.1016/j.istruc.2018.11.004**
- [6] Copenhaver K, Smith T, Armstrong K, Kamath D, Rencheck M, Bhagia S, Korey M, Lamm M, Ozcan S. Recyclability of additively manufactured bio-based composites. *Composites Part B: Engineering*. 2023 Apr 15; 255: 110617. doi: **10.1016/j.compositesb.2023.110617**
- [7] Shokrzadeh MR, Sharifi M, Alahi FN. Seismic Retrofitting of Concrete Beam-Column Connections: Numerical Study FRP Strip and NSM Technique. *Journal of Seismology & Earthquake Engineering*. 2024 Aug 1; 26(3): 25. doi: **10.48303/jsee.2024.2031006.1099**
- [8] Shi J, Qian C, Hao Z. Effects of equipment parameters, ambient parameters and concrete surface moisture on the acquisition of fair-faced concrete appearance quality information. *Journal of Building Engineering*. 2023 Aug 1; 72: 106476. doi: **10.1016/j.jobbe.2023.106476**
- [9] Hawkins WJ, Herrmann M, Ibell TJ, Kromoser B, Michaelski A, Orr JJ, Pedreschi R, Pronk A, Schipper HR, Shepherd P, Veenendaal D. Flexible formwork technologies—a state of the art review. *Structural Concrete*. 2016 Dec; 17(6): 911-935. doi: **10.1002/suco.201600117**
- [10] Libessart L, Djelal C, de Caro P, Laiymani I. Comparative study of the tribological behaviour of emulsions and demoulding oils at the concrete/formwork interface. *Construction and Building Materials*. 2020 Apr 10; 239: 117826. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2019.117826**
- [11] Pan Y, Zhang Y, Zhang D, Yang H. Effect of polymer and conventional molds on the aesthetical surface quality of concretes. *Construction and Building Materials*. 2021 Oct 4; 302: 124375. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2021.124375**
- [12] Popescu M, Reiter L, Liew A, Van Mele T, Flatt RJ, Block P. Building in concrete with an ultra-lightweight knitted stay-in-place formwork: prototype of a concrete shell bridge. *InStructures* 2018 Jun 1; 14: 322-332. doi: **10.1016/j.istruc.2018.03.001**
- [13] Shi J, Liu B, Zhou F, Shen S, Dai J, Ji R, Tan J. Heat damage of concrete surfaces under steam curing and improvement measures. *Construction and Building Materials*. 2020 Aug 20; 252: 119104. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2020.119104**
- [14] Coniglio N, Spitz N, El Mansori M. Designing metallic surfaces in contact with hardening fresh concrete: A review. *Construction and Building Materials*. 2020 Sep 20; 255: 119384. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2020.119384**
- [15] Hosseini P, Kaveh A, Naghian A. Development and optimization of self-compacting concrete mixes: Insights from artificial neural networks and computational approaches. *Int. J. Optim. Civil Eng*. 2023 Oct 10; 13(4): 457-476. doi: **10.22068/ijoc.2023.13.4.566**
- [16] Kaveh A. The Use of Artificial Neural Networks and Metaheuristic Algorithms to Optimize the Compressive Strength of Concrete. *InApplications of Artificial Neural Networks and Machine Learning in Civil Engineering* 2024 Jul 30; 75-83. doi: **10.1007/978-3-031-66051-1_3**
- [17] Hosseini P, Kaveh A, Naghian A, Abedi A. Eco-friendly building solutions: integrating mahallat's travertine sludge in concrete production. *Int. J. Optim. Civil Eng*. 2024 Feb 10; 14(2): 229-252. doi: **10.22068/ijoc.2024.14.2.584**
- [18] Ghaib MA, Górski J. Mechanical properties of concrete cast in fabric formworks. *Cement and concrete research*. 2001 Oct 1; 31(10): 1459-1465. doi: **10.1016/S0008-8846(01)00568-3**
- [19] Savukaitis G, Daukšys M, Juočiūnas S, Grinys A, Kriptavičius D. The influence of new and used formwork coated with different release agents on the appearance of the formed concrete surface. *Journal of building engineering*. 2021 Oct 1; 42: 102807. doi: **10.1016/j.jobbe.2021.102807**
