مهندسی عمران شریف (بهار ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۲ - ۳۴، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۶۹-۷۶، (یادداشت فنی)

Research Note

بررسی دوام جدول‌های پرسی خشک در برابر یخبندان و ذوب برای رده‌های مقاومتی سیمان

حمید اسکندری * **(استادیار)**
سعید مرشدی تربتی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

در مطالعه‌ی حاضر، دوام جدول‌های بتنی در برابر سیکل‌های یخبندان و ذوب بررسی شده است. بدین منظور ۲۷ طرح بتن به روش پرسی خشک با نسبت‌های آب به سیمان پایین طراحی شده است. طرح اختلاط‌ها با سیمان‌های رده‌ی مقاومتی مختلف (۲ـ۳۲۵، ۱ـ۴۲۵ و ۱ـ۵۲۵ که مقاومت ۲۸ روزه‌ی ملات سیمان بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در آب به سیمان، ۰٫۴۸۵ است). عیار متفاوت سیمان و نسبت‌های آب به سیمان و ریزدانه به سیمان بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که انتخاب نوع سیمان می‌تواند تأثیر به سزایی در مقاومت فشاری و خمشی و نیز دوام در برابر یخبندان و ذوب جدول‌های بتنی داشته باشد. در تمامی نمونه‌ها، چرخه‌های یخبندان و ذوب، کاهش مقاومت فشاری را نشان می‌دهند. همچنین با ثابت بودن نسبت آب به سیمان و افزایش مقدار سیمان، مقاومت خمشی زیاد می‌شود. طرح شماره‌ی ۲۵ که با سیمان رده‌ی ۵۲۵، عیار سیمان ۴۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰٫۲۷ ساخته شده است، می‌تواند بهینه‌ترین طرح اختلاط باشد.

واژگان کلیدی: دوام، جدول‌های پرسی خشک، سیکل‌های یخبندان و ذوب، مقاومت خمشی، مقاومت فشاری.

hamidiisc@yahoo.com
saeedmt35@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه کاربرد بتن در صنایع ساختمانی برکسی پوشیده نیست و هر روزه فنّاوری‌های جدیدتری در استفاده از بتن در صنعت ساختمان و پروژه‌های عمرانی استفاده می‌شود. استفاده از قطعات پیش‌ساخته‌ی بتنی نیز یکی از راه‌های استفاده از بتن است. در این میان، جدول‌های بتنی یکی از پرکاربردترین قطعات پیش‌ساخته هستند که در سراسر دنیا استفاده می‌شوند. جدول‌های بتنی چون غالباً در فضاهای باز واقع می‌شوند، در زیباسازی چهره‌ی شهرها نقش مهمی ایفا می‌کنند. بنابراین مسئله‌ی کیفیت آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. برای دست‌یابی به یک کیفیت بالا در تولید جدول‌های بتنی، باید تمامی عوامل مؤثر در آن، مانند: خصوصیات مصالح بتن، روش ساخت، رعایت اصول فنی حین ساخت، عمل‌آوری و شرایط محیطی بررسی شوند. لذا می‌توان با صرف هزینه‌های جزئی در تولید و رعایت اصول فنی در ساخت، عمر قطعات مذکور را چند برابر کرد و از هدررفت مصالح ملی و هزینه‌های عمومی جلوگیری کرد. سنگ‌دانه‌ها با توجه به اینکه تقریباً ۶۰ تا ۸۰ درصد وزن بتن را شامل می‌شوند، نقش به‌سزایی در خواص بتن دارند، به‌نحوی که بیشینه‌ی اندازه‌ی سنگ‌دانه، مستقیماً در مشخصات مکانیکی بتن تأثیرگذار است؛ لیکن بتن ساخته شده براساس دانه‌بندی مناسب سبب دوام بالا و طول عمر زیاد خواهد شد.[۱-۳]

در تولید جدول‌های بتنی، می‌توان بسته به طرح اختلاط بتن از درصدهای مختلفی از سنگ‌دانه‌های بازیافت شده از تخریب سازه‌های بتنی در ساخت بتن استفاده کرد. مثلاً می‌توان نسبت آب به سیمان را ۰٫۴۵ و نسبت وزنی سنگ‌دانه به سیمان را ۴ به ۱ انتخاب کرد. اما باید قبل از استفاده از این نوع مصالح، هزینه و کارایی آن به‌دقت بررسی شود،[۴و۵] در مورد سنگ‌دانه‌ها، عوامل دیگری نیز در کیفیت و مشخصات مکانیکی بتن مؤثر است. سنگ‌دانه‌ها باید تمیز و عاری از هرگونه مواد شیمیایی مؤثر در آبپوشی[۱] سیمان باشند. چرا که این مواد در مقاومت سایشی بتن بسیار مؤثرند و این موضوع خصوصاً در مورد سنگ‌دانه‌های رودخانه‌یی باید به‌دقت بررسی شود.[۶و۷] از شیشه نیز می‌توان هم به‌عنوان ماده‌ی پوزولانی (جایگزین سیمان) و هم ماده‌ی جایگزین سنگ‌دانه در قطعات پیش‌ساخته‌ی بتنی استفاده کرد.

قبل از استفاده از شیشه در بتن باید موارد مهمی از جمله: مقدار سیلیس، مقدار یون کلراید، مقدار تری اکسید سولفات، سطح مخصوص پودر شیشه، مقدار مواد سربی و نیز سایر مواد حاوی اکسید آهن، اکسید سدیم، اکسید آلومینیوم، اکسید کلسیم، اکسید پتاسیم و اکسید منیزیم توسط آزمایشگاه مجهز مشخص شود، تا محدوده‌ی مجاز مواد کنترل شود.[۸] سیمان به‌عنوان ماده‌ی اصلی چسباننده‌ی اجزاء بتن، نقش

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۶/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۵/۳/۲۴، پذیرش ۱۳۹۵/۴/۲۹.
DOI:10.24200/J30.2018.1322

عمده‌یی در خواص مکانیکی بتن دارد. مقدار سیمان مستقیماً در مقاومت سایشی جدول‌های بتنی مؤثر است. با یک نسبت ثابت آب به سیمان، با افزایش مقدار سیمان مقاومت فشاری و سایشی افزایش می‌یابد. در واقع، یک رابطه‌ی همبستگی بین مقاومت فشاری و سایشی وجود دارد، بدین معنی که با افزایش مقاومت فشاری، اتلاف سایشی کم می‌شود.[۹] جهت بهبود خواص مکانیکی قطعات پیش‌ساخته‌ی بتنی، مانند جدول‌های بتنی می‌توان از مواد افزودنی مناسب نیز استفاده کرد. مواد مذکور می‌توانند باعث بهبود دوام و مقاومت نهایی بتن شوند.[۱۰]

برخی از کشورها نیز از استانداردهای خاص خود در مورد جدول‌های بتنی استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال در استاندارد نیوزیلند، برای جدول‌های معابر اصلی، معابر فرعی و معابر ارتباطی که توسط ماشین و به‌صورت درجا تولید می‌شود، مقدار کمینه‌ی سیمان در هر مترمکعب بتن به ترتیب ۲۸۰، ۲۴۰ و ۲۶۰ کیلوگرم است و به‌جای مقاومت فشاری بتن، معمولاً از حذف یا کم کردن حباب‌های هوای ناخواسته به‌وسیله‌ی تراکم بتن که با درصد مشخص می‌شود، استفاده می‌شود که باید کمینه‌ی ۹۲٫۵٪ باشد. این عدد در استاندارد استرالیا، ۹۵٪ است.[۱۱] در استاندارد استرالیا، در مورد جدول‌های تولیدی درجا توسط ماشین، کمینه‌ی مقدار سیمان ۲۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشینه‌ی اندازه‌ی سنگ‌دانه ۱۲٫۵ میلی‌متر و کمینه‌ی مقاومت فشاری لازم ۲۰ مگاپاسکال است. در استاندارد آمریکا با توجه به شرایط مختلف، کمینه‌ی مقدار سیمان از ۳۴۰ تا ۳۵۵ کیلوگرم در مترمکعب، درصد مواد حباب‌زا از ۵ تا ۸، اسلامپ ۳۰ تا ۸۰ میلی‌متر، بیشینه‌ی نسبت آب به سیمان ۰٫۴ تا ۰٫۴۵ و کمینه‌ی مقاومت فشاری ۲۸ روزه، ۳۲ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود. البته این مقادیر بسته به نظر کارفرما یا سازمان مرتبط قابل تغییر خواهد بود. در بعضی کشورها نیز مخلوط‌های آماده توسط تولیدکنندگان به بازار عرضه می‌شود که در کارهای با حجم اندک می‌تواند استفاده شود.[۱۲] اسلامپ بتن در روش معمولی تولید جدول و ببره‌یی می‌تواند تا ۸۰ میلی‌متر برای حالت بتن‌ریزی با دست، ۴۰ میلی‌متر بتن‌ریزی با ماشین و برای تولید جدول پرسی خشک ۰ تا ۱۰ میلی‌متر باشد. کمینه‌ی مقاومت پیشنهادی فشاری نیز می‌تواند ۲۰ تا ۳۲ مگاپاسکال باشد.[۱۳-۱۵]

از معایب روش تولید پرسی جدول‌های بتنی، می‌توان به ضعف جدول‌های مذکور در ساعات اولیه‌ی تولید در برابر صدمات احتمالی و نیز ضعف در برابر شرایط نامناسب جوی پس از تولید در صورت عدم محافظت لازم اشاره کرد. بنابراین باید پس از تولید نسبت به محافظت آن‌ها در برابر این موارد اقدام لازم به عمل آید.[۱۶]

در بسیاری از کشورها، استانداردهای اصولی برای استفاده از جدول‌های بتنی ساده وجود دارد.[۱۷] همچنین بررسی الزامات و شرایط پذیرش مواد و مدیریت ساختی،[۱۸و۱۹] و عملکرد جدول‌های بتنی در برابر سایش،[۲۰] و آزمایش‌های مقاومت خمشی، جذب آب و دوام در برابر یخبندان و ذوب در مجاورت محلول‌های نمکی و توصیه‌هایی در مورد ساخت، حمل و تولید جدول‌ها، انبار کردن، عمل‌آوری و ... ارائه شده است.[۲۱-۲۳] بر همین اساس در ایران نیز در استاندارد جدول‌های بتنی از سال ۸۸ که با همت عده‌یی از اساتید تهیه و تنظیم شده است، الزامات، ویژگی‌ها، و شرایط ویژه‌یی برای تولید محصولات مذکور در نظر گرفته است.

در نوشتار حاضر سعی شده است به بررسی تأثیر رده‌های مقاومتی مختلف سیمان در مقاومت فشاری و خمشی جدول‌های بتنی پرسی خشک در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن متوالی پرداخته شود. از این رو یک کار آزمایشی شامل ۲۷ طرح اختلاط بتن با نسبت آب به سیمان بین ۰٫۲ تا ۰٫۳ آزمایش شده است. برای آزمایش جدول‌های بتنی تحت یخ زدن و آب شدن‌های متوالی از استاندارد و دستورالعمل ASTM C666 استفاده شده است.[۲۴]

بنابراین با توجه به مطالب فوق و اینکه جدول‌های بتنی به‌عنوان یکی از مصالح پرکاربرد در شهرها و راه‌ها، همواره در معرض سرما و گرما، تابش خورشید و بارش باران و برف و یخ‌زدگی قرار دارند، با توجه به بالا بودن هزینه‌های ساخت و نصب، لزوم درنظرگرفتن مسئله‌ی دوام در مورد مصالح مذکور امری بدیهی است و اهمیت ویژه‌یی دارد. اینکه با بالا بردن مقدار سیمان در بتن می‌توان به دوام بالاتری دست یافت، لزوماً صحیح نیست و بنابراین این مسئله باید به‌صورت واقعی و طی آزمایش‌های لازم بررسی شود.

۲. برنامه‌ی آزمایشگاهی

۱.۲. مشخصات مصالح مصرفی

- سیمان: سیمان به‌عنوان ماده‌ی اصلی چسباننده، یکی از مهم‌ترین مواد است. امروزه کارخانه‌های تولید سیمان درکشور، انواع سیمان تولید می‌کنند. سیمان تیپ II، معمولاً پرمصرف‌ترین نوع سیمان است و برای تولید بتن‌های معمولی استفاده می‌شود. سایر سیمان‌ها با تیپ‌ها و رده‌های مختلف نیز برای مصارف خاص خود به‌کار می‌روند. در پروژه‌ی حاضر، ۳ نوع سیمان استفاده شده است: سیمان تیپ II رده‌ی ۳۲۵ از کارخانه‌ی سیمان جوین، سیمان تیپ I رده‌ی ۴۲۵ و تیپ I رده‌ی ۵۲۵ از کارخانه‌ی سیمان بجنورد.
- آب: بهترین نوع آب برای ساخت بتن همان آب آشامیدنی، عاری از مواد شیمیایی و املاح مضر است که در پژوهش حاضر از آب آشامیدنی شهر جغتای برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است.
- سنگ‌دانه: معمولاً در تولید بتن از ۳ سایز سنگ‌دانه با نام عامیانه‌ی ماسه‌ی شسته، نخودی و بادامی استفاده می‌شود. با بررسی‌های به‌عمل آمده و با توجه به ایجاد تراکم (پرس) توسط دستگاه، در پژوهش حاضر از ماسه‌ی شکسته‌ی ۰-۶ با بیشینه‌ی اندازه‌ی ۴٫۷۵ میلی‌متر به‌تنهایی استفاده شده است. در پژوهش حاضر، ماسه‌ی شکسته از معدن آزادور و از مصالح کوهی تهیه شده است.

۲.۲. روش ساخت

جدول‌های بتنی به روش پرسی خشک ساخته شده‌اند. در روش مذکور، مواد بتنی با نسبت آب به سیمان پایین داخل قالب ریخته و سپس با فشار پرس متراکم شده‌اند. نمونه‌ها پس از ساخت و گذشت ۱ روز درون قالب بوده‌اند، سپس به مدت ۲۸ روز در مخزن آب با دمای ۲ ± ۲۲ درجه سانتی‌گراد جهت عمل‌آوری نگهداری شده‌اند. شکل ۱، دستگاه جدول پرسی را با تعدادی از جدول‌های بتنی نشان می‌دهد.

۳. طرح اختلاط

با توجه به نمودارهای طرح اختلاط ملی بتن، با هر نوع سیمان، ۹ طرح اختلاط تهیه و در مجموع برای ۳ نوع سیمان، ۲۷ طرح طبق جدول ۱ ساخته شده است.

در طرح های اختلاط سعی شده است طراحی با میزان آب به سیمان‌های متفاوت و عیار سیمان مصرفی متفاوت صورت گیرد، تا در انتها با آزمایش‌های متفاوت خمشی، فشاری و یخبندان و ذوب برای آن‌ها، بهترین گزینه انتخاب شود. برای سیمان‌های با مقاومت فشاری ۴۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع از طرح ۱۰ الی ۲۷ شماره‌گذاری شده است. برای هر طرح اختلاط و با توجه به قالب موجود، ۵ عدد جدول ۵ × ۳۵ × ۱۵ سانتی‌متر تولید شده است. برای انجام آزمایش‌های

شکل ۱. دستگاه جدول پرسی خشک به همراه تعدادی از جدول‌های بتنی.

لازم از ۵ جدول، تعداد ۴ نمونه‌ی ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر برای آزمایش یخبندان و ذوب، ۳ نمونه‌ی ۱۵ × ۱۵ × ۱۵ برای آزمایش مقاومت فشاری، ۳ نمونه‌ی ۵۰ × ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت خمشی بدون شرایط یخبندان و ذوب و ۶ نمونه جهت محاسبه‌ی میانگین مقاومت فشاری ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ و همچنین اندازه‌گیری میزان جذب و خروج آب که می‌تواند در میزان خرابی نقش مؤثری در یخبندان و ذوب داشته باشد، به دست آمده و یک عدد جدول از هر طرح به‌عنوان نمونه‌ی دست‌نخورده باقی مانده است، که می‌تواند در تکمیل مطالعات استفاده شود.

۴. بررسی و آنالیز نتایج

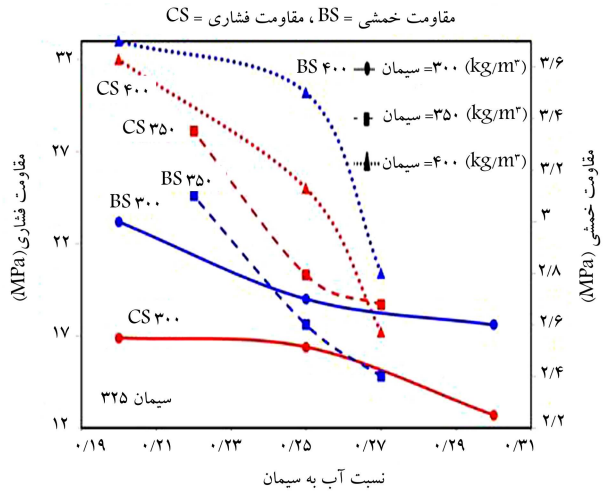
۱.۴. مقاومت خمشی

از هر طرح اختلاط، ۳ نمونه‌ی ۵۰ × ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر توسط دستگاه جک مقاومت خمشی دیجیتال با دقت ۱۰ کیلوگرم به‌صورت دونقطه‌یی شکسته و نتایج آن برای هر نوع سیمان جداگانه آنالیز شده است. آنالیز تغییرات مقاومت خمشی و مقاومت فشاری نسبت آب به سیمان و نسبت ریزدانه به سیمان برای سیمان با مقاومت فشاری ۳۲۵ در شکل ۲ ارائه شده است، که مطابق آن برای سیمان ۳۲۵، با فرض ثابت بودن نسبت ریزدانه به سیمان با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت خمشی کاهش یافته است. همچنین با فرض ثابت بودن میزان آب به سیمان و افزایش نسبت ریزدانه به سیمان در یک محدوده‌ی خاصی، مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. از آنالیز مذکور برای سیمان ۳۲۵ این‌گونه بر می‌آید که میزان مقاومت خمشی حساسیت بالایی به میزان افزایش نسبت ریزدانه به سیمان نخواهد داشت. شکل ۲، تغییرات مقاومت فشاری و خمشی سیمان رده‌ی ۳۲۵ را با توجه به نسبت آب به سیمان نشان می‌دهد.

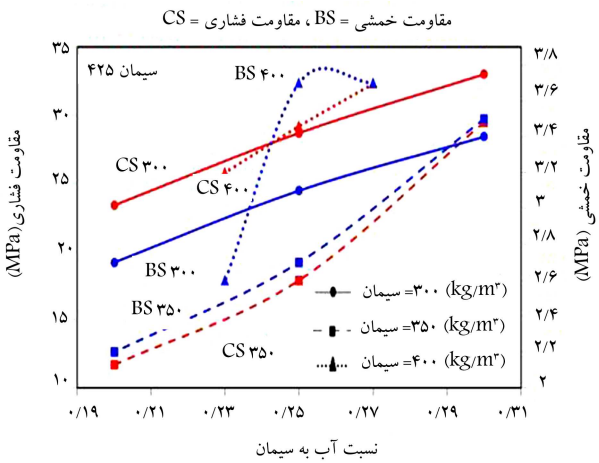
مطابق شکل مذکور، رفتار مقاومت خمشی و فشاری نمونه‌ها در عیار یکسان مشابه است. ولی با کاهش نسبت آب به سیمان، مقاومت خمشی و فشاری نمونه‌ها افزایش می‌یابد و همچنین هر چه عیار سیمان از ۳۰۰ به ۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب تغییر کند، مقاومت خمشی و فشاری افزایش می‌یابد. مقاومت نمونه‌هایی که حاوی عیار کمتر است، در مقاومت تغییرات آب به سیمان حساسیت کمتری از خود نشان می‌دهند؛ به همین دلیل شیب نمودارهای نمونه‌های با عیار ۳۰۰، کمتر از نمونه‌های

جدول ۱. طرح‌های اختلاط آزمایشگاهی.

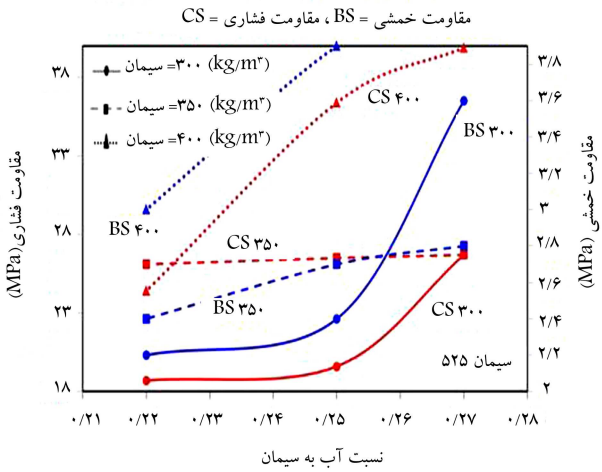
شماره‌ی طرح	نوع سیمان	عیار سیمان (کیلوگرم)	نسبت آب به سیمان	مقدار ماسه (کیلوگرم)
۱	۳۲۵_۲	۳۰۰	۰٫۳	۲۰۱۰
۲	۳۲۵_۲	۳۰۰	۰٫۲۵	۲۰۲۵
۳	۳۲۵_۲	۳۰۰	۰٫۲	۲۰۴۰
۴	۳۲۵_۲	۳۵۰	۰٫۲۷	۱۹۴۵
۵	۳۲۵_۲	۳۵۰	۰٫۲۵	۱۹۶۲٫۵
۶	۳۲۵_۲	۳۵۰	۰٫۲۲	۱۹۸۰
۷	۳۲۵_۲	۴۰۰	۰٫۲۷	۱۸۸۰
۸	۳۲۵_۲	۴۰۰	۰٫۲۵	۱۹۰۰
۹	۳۲۵_۲	۴۰۰	۰٫۲	۱۹۲۰
۱۰	۴۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۳	۲۰۱۰
۱۱	۴۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲۵	۲۰۲۵
۱۲	۴۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲	۲۰۴۰
۱۳	۴۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۳	۱۹۴۵
۱۴	۴۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۲۵	۱۹۶۲٫۵
۱۵	۴۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۲	۱۹۸۰
۱۶	۴۲۵_۱	۴۰۰	۰٫۲۷	۱۸۹۲
۱۷	۴۲۵_۱	۴۰۰	۰٫۲۵	۱۹۰۰
۱۸	۴۲۵_۱	۴۰۰	۰٫۲۳	۱۹۰۸
۱۹	۵۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲۷	۲۰۱۹
۲۰	۵۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲۵	۲۰۲۵
۲۱	۵۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲۲	۲۰۳۶
۲۲	۵۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۲۷	۱۹۵۵
۲۳	۵۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۲۵	۱۹۶۲
۲۴	۵۲۵_۱	۳۵۰	۰٫۲۲	۱۹۷۳
۲۵	۵۲۵_۱	۴۰۰	۰٫۲۷	۱۸۹۲
۲۶	۵۲۵_۱	۴۰۰	۰٫۲۵	۱۹۰۰
۲۷	۵۲۵_۱	۳۰۰	۰٫۲۵	۱۹۱۲



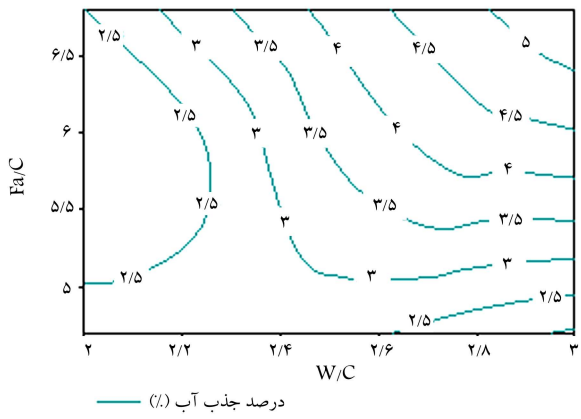
شکل ۲. نمودار نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری و خمشی برای سیمان ۳۲۵.



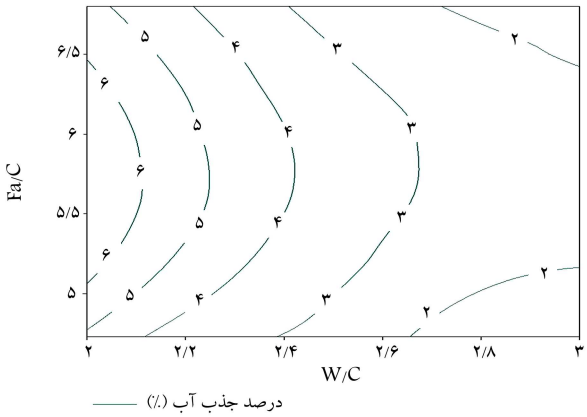
شکل ۳. نمودار نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری و خمشی برای سیمان ۴۲۵.



شکل ۴. نمودار نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری و خمشی برای سیمان ۵۲۵.



شکل ۵. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با درصد جذب آب در ۲۴ ساعت ـ سیمان ۳۲۵.



شکل ۶. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با درصد جذب آب در ۲۴ ساعت ـ سیمان ۴۲۵.

حاوی عیار ۴۰۰ است. برای به‌دست آوردن بیشترین مقامت فشاری و خمشی با سیمان رده‌ی ۳۲۵، استفاده از عیار ۴۰۰ مناسب‌تر است.

شکل ۳، نحوه‌ی رفتار مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های ساخته شده با سیمان ۴۲۵ در مقابل تغییرات آب به سیمان را نشان می‌دهد. همان‌طورکه نمودار مذکور نشان می‌دهد، رفتار مقاومت خمشی و فشاری در نمونه‌های حاوی عیار ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشابه است، اما در نمونه‌های با عیار ۴۰۰، رفتار مقاومت خمشی با اندکی عدم انطباق همراه است. در سیمان ۴۲۵ با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در نسبت‌های بالای آب به سیمان، مقاومت‌های فشاری و خمشی در انواع عیارها به سمت یکدیگر میل می‌کنند. در سیمان ۴۲۵، مقاومت نمونه‌های حاوی عیار ۳۰۰ و ۴۰۰ مشابه هم است و از نمونه‌های حاوی عیار ۳۵۰ بیشتر است. بنابراین تفاوتی بین استفاده از عیار ۳۰۰ و ۴۰۰ برای به‌دست آوردن مقاومت بیشتر نیست و با توجه به شرایط کارگاهی، می‌توان عیار بهتر را انتخاب کرد. در شکل ۴، تغییرات مقاومت فشاری و خمشی در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان ارائه شده است. رفتارکلی مقاومت خمشی و فشاری در سیمان رده‌ی ۵۲۵ مشابه سیمان ۴۲۵ است و با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته است. نمونه‌های حاوی عیار ۳۵۰، در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان حساسیت زیادی ندارند، بنابراین در نمونه‌هایی که عیار سیمان در آن‌ها ۳۵۰ است، تعیین نسبت آب به سیمان به کارایی و دوام جدول‌ها بستگی خواهد داشت. در نسبت‌های آب به سیمان کمتر از ۰٫۲۵، مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های حاوی عیار ۳۰۰ تغییرات محسوسی نکرده است؛ اما در نسبت‌های آب به سیمان بیشتر از ۰٫۲۵، سیر صعودی در مقاومت مشاهده می‌شود.

به‌طورکلی با استفاده از طرح اختلاط حاوی سیمان با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب می‌توان جدول‌هایی تولید کرد که علاوه بر مقاومت فشاری و خمشی بالا، خصوصیاتی فیزیکی بهتری داشته باشند. همچنین مشاهده می‌شود تغییر در نوع سیمان مورد استفاده در هر طرح، سبب تغییرات قابل ملاحظه‌یی در مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها می‌شود.

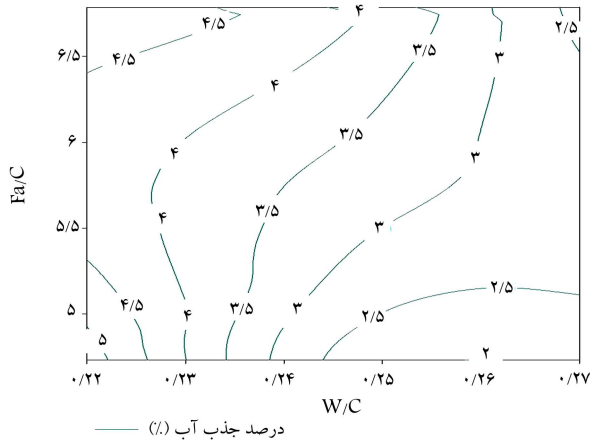
۲.۴. میزان جذب آب

از هر طرح اختلاط، تعداد ۲ نمونه حاصل از شکستن نمونه‌های خمشی به‌صورت خشک، وزن و سپس ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور شد. بلافاصله بعد از خروج از آب و نیز بعد از ۲ ساعت خروج از آب مجدداً وزن و سپس نتایج به‌دست آمده به‌صورت درصد وزنی محاسبه شد. در شکل‌های ۵ و ۶، نمادهای W برای مقدار آب، C برای مقدار سیمان و Fa برای مقدار ریزدانه است.

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ در مورد سیمان ۳۲۵ مشاهده می‌شود که با یک نسبت آب به سیمان ثابت، با کاهش مقدار سیمان، درصد جذب آب نمونه‌ها زیاد می‌شود. همچنین با یک نسبت آب به سیمان ثابت، با کاهش مقدار سیمان، سرعت خروج آب از نمونه نیز زیاد می‌شود. اما با ثابت نگه داشتن مقدار سیمان، با افزایش نسبت آب به سیمان، درصد جذب آب و سرعت خروج آب هر دو زیاد می‌شود. با توجه به شکل ۵، در نسبت‌های آب به سیمان بالاتر از ۰٫۲۶، نسبت آب به سیمان در میزان جذب آب نمونه‌ها تأثیر کمتری داشته است. اما در نسبت آب به سیمان پایین‌تر از ۰٫۲۶، حساسیت بیشتری داشته است. به‌طورکلی با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان جذب آب نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل ۶، در مورد سیمان رده‌ی ۴۲۵، با یک نسبت ثابت آب به سیمان، با کاهش میزان سیمان، درصد جذب آب از نمونه‌ها، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. با ثابت نگه‌داشتن میزان سیمان، درصد جذب آب افزایش و نسبت آب به سیمان کم می‌شود. به‌طورکلی با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان جذب آب در نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین حساسیت میزان جذب آب در نسبت‌های آب به سیمان پایین‌تر، بیشتر از نسبت‌های آب به سیمان بالاتر است. در سیمان رده‌ی ۴۲۵، میزان جذب آب نمونه‌ها به نسبت ریزدانه به سیمان کمتر است. با توجه به این موضوع که هر چه میزان جذب آب نمونه‌ها کمتر باشد، دوام آن‌ها بیشتر می‌شود، ساخت نمونه‌ها در نسبت آب به سیمان ۰٫۲۶، برای رسیدن به دوام بیشتر مناسب‌تر است.

مطابق شکل ۷، در مورد سیمان رده‌ی ۵۲۵، با ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان، کاهش مقدار سیمان باعث افزایش درصد جذب آب و نیز افزایش سرعت خروج آب از نمونه‌ها شده است. با افزایش نسبت آب به سیمان و ثابت بودن مقدار سیمان، درصد جذب آب نمونه‌ها کاهش یافته است. با توجه به نمودار مذکور، به‌طورکلی میزان جذب آب در نمونه‌های حاوی سیمان رده‌ی ۵۲۵ نسبت به سیمان ۴۲۵ کمتر است و هر چه نسبت آب به سیمان کاهش می‌یابد، درصد جذب آب افزایش می‌یابد. همان‌طورکه شکل مذکور نشان می‌دهد، در نسبت‌های ریزدانه به سیمان پایین، تغییرات نسبت سنگ‌دانه به سیمان در درصد جذب آب نمونه‌ها تأثیر زیادی ندارد و هر چه این نسبت افزایش می‌یابد، درصد جذب نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در نسبت‌های آب به سیمان بالاتر، میزان حساسیت جذب آب به نسبت ریزدانه به سیمان کاهش می‌یابد.



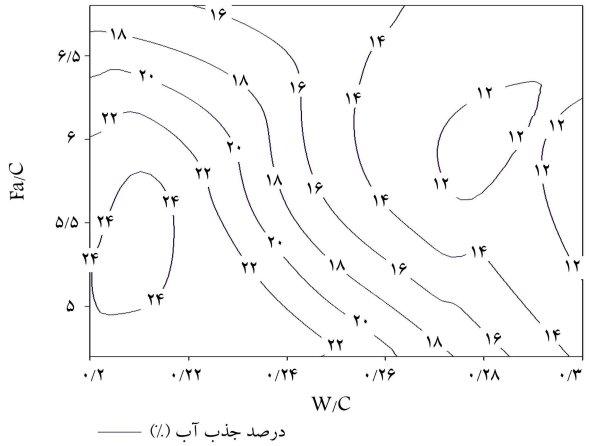
شکل ۷. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با درصد جذب آب در ۲۴ ساعت ـ سیمان ۵۲۵.

۳.۴. مقاومت فشاری قبل و بعد از ذوب و یخبندان

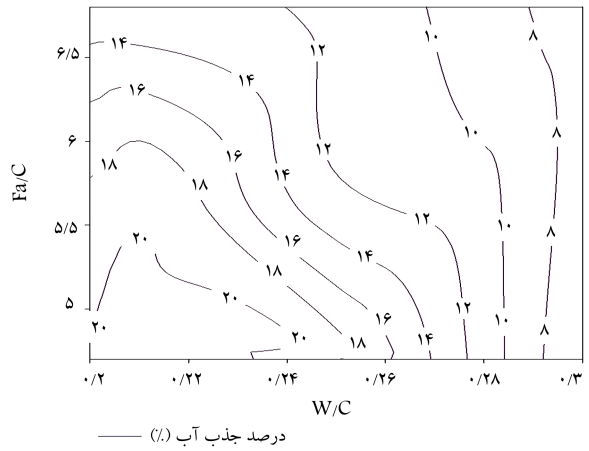
با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، در مورد سیمان رده‌ی ۳۲۵ مشاهده می‌شود که قرار گرفتن در شرایط یخبندان و ذوب، باعث کاهش مقاومت فشاری در بیشتر نمونه‌ها شده است. این تغییر در برخی از نمونه‌ها زیاد و در برخی از نمونه‌ها کمتر مشاهده می‌شود.

مقاومت فشاری در هر دو نمونه، تحت شرایط ذوب و یخبندان و بدون چرخه‌ی یخ و ذوب، با کاهش نسبت آب به سیمان افزایش یافته است. به‌طور متوسط شرایط ذوب و یخبندان حدود ۵ تا ۱۵ درصد، مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. در نمونه‌هایی که تحت شرایط ذوب و یخبندان قرارگرفته‌اند، در نسبت‌های آب به سیمان بالاتر، مقاومت فشاری به نسبت سنگ‌دانه به سیمان، حساسیت کمتری نشان می‌دهد. به‌طورکلی با افزایش نسبت ریزدانه به سیمان، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد که این تأثیر در نسبت‌های آب به سیمان پایین‌تر مشهودتر است.

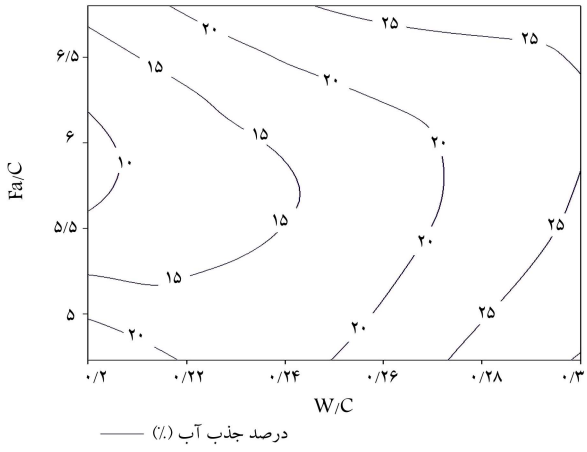
همچنین مطابق شکل‌های ۱۰ و ۱۱، در مورد سیمان رده‌ی ۴۲۵ مشاهده می‌شود که چرخه‌های یخبندان و ذوب می‌توانند باعث کاهش مقاومت فشاری شوند و در نسبت‌های آب به سیمان بالاتر، تأثیر چرخه‌ی ذوب و یخبندان در مقاومت فشاری بیشتر است. برای مثال در نسبت آب به سیمان ۰٫۳ و نسبت



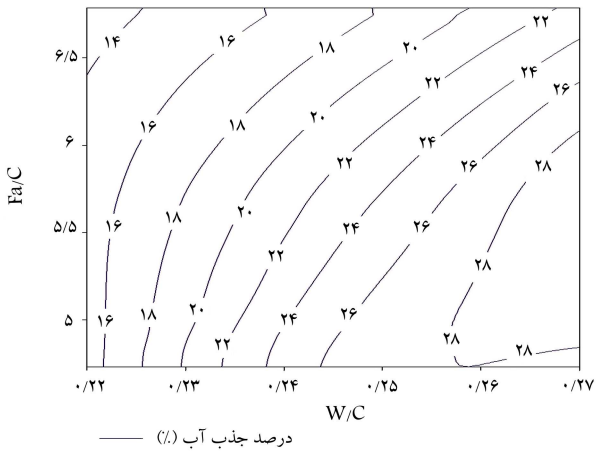
شکل ۸. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (بدون چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۳۲۵.



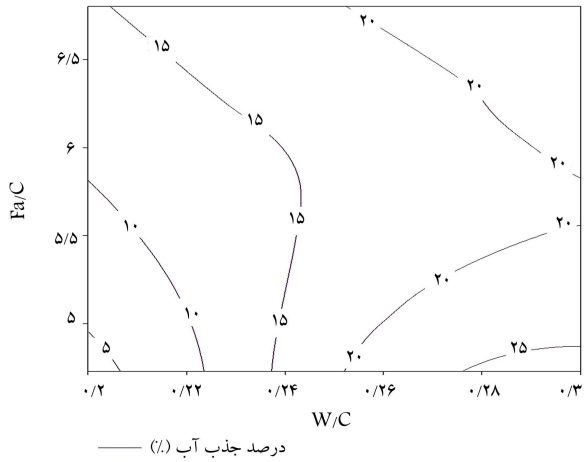
شکل ۹. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (با ۴۰ چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۳۲۵.



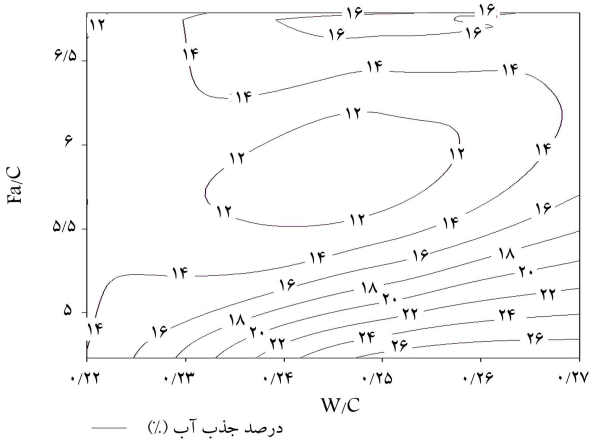
شکل ۱۰. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (بدون چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۴۲۵.



شکل ۱۲. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (بدون چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۵۲۵.



شکل ۱۱. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (با ۴۰ چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۴۲۵.



شکل ۱۳. نمودار رابطه‌ی W/C و Fa/C با مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۰ × ۱۰ × ۱۰ (با ۴۰ چرخه‌ی یخ و ذوب) ـ سیمان ۵۲۵.

ریزدانه به سیمان ۵/۵، مقاومت فشاری عادی برابر ۲۵ مگاپاسکال است؛ اما هنگامی‌که نمونه‌ها تحت شرایط ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند، مقاومت نمونه‌ها به ۲۰ مگاپاسکال کاهش می‌یابد. اما در نسبت آب به سیمان ۰/۲ و نسبت ریزدانه به سیمان ۵/۵، مقاومت فشاری برابر ۱۰ مگاپاسکال است و هنگامی که نمونه‌ها در شرایط ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند، مقاومت نمونه‌ها در نسبت آب به سیمان و ریزدانه به سیمان ثابت، کاهش چشم‌گیری نمی‌یابد. و نیز در نسبت آب به سیمان پایین، میزان ذوب و یخ‌بندان در مقاومت فشاری نمونه‌ها تأثیر کمتری دارد.

در مورد سیمان رده‌ی ۵۲۵ نیز مطابق شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود که چرخه‌های یخبندان و ذوب، باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها شده و طرح اختلاط با سیمان رده‌ی ۵۲۵ و عیار ۴۰۰ و آب به سیمان ۰/۲۷، کمترین کاهش مقاومت را داشته است. مطابق شکل ۱۲، به‌صورت میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده با سیمان رده‌ی ۵۲۵ از مقاومت نمونه‌های ساخته شده با سیمان رده‌ی ۳۲۵ و ۴۲۵ بیشتر است. همچنین تأثیر چرخه‌ی ذوب و یخبندان در مقاومت فشاری در نمونه‌های ساخته شده با سیمان رده‌ی ۵۲۵ از دو رده‌ی دیگر بهتر است، که در شکل ۱۳ نشان داده شده است و نیز در نسبت‌های آب به سیمان و ریزدانه به سیمان پایین، مقاومت فشاری نسبت به تغییرات ریزدانه به سیمان حساسیت زیادی ندارد، اما در نقطه‌ی مقابل با افزایش نسبت ریزدانه به سیمان و آب به سیمان، حساسیت مقاومت فشاری به این دو پارامتر افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای به‌دست آوردن جدول‌های پرسی خشک، استفاده از سیمان ۵۲۵، مزایای بیشتری دارد، ازجمله: مقاومت خمشی و فشاری آن افزایش می‌یابد و همچنین به دلیل کاهش جذب آب نمونه‌ها، چرخه‌های ذوب و یخبندان در مقاومت فشاری نمونه‌ها تأثیر زیادی ندارد؛ در نتیجه، دوام آن‌ها بیشتر می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده در پژوهش حاضر، این‌نتایج به‌دست آمده است:

- در سیمان رده‌ی ۳۲۵ با ثابت بودن نسبت آب به سیمان و افزایش مقدار سیمان، مقاومت خمشی زیاد می‌شود. همچنین با ثابت نگه داشتن مقدار سیمان و افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت خمشی کاهش می‌یابد.
- در سیمان‌های رده‌ی ۴۲۵ و ۵۲۵ با ثابت بودن نسبت آب به سیمان و افزایش

مقدار سیمان، مقاومت خمشی زیاد می‌شود. در صورتی که با ثابت نگه داشتن مقدار سیمان و افزایش نسبت آب به سیمان نیز مقاومت خمشی افزایش نشان می‌دهد.

- نتایج چرخه‌های یخبندان و ذوب در تمامی نمونه‌ها، کاهش مقاومت فشاری را نشان می‌دهد. این کاهش در طرح‌های مختلف، متفاوت بوده و بین ۰ تا ۱۲ مگاپاسکال محاسبه شده است.
- در سیمان رده‌ی ۳۲۵، در نسبت‌های آب به سیمان بالاتر از ۰٫۲۷، نسبت آب به سیمان در میزان جذب آب نمونه‌ها تأثیر کمی داشته است. همچنین در سیمان‌های رده‌ی ۴۲۵ و ۵۲۵، میزان حساسیت جذب آب نمونه‌ها به نسبت ریزدانه به سیمان کمتر است.
- در انتها می‌توان گفت که علت اختلاف نتایج حاصل بین سیمان رده‌ی ۳۲۵ و سیمان‌های ۴۲۵ و ۵۲۵، به نرمی بیش از حد این نوع سیمان‌ها مربوط است که برای تکمیل عمل آبپوشی و اختلاط مناسب، آب بیشتری نیاز دارند. بنابراین نسبت آب به سیمان ۰٫۲۷، نتایج بهتری را نسبت به مقادیر پایین‌تر آب به سیمان برای این نوع سیمان‌ها نشان می‌دهد. برعکس در مورد سیمان رده‌ی ۳۲۵، بین نسبت‌های آب به سیمان ۰٫۲ تا ۰٫۳، عدد ۰٫۲ نتایج بهتری را در مشخصات مکانیکی بتن نشان می‌دهد. درکل با مقایسه‌ی نتایج پژوهش حاضر: مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، یخبندان و ذوب و میزان جذب و خروج آب، بهترین طرح اختلاط درکار آزمایشگاهی انجام شده، طرح شماره‌ی ۲۵ (با سیمان رده‌ی ۵۲۵، عیار سیمان ۴۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰٫۲۷) بوده است.

پانوشت

1. hydration

منابع (References)

1. Family, H., Tadayon, M. and Khosh Sima, M. "The effect of temperature on the compressive strength of concrete pouring concrete absorb water tables dry referendum", *The 2nd National Conference of Concrete* (2010).
2. Family, H., Tadayon, M. and Khosh Sima, M. "Mechanical properties and durability of concrete tables pouring temperature on some dry referendum", *Journal of Engineering Ferdowsi*, **24**(2) (2013).
3. Family, H., Tadayon, M. and Yousefi, A. "The effect maximum aggregate size and grading the mechanical strength (compressive and tensile) concrete dry referendum", the 3nd National Confrence of Concrete (2011).
4. Ngo, N. and Shing, Ch. "High-strength structural concrete with recycled aggregates", Dissertation, University of Southern Queensland (2004).
5. Australia, C.C.A. "Use of recycled aggregates in construction", Cement Concrete & Aggregates Australia, New South Wales (2008).
6. Suh, C., Soojun, H. and Moon, C.W. "Optimized design of concrete curb under off tracking loads", Report No. FHWA/TX-09/0-5830-1 (2008).
7. Byars, E.A., Zhu, H.Y. and Morales, B. "Conglasscrete I", Final Report, The Waste & Resources Action Programme, UK (2004).
8. Ferguson, I., Marshall's, M. and Fifield, J. "Concrete Glass Curb", Online Data: (http:// www.shef.ac.uk/ polopoly_fs/1.142975!/file/07.pdf) (2007).
9. Aslantas, O. "A study on abrasion resistance of concrete paving blocks", A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University (2004).
10. Phil Scarlett Precast Admixture Technology, Online Data (http://gbr.sika.com/dms/ etdocument.get/ Precast_Admixture_Technology.pdf).
11. AS 2876, *Concrete Kerbs and Channels (Gutters)-Manually or Machine Placed*, Published by Standards Australia International Ltd. (2000).
12. Department of Civil Engineering, University of Massachusetts at Amhurst, "Structural analysis comparison curb", Online Data (http:// www.swensongranite.com/ downloads/ 7940NGC-AGCP_StructuralAnalysis.pdf.) (1991).
13. Technical Committee of the NZRMCA, "Kerb and channel machine placed concrete", Online data: (http:// www.nzrmca.org.nz/ portals/213/ images/pdfs/publications/ kerb %20and%20Channel%20 Machine%20Placed%20Concrete.pdf.) (2005).
14. *TCC Curb Mix Data*, Online Data (http://www. tccmaterials. com/ pdf/ TCCcurbmixdata.pdf) (2010).
15. C&CAA T51 Guide to Residential Streets and Paths, Online Data (http://www.ccaa.com.au/ publications/ pdf/ResStreets. pdf) (2004).
16. Levitt, M. "Precast concrete: Materials manufacture properties and usage 0106", Online Data:(http:// lib.wru.edu.vn/index.php? option=com_docman&task=doc_download&gid= 299 (2007).
17. Dowson, A.J. "Back-to-basics-measuring the progress of understanding of over 35 years of the use of concrete block paving in the UK", *Proc. 9th Int. Conf. On CBP*, pp. 1-10 (2009).
18. Smallwood, J. "Mass and density of materials: Construction management students' knowledge and perceptions", *NES2012 Proceedings*, **41**, pp. 5425-5430 (2012).
19. Evans, J.D., Knight, S. and Brisbane, P. "Experience with interlocking concrete pavements: Karana downs estate, Queensland", International Workshop on Interlocking Concrete Pavements, Melbourne, Australia, pp. 107-112 (1986).
20. Vallcs, M. "Abrasion test for precast concrete paving products", *Materials and Structures*, **30**(10), pp. 631-633 (1997).

21. Delatte, N. and Storey, C. "Effects of density and mixture proportions on freeze-thaw durability of roller-compacted concrete pavement", *Journal of the Transportation Research Board*, **1914**, pp. 45-52 (2005).

22. Mezei, B., Iliescu, M., Corbu, F. and Moga, L. "Disperse reinforced concrete used in obtaining prefabricated elements for roads", *Constructii*, **15**(1221-2709), pp. 12-20 (2014).

23. Mason, A., Korostynska, O., Cordova-Lopez, L.E. and Al-Shamma'a, A. "Evaluating the performance of polymer road curbs", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **25**(8), pp. 1107-1114 (2012).

24. ASTMC666/C666M, "Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing", West Conshohocken, Pennsylvania, USA (2003).