

مطالعه تاثیر چرخه‌های یخبندان و ذوب بر چسبندگی بتن خودتراکم الیافی با نسبت آب به مصالح سیمانی و حجم خمیره متفاوت به عنوان لایه ترمیمی بر بستر بتنی

علی صدر ممتازی^{۱*}، اویس قدوسیان^۲

۱- دانشیار دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی دکتری- سازه، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

* alisadrmmomtazi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۹۶/۲/۳۱]

تاریخ دریافت: [۹۵/۱۲/۲۵]

چکیده

بتن خودتراکم بتنی است که نیاز به ویرنه ندارد و می‌تواند در قالب‌های پیچیده و در شرایطی که تراکم بتن به سختی قابل انجام است، به آسانی استفاده شود. پس این بتن گزینه‌ای مناسب برای تعمیر و تقویت انواع سازه‌های بتنی است. برخی اجزاء سازه‌ها مانند عرشه پل‌ها در معرض عوامل مخرب و فرآیند یخبندان و ذوب مکرر قرار دارند. به همین دلیل بررسی تاثیر موارد مختلف بر کیفیت لایه ترمیمی خودتراکم، چسبندگی آن به بتن بستر و دوام آن در برابر عوامل مخرب بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه به بررسی تاثیر حجم خمیره و نسبت آب به مصالح سیمانی و مقدار الیاف پلی پروپیلن به ویژگی‌های رئولوژیکی، سخت شده و چسبندگی بتن خودتراکم الیافی ترمیمی به بتن بستر و دوام چسبندگی بتن لایه ترمیمی و بتن بستر در برابر چرخه‌های یخبندان و ذوب پرداخته شده است. نتایج نشان داد که الیاف پلی پروپیلن خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم را تحت تاثیر قرار داده و تاثیر منفی بر آن می‌گذارند. ضمن اینکه برخی ویژگی‌های حالت سخت شده مانند مقاومت کششی و جمع‌شدگی را بهبود می‌بخشند. با وجود بهبود چسبندگی دو لایه با افزودن الیاف، دوام این چسبندگی در برابر چرخه‌های یخبندان و ذوب کاهش می‌یابد. افزایش نسبت آب به مصالح سیمانی و حجم خمیره نیز تاثیر منفی بر چسبندگی بین دو لایه می‌گذارند.

واژگان کلیدی: بتن خودتراکم الیافی ترمیمی، چسبندگی، چرخه یخ‌زدگی و ذوب، حجم خمیره، نسبت آب به مصالح سیمانی

۱- مقدمه

نمی‌شود. به همین دلیل باعث بهبود فضای کار در حین ساخت، کاهش زمان ساخت و افزایش همگنی و کیفیت بتن می‌شود. الیاف نیز به وفور در بتن خودتراکم مورد استفاده قرار گرفته است [1]. الیاف پلی پروپیلن استحکام و قابلیت کششی بسیار بالا و مدول الاستیسیته پایینی دارند [2]. کاربرد الیاف پلی پروپیلن از ترک خوردگی و جمع‌شدگی بتن به ویژه در سنین اولیه آن جلوگیری

به عقیده بسیاری، بتن خود تراکم یا SCC^۱ (و یا بتن خود تحکیم در آمریکای شمالی) را می‌توان بتن آینده دانست. SCC تحت وزن خود داخل قالب و حتی دور آرماتورهای پیچیده و انبوه جریان می‌یابد. بنابراین SCC بر خلاف بتن معمولی ویرنه

1 - Self-Compacting Concrete

می‌کند. علت ایجاد ترک پلاستیک، تمایل بتن به جمع شدگی در اثر تبخیر آب سطحی یا کاهش دمای بتن است. در صورت مقید بودن بتن (اصطکاک با سطح زیر آن، چسبندگی به جداره قالب و...)، تمایل به جمع شدگی باعث ایجاد تنش‌های کششی در بتن شده و با توجه به اینکه مقاومت اولیه بتن ناچیز است، ترک ایجاد می‌شود [3].

یکی از مهمترین مسائل در ارتباط با پایایی و دوام بتن در مناطق سردسیر، حفظ و نگهداری بتن در چرخه یخ‌بندان و ذوب یخ است. آثار چرخه‌های تکراری ذوب و یخ به صورت تجمعی است و در واقع می‌توان عمل گسیختگی ناشی از تکرار ذوب و یخ در بتن را مانند گسیختگی ناشی از خستگی تصور کرد. مقاومت در برابر یخ‌زدگی و ذوب یخ یک پارامتر مهم در دوام یک سازه بتنی تحت تأثیر آب و هوا است. حمله یخ‌زدگی و ذوب یخ را می‌توان به صورت یک پدیده فیزیکی که باعث یخ‌زدگی آب می‌شود، که این خود منجر به ایجاد فشار داخلی اضافی در بتن می‌شود، در نظر گرفت [4]. روش‌های مختلفی برای بررسی آزمایشگاهی چرخه‌های ذوب و یخ وجود دارد. روش ASTM C666 یکی از روش‌های تسریع شده برای شرایط یخبندان و ذوب در آب است و در یک مدت زمان کوتاه کیفیت نسبی خمیر سیمان و سنگدانه را در برابر یخبندان نشان می‌دهد. این آزمایش دو روش را برای بررسی اثر ذوب و یخ روی بتن پیشنهاد می‌دهد. در روش اول هم فرآیند یخ‌زدن نمونه‌ها و هم فرآیند ذوب شدن در داخل آب انجام می‌شود. در روش دوم فرآیند ذوب شدن مانند قبل در آب است اما فرآیند یخ‌زدن بتن در هوا صورت می‌گیرد. حالت یخ‌زدن نمونه‌های اشباع شده در آب چندین برابر شدیدتر از حالت یخ‌زدن آنها در هوا است.

پژوهش‌های زیادی در زمینه تاثیر چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب به بتن صورت گرفته است. تویان و همکاران¹ بتن خودتراکم حاوی درشت دانه بازیافت شده را مورد مطالعه قرار دادند و اثر چرخه‌های یخ و ذوب یخ و ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی آن را بررسی نمودند. نسبت آب به چسب در این پژوهش متغیر بوده و برابر ۰/۴۳، ۰/۴۸ و ۰/۵۳ بود. آزمایش‌های جریان اسلامپ، قیف V و جعبه L برای تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی بتن‌ها به کار

رفته است. این نتیجه حاصل شد که استفاده از درشت دانه بازیافت شده موجب کاهش مقاومت این بتن تحت چرخه‌های یخ و ذوب یخ می‌شود [5]. مردنی و همکاران² بتن غلتکی حاوی درصد بالای خاکستر بادی را بررسی کرده، و ویژگی‌های این بتن را در زمان انتقال بتن و همچنین تحت چرخه‌های یخ و ذوب یخ را مطالعه کردند. برای این کار آنها از ۲۸ طرح اختلاط با چهار نسبت آب به سیمان متفاوت ۰/۳۰، ۰/۳۵، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ و درصد بالای خاکستر بادی استفاده نمودند. خاکستر بادی جایگزین بخشی از سنگدانه شده است. جایگزینی سنگدانه تا ۲۰ درصد با خاکستر بادی اثر مثبت روی مقاومت و دوام بتن در برابر چرخه یخ و ذوب یخ داشته است. ولی درصدهای بالاتر نیاز به مطالعه بیشتر دارد [6]. یازیچی³ اثر دوده سیلیس و درصدهای بالای خاکستر بادی را روی ویژگی‌های مکانیکی، نفوذ کلراید و مقاومت در برابر یخ و ذوب یخ بتن خودتراکم مطالعه کرده. این نتایج حاصل شد که بتن حاوی درصدهای بالای خاکستر بادی می‌تواند رضایت بخش باشد و اضافه نمودن حداکثر ۱۰ درصد میکروسیلیس به بتن خودتراکم حاوی درصدهای بالای خاکستر بادی باعث ارتقاء ویژگی‌های رئولوژیکی، مکانیکی و دوام بتن خواهد شد [7]. ترک‌خوردگی در لایه ترمیمی به شدت روی عملکرد سازه‌ای آن شامل مقاومت کششی، سختی برشی و خمشی، ظرفیت جذب انرژی، دوام، چسبندگی به بتن بستر و مقاومت در برابر خوردگی آرماتورها تأثیر می‌گذارد [8, 9].

یکی از عوامل مهم ترک خوردگی لایه ترمیمی بتنی، جمع شدگی آن است. پژوهش‌های زیادی در زمینه جمع شدگی مصالح ترمیمی صورت گرفته است. هانسن⁴ و همکاران [10] اثر جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن خمیره، مقدار سنگدانه و نسبت مدول سنگدانه‌ها و سیمان هیدراته را روی جمع‌شدگی نهایی ناشی از خشک شدن بتن بررسی کردند. چلال⁵ و همکاران [11] نتایج آزمایشگاهی کرنش‌های جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن را با مقادیر تخمینی براساس توصیه‌های ACI [12] و CEB [13] مقایسه کردند. باروقل⁶ و همکاران [14] انتقال و تعادل رطوبت را

2- Mardani, et. all

3- Yazici

4- Hansen

5- Chaallal

6- Baroghel

1- Murat Tuyan, et. all

سانتی متر مکعب و جذب آب ۱/۵ درصد است. دانه بندی براساس استاندارد ASTM C33 [16] انجام شده است.

ماسه‌ی مورد استفاده رودخانه‌ای و گرد گوشه بوده و دارای وزن مخصوص ظاهری ۲/۶ گرم بر سانتی متر مکعب و جذب آب ۲/۵ درصد است. اندازه‌ی سنگدانه‌ها، ۸۰ درصد از ماسه مصرفی ۰ تا ۳ میلی‌متر و ۲۰ درصد آن ۳ تا ۶ میلی‌متر است. پودر سنگ آهک مصرفی محصول کارخانه قم بوده و چگالی آن 2.7 gr/cm^3 بود. در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ کارخانه سیمان هگمتان استفاده شده است. ترکیبات شیمیایی سیمان در جدول (۱) مشاهده می‌شود. در این جدول؛ C: سیمان، G: شن، S: ماسه، LS: پودر سنگ، MS: میکروسیلیس، W: آب، PP: الیاف پلی پروپیلن، SP: فوق روان کننده، V_p : حجم خمیره (شامل حجم سیمان، میکروسیلیس و آب)، V_t : حجم کل بتن است. میکروسیلیس مصرفی تولیدکارخانه فروسیلیس ایران است که دارای وزن مخصوص 2200 Kg/m^3 است. الیاف پلی پروپیلن مصرفی به طول ۶ میلی‌متر است و دارای مقاومت کششی ۴۰۰ مگاپاسکال است. میکروسیلیس مصرفی تولیدکارخانه فروسیلیس ایران است که دارای وزن مخصوص 2200 Kg/m^3 است. الیاف پلی پروپیلن مصرفی به طول ۶ میلی‌متر است و از شرکت شیمی ساختمان تهیه شده‌اند. فوق روان کننده مورد استفاده با نام تجاری FARCO PLAST P10-3R محصول شرکت شیمی ساختمان و بر پایه پلی کربوکسیلات‌های اصلاح شده است. طرح‌های ساخته شده به همراه نسبت‌های مهم در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

در شکل (۱) آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی بتن شامل جریان اسلامپ، قیف ۷ و جعبه L مشاهده می‌شود.

شکل ۱. آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی طرح‌های ساخته شده



Fig. 1. Tests for assessments of rheological properties of the mix designs

در مصالح سیمانی توانمند بررسی کرده و با بتن معمولی مقایسه نمودند.

۲- عملیات آزمایشگاهی

در مطالعه حاضر سه پارامتر مهم در بتن خودتراکم الیافی که می‌تواند روی ویژگی‌های رئولوژیکی و مکانیکی آن تاثیر بگذارد یعنی نسبت حجم خمیره به حجم کل بتن، نسبت آب به مجموع سیمان و پوزولان و مقدار الیاف پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر تغییر در این سه پارامتر روی ویژگی‌های رئولوژیکی بتن از طریق آزمون‌های جریان اسلامپ، قیف ۷، جعبه L و T50 سنجیده شد. سپس با ساخت نمونه‌های مکعبی ۱۵ سانتی، آزمون مقاومت فشاری، با ساخت نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد، تست برزیلی و محاسبه مدول الاستیسیته و با ساخت نمونه‌های منشوری، آزمون جمع شدگی انجام شد. برای تعیین پیوستگی بتن خودتراکم به عنوان لایه ترمیمی به بتن بستر، از روش پول آف^۱ استفاده شد. برای استفاده از روش پول آف، ابتدا بتن‌های معمولی با مقاومت بالا (بالاتر از ۵۰ مگاپاسکال) در نمونه‌های مکعبی ۱۵ سانتی ساخته شد تا این اطمینان حاصل شود که در هنگام انجام آزمون تعیین پیوستگی دو لایه بتنی، گسیختگی از بتن بستر اتفاق نمی‌افتد. این بتن‌ها با استفاده از اره بتن بر به سه بخش مساوی با ضخامت ۵ سانتی متر تقسیم شدند. پس از گذشت ۶ ماه از ساخت این بتن‌ها (این ۶ ماه برای این بود که بتن‌های بستر جمع شدگی خود را انجام دهند پس در آزمایش‌ها ایجاد خطا نکنند)، لایه‌های ترمیمی خودتراکم با ضخامت ۲ سانتی‌متر روی این بتن‌ها ریخته شدند. پس از ۲۸ روز عمل‌آوری این نمونه‌ها در آب و انجام مغزه‌گیری، با استفاده از دستگاه پول آف پیوستگی لایه ترمیمی و بستر به یکدیگر تعیین شد. نیم مغزه‌های گرفته شده به مقدار نیم سانتی‌متر در بتن بستر برده شدند. دیسک‌های استفاده شده برای آزمون پول آف دارای قطر ۵ سانتی‌متر (مطابق با نیم مغزه‌های گرفته شده) و ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر مطابق با استاندارد ASTM [15] بودند.

شن مصرفی رودخانه‌ای بوده و ماکزیمم اندازه دانه‌های آن ۱۲/۵ میلی‌متر و دارای وزن مخصوص ظاهری ۲/۶۴ گرم بر

جدول ۱. مشخصات سیمان مصرفی

composition	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	CL %	K ₂ O %	Na ₂ O %	LOI %
dosage	21.19	5.09	3.94	63.04	1.47	2.35	0.029	0.72	0.51	2.17

Table 1. Properties of used cement

جدول ۲. ۲۷ طرح اختلاط ساخته شده به عنوان لایه تعمیر

Name	C (Kg/m ³)	G (Kg/m ³)	S (Kg/m ³)	LS (Kg/m ³)	MS (Kg/m ³)	W (Kg/m ³)	PP %	S.P %	W/(C+MS)	Vp/Vt
V1W1P0	405	740	850	299.5	45	144	0	1.5	0.32	0.4
V1W2P0	405	740	850	250	45	162	0	1.3	0.36	0.44
V1W3P0	405	740	850	200.5	45	180	0	1	0.40	0.48
V2W1P0	442	691	793	332.5	49.2	157	0	1.5	0.32	0.4
V2W2P0	442	691	793	277.5	49.2	177	0	1.2	0.36	0.44
V2W3P0	442	691	793	223.87	49.2	196.5	0	0.9	0.40	0.48
V3W1P0	486	636	729	357.7	54	173	0	1.1	0.32	0.4
V3W2P0	486	636	729	300	54	194	0	0.8	0.36	0.44
V3W3P0	486	636	729	239.5	54	216	0	0.6	0.40	0.48
V1W1P1	405	740	850	299.5	45	144	0.1	1.5	0.32	0.4
V1W2P1	405	740	850	250	45	162	0.1	1.3	0.36	0.44
V1W3P1	405	740	850	200.5	45	180	0.1	1	0.40	0.48
V2W1P1	442	691	793	332.5	49.2	157	0.1	1.5	0.32	0.4
V2W2P1	442	691	793	277.5	49.2	177	0.1	1.2	0.36	0.44
V2W3P1	442	691	793	223.87	49.2	196.5	0.1	0.9	0.40	0.48
V3W1P1	486	636	729	357.7	54	173	0.1	1.1	0.32	0.4
V3W2P1	486	636	729	300	54	194	0.1	0.8	0.36	0.44
V3W3P1	486	636	729	239.5	54	216	0.1	0.6	0.40	0.48
V1W1P2	405	740	850	299.5	45	144	0.1	1.5	0.32	0.4
V1W2P2	405	740	850	250	45	162	0.2	1.3	0.36	0.44
V1W3P2	405	740	850	200.5	45	180	0.2	1	0.40	0.48
V2W1P2	442	691	793	332.5	49.2	157	0.2	1.5	0.32	0.4
V2W2P2	442	691	793	277.5	49.2	177	0.2	1.2	0.36	0.44
V2W3P2	442	691	793	223.87	49.2	196.5	0.2	0.9	0.40	0.48
V3W1P2	486	636	729	357.7	54	173	0.2	1.1	0.32	0.4
V3W2P2	486	636	729	300	54	194	0.2	0.8	0.36	0.44
V3W3P2	486	636	729	239.5	54	216	0.2	0.6	0.40	0.48

Table 2. The 27 mix designs as repair layer

شکل ۲. چگونگی گسیختگی نمونه‌ها در روش پول آف پس از چرخه-

های یخ و ذوب یخ



Fig. 2. Failure mode of specimens in pull-off test after freezing and thawing cycles

در این مطالعه برای بررسی چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب هم فرایند یخ‌زدن و هم فرایند ذوب در آب مطابق با استاندارد ASTM [17] انجام شده است.

پس از چرخه‌های ۲۱، ۴۲، ۶۳، ۸۴، ۹۳، ۱۰۲، ۱۱۱، ۱۲۰، ۱۲۹ و ۱۳۸ مقدار پیوستگی دو لایه با استفاده از روش پول آف اندازه‌گیری شد. در شکل ۲ نحوه گسیختگی نمونه‌ها در آزمون تعیین چسبندگی دو لایه به وسیله دستگاه پول آف پس از چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب مشاهده می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی و بتن سخت شده ۲۷ طرح ساخته شده

Name	Slump flow (mm)	T50 (sec)	L-Box (mm/mm)	v-funnel (sec)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Shrinkage ($\times 10^{-6}$)	Bond strength (pull-off) (Mpa)
V1W1P0	670	5.30	1	12.22	56.1	4.86	34.3	470	3.47
V1W2P0	630	3.85	1	11.20	55.2	4.77	33.12	600	3.27
V1W3P0	600	3.67	1	7.89	53.4	4.42	31.8	690	3.03
V2W1P0	730	3.5	1	8.05	53.5	4.67	33.4	520	3.27
V2W2P0	680	3.24	1	6.54	52	4.53	32.6	620	2.97
V2W3P0	650	2.86	1	4.65	47.3	4.02	30.7	760	2.63
V3W1P0	670	3.03	1	5.31	49.1	4.15	32.7	590	2.97
V3W2P0	550	2.67	1	3.87	46.2	3.93	31.4	740	2.43
V3W3P0	520	4.99	1	2.98	38.9	3.38	29.9	850	2.03
V1W1P1	650	5.80	1	13.40	57.9	5.47	37.7	450	4.60
V1W2P1	600	4.20	1	12.10	56.4	5.30	36.3	570	4.33
V1W3P1	560	4	1	8.66	52.8	5.04	34.8	660	3.87
V2W1P1	710	4.10	0.95	9	54.7	5.33	36.8	500	4.30
V2W2P1	660	4	0.90	7.63	51.4	5.11	35.5	595	4.13
V2W3P1	620	2.99	0.90	5.78	48.7	4.60	33.9	735	3.87
V3W1P1	660	3.60	0.85	6	49.5	4.76	35.6	560	4.20
V3W2P1	540	2.98	0.85	4.20	45.4	4.43	34.8	700	3.13
V3W3P1	500	8	0.70	3.30	37.2	4.20	31.9	790	2.87
V1W1P2	640	6	0.95	15	56	5.11	37.8	455	3.73
V1W2P2	570	4.5	0.95	14.10	54.8	5.04	35.4	580	3.63
V1W3P2	540	4.30	0.90	10.20	53	4.87	34.3	675	3.3
V2W1P2	680	4.60	0.85	10.60	52.8	5.14	36.3	515	3.67
V2W2P2	640	4.40	0.80	9.80	52.3	4.94	34.7	615	4.13
V2W3P2	600	3.26	0.80	6.90	46.6	4.32	33.1	750	3.70
V3W1P2	630	4.10	0.70	7.23	49.5	4.42	34.9	570	3.43
V3W2P2	530	3.5	0.70	5.10	45.7	4.13	33.4	710	2.87
V3W3P2	480	8.32	0.65	3.98	38.3	3.58	30.7	820	2.33

Table 3. Result of rheological and hardened properties of the 27 mix designs

۳- تحلیل نتایج

از جدول (۳) مشاهده می‌شود که با اضافه کردن و افزایش مقدار الیاف، جریان اسلامپ و سرعت جریان یافتن بتن که در آزمایش T50 متبلور است کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار خمیره و آب طرح - همان‌گونه که از نتایج آزمون T50 قابل مشاهده است - بتن با سرعت بیشتری حرکت می‌کند. در هیچ یک از طرح‌ها هیچ‌گونه جداشدگی مشاهده نشد و همه طرح‌ها در محدوده مناسب مقدار جریان اسلامپ بودند به جز طرح آخر که مقدار جریان اسلامپ به مقدار استاندارد مورد نظر به ویژه در حالت الیاف دار نرسید که علت آن را می‌توان جابجایی محدودی سنگدانه‌ها و بنابراین کند شدن حرکت بتن دانست. در یک دیدگاه

کلی با افزایش مقدار خمیره و آب مخلوط، معمولاً افت بیشتری در جریان اسلامپ و زمان T50 به ویژه وقتی ۰/۲ درصد الیاف پلی پروپیلن افزوده، مشاهده می‌شود. با افزایش مقدار الیاف از صفر به ۰/۱ درصد و از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد، مقدار جریان اسلامپ کاهش و زمان آزمون T50 افزایش می‌یابد. علت آنرا می‌توان به درگیر شدن و کاهش روانی بتن در اثر افزودن الیاف به آن دانست. با تغییر مقدار الیاف از ۰/۱ به ۰/۲ درصد، میزان کاهش جریان اسلامپ و افزایش زمان T50 حدوداً دو برابر می‌شود (برای جریان اسلامپ ۱/۹۴ و برای زمان T50 ۱/۸۰ برابر).

با افزایش نسبت حجم خمیره به حجم کل، زمان T50 تغییرات بیشتری خواهد داشت. این در حالی است که تغییرات مقدار جریان اسلامپ کمتر می‌شود. در پایان می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که افزایش خمیره در بتن خودتراکم، باعث افت کمتر جریان اسلامپ و افزایش بیشتر زمان T50 با اضافه کردن الیاف پلی پروپیلن می‌شود. پس در حالی که افزایش خمیره در بتن خودتراکم الیافی، تاثیر مثبتی روی جریان اسلامپ دارد و با افزایش آن، جریان اسلامپ افت کمتری را با افزودن الیاف تجربه می‌کند، روی زمان T50 تاثیر منفی گذارده و با افزایش مقدار الیاف، افزایش زمان T50 بیشتری را به دست می‌دهد که نشان دهنده غلبه اثر کاهش سرعت حرکت بتن بر اثر مسافت طی شده بتن توسط الیاف پلی پروپیلن است. بنابراین در استفاده از بتن خودتراکم الیافی این نکته باید مدنظر قرار گیرد که اثر منفی الیاف پلی پروپیلن بر سرعت جریان یافتن بتن بیشتر از اثر منفی این الیاف بر فاصله‌ای است که بتن خودتراکم می‌تواند تحت وزن خود جاری شود و طی کند. افزایش نسبت آب به مصالح سیمانی باعث تاثیرپذیری منفی بیشتر جریان اسلامپ و زمان T50 بتن در برابر افزایش مقدار الیاف می‌شود. به طوری که افزایش این نسبت، باعث افت بیشتر جریان اسلامپ و افزایش بیشتر زمان T50 با افزایش مقدار الیاف خواهد شد. مشابه تغییر حجم خمیره، باز هم مشاهده می‌شود که در اثر افزودن الیاف پلی پروپیلن، کاهش سرعت جریان بیشتری اتفاق می‌افتد تا کاهش مقدار مسافت طی شده توسط بتن.

با افزایش مقدار الیاف از صفر به ۰/۱ درصد و از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد، زمان تخلیه قیف V افزایش می‌یابد. با تغییر مقدار الیاف از ۰/۱ به ۰/۲ درصد، میزان افزایش زمان تخلیه قیف V حدوداً سه برابر می‌شود (۲/۷۷ برابر). با افزایش مقدار الیاف از صفر به ۰/۱ درصد و از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد، نسبت انسداد کاهش می‌یابد. با تغییر مقدار الیاف از ۰/۱ به ۰/۲ درصد، میزان کاهش نسبت انسداد حدوداً دو برابر می‌شود (۲/۰۱ برابر) و این کاهش با افزایش مقدار آب و خمیره مخلوط بیشتر می‌شود. همچنین به طور کلی با اضافه شدن و افزایش الیاف پلی پروپیلن به بتن، مقاومت فشاری تغییر چندانی نمی‌کند. با تغییر مقدار آب طرح، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و هرچه مقدار خمیره افزایش یابد، مقاومت فشاری با شیب بیشتری کاهش می‌یابد. مشابه افزایش نسبت آب به مصالح سیمانی، افزایش حجم خمیره

در طرح نیز منجر به کاهش مقاومت فشاری شده است. مقاومت کششی با افزودن الیاف به میزان ۰/۱ درصد، افزایش می‌یابد اما با افزایش مقدار الیاف به ۰/۲ درصد، مقاومت کششی کاهش دارد ولی باز هم از مقدار بدون الیاف بیشتر خواهد بود. روند تغییرات مقاومت کششی با تغییر نسبت خمیره و مقدار آب نیز مانند مقاومت فشاری است. به طوری که افزایش مقدار خمیره و افزایش مقدار آب مخلوط باعث کاهش مقاومت کششی می‌شوند. با افزودن ۰/۱ درصد الیاف، مقاومت کششی به طور میانگین ۱۴/۵۳ درصد رشد داشته در حالی که این رشد در مقاومت کششی با افزودن ۰/۲ درصد الیاف پلی پروپیلن حدود نصف این مقدار و ۷/۲۴ درصد است که حاکی از این نتیجه است که مقدار مناسب‌تر الیاف به منظور بالا بردن مقاومت کششی بتن خودتراکم ۰/۱ درصد است. مدول الاستیسیته با افزودن الیاف افزایش خواهد یافت. به طور کلی این افزایش زمانی که مقدار الیاف ۰/۱ درصد است بیشتر از زمانی است که مقدار الیاف ۰/۲ درصد است. با اضافه کردن الیاف پلی پروپیلن، جمع شدگی کاهش می‌یابد. همچنین مطابق انتظار، با افزایش مقدار خمیره و آب طرح، جمع‌شدگی افزایش خواهد پس کاملاً اثر منفی مقدار آب و خمیره بر جمع‌شدگی ملاحظه می‌شود. همچنین می‌توان نتیجه گرفت افزایش آب طرح نسبت به افزایش خمیره، اثر منفی بیشتری بر جمع‌شدگی می‌گذارد. حضور ۰/۱ درصد الیاف به طور میانگین باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی می‌گردد. با اضافه شدن مقدار الیاف از ۰/۱ به ۰/۲ درصد، مشاهده گردید که مقدار جمع‌شدگی افزایش می‌یابد ولی همچنان از نمونه بدون الیاف دارای جمع‌شدگی کمتری است. برای تعیین پیوستگی بین دو لایه ترمیمی و بستر، از روش‌های پول آف که مبتنی بر ایجاد تنش کششی است، استفاده شد. مشاهده می‌شود که بیشترین مقاومت پیوستگی برای طرح V1W1P1 و کمترین مقدار برای طرح V3W3P0 به دست آمده است. طرح V1W1 با توجه به کمترین مقدار خمیره و نسبت آب به مصالح سیمانی‌ای که داشت، کمترین جمع‌شدگی را نیز داشت. همچنین مقدار الیاف ۰/۱ درصد، درصد مناسب‌تر برای افزایش مقاومت کششی و کاهش جمع‌شدگی به دست آمده بود. پس این طرح دارای بهترین مقاومت پیوستگی شده است. علت پایین بودن مقاومت پیوستگی طرح V3W3 را نیز می‌توان اینگونه توضیح داد که اولاً این طرح بدون الیاف است و همان‌گونه که

مشاهده کردیم، طرح‌های بدون الیاف جمع‌شدگی بیشتری دارند. دوم اینکه این طرح دارای بیشترین حجم خمیره و نسبت آب به مصالح سیمانی است که این خود باعث بیشینه بودن مقدار جمع‌شدگی شده است. و در پایان اینکه این طرح در آستانه از دست دادن ویژگی‌های خودتراکمی خود بوده است. همین موضوع نیز می‌تواند باعث پیوستگی نامناسب آن به بتن بستر و ایجاد حباب‌های هوا در مرز شود. بنابه مجموعه این علل، این طرح کمترین پیوستگی را از خود نشان داده است. با محاسبه تغییرات ۱۸ طرح

دارای الیاف نسبت به ۹ طرح بدون الیاف مشخص شد که به طور میانگین با افزودن ۰/۱ درصد الیاف، مقاومت پیوستگی ۳۵/۷۷٪ و با افزودن ۰/۲ درصد الیاف، مقاومت پیوستگی ۱۴/۹۹٪ افزایش داشته است. علت این افزایش را می‌توان به کاهش جمع‌شدگی لایه ترمیمی نسبت داد. پس با کاهش جمع‌شدگی شاهد افزایش مقاومت پیوستگی هستیم. با افزایش نسبت آب به مصالح سیمانی و حجم خمیره شاهد کاهش مقاومت پیوستگی هستیم در جدول (۴) نتایج حاصل از چرخه‌های یخ و ذوب مشاهده می‌شود.

جدول ۴. مقاومت پیوستگی ۲۷ طرح ساخته شده تحت سیکل‌های یخ و ذوب یخ (بر حسب مگاپاسکال)

Name	Number of Cycles										Rate of debonding index	Average
	21	42	63	84	93	102	111	120	129	138		
V1W1P0	3.43	3.40	3.33	3.17	2.73	1.83	1.17	0.53	0.23	---	0.081	0.075
V1W2P0	3.20	3.13	3	2.77	2.33	1.60	1	0.40	0.13	---	0.076	
V1W3P0	2.90	2.80	2.60	2.20	1.67	1.07	0.53	0.27	---	---	0.076	
V2W1P0	3.10	3	2.87	2.60	2.17	1.33	0.67	0.37	0.17	---	0.076	
V2W2P0	2.80	2.60	2.33	1.83	1.20	0.73	0.27	0.07	---	---	0.074	
V2W3P0	2.40	2.03	1.63	1.07	0.63	0.27	0.07	---	---	---	0.071	
V3W1P0	2.70	2.43	2.03	1.67	1.20	0.63	0.33	0.07	---	---	0.074	0.102
V3W2P0	2.17	1.73	1.30	0.77	0.37	0.07	---	---	---	---	0.072	
V3W3P0	1.67	1.20	0.70	0.23	---	---	---	---	---	---	0.073	
V1W1P1	4.5	4.27	3.73	3.17	2.33	1.5	0.73	0.33	0.07	---	0.107	
V1W2P1	4	3.63	3.23	2.67	2.03	1.3	0.60	0.13	---	---	0.108	
V1W3P1	3.43	3.03	2.70	2.30	1.67	1.03	0.37	0.13	---	---	0.097	
V2W1P1	4	3.47	3	2.47	1.73	0.97	0.33	0.07	---	---	0.108	Average
V2W2P1	3.87	3.37	2.80	2.23	1.60	1	0.40	0.13	---	---	0.103	
V3W1P1	3.80	3.33	2.80	2.27	1.67	۰.۹۳	0.47	0.13	---	---	0.105	
V3W2P1	2.73	2.57	1.83	1.27	0.43	0.07	---	---	---	---	0.092	
V3W3P1	2.40	1.80	1.17	0.57	0.13	---	---	---	---	---	0.092	
V1W1P2	3.5	3.23	2.80	2.17	1.40	0.67	0.27	0.03	---	---	0.093	0.098
V1W2P2	3.8	3.40	3	2.53	1.80	1.03	0.40	0.13	---	---	0.091	
V1W3P2	3	2.53	2.03	1.43	0.97	0.37	0.07	---	---	---	0.089	
V2W1P2	3.40	3.27	2.53	1.97	1.33	0.60	0.10	---	---	---	0.099	
V2W2P2	3.73	3.40	2.87	2.33	1.63	0.80	0.20	---	---	---	0.112	
V2W3P2	3.37	2.90	2.37	1.67	1.03	0.40	0.07	---	---	---	0.100	
V3W1P2	3.03	2.77	2.23	1.60	0.97	0.23	---	---	---	---	0.101	0.084
V3W2P2	2.40	2.17	1.53	1.03	0.47	0.13	---	---	---	---	0.084	
V3W3P2	1.70	1.30	0.37	---	---	---	---	---	---	---	0.111	

Table 4. Bond strength of the 27 mix designs under freezing and thawing cycles (in MPa)

شکل ۳. مقاومت پیوستگی لایه تعمیری بدون الیاف به بتن بستر تحت سیکل های یخ و ذوب

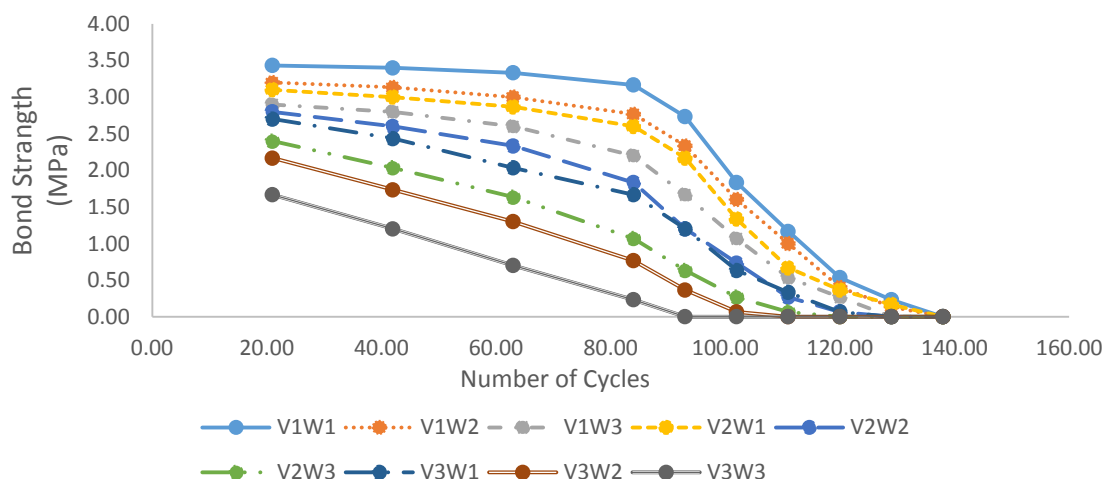


Fig. 3. Bond strength of repair layer without fibers to substrate concrete under freezing and thawing cycles

شکل ۴. مقاومت پیوستگی لایه تعمیری دارای ۰/۱ درصد الیاف به بتن بستر تحت سیکل های یخ و ذوب

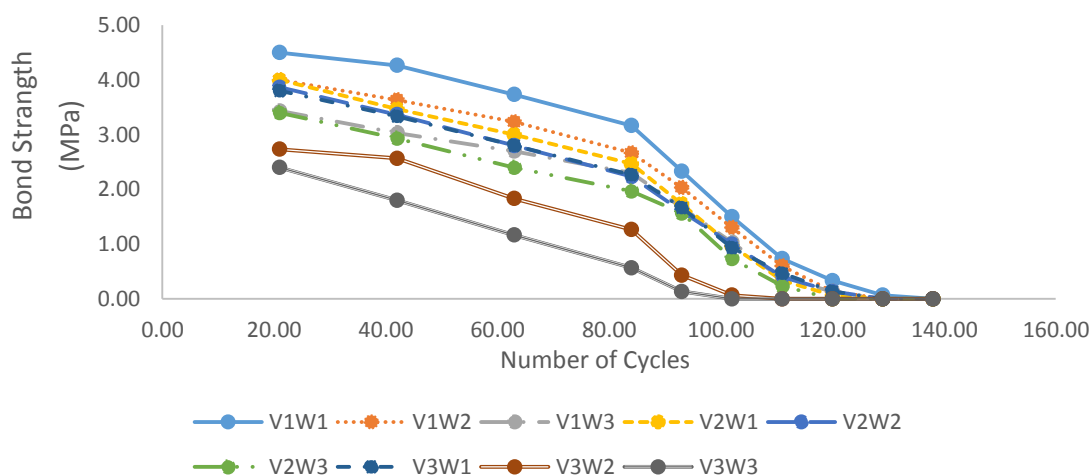


Fig. 4. Bond strength of repair layer containing 0.1% fibers to substrate concrete under freezing and thawing cycles

شکل ۵- مقاومت پیوستگی لایه تعمیری دارای ۰/۲ درصد الیاف به بتن بستر تحت سیکل های یخ و ذوب

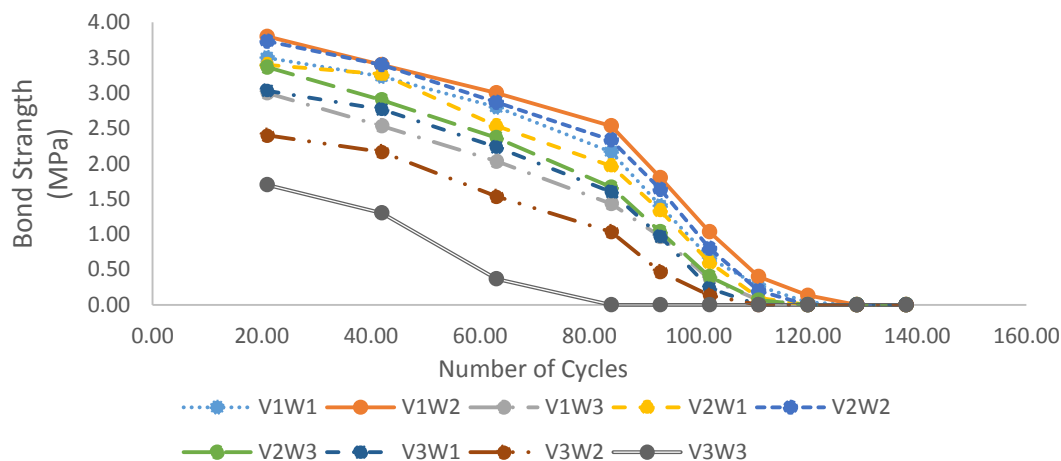


Fig 5- Bond strength of repair layer containing 0.2% fibers to substrate concrete under freezing and thawing cycles

این آزمایش بر اساس ASTM C666 به صورت یخزدگی و ذوب یخ هر دو در آب انجام شده است. دقت شود که با افزایش تعداد چرخه‌ها، قرائت‌ها در بازه زمانی کمتری انجام شده‌اند تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. در شکل‌های (۳ تا ۵) اعداد جدول به صورت نمودار نشان داده شده‌اند، از مقاومت پیوستگی اولیه (پیش از آغاز چرخه) تا از دست دادن کامل مقاومت مشاهده می‌شود که در حدود از چرخه ۳۹ام، شیب نزول مقاومت پیوستگی بیشتر می‌شود. بدترین طرح، طرح V3W3 و بهترین طرح V1W1 است.

با وجود مقاومت پیوستگی اولیه بالاتر، شاهد هستیم که طرح‌های دارای الیاف سریعتر از نمونه‌های بدون الیاف، دچار افت در مقاومت پیوستگی لایه ترمیمی به بتن بستر می‌شوند. علت آن را می‌توان با جمع شدن حباب‌های هوا در اطراف الیاف و پر شدن این حباب‌ها با آب در چرخه یخزدگی و ذوب اشاره کرد. این اتفاق منجر به صدمه بیشتر بتن در چرخه‌ها شده بنابراین مقاومت پیوستگی با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. در جدول (۴) شاخص سرعت جداشدگی لایه ترمیمی از بتن بستر تحت چرخه‌های یخ-زدگی و ذوب که به صورت معادله (۱) محاسبه شده آورده شده است.

$$DR = \frac{B_0}{n} \quad (1)$$

در این رابطه DR شاخص سرعت جداشدگی لایه ترمیمی از بتن بستر، B_0 مقاومت پیوستگی اولیه (پیش از شروع چرخه) و n تعداد چرخه‌های لازم تا صفر شدن مقاومت پیوستگی است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، سرعت کاهش مقاومت پیوستگی در نمونه‌های دارای الیاف بیشتر است که علت آن پیش‌تر توضیح داده شد. ولی اینکه در طرح‌های دارای ۰/۱٪ الیاف، این شاخص بزرگتر است را می‌توان به مقاومت پیوستگی اولیه بالای این نمونه‌ها مرتبط دانست.

۴- نتیجه‌گیری

۱. با اضافه کردن و افزایش مقدار الیاف، جریان اسلامپ و سرعت جریان یافتن بتن که در آزمایش T50 متلبور است کاهش می‌یابد و هرچه مقدار خمیره و نسبت آب به مصالح سیمانی در بتن بیشتر شود، اثر کاهشی الیاف نیز بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش مقدار الیاف از صفر به ۰/۱٪ و از ۰/۱٪ به ۰/۲٪، زمان تخلیه قیف

۷ افزایش می‌یابد. با تغییر مقدار الیاف از ۰/۱٪ به ۰/۲٪، میزان افزایش زمان تخلیه قیف ۷، ۲/۷۷ برابر می‌شود. با افزایش مقدار الیاف از صفر به ۰/۱٪ و از ۰/۱٪ به ۰/۲٪، نسبت انسداد کاهش می‌یابد. با تغییر الیاف از ۰/۱ به ۰/۲ درصد میزان کاهش نسبت انسداد در آزمون جعبه L، ۲/۰۱ برابر می‌شود.

۲. افزودن الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی بتن شده است. به طور میانگین با افزودن ۰/۱٪ الیاف ۱۴/۵۳٪ افزایش و با افزودن ۰/۲٪ الیاف، شاهد ۷/۲۴٪ افزایش در مقاومت کششی بوده ایم.

۳. افزودن الیاف باعث افزایش مدول الاستیسیته بتن می‌شود. این افزایش برای ۰/۱٪ الیاف برابر ۹/۴۳٪ و برای ۰/۲٪ الیاف برابر ۷/۶۵٪ است که نشانگر نتایج بهتر نمونه‌های حاوی ۰/۱٪ الیاف است.

۴. با افزودن الیاف، مقدار جمع‌شدگی کاهش می‌یابد. به طور میانگین افزودن ۰/۱٪ الیاف باعث کاهش جمع‌شدگی به میزان ۴/۷۰٪ و افزودن ۰/۲٪ الیاف باعث کاهش جمع‌شدگی به میزان ۲/۵۳٪ شده است.

۵. با افزودن ۰/۱٪ الیاف، مقاومت پیوستگی ۳۵/۷۷٪ و با افزودن ۰/۲٪ الیاف، مقاومت پیوستگی ۱۴/۹۹٪ افزایش داشته است.

