Iranian Concrete Society

Investigating the Effect of the Type of Mold and the Type of Release Agent on the Bugholes on the Concrete Surface

Alireza Bagheri
Associate Professor, Faculty of Civil Eng., K. N. Toosi University of Technology

Danyal Ghasemi*
M.S.Graduted, in Construction Engineering and Management. K. N. Toosi University of Technology
daniyalghasemi777@yahoo.com

Research paper

Abstract
Today, with the progress of the construction industry and the importance of reducing costs, the multi-purpose use of consumables has attracted the attention of builders. Exposed concrete is one of this category of materials, which, in addition to its structural use, also has an architectural function. The use of exposed concrete requires minimizing bugholes in concrete and achieving appropriate appearance quality. In this research, the effects of the surface material of the mold, including steel and coated plywood, and the type of mold release agent on the bugholes, as well as the amount of staining on the concrete surface, were investigated. The conducted investigation shows that the performance of coated plywood mold is slightly better than steel mold and leads to less bugholes. ResuHs of the effect of the type of releasing agent show that the mineral-based releasing agent has a better performance in terms of bugholes compared to the organic-based releasing agent in minimum consumption amounts. However if this type of substance is applied in excessive amounts, it leads to staining on the concrete surface, reducing its surface quality. The organic based material did not cause a problem in terms of staining even in high consumption rates.
Keywords*: bugholes, mold release agent, mold surface material, dimensional distribution of holes*

**Corresponding Auther: Danyal Ghasemi*
ghasemi, D., bagheri, A. Investigating the Effect of the Type of Mold and the Type of Release Agent on the Bugholes on the Concrete Surface. Journal of Concrete Structures and Materials*, 2022; 7(1): 157-181.*
http://doi.org/10.30478/jcsm.2022.355472.1289
2538-5828/ *© 2021 The Authors. Published by Iranian Concrete Society*
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

انجمن علمی بتن ایران

دریافت مقاله: ۱۹-۰۵-۱۴۰۱
پذیرش مقاله:۳۱-۰۶-۱۴۰۱

بررسی تأثیر نوع قالب و نوع ماده رهاساز روی حفرات ناخواسته سطح بتن

علیرضا باقری
دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانیال قاسمی*
کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
daniyalghasemi777@yahoo.com
(نویسنده مسئول)

نوع مقاله:پژوهشی

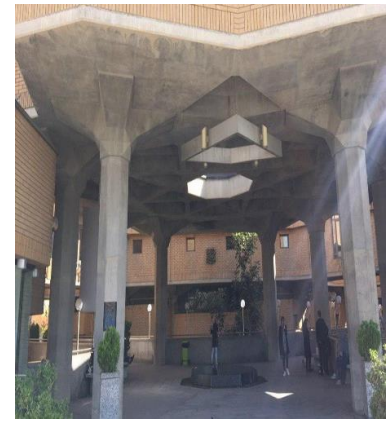
چکیده

امروزه با پیشرفت صنعت ساخت‌وساز و اهمیت کاهش هزینه‌ها، استفاده چندمنظوره از مصالح مصرفی موردتوجه سازندگان قرارگرفته است. بتن نمایان از این دسته مصالح می‌باشد که علاوه بر کاربرد سازه‌ای کاربرد معماری هم دارد. استفاده از بتن‌نمایان مستلزم به حداقل رساندن حفرات سطحی در بتن و دستیابی به کیفیت ظاهری مناسب آن می‌باشد. در این تحقیق تأثیر جنس رویه قالب شامل انواع فولادی و تخته لایه روکش‌دار و نوع ماده رهاساز قالب روی حفرات سطحی و همچنین میزان لکه‌گذاری بر سطح بتن، موردبررسی قرار گرفت. بررسی انجام‌شده نشانگر این است که عملکرد قالب تخته لایه روکش‌دار قدری بهتر از قالب فولادی است و مد جر به حفرات سطحی کمتری می‌گردد. به لحاظ تأثیر نوع ماده رهاساز نتایج نشانگر این است که ماده رهاساز پایه معدنی، در مقادیر حداقل مصرف عملکرد بهتری به لحاظ حفرات سطحی در مقایسه با ماده پایه آلی دارد. لیکن در صورت اعمال این نوع ماده در مقادیر زیاد، مد جر به لکه‌گذاری روی سطح بتن و کاهش کیفیت ظاهری آن می‌گردد. ماده پایه آلی مشکلی به لحاظ لکه‌گذاری حتی در مقادیر بالای مصرف ایجاد ننمود.

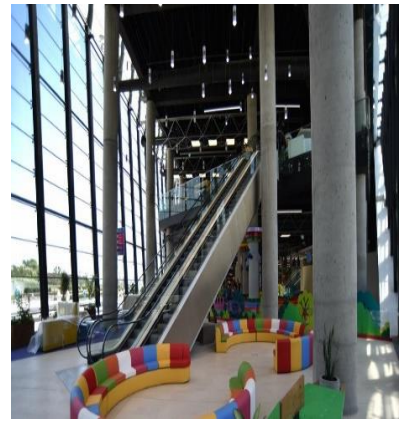
کلمات کلیدی: حفرات سطحی، مواد رهاساز قالب، جنس رویه قالب، توزیع ابعادی حفرات

۲. مقدمه

با توسعه تکنولوژی بتن در کشور، استفاده از بتن به‌صورت نمایان مدنظر مهندسین قرارگرفته است. بتن نمایان علاوه بر امکان استفاده از جذابیت بصری می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها از طریق حذف سیستم روکش یا نما بر روی بتن گردد. به‌عنوان نمونه‌هایی از استفاده از بتن معماری یا بتن نمایان[1] در کشور می‌توان به سازه‌های مهمی نظیر فرودگاه امام، کتابخانه ملی، مجموعه باغ کتاب، پردیس سینمایی ملت و همچنین پروژه‌های متعدد بخش خصوصی اشاره نمود. نمایی از برخی اماکن ذکرشده در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.



کتابخانه ملی



باغ کتاب

پردیس سینمایی ملت

شکل۱. سازه‌های ساخته‌شده با بتن نمایان

ازجمله مهم‌ترین شاخص‌هایی که کیفیت سطح بتن نمایان با آن سنجیده می‌شود، میزان حفرات ناخواسته است. وجود این نواقص در مقادیر بیشتر از حدود تعیین‌شده در آیین‌نامه‌ها، در سطوح این نوع بتن‌ها مجاز نمی‌باشد. ازجمله مراجعی که الزاماتی را برای انواع مختلف بتن به لحاظ مقادیر مجاز حفرات سطحی مشخص نموده‌اند می‌توان به انجمن بتن آمریکا[2] [۱] و سازمان بین‌المللی بتن [۲] اشاره نمود. گزارش انجمن بتن آمریکا کیفیت سطوح بتنی را به لحاظ کیفیت ظاهری به چهار گروه CSC1[3] الی CSC4 دسته‌بندی نموده است. رده CSC1 دارای کمترین الزامات کیفیت سطح و برای مواردی نظیر دیوار زیرزمین‌ها و اتاق‌های تأسیسات و رده CSC4 دارای بالاترین کیفیت و برای سازه‌هایی نظیر موزه‌ها و بناهای یادبود خاص می‌باشد. سازمان بین‌المللی بتن CIB[4] [۲] نیز سطوح بتنی را ازلحاظ کیفیت سطح به هفت گروه تقسیم کرده است.

