



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

The effect of the use of early-breaking cationic emulsion bitumen on the durability of structural concrete

Soleyman Jabbari Asli^{1*}

*1-Master's student in Construction Management Engineering, Payam Noor University, Karaj, Iran

Received: 06 April 2024; Revised: 10 April 2024; Accepted: 13 May 2024; Published: 22 September 2024

Abstract

The cycle of freezing and thawing is one of the damage factors of concrete in cold regions. For this type of damage, the air temperature must change to the point of freezing, melting. The concrete must be in contact with water or humidity, and the porosity of the concrete must be inappropriate. The progression of damage depends on the number of cycles, temperature during solidification, porosity of concrete and environmental conditions of concrete. In this research, the effect of adding early-breaking cationic emulsion bitumen on the durability and other characteristics of structural concrete was investigated by performing water absorption tests, concrete resistance against freezing, melting, permeability, concrete resistance against chlorine ion penetration by electrical conductivity method. For this research, four mixing plans, one mixing as a control and three mixing with the addition of 2, 4 and 6 percent by weight of emulsion bitumen compared to the weight of cement were prepared. Slump tests, compressive strength, water absorption, permeability, durability of concrete against chloride ion penetration by electrical conduction method, surface resistance of concrete against chloride ion penetration and durability of concrete against freezing and thawing cycles were performed on the manufactured samples. The results showed that the addition of emulsion bitumen to structural concrete generally reduces the compressive strength and water absorption of concrete. Adding 6% bitumen reduces the permeability of concrete to the extent maximum. Regarding the durability of concrete against chloride ion penetration, the surface resistance of concrete against chloride ion penetration and the durability of concrete against freezing and thawing cycles do not have a positive effect, and in some cases, it causes a drop in these indices in concrete. Overall review, the results obtained from the conducted tests show that adding 4%, emulsion bitumen to concrete leads to better results.

Keywords: Structural concrete, early-breaking cationic emulsion bitumen, durability, freezing, melting

Cite this article as Jabbari Asli, S. (2024). The effect of the use of early-breaking cationic emulsion bitumen on the durability of structural concrete. (e196053). Civil and Project journal, 6(7), e196053 doi:<https://doi.org/10.22034/cpj.2024.456193.1287> ISSN: 2676-511X / Copyright: © 2025 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: soleymanja@gmail.com



نشریه عمران و پروژه
<http://www.cpjournals.com/>

تاثیر استفاده از قیر امولسیون کاتیونی زودشکن بر دوام بتن سازه‌ای

سلیمان جباری اصلی^{*}

^{*} - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت ساخت، دانشگاه پیام نور، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۸ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۲۲ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ مهر ۱۴۰۳

چکیده

چرخه‌ی انجماد، ذوب از عوامل آسیب بتن در مناطق سردسیر است. برای این نوع آسیب دیدگی باید دمای هوا تا حد انجماد، ذوب تغییر کند، بتن در تماس با آب یا رطوبت بوده و تخلخل بتن نامناسب باشد. پیشرفت آسیب دیدگی، به تعداد چرخه‌ها، دما در هنگام انجماد، تخلخل بتن و شرایط محیطی بتن بستگی دارد. در این پژوهش تاثیر افزودن قیر امولسیون کاتیونی زود شکن، بر دوام و سایر مشخصات بتن سازه‌ای، با انجام آزمایش‌های جذب آب، مقاومت بتن در برابر انجماد، ذوب، نفوذ پذیری، مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر به روش هدایت الکتریکی بررسی شد. برای این پژوهش، چهار طرح اختلاط، یک طرح به عنوان شاهد و سه طرح با افزودن ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی قیر امولسیون نسبت به وزن سیمان تهیه شد. آزمایش‌های اسلامپ، مقاومت فشاری، جذب آب، نفوذ پذیری، دوام بتن در برابر نفوذ یون کلرید به روش هدایت الکتریکی، مقاومت سطحی بتن در برابر نفوذ یون کلرید و دوام بتن در برابر چرخه‌های انجماد، ذوب روی نمونه‌های ساخته شده انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد که افزودن قیر امولسیون به بتن سازه‌ای به طور کلی باعث کاهش مقاومت فشاری و جذب آب بتن می‌شود. افزودن ۶ درصد قیر باعث حداکثر کاهش نفوذ پذیری بتن می‌شود. در مورد دوام بتن در برابر نفوذ پذیری یون کلرید، مقاومت سطحی بتن در برابر نفوذ یون کلرید و دوام بتن در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب تاثیر مثبتی نداشته و در مواردی باعث افت این شاخص‌ها در بتن می‌شود. بررسی کلی، نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزودن ۴ درصد قیر امولسیون به بتن، منجر به نتایج مطلوب‌تری می‌شود.

کلمات کلیدی: بتن سازه‌ای، قیر امولسیون کاتیونی زود شکن، دوام، انجماد، ذوب.

۱- مقدمه

در صنعت ساخت، دوام مصالح مصرفی ساختمانی اهمیت زیادی دارد. هر اندازه که مصالح مصرفی، دوام بیشتری داشته باشند؛ هزینه‌های تعمیر، نگهداری و بازسازی سازه‌ها در اثر آسیب‌دیدگی و تخریب مصالح مصرفی کمتر می‌شود. علاوه بر این، دوام بیش‌تر مصالح ساختمانی در حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی آب، خاک و هوا هم نقش موثری دارد. به همین دلیل این روزها توجه به دوام و پایداری بتن، که یکی از پرکاربردترین مصالح در صنعت ساختمان است، مورد توجه می‌باشد. از گذشته تا به امروز مشخصات مقاومتی بتن برای طراحان این نوع سازه‌ها بیشتر مورد توجه بوده ولی با توجه به مهم بودن دوام و پایداری بتن هم از لحاظ اقتصادی و هم زیست محیطی، باید برای دوام بتن نیز اهمیت زیادی داده شود. چون دوام بتن پارامتر موثری در پایداری و طول عمر یک سازه است. اگر چه مناسب بودن جزءهای متشکله بتن و عمل‌آوری خوب آن باعث افزایش عمر بتن در اغلب موارد می‌شود، ولی تخریب زودهنگام سازه‌های بتنی در برخی اوقات یادآوری می‌کند که طراحان، در مورد کنترل عوامل تاثیرگذار در عدم دوام این نوع سازه‌ها نیز توجه ویژه‌ای داشته باشند. اکنون این تفکر در جامعه طراحان بتن مورد قبول واقع شده است که در طراحی سازه‌های بتنی، عوامل دوام مصالح نیز مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد. دوام بتن هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی باید مورد توجه باشد، چرا که هزینه‌های تعمیر و جایگزین نمودن آنها، هر روز بیشتر از روز قبل بوده و قسمت اعظمی از هزینه‌های ساخت ساختمان را شامل می‌شود. تخمین زده شده است که در کشورهای صنعتی بیش از ۴۰ درصد کل منابع صنعت ساختمان در قسمت تعمیر و نگهداری سازه‌های موجود و کمتر از ۶۰ درصد آن برای احداث ساختمان‌های جدید به کار گرفته می‌شود. بتن عمدتاً از سنگدانه‌ها، سیمان پرتلند یا سیمان آمیخته و آب تشکیل شده است و ممکن است شامل سایر مواد سیمانی و یا مواد افزودنی شیمیایی باشد. همچنین بتن دارای مقداری هوای محبوس بوده و علاوه بر این ممکن است مقداری حباب هوا که عمدتاً با استفاده از یک ماده حباب‌هواساز (ماده هوازا) و یا با استفاده از یک سیمان حباب‌هواساز بدست آمده باشد نیز در بتن موجود باشد. مواد افزودنی شیمیایی اغلب برای زودگیرکنندگی، دیرگیرکنندگی، بهبود کارایی، کاهش آب اختلاط مورد نیاز، افزایش مقاومت یا اصلاح سایر خواص بتن استفاده می‌شوند [1]. فرآیند ذوب و انجماد باعث ایجاد خرابی‌های زیادی در سازه‌های بتنی شده است [2-3]. این امر باعث ایجاد هزینه‌های زیادی برای ترمیم و یا جایگزینی این اعضا می‌شود. در حال حاضر تحقیقات وسیعی برای افزایش دوام بتن صورت می‌پذیرد، زیرا بهبود این پارامتر تاثیر زیادی در کاهش هزینه‌های نگهداری سازه‌های بتنی دارد [4].

