# بررسی مشخصات مکانیکی بتن پلیمری با رزین وینیل استر و مقایسه با بتن معمولی ساخته شده با مصالح شهر زنجان

حسین حیدری[1]، یحیی نصیرا[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فنی و مهندسی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

۲- استادیار ، گروه فنی و مهندسی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

Yahya.nassira@iauz.ac.ir

## چکیده

یکی از مصالح ترکیبی که در صنعت ساخت و ساز شهری در کشور استفاده می شود بتن است. این ماده به دلیل هزینه تولید پایین، راحتی استفاده و مقاومت فشاری مناسب یکی از پر مصرف ترین مواد در سازه هاست. بنا به دلایلی همچون ضعف در کشش و خمش، استفاده از مواد و ترکیبات شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است که در این رابطه خانواده بتن های پلیمری بهترین خواص را از خود نشان دادند. در این پژوهش رزین وینیل استر به عنوان چسباننده بر اساس درصدی از وزن مصالح خشک شده استفاده شده و نتایج مقاومت فشاری و کششی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور ۶۰ نمونه با دانه بندی ثابت مصالح سنگی و درصد رزین متغیر ساخته شده تا درصد بهینه رزین جهت بیشترین مقاومت کششی و فشاری بدست آید. نمونه های ساخته شده با رزین وینیل استر با نمونه های ساخته شده با دانه بندی مشابه و چسباننده سیمان مقایسه شده اند. نمونه های استفاده شده در این آزمایش نمونه استوانه ای استاندارد می باشد و مقاومت کششی به روش غیر مستقیم(برزیلی)بدست آمده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش مقاومت فشاری و کششی با استفاده از چسباننده وینیل استر بجای سیمان می باشد.

**واژه های کلیدی:بتن پلیمری،وینیل استر،مقاومت کششی، مقاومت فشاری**

## ۱–مقدمه

امروزه باپیشرفت علم وتکنولوژی مشخص شده است که صرف توجه به مقاومت به عنوان یک معیار برای طرح بتن برای محیطهای مختلف وکاربردهای مختلف نمی تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در دراز مدت درسازه های بتنی ایجاد میگردد. شناخت بتن باعث ایجاد تحولی بزرگ در رشته عمران گردید و به طورشگفت انگیزی در اکثر سازه ها مورد استفاده قرار گرفت هم زمان با این شناخت سعی شد با افزودن مواد شمیایی در بتن دوام و کیفیت آن افزایش یافته و با مسلح کردن بتن با فولاد خاصیت تاب خمشی به آن داده شده است.

با ورود پلیمر ها به صنعت ساختمان ، استفاده از این مواد برای افزایش مقاومت و کارایی بتن ها بسیار مورد استقبال قرار گرفته است. در یک تقسیم بندی کلی، میتوان کاربرد پلیمر در بتن را به دو شاخه استفاده جامد و استفاده غیرجامد تقسیم کرد. درحالت استفاده جامد، محصولات پلیمری با فولاد جایگزین می شوند و عمل مسلح کردن بتن را انجام می دهند ولی در حالت استفاده غیرجامد با تزریق وترکیب پلیمرهای پودری و مایع در بتن می توان کیفیت و دوام بتن را بهبود بخشید. بین ۷۰ تا ۸۰ درصد از حجم بتن توسط دانه های سنگی اشغال می شود. به این ترتیب منطقی خواهد بود که دانه ها نقش عمیق واساسی درخصوصیات و عملکرد بتن داشته باشند. بتن پلیمری رد مقایسه با بتن های متداول دارای خواص مکانیکی شایان توجهی است، اگر چه قیمت آن به مراتب نسبت به بتن های سیمانی بیشتر است. با توجه به خواص خوب مکانیکی بتن پلیمری، با کاهش هزینه های ساخت، می توان استفاده از این نوع بتن را افزایش داد. با توجه به نتایج پژوهشگران مشاهده گردید که می توان ترکیب جدیدی برای بهبود خواص و کاهش هزینه ساخت بتن پلیمری ارائه نمود.

