

بررسی اثرات پخت تکمیلی بر مشخصات مکانیکی بتن های پلیمر -

سیمان

صادق دردائی^۱، حامد باقری^{۲*}

۱- استادیار دانشکده فن آوری های برتر، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استادیار دانشکده فن آوری های برتر، دانشگاه تربیت مدرس

hbagheri@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۶/۲۵]

چکیده- امروزه استفاده از مصالح پلیمری در صنعت ساختمان رشد روز افزونی داشته است. بر این اساس از مصالح پلیمری در ساخت بتن، برای اصلاح مشخصات آن استفاده می شود. سه نوع اصلی مصالح مرکب بتن پلیمری شامل پلیمر تزریقی، پلیمری و بتن پلیمر-سیمان در صنعت ساختمان شناخته شده است. استفاده از انواع پلیمرها و چگونگی ساخت نمونه جدید، می تواند مشخصات مکانیکی متفاوتی در رفتار بتن را باعث شود. در این پژوهش آثار مربوط به تغییرات میزان درصد وزنی رزین پلی استر در ساخت بتن و اثرات پخت تکمیلی بعد از ساخت در بتن های پلیمر-سیمان بررسی می شود. بر این اساس نمونه های استوانه ای بتن با سیمان پرتلند بدون پلیمر، نمونه هایی که ده، بیست و سی درصد وزنی سیمان، پلیمر در ساخت آن جایگزین شده، ارزیابی می شود. همچنین آثار مربوط به پخت تکمیلی در ساخت نمونه های بتن های پلیمر-سیمان (PPCC) ارزیابی می شود. بر اساس نتایج به دست آمده آثار استفاده از پلیمر در ساخت بتن بر مشخصات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری و مقاومت کششی و همچنین آثار پخت تکمیلی در مشخصات مقاومتی این نمونه ها قابل توجه است.

واژگان کلیدی: مشخصات مکانیکی، بتن، رزین پلی استر، پخت تکمیلی، بتن پلیمر-سیمان

۱- مقدمه

کارگیری مناسب مواد پلیمری به روش های مختلف، خواص بتن ارتقا می یابد. در این رابطه خانواده بتن های پلیمری، بهترین خواص را از خود نشان دادند. سابقه تاریخی استفاده از پلیمرها در بتن، استفاده از هر دو خانواده از پلیمرها یعنی ترموپلاست ها و ترموست ها را نشان می دهد. بدیهی است که استفاده از ترموست ها یا به عبارت دیگر گرماسخت ها باعث افزایش بیشتر و بهتر خواص بتن می شود و این نوع از پلیمرها به دلیل ایجاد شبکه های بهم پیوسته، توان افزایش خواصی مانند خزش و مقاومت در برابر شکست و عوامل جوی را دارد. البته خواص یک ترموست با افزایش میزان پیوندهای عرضی افزایش پیدا می کند و با آن رابطه مستقیم دارد. فرآیند پخت رزین پلی استر در شکل (۱) ارائه شده است.

استفاده از مصالح و مواد پلیمری در دهه های اخیر به شدت رشد کرده است و صنعت ساختمان به عنوان یکی از بزرگترین مصرف کنندگان مواد پلیمری شناخته می شود. یکی از مصالح ترکیبی که در ساخت و سازهای شهری در کشور به وفور استفاده می شود بتن است. این ماده به دلیل هزینه پایین تولید، راحتی استفاده و مقاومت فشاری، یکی از مواد پرمصرف در سازه ها است، ولی به دلیل نقایصی که دارد، همزمان با تولید این ماده، استفاده از افزودنی ها و مسلح کردن بتن و بهبود خواص مکانیکی مانند اصلاح و افزایش مقاومت خمشی، مورد توجه است. در نتیجه، استفاده از مواد و ترکیبات شیمیایی، برای بهبود خواص آن مورد توجه قرار گرفت. حاصل پژوهش هایی که در این زمینه صورت گرفت این نتیجه را در بر داشت که با به

سه نوع اصلی مصالح مرکب بتن پلیمری عبارتند از: الف) پلیمر تزریقی (Polymer-impregnated Concrete) ب) بتن پلیمری (Polymer concrete) ج) بتن پلیمر-سیمان (Polymer-Portland-Cement Concrete) یا (PPCC)

الف) بتن پلیمر تزریقی: به وسیله تزریق یک منومر با ویسکوزیته پایین در یک بتن سیمان پرتلند پیش ساخته شده تولید می شود، که این منومرهای تزریق شده تحت تاثیر عوامل فیزیکی (تابش نور فرابنفش یا گاما) یا شیمیایی به پلیمر جامد تبدیل می شوند. مهمترین عامل نامناسب برای استفاده از این فرآورده ها قیمت نسبتاً زیاد آنهاست به گونه ای که منومر استفاده شده در آنها گران قیمت است و فرآیند تولید نیز پیچیده تر از بتن اصلاح نشده است [3].