۲- ادبیات پژوهش

دوام و پایداری بتن استقامت آن در برابر عامل‌هایی است که امکان آسیب رساندن به آن را داشته و بهره برداری از بتن را دچار مشکل می‌کنند، از جمله این عوامل قرار گرفتن بتن‌های سازه‌ای مورد استفاده در مناطق سرد، در معرض چرخه‌های انجماد و ذوب متوالی می‌باشد، که به دلیل افزایش حجم آب موجود در جسم بتن موجب آسیب به آن می‌شود. جهت جلوگیری از آسیب‌دیدگی بتن در اثر چرخه‌های انجماد و ذوب از مواد افزودنی مختلفی مانند؛ افزودنی‌های حباب‌ساز هوا و کاهنده آب استفاده می‌شود. در اغلب موارد افزودنی‌های بتن، به صورت درصدی از میزان سیمان مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرند، که دقیقاً قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به ترکیبات بتن اضافه می‌شوند. هدف استفاده از این مواد کاهش هزینه، تغییر خواص، بهبود کیفیت و افزایش بهره‌وری می‌باشد. امروزه در بسیاری از مخلوط‌های بتن، یک یا چند افزودنی استفاده می‌شود، که هزینه آنها به نوع و کیفیت‌شان بستگی دارد. بر اساس استاندارد ASTM C494 افزودنی‌های بتن به ۸ دسته تقسیم می‌شوند: تیپ A: کاهنده آب، تیپ B: کندگیر کننده، تیپ C: تندگیر کننده، تیپ D: کاهنده آب و کندگیر کننده، تیپ E: کاهنده آب و تندگیر کننده، تیپ F: کاهنده قوی آب، تیپ G: کاهنده قوی آب و دیرگیر کننده، تیپ S: افزودنی‌های با عملکرد خاص [5]. در راستای هدف افزایش دوام انواع بتن در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب تاکنون تحقیق‌هایی در مورد ساخت بتن با قیر به عنوان افزودنی انجام شده است. که در ادامه به نتایج آنها اشاره خواهد شد.

مارتا کوسیور^۱ و والری جزرسکی^۲ (۲۰۰۳) نشان دادند که بتن ساخته شده با سیمان‌های آزمایش شده، حاوی افزودنی قیر، به طور قابل توجهی مقاومت بهتری در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب، در حضور ۳ درصد NaCl نسبت به بتن ساده نشان داده است، محتوای افزودنی به نوع سیمان (p/c) و همچنین تعداد چرخه‌ها تأثیر قابل توجهی بر جرم مواد کاسته شده دارد. مقدار p/c و تعداد چرخه‌ها به ترتیب ۳۸٪ و ۱۹٪ بیشترین تأثیر را در کسر درصد جرمی بیان می‌کنند. تأثیر نوع سیمان کوچکترین بود [6]. مجتبی ثابت بیرجندی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که افزودن قیر امولسیون کاتیونی دیرشکن، باعث کاهش جذب آب و همچنین افزایش مقاومت الکتریکی بتن می‌شود. دلیل این امر این است که وجود قیر باعث می‌شود تا خلل و فرج نمونه تا حدودی به وسیله قیر پر شود و فضای خالی و هوای محبوس شده در نمونه کاهش یابد و گفته‌اند می‌توان نتیجه گرفت که افزودن قیر باعث افزایش دوام بتن می‌شود. همچنین اثر افزودن پلیمر لاتکس لاستیک طبیعی را به طرح‌های حاوی قیر مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که افزودن پلیمر در مخلوط‌های حاوی ۵٪ قیر باعث می‌شود که جذب آب کاهش داشته باشد، اما این کاهش چشمگیر نبوده و در حدود ۶٪ است. ولی نتایج مقاومت الکتریکی نشان از افزایش ۲۶ درصدی می‌باشد. افزایش قیر به نمونه‌های دارای ۱۰٪ قیر کاهش ۱۸ درصدی جذب آب نسبت به نمونه‌های دارای قیر بدون پلیمر می‌شود [7]. مهدی رضانی‌زاده دربند (۱۴۰۱) با بررسی افزودن خواص مکانیکی بتن سبک سازه‌ای ساخته شده با پرلیت در ۵ طرح مختلف با افزودن ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی، پودر قیر سرد نشان داد که اضافه کردن مقدار قیر به بتن سبک تا ۵ درصد، تأثیر چشم‌گیری در مقاومت خمشی نمونه بتن سبک ندارد و با افزایش مقدار پودر قیر به ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی، مقاومت خمشی بتن کاهش می‌یابد، در همه نمونه‌ها جذب آب ۲۴ ساعته افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به جذب آب نیم ساعته و یک ساعته دارد و این حکایت از تخلخل بالای بتن سبک دارد. به علت تخلخل بالای سبک‌دانه‌ها گاهی هنگام عمل‌آوری تا چندین هفته هنوز جذب آب ادامه دارد، همچنین بالاتر بردن میزان پودر قیر مصرفی از ۱۰ درصد حجمی بتن، نفوذپذیری را کاهش داده ولی از میزان مقاومت فشاری و خمشی بتن کم می‌کند، لذا برای افزایش میزان پودر قیر مصرفی جهت کاهش جذب آب بتن باید اقدامات لازم جهت افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن سبک را انجام داد [8].

۳- مصالح مصرفی و مشخصات مصالح

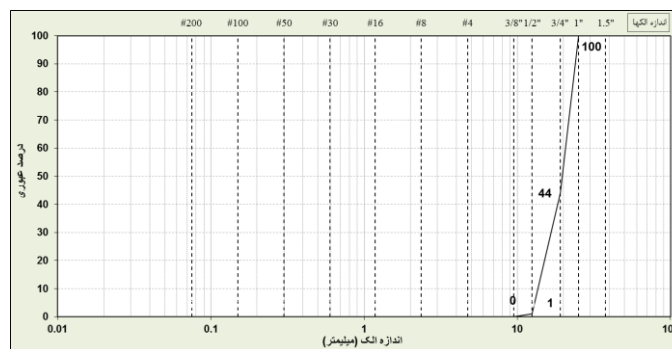
مصالح مصرفی شامل سنگدانه‌ها (شامل سنگدانه‌های درشت و ماسه)، آب، سیمان پرتلند نوع II و قیر امولسیون کاتیونی زود شکن بود که مشخصات هر کدام از مصالح مصرفی در ادامه آورده شده است.