در اثر اعمال انرژی تراکم به بتن، فضاهای خالی بین اجزای بتن به‌صورت حباب‌های هوا به سمت بالا حرکت کرده و از بتن خارج می‌شوند. حباب‌های هوا در سطح تماس قالب و بتن نیز به سمت بالا حرکت می‌کنند و در صورت عدم خروج، منجر به حفرات سطحی می‌گردند. بدیهی است جنس قالب و میزان صافی سطح آن در سهولت حرکت حباب‌های هوای ناخواسته به سمت بالا و خروج آن‌ها از بتن تأثیرگذار می‌باشند. به لحاظ جنس انواع مختلفی از قالب، شامل قالب‌های چوبی، تخته لایه، تخته لایه روکش‌دار، فلزی و پلیمری به کار می‌روند. مجید[5] و همکاران[۳] تأثیر قالب‌های فولادی، تخته لایه بدون روکش و پلاستیکی از نوع پی‌وی‌سی را روی حفرات سطحی بتن موردبررسی قراردادند. طبق نتایج این محققین قالب پلاستیکی در مقایسه با قالب فولادی قدری عملکرد بهتر

---

1 exposed concrete
2 American Concrete Institute(ACI)
3 concrete surface categories
4 Concrete International Board
5 W. A. Megid

داشت و میزان حفرات را حدود ۲۰ درصد نسبت به قالب فولادی کاهش داد. بدترین عملکرد مربوط به قالب تخته لایه بدون روکش بود که حفرات سطحی آن سه برابر مقدار مربوط به قالب فولادی بود. در تحقیق دیگری لئو[1] و همکاران[۴] به مقایسه عملکرد قالب‌های چوبی، فولادی و پی‌وی‌سی پرداختند. نتایج این تحقیق که روی قالب‌های مکعبی ۱۵ سانتی‌متری متراکم شده روی میز ویبره انجام‌شده بود نشانگر عملکرد بهتر قالب‌های فولادی و پی‌وی‌سی در مقایسه با قالب چوبی بود. این محققین صافی بیشتر سطوح قالب‌های فولادی و پلاستیکی و سهولت بیشتر خروج حباب‌های هوا را دلیل عملکرد بهتر آن‌ها در مقایسه با قالب چوبی دانستند.

هارادا[2] و همکاران[۵] در تحقیق خود روی قطعات بتنی قالب‌گیری شده با قالب‌های فولادی و پلاستیکی از جنس آکریلیک، شاهد عملکرد بهتر قالب پلاستیکی به لحاظ مقدار حفرات سطحی بودند. بر اساس یافته‌های محققین به نظر می‌رسد صافی سطح قالب عامل مهمی در سهولت خروج حفرات از بتن و کیفیت سطح باشد. هرچند در مرور مراجع، گزارش مقایسه‌ای از عملکرد قالب‌های تخته لایه روکش‌دار با دیگر انواع قالب مشاهده نشد، انتظار می‌رود عملکرد آن‌ها به علت داشتن روکش پلیمری در مقایسه با قالب‌های چوبی و تخته لایه بدون روکش به میزان قابل‌توجهی بهتر باشد. در گزارش انجمن بتن آمریکا[۱] نیز ذکرشده درصورتی‌که قالب‌های تخته لایه روکش‌دار از انواع باروکش نیمه سنگین و یا سنگین باشند می‌توانند برای بتن‌های معماری به کار روند.

از دیگر عوامل تأثیرگذار روی حفرات سطحی بتن، نوع مواد رهاساز قالب که معمولاً با عنوان روغن قالب به آن‌ها اشاره می‌شود، می‌باشد. لازم به ذکر است که؛ نقش مواد رهاساز قالب جلوگیری یا کاهش چسبندگی بتن به سطح قالب می‌باشد تا عملیات قالب برداری تسهیل شده و از صدمه به سطح بتن جلوگیری گردد[۶-۷]. به لحاظ تأثیر روی حفرات سطحی، بسته به نوع روغن قالب و مقدار مصرف، این مواد می‌توانند باعث تسهیل خروج حباب‌های هوا گردند[۸]. درعین‌حال کاربرد مقدار زیاد از این مواد می‌تواند خروج حباب‌های هوا را دشوار نموده و مقدار حباب‌های سطحی را افزایش دهد. مواد رهاساز قالب به لحاظ عملکرد به دو گروه مواد غیرفعال و مواد واکنش‌زا تقسیم می‌شوند. مواد غیرفعال از طریق ایجاد لایه روغنی روی سطح قالب مانع از تماس خمیر سیمان با سطح قالب می‌شوند و معمولاً شامل روغن‌های نفتی (معدنی) می‌باشند. مواد فعال معمولاً بر پایه روغن‌های گیاهی حاوی اسیدهای چرب هستند. این مواد از طریق واکنش با هیدروکسید کلسیم تولید شده طی هیدراته شدن سیمان، ایجاد صابون‌های فلزی بر پایه کلسیم می‌نمایند که این لایه باعث عدم چسبندگی بتن به سطح قالب می‌شود[۹-۱۰].

در خصوص تأثیر نوع ماده رهاساز روی حفرات سطحی بتن، تحقیق انجام‌شده توسط شیها[3] و همکاران[۱۱] نشانگر این بوده است که ابعاد حفرات ایجادشده روی سطح بتن برای قالب تخته لایه روکش‌دار آغشته شده با روغن معدنی مشابه مورد آغشته شده با روغن‌پایه گیاهی بوده است. لیکن مقدار حفرات سطحی بتن برای روغن معدنی در مقایسه با روغن گیاهی کمتر بوده است. لئون مارتینز[4] و همکاران[۱۲] چندین نوع ماده رهاساز قالب بر پایه روغن‌های گیاهی را با دو نوع روغن قالب معدنی به لحاظ کیفیت سطح بتن مقایسه کردند. قالب‌های فولادی منشوری به ابعاد بیست سانتی‌متر و قالب‌های استوانه‌ای فولادی به ارتفاع بیست سانتی‌متر مورداستفاده قرار گرفتند. نتایج این محققین حاکی از بهتر بودن سطوح حاصل از مواد رهاساز بر پایه روغن‌های گیاهی در مقایسه با روغن‌های معدنی بوده است. لیبه سارت[5] و همکاران[۱۳] عملکرد مواد رهاساز بر پایه روغن‌های گیاهی و معدنی را به لحاظ کیفیت سطح بتن که در قالب‌های فولادی قالب‌گیری شده بود بررسی نمودند. بر اساس یافته‌های این محققین، علیرغم ویسکوزیته بالاتر روغن‌های گیاهی، عملکرد آن‌ها در مقایسه با مواد رهاساز بر پایه روغن‌های معدنی بهتر بوده است. شایان‌ذکر است که در تحقیقات قبلی به تأثیر مقدار استفاده از مواد رهاساز پرداخته نشده است. همچنین علارغم اینکه قالب‌های فولادی و قالب‌های تخته لایه روکش‌دار پرکاربردترین انواع قالب می‌باشند،

---

1 B. Liu
2 S. Harada
3 I. Shyha
4 F. León-Martínez
5 L. Libessart

مقایسه مستقیمی در عملکرد آن‌ها به لحاظ حفرات سطحی ناخواسته صورت نگرفته است. با عنایت به موارد فوق‌الذکر و با توجه به کمبود تحقیقات قبلی انجام‌شده در کشور در خصوص تأثیر پارامترهای مؤثر بر حفرات سطحی بتن، در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع قالب و همچنین نوع و مقدار استفاده از مواد رهاساز روی حفرات سطحی بتن پرداخته‌شده است.

۳. برنامه‌ی آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر تأثیر دو نوع ماده رهاساز قالب با پایه‌های معدنی و گیاهی و دو نوع قالب تخته‌لایه روکش‌دار و فولادی روی حفرات سطحی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. قالب‌های در نظر گرفته‌شده دارای مقطع ۲۵در ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بوده‌اند. انرژی ثابت تراکم به همه نمونه‌ها اعمال گردید و پس از قالب برداری وضعیت حفرات سطوح به لحاظ مقدار و همچنین توزیع ابعاد تعیین گردید. بررسی انجام‌شده شامل دو نوع بتن با اسلامپ‌های هفت و شانزده سانتی‌متر بوده است تا تأثیر روانی بتن بر حفرات ناخواسته نیز ارزیابی شود.

۱.۳. مصالح

در این تحقیق از سیمان پرتلند نوع دو که ویژگی‌های آن طبق استاندارد ۳۸۹ ایران[۱۴] و استاندارد ASTM[1] C-150 [۱۵] بوده استفاده‌شده است. مشخصات شیمیایی سیمان مورداستفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین سنگ‌دانه‌های مورداستفاده شامل شن و ماسه نیمه شکسته بوده که مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ [۱۶] بوده‌اند. آزمایش دانه‌بندی برای شن و ماسه مطابق استاندارد ملی ایران شماره۴۹۷۷ [۱۸] انجام شد و نتایج در جدول۲ به همراه محدوده‌های مجاز دانه‌بندی شن و ماسه، طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲ [۱۶] ارائه شده‌اند.

مقدار مواد کوچک‌تر از الک شماره ۲۰۰ برای ماسه و شن به ترتیب برابر ۲/۰۰ و ۰/۲۴ درصد می‌باشد. شن به‌کاررفته با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر دارای جذب آب ۲/۸ درصد و جرم حجمی ۲۵۲۰ کیلوگرم در مترمکعب بوده است. مقادیر متناظر برای ماسه ۳/۹ درصد و ۲۴۹۰ کیلوگرم در مترمکعب بوده است.

جدول۱. ترکیب شیمیایی سیمان مورد استفاده برحسب درصد

ویژگی شیمیایی	مقادیر مربوط به سیمان مصرفی	مقادیر مجاز طبق استاندارد ASTM C150/C150M-15
SiO_2 (٪)(درصد وزنی سیمان)	۲۱/۷۷	۲۰<
Al_2O_3 (٪)(درصد وزنی سیمان)	۴/۸۴	۶>
Fe_2O_3 (٪)(درصد وزنی سیمان)	۴/۱۳	۶>
MgO (٪)(درصد وزنی سیمان)	۱/۸۵	۵>
SO_3 (٪)(درصد وزنی سیمان)	۱/۶۹	۳>
CaO (٪)(درصد وزنی سیمان)	۶۴/۱۴	-
L.O.I (٪)- کاهش وزن ناشی از سرخ شدن(درصد وزنی)	۰/۷۲	۳>
I.R (٪)- میزان باقیمانده نامحلول(درصد وزنی)	۰/۵۱	۰/۷۵>
C_3A (٪)(درصد وزنی سیمان)	۵/۸	۸>
C_3S (٪)(درصد وزنی سیمان)	۵۸/۰۰	-
C_2S (٪)(درصد وزنی سیمان)	۱۸/۶	-
C_4AF (٪)(درصد وزنی سیمان)	۱۲/۶	-

1 American Society for Testing and Materials

جدول۲. نتیجه‌ی آزمایش دانه‌بندی شن و ماسه مورد استفاده و مقایسه با استاندارد ملی ایران شماره۳۰۲ [۱۶]

شماره الک	درصد عبوری از الک		محدوده استاندارد شن		محدوده استاندارد ماسه	
	شن	ماسه	حداقل(٪)	حداکثر(٪)	حداقل(٪)	حداکثر(٪)
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۱۰۰	–	–
۱۹	۸۳/۷۵	۱۰۰	–	–	–	–
۱۲/۵	۳۸/۴	۱۰۰	۲۵	۶۰	–	–
۹/۵	۲۰/۵۵	۱۰۰	–	–	–	۱۰۰
۴/۷۵	۲/۸	۹۴/۹۳	۰	۱۰	۸۹	۱۰۰
۲/۳۶	۰/۸۵	۶۶/۹۳	۰	۵	۶۰	۱۰۰
۱/۱۸	–	۴۵/۹۹	–	–	۳۰	۸۰
۰/۶	–	۲۸/۴۴	–	–	۱۵	۵۰
۰/۳	–	۱۷/۸۶	–	–	۵	۳۰
۰/۱۵	–	۵/۱۶	–	–	۲	۱۰

برای آغشته سازی سطوح قالب‌ها از دو نوع ماده رهاساز شامل روغن‌پایه معدنی و روغن‌پایه آلی استفاده شد (شکل۲). روغن پایه معدنی با ایجاد یک‌لایه مانع از چسبیدن قالب به بتن جلوگیری می‌کنند این در حالی است که؛ روغن پایه آلی علاوه بر ایجاد لایه مانع بر روی قالب، با بتن واکنش داده و یک‌لایه صابونی به وجود می‌آورد که سبب آسان شدن قالب برداری می‌شود. مشخصات مواد رهاساز در جدول۳ آمده است.

روغن پایه معدنی

روغن پایه آلی

شکل۲. مواد رهاساز

جدول۳. مشخصات روغن

ماده رهاساز	روغن پایه معدنی	روغن پایه آلی
ویسکوزیته(میلی‌پاسکال ثانیه)	۱۳۵۸	۱۱
عملکرد	غیرفعال- مانع	فعال - مانع
رنگ	کرم	کهربایی
وزن مخصوص	۰/۹۵	۰/۸۵

۲.۳. طرح مخلوط و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق از دو نوع بتن با اسلامپ‌های هفت و شانزده سانتی‌متر استفاده‌شده است. تعیین مقادیر اجزا با استفاده از روش ملی طرح مخلوط بتن انجام گردید که در جدول۴ قابل‌مشاهده می‌باشد. قابل ذکر است؛ پس از

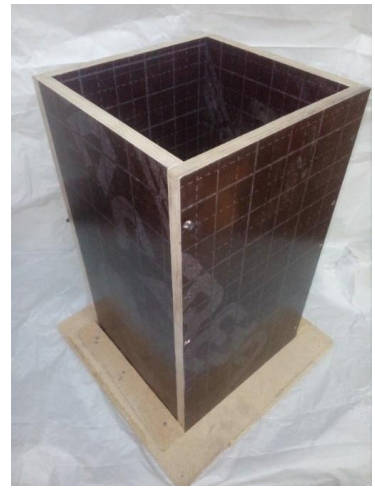
ساخت بتن، مطابق الزامات استاندارد ASTM c143 [۱۷] آزمایش اسلامپ بر روی مخلوط بتن تازه صورت گرفته است.

جدول۴. طرح مخلوط بتن اسلامپ هفت و شانزده

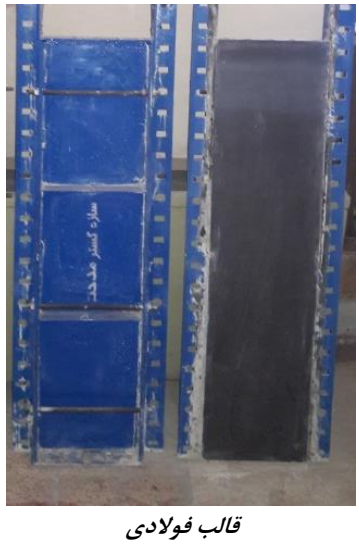
نوع بتن	مقادیر اجزای بتن(کیلوگرم)			
	آب	سیمان	ماسه	شن
اسلامپ هفت	۱۸۵	۳۷۰	۷۰۰	۱۰۲۴
اسلامپ شانزده	۲۱۵	۳۹۷	۷۶۳	۹۱۰

بتن‌ریزی در شرایط یکسان در دو نوع قالب فولادی و تخته‌لایه روکش‌دار با سطح مقطع مربع به ابعاد ۲۵ سانتی‌متر انجام شد. ارتفاع بتن ریخته شده در قالب برابر ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تصاویر قالب‌ها در شکل ۳ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است ارتفاع قالب تخته لایه روکش‌دار ۵۰ سانتی‌متر است. قالب فولادی مورداستفاده از نوع پانلی به ارتفاع ۱ متر بود. لیکن بتن به ضخامت ۵۰ سانتی‌متر در آن ریخته و متراکم گردید. جنس روکش قالب تخته‌لایه از جنس فنل با پوشش سطح ۱۲۵گرم بر مترمربع می‌باشد. قابل‌ذکر است به‌منظور جلوگیری از خروج شیره‌ی بتن قالب‌های فولادی توسط نوارهای لاستیکی درزبندی شدند.