ب) بتن پلیمری: بتن رزینی شامل یک چسباننده پلیمری که ممکن است ترموپلاست یا ترموست و یک پرکننده معدنی مانند شن و ماسه، شن و یا سنگ گسسته باشد. این بتن ها مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و خوردنده ها، جذب آب کمتر و پایداری بالاتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب نسبت به بتن سیمان پرتلند معمولی دارند. PCها مواد مرکبی است که چسباننده آنها تماماً شامل پلیمرهای مصنوعی است که اشکال متفاوتی از آنها مانند بتن رزین های مصنوعی، بتن رزین پلاستیکی بتن ساده رزینی شناخته شده اند. به دلیل استفاده از پلیمر به جای سیمان پرتلند افزایش واقعی قیمت وجود خواهد داشت. پس پلیمرها فقط باید در مواردی مصرف شوند که بتوان خواص فوق العاده آنها، هزینه دستمزد کمتر در عمل آوری و جابه جایی را با قیمت بالای آنها توجیه کرد. بنابر این مهم است که یک طراح و مهندس آگاهی کافی از قابلیت PCها داشته باشد [4].

ج) بتن پلیمر-سیمان: بتن اصلاح شده ای است که قسمتی از سیمان چسباننده آن، با پلیمرهای مصنوعی جایگزین شده است. این فرآورده از ترکیب کردن یک منومر، پیش پلیمر-منومر یا با یک شیره پلیمری داخل یک بتن سیمانی تولید می شود. پلیمریزاسیون منومرها و پیش پلیمر-منومر در اثر اضافه کردن یک کاتالیزور به مخلوط انجام می شود. تکنولوژی این فرآیند خیلی شبیه به بتن معمولی است. بنابر این بتن پلیمر-

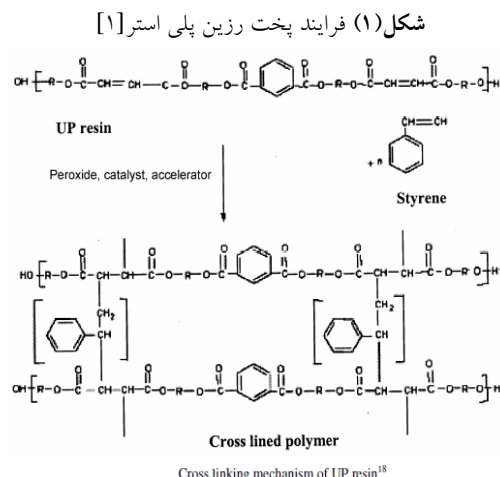


Fig 1. Curing process of polyester resin [1]

شکل (۲) فرایند پخت تکمیلی (a) رزین قبل از شروع فرایند پخت (b) شروع فرایند شبکه ای شدن (c) تکمیل فرایند پخت (d) فرایند پخت تکمیلی [۲]

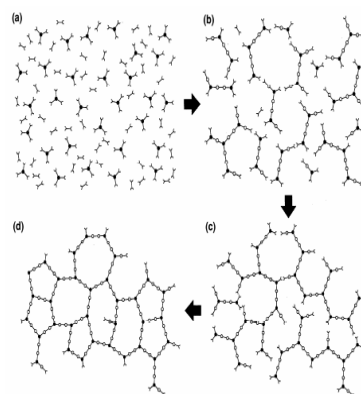


Fig 2. Post curing process: a) resin before curing b) start of cross link process c) complete curing d) post curing [2]

