

اندازه‌گیری حجم نفوذ آب به بتن و مقاومت فشاری تحت شرایط حاد دمایی بدون نیاز به شکستن نمونه با استفاده از آزمون‌های درجای نوین

محمود نادری* (استاد)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

علی صابری ورزیه (دکتری)

پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران

سردار ولی‌دین (دانشجوی دکتری)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

مهندسی عمران شریف، (بهار ۱۴۰۳)
دوری، ۴۰، شماره ۱، صص. ۶۳-۵۵، (پژوهشی)

برای اندازه‌گیری مستقیم مقاومت و نفوذپذیری بتن باید مغزه‌یی از آن جدا و سپس در آزمایشگاه با روش‌های مخرب، آزمایش شود. مثلاً برای اندازه‌گیری نفوذپذیری بتن توسط استانداردهای موجود، باید بتن را شکست و به دو نیم تقسیم کرد. همچنین شرایط حاد، از جمله چرخه‌های دمایی که بتن در تابستان با آن روبرو می‌شود، می‌تواند آثار منفی در مشخصات بتن داشته باشد. لذا در پژوهش حاضر، با استفاده از آزمون‌های ابداعی محفظه‌ی استوانه‌یی (غیرمخرب) و انتقال اصطکاک (با خرابی جزئی)، علاوه بر بررسی تأثیر چرخه‌های دمایی (۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه) در نفوذپذیری و مقاومت درجای بتن در سنین مختلف، اقدام به اندازه‌گیری عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن، بدون نیاز به شکستن آن در زیر جک شده است. مطابق یافته‌های پژوهش، با استفاده از نمودارهای کالیبراسیون و معادله‌های به‌دست آمده می‌توان مقدار عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن را بدون نیاز به شکستن بتن و با ضریب همبستگی بالای ۹۶٪ به‌دست آورد. همچنین مشاهده شد که تعداد ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه باعث افزایش نفوذپذیری به مقدار ۴/۱، ۷/۸، ۷/۱۲ و ۵/۱۶ برابر شده است.

profmahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir
ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir
walidin@edu.ikiu.ac.ir

واژگان کلیدی: آب و هوای تابستانی، مقاومت، نفوذپذیری، تحلیل رگرسیون.

۱. مقدمه

مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن توجه بسیاری داشته و مطالعات گسترده‌یی در این خصوص انجام داده‌اند.^[۱-۳]

برای اندازه‌گیری مقدار نفوذپذیری بتن در برخی کشورهای اروپایی، مانند آلمان، آزمایش نفوذپذیری آب تحت فشار، در زمان مشخص با بررسی اندازه‌ی عمق نفوذ بتن انجام می‌شود؛^[۴] که در آن، نمونه‌ی بتنی تحت فشار معینی قرار می‌گیرد و متوسط عمق نفوذ آب بعد از شکستن نمونه به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری عمق نفوذ در نظر گرفته می‌شود. در استاندارد بریتانیا، نیز نمونه‌ی بتنی ۵ بار تحت فشار آب قرار می‌گیرد و بعد از شکستن نمونه، بیشینه‌ی عمق نفوذ آب اندازه‌گیری می‌شود. روش مذکور برای تعیین نفوذپذیری بتن استفاده می‌شود.^[۵] برای اندازه‌گیری نفوذپذیری با

توانایی بتن برای مقاومت در برابر حمله‌های شیمیایی، عوامل هوازدگی، سایش و یا هر فرایندی که موجب آسیب دیدگی می‌شود، دوام نام دارد و یکی از عوامل مهم و مؤثر برای تعیین عمر مفید سازه‌های بتنی است. به‌طورکلی دوام سازه‌های بتنی، یک مسئله‌ی مهم و اقتصادی است؛ به شرطی که یک سازه‌ی بتنی بتواند وظایفی را که برای آن طراحی شده است، به‌خوبی انجام دهد و مشخصات مکانیکی مناسب و دوام کافی داشته باشد تا در مقابل بارهای وارده و عوامل آسیب‌رسان، عملکرد متناسبی از خود نشان دهد. پژوهشگران همواره در میان عوامل مذکور، به تعیین

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳/۱۲/۱۴۰۱، اصلاحیه ۲۶/۹/۱۴۰۲، پذیرش ۲۶/۱۱/۱۴۰۲.

استناد به این مقاله:

نادری، محمود، صابری ورزیه، علی، و ولی‌دین، سردار، ۱۴۰۳. اندازه‌گیری حجم نفوذ آب به بتن و مقاومت فشاری تحت شرایط حاد دمایی بدون نیاز به شکستن نمونه با استفاده از آزمون‌های درجای نوین. مهندسی عمران شریف، ۴۰(۱)، صص. ۶۳-۵۵. DOI:10.24200/J30.2023.62007.3202

دما، ساختار فیزیکی و ترکیب‌های شیمیایی آن دچار تغییرات می‌شود، از جمله: دهیدراته شدن خمیر سیمان، انقباض در اثر کاهش رطوبت، ایجاد ترک‌های ریز در سطح بتن، و انبساط و انقباض سنگ‌دانه‌ها.^[۲۴] دماهای بالا در بتن نیز باعث گسترش منافذ و ترک خوردگی و در نتیجه، افزایش نفوذپذیری و کاهش دوام سازه می‌شوند، که این موضوع در سدها و دیگر سازه‌های هیدرولیکی بتنی، اهمیت بیشتری دارد.^[۲۵] با توجه به یافته‌های کیم^۱ و همکارانش (۲۰۲۳)، می‌توان توضیح داد که پس از قرار گرفتن بتن سبک‌دانه در معرض دماهای بالا (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ سانتی‌گراد)، بتن سبک‌دانه نسبت به بتن معمولی، کاهش جرم بیشتر و خواص مکانیکی باقیمانده‌ی بالاتری از خود نشان داده است.^[۲۶]

دماهای نسبتاً پایین چرخه‌های حرارتی (حدود ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)، نیز می‌تواند تأثیر منفی در خواص مکانیکی بتن داشته باشد.^[۲۷] همچنین چرخه‌های حرارتی باعث ایجاد ریزترکه‌هایی در داخل بتن می‌شوند که می‌تواند باعث تأثیر منفی در مشخصات بتن شود.^[۲۸] هوانگ^۲ و همکارانش (۲۰۱۹)، با استفاده از چرخه‌های حرارتی در محدوده‌ی ۲۵ تا ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، نشان دادند که مقاومت‌های فشاری و برشی بتن به‌طور قابل توجهی به ترتیب برابر با ۴/۹ و ۱۷/۴ درصد کاهش یافته‌اند.^[۲۹] در چرخه‌های مختلف دمایی، نیز تبخیر آب آزاد در بتن باعث ایجاد منافذ ریز و ترک‌های میکروسکوپی و کاهش وزن بتن شده است.^[۳۰] گان^۳ و همکارانش (۲۰۲۳)، نشان دادند که چرخه‌های عمل انجام‌داده، سبب می‌شود که مقاومت‌های فشاری و کششی و نیز مدول دینامیکی نسبتی نمونه‌های بتنی به‌طور کلی روند کاهشی را نشان دهند و خواص مکانیکی بتن به‌تدریج با افزایش غلظت محلول سولفات کاهش یابد.^[۳۱]

افزودنی‌ها نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ی در مقاومت و نفوذپذیری بتن دارند؛ برای نمونه، حاجیانی بوشهریان و همکارانش (۲۰۱۹ و ۲۰۱۷)،^[۳۲] نشان داده‌اند که استفاده از نانو دی‌اکسیدتیتانیوم و الیاف فلزی باعث بهبود خواص مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود و حتی نانو دی‌اکسیدتیتانیوم می‌تواند خلل و فرجی که در ابعاد نانومتر است، را پر کند که مورد اخیر از مزایای نانوذرات است؛ که باعث ایجاد ساختاری متراکم‌تر در ملات و خمیر سیمان و در نتیجه، افزایش مقاومت‌های مکانیکی به‌ویژه مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری شود.

در پژوهش حاضر، با استفاده از آزمون‌های «انتقال اصطکاک» و «محفزه‌ی استوانه‌یی»، علاوه بر بررسی تأثیر چرخه‌های مختلف دمایی (۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه) در نفوذپذیری و مقاومت درجای بتن در سنین ۷، ۲۸ و ۱۲۰ روزه، اقدام به اندازه‌گیری عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن بدون نیاز به شکستن آن شده است.

۲. کارهای آزمایشگاهی

۲.۱. مصالح مصرفی

برای ساخت نمونه‌ها از سیمان پرتلند تیپ II استفاده شده است. دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها نیز طبق استاندارد ASTM - C ۱۳۶ انجام پذیرفته است.^[۳۵] چگالی شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک به ترتیب برابر ۲۳۳۰ و ۲۵۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب و جذب آب آن‌ها نیز به ترتیب برابر ۳/۲ و ۲/۶ درصد به‌دست آمده است.^[۳۶] منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها به همراه محدوده‌ی مجاز در شکل ۱ مشاهده می‌شود. چسب استفاده شده در آزمایش‌ها، چسب طوسی‌رنگ دومؤلفه‌یی از نوع رزین اپوکسی بوده است (جدول ۱).

روش‌های مرسوم نیاز به صرف زمان زیاد تجهیزات مختلف است. همچنین به دلیل زمان‌بر بودن انجام آزمایش‌های ذکر شده، هزینه‌ی انجام آن‌ها نیز زیاد است. از طرفی، بیشتر آزمایش‌های موجود فقط در شرایط آزمایشگاهی قابل اعمال هستند و قابلیت انجام به‌صورت درجا را ندارند و باید پس از انجام آزمایش، نمونه را شکست تا بتوان مقدار عمق نفوذ آب به داخل بتن را اندازه‌گیری کرد. لذا نیاز به ابداع روش‌هایی است که بتوانند بدون شکستن بتن، مقدار نفوذپذیری و مقاومت فشاری آن را بررسی کنند.

در پژوهش حاضر، از روش نوین محفزه‌ی استوانه‌یی که توسط نادری (۲۰۱۰) ابداع شده است، برای اندازه‌گیری حجم و عمق نفوذ آب در نمونه‌ی بتنی استفاده شده است.^[۶] روش محفزه‌ی استوانه‌یی، روشی دقیق با کاربرد گسترده در تعیین میزان نفوذپذیری بتن و سایر مصالح ساختمانی چه در محیط کار و چه در محل سازه است.^[۷] از مقایسه‌ی نتایج آزمون محفزه‌ی استوانه‌یی با استاندارد بریتانیا مشخص شد که ضریب همبستگی بالایی بین روش‌های فوق وجود دارد، که نشانگر دقت بالای آزمون محفزه‌ی استوانه‌یی است.^[۸] همچنین در مطالعه‌ی نادری و همکاران (۲۰۲۰)، درخصوص مقایسه‌ی روش جدید محفزه‌ی استوانه‌یی با استاندارد بریتانیا (BS EN ۱۲۳۹۰ - ۸)، یک رابطه‌ی خطی با ضریب تعیین ۰/۹۵ بین نتایج حاصل از روش‌های اخیر مشاهده شده است.^[۹]

در خصوص اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن به‌صورت مستقیم و درجا نیز روش‌های زیادی وجود ندارد. روش‌های موجود نیز مانند «آزمون کشیدن از سطح»،^[۱۰] دارای دستگاه گران‌قیمتی است. البته مطالعات پیشین نشان می‌دهد که روش کشیدن از سطح برای ارزیابی مقاومت بتن در محل سازه، نتایج مناسبی داشته است.^[۱۱] آزمون انتقال اصطکاک، از آزمون‌های نوین و درجاست، که توسط نادری (۲۰۰۵) اختراع شده است؛^[۱۲] و در گروه آزمون‌های نیمه مخرب (با خرابی جزئی) به حساب می‌آید و می‌توان از آن برای تعیین مقاومت فشاری مواد و مصالح مصرفی در صنعت راه و ساختمان و سازه‌ها استفاده کرد. همچنین علاوه بر شرایط آزمایشگاهی، آزمون انتقال اصطکاک در محل بهره‌برداری ساختمان‌ها و سازه‌ها نیز انجام‌پذیر است. در آزمون انتقال اصطکاک تمامی وسایل استفاده‌شده به شکل مکانیکی است، به همین دلیل قابل‌استفاده در هر نوع شرایط محیطی و دمایی، هم خشکی و هم در آب است.^[۱۳]

در برخی مطالعات پیشین، موارد متعددی از آزمون انتقال اصطکاک برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن، ملات، سنگ و آجر و همچنین چسبندگی بین لایه‌ها استفاده شده است. مثلاً نادری (۲۰۰۷)، درخصوص استفاده از آزمون انتقال اصطکاک برای ارزیابی مقاومت بتن نشان داد که ضریب همبستگی بالای ۹۰٪ بین نتایج آن با آزمون استاندارد وجود دارد.^[۱۴] همچنین با مقایسه‌ی نتایج آزمون انتقال اصطکاک با مدل‌سازی توسط نرم‌افزار آباکوس مشخص شد که نتایج حاصل، دقت بالایی داشته است.^[۱۵] برخی دیگر از پژوهشگران نیز از آزمون انتقال اصطکاک برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن‌ها و ملات‌های الیافی،^[۱۷] چسبندگی بین بتن و لایه‌های تعمیراتی،^[۱۸-۲۰] مقاومت صخره‌سنگ‌ها،^[۲۱] و رویه‌ی آسفالتی،^[۲۲] استفاده کرده‌اند، که در تمامی آن‌ها نتایج حاصل از آزمون اخیر، دقت بالایی داشته است.

همچنین، میزان مقاومت بتن در برابر چرخه‌های تغییرات دمایی به عوامل زیادی، مانند: خصوصیات مصالح مصرفی، سرعت سرد و گرم شدن، طرح اختلاط بتن، بیشینه و کمینه‌ی دما، نرخ افزایش دما و انواع افزودنی‌های شیمیایی در بتن بستگی دارد.^[۲۳] وقتی که بتن در برابر تغییرات دما قرار می‌گیرد، با افزایش

جدول ۱. مشخصات چسب اپوکسی.

مدول کشسانی	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت برشی	زمان گیرش	
			۲۵°C	۳۵°C
۱۲۷۵۰ مگاپاسکال	۷۰ مگاپاسکال	۱۵ مگاپاسکال	۴ ساعت	۱۰ ساعت



ب) اعمال فشار، قرائت و ثبت داده ها؛

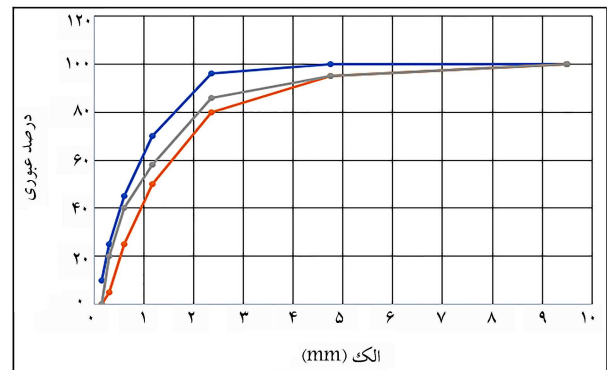


الف) چسباندن رینگ فلزی روی نمونه؛

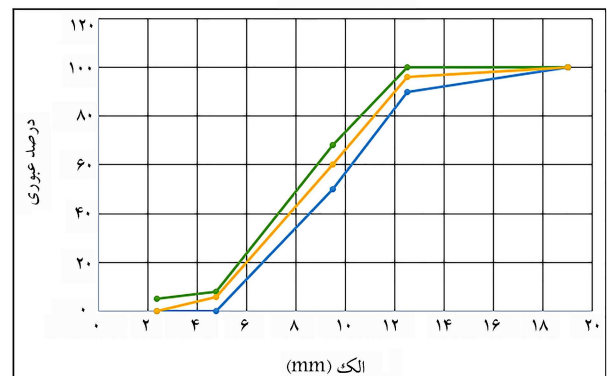


ج) دستگاه محفظه استوانه ای.

شکل ۲. آزمون محفظه‌ای استوانه‌یی.



الف) ریزدانه؛



ب) درشت دانه.

شکل ۱. دانه بندی سنگ دانه‌ها.



ب) اندازه گیری ارتفاع آب نفوذ کرده.



الف) نمونه زیر چک؛

شکل ۳. بررسی مقدار عمق نفوذ.

نفوذ آب، نرخ نفوذ آب به داخل نمونه بتنی را می‌توان مطابق رابطه‌ی ۲ محاسبه کرد:

$$V = h \times A \quad (1)$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

که در آنها، V حجم آب نفوذ کرده به نمونه h ، مقدار میکرومتر (mm) ، A سطح مقطع اعمال فشار (mm^2) ، Q نرخ نفوذ آب (ml/s) و t مدت زمان (s) هستند.

برای اندازه‌گیری عمق نفوذ آب به بتن، ابتدا طبق شکل ۳ - الف نمونه به دو نیم تقسیم می‌شود. سپس با استفاده از کولیس و به صورت دقیق مقدار آن ثبت می‌شود (شکل ۳ - ب).

۲.۲ معرفی آزمون‌ها

۱.۲.۲ روش محفظه‌ای استوانه‌یی

برای انجام آزمایش، ابتدا سطح بتن کاملاً خشک و آلودگی‌های موجود در سطح بتن زدوده می‌شود. سپس رینگ فلزی توسط چسب اپوکسی بر روی سطح بتن چسبانده می‌شود (شکل ۲ - الف). پس از سخت شدن چسب، دستگاه نفوذپذیری روی صفحه‌ی فلزی نصب می‌شود (شکل ۲ - ب). سپس دستگاه محفظه‌ای استوانه‌یی کاملاً با آب پر و جهت خروج هوای احتمالی موجود، یک شیر تخلیه‌ی هوا در دستگاه تعبیه شده است. پس از پر شدن دستگاه، شیر تخلیه‌ی هوا بسته و با چرخاندن اهرم دستی، فشار موردنظر به آب داخل دستگاه اعمال می‌شود؛ که مقدار آن با استفاده از گیج تعبیه شده روی دستگاه قرائت می‌شود (شکل ۲ - ج) همچنین مقدار نفوذ آب در بتن را می‌توان از طریق میکرومتر نصب شده در قسمت بالای دستگاه و در زمان‌های مختلف ثبت کرد.

مقدار حجم آب نفوذ کرده در بتن در زمان‌های مختلف، با انجام حاصل ضرب مقدار ثبت شده از میکرومتر در سطح مقطعی که فشار به آن وارد می‌شود، توسط معادله ۱ محاسبه می‌شود. همچنین با استفاده از حجم آب نفوذ کرده در بتن و زمان

جدول ۲. مقایسه‌ی قابلیت‌های آزمون محفظه‌ی استوانه‌ای با استاندارد ۸ - BS EN ۱۲۳۹۰.

مزیّت آزمون درجا	روش محفظه‌ی استوانه‌ی بی	روش BS	در خصوص ۸ - BS EN ۱۲۳۹۰
قابلیت در انجام درجای آزمایش	✓	×	تجهیزات آزمون BS بسیار بزرگ است و قابل حمل نیست.
هزینه‌ی اندک دستگاه	✓	×	آزمون BS تجهیزات گرانی دارد.
قابلیت در تکرار کردن آزمون	✓	×	نمونه باید شکسته شود تا عمق نفوذ براساس آزمون BS اندازه‌گیری شود.
سبک بودن و قابل حمل بودن	✓	×	تجهیزات آزمون BS بسیار بزرگ است و قابل حمل نیست.
آزمونی غیرمخرب	✓	×	نمونه باید شکسته شود تا عمق نفوذ براساس آزمون BS اندازه‌گیری شود.
عدم محدودیت در ابعاد نمونه‌ی بتنی	✓	×	بتن باید براساس آزمون BS در یک قالب با ابعاد مشخص قرار داده شود.
قابلیت انجام آزمون در مکان‌هایی که نمونه‌گیری ممکن نیست	✓	×	تجهیزات آزمون BS بسیار بزرگ است.
قابلیت انجام آزمون روی هر سطح شیبدار	✓	×	تجهیزات آزمون BS بسیار بزرگ است.

البته در پژوهش‌های پیشین نادری و همکارانش (۲۰۱۸)، برای ارزیابی راستی‌آزمایی آزمون محفظه‌ی استوانه‌ی بی، مقادیر حاصل از آن با نتایج به‌دست آمده از استاندارد بریتانیا BS EN ۸ - ۱۲۳۹۰ مقایسه شده است (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده، بیانگر دقت بالای آزمون محفظه‌ی استوانه‌ی بی در اندازه‌گیری نفوذپذیری بتن است.^[۸]

۲.۲.۲. روش انتقال اصطکاک

در آزمون «انتقال اصطکاک»، نخست با استفاده از دستگاه مغزه‌گیری، یک مغزه‌ی جزئی با قطر ۵۰ و عمق ۲۵ میلی‌متر روی سطح بتن تعبیه می‌شود (شکل ۴ - الف). در شکل ۴ - ب، سطح نمونه‌ی مغزه‌گیری شده و در شکل ۴ - ج، نیز دستگاه انتقال اصطکاک مشاهده می‌شود. سپس مطابق شکل ۴ - د، دستگاه انتقال اصطکاک روی مغزه قرار می‌گیرد و با استفاده از پیچ‌های کناری، روی مغزه تثبیت می‌شود. در ادامه، به‌وسیله‌ی یک پیچش‌سنج معمولی به آن لنگر پیچشی وارد می‌شود تا مغزه دچار شکست شود (شکل ۴ - ه). در این حالت مقدار بیشینه‌ی تنش برشی ایجادشده تحت اثر پیچش مطابق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$\tau_{E-max} = \frac{T_r}{J}, J = \frac{\pi r^4}{2} \rightarrow \tau_{E-max} = \frac{2T_r}{\pi r^3} \quad (3)$$

که در آن، r شعاع مغزه‌ی جزئی و J ممان اینرسی پیچشی است.

۳.۲. ساخت نمونه‌ها

برای انجام آزمایش‌های محفظه‌ی استوانه‌ی بی و انتقال اصطکاک، اقدام به ساخت نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر شده است. نمونه‌ها در سنین ۲۸،۷ و ۱۲۰ روزه آزمایش شدند و برای بررسی تأثیر چرخه‌های دمایی در نتایج آزمایش‌ها نیز، نمونه‌ها تحت چرخه‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه قرار گرفتند. طرح اختلاط بتن استفاده‌شده در پژوهش حاضر در جدول ۳ ارائه شده است (مقاومت فشاری ۳۰



ب) سطح نمونه مغزه‌گیری شده؛



الف) تعبیه مغزه روی نمونه؛



د) تثبیت دستگاه روی نمونه؛



ج) دستگاه انتقال اصطکاک؛



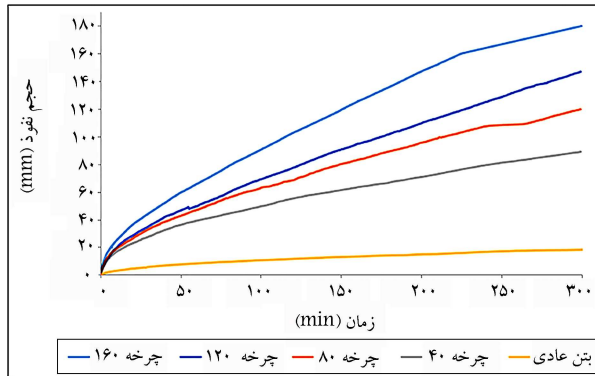
ه) اعمال لنگر پیچشی.

شکل ۴. آزمون انتقال اصطکاک.

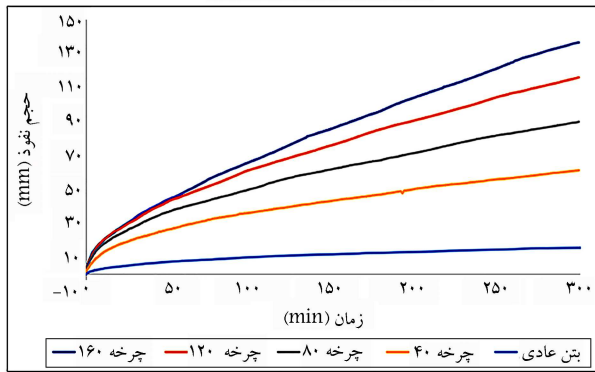
مگا پاسکال). کلاً در پژوهش حاضر، ۱۱۰ نمونه با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر ساخته شده‌اند. همچنین برای اعمال چرخه‌های تغییرات دمایی روی نمونه‌ها، از گرم‌کن استفاده شده است. نخست نمونه‌های بتنی در گرم‌کن برای مدت ۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه

جدول ۳. طرح اختلاط بتن (کیلوگرم بر مترمکعب).

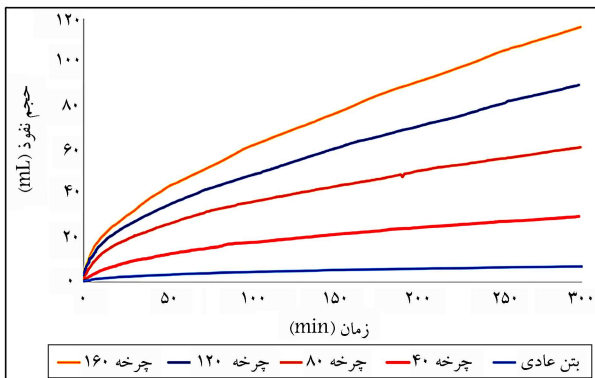
مقاومت (مگاپاسکال)	نسبت آب سیمان	سیمان	شن	ماسه	آب
۳۰	۰٫۵	۴۱۵٫۹۲	۶۸۶٫۸۳	۸۶۳٫۶۳	۲۰۶



الف) نفوذپذیری بتن ۷ روزه؛



ب) نفوذپذیری بتن ۲۸ روزه؛



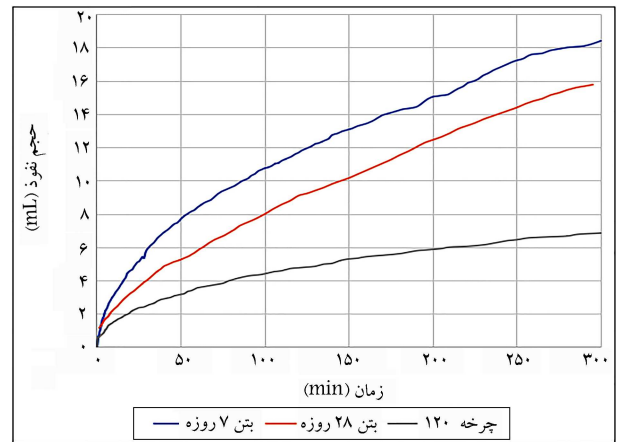
ج) نفوذپذیری بتن با عمل آوری ۱۲۰ روزه.

شکل ۶. نفوذپذیری نمونه‌ها تحت چرخه‌های دمایی.

مذکور، مقاومت فشاری کمتری از بتن استفاده شده در پژوهش حاضر داشته است. همچنین نادری و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ی دیگری نشان دادند که با افزایش مقاومت فشاری و طول دوره‌ی عمل آوری، نفوذپذیری بتن دچار کاهش می‌شود.^[۴۰]

۲.۳. نفوذپذیری بتن تحت شرایط حاد محیطی در سنن مختلف

در شکل ۶، مقدار حجم نفوذ آب در بتن تحت چرخه‌های مختلف دمایی مشاهده



شکل ۵. تغییرات حجم نفوذ نمونه‌های بتن عادی.

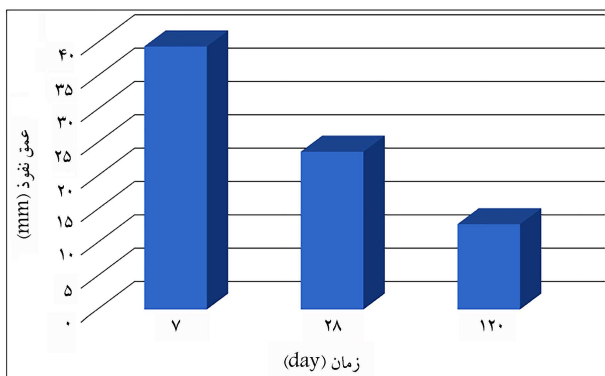
سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد، نمونه‌ها از گرم‌کن خارج و در فضای آزاد در دمای محیط برای مدت ۱۶ ساعت نگهداری شدند.^[۳۸] با انجام روند اخیر، یک چرخه‌ی تغییرات دمایی کامل شده است.

۳. تحلیل و بررسی نتایج به دست آمده

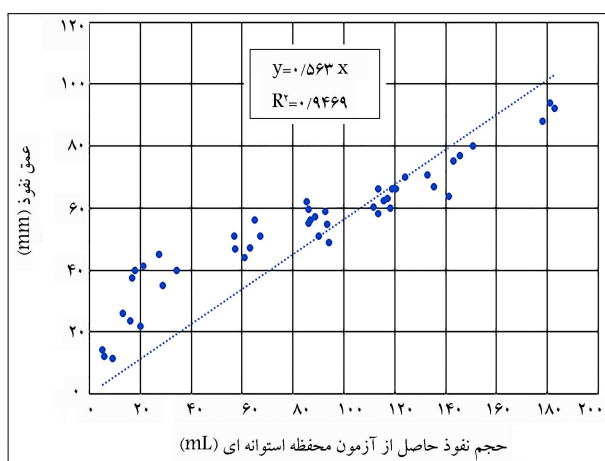
۳.۱. نفوذپذیری بتن در سنن مختلف

در شکل ۵، مقدار حجم نفوذ آب به داخل نمونه‌های بتنی عادی در زمان‌های ۲۸٫۷ و ۱۲۰ روز مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، در ابتدای آزمایش، آب با سرعت بیشتری در نمونه‌ها نفوذ کرده و با گذشت زمان، به دلیل پر شدن منافذ و حفره‌های خالی توسط آب از مقدار سرعت نفوذ کاسته شده است. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش سن بتن، مقدار نفوذپذیری نمونه‌ها کاهش پیدا کرده است. مقدار نفوذپذیری برای نمونه‌های عمل آوری شده در سنن ۲۸٫۷ و ۱۲۰ روز به ترتیب برابر ۱۸٫۳۷، ۱۶٫۹۹، ۶٫۸۸ میلی‌لیتر بوده است؛ که دلیل کاهش اخیر، پیشرفت فرایند هیدراسیون سیمان است، که منجر به کاهش منافذ و قطع کانال‌های موئینه شده است.

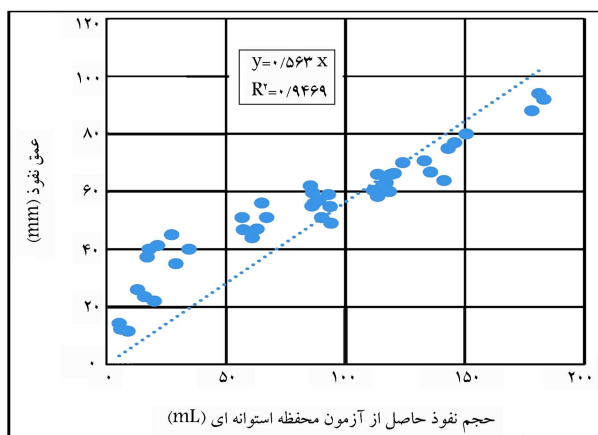
افزایش سن عمل آوری نمونه‌ها و پیشرفت واکنش هیدراسیون، موجب پر شدن فضاهای خالی و منافذ با محصولات واکنش هیدراسیون و نیز باعث کاهش مقدار نفوذپذیری بتن می‌شود. همچنان که فرایند هیدراسیون ادامه پیدا می‌کند، مقاومت پیوند ذرات در خمیره‌ی سیمان افزایش و خلل و فرج بین ذرات در خمیره‌ی سیمان کاهش می‌یابد. فضاهای موجود در خمیره‌ی سیمان تازه، که از همان ابتدا مملو از آب شده است، به کمک فرآورده‌های ناشی از فعل و انفعالات هیدراسیون سیمان، اشغال و پر می‌شوند و لذا سبب کاهش مقدار نفوذپذیری بتن می‌شود.^[۳۹] در نادری و همکاران (۲۰۱۸)،^[۸] که با استفاده از آزمون محفظه‌ی استوانه‌یی انجام شده است، نیز نتایج تقریباً مشابهی به دست آمده است. مقدار حجم نفوذ آب به بتن در سنن ۲۸٫۷ و ۱۲۰ روز برابر ۲۴٫۵، ۱۶٫۷۴ و ۱۳٫۱۶ میلی‌لیتر به دست آمده است، که مشابهت زیادی با نتایج حاصل از پژوهش حاضر (۱۸٫۴، ۱۶ و ۶٫۸ میلی‌لیتر) دارد. همچنین مقدار تفاوت بین نتایج به این دلیل است که بتن استفاده شده در پژوهش



شکل ۷. عمق نفوذ نمونه‌ها در شرایط عادی.



شکل ۸. عمق نفوذ نمونه‌ها در چرخه‌های مختلف دمایی.



شکل ۹. نمودار کالیبراسیون تبدیل حجم نفوذ به عمق نفوذ.

۵.۳. اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در شرایط عادی و حاد بدون شکستن نمونه

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن به صورت مستقیم باید از المان بتنی مغزه‌گیری انجام شود و سپس مغزه‌ی آزمایشی در زیر جک بتن شکن قرار گیرد و دچار شکست شود. اما با آزمون انتقال اصطکاک بدون شکست نمونه و بدون نیاز به بردن بتن به آزمایشگاه، می‌توان مقدار مقاومت فشاری بتن را با دقت بالا و مستقیماً و در هر

می‌شود؛ که مطابق آن، نفوذپذیری نمونه‌ها تحت تأثیر چرخه‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ دوره در بتن روزه به ترتیب برابر ۸۹/۵، ۱۲۰، ۱۴۷ و ۱۸۰ میلی‌لیتر است. این مقدار برای بتن ۲۸ روزه برابر ۶۱، ۸۹، ۱۱۶ و ۱۳۶ میلی‌لیتر و برای بتن ۱۲۰ روزه برابر ۲۹/۶، ۶۱، ۹۰ و ۱۱۶ میلی‌لیتر است. همان‌طور که مشخص است، با افزایش تعداد چرخه‌های تغییرات دما، نفوذپذیری نمونه‌ها نیز افزایش قابل ملاحظه‌ی داشته است. همچنین با مقایسه‌ی نمونه‌های عادی با نمونه‌های قرار گرفته در چرخه‌های مختلف مشاهده می‌شود که تعداد ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه باعث افزایش نفوذپذیری بتن ۷ روزه به ترتیب به مقدار ۴/۸، ۶/۵، ۷/۹ و ۹/۸ برابر افزایش یافته است. همچنین برای بتن ۲۸ روزه به مقدار ۳/۶، ۵/۳، ۶/۸ و ۸ برابر و برای بتن ۱۲۰ روزه به مقدار ۴/۱، ۸/۷، ۱۲/۷ و ۱۶/۵ برابر شده است.

در نمودارهای شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد چرخه‌های دمایی، حجم نفوذ آب (توسط آزمایش محفظه‌ی استوانه‌ی دریافت شده) افزایش یافته است. در بتن، آب آزاد وجود دارد و تحت تأثیر چرخه‌های دمایی، آب آزاد از سطح بتن شروع به تبخیر می‌کند و با افزایش تعداد چرخه‌های دمایی از لایه‌های داخلی نیز به شکل تدریجی تبخیر می‌شود. هر چه به تعداد چرخه‌ها اضافه شود، در نفوذپذیری بتن، افزایش بیشتری مشاهده می‌شود؛ که دلیل آن، تبخیر آب آزاد است که منجر به بیشتر شدن اندازه‌ی خال و فرج در بتن می‌شود، لذا مقدار آب نفوذ کرده در بتن افزایش می‌یابد.

۳.۳. عمق نفوذ بتن در سنین و شرایط مختلف

با شکستن بتن‌ها و اندازه‌گیری مقدار عمق نفوذ آب به بتن، مقدار عمق نفوذ آنها در شکل ۷ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، مقدار عمق نفوذ آب در بتن‌های با سنین ۷، ۲۸، ۱۲۰ و ۲۸۰ روزه به ترتیب برابر ۳۹/۵، ۲۳/۷ و ۱۲/۸ میلی‌متر به دست آمده است. به عبارتی، با گذشت ۱۲۰ روز، مقدار عمق نفوذ نمونه‌ها حدود ۶۸٪ کاهش داشته است. در شکل اخیر، عمق نفوذ نمونه‌های قرار گرفته در شرایط عادی نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده، نمونه‌هایی که تحت تأثیر چرخه‌های دمایی قرار گرفته‌اند، در مقدار عمق نفوذ آنها افزایش فراوان مشاهده می‌شود؛ زیرا زمانی که آب آزاد تحت تأثیر دما از لایه‌های بتن تبخیر می‌شود، مقدار منافذ افزایش پیدا می‌کند، که با افزایش تعداد چرخه‌ها، این روند نیز افزایش می‌یابد و در مقابل، در آزمایش نفوذپذیری، مقدار زیادی از آب تحت فشاری دستگاه استوانه‌ی داخل بتن می‌شود و عمق نفوذ را افزایش می‌دهد (شکل ۸).

۴.۳. رابطه‌ی عمق نفوذ با حجم نفوذ

همان‌طور که ذکر شد، طبق استانداردهای آلمانی و بریتانیایی برای اندازه‌گیری نفوذپذیری (عمق نفوذ) نمونه‌ها، باید پس از انجام آزمایش، بتن به دو نیم تقسیم شود. در پژوهش حاضر، با استفاده از آزمون محفظه‌ی استوانه‌ی بدون شکست نمونه، مقدار حجم نفوذ به دست آمده است. سپس مطابق شکل ۹، با رسم نمودار کالیبراسیون می‌توان بدون شکستن نمونه، مقدار عمق نفوذ آب به بتن را با دقت بالا اندازه‌گیری کرد.

مطابق نمودار کالیبراسیون در شکل ۹، می‌توان با استفاده از معادله‌ی ۴ و با جای‌گذاری نتایج حاصل از آزمون محفظه‌ی استوانه‌ی بی به جای عبارت x ، مقدار عمق نفوذ آب به بتن را با ضریب تعیین حدود ۹۵٪ و بدون شکستن آن اندازه‌گیری کرد.

$$y = 0.563x \quad (4)$$

با توجه به نمودار شکل ۹ مشاهده می‌شود که در بین نفوذپذیری و عمق نفوذ، یک رابطه‌ی مستقیم برقرار است، به دلیل اینکه با افزایش حجم نفوذ، عمق نفوذ نیز افزایش یافته است.

در شکل ۱۱، نمودار حاصل از نتایج آزمون انتقال اصطکاک با آزمون مقاومت فشاری بتن‌ها در سنن مختلف و تحت شرایط عادی و حاد نشان داده شده است. در نتیجه‌ی اعمال چرخه‌های تغییرات دمایی، تنش‌هایی در بتن ایجاد شده است؛ که چنانچه مقاومت کششی بتن کمتر از مقدار تنش‌های مذکور باشد، باعث ایجاد ترک در بتن می‌شود. تغییرات دما، به تدریج باعث کاهش رطوبت داخل بتن و تبخیر آب از منافذ آن می‌شود. با به‌وجود آمدن چنین فضاهای خالی بی در بتن و سطح آن، ترک‌های ریزی ایجاد شده است، که همین امر سبب کاهش مقاومت درجای بتن شده است.

مطابق نمودار کالیبراسیون شکل ۱۱، می‌توان با استفاده از معادله‌ی ۵ و با جای‌گذاری نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک به جای عبارت x ، مقدار مقاومت فشاری بتن را با ضریب همبستگی $۰/۹۶/۶\%$ و بدون شکستن آن اندازه‌گیری کرد. قابل ذکر است که طبق تحلیل نمودار شکل اخیر، مقاومت فشاری بتن با مقاومت سطحی آن رابطه‌ی مستقیمی دارد.

$$y = ۲/۳۸x^{۰/۶۶} \quad (۵)$$

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با استفاده از آزمون‌های درجای ابداعی، علاوه بر بررسی تأثیر چرخه‌های مختلف دمایی (۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه) در نفوذپذیری و مقاومت سطحی بتن در سنن مختلف، اقدام به اندازه‌گیری عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن بدون نیاز به شکستن آن شده و این نتایج به دست آمده است:

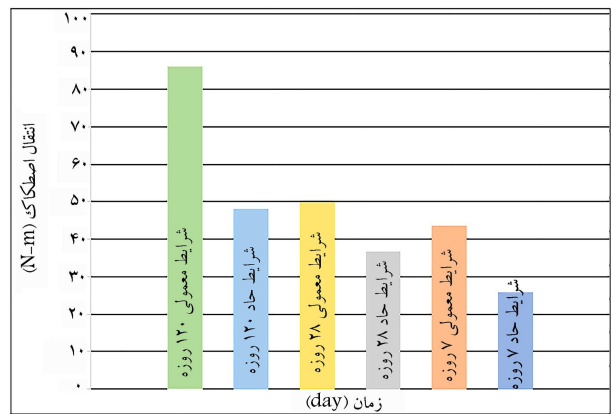
-- مطابق نمودار کالیبراسیون به دست آمده می‌توان با استفاده از معادله‌ی $y = ۲/۳۸x^{۰/۶۶}$ و با جای‌گذاری نتایج حاصل از آزمون محافظه‌ی استوانه‌یی به جای عبارت x ، مقدار عمق نفوذ آب به بتن در شرایط عادی و حاد را با ضریب تعیین حدود $۰/۹۵\%$ و بدون شکستن آن اندازه‌گیری کرد.

-- مطابق نمودار کالیبراسیون به دست آمده می‌توان با استفاده از معادله‌ی $y = ۲/۳۸x^{۰/۶۶}$ و با جای‌گذاری نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک به جای عبارت x ، مقدار مقاومت فشاری بتن را با ضریب همبستگی $۰/۹۶/۶\%$ و بدون شکستن آن اندازه‌گیری کرد.

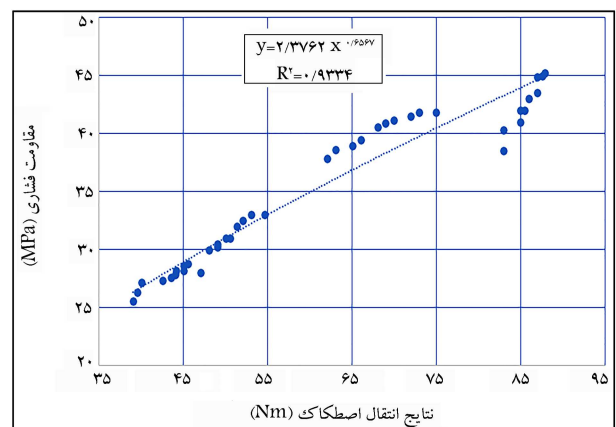
-- با افزایش مقاومت درجای بتن، مقدار حجم نفوذ آب به بتن کاهش پیدا کرده است. با افزایش مقدار مقاومت درجای بتن به میزان ۱۵% ، مقدار حجم نفوذ آب به داخل بتن حدود ۱۴% کاهش داشته است؛

-- با مقایسه‌ی نمونه‌های عادی با نمونه‌های قرار گرفته در چرخه‌های مختلف تغییرات دمایی، مشاهده می‌شود که تعداد ۴۰ ، ۸۰ ، ۱۲۰ و ۱۶۰ چرخه باعث افزایش نفوذپذیری بتن به مقدار $۴/۱$ ، $۸/۷$ ، $۱۲/۷$ و $۱۶/۵$ برابر شده است؛

-- شرایط حاد تغییرات دمایی، آثار منفی در مقاومت درجای بتن دارد، به گونه‌یی که مقاومت بتن تحت ۱۶۰ چرخه‌ی تغییرات دمایی، بیش از ۴۴% کاهش پیدا کرده است.



شکل ۱۰. نتایج روش انتقال اصطکاک تحت اثر شرایط عادی و حاد.



شکل ۱۱. نمودار تبدیل نتایج انتقال اصطکاک به مقاومت فشاری.

شرایط و مکانی اندازه‌گیری کرد. آزمون انتقال اصطکاک، خرابی بسیار جزئی دارد، که آسیبی جدی به سازه اعمال نمی‌کند.

در شکل ۱۰، نتایج آزمون «انتقال اصطکاک» حاصل از نمونه‌های بتنی در شرایط عادی و شرایط حاد و در سنن ۷، ۲۸ و ۱۲۰ روزه مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش سن نمونه‌ها نیز در نتایج انتقال اصطکاک، افزایش مشاهده شده است؛ که میزان آن در نمونه‌های ۲۸ روزه نسبت به نمونه‌های ۷ روزه به ۱۴% و در نمونه‌های ۱۲۰ روزه نسبت به نمونه‌های ۲۸ روزه، به ۴۲% می‌رسد. علت افزایش مقاومت درجای بتن با گذشت زمان، تشکیل بیشتر محصولات هیدراسیون است، که سبب یک ساختار متراکم‌تر و افزایش مقاومت می‌شود.^[۲۱]

مطابق شکل ۱۰، مقاومت درجای بتن در سن ۷ روزه تحت چرخه‌ی ۱۶۰ سیکل برابر ۲۶ نیوتن متر است، در صورتی که برای نمونه‌ی معمولی برابر ۴۳ نیوتن متر بوده است. این مورد در سنن ۲۸ و ۱۲۰ روزه نیز برای بتن‌های تحت شرایط حاد به ترتیب برابر $۳۶/۶$ و ۴۸ نیوتن متر است، در صورتی که برای بتن‌های معمولی برابر ۵۰ و ۸۶ نیوتن متر به دست آمده است.

پانویس‌ها

1. Kim

2. Huang
3. Gan

(References) منابع

- Zareei, S.A., Ameri, F., Dorostkar, F. and Ahmadi, M., 2017. Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. *Case studies in construction materials*, 7, pp.73-81. doi.org/10.1016/j.cscm.2017.05.001.
- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M. and Ramyar, K., 2015. Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates. *Materials and Structures*, 48, pp.2629-2640. doi.org/10.1617/s11527-014-0342-3.
- Afrouhsabet, V. and Ozbakkaloglu, T., 2015. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 94, pp.73-82. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.051.
- DIN. Test methods for concrete. 1991. Deutsches Institut für Normung, Germany. 1048 - 5.
- British Standards Institution. 2009. Testing Hardened Concrete: Depth of Penetration of Water Under Pressure. BSI, 2009.
- Naderi, M., 2010. Determine of concrete, stone, mortar, brick and other construction materials permeability with cylindrical chamber method. Registration of Patent in Companies and industrial property Office.
- Naderi, M., Kaboudan, A. and Kargarfard, K., 2021. Studying the compressive strength, permeability and reinforcement corrosion of concrete samples containing silica fume, fly ash and zeolite. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(2), pp.25-43. [In Persian]. doi. 10.22065/jsce.2019.154574.1697.
- Naderi, M., Kaboudan, A. and Akhavan Sadighi, A., 2018. Comparative study on water permeability of concrete using cylindrical chamber method and British standard and its relation with compressive strength. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(1), pp.116-131. [In Persian]. doi. 10.22075/jrce.2018.13489.1247.
- Naderi, M., Kaboudan, A. and Amin, A.M., 2020. Experimental and theoretical study of the effect of concrete constituent materials on the permeability of hardened concrete using "Cylindrical chamber" method. Thesis of, Kaboudan, A., Ph.D. Student. Imam Khomeini International University, Civil Department. [In Persian].
- Standard, A.S.T.M., 2022. Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers (ASTM D4541). ASTM International: West Conshohocken, PA 2022.
- Kakooei, S., Akil, H.M., Jamshidi, M. and Rouhi, J., 2012. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*, 27(1), pp.73-77. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.015.
- Naderi, M., 2005. Friction-transfer test for the assessment of in situ strength and adhesion of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 19(6), pp.454-459. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.07.018.
- Naderi, M. and Saberi, A., 2020. Curing and Shrinkage Effect on the PMM/Concrete Bond, Using "Friction-transfer" and "Pull-off" Methods. *Ferdowsi Civil Engineering*, 33(1), pp.85-100. [In Persian]. doi. 10.22067/civil.v1i33.82639.
- Naderi, M., 2007. New twist-off method for the evaluation of in-situ strength of concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, 35(6), pp.602-608.
- Naderi, M. and Shibani, R., 2013. New method for non-destructive evaluation of concrete strength. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(2), pp.438-447.
- Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M., 2021. Study of bond strength between polymer-modified mortars/concrete and their mechanical properties using "friction-transfer" and "pull-off" methods. *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 8(1), pp.171-184. doi. 10.22075/mac.2021.20231.1251.
- Varzaneh, A.S. and Naderi, M., 2021. Using "twist-off" and "pull-off" tests to investigate the effect of polypropylene fibers on the bond of mortar/concrete and to evaluate their in-situ compressive strength. *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 10, [In Persian]. doi. 10.22060/ceej.2021.19711.7240.
- Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M., 2023. Bond Strength of Fiber-Reinforced Mortar and Concrete Interface under Pre-Stress. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 11(2), pp.113-130. doi.10.22075/jrce.2022.25326.1572.
- Naderi, M. and Ghodousian, O., 2012. Adhesion of self-compacting overlays applied to different concrete substrates and its prediction by fuzzy logic. *The Journal of Adhesion*, 88(10), pp.848-865. doi.org/10.1080/00218464.2012.705673.
- Naderi, M., 2008. Effects of cyclic loading, freeze-thaw and temperature changes on shear bond strengths of different concrete repair systems. *The Journal of Adhesion*, 84(9), pp.743-763. doi.org/10.1080/00218460802352934.
- Naderi, M., 2011. An alternative method for in situ determination of rock strength. *Canadian Geotechnical journal*, 48(12), pp.1901-1905. doi.org/10.1139/t11-079.
- Naderi, M., 2006. Evaluating in situ shear strength of bituminous pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials*, 159(2), pp.61-65. doi.org/10.1680/coma.2006.159.2.61.
- Phan, L.T. and Carino, N.J., 1998. Review of mechanical properties of HSC at elevated temperature. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(1), pp.58-65. doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:1(58).
- Chang, Y.F., Chen, Y.H., Sheu, M.S. and Yao, G.C., 2006. Residual stress-strain relationship for concrete after exposure to high temperatures. *Cement and Concrete Research*, 36(10), pp.1999-2005. doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.05.029.
- Kou, S.C., Poon, C.S. and Etcheberria, M., 2014. Residue strength, water absorption and pore size distributions of recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 53, pp.73-82. doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.001.

26. Kim, W., Choi, H. and Lee, T., 2023. Residual Compressive strength prediction model for concrete subject to high temperatures using ultrasonic pulse velocity. *Materials*, 16(2), p.515. doi.org/10.3390/ma16020515.
27. Balagam, V. and Rao, K., 2019. Effect of thermal cycles on concrete: An overview. *Int J Res Eng Appl Manag*, 5, pp.6-14. doi: 10.35291/2454-9150.2019.0162.
28. An, M., Huang, H., Wang, Y. and Zhao, G., 2020. Effect of thermal cycling on the properties of high-performance concrete: Microstructure and Mechanism. *Construction and Building Materials*, 243, p.118310. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118310.
29. Huang, H., An, M., Wang, Y., Yu, Z. and Ji, W., 2019. Effect of environmental thermal fatigue on concrete performance based on mesostructural and microstructural analyses. *Construction and Building Materials*, 207, pp.450-462. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.072.
30. Khan, M.S., Almutairi, S. and Abbas, H., 2022. Mechanical properties of concrete subjected to cyclic thermal loading. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 26(7), pp.2855-2868. doi.org/10.1080/19648189.2020.1782771.
31. Ye, Z., Guo, G., Su, L. and Jiang, Y., 2021. Experimental study on mechanical properties of concrete under sub-high temperature cycles. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1978(1), p.012007. IOP Publishing. doi.10.1088/1742-6596/1978/1/012007.
32. Gan, L., Xu, W., Shen, Z., Xu, L., Zhang, W., Zhang, H., Abbas, M.A. and Chen, G., 2023. Experimental and numerical investigations on damage evolution of concrete under sulfate attack and freeze-thaw cycles. *Journal of Building Engineering*, 71, p.106469. doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106469.
33. Esmaeili, H. and Hajiani Boushehrian, A., 2019. Effect of nano titanium dioxide on the permeability and compression strength of concrete. *Concrete Research*, 12(4), pp.111-122. [In Persian]. doi.10.22124/jcr.2019.5888.1132
34. Golestan, A. and Hajiani Boushehrian, A., 2017. Investigation the application of the steel fiber in special steel fiber concrete and its effect on concrete permeability and compression strength parameters. *Concrete Research*, 9(2), pp.111-121. [In Persian].
35. Astm, C., 2019. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. ASTM C136-19.
36. Astm, A.S.T.M. C127, 2015. Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate. ASTM West Conshohocken, PA.
37. Astm, A.S.T.M. C128, 2015. Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate. ASTM West Conshohocken, PA.
38. ASTM. Standard D6944, 2020. Standard practice for resistance of cured coatings to thermal cycling. ASTM West Conshohocken, PA.
39. American Society For Testing And Materials., 2014. ASTM C1679: Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry.
40. Naderi, M., Maleki, B., and Amini, F., 2017. Assessing the permeability of the oil and its components into porous concrete using new cylindrical chamber method. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 33(1.1), pp.89-93. [In Persian]. doi. 10.24200/j30.2017.1107.
41. Tarighat, A., Mohammadi, M. and Modarres, Y., 2019. Tsohracsoccsg. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 34(4.2), pp.75-82. [In Persian]. doi. 10.24200/j30.2019.1446