

ارزیابی مقاومت فشاری و دوام بتن الیافی حاوی ماده الیاف پلی پروپیلن، پلی کربوکسیلات اتر و E207

محمدرضا پیریائی^۱، مهدی کماسی^{۲*}

- ۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد یزد
- ۲- دانشیار، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی

komasi@abru.ac.ir

تاریخ پذیرش ۹۹/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت ۹۹/۰۹/۰۸

چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری در زمینه ویژگیهای مکانیکی و دوام بتن‌های الیافی انجام شده است. این نوع بتن‌ها در مقاوم‌سازی و ترمیم سازه‌های بلند مرتبه استفاده می‌شوند. در این پژوهش، تأثیر اختلاط بتن‌های الیافی با میزان ۱ تا ۶ درصد مواد افزودنی شامل ماده E207 و ماده پلی کربوکسیلات اتر به طور جداگانه با الیاف پلی پروپیلن با استفاده از آزمایش‌های دوام شامل آزمایش‌های جذب آب حجمی، مقاومت ویژه الکتریکی، نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) و همچنین مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، برای مطالعه ریزساختار خمیر سیمان حاوی الیاف پلی پروپیلن و مواد افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و افزودنی E207 از آزمایش‌های طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس (XRD)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آزمون ترکیب شیمیایی به روش XRF استفاده شده است. نتایج بدست آمده پژوهش نشان می‌دهد که اضافه کردن افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و الیاف پلی پروپیلن (نمونه A)، نفوذ پذیری کلرید در بتن را ۵۱٪ و اضافه کردن افزودنی E207 و الیاف پلی پروپیلن (نمونه B) ۳۵٪ نفوذ پذیری کلرید در بتن را نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است از سویی با اضافه کردن افزودنی‌های A و B در طرح اختلاط، جذب آب بتن در نمونه‌های A به مقدار ۲۷٪ و در نمونه‌های B، ۲۱٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت همچنین مقاومت ویژه الکتریکی در نمونه‌های A، ۲۱۳٪ و در نمونه‌های B، ۲۶۸٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. مقاومت فشاری در نمونه‌های A نسبت به نمونه شاهد در سن ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۳۸٪ و ۳۹٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. با توجه به نتایج ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که دوام و مقاومت فشاری بتن الیافی مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن با افزودن مواد افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و ماده E207 به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دوام، مقاومت الکتریکی، پلی کربوکسیلات اتر، نفوذ تسریع شده یون کلر، E207

۱. مقدمه

ساختار بتن استفاده شده است [1]. در این زمینه به منظور بهبود ویژگی‌های عملکرد و مهندسی بتن، از الیاف و پلیمر بهره‌گیری شده است زیرا این مواد از مقاومت شیمیایی بالایی در برابر اسیدهای معدنی و نمک‌های معدنی برخوردار هستند، بنابراین می‌توان از آنها برای بهبود ویژگی‌های دوام بتن استفاده

با توجه به اینکه اجزا بتنی همواره در معرض شرایط مختلف آب و هوایی قرار دارند، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و بهبود دوام آنها از اهمیت بالایی برخوردار است همچنین در ۲۵ سال گذشته به طور گسترده از پلیمرها و الیاف‌های مختلفی در

نمود [2]. امروزه بتن پلیمری به دلیل داشتن خاصیت عملکردی مانند استحکام بالا، مقاومت در برابر عوامل خوردنده، مقاومت در برابر یخ زدگی، رفتار سایشی خوب، سخت شدن سریع، کاربرد گسترده‌ای دارد [3 و 4]. نکته مهم در حفظ دوام سازه‌های بتنی، طراحی متناسب با محیط برای دستیابی به عمر سرویس-دهی مورد انتظار و طولانی است [5]. در این راستا مطالعه دوام بتن، از جمله تأثیر نفوذ کلرید، به لحاظ صرفه‌جویی در هزینه‌ها برای سرویس‌دهی، نگهداری و افزایش طول عمر مفید آن اهمیت زیادی دارد. از این رو مطالعاتی در خصوص مدل‌های پیش‌بینی رفتار طولانی مدت بتن در عملکرد کلریدها صورت پذیرفته است [6]. همچنین دیگر پارامترهای بتن از جمله کارایی و دوام مانند مقاومت در برابر یخ زدگی، خاصیت انقباض و افزودنی‌های شیمیایی که امکان ساخت بتن‌های ویژه مانند بتن با روانی بالا و بتن با استحکام بالا را فراهم می‌کنند نیاز به انجام پژوهش گسترده‌ای دارند [7]. از این رو برای دستیابی به بتن با دوام و مقاومت بالا آزمایش‌هایی طراحی و انجام شده است. به عنوان نمونه مقاومت الکتریکی به عنوان نسبت بین ولتاژ مورد استفاده و جریان الکتریکی که از طریق یک نمونه جریان می‌یابد به عنوان مقاومت مواد در برابر عبور جریان الکتریکی تعریف می‌شود. دانستن این نکته مهم است که چگونه بتن در مقابل عبور جریان الکتریکی مقاومت می‌کند زیرا می‌تواند به تعیین خطر خوردگی آرماتور کمک کند [8]. پژوهش‌های اخیر بین مقاومت الکتریکی و انتشار کلرید در بتن رابطه وجود دارد که این رابطه یک پارامتر کنترل‌کننده بوده و توسط آن می‌توان زمان لازم برای انتشار یون‌های کلر در بتن را مشخص کرد و در نتیجه زمان و آستانه بحرانی شروع خوردگی بتن به وسیله یون کلر را تعیین نمود. به طور معمول، این زمان می‌تواند از طریق آزمایش تسریع شده انتقال یون کلرید (RCMT)¹ و آزمون نفوذ تسریع شده کلرید (RCPT)² اندازه‌گیری شود [9]. افروغ ثابت و ازبک اوغلو در پژوهشی روی خواص مکانیکی و دوام بتن با استحکام بالا حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن به این نتیجه رسیدند که افزودن الیاف پلی پروپیلن موجب محدود کردن گسترش ترک‌ها و کاهش میزان تمرکز تنش در لبه ترک‌ها می

شود که رشد ترک را به تأخیر می‌اندازد و باعث افزایش خواص مکانیکی بتن می‌شود. همچنین افزودن الیاف پروپیلن به بتن موجب افزایش تخلخل در نمونه‌های بتنی، کاهش در مقاومت ویژه الکتریکی و همچنین جذب آب بتن می‌شود [10]. همچنین کاکویی و همکاران در بررسی هم‌زمان دوام و مقاومت بتن، در پژوهشی تجربی در مورد تأثیر الیاف پروپیلن بر خواص بتن مسلح، دریافتند که افزودن الیاف پلی پروپیلن به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری بتن، کاهش نفوذپذیری و کاهش میزان انقباض بتن می‌شود که به طور قابل توجهی باعث کند شدن و تاخیر در روند فرآیند تخریب بتن می‌شود و در افزایش طول عمر بتن تأثیرگذار است [11]. در راستای این پژوهش رمضانیان پور و همکاران، در یک پژوهش با اضافه کردن الیاف پلی پروپیلن به نمونه‌های بتن به دو نتیجه مهم رسیدند نخست اینکه افزودن پلی پروپیلن به بتن باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها، افزایش مقاومت در برابر نفوذ کلرید و خوردگی بتن می‌شود. دوم اینکه افزودن پروپیلن به بتن به مقدار حداکثر یک کیلوگرم در مترمکعب باعث کاهش جذب آب بتن می‌شود، اما افزودن الیاف پروپیلن بیش از یک کیلوگرم در متر مکعب جذب آب را افزایش می‌دهد [12]. از دیگر مهمترین فاکتورهای مهم دوام بتن آزمون جذب آب حجمی است، بتن در این آزمون در بسیاری از محیط‌های تهاجمی قرار می‌گیرد و نفوذپذیری آن آزمایش می‌شود زیرا نفوذپذیر بودن بتن از مهمترین عوامل کاهش دوام بتن است [13]. در این راستا آزمایش‌هایی برای شناسایی مفهوم دوام بتن به روش غوطه‌وری تدوین شده است، به عنوان نمونه، آزمون جذب حجمی به روش غوطه‌وری بیشتر به تخلخل کل بتن بستگی دارد و با انجام این آزمایش به مقدار حجم کل تخلخل موجود در بتن که در ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن بسیار موثر است می‌توان دست یافت. بنابراین، شایسته است به طور هم‌زمان بیشتر عوامل مؤثر در شناخت و کاهش منافذ بتن که آثار زیادی در نفوذپذیری بتن دارد و در بیشتر مطالعات قبلی مورد غفلت واقع در نظر گرفته شود [14 و 15]. آزمایش‌های نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) و جذب آب عوامل خوبی در ارزیابی دوام بتن هستند. علاوه بر

1. Rapid Chloride Migration Test

2. Rapid Chloride Penetration Test

جدول ۱. آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط بتن

Chemical substance	Result %	Chemical substance	Result %
Na ₂ O	0.11	MgO	1.6
SO ₃	0.3	C ₃ A	6.8
Fe ₂ O ₃	3.7	L.O.I	1.6
SiO ₂	21	K ₂ O	0.8
Al ₂ O ₃	4.8	CaO	62.8

Table 3. Chemical analysis of cement in concrete mixture

۲-۱- ماده افزودنی پلی پروپیلن

پلی پروپیلن ترکیبی از پلیمر ترموپلاستیک ساخته شده و ترکیبی از مونومرهای پروپیلن و قابل بازیافت است که قابلیت ضربه بالاتری نسبت به میلگرد دارد و مهمترین اثر آن کاهش ترک در بتن است. مشخصات فنی این ماده در جدول (۲) نشان داده شده است [19].

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی الیاف پلی پروپیلن

Water Absorption	Tensile strength (MPa)	Diameter (μ m)	Density (kg/dm ³)	Properties
0	400	22	0.91	Domain

Table 2. (Physical and chemical Properties of Poly propylen)

۲-۲- ماده افزودنی پلی کربوکسیلات اتر

ماده افزودنی پلی کربوکسیلات اتر با نام تجاری SPCR Plastite که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته یک ابر روان کننده قوی با رنگ ظاهری قهوه‌ای روشن، حجم ۱/۱۱ گرم در سانتی متر مکعب در دمای ۲۰° و درجه انجماد ۳-° است. این افزودنی در بتن با نسبت آب به سیمان بالای ۰/۴ در هوای گرم مناسب است و با استاندارد ASTM C494 هماهنگی دارد [20]. ساختار شیمیایی افزودنی پلی کربوکسیلات اتر در شکل (۱) نشان داده شده است.

این، مشخص شده است که اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در مراحل اولیه هیدراتاسیون سیمان می‌تواند مبنای مناسبی برای پیش‌بینی رفتار طولانی‌مدت بتن باشد [16]. همچنین در پژوهشی توسط رحمتی و همکاران با اضافه کردن افزودنی پلی کربوکسیلات اتر به بتن نفوذ پذیری یون کلرید و نفوذ پذیری آب کاهش و مقاومت الکتریکی در بتن افزایش یافت [35]. عملکرد بهینه اعضای بتنی در تمام طول عمر سازه بسیار مهم است. افزایش بار یا نفوذ کلرید می‌تواند خطر زوال شدید بتن را ایجاد کرده و طول عمر سازه‌های بتنی را کاهش دهد. اگر مخلوط بتن در برابر یخ‌زدایی و ذوب، نفوذ کربنات و مقاومت در برابر کلرید از دوام خوبی برخوردار باشد، سازه‌های بتنی می‌توانند در محیط‌های اطراف خود دوام طولانی داشته باشند [10].

۲. مصالح ساخت

مصالحی که در این پژوهش استفاده شدند شامل: سیمان پرتلند نوع II شهرستان دورود لرستان براساس ASTM C 150 [18]، سنگدانه درشت شکسته با بیشترین اندازه ۱۹ میلی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۴، ماسه طبیعی با وزن مخصوص ۲/۵۸ و مدول نرمی ۳ هستند. به منظور بررسی ریز ساختار اجزای تشکیل دهنده مواد سیمانی استفاده در این پژوهش، آزمایش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مواد (سیمان، الیاف پلی پروپیلن و افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و ماده E207) در محل آزمایشگاه رازی تهران انجام شد. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن با استفاده از آزمون جذب آب، مقاومت فشاری، مقاومت ویژه الکتریکی و آزمایش RCPT بتن الیافی با الیاف پلی پروپیلن، پلی کربوکسیلات اتر و ماده E207 با درصد‌های مختلف است. اکسیدهای سیمان در جدول (۱) آورده شده است.

۰/۴۵، سیمان مصرفی ۳۷۷ کیلوگرم در هر متر مکعب، وزن شن ۹۵۰، ماسه ۹۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و مقدار آب برای طرح اختلاط نمونه B ۱۷۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بوده است. جدول ۴. طرح اختلاط نمونه‌های A حاوی ماده افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر

Sample	Carboxylate ether (kg/m ³)	Poly propylen (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
Control	0	0	170
A ₀	0	0.6	170
A ₁	3.77	0.6	166.23
A ₂	7.5	0.6	162.5
A ₃	11.31	0.6	158.79
A ₄	15	0.6	155
A ₅	18.85	0.6	151.15

Table 4. Mix design of samples A using polycarboxylate ether additive

جدول ۵. طرح اختلاط نمونه‌های B حاوی ماده افزودنی E207

Sample	E207 (kg/m ³)	Poly propylen (kg/m ³)
Control	0	0
B ₀	0	0.6
B ₁	3.77	0.6
B ₂	7.50	0.6
B ₃	11.31	0.6
B ₄	15.00	0.6
B ₅	18.85	0.6
B ₆	22.62	0.6

Table 5. Mix design of samples B using E207 additive

۵. روش پژوهش

۵-۱- آزمون نفوذ تسریع شده کلرید (RCPT) مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و قطر ۱۰۰ برابر حمله نمک با آزمون نفوذ تسریع شده کلرید (RCPT) در سن ۲۸ روز نمونه‌ها، بر اساس ASTM C-1202 اندازه‌گیری می‌شود. (شکل ۳) [21 و 22]. میزان بار کامل برای ارزیابی بتن با