جهت بررسی تأثیر مقدار استفاده از مواد رهاساز روی حفرات سطحی بتن، این مواد در مقادیر حداقل، حداکثر و بیش‌ازحد مورد آزمایش قرار گرفتند. منظور از حداقل مقدار روغن، کم‌ترین مقدار روغنی است که توانایی پوشش کامل سطح را داشته باشد. مقدار حداکثر نیز با آغشته کردن سطح قالب تا حدی که روغن بر روی سطح شره نکند مشخص شد. برای مقدار بیش‌ازحد نیز، مقدار حداکثر به دو برابر افزایش یافت. مقادیر مورداستفاده از دو نوع ماده رهاساز در جدول ۵ آورده شده است.



قالب تخته‌لایه روکش‌دار



قالب فولادی

شکل۳. قالب‌های مورداستفاده

جدول۵. مقادیر ماده رهاساز آغشته شده در قالب فلزی و تخته‌لایه روکش‌دار(گرم بر مترمربع)

نوع روغن	پایه معدنی			پایه آلی		
مقدار مصرف	حداقل	حداکثر	بیش‌ازحد	حداقل	حداکثر	بیش‌ازحد
قالب فولادی	۱۲	۵۵/۴	۱۱۰/۹	۷/۲	۱۷/۳	۳۴/۶
قالب تخته‌لایه	۶/۶	۵۰/۱	۱۰۰/۲	۳/۰	۱۳/۱	۲۶/۲

برای متراکم کردن بتن از ویبراتور درونی با موتور برقی استفاده شد که تصویر ویبراتور مورداستفاده در شکل۴ و مشخصات آن در جدول ۶ ذکرشده است. مدت‌زمان ویبره که به همه نمونه‌ها به‌طور یکسان اعمال گردید به نحوی در نظر گرفته شد که تمایز در وضعیت حفرات سطحی ناشی از پارامترهای موردمطالعه را فراهم آورد. بر این اساس تراکم اعمال‌شده به همه نمونه‌ها به این صورت بود که ویبراتور ۳۰ ثانیه در بتن به‌طور کامل مدفون بوده و طی ۱۰ ثانیه از آن خارج گردید. برای این‌که ویبراتور حین ارتعاش بتن دقیقاً در مرکز قالب قرار داشته باشد مطابق شکل ۵ از شابلون استفاده‌شده است. حدوداً هجده ساعت بعد ارتعاش، قالب برداری از نمونه‌ها انجام شد.

شکل۴. ویبراتور درونی بتن

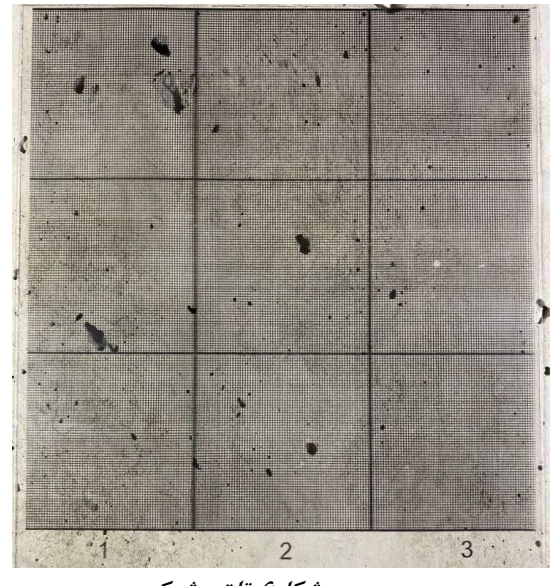
جدول۶. مشخصات ویبراتور

قطر(mm)	طول(mm)	دامنه در هوا(mm)	فرکانس(Hz)	شعاع عمل(mm)
۳۸	۵۰۰	۲/۵	۱۰۰	۱۵۰

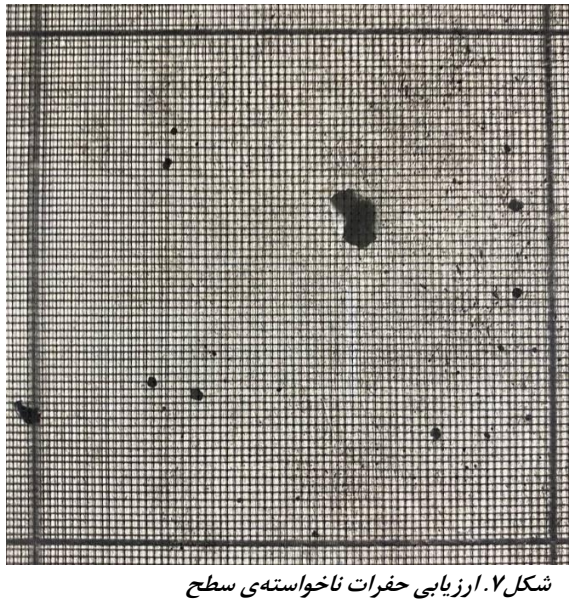
شکل۵. شابلون قالب تخته‌لایه روکش‌دار

۳.۳. نحوه‌ی ارزیابی سطوح

برای ارزیابی سطوح، پس از قالب برداری به مدت بیست‌وچهار ساعت فرصت داده شد تا هم‌سطح بتن‌ها خشک شوند و هم به مقاومت مناسبی برسند تا در حین جابجایی آسیب نبینند. هر نمونه‌ی بتنی سخت شده دارای چهار وجه می‌باشد که هر وجه ۲۵ سانتی‌متر عرض و به‌طور میانگین حدود ۴۶ سانتی‌متر ارتفاع دارد. در تمام سطوح، حاشیه‌ای ۲ سانتی‌متری از طرفین، بالا و پایین کنار گذاشته شد و درنهایت سطح با ابعاد ۲۱ در ۴۲ سانتی‌متر موردبررسی قرار گرفت. بررسی سطوح برای حفرات سطحی در چارچوب روش دستی مشخص شده توسط انجمن بتن آمریکا[۱] انجام شد. برای بررسی وجوه مذکور و اندازه‌گیری حفرات سطح بتن به روش دستی از اشلی با جنس تلق شفاف استفاده شد. مطابق شکل۶ تلق به خانه‌های مربع شکل به ابعاد یک‌دریک میلی‌متر تقسیم‌شده که درمجموع این خانه‌ها یک صفحه‌ی ۲۱ در ۲۱ سانتی‌متری مشبک را تشکیل دادند. ارزیابی هر وجه نمونه‌ها با استفاده از تلق مشبک در دو مرحله، یکی در بخش پایین نمونه و دیگری در بخش بالای نمونه انجام شد. پس از قرارگیری تلق مشبک روی سطح بتن، تعداد خانه‌های ۱در۱ میلی‌متر روی هر حفره شمرده و یادداشت می‌شوند. حفرات کوچک‌تر از یک‌خانه‌ی ۱در۱ میلی‌متر در دسته حفرات کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر مربع قرار می‌گیرند. شایان توجه است که از حفرات با قطر کمتر از نیم میلی‌متر چشم‌پوشی گردید. شکل ۷ نحوه‌ی ارزیابی حفرات نشان می‌دهد.



شکل۶. تلق مشبک



شکل۷. ارزیابی حفرات ناخواسته‌ی سطح

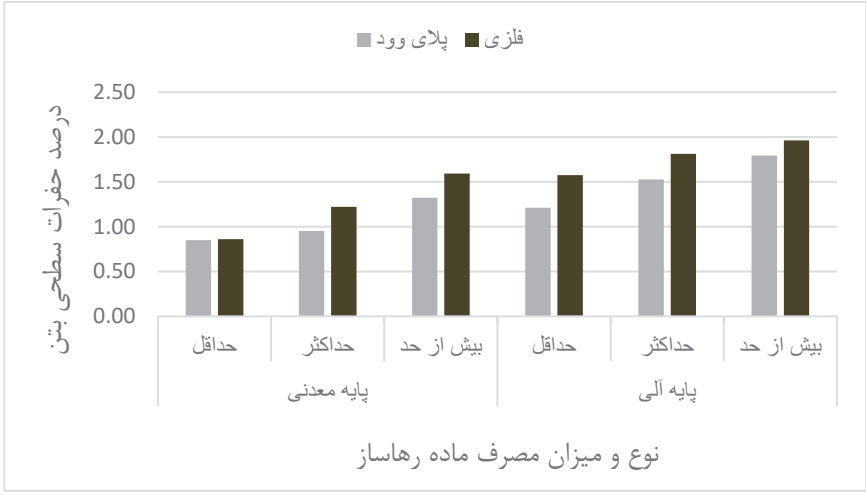
۴. نتایج و تفسیر آن‌ها

۱.۴. درصد حفرات ناخواسته‌ی سطح بتن

نتایج حاصل از ارزیابی سطوح بتن‌های با اسلامپ هفت سانتی‌متر در شکل۸ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است؛ قالب تخته لایه نسبت به قالب فولادی برای هر دو نوع ماده رهاساز و مقادیر مختلف مصرف آن‌ها منجر به بهبود نسبی کیفیت سطح بتن شده و مقدار حفرات را به‌طور متوسط حدود ۱۵ درصد کاهش داده است.

