

بررسی اثر پلی استر غیر اشباع و وینیل استر بر خصوصیات رفتاری و مکانیکی بتن

مجتبی فتحی¹، علی امانی²

1- عضو هیات علمی گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

2- کارشناس ارشد مهندسی عمران زلزله، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

fathim@razi.ac.ir

چکیده

بتن اصلاح شده با پلیمر، با ترکیب پلیمر و سیمان با هدف افزایش دوام و چسبندگی تولید می شود. حضور ذرات پلیمر سبب تشکیل فیلم پلیمری و افزایش حفرات هوای بسته در بتن می شود که در نهایت منجر به کاهش نفوذپذیری، مقاومت فشاری و مقاومت کششی می شود. در مقاله ی حاضر اثر پلی استر غیر اشباع و وینیل استر در درصدهای 3، 5، 8 و 10 درصد، در جایگزینی با سیمان مورد بررسی قرار گرفت. درصد هوا، روانی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب و نحوه ی شکست از آزمایش های مورد مطالعه در این تحقیق بود. نرخ کاهش مقاومت کششی به علت عملکرد بهتر پلیمر در کشش از مقاومت فشاری کمتر است. عملکرد پلیمر وینیل استر در تحمل مقاومت به مراتب بهتر از پلی استر غیر اشباع بود و سبب کاهش کمتر مقاومت ها شد. این مقادیر برای درصدهای 3، 5، 8 و 10، در مقاومت فشاری به ترتیب، 10، 19، 26 و 31 و در مقاومت کششی 2، 11، 19 و 24 بود. همچنین مقدار جذب آب در نمونه های حاوی پلی استر غیر اشباع حدود 0.2 الی 0.4 درصد کمتر از نمونه های حاوی وینیل استر بود. خط شکست نمونه های مکعبی با اضافه کردن پلیمر، تقریباً به موازات جهت اعمال بار تمایل پیدا کرد. اما مقدار خرابی در نمونه های وینیل استر به مراتب بیشتر است. در نمونه های استوانه ای نیز با افزایش پلیمر طول خط شکست ها و تعداد آنها در قیاس با بتن شاهد کمتر شده است.

کلمات کلیدی: بتن های اصلاح شده با پلیمر، پلی استر غیر اشباع، وینیل استر، نحوه ی شکست، مقاومت فشاری

1. مقدمه

گسترش کاربرد بتن، موجب ظهور بتن های جدیدی شده است. بتن، مقاومت فشاری بالا اما مقاومت کششی، شکل پذیری و دوام نسبتا کمی دارد. در طی سه دهه ی اخیر، اکثر تلاش ها مبنی بر افزایش مقاومت کششی، شکل پذیری و دوام با استفاده از روش های فیزیکی و شیمیایی بوده است. استفاده از پلیمر یکی از روشهای موفق در افزایش مقاومت کششی و شکل پذیری است [1-3]. لاتکس ها، پلیمرهای پودری، رزین ها و مونومرها، با بهبود ریزساختار، کاهش حفرات بزرگ، کاهش تردی، افزایش پایداری در مقابل یون های مهاجم، جنبه ی زیست محیطی، خاصیت چندعملکردی، دوام و چسبندگی بتن نقش مهمی را در این صنعت ایفا می کند [4-7]. بطور کلی بکارگیری پلیمر جهت تقویت و ساخت بتن در سه گروه، پلیمرهای نفوذی، بتن پلیمری و بتن اصلاح شده با پلیمر دسته بندی می شوند [8-10]. بتن اصلاح شده با پلیمر، با افزودن پلیمر به عنوان جز اصلی با هدف افزایش دوام و چسبندگی حاصل می شود [8]. این دسته از بتن ها تقریبا از سال 1950 تا 1960، اغلب برای تعمیرات و بهسازی سازه ها، روسازی پل ها و کف سازی های صنعتی بکار گرفته شده است. اخیرا، امکان ساخت طیف وسیعی از قطعات پیش ساخته بتنی، بکارگیری نخاله ها و ضایعات صنایع، توجهات بسیاری را به خود جذب کرده است [11-14]. لاتکس های آکرلیک در مقابل حملات فیزیکی (سایش، خوردگی و ضربه) و حملات شیمیایی مقاومت مناسبی دارند. امروزه کوپلیمرهای استایرن بوتادین و استایرن آکرلیک پر مصرف ترین پلیمرها در بتن های اصلاح شده با پلیمر می باشند [11-14]. بتن های اصلاح شده با پلیمر در قیاس با بتن سنتی خصوصیات نظیر نفوذپذیری، مقاومت در برابر سیکل ذوب و یخندان، خوردگی و مقاومت خمشی عملکرد بهتری دارد [15-17]. کاهش ترک خوردگی در زمان سخت شدن و افزایش میزان نفوذناپذیری به علت وجود شبکه های پلیمری استعداد این بتن ها را در مقابل خوردگی آرماتور و انبساط بتن کاهش می دهد [11] هیدراتاسیون سیمان موجب تجمع ذرات پلیمر و تشکیل شبکه ی پلیمری می شود. شبکه ی پلیمری و ماتریس سیمانی تشکیل یک شبکه ی واحد را می دهند. هوای تولید شده در اثر استفاده از پلیمر موجب عدم پیوستگی ماتریس سیمانی و کاهش مقاومت بتن می شود [18]. تنوع بالای پلیمرها و مصالح تشکیل دهنده بتن، تداوم تحقیقات بر روی بتن های اصلاح شده با پلیمر را توجیه می کند [19].

اکورازانچی و آناماریجا در سال 2013 [20]، به بررسی اثر استایرن بوتادین رابر بر سیمان کلسیم آلومینات پرداختند. در یک نسبت آب به سیمان ثابت مقدار پلیمر از 0 تا 9 درصد متغیر است. نمونه ها تحت عمل آوری های مختلفی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که افزایش پلیمر موجب افزایش روانی بتن می شود. علت کاهش نفوذپذیری، مقاومت فشاری و سختی را تجمع ذرات پلیمر و تشکیل ماتریس مرکب را دانست. در مقابل مقاومت خمشی و چسبندگی با بکارگیری پلیمر افزایش یافت.

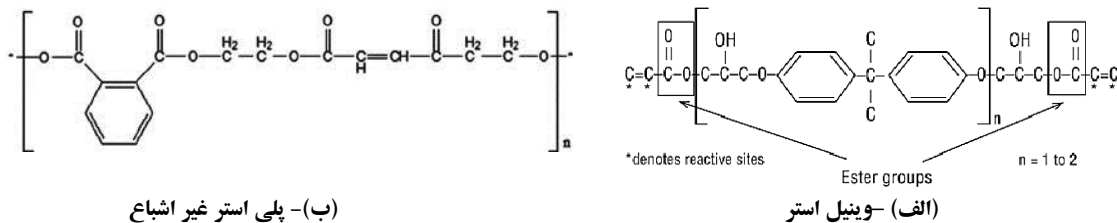
پانگو همکاران در سال 2018 [21]، اثرات رزین اپوکسی بر بتن را بررسی کردند. در این تحقیق اثر دوزهای رزین اپوکسی پایه آب را بر ریزساختار هیدراتاسیون سیمان مورد بررسی قرار گرفت. خصوصیات مکانیکی، رفتار بتن تازه، محصولات هیدراتاسیون، پیوندهای شیمیایی، ساختار سه بعدی خمیر سیمان با ترکیب رزین اپوکسی امولسیون و غیر امولسیون (5 تا 80 درصد وزنی) به صورت میکروسکوپی و پرتونگاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج از اثرات بالای هردو نوع رزین بر مقدار کریستال های پرتلدایت تشکیل شده در سنین ابتدایی دارد. اپوکسی غیر امولسیونی تاثیر بیشتری بر چقرمگی خمیر سیمان در قیاس با اپوکسی امولسیونی دارد.

مورات و همکاران در سال 2016 [4]، اثرات کوپلیمر استایرن بوتادین رابر بر بتن با مقاومت بالا بررسی کردند. بتن با مقاومت مشخصه ی 50 و 60 مگاپاسکال طراحی شد. کوپلیمر استایرن بوتادین رابر در 1، 3، 5 و 8 درصد جایگزین سیمان شد و خصوصیات مقاومتی مورد ارزیابی قرار گرفت. وزن مخصوص، جذب آب، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، اولتراسونیک و مقاومت در برابر ذوب و یخندان از آزمایشات هدف در این مطالعه بود. در کنار آزمایشات اشاره شده ارزیابی میکروسکوپ الکترونی و انجام شد. نتایج به دست آمده از 1 درصد جایگزینی در تمامی آزمایشات از سایر طرح ها بیشتر است.

توجهات تا به امروز بیشتر بر روی استفاده از لاتکس ها بوده است و کمتر به سایر نوع پلیمرها توجه شده است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر پلی استر غیراشباع و وینیل استر به عنوان دو پلیمر ترموستینگ، بر خصوصیات بتن در 4 درصد، 3، 5، 8 و 10 درصد است. عیار سیمان در این تحقیق 375 کیلوگرم بر مترمکعب انتخاب شد و پلیمر جایگزین سیمان شد. نسبت آب به سیمان در تحقیق برای تمامی طرح ها، ثابت در نظر گرفته شد. مقدار هوا، روانی، جذب آب، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب انرژی، شکل شکست نمونه های اصلاح شده با پلیمر مورد بررسی قرار گرفت.