۳-۱ - سنگدانه‌ها

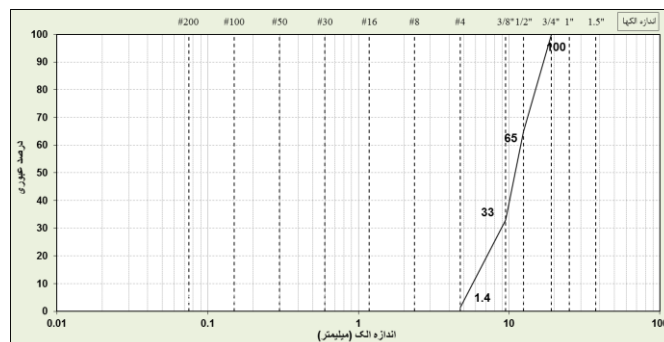
مصالح سنگی مورد استفاده در تهیه طرح شامل شن درشت، شن ریز و ماسه می‌باشد که از مصالح شرکت بتن سازه آذربایجان، تبریز تهیه شد. آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی طبق الزامات استاندارد INSO 302 برای شن درشت، شن ریز، ماسه، مخلوط شن‌ها و مخلوط مصالح سنگی (شامل شن درشت، شن ریز و ماسه) انجام شد [9]. نمودار دانه‌بندی‌ها در شکل‌های شماره ۱ تا ۵ آورده شده است. همچنین مدول نرمی ماسه نیز محاسبه شد، که مقدار آن ۳/۶ به دست آمد.

¹ Marta Kosior - Kazberuk

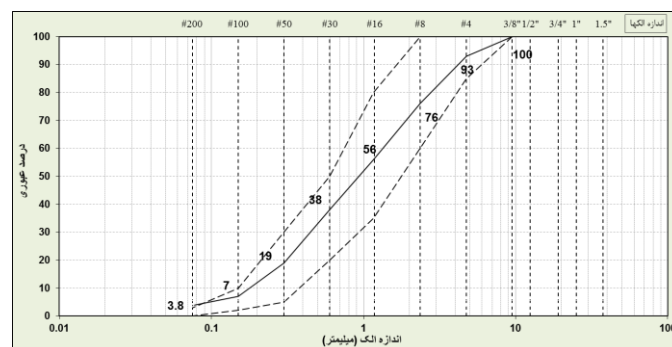
² Walery Jezirski



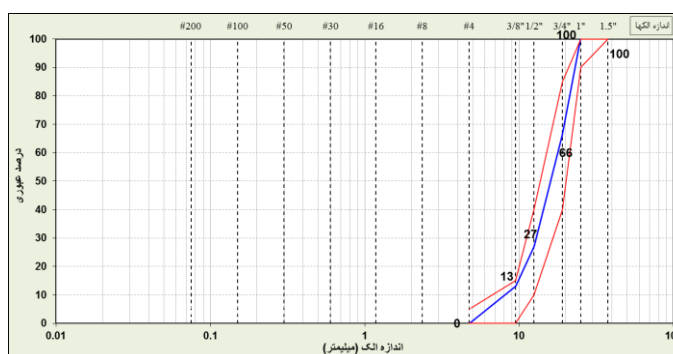
شکل ۱ - نمودار دانه‌بندی شن درشت



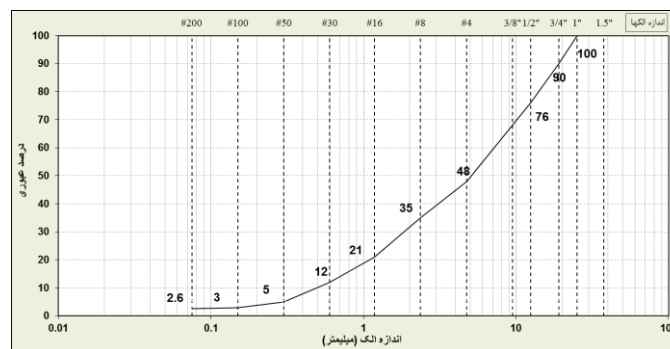
شکل ۲ - نمودار دانه‌بندی شن ریز



شکل ۳ - نمودار دانه‌بندی ماسه



شکل ۴ - نمودار دانه‌بندی مخلوط شن‌ها



شکل ۵ - نمودار دانه‌بندی مخلوط شن و ماسه

بر اساس نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح سنگی و به منظور دستیابی به دانه‌بندی پیوسته و متراکم که کمترین فضای خالی را داشته باشد و با در نظر گرفتن حدود مشخصات دانه‌بندی طبق استاندارد INSO 302 (منحنی شماره ۵۶)، درصد اختلاط برای قسمت درشت‌دانه به صورت ۵۰ درصد شن درشت و ۵۰ درصد شن ریز در نظر گرفته شد. سایر آزمایش‌های مصالح سنگی براساس استانداردهای ASTM انجام شد، که نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - نتایج آزمون‌های مصالح سنگی مصرفی

شرح آزمون	روش آزمون	حدود مشخصات INSO 302	نوع مصالح	
			شن درشت	شن ریز
ضریب نرمی ماسه	ASTM C136	رده یک: ۲/۳ الی ۳/۱	---	---
		رده دو: ۲/۳ الی ۳/۷	---	---
هم‌ارز ماسه‌ای (درصد)	ASTM D2419	---	---	۸۳
درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس آنجلس	ASTM C131	حداکثر ۴۰	۲۲	---
نوع دانه‌بندی B				
تعداد دور ۵۰۰				
درصد سایش				
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	AASHTO T104	شن حداکثر ۱۲٪ ماسه حداکثر ۱۰٪	۲	۳
درصد دانه‌های سوزنی و پولکی	ASTM D4791	حداکثر ۱۵	۱۱	۱۰
وزن مخصوص ظاهری	ASTM C127,128	---	۲/۷۰۴	۲/۷۱۸
وزن مخصوص حقیقی			۲/۶۲۶	۲/۶۱۵
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک			۲/۶۵۵	۲/۶۵۳
درصد جذب آب			۱/۱	۲/۹

۳-۲- آب

آب مصرفی مورد استفاده، آب شرب منطقه ۳ شهرداری تبریز بود.

۳-۳- سیمان

سیمان استفاده شده از نوع پرتلند تیپ II، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان بود، سیمان مصرفی کاملاً سالم بود و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن با مشخصات مندرج در استاندارد ملی ۳۸۹ مطابقت داشت.

۳-۴- قیر

قیر انتخاب شده به عنوان افزودنی به صورت درصدی از وزن سیمان، از نوع قیرآبه کاتیونیک زودشکن با درصد قیر خالص کمتر^۱ بود که از کارخانه تولید قیر آذر دوام یول تبریز تهیه شده بود. آزمایش‌های مرغوبیت قیرآبه طبق استانداردهای ASTM انجام شد که نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است. آزمایشات انجام شده، نشان داد که مشخصات قیر انتخاب شده از نظر حداقل و حداکثر در محدوده مورد قبول قرار دارد.