۶. با افزایش نسبت آب به مصالح سیمانی و نیز افزایش حجم خمیره، کاهش مقاومت پیوستگی لایه ترمیمی به بتن بستر اتفاق می‌افتد.

۷. در آزمون بررسی دوام پیوستگی بین دو لایه تحت چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب، از چرخه ۳۹ام، شیب نزول مقاومت پیوستگی بیشتر می‌شود.

۸. وجود الیاف، باعث افت دوام مقاومت پیوستگی بین دو لایه بتنی در برابر چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب شده است و نمونه‌های دارای الیاف، سریعتر از نمونه‌های بدون الیاف دچار افت مقاومت پیوستگی شدند.

References

۵- منابع

- [1] Ramzanianpoor, Ali Akbar, Shahnazari, Mohammad reza, "Concrete Technology", Elmosanat Publication, 1369, page 435[in Persian].
- [2] Peter J. T. Morris, "Polymer Pioneers: A Popular History of the Science and Technology of Large Molecules", Chemical Heritage Foundation, 2005, p. 76. ISBN 0-941901-03-3.

- [10] W.Hansen, J.A. Almudaiheem, "Ultimate drying shrinkage of concrete – influence of major parameters", ACI Mater. J., 84, 1987, 217-223
- [11] O. Challal, B. Benmokrane, G. Ballavy, "Drying shrinkage strains: experimental versus codes, ACI Mater. J., 89, 1992, 263-266
- [12] ACI committee 209, "Prediction of creep, Shrinkage and temperature effects in concrete structures, designing for creep and shrinkage in concrete structures", SP-76, American concrete institute, Detroit, 1982, 193-300
- [13] Euro-Internationnale du beton, "Model code for concrete structures", Paris, 1978.
- [14] V. Baroghel-Bouny, M. Mainguy, T. Lassabatere, O. Coussy, "Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials", Cement and concrete research, 29, 1999, 1225-1238.
- [15] Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method), vol 04. 02
- [16] ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates, 2005.
- [17] ASTM, C 666/C 666M, "Standard test method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing", 2008.
- [3] Bentur A., and Mindess S., Fiber Reinforced Cementitious Composites. 2th ed. Landon and New York, Taylor & Francis, Essex,UK, 2007, p.11-235.
- [4] Sadrmomtazi, Ali, "Self-Compacting Concrete", University of Guilan Publication, 1392[in Persian].
- [5] Murat, Tuyan, Mardani-Aghabaglou, Ali, Kambiz, Ramyar, "Freeze–thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate", Materials & Design Volume 53, January 2014, Pages 983–991.
- [6] Mardani-Aghabaglou, Ali, Andic-Cakir, Ozge, Ramyar, Kambiz, "Freeze–thaw resistance and transport properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method", Cement and Concrete Composites Volume 37, March 2013, Pages 259–266.
- [7] Yazici, Halit, "The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete", Construction and Building Materials Volume 22, Issue 4, April 2008, Pages 456–462.
- [8] Dawei Zhang, Tamon Ueda, Hitoshi Furuuchi, "Average crack spacing of overlay-strengthened RC beams", Journal of materials in civil engineering, ASCE, October 2011
- [9] N. Banthia, R. Gupta, S. Mindess, "Development of fiber reinforced concrete repair materials", Can. J. Civ. Eng., 33, 2006, 126-133

Study of effect of freezing and thawing cycles on bonding between fiber-reinforced self-compacting concrete with different water to cementitious ratios and paste volume as a repair layer and concrete substrate

Ali SadrMomtazi^{1*}, Oveys Ghodousian²

1- Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Ph.D Candidate, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

* alisadrmomtazi@yahoo.com

Abstract

Self-compacting concrete as a type of concrete that has no need to vibration can use for complicated frameworks and in conditions that compaction is hard. So this concrete is an excellent choice for repair and retrofitting of many kinds of concrete structures such as marine structures, bridges and so on. These concrete structures may be under aggressive environmental conditions and harmful agents. One of the most important damages of concrete structures is because of freezing and thawing cycles especially in exposed ones, like bridge's decks. So, study of effect of different parameters on quality of self-compacting repair layer, its bonding to substrate and its durability under chemical and physical attacks is very important. In this study, effect of paste volume, water to cementitious materials and polypropylene fiber dosages in mix design on rheological, hardened properties and bonding of repair fiber-reinforced self-compacting concrete (FRSCC) to concrete substrate and its durability for freezing and thawing cycles has been assessed. Bonding between FRSCC as a repair layer and concrete substrate had been evaluate using pull-off test. The tests that failed exactly from the bond surface considered as a successful ones, and all tests that failure had been occurred in repair layer or concrete substrate is eliminated from the results. Freezing and thawing test was conducted according to ASTM C666. Both freezing and thawing processes were made in water. To assessment of bonding of FRSCC as a repair layer to concrete substrate, we made 15 cm cubes of substrate layer with compressive strength more than 50 MPa to ensure that the failure doesn't occur in this layer while pull-off test. After six months (to have concrete substrate without shrinkage), we saw the cubes divided them to 3 pieces. With analyzing of effects of fiber dosages on rheological properties of the mix designs, we found that an increase in fiber percentage that leads to smaller diameter in slump flow test, higher flow time in T50 test, higher time in V-Funnel test, and lower ratio in L-Box test. Also, while compressive strength had no significant changes, tensile strength and modulus of elasticity experienced a big increase through adding polypropylene fibers. Shrinkage of repair layer had a great decrease after adding polypropylene fibers. The optimum dosage of polypropylene fibers for hardened properties of the mix designs was found 0.1% by volume. We can see that because of the positive effect of fibers on decreasing of shrinkage and increasing of tensile strength of repair layers, bonding between the repair layer and concrete substrate increased greatly especially by adding 0.1% polypropylene fibers (by volume). Also, increase of paste volume and water to cementitious materials (summation of cement and micro silica) had negative effect on bonding of repair layer to substrate. That is because of increase of shrinkage of repair layer. Although, adding polypropylene fibers improved bonding of repair layer and substrate in freezing and thawing cycles, we see smaller results for bonding. We defined debonding index (DI) that presents the rate of debonding during freezing and thawing cycles. Higher DI, higher rate of debonding. As we can see, for mixes that containing polypropylene fibers, DI is bigger in comparison with the ones without them.

Key word: repair fiber-reinforced self-compacting concrete, bonding, freezing and thawing cycles, paste volume, water to cementitious materials