



## بررسی مقاومت فشاری بتن های پلیمری با پودر لاستیک و میکروسیلیس در سنین مختلف

فرهاد پیرمحمدی علیشاه\*<sup>۱</sup>، حامد رسولی نعمت آباد<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> استادیار گروه عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران (petrofarhad@iaushab.ac.ir).

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۶/۱۲)

### چکیده

بتن مهمترین مصالح ساختمانی است که بیشترین کاربرد را در ساخت سازه های مختلف از جمله ساختمان های مسکونی، سازه های زیربنایی مانند پل، سد، راه، ابنیه، اسکله، بند و سایر سازه ها دارد. بطور کلی بتن از ترکیب سیمان با آب و سنگدانه های درشت و ریز که در عمل به آنها شن و ماسه اطلاق می شود، ساخته می شود. تعیین مقدار و وزن هر کدام از این مصالح که برای ساخت یک بتن برای کسب مقاومت مشخصه تحت عنوان طرح اختلاط بتن مطرح است. در این تحقیق به بررسی تاثیر میکروسیلیس و پودرلاستیک بر روی بتن های سیمانی پلیمری از نوع استایرنیوتادین (SBR) بوده که بانام تجاری لاتکس در بازار یافت می شود و برای ساخت نمونه ها از درصد های وزنی پلیمر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نسبت به سیمان همراه با جایگزین ۵، ۱۰ و ۱۵ درصدی میکروسیلیس و پودر لاستیک جایگزین سیمان استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که جایگزینی میکروسیلیس با افزایش سن نمونه ها باعث افزایش اختلاف مقاومت با بتن شاهد می شود و در سنین ۴۲ و ۲۸ روز این نمونه ها دارای مقاومتی بیش از نمونه شاهد است. بهترین مقاومت در ترکیب میکروسیلیس و پودرلاستیک بین ۶ و ۷/۵ درصد از هر کدام به دست آمده است که مقاومت ۲۸ روزه افزایش ۱۵ درصد نسبت به نمونه شاهد را داراست.

### کلمات کلیدی

پودر لاستیک، میکروسیلیس، بتن پلیمری، مقاومت فشاری، سیمان.



# Investigation of Compressive Strength of Polymeric Concrete with Rubber Powder and Silica in Different Ages

Farhad Pirmohammadi Alishah<sup>1\*</sup>, Hamed Rasouli Nemat Abad<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor of Civil Engineering, shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

(petrofarhad@iaushab.ac.ir)

<sup>2</sup> M.Sc. of Structural Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

(Date of received: 10/02/2020, Date of accepted: 02/09/2020)

## ABSTRACT

Concrete is the most important building material that is most used in the construction of various structures including residential buildings, infrastructure structures such as bridges, dams, roads, buildings, docks, dams and other structures. Generally, concrete is made of a mixture of cement with water and coarse aggregates, which in practice are referred to as sand. Determine the amount and weight of each of these materials to build a concrete to obtain the characteristic strength referred to as the concrete mixing scheme. In this study, we investigated the effect of silica and powder on polymeric cement concrete of styrenebutadiene (SBR) found in latex commercial market and for making samples of polymer weight percentages of 10, 15 and 20 in cement with alternative 5, 10 And 15% microsilica and rubber powder used to replace cement. The results show that the supernatants with the addition of the samples show an increased resistance with the sample and at 42 and 28 days these samples have more than the resistance of the sample. The best resistance in the combination of microsilica and powder was between 6 and 7.5% with a 28-day increase of 15% over the control.

## Keywords:

Rubber powder, Micro silica, Polymer concrete, Compressive strength, Cement.