جدول ۲ - نتایج آزمایش قیر امولسیون

آزمایش	واحد اندازه‌گیری	استاندارد	نتایج	حداقل	حداکثر
کندروانی سیبولت فیورل در ۵۰ °C	ثانیه	ASTM D7496	۲۱	۲۰	۱۰۰
پایداری در برابر نشست به مدت ۲۴ h	درصد	ASTM D6930	۰/۳۴	--	۱
تعیین بار ذره‌ای دانه‌های قیر	---	ASTM D7402	مثبت	مثبت	
آزمایش الک - دانه‌های درشت قیر	درصد	ASTM D6933	۰/۰۵	--	۰/۱
میزان قیر باقیمانده در آزمایش تقطیر	درصد وزنی	ASTM D6977	۶۴/۱۳	۶۰	--
میزان روغن امولسیون در آزمایش تقطیر	درصد حجمی	ASTM D6977	۰/۰۲	--	۳
درجه نفوذ	۰/۱ میلی‌متر	ASTM D5	۱۸۵	۱۰۰	۲۵۰
خاصیت انگمی	سانتی‌متر	ASTM D113	۱۰۰	۴۰	--
حلالیت در تری‌کلرواتیلن	درصد	ASTM D2042	۹۹/۸۹	۹۷/۵	--

در این پژوهش ۴ سری طرح اختلاط از شماره ۱ تا ۴، که طرح شماره ۱ بدون افزودنی بوده و در طرح‌های شماره ۲ و ۳ و ۴ به ترتیب از ۲٪، ۴٪ و ۶٪ قیر امولسیون کاتیونی زودشکن نسبت به وزن سیمان مصرفی، به عنوان افزودنی استفاده شده بود مورد ارزیابی قرار گرفتند. نسبت‌های اختلاط و مقادیر آب و سیمان مصرفی بر اساس آیین نامه ACI 211.1 محاسبه شده است [1]. وزن‌های مصالح تشکیل دهنده یک متر مکعب بتن در جدول شماره ۳ آمده است.

¹ CRS1

جدول ۳ - مقادیر نسبت‌های به دست آمده برای یک متر مکعب بتن

مصلح و مواد به کار رفته در ساخت طرح‌ها	واحد اندازه‌گیری	درحالتی که مصالح سنگی کاملاً خشک باشد			
		طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ۴
شن درشت	kg	۳۲۲	۳۲۱	۳۲۰	۳۱۹/۵
شن ریز	Kg	۳۲۲	۳۲۱	۳۲۰	۳۱۹/۵
ماسه	kg	۱۱۵۳	۱۱۵۰/۵	۱۱۴۸	۱۱۴۴/۵
سیمان	kg	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰
جذب آب مصالح سنگی + آب آزاد = آب کل	kg	۱۷۵ + ۴۲ = ۲۱۷	۱۷۲/۵ + ۴۲ = ۲۱۴/۵	۱۷۰ + ۴۲ = ۲۱۲	۱۶۷/۵ + ۴۲ = ۲۰۹/۵
فیرامولسیون کاتیونی زودشکن	kg	۰	۷	۱۴	۲۱
میزان آب موجود در امولسیون	kg	۰	۲/۵	۵/۰	۷/۵
نسبت آب به سیمان W/C	---	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
روانی بتن بعد از ۵ دقیقه	mm	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵

۴- روش تحقیق

تمام آزمایش‌ها در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان آذربایجان شرقی زیر مجموعه وزارت راه و شهرسازی انجام شده است.

از هر کدام از مخلوط‌ها نمونه‌های لازم تهیه شد، آزمایش‌ها در دو بخش انجام شد، که بخش اول شامل آزمایش‌های انجام شده از مخلوط بتن تازه، و بخش دوم شامل انجام آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های ساخته شده از مخلوط بتن تازه پس از نگهداری نمونه‌ها تا سن مورد نظر انجام آزمایش، طبق استانداردهای ASTM می‌باشد. در ادامه آزمایش‌های انجام شده و نتایج آنها ارائه شده است.

۴-۱ - آزمایش اسلامپ

آزمون اسلامپ برای بتن تازه براساس استاندارد BS EN 12350-1 انجام می‌شود [10].

۴-۲ - آزمایش مقاومت فشاری

تعیین مقاومت فشاری بتن رایج‌ترین آزمایشی است که روی بتن سخت شده انجام می‌شود. طبق استاندارد BS EN 12390-3 نمونه‌ها باید مکعبی، استوانه‌ای یا مغزه‌گیری شده باشند. مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بارگذاری هیدرولیکی از نوع دیجیتال تمام اتوماتیک انجام شده و محدوده سرعت بارگذاری طبق استاندارد BS EN 12390-3 باید در محدوده 0.2 ± 0.6 مگاپاسکال در ثانیه باشد [11]. مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (1)$$

۴-۳ - آزمایش جذب آب

براساس استاندارد BS 1881-122 این استاندارد برای تعیین جذب آب نمونه‌های مغزه‌گیری شده از یک سازه یا قطعه پیش‌ساخته و همچنین برای بتن قالب‌گیری شده منشوری یا استوانه‌ای، که نسبت حجم به مساحت سطح کل آن قابل محاسبه بوده و هیچ نقطه‌ای در آزمون بیش از ۵۰ میلی‌متر از سطح آزاد فاصله نداشته باشد، کاربرد دارد. نمونه‌ها، طبق توصیه استاندارد باید پس از رسیدن به ۲۸ الی ۳۲ روزه آزمایش شوند. برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌ها به مدت (2 ± 72) ساعت در گرم‌خانه

با دمای (5 ± 10.5) درجه سلسیوس) قرار داده شده و سپس به مدت $(24 \text{ h} \pm 30 \text{ min})$ در خشک کن هوا بند خنک می-شوند [12]. سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. سپس هر یک از نمونه‌ها در راستای محور طولی‌اش به صورت افقی، به مدت $(30 \text{ min} \pm 30 \text{ S})$ کاملاً در آب غوطه‌ور شده و آنگاه آزمونه‌ها از آب خارج شده و با خشک نمودن سطح‌شان، جرم آزمونه‌ها اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود. مقدار جذب آب هر نمونه به عنوان افزایش جرم حاصل از غوطه‌وری به صورت درصدی از جرم آزمونه خشک بیان می‌شود. ضریب تصحیح براساس نسبت حجم به مساحت سطح کل آزمونه، با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$(2) \quad \text{حجم (میلی‌متر مکعب)} = \frac{\text{ضریب تصحیح} \times 12/5 \times \text{مساحت کل آزمونه (میلی‌متر مربع)}}{1}$$

۴-۴- آزمایش نفوذپذیری

برای آزمایش نفوذپذیری، از روش استاندارد CRD C48-92 استفاده شده است. در این روش نفوذپذیری بتن هنگامی که در معرض آب با فشار 200 psi ($1/38$ مگاپاسکال) قرار گرفته اندازه‌گیری می‌شود. طبق پیوست ب این استاندارد برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌های کوچک با ابعاد 12×6 اینچی (152 در 305 میلی‌متری) استفاده می‌شود [13]. در طول آزمایش سطح مخزن آب به طور روزانه باید قرائت شده و یادداشت شود. سپس برای به دست آوردن حجم جریان آب به میلی‌متر، تفاضل قرائت‌های روزانه سطح مخزن آب در ثابت واسنجی مخزن آب ضرب گردیده و دبی جریان به سانتی‌متر مکعب بر ساعت، با تقسیم مدت زمان سپری شده بین قرائت‌ها به ساعت محاسبه می‌شود. میزان نفوذپذیری با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در این رابطه M متوسط دبی جریان در ۵ روز پایانی آزمون بر حسب سانتی‌متر مکعب بر ساعت می‌باشد.

$$(3) \quad K = M \times 35.23 \times 10^{-12}$$

۴-۵- آزمایش مقاومت بتن در برابر انجماد و ذوب سریع

مقاومت بتن‌های سازه‌ای نسبت به عواملی مانند فشار وزنی، فشار کششی و چرخه‌های انجماد و ذوب سنجیده می‌شود. بتنی که حداقل مقاومت مورد نیاز نسبت به هر سه عامل فرسایشی را داشته باشد، مناسب برای ساخت و ساز محسوب می‌شود. اگر بتن قرار است در نواحی سردسیر استفاده شود، باید در ساختار آن نسبت به دیگر بتن‌ها تفاوتی اعمال شود، چون در این نواحی، سیکل‌های انجماد و ذوب بسیار بالا بوده و این عامل سنگ را دچار ترک و شکستگی می‌کند. آزمایش مقاومت بتن در برابر انجماد و ذوب سریع طبق استاندارد ASTM C666 معیاری برای تعیین صلاحیت انواع بتن در برابر سیکل‌های انجماد و ذوب در مناطق سردسیر به حساب می‌آید [14]. در روش A این آزمایش انجماد و ذوب در آب انجام می‌شود. در این پژوهش برای انجام آزمایش از روش A این استاندارد استفاده شده است. آزمونه‌ها، مطابق دستورالعمل C192 و C490 عمل‌آوری می‌شوند. آزمایش با قراردادن نمونه‌ها در آب گرم در ابتدای چرخه آغاز می‌شود. در این روش روی نمونه‌ها باید حداقل دارای ۱ میلی‌متر و حداکثر ۳ میلی‌متر پوشش آب بوده و زمان لازم برای افزایش دمای نمونه از ۲۵ درصد، نباید کمتر باشد. سیکل‌های انجماد و ذوب شامل پایین آوردن دما از $4/4$ درجه سلسیوس به $17/8$ - درجه سلسیوس و برعکس است، که این عمل به طور متناوب باید انجام شده و هیچ گاه دمای نمونه نباید از $19/4$ - درجه کمتر و از $6/1$ درجه بیشتر شود. قبل از شروع چرخه آزمایش، وزن و ابعاد نمونه‌ها و همچنین مدول الاستیسیته طبیعی آنها اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. پس از هر دوره چرخه‌های انجماد و ذوب، مجدداً وزن و ابعاد و فرکانس، نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و ثبت می‌شود. بر اساس استاندارد این عمل باید حداقل تا ۳۰۰ سیکل تکرار شود، مگر اینکه مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌ها به کمتر از ۶۰٪ مقدار اولیه برسد (توصیه شده ۵۰٪)، یا اینکه تغییر طولی بیشتر از ۱٪ نسبت به طول اولیه نمونه‌ها در اندازه‌گیری‌های بعدی حاصل شود. که این شرایط می‌تواند معیاری برای خاتمه آزمایش در نظر گرفته شود. مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی با رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2} \quad (4)$$

که در آن P_n مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی f فرکانس اولیه، f_1 فرکانس بعد از N سیکل است.

۵- نتایج و بحث

۵-۱- آزمایش اسلامپ

آزمون اسلامپ برای بتن تازه، برای هر یک از مخلوط‌های تهیه شده، اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج آزمون اسلامپ در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴ - نتایج آزمون اسلامپ

شماره طرح اختلاط	درصد قیر امولسیون	اسلامپ بتن به mm
۱	صفر	۸۰
۲	۲	۸۵
۳	۴	۹۰
۴	۶	۹۵

با توجه به اینکه جنس مصالح و دانه‌بندی آنها یکنواخت است، نتایج حاصل نشان داد با اینکه مقدار آب با توجه به میزان آب موجود در قیر امولسیونی اصلاح شده و در تمامی طرح‌های اختلاط ثابت و برابر بوده است، اما با افزودن ۲ درصد قیر امولسیونی در طرح شماره ۲ و همچنین افزایش درصد آن در طرح‌های شماره ۳ و ۴ به ۴ و ۶٪، اسلامپ مخلوط بتن مرتباً افزایش یافته است. این افزایش، ناشی از وجود ذرات ریز قیر است که باعث می‌شود قبل از گیرش کامل قیر مصالح سنگی روی هم لغزیده و روانی بتن افزایش یابد.

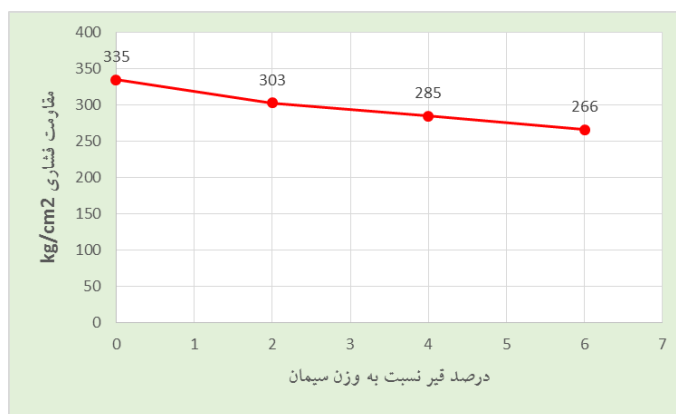
۵-۲- آزمایش مقاومت فشاری

برای انجام آزمایش نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ استفاده شد. مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بارگذاری هیدرولیکی از نوع دیجیتال تمام اتوماتیک انجام شد و محدوده سرعت بارگذاری طبق استاندارد BS EN 12390-3 در محدوده 0.2 ± 0.6 مگاپاسکال در ثانیه کنترل شد. نتایج مقاومت فشاری در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵ - نتایج آزمون مقاومت فشاری

شماره طرح	شماره نمونه	مقاومت فشاری kg/cm^2	میانگین
۱	۱۶۷۹۰۱	۳۲۷	۳۳۵
	۱۶۷۹۰۲	۳۴۲	
۲	۱۶۷۹۱۵	۲۹۷	۳۰۳
	۱۶۷۹۱۶	۳۱۰	
۳	۱۶۷۹۲۱	۲۸۹	۲۸۵
	۱۶۷۹۲۲	۲۸۲	
۴	۱۶۷۹۳۱	۲۶۳	۲۶۶
	۱۶۷۹۳۲	۲۶۹	

از مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح‌های مخلوط شماره ۱ تا ۴، از جدول ۵ نتیجه گرفته می‌شود که با افزودن قیر در طرح شماره ۲ و افزایش درصد آن در طرح‌های شماره ۳ و ۴، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن یک سیر نزولی را طی کرده و در نهایت در طرح شماره ۴ با بیشترین درصد قیر افزوده شده (۶٪)، مقاومت فشاری به کمترین مقدار در بین ۴ طرح می‌رسد. در شکل ۶ نمودار تغییرات مقاومت فشاری با درصد قیر نشان داده شده است. به صورتی که در نمودار نیز مشخص است، وقتی که مخلوط بتن برای اولین بار افزایش قیر را با ۲ درصد در طرح شماره ۲ تجربه می‌کند، میزان کاهش مقاومت بیشتری را نسبت به افزایش‌های بعدی در میزان قیر دارد.



شکل ۶ - نمودار تغییرات مقاومت فشاری بتن با تغییر درصد قیر

۵-۳ - آزمایش جذب آب

برای انجام آزمایش جذب آب برای هر طرح اختلاط، دو عدد نمونه با قالب مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ ساخته شد. با توجه به تصریح استاندارد BS 1881-122 (بند ۵ - ۱) که هیچ نقطه‌ای از نمونه نباید بیش از ۵۰ میلی‌متر از سطح آزاد آن فاصله داشته باشد، لذا از هر نمونه مکعبی یک مغزه به قطر ۷۵ میلی‌متر و به طول ۱۵ میلی‌متر بریده شد، سپس با استفاده از کاتر بالا و پایین نمونه‌ها بریده شد و طول هر نمونه نیز به حدود ۷۵ میلی‌متر رسانده شد. برای انجام آزمایش از نمونه‌های مغزه‌ای که با شرایط فوق، به مشخصات استاندارد رسیده بودند استفاده گردید. در شکل ۷ نمونه‌های مغزه‌گیری و بریده شده، نشان داده شده است.



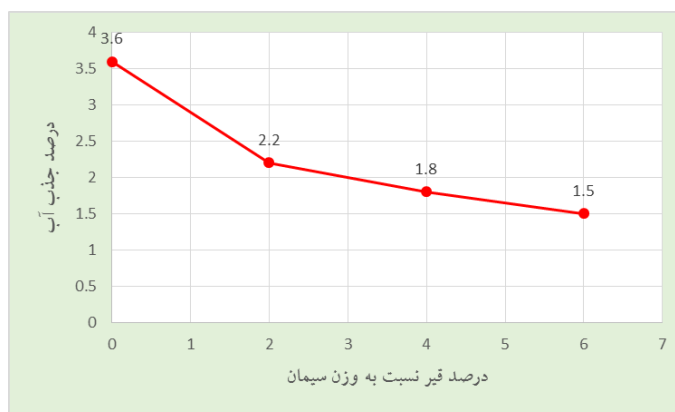
شکل ۷ - نمونه‌های مغزه‌گیری شده و بریده شده برای جذب آب

نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در گرم‌خانه با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند پس از خشک شدن کامل، به مدت ۲۴ h در خشک کن هواپندی شده خنک گردیدند. پس از توزین و ثبت وزن خشک آزمونه‌ها، هر یک از آنها را در راستای محور طولی‌اش به صورت افقی کاملاً در آب غوطه‌ور گردیده و پس از ۳۰ دقیقه، هر یک را از آب خارج شدند، سطح آنها با استفاده از پارچه حوله‌ای خشک شد و جرمشان (وزن اشباع با سطح خشک) یادداشت شد. نتایج جذب آب نمونه‌های تهیه شده از طرح‌های اختلاط شماره ۱ تا ۴، در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ - نتایج آزمون جذب آب

شماره طرح اختلاط	شماره نمونه	درصد جذب آب قبل از اصلاح	ضریب اصلاح	درصد جذب آب اصلاح شده	میانگین
۱	۱۶۷۹۰۳	۴/۱	۰/۸۹۵	۳/۷	۳/۶
	۱۶۷۹۰۴	۳/۹	۰/۸۹۴	۳/۵	
۲	۱۶۷۹۱۷	۲/۵	۰/۸۹۲	۲/۳	۲/۲
	۱۶۷۹۱۸	۲/۳	۰/۸۹۴	۲/۱	
۳	۱۶۷۹۲۳	۲/۲	۰/۸۹۱	۱/۹	۱/۸
	۱۶۷۹۲۴	۱/۹	۰/۸۹۲	۱/۷	
۴	۱۶۷۹۳۳	۱/۷	۰/۸۸۹	۱/۵	۱/۵
	۱۶۷۹۳۴	۱/۷	۰/۸۹۳	۱/۶	

بررسی نتایج حاصل از آزمون جذب آب در جدول ۶، نشان می‌دهد که افزودن قیر به مخلوط بتن به طور پیوسته باعث کاهش جذب آب نیم ساعته بتن در مخلوط‌ها شده است، به گونه‌ای که جذب آب طرح شماره ۴ با ۶ درصد قیر اضافه شده، کمترین مقدار جذب آب نیم ساعته را دارد. این امر ناشی از کم شدن هوای محبوس داخل بتن به دلیل افزایش تراکم‌پذیری مخلوط بتن، با افزایش قیر و نیز پرشدن خلل فرج بتن به وسیله قیر است. نمودار تغییرات جذب آب با درصد قیر در شکل ۸ نشان داده شده است، با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که افزودن قیر به مخلوط بتن در ابتدا با شیب تندی باعث کاهش جذب آب مخلوط می‌شود ولی با اضافه کردن درصد قیر در طرح‌های بعدی شیب کاهش جذب آب مخلوط‌ها کمتر می‌شود.



شکل ۷ - نمودار تغییرات جذب آب بتن با تغییرات درصد قیر

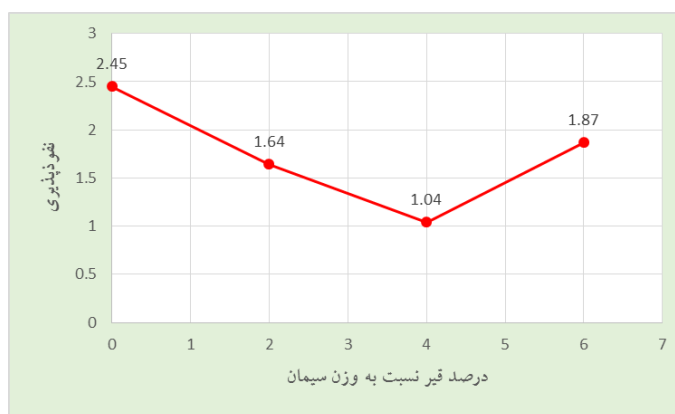
۵ - ۴ - آزمایش نفوذپذیری

برای انجام آزمایش نفوذپذیری، نمونه‌های استوانه‌ای 30×15 سانتی‌متری ساخته شد. نمونه‌های بتن براساس استاندارد CRD C48-92 در معرض آب با فشار $1/38$ مگاپاسکال قرار داده شدند و در طول زمان آزمایش سطح مخزن آب به طور روزانه قرائت شد. سپس برای به دست آوردن حجم جریان آب به میلی‌متر، تفاضل قرائت‌های روزانه سطح مخزن آب در ثابت واستنجی مخزن آب ضرب گردید. دبی جریان به سانتی‌مترمکعب بر ساعت با تقسیم مدت زمان سپری شده بین قرائت‌ها به ساعت محاسبه و میزان نفوذپذیری محاسبه گردید. نتایج نفوذپذیری در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷ - نتایج آزمون نفوذپذیری

شماره طرح اختلاط	شماره نمونه	میزان نفوذپذیری cm/sec
۱	۱۶۷۹۰۷	$2/45 \times 10^{-10}$
۲	۱۶۷۹۱۱	$1/64 \times 10^{-10}$
۳	۱۶۷۹۲۷	$1/04 \times 10^{-10}$
۴	۱۶۷۹۳۷	$1/87 \times 10^{-10}$

بررسی نتایج آزمون نفوذپذیری در جدول ۷ نشان می‌دهد، میزان نفوذپذیری از طرح اختلاط شماره ۱ (بدون افزودنی) تا طرح شماره ۳ (با ۴ درصد افزودنی قیر) روند کاهشی داشته و سپس در طرح شماره ۴ (با ۶ درصد افزودنی قیر) میزان نفوذپذیری افزایش یافته است. پس نتیجه گرفته می‌شود افزایش قیر امولسیون کاتیونی زود شکن به میزان ۴ درصد نسبت به وزن سیمان باعث حداکثر کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود و با افزایش درصد قیر افزوده شده مجدداً نفوذپذیری روند افزایش پیدا می‌کند. نمودار تغییرات نفوذپذیری با درصد قیر در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ - نمودار تغییرات نفوذپذیری بتن با تغییرات درصد قیر

۵ - ۵ - آزمایش مقاومت بتن در برابر انجماد و ذوب سریع

نمونه‌های منشوری تهیه شده جهت انجام آزمایش مطابق دستورالعمل C192 و C490 عمل‌آوری شدند. آزمایش با قراردادن نمونه‌ها در آب گرم در ابتدای چرخه ذوب آغاز شد و سپس نمونه‌ها در معرض سیکل‌های انجماد و ذوب قرار داده شدند. روی نمونه‌ها در طول آزمایش با حدود ۲ میلی‌متر آب پوشش داده شده بود. قبل از شروع آزمایش، وزن و ابعاد نمونه‌ها و

همچنین فرکانس آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از هر دوره چرخه‌های انجماد و ذوب که شامل ۲۶ سیکل بود، مجدداً فرکانس نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و ثبت می‌شد. در شکل ۹ یک نمونه بتن در حال تعیین فرکانس طبیعی نشان داده شده است.



شکل ۹ - تعیین فرکانس نمونه بتن

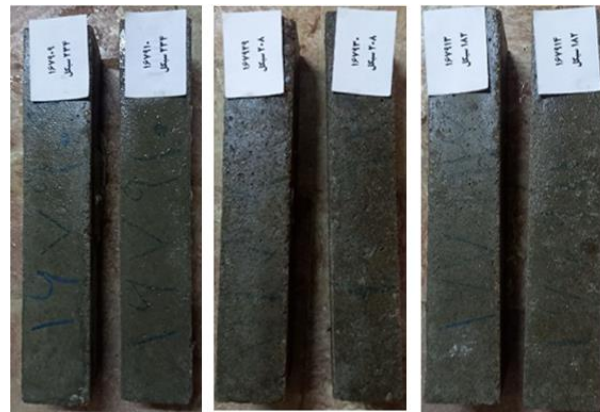
در شکل ۱۰ نمونه‌ها پس از پایان ۱۰۴ سیکل ذوب و یخبندان نشان داده شده است. در پایان ۱۰۴ سیکل نمونه‌های ۱۶۷۹۴۰ و ۱۶۷۹۳۹ (طرح ۴، با ۶٪ قیر) که مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی آنها به کمتر از ۵۰٪ مقدار اولیه کاهش یافته بود، طبق توصیه استاندارد ASTM C666 کنار گذاشته شدند. همچنین سطح نمونه‌ها زبری و ریزش داشت.



شکل ۱۰ - نمونه‌های آزمایش انجماد و ذوب پس از ۱۰۴ سیکل یخبندان و ذوب

پس از پایان ۱۸۲ سیکل انجماد و ذوب و پس از تعیین فرکانس نمونه‌ها، نمونه‌های شماره ۱۶۷۹۱۳ و ۱۶۷۹۱۴ (طرح شماره ۲، با ۲ درصد قیر)، به دلیل کاهش مدول الاستیسیته آنها به کمتر از ۵۰٪ مدول اولیه و زبر شدن سطح نمونه، ریزش، مشاهده خلل و فرج در سطح نمونه‌ها حذف شدند. نمونه‌های تهیه شده از طرح شماره ۳، با ۴ درصد افزودنی قیر (۱۶۷۹۲۹ و ۱۶۷۹۳۰) نیز پس از پایان ۲۰۸ سیکل، به دلیل کاهش مدول الاستیسیته آنها به کمتر از ۵۰٪ مدول اولیه و زبر شدن سطح نمونه، ریزش، مشاهده خلل و فرج در سطح نمونه‌ها حذف شدند. نمونه‌های طرح شماره ۱، بدون افزودنی قیر (۱۶۷۹۰۹ و ۱۶۷۹۱۰) در پایان ۲۳۴ سیکل انجماد و ذوب، به دلیل کاهش مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی آنها به کمتر از ۵۰ درصد

مدول اولیه و زیر شدن سطح نمونه‌ها از چرخه آزمایش خارج شدند و آزمایش پایان یافت. در شکل ۱۱ نمونه‌ها پس از پایان ۱۸۲، ۲۰۸ و ۲۳۴ سیکل نشان داده شده‌اند. نتایج آزمایش انجماد و ذوب در جدول ۸ نشان داده شده است.



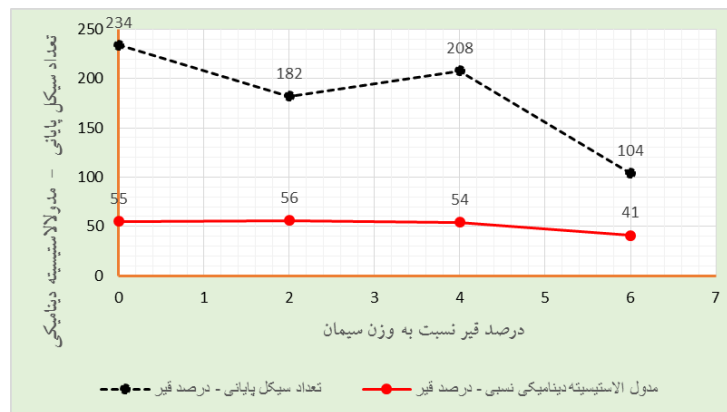
شکل ۱۰ - نمونه‌های آزمایش پس از ۱۸۲، ۲۰۸ و ۲۳۴ سیکل یخبندان و ذوب

جدول ۸ - نتایج آزمون دوام بتن در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب

شماره طرح	شماره نمونه	فرکانس اولیه (f)	شماره سیکل پایان (N)	فرکانس طولی بعد از N سیکل (f ₁)	میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی $P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2}$	میانگین شاخص دوام $DF = (P_n \times N) / 300$	توضیحات
۱	۱۶۷۹۰۹	۴۸۵۵	۲۳۴	۳۶۲۲	۵۵	۴۳	زبر شدن سطح و ریزش نمونه
	۱۶۷۹۱۰	۴۸۸۶		۳۶۰۵			
۲	۱۶۷۹۱۳	۴۷۷۵	۱۸۲	۳۵۵۰	۵۶	۳۴	زبر شدن، ریزش و خلل و فرج در سطح نمونه
	۱۶۷۹۱۴	۴۸۴۹		۳۶۳۰			
۳	۱۶۷۹۲۹	۴۷۹۱	۲۰۸	۳۵۳۱	۵۴	۳۸	زبر شدن، ریزش و خلل و فرج در سطح نمونه
	۱۶۷۹۳۰	۴۷۴۷		۳۴۶۲			
۴	۱۶۷۹۳۹	۴۷۶۳	۱۰۴	۳۱۱۰	۴۱	۱۴	بیشتر شدن زبری و ریزش
	۱۶۷۹۴۰	۴۶۸۹		۲۸۹۰			

با توجه به جدول ۸ در طرح شماره ۱ (بدون افزودنی) که به عنوان طرح شاهد بود، مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی آن پس از ۲۳۴ سیکل انجماد و ذوب به کمتر از ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش یافته و لذا براساس توصیه استاندارد ASTM C666 آزمایش ادامه داده نشد. به طوری که مشاهده می‌شود، نمونه‌های طرح شاهد قبل از ۳۰۰ سیکل به شرایطی رسیده‌اند که باید آزمایش متوقف شود و این امر نشان می‌دهد که برای افزایش دوام در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب در ترکیب بتن حتماً باید از مواد افزودنی مناسب مانند مواد حباب‌زا و مواد کاهنده آب استفاده شود. همچنین در طرح‌های شماره ۲، ۳ و ۴ به ترتیب پس از ۱۸۲، ۲۰۸ و ۱۰۴ سیکل مدول نمونه‌ها به کمتر از ۵۰ درصد مدول اولیه افت پیدا کرده و ادامه آزمایش برای آنها انجام نشده است. که نشان دهنده این واقعیت است که افزودن قیر امولسیون‌ی نه تنها باعث بهبود دوام نشده بلکه باعث کاهش دوام نیز شده است. دلیل این امر ناشی از این است که قیر خود ماده‌ای حساس نسبت به تغییرات دما بوده و با افزایش یا کاهش دما، حجم آن افزایش یافت یا کاهش پیدا می‌کند و در حقیقت همانند آب هنگام انجماد و ذوب عمل نموده و باعث کاهش دوام بتن

می‌شود. لذا حتما باید هنگام استفاده از قیر به عنوان افزودنی از مواد حباب‌ساز هوا نیز همزمان استفاده نمود. در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که افزایش ۲ درصد قیر نسبت به وزن سیمان باعث افت دوام شده است ولی با رسیدن این مقدار به ۴ درصد، دوام بتن افزایش یافته و سپس با رسیدن مقدار قیر به ۶ درصد مجددا دوام کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱ - نمودار تعداد سیکل نهایی و مدول الاستیسیته هر طرح در مقابل درصد قیر هر طرح

۶- نتیجه‌گیری

۱. افزودن قیر امولسیون به مخلوط بتن در شرایطی که نسبت مصالح سنگی ثابت و دانه‌بندی آنها یکنواخت باشد و میزان آب مخلوط تغییری نکند، باعث افزایش اسلامپ مخلوط می‌شود.
۲. اضافه نمودن قیر امولسیون به مخلوط بتن، باعث افت مقاومت فشاری بتن می‌شود، که این افت مقاومت در اولین باری که قیر به مخلوط اضافه می‌شود، بیشتر بوده و بعد از آن در افزایش درصدهای بعدی، با اینکه باز هم مقاومت فشاری کاهش می‌یابد، ولی میزان کاهش نسبت به کاهش حاصل از افزودن اولین درصد قیر، کمتر بوده و با آهنگ تقریباً یکنواختی با افزایش درصدهای بعدی قیر کاهش می‌یابد.
۳. اضافه نمودن قیر امولسیون به مخلوط بتن، باعث بهبود مداوم جذب آب بتن می‌شود. و این بهبود در اولین افزایش درصد قیر به مخلوط بتن نمود بیشتری داشته و در سایر درصدها با آهنگ ملایم‌تری بهبود می‌یابد.
۴. افزودن قیر امولسیون به مخلوط بتن تا ۴ درصد وزن سیمان باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود و پس از آن افزودن بیشتر قیر باعث افزایش نفوذپذیری بتن می‌شود.
۵. نتایج حاصل از دوام بتن در برابر چرخه‌های انجماد و ذوب نیز، نشان می‌دهد که افزودن قیر امولسیونی باعث هیچ گونه بهبودی در دوام بتن نشده است. و علاوه بر این باعث کاهش دوام بتن نیز شده است، البته چنانچه در شکل ۱۱ نیز مشاهده شد افزودن ۴ درصد قیر باعث بهبود دوام بتن نسبت به افزایش ۲ درصدی قیر شده و سپس با افزایش ۶ درصدی قیر مجددا دوام کاهش می‌یابد، که نشان می‌دهد استفاده از ۴ درصد قیر توام با سایر افزودنی‌های بهبود دهنده دوام موثر است و باعث بهبود دوام بتن می‌شود.
۶. نتیجه‌گیری می‌شود که در این پژوهش استفاده از ۴ درصد وزنی قیر نسبت به وزن سیمان، نتایج مطلوب‌تری به همراه داشته است و چنانچه به همراه سایر افزودنی‌ها مانند مواد حباب‌ساز هوا مورد استفاده قرار گیرد می‌تواند در بهبود بیشتر نتایج موثر باشد.

۷. علاوه بر همه مواردی که در فوق به آن اشاره شده است، مورد دیگری که در این پژوهش مشاهده شد، این بود که افزودن قیر به مخلوط بتن باعث می‌شود که رنگ بتن حالت تیره‌تری به خود گرفته و از لحاظ زیبایی نیز برای استفاده در بتن‌هایی که در معرض دید قرار دارند، مناسب نمی‌باشد.

۷- پیشنهاد

در تحقیقات آینده با توجه به این نکته که قیر نسبت به دما تغییرات حجمی را تجربه نموده و مانند آب در مخلوط بتن عمل می‌کند،

الف - از قیرهای امولسیون‌ی که قیر پایه آنها از نوع سفت‌تر می‌باشد مانند قیرهایی با درجه نفوذ ۶۰/۷۰ یا ۵۰/۴۰ استفاده شود.

ب - به همراه قیر از افزودنی‌های دیگر مانند افزودنی‌های حباب‌زا و کاهنده آب نیز استفاده شود.

مراجع

- [1] ACI 211.1-91," Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", (Reapproved 2002), Reported by ACI Committee 211.
- [2] Richardson A., Coventry K., Edmondson V ,Dias E., Crumb rubber used in concrete to provide freeze–thaw protection (optimal particle size), Journal of Cleaner Production, 112 (1), 599–606, 2016.
- [3] Medina C., Rojas M.I.S., Frías M., Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate, Journal of Cleaner Production, 40, 151– 160, 2013.
- [4] Jang J., Kim H., Kim H., Lee H., Resistance of coal bottom ash mortar against the coupled deterioration of carbonation and chloride penetration, Materials and Design, 93,160–167, 2016.
- [5] ASTM C494/C494M – 16, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete". doi:10.1520/C0494_C0494M-16
- [6] ncik, S.; Panis, R. Bituminous cement composites. In: Proc. XLII Scientific Conference, Krynica, Poland, 1996, p. 95 – 102.
- [7] Sabet Birjandi, Mojtabi and Mohammadzadeh Moghadam, Abolfazl and Najjar, Shima et al., (2018). Investigation of the effect of using cationic polymer emulsion bitumen on the durability characteristics of roller concrete pavement. 11th National Congress of Civil Engineering, Shiraz. <https://civilica.com/doc/918017>. Persian
- [8] Ramzanizadeh, Darband, Mehdi., (1401). investigation of mechanical properties of lightweight structural concrete made with perlite and cold bitumen under water penetration, 8th annual international congress on civil engineering, architecture and urban development, Tehran. <https://civilica.com/doc/1655776>. Persian
- [9] INSO 302 3rd, Revision (2015), Iranian National Standardization Organization.
- [10] BS EN 12350-1 (2009)," Testing fresh concrete Sampling".
- [11] BS EN 12390-3 (2019)," Testing hardened concrete Compressive strength of test specimens".
- [12] BS 1881-122 (2011), +A1 (2020). Testing concrete Method for determination of water absorption
- [13] CRD-C48-92, "Standard Test Method for Water Permeability of Concrete".
- [14] ASTM C666-97, "Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing".