بررسی تاثیر نوع پوزولان بر روی خواص مکانیکی و دوام روسازی‌های بتنی خود تراکم مورد استفاده در سطوح پروازی فرودگاه‌ها

پرهام حیاتی*[۱]، حسن زیاری[۲]، جعفر سبحانی[۳]

[*۱] دانشجوی دکتری مهندسی راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران
Hayati@iust.ac.ir

[۲] استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
h.ziari@iust.ac.ir

[۳] استادیار بخش فناوری بتن، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
sobhani@bhrc.ac.ir

چکیده:

ارتقاء خواص عملکردی و پایایی روسازی‌های بتنی سطوح پروازی اهمیت ویژه ای دارد. در این مقاله به منظور تعیین میزان کارآمدی بتن خود تراکم مورد استفاده در روسازی سطوح پروازی در دو رویکرد خواص مکانیکی و دوام با انجام آزمایش‌های استاندارد با تاثیر انواع پوزولان در ترکیب های بتن های دو جزئی و سه جزئی مورد تحلیل قرار گرفته است. بررسی میزان مقاومت بتن خود تراکم در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن به عنوان یکی از معیارهای تعیین دوام بتن مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین در این تحقیق خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مدول دینامیکی و مقاومت ضربه) با در نظر گرفتن الزامات مورد نظر در مورد روسازی‌های بتنی سطوح پروازی به عنوان آزمایش‌های تکمیلی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد نوع پوزولان عاملی تعیین‌کننده در دوام بتن های خود تراکم در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن است. همچنین مشخص گردید رژیم خرابی های ناشی از عامل دوام می تواند متاثر از جایگزینی درصدی از سیمان با پوزولان باشد.

کلمات کلیدی: بتن خود تراکم، پوزولان، یخ زدن – آب شدن، روسازی‌های بتنی فرودگاهی

۱- مقدمه

حمل و نقل هوایی به عنوان یکی از روش های برتر در زمینه جابجایی مسافر، بار و نیازمندی های امنیتی مطرح است، زمان توقف بهره‌برداری جهت بهسازی و بازسازی سطوح پروازی بتنی ضعیف و مضمحل تاثیر بسزایی در اقتصاد خرد وکلان منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای خواهد داشت، پس لزوم کاربرد روسازی‌های بتنی با کیفیت عملکردی بالا حائز اهمیت هست. طبق مدیریت روسازی سطوح پروازی فرودگاه با[1]، ۱۵ نوع خرابی در تعیین شاخص خدمت دهی روسازی بتنی[2] موثر است که ۶۰ درصد آن با ناشی از مسئله دوام هست [۱]. یکی از مهمترین شاخص‌های موثر در دوام بتن، مقاومت آن در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن است که می‌تواند به تنهایی علت بروز ۶۷ درصد خرابی های منشاء دوام در روسازی‌های بتنی سطوح پروازی گردد. بتن خود تراکم به عنوان یکی از زیرمجموعه های بتن های توانمند با خصوصیات رفتارشناسی و کارپذیری متفاوت از بتن های معمولی می‌تواند گزینه مناسبی به منظور استفاده در این سطوح به منظور ارتقاء خواص عملکردی و پایایی روسازی‌های بتنی باشد. بتن خود تراکم یکی از انواع بتن های با کارایی بالا است که می تواند بدون عمل ویبره تحت وزن خود جریان یابد[۲]. بتن خود تراکم در دهه ۸۰ در ژاپن ابداع شد و هدف آن کاهش هزینه کارکنان برای بتن ریزی بود، اما به علت مزایای آن به سرعت در دیگر کشورها مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل گستردگی استفاده از این نوع بتن در دنیا، بخش عمده‌ای از تحقیقات به آن اختصاص یافته است[۳]. با توجه به تفاوت اجزاء بتن خود تراکم با اجزاء بتن معمولی که این تفاوت در کاربرد مواد سیمانی، استفاده از پودر سنگ به منظور ماده اصلاح کننده ویسکوزیته با حضور دیگر مواد افزودنی به ویژه ماده فوق کاهنده آب بروز می‌یابد، خواص بتن تازه و مشخصات رئولوژی آن می تواند متفاوت از بتن معمولی باشد، اما به هر نحو هردوی بتن معمولی و خود تراکم در صورتی‌که برای درجات مقاومتی مشابه به کار روند، خواص مکانیکی مشابهی را نشان خواهند داد. بنابراین باتوجه به تفاوت تکنیک های طرح اختلاط، بتن ریزی و تراکم، پایایی بتن خود تراکم نسبت به بتن معمولی ممکن است متفاوت باشد و بنابراین نیاز به تحقیق در این حوزه است [۴]. استانداردها و آیین‌نامه‌های موسسات معتبر مرتبط با روسازی بتنی فرودگاه‌ها متعدد است که می‌توان به طور قطع عنوان نمود که از میان آن با آئین نامه سازمان هوانوردی آمریکا[3] دارای جامعیت و مرجعیت جهانی هست. در این آئین نامه علاوه بر توصیه هایی در مورد کیفیت مواد، الزاماتی برای معیارهای طراحی و اجرای طرح اختلاط بتن نیز ارائه شده است؛ بتن باید برای رسیدن به حداقل مقاومت خمشی ۲۸ روزه بیش از معیار قابل‌قبول که برای روسازی فرودگاه حداقل ۴/۱ مگا پاسکال است، طراحی شود، ضمن اینکه مبنای طراحی روسازی‌های بتنی مقاومت خمشی[4] ۹۰ روزه است. محدوده مقاومت فشاری مجاز باید ما بین ۴۱/۳۵ تا ۴۸/۲۵ مگا پاسکال باشد که البته میزان مطلوب ۴۴/۸ است. همچنین میزان حداقل عیار سیمان مورد نیاز در روسازی‌های بتنی سطوح پروازی طبق این آیین‌نامه در شرایط عادی تابعی از بیشینه اندازه مصالح سنگی می‌باشدکه با توجه به اینکه مقدار آن در این تحقیق ۱۹ میلی‌متراست، میزان حداقل مجاز عیار سیمان می‌بایست ۳۲۰ لحاظ گردد. البته در حالت قرارگیری در شرایط یخ زدن – آب شدن می‌بایست ۳۳۵ منظور گردد. محدوده مجاز نسبت آب به مواد سیمانی نیز باید بین ۰/۴ تا ۰/۵ لحاظ گردد که نسبت مطلوب آئین نامه در این خصوص میزان ۰/۴ است[۵].

۲- مکانیزم و ارزیابی عمل یخ زدن- آب شدن

عمل یخ زدن در میان مهمترین مسائل پایایی سازه های بتنی در شرایط آب و هوایی سرد است. زوال و خرابی مصالح پایه سیمانی در برابر شرایط چرخه های یخ زدن- آب شدن به هیدرولیک و فشار اسمزی نسبت داده می‌شود [۷و۶ و۴]. آب خالص در دمای صفر درجه سانتی‌گراد تحت فشار اتمسفر نرمال یخ می زند. در این هنگام میزان ۹ درصد افزایش حجم مرتبط با تبدیل آب

[1] APMS
[2] PCI
[3] FAA
[4] Design modulus of rupture (DMR)

به یخ داریم. اگرچه، آبی که در محدوده حفرههای موئینه داخل بتن محبوس شده است الزاماً در دمای صفر درجه سانتی‌گراد یخ نمی زند. دمایی که در آن آب در فضاهای موئینه یخ می زند تابعی از سایز فضاهای خالی و منفذهای شیمیایی است[۹و۸]. همان طور که آب در منافذ موئینه یخ می زند، یخ شکل‌گرفته، آب درون حفره‌ای یخ نزده را فشرده میسازد. اگر آب بتواند به فضای اشغال نشده راه یابد، فشار هیدرولیکی آزاد میشود هر چند اگر فاصله تا فضای خالی خیلی زیاد باشد و فشار هیدرولیکی توانایی آزادسازی را پیدا نکند، فشار آب، منافذ را توسعه خواهد داد که این موضوع باعث ایجاد تنشهای کششی در محدوده خمیر بتنی خواهد شد. در بتن اشباع، تنشهای کششی ممکن است سرانجام از ظرفیت کششی خمیر بیشتر گردیده و ترک خوردن اتفاق بیفتد. تمامی نظریه ها [۱۱و۱۰و۷و۶]، بر این‌که تکرار چرخه های یخ زدن- آب شدن باعث بروز ترک های داخلی در چسبنده سیمانی گردیده که این ترک با در هر چرخه یخ زدگی رشد بزرگتری داشته و متعاقب آن در دوره های آب شدن از آب پر شده و در پی آن روند زوال بتن سرعت بیشتری پیدا می‌کند، توافق دارد. عوامل دیگر موثر بر مقاومت بتن در برابر عمل یخ زدگی شامل درجه اشباع، کیفیت سنگ دانه‌ها، نسبت آب به مواد سیمانی و وضعیت عمل‌آوری بتن است[۱۱و۴]. برای بهبود مقاومت یخ زدگی بتن های دارای مقاومت معمولی[5]، ماده هوا زا به مخلوط بتن اضافه می گردد. در حین این که حباب هوای اجباری مقاومت در برابر یخ زدگی را افزایش می‌دهد، همچنین اغلب باعث کاهش مقاومت بتن نیز می گردد. نقش حباب هوای اجباری در بهبود مقاومت بتن در عمل یخ زدگی به خوبی توسط آیین نامه های بین المللی تایید و پیشنهاد شده است [۴]. هم اکنون نیازمندی به حباب هوای اجباری در بتن های توانمند به عنوان یک موضوع قابل بحث مطرح است [۱۲]. به این دلیل هوای اجباری به طور عادی در بتن‌های توانمند به کار نرفت و محققین نیاز به استفاده از مواد هوا زا در بتن های توانمند[6] را زیر سوال بردند[۱۹و۱۷و۱۳و۸]. بسیاری از این محققین به این نتیجه رسیدند که نفوذپذیری پایین بتن های توانمند به دلیل کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، مقاومت یخ زدگی بتن را بهبود می بخشد [۲۱و۱۴و۱۳و۸]. بنابراین، اغلب محققین مقاومت یخ زدگی مخلوط های بتنی توانمند بدون استفاده از حباب هوا را گسترش دادند [۱۷-۱۵و۱۳و۸]. با وجود این شاخص با، اغلب محققین هنوز استفاده از مواد حباب هوا زا را پیشنهاد می‌کنند [۱۹و۱۸و۱۶و۱۳و۸]. شایان‌ذکر است که مقاومت یخ زدگی قابل‌قبول برای بتنی با ضریب دوام بزرگ‌تر از ۶۰ تا مین می‌شود [۱۵و۸]. متداول‌ترین روش ارزیابی میزان مقاومت در آمریکا پروسه A روش ASTM C 666یا AASHTO T16 است[۲۰]. خسارت ناشی از یخ زدگی بر بتن را می‌توان از چند طریق بررسی نمود و متداول‌ترین روش اندازه‌گیری تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌ها است.کاهش در این مدول پس از تعداد چرخه های یخ زدن- آب شدن نمایان میزان صدمه دیدن بتن است. با این روش می‌توان قبل از این‌که خسارت وارد بر بتن به وسیله عینی و یا هر روش دیگر مشاهده شود، به وجود آن پی برد. اثرات یخ زدگی را همچنین می‌توان از سنجش افت در وزن نمونه نیز بررسی نمود.

۳- برنامه آزمایشگاهی

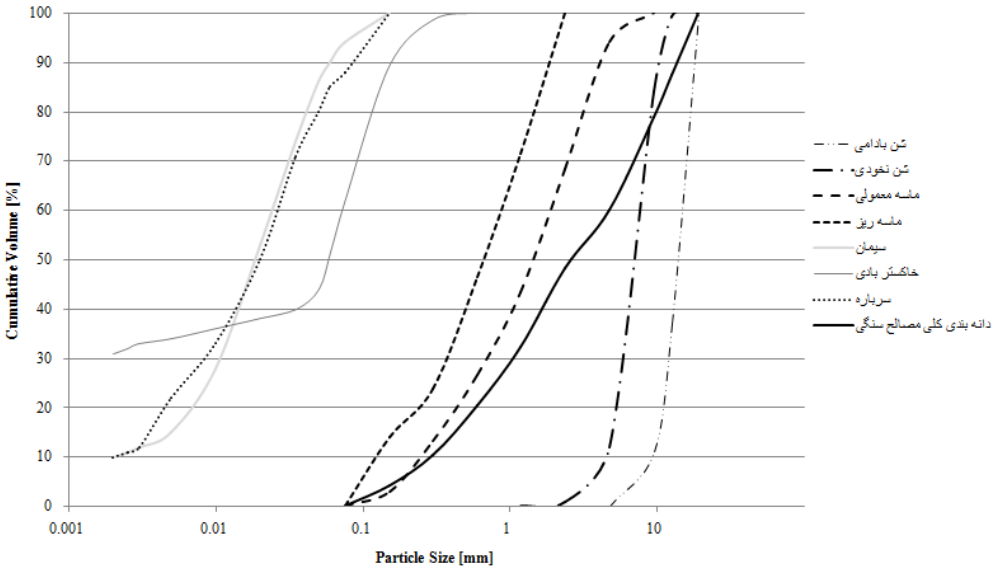
۳-۱- مواد و مصالح

در این پروژه از مصالح سنگی شن و ماسه هر کدام در دو نوع، سیمان پرتلند نوع ۲ تهران، پودر سنگ آهک، خاکستر بادی ویژه و سرباره اصفهان و همچنین از فوق روان کننده استفاده شده است. انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن خود تراکم مطابق روش ملی طرح اختلاط بتن ایران بر اساس محدودیت‌های مرتبط با شرایط کاربری بر اساس رابطه فولر ـ تامسون اصلاح شده و با در نظر گرفتن میزان پارامتر n به میزان ۰/۲۵ با حدکثر اندازه مصالح سنگی به میزان ۱۹ میلی‌متر مطابق با جدول شماره ۴-۷ آیین‌نامه در نظر گرفته شده است. به منظور تأمین دانه‌بندی مورد نظر آئین نامه، شن مصرفی به صورت نیمه شکسته و از معادن جنوب غرب تهران در دو نوع بادامی و نخودی و ماسه از نوع گرد گوشه و در دو نوع ماسه ۵-۰ میلی‌متر و عبوری از الک شماره ۸ تأمین شده است. خصوصیات مصالح سنگی در جدول ۱ و نمودار دانه‌بندی در شکل ۱ نشان داده شده است.

[5] Normal Strength Concrete
[6] High Performance Concrete

جدول۱ مشخصات مصالح سنگی کاربردی

مشخصات	شن بادامی	شن نخودی	ماسه طبیعی	ماسه ریز
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک (gr/cm^3)	۲/۵۴	۲/۵۳	۲/۵۹	۲/۶۴
ظرفیت جذب آب(٪)	۱/۹	۲/۲	۲/۹	۳/۱۶
عبوری از الک ۲۰۰(٪)	۰/۳	۰/۴	۴/۵۶	۱۳/۹



شکل ۱ نمودار دانه‌بندی مجموع و جزء به جزء مصالح سنگی و مواد سیمانی

خواص فیزیکی و شیمیایی مواد سیمانی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان پرتلند نوع۲ و مواد سیمانی کاربردی

ترکیب شیمیایی	سیمان	پودر سنگ آهک	خاکستر بادی	سرباره
SiO_2(%)	۲۲/۵۸	۰/۷۶	۶۱/۲۵	۳۳/۳۵
Al_2O_3(%)	۴/۴۵	۱/۴	۳۱/۴۵	۱۰/۶۴
Fe_2O_3(%)	۴		۰/۹۵	۰/۴۷
MgO(%)	۳/۰۵	۱۲	۱/۱۵	۱۰/۸۳
K_2O(%)	۰/۴	–	۰/۴۱	۰/۵
SO_3(%)	۱/۷۱	۲/۲۷	۰/۴	۱/۲۹
CaO (%)	۶۱/۶۸	۴۲	۲/۶۷	۳۵/۸
Na_2O(%)	۰/۴۸	-	۰/۱۷	۰/۵
Cl^-	–	-	<۰/۰۱	–
معادل قلیایی	۰/۷۴	-	–	–
LOI (%)	۱/۰۷	۴۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۶۳
چگالی(گرم بر سانتی مترمکعب)	۳/۱۵	۲/۶	۲/۳	۲/۷۵

در ارتباط با اکسیدهای مرکب سیمان پرتلند نوع ۲، می توان به تری کلسیم سیلیکات به مقدار ۳۹، دی اکسید سیلیکات به مقدار۳۵/۳۲ و تری کلسیم آلومینات به میزان ۵/۰۲ اشاره داشت. در این تحقیق از فوق روان کننده [7] نسل سوم بر پایه پلی کربوکسیلات های اصلاح شده استفاده شد. این مایع سبز رنگ دارای وزن مخصوص ۰/۰۲ ±۱/۱ در ۲۰ درجه سانتی‌گراد است.

۳-۲- طرح‌های مخلوط

پنج طرح مخلوط با میزان آب به مواد سیمانی به میزان ثابت ۰/۴ به صورت دو جزئی و سه جزئی در نظر گرفته شد. مخلوط ها به دو گروه تقسیم‌بندی شدند: گروه الف: بتن خود تراکم با میزان حجم خمیر کل ثابت به میزان ۳۸۰ لیتر بر مترمکعب؛ گروه ب: بتن خود تراکم با میزان حجم خمیر کل ثابت به میزان مثبت و منفی ۳۰ لیتر بر مترمکعب تغییر نسبت به گروه الف. میزان مواد سیمانی کل برای کلیه طرح با در دو گروه الف و ب به میزان ۳۰±۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به منظور تأمین حجم بالایی از مصالح ریزدانه (حجم خمیری به میزان ۳۵۰ تا ۴۰۰ لیتر بر مترمکعب) هماهنگ با آیین‌نامه های معمول با طرح اختلاط بتن خود تراکم در نظر گرفته شد[۱۵]. میزان نسبت ماسه به کل مصالح سنگی برای کلیه طرح‌های اختلاط دو گروه برابر ۶۱ درصد در نظر گرفته شد. نسبت های ترکیب مواد سیمانی در هر مترمکعب در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳ طرح‌های مخلوط بتن خود تراکم در هر مترمکعب بتن

کد طرح	سیمان (کیلوگرم)	پودر سنگ آهک(کیلوگرم)	خاکستر بادی(کیلوگرم)	سرباره (کیلوگرم)	شن (کیلوگرم)	ماسه (کیلوگرم)	فوق روان کننده (درصد مواد سیمانی)	حجم خمیر (لیتر)
SCC-2-L	۳۷۰	۱۸۰	-	-	۶۵۹	۱۰۱۷	۰/۲۴	۳۵۰
SCC-2-M	۴۰۰	۱۸۰	-	-	۶۲۹	۹۷۰	۰/۱۹	۳۸۰
SCC-2-H	۴۳۰	۱۸۰	-	-	۶۰۸	۹۳۹	۰/۱۶	۴۰۰
SCC-3-F	۳۲۰	۱۶۵	۸۰	-	۶۲۹	۹۷۰	۰/۲۰	۳۸۰
SCC-3-S	۲۰۰	۱۶۵	-	۲۰۰	۶۲۹	۹۷۰	۰/۲۵	۳۸۰

۴- نتایج و تفسیر

۴-۱- خواص بتن خود تراکم تازه

آزمایش ها بر روی بتن خود تراکم تازه در دو بخش انجام شد. در بخش اول بررسی خواص رئولوژیکی به منظور تعیین قابلیت‌های جریان عبور، پرکنندگی و پایداری شامل آزمایش‌های جریان اسلامپ، قیف V ، حلقه j، جعبه L ، جعبه U بلافاصله پس از اتمام مراحل اختلاط انجام گرفت. بخش دوم با توجه به موضوعیت تحقیق و لزوم کنترل درصد هوا، میزان هوا و وزن مخصوص آزمایش گردید. در جدول۴ نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته بر روی بتن خود تراکم در هر دو بخش ارائه شده است.

جدول۴ نتایج آزمایش‌های بتن تازه خود تراکم

طرح	Slump Flow (cm)	T_{500} (sec)	J – Ring (cm)	L - Box	U - Box	V – Funnel (sec)	Air content(%)	Density
SCC-2-L	۷۰	۳/۲۸	۰/۷۵	۰/۸۲	۱۵	۹	۱/۴	۲/۳۵۰
SCC-2-M	۷۲	۳/۱۹	۰/۵	۰/۹	۱۲	۸/۷۵	۲/۷	۲/۳۲۳
SCC-2-H	۷۵	۳	۰/۵	۰/۸۴	۱۵	۶/۴۴	۱	۲/۳۴۲
SCC-3-S	۷۰	۲/۸۷	۰/۷۵	۰/۸۶	۲۰	۸/۲۸	۱/۱	۲/۳۶۰
SCC-3-F	۷۰	۱/۹	۰/۷۵	۱	۱۰	۸/۷۲	۱/۶	۲/۳۱۳

[7] HRWR

مطابق با نتایج آزمایش جریان اسلامپ برابر طبقه‌بندی موسسه EFNARC ، تمامی طرح‌های مخلوط در رده SF2 که برای بسیاری از کاربردهای متداول بتن‌ریزی مناسب است، نام گذاری می‌شود. کمترین لزجت مرتبط با طرح مخلوط خاکستر بادی است ولی با توجه به بازه زمانی ۱/۹ تا ۳/۲۸ ثانیه ای، تمامی طرح ها برای کاربردهای مهندسی عمران مناسب است. با بررسی نتایج آزمایش قیف V ، کمترین زمان مربوط به طرح مخلوط H (دارای ماکزیمم حجم خمیر) و بیشترین زمان مربوط به طرح مخلوط L (دارای کمترین حجم خمیر) است، می باشد. با توجه به قرارگیری نتایج در محدوده ۶ تا ۱۲ ثانیه، لزجت خمیری در حد متعادل و بروز جداشدگی منتفی است. با توجه به گرد گوشه بودن ذرات خاکستر بادی بهترین وضعیت در آزمایش جعبه L مربوط به این طرح است. ضمن آنکه در طرح M میزان هوای بیشتر در بهبود قابلیت پرکنندگی و کاهش تنش تسلیم آن کمک کرده است. نتایج مربوط به آزمایش‌های حلقه J و جعبه U نیز در محدوه مجاز است.

۴-۲- خواص بتن سخت شده

آزمایش ها بر روی بتن سخت شده در دو بخش انجام شد. بخش اول به منظور بررسی خواص مکانیکی بر روی انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت ضربه متمرکز گردید. در بخش دوم برای تعیین خواص دوام بتن سخت شده، آزمایش یخ زدن - آب شدن سریع بر روی نمونه ها طبق استاندارد ASTM C666 انجام پذیرفت. در جدول ۵ نتایج آزمایش‌های مکانیکی ارائه شده است.

جدول۵ نتایج آزمایش‌های مکانیکی

طرح	مقاومت فشاری (مگا پاسکال)			مقاومت خمشی (مگا پاسکال)		مقاومت ضربه (تعداد)	
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
SCC-2-L	۳۳	۴۱/۸	۴۲/۷	۳/۸۲	۵/۰۶	۳۸	۴۴
SCC-2-M	۳۶	۵۷/۵	۶۲/۸	۴/۸۲	۵/۸۹	۶۰	۶۴
SCC-2-H	۲۹/۸	۴۱/۲	۴۷/۳	۴/۹۹	۵/۵۲	۲۴	۲۶
SCC-3-S	۲۶	۳۸/۳	۴۶/۷	۴/۹۴	۵/۷۹	۱۵	۲۰
SCC-3-F	۳۴/۷	۵۲/۸	۵۸/۸	۴/۹۶	۶/۷۱	۳۹	۴۶

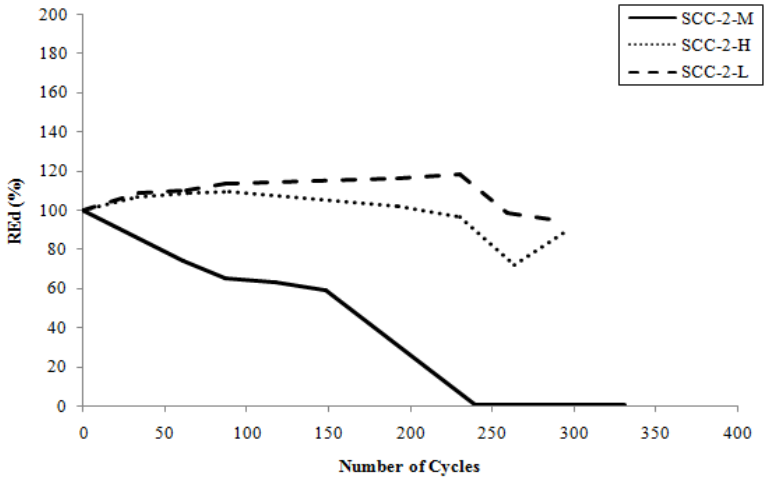
در این استاندارد، عمل یخ زدن- آب شدن را معمولاً تا ۳۰۰ چرخه و یا تا مرحله‌ای که مدول الاستیسیته دینامیکی به میزان ۶۰ درصد مقدار اولیه خود کاهش یابد (البته هر کدام که زودتر برسد) ادامه می‌دهند. سپس دوام بتن را به وسیله ضریب دوام محاسبه می‌کنند. ضریب دوام کمتر از ۴۰، نشانگر این است که احتمالاً بتن از نظر مقاومت در برابر یخ زدگی رضایت‌بخش نخواهد بود، ما بین ۴۰ تا ۶۰، دامنه بتن‌های با عملکرد مشکوک و بیش از ۶۰، احتمالاً وضعیت بتن رضایت‌بخش را بیان خواهد نمود. وضعیت نمونه ها پس از گذشت ۳۰۰ چرخه در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است.

شکل ۲ نمونه ها پس از ۳۰۰ چرخه یخ زدن – آب شدن،تصویر راست:SCC-2-L و تصویر چپ:SCC-2-H

شکل۳ نمونه ها پس از ۳۰۰ چرخه یخ زدن – آب شدن،تصویر راست:SCC-3-F و تصویر چپ:SCC-3-S

شکل ۴ نمونه‌های طرح مخلوط SCC-2-M پس از ۳۰۰ چرخه یخ زدن – آب شدن

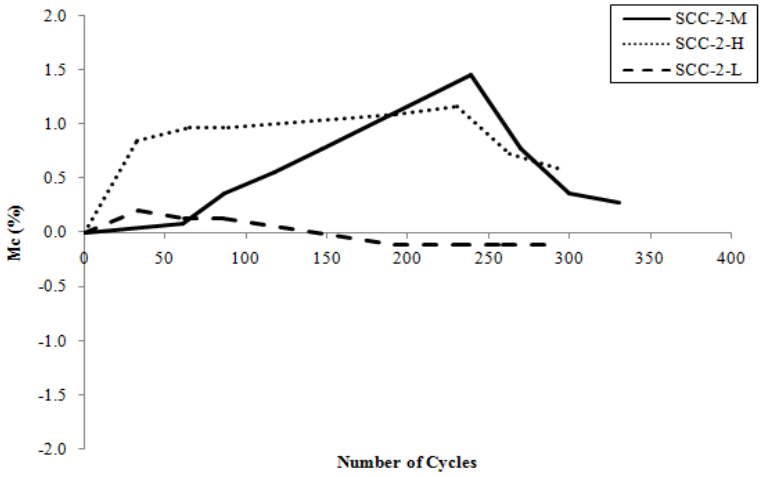
همان طور که در نمودار شکل ۵ نشان داده شده، نمونه SCC-2-M پس از گذشت۲۴۰ سیکل دچار شکست در فاصله تقریباً ۷ سانتی‌متری وسط نمونه مطابق شکل ۴ شده که در پی آن مدول دینامیکی آن نیز صفر گردیده است.



شکل ۵ تغییرات مدول دینامیکی طرح‌های اختلاط گروه الف بر حسب تعداد سیکل

مقاومت بتن در سطوح پروازی با اندازه گیری مقاومت خمشی انجام می شود. با توجه به نتایج جدول ۵، طرح های ساخته شده به جزء طرح L، در اقتصادی ترین وضعیت قرار گرفته اند. مطابق جدول ۵، در بررسی طرح‌های مخلوط گروه الف شاخص‌های مقاومتی طرح M نسبت به دو طرح دیگر در وضعیت بالاتری قرار دارد که می‌توان به ۴۰ درصد مقاومت فشاری بیشتر، مقاومت خمشی بالاتر(با توجه به اینکه مبنای مقاومت خمشی روسازی‌های بتنی ۹۰ روزه است) نسبت به بقیه طرح ها اشاره کرد، حال

این وضعیت در تأمین پایایی در برابر شرایط یخ زدن - آب شدن معکوس گردیده و با کسب پایین‌ترین ضریب دوام در محدوده عدم رضایت مندی قرار گرفته است. با توجه به یکسانی درجه اشباع، کیفیت سنگ دانه‌ها، نسبت آب به مواد سیمانی و وضعیت عمل‌آوری بتن در مخلوط‌های گروه الف، ضعف مقاومتی در برابر شرایط یخ زدن– آب شدن را می‌توان ناشی از کمتر بودن وزن مخصوص بتن در طرح M نسبت به بقیه طرح ها و عدم پخش یکنواخت درصد هوای نسبتاً مناسب ۲/۷ درصدی آن دانست که فضای مذکور با توجه به شکل ۶ که تغییرات وزن بتن را در سیکل‌های مختلف نشان می‌دهد مسیر ورود آب در فاز آب شدن و نهایتاً تسریع عمل ترک‌خوردگی و اضمحلال بتن گردیده است.



شکل ۶ تغییرات وزن طرح‌های اختلاط گروه الف بر حسب تعداد چرخه

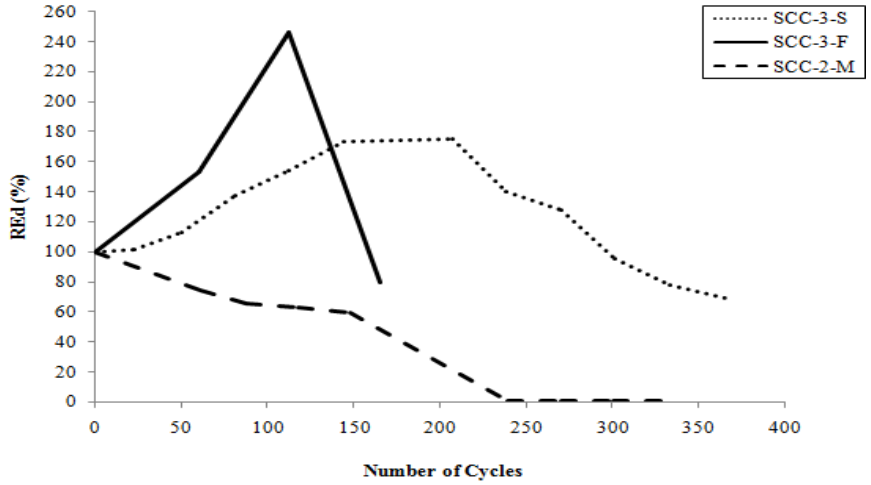
در بررسی شکل ۶، تغییرات وزن نمونه M نسبت به بقیه طرح ها بیشتر و در حدود ۱/۵ درصد است. حال آنکه طرح‌های دیگر وضعیت تغییراتی‌شان ثابت تر است. دو طرح L و H با ضریب دوام بیشتر از ۸۰ و وضعیت ظاهری مناسب طبق شکل ۲ و جدول ۶ مقاومت مناسبی را در برابر شرایط یخ زدن- آب شدن از خود نشان داده‌اند. طبق جدول شماره ۵ طرح‌های L و H و S مقاومت فشاری مطلوب را در دوره ۲۸ روزه طبق آئین نامه FAA کسب نکرده‌اند لیکن طرح L و همچنین طرح H با ارفاق مقاومت حداقلی مورد نیاز را کسب نموده‌اند. مقاومت خمشی ۹۰ روزه مبنای طراحی کلیه طرح ها از حد مطلوب بیشتر و تأمین شده است.

جدول ۶ ضریب‌های دوام و نتایج بازرسی چشمی طرح‌های مخلوط

طرح	ضریب دوام	بازرسی چشمی							
		ترک‌خوردگی دوام نوع D		پوسته شدن/ شن زدگی/ ترک‌خوردگی سطحی		ترک‌خوردگی طولی/ عرضی		بیرون پریدگی	
		وقوع خرابی	شدت	وقوع خرابی	شدت	وقوع خرابی	شدت	وقوع خرابی	شدت
SCC-2-L	۸۴	ندارد.	-	دارد.	متوسط	ندارد.	-	دارد	خفیف
SCC-2-M	۲۹	دارد.	شدید	دارد.	شدید	دارد.	شدید	دارد.	خفیف
SCC-2-H	۸۲	ندارد.	-	دارد.	خفیف	ندارد.	-	ندارد.	-
SCC-3-S	۹۶	ندارد.	-	دارد.	شدید	ندارد.	-	دارد.	شدید
SCC-3-F	۴۳	ندارد.	-	دارد.	شدید	ندارد.	-	دارد.	شدید

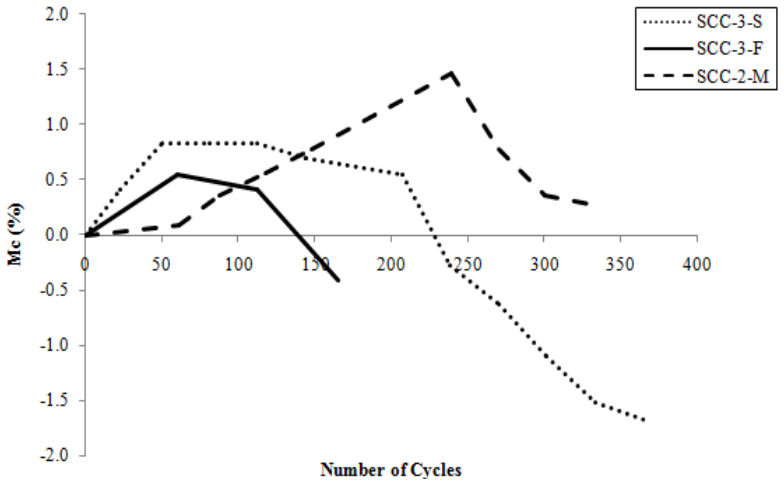
در ارتباط با بررسی تأمین دوام گروه ب، جایگزینی پوزولان خاکستر بادی و افزودنی سرباره باعث بهبود ضریب دوام طرح M شده است که این افزایش برای طرح F تنها باعث ارتقاء یک رده‌ای آن و قرار گرفتن در وضعیت مشکوک از نظر پایایی در برابر چرخه یخ زدگی و برای طرح S با جایگزینی ۵۰ درصدی سیمان باعث ارتقاء تا رده رضایت مندی گردیده است. در ضمن جایگزینی خاکستربادی و سرباره باعث حذف ترک‌خوردگی دوام که خود ناشی از بهبود مقاومت در برابر یخ زدن– آب شدن است

شده است. در ارتباط با بررسی وضعیت نمونه‌های دارای خکستربادی و سرباره، بروز خرابی پوسته شدگی و شن زدگی و همچنین بیرون پریدگی در وضعیت شدید قابل رویت هست. بروز خرابی پوسته شدن و شن زدگی را می‌توان به چرخه‌های یخ بندان – ذوب یخ، نامرغوبی مصالح سنگی و واکنش بین نمک‌های قلیایی (K_2O,Na_2O) در سیمانپرتلند نوع ۲ کاربردی با توجه به جدول شماره ۲ که میزان آن از حد مجاز بالاتر است، نسبت داد. جداشدگی تکه کوچکی از بتن به ویژه در گوشه ها را نیز می توان در اثر عملکرد مصالح سنگی منبسط‌شده ناشی از عمل یخ زدن– آب شدن دانست. جایگزینی پوزولان خاکستر بادی در بهبود مقاومت در برابر عمل یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، جزئی بوده و بتن خود تراکم ساخته‌شده با این پوزولان ضمن ارتقاء ۴۸ درصدی ضریب دوام، روند اضمحلالی آن سرعت بیشتری یافته و مطابق شکل ۷، ۷۵ سیکل سریع‌تر نمونه خراب گردید. جایگزینی سرباره در بهبود مقاومت در برابر عمل یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، مطلوب بوده و بتن خود تراکم ساخته‌شده با این نوع افزودنی ضمن ارتقاء ۳۳۰ درصدی ضریب دوام، روند اضمحلالی آن کاهش‌یافته و حتی تا نزدیک ۴۰۰ چرخه نیز ضریب دوام آن بالای عدد۶۰ که حد رضایت مندی است، قرار گرفته است.



شکل ۷ تغییرات مدول دینامیکی طرح‌های اختلاط گروه ب بر حسب تعداد چرخه

در شکل ۸، تغییرات وزن طرح‌های اختلاط گروه ب بر حسب تعداد چرخه نشان داده شده است.



شکل ۸ تغییرات وزن طرح‌های اختلاط گروه ب بر حسب تعداد چرخه

۵- نتیجه‌گیری

بر پایه مطالب مطرح‌شده در این تحقیق نتایج زیر بیان می‌شود:

- نوع پوزولان عاملی تعیین‌کننده در دوام بتن خود تراکم در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن است.
- ترکیب مواد سیمانی و حجم خمیر در خواص رئولوژی، کارایی، مقاومتی و دوام بتن خود تراکم تأثیرگذار است.
- در صورت یکسان بودن درجه اشباع، کیفیت سنگ دانه‌ها، نسبت آب به مواد سیمانی و وضعیت عمل‌آوری بتن در مخلوط‌های بتن خود تراکم، وزن مخصوص بتن، میزان و نحوه پخش هوای اتفاقی می‌تواند عاملی موثر در آهنگ عمل ترک‌خوردگی و اضمحلال بتن باشد.
- جایگزینی پوزولان خاکستر بادی در بهبود مقاومت در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، جزئی بوده و بتن خود تراکم ساخته‌شده با این پوزولان ضمن ارتقاء ۴۸ درصدی ضریب دوام، روند اضمحلالی آن سرعت بیشتری یافته و ۷۵ سیکل سریع‌تر مدول دینامیکی آن صفر می‌شود.
- جایگزینی سرباره در بهبود مقاومت در برابر پدیده یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، مطلوب بوده و بتن خود تراکم ساخته‌شده با این پوزولان ضمن ارتقاء ۳۳۰ درصدی ضریب دوام، روند اضمحلالی آن کاهش‌یافته و حتی تا نزدیک ۴۰۰ چرخه نیز ضریب دوام آن بالای ۶۰ که حد رضایت مندی است قرار دارد.
- جایگزینی ۱۴ درصدی پوزولان خاکستر بادی در بهبود مقاومت در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، ضمن از بین بردن ترک‌خوردگی دوام، باعث افزایش میزان پوسته شدن، شن زدگی و بیرون پریدگی و ترک‌خوردگی طولی و عرضی بتن خود تراکم تا سطح خرابی شدید شده است.
- جایگزینی ۵۰ درصدی سرباره در بهبود مقاومت در برابر شرایط یخ زدن – آب شدن نسبت به بتن با میزان مواد سیمانی یکسان، ضمن از بین بردن ترک‌خوردگی دوام و ترک‌خوردگی طولی و عرضی، باعث افزایش میزان پوسته شدن، شن زدگی و بیرون پریدگی بتن خود تراکم تا سطح خرابی شدید شده است.
- تغییرات وزن بتن خود تراکم در حین انجام آزمایش ارزیابی مقاومت بتن در برابر چرخه های سریع یخ زدن – آب شدن، عاملی تعیین‌کننده در دوام بتن محسوب می‌شود.
- بروز خرابی پوسته شدن و شن زدگی را می‌توان به چرخه‌های یخ بندان – ذوب یخ، نامرغوبی مصالح سنگی و واکنش بین نمک‌های قلیایی (K_2O,Na_2O) در سیمان پرتلند نوع ۲ کاربردی با توجه به جدول شماره ۲ که میزان آن از حد مجاز بالاتر است، نسبت داد.
- جداشدگی تکه کوچکی از بتن به ویژه در گوشه ها را نیز می توان در اثر عملکرد مصالح سنگی منبسط‌شده ناشی از عمل یخ زدن– آب شدن دانست.

۶ مراجع

[1]Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, second edition,M.Y.Shahin,2002.

[2] Kamal H. Khayat and Joseph Assaad.," Air-Void Stability in Self-Consolidating Concrete" ,ACI MATERIALS JOURNAL,V. 99, No. 4, July-August 2002.

[3].Wenzhong Zhu, and Peter J.M.Bartos, “Permeation properties of self-compacting concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol.33, 2003, pp.921-926.

[4].M.L.Nehdi Æ M. T. Bassuoni.,"Durability of self-consolidating concrete to combined effects of sulphate attack and frost action " ,J. Materials and Structures ,Vol .41, 2008 ,pp.1657–1679 .

[5].Report IPRF-01-G-002-05-7, Appendex B: Physical Properties of Cores Airport ,Innovative Pavement Research Foundation, Washington, D.C.

[6]. Powers TC (1945) Working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. J ACI Proceedings 4(4):245–272

[7].Powers TC (1975) Freezing effects of concrete, ACI SP-47. American Concrete Institute, pp 1–11
[8]. W. Micah Hale,*, Seamus F. Freyne, Bruce W. Russell .,"Examining the frost resistance of high performance concrete " , J. Construction and Building Materials,Vol. 23 , 2009 ,pp. 878–888 .
[9] Mindess S, Young JF. Concrete. New JerseyEnglewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall; 1981.
[10].Litvan GG (1972) Phase transitions of adsorbates, iv, mechanism of frost action in hardened cement paste. J Am Ceramic Soc 55(1):38–42
[11].Detwiler R, Dalgleish B, Williamson R (1989) Assessing the durability of concrete in freezing and thawing. ACI Mater J 86(1):29–35
[12]. Bassuoni MT, Nehdi M (2005) The case for air-entrainment in high performance concrete. ICE Struct Build 158(5):311–319
[13] Cohen MD, Zhou Y, Dolch WL. Non-air-entrained high strength concrete—is itfrost resistant? ACI Mater J 1992;89(4):406–15.
[14] Li Y, Ward MA, Langan BW. Freezing and thawing: comparison between nonair-entrained and air-entrained high strength concrete. ACI SP-149. p. 545–60.
[15] Mokhtarzadeh A, Kriesel R, French C, Snyder M. Mechanical properties and durability of high-strength concrete for prestressed bridge girders. Transport
Res Record 1995;1478:20–9.
[16] Fagerlund G. Frost resistance of high performance concrete – some theoretical considerations. Durability ofhigh performance concrete. In: Proceedings of the RILEM international workshop; 1995. p. 112–40.
[17] Pinto RCA, Hover KC. Frost and scaling resistance of high-strength concrete. Research and development bulletin RD122. Portland Cement Association; 2001.
[18] Zia P and Hansen MR. Durability of high performance concrete. In: Pacific Rim TransTech conference proceedings. American Society of Civil Engineers; 1993. p. 398–404.
[19] Aitcin PC, Ballivy G, Mitchell D, Pigeon M, Coulombe LG. The use of high performance air entrained concrete for the construction of the Portneuf bridge. ACI SP-140; p. 53–72.
[20] . American Society for Testing and Materials.Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.ASTM C666-77 .

Binary and ternary self -consolidating concrete for airport apron pavements: Effects on rheology, durability and mechanical parameters

Abstract:

Fresh self-compacting concrete (SCC) flows into place and around obstructions under its own weight to fill the formwork completely and self-compact without any segregation and blocking. SCC mixes generally have a much higher content of fine fillers. The use of supplementary cementitious materials is well accepted because of the improvement in concrete properties and also for environmental and economical reasons. A more detailed study was then carried out on the SCC fresh and hardened properties such as slump flow, segregation, bleeding, flow time, setting time and compressive and flexural strength of different binary and ternary concrete mixes with various type of pozzolanic materials were evaluated and compared with reference concrete(RC) by containing water to cementitious material ratios (w/cm) 0.4 . This study aims at investigating the durability (ASTM C666-Procedure A) and mechanical properties(compressive/flexural strength) of self-consolidating concrete that should we obtained in airport apron pavements .The result confirmed that the positive pozzolanic effect on the rheological, durability and mechanical properties on fresh and hardened concrete. In this paper binary and ternary Concrete mixtures with different type of pozzolanic materials were evaluated and compared with reference concrete(RC) by containing water to cementitious material ratios (w/cm) 0.4 .

Keywords: Self-consolidating concrete, Freeze and thaw action, Pozzolanic materials, Apron pavement