## ۱- مقدمه

از دیر باز با واژه ی بتن آشنا هستیم، امروزه برای اینکه استحکام و مقاوت بتن را در برابر تحمل فشار ها و تنش ها را بالا ببرند از ترکیب بتن با مواد شیمیایی متفاوتی بهره میبرند؛ یکی از این مواد و کار ها استفاده از پلیمرها و به نوعی پلیمر کردن بتن میباشد. این نوع ماده (پلیمر) ضمن دارا بودن استحکام بالا، دارای وزن پایین و مقاوم در برابر شرایط آب و هوایی و در برابر فشار و بار های مختلف مقاومت خوبی را از خود نشان میدهد. در کل میتوان بتن های پلیمری را ترکیبی از الیاف های طبیعی پلیمری در اندازه ی دانه های ریز و درشت دانه ها دانست. در فرایند مخلوط کردن بتن های پلیمری از آب، که یک پای همیشگی مصالح بتنی است استفاده نمی کنیم و به جای اب از رزین مایع (مونمر) استفاده میکنیم. در واقع مولکول های رزین مایع به عنوان مونومر فرایند ما عمل میکنند و باعث سفت و سخت شدن و مقاومت بالا و مهمتر از همه باعث چسبانندگی میشوند و مولکول های بزرگتر را تشکیل میدهند. (فرایند پلیمری شدن) نحوه ی تشکیل بتن های پلیمری (روش ساخت) طی پلیمر شدن و فرایند مخلوط بتن و پلیمر، مولکول های رزین مایع به عنوان مونومر به صورت پیوند شیمیایی به همدیگر وصل میگرددند تا گونه ای (نوعی) پلاستیک سفت و مقاوم به نام پلیمر را به وجود آورند [۱]. برای افزایش بهره وری و طول عمر بتن و مقاوت آن در برابر انواع تنش ها و فشار و شرایط محیطی از پلیمر ها و فرایند پلیمری شدن بهره گرفتیم. به این علت که پلیمر ها دارای خواص ضد سایش و ضد خوردگی را در برابر عوامل سایش دارند. - دارای سبکی و وزن کم نسبت به سایر مواد افزودنی - امکان ترمیم و تعمیر تخریب های موجود در پل ها، بزرگراه ها و سازه های آسیب دیده. - برای زیبا سازی فضای شهر و معماری - مقاومت بالا نسبت به سایر افزودنی ها در برابر شرایط محیطی عمل آوری بتن پلیمری: بتن های پلیمری علی رغم سایر ترکیبات بتنی به سرعت با شرایط محیطی مطابقت میابند و سریع سفت و سخت میشوند. به طوری که طی همان ساعات اولیه (حدود یک ساعت) کاملاً مستحکم و سفت میشوند. لذا در این مدت باید از نفوذ آب جلوگیری کرد تا اب به آن نفوذ نکند. باید توجه داشت که اگر دمای محیط کمتر از ۱۲ درجه ی سانتیگراد باشد سرعت واکنش بسیار (پلیمر) پایین آمده و کاهش خواهد یافت و برای اینکه این اتفاق نیوفتد دو راه حل پیشنهاد میشود؛ یا باید واکنش دهنده های فرایند غلیظ باشند یا باید در شروع واکنش دما بین ۷ تا ۲۰ درجه ی فارنهایت باشد [۲]. قرن بیستم را به حق باید قرن پلیمر ها نیز دانست، محصولات پلیمری از لحاظ حجمی در سال ۱۹۹۰ بر حجم محصولات آهنی فایق آمد و پیش بینی می شود که در قرن حاضر ، از لحاظ وزن نیز بالاتر رود. صنایع ساختمان بزرگترین مصرف کننده مواد پلیمری، ۲۵ تا ۳۰ درصد از کل پلیمر ها را مصرف می کند [۳]. یکی از مواردی که در ساختمان به وفور استفاده می شود بتن است. این ماده به دلیل هزینه پایین تولید، راحتی استفاده و استحکام فشاری، یکی از مواد پرمصرف در سازه هاست. ولی به دلیل نقایصی که دارد چون :

۱ - تخریب یخ زدگی و ذوب

۲ - تخریب پذیری توسط مواد شیمیایی خورنده

۳ - استحکام کششی کم

۴ - دیرپخت بودن و ....

همزمان با تولید این ماده ، ترکیب آن با فولاد ( مسلح کردن بتن ) و ایجاد خاصیت تاب خمشی مطرح شد و از همان موقع ، استفاده از مواد و ترکیبات شیمیایی ، برای بهبود خواص آن مورد توجه قرار گرفت . حاصل تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفت این نتیجه را در بر داشت که جایگزینی مناسبی ، با مواد پلیمری انجام شده است و با به کارگیری آنها به روش های مختلف ، خواص بتن ارتقا می یابد. ( این تحقیقات بیشتر در ژاپن ، آمریکا و روسیه انجام شده است). در این رابطه خانواده بتن های پلیمری ، بهترین

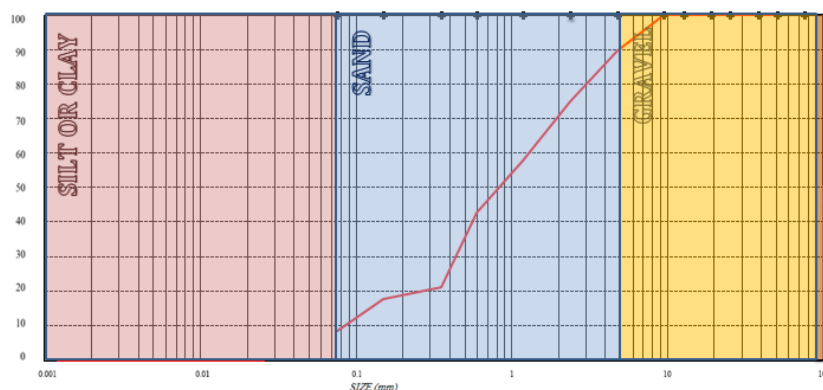


خاصیت ها را از خود نشان دادند . خواص این نوع بتن ، برتر از بتن های سیمانی بود و گاهی خواص منحصر به فردی از خود نشان می دهد . با توجه به نیاز بیشتر به استحکام در سازه ها و برتری های این نوع بتن ، بتن پلیمری مورد علاقه دانشمندان واقع شد و با وجود آنکه مدت زیادی از اختراع آن نمی گذرد و علیرغم قیمت بالایی نیز که داراست مورد استقبال روزافزون قرار گرفته است . بتن های پلیمری از حدود سال ۱۹۵۰ وارد بازار شده اند و پیش بینی می شود در طی دهه پیش رو ، مصرفشان ۱۰ برابر شود. کاربرد این نوع پلیمرها به دو شاخه استفاده جامد و استفاده غیر جامد تقسیم می شود . در حالت جامد محصولات پلیمری به جای فولاد جایگزین می شوند و بتن را مسلح می کنند که در این حالت، پلیمر به صورت رشته ، شبکه و یا میلگرد در بتن استفاده می شود . در حالت غیر جامد با تزریق پلیمر های پودری و مایع ، در دوام بتن بهبود حاصل می شود . در کشور ما کار خاصی روی بتن پلیمری صورت نگرفته است و هنوز در سطح یک موضوع تحقیقاتی برای دانشجویان باقی مانده است، موضوعی که منابع تحقیق آن نیز غالباً خارجی هستند [۳].

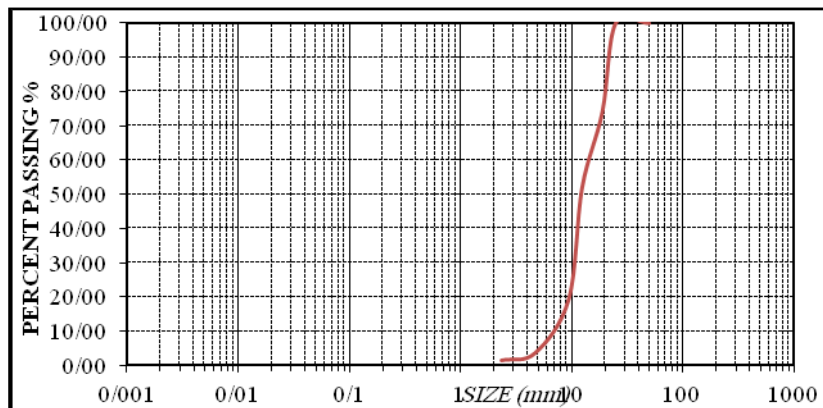
## ۲- مشخصات مصالح

### ۲-۱- سنگدانه ها

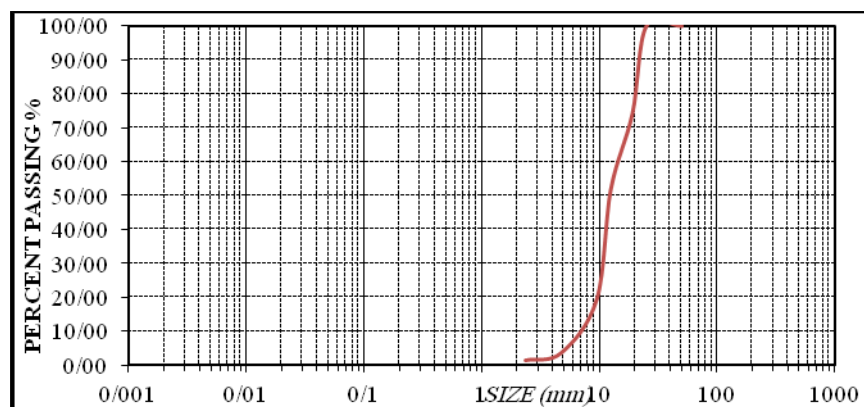
مصالح سنگی مورد استفاده در این پروژه از سه بخش ماسه ، شن نخودی و شن بادامی تشکیل شده است. ماسه با اندازه حداکثر ۸ میلی متر از معادن اطراف شهرستان شبستر می باشد. مصالح از کارگاه شماره ۳ بنیاد بتن آذربایجان شرقی تامین شده است. در جدول دانه بندی شماره ۱ نتایج آزمایش دانه بندی برای نمونه ماسه نشان داده شده است. مدول نرمی ماسه برابر ۳/۹۹ تعیین شد که طبق معمول ماسه های کشور در مقایسه با محدوده دانه بندی ذکر شده توسط مراجعی نظیر ASTM C33 ، بیش از حد درشت است.



شکل ۱: نمودار دانه بندی ماسه.



شکل ۲: گزارش آزمایش دانه بندی شن نخودی.



شکل ۳: گزارش آزمایش دانه بندی شن بادامی.

دانه بندی شن نخودی و بادامی به نحوی انتخاب شد که در حد امکان در چهارچوب محدوده های دانه بندی توصیه شده توسط مراجع معتبر قرار گرفت.

## ۲-۲- سیمان

در این تحقیق برای ساخت نمونه های بتن سبک ، سیمان تیپ ۲ سیمان صوفیان با نرمی ۲۹۷۴ سانتی متر مربع بر گرم مورد استفاده قرار گرفته که ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی و نتایج آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی در جداول ۱ و ۲ آمده است.



جدول ۱: نتایج آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی سیمان تیپ ۲ صوفیان.

۳/۱۱	وزن مخصوص gr/cm <sup>3</sup>
۲۹۷۴	سطح مخصوص gr/cm <sup>2</sup>
۲۳۷	مقاومت فشاری ۷ روزه با ماسه استاندارد (kg/cm <sup>2</sup> )
۴۶۲	مقاومت فشاری ۲۸ روزه با ماسه استاندارد (kg/cm <sup>2</sup> )
۱۱۶	زمان گیرش اولیه (دقیقه)
۱۷۵	زمان گیرش نهایی (دقیقه)

جدول ۲: ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی.

مقدار (درصد)	ترکیبات شیمیایی
۶۳/۱۳	CaO
۲۱/۷۷	SiO <sub>2</sub>
۴/۵۳	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۳/۶۶	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۲/۱۷	MgO
۲/۲۲	So <sub>3</sub>
۰/۳۲	Na <sub>2</sub> O
۰/۸۳	K <sub>2</sub> O

چنانکه نتایج نشان میدهند ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی مکانیکی سیمان استفاده شده، با الزامات استاندارد ASTM C150 برای سیمان نوع ۲ سازگاری دارد.

