نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۱، سال ۱۳۹۹، صفحه ۴۱ تا ۵۵

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی و مقایسه مشخصات مکانیکی و پیوستگی بتن های پلیمری و پلیمری‌اصلاح‌شده به عنوان لایه تعمیری بر بستر بتنی

علی صدر ممتازی[۱*]، رضا کهنی خشکبیجاری[۲]، مهرداد ملکی خشکبیجاری[۳]، مرتضی عموئی[۴]

۱- دانشیار گروه عمران، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۳- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، رشت، ایران
۴- کارشناسی ارشد سازه، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

انتخاب، طراحی و کنترل کیفیت مصالح مصرفی، برای دستیابی به یک لایه تعمیری سازگار، پردوام و اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. پیوستگی مناسب بین لایه تعمیری و بتن بستر و همچنین عدم ترک خوردگی لایه تعمیری از مشخصه های اصلی برای حصول یک لایه تعمیری بادوام می باشند. استفاده از لایه های تعمیری همانند بتن های پلیمری و بتن های پلیمری اصلاح شده که دارای عملکرد و دوام بسیار خوبی می باشند، می تواند به عنوان یکی از روش های ترمیم سازه های بتنی آسیب دیده مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش مشخصات مکانیکی و مقاومت پیوستگی به بتن بستر در لایه های تعمیری از نوع بتن های پلیمری و بتن های پلیمری اصلاح‌شده بررسی و مقایسه شده است. مقاومت پیوستگی به بتن بستر با استفاده از روش کشیدن از سطح (Pull-Off) تعیین شده است. نتایج نشان می دهد مقاومت پیوستگی بتن های پلیمری به بتن بستر کمتر از مقاومت پیوستگی بتن های پلیمری اصلاح شده در شرایط مشابه بوده است. در مقایسه با لایه تعمیری از نوع بتن شاهد، بیشترین افزایش مقاومت پیوستگی لایه تعمیری به بتن بستر، حاصل از آزمایش کشیدن از سطح، در بتن پلیمری اصلاح شده با ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی SBR ، برابر ۳۰ درصد و در بتن پلیمری اصلاح شده با ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی اکریلیک، برابر ۲۸ درصد بوده است. در بتن های پلیمری اصلاح شده، جایگزینی میکروسیلیس تا ۵ درصد باعث کاهش جمع شدگی و پس از آن باعث افزایش جمع شدگی در همه طرح های ساخته شده بوده است.

کلمات کلیدی: بتن پلیمری، بتن پلیمری اصلاح شده، مقاومت پیوستگی ، جمع شدگی، میکروسیلیس.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi: 10.22065/jsce.2018.121661.1494
۱۳۹۶/۱۲/۱۴	۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۱۳۹۷/۰۵/۰۱	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	10.22065/jsce.2018.121661.1494

*نویسنده مسئول: علی صدر ممتازی

پست الکترونیکی: sadrmomtazi@yahoo.com

An Investigation on Mechanical Properties and Bonding Strength of Polymer Concretes and Polymer Modified Concretes as Repair Overlays on Concrete Substrate

Ali Sadrmomtazi[1*], Reza Kohani Khoshkbijari[2], Mehrdad Maleki Khoshkbijari[3], Morteza Amooie[4]

1 *1 -Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran*
2 -Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
3- Instructor, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Guilan, Rasht, Iran
4- M.Sc. Graduate, Structural Engineering, South-Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Selection, design and control of materials are very important for achievement of a compatible, durable and economical repair overlay. Suitable bonding of repair overlay to substrate and good resistance against fracture are basics for a durable overlay. Using Polymer Concretes (PC) and Polymer Modified Concretes (PMC) which present great performance and durability can be considered as a method of restoration in damaged structures. In this research, mechanical properties and strengths of bonding to substrate concrete of Polymer Concretes and Polymer Modified Concretes as repair overlays are investigated and compared. Strength of Bonding to substrate concrete was obtained by Pull-Off test method. Bonding strength to substrate concrete in Polymer Concretes mix designs samples was weaker than Polymer Modified Concretes mix designs samples in similar conditions. In comparison with conventional concrete repair overlays in Pull-Off test, the maximum increment of bonding strength to substrate concrete was observed in mix design containing %50 of water replacement with SBR-based polymer which was %30 of increment and after that in mix design containing %50 of water replacement with Acrylic-based polymer which was %28 of increment. In Polymer Modified Concretes, %5 replacement of cement with Silica Fume decreased the amount of shrinkage but in higher values of replacement the amounts of shrinkage were increased in samples.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 March 2018
Revise Date: 0 June 2018
Accept Date: 23 July 2018

Keywords:
Polymer Concrete
Polymer Modified Concrete
Bonding Strength
Shrinkage
Silica Fume