2. خصوصیات مصالح مصرفی

در این آزمایش از سیمان پرتلند پوزولانی ویژه شرکت سیمان ساوه مطابق با استاندارد ASTM D5370 استفاده شد [22]. مشخصات شیمیایی سیمان در جدول (1) آورده شده است. مدول نرمی ریزدانه و حداکثر اندازه سنگدانه به ترتیب 2.73 و 12.5mm است. خصوصیات فیزیکی و نمودار دانه بندی سنگدانه ها مطابق با استاندارد ASTM C33/C33M به ترتیب، در جدول (2) و شکل (2) نشان داده شده است [23]. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پلیمرهای مورد استفاده در در جدول (3) آورده شده است. پلی استر غیر اشباع و وینیل استر از شرکت فراپل جم تهیه شد. وینیل استر ها محصول واکنش رزین های اپوکسی با اسید های غیر اشباع اتیلنی می باشند. معمولاً رزین های وینیل استر دارای انتهای غیر اشباع می باشند. این آنها می تواند واکنش شبکه ای شدن و پلیمریزاسیون زنجیر های وینیل استر را انجام دهد. رزین های وینیل استر در مقایسه با پلی استر های غیر اشباع مقاومت شیمیایی خوبی دارند. با توجه به ساختار شیمیایی این رزین ها می توان گفت که این رزینها بسیاری از خواص اپوکسی ها را دارا بوده ولی مانند پلی استرها فرآیند می شوند. رزین های پلی استر رزینهای غیر اشباعی هستند. از واکنش اسیدهای آلی دو عاملی و الکل های چند عاملی تشکیل می شوند. پلی استرها طبقه ای از پلیمرها هستند که شامل گروه عاملی استر در زنجیره اصلی خود هستند. رزین مایع توسط زنجیره های اتصالات عرضی به یک رزین جامد تبدیل می شود. این فرآیند توسط ایجاد رادیکال های آزاد در پیوندهای دوگانه ایجاد شده که در طول یک واکنش زنجیری با سایر پیوند های دوگانه مولکول همسایه، انتشار می یابد. و منجر به اتصال آنها در طول مراحل واکنش می شود. این رزین از واکنش یک یا چند الکل دو یا چند عاملی با یک یا چند اسید دو یا چند عاملی تهیه می شود. شکل (1) ساختار شیمیایی رزین های پلی استر غیر اشباع و وینیل استر نشان داده شده است.

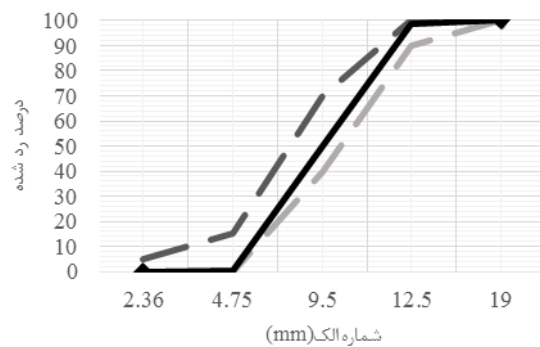
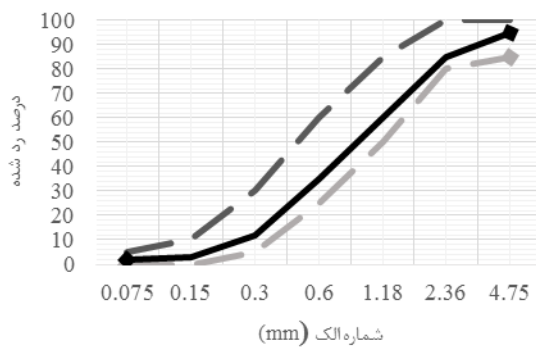


شکل (1) - ساختار شیمیایی پلی استر غیر اشباع و وینیل استر

متیل اتیل کتون پروکساید و نفتانات کبالت به ترتیب به عنوان سخت کننده و کاتالیزگر استفاده شد. متیل اتیل کتون پروکساید و نفتانات کبالت به ترتیب در تمامی طرح ها 1.2 و 0.4 درصد وزن پلیمر استفاده شد (مطابق با پیشنهاد تولید کننده). مقدار استفاده از آنتی فوم نیز بر اساس آزمایشات درصد هوا تعیین شد. همچنین مقدار ضد کف تا عدم افزایش مجدد هوا در اثر استفاده از ضد کف افزایش یافت. به عبارتی دیگر حداکثر مقدار ممکن استفاده از ضد کف استفاده شد. مقادیر استفاده از ضد کف نیز در جدول (5) ارایه شده است. مشخصات آنها در جدول (4) آورده شده است. در تمامی طرح ها از آنتی فوم برای کنترل مقدار هوای بتن استفاده شد. ابر روان کننده ی پایه ی پلی کربکسیلات اتر استفاده شد جدول (4). طرح اختلاط بر اساس ACI211.1R انجام شد [24].