۲-۳- آب

آب مورد استفاده در تهیه مخلوطهای بتن سبک این پروژه آب آشامیدنی بوده است.

۲-۴- مواد فوق روان کننده

اجزای سیمان پرتلند دارای بارهای سطحی می باشد که به همین دلیل در حضور آب به صورت توده درمیآید و وجود این توده ها باعث حبس شدن مقداری از آب بین ذرات سیمان و کاهش کارایی بتن میشود. برای جبران این کاهش کارایی به آب بیشتری نسبت به آب موردنیاز برای تکمیل فرآیند هیدراسیون نیاز می باشد. در این شرایط به منظور ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان و جلوگیری از استفاده از آب بیشتر، از مواد فوق روان کننده استفاده میشود. فوق روان کننده با خنثی کردن بارهای موجود در سطح ذرات سیمان ، باعث افزایش روانی بتن می شود [۴]. فوق روان کننده میتواند میزان آب مصرفی در بتن را تا ۳۰٪ کاهش دهد. در



این شرایط با کاهش میزان آب در نسبت  $w/c$ ، مقاومت بتن به شکل قابل توجهی افزایش می یابد. در این پایان نامه از فوق روان کننده ی C-20، تولیدی شرکت فایبر استفاده شده است. این فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر می باشد و با قدرت کاهندگی شدید آب بتن و ایجاد روانی ایده آل، برای ساخت بتنهای فوق توانمند مورد استفاده قرار میگیرد. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی این ماده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات فوق روان کننده ی مورد استفاده.

درجه انجماد	درجه اشتعال	pH	یون کلر	وزن مخصوص $gr/cm^3$	شکل ظاهری
+۲	غیر آتش زا	۷/۵ - ۶/۵	ندارد	۱/۰۵	ماج قهوه‌ای روشن

#### ۲-۵- لاتکس

مونومر تشکیل دهنده لاتکس مصرفی استایرن بوتادین (SBR) است. مقدار ماده موجود در سوسپانسیون لاتکس ۶۰ درصد و بقیه آن را آب تشکیل می دهد. جرم حجمی آن  $1/07 gr/cm^2$  است. در این تحقیق مقدار مصرف به میزان ۱۰٪ در نظر گرفته شده تا با توجه به هزینه بالای لاتکس پلیمری، هزینه بتن پلیمری توجه پذیر باشد.

#### ۲-۶- میکرو سیلیس

میکروسیلیس Micro silica یا دوده سیلیسی Silica Fume از جمع آوری غبار فرآیند تولید مواد فروسیلیسی که از دودکش کوره کارخانه ها خارج می شود بدست می آید که به صورت محصول دوغاب میکروسیلیس ۵۰٪ در دسترس است. ذرات کروی بسیار ریز این غبار دارای قطر معمولاً ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میکرون (بطور متوسط ۰/۱۵ میکرون یا ۱۵۰ نانومتر) می باشند. سیلیس آمورف موجود در این ذرات بیش از ۸۵ درصد وزن آنها را تشکیل می دهد که می تواند به راحتی با آهک هیدراته یعنی هیدروکسید کلسیم یا  $Ca(OH)_2$  در محیط مرطوب واکنش دهد و مواد چسباننده ای از نوع سیلیکات کلسیم هیدراته و شبیه C-S-H تولید کند. این ماده چسباننده به افزایش مقاومت و دوام بتن منجر می شود. میکروسیلیس یا دوده سیلیسی یک پوزولان مصنوعی با فعالیت پوزولانی چشمگیر محسوب می شود و نباید با پودر یا آرد سیلیس میکرونیزه اشتباه گردد. پودر یا گرد سیلیس یک پوزولان نیست، حتی اگر به شدت ریز و میکرونیزه شود. بنابراین واکنشی اتفاق نمی افتد و نقش یک فیلر یا پر کننده یا ماده پودری خنثی را بازی می کند. البته میکروسیلیس یا دوده سیلیسی در بتن تازه می تواند نقش مواد پر کننده را ایفاء کند ولی نقش بعدی آن با پودر سیلیس به شدت متفاوت است. چنانچه دوده سیلیسی یا میکروسیلیس مصرفی در بتن بیش از ۱۵ و در مواردی بیش از ۲۰ درصد وزن سیمان باشد ممکن است همه آن در بتن هرگز وارد واکنش و تولید ماده چسباننده نشود و نقش فیلر یا پر کننده را باز می کند. نیاز به آب دوده سیلیسی یا میکروسیلیس در بتن برای ایجاد کارائی لازم چند برابر پودر سیلیس است و به دلیل ریزی و سطح ویژه فوق العاده آن و کلوخه یا گلوله شدن، نیاز به مقدار قابل توجهی فوق روان کننده یا فوق کاهنده آب دارد. دوده سیلیسی مصرفی در طرح اختلاط بتن های آزمایشی، از محصول کارخانه فروسیلیس ایران می باشد [۴،۵].



## ۲-۷- پودر لاستیک

گسترش جمعیت، توسعه روز افزون صنعت، تغییر الگوی مصرف و حفاظت از محیط زیست از یک طرف و محدودیت مواد و منابع انرژی از طرف دیگر موجب شده که استفاده بهینه از منابع شیمیایی و حفاظت از آنها در دستور کار جوامع مختلف به ویژه جوامع صنعتی قرار گیرد و بازیافت مواد به طرز محسوسی حائز اهمیت شود. با توجه به تولید سالانه بیش از ۲۰۰ هزار تن تایر در ایران و مطرح شدن موضوع از رده خارج کردن خودروهای فرسوده که خود نیز باعث افزایش تایرهای فرسوده می شود توجه به نحوی مدیریت ضایعات این مواد بسیار اهمیت پیدا می کند که مسلماً بهترین راه حل در این زمینه بازیافت لاستیک های فرسوده است. در کشور ما در حال حاضر بازیافت تایر به روکش کردن آنها و نیز تبدیل آنها به پودر و ریگلم رابر منحصر می شود [۶].

مصارف اصلی پودر لاستیک عبارتند از:

- تایر های سواری و کامیون
- قطعه های لاستیکی کوچک و بزرگ
- ضربه گیرها
- ساخت قالب موزائیک
- کف پوش ها
- تولید آسفات لاستیکی
- افزایش استحکام بتن

ما از پودر لاستیک شرکت تامین آوران لاستیک غدیر استفاده نموده ایم.



شکل ۴: پودر لاستیک مصرفی.



**۳- نسبت ساخت مصالح و روش ساخت نمونه ها**

در فرایند استفاده از بتن دو عامل نقش اساسی دارند که در رسیدن بتن به مقاومت نهایی آن که مهندسین طراح سازه طبق آیین نامه های موجود برای سازه های مختلف و با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی اعلام می دارند بسیار موثرند.

**(۱) ساخت بتن (۲) بتن ریزی**

در فرایند ساخت بتن طراح با استفاده از آیین نامه های موجود و در نظر گرفتن مقاومت نهایی لازم، درصد هر یک از مواد تشکیل دهنده بتن را اعلام و شرکت سازنده نیز بوسیله این دستورالعمل اقدام به ساخت بتن می کند. در مرحله دوم نیز مجری طرح با رعایت کامل ضوابط آیین نامه های اجرایی بتن ریزی اقدام به بتن ریزی و نگهداری از آن تا رسیدن به مقاومت نهایی آن می کند. عدم رعایت هر یک از این ضوابط موجب می شود تا بتن در هنگام بارگذاری و مواقع بحرانی دچار آسیب شده و خسارات جبران ناپذیری را موجب شود. لذا باید مبادی ذیربط با نظارت کامل نسبت به اجرای صحیح ضوابط موجود توسط طراحان، شرکت های سازنده بتن و پیمانکاران و بازرسی های منظم و آزمایشات مقاومت بتن در تمامی مراحل ساخت و اجرا از بروز خسارات ناشی از اجرای ناصحیح این ضوابط جلوگیری کنند.

**۳-۱- دستگاهها و روش ساخت**

در تهیه مخلوطها از روش دستی استفاده شده و نمونه ها در قالب فلزی مکعبی ۱۵ در ۱۵ سانتیمتر قالب گیری شد. برای ایجاد تراکم بتن از چکش استاندارد با وزن ۴/۵ کیلوگرم و ارتفاع سقوط ۴۵/۷ سانتیمتر استفاده شد. قالبها در ۳ لایه بتن ریزی شد که در هر لایه ۲۵ ضربه بر سطح بتن وارد شد.

جدول ۴: مقادیر اجزای مخلوط های بتن پلیمر مورد مطالعه با درصد های مختلف پودر لاستیک.

شماره طرح	W/C	آب (kg)	سیمان (kg)	پودر لاستیک درصد	مقدار پودر لاستیک (g)	سنگدانه (kg)	لاتکس (kg)	روان کننده (g)
۱	۰/۶	۱/۲۲۱	۲/۰۳۵	-	-	۶/۸۱۷	۰/۲۰	۴۰/۷
۲	۰/۶	۱/۲۲۱	۱/۹۱۲	٪۵	۱۰۲	۶/۸۱۷	۰/۱۹	۴۰/۷
۳	۰/۶	۱/۲۲۱	۱/۷۹۰	٪۱۰	۲۰۳	۶/۸۱۷	۰/۱۷	۴۰/۷
۴	۰/۶	۱/۲۲۱	۱/۷۲۹	٪۱۵	۳۰۵	۶/۸۱۷	۰/۱۶	۴۰/۷

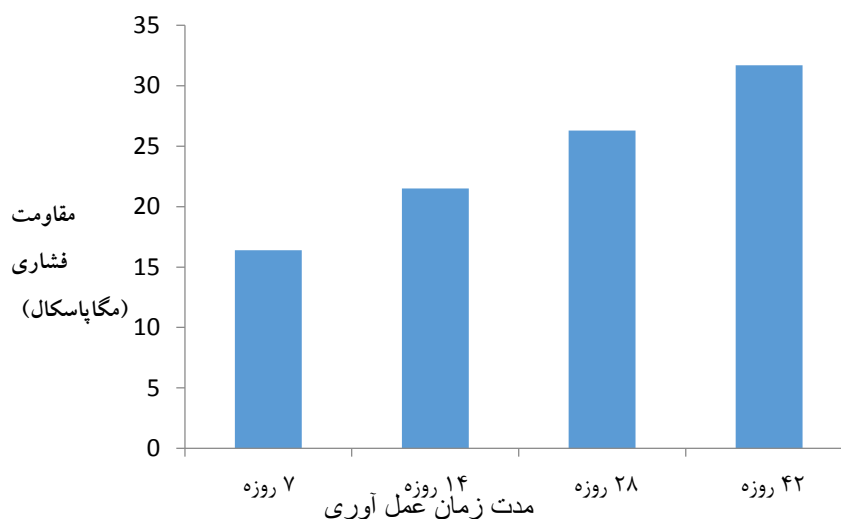


جدول ۵: مقادیر اجزای مخلوط های بتن پلیمر مورد مطالعه با درصد های مختلف میکروسیلیس.

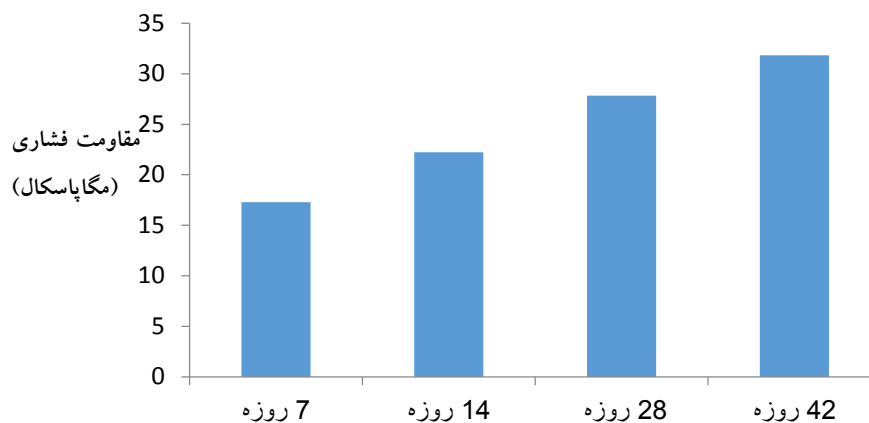
شماره طرح	W/C	آب (kg)	سیمان (kg)	درصد میکروسیلیس	مقدار میکروسیلیس (g)	سنگدانه (kg)	لاتکس (kg)	روان کننده (g)
۱	۰/۵	۱/۰۱۷	۲/۰۳۵	-	-	۶/۸۱۷	۰/۲۰	۴۰/۷
۲	۰/۵	۱/۰۱۷	۱/۹۱۲	٪۵	۱۰۲	۶/۸۱۷	۰/۱۹	۴۰/۷
۳	۰/۵	۱/۰۱۷	۱/۷۹۰	٪۱۰	۲۰۳	۶/۸۱۷	۰/۱۷	۴۰/۷
۴	۰/۵	۱/۰۱۷	۱/۷۲۹	٪۱۵	۳۰۵	۶/۸۱۷	۰/۱۶	۴۰/۷

### ۳-۲- تاثیر عمل آوری بتن دارای میکرو سیلیس

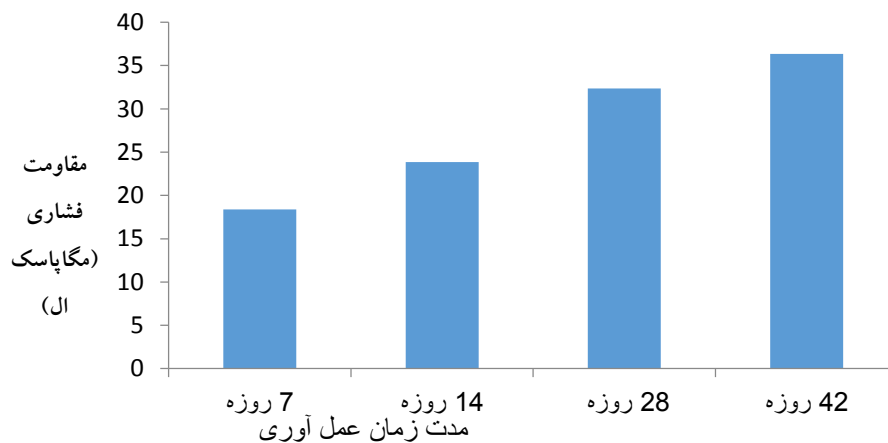
از آن جاکه میکروسیلیس بیش تر در بتن های با مقاومت زیاد توصیه می شود، در این موارد آزمایشات جایگزینی میکروسیلیس به تنهایی نیز در نمونه ها انجام گرفته است. روند کسب مقاومت این نمونه های بتن پلیمری متفاوت از روند کسب مقاومت بتن معمولی به دست آمده است. جایگزینی میکروسیلیس با افزایش سن نمونه ها باعث افزایش اختلاف مقاومت با بتن شاهد می شود و در سنین ۴۲ و ۲۸ روز این نمونه ها دارای مقاومتی بیش از نمونه شاهد است. در درازمدت بتن حاوی ۵٪ میکروسیلیس مقاومت کمتری نسبت به بتن شاهد دارد (۱۰٪-) اما بتن با ۱۰٪ و ۱۵٪ میکروسیلیس، مقاومت بیشتری از نمونه های شاهد دارد.



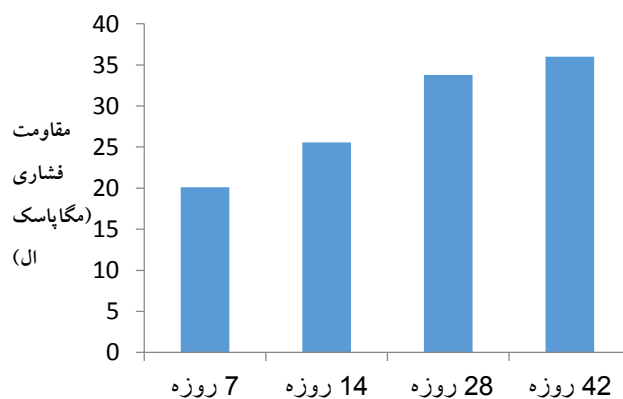
شکل ۵: نمونه شاهد در بتن برای مقایسه با درصد های مختلف میکروسیلیس



شکل ۶: تغییرات مقاومت بتن پلیمری با جایگزینی ۵٪ میکروسلیس.



شکل ۷: تغییرات مقاومت بتن پلیمری با جایگزینی ۱۰٪ میکروسلیس.



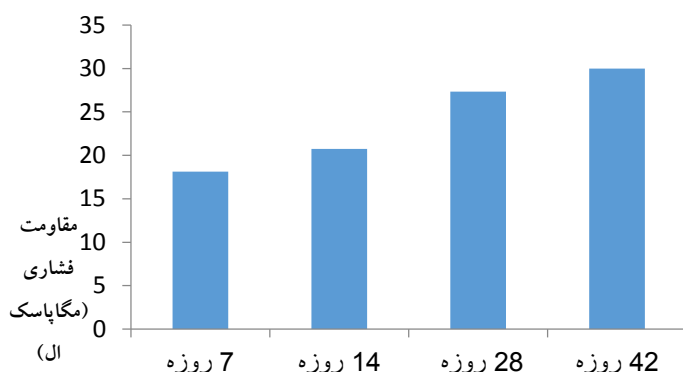
شکل ۸: تغییرات مقاومت بتن پلیمری با جایگزینی ۱۵٪ میکروسلیس.



طبق نتایج مقاومت نمونه شاهد، مشاهده میشود که نمونه شاهد در ۴۲ روزگی نسبت به ۷ روزگی ۴۰٪ افزایش مقاومت داشته است. طبق شکل نمودار (۶)، تغییرات کاهش مختصری (۷٪) در نمونه با ترکیب ۵٪ سیلیس نسبت به نمونه شاهد در سن ۷ روزگی مشاهده میشود.

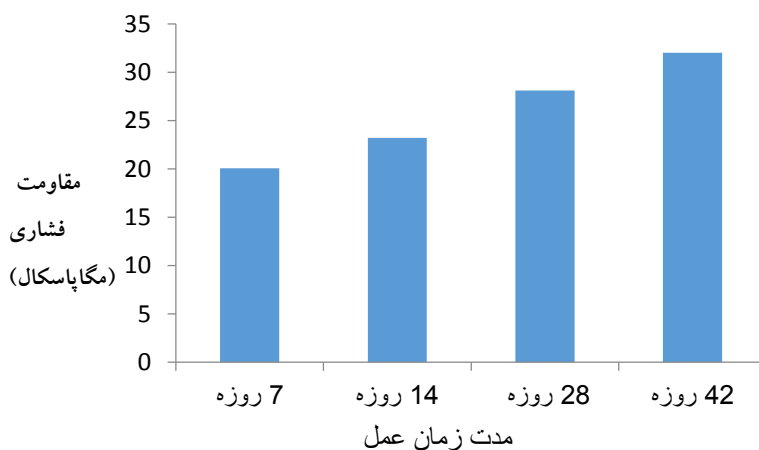
### ۳-۳- تاثیر عمل آوری بتن دارای پودر لاستیک

طبق آزمایشات مقاومت فشاری بتن با درصدهای مختلف پودرلاستیک، مشاهده گردید که پودرلاستیک سبب کاهش ناچیز مقاومت اولیه بتن در سن ۷ روزگی نسبت به نمونه شاهد گردید ولی در دراز مدت، مقاومت این بتن حتی بیشتر از نمونه شاهد می شود.

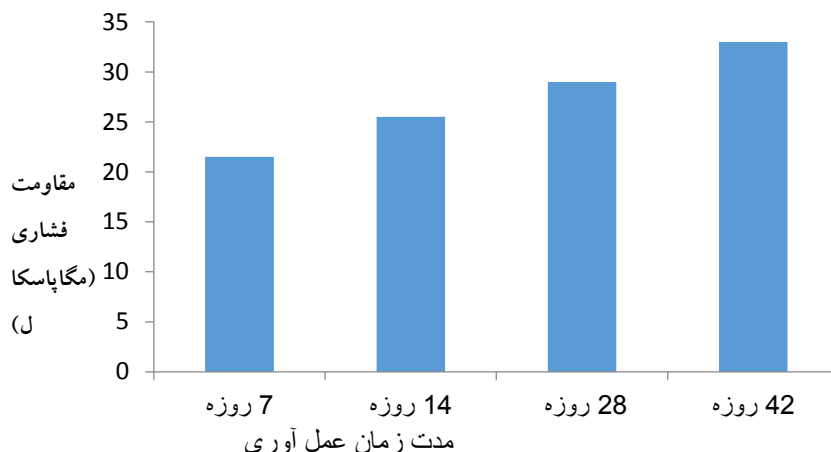


شکل ۹: نمونه شاهد در بتن با درصدهای مختلف پودرلاستیک.

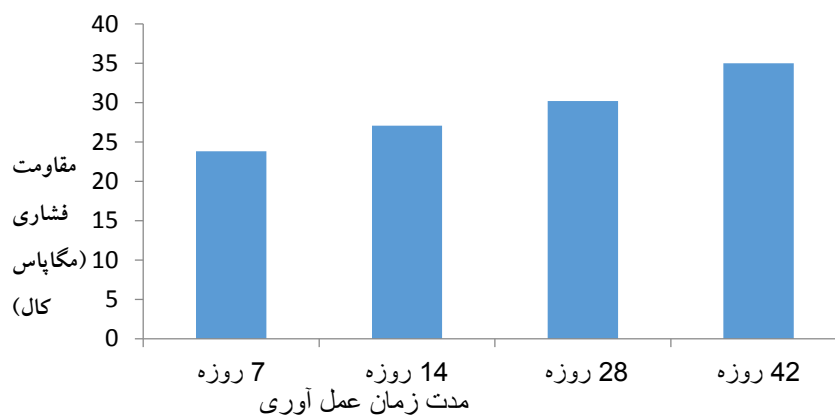
در نمونه شاهد بتن برای ارزیابی تاثیر پودرلاستیک مشاهده میشود که با افزایش سن نمونه میزان مقاومت فشاری افزایش بیش از ۲۰٪ داشته است.



شکل ۱۰: تغییرات مقاومت بتن با جایگزینی ۵٪ پودرلاستیک.



شکل ۱۱: تغییرات مقاومت بتن با جایگزینی ۱۰٪ پودر لاستیک.



شکل ۱۲: تغییرات مقاومت بتن با جایگزینی ۱۵٪ پودر لاستیک.

با توجه به نمودارهای بالا مشاهده که جایگزینی پودر لاستیک باعث کاهش مقاومت بتن در سن ۷ روزگی میشود ولی افزایش سن بتون ، باعث توسعه بیشتر واکنشها و مقاومت افزایش میابد.

#### ۴- جمع بندی و نتیجه گیری

- ۱- مشاهده گردید که جایگزینی پودر لاستیک باعث کاهش مقاومت بتن در سن ۷ روزگی میشود ولی افزایش سن بتن ، باعث توسعه بیشتر واکنشها و مقاومت افزایش میابد.
- ۲- در نمونه شاهد بتن برای ارزیابی تاثیر پودر لاستیک مشاهده میشود که با افزایش سن نمونه میزان مقاومت فشاری افزایش بیش از ۲۰٪ داشته است
- ۳- طبق آزمایشات مقاومت فشاری بتن با درصدهای مختلف پودر لاستیک ، مشاهده گردید که پودر لاستیک سبب کاهش ناچیز مقاومت اولیه بتن در سن ۷ روزگی نسبت به نمونه شاهد گردید ولی در دراز مدت ، مقاومت این بتن حتی بیشتر از نمونه شاهد می شود.



- ۴- طبق نتایج مقاومت نمونه شاهد، مشاهده میشود که نمونه شاهد در ۴۲ روزگی نسبت به ۷ روزگی ۴۰٪ افزایش مقاومت داشته است. تغییرات کاهش مختصری (۰.۷٪) در نمونه با ترکیب ۵٪ سیلیس نسبت به نمونه شاهد در سن ۷ روزگی مشاهده میشود.
- ۵- جایگزینی میکروسیلیس با افزایش سن نمونه ها باعث افزایش اختلاف مقاومت با بتن شاهد می شود و در سنین ۴۲ و ۲۸ روز این نمونه ها دارای مقاومتی بیش از نمونه شاهد است.
- ۶- در درازمدت بتن حاوی ۵٪ میکروسیلیس مقاومت کمتری نسبت به بتن شاهد دارد (۱۰٪-) اما بتن با ۱۰٪ و ۱۵٪ میکروسیلیس، مقاومت بیشتری از نمونه های شاهد دارد.

#### ۵- مراجع

- [1]- Sujjavanich S, Sida V, Suwanvitaya P., 2005, **Chloride permeability and corrosion risk of high-volume fly ash concrete with mid-range water reducer.**, ACI Materials Journal, 102, 3, 177-182.
- [۲]- باقری، ع.، ۱۳۸۵، تأثیر عمل آوری بر خواص بتن های غلتکی روسازی راه، با و بدون پوزولانها، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره سوم، ص ۲۱-۳۵.
- [۳]- مختارپوریانی، ب.، سی و سه مرده، م.، ۱۳۹۴، بررسی مقاومت برشی و فشاری درزه های اجرایی در دوروش طبقه بندی فاکتور بلوغ و زمان گیرش در سدهای بتن غلتکی، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.
- [۴]- امین الرعایا، ۱۳۹۰، بررسی خواص بتن خودتراکم حاوی پوزولان، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- [۵]- موسوی نژاد، ق.، لطف احمدی، ش.، ۱۳۹۳، خواص مکانیکی بتن غلتکی حاوی سیلیس، متاکائولن و الیاف پلی پروپیلن، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران.
- [۶]- ذوالقدری، س.، وحید قلی زاده، و.، مقصودی، ع.ا.، روحانی سروستانی، ا.، ۱۳۹۴، مزایا و چالش های استفاده از بتن غلتکی به عنوان روسازی راه (مطالعه موردی پروژه اجرای خیابان داخلی کارخانه پریفاب با استفاده از بتن غلتکی)، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس.