

پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن‌های حاوی میکروسیلیس و پلیمر استایرن بوتادین به‌وسیله مدل ریاضی*

(یادداشت پژوهشی)

عباس حق‌اللهی^(۱) امیر طریقت^(۲) محمد شفیعی زاده^(۳)

چکیده این مقاله، تأثیرات متقابل میکروسیلیس و پلیمر استایرن بوتادین (SBR) را بر مقاومت فشاری بتن بررسی می‌نماید. تحلیل نتایج مقاومت فشاری ۳۲ مخلوط بتنی با ۲ نسبت آب به مواد سیمانی (۰/۴۵ و ۰/۳۵) و چهار درصد جایگزینی میکروسیلیس (۰/۵، ۱/۰، ۷/۵، ۱۰/۵) و چهار درصد پلیمر استایرن بوتادین (۰/۵، ۱/۰، ۱۰/۵، ۱۵/۵) بررسی شده است. یک مدل ریاضی براساس قانون آبرامز، به‌منظور پیش‌بینی مقاومت بتن‌های حاوی SBR و میکروسیلیس پیشنهاد شده است. این مدل ساده، ممکن است به‌عنوان راهنمایی مناسب برای اختلاط مخلوط‌های بتنی حاوی میکروسیلیس و پلیمر استایرن بوتادین به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی بتن، میکروسیلیس، پلیمر استایرن بوتادین، مقاومت فشاری، مدل ریاضی.

Prediction Compressive Strength of Concretes Containing Silica Fume and Styrene-butadiene Rubber (SBR) with a Mathematical Model

A.Hagholahi A.Tarighat M. Shafieyzadeh

Abstract This paper deals with the interfacial effects of silica fume (sf) and styrene-butadiene polymer (SBR) on compressive strength of concrete. Analyzing the compressive strength results of 32 concrete mixes performed over two water-binder ratios (0.35, 0.45), four percentages replacement of silica fume (0%, 5%, 7.5%, 10%) and four percentages of SBR (0%, 5%, 10%, 15%) were investigated. A mathematical model base on Abrams' law has been proposed for evaluation strength of silica fume-SBR concretes. This simplified model might serve as useful guides for commixture concrete admixtures containing of silica fume and SBR. The accuracy of the proposed model is investigated.

Key Words Concrete, Silica Fume, SBR, Compressive Strength, Mathematical Modeling.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۱/۸/۲ و تاریخ پذیرش آن ۹۳/۱۱/۱ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول، استادیار، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

(۲) استادیار، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

(۳) دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

hagholahi@srttu.edu

مقدمه

مقاومت بتن تحت تأثیر عوامل زیادی از قبیل ترکیب و عیار سیمان، نسبت آب به سیمان، سنگدانه، سن و دمای عمل‌آوری قرار می‌گیرد. به‌علت زیاد بودن تعداد متغیرها هیچ رابطه‌ای (مدل ریاضی) وجود ندارد که بتواند تأثیرات تمام این فاکتورها را به‌صورت کمی، در نظر بگیرد [1].

قانون نسبت آب به سیمان آبرامز در سال ۱۹۱۸، هنوز به‌عنوان یک رابطه اصلی در تاریخ تکنولوژی بتن مطرح می‌باشد. ساده‌ترین عاملی که بیشترین تأثیر را در مقاومت بتن می‌گذارد، نسبت آب به سیمان می‌باشد. در ابتدا بتن با مخلوط نمودن سیمان، سنگدانه و آب ساخته می‌شد و استفاده از مواد مضاف ناشناخته بود. تنها ماده چسبنده، سیمان بود. امروزه، بتن‌های جدید حاوی مواد مضاف معدنی و لاتکس‌ها به دلایل زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد، مقاومت سایشی و دوام را افزایش و نفوذپذیری را کاهش می‌دهند، [2-5] لذا لازم است رابطه آبرامز اصلاح شود.

در گذشته تحقیقات زیادی در رابطه با مخلوط‌های بتن و بتن‌های حاوی مواد مضاف انجام شده و بعضاً روابط ریاضی بین مقاومت بتن و نسبت‌های ترکیب مواد تشکیل‌دهنده ارائه شده است، لیکن روابطی که شامل چند پارامتر باشند بسیار کم هستند که در این تحقیق تلاش بر انجام آن و ارائه رابطه براساس چند پارامتر می‌باشد.

هم‌چنین به‌منظور افزودن پلیمرها به مخلوط‌های سیمانی دو روش مختلف پیشنهاد شده است [6]:

(۱) ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان (w/c) به‌منظور حصول به هیدراتاسیون مشابه خمیر سیمان.

(۲) ثابت نگه داشتن تراکم مخلوط، با تنظیم نسبت آب به سیمان.

در این تحقیق، نسبت آب به مواد سیمانی، ثابت (۰/۴۵ و ۰/۳۵) در نظر گرفته شده است و تأثیرات امولسیون SBR (styrene-butadiene polymer) که برای

افزایش مقاومت سایشی بتن به‌ویژه در کف‌های بتنی به مخلوط بتن اضافه می‌شود) و هم‌چنین میکروسیلیس (silica fume) یک نوع پوزولان مصنوعی که به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در بتن استفاده می‌شود و موجب کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام بتن می‌شود) بر روانی و مقاومت فشاری بتن بررسی شده است و یک رابطه بین مقاومت فشاری با نسبت پلیمر، میکروسیلیس، آب به مواد سیمانی و زمان نگه‌داری در آب، پیشنهاد شده است.

برنامه و روند آزمایش

در این تحقیق، دو سری نمونه با نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ و ۰/۳۵ تدارک دیده شده‌اند. به‌منظور بررسی تأثیرات متقابل میکروسیلیس و SBR بر مقاومت فشاری، آزمایش‌ها براساس چهار سطح جایگزینی میکروسیلیس (۰/۱۰، ۰/۷/۵، ۰/۵، ۰/۰) و چهار سطح SBR (۰/۱۵، ۰/۱۰، ۰/۵، ۰/۰) انجام پذیرفته‌اند.

نمونه‌های مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر برای آزمایش مقاومت فشاری قالب‌ریزی شده‌اند. قبل از قالب‌ریزی، درشت‌دانه، ماسه و دوغاب میکروسیلیس مخلوط شدند. سپس سیمان، لاتکس SBR و بقیه آب به‌همراه فوق روان‌کننده درون میکسر ریخته شدند و با ارتعاش مکانیکی متراکم شدند. نمونه‌ها تحت سه روش عمل‌آوری زیر قرار داده شده‌اند.

(۱) ۷ روز عمل‌آوری در آب ۲۰ درجه و ۵۳ روز عمل‌آوری خشک در دمای ۲۰ درجه.

(۲) ۱۴ روز عمل‌آوری در آب ۲۰ درجه و ۴۶ روز عمل‌آوری خشک در دمای ۲۰ درجه.

(۳) ۲۸ روز عمل‌آوری در آب ۲۰ درجه و ۳۲ روز عمل‌آوری خشک در دمای ۲۰ درجه.

لاتکس SBR به‌عنوان یک محلول پخش‌کننده پلیمری، هیدراتاسیون و استحکام مجدد را تحت شرایط عمل‌آوری خشک، ترجیح می‌دهد [7]. هیدراتاسیون

ب - آ - اس - اف، برای تنظیم روانی مخلوط‌های بتن استفاده شده است. پایه و اساس این فوق‌روان‌کننده یک پلیمر کربوکسیلیک اتر با زنجیرهای جانبی طویل می‌باشد.

لاتکس پلیمری استفاده شده، پلیمر استایرن بوتادین (SBR) با نام تجاری Rheomix 141p از شرکت ب - آ - اس - اف می‌باشد که مشخصات آن در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲ مشخصات SBR

Density (gr/cm ³)	Mean particle Size (micron)	Butadiene Content	PH
1.01	0.17	40%	10.5

هم‌چنین براساس طرح اختلاط انجام شده نسبت‌های مواد و مصالح مصرفی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳ درصد اختلاط بتن

درصد ماده	درصد آب	نسبت آب به سیمان	مواد سیمانی در ۱ مترمکعب بتن (kg)	ترکیب
۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۴۰۰	۱
۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۴۵	۴۰۰	۲

نتایج آزمایش و بحث راجع به آن

تأثیرات میکروسیلیس و SBR بر روانی بتن

میکروسیلیس روانی بتن را کاهش می‌دهد اما SBR، روانی بتن را افزایش می‌دهد. افزودن ۱۵ درصد SBR به نمونه‌های با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵، بتن خود متراکم ایجاد می‌نماید. تأثیر SBR در افزایش روانی بتن، بیشتر از تأثیر کاهنده میکروسیلیس در روانی می‌باشد.

تأثیرات SBR بر مقاومت فشاری

در نسبت پلیمر به سیمان (۰/۵)، مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح‌شده برابر و حتی اندکی بالاتر از

سیمان و فیلم پلیمری در بتن‌های اصلاح‌شده با افزایش سن عمل‌آوری گسترش می‌یابد که منجر به افزایش مقاومت می‌شود. به عبارت دیگر، ترکیب مناسب عمل‌آوری مرطوب و عمل‌آوری خشک برای گسترش مقاومت بتن‌های اصلاح‌شده با پلیمر مناسب می‌باشد. یک ماتریس دوگانه برای هر دو فرآیند تشکیل می‌شود [4,8-10]. نمونه‌ها براساس استاندارد BS آزمایش شده‌اند.

مواد

مواد استفاده شده در این تحقیق عبارتند از:

سیمان پرتلند (تیپ یک) تولید کارخانه تهران و میکروسیلیس تولید کارخانه دلجان می‌باشد که مشخصات میکروسیلیس و سیمان در جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول ۱ مشخصات سیمان و میکروسیلیس

Composition (%)	Cement	Silica fume
Sio2	21.46	91.7
Al2o3	5.55	1.0
Fe2o3	3.46	1.0
Mgo	1.86	1.8
Cao	63.95	0.9
So3	1.42	0.87
K2o3	0.54	---
Na2o	0.26	---
C3S	50.96	---
C2S	23.1	---
C3A	8.85	---
C4AF	10.53	---

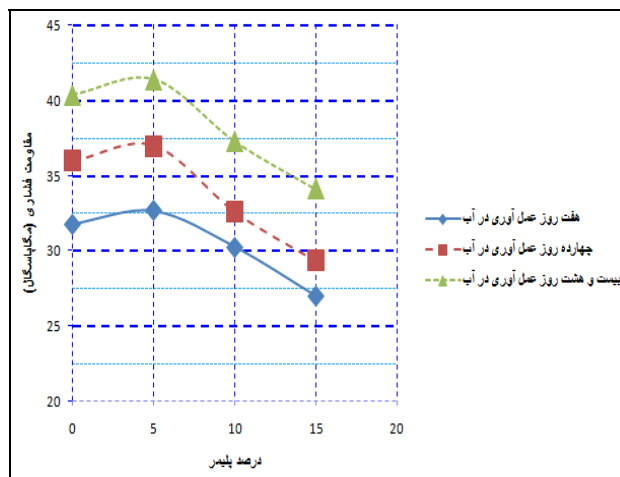
درشت‌دانه با حداکثر اندازه اسمی ۱۷ میلی‌متر و ریزدانه با مدول نرمی ۳/۰۱ در این آزمایش استفاده شده‌اند. وزن مخصوص و جذب آب درشت‌دانه و ریزدانه به ترتیب ۲/۵۵ و ۱/۱۶٪، ۲/۲۵ و ۲/۴٪ می‌باشند. از یک کاهنده آب با نام تجاری گلنیوم ۱۱۰P از شرکت

ناشی از ظرفیت پایین تر لاتکس نسبت به خمیر سیمان می‌باشد.

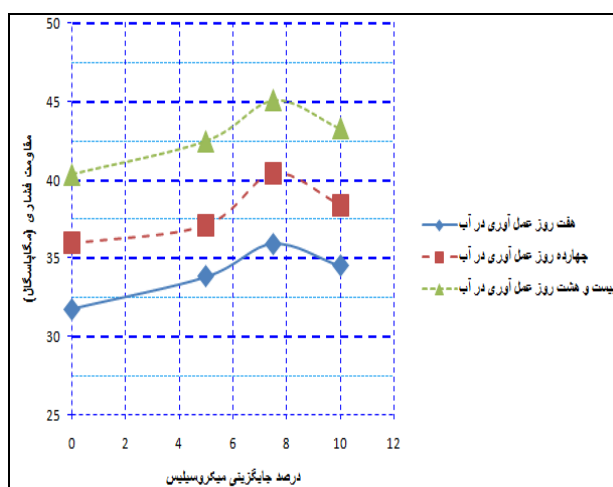
تأثیرات میکروسیلیس بر مقاومت

بهبود قابل ملاحظه‌ای در مقاومت بتن به‌علت فعالیت بالای پوزولانی میکروسیلیس و توانایی پرکنندگی آن مشاهده می‌شود [14-16]. مقاومت فشاری بتن میکروسیلیسی به‌طور پیوسته نسبت به بتن مرجع افزایش می‌یابد و در سطح ۷/۵ درصد جایگزینی میکروسیلیس به حداکثر مقدار خود می‌رسد (شکل ۲). تأثیر میکروسیلیس در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵، کمتر از نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ می‌باشد.

نمونه‌های فاقد پلیمر می‌باشد (شکل ۱). تأثیر پرکنندگی پلیمر، باعث افزایش اندک مقاومت فشاری می‌شود. مقاومت فشاری عمدتاً با استفاده از نیروهای پیوستگی ایجاد شده توسط هیدراتاسیون سیمان ایجاد می‌شود [11-13]. به‌نظر می‌رسد که در نسبت پلیمر به سیمان ۰/۰۵، پیوستگی فیلم پلیمری فقط از طریق پل‌های کوچک روی تعداد محدودی از حفرات انجام می‌پذیرد. اگرچه ساختار بین فیلم پلیمری و سیمان هیدراته شده در نسبت پلیمر به سیمان (۰/۱۰)، گسترش می‌یابد ولی مقاومت فشاری بتن در مقایسه با بتن فاقد پلیمر کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، افزودن لاتکس SBR به بتن، یک کاهش در مقاومت فشاری ایجاد نموده است که



شکل ۱ تأثیر نسبت پلیمر به سیمان بر مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و حاوی صفر درصد میکروسیلیس



شکل ۲ تأثیر نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی بر مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و حاوی صفر درصد پلیمر

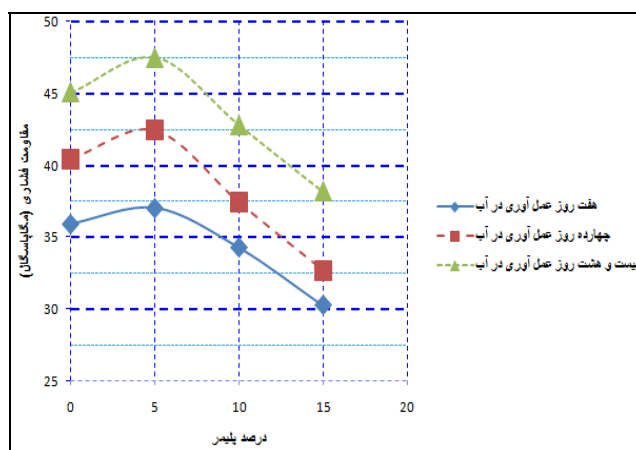
تأثیرات متقابل میکروسیلیس و SBR در مقاومت فشاری بتن

مقاومت بتن تحت تأثیر نسبت پلیمر و میکروسیلیس به مواد سیمانی قرار می‌گیرد. هنگامی که نسبت پلیمر به مواد سیمانی ثابت و معین می‌باشد، میکروسیلیس مقاومت بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درصدی از میکروسیلیس که مقاومت فشاری را بهینه می‌نماید ۷/۵ درصد ثابت می‌ماند (شکل ۳).

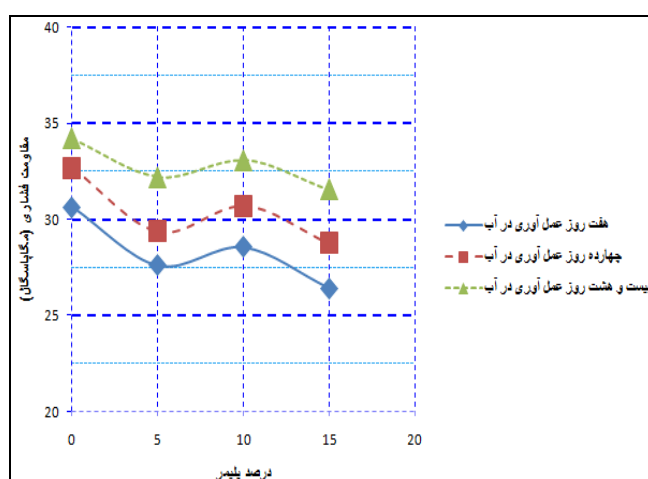
در نمونه‌های با ۵٪ پلیمر و ۷/۵٪ یا ۱۰٪ میکروسیلیس (آب به مواد سیمانی ۰/۴۵)، کاهش در

مقاومت فشاری مشاهده می‌شود (شکل ۴). هوزایی فوق‌روان‌کننده، موجب کاهش در مقاومت فشاری شده است. (در ساخت این نمونه‌ها، نسبت فوق‌روان‌کننده ثابت حفظ شده بود.)

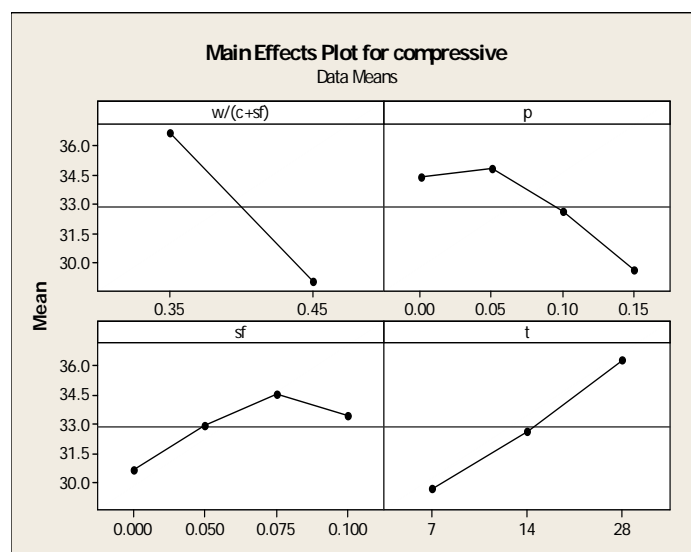
در ۱۵٪ پلیمر، با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۴۵ به ۰/۳۵، مقاومت فشاری با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی ناشی از تأثیر روان‌کنندگی SBR جبران شده است. هر دو پدیده باهم، مقاومت فشاری را ثابت نگه می‌دارد.



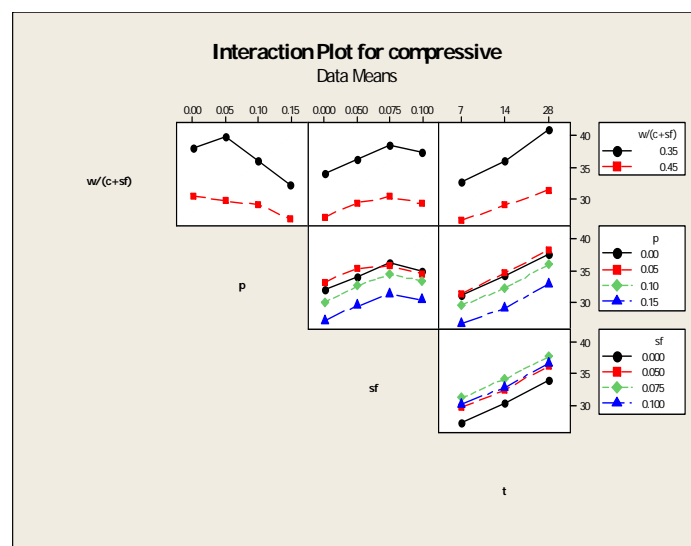
شکل ۳ تأثیر نسبت پلیمر به مواد سیمانی بر مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و حاوی هفت و نیم درصد میکروسیلیس



شکل ۴ تأثیر نسبت پلیمر به مواد سیمانی بر مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ و حاوی هفت و نیم درصد میکروسیلیس



شکل ۵ نمودار تأثیرات اصلی برای مقاومت فشاری



شکل ۶ تأثیرات متقابل فاکتورها در مقاومت فشاری

به‌طور متوسط، ۷/۵ درصد جایگزینی میکروسیلیس مقاومت فشاری را در حدود ۱۳٪ افزایش می‌دهد. هم‌چنین افزودن ۱۵٪ پلیمر SBR، مقاومت فشاری را در حدود ۱۴٪ کاهش می‌دهد.

یک نمودار ساده از تأثیرات متقابل فاکتورها در مقاومت فشاری در شکل شماره (۶) نشان داده شده است. خطوط موازی در یک نمودار تأثیر متقابل نشان

ارزیابی تأثیر پارامترها و تأثیرات متقابل آنها در مقاومت فشاری

تأثیرات اصلی هر فاکتور در شکل شماره (۵) نشان داده شده است. این نمودار، میانگین مقاومت فشاری را در سطوح مختلف هر فاکتور نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که کاهش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۴۵ به ۰/۳۵، مقاومت فشاری را در حدود ۲۶٪ افزایش می‌دهد.

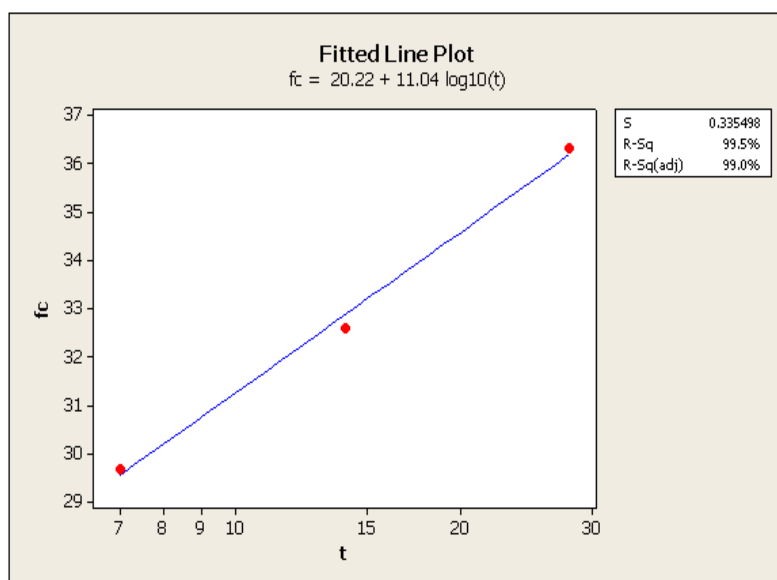
از محققان معادلات توانی برای تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری پیشنهاد نموده‌اند [19,20] اما ارتباط بین مقاومت فشاری با تمام فاکتورها به خوبی شناخته شده نمی‌باشد. در چنین وضعیتی که هیچ رابطه اصلی شناخته شده‌ای بین مقاومت فشاری با تمام متغیرها وجود ندارد. نمودارهای پراکنده تهیه شده‌اند و میانگین‌های مقادیر در نمودارها نشان داده می‌شوند.

نمودارهای پراکنده برای تمام نمونه‌ها، یک رابطه غیرخطی بین مقاومت فشاری با نسبت‌های میکروسیلیس و پلیمر به مواد سیمانی را نشان می‌دهند. با توجه به نمودارهای پراکنده، می‌توان مشاهده نمود که یک سهمی درجه دو ممکن است برای نشان دادن تأثیر میکروسیلیس یا SBR بر مقاومت فشاری بتن مناسب باشد. ارتباط مقاومت فشاری با هر متغیر در اشکال (۷-۹) نشان داده شده‌اند. ارتباط مقاومت فشاری با هر متغیر براساس رگرسیون تعیین می‌شود.

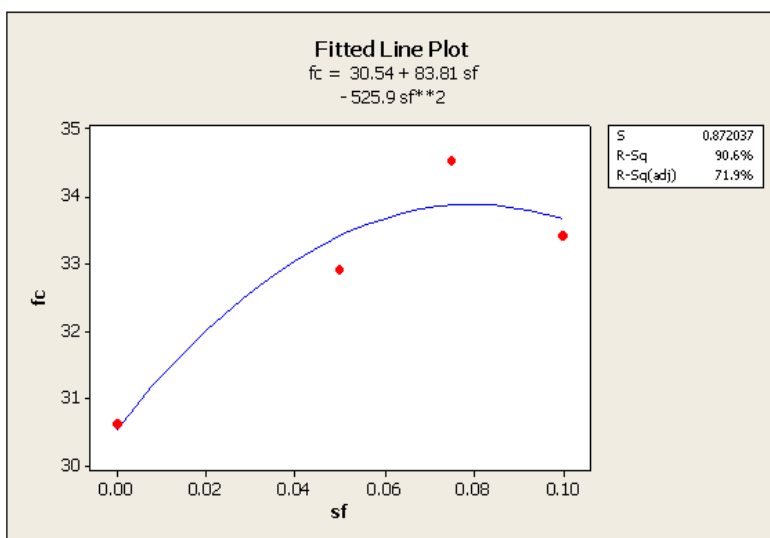
می‌دهد که تأثیر متقابل بین فاکتورها وجود ندارد. انحراف بیشتر خطوط از وضعیت موازی، درجه بالاتری از تأثیر متقابل را نشان می‌دهد. در چنین وضعیتی، پاسخ در یک سطح فاکتور بستگی به سطوح دیگر فاکتورها دارد. برای مثال، بین SBR و میکروسیلیس در سطح ۱۰٪ SBR با سایر سطوح یک تأثیر متقابل مشاهده شده است. (یک کاهش در مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۵٪ SBR و ۷/۵٪ میکروسیلیس اتفاق افتاده است).

مدل ریاضی

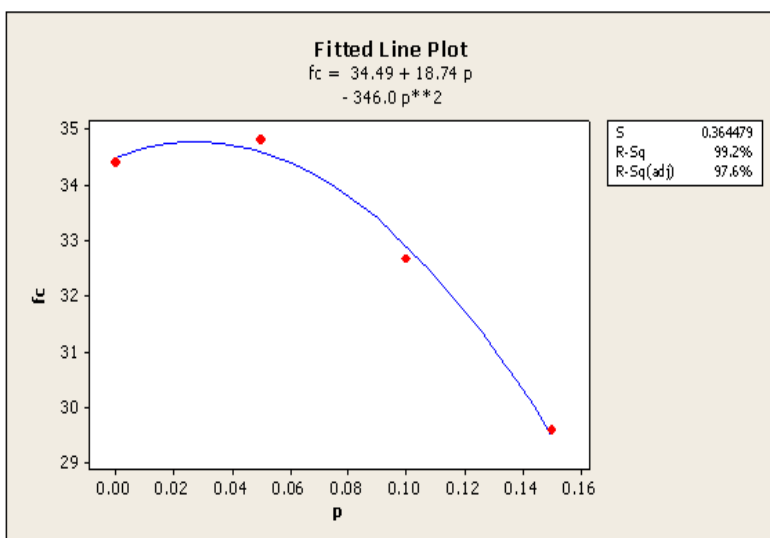
فاکتورهای اصلی که مقاومت فشاری بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، نسبت‌های آب، پلیمر، میکروسیلیس به مواد سیمانی و زمان نگهداری نمونه در آب می‌باشند. براساس رابطه کلاسیک آبرامز، رابطه معکوسی بین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان وجود دارد [17,18] تعداد زیادی از محققان رابطه مقاومت فشاری و زمان را با یک رابطه لگاریتمی نشان داده‌اند. تعدادی



شکل ۷ ارتباط بین مقاومت فشاری و زمان نگهداری نمونه در آب



شکل ۸ ارتباط بین مقاومت فشاری با نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی



شکل ۹ ارتباط بین مقاومت فشاری با نسبت پلیمر به مواد سیمانی

که f_c ، مقاومت فشاری برحسب مگاپاسگال، w/b نسبت آب به مواد سیمانی، t زمان نگهداری نمونه در آب برحسب روز، s نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی، p نسبت پلیمر SBR به مواد سیمانی می‌باشد. a_1, a_2, a_3, a_4 و a_5 ضرایب ثابت می‌باشند. معادله (۱) را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\log(F_c) = \log(a_1) - \log(a_2) \times \frac{w}{b} +$$

ارتباط بین مقاومت فشاری با متغیرهای در نظر گرفته شده را شاید بتوان به صورت زیر نمایش داد.

$$F_c = \frac{a_1}{\left(\frac{w}{b}\right)^{a_2}} \times (11.04 \times \log(t) + 20.22)^{a_3}$$

$$\times (-525.9S^2 + 83.81S + 30.54)^{a_4}$$

$$\times (-346P^2 + 18.72P + 34.49)^{a_5}$$

(۱)

$$F_c = \frac{49.2}{10^{\left(\frac{w}{b}\right)}} \times (0.546 \times \log(t) + 1) \times (-17.22S^2 + 2.74S + 1)(-10P^2 + 0.54P + 1) \quad (۳)$$

از معادله بالا می‌توان مقاومت فشاری بتن حاوی میکروسیلیس و SBR را تعیین نمود. به منظور ارزیابی دقت معادله بالا، دیاگرام باقی‌مانده‌ها (اختلاف بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر برآورد شده) برای مقاومت فشاری ترسیم شده‌اند. دیاگرام باقی‌مانده‌ها در شکل (۱۰) نشان داده شده‌است. دیاگرام باقی‌مانده‌ها نشان می‌دهد که حداکثر درصد خطا برای مقاومت فشاری ۱۰٪ می‌باشد.

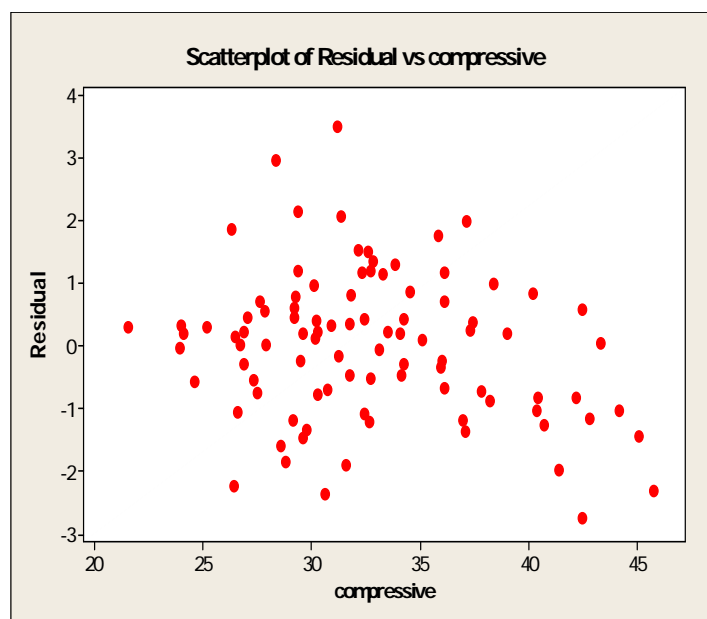
هیستوگرام باقی‌مانده‌ها در شکل (۱۱) نشان داده شده‌است. اگرچه توزیع باقی‌مانده‌ها به‌طور کامل از توزیع نرمال پیروی نمی‌نماید اما مقدار ماکزیمم و میانگین داده‌ها نزدیک صفر می‌باشند.

$$+ a_3 \times \log(11.04 \times \log(t) + 20.22) + a_4 \times \log(-525.9S^2 + 83.81S + 30.54) + a_5 \times \log(-346P^2 + 18.72P + 34.49) \quad (۲)$$

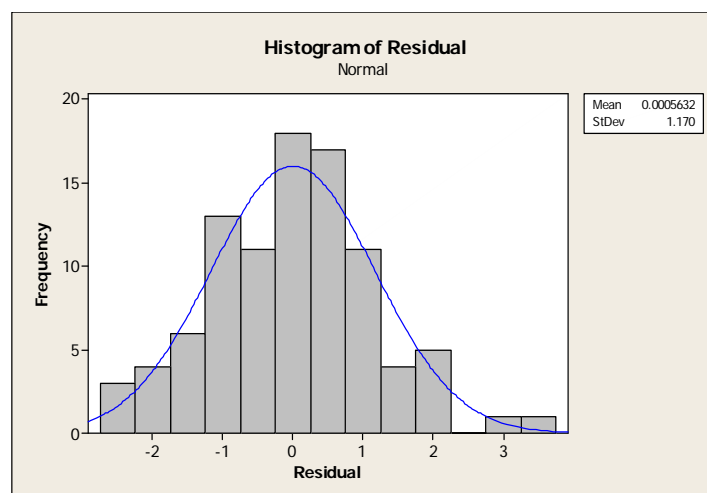
که a_1 ، a_2 ، a_3 ، a_4 و a_5 را می‌توان با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی تعیین نمود. مقادیر این ضرایب در جدول زیر نشان داده شده‌اند. مقدار ضریب همبستگی چندگانه برابر ۰/۹۵ حاصل شده است.

a_5	a_4	a_3	a_2	a_1
0.977	1.005	0.98	0.999	2.637

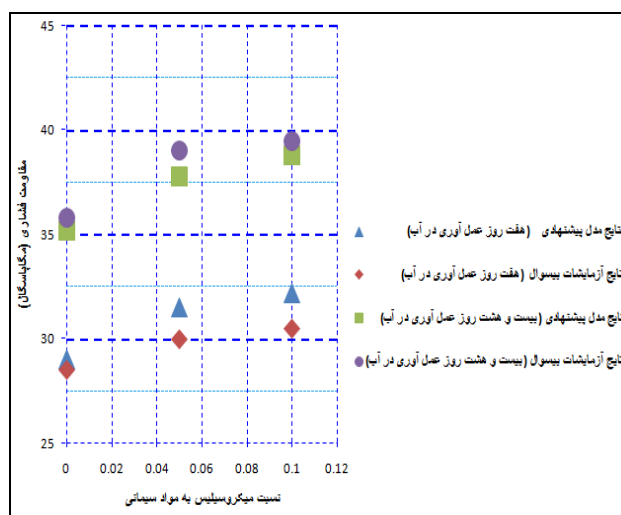
با جای‌گزینی یک به‌جای ضرایبی که نزدیک یک هستند و ساده‌سازی معادله بالا، معادله زیر حاصل می‌شود.



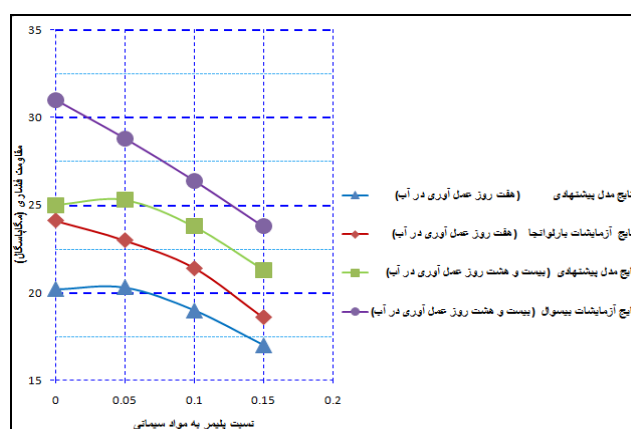
شکل ۱۰ نمودار باقی‌مانده‌ها برای مقاومت فشاری



شکل ۱۱ هیستوگرام باقی‌مانده‌ها برای مقاومت فشاری



شکل ۱۲ مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری بیسوال (حاوی میکروسیلیس) و مدل پیشنهادی [21]



شکل ۱۳ مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری بارلوانجا (حاوی SBR) با مدل پیشنهادی [22]

می‌شود. هر دو پدیده باهم موجب می‌شود که مقاومت فشاری تقریباً ثابت باقی بماند. (۵) درصدی از میکروسیلیس که مقاومت فشاری را بهینه می‌کند، با افزودن پلیمر تغییر نمی‌نماید. (۶) از قانون آبرامز با قدری اصلاحات، می‌توان جهت تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی میکروسیلیس و پلیمر استفاده نمود و براساس نمودار اثرات اصلی رابطه زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$F_c = \frac{49.2}{10^{\left(\frac{w}{b}\right)}} \times$$

$$(0.546 \times \log(t) + 1)(-17.22S^2 + 2.74S + 1)(-10P^2 + 0.54P + 1)$$

مدل پیشنهادی امکان پیش‌بینی مقاومت فشاری براساس زمان نگهداری در آب (t) و نسبت‌های آب، میکروسیلیس و SBR به مواد سیمانی را فراهم می‌نماید که به‌طور خلاصه با $\left(\frac{w}{b}\right)$ ، (s) و (p) نمایش داده شده‌اند.

۷- مدل ریاضی پیشنهادی براساس تعداد آزمایش‌های محدود و در سطح تحقیقاتی ارائه شده است و برای ارائه روابط کاربردی و فراگیر نیاز به انجام آزمایش‌های گسترده‌تر می‌باشد.

مقایسه مدل پیشنهادی با نتایج دیگر محققان

مقایسه بین نتایج آزمایش‌های دیگر محققان که کار آنها مشابه با این تحقیق است، با مدل پیشنهادی انجام شد و دو مورد از آنها در نمودارهای شکل‌های (۱۲) و (۱۳) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تطابق نسبتاً خوبی بین نتایج مدل پیشنهادی و مطالعات این دو محقق وجود دارد.

نتیجه‌گیری

- تأثیر SBR در افزایش روانی بتن بیشتر از تأثیر میکروسیلیس در کاهش روانی بتن می‌باشد.
- در نسبت آب به مواد سیمانی ثابت و روش عمل‌آوری ترکیبی، مقاومت فشاری بتن در ۰.۵٪ پلیمر اندکی افزایش می‌یابد اما زمانی که نسبت پلیمر به مواد سیمانی افزایش می‌یابد، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد.
- جایگزینی میکروسیلیس تا ۷/۵ درصد، منجر به افزایش مقاومت فشاری می‌شود.
- کاهش مقاومت فشاری، با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی ناشی از تأثیر روان‌کنندگی پلیمر جبران

مراجع

- J. Zelic & D. Rusic & R. Krstulovic., "A mathematical model for prediction of compressive strength in cement-silica fume blends", *Cement and Concrete Research*, No. 34, pp. 2319-2328, (2004).
- V. Bhikshma & K. Nitturkar & Y. Venkatesham., "Investigations on mechanical properties of high strength silica fume concrete", *Asian journal of civil engineering building and housing*, No. 10(3), pp. 335-346, (2009).
- O. Rozenbaum & R.J.-M. Pellenq & H. Van Damme., "An experimental and mesoscopic lattice simulation study of styrene-butadiene latex-cement composites properties", *Materials and structures*, pp. 467-478, (2005).
- Ru Wang & Pei-Ming Wang & Xin-Gui Li., "physical and mechanical properties of styrene-butadiene rubber emulsion modified cement mortars", *Cement and Concrete Research* 35, pp. 900-906, (2005).
- S. Bhanjaa & B. Sengupta., "Modified water-cement ratio law for silica fume concretes", *Cement and*

- Concrete Research 33, p. 447- 450, (2003).
6. G. Barluenga & F. Hernandez-Olivares., "SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior", *Cement and Concrete Research* 34, pp. 527-535, (2004).
 7. Bing Chen & Juanyu Liu., "Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads", *Construction and Building Materials* 21, pp. 7-11, (2007).
 8. A. Beeldens & D.Van Gemert, H.Schorn, Y.Ohama & L.Czarnecki., "From microstructure to macrostructure: an integrated model of structure formation in polymer-modified concrete", *Materials and Structures* 38, pp. 601-607, (2005).
 9. LIU jun & XU Chang-wei, ZHU Xiao-yan & WANG Ling-ling., "Modification of high performances of polymer cement concrete", *Journal of wuhan university of Technology-Mater*, No. 18(1), pp. 61-68, (2003).
 10. João Adriano Rossignol., "Interfacial interactions in concretes with silica fume and SBR latex", *Construction and Building Materials* 23, pp. 817-821, (2009).
 11. Eui-Hwan Hwang, Young Soo Ko., "Comparison of mechanical and physical properties of SBR-polymer modified mortars using recycled waste materials".
 12. Ke-Ru Wu, Dong Zhang, Jun-Mei Song, "Properties of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method", *Cement and Concrete Research* 32, pp. 425-429, (2002).
 13. Eui-Hwan Hwang & Young Soo Ko & Jong-Ki Jeon., "Effect of polymer cement modifiers on mechanical and physical properties of polymer-modified mortar using recycled artificial marble waste fine aggregate", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 14, pp. 265-271, (2008).
 14. S. Bhanja & B. Sengupta., "Influence of silica fume on the tensile strength of concrete", *Cement and Concrete Research* 35, pp. 743-747, (2005).
 15. H. Katkhuda & B. Hanayneh & N. Shatarat., "Influence of silica fume on high strength of light weight concrete", *World Academy of Science, Engineering and Technology* 58, (2009).
 16. K.C. Biswal & Suresh Chandra Sadangi., "Effect of superplasticizer and Silica Fume on Properties of Concrete", *Proc. of Int. Conf. on Advances in Civil Engineering*, (2010).
 17. Sandor Popovics., "Strength and related properties of concrete a quantitative approach", John Wiley and sons, (1998).
 18. Mehta & p.kumar., "Concrete: Micro structure", properties and materials, (2006).
 19. S. Bhanjaa & B. Sengupta., "Investigations on the compressive strength of silica fume concrete using statistical methods", *Cement and Concrete Research* 32, pp. 1391-1394, (2002).
 20. Mohammad Iqbal khan., "Analytical model for strength prediction of HPC consisting of cementitious", *Architecture civil engineering environmental*, (2009).
 21. ACI Committee 548., "State of the Art Report on polymer modified concrete", ACI 548.3R-95

- American concrete Institute, Detroit, (1995).
22. LIU Jun XU Chang & wei ZHU Xiao, yan WANG Ling & ling., "Modification of High Performances of Polymer Cement Concrete". *Journal of wuhan university of Technology – Mater*, No. 18(1), (2003).