جدول (1) - ترکیبات شیمیایی سیمان

ردیف	اجزا	مقدار	ردیف	اجزا	مقدار
1	SiO_2	26.12	6	SO_3	2.19
2	Al_2O_3	6.51	7	K_2O	0.39
3	Fe_2O_3	3.91	8	Na_2O	0.39
4	CaO	54.60	9	LOI	0.014
5	MgO	2.83	10	CL	0.015



(ب) - ریز دانه

(الف) - درشت دانه

شکل (2) دانه بندی ریز دانه ها و درشت دانه ها

جدول (2) - خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها

سنگدانه	چگالی (kg/m^3)	جذب آب (%)
ریزدانه	2682	2.8
درشت دانه	2602	2.3

جدول (3) - خصوصیات پلیمرها

پلیمر	زمان ژل شدگی (دقیقه)	رنگ	مقدار جامد (%)	مقدار اسیدی (grKOH/gr)	ویسکوزیته (cps, @25°C)	چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)
پلی استر غیر اشباع	20-15	زرد روشن	67-63	42-35	1050-950	1.14
وینیل استر	20	زرد روشن	56-54	کمتر از 20	470-430	1.11

جدول (4) - خصوصیات سایر مواد

ماده	درصد جامد	ویسکوزیته (cP in 25°C)	اسیدیته	رنگ	حالت فیزیکی	نقطه اشتعال (°F)	چگالی ($\frac{g}{cm^3}$)
نفتان کبالت	-	-	-	بنفش تیره	مایع	120	0.921
متیل اتیل کتون پروکساید	-	-	-	بی رنگ	مایع	201	1
ضد کف	-	300-200	7-5	شیری	مایع	399	0.988
سوپر روان کننده	45	-	6.6	قهوه ای روشن	مایع	-	1.08

بعد از دستیابی به بتن مورد نظر مطابق استاندارد ACI211.1R، پلیمر به آرامی به بتن تازه اضافه شد و تا دستیابی به یک مخلوط همگن، اختلاط ادامه یافت [24]. زمان افزودن پلیمر به بتن تازه تا زمان قالب گیری تابع زمان ژل شدگی پلیمر است. نمونه ها بعد از باز شدن از قالب به مدت 48 ساعت در آب و در ادامه عمل آوری در هوا ادامه یافت [8].

جدول (5) - طرح اختلاط

نمونه	سیمان (kg)	پلیمر (kg)	آب (kg)	درشت‌دانه (kg)	ریزدانه (kg)	سوپر روان کننده (kg)	$\frac{W}{C}$	چگالی ($\frac{KN}{m^3}$)	روانی (cm)	ضد کف (درصد)
S	375	0	154	746	1074	1.87	0.41	23.75	12	0
PE3	363.75	11.25	149	746	1074	2.00	0.41	22.35	10	0.15
PE5	356	18.75	146	746	1074	2.20	0.41	22.10	8	0.21
PE8	345	30	141.5	746	1074	2.50	0.41	21.96	8	0.30
PE10	337.5	37.5	138	746	1074	3	0.41	21.80	8	0.42
VE3	363.75	11.25	149	746	1074	1.80	0.41	22.40	10	0.09
VE5	356	18.75	146	746	1074	1.60	0.41	22.32	11	0.12
VE8	345	30	141.5	746	1074	1.30	0.41	22.30	11	0.18
VE10	337.5	37.5	138	746	1074	1	0.41	22.25	12	0.22

جدول (6) - راهنمای طرح اختلاط

نمونه	نوع پلیمر	مقدار (%)
S	بدن پلیمر	0
PE3	پلی استر غیر اشباع	3
PE5	پلی استر غیر اشباع	5
PE8	پلی استر غیر اشباع	8
PE10	پلی استر غیر اشباع	10
VE3	وینیل استر	3
VE5	وینیل استر	5
VE8	وینیل استر	8
VE10	وینیل استر	10

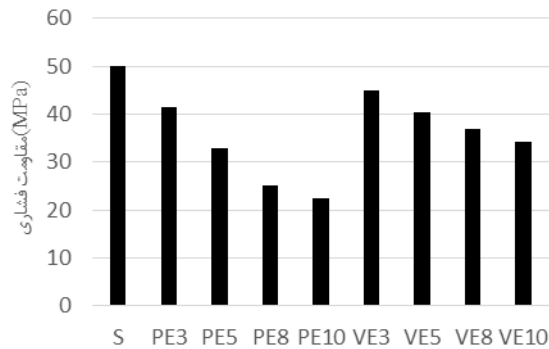
به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری از نمونه های استوانه ای به ابعاد 15*30 سانتیمتر مطابق با استاندارد ASTM C39 / C39M و برای آزمایش مقاومت کششی مطابق با استاندارد ASTM C496 از استوانه های به ابعاد 20*10 سانتیمتر استفاده شد [25 و 26]. سرعت بارگذاری نیز مطابق با استاندارد ASTM C469 در مقاومت فشاری 1.25 میلیمتر بر دقیقه و در مقاومت کششی 0.9 مگاپاسکال بر دقیقه انتخاب شد [27].

آزمایشات در آزمایشگاه سازه دانشگاه رازی کرمانشاه صورت گرفت. آزمایش روانی بتن و مقدار هوا به ترتیب مطابق با استاندارد های ASTM C143/C143M و ASTM C231/231M انجام شد [28 و 29]. با جایگزینی پلیمر، هوای بتن افزایش می یابد. افزایش مقدار پلیمر موجب افزایش مقدار هوا شد و در نتیجه مقدار ضد کف بیشتری مورد نیاز بود. مطابق با استاندارد ACI 548.3R مقدار هوای تمامی طرح ها به 4.5 درصد محدود شد (حداکثر مقدار مجاز 6.5 درصد) [8]. روانی بتن های اصلاح شده با پلیمر در مقایسه با بتن شاهد تابع نوع و مقدار پلیمر مورد استفاده است. با جایگزینی و افزایش پلی استر غیر اشباع روانی کاهش یافت. اما در نمونه های وینیل استر شاهد افزایش اسلامپ بودیم. بنابراین در بتن های اصلاح شده با پلیمر، همیشه افزایش مقدار هوا موجب افزایش روانی نمی شود.

3. آزمایشات

3-1- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از دستگاه با ظرفیت 200ton و شامل دو حسگر جهت اندازه گیری کرنش عمودی و افقی انجام شد شکل (2). نتایج آزمایش مقاومت فشاری در شکل (3) نشان داده شده است.

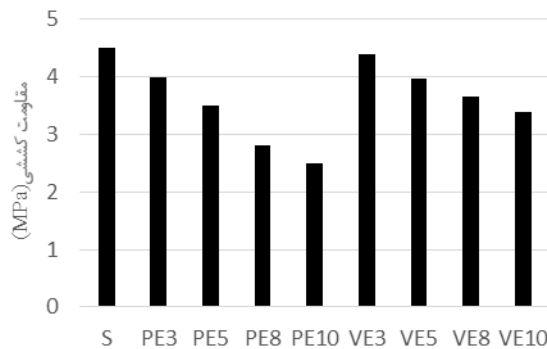


الف) تجهیزات بتن شکن
ب) نتایج
شکل (3)- آزمایش مقاومت فشاری بتن های اصلاح شده با پلیمر

بتن های اصلاح شده با پلیمر در مقایسه با بتن معمولی، مقاومت فشاری کمتری دارند. با افزایش درصد جایگزینی پلیمر مقاومت فشاری کمتر می شود. مقاومت فشاری نمونه های اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع در مقایسه با بتن شاهد در 3، 5، 8 و 10 درصد جایگزینی به ترتیب در حدود 17، 34، 50 و 54 درصد افت دارند. نمونه های اصلاح شده با وینیل استر در مقایسه با بتن شاهد در 3، 5، 8 و 10 درصد جایگزینی، در حدود 10، 19، 26 و 32 درصد افت مقاومت فشاری دارند. کاهش مقاومت فشاری نمونه های اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع در تمامی درصد های جایگزینی، بیشتر از نمونه های اصلاح شده با وینیل استر است. با افزایش پلیمر از 3 به 5 درصد، 8 به 8 درصد و از 8 به 10 درصد نرخ تغییرات مقاومت فشاری به ترتیب در محدوده ی 9-17، 15-7 و 5-6 درصد است. بنابراین، با افزایش پلیمر نرخ کاهش مقاومت فشاری نزولی است. مقاومت فشاری بتن های اصلاح شده با پلیمر تابع ریزساختار آن است. ظرفیت مکانیکی کم، سختی کم، تاخیر در هیدراتاسیون سیمان، افزایش حفرات هوای بسته در ناحیه ی انتقال، مدول الاستیسیته ی کم پلیمر و افزایش مقدار هوا از علت های کاهش مقاومت فشاری است [30].

3-2- مقاومت کششی

آزمایش مقاومت کششی با استفاده از دستگاه با ظرفیت 200ton و شامل دو حسگر جهت اندازه گیری کرنش عمودی و افقی انجام شد. نتایج آزمایش مقاومت کششی در شکل (4) نشان داده شده است.

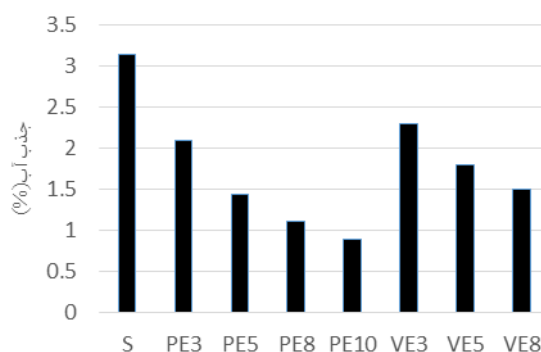


الف) تجهیزات بتن شکن
ب) نتایج
شکل (4) - نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن های اصلاح شده با پلیمر

مقاومت کششی نمونه های اصلاح شده با پلیمر در قیاس با بتن شاهد کمتر است. با افزایش پلیمر مقاومت کششی نمونه های اصلاح شده با پلیمر به نسبت بتن شاهد بیشتر کاهش می یابد. مقاومت کششی نمونه های اصلاح شده با پلی استرغیراشباع در مقایسه با بتن شاهد در 3، 5، 8 و 10 درصد جایگزینی به ترتیب در حدود 11، 22، 38 و 44 درصد افت مقاومت کششی دارند. نمونه های اصلاح شده با وینیل استر در مقایسه با بتن شاهد در 3، 5، 8 و 10 درصد جایگزینی، در حدود 2، 11، 19 و 24 درصد افت مقاومت کششی دارند. کاهش نرخ مقاومت کششی در قیاس با مقاومت فشاری می تواند به علت عملکرد بهتر پلیمر در کشش است. نرخ کاهش مقاومت کششی با افزایش پلیمر کاهش می یابد و به تدریج ثابت می شود. در تمامی درصدهای مورد آزمایش نمونه های اصلاح شده با پلی استرغیراشباع، در قیاس با وینیل استر دارای نرخ کاهش بیشتری هستند. تمامی علت های کاهش مقاومت فشاری در مقاومت کششی نیز صادق است. عملکرد بهتر پلیمر در کشش عامل کاهش نرخ مقاومت کششی به نسبت مقاومت فشاری است. از نقطه نظر مکانیکی، فیلم های پلیمری تشکیل شده با ایجاد پل در ریز ترکها مانع از گسترش آنها و تبدیل به درشت ترکها می شود [18 و 20].

3-3- جذب آب

جذب آب نمونه های بتنی به علت خاصیت موئینگی در بتن های اصلاح شده با پلیمر طبق استاندارد ASTM C642 انجام گرفت. نتایج به دست آمده در شکل (5) نشان داده شده است [31].



شکل (5) - نتایج آزمایش جذب آب بتن های اصلاح شده با پلیمر

با مشاهده شکل (5) می توان نشان داد که، بکارگیری پلیمر موجب کاهش میزان جذب آب می شود. همچنین افزایش پلیمر موجب کاهش بیشتر جذب آب می شود. نتایج مقدار هوا و جذب آب نشان می دهد که، حفرات هوای موجود ارتباطی با یکدیگر ندارد و غشای پلیمری سطح حفرات را پوشش داده

است. نمونه های اصلاح شده با 3 درصد پلی استر غیر اشباع و وینیل استر مقدار جذب آب را در قیاس با بتن شاهد به ترتیب 33، 27 درصد کاهش می دهد. جذب آب نمونه ی اصلاح شده با 5 درصد پلی استر غیر اشباع و 5 درصد وینیل استر، به نسبت بتن شاهد به ترتیب کاهشی 54، 43 درصدی دارد. با افزودن 8 درصد پلی استر غیر اشباع و وینیل استر به بتن معمولی مقدار جذب آب 73، 52 درصد کاهش می یابد. در نهایت، نمونه های اصلاح شده با 10 درصد پلی استر غیر اشباع و وینیل استر مقدار جذب آب را در قیاس با بتن معمولی به ترتیب 74، 65 درصد کاهش می دهد. در درصد جایگزینی 3، 5، 8 و 10 درصد نمونه های اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع عملکرد بهتری دارند. تجمع ذرات پلیمر در پرمودن فضاها ی خالی و ناحیه ی انتقالی، ماتریس یکنواخت تر، جلوگیری از گسترش ریز ترک ها و کاهش استعداد ترک خوردگی در سنین کم از مهمترین علت کاهش جذب آب نمونه های اصلاح شده با پلیمر است [20].

3-5- نحوه ی شکست

به منظور بررسی نحوه ی شکست، نمونه های مکعبی با ابعاد 10cm تحت تنش فشاری شکسته شدند. سرعت و نحوه ی بارگذاری کاملاً مشابه آزمایش مقاومت فشاری است. نحوه ی شکست در شکل (7) آورده شده است.



(ج) وینیل استر (10 درصد)

(ب) پلی استر غیر اشباع (10 درصد)

(الف) شاهد



(ج) وینیل استر (10 درصد)

(ب) پلی استر غیر اشباع (10 درصد)

(الف) شاهد

شکل (7) - نحوه ی شکست نمونه های بتنی اصلاح شده با پلیمر و شاهد

زاویه ی شکست نمونه های اصلاح با پلیمر در قیاس با نمونه ی شاهد دارای شیب کمتری به نسبت عمود است. به عبارت دیگر، خط شکست از حالت قطری به سمت حالت موازی با اعمال بار تغییر حالت می دهد. نمونه ی اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع در مقایسه با وینیل استر دارای خرابی کمتری است. شیب خط شکست نمونه ی اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع دارای زاویه ی کمتری با عمود در قیاس با نمونه ی اصلاح شده با وینیل استر دارد. همچنین در نمونه های استوانه ای طول خط شکست و تعداد خطوط شکست در نمونه های اصلاح شده با پلیمر در قیاس با نمونه ی شاهد کمتر است.

4. نتیجه گیری

در این تحقیق اثرات پلی استر غیر اشباع و وینیل استر در چهار درصد مختلف 3، 5، 8 و 10 بر بتن با عیار 375 و نسبت آب به سیمان 0.41 مورد بررسی قرار گرفت. درصد هوا، روانی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب و نحوه ی شکست از آزمایش های مورد بررسی در این تحقیق بود. پلی استر غیر اشباع موجب کاهش روانی بتن و وینیل استر موجب افزایش روانی بتن های اصلاح شده با پلیمر شدند. همچنین در بتن های اصلاح شده با پلیمر افزایش مقدار هوا موجب روانی بتن نمی شوند. علیرغم افزایش مقدار هوا، مقدار جذب آب کاهش یافت. به عبارت دیگر ذرات پلیمر با کاهش ناحیه ی انتقالی موئینه ها و پوشش سطوح حفرات موجب کاهش جذب آب شدند. افزایش مقدار پلیمر موجب کاهش بیشتر مقاومت فشاری و کششی به نسبت بتن شاهد شد. لیکن در تمامی درصدهای جایگزینی نمونه های اصلاح شده با وینیل استر، کمترین نرخ کاهش مقاومت کششی و فشاری را از خود نشان دادند. در نمونه های مکعبی با افزایش پلیمر خطوط شکست تمایل بیشتری به هم جبهی با جهت اعمال تنش پیدا می کند. در نمونه های استوانه ای نیز تعداد و طول خطوط شکست با افزایش پلیمر کاهش می یابد. همچنین میزان خرابی در نمونه های اصلاح شده با پلی استر غیر اشباع به مراتب کمتر از نمونه های اصلاح شده با وینیل استر است.

5. قدردانی

با تشکر از شرکت دنیای بتن پارسیان که در تمامی مراحل تحقیق همراه ما بودند.

6. منابع

- [1] D. Jiapei ،B. Yuhuan و S. Zhonghou" «Interfacial properties and nanostructural characteristics of epoxy resin in cement matrix "،Construction and Building Materials ،المجلد 164، pp. 103-112. 2018 ،
- [2] M. Cravo ،D. Sartori ،G. Mármol ،G. Schmidt ،C. Balieiro و J. Fiorelli" «Effect of density and resin on the mechanical, physical and thermal performance of particleboards based on cement packaging "،Construction and Building Materials ،المجلد 151، pp. 414-421. 2017 ،
- [3] M. Neji ،B. Bary ،P. Bescop و N. Burlion" «Swelling behavior of ion exchange resins incorporated in tricalcium silicate cement matrix: II. Mechanical analysis "،Journal of Nuclear Materials ،المجلد 467، رقم 2، pp. 863-875. 2015 ،