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.121661.1494

*Corresponding author: Ali Sadrmomtazi.
Email address: sadrmomtazi@yahoo.com

۱- مقدمه

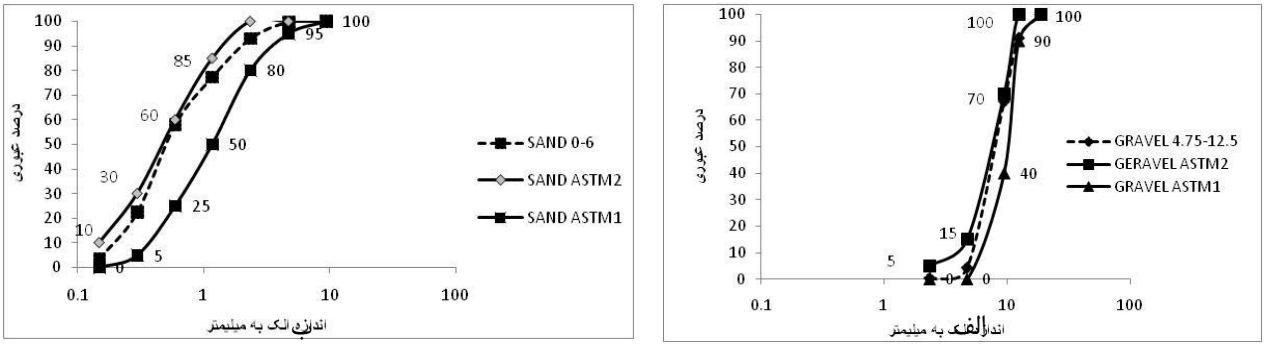
در طی ۲۵ سال گذشته توجه قابل ملاحظه ای به بتن های حاوی پلیمر شده است. قطعات پیش ساخته ی بتن پلیمری می‌توانند به صورت یک انتخاب متداول برای مکان هایی مانند گذرگاه راه آهن ها، قنات ها، و فونداسیون تجهیزات باشند. بتن پلیمری تزریقی اولین بتن حاوی پلیمر رایج بوده است. بتن پلیمری تزریقی دارای مقاومت و دوام بسیار مناسب است، اما دارای کاربردهای تجاری کمی می‌باشد. بتن پلیمری در دهه ۱۹۷۰ شناخته شده است و برای تعمیرات، روکش نازک برای کف ها و پل ها و قطعات پیش ساخته استفاده می شود. بتن پلیمری اصلاح شده غالباً در تعمیر و پوشش استفاده می شود. استفاده از مواد پلیمری محدودیت های متعددی دارد، با این حال کاربردهای بسیاری از این مواد در زمان فعلی و آینده وجود دارد که به طور موثر از خواص منحصر به فرد آنها استفاده می کنند. روش های تعمیر بهبود یافته، بهسازی در مواد، جایگزینی برای فلزات، کاربردهای سازه ای و اجزای معماری استفاده های رایج از مواد بتنی پلیمری هستند. بتن پلیمری اولین بار در سال ۱۹۵۸ برای تولید روکش ساختمانی در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت[۱]. بتن پلیمری از ترکیب سنگدانه ها با یک ماده چسباننده پلیمری تشکیل می شود و حاوی هیچ گونه آب یا سیمان پرتلندی نیست. پلی استایرن، آکریلیک و اپوکسی ها، منومرها و رزین هایی هستند که به طور گسترده در ساخت این نوع بتن مورد استفاده قرار می گیرند. سولفور نیز به عنوان یک پلیمر در نظر گرفته می شود و بتن سولفوری برای موارد کاربردی که نیاز به مقاومت بالا در برابر اسید باشد، استفاده می شود. بتن پلیمری در ابتدا بیشتر در ساخت روکش های پیش ساخته کاربرد داشته است ولی امروزه در ساخت روکش های لازم در صنایع بهداشتی و خدماتی نیز بسیار مورد کاربرد است. پوشش ها و روکش های بتن پلیمری بعلت قابلیت ایجاد لایه های نازک، عمل آوری سریع، نفوذپذیری بسیار پایین و توانایی استفاده در پرداخت های دکوراسیون و معماری بسیار مورد استفاده قرار گرفته اند. پوشش برای سطوح پل و کف در میادین ورزشی، ورزشگاه ها، آزمایشگاه ها، بیمارستان ها، کارخانه ها، و ورودی فروشگاه ها استفاده از دیگر کاربرد های بتن پلیمری است. بتن های پلیمری چسبندگی بسیار خوبی به مصالح مسلح کننده مانند میلگرد های فولادی و یا FRP ها دارند[۲]. از بتن های پلیمری پیش‌ساخته به تولید طیف وسیعی از محصولات از جمله راه های فاضلاب، باکس های زیرزمینی، روکش ساختمانی، مخازن اسیدی، مهار ضایعات خطرناک، پوسته برای تعمیر پایه‌های ماشین آلات، کاشی و غیره می توان پرداخت. قطعات پیش ساخته نشان دهنده‌ی کاربرد بسیار عالی از بتن های پلیمری به دلیل عمل آوری سریع، توانایی ساخت شکل‌های پیچیده و استهلاک ارتعاشی بسیار خوب می باشند[۳-۸]. در رابطه با کاربرد بهینه پلیمر ها در بتن های پلیمری می توان به تحقیقات Muthukumar و همکاران[۹] اشاره نمود که در زمینه کاربرد دانه بندی های مختلف سنگدانه ها و انواع پلیمر ها شامل ترکیبات فوران با درصد های مختلف وزنی تحقیق کرده اند و برای این نوع از پلیمر ها با توجه به دانه بندی استفاده شده درصد بهینه وزنی پلیمر به وزن کل را در حدود ۸,۵٪ تا ۱۲٪ بدست آوردند. Mani و همکاران[۱۰] خواص مختلف بتن های پلیمری ساخته شده با اپکسی و پلی استر را با بتن های معمولی مقایسه کردند که نشان دهنده بهبود مشخصات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مشخصات شیمیایی از جمله مقاومت در برابر اسید های گوناگون بوده است. بتن پلیمری اصلاح شده با استفاده از لاتکس‌ها از دهه‌ی ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفته است. بتن پلیمری اصلاح شده متشکل از بتن سیمان پرتلند به همراه یک اصلاح کننده پلیمری مانند اکریلیک، لاستیک استایرن بوتادن (SBR) ، پلی وینیل استات و اتیلن وینیل استات می باشد. از SBR به طور گسترده ای برای ساخت ملات در تعمیرات و روکش کف ها و پل ها استفاده می‌شود[۱۱, ۱۲]. حداقل ضخامت آن معمولاً ۳۰ میلی‌متر است. از مزایای آن ها مقاومت چسبندگی خوب به بتن، استحکام خمشی بالا و نفوذ پذیری کم آن است[۱۳-۱۵]. از لاتکس اکریلیک و متاکریلیک اسید برای تولید ملات استفاده می‌شود که می‌تواند بر سطوح پایانی معماری پاشیده شود[۱۶]. بتن پلیمری اصلاح شده اکریلیکی دارای رنگی ثابت است و به همین علت ماده ای جذاب در زمینه معماری محسوب می شود. از نظر ساخت و ساز ویژگی مطلوب بتن پلیمری اصلاح شده این است که بسیار شبیه به تکولوژی بتن سیمانی رایج می باشد. مقدار پلیمر معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ درصد سیمان پرتلند است. فقط تعداد کمی از پلیمرها برای اضافه کردن به بتن مناسب هستند و اغلب پلیمرهای دیگر بتن پلیمری اصلاح شده با کیفیت پایین تولید می کنند. بتن پلیمری اصلاح شده را می‌توان با استفاده از الیاف تقویت نمود و مقاومت کششی‌اش را افزایش و ترک خوردگی آن را کاهش داد. هزینه‌ی بتن پلیمری اصلاح شده کمتر از بتن پلیمری است زیرا پلیمر کمتری در آن مورد نیاز است[۱]. در مقالات مختلف نشان داده شده است که در برخی موارد افزودن پلیمر مقاومت فشاری را بصورت جزئی کاهش می دهد، اما

بشکل قابل توجهی مقاومت کششی و خمشی افزایش می یابد[۱۷, ۱۸]. برای رویه های بتنی، مقاومت پیوستگی معمولا مقاومت کششی عمود بر سطح مشترک دو لایه تعریف می شود. البته مقاومت پیوستگی در برش نیز مورد توجه است[۱۹]. زمانی تنش مورد محاسبه، مقاومت پیوستگی را نشان می دهد که گسیختگی به طور کامل در سطح مشترک اتفاق بیفتد. در غیر این صورت، تنش حاصله، بیانگر مقاومت لایه ضعیف تر است. به طور کلی پیوستگی فرآیندی است که طی آن دو لایه به یکدیگر به گونه ای متصل می شوند که برای شکست این پیوستگی و جداشدن آن ها از یکدیگر نیاز به نیروی خارجی یا اعمال تغییرات حرارتی خواهد بود. . در این پژوهش مشخصات مکانیکی و مقاومت پیوستگی به بتن بستر در بتن های پلیمری و بتن های پلیمری اصلاح شده به عنوان لایه تعمیری، بررسی و مقایسه شده است. پیوستگی به بتن بستر با استفاده از روش کشیدن از سطح (Pull-Off) تعیین شده است.

۲- مصالح و برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح

شن مصرفی رودخانه ای بوده و ماکزیمم اندازه دانه های آن ۱۲/۵ میلیمتر و دارای وزن مخصوص ظاهری ۲/۶۴ گرم بر سانتی متر مکعب و جذب آب ۱/۵ درصد می باشد. دانه بندی براساس استاندارد ASTM C33[۲۰] انجام شده است. مشخصات دانه بندی شن و مطابقت آن با محدوده مورد پذیرش استاندارد در شکل۱(الف) مشاهده می شود. ماسه‌ی مورد استفاده رودخانه ای و گرد گوشه بوده و دارای وزن مخصوص ظاهری ۲/۶ گرم بر سانتی متر مکعب و جذب آب ۲/۵ درصد است. اندازه ی سنگدانه ها ، ۸۰ درصد از ماسه مصرفی ۰ تا ۳ میلیمتر و ۲۰ درصد آن ۳ تا ۶ میلیمتر می باشد. دانه بندی براساس استاندارد ASTM C33 انجام شده است و مطابقت آن با محدوده مورد پذیرش استاندارد در شکل۱(ب) مشاهده می شود.



شکل۱: (الف) دانه بندی شن (ب) دانه بندی ماسه

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۱-۴۲۵ کارخانه سیمان هگمتان استفاده شده است. زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان به ترتیب برابر۹۰و۲۴۰ دقیقه بوده و عدد بلین آن برابر ۳۴۰ m^2/Kg می‌باشد.