- [20] Libessart L, De Caro P, Djelal C, Dubois I. Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances. *Construction and Building Materials*. 2015 Feb 1; 76: 130-139. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2014.11.061**
- [21] Chen Y, Koh JL, Tian X, Goh YQ, Dritsas S. Form-finding with robotics: Rapid and flexible fabrication of

- glass fiber reinforced concrete panels using thermoformed molds. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2019 Jul 1; 6(3): 398-403. doi: **10.1016/j.jcde.2018.10.002**
- [22] Savukaitis G, Daukšys M, Juočiūnas S, Grinys A, Kriptavičius D. The influence of new and used formwork coated with different release agents on the appearance of the formed concrete surface. *Journal of building engineering*. 2021 Oct 1; 42: 102807. doi: **10.1016/j.jobe.2021.102807**
- [23] Abbas A, Zhang C, Hu G, Hussain S, Gao R, Li J, Xu S. Facile formulation of sustainable and stable oil-in-dispersion emulsion: A release agent with high demoulding efficacy. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022 Nov 15; 12: 100394. doi **10.1016/j.ceja.2022.100394**
- [24] Abbas A, Zhang C, Hussain S, Tang Y, Li Y, Gao R, Xu S. Preparation of ultrastable oil-in-water emulsion as a robust superwetable and sustainable concrete release agent. *Journal of Molecular Liquids*. 2023 Nov 15; 390: 123043. doi: **10.1016/j.molliq.2023.123043**
- [25] Song H, Tang M, Lei X, Di Z, Cheng F. Preparation of environment-friendly ultrafine fly ash based superhydrophobic demoulding coating. *Applied Surface Science*. 2021 Nov 15; 566: 150688. doi: **10.1016/j.apsusc.2021.150688**
- [26] Libessart L, Djelal C, de Caro P. Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics. *Construction and Building Materials*. 2014 Oct 15; 68: 391-401. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2014.06.065**
- [27] Kothandaraman S, Kandasamy S. The effect of controlled permeable formwork (CPF) liner on the surface quality of concretes. *Cement and Concrete Composites*. 2017 Feb 1; 76: 48-56. doi: **10.1016/j.cemconcomp.2016.11.012**
- [28] Megid WA, Khayat KH. Variations in surface quality of self-consolidation and highly workable concretes with formwork material. *Construction and Building Materials*. 2020 Mar 30; 238: 117638. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2019.117638**
- [29] Vanhove Y, Djelal C. Influence of the formwork removal by polarization on the facing aesthetics in reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2021 May 17; 284: 122841. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2021.122841**
- [30] Bruno R, Carpino C, Bevilacqua P, Settino J, Arcuri N. A novel Stay-In-Place formwork for vertical walls in residential nZEB developed for the Mediterranean climate: hygrothermal, energy, comfort and economic analyses. *Journal of Building Engineering*. 2022 Jan 1; 45: 103593. doi: **10.1016/j.jobe.2021.103593**
- [31] Gappmaier P, Reichenbach S, Kromoser B. Advances in formwork automation, structure and materials in concrete construction. *Automation in Construction*. 2024 Jun 1; 162: 105373. doi: **10.1016/j.autcon.2024.105373**
- [32] IS 13801. Checkered cement concrete tiles. Indian Standard Checkered cement concrete tiles- specification (First Revision). 2013.
- [33] B.S 1881: Part 116. Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes. British Standards Institution. 1983.
- [34] IS:1237. Cement concrete flooring tiles - specification. Bureau of Indian Standards. New Delhi, India. 2012.
- [35] BS 1881: Part 122: Testing concrete-Method for determination of water absorption. British Standard. 2009.