میزان پیوندهای عرضی در یک پلیمر گرماسخت با میزان شروع کننده، دما و زمان پخت رابطه مستقیم دارد. در پلیمرهای گرماسخت عموماً بعد از زمان پخت می توان پلیمر را در یک محیط گرم با دمای متعادل قرار داد تا فرایند پخت کاملتر شود در این حالت پیوندهای عرضی به بیشینه مقدار خود خواهد رسید به این فرایند پخت تکمیلی یا (Post Curing) می گویند. این فرایند عموماً در تولید بیشتر ترموستها استفاده می شود. مرور ادبیات فنی با توجه به اطلاعات گردآوری شده نشان می دهد فرایند پخت تکمیلی در تولید بتن های پلیمری مورد توجه قرار نگرفته است و این درحالی که بررسی تاثیر این موضوع شاید بتواند باعث ایجاد خواص بالاتری در این نوع بتن بشود.

رزین پلی استر را بررسی کرد. بتن‌های استناد شده در این پژوهش از نوع بتن پلیمری بود که در آن به جای سیمان از رزین پلی استر استفاده شده بود. البته پژوهش‌های ارائه شده در خصوص بتن‌های پلیمر-سیمان محدودتر از سایر بتن‌های پلیمری است. در استاندارد ACI 548 خلاصه کلی از مشخصات عمومی بتن‌های پلیمر-سیمان ارائه شده است [5]. Al-Mandi و همکاران روی آثار دما روی نمونه تیرهای بتنی اصلاح شده با بتن پلیمر-سیمان ساخته شده از اپوکسی پژوهش‌های خود را ارائه نمودند [6]. Alkhaleefi و همکاران رفتار بتن‌های پلیمر-سیمان را بررسی کرده و آثار استفاده از اپوکسی را در اصلاح مشخصات بتن بررسی و ارائه نمودند [7]. تنوع رزین‌های قابل استفاده در بتن‌های پلیمری می‌تواند موجب حصول خصوصیات فیزیکی- مکانیکی مختلف شود که تاکنون مورد تحقیق پژوهشگران مختلف قرار گرفته است [9-12].

در این پژوهش آثار مربوط به تغییرات میزان درصد وزنی پلیمر در ساخت بتن و آثار پخت تکمیلی بعد از ساخت در بتن‌های پلیمر-سیمان بررسی می‌شود. بر این اساس نمونه‌های استوانه‌ای بتن با سیمان پرتلند بدون پلیمر، نمونه‌های بتنی با ده، بیست و سی درصد وزنی سیمان، پلیمر ساخته و ارزیابی می‌شود. همچنین آثار مربوط به پخت تکمیلی در ساخت نمونه‌های بتن‌های پلیمر-سیمان (PPCC) بررسی می‌شود.

۲- مشخصات مصالح

بر اساس بیشتر استانداردهای موجود برای به دست آوردن مشخصات بتن‌های ساخته شده، در این پژوهش نیز نیازمند ساخت دو نمونه از هر نوع بتن است. پس برای هر آزمایش ۲ نمونه برای بتن معمولی، ۲ نمونه برای بتن پلیمر-سیمان دارای پخت تکمیلی و ۲ نمونه برای بتن پلیمر-سیمان بدون پخت تکمیلی در این پژوهش ساخته شده و مورد آزمایش و بررسی‌های بیشتر قرار گرفت. در مجموع ۱۴ نمونه مورد تایید، آزمایش شدند.