برای ساخت بتن پلیمری از رزین اپکسی ML-506 و هاردنر HA-11 از محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر استفاده شده است که بر پایه رزین اپکسی بیسفنول A (Epoxy Bisphenol A) و هاردنر پلی آمینی (Polyamine Hardener) تولید می شود و جهت ساخت بتن های پلیمری(بدون آب و سیمان) مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول۱ : مشخصات رزین اپکسی **ML-506**

خواص فیزیکی و ظاهری	
شکل ظاهری	مایع
رنگ	زرد روشن
ویسکوزیته (25^oC)	1450 Centipoise
وزن مخصوص	1.11 gr/cm^3
زمان ترکیب دو جزء	۳ دقیقه
نسبت ترکیب وزنی :	
رزین اپکسی ML_506	۱۰۰ واحد
هاردنر اپکسی HA-11	۱۵ واحد

همچنین برای ساخت بتن های پلیمری اصلاح شده از دو نوع رزین استفاده شده است. رزین PAYA L-310 رزینی تک جزئی و بر پایه SBR می باشد و تولید شده در شرکت پایاژیک می باشد. رزین تک جزئی Sure Add 320 نوعی چسب بتن بر پایه آکریلیک می باشد که در ساخت بتن های پلیمری اصلاح شده و ملات کاربرد دارد و تولید شده در شرکت شور لول ایران می باشد. مشخصات فنی این رزین ها در جدول های ۲ و۳ قابل مشاهده است.

جدول۲: مشخصات رزین PAYA L-310

شکل ظاهری	مایع شیری رنگ
وزن مخصوص	1.01 gr/cm^3
دمای زمان اجرا	10^o to 40^o C
دمای بهره برداری	-10^o to70^o C
PH	8±1

جدول۳: مشخصات رزین Sure Add 320

شکل ظاهری	مایع شیری رنگ
وزن مخصوص	1.06 gr/cm^3
ویسکوزیته(20^oC)	450 Centipoise
PH	8±1

میکروسیلیس مصرفی تولیدکارخانه فروسیلیس ایران است که دارای وزن مخصوص ۲۲۰۰ Kg/m3 می‌باشد. فوق روان کننده ی مورد استفاده با نام تجاری FARCO PLAST P10-3R محصول شرکت شیمی ساختمان و بر پایه ی پلی کربوکسیلات های اصلاح شده می باشد.

۲-۲- برنامه آزمایشگاهی

ساخت نمونه ها و آزمایشات آن ها در آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه گیلان انجام شده است. برای جلوگیری از گسیختگی بتن بستر و تاثیر خطای ناشی از آن در مراحل آزمایش، بتن هایی با مقاومت فشاری بالاتر از ۵۰ مگاپاسکال ساخته شد تا این اطمینان حاصل گردد که در هنگام انجام آزمون های تعیین پیوستگی دو لایه بتنی، گسیختگی از بتن بستر اتفاق نمی افتد. پس از ساخت این بتن ها و عمل آوری آنها به مدت ۲۸ روز در آب، بتن ها را با دستگاه برش بتن به سه قسمت مساوی با ابعاد ۱۵*۱۵*۵ سانتی متر تقسیم شدند. با

توجه به اینکه بتن با تیغه مخصوص برش بتن برش داده شه بود،دارای سطحی کاملا صاف بود که این خطای ناشی از ناهمواری های احتمالی متفاوت در نتایج آزمون های تعیین مقاومت پیوستگی را به حداقل می رساند. سپس حدود ۶ ماه بتن ها مورد استفاده قرار نگرفتند تا جمع شدگی آنها انجام شود و آزمایش های تعیین پیوستگی لایه تعمیری به این بتن به عنوان بتن بستر دچار خطا نگردند.

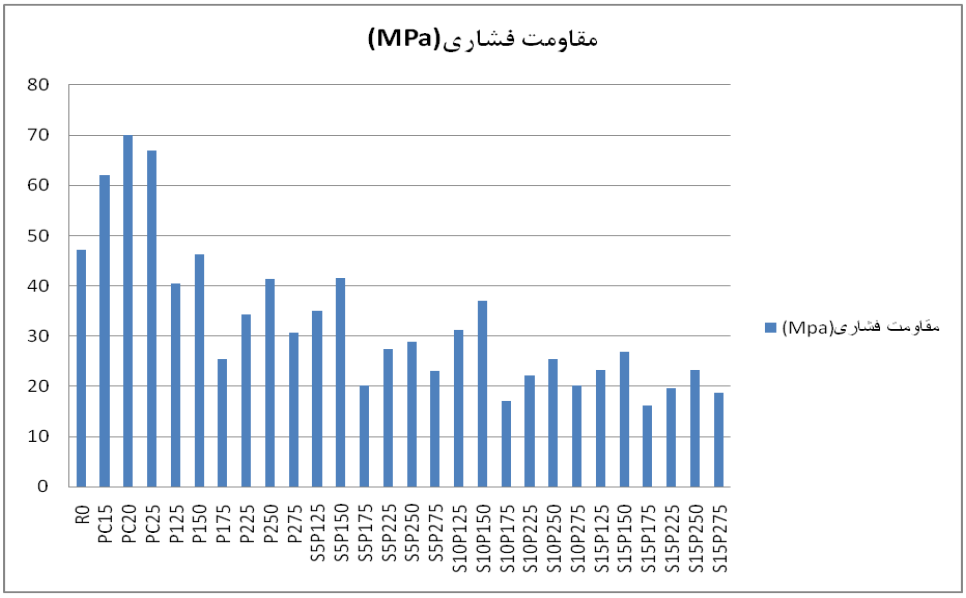
جدول٤ : طرح های مخلوط

Mix No.	Name	Gravel (Kg/m^3)	Sand (Kg/m^3)	Polymer Type	Polymer (Kg/m^3)	Cement (Kg/m^3)	P/W	(W+P)/C	W (Kg/m^3)	SF (Kg/m^3)
1	R0	1090	762	-	-	450	-	0.4	180	0
2	PC15	1095	801	ML506	284.4	-	-	-	-	-
3	PC20	1000	732	ML506	346.4	-	-	-	-	-
4	PC25	920	674	ML506	398	-	-	-	-	-
5	P125	1090	762	Paya L-310	45	450	0.25	0.4	135	0
6	P150	1090	762	Paya L-310	90	450	0.5	0.4	90	0
7	P175	1090	762	Paya L-310	135	450	0.75	0.4	45	0
8	P225	1090	762	Sure Add320	45	450	0.25	0.4	135	0
9	P250	1090	762	Sure Add320	90	450	0.5	0.4	90	0
10	P275	1090	762	Sure Add320	135	450	0.75	0.4	45	0
11	S5P125	1090	762	Paya L-310	45	422.5	0.25	0.4	135	22.5
12	S5P150	1090	762	Paya L-310	90	422.5	0.5	0.4	90	22.5
13	S5P175	1090	762	Paya L-310	135	422.5	0.75	0.4	45	22.5
14	S5P225	1090	762	Sure Add320	45	422.5	0.25	0.4	135	22.5
15	S5P250	1090	762	Sure Add320	90	422.5	0.5	0.4	90	22.5
16	S5P275	1090	762	Sure Add320	135	422.5	0.75	0.4	45	22.5
17	S10P125	1090	762	Paya L-310	45	405	0.25	0.4	135	45
18	S10P150	1090	762	Paya L-310	90	405	0.5	0.4	90	45
19	S10P175	1090	762	Paya L-310	135	405	0.75	0.4	45	45
20	S10P225	1090	762	Sure Add320	45	405	0.25	0.4	135	45
21	S10P250	1090	762	Sure Add320	90	405	0.5	0.4	90	45
22	S10P275	1090	762	Sure Add320	135	405	0.75	0.4	45	45
23	S15P125	1090	762	Paya L-310	45	382.5	0.25	0.4	135	67.5
24	S15P150	1090	762	Paya L-310	90	382.5	0.5	0.4	90	67.5
25	S15P175	1090	762	Paya L-310	135	382.5	0.75	0.4	45	67.5
26	S15P225	1090	762	Sure Add320	45	382.5	0.25	0.4	135	67.5
27	S15P250	1090	762	Sure Add320	90	382.5	0.5	0.4	90	67.5
28	S15P275	1090	762	Sure Add320	135	382.5	0.75	0.4	45	67.5

برای ساخت بتن پلیمری که در آن آب و سیمان وجود ندارد از نکات دستورالعمل ACI548.1R-09[۲۱] و ACI548.6R-96[۲۲] استفاده شد. همچنین برای ساخت بتن پلیمری اصلاح شده که حاوی سیمان و آب می باشد نکات دستورالعمل ACI548.3R-09[۲۳] مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه بتن های پلیمری اصلاح شده به میزان زیادی همانند بتن های معمولی در ساخت هستند و بعلت استفاده از میکروسیلیس در برخی طرح ها در ساخت و عمل آوری نمونه های بتن پلیمری اصلاح شده الزامات آیین نامه‌ی ASTM C 192[۲۴] نیز رعایت شده است. در این آیین نامه ذکر گردیده افزودنی های محلول قبل از اضافه شدن به مخلوط کن باید در آب مخلوط حل شوند. مقدار این محلول باید در محاسبه آب مخلوط در نظر گرفته شود. لذا فوق روان کننده و پلیمرهای مورد استفاده در قسمتی از آب مخلوط حل شد و به همراه آن به مصالح درون مخلوط کن اضافه گردید. طرح های ساخته شده در جدول ۴ مشاهده می شود. برای تعیین مقاومت پیوستگی بین بتن بستر و بتن های پلیمری و پلیمری اصلاح شده به عنوان لایه تعمیری، ۲۸ طرح مخلوط ساخته شده با ضخامت ۲ سانتی‌متر روی بتن های بستر با ضخامت ۵ سانتی متر و طول و عرض ۱۵ سانتی متر اعمال شد و سپس نمونه های ترکیبی دارای بتن پلیمری در محیط آزمایشگاه و بیرون از آب و نمونه های حاوی بتن پلیمری اصلاح شده به مدت ۵ روز در آب و ۲۳ روز تحت عمل آوری در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند[۲۵]. پس از ۲۸ روز نیم مغزه هایی با ارتفاع ۲/۵ سانتی متر بر روی آن ها ایجاد شد، به طوری که کل ضخامت لایه تعمیری و ۰/۵ سانتی متر از لایه بستر در این نیم مغزه حضور داشته باشند. بر روی تمامی طرح ها، آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت کششی به روش برزیلی (دو نیم شدن استوانه) مطابق با استاندارد ASTM C496[۲۶]، مقاومت خمشی مطابق با استاندارد ASTM C78[۲۷] ، مدول الاستیسیته مطابق با استاندارد ASTM C469[۲۸] و تعیین مقادیر جمع شدگی انجام شده است. پس از انجام مغزه گیری، تعیین مقاومت پیوستگی بین لایه های تعمیری و بتن بستر به کمک روش کشیدن از سطح (Pull-Off) و با استفاده از استوانه های فلزی به قطر ۵ سانتی متر و ارتفاع ۲/۵ سانتی متر مطابق با استاندارد ASTM D7234[۲۹] انجام شد. برای انجام این آزمایش ابتدا یک صفحه فلزی به وسیله چسب به سطح بتن چسبانده می‌شود. پس از خشک‌شدن چسب، این صفحه فلزی توسط یک دستگاه مخصوص تا گسیختگی اتصال کشیده می‌شود. مقدار نیروی کششی که لازم است بر صفحه فولادی اعمال شود تا صفحه همراه با لایه سطحی بتن جدا گردد، با مقاومت بتن مرتبط است. هنگام تعیین مقاومت پیوستگی دو لایه به روش کشیدن از سطح (Pull-Off) چهار حالت گسیختگی امکانپذیر است: گسیختگی از چسب، گسیختگی از بتن بستر، گسیختگی از بتن تعمیری و گسیختگی از مرز دو لایه. تنها در صورتی این آزمون موفق به تعیین مقاومت پیوستگی دو لایه خواهد شد که شکست در مرز اتفاق بیفتد. به همین دلیل آزمون هایی که شکست در محلی به غیر از مرز باشد موفق تلقی نمی گردند و نتایج آنها حذف خواهد شد. در شکل۲ دستگاه کشیدن از سطح (Pull-Off) برای تعیین مقاومت پیوستگی دو لایه بتنی و نیز نحوه آماده سازی نمونه ها مشاهده می گردد.

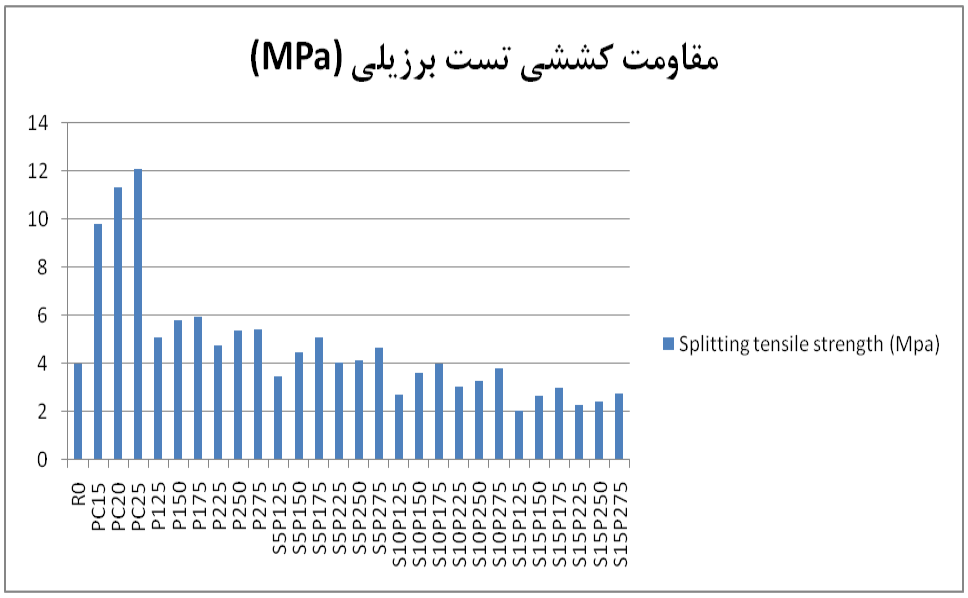
۳- نتایج و بررسی

نتایج آزمایشات در شکل های ۱ تا ۸ نشان داده شده است.

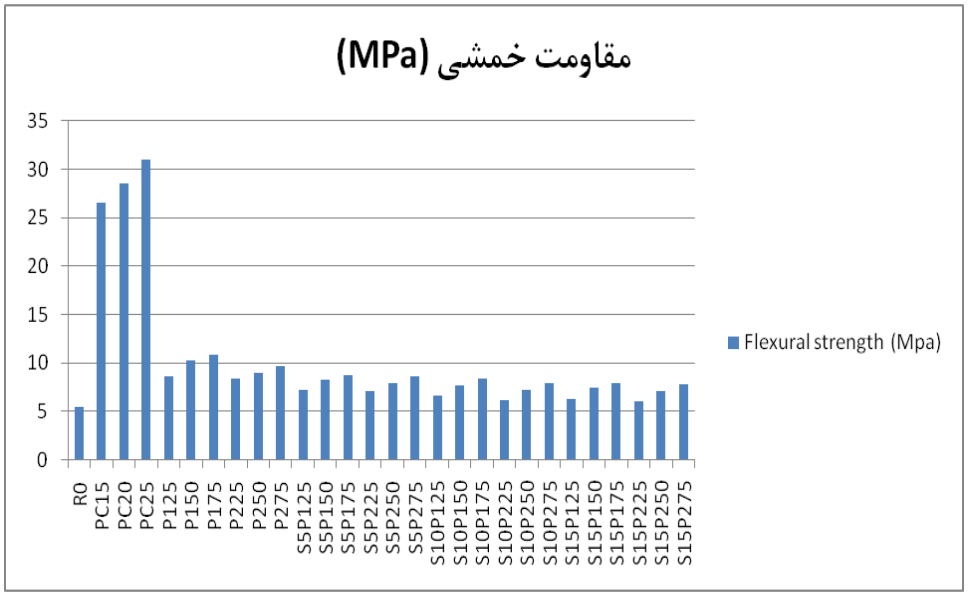


شکل۳ : نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)

شکل۳ نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح های مخلوط را نشان می دهد. بتن پلیمری حاوی اپکسی رزین در حالتی که مقدار پلیمر برابر ۲۰ درصد وزنی سنگدانه باشد، بالاترین مقاومت فشاری را داشته است که مقدار آن برابر ۷۰ مگاپاسکال بوده است و درحدود ۴۸ درصد بیشتر از بتن شاهد بوده است. مقدار بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR، در طرح P150 (۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی SBR) بوده است که مقدار آن برابر ۴۶/۲۲ مگاپاسکال (۱/۸۹ درصد کاهش) می باشد. همچنین بیشترین مقدار مقاومت فشاری ۲۸ روزه در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح P250 (۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی اکریلیک) بوده است که مقدار آن برابر ۴۱/۳۳ مگاپاسکال (۱۲ درصد کاهش) می باشد. بطور کلی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR، دارای مقاومت فشاری بالاتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند. در هر دو نوع پلیمر درصد جایگزینی ۵۰ درصد آب با پلیمر، بالاترین مقاومت فشاری را دارا بوده است که حضور و افزایش مقدار میکروسیلیس باعث کاهش مقاومت فشاری در همه درصدهای پلیمر شده است. شکل۴ نتایج مقاومت کششی به روش برزیلی (دو نیم شدن استوانه) را نشان می دهد. بتن پلیمری حاوی اپکسی رزین در حالتی که مقدار پلیمر برابر ۲۵ درصد وزنی سنگدانه باشد، بالاترین مقاومت کششی را داشته است که مقدار آن برابر ۱۲/۱ مگاپاسکال بوده است. این مقدار بیش از ۳ برابر مقاومت کششی بتن معمولی طرح کنترل می باشد. بیشترین مقاومت کششی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در طرح P175 بوده است که مقدار آن برابر ۵/۹۵ مگاپاسکال(۵۰ درصد افزایش نسبت به بتن شاهد) می باشد. همچنین بیشترین مقدار مقاومت کششی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح P275 بوده است که مقدار آن برابر ۵/۴۱ مگاپاسکال(۳۷ درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد) می باشد. نتایج نشان می دهد که بطور کلی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR دارای مقاومت کششی بالاتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند. بطور میانگین می توان مشاهده نمود مقاومت کششی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در حدود ۱۰ درصد(بدون حضور میکروسیلیس) و ۴ درصد(با حضور میکروسیلیس) بالاتر از بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک بوده است.



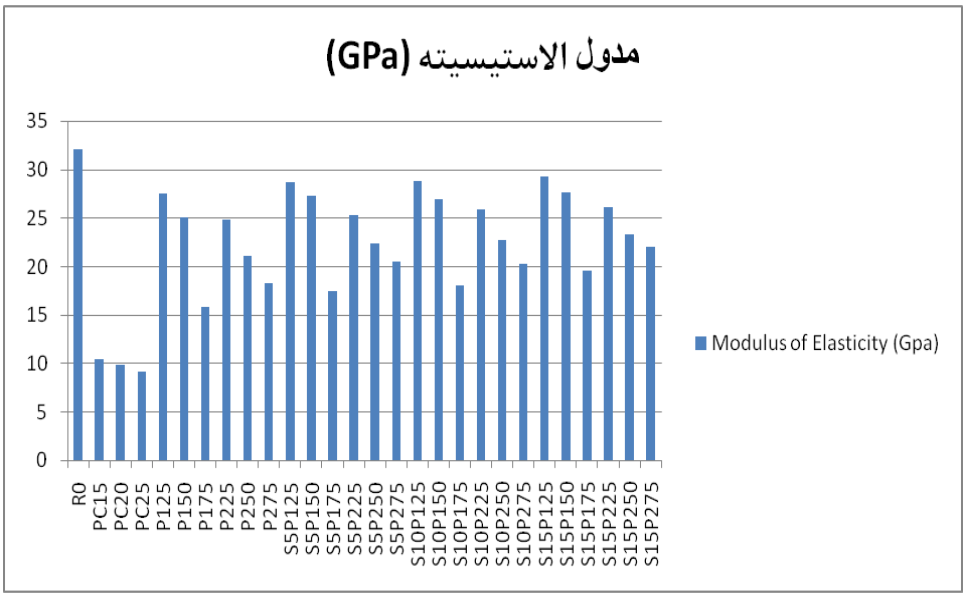
شکل۴ : نتایج مقاومت کششی آزمایش برزیلی(MPa)



شکل۵ : نتایج مقاومت خمشی(MPa)

شکل۵ نتایج مقاومت خمشی را نشان می دهد. بتن پلیمری حاوی اپکسی رزین در حالتی که مقدار پلیمر برابر ۲۵ درصد وزنی سنگدانه باشد، بالاترین مقاومت خمشی را داشته است که مقدار آن برابر ۳۱/۰۲ مگاپاسکال بوده است. این مقدار بیش از ۶ برابر مقاومت خمشی بتن معمولی طرح کنترل می باشد. بیشترین مقاومت خمشی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در طرح P175 بوده است که مقدار آن برابر ۱۰/۸۲ مگاپاسکال (۱۰۰درصد افزایش نسبت به بتن شاهد) می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار مقاومت خمشی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح P275 بوده است که مقدار آن برابر ۹/۶۴ مگاپاسکال(۷۷ درصد افزایش نسبت به بتن شاهد) می باشد. بطور کلی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR دارای مقاومت خمشی بالاتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند. بطور میانگین می توان مشاهده نمود مقاومت خمشی بتن های پلیمری اصلاح

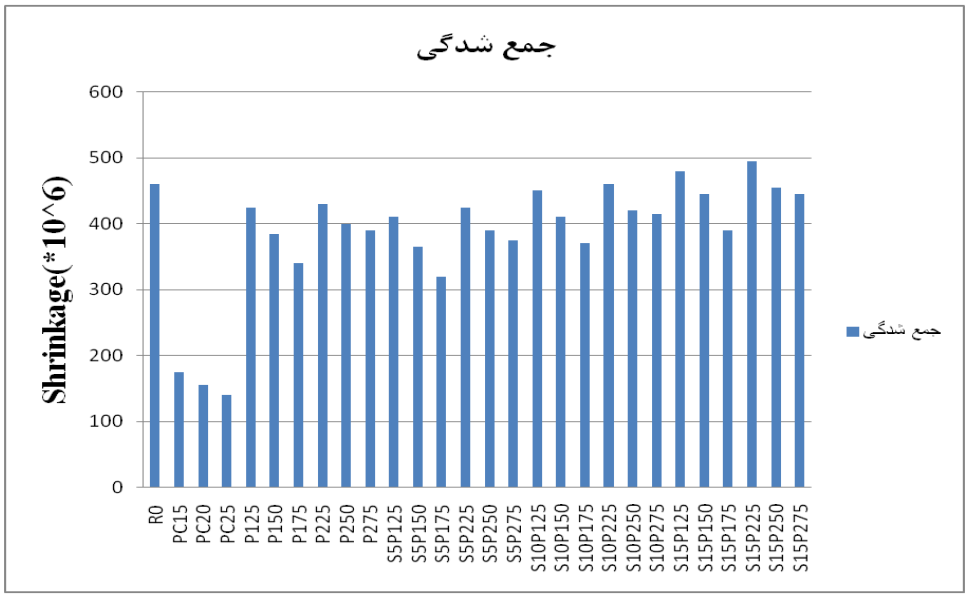
شده با پلیمر حاوی SBR در حدود ۸ درصد (بدون حضور میکروسیلیس) و حدود ۱۷ درصد (با حضور میکروسیلیس) بالاتر از بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک بوده است.



شکل۶ : نتایج مدول الاستیسیته(GPa)

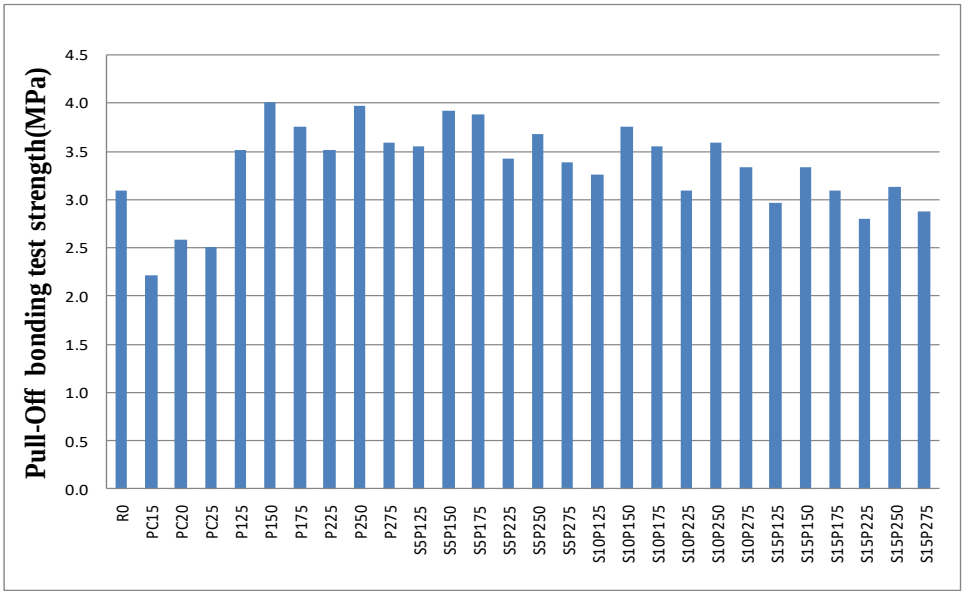
در شکل۶ نتایج مدول الاستیسیته با هم مقایسه شده است که نشان می دهد بتن پلیمری حاوی اپکسی رزین در حالتی که مقدار پلیمر برابر ۲۵ درصد وزنی سنگدانه باشد کمترین مدول الاستیسیته را داشته است که مقدار آن برابر ۹/۱۶ گیگاپاسکال بوده است. این مقدار درحدود ۰/۲۸ برابر مدول الاستیسیته بتن معمولی طرح کنترل می باشد و ۷۱ درصد کاهش را نشان می دهد. کمترین مدول الاستیسیته در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در طرح P175 بوده است که مقدار آن برابر ۱۵/۸۰ گیگاپاسکال (۵۰ درصد کاهش نسبت به طرح شاهد) می‌باشد. همچنین کمترین مقدار مدول الاستیسیته در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح P275 بوده است که مقدار آن برابر ۱۸/۳۰ گیگاپاسکال(۴۳ درصد کاهش نسبت به طرح شاهد) می باشد. در همه طرح های بتن پلیمری اصلاح شده شاهد کاهش مدول الاستیسیته نسبت به طرح کنترل هستیم. بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR دارای مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند.

شکل۷ نتایج جمع شدگی در طرح ها را نشان می دهد.بتن پلیمری حاوی اپکسی رزین در حالتی که مقدار پلیمر برابر ۲۵ درصد وزنی سنگدانه باشد کمترین مقدار جمع شدگی را داشته است که مقدار آن برابر ۰/۰۰۰۱۴ بوده است. این مقدار درحدود ۰/۲۸ برابر جمع شدگی بتن معمولی طرح کنترل می باشد که حدود ۷۰ درصد کاهش را نشان می دهد. کمترین جمع شدگی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در طرح S5P175 بوده است که مقدار آن برابر ۰/۰۰۰۳۲ می باشد. همچنین کمترین مقدار جمع شدگی در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح S5P175 بوده است که مقدار آن برابر ۰/۰۰۰۳۷۵ می باشد. بطور کلی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR دارای جمع شدگی کمتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند. در هر دو نوع پلیمر درصد جایگزینی ۷۵ درصد آب با پلیمر کمترین جمع شدگی را دارا بوده است که حضور و افزایش مقدار میکروسیلیس تا ۵ درصد باعث کاهش جمع شدگی و پس از آن باعث افزایش جمع شدگی در همه درصدهای پلیمر بوده است.



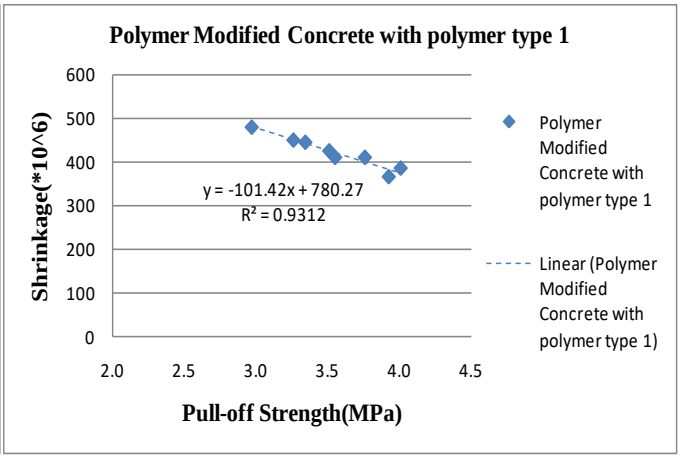
شکل۷ : مقادیر جمع شدگی طرح های ساخته شده

در شکل۸ نتایج آزمون تعیین مقاومت پیوستگی لایه تعمیری با استفاده از روش کشیدن از سطح (Pull-Off) به صورت نمودار ستونی نشان داده شده است. مشاهده می گردد که بیشترین مقاومت پیوستگی در بتن های پلیمری اصلاح شده برای طرح P150 و کمترین مقدار برای طرح S15P225 بدست آمده است. طرح P150 که حاوی ۵۰ درصد جایگزینی پلیمر حاوی SBR با آب بوده است، بهینه ترین مقدار پلیمر را داشته و از نظر مشخصات مکانیکی نیز بهترین عملکرد را نشان داده است. همچنین بنظر می رسد با توجه به بهینه بودن این درصد جایگزینی پلیمر، در چسبندگی به بتن بستر نیز عملکرد مناسبی از خود نشان داده است. مشابه همین عملکرد در بتن های حاوی اکریلیک نیز مشاهده شده است و این موضوع نشان می دهد برای اینکه عملکرد پیوستگی بهتر شود، حتی با وجود کاهش جزئی مقاومت فشاری با افزایش مقدار پلیمر، برای رسیدن به مقاومت پیوستگی بهتر باید مقدار پلیمر را تا رسیدن به بیشترین پیوستگی افزایش داد. قابل ذکر است پس از ۵۰ درصد جایگزینی، با افزایش پلیمر تا ۷۵ درصد مجدداً در هر دو نوع بتن‌های اصلاح شده شاهد کاهش مقاومت پیوستگی بوده ایم که می تواند ناشی از کاهش کیفیت کلی بتن ها در این درصد های بالای جایگزینی باشد. با حضور میکروسیلیس شاهد کاهش جزئی مقاومت پیوستگی بوده‌ایم که با افزایش مقدار آن تا ۱۰و پس از آن ۱۵ درصد کاهش شدیدتری مشاهده می شود. در رابطه با بتن های پلیمری می توان مشاهده نمود که مقاومت پیوستگی پایین‌تری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده داشته‌اند که علت آن می تواند تفاوت ساختاری و اختلاف بسیار زیاد مشخصات مکانیکی این نوع بتن ها با بتن بستر باشد. بیشترین مقاومت پیوستگی به روش Pull-off درلایه تعمیری بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR در طرح P150 بوده است که مقدار آن برابر ۴/۰۱ مگاپاسکال(۳۰ درصد افزایش نسبت به بتن شاهد) می باشد. همچنین بیشترین مقدار مقاومت پیوستگی لایه تعمیری به روش Pull-off در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک در طرح P250 بوده است که مقدار آن برابر ۳/۹۷ مگاپاسکال (۲۸ درصد افزایش نسبت به بتن شاهد) می باشد. نتایج نشان می دهد که در همه طرح های بتن پلیمری اصلاح شده شاهد افزایش مقاومت پیوستگی لایه تعمیری نسبت به طرح کنترل هستیم. بطور کلی بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر با پایه SBR دارای مقاومت پیوستگی بالاتری نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده حاوی پلیمر بر پایه اکریلیک بوده‌اند. در هر دو نوع پلیمر درصد جایگزینی ۵۰ درصد آب با پلیمر بالاترین مقاومت پیوستگی را دارا بوده است که حضور و افزایش مقدار میکروسیلیس باعث کاهش مقاومت پیوستگی در همه درصدهای پلیمر بوده است.

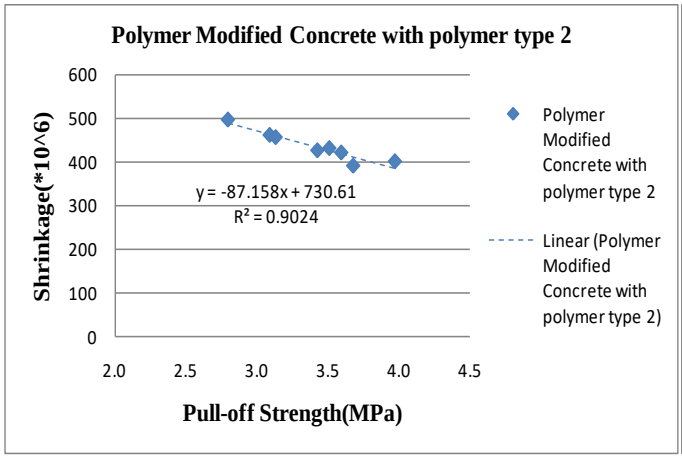


شکل۸ : نتایج آزمایش مقاومت پیوستگی به روش Pull-off بر حسب (MPa)

در شکل های ۹ و ۱۰ ارتباط میزان جمع شدگی در بتن های پلیمری اصلاح شده با مقاومت پیوستگی این بتن ها در آزمایش تعیین پیوستگی با روش Pull-off نشان داده شده است. همانطور که در این دو نمودار قابل مشاهده است، با توجه به مقادیر بسیار بالای R^2 شاهد ارتباط کاملاً معنادار بین مقدار جمع شدگی نمونه های ساخته شده با مقاومت پیوستگی لایه تعمیری ساخته شده از همان بتن ها در آزمایش Pull-off بصورت عکس می باشیم. در واقع با کاهش جمع شدگی شاهد افزایش پیوستگی هستیم.



شکل۹ : ارتباط مقدار جمع شدگی و مقاومت پیوستگی به روش Pull-off در لایه تعمیری بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR



شکل۱۰ : ارتباط مقدار جمع شدگی و مقاومت پیوستگی به روش Pull-off در لایه تعمیری بتن های پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی مشخصات مکانیکی و مقاومت پیوستگی لایه های تعمیری بتن پلیمری و بتن پلیمری اصلاح شده بر بتن بستر پرداخته شده است. به این منظور در بتن پلیمری درصد پلیمر و در بتن پلیمری اصلاح شده سه پارامتر نوع پلیمر، درصد پلیمر و درصد میکروسیلیس به عنوان متغیر درنظر گرفته شده‌اند. درصد پلیمر استفاده شده در بتن پلیمری شامل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی سنگدانه و درصد های پلیمر جایگزین با آب در بتن پلیمری اصلاح شده شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد وزنی آب بوده است. همچنین مقادیر جایگزینی میکروسیلیس با سیمان برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد درنظر گرفته شد. نتایج تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ببررسی مقاومت های فشاری نشان می دهد، بالاترین مقاومت فشاری در بین همه طرح ها، در طرح بتن پلیمری PC20 که حاوی ۲۰ درصد پلیمر بوده، بدست آمده است که برابر ۷۰ مگاپاسکال می باشد. این مقاومت فشاری ۴۸ درصد بالاتر از مقاومت فشاری طرح شاهد بوده است. در بتن پلیمری اصلاح شده بطور کلی شاهد کاهش مقاومت فشاری پس از افزودن پلیمر نسبت به بتن شاهد بوده ایم که کمترین کاهش مربوط به طرح P150 (حاوی ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی SBR) با مقدار ۱/۸۹ درصد کاهش و پس از آن در طرح P250 (حاوی ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر حاوی اکریلیک) با مقدار برابر ۱۲ درصد کاهش بوده است.

- با بررسی نتایج مقاومت کششی مشاهده می شود، در بتن پلیمری با افزایش پلیمر تا ۲۵ درصد شاهد افزایش مقاومت کششی بوده ایم و بیشترین مقاومت کششی مربوط به طرح PC25 برابر ۱۲/۱ مگاپاسکال بوده است که این مقدار در حدود ۳ برابر مقاومت کششی بتن شاهد با مقدار ۳/۹۶ مگاپاسکال می باشد. در بتن پلیمری اصلاح شده شاهد افزایش مقاومت کششی با افزایش پلیمر نسبت به بتن شاهد بوده ایم که بیشترین افزایش در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR مربوط به طرح P175 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۵۰ درصد افزایش و در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک مربوط به طرح P275 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۳۷ درصد افزایش بوده است.

- نتایج مقاومت خمشی در طرح ها نشان می دهد در بتن پلیمری با افزایش پلیمر تا ۲۵ درصد شاهد افزایش مقاومت خمشی بوده ایم و بیشترین مقاومت خمشی مربوط به طرح PC25 برابر ۳۱/۰۲ مگاپاسکال بوده است که این مقدار در حدود ۶ برابر مقاومت خمشی بتن شاهد با مقدار ۵/۴۳ مگاپاسکال می‌باشد. در بتن پلیمری اصلاح شده شاهد افزایش مقاومت خمشی با افزایش پلیمر نسبت به بتن شاهد بوده ایم که بیشترین افزایش در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR مربوط به طرح P175 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۱۰/۸۲ مگاپاسکال(برابر ۱۰۰درصد افزایش) و در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک مربوط به طرح P275 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۹/۶۴ مگاپاسکال(برابر ۷۷ درصد افزایش) بوده است.

- مقایسه نتایج مدول الاستیسیته نشان می دهد در بتن پلیمری با افزایش پلیمر تا ۲۵ درصد شاهد کاهش مدول الاستیسیته بوده ایم و کمترین مدول الاستیسیته مربوط به طرح PC25 (حاوی ۲۵ درصد پلیمر) برابر ۹/۱۶ گیگاپاسکال بوده است که این مقدار در حدود ۷۱ درصد کاهش نسبت به بتن شاهد با مقدار مدول الاستیسیته برابر ۳۲/۱ گیگاپاسکال می باشد. در بتن پلیمری اصلاح شده شاهد کاهش مدول الاستیسیته با افزایش پلیمر نسبت به بتن شاهد بوده ایم که بیشترین کاهش در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR مربوط به طرح P175 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۱۵/۸ گیگاپاسکال(برابر ۵۰ درصد کاهش) و در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک مربوط به طرح P275 (حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار ۱۸/۳ گیگاپاسکال(برابر ۴۳ درصد کاهش) بوده است.

- تعیین مقادیر جمع‌شدگی در طرح‌ها نشان داد کمترین مقادیر جمع شدگی در بین همه طرح‌ها در بتن‌های پلیمری اتفاق افتاده است. در طرح بتن پلیمری PC25 که حاوی ۲۵ درصد پلیمر بوده، کمترین مقدار جمع‌شدگی بوجود آمده است که برابر۱۴۰×۱۰^{-۶} می‌باشد. این مقدار جمع‌شدگی ۷۰ درصد کمتر از جمع شدگی طرح شاهد(برابر ۴۶۰×۱۰^{-۶}) بوده است. بتن های پلیمری اصلاح شده

بطور کلی شاهد کاهش جمع شدگی پس از افزودن پلیمر نسبت به بتن شاهد بوده ایم که بیشترین کاهش مربوط به طرح های حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آب با پلیمر بوده است.

- با افزایش میکروسیلیس در بتن پلیمری اصلاح شده تا ۵ درصد، شاهد کاهش جمع شدگی بوده ایم اما پس از آن با افزایش میکروسیلیس تا ۱۵ درصد، جمع شدگی افزایش یافته است.

- نتایج آزمایشات تعیین پیوستگی لایه تعمیری نشان داد که بتن های پلیمری پیوستگی کمتری بر بتن بستر نسبت به بتن های پلیمری اصلاح شده و حتی بتن شاهد داشته اند. در آزمایش تعیین پیوستگی لایه تعمیری بتن پلیمری بر بتن بستر با روش Pull-off، نتایج بدست آمده نشان می دهد با افزایش پلیمر تا۲۰ درصد شاهد افزایش مقاومت پیوستگی خواهیم بود و پس از آن مقاومت پیوستگی کاهش می یابد. در بتن پلیمری با ۲۰ درصد پلیمر، بیشترین مقدار مقاومت پیوستگی را در این نوع بتن داشته ایم(۲/۵۹ مگاپاسکال) که حدود ۱۶ درصد کمتر از مقاومت پیوستگی بتن شاهد(۳/۰۹ مگاپاسکال) در این آزمایش بوده است.

- در آزمایش تعیین پیوستگی لایه تعمیری بتن پلیمری اصلاح شده بر بتن بستر با روش Pull-off شاهد افزایش مقاومت با افزایش جایگزینی آب با پلیمر تا ۵۰ درصد، نسبت به بتن شاهد بوده ایم که بیشترین افزایش در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی SBR مربوط به طرح P150 (حاوی ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار برابر ۴/۰۱ مگاپاسکال(۳۰ درصد افزایش) و در بتن پلیمری اصلاح شده با پلیمر حاوی اکریلیک مربوط به طرح P250 (حاوی ۵۰ درصد جایگزینی آب با پلیمر) با مقدار برابر ۳/۹۷ مگاپاسکال(۲۸ درصد افزایش) بوده است.

- رسم نمودار جمع‌شدگی نسبت به مقاومت پیوستگی طرح های مختلف ساخته شده نشان داد که جمع شدگی لایه تعمیری بتن پلیمری اصلاح شده و مقدار مقاومت پیوستگی آن به بتن بستر به یکدیگر مرتبط هستند و با کاهش جمع شدگی شاهد افزایش مقاومت پیوستگی خواهیم بود.

مراجع :

[۱] Fowler, D.W. (1999), Polymers in concrete: a vision for the 21st century, *Cement & Concrete Composites*,21, pp. 449-452.

[۲] San-Jose, J.T.s., Vegas, I., Ferreira, A. (2005), Reinforced polymer concrete: Physical properties of the matrix and static/dynamic bond behaviour, *Cement & Concrete Composite*,27(9), pp. 934–944.

[۳] Kienow, K., Allen, H.C. (1993), Concrete pipe for sanitary sewers: corrosion protection update, *ASCE*.

[٤] Liu, J., Vipulanandan, C. (2001), Evaluating a polymer concrete coating for protecting non-metallic underground facilities from sulfuric acid attack", *Tunnelling and Underground Space Technology*,16(4), pp. 311-321.

[٥] Liu, J., Vipulanandan, C. (1999),Testing epoxy coating for dry and wet concrete wastewater facilities, *Protection and Coating Linings*,16(12), pp. 26-37.

[٦] Corte´s, F., Castillo, G. (2007), Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron for machine tool applications, *Materials and Design*, 28(5), pp. 1461–1466.

[۷] Zhang, H., (1999), *AN EVALUATION OF THE DURABILITY OF POLYMER CONCRETE BONDS TO ALUMINUM BRIDGE DECKS*., Virginia Polytechnic Institute and State University.

[۸] Czarnecki, L., Garbacz, A., Krystosiak, M. (2006), On the ultrasonic assessment of adhesion between polymer coating and concrete substrate , *Cement & Concrete Composites*, 28(4), pp. 360–369.

[۹] Muthukumar, M., Mohan, D. (2004), Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion , *European Polymer Journal*, 40(9), pp. 2167–2177.

[۱۰] Mani, P., Gupta, A.K., Krishnamoorthy, S. (1987), Comparative study of epoxy and polyester resin-based polymer Concretes, *ADHESION AND ADHESIVES*, 7(3), pp. 157-163.

[۱۱] Barluenga, G., Hernandez, F. (2004), SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour, *Cement and Concrete Research*, 34(3), pp. 527–535.

[۱۲] Diab, A.M., Elyamany, H.E., Ali, A.H. (2014), The participation ratios of cement matrix and latex network in latex cement co-matrix strength, *Alexandria Engineering Journal*, 53, pp. 309-317.
[۱۳] Manson, J.A. (1976), Modifications of Concretes with Polymers, *Materials Science and Engineering*,25, pp. 41-52.
[۱٤] Beushausen, H., Gillmer, M. (2014), The use of superabsorbent polymers to reduce cracking of bonded mortar overlays, *Cement & Concrete Composites*,52, pp. 1-8.
[۱٥] Beushausen, H., Gillmer, M., Alexander, M. (2014), The influence of superabsorbent polymers on strength and durability properties of blended cement mortars, *Cement & Concrete Composites*,52, pp. 73-88.
[۱٦] Son, S.W., Yeon, J.H. (2012), Mechanical properties of acrylic polymer concrete containing methacrylic acid as an additive, *Construction and Building Materials*, 37, pp. 669–679.
[۱۷] Lewis, W.J., Lewis, G. (1990), The influence of polymer latex modifiers on the properties of Concrete, *COMPOSITES*,21, pp. 487-494.
[۱۸] Rossignolo, J.A., Agnesini, M.V.C. (2004), Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete, *Cement & Concrete Composites*, 26(4), pp. 375–380.
[۱۹] Silfwerbrand, J., Beushausen, H., Courard, L. (2011), Bonded Cement-Based Material Overlays for the Repair, the Lining or the Strenghening of Slabs or Pavements, *the series RILEM State of the Art Reports*,3, pp. 51-79.
[۲۰] ASTM, *C33 / C33M-16 (2016), Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
[۲۱] ACI, *ACI committee 548.1R-97 (1997),Guide for the Use of Polymers in Concrete*., American Concrete Institute.
[۲۲] ACI, *ACI committee 548.6R-96 (1996),Polymer Concrete-Structural Applications State-of-the-Art-Report*. American Concrete Institute.
[۲۳] ACI, *ACI committee 548.3R-09 (2009), Report on Polymer-Modified Concrete*. 2009, American Concrete Institute.
[۲٤] ASTM, *C 192/C 192M-02 (2002), Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. ASTM International.
[۲٥] Ohama, Y., (1995), Handbook of Polymer Modified Concrete and Mortars. William Andrew /NOYES PUBLICATIONS: NY, USA,
[۲٦] ASTM, *C496 / C496M-11 (2011), Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International.
[۲۷] ASTM, *C78 / C78M-16 (2016), Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. 2016, ASTM International.
[۲۸] ASTM, *C469 / C469M-14 (2014), Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*., ASTM International.
[۲۹] ASTM, *D7234 - 12, (2012), Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers*., ASTM International.