



بررسی رفتار ترکیب بتن بازیافتی و خودتراکم در ساخت روسازی راه به کمک آزمایش التراسونیک و مقایسه آن با سایر روشها

مسعود گلشنی^۱، کامبیز تکین^{۲*}، سعید صبوری^۲

۱- دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی پویش، قم، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳
پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

کلمات کلیدی:

بتن
مقاومت فشاری
آزمایش درجا
آزمایش التراسونیک
آزمایش کرگیری

خلاصه: امروزه از بتن بازیافتی به دلیل هزینه پایین و نیز کمک به محیط زیست، برای ساخت بسیاری از پروژه های عمرانی مورد استفاده قرار می گیرد. ضمناً، بتن خود تراکم به دلیل عدم نیاز به ویبره و کمترین احتمال ایجاد حفره های بزرگ و خلل و فرج، از اهمیت و کاربرد بالایی برخوردار است. در این مقاله با ترکیب این دو نوع بتن خواص آن مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای بدست آوردن مقاومت فشاری بتن می توان از روش های غیر مخرب که می تواند بسیار ساده تر، سریعتر و بدون خرابی است، استفاده شود با این حال بایستی بین نتایج آزمایش مخرب و غیر مخرب همخوانی وجود داشته باشد تا قابل قبول باشند. در این مقاله رفتار ترکیب بتن بازیافتی و خودتراکم مورد استفاده در روسازی بتنی جاده ها مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای این کار از روش کرگیری و آزمایش التراسونیک استفاده شده و مقایسه بین نتایج صورت گرفته است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۰/۱ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۰/۸ مگاپاسکال ثبت شده است که رشد ۵۲٪ را داشته است. همچنین در کلیه آزمایش های صورت گرفته مقدار مقاومت فشاری کسب شده در آزمایش کرگیری بالاتر از سایر نتایج بوده است. به صورت میانگین، مقدار مقاومت فشاری بدست آمده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش التراسونیک به ترتیب ۸٪ و ۱۴٪ بیشتر به دست آمده است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۵/۲ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۸/۹ مگاپاسکال ثبت شده است که رشد ۵۴٪ را داشته است. در نهایت این نتیجه بدست آمده است که نتایج آزمایش کرگیری و التراسونیک در تعیین مقاومت فشاری بتن می توان بین ۷ تا ۱۷ درصد اختلاف داشته باشد و نتایج حاصل از آزمایش التراسونیک مقادیر کمتری را نشان می دهد.

۱- مقدمه

امروزه مصرف بتن روز به روز در کارهای مختلف ساختمانی افزایش می یابد و لزوم شناخت بیشتر مصالح تشکیل دهنده بتن همراه با تکنولوژی ساخت، در تمام جوامع مهندسی پذیرفته شده است. بتن از سه فاز تشکیل شده است: خمیر سیمان به عنوان یک ماتریس، ناحیه انتقال، و سنگدانه. نتایج به دست آمده در بسیاری از تحقیقات نشان می دهد که سازه های سنگدانه ها تا حدود زیادی بر روی مقاومت بتن تأثیرگذار است. در پروژه هایی که سازه آن ها از بتن تشکیل یافته است مهم ترین مشخصه آن مقاومت فشاری بتن می باشد [۱].

به علاوه، تخمین مقاومت فشاری بتن بدون آسیب رساندن به نمونه بتنی، همواره از دغدغه های اصلی محققین بوده است. لذا روش امواج

فراصوتی می تواند به این هدف کمک نماید. اندازه گیری سرعت امواج فراصوتی و تخمین رابطه آن بر روی مقاومت فشاری درصد اختلاط های مختلف، می تواند کمک کند که بدون قرار دادن نمونه بتنی زیر دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری و شکستن آن، تنها با اندازه گیری سرعت امواج فراصوتی نمونه بتنی، به مقاومت فشاری آن دست یافت، بدون آن که نمونه بتنی آسیب دیده باشد [۲]. از دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری برای تعیین مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها، و از دستگاه اندازه گیری سرعت امواج فراصوتی برای اندازه گیری سرعت امواج فراصوتی نمونه ها استفاده می شود ولی معمولاً مقادیر آنها با هم کمی اختلاف دارند [۳].

امروزه تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از شبکه های عصبی در طراحی مخلوط های بتنی، خواص مکانیکی سیمان و مقاومت بتن انجام شده است. معمولاً مقاومت بتن بر مبنای نمونه های مکعبی یا استوانه ای

* نویسنده عهده دار مکاتبات: omran@engineer.com



در نظر گرفته می شود. اما باید به این نکته بسیار مهم دقت نمود که نمونه های آزمایش شده در شرایط استاندارد ممکن است معرف بتن بکار رفته برای ساخت اعضا واقعی نباشد. [4] با توجه به این مسأله در سال های گذشته تلاش گسترده ای برای توسعه آزمایشات درجا بصورت غیرمخرب و نیمه-مخرب برای بررسی کیفیت بتن در محل صورت گرفته است. در روش غیرمخرب هیچ گونه آسیبی به سازه وارد نمی شود و آزمایش با سرعت انجام گرفته و هزینه آن پایین است [5]. در حالی که در روش نیمه مخرب ضمن برجا گذاشتن خرابی جزئی در بتن سازه که می بایستی ترمیم شود، روش نسبتاً کند و از هزینه نسبتاً بالا در مقایسه با روش غیرمخرب برخوردار است [6، 7]. از مهمترین روش های غیرمخرب روش اولتراسونیک است. این روش با نام سرعت امواج پالسی ماورای صوت نیز شناخته می شود و اساس آن بر مبنای تعیین سرعت عبور امواج پالسی ماورای صوت از میان اجسام قرار دارد. با ارتباط دادن سرعت پالس با مقاومت فشاری بتن بر مبنای نمونه های استاندارد می توان مقاومت بتن در محل را در شرایط مشخص شده تعیین نمود [8]. اساس روش اولتراسونیک اندازه گیری سرعت امواج ماورای صوت است که اساساً به خواص بتن بستگی دارد. نتایج نشان داده است که سرعت امواج طولی به خواص الاستیک بستگی داشته و تابعی از مدول الاستیسیته و مرتبط با مقاومت است [9]. بتن یک ماده مرکب است که شامل دو بخش جداگانه ماتریس و سنگدانه است که هر دو از خواص الاستیک و مقاومت متفاوت از هم برخوردار هستند. لذا رابطه سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری رابطه واحدی نمی باشد [10]. وجود یک بانک اطلاعاتی فراگیر و دقیق، عامل مهمی در ایجاد صحیح یک شبکه عصبی می باشد. بدیهی است که اطلاعات ورودی برای ساخت شبکه، ضمن آن که باید شامل همه پارامترهای مورد نیاز باشد، لازم است در شرایط مشابه به دست آمده باشد تا اختلاف در روش تعیین آن ها باعث ایجاد خطا در جواب های شبکه نگردد [11]. عدم دسترسی به چنین بانک اطلاعاتی سبب گردید که اطلاعات اولیه جهت ایجاد شبکه عصبی، از طریق انجام آزمایش های گوناگون به دست آید [6، 12]. یکی از روش های غیرمستقیم در برآورد مقاومت فشاری بتن استفاده از سیستم فازی می باشد که با استفاده از یک رابطه و توابع تعلق مثلثی یا زنگوله ای تعریف می شوند [13]. این کنترل کننده ها دارای تعدادی قوانین برای تصمیم گیری و تعدادی توابع عضویت برای تبدیل متغیرهای زبانی و عددی به متغیرهای عددی قابل تشخیص برای مدل فازی می باشد [14، 15]. هدف به این منوال می باشد که سیستم فازی چنان طراحی شود که با تعیین نوع اختلاط و به ازای ورودی امواج

اولتراسونیک، مقاومت فشاری بتن بر مبنای نمونه های مکعبی با دقت مناسبی تخمین زده شود و همچنین بدون تغییر در ساختار کلی برنامه نویسی، قابلیت ارتقاء را نیز داشته باشد [16، 17].

در این مقاله هدف این است که نتایج مقاومت فشاری بتن خودتراکم با مصالح بازیافتی فشاری نمونه ها در سه حالت آزمایش درجا، کرگیری و اولتراسونیک بدست آمده و با هم مقایسه گردد.

۲- مشخصات و ویژگی های مصالح به کار رفته

۲-۱- سنگدانه ها

در این مقاله تنها از ریز دانه (ماسه سیلیسی) استفاده شده که در ادامه به بررسی ویژگی های مربوط به آن پرداخته می شود. باید به این نکته توجه داشت که به منظور داشتن یک بتن با کیفیت بالا، رعایت ملزومات آئین نامه ASTM C33 الزامی می باشد. با توجه به اینکه تقریباً سه چهارم حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می دهند، لذا کیفیت مصالح سنگی در خواص بتن حاصله می تواند از اهمیت قابل توجهی برخوردار باشد. در این رابطه نه تنها مقاومت مصالح سنگی در مقدار مقاومت بتن تعیین کننده است، بلکه سایر خصوصیات سنگدانه ها نظیر بافت سطحی، شکل، ابعاد هندسی و وضعیت خلل و فرج داخلی آن ها می تواند تأثیر به سزایی بر دوام و عملکرد بتن داشته باشد. نوع و اندازه ی مصالح سنگی استفاده شده در بتن بسته به کاربرد این بتن متفاوت است. سنگدانه های مورد استفاده باید دارای قابلیت دوام بالا و عدم واکنش پذیری با سیمان باشند. برای درشت دانه بتن از بتن بازیافتی استفاده شده است.

سنگدانه های با ابعاد ریزتر از الک شماره ۴ که اندازه ی بعد آن ها کمتر ۴/۷۵ میلی متر می باشد، ماسه نام دارد. به طور معمول در تهیه ی بتن از دو نوع ماسه به صورت رودخانه ای و شکسته کوهی استفاده می شود. مشخصات مصالح ریز دانه مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ تا ۳ آمده است. ماسه ی استفاده شده در تولید بتن (ماسه ی سیلیسی)، به غیر از قواعد مربوط به دانه بندی، می باید از تمامی ملزومات موجود در آئین نامه ی ASTM C33 نیز پیروی کند.

ماسه ی سیلیسی مورد استفاده در بتن دارای ویژگی های زیر می باشد [18]: تمامی ماسه باید شسته و به شکل کامل خشک شود. در این حالت ماسه عاری از هرگونه آلودگی و گل و لای خواهد بود، و همچنین امکان کنترل ساده تر نسبت آب به سیمان فراهم می شود.

ماسه ی سیلیسی دارای دانه های گرد یا نامنظم می باشد (از اشکال پولکی و یا سوزنی باید اجتناب شود). این ماسه ها می باید دارای بافت سطحی

جدول ۱. خصوصیات ماسه‌ی سیلیسی

Table 1. Properties of silica sand

ترکیبات شیمیایی	حداکثر درصد مواد موجود در ماسه‌ی سیلیسی
سیلیس (SiO ₂)	۹۶-۹۸ درصد
نمک‌های حل شدنی (سولفات‌ها، کلریدها و مواد قلیایی نظیر Na ₂ O, K ₂ O و CaO)	۱ درصد
خاک رس و مواد آلی	۰/۵ درصد
افت ناشی از احتراق	۰/۵ درصد
رطوبت	۲ درصد

جدول ۲. دانه‌بندی ماسه‌ی مصرفی

Table 2. Consumable sand granulation

شماره الک	اندازه‌ی الک (mm)	وزن مانده روی الک (gr)	وزن مانده تجمعی (gr)	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی روی الک	درصد عبوری از الک
۴#	۴/۷۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۸#	۲/۳۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۱	۹۹/۹۹
۱۶#	۱/۱۸	۲	۲/۱	۰/۲	۰/۲۱	۹۹/۷۹
۳۰#	۰/۶	۳۵۴/۰۴	۳۵۶/۱۴	۳۵/۴۰۴	۳۵/۶۱۴	۶۴/۳۸۶
۵۰#	۰/۳	۴۶۰/۱۴	۸۱۶/۲۸	۴۶/۰۱۴	۸۱/۶۳	۱۸/۳۷۲
۱۰۰#	۰/۱۵	۱۵۴/۴۵	۹۷۰/۷۳	۱۵/۴۴۵	۹۷/۰۷۵	۲/۹۲۷
الک آخر	—	۲۹/۴۸	۱۰۰۰/۲۱	۲/۹۴۸	۱۰۰/۰۲	۰

جدول ۳. ترکیب شیمیایی ماسه‌ی مورد استفاده

Table 3. The chemical composition of the sand

نوع عناصر موجود	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I ¹
درصد مواد موجود در ماسه	۹۷ - ۹۹	۰/۴ - ۱/۷	۰/۲ - ۰/۶	۰/۰۷ - ۰/۲	۰	۰ - ۰/۰۱	۰/۰۲ - ۰/۰۶	۰/۰۱ - ۰/۳۵

¹Loss on Ignition

جدول ۴. مشخصات فیزیکی سیمان مورد استفاده در این تحقیق

Table 4. Physical characteristics of cement used in this research

مشخصه‌ی فیزیکی	سطح مخصوص (m ² /kg)	زمان گیرش		مقاومت فشاری (MPa)	
		اولیه (دقیقه)	ثانویه (ساعت)	۳ روزه	۷ روزه
مقدار	۲۹۰۰	۹۰	۴	۱۳	۲۸ روزه ۳۶/۵

جدول ۵. مشخصات شیمیایی سیمان مورد استفاده در این تحقیق

Table 5. Chemical characteristics of cement used in this research

ترکیبات شیمیایی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
درصد موجود در سیمان	۲۱/۶۸	۵/۹	۳/۲	۶۳/۵	۱/۸	۱/۷	۰/۲	۰/۷

یکنواخت باشند (از بافت کندوی عسلی^۱ استفاده نشود).

ساختار شیمیایی موجود در ماسه‌ی سیلیسی می‌باید از مقادیر موجود در جدول ۱ پیروی کند.

اندازه‌ی دانه‌های ماسه‌ی سیلیسی بر حسب روش تولید بتن متفاوت است. بر این اساس در صورت استفاده از روش پیش مخلوط، می‌باید حداکثر اندازه‌ی دانه‌ها ۲/۴ میلی‌متر باشد (۱۰۰٪ دانه‌ها از الک شماره‌ی ۷ عبور کنند). در روش اسپری، حداکثر اندازه‌ی دانه‌ها ۱/۲ میلی‌متر می‌باشد (۱۰۰٪ دانه‌ها از الک شماره‌ی ۱۴ عبور کنند) [۱۸].

همین دلیل، سیمان RHPC در دوران اولیه استفاده، به سرعت باعث افزایش مقاومت فشاری و استحکام بتن می‌شود [۱۸].

۲-۳- آب

در صورت استفاده از آب غیر شرب، باید محدودیت‌های آئین نامه‌ی ASTM در جدول ۶ را برای ترکیبات شیمیایی موجود در آب لحاظ کرد. آب مورد استفاده در این تحقیق همان آب شرب بوده و تمامی مشخصات آن به مقدار قابل توجهی کمتر از مقادیر درج شده در این جدول است.

۲-۲- سیمان

مشخصات سیمان مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها در این مقاله در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. سیمان‌های مختلف بسته به درصد ترکیباتی که دارند می‌توانند ویژگی‌های شیمیایی متفاوتی از خود نشان دهند. از جمله متداول‌ترین سیمان‌های مورد استفاده در تولید GFRC، سیمان پرتلند معمولی (OPC^۲) و سیمان پرتلند زود سخت شونده (RHPC^۳) می‌باشند. RHPC به لحاظ شیمیایی بسیار شبیه OPC است، با این تفاوت که این سیمان دارای دانه بندی ریزتری نسبت به سیمان پرتلند معمولی می‌باشد. به

۲-۴- فوق روان کننده

فوق روان کننده می‌تواند میزان آب مصرفی در بتن را تا ۳۰٪ کاهش دهد. در این شرایط با کاهش میزان آب در نسبت W/CM، مقاومت بتن به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. در این مقاله از فوق روان کننده‌ی WD 500، تولیدی شرکت آرمان شیمی استفاده شده است. این فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر می‌باشد و با قدرت کاهندگی شدید آب بتن و ایجاد روانی ایده‌آل، برای ساخت بتن‌های فوق توانمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی این ماده در جدول ۷ ارائه شده است. مشخصات فوق روان کننده استفاده شده در جدول ۷ آمده است.

- 1 Honeycombed
- 2 Ordinary Portland Cement
- 3 Rapid Hardening Portland Cement

جدول ۶. محدودیت‌های آئین‌نامه‌ای برای آب غیر شرب

Table 6. Legal restrictions for non-potable water

آئین‌نامه‌ی مورد استفاده (ASTM)	حداکثر میزان قابل قبول (ppm)	ترکیبات شیمیایی
D513	۶۰۰	دی اکسید کربن محلول
D511	۴۰۰	کلسیم + منیزیم
D512	۵۰۰	کلریدها
D4327	۱۰۰	فسفات
D3082	۱۰۰	بورون
D4191	۶۰۰	مواد قلیایی
D1888	۲۰۰۰	گل ولای
D1067	۸ - ۶	pH
D1603	۲۰۰۰	مواد جامد محلول

جدول ۷. مشخصات فوق روان کننده‌ی مورد استفاده

Table 7. Characteristics of the super lubricant used

درجه انجماد	درجه اشتعال	pH	یون کلر	وزن مخصوص gr/cm ³	شکل ظاهری
+۲	غیر آتش زا	۷/۵ - ۶/۵	کمتر از ۰/۱ درصد	۱/۱۱	مایع قهوه ای روشن

۳- تهیه نمونه‌ها

۳-۱- نحوه ساختن مخلوط‌ها

همه بتن‌ها توسط مخلوط‌کن ساخته شده‌اند و لازم به ذکر است که برای مخلوط کردن اجزای مختلف تشکیل‌دهنده بتن از روش ارائه شده در مبحث ۹ مقررات ملی ایران استفاده گردیده است.

۳-۲- کارایی مخلوط‌ها

سنجش میزان کارایی کلیه مخلوط‌ها بر اساس استاندارد: BS 1881: Part 102:1983 با استفاده از آزمایش اسلامپ انجام شده است.

۳-۳- آماده کردن نمونه‌ها

در ساختن کلیه نمونه‌ها به توصیه‌های: BS 1881: Part: 125: 1986 توجه شده است. برای هر مخلوط، سه نمونه مکعبی به ضلع ۱۰۰

میلی‌متری برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری در هر سن ساخته شده است.

۳-۴- عمل‌آوری

سطح فوقانی کلیه نمونه‌ها پس از بتن‌ریزی سریعاً توسط نایلون پوشانده شد تا از تبخیر آب آن‌ها در ۲۴ ساعت اولیه جلوگیری به عمل آید. بعد از اتمام زمان فوق نمونه‌ها از قالب خارج شدند و داخل آب تهران با دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نمونه‌های مکعبی مربوط به مقاومت فشاری و نمونه‌های مکعب مستطیل مربوط به مقاومت کششی تا زمان انجام آزمایش در داخل آب نگهداری شدند.

۳-۵- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر اساس آیین‌نامه: BS 1881: Part 116: 1983 بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری انجام شده است.

جدول ۸. طرح اختلاط نمونه های بتنی

Table 8. Mixing plan of concrete samples

۱۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب	آب
۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب	سیمان
۰/۴	نسبت آب به سیمان
۱۰۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب	شن
۸۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب	ماسه

مصلح تحقیق و بررسی صورت گرفته است. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ میزان مقاومت فشاری بتن بدست می آید.

۳-۶- طرح اختلاط نمونه های بتنی:

طرح اختلاط نمونه های بتنی به شرح جدول شماره ۸ می باشد.

۴- آزمایش التراسونیک

به دلیل مسایل اقتصادی و بالا بودن هزینه دستگاه های التراسونیک بتن، تحقیق زیادی روی این آزمایش در ایران صورت پذیرفته است. حتی به دلیل عدم آشنایی کامل مهندسان و نبود مشتری در این باب برای آزمایشگاه های خصوصی صرفه اقتصادی وجود نداشته و اکثر آزمایشگاه ها مجهز به این دستگاه نیستند. با توجه به سهولت و نیاز به زمان کم این آزمایش در بین کشورهای دیگر استفاده از این فناوری با سرعت رو به افزایش است. گواه این امر میزان قابل توجه مقالات معتبر و تحقیقات علمی در چند سال اخیر می باشد. با توجه به پیشرفت های پرشتاب ایران اسلامی در زمینه مهندسی عمران امید است که استفاده از این فناوری به سرعت رایج و باعث افزایش کیفیت سازه ها و زیرساخت های کشور در این زمینه شود. در این تحقیق به نحوه استفاده و تحلیل جواب های حاصل از این دستگاه پرداخته و به دنبال آن رفتار عضو مورد آزمایش بررسی می گردد [۱۹].

$$F_C \approx \left(\frac{UPV}{K_{UPV} \rho^{0.5}} \right)^{\frac{2}{3}} (Mpa) \quad (1)$$

در رابطه (۱) UPV سرعت امواج بر حسب کیلومتر، ρ چگالی بتن بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و K_{UPV} ضریبی است که بستگی به پارامترهای تأثیرگذار در بتن که به آن ها اشاره شد، دارد. دستگاه التراسونیک شامل دو عدد گوشی (فرستنده و گیرنده امواج) مانند شکل (۱) می باشد. زمان عبور امواج از بتن توسط نمایشگر روی دستگاه قابل مشاهده می باشد. با توجه به روابط موجود مقاومت فشاری برای هر بتنی قابل تعیین است [۲۰].

۵- صحت سنجی

برای انجام صحت سنجی در این مقاله از مقاله تنزا استفاده شده است [۱۸، ۲۰]. در این مقاله ۲۵ مورد نمونه بتن با استفاده از آزمایش التراسونیک و نیز آزمایش کرگیری مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه بین نتایج حاصل از آزمایش مخرب و غیر مخرب نمونه های بتنی نسبت به مقاله حاضر تقریباً دارای همان میزان تفاوت می باشد. یعنی تفاوت بین مقاومت فشاری نمونه ها در تست مخرب و التراسونیک بترتیب ۲۵/۲ و ۲۳/۴ مگاپاسکال بوده است و نتایج بدست آمده در آزمایشگاه با همین طرح اختلاط بترتیب ۲۴/۸ و ۲۳/۳ حدود ۶/۲ درصد است که اختلاف ۰/۸ درصدی دارد.

الکساندر بوگاس و همکارانش کار آزمایشگاهی جامعی را روی ۸۴ ترکیب مختلف با سن ۳۰ تا ۱۸۰ روز برای مقاومت فشاری در محدوده ۳۰ تا ۸۰ مگاپاسکال انجام دادند که این تحقیقات منجر به بدست آوردن فرمولی جهت کسب مقاومت فشاری انواع مختلف بتن با استفاده از سرعت امواج التراسونیک گشت. همچنین در این مرجع برای تمامی موارد تأثیرگذار در بتن مانند، مقدار مصلح، نوع مصلح درشت دانه و ریزدانه، سن بتن، نسبت آب به سیمان، اندازه اسمی دانه ها، نوع و مقدار مواد افزودنی و درصد رطوبت اولیه



شکل ۱. دستگاه التراسونیک (PUNDIT6) و ملحقات

Fig. 1. Ultrasonic device (PUNDIT6) and accessories

جدول ۹. نتایج مربوط به مقاومت فشاری نمونه‌ها

Table 9. The results related to the compressive strength of the samples

مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	نام طرح
۲۴/۶	۲۳۵۹/۵	عیار ۲۵۰ (درجا)
۲۶/۷	۲۳۸۰/۴	عیار ۳۰۰ (درجا)
۳۴/۹	۲۳۸۹/۲	عیار ۳۵۰ (درجا)
۳۸/۱	۲۴۱۷/۸	عیار ۴۰۰ (درجا)
۲۵/۱	۲۳۵۹/۵	عیار ۲۵۰ (التراسونیک)
۲۵/۶	۲۳۸۰/۴	عیار ۳۰۰ (التراسونیک)
۳۴/۳	۲۳۸۹/۲	عیار ۳۵۰ (التراسونیک)
۳۸/۲	۲۴۱۷/۸	عیار ۴۰۰ (التراسونیک)
۲۵/۸	۲۴۰۶/۶	عیار ۲۵۰ (کرگیری)
۲۶/۳	۲۴۳۹/۹	عیار ۳۰۰ (کرگیری)
۳۵/۳	۲۴۶۰/۸	عیار ۳۵۰ (کرگیری)
۳۹/۳	۲۵۱۴/۴	عیار ۴۰۰ (کرگیری)

و در ادامه همان نمونه مورد شکست واقع شده است.

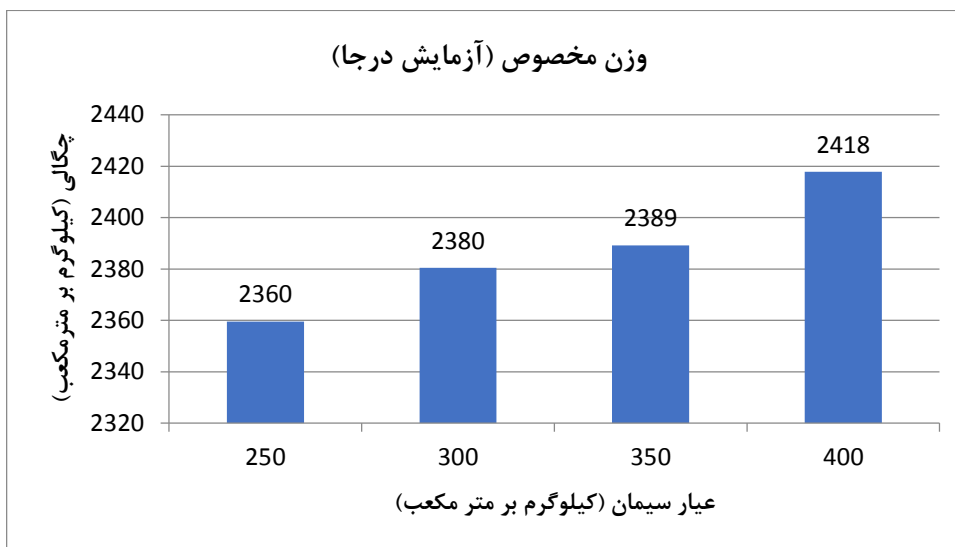
۶- نتایج آزمایشگاهی

در این مقاله به منظور بررسی مقاومت، نمونه‌های ساخته شده پس از ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به هر طرح اختلاط در جدول ۹ ارائه شده است. از نمونه‌های یکسان جهت بررسی دقت نتایج دستگاه التراسونیک استفاده شده است. بدین صورت ابتدا نمونه‌ها با استفاده از آزمایش غیرمخرب التراسونیک مورد آزمایش واقع شده‌اند،

۷- نتایج انواع آزمایشها و مقایسه آنها

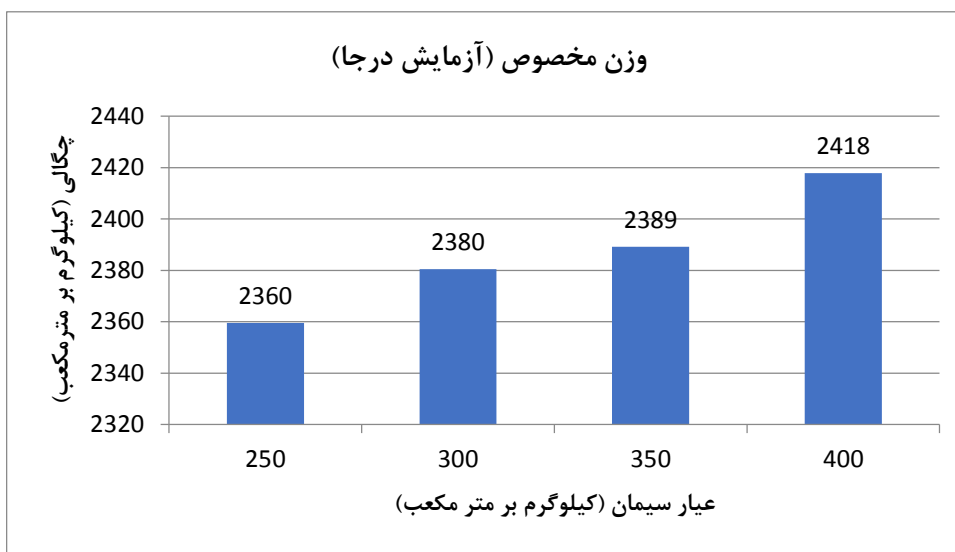
۷-۱- نتایج آزمایشگاهی درجا

نتایج به دست آمده در این بخش شامل نمونه‌های ساخته شده با تغییرات در عیار سیمان می‌باشد. در ادامه و در شکل ۲ تغییرات وزن



شکل ۲. تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های درجا

Fig. 2. Changes in specific gravity in experiments

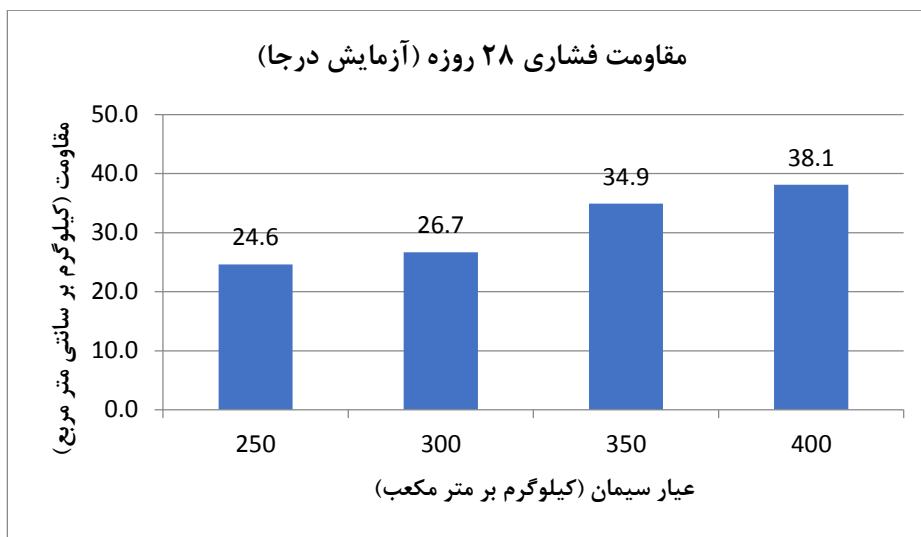


شکل ۳. تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه در آزمایش های درجا

Fig. 3. 7-day compressive strength changes in tests

بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه برای آزمایش های درجا در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۱۹/۷ مگاپاسکال به ۳۰/۵ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۴٪ می باشد. در نهایت، در شکل ۴ تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه در این نمونه ها نمایش داده شده است.

مخصوص در این نمونه ها نمایش داده شده است. بر اساس تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های درجا مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص از ۲۳۶۰ مگاپاسکال به ۲۴۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داشته است که رشدی برابر با ۲/۴٪ می باشد. همچنین در شکل ۳ تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ها ارائه شده است.



شکل ۴. تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه در آزمایش های درجا

Fig. 4. 28-day compressive strength changes in tests

داشته است که رشدی برابر با ۲/۴٪ می باشد. همچنین در شکل ۶ تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ها ارائه شده است.

بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه برای آزمایش های التراسونیک در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۱۸/۸ مگاپاسکال به ۲۹/۳ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۶٪ می باشد. در نهایت، در شکل ۷ تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه در این نمونه ها نمایش داده شده است.

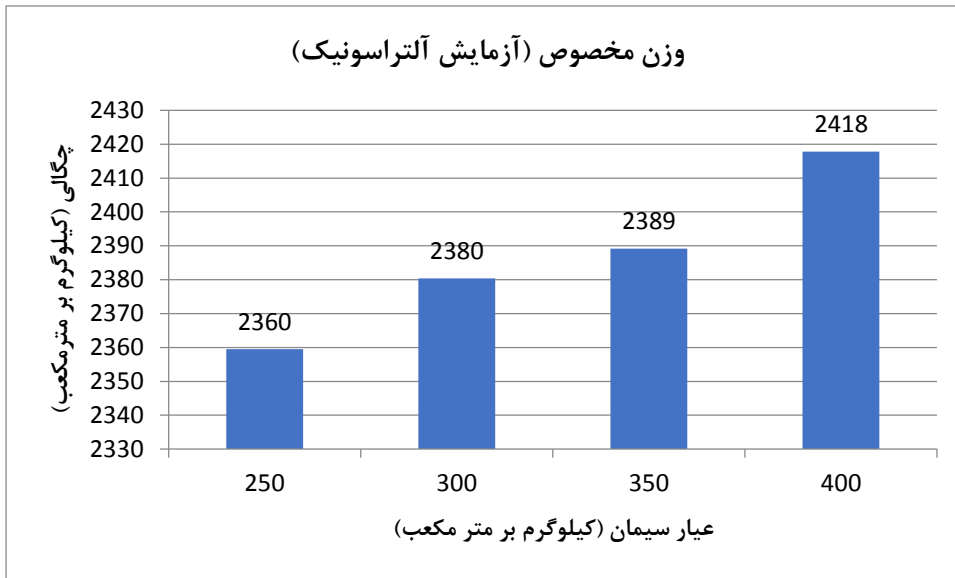
بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای آزمایش های التراسونیک در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۲۵/۱ مگاپاسکال به ۳۹/۲ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۶٪ می باشد.

بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای آزمایش های درجا در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۲۴/۶ مگاپاسکال به ۳۸/۱ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۵٪ می باشد.

۷-۲- نتایج آزمایش التراسونیک

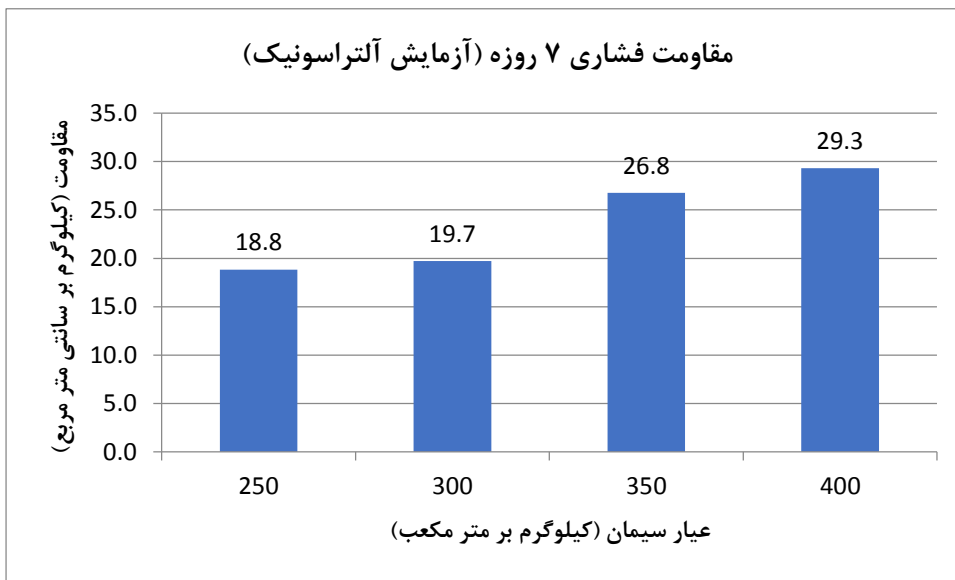
نتایج به دست آمده در این بخش شامل نمونه های ساخته شده با تغییرات در عیار سیمان می باشد. در ادامه و در شکل ۵ تغییرات وزن مخصوص در این نمونه ها نمایش داده شده است.

بر اساس تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های التراسونیک مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص از ۲۳۶۰ مگاپاسکال به ۲۴۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش



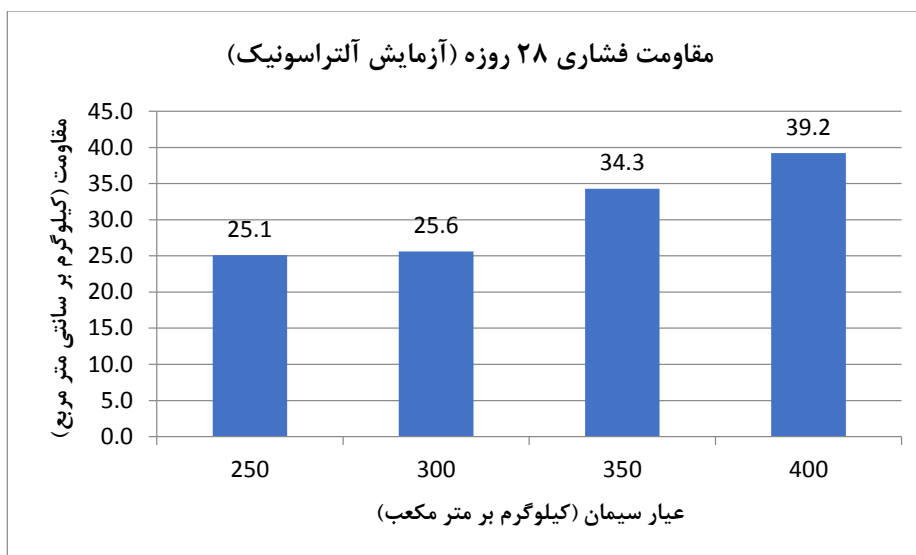
شکل ۵. تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های التراسونیک

Fig. 5. Changes in specific gravity in ultrasonic tests



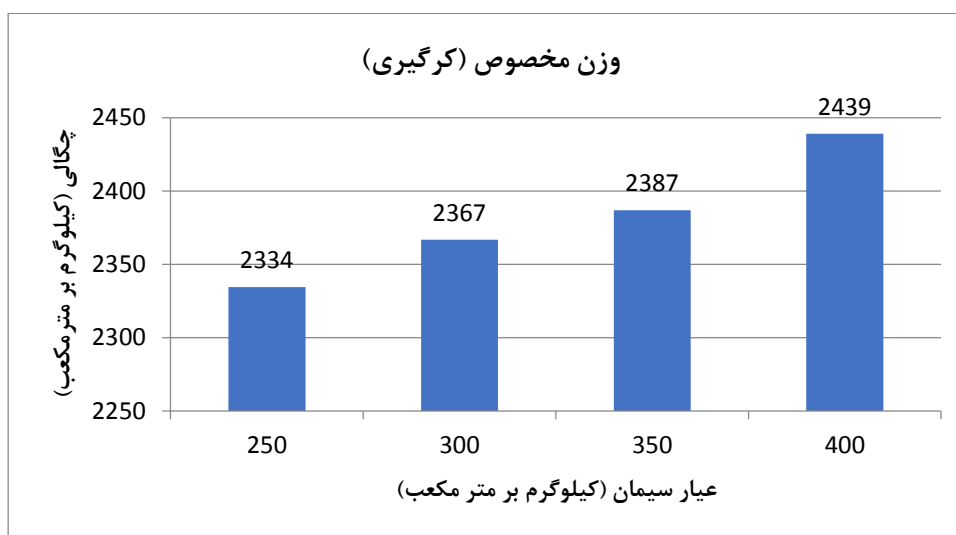
شکل ۶. تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه در آزمایش های التراسونیک

Fig. 6. 7-day compressive strength changes in ultrasonic tests



شکل ۷. تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه در آزمایش های التراسونیک

Fig. 7. 28-day compressive strength changes in ultrasonic tests



شکل ۸. تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های کرگیری

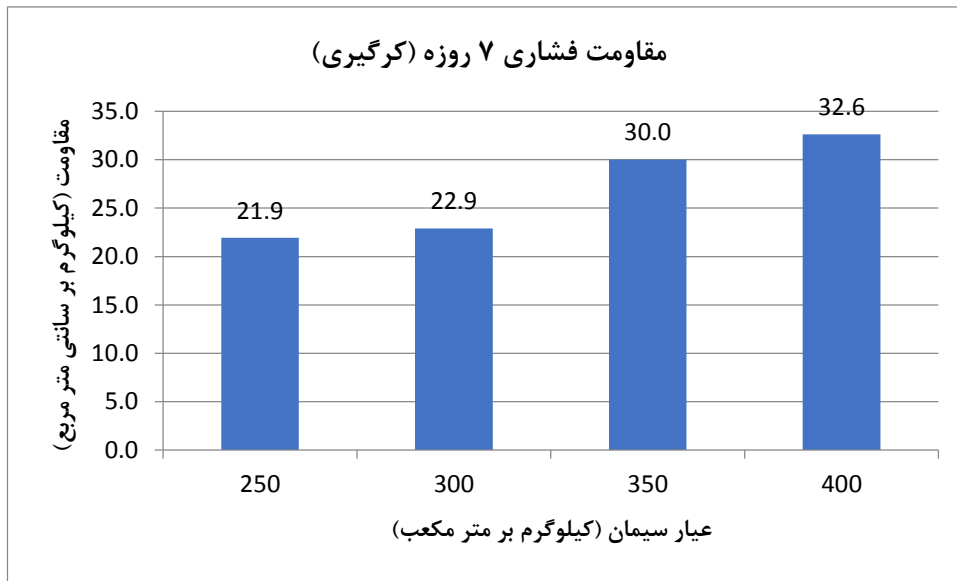
Fig. 8. Changes in specific gravity in core drilling test

است که رشدی برابر با ۴/۴٪ می باشد. همچنین

۷-۳- نتایج آزمایش کرگیری

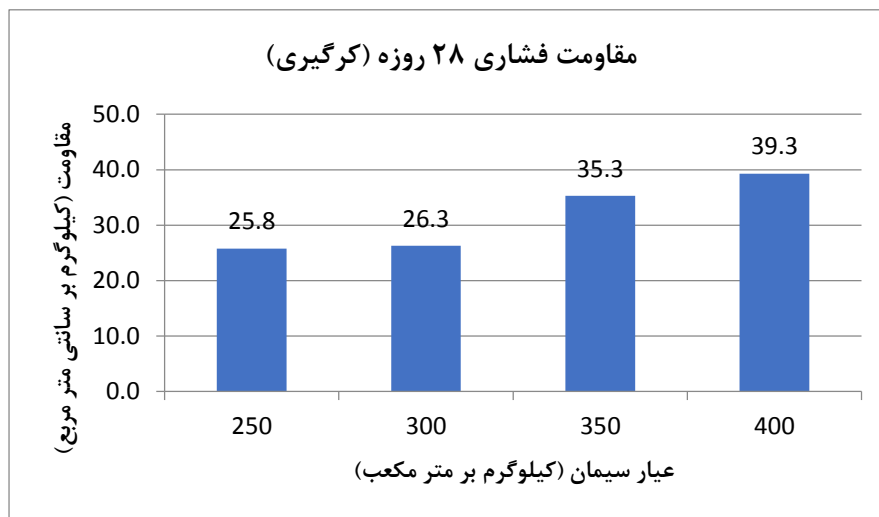
در شکل ۹ تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ها ارائه شده است. بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه برای آزمایش های کرگیری در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۲۱/۹ مگاپاسکال به ۳۲/۶ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۴۸٪ می باشد. در نهایت، در شکل ۱۰ تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه

نتایج به دست آمده در این بخش شامل نمونه های ساخته شده با تغییرات در عیار سیمان می باشد. در ادامه و در شکل ۸ تغییرات وزن مخصوص در این نمونه ها نمایش داده شده است. بر اساس تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های کرگیریمشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص از ۲۳۳۴ مگاپاسکال به ۲۴۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داشته



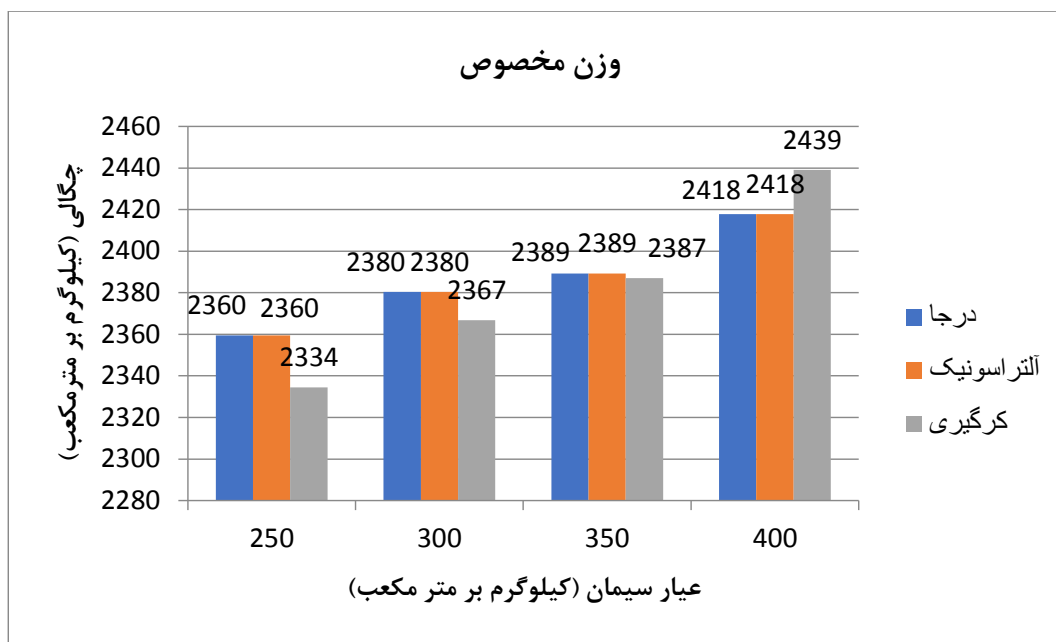
شکل ۹. تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه در آزمایش های کرگیری

Fig. 9. Changes of 7-day compressive strength in core drilling test



شکل ۱۰. تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه در آزمایش های کرگیری

Fig. 10. Changes of 28-day compressive strength in core drilling test



شکل ۱۱. تغییرات وزن مخصوص بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان

Fig. 11. Changes in specific gravity based on changes in the type of test and grade of cement

التراسونیک و آزمایش درجا بوده است. این در حالی است که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب نتایج آزمایش کرگیری کمتر از نتایج دو آزمایش دیگر تعیین شده است. در نمودار ۱۲ تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و درصد لیاف نمایش داده شد است.

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان روندی صعودی برای مقاومت فشاری ۷ روزه ثبت شده است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۰/۱ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۰/۸ مگاپاسکال ثبت شده است که رشدی برابر با ۵۲٪ بوده است. همچنین در کلیه آزمایش های صورت گرفته مقدار مقاومت فشاری کسب شده در آزمایش کرگیری بالاتر از سایر نتایج بوده است. کمترین مقادیر ثبت شده نیز مربوط به آزمایش آلتراسونیک بوده است. به عنوان مثال در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش آلتراسونیک به ترتیب ۷٪ و ۱۱/۳٪ بالاتر به دست آمده است. به صورت میانگین، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش آلتراسونیک به ترتیب ۸٪ و ۱۴٪ بالاتر به دست آمده است.

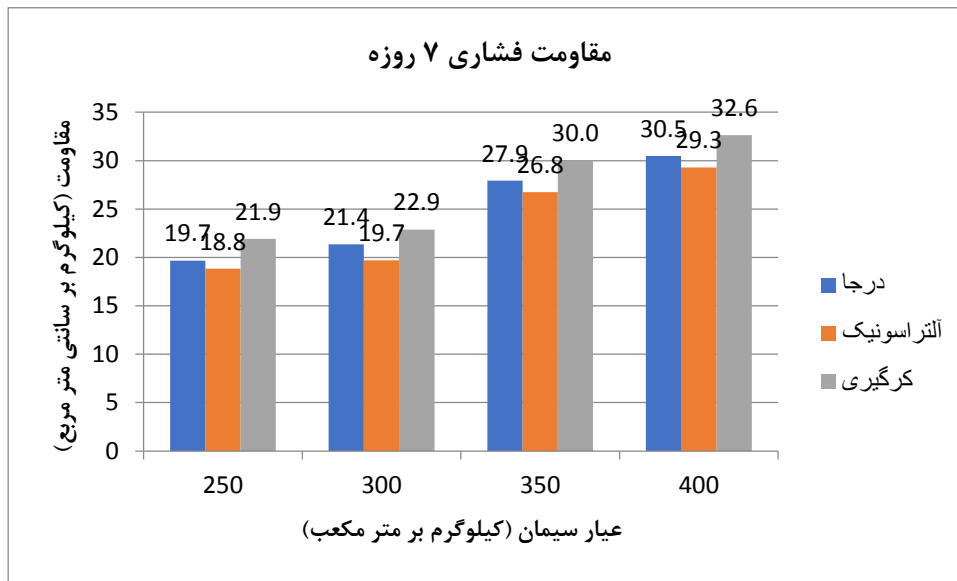
در این نمونه ها نمایش داده شده است.

بر اساس تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای آزمایش های کرگیری در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۲۵/۵ مگاپاسکال به ۳۹/۳ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۲٪ می باشد.

۷-۴- جمع بندی نتایج

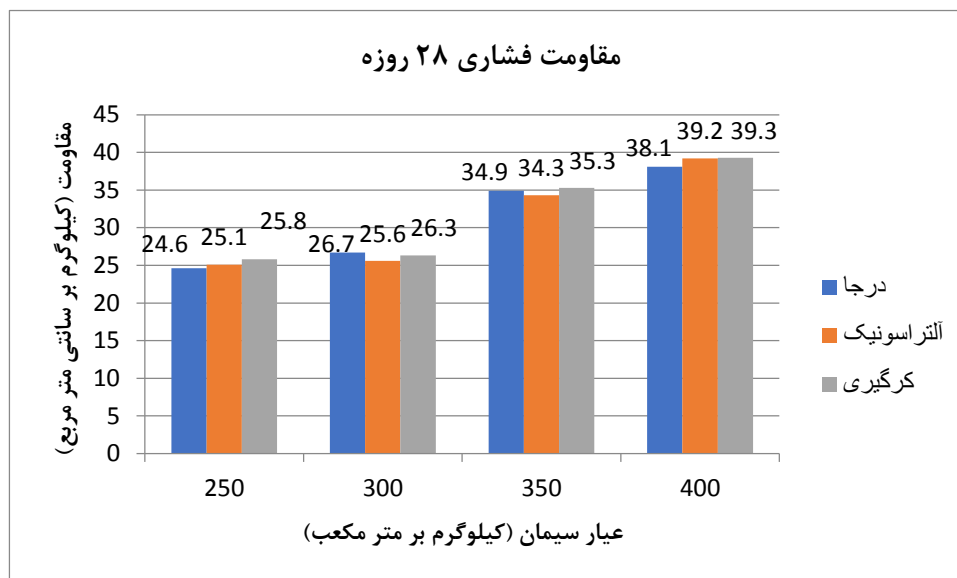
در ادامه به جمع بندی نتایج به دست آمده برای کلیه حالات مورد بررسی پرداخته شده است. در شکل ۱۱ تغییرات وزن مخصوص بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان نمایش داده شده است.

بر اساس نتایج تغییرات وزن مخصوص بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که مقدار نتایج به دست آمده برای پارامتر وزن مخصوص بتن حاصل از کرگیری با افزایش عیار سیمان بالاتر از مقادیر آزمایش های درجا و التراسونیک بوده است. با توجه به یکسان بودن نمونه ها در آزمایش های درجا و التراسونیک، مقدار وزن مخصوص در این حالات با یکدیگر برابر می باشد. در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص محاسبه شده در آزمایش کرگیری بالاتر از نتایج آزمایش



شکل ۱۲. تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان

Fig. 12. 7-day compressive strength changes based on changes in test type and cement grade



شکل ۱۳. تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان

Fig. 13. 28-day compressive strength changes based on changes in test type and cement grade

می باشد و برای آزمایش کرگیری مقدار مقاومت فشاری از ۲۱/۹ مگاپاسکال به ۳۲/۶ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۴۸٪ می باشد. در تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای آزمایش های درجا در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۲۴/۶ مگاپاسکال به ۳۸/۱ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۵٪ می باشد. در آزمایش التراسونیک مقدار مقاومت فشاری از ۲۵/۱ مگاپاسکال به ۳۹/۲ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۶٪ می باشد و برای آزمایش کرگیری مقدار مقاومت فشاری از ۲۵/۵ مگاپاسکال به ۳۹/۳ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۲٪ می باشد.

بر اساس نتایج تغییرات وزن مخصوص بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که مقدار نتایج به دست آمده برای پارامتر وزن مخصوص بتن حاصل از کرگیری با افزایش عیار سیمان بالاتر از مقادیر آزمایش های درجا و التراسونیک بوده است. با توجه به یکسان بودن نمونه ها در آزمایش های درجا و التراسونیک، مقدار وزن مخصوص در این حالات با یکدیگر برابر می باشد. در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص محاسبه شده در آزمایش کرگیری بالاتر از نتایج آزمایش التراسونیک و آزمایش درجا بوده است. این در حالی است که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب نتایج آزمایش کرگیری کمتر از نتایج دو آزمایش دیگر تعیین شده است.

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان روندی صعودی برای مقاومت فشاری ۷ روزه ثبت شده است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۰/۱ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۰/۸ مگاپاسکال ثبت شده است که رشدی برابر با ۵۲٪ بوده است. همچنین در کلیه آزمایش های صورت گرفته مقدار مقاومت فشاری کسب شده در آزمایش کرگیری بالاتر از سایر نتایج بوده است. کمترین مقادیر ثبت شده نیز مربوط به آزمایش التراسونیک بوده است. به عنوان مثال در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش التراسونیک به ترتیب ۷٪ و ۱۱/۳٪ بالاتر به دست آمده است. به صورت میانگین، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش التراسونیک به ترتیب ۸٪ و ۱۴٪ بالاتر به دست آمده است.

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان روندی صعودی برای مقاومت فشاری ۲۸ روزه ثبت شده است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۵/۲ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۸/۹ مگاپاسکال ثبت شده است که رشدی برابر با ۵۴٪ بوده است. همچنین تقریباً در کلیه آزمایش های صورت گرفته مقدار مقاومت فشاری کسب شده در آزمایش کرگیری بالاتر از سایر نتایج بوده است. کمترین مقادیر ثبت شده نیز در اکثر نمونه ها مربوط به آزمایش التراسونیک بوده است. به عنوان مثال در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش التراسونیک به ترتیب ۱٪ و ۳٪ بالاتر به دست آمده است. به صورت میانگین، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش التراسونیک به ترتیب ۱/۹٪ و ۲٪ بالاتر به دست آمده است. این امر نشان می دهد که در مقاومت فشاری ۲۸ روزه تفاوت خاصی بین روش های مختلف وجود ندارد و پراکندگی خاصی در داده های ثبت شده وجود نداشته است.

۸- نتیجه گیری

مهم ترین نتایج و یافته های این تحقیق به شرح زیر می باشد:

بر اساس تغییرات وزن مخصوص در آزمایش های درجا مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار وزن مخصوص از ۲۳۶۰ مگاپاسکال به ۲۴۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داشته است که رشدی برابر با ۲/۴٪ می باشد. برای آزمایش التراسونیک نیز مقدار وزن مخصوص از ۲۳۶۰ مگاپاسکال به ۲۴۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داشته است که رشدی برابر با ۲/۴٪ می باشد و برای آزمایش کرگیری مقدار وزن مخصوص از ۲۳۳۴ مگاپاسکال به ۲۴۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داشته است که رشدی برابر با ۴/۴٪ می باشد.

در مورد تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه برای آزمایش های درجا در نمونه های با مقادیر مختلف عیار سیمان در طرح اختلاط مشاهده شده است که با عیار سیمان تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مقدار مقاومت فشاری از ۱۹/۷ مگاپاسکال به ۳۰/۵ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۴٪ می باشد. مقدار مقاومت فشاری برای آزمایش التراسونیک از ۱۸/۸ مگاپاسکال به ۲۹/۳ مگاپاسکال افزایش داشته است که رشدی برابر با ۵۶٪

- Iran Concrete Association, 2012.
- [5] Oral Büyüköztürk, M.A. Taşdemir, *Nondestructive Testing of Materials and Structures*, Springer Dordrecht, 2012.
- [6] Yoosefvand. F., Nikoodel. M., Raeesi. A., M. Sh, Investigation of the effect of aggregate type on the compressive strength of concrete, in: 15th Conference of Civil Students across the country, Urmia, Civil Student Scientific Association of Urmia University, 2015.
- [7] M. Yaqub, C. Bailey, *Non-destructive evaluation of residual compressive strength of post-heated reinforced concrete columns*, *Construction and building materials*, 120 (2016) 482-493.
- [8] Shafaei. M, Masoodi. F, Application of petrography in the study of the quality of concrete aggregates, a case study in the Kan region of Tehran province, in: the 6th National Geological Conference of Payame Noor University, Kerman, Payame Noor University, center of Kerman, 2012.
- [9] Nili. M., Sasani. H., B. M, Investigation of the effect of recycled aggregates on the mechanical strength of self-compacting concretes, in: Sixth Annual National Iranian Concrete Conference, Tehran, Iran Concrete Association, 2015.
- [10] Sarbaz. M., P. F, Investigation of the effect of aggregate geometric shape on compressive strength of concrete, in: 2nd National Conference on Civil Engineering and Sustainable Development of Iran Tehran, Center for Strategies for Achieving Sustainable Development, 2015.
- [11] Tadayon. M., Mohajeri. P., S.M. R, Investigation of the effect of aggregate shape on the compressive strength of concrete, in: First National Conference on Civil Engineering and Development, Rasht, Islamic Azad University, Lasht-e-Nasha Branch, 2015.
- [12] R. Doroudi, S.H. Hosseini Lavassani, M. Shahrouzi, Predicting acceleration response of super-tall buildings by support vector regression, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, (2023) e2049.
- [13] S.H.H. Lavasani, R. Doroudi, Meta heuristic active and semi-active control systems of high-rise building,

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر اساس تغییرات در نوع آزمایش و عیار سیمان مشاهده شده است که با افزایش عیار سیمان روندی صعودی برای مقاومت فشاری ۲۸ روزه ثبت شده است. به صورت میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۲۵/۲ مگاپاسکال و در عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر با ۳۸/۹ مگاپاسکال ثبت شده است که رشدی برابر با ۵۴٪ بوده است. همچنین تقریباً در کلیه آزمایش‌های صورت گرفته مقدار مقاومت فشاری کسب شده در آزمایش‌های کرگیری بالاتر از سایر نتایج بوده است. کمترین مقادیر ثبت شده نیز در اکثر نمونه‌ها مربوط به آزمایش‌های تراسونیک بوده است. به عنوان مثال در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش تراسونیک به ترتیب ۱٪ و ۳٪ بالاتر به دست آمده است. به صورت میانگین، مقدار مقاومت فشاری کسب شده در روش کرگیری نسبت به روش آزمایش درجا و آزمایش تراسونیک به ترتیب ۱/۹٪ و ۲٪ بالاتر به دست آمده است. این امر نشان می‌دهد که در مقاومت فشاری ۲۸ روزه تفاوت خاصی بین روش‌های مختلف وجود ندارد و پراکنندگی خاصی در داده‌های ثبت شده وجود نداشته است.

منابع

- [1] M. Naderi, A. Kaboudan, A. Sadighi, Comparative Study on Water Permeability of Concrete Using Cylindrical Chamber Method and British Standard and Its Relation with Compressive Strength, *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(1) (2018) 116-131.
- [2] Nader. M, R. A, Effect of Aggregate Type on Durability of Self-Compacting Concretes in Freezing and Freezing Cycles, in: Third Conference on Strengthening and Urban Management Khomein, Islamic Azad University, Khomein Branch, 2011.
- [3] Rahimi. V, TalebPour. M, A. P, The effect of aggregate size on compressive strength of high strength concrete, in: 3rd International Conference on Seismic Reinforcement, 2009.
- [4] Moghimi. R, Zolfaghari. S, Maghsoodi. A, A. A, The effect of aggregate shape on the behavior of high-strength self-compacting concrete in paste and hardened phases, in: 5th National Concrete Conference of Iran, Tehran,

- (2017) 394-404.
- [18] N.P. Kaur, J.K. Shah, S. Majhi, A. Mukherjee, Healing and simultaneous ultrasonic monitoring of cracks in concrete, *Materials Today Communications*, 18 (2019) 87-99.
- [19] A. Ashrafian, M.J.T. Amiri, M. Rezaie-Balf, T. Ozbakkaloglu, O. Lotfi-Omran, Prediction of compressive strength and ultrasonic pulse velocity of fiber reinforced concrete incorporating nano silica using heuristic regression methods, *Construction and Building Materials*, 190 (2018) 479-494.
- [20] A.J. Tenza-Abril, Y. Villacampa, A.M. Solak, F. Baeza-Brotons, Prediction and sensitivity analysis of compressive strength in segregated lightweight concrete based on artificial neural network using ultrasonic pulse velocity, *Construction and Building Materials*, 189 (2018) 1173-1183.
- International Journal of Structural Engineering, 10(3) (2020) 232-253.
- [14] K. Takin, R. Doroudi, S. Doroudi, Investigation the effect of Different Types of Fuzzy Controllers in Relieving the Sensitivity to Seismic Excitation of an 11-Story Structure with an Active Mass Damper, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 54(8) (2022) 589-592.
- [15] K. Takin, R. Doroudi, S. Doroudi, Vibration control of structure by optimising the placement of semi-active dampers and fuzzy logic controllers, *Australian Journal of Structural Engineering*, 22(3) (2021) 222-235.
- [16] J. Thomas, N.N. Thaickavil, P. Wilson, Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates, *Journal of Building Engineering*, 19 (2018) 349-365.
- [17] J.-C. Souche, P. Devillers, M. Salgues, E.G. Diaz, Influence of recycled coarse aggregates on permeability of fresh concrete, *Cement and Concrete Composites*, 83

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Golshani, K. Takin, S. Sabouri, Investigation of the behavior of recycled concrete and self-compacting concrete in road pavement construction using ultrasonic test and compare it with other methods, Amirkabir J. Civil Eng., 55(10) (2024) 2025-2042.

DOI: [10.22060/ceej.2023.21361.7695](https://doi.org/10.22060/ceej.2023.21361.7695)