- [4] M. Dogan و A. Bideci" 'Effect of Styrene Butadiene Copolymer (SBR) admixture on high strength concrete "،Construction and Building Materials ،المجلد 112، p. 378 .2016 ،385–
- [5] F. Eren ،E. Gödek ،M. Keskinates ،K. Felekog و B. Felekog" 'Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars "،Construction and Building Materials ،المجلد 133، pp. 226-233 .2017 ،
- [6] K. Scrivener و A. Nonat" 'Hydration of cementitious materials, present and future "،Cement and Concrete Research ،المجلد 41، رقم 7، pp. 651-665 .2011 ،
- [7] A. A. Menhosh ،Y. Wanga ،Y. Wang و L. Augusthus" 'Long term durability properties of concrete modified with metakaolin and polymer admixture "،Construction and Building Materials ،المجلد 172، pp. 41-51 .2018 ،
- [8] ACI548" 'Report on Polymer-Modified Concrete "،American Concrete Institute ،Farmington Hills.2009 ،
- [9] M. P. Kumar و M. Paulo.J. M ،Concrete Microstructure, Properties, and Materials ،Berkeley: McGraw-Hill .2006 ،
- [10] W. Publishing" 'Concrete "،Building Materials in Civil Engineering ،المجلد 423، pp. 81-149 .2014 ،
- [11] R. M و A. Tabassi" 'Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: A correlational study that includes pore distributions, water absorption and compressive strength "،Construction and Building Materials ،المجلد 28، رقم 2، pp. 561-570 .2012 ،
- [12] C.-C. Martuscelli ،J.-S. Santos ،P.-R. Oliveira ،T.-H. Panzera ،M.-T. P-Aguilar و K.-T. Garcia" 'Polymer-cementitious composites containing recycled rubber particles "،Construction and Building Materials ،المجلد ، pp. 446-454 .2018 ،170pp ،
- [13] A. Shadmani ،B. Tahmouresi ،A. Saradar و E. Mohseni" 'Durability and microstructure properties of SBR-modified concrete containing recycled asphalt pavement "،Construction and Building Materials ،المجلد 185، pp. 380-390 .2018 ،
- [14] A.-C. Bhogayata و N.-K. Arora" 'Workability, strength, and durability of concrete containing recycled plastic fibers and styrene-butadiene rubber latex "،Construction and Building Materials ،المجلد 180، pp. 382-395 .2018 ،
- [15] R. Wang و G. Wang" 'Influence and mechanism of zeolite on the setting and hardening process of styrene-acrylic ester/cement composite cementitious materials "،Construction and Building Materials ،المجلد 125، pp. 757-765 .2016 ،
- [16] J.-A. Thamboo ،M. Dhanasekar و C. Yan" 'Flexural and shear bond characteristics of thin layer polymer cement mortared concrete masonry "،Construction and Building Materials ،المجلد 46، pp. 104-113 .2013 ،
- [17] H.-K. Hussain ،G.-W. Liu و Y.-W. Yong" 'Experimental study to investigate mechanical properties of new material polyurethane–cement composite (PUC "،Construction and Building Materials ،المجلد 50، pp. 200-208 .2014 ،
- [18] L. Sifeng ،K. Yaning ،W. Tingting و Z. Guorong" 'Effects of thermal-cooling cycling curing on the mechanical properties of EVA-modified concrete "،Construction and Building Materials ،المجلد 165، رقم ، pp. 443-450 .2018 ،443pp ،

- [19] V. LI" ،A Review of the Material and Its Applications "،Advanced Concrete Technology ،المجلد 1، pp. 215-230 .2003 ،
- [20] U. Neven و R. Anamarija" ،Styrene-butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar "،Cement &Concrete Composites ،المجلد 41، pp. 16-23 .2013 ،
- [21] P. B ،Z. Y و L. G" ،Study on the effect of waterborne epoxy resins on the performance and microstructure of cement paste "،Construction and Building Materials ،المجلد 167، pp. 831-845 .2018 ،
- [22] ASTM-D5370" ،Standard Specification for Pozzolan Blended Materials in Construction Applications "، Subcommittee: D34.03 ،Washington.2014 ،
- [23] A.-C. /C33M" ،Standard Specification for Concrete Aggregates "،Subcommittee: C09.20 ،Washington ، .2018
- [24] ACI211.1" ،Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009 "،(ACI Committe ،USA.1991 ،
- [25] ASTM-C39/C39M" ،Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens "، Subcommittee: C09.61 ،Washington.2018 ،
- [26] ASTM-C496/C496M" ،Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens "،Subcommittee: C09.61 ،Washington.2017 ،
- [27] ASTM-C469/C469M" ،Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression "،Subcommittee: C09.61 ،Washington.2014 ،
- [28] ASTM-C143/C143M" ،Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete "،Subcommittee: C09.60 ،Washington.2015 ،
- [29] ASTM-C231/C231M" ،Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method "،Subcommittee: C09.60 ،Washington2017 ،a.
- [30] A. Joseph.Jean" ،Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair applications "، Construction and Building Materials ،المجلد 163، pp. 139-148 .2018 ،
- [31] ASTM-C642" ،Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete "، Subcommittee: C09.66 ،Washington.2013 ،
- [32] ACI318" ،Building Code Requirements for Reinforced Concrete "،American Concrete Institute ، Farmington Hills.2014 ،