بتن پلیمری، ماده ای کامپوزیتی است که از ترکیب سنگ دانه های معدنی مانند ماسه یا شن با یک پلیمر ساخته می شود. بتن پلیمری در مجموع دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به بتن سیمانی معمولی است. از جمله این که بتن پلیمری استحکام فشاری بسیار زیادی دارد که مقدار آن از استحکام بتن سیمانی معمولی بیشتر است[1]. جو پارک در پژوهش خود به این نتایج دست یافت که با افزایش مقدار چسب مقاومت افزایش می یابد. با این حال فراتر از یک مقدار چسب خاص قدرت به طور محسوسی تغییر نمی کند.

همچنین، به دلیل اتصال مناسب میان سنگ دانه ها و رزین، این بتن استحکام کششی و خمشی بهتری نسبت به بتن سیمانی معمولی دارد[2]. بلاگا و همکاران، در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که به منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش هزینه های تولید طرح اختلاط جدیدی را ارائه کردند که در آن سیلیکا به جای توده های بزرگ و کوچک مورد استفاده قرار گرفت ، با انجام آزمایش خمش سه نقطه ای مشخص شد که بتن جدید پلیمر قدرت تراکم بالاتری نسبت به بتن پلیمیری با درشت دانه و مقاومت خمشی مشابهی دارد. تغییر مادهء چسباننده بتن، باعث تغییرات عمده ای در رئولوژی، نوع و زمان عمل آوری و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن می شود. از آن جمله می توان به این موارد اشاره کرده که بتن پلیمری نیازی به آب در طرح مخلوط خود نداشته و در زمان کمتر از ۲۴ ساعت تقریباً به حداکثر مقاومت خود می رسد. ویژگی اصلی بتن های پلیمری را می توان مقاومت های بسیار بیشتر (حداقل دو برابر) نسبت به بتن معمولی در محیط های خورنده و شیمیایی عنوان نمود[3]. کاشی زاده نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسید که می توان با توجه به نوع پخت رزین زمان عمل آوری بتن پلیمری را می توان به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

با توجه به تعداد زیادی از خواص مطلوب که سیمان در بتن دارد که آن را تبدیل به یک ماده مشهور در مهندسی عمران کرده است با این حال این ماده دارای ضعف در کشش، ضعف در استحکام خمشی و دوام کم و آسیب پذیری نسبت به محیط های اسیدی است[4]. معمولا پرکننده ها شامل هر دو جزء زیر (دانه بندی درشت) و نرم (دانه بندی ریز) هستند تا میزان فضاهای خالی موجود در بتن به حداقل برسد، در نتیجه میزان چسباننده مورد نیاز کاهش می یابد[5]. سیستم های شروع کننده و پیش برنده بر اساس نوع رزین حامل انتخاب می گردند. به عنوان مثال آکریلیک ها، پلی استرهای غیر اشباع و وینیل استرها معمولا توسط شروع کننده های نوع پر اکسیدی کاتالیست می شوند.

چنانچه بخواهیم پخت در دمای محیط انجام گیرد از نمک های فلزی و آمین های نوع سوم استفاده می شود. رزین های اپوکسی توسط پلی آمین های آلیفاتیک، آمیدوآمین ها، پلی آمیدها، پلی آمین های آروتیک و آنیدریدها پخت می شوند. فورفورال الکل و رزین های فنولیک توسط کاتالیست های اسیدی و پلی اورتان توسط روشهای گوناگون شامل حرارت، آب پلی الها و ایزوسیانات پخت می شوند[6] . هدف از این تحقیق جایگزین کردن پلیمر به جای سیمان و افزایش مقاومت فشاری،کششی و افزایش مقاومت در برابر خوردگی بتن است. برای این منظور از طرح اختلاط استاندارد بتن های معمولی استفاده نموده و با جایگزین کردن چسباننده رزین بجای آب و سیمان تغییرات ایجاد شده بررسی می گردد.

## ۲–مراحل تحقیق

در این تحقیق به بررسی تاثیر جایگزینی رزین وینیل استر با ژل سیمانی در نمونه های بتن پرداخته شده است. مصالح در این تحقیق از مصالح متداول در شهر زنجان استفاده شده است. مراحل تحقیق عبارتند از:

الف) تهیه یک نوع دانه بندی از مصالح سنگی با دانه بندی مختلف و مدول نرمی

ب)استفاده از سیمان (سیمان تیپ IIزنجان) در طرح اختلاط استاندارد با نسبت آب با سیمان مشخص

ج) تهیه ۵ نوع نمونه بتن پلیمری با درصد های رزین از ۱۰،۱۲،۱۴،۱۶،۱۸ درصد وزن مصالح سنگی

د) ساخت ۶۰ نمونه استوانه ای استاندارد جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری.

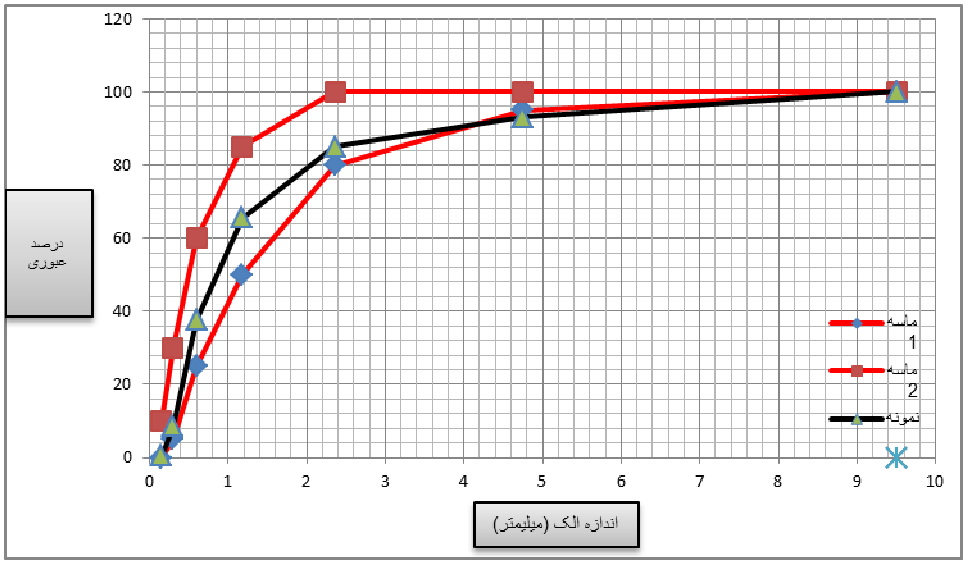
ه) ساخت نمونه های شاهد با چسباننده سیمان و آب و تعیین مقاومت ۷و ۲۸ روزه.

و) مقایسه نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات وبررسی اثر تغییرات رزین وینیل استر بر مشخصات مکانیکی بتن.

### ۱–۲–مشخصات مصالح

#### الف– سنگ دانه

مصالح استفاده شده در این تحقیق ماسهٔ کامل یا عبوری از الک نمره ۴ و رنج ریز تر یعنی عبوری از الک نمره ۸ می باشند.کلیه مصالح مورد استفاده از نوع شسته شده رودخانه ای زنجان است. با توجه به این که هر چه حداکثر اندازهٔ دانه های سنگی کمتر شود به دلیل اینکه سطح مقطع در یک وزن مشخص نسبت به دانه های درشت تر افزایش می یابد مقدار چسبانندهٔ بیشتری لازم داریم تا در بتن دانه ها را به یکدیگر بچسبانیم، لذا برای این تحقیق از دانه بندی ماسه درنمودار شکل ۱ استفاده شده است که مدول نرمی آن ۳٫۱ می باشد.




شکل ۱- دانه بندی سنگ دانه های مورد استفاده ، ماسه ۱ کران پائین مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

ماسه ۲ کران بالا مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، نمونه دانه بندی مورد استفاده در این تحقیق

## ب– سیمان

سیمان مورد استفاده در این تحقیق، سیمان تیپ ۲ تولید شده در کارخانه سیمان زنجان می باشد که مشخصات شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان مورد استفاده .

| عنصر(اکسید) | علامت | مقادیر سیمان زنجان ٪ | محدوده مقادیر استاندارد ٪ |
|---|---|---|---|
| آهک | aO | ۶۳/۳۵ | ۶۰-۶۷ |
| سیلیس(سیلیکا) | iO۲ | ۲۱/۳۲ | ۱۷-۲۵ |
| آلومین | l۲O۳ | ۵/۳۳ | ۳-۸ |
| اکسید آهن | e۲O۳ | ۳/۷۷ | ۰/۵-۶ |
| دی اکسید سولفور | O۳ | ۱/۸۹ | ۰/۵-۴ |
| اکسید منیزیم | gO | ۲/۴۴ | ۱-۳ |