شکل ۱. ساختار شیمیایی فوق‌روان‌کننده پلی‌کربوکسیلات اتر

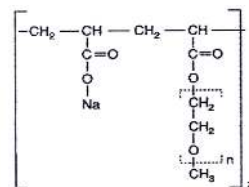


Fig. 1. Chemical structure of polycarboxylate ether superplasticizer (36)

۳-۲- ماده افزودنی E207

کوپلیمر امولسیون سری هاوکر 207 مبتنی بر استایرن اکریلیک استرن و بدون نرم‌کننده حلال و یک کوپلیمر آبگریز است که مشخصات فنی این ماده در جدول (۳) آورده شده است. همچنین تصویر مصالح مورد استفاده در پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۳. مشخصات فنی ماده افزودنی E207

Solid Percent %	visquity (c. poise)	Particle size(μm)	PH	ion
49±1	1000-4000	0.1	8-9	Anion

Table 3. Technical specification of additive E207

شکل ۲. الف- افزودنی E207 ب- الیاف پلی‌پروپیلن پ- پلی‌کربوکسیلات اتر



Fig. 2. E207 polypropylen polycarboxylate ether

۳. طرح اختلاط بتن

طرح اختلاط پژوهش شامل ساخت دو دسته نمونه‌های بتنی که هر کدام ۸ طرح اختلاط جداگانه هستند. متغیرهای کد شده مخلوط بتن A که در جدول (۴) نشان داده شده است شامل: A₀, A₁, ..., A₅ و A₆ است که اندیس‌ها بیانگر درصد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر بر حسب وزن سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط بتن است همچنین متغیرهای کدگذاری شده نمونه‌های بتن B که در جدول (۵) نشان داده شده است شامل: B₀, B₁, ..., B₅ و B₆ است که اندیس‌ها بیانگر درصد افزودنی ماده E207 بر حسب وزن سیمان مورد استفاده در اختلاط بتن است. ضمن اینکه برای هر دو طرح اختلاط مقدار آب به سیمان

توجه به معیارهای مندرج در جدول (۶) مورد استفاده قرار می-گیرد. کل بار الکتریکی عبور داده شده از نمونه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$A = 100 \times \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، A جذب غوطه‌وری (برحسب درصد)، M_{sat} جرم نمونه اشباع (برحسب گرم) و M_s جرم نمونه خشک شده در گرمخانه (برحسب گرم) است [25].

۵-۳- آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی (ER)^۱

در این آزمایش از نمونه‌های مکعبی به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر استفاده شده است. یک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی که دارای دو صفحه مسی است برای آزمایش استفاده می‌شود. در این آزمایش نمونه‌ها صفحات مسی قرار می‌گیرد سپس دو سمت نمونه به خمیر سیمان آغشته می‌شود تا اتصال الکتریکی بین نمونه و صفحه مسی برقرار شود مقاومت الکتریکی محاسبه می‌شود (شکل ۴). در این راستا از رابطه (۳) برای محاسبه مقاومت الکتریکی نمونه استفاده می‌شود.

$$p = Z \times \left(\frac{A}{L} \right) \quad (3)$$

در رابطه (۳)، p مقاومت ویژه الکتریکی (اهم-متر)، Z مقاومت الکتریکی اهم (Ω)، A سطح مقطع عمود بر جریان (مترمربع) و L ارتفاع نمونه (متر) است. لازم به توضیح است که این آزمایش غیرمخرب و بسیار کوتاه مدت است [26].
آزمون مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

شکل ۴. آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های A و B



Fig. 4. Electrical resistance test

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + \dots + 2I_{360}) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Q بار الکتریکی کولمب (C)، I_0 جریان الکتریکی برحسب میلی‌آمپر بلافاصله پس از اعمال ولتاژ است و این جریان الکتریکی در دقایقی پس از اعمال ولتاژ یا جریان متوسط جریان از طریق یک سلول محاسبه می‌شود در نتیجه: $I_0, I_{30}, \dots, I_{60}, I_{330}, I_{360}$ میزان ولتاژ عبوری در نمونه‌های بتن است که توسط دستگاه آزمایش اندازه‌گیری شده و اندیس‌ها بیانگر زمان اندازه‌گیری ولتاژ بر حسب دقیقه هستند.

شکل ۳. آزمون RCPT براساس استاندارد ASTM C1202



Fig 3. RCPT test according to ASTM C1202 standard

جدول ۶. طبقه‌بندی نفوذپذیری در مقابل یون کلر بر اساس استاندارد ASTM C 1202

RCPT	Charch Passive (C)
High	>4000
Middle	2000-4000
low	1000-2000
Very low	100-1000
ignore	<100

Table 6. Chloride penetration according to ASTM C 1202 standard

۵-۲- آزمون جذب آب حجمی

آزمون جذب آب حجمی نمونه‌ها با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ بر اساس استاندارد ASTM C 642 به روش غوطه‌وری از مخلوط‌های بتنی در سن ۲۸ روز تعیین شد [23 و 24].

بر اساس استاندارد ASTM C 1202 انجام گرفت. نتایج بدست آمده در این آزمون در شکل (۶) به تصویر کشیده شده است. با توجه به نتایج شکل (۶)، استفاده از مواد افزودنی در بتن از حرکت یون کلر در نمونه جلوگیری کرده و بطور قابل توجهی مقاومت نمونه‌ها در برابر نفوذ یون‌های کلر را از حالت نفوذ پذیری شدید به متوسط افزایش داده است. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است نتایج دارای روند کاهشی است. برای نمونه‌های A شار عبوری در نمونه شاهد ۵۴۰۰ کولمب، در نمونه A با ۴٪ افزودنی ۳۷۰۰ کولمب و همچنین مقدار شار عبوری در نمونه A با ۶٪ افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۷۰۰ کولمب بوده است به طوری که طبق نتایج، افزودنی الیاف پلی پروپیلن و پلی‌کربوکسیلات اتر به مقدار ۶٪ نفوذپذیری یون کلر را ۵۱٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است، همچنین در نمونه‌های B شار عبوری در نمونه شاهد ۶۰۰۰ کولمب، در نمونه B با ۴٪ افزودنی E205، ۴۱۰۰ کولمب و همچنین مقدار شار عبوری در نمونه B با ۶٪ ماده E207، ۳۹۰۰ کولمب بوده است. براساس نتایج آزمایش نمونه B حاوی الیاف پلی پروپیلن و ۶٪ ماده افزودنی E207، نفوذ تسریع شده یون کلر در بتن را بر اساس آزمایش بالا ۳۵٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است. همچنین بر اساس شکل (۶) میزان افزایش مقاومت نمونه پلی‌کربوکسیلات اتر و پلی پروپیلن در برابر نفوذ یون کلر تا افزودنی به مقدار ۶٪ روند منظم و یکسان افزایشی داشته است در صورتی که نمونه حاوی افزودنی E207 و پلی پروپیلن تا مقدار افزودنی ۴٪ روند افزایشی منظمی داشته اما از ۴٪ تا ۶٪ رشد تغییرات کمتری داشته است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که با اضافه کردن مواد افزودنی برابر طرح اختلاط در نمونه‌های A و B کاهش یافته است که نفوذپذیری یون کلر در نمونه‌های بتنی حاوی افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و پلی پروپیلن نسبت به نمونه های بتنی حاوی ماده E207 و پروپیلن کمتر است.

۵-۴- آزمون مقاومت فشاری تک محوره

این آزمایش با هدف تعیین مقاومت فشاری (f'_c) بر اساس استاندارد ASTM C109 روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر در سن ۷ و ۲۸ روزه انجام شد [27]. آزمون مقاومت فشاری نمونه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ۵. آزمون مقاومت فشاری برابر استاندارد ASTM C109



Fig. 5. Compressive strength test according to ASTM C 109 standard

۵-۵- آزمون طیف‌سنجی تفرق اشعه X (XRD)، میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM)، تعیین ترکیب شیمیایی به روش XRF

به منظور تخمین فعالیت مواد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E205 از آزمایش تفرق اشعه X بر اساس استاندارد BS EN 13925-2 انجام شد [28]. عکس میکروسکوپ الکترونی (SEM) روی خمیر سیمان سه طرح شامل، طرح شاهد، طرح حاوی ماده افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و نمونه حاوی ماده E205 انجام شد [29]. همچنین برای تعیین بررسی ساختار عناصر موجود در نمونه‌ها از آزمایش XRF بر اساس استاندارد ASTM E1621(2013) استفاده شده است [30].

۶. نتایج، تجزیه تحلیل

۶-۱- نتایج آزمون نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)

این آزمون برای ارزیابی توانایی بتن در مقاومت در برابر نفوذ کلرید استفاده می‌شود و نسبت به سایر آزمون‌ها سریع و ارزان‌تر است [31]. آزمون RCPT روی نمونه‌های استوانه‌ای ۲۸ روزه

۲۷٪ جذب آب نمونه‌های بتنی کاهش یافته است که بیشترین کاهش جذب آب مربوط به طرح اختلاط ۶٪ پلی‌کربوکسیلات اتر و الیاف پلی‌پروپیلن است.

جدول ۸. مقدار جذب آب برای نمونه‌های طرح اختلاط B

Sample	Water Absorption %	Loss Water (g)	Final weight (g)	Weight (SSD)
Control	8	168	2099	2261
B ₀	7.60	160	2090	2256
B ₁	7.60	161	2089	2250
B ₂	7.50	162	2081	2243
B ₃	7.40	156	2084	2240
B ₄	7.30	151	2087	2238
B ₅	7.25	145	2094	2239
B ₆	7	141	2092	2237

Table 8. Water absorption for mix of samples B

در نمونه‌های B نیز برابر جدول (۸) با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به میزان ۴٪ جذب آب نمونه‌ها کاهش یافته است. در ادامه با افزودن ۲٪ ماده E207 به میزان ۵٪، اضافه کردن ۲٪ و ۴٪ ماده افزودنی E205 به ترتیب ۶٪ و ۹٪، همچنین افزودن ۶٪ ماده E207 به طرح اختلاط بتن ۲۱٪ جذب آب بتن را نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است. با توجه به نتایج جدول (۷ و ۸) و توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن الیاف پلی‌پروپیلن با افزودنی‌های پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده E207 باعث کاهش تخلخل در نمونه‌های بتنی، کاهش جذب آب و موجب افزایش دوام بتن می‌شود. با این تفاوت که تاثیر کربوکسیلات اتر در کاهش جذب آب در نمونه‌های بتنی بیشتر از ماده افزودنی E207 بوده است. با توجه این که استفاده از مواد افزودنی و الیاف پروپیلن جذب آب را کاهش می‌دهد علت این امر می‌تواند کاهش عرض ترک [32] و بوجود آمدن ریز ترک به جای ترک‌ها یا افزایش فاصله ترک‌ها باشد [33 و 34].

۳-۶- نتایج آزمون مقاومت ویژه الکتریکی

نتایج آزمون مقاومت ویژه الکتریکی روی نمونه‌های A در شکل (۷) نشان داده شده است.

شکل ۶. نتایج آزمون RCPT نمونه‌های طرح اختلاط A و B

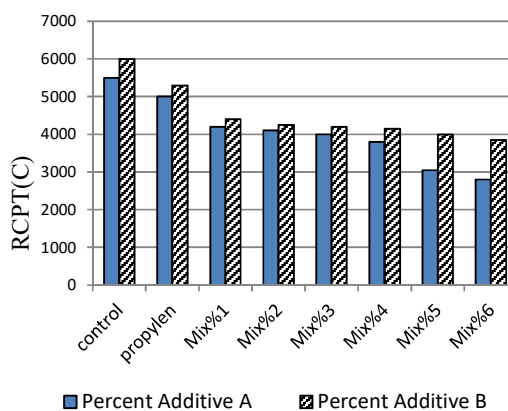


Fig. 6. RCPT test results for mix design of A and B.

۲-۶- نتایج آزمون جذب آب حجمی

این آزمون روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر در سن ۲۸ روز انجام شد میزان جذب آب نمونه‌ها در جداول (۸ و ۷) نشان داده شده است.

جدول ۷. جذب آب نمونه‌های طرح اختلاط A

Sample	Water absorption %	Loss water (g)	Final weight (g)	Weight (SSD)
Control	7.70	177	2113	2290
A ₀	7.30	162	2097	2259
A ₁	7.10	162	2133	22295
A ₂	6	132	2189	2321
A ₃	5.90	136	2172	2308
A ₄	5.80	126	2193	2319
A ₅	5.75	131	2169	2300
A ₆	5.60	123	2180	2303

Table 8. Water absorption for mix design samples A

با توجه به نتایج جدول (۷) اضافه کردن مواد افزودنی به بتن به صورت یک روند منظم، جذب آب نمونه‌ها را کاهش می‌دهد. افزودن الیاف پلی‌پروپیلن میزان جذب آب بتن در نمونه‌های A را به میزان ۵٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است، همچنین در ادامه با افزودن ۲٪ پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۲٪، افزودن ۴٪ پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۴٪ و همچنین افزودن ۶٪ پلی‌کربوکسیلات اتر

است. همچنین بر اساس جدول (۹) و نتایج آزمون، احتمال خوردگی میلگرد در هر دو نمونه A و B وجود ندارد.

جدول ۹. رابطه بین مقاومت ویژه الکتریکی بتن و احتمال خوردگی آرماتور [۳۵].

Electrical resistance more than 120 ohm-meters	No corrosion
Electrical resistance between 50 ohm-meters to 120-ohm meters	There is possibility of corrosion
Electrical resistance less than 50 ohm-meters	Corrosion is inevitable

Table 9. Relationship between concrete Electrical resistance and reinforcement probability

۴-۴- نتایج آزمون مقاومت فشاری

آزمون مقاومت فشاری انجام شده روی نمونه‌های مکعبی A و B با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر بر اساس استاندارد ASTM C 109 در سن ۷ و ۲۸ روزه شکل (۸ و ۹) خلاصه شده است.

شکل ۸. مقادیر مقاومت فشاری نمونه طرح اختلاط A

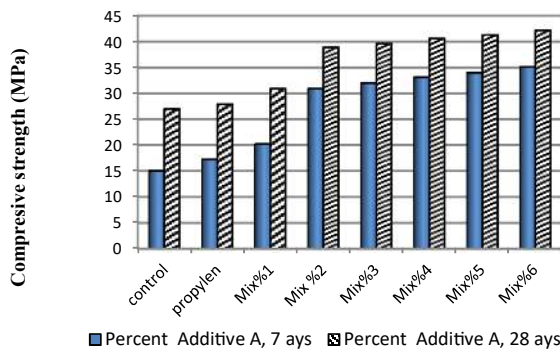


Fig 8. The result Compressive strength test of samples A

افزودن پلی‌پروپیلن برابر جدول (۴) به نمونه‌های بتنی A در سن ۷ روز موجب افزایش ۱۵٪ مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد شد. در ادامه با افزودن پلی‌کربوکسیلات اتر به مقدار ۲٪، ۴٪ و ۶٪ وزن سیمان به نمونه‌های بتنی در سن ۷ روز مقاومت فشاری نمونه‌ها به ترتیب ۱۰۶٪، ۱۲۰٪ و ۱۳۴٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است که بیشترین تغییرات رشد مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد مربوط به ۲٪ افزودنی کربوکسیلات اتر است در حالی که بالاترین مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزودنی ۶٪ کربوکسیلات اتر هست. همچنین برابر شکل (۸) با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن و کربوکسیلات اتر به نمونه‌ها، مقاومت فشاری

شکل ۷. نتایج آزمون مقاومت ویژه الکتریکی برای نمونه‌های طرح اختلاط A و B

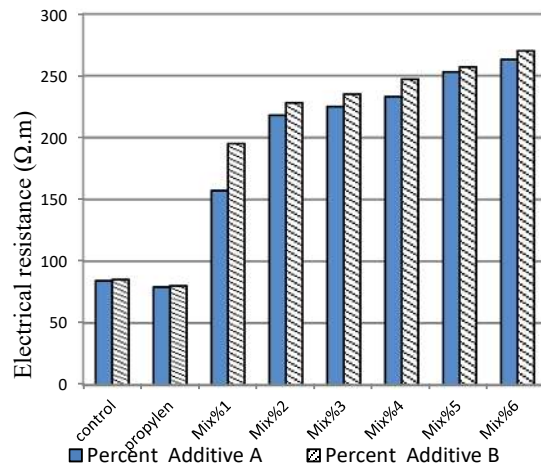


Fig. 7. Electrical resistance test results

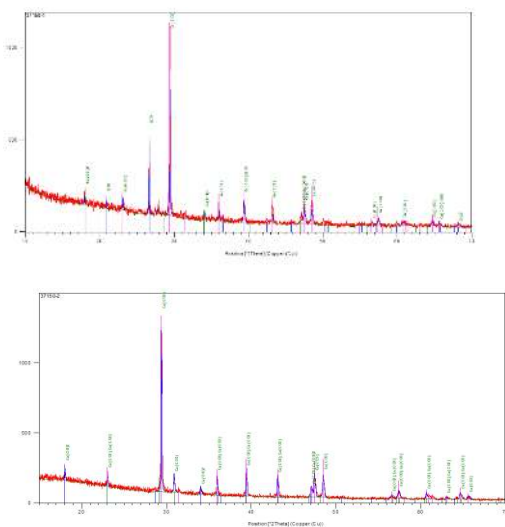
در این آزمایش با اضافه کردن مواد افزودنی به بتن مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها تغییرات زیادی پیدا می‌کند. افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به نمونه‌ها میزان مقاومت ویژه الکتریکی بتن در نمونه‌های A را به میزان ۶٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است، اما در ادامه با افزودن ۲٪ پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۰۹٪، افزودن ۴٪ پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۲۳٪ و همچنین افزودن ۶٪ پلی‌کربوکسیلات اتر ۲۶۳٪ مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد که بیشترین مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها مربوط به ۶٪ پلی‌کربوکسیلات اتر و الیاف پلی‌پروپیلن است. در نمونه‌های B نیز با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به نمونه‌ها ۶٪ مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد در ادامه با افزودن ۲٪ ماده E207 ۲۱۳٪، اضافه کردن ۴٪ ماده E207، ۲۴۰٪ و همچنین افزودن ۶٪ ماده E207 به طرح اختلاط بتن مقدار ۲۶۸٪ مقاومت ویژه الکتریکی بتن در نمونه‌های B را نسبت به نمونه شاهد افزایش داده است. در نتیجه با توجه به نتایج شکل (۷) و توضیحات فوق می‌توان گفت که اضافه کردن الیاف پلی‌پروپیلن با افزودنی‌های پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده E207 باعث افزایش قابل توجه میزان مقاومت ویژه الکتریکی بتن در نمونه‌های بتنی شده است. مقدار مقاومت ویژه الکتریکی در نمونه‌های A و B در هر دو افزودنی با توجه به نتایج جدول (۷) برای نمونه‌های A و B تقریباً برابر

E207 است در حالی که بالاترین مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزودنی ۴٪ E207 است. همچنین برابر شکل (۹) با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن و E207 به نمونه‌ها، مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه به صورت منظم با افزایش درصد افزودنی، تا مقدار ۴٪ افزایش یافته است با این تفاوت که تغییرات افزایش مقاومت فشاری تا ۲٪ و ۴٪ افزودنی به مقدار ۳۳٪ و ۳۹٪ نسبت به نمونه شاهد بیشتر بوده در صورتی که با افزودن ۶٪ ماده E207 مقاومت فشاری نمونه‌ها ۱۸٪ کاهش یافته است. همان‌گونه که در شکل (۹) نشان داده شده است استفاده از مواد افزودنی E207، مقاومت فشاری بتن در سن ۷ و ۲۸ روز تا مقدار افزودنی به مقدار ۴٪ افزایش داده است بنابراین درصد بهینه پیشنهادی افزودنی E207 در طرح اختلاط بتن با توجه به نتیجه پژوهش مقدار ۴٪ وزن سیمان مصرفی طرح اختلاط است.

۶-۵- نتایج آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

شکل (۱۰) نتایج پراش پرتو ایکس روی نمونه شاهد و نمونه‌ها با افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده E207 را بر اساس استاندارد BS EN 13925-2 را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰. طیف پراش پرتو ایکس (XRD) (به ترتیب) نمونه شاهد - E207 - کربوکسیلات



در سن ۲۸ روزه به صورت منظم با افزایش درصد افزودنی افزایش یافته است با این تفاوت که تغییرات افزایش مقاومت فشاری تا ۲٪ افزودنی به مقدار ۴۴٪ نسبت به نمونه شاهد بیشتر بوده است در صورتی که افزایش مقاومت فشاری از ۲٪ پلی-کربوکسیلات تا ۶٪ روند افزایشی کمتری نسبت به درصد‌های تا ۲٪ داشته است. ضمن اینکه بیشترین مقاومت فشاری مربوط به ۶٪ افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و پروپیلن می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۸) نشان داده شده است، استفاده از مواد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و پلی‌پروپیلن، مقاومت فشاری بتن در سن ۷ و ۲۸ روز افزایش داده است که تاثیر رشد مقاومت نمونه‌ها در سن ۷ روزه ۱۳۴٪ نسبت به نمونه شاهد بیشتر است. همچنین مقاومت فشاری بتن در مقایسه با نمونه شاهد در سن ۲۸ روز ۵۶٪ افزایش داشته است. با توجه به میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها بر اساس نمودار و اختلاف کم مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۷ و ۲۸ روزه در درصد‌های بالای ماده افزودنی (از ۴ درصد تا ۶ درصد) می‌توان نتیجه گرفت که ماده افزودنی A تندگیرکننده است.

شکل ۹. نتایج آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های طرح اختلاط B

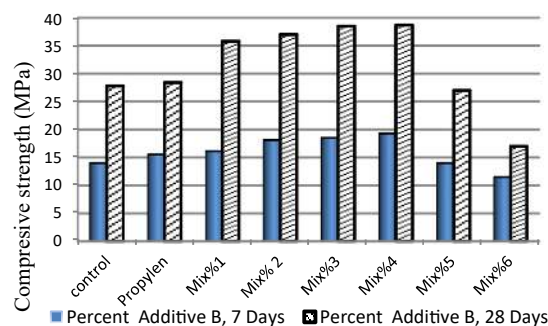


Fig 9. Compressive strength test results of B samples.

افزودن پلی‌پروپیلن برابر جدول (۵) به نمونه‌های بتنی B در سن ۷ روزه موجب افزایش ۱۱٪ مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد شد. در ادامه با افزودن ماده E207 به مقدار ۲٪ و ۴٪ وزن سیمان طرح اختلاط به نمونه‌های بتنی در سن ۷ روزه مقاومت فشاری نمونه‌ها به ترتیب ۲۹٪ و ۳۸٪ افزایش یافته است و با افزودن ۶٪ ماده E207 مقاومت فشاری نمونه‌ها ۱۸٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. بیشترین تغییرات افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد مربوط به اضافه کردن ۲٪ افزودنی

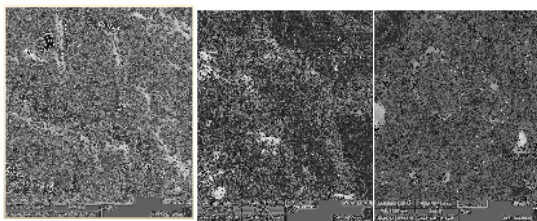


Fig. 11. Particle morphologies of Control - E 207 - Polycarboxylate ether

با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱۱)، می‌توان دید که اضافه شدن افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 موجب ریزتر شدن خلل و فرج در نمونه‌ها می‌شود. در ساختار نمونه‌های بدون مواد افزودنی فوق کریستال‌های بزرگ و متقاطع و منافذ بزرگ بین آنها به راحتی قابل مشاهده است. درحالی‌که به ترتیب با افزودن مواد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 ساختار نمونه همگن‌تر و منافذ ریزتر می‌شود. همچنین با توجه به تصاویر مشاهده می‌شود که ترک‌ها دارای عرض کمی هستند و تقریباً مواد افزودنی طرح با گذر زمان در واکنش شیمیایی شرکت کرده است. کریستال‌های کوچک نیز نشان دهنده کلسیم هیدروکسید است و کریستال‌های بزرگ حاصل از مقدار مواد افزودنی است که در بتن وارد واکنش نشدند. با توجه به شکل (۱۲) می‌توان گفت که اضافه شدن مواد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 به ترکیب سیمان و آب در خمیر سیمان، عناصر سیلیس و آهن و آلومینیوم بیشتری در نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد موجود بوده است که باعث افزایش دوام و مقاومت نمونه‌های بتنی شده است همچنین موجب کاهش مقدار و اندازه کریستال‌های هیدروکسید کلسیم در ناحیه انتقال بین خمیر و سنگدانه شده است و موجب افزایش تشکیل ژل سیلیکات کلسیم شده است.

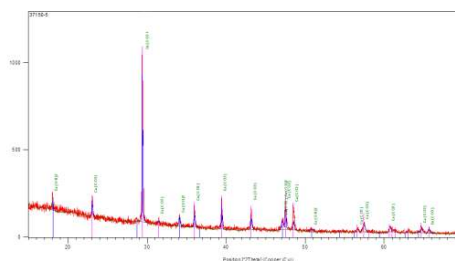


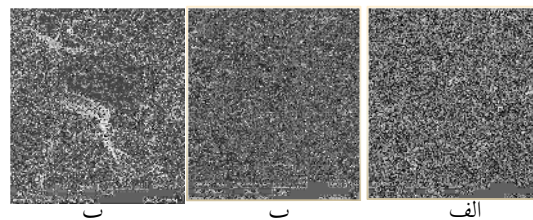
Fig 10. X-ray diffraction (XRD) - Control - E207 - Polycarboxylate ether

با مقایسه نتایج پراش پرتو ایکس نمونه‌های حاوی افزودنی‌های کربوکسیلات اتر و بدون مواد افزودنی مشاهده شد که وجود افزودنی‌های پلی‌کربوکسیلات اتر موجب ایجاد واکنش (واکنش پوزولانی) این ماده با هیدروکسید کلسیم می‌شود و با مصرف هیدروکسید کلسیم مقدار این ماده در بتن کاهش داده (با توجه به شدت در نمودار) و در عوض مقدار سیلیکات کلسیم هیدراته ژل (C-S-H) را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از آزمایش XRD که از مقایسه نمودار شکل (۱۰) مشخص است و شدت قله‌های هیدروکسید کلسیم موجود در آنها نشان‌دهنده این مطلب است که هر دو ماده کربوکسیلات اتر و E207 در کاهش میزان هیدروکسید کلسیم در ساختار خمیر سیمان موثر بوده‌اند. این مطلب با مطالعه قله حاصله در زاویه 2θ برابر ۲۹ درجه است که قله بیشینه Ca(OH)_2 در ساختار خمیر سیمان است روشن می‌شود.

۶-۶- نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM)

شکل (۱۱) تصاویر میکروسکوپ الکترونی را برای نمونه‌های شاهد و نمونه‌ها با مواد افزودنی پلی‌کربوکسیلات اتر و ماده E207 را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱. مورفولوژی نمونه‌ها الف شاهد ب- ماده E207 پ- پلی کربوکسیلات اتر



شکل ۱۲. آنالیز EDAX الف- شاهد ب- پلی کربوکسیلات اتر پ -

افزودنی E207

جدول ۱۰. آنالیز شیمیایی نمونه‌های شاهد، کربوکسیلات و E207

Chemical substance	Carboxylate %	E207	Control
Na ₂ O	0.4	<0.01	<0.01
SO ₃	<0.01	<0.01	<0.01
Fe ₂ O ₃	1.8	0.2	0.2
SiO ₂	16	16	3.8
Al ₂ O ₃	3.1	0.7	0.7
P ₂ O ₅	<0.01	<0.01	<0.01
La&Lu	<0.01	<0.01	<0.01
MnO ₂	0.2	-	-
Mg O	1.2	0.7	0.8
Cl	<0.01	<0.01	<0.01
L.O. I	30	41.4	41.2
K ₂ O	0.4	0.4	<0.01
Ca O	46.3	52.8	52.8
TiO ₂	0.1	0.6	0.5
BaO	0.2	3.6	-

Table 3. Chemical analysis of Control, E207, Polycarboxylate ether

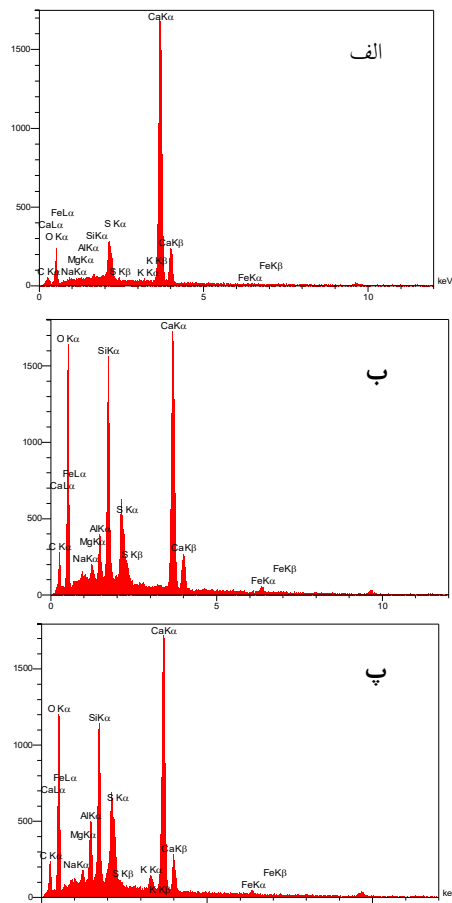


Fig 12. Analysis result of EDAX test

۷. نتیجه گیری

در این پژوهش، نتایج آزمایشگاهی تأثیر اختلاط بتن‌های الیافی با مواد افزودنی ماده E207 و پلی‌کربوکسیلات اتر طور جداگانه با الیاف پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به نتایج به دست آمده، نکات زیر می‌توان نتیجه گرفت:

۱- افزودن کربوکسیلات اتر و الیاف پلی‌پروپیلن به طرح اختلاط بتن مقاومت فشاری در نمونه‌های A نسبت به نمونه شاهد در سن ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱۳۴٪ و ۵۶٪ افزایش یافته است و بیشترین مقاومت فشاری در نمونه‌های B با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن و ماده E207 در سن ۷ و ۲۸ روزه

۶-۷- نتایج آزمون تعیین ترکیب شیمیایی به روش XRF

برای تعیین دقیق عناصر تشکیل دهنده نمونه‌های بتنی از آزمایش XRF که آزمونی غیر مخرب و بر اساس استاندارد ASTM E1621(2013)، استفاده شده است. نتایج آزمون XRF نمونه‌های بتنی در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

به ترتیب ۳۸٪ و ۳۹٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است.

۲- افزودن پلی پروپیلن به نمونه‌ها برابر طرح اختلاط جذب آب نمونه های بتنی را کاهش می‌دهد همچنین اضافه کردن افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 و الیاف پروپیلن جذب آب را کاهش می‌دهد با این تفاوت که مقدار جذب آب در نمونه‌های حاوی پلی کربوکسیلات اتر و پلی پروپیلن از نمونه‌های حاوی ماده E207 و پلی پروپیلن کمتر بوده است.

۳- افزودن الیاف پلی پروپیلن به نمونه‌های بتنی، مقاومت ویژه الکتریکی بتن را کاهش می‌دهد، اما در ادامه افزودن پلی کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 به بتن مقاومت ویژه الکتریکی بتن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد به طوری که افزایش مقاومت ویژه الکتریکی در نمونه‌های A و B به ترتیب ۲۶۳٪ و ۲۶۸٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد.

۴- افزودن الیاف پلی پروپیلن، پلی کربوکسیلات اتر و E207 به طرح اختلاط بتن، مقاومت نمونه‌ها را در برابر نفوذ کلرید از حالت نفوذپذیری شدید به نفوذپذیری متوسط افزایش داده است. نفوذ پذیری یون تسریع شده کلر در نمونه‌ها با افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و پلی پروپیلن به مقدار ۵۱٪ و در نمونه ها با افزودنی E207 و پلی پروپیلن ۳۵٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش یافتند.

۵- با افزودن مواد افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و ماده افزودنی E207 به طرح اختلاط برابر آزمون SEM نمونه‌ها همگن و ترک کمتری نسبت به نمونه شاهد داشته اند. همچنین برابر آزمون XRD اضافه کردن مواد افزودنی پلی کربوکسیلات اتر و ماده E207 به طرح اختلاط موجب کاهش شدت پیک هیدروکسید کلسیم و افزایش ژل C-S-H بوده است و فضاهای خالی موجود در سطح تماس سنگ دانه‌ها با خمیر سیمان را پر کرده است. به این ترتیب ناحیه فصل مشترک سنگ دانه ها با خمیر سیمان بسیار متراکم‌تر شده و باعث افزایش دوام و مقاومت فشاری نمونه شده است.

۸- مراجع

- [1] Fowler DW. Polymers in concrete: a vision for the 21st century. Cement and concrete composites. 1999 Dec 1; 21(5-6):449-52.
- [2] Pei M, Wang D, Hu X, Zhao Y, Xu Y, Wu J, Xu D. Performance characteristics of subdenier monofilament polypropylene fiber reinforced mortars. Journal of applied polymer science. 2004 Dec 15; 94(6):2251-6.
- [3] Garbacz A, Sokołowska JJ. Concrete-like polymer composites with fly ashes—Comparative study. Construction and building materials. 2013 Jan 1; 38:689-99.
- [4] Barbuta M, Bucur RD, Cimpeanu SM, Paraschiv G, Bucur D, Agroecology C. Wastes in building materials industry. INTECH, Croatia. 2015 Jun 10:81-99.
- [5] Li K. Durability design of concrete structures: Phenomena, modeling, and practice. John Wiley & Sons; 2017 May 1.
- [6] Luping T, Nilsson LO. Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electric field. Materials Journal. 1993 Jan 1; 89(1):49-53.
- [7] Plank J, Sakai E, Miao CW, Yu C, Hong JX. Chemical admixtures—Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. Cement and Concrete Research. 2015 Dec 1; 78:81-99.
- [8] Alonso C, Andrade C, González JA. Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several cement types. Cement and concrete research. 1988 Sep 1; 18(5):687-98.
- [9] Liu Y. Accelerated curing of concrete with high volume Pozzolans-resistivity, diffusivity and compressive strength. Florida Atlantic University; 2012.
- [10] Afroughsabet V, Ozbakkaloglu T. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. Construction and building materials. 2015 Sep 30; 94:73-82.
- [11] Kakooei S, Akil HM, Jamshidi M, Rouhi J. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. Construction and Building Materials. 2012 Feb 1; 27(1):73-7.
- [12] Ramezani-pour AA, Esmaeili M, Ghahari SA, Najafi MH. Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic

- carbon nanotubes. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018 Oct 1; 30(10):04018257.
- [24] Carriço A, Bogas JA, Hawreen A, Guedes M. Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2018 Mar 10; 164:121-33.
- [25] ASTM, C. (2012). 642." Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. *ASTM International*.
- [26] Chaker V. Corrosion forms and control for infrastructure. Philadelphia: ASTM.
- [27] Standard AS. ASTM C109-standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars. ASTM International, West Conshohocken.
- [28] STANDARD B. Non destructive testing X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials.
- [29] Joseph I. Goldstein et.al, "Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis" Third Edition, Kluwer academic/Plenum Publishers, New York Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2003.
- [30] ASTM E1621-13. Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry.
- [31] Liu Z, Beaudoin JJ. An assessment of the relative permeability of cement systems using AC impedance techniques. *Cement and concrete research*. 1999 Jul 1; 29(7):1085-90.
- [32] Toutanji HA. Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete. *Construction and Building Materials*. 1999 Jun 1; 13(4):171-7.
- [33] MUHAMMAD A. *CREEP AND THERMAL RESPONSE OF LONG SPAN PRESTRESSED CONCRETE INTEGRAL ABUTMENT BRIDGE* (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).
- [34] ACI commitee 544 state of the art report of the fiber reinforced concrete properties, ACI 544.1-97, American concrete institute, Farmington, hills, M.
- [35] Malhotra VM, Carino NJ. Handbook on nondestructive testing of concrete. CRC press; 2003 Dec 29.
- [36] رحمتی، علیرضا و ساکی، مهدی و لک، مجید و نوروزی، محمود، عملکرد افزودنی های آلی پلی
- of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*. 2013 Jul 1; 44:411-8.
- [13] Hilsdorf H, Kropp J, editors. Performance criteria for concrete durability. CRC Press; 1995 Jul 27.
- [14] Real S, Bogas JA, Pontes J. Chloride migration in structural lightweight aggregate concrete produced with different binders. *Construction and Building Materials*. 2015 Nov 15; 98:425-36.
- [15] Zega CJ, Di Maio ÁA. Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste management*. 2011 Nov 1; 31(11):2336-40.
- [16] Saravanakumar P, Dhinakaran G. Durability aspects of HVFA-based recycled aggregate concrete. *Magazine of Concrete Research*. 2014 Feb; 66(4):186-95.
- [17] Yehia S, AlHamaydeh M, Farrag S. High-strength lightweight SCC matrix with partial normal-weight coarse-aggregate replacement: Strength and durability evaluations. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2014 Nov 1; 26(11):04014086.
- [18] ASTM C. 150: Standard Specification for Portland cement. [Book auth.]. ASTM International. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: ASTM International. 2012.
- [19] Plank J, Schroefl C, Gruber M, Lesti M, Sieber R. Effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete: the importance of PCE compatibility with silica fume. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2009 Feb 26; 7(1):5-12.
- [20] ACI-Committee. ACI 544.3 R-08 Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete, ACI American Concrete Institute. 2008.
- [21] ASTM C. 1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. Annual Book of ASTM Standards. 1994; 4:02.
- [22] Julio-Betancourt GA, Hooton RD. Study of the Joule effect on rapid chloride permeability values and evaluation of related electrical properties of concretes. *Cement and concrete research*. 2004 Jun 1; 34(6):1007-15.
- [23] Ahmed H, Bogas JA, Guedes M. Mechanical behavior and transport properties of cementitious composites reinforced with

کربوکسیلات اتر و لیگنوسولفونات به عنوان روان کننده و تاثیر بر ذرات سیمان و بهبود مقاومت فشاری، دوام و پایایی بتن، پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی صنعت سیمان و افق پیش رو، تهران، ۱۳۹۸

[۳۷] شکرچی زاده م.، علی لیبر ن.، دهقان مروستی س. پور ضرابی ع.، افزودنی های شیمیایی بتن، چاپ اول، انتشارات علم و ادب، (مهر ۱۳۹۱)

Evaluation of compressive strength and durability of fibrous concrete containing polypropylene fiber, polycarboxylate ether and E207

Mohamadreza piryaei¹, Mehdi komasi^{2, *}

- 1- Ph. D student of construction Engineering and Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch Islamic Azad University, Tehran
- 2- Associate Prof. Civil Eng. Department, University of Ayatollah Ozma Borujerdi, Borujerd

komasi@abru.ac.ir^{2, *}

Abstract

In recent years, many studies have been conducted on the mechanical properties and durability of fiber concrete. These types of concretes are used in the reinforcement and repair of high-rise structures. In this study, the effect of mixing fiber concrete with 1 to 6% of additives including E207 and polycarboxylate ether separately with polypropylene fibers using durability tests including bulky water absorption tests, electrical resistance, rapid chloride penetration (RCPT) as well as compressive strength of concrete have been investigated. In addition, to study the microstructure of cement paste containing polypropylene fibers and polycarboxylate ether additives and E207 additive, X-ray diffraction (XRD) spectroscopy scanning electron microscopy (SEM) and X-ray chemistry tests were used. The results show that with the addition of polycarboxylate ether and polypropylene fibers (sample A) the permeability of chlorine ion in the samples was reduced uniformly so that the maximum reduction in chloride permeability in sample A was 51% while the addition of E207 additive and polypropylene fibers (sample B) reduced the permeability of chloride in concrete by 35% compared to the control sample. On the other hand, by adding additives A and B in the mixing design, the water absorption of concrete in samples A decreased by 27% and in samples B, 21% compared to the control sample. Also, the addition of polypropylene fibers in the amount of 0.6 kg/m³ reduced the electrical resistance of concrete in the samples by 5% compared to the control sample. The electrical resistivity in samples A increased by 213% and in samples B by 268% compared to the control sample. Compressive strength in samples A increased by 134% and 56% compared to the control sample of 7 and 28 days, respectively. And the highest compressive strength in B samples at 7 and 28 days of age increased by 38% and 39% compared to the control sample, respectively. In addition, by adding E207 to sample B, the compressive strength of the samples was reduced by more than 4%. Also, the results of SEM experiment showed that by adding polycarboxylate ether additive and E207 additive to the concrete microstructure concrete mix design, both samples were more homogeneous and denser than the control sample. The water absorption less aligned. The results of XRD and XRF experiments on the samples showed that by adding polycarboxylate ether and E207 additives to the samples, more calcium silicate gel was formed and the aggregate pores were more cohesive and cohesive than the control sample, which confirms the results. Compressive strength test of concrete. According to the mentioned results, it can be concluded that with the addition of polycarboxylate ether and E207 additives, the durability and compressive strength of fiber reinforced concrete with polypropylene fibers are significantly increased against aggressive factors and concrete structures in the design. Mix concrete using additives according to this research. They will have a longer life and greater resistance to the aggressive agents of concrete structures, especially chloride, which will be economically viable in large projects.

Keywords: Durability, Electrical resistance, CarboxylateEther, RCPT, E207.