

مطالعه آزمایشگاهی تعیین رابطه تجربی مقاومت فشاری بر حسب سن بتن‌های حاوی سیمان نوع ۲ و خرده لاستیک

سید میثم حسن ونهری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

مجید قلهکی*

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

چکیده

رابطه‌ی مقاومت فشاری بتن سن t روزه بر حسب ۲۸ روزه در ACI 209 فقط برای سیمان‌های نوع ۱ و ۳ محاسبه شده است و برای سیمان نوع ۲ در ACI و دیگر تحقیقات موجود نیست. چنین رابطه‌ای برای بتن‌های حاوی خرده لاستیک نیز تا کنون توسط محققین مطرح نشده است. در این مقاله به‌طور آزمایشگاهی به بررسی رابطه‌ی مقاومت فشاری سن t روزه بتن بر حسب سن ۲۸ روزه آن برای بتن‌های حاوی سیمان نوع ۲ و بتن‌های حاوی خرده لاستیک پرداخته شده است. به این منظور از سه عیار سیمان ۳۵۰، ۴۰۰ و 450 kg/m^3 ، نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶۵ و خرده لاستیک با نسبت‌های ۵ تا ۲۰ درصد حجمی جایگزین ماسه گردیده است. در رابطه به دست آمده مقادیر α و β برای بتن‌های حاوی سیمان نوع ۲ به ترتیب ۳/۱۳ و ۰/۹۱ و در بتن‌های حاوی خرده لاستیک به ترتیب ۳/۳۲ و ۰/۹ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری، سن بتن، سیمان نوع ۲، خرده لاستیک، عیار سیمان، نسبت آب به سیمان.

* نویسنده مسئول: mgholhaki@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

جایگزینی خرده لاستیک اتفاق می افتد ولی مقاومت فشاری بعد از ۲۵ درصد به شدت کاهش می یابد و بتن حالت غیر قابل پیش بینی در مقادیر بالاتر از خود نشان می دهد. وانگ و همکاران [۲۶] در سال ۲۰۱۳ از سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۷ و ۱۰ درصد مواد افزودنی به همراه جایگزینی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی خرده لاستیک با ماسه استفاده کردند. نتیجه تحقیق تا ۵ درصد جایگزینی خرده لاستیک مقاومت فشاری را افزایش می دهد و در کل خرده لاستیک باعث افزایش عملکرد دوام بتن می گردد. توماس و گوپتا [۲۷] در سال ۲۰۱۵ از سه ترکیب آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ به همراه عیار سیمان ۳۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب و یک درصد مواد افزودنی و خرده لاستیک به میزان ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰ درصد جایگزین ماسه، استفاده نمودند. خواص مکانیکی بتن با افزایش مقدار لاستیک، کاهش می یابد ولی مقاومت در برابر آب و کرناسیون کمی افزایش می یابد ولی تأثیر محیط زیستی استفاده از خرده لاستیک را نیز باید مدنظر قرار داد.

جینگ و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۵ در طرحی با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ و عیار سیمان مصرفی ۴۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب با مقدار ذرات لاستیک ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد به جای ماسه به بررسی تأثیر بتن بر خواص مکانیکی بتن پرداختند. افزایش خرده لاستیک باعث کاهش اسلامپ و مدول الاستیسیته بتن می گردد و در کل باعث کاهش خواص مکانیکی بتن خواهد شد. توماس و گوپتا [۳۹] در سال ۲۰۱۶ نیز به بررسی مقاومت بتن های ساخته شده با صفر تا ۲۰ درصد لاستیک جایگزین ریزدانه پرداختند و مشاهده کردند که لاستیک سبب کاهش مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت در برابر سولفات ها می شود و نتیجه گرفتند که برای مقاومت های لازم تا حداکثر ۶۰ مگاپاسکال می توان از صفر تا ۱۲/۵ درصد لاستیک استفاده کرد. اما تعدادی از محققان با استفاده از درصد کم لاستیک در بتن حتی به افزایش جزئی مقاومت فشاری نیز اشاره کرده اند [۲۶ و ۲۸ و ۴۳ و ۴۸-۴۹]. همچنین کاهش مقاومت خمشی و کششی با استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن در تحقیقات بعضی از محققین به چشم می خورد [۱ و ۱۲ و ۲۸ و ۴۲]. با وجود این، محققین به کاهش جذب آب بتن حاوی خرده لاستیک [۱۲ و ۲۶ و ۴۳] و تأثیر لاستیک ضایعاتی بر دوام بتن [۴ و ۹ و ۲۰ و ۲۶ و ۲۸ و

رابطه مقاومت فشاری بتن سن t روزه برحسب ۲۸ روزه در ACI209 فقط برای سیمان های نوع ۱ و ۳ مطرح شده است. این رابطه برای سیمان نوع ۲ در ACI و ادبیات تحقیق موجود نیست، از طرفی سیمان نوع ۲ به عنوان سیمان متوسط، یکی از سیمان های پر کاربرد بوده و در محیط های سولفاته و کلرایدی نیز کاربرد دارد. چنین رابطه ای برای بتن های حاوی خرده لاستیک نیز تا کنون توسط محققین ارائه نشده است. بنابراین در این تحقیق به طور آزمایشگاهی به بررسی رابطه مقاومت فشاری t روزه بتن برحسب سن ۲۸ روزه برای بتن های ساخته شده با سیمان نوع ۲ و همچنین بتن حاوی خرده لاستیک پرداخته شده است.

انباشته های زیاد لاستیک های ضایعاتی و تجزیه ناپذیری آن ها باعث شده محققان به استفاده از این مواد در بتن بپردازند. اولین استفاده از خرده لاستیک های ضایعاتی در بتن به اوایل دهه ۱۹۹۰ برمی گردد که توسط نجم الدین و همکاران [۱] از خرده لاستیک بازیافتی در بتن به جای ریزدانه (با ابعاد ۱ میلیمتر) و درشت دانه (با ابعاد ۶ تا ۳۸ میلیمتر) استفاده کردند. طبق نتایج آن ها استفاده از خرده لاستیک سبب کاهش کارایی و مقاومت کششی و فشاری شد و هرچه اندازه ذرات بیشتر باشد میزان این کاهش بیشتر می شود. لاستیک های ضایعاتی به اشکال مختلف پودر لاستیک [۲-۵]، ذرات لاستیک ریزدانه [۶-۱۲]، ذرات لاستیک درشت دانه و لاستیک های الیافی شکل [۱۳-۲۵] توسط محققین در بتن استفاده گردیده است. اکثر محققین با به کار بردن لاستیک های ضایعاتی در بتن به کاهش مقاومت فشاری بتن اشاره نموده اند [۱ و ۱۲-۱۳ و ۱۹ و ۲۱ و ۲۸ و ۴۰-۴۱ و ۴۳]. باتاینه و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۰۸ با سیمان تیپ I و جایگزین کردن ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصدی حجم ماسه با مخلوط لاستیک های اتومبیل سواری و کامیون با نسبت آب به سیمان ۰/۵۶ نشان دادند که با افزایش مقدار لاستیک اسلامپ و وزن مخصوص بتن کاهش می یابد. در نتیجه این تحقیق به این نتیجه رسیدند که بتن های تا ۲۰ درصد ذرات لاستیک به عنوان المان های سازه ای سبک و بین ۲۰ تا ۶۰ درصد نیز بتن به مقاومت متوسط می تواند کارایی داشته باشد. عیسی و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۳ از خرده لاستیک به نسبت ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه مصرفی استفاده کردند. مقاومت فشاری خوب، کاهش چگالی و وزن تا ۸ درصد، افزایش شکل پذیری تا ۲۵ درصد

۲- روش کار آزمایشگاهی

۳۱ و ۳۹] اشاره نموده‌اند.

۱-۲- خواص مصالح

سیمان مصرف شده در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ می‌باشد که در جدول ۱ آنالیز شیمیایی آن ارائه شده است.

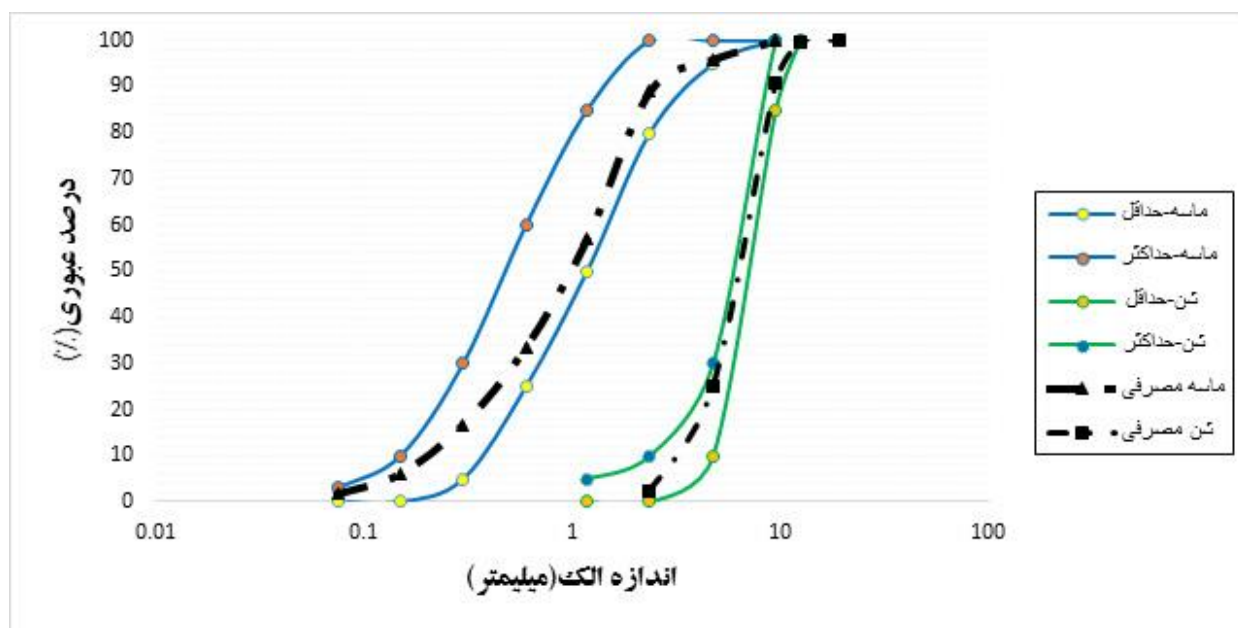
جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان نوع ۲ مصرفی

L.O.I	SO	MgO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO
۲/۴	۲/۱	۱/۱۵	۶۳/۳۳	۳/۳	۴/۸۶	۲۱/۹

آب مصرف شده از نوع آشامیدنی بوده و خرده لاستیک استفاده شده از تایرهای لاستیکی بازیافتی به اندازه ۰ تا ۵ میلیمتر با چگالی 1.1 g/cm^3 می‌باشد. سنگ‌دانه‌های مصرفی شامل درشت دانه شکسته و ریزدانه شسته شده بوده که در ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها به همراه محدوده مجاز ASTM C33 [۵۰] در شکل ۱ نشان داده شده است.

محمدی و همکاران [۴۴] در بازه ۱۰ تا ۷۰ درصد جایگزینی خرده لاستیک با ریزدانه‌ها در بتن، رابطه مقاومت فشاری بتن برحسب سن بتن را ارائه نموده‌اند. محققین دیگر نیز در زمینه مقاومت فشاری برحسب سن بتن‌های حاوی خرده لاستیک مطالعات آزمایشگاهی انجام داده‌اند [۲۲ و ۲۵-۲۷] تعداد دیگری از محققین به تاثیر عیار سیمان و نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری بتن اشاره کرده‌اند. [۴۵-۴۷]. در آئین‌نامه ACI 209 از سیمان نوع ۱ و ۳ با مقدار عیار در محدوده ۲۷۹ تا ۴۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است.

در این تحقیق رابطه مقاومت فشاری بتن برحسب سن آن با انتخاب سه عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۰۰ و 450 kg/m^3 و دو نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶۵ و خرده لاستیک با نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی جایگزین ماسه به دست آمده است.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی براساس ASTM 33

۲-۲- طرح مخلوط

۳-۲- نحوه ساخت نمونه‌ها

در جدول ۲ طرح مخلوط ها به تفکیک مواد تشکیل دهنده هر طرح بیان شده است. طرح مخلوط C350-0.50-R0 بیانگر این موضوع است که مقدار سیمان مصرفی در طرح برابر ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب، نسبت آب به سیمان ۰/۵ و مقدار خرده لاستیک برابر ۱۰ است.

برای هر طرح مخلوط متفاوت تعداد ۳ نمونه استوانه‌ای 100×200 میلیمتر برای روزهای ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ که به عبارتی برای هر طرح مخلوط شامل ۷۵ عدد و در مجموع تعداد ۴۵۰ نمونه می‌باشد. بعد از تهیه مصالح و انجام آزمایش‌های اولیه، دستورالعمل ساخت نمونه‌ها طبق روش استاندارد ASTM C192 [۵۱] انجام شده است. انتخاب

نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ و ۰/۶۵ به این دلیل می‌باشد که مطابق داخلی قالب‌ها مرطوب می‌شود تا آب مخلوط بتن رو به خود جذب طرح‌های اجرایی کشور ایران باشد. قبل از قالب‌گیری نمونه‌ها سطح نکند، سپس در هر قالب مرحله به مرحله بتن ریخته شده و متراکم گردید.

جدول ۲- طرح مخلوط بتن

شماره	ماسه (کیلوگرم)	نسبت آب به سیمان	سیمان (کیلوگرم)	آب (لیتر)	خرده لاسیتک (کیلوگرم)	نماد طرح
۶۵۰	۹۹۰	۰/۵	۳۵۰	۱۷۵	۰	C350-0.50-R0
۶۵۰	۹۵۰	۰/۵	۳۵۰	۱۷۵	۲۰	C350-0.50-R5
۶۵۰	۹۱۰	۰/۵	۳۵۰	۱۷۵	۴۰	C350-0.50-R10
۶۵۰	۸۷۰	۰/۵	۳۵۰	۱۷۵	۶۰	C350-0.50-R15
۶۵۰	۸۳۰	۰/۵	۳۵۰	۱۷۵	۸۰	C350-0.50-R20
۶۶۰	۹۵۰	۰/۶۵	۳۵۰	۲۲۷/۵	۰	C350-0.65-R0
۶۶۰	۹۱۰	۰/۶۵	۳۵۰	۲۲۷/۵	۱۸	C350-0.65-R5
۶۶۰	۸۵۰	۰/۶۵	۳۵۰	۲۲۷/۵	۳۶	C350-0.65-R10
۶۶۰	۸۰۵	۰/۶۵	۳۵۰	۲۲۷/۵	۵۴	C350-0.65-R15
۶۶۰	۷۶۰	۰/۶۵	۳۵۰	۲۲۷/۵	۷۲	C350-0.65-R20
۶۶۵	۹۳۰	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۰	C400-0.5-R0
۶۶۵	۹۰۰	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۱۷	C400-0.5-R5
۶۶۵	۸۶۰	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۳۴	C400-0.5-R10
۶۶۵	۸۰۰	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۵۱	C400-0.5-R15
۶۶۵	۷۹۰	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۷۸	C400-0.5-R20
۶۶۵	۹۱۰	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰	۰	C400-0.65-R0
۶۶۵	۸۷۵	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰	۱۵	C400-0.65-R5
۶۶۵	۸۵۰	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰	۳۰	C400-0.65-R10
۶۶۵	۸۱۰	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰	۴۵	C400-0.65-R15
۶۶۵	۸۷۰	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰	۶۰	C400-0.65-R20
۶۷۰	۹۰۰	۰/۵	۴۵۰	۲۲۵	۰	C450-0.50-R0
۶۷۰	۸۵۵	۰/۵	۴۵۰	۲۲۵	۱۳	C450-0.50-R5
۶۷۰	۸۱۵	۰/۵	۴۵۰	۲۲۵	۲۶	C450-0.50-R10
۶۷۰	۷۸۰	۰/۵	۴۵۰	۲۲۵	۳۹	C450-0.50-R15
۶۷۰	۷۳۵	۰/۵	۴۵۰	۲۲۵	۵۲	C450-0.50-R20
۶۷۵	۸۸۵	۰/۶۵	۴۵۰	۲۹۲/۵	۰	C450-0.65-R0
۶۷۵	۸۵۰	۰/۶۵	۴۵۰	۲۹۲/۵	۱۱	C450-0.65-R5
۶۷۵	۷۹۵	۰/۶۵	۴۵۰	۲۹۲/۵	۲۲	C450-0.65-R10
۶۷۵	۷۶۰	۰/۶۵	۴۵۰	۲۹۲/۵	۳۳	C450-0.65-R15
۶۷۵	۷۲۰	۰/۶۵	۴۵۰	۲۹۲/۵	۴۴	C450-0.65-R20

۲-۴- روش آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از مدت ۲۴ ساعت قالب‌ها باز و داخل حوضچه آب با دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند که در شکل ۲ نمایش داده شده است. پس از آن در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز از حوضچه خارج شده و آزمایش مقاومت فشاری انجام شده است. لازم به ذکر است نتایج در هر سن، میانگین ۳ نمونه می‌باشد.



شکل ۲- قرارگیری نمونه‌ها در حوضچه آب برای عمل‌آوری

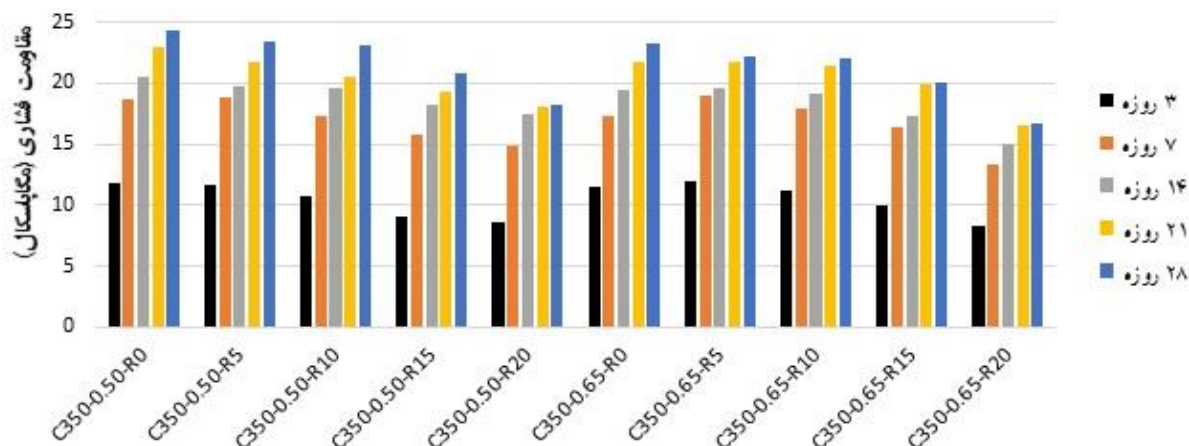
۳- نتایج و تفسیر

۳-۱- تأثیر عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و خرده

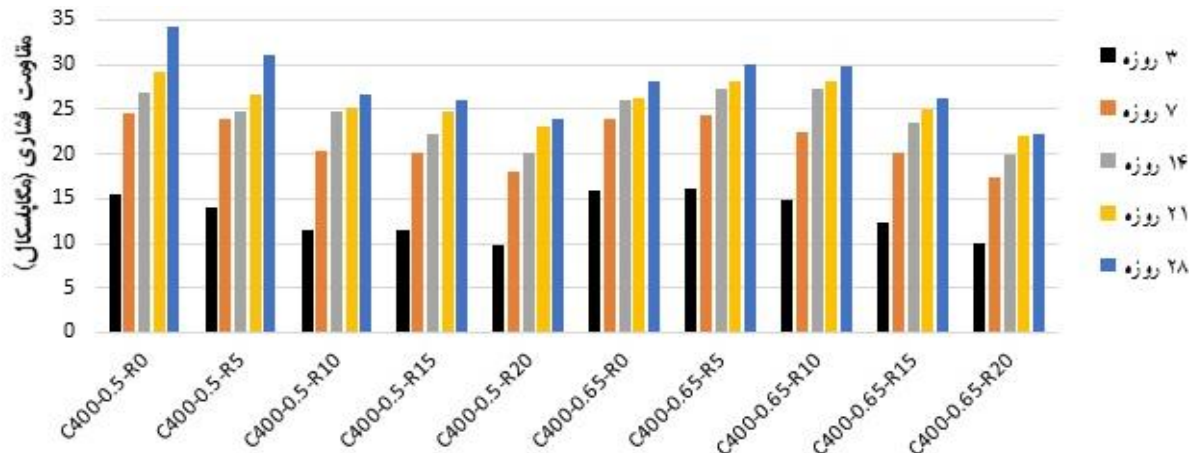
لاستیک بر مقاومت فشاری برحسب سن بتن

در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمودارهای مقاومت فشاری برحسب سن بتن برای عیار سیمان متفاوت و خرده لاستیک و دو نسبت آب به سیمان به نمایش گذاشته شده است. در بررسی نتایج مشخص می‌شود با افزایش لاستیک مقدار مقاومت فشاری طرح‌ها نسبت به طرح مخلوط‌های شاهد کاهش می‌یابد.

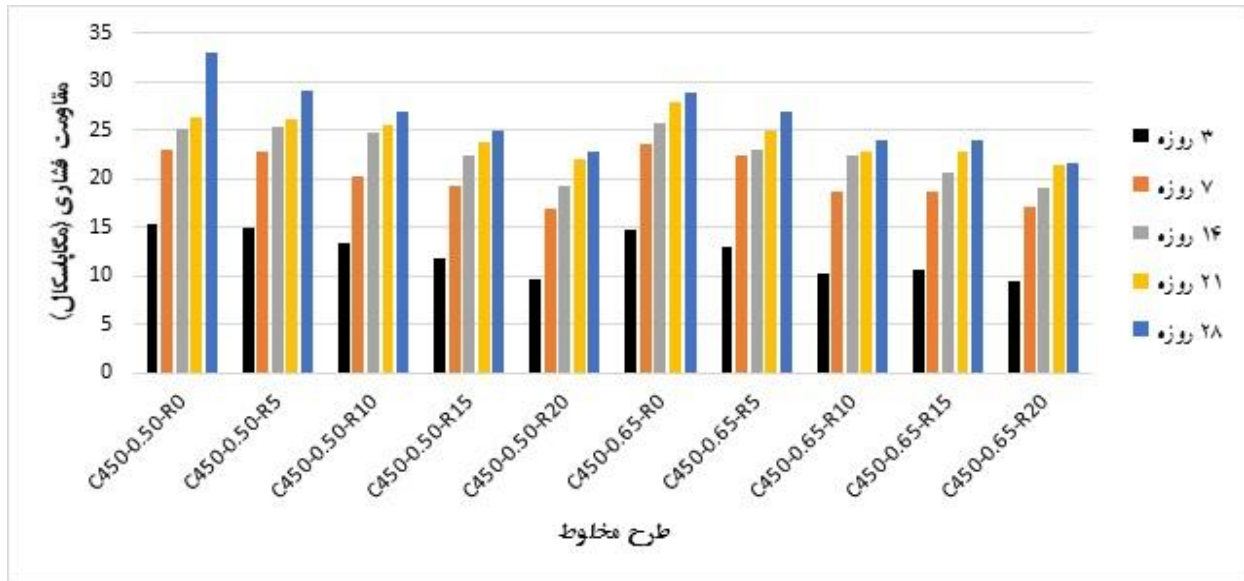
توجه به این نکته دارای اهمیت است که مقدار مقاومت فشاری قابل قبول برای خرده لاستیک تا ۱۰ درصد می‌باشد ولی بیش از آن افت شدید مقاومت فشاری بتن را در پی دارد. در نمودارها بهینه‌ترین طرح مخلوط، مربوط به عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای بتن معمولی و تا ۵ درصد خرده لاستیک جایگزین ریزدانه می‌باشد که توجه به مقاومت فشاری قابل قبولی دارد و مصرف خرده لاستیک را برای کاهش مشکلات زیست محیطی آن در پی دارد.



شکل ۳- نمودار مقاومت فشاری برحسب سن بتن برای عیار ۳۵۰ و خرده لاستیک



شکل ۴- نمودار مقاومت فشاری برحسب سن بتن برای عیار ۴۰۰ و خرده لاستیک



شکل ۵- نمودار مقاومت فشاری برحسب سن بتن برای عیار ۴۵۰ و خرده لاستیک

۳-۲- رابطه تجربی مقاومت فشاری برحسب سن بتن
 رابطه مقاومت فشاری برحسب سن بتن براساس داده‌های آزمایشگاهی برای چندجمله‌ای درجه سوم مطابق رابطه ۱ با رگرسیون به دست آمده است و مقادیر ضرایب a, b, c, d در جدول ۳ به تفکیک نمایش داده می‌شود.

$$f'c = at^3 - bt^2 + ct + d \quad (1)$$

۳-۱- رابطه تجربی مقاومت فشاری برحسب سن بتن
 نحوه محاسبه درصد خطا به این گونه است که مقادیر مقاومت فشاری در سنین مختلف، که با استفاده از رابطه α و β بدست آمده است با مقادیر مقاومت فشاری حاصل از نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد، که میزان خطای زیر ۱۰ درصد در تمامی نتایج حاصل شد.

$$(f'c)_t = \frac{t}{\alpha + \beta t} (f'c)_{28} \quad (3)$$

در جدول ۴ مقادیر α و β برای رابطه ۲ که خروجی آن مقاومت فشاری سنین مختلف بتن برحسب مقاومت ۲۸ روزه آن می‌باشد را براساس طرح مخلوط‌های متفاوت نمایش داده شده است.

۳-۴- مقایسه با نتایج سایر پژوهش‌ها
 در تحقیقات سایر محققین رابطه‌ای برای به دست آوردن مقاومت فشاری برحسب سن بتن ارائه نشده است ولی برای مقایسه مقادیر به دست آمده در این تحقیق با استفاده از داده‌های مقاومت فشاری سایر محققین مقادیر α و β به دست آمده که در جدول ۵ نمایش داده شده است.

لازم به یادآوری می‌باشد که سیمان مصرف شده در این تحقیقات هیچ کدام نوع ۲ نبوده است همچنین در هیچ کدام از پژوهش‌ها اصلاً موضوع تحقیق‌ها، پژوهش در این زمینه نبوده است.

۳-۳- رابطه تجربی مقاومت فشاری بتن بر اساس ACI 209
 برای دستیابی به مقاومت فشاری بتن در سن مورد نظر در ACI 209 رابطه‌ای ارائه شده است که این رابطه براساس مقادیر آلفا و بتا معین شده است و برای سیمان نوع ۱ و نوع ۳ ارائه شده است که در رابطه ۲ نمایش داده شده است.

$$(f'c)_t = \frac{t}{\alpha + \beta t} (f'c)_{28} \quad (2)$$

محاسبه این ضرایب با توجه به اطلاعات ACI 209 به این ترتیب می‌باشد که نتایج مقاومت فشاری در سنین مختلف که خود میانگین ۳ نمونه می‌باشد از آزمایشات به دست می‌آید، سپس نسبت مقاومت فشاری سنین مختلف به مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها محاسبه می‌شود و در رابطه قرار می‌گیرد. در این مرحله در رابطه دو مجهول α و β وجود دارد، از طرف دیگر در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روزه رابطه‌های جداگانه به وجود می‌آید در نهایت مقادیر

جدول ۴- مقادیر α و β برای جای گذاری در رابطه ۲

درصد خطای رابطه	β	α	طرح مخلوط
۳/۱۳	۰/۹۱	۳/۰۵	C350-0.50-R0
۴/۲۶	۰/۹۲	۲/۸۲	C350-0.50-R5
۳/۳۸	۰/۹۰	۲/۷۰	C350-0.50-R10
۵/۱۱	۰/۹۰	۳/۲۴	C350-0.50-R15
۶/۵۵	۰/۹۱	۳/۱۳	C350-0.50-R20
۶/۱۵	۰/۹۲	۳/۸۵	C350-0.65-R0
۵/۱۹	۰/۹۰	۳/۲۴	C350-0.65-R5
۳/۶۹	۰/۹۰	۳/۵۹	C350-0.65-R10
۴/۰۳	۰/۹۱	۳/۴۷	C350-0.65-R15
۲/۹۳	۰/۸۹	۳/۳۰	C350-0.65-R20
۵/۷۸	۰/۹۰	۳/۶۲	C400-0.5-R0
۷/۰۲	۰/۹۱	۳/۵۱	C400-0.5-R5
۶/۱۶	۰/۹۰	۳/۶۶	C400-0.5-R10
۴/۴۸	۰/۹۰	۳/۶۱	C400-0.5-R15
۵/۲۰	۰/۸۸	۳/۹۵	C400-0.5-R20
۳/۰۴	۰/۹۲	۲/۳۰	C400-0.65-R0
۲/۷۰	۰/۹۲	۲/۴۷	C400-0.65-R5
۱/۶۸	۰/۸۸	۳/۱۵	C400-0.65-R10
۲/۵۲	۰/۸۷	۳/۴۴	C400-0.65-R15
۴/۳۳	۰/۸۸	۳/۴۷	C400-0.65-R20
۳/۰۵	۰/۹۲	۲/۳۰	C450-0.50-R0
۳/۰۲	۰/۹۲	۲/۳۸	C450-0.50-R5
۲/۶۳	۰/۹۲	۳/۱۴	C450-0.50-R10
۲/۷۱	۰/۸۹	۳/۴۶	C450-0.50-R15
۴/۳۳	۰/۸۸	۳/۴۷	C450-0.50-R20
۵/۹۶	۰/۹۱	۳/۶۴	C450-0.65-R0
۷/۱۹	۰/۹۱	۳/۴۶	C450-0.65-R5
۶/۴۵	۰/۹۰	۳/۶۲	C450-0.65-R10
۴/۲۶	۰/۸۸	۳/۴۸	C450-0.65-R15
۵/۳۴	۰/۸۹	۳/۹۲	C450-0.65-R20

جدول ۳- رگرسیون برای مقاومت فشاری بتن بر حسب سن بتن

معادله غیر خطی درجه ۳				ضریب	طرح مخلوط
a	b	c	d	R ²	
۰/۰۰۲۳	۰/۱۳	۲/۶۴	۵/۹۹	۰/۹۷	C350-0.50-R0
۰/۰۰۲۸	۰/۱۵	۲/۶۷	۵/۴۸	۰/۹۵	C350-0.50-R5
۰/۰۰۳۱	۰/۱۶	۲/۸۸	۳/۶۶	۰/۹۹	C350-0.50-R10
۰/۰۰۲۷	۰/۱۵	۲/۷۳	۲/۴۳	۰/۹۹	C350-0.50-R15
۰/۰۰۲۳	۰/۱۴	۲/۵۸	۲/۱۵	۰/۹۹	C350-0.50-R20
۰/۰۰۱۸	۰/۱۰	۲/۰۸	۶/۴۹	۰/۹۸	C350-0.65-R0
۰/۰۰۲۴	۰/۱۳	۲/۴۷	۶/۱۷	۰/۹۴	C350-0.65-R5
۰/۰۰۲۲	۰/۱۳	۲/۳۸	۵/۵۹	۰/۹۵	C350-0.65-R10
۰/۰۰۱۷	۰/۱۰	۲/۰۵	۵/۲۱	۰/۹۴	C350-0.65-R15
۰/۰۰۱۵	۰/۰۹	۱/۸۱	۳/۹۱	۰/۹۸	C350-0.65-R20
۰/۰۰۳۸	۰/۲۱	۳/۵۳	۷/۴۴	۰/۹۹	C400-0.5-R0
۰/۰۰۳۵	۰/۱۹	۳/۴۷	۷/۶۹	۰/۹۹	C400-0.5-R5
۰/۰۰۲۸	۰/۱۶	۳/۲۳	۹/۶۵	۱	C400-0.5-R10
۰/۰۰۲۹	۰/۱۶	۳/۱۵	۴/۵۶	۰/۹۹	C400-0.5-R15
۰/۰۰۲۲	۰/۱۳	۲/۶۸	۳/۴۷	۰/۹۷	C400-0.5-R20
۰/۰۰۴۵	۰/۲۳	۳/۸۶	۶/۱۲	۰/۹۹	C400-0.65-R0
۰/۰۰۵۰	۰/۲۵	۴/۱۵	۴/۳۰	۰/۹۶	C400-0.65-R5
۰/۰۰۳۶	۰/۲۱	۳/۹۱	۱/۶۴	۱	C400-0.65-R10
۰/۰۰۳۰	۰/۱۷	۳/۲۰	۳/۷۶	۰/۹۷	C400-0.65-R15
۰/۰۰۲۴	۰/۱۴	۲/۸۳	۳/۱۱	۰/۹۶	C400-0.65-R20
۰/۰۰۴۷	۰/۲۳	۳/۶۲	۶/۶۷	۰/۹۹	C450-0.50-R0
۰/۰۰۳۶	۰/۱۹	۳/۳۶	۶/۸۵	۰/۹۹	C450-0.50-R5
۰/۰۰۲۵	۰/۱۵	۲/۹۲	۶/۰۲	۱	C450-0.50-R10
۰/۰۰۲۷	۰/۱۶	۲/۹۹	۴/۳۵	۰/۹۹	C450-0.50-R15
۰/۰۰۲۰	۰/۱۲	۲/۵۰	۳/۶۳	۰/۹۷	C450-0.50-R20
۰/۰۰۳۲	۰/۱۸	۳/۳۵	۶/۸۰	۰/۹۷	C450-0.65-R0
۰/۰۰۴۱	۰/۲۲	۳/۶۶	۴/۵۲	۰/۹۵	C450-0.65-R5
۰/۰۰۳۵	۰/۲۰	۳/۶۶	۱/۲۱	۰/۹۹	C450-0.65-R10
۰/۰۰۲۸	۰/۱۶	۲/۹۶	۳/۶۵	۰/۹۶	C450-0.65-R15
۰/۰۰۲۴	۰/۱۴	۲/۷۷	۲/۸۱	۰/۹۶	C450-0.65-R20

همچنین در جدول ۶ مقادیر α و β بدست آمده در پژوهش با مقادیر ACI 209 مقایسه شده است.

۵- مراجع

- [1] N. N. Eldin and A. B. Senouci, Rubber-tire particles as concrete aggregate, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 478–496, 1993.
- [2] S. R. Abdullah, W. R. W. Z. Abidin, and S. Shahidan, Strength of concrete containing rubber particle as partial cement replacement, in *MATEC Web of Conferences*, vol. 47, p. 1009, 2016.
- [3] T. Gupta, S. Siddique, R. K. Sharma, S. Chaudhary, Behaviour of waste rubber powder and hybrid rubber concrete in aggressive environment, *Construction and Building Materials*, Volume 217, 2019.
- [4] G. Pachideh, M. Gholhaki. an experimental study on the effects of adding steel and polypropylene fibers to concrete on its resistance after different temperatures. *Journal of Testing and Evaluation* 47 (2), 1606-1620, 2019.
- [5] L. He, H. Cai, Y. Huang, Y. Ma, W. V. Den Bergh, L. Gaspar, J. Valentin, Y. E. Vasiliev, K. J. Kowalski, J. Zhang, Research on the properties of rubber concrete containing surface-modified rubber powders, *Journal of Building Engineering*, Volume 35, 2021.
- [6] N. N. Gerges, C. A. Issa, S. A. Fawaz. Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties. *Case Stud Constr Mater*; 9:e00184. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00184>, 2018.
- [7] G. Pachideh, M. Gholhaki. A. Moshtagh. Performance of concrete containing recycled springs in post-fire conditions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 173(1), 3-16, 2020.
- [8] X. Shu, B. Huang, Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete: An overview, *Constr Build Mater*; 67:217–24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>, 2014.
- [9] K. Bisht, P.V. Ramana, Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Build Materials*; 155:811–7. <https://doi.org/10.1016/j.csb.2017.07.011>, 2017.
- [10] J. Lv, T. Zhou, Q. Du, H. Wu, Effects of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 2015.
- [11] A. A. Emadi, A. Modarres, Impact of crumb rubber particles on the fracture parameters of concrete through WFM, SEM and BEM, *Construction and Building Materials*, Volume 305, 2021.
- [12] O. Rezaifar, M. Hasanzadeh, M. Gholhaki, Concrete made with hybrid blends of crumb rubber and metakaolin: Optimization using Response

جدول ۵- نتایج سایر پژوهش‌ها

نویسنده	طرح مخلوط	α	β
	OC-0.5-R0	۶/۲	۰/۷۸
عیسی و همکاران ۲۰۱۳	OC-0.5-R15	۴/۶	۰/۸۴
	OC-0.5-R25	۵/۲۵	۰/۸۱
	C300-0.7-R0	۳/۸۱	۰/۸۶
	C300-0.7-R5	۳/۳۰	۰/۸۸
وانگ و همکاران ۲۰۱۳	C300-0.7-R10	۲/۶۳	۰/۹۱
	C300-0.7-R15	۴/۰۰	۰/۸۶
	C300-0.7-R20	۳/۱۱	۰/۸۹
	C480-0.35-R0	۳/۳۰	۰/۸۸
جینگ و همکاران ۲۰۱۵	C480-0.35-R10	۴/۰۰	۰/۸۶
	C480-0.35-R20	۴/۱۹	۰/۸۵
	OC388-0.5-R0	۳/۴۵	۰/۸۸
	OC388-0.5-R5	۲/۹۵	۰/۸۹
توماس و گوپتا ۲۰۱۵	OC388-0.5-R10	۲/۷۹	۰/۹۰
	OC388-0.5-R15	۱/۴۰	۰/۹۵
	OC388-0.5-R20	۱/۶۵	۰/۹۴

جدول ۶- مقایسه نتایج ACI 209 و پژوهش

رابطه	نوع بتن ساخته شده	α	β	درصد خطا
ACI 209	حاوی سیمان نوع ۱	۴/۰۰	۰/۸۵	□
	حاوی سیمان نوع ۳	۲/۳۰	۰/۹۲	□
پژوهش	حاوی سیمان نوع ۲	۳/۱۳	۰/۹۱	۴/۵۲
	حاوی خرده لاستیک	۳/۳۲	۰/۹۰	۴/۳۸

۴- خلاصه نتایج

در این تحقیق رابطه مقاومت فشاری بتن بر حسب سن آن با انتخاب سه عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۰۰ و ۴۵۰ kg/m^3 و دو نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶۵ و خرده لاستیک با نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی جایگزین ماسه به دست آمده است. بهینه‌ترین طرح مخلوط، مربوط به بتن معمولی دارای عیار 400 kg/m^3 و در بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک که بیشترین مقاومت را دارا می‌باشد در عین حال از خرده لاستیک ضایعاتی نیز استفاده شده است. مقادیر α و β برای بتن‌های معمولی حاوی سیمان نوع ۲ به ترتیب ۳/۱۳ و ۰/۹۱ و در صدخطای ۴/۵۲ و در بتن‌های حاوی خرده لاستیک به ترتیب ۳/۳۲ و ۰/۹۰ با درصدخطای ۴/۳۸ بدست آمد.

- mortar: Optimum combination of wood ash, crumb rubber, and fine crushed glass, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 15, 2021.
- [24] S. Tiwari, P. Gangwar, Evaluate the effect of acid attack on rubberized concrete using crumb tyre rubber and replacement of cement by alccofine, *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [25] C. A. Issa, G. Salem, Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design, *Construction and Building Materials*, 2013.
- [26] G. Pachideh, M. Gholhaki, A. Moshtagh. On the post-heat performance of cement mortar containing silica fume or Granulated Blast-Furnace Slag. *Journal of Building Engineering*, 24, 100757, 2019
- [27] B. S. Thomas, R. C. Gupta, Long term behaviour of cement concrete containing discarded tyre rubber, *Journal of Cleaner Production*, 2015.
- [28] A. Sofi. Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Eng J*; 9(4):2691–700. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.08.007>, 2017.
- [29] R. Siddique and T. R. Naik, Properties of concrete containing scrap-tyre rubber—an overview, *Waste Manag.*, vol. 24, no. 6, pp. 563–569, 2004.
- [30] F. Aslani, Mechanical properties of waste tyre rubber concrete, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 3, p. 4015152, 2016.
- [31] F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, and S. Jalali, Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview, *Construction and Build Materials*, vol. 30, pp. 714–724, 2012.
- [32] N. Oikonomou and S. Mavridou, Improvement of chloride ion penetration resistance in cement mortars modified with rubber from worn automobile tires, *Cem. Concr. Compos.*, vol. 31, no. 6, pp. 403–407, 2009.
- [33] N. I. Fattuhi and L. A. Clark, Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber, *Construction and Build Materials*, vol. 10, no. 4, pp. 229–236, 1996.
- [34] I. B. Topçu and N. Avcular, Collision behaviors of rubberized concrete, *Cem. Concr. Res.*, vol. 27, no. 12, pp. 1893–1898, 1997.
- [35] N. Avcular, Analysis of rubberized concrete as a composite material, *Cem. Concr. Res.*, vol. 27, no. 8, pp. 1135–1139, 1997.
- [36] K. B. Najim and M. R. Hall, Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete, *Construction and Build Materials*, vol. 27, no. 1, pp. 521–530, 2012.
- [37] N. Ganesan, J. B. Raj, and A. P. Shashikala, Flexural fatigue behavior of self-compacting rubberized concrete, *Construction and Build Surface Method, Construction and Building Materials*, Volume 123, 2016.
- [13] Yilmaz, Arin & Değirmenci, Nurhayat. Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials. *Waste management (New York, N.Y.)*. 29. 1541-6. 10.1016/j.wasman.2008.11.002, 2009.
- [14] M. A. Aiello, F. Leuzzi. Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state. *Waste Manage*; 30(8-9):1696–704. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.005>, 2010.
- [15] M. Dong, M. Elchalakani, A. Karrech, M. F. Hassanein, T. Xie, B. Yang, Behaviour and design of rubberized concrete filled steel tubes under combined loading conditions. *Thin-Walled Struct*; 139:24–38. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.02.031>, 2019.
- [16] M. Záleská, Z. Pavlík, D. Čítek, O. Jankovský, M. Pavlíková, Eco-friendly concrete with scrap-tyre-rubber-based aggregate – Properties and thermal stability. *Construction and Build Materials* 225:709–22. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.168>, 2019.
- [17] D. Flores-Medina, N. Flores-Medina, F. Hernández-Olivares, Static mechanical properties of waste rests of recycled rubber and high quality recycled rubber from crumbed tyres used as aggregate in dry consistency concretes. *Mater Struct*; 47(7):1185–93. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0121-6>, 2014.
- [18] G. Li, M. A. Stubblefield, G. Garrick, J. Eggers, C. Abadie, B. Huang, Development of waste tire modified concrete. *Cem Concr Res*; 34(12):2283–9. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.013>, 2004.
- [19] K. B. Najim and M. R. Hall, Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete, *Construction and Build Materials*, vol. 27, no. 1, pp. 521–530, 2012.
- [20] K. Bisht and P. V Ramana, “Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete,” *Construction and Build Materials*, vol. 155, pp. 811–817, 2017.
- [21] J. Wang, Z. Guo, Q. Yuan, P. Zhang, and H. Fang, Effects of ages on the ITZ microstructure of crumb rubber concrete, *Constructions Build Materials*, vol. 254, p. 119329, 2020.
- [22] M. K. Batayneh, I. Marie, I. Asi, Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries, *Waste Management* 28, 2008.
- [23] N. Gerges, C. A. Issa, M. Antoun, E. Sleiman, F. Hallal, P. Shamoun, J. Hayek, Eco-friendly

- [50] ASTM C. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, 2002.
- [51] ASTM C. Standard test method for standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. 2018.
- Materials, vol. 44, pp. 7–14, 2013.
- [38] F. Liu, L. Meng, G.-F. Ning, and L.-J. Li, Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement, *Construction and Build Materials*, vol. 95, pp. 207–217, 2015.
- [39] B. S. Thomas, R. C. Gupta, and V. J. Panicker, Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance, *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 504–513, 2016.
- [40] S. Guo, Q. Dai, R. Si, X. Sun, and C. Lu, Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire, *J. Clean. Prod.*, vol. 148, 2017.
- [41] A. Abdelmonem, M. S. El-Feky, E.-S. A. R. Nasr, and M. Kohail, Performance of high strength concrete containing recycled rubber, *Constr. Build. Mater.* vol. 227, p. 116660, 2019.
- [42] R. Yang, Y. Xu, P. Chen, and J. Wang, Experimental study on dynamic mechanics and energy evolution of rubber concrete under cyclic impact loading and dynamic splitting tension, *Constr. Build. Mater.* vol. 262, p. 120071, 2020.
- [43] M. Hasanzadeh, O. Rezaifar, M. Gholhaki, M. K. Sharbatdar, Performance optimization of ground rubberized green concrete with metakaolin, *Structures*, Volume 34, 2021.
- [44] I. Mohammadi, H. Khabbaz, K. Vessalas, In-depth assessment of Crumb Rubber Concrete (CRC) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements, *Construction and Building Materials* 71, 2014.
- [45] M. Meera, S. Gupta, Development of a strength model for foam concrete based on water – cement ratio, *Materials Today: Proceedings*, Volume 32, Part 4, 2020.
- [46] F. Seddighi, G. Pachideh, S. B. Salimbahrami. A study of mechanical and microstructures properties of autoclaved aerated concrete containing nano-graphene. *Journal of building engineering* 43, 103106, 2021.
- [47] S. Gavela, N. Nikoloutsopoulos, G. Papadakos, D. Passa, A. Sotiropoulou, Multifactorial experimental analysis of concrete compressive strength as a function of time and water-to-cement ratio, *Procedia Structural Integrity*, Volume 10, 2018.
- [48] E. Ganjian, M. Khorami, A. A. Maghsoudi, Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 5, 2009.
- [49] J. Li, M. Saberian, B. T. Nguyen, Effect of crumb rubber on the mechanical properties of crushed recycled pavement materials, *Journal of Environmental Management*, Volume 218, 2018.

Experimental study on strength gaining characteristics of concrete containing cement type II and crumb rubber

Seyed Meysam Hassan Vanhari

MS.c Student in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Majid Gholhaki *

Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Abstract

Relationship between the compressive strength of concrete in terms of the age of concrete is set out in the American Concrete Institute Regulations for Type I and Type III Cement. In this study, the relationship between compressive strength in terms of the age of concrete containing Portland Cement Type II has been experimentally investigated. The relationship has also been explored for crumb rubberized concrete. For this purpose, three cement contents: 350, 400 and 450 kg / m³, as well as two water-to-cement ratios of 0.5 and 0.65, and crumb rubber with ratios of 5 to 20% by the Volume of sand have been used. In the relations obtained, α and β values for the ordinary concretes containing cement type II are 3.13 and 0.91, respectively, while for the crumb rubberized concrete are 3.32 and 0.9, respectively.

Keywords: Compressive Strength, Concrete Age, Cement Type II, Crumb Rubber, Water to Cement Ratio.

* Corresponding Author: mgholhaki@semnan.ac.ir