## ج– رزین

رزین وینیل استر مورد استفاده در این تحقیق رزین وینیل استر ساخت کشور ترکیه است. برای ساختن بتن پلیمری،به دلیل این که زمان کافی برای کارکردن با بتن را در اختیار باشد می بایست میزان کاتالیزور را به مقدارکافی و بسته به زمان های گیرش مد نظر به رزین اضافه نمود تا زمان کافی برای کار با بتن را در اختیار باشد. عوامل متعددی در زمان گیرش رزین دخالت دارند از آن جمله می توان به قوی یا ضعیف بودن کبالت و اسید مورد استفاده به

عنوان کاتالیزور و یا زمان گذشته شده از تاریخ تولید رزین اشاره نمود چرا که با گذشت زمان مرغوبیت رزین کاهش یافته و از کارایی مطلوب آن کاسته خواهد شد. در نتیجه مقدار شتاب دهنده و اسید خشک کن مورد استفاده در این تحقیق مطابق جدول ۲ می باشد.

جدول ۲- مقدار شتاب دهنده مورد استفاده در این تحقیق

| نوع رزین | مقدار وزن کبالت نسبت به وزن رزین ٪ | مقدار وزن اسید پراکسید نسبت به وزن رزین ٪ |
|---|---|---|
| وینیل استر | ۱,۳۳ | ۰,۸۸ |

.

## د- طرح اختلاط

برای ساخت بتن های پلیمری با رزین وینیل استر لازم است ابتدا شتاب دهنده ها به رزین اضافه شده و سپس با مصالح سنگی مخلوط شوند و با استفاده از میکسر به مدت حداقل ۳ دقیقه به خوبی مخلوط شوند تا مخلوط رزین و مصالح کاملا به صورت همگن شود،سپس بتن ساخته شده در سه لایه مساوی وجداگانه درون قالب ها ریخته می شود و پس از هر لایه ای که ریخته می شود ۲۵ ضربه میله به قطر ۱۶ میلیمتربه صورت مارپیچ به سمت مرکز دایره خورده می شود تا خلل و فرج موجود از بین رود. در این تحقیق طرح اختلاط نمونه های بکار رفته به شرح جدول ۳ می باشد. در جدول ۴ طرح اختلاط بتن معمولی با چسباننده سیمان و آب آورده شده است.

جدول ۳- طرح اختلاط نمونه های بتن پلیمری

| نوع بتن | سیمان(Kg) | نسبت آب به سیمان | ماسه(Kg) | شن نخودی(Kg) | شن بادامی(Kg) | رزین وینیل استر (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC ۱۰٪ | ۰ | ۰ | ۵,۰۷۵ | ۳,۱۸۰ | 3.180 | ۱,۲۷۰ |
| PC ۱۲٪ | ۰ | ۰ | ۴,۹۶ | ۳,۱۱۵ | 3.115 | ۱,۵۲۴ |
| PC ۱۴٪ | ۰ | ۰ | ۴,۸۴۸ | ۳,۰۴۵ | 3.045 | ۱,۷۷۸ |
| PC ۱۶٪ | ۰ | ۰ | ۴,۷۳۶ | ۲,۹۷۴ | 2.974 | ۲,۰۳۲ |
| PC ۱۸٪ | ۰ | ۰ | ۴,۶۲ | ۲,۹۰۳ | 2.903 | ۲,۲۸۶ |

جدول ۴- طرح اختلاط نمونه های بتن معمولی

| مصالح | وزن (kg) |
|---|---|
| سیمان | **350** |
| آب | **210** |
| شن بادامی | **500** |
| شن نخودی | **500** |
| ماسه | **800** |

## ه- عمل آوری نمونه ها

نمونه های بتن پلیمری با گذشت زمان در فضای باز مقاومت بیشتری پیدا می کنن و نیاز به عمل اوری خاصی ندارند. رزین ها در حالت عادی اگر در معرض هوای آزاد قرار بگیرند کم کم حالت سیال خود را از دست داده و غلیظ تر می شوند. اگر این روند ادامه پیدا کند رزین کاملا سخت خواهد

شد واین اتفاق زمانی می افتد که رزین در معرض هوای آزاد و دمای محیط باشد در صورتی که ما حرارت بیشتری را با استفاده از پخت آون یا شتاب دهنده ها به رزین مایع اعمال نماییم، می توانیم روند سخت شدن آن را از چند دقیقه تا چند ساعت تنظیم کنیم. در صورتی که از شتاب دهنده و یا آون برای پخت رزین در بتن پلیمری استفاده شود اکثر بافت های رزین در اثر پلیمریزاسیون به طور کامل در آنها انجام نشده که با قرار دادن نمونه های بتنی در فضای باز این عمل تکمیل و بتن از روز های اول سخت تر شده و مقاومتش بیشتر خواهد شد.

شکل ۲- نمونه های ساخته شده بتن پلیمری

## ۳- آزمایش ها

مجموعه رفتار هایی که بتن تحت بار از خود نشان می دهد، به نام رفتار مکانیکی بتن خوانده می شود. این رفتار در فشار،کشش و خمش به طور مجزا بررسی می شود. اصولا رفتار مکانیکی بتن به ساختار داخلی آن و خصوصات خمیر سیمان(چسباننده) و دانه ها، و نسبت اجزای بکار رفته در ساخت بتن وابسته است.

### ۳-۱ مقاومت فشاری

مقاومت فشاری بتن که با بارگذاری محوری یک جهته نمونهٔ استوانه ای به دست می آید، مقاومت فشاری تک محوره نامیده می شود. این آزمایش مطابق استاندارد ASTM-C۱۹۲ انجام شده است.

شکل ۳- آزمایش مقاومت فشاری

## ۲-۳آزمایش مقاومت کششی بتن

به منظور تعیین مقاومت کششی آزمایش کشش غیر مستقیم بتن(برزیلی) انجام می دهیم(ASTM-C۴۹۶ )، در این روش که به آزمایش دو نیم شدن نیز معروف است نمونه استوانه ای (نمونه استوانه ای استاندارد) بتن به صورت خوابیده روی دو صفحه فولادی به صورت فکی قرار داده می شود، که در این حالت نیروی وارده بر قطر استوانه به صورت تدریجی و با سرعت۰,۲ کیلو نیوتن بر ثانیه وارد می شود. نتایج زمانی مورد قبول است که شکستگی در راستای بار گذاری و عمود بر سطح مقطع نمونه تشکیل گردد.

شکل ۴- آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)

## ۳-بحث ونتایج

به منظور بررسی تأثیر رزین وینیل و نعیین دصد بهینه آن برای دانه بندی متداول در بتن های مصرفی سازه های شهری از ۵ ترکیب اختلاط استفاده شده است. بدین صورت که برای اختلاط از درصد رزین متفاوت استفاده شده و دانه بندی نمونه ها تقریبا مشابه می باشند. همچنین نمونه های بتن معمولی با چسباننده سیمان و آب برای مقایسه نتایج ساخته و آزمایش شده اند. نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در جداول ۵ تا ۸ آورده شده است.

جدول ۵- مقاومت فشاری بتن معمولی با چسباننده سیمان و آب

| نوع بتن | مقاومت فشاری ۷ روزه | مقاومت فشاری ۲۸ روزه |
|---|---|---|
| بتن معمولی عیار ۳۵۰ | ۳۴,۴ | ۴۱,۵ |

با مقایسه جداول ۵ و ۶ مشخص است که با افزایش درصد چسباننده رزین مقاومت فشاری بتن پلیمری افزایش قابل توجهی می یابد. مقاومت بتن معمولی تقریبا با درصد رزین ۱۲ درصد برابر بوده و در درصد های بالاتر مقاومت بتن پلیمری به مقدار قابل توجهی نسبت به بتن معمولی بیشتر است. لیکن با افزایش درصد رزین از ۱۶ درصد مقاومت فشاری کاهش یافته است. لذا بیشترین مقاومت فشاری تقریبا در ۱۶ درصد رزین ایجاد می گردد. همچنین مقاومت بتن های ۱ روزه با بتن ۲۸ روزه تقریبا برابر می باشد.

جدول ۶- مقاومت فشاری بتن پلیمری با چسباننده رزین وینیل استر

| مقاومت فشاری بتن | درصد رزین | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| مقاومت ۱ روز | 22 | 40.7 | 64.1 | 80.4 | 76.2 |
| مقاومت ۲۸ روز | 22.6 | 41.74 | 66 | 82.1 | 77.3 |

با مقایسه جداول ۷ و ۸ مشخص است که با افزایش درصد چسباننده رزین مقاومت فشاری بتن پلیمری افزایش قابل توجهی می یابد.لیکن برخلاف مقاومت فشاری در مقاومت کششی بتن معمولی کمتر از نصف بتن پلیمری در رزین ۱۲ درصد مقاومت نموده است. لذا این مهم نشان دهنده تاثیر قابل توجه رزین در مقاومت کششی بتن می باشد.

جدول ۷- مقاومت کششی بتن معمولی با چسباننده سیمان و آب

| نوع بتن | مقاومت کششی ۲۸ روزه |
|---|---|
| بتن معمولی عیار ۳۵۰ | ۳,۲ |

با افزایش درصد رزین مطابق جدول ۸ مقاومت کششی افزایش قابل ملاحظه ای یافته است. بر خلاف مقاومت فشاری با افزایش درصد رزین همچنان مقاومت کششی نمونه ها افزایش یافته است. لذا بر اساس این تحقیق استفاده از این نوع بتن در قطعات بتنی تحت کشش و خمش مانند عرشه پلها با درصد های کم رزین نیز می تواند توجیه اقتصادی مناسبی داشته باشد.

جدول۸- مقاومت کششی بتن پلیمری با چسباننده رزین وینیل استر

| نوع بتن | مقاومت کششی ۲۸ روزه |
|---|---|
| ۱۰٪ وینیل استر | ۶,۷ |
| ۱۲٪ وینیل استر | ۸ |
| ۱۴٪ وینیل استر | ۹ |
| ۱۶٪ وینیل استر | ۹,۲ |
| ۱۸٪ وینیل استر | ۹,۴ |

## ۴–نتیجه گیری

۱- در مورد نتایج مقاومت فشاری وینیل استر، مشخص شد که همواره بتن ساخته شده نسبت به بتن معمولی با همان دانه بندی مصالح دارای مقاومت فشاری بیشتری است و در حالت ۱۶ درصد رزین و ۸۴ درصد سنگ دانه بهترین عملکرد را دارد.

۲- در مورد نتایج مقاومت کششی وینیل استر، نسبت به بتن معمولی دارای مقاومت کششی بیشتری است و همچنین در بین درصد های مختلف رزین،۱۸ درصد رزین و ۸۲ درصد سنگ دانه بهترین عملکرد را داشته است.

۳- نتایج آزمایشات نشانگر تاثیر قابل توجه استفاده از رزین به عنوان چسباننده در مقاومت کششی نسبت به مقاومت فشاری می باشد.

۴- نتایج آزمایشات نشانگر این موضوع است که بتن پلیمری با رزین وینیل استر در یک ساعت اولیه به بیش از ۹۰ درصد مقاومت خود رسیده و عملاً مقاومت بتن ۱ روزه و ۲۸ روزه برابر می باشد.

## ۵– مرجع


[۱] Jo B.W, Park S.K, and Park J.C,” Mechanical Properties of Polymer Concrete Made with Recycled PET and Recycled Concrete Aggregates”, Construct Build Mater, ۲۲, ۲۲۸۱-۲291, 2008.

[۲] Blaga A and Beaudoin J.J, “Polymer Concrete, Division of Building Research”, National Research Council Canada, Canadian Building Digest ۲۴۱, Ottawa, ۱۹۸۵.

[۳] Kashizadeh E, “Effect of Heating and Cooling Cycles on Mechanical Properties of Polymer Concrete”, MSc Thesis, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, ۲۰۰۸.

[۴]S Popovics, “Concrete Making Materials, Hemisphere Publishing Corporation”, McGraw-Hill Book Co, Washington, ۱۹۷۹.

[5] سازمان برنامه و بودجه،"مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی"،دفتر امور فنی و تدوین معیارها، انتشارات سازمان برنامه بودجه، چاپ چهارم، ۱۳۷۷ .

[۶]Mikhailov K.V, Paturoev V.V, Kreis R,”Polymer Concrete and Their Structural Uses”, Russian Translation Series ۹۱, ۱۹۸۹.