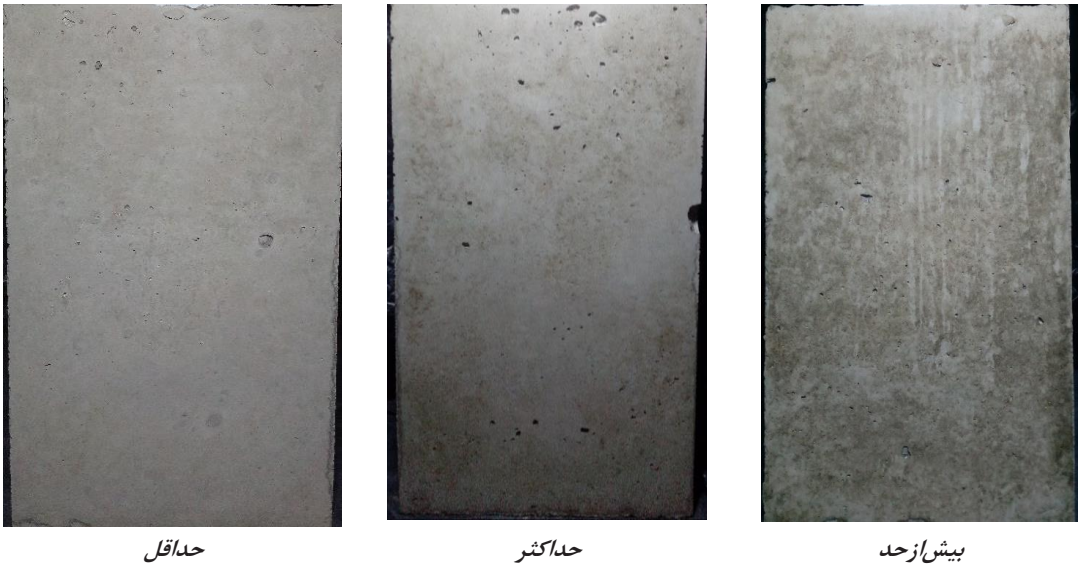
با بررسی مقادیر آغشته سازی مواد رهاساز بر روی هر دو نوع قالب که در جدول ۵ از بخش قبل ارائه‌شده است. مشاهده می‌شود که قالب تخته‌لایه روکش‌دار در مقایسه با قالب فولادی نیاز به ماده‌ی رهاساز کمتری داشته است. این امر نشان‌گر صیقلی‌تر بودن سطح آن در مقایسه با قالب فولادی می‌باشد و به نظر می‌رسد عملکرد بهتر قالب تخته لایه روکش‌دار ناشی از همین امر باشد. همچنین نتایج نشانگر این است که به لحاظ تأثیر نوع مواد رهاساز، روغن پایه معدنی باعث کاهش قابل توجهی در مقدار حفرات سطحی در مقایسه با روغن پایه گیاهی شده است. مقدار کاهش در حفرات سطحی به‌طور متوسط حدود ۵۰ درصد بوده است. به لحاظ تأثیر مقدار مصرف مواد رهاساز

روی حفرات سطحی، نتایج ارائه‌شده نشانگر این است که؛ برای هر دو نوع روغن قالب، با افزایش میزان مصرف از حداقل تا بیش‌ازحد، درصد حفرات ناخواسته افزایش‌یافته است.



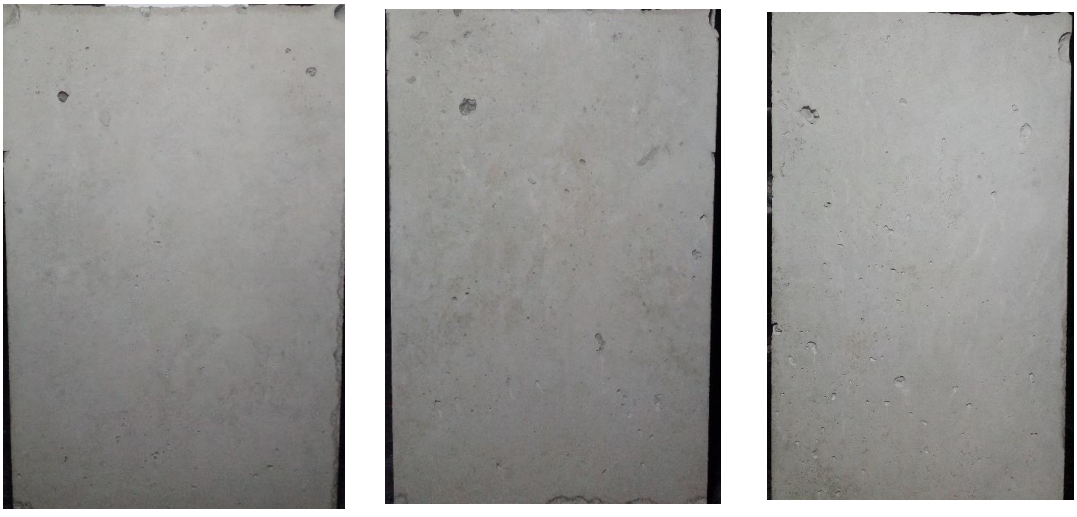
شکل۸. درصد حفرات ناخواسته در سطوح ساخته‌شده با بتن اسلامپ هفت سانتی‌متر در قالب‌های فولادی و تخته‌لایه روکش‌دار با انواع و مقادیر مختلف مصرف مواد رهاساز

مورد دیگری که بایستی به لحاظ عملکرد مواد رهاساز در نظر گرفته شود بحث امکان لکه‌گذاری آن‌ها روی سطح بتن می‌باشد. در شکل۹ سطوح بتن قالب‌گیری شده با قالب فولادی آغشته به مقادیر مختلف روغن معدنی نشان داده‌شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود هرچند در حداقل مقدار مصرف، روغن معدنی منجر به لکه‌گذاری نشده است، در مقدار کاربرد زیاد، به‌وضوح لکه‌گذاری صورت گرفته و حدود نیمی از سطح دارای لکه هایی است که قدری تیره تر از رنگ زمینه بتن است. با افزایش مقدار مصرف ماده رهاساز پایه معدنی شدت لکه‌گذاری بیشتر شده و تقریبا تمام سطح را پوشانده است. برخلاف روغن پایه معدنی، روغن پایه آلی در هیچ‌یک از مقادیر مصرف باعث ایجاد لکه روی بتن چه برای قالب فولادی و یا قالب تخته لایه روکش‌دار نشده است. در شکل ۱۰ وضعیت سطوح بتنی قالب‌گیری شده با قالب تخته لایه روکش‌دار برای مقادیر مختلف مصرف روغن آلی ارائه‌شده است. به نظر می‌رسد برای بتن نمایان و معماری خصوصاً زمانی که امکان کنترل دقیق روی مقدار مصرف روغن وجود ندارد، استفاده از روغن پایه آلی می‌تواند گزینه مناسبی باشد.



بیش‌ازحد ***حداکثر*** ***حداقل***

شکل۹. سطوح ساخته‌شده با بتن اسلامپ هفت سانتی‌متر در قالب فولادی آغشته شده به مقادیر مختلف روغن پایه معدنی

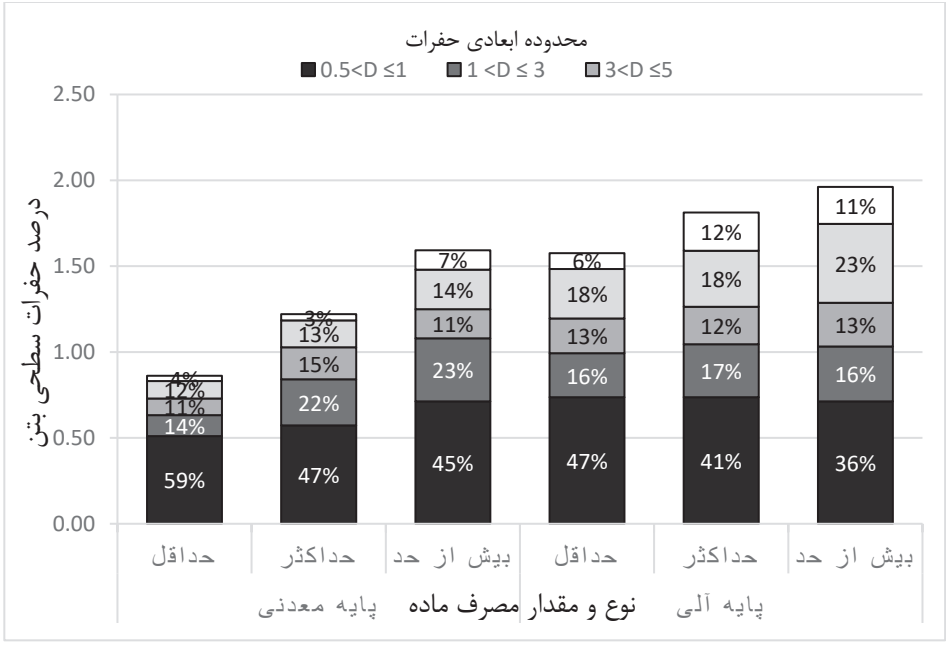


بیش‌ازحد　　حداکثر　　حداقل

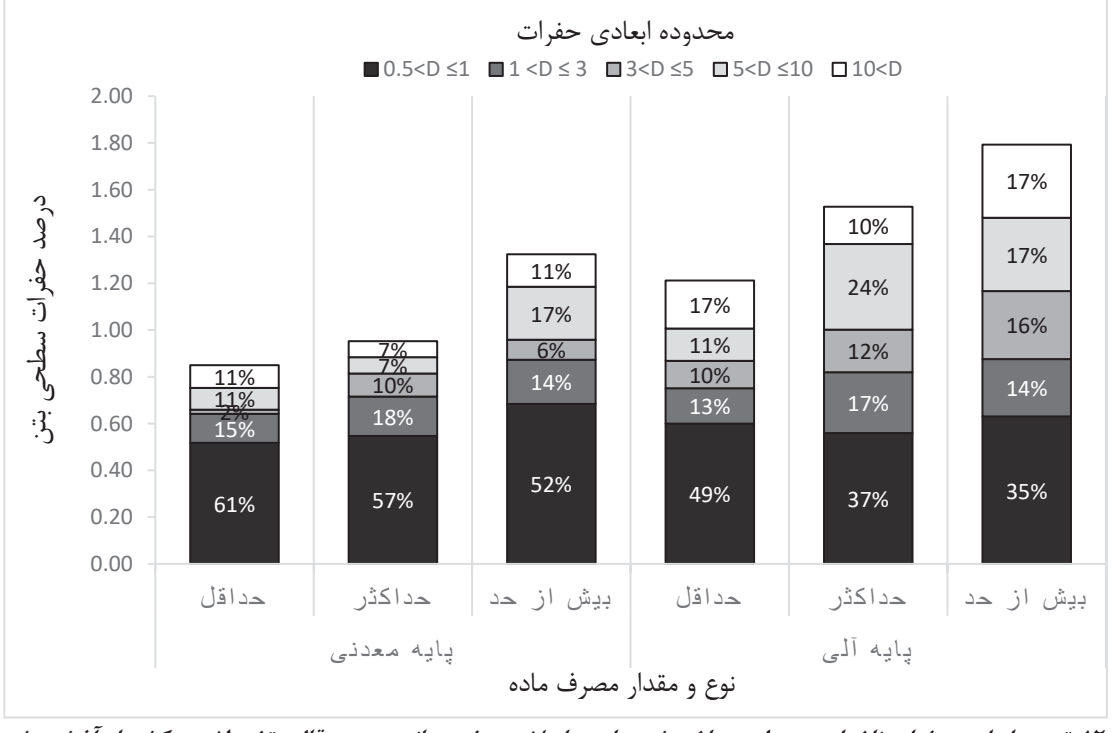
شکل۱۰. سطوح ساخته‌شده با بتن اسلامپ هفت سانتی‌متر در قالب تخته‌لایه روکش‌دار، آغشته شده به مقدار مختلف روغن پایه آلی

۲.۴. توزیع ابعادی حفرات ناخواسته‌ی سطح بتن

ارزیابی و شمارش حفرات ناخواسته به نحوی صورت گرفته که علاوه بر تعیین درصد کل حفرات در سطح بتن، امکان بررسی توزیع ابعادی حفرات نیز وجود دارد. ازآنجایی‌که حفرات ناخواسته غالباً دارای اشکال نسبتاً نامنظم می‌باشند، با در اختیار داشتن مساحت هر حفره، قطر معادل آن‌ها محاسبه‌شده و ملاک ارزیابی قرارگرفته است. نتایج حاصل از بررسی توزیع ابعادی حفرات ناخواسته برای نمونه‌های ساخته‌شده در قالب فولادی و تخته‌لایه روکش‌دار در شکل‌های ۱۱و۱۲ و برحسب درصد سطح حفرات هر بازه به سطح کل حفرات به نمایش گذاشته‌شده است. همان‌طور که مشخص است برای همه‌ی انواع مواد رهاساز با افزایش مقدار مصرف ماده رهاساز، توزیع ابعادی از حفرات ریز به سمت حفرات درشت‌تر میل می‌کند. همچنین روغن پایه معدنی در مقایسه با روغن پایه آلی دارای توزیع ابعادی ریزتری است. مقایسه عملکرد قالب‌های فولادی و تخته‌لایه به لحاظ توزیع ابعادی حفرات برای انواع مواد رهاساز در مقدار حداقل مصرف نشان می‌دهد که هرچند قالب تخته‌لایه به لحاظ مقدار کل حفرات عملکرد بهتری نسبت به قالب فولادی داشته است لیکن به لحاظ توزیع ابعادی مزیت خاصی در مقایسه با قالب فولادی ندارد.



شکل۱۱. توزیع ابعادی حفرات ناخواسته سطوح ساخته‌شده با بتن اسلامپ هفت سانتی‌متر در قالب فولادی آغشته شده به انواع مواد رهاساز با مقادیر مختلف مصرف

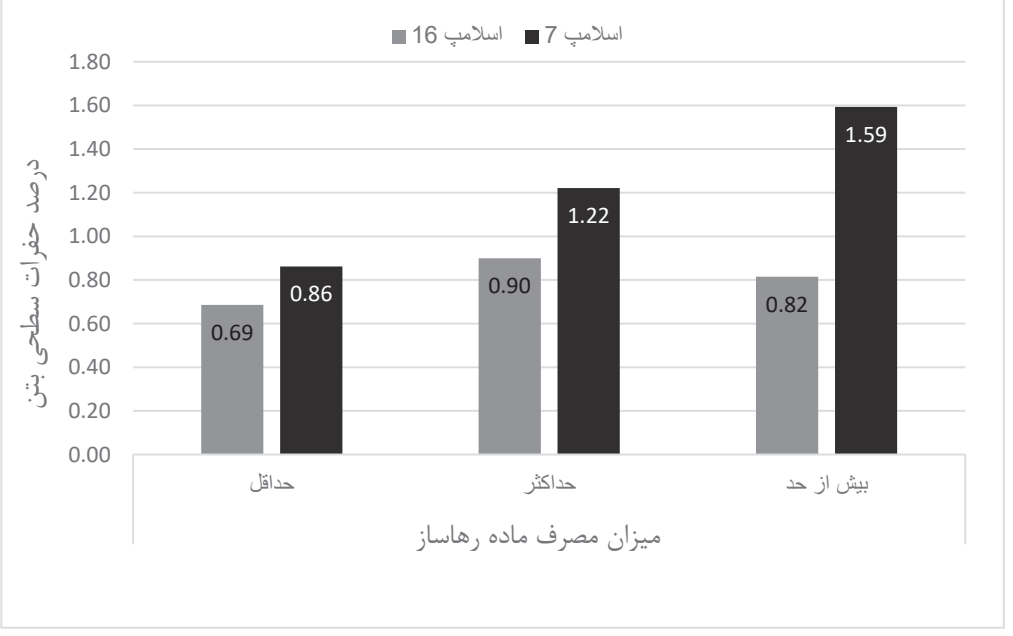


شکل۱۲. توزیع ابعادی حفرات ناخواسته سطوح ساخته‌شده با بتن اسلامپ هفت سانتی‌متر در قالب تخته‌لایه روکش‌دار آغشته شده به انواع مواد رهاساز با مقادیر مختلف مصرف

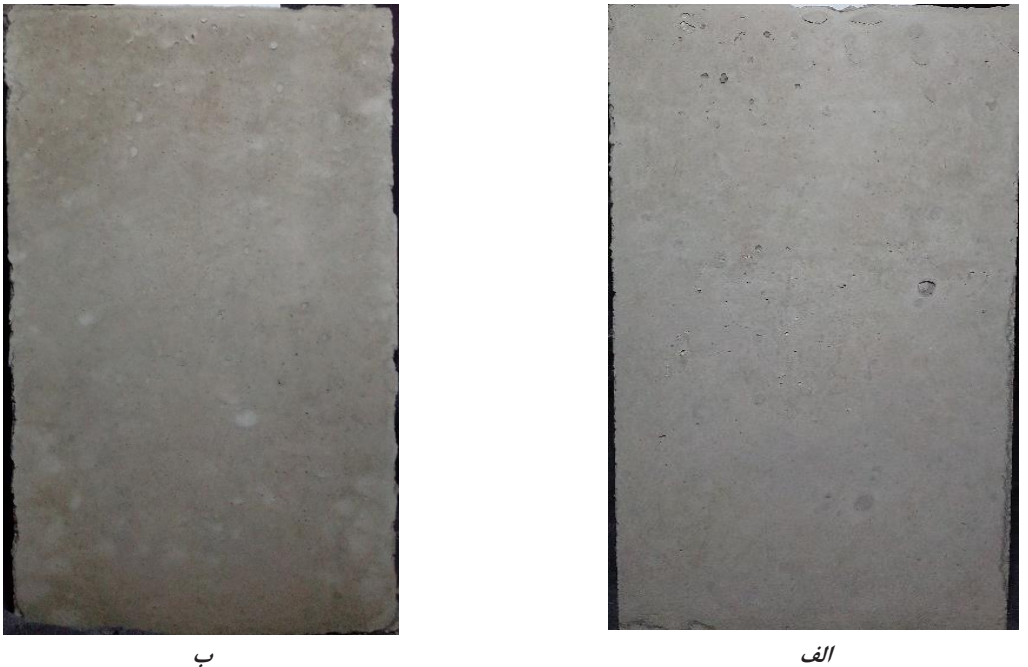
۳.۴. تأثیر افزایش اسلامپ بتن بر روی حفرات ناخواسته سطح بتن

اثر مقدار روانی بتن روی حفرات سطحی در تحقیق حاضر در نظر گرفته شد و مقادیر حفرات مربوط به بتن‌های با اسلامپ هفت و شانزده سانتی‌متر در شکل۱۳ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است؛ با روان‌تر شدن و

افـزایش اسـلامپ بـتن در انـرژی تـراکم یکسـان، بـه میـزان قابـل‌توجهی از مقـدار حفـرات ناخواسـته سـطوح بتنـی کاسـته می‌شود. در شکل ۱۴ نیز سطوح بتنی قالـب‌گیری شـده بـا قالـب فـولادی و مـاده رهاسـاز پایـه معـدنی بـرای دو نـوع بـتن بـا اسلامپ‌های هفت و شانزده سانتی‌متر مقایسه شده است.



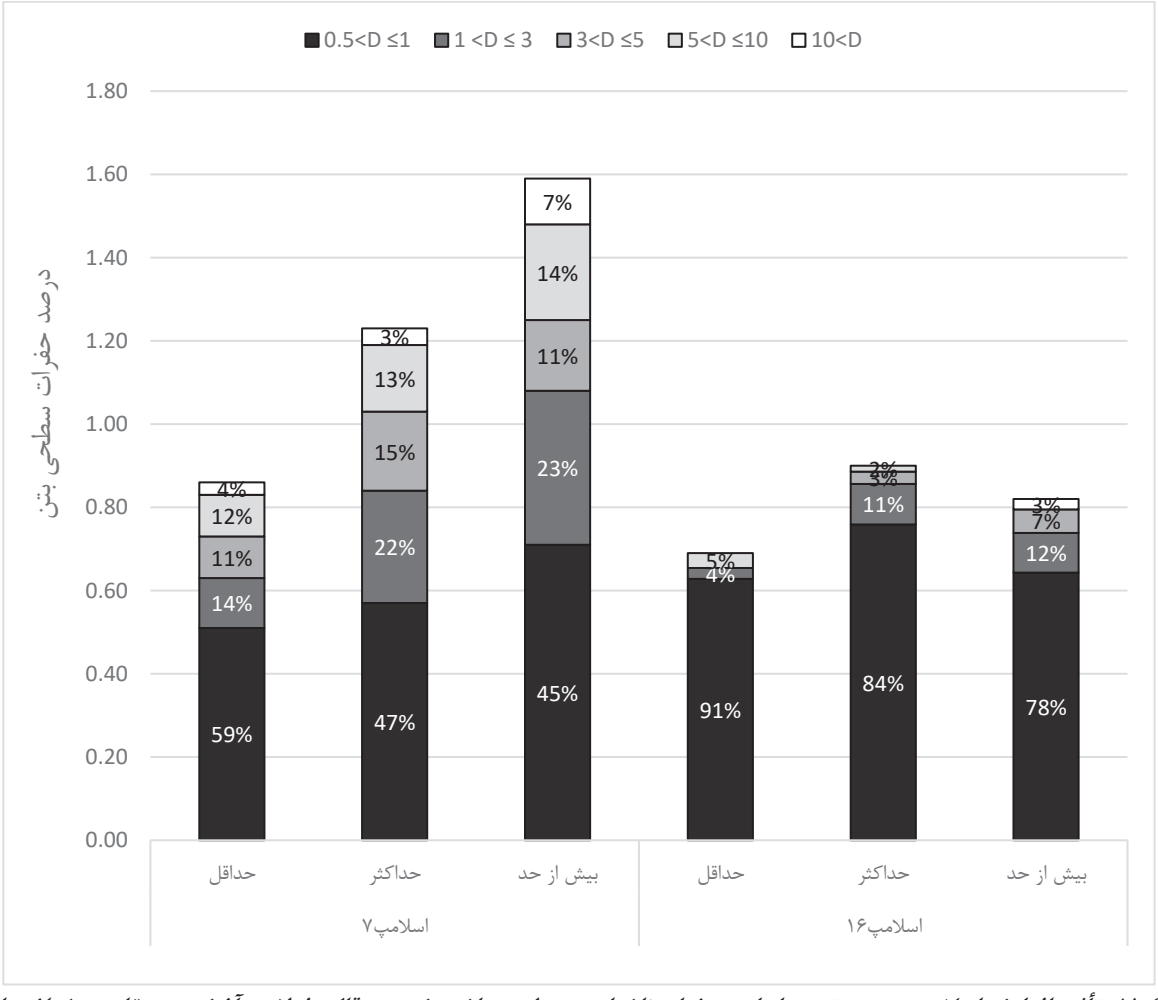
شکل۱۳. تأثیر افزایش اسلامپ بر روی درصد حفرات ناخواسته سطوح ساخته شده در قالب فولادی آغشته به مقادیر مختلف ماده رهاساز پایه معدنی