۱-۲- بتن سیمانی

۱-۱-۲- سیمان

سیمان مورد استفاده در این مطالعه برای ساخت نمونه‌ها، از

سیمان را می‌توان در کاربری خواسته شده، درجا ریخت. درحالی‌که بتن پلیمر تزریقی معمولاً به صورت سازه‌های پیش ساخته استفاده می‌شوند. خواص بتن پلیمر-سیمان تولید شده به وسیله بتن اصلاح شده با پلیمرهای گوناگون از ضعیف تا کاملاً مساعد تغییر می‌کند. خواص ضعیف محصولات به ناسازگاری بین بیشتر پلیمرها و منومرها با قسمتی از جزء ترکیبی بتن آنها نسبت داده می‌شود. خواص بالاتر نیز به وسیله استفاده از پری پلیمرهایی مثل پلی استر غیر اشباع کراس لینک شده با استایرن یا اپوکسی‌ها تولید می‌شوند [۴]. برای دستیابی به اصلاح مناسب، باید نسبت زیادی از پلیمرها استفاده شود که با افزایش قیمت توجه پذیر نیست. اصلاح بتن با شیره پلیمری برای بهبود خواص در محدوده یک هزینه معقول توصیه می‌شود، چراکه گونه‌های زیادی از شیره‌ها در حال حاضر برای استفاده در فرآورده‌های بتنی پلیمر-سیمان و ملات‌ها وجود دارد. عمل‌آوری شیره بتن پلیمر-سیمان با بتن معمولی متفاوت است، به دلیل اینکه پلیمر یک غشاء نازک روی سطح فرآورده‌ها تشکیل می‌دهد باعث می‌شود قسمتی از رطوبت داخلی درون بتن نگه‌داری شده و این رطوبت برای ادامه هیدراسیون سیمان مورد نیاز است همچنین به دلیل همین غشاء نازک تشکیل یافته، عمل‌آوری با آب برای این محصولات عموماً کمتر از بتن معمولی است. بتن‌های پلیمر-سیمان ساخته شده از شیره پلیمر، پیوستگی عالی با آرماتورهای فولادی و بتن‌های کهنه از خود نشان می‌دهند. شکل‌پذیری خوب، مقاومت در برابر نفوذ آب و محلول‌های نمک آبی، مقاومت در برابر پدیده یخ-ذوب از دیگر خواص آنها است جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن پلیمر-سیمان نیز غالباً کمتر از بتن معمولی است.

پژوهش‌های متعددی در خصوص بررسی عملکرد مکانیکی بتن‌های اصلاح شده با مواد پلیمری انجام شده است. پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه نیز مربوط به سه دسته بتن اصلاح شده است. جمشیدی (۱۳۸۹) عملکرد مکانیکی و دوام بتن‌های پلیمری تهیه شده از رزین پلی‌استر را بررسی و افزایش مقاومت‌های اولیه و نهایی بتن‌های پلیمری تهیه شده از

نوع سیمان پرتلند نوع II است.

۲-۱-۲- مصالح سنگ دانه

مشخصات سنگ دانه مصرفی در این مطالعه از نوع شکسته، طبق روش های تست استاندارد ASTM تعیین شده است. بیشینه قطر سنگ دانه آن برابر ۱۹ میلی متر است. همچنین چگالی ظاهری در حالت درون اشباع با سطح خشک برای ریز دانه ها طبق استاندارد ASTM C128 برابر با ۲/۷۵ و برای درشت دانه ها ۲/۵۱ گرم بر سانتی متر مکعب محاسبه شده است. سایر مشخصات فیزیکی سنگدانه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۳) طرح اختلاط بتن پلیمر-سیمان

نمونه پلیمر-سیمان	نسبت آب به سیمان	درصد وزنی سیمان	درصد وزنی رزین نسبت به سیمان %
نمونه ۱	۰/۴	۱۲	۱۰
نمونه ۲	۰/۴	۱۰	۲۰
نمونه ۳	۰/۴	۹	۳۰

Table 3. Polymer- cement concrete mix design

۲-۲-۳ آماده سازی نمونه ها

کامپوزیت های مورد استفاده با درصدهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ وزنی رزین مورد استفاده نسبت به سیمان، در قالبی استوانه ای به ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی متر تولید شدند. فرآیند عمل آوری نمونه هایی که شامل پخت تکمیلی می شوند به این صورت بود که به مدت یک روز در دمای اتاق پخت شده و سپس به مدت ۳ ساعت در محیط آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلیسیوس پخت تکمیلی شدند. عمل آوری نمونه های پلیمر سیمان بعد از آن مشابه نمونه های بتن معمولی است. روز ۱۲ام ساخت نمونه ها برای استخراج نتایج، آزمایش شدند.

۳- بحث و بررسی

۳-۱- مقاومت فشاری:

در این پژوهش مقاومت فشاری نمونه ها بر اساس استاندارد ASTM C39 / C39M [13] تعیین و در شکل های ۳ و ۴ ارائه شده است.

بر این اساس شکل ۳، شامل نتایج مقاومت فشاری نمونه های

جدول (۱) مشخصات سنگدانه ها

شن	ماسه	مشخصات
۲/۵۱	۲/۷۵	چگالی ظاهری (gr/cm ³)
۱۵۹۲/۳	۱۷۲۶	وزن مخصوص ظاهری (Kg/m ³)
٪۲	٪۴	رطوبت نسبی (%)
-	۲/۸۱	مدول نرمی (F.M)
-	۷۹	ارزش ماسه ای %

Table 1. Properties of aggregates

۲-۱-۳ طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن معمولی در جدول ۲ ارائه شده است. نمونه ها پس از یک ساعت از زمان قالب گیری از قالب خارج شده و بعد از آن مشابه نمونه های بتن پلیمری دارای نگهداری ثانویه به مدت یک روز در محیط آزمایشگاه نگهداری شده اند و سپس سه ساعت در دمای آب ۸۰ درجه عمل آوری شده و سپس عمل آوری آنها به طور معمولی ادامه یافت.

جدول (۲) طرح اختلاط بتن

نمونه	نسبت آب به سیمان	درصد وزنی سیمان	درصد وزنی ماسه	درصد وزنی رزین
بتن معمولی	۰/۴	۱۴	۴۸	۳۱

Table 2. Concrete mix design proportions

۲-۲- بتن پلیمر سیمان

۲-۲-۱- رزین

شکل (۳) نتایج مقاومت فشاری بدون پخت ثانویه

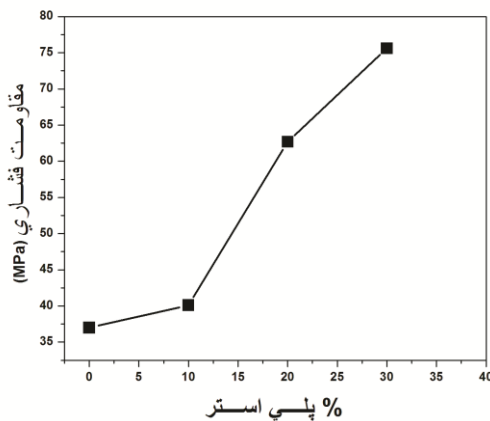


Fig 3. Compressive strength results for samples without post curing

شکل (۴) نتایج مقاومت فشاری با پخت ثانویه

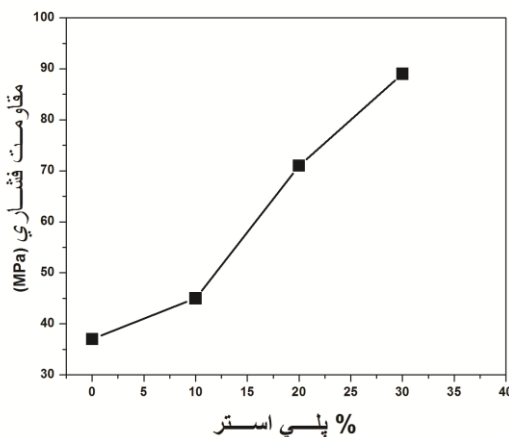


Fig 4. Compressive strength results for samples with post curing

علت این پدیده را می‌توان در افزایش درصد شبکه‌ای شدن رزین جستجو کرد. با توجه به این موضوع که در میزان کمتر رزین احتمال ایجاد شبکه کمتر است و شرایط پخت تکمیلی می‌تواند تاثیر حضور رزین را بیشتر نمایان سازد.

۳-۲- مقاومت کششی

بر خلاف آزمایش‌های مقاومت فشاری، آزمایش مقاومت کششی با روش غیرمستقیم که تفاوت‌های اصولی بین آنها وجود دارد، انجام می‌گیرد. حالت ایده‌آل آن است که مقاومت کششی از طریق کشش مستقیم اندازه‌گیری شود، لیکن اعمال کشش محوری در نمونه‌های بتنی دشوار است.

دو آزمایش متداول در این مورد، آزمایش خمشی و آزمایش دو نیم شدن است. در آزمایش دو نیم شدن یا آزمایش برزلی،

بتنی است که تحت شرایط پخت تکمیلی قرار نگرفته است و در شکل ۴ نتایج مربوط به نمونه‌های دارای پخت تکمیلی ارائه شده است. لازم به گفتن است که منظور از نمونه دارای رزین صفر درصد همان نمونه بتن معمولی است که برای مقایسه بهتر در این شکل‌ها ارائه شده است.

آزمایش تعیین میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها در پایان روز ۲۸م ساخت نمونه‌ها انجام شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود افزایش درصد وزنی رزین نسبت به سیمان میزان مقاومت فشاری بتن را به شکل چشمگیری افزایش داده است بر این اساس نمونه پخت تکمیلی شده دارای درصد وزنی رزین ده درصد افزایش مقاومت فشاری حدود ۲۲ درصد، نمونه دارای درصد رزین بیست درصد افزایش مقاومت فشاری ۹۱ درصد و نمونه دارای رزین سی درصد افزایش ۲۴۰ درصدی را از خود نشان می‌دهد. در حالی که این مقادیر برای بتن‌های پلیمر سیمان بدون پخت به ترتیب برابر ۸، ۷۰ و ۲۰۰ درصد است.

برای بتن‌های پلیمری دارای پخت تکمیلی بهبود مشخصات مقاومت فشاری نسبت به حالت بدون پخت قابل توجه است. مقایسه نتایج مربوط به افزایش مقاومت نمونه‌ها در جدول شماره ۴ ارائه می‌شود. نتیجه‌گیری کلی به دست آمده نشان می‌دهد افزایش درصد وزنی استفاده از رزین و انجام عملیات پخت تکمیلی روی نمونه‌های بتنی باعث افزایش و بهبود مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی شده است. از طرفی تاثیر پخت تکمیلی در نمونه‌های دارای رزین کمتر نمود بیشتری نشان می‌دهد.

جدول (۴) میزان افزایش مقاومت فشاری بتن پلیمر سیمان در مقایسه با بتن

معمولی

درصد افزایش		نسبت رزین استفاده شده
نمونه بدون پخت ثانویه	نمونه با پخت	
۸	۲۱	٪۱۰
۶۹	۹۱	٪۲۰
۲۰۰	۲۴۰	٪۳۰

Table 4. Compressive strength of polymer-cement concrete compared to cement concrete

میزان افزایش مقاومت کششی برای نمونه های پخت شده برابر ۱۲،۴۵۰ و ۷۰ درصد و در نمونه های پخت نشده ۳۵۴،۷۵ و ۶۰ درصد نسب به بتن معمولی است. بر این اساس همان گونه که در آزمایش مقاومت فشاری دیده شد پخت تکمیلی باعث ایجاد شبکه بیشتر در رزین شده و در نتیجه میزان مقاومت نمونه ها را افزایش می دهد. این افزایش در نمونه ده درصد بیشتر تاثیر گذار است زیرا باعث افزایش درصد شبکه ای شده و تاثیر گذاری رزین را در بتن افزایش می دهد.

جدول (۵) میزان افزایش مقاومت کششی بتن پلیمر سیمان در مقایسه با بتن معمولی

درصد افزایش		نسبت رزین استفاده شده
نمونه بدون پخت ثانویه	نمونه با پخت	
۷۵	۲۵۰	٪۱۰
۳۵۴	۴۱۲	٪۲۰
۴۶۰	۵۷۰	٪۳۰

Table 4. Compressive strength of polymer-cement concrete compared to cement concrete

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش اثر میزان استفاده از پلی استر به جای سیمان در تغییر مشخصات بتن بررسی شد. همچنین با توجه به اینکه تاکنون پژوهش کاملی در مورد آثار پخت تکمیلی روی خواص بتن پلیمری انجام نشده است. تأخیر انجام این فرآیند نیز بررسی گردید. بر این اساس در این پژوهش درصد وزنی رزین بر اساس درصد سیمان مورد استفاده به عنوان پارامتر متغییر در تغییر مشخصات بتن بررسی شد. افزایش درصد وزنی رزین نسبت به سیمان میزان مقاومت فشاری بتن را به طرز چشمگیری افزایش داده است. بر این اساس افزایش مقاومت فشاری نمونه های پخت تکمیلی شده برای درصد وزنی رزین ده ، بیست و سی درصد به ترتیب برابر ۲۲ ، ۹۱ و ۲۴۰ درصد است، در حالی که افزایش مقاومت فشاری برای نمونه های پخت نشده به ترتیب برابر ۸ ، ۷۰ و ۲۰۰ درصد است. میزان افزایش مقاومت کششی برای نمونه های پخت شده برابر ۱۲،۴۵۰ و ۷۰ درصد و در نمونه های پخت نشده ۳۵۴،۷۵

استوانه بتنی که برای انجام آزمایش فشار به کار برده می شود به شکلی بین فک های دستگاه فشار قرار می گیرد که محور طولی آن در جهت افقی قرار گیرد و بار وارد بر آن کم کم اضافه می شود تا گسیختگی به وسیله شکست در امتداد قطر نمونه رخ دهد. بر این اساس در این مطالعه آزمایش برزلی روی نمونه های ساخته شده انجام شده است.