ب ***الف***

شکل۱۴. سطوح ساخته در قالب فولادی آغشته شده به ماده رهاساز پایه معدنی به میزان حداقل با بتن‌های مختلف
الف: بتن اسلامپ هفت ب: بتن اسلامپ شانزده

درصد کل حفرات سطحی برای بتن‌های با اسلامپ هفت و شانزده سانتی‌متر و همچنین توزیع ابعادی حفرات آن‌ها در شکل ۱۵ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش اسلامپ بتن از هفت به شانزده سانتی‌متر، حفرات بزرگ‌تر از یک میلی‌متر به‌طور چشم‌گیری کاهش پیدا کردند. لذا افزایش اسلامپ بتن علاوه بر کاهش مقدار حفرات، میانگین قطر حفرات را نیز کاهش می‌دهد و حفرات به سمت کوچک‌تر شدن می‌روند.



شکل۱۵. تأثیر افزایش اسلامپ بر روی توزیع ابعادی حفرات ناخواسته سطوح ساخته شده در قالب فولادی آغشته به مقادیر مختلف ماده رهاساز پایه معدنی

۵. نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر بر حفرات سطحی ناخواسته بتن، شامل نوع قالب، نوع ماده رهاساز، مقدار مصرف ماده رهاساز و روانی بتن، پرداخته‌شده است. بر اساس نتایج حاصله نتیجه‌گیری‌های زیر قابل‌ارائه می‌باشند:

مقایسه سطوح قالب‌گیری شده با قالب‌های فولادی و تخته‌لایه روکش‌دار نشانگر این است که؛ قالب تخته‌لایه روکش‌دار در مقایسه با قالب فولادی منجر به بهبود نسبی کیفیت سطح بتن شده و مقدار حفرات را به‌طور متوسط حدود ۱۵ درصد کاهش داده است. درعین‌حال توزیع ابعادی حفرات سطحی برای قالب‌های فولادی و تخته‌لایه روکش‌دار مشابه بوده و مزیت خاصی به این لحاظ نسبت به یکدیگر نداشته‌اند. همچنین مقدار روغن قالب موردنیاز برای پوشش سطح قالب تخته لایه روکش‌دار به طور میانگین ۲۸ درصد کمتر از مقدار مربوط به قالب فولادی بوده است.

در بین دو نوع ماده رهاساز بررسی‌شده، ماده پایه آلی دارای لزجت کمتری در مقایسه با ماده پایه معدنی بوده و لذا امکان پوشش دادن به سطح بیشتری را دارد.

به لحاظ تأثیر نوع ماده رهاساز روی حفرات سطحی، روغن معدنی مقدار حفرات کمتری را ایجاد کرد و عملکرد بهتری نسبت به روغن آلی نشان داد. همچنین به لحاظ توزیع ابعادی حفرات سطحی، ماده رهاساز پایه معدنی منجر به حفرات با توزیع ریزتری نسبت به ماده پایه آلی گردید.

علاوه بر حفرات سطحی، بحث لکه‌گذاری نیز روی کیفیت سطح بتن تأثیرگذار است. نتایج بررسی انجام‌شده نشانگر این است که هرچند روغن معدنی در حداقل مقدار مصرف، لکه‌گذاری نداشته، لیکن مقادیر مصرف زیاد باعث لکه‌گذاری روی سطح بتن شده است. روغن آلی در تمامی مقادیر مصرف مشکلی به لحاظ لکه‌گذاری ایجاد نکرد. برای هر دو نوع ماده رهاساز بررسی‌شده، با افزایش مقدار مصرف در واحد سطح قالب، مقدار حفرات سطح افزایش یافت.

افزایش اسلامپ بتن منجر به کاهش قابل‌توجه حفرات سطحی می‌گردد. همچنین توزیع ابعادی حفرات سطحی با افزایش اسلامپ ریزتر گردید و کیفیت سطح به میزان قابل‌توجهی بهبود یافت.

۶. قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدرس آزمایشگاه بتن دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی آقای مهندس زنگانه و تکنسین آزمایشگاه بتن آقای محمدزاده جهت مساعدت در مراحل مختلف این پژوهش و همچنین از شرکت سازه گستر مدحت برای تامین قالب‌های بتن، تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] American Concrete Institute, January 2014, "Guide to Formed Concrete Surfaces, ACI 347 , no. 347.3R-13.

[2] Concrete International Board, 2003, "tolerances on blemishes of concrete " Commission W29-CIB Report no. 24,

[3] W. A. Megid, and K. H. Khayat, 2020, "Variations in surface quality of self-consolidation and highly workable concretes with formwork material," Construction and Building Materials, vol. 238.

[4] B. Liu, T. Yang, and Y. Xie, 2017, "Factors influencing bugholes on concrete surface analyzed by image processing technology," Construction and Building Materials, vol. 153, pp. 897-907,.

[5] S. Harada, T. Maeda, M .Hirano, and I. Yoshitake,2015 "Reducing bug-holes on tunnel lining concrete by using covering sheets" Proceedings of ISEC, pp. 689-694.

[6] W. Da Silva, D. Lucena, P. Štemberk, and L. Prudêncio Jr, 2014 "Evaluation of the effect of concrete compositional changes and the use of ethyl-alcohol and biodegradable-oil-based release agents on the final surface appearance of self-compacting concrete precast elements," Construction and Building Materials, vol. 52, pp. 202-208.

[7] I. Shyha, A. Richardson, K. Coventry, and H. Ponton, 2016 "Mould release technologies with regard to concrete surface finish," Magazine of Concrete Research, vol. 68, no. 2, pp. 87-98.

[۸] یگانه، بهنام، ابراهیمی، مهسا و ناصح‌زاده، شهرام،(۱۳۹۷)، بررسی کاربرد بتن در طرح های معماری به لحاظ زیبا سازی و مقاومت، کنفرانس ملی یافته های نوین در مهندسی عمران- معماری- محیط زیست

[9] C. Djelal, Y. Vanhove, D. Chambellan, and P. Brisset,2010 "Influence of the application method of release agents on thickness of mould oils," Materials and structures, vol. 43, no. 5, pp. 687-698.

[10] C. Djelal, P. De Caro, L. Libessart, I. Dubois, and N. Pébère, 2008 "Comprehension of demoulding mechanisms at the formwork/oil/concrete interface," Materials and structures, vol. 41, no. 3, pp. 571-581,.

[11] I. Shyha, A. Richardson, K. Coventry, and H. Ponton, 2016 "Mould release technologies with regard to concrete surface finish," Magazine of Concrete Research, vol. 68, no. 2, pp. 87-98.

[12] F. León-Martínez, E. Abad-Zarate, L. Lagunez-Rivera, and P. d. J. Cano-Barrita, 2016 "Laboratory and field performance of biodegradable release agents for hydraulic concrete," Materials and Structures, vol. 49, no. 7, pp. 2731-2748.

[13] L. Libessart, P. de Caro, C. Djelal, and I. Dubois, 2015 "Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances," Construction and Building Materials, vol. 76, pp. 130-139.

[۱۴] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران،"ویژگی های سیمان پرتلند،" ،شماره. ۳۸۹.

[15] ASTM C150/C150M-20,2020 "Standard specification for Portland cement"ASTM International, West Conshohocken, PA.

[۱۶] سازمان ملی استاندارد ایران،"سنگدانه های بتن-ویژگی ها،" ،شماره.۳۰۲.

[17] ASTM c143 , 2012"Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"ASTM International

[۱۸]سازمان ملی اسانداارد ایران،"سنگدانه ها-دانه یندی سنگدانه های ریز و درشت-روش آزمون،" ،شماره.۴۹۷۷.