مشابه آزمایش مقاومت فشاری نمونه های دارای رزین در آزمایش کشش نیز بسیار بهتر عمل نمودند. که میزان بهبود مشخصات در آزمایش کششی در نمونه های دارای پخت تکمیلی چشمگیرتر است. شکل ۵ نتایج آزمایش مقاومت کششی بدون پخت تکمیلی، شکل ۶ نتایج مقاومت کششی با پخت تکمیلی و جدول ۵ میزان افزایش مقاومت کششی نمونه های بتن پلیمر-سیمان در مقایسه با بتن معمولی را نشان می دهد.

شکل (۵) نتایج مقاومت کششی بدون پخت ثانویه

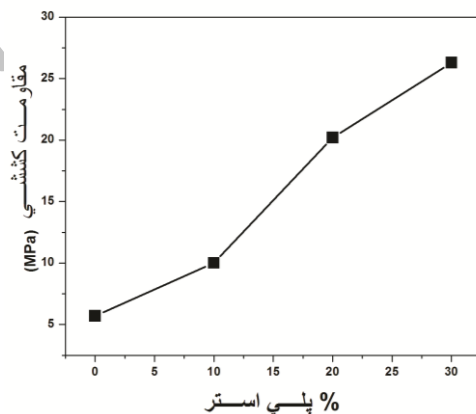


Fig 5. Tensile strength results for samples without post curing

شکل (۶) نتایج مقاومت کششی با پخت ثانویه

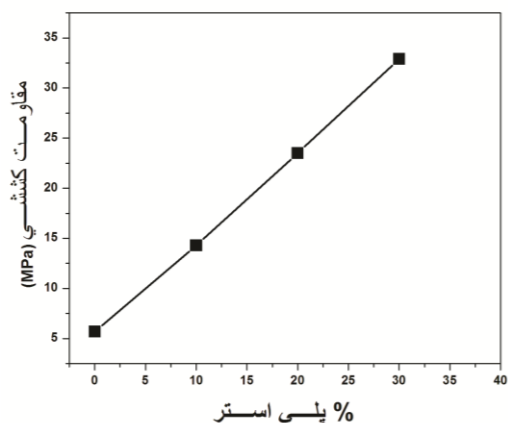


Fig 6. Tensile strength results for samples with post curing

- [6] Alkhaleefi et.al "on the behavior of polymer portland cement concrete" 27th conference on OOUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES; 29-30 August 2002; Singapore
- [7]. Abdel-Fattah, H. and EL-Hawary, M. M., "Flexural Behavior of Polymer Concrete," Construction and Building Materials, 13, 253-262, 1999.
- [8]. Aicin, P.C., "The Durability Characteristics of High Performance Concrete: A Review", Cement & Concrete Composites, 25, 409-420, 2003.
- [9]. Asthana, K.K. and Lakhani, R., Development of Polymer Modified Cementitious (Polycem) Tiles For Flooring," 18, 639-643, 2004.
- [10]. EL-Hawary, M. M. and Abdel-Fattah, H., "Temperature Effect On The Mechanical Behavior of Resin Concrete," Construction and Building Materials, 14, 317-323, 2000.
- [11]. Reis, J.M.L. and Ferreira, A.J.M., Assessment of Fracture Properties of Epoxy Polymer Concrete Reinforced With Short Carbon and Glass Fibers," Construction and Building Materials, 18, 523-528, 2004.
- [12]. Liu, J., and Vipulanandan, C., "Evaluating A Polymer Concrete Coating For Protecting Non-Metallic Underground Facilities From Sulfuric Acid Attack," Tunneling and Underground Space Technology, 16, 311-321, 2001.
- [13]. ASTM. (2013). "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens." ASTM C39/C39M-11, West Conshohocken, PA.

۶۰ درصد است. پس می‌توان به طور کلی عنوان نمود که افزایش رزین در بتن پلیمر - سیمان مشخصات مکانیکی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد که این میزان افزایش در خصوص نمونه‌های با پخت تکمیلی قابل توجه است. همچنین آثار پخت تکمیلی در نمونه‌های دارای میزان رزین کمتر چشمگیرتر است، که دلیل آن را می‌توان در افزایش میزان شبکه‌ای شدن در رزین پلی استر و همچنین افزایش تاثیر رزین در مخلوط بتن پلیمر سیمان بیان نمود.

References

۶- مراجع

- [1]. waigaonkar S., "curing studies of unsaturated polyester resin used in FRP products" Indian journal of engineering & material science, 18, 31-39, 2011
- [2]. Prime.p., Thermal characterization of polymeric material, Academic Press, San Deigo, 1997
- [3]. ACI 548, "Guide For The Use of Polymers In Concrete," 1997.
- [3]. Miller M., "Polymers In Cementitious Materials," RAPRA Technology, 2005.
- [۴] جمشیدی؛ مسعود؛ "بررسی عملکرد مکانیکی و دوام بتن پلیمری تهیه شده از رزین پلی استر"؛ مجله تحقیقات بتن؛ سال سوم؛ شماره ۱؛ ۱۳۸۹؛ ص ۴۳-۴۹
- [5] Al-Mandi, M.Y.; Khalil, H.S.; "Performance of epoxy repaired concrete under thermal cycling", Cement and Concrete Composites, Vol 1; No.1; pp. 47-52

The Effects of Post-Curing on the Mechanical Properties of Polymer Cement Concrete

Sadegh Dardaei¹, Hamed Bagheri^{1*}

1. Assistant Professor, Faculty of High Technologies, Tarbiat Modares University

hbagheri@modares.ac.ir

Abstract:

It is well known that general concrete alone lacks excellent mechanical properties especially in tension, hence there is need for modification by polymers. Research on polymer concrete began in the 1950s and it has been actively used since the 1970s. The use of Polymer cement concrete is in rapid increase as it possesses improved qualities over conventional concrete. Adequate design of polymer concrete members requires appropriate understanding of its mechanical behavior. There are three kind of polymer concrete: A) polymer concrete (PC): this kind of polymer concrete is formed by polymerization a mixture of a monomer of a thermoset polymer and aggregate, B) latex-modified concrete (LMC): this kind of polymer concrete is named polymer Portland cement concrete. In this way Conventional concrete is replaced with part of mixing water with latex and C) polymer-impregnated concrete (PIC): it is produced by impregnating or infiltrating a hardened concrete with a monomer then polymerization is done.

There are many polymers that used in polymer concrete same as polyester, epoxy, styrene monomer and methyl methacrylate (MMA). Polyester concretes are viscoelastic and will fail under a sustained compressive loading at stress levels greater than 50 percent of the ultimate strength. Sustained loadings at a stress level of 25 percent did not reduce ultimate strength capacity for a loading period of 1000 hr.

The main purpose of this paper is to investigate the effect of post curing effects on the mechanical properties of polymer cement concrete. Polyester was introduced to the mix as cement replacement by weight. A suitable concrete mix was designed and produced, using three different ratios of Polyester as cement replacement varying between conventional concrete for 0% Polyester to 30% Polyester. Two types of samples were cast, compacted and then cured for 28 days. The polymer concrete samples include two types, one has post cured and the other was without post curing. The cylinder specimens were tested in compression and split tension to determine the compressive and the tensile strength. The variation of compressive strength, tensile strength were determined and assessed for samples especially for samples with and without post curing. Based on the experimental program post curing has Significant effects compressive and tensile strength of concrete samples. The effect of weight percentage of polyester resin and post curing condition were investigated in relation to the mechanical properties of polymer concrete. The results indicate that an increase of polyester content in polymer concrete enhances the mechanical properties same as the tensile and compressive strength of the composite. Also, post curing increases mechanical properties, especially in the lower weight percent polyester. It seems that post curing causes increased degree of cross-linking in resin and increased the effect of polyester in the composite in lower percentage. It can be seen that post curing increased the mechanical strength for lower weight percentage of polyester more than the higher ones. In other words, lower weight percentage of polyester is more effective than the higher. This result comes from the effect of cross-linked density of polyester in polymer concrete composite because cross-linked density is very low when the weight percentage of polyester is low. Post curing can increase the cross-link density of polyester therefore increasing the mechanical properties of polymer concrete.

Keywords: Polymer Cement Concrete, post curing, mechanical properties, Polyester.