

ارزیابی مقاومت فشاری بتن سبک سازه ای با استفاده از روشهای غیرمخرب

علی پوراربابی^۱، فهیمه واعظی^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران و عضو هیئت علمی دانشگاه زابل

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه

Vaezi.civil@gmail.com

چکیده:

در بسیاری از موارد تعیین مقاومت بتن بعد از ساخت سازه ضروری می‌باشد، بعنوان مثال ارزیابی مقاومت پس از آتش‌سوزی، تغییر کاربری و آسیب‌دیدگی سازه. تاکنون روش‌های مختلفی اعم از مخرب، نیمه‌مخرب و غیرمخرب جهت ارزیابی مقاومت بتن ارائه شده است، ولی هر یک از این روش‌ها با توجه به شرایط آن از محدودیتهایی برخوردار بوده، به عنوان مثال روش‌های مخرب علی‌رغم دقت بالا، سازه را دچار آسیب می‌کند و سازه بازسازی شده مقاومت اولیه خود را باز نخواهد یافت. بنابراین استفاده از روش‌هایی که بدون آسیب فیزیکی و شیمیایی در سازه بتنی برخی از خواص آنرا تخمین بزند و بتواند اطمینان لازم از کیفیت و سلامت سازه‌ها را بوجود آورد، اهمیت فراوانی دارد. یکی از این راهکارها استفاده از آزمایش‌های غیرمخرب است. ولیکن روشهای اندازه‌گیری غیرمخرب دارای شرایطی است که در صورت عدم تحقق این شرایط و ضوابط نتایج بدست آمده از آزمون قابل اعتماد نبوده و بعضاً باعث گمراهی در قضاوت‌های مهندسی می‌گردد. در این مقاله سعی شده است ارتباط بین نتایج آزمایش‌های غیرمخرب و آزمایش مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای با تکیه بر روش‌های درونیابی و رگرسیون‌های غیرخطی بدست آورده شود. برای یافتن ارتباط بین نتایج آزمایش‌های غیرمخرب و مقاومت فشاری، پس از ترسیم نمودارهای مربوطه و آنالیز داده‌ها، بهترین تابع با ضریب همبستگی ۰/۹۶ معرفی شد. با این ضریب همبستگی بالا می‌توان با داشتن عدد پالس فراصوتی و عدد چکش اشmitt، مقاومت فشاری بتن سخت شده را با دقت بالایی تخمین زد.

کلمات کلیدی: بتن سبک سازه‌ای، آزمون‌های غیرمخرب بتن، مقاومت فشاری.

84D

۱-مقدمه:

پس از ساخت سازه‌های بتنی، مواردی پیش می‌آید که نیاز به تعیین مقاومت بتن در سازه می‌باشد. می‌توان تغییر در کاربری سازه، (تغییر در بار وارده) نامطلوب بودن اجراء، عدم تطابق مقاومت نمونه‌های استاندارد با مشخصات فنی طرح و آسیب‌دیدگی بتنی در سازه را از جمله دلایل برای ارزیابی مقاومت بتنی در سازه برشمرد^۱. از طرفی استفاده از بتن‌های سبک سازه‌ای و غیرسازه‌ای به دلیل داشتن خواص مناسبی نظیر سبکی وزن، عایق حرارتی و صوتی، هزینه کمتر تولید و حمل، مقاومت کافی در برابر نیروهای زلزله، وجود سنگدانه سبک در بسیاری از معادن داخلی و تولید سنگدانه سبک مصنوعی در داخل کشور، روز به روز در حال افزایش است. بنابراین بایستی روشی دقیق و مناسب و اقتصادی برای تعیین مقاومت آن استفاده شود. از آنجا که مقاومت نمونه‌های

^۱ - استاندارد آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن در سازه، آزمایش‌های مخرب و نیمه‌مخرب، مجموعه استانداردها و پیشنهادهای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،

استاندارد پاسخگوی شرایط واقعی در ساختگاه نمی‌باشد، لذا بایستی به روش‌هایی در محل روی آورد. روش‌های متعددی برای آزمایش مقاومت بتن در سازه ابداع شده است که بر اساس احتمال آسیب‌دیدگی در سازه به سه گروه غیر مخرب نیمه مخرب و مخرب تقسیم می‌شوند.

روش‌های مخرب مانند روش مغزه‌گیری از بتن، سازه را دچار آسیب می‌کند و سازه بازسازی شده مقاومت اولیه خود را باز نخواهد یافت و موجب می‌گردد بعضی از اعضای سازه مانند ستون‌ها یا دیوار برشی‌ها غیر قابل استفاده شوند. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های دیگری که بدون آسیب فیزیکی و شیمیایی در سازه بتنی، برخی از خواص الاستیک از جمله مقاومت فشاری آنرا تخمین بزند، و بتواند اطمینان لازم از کیفیت و سلامت سازه‌ها را بوجود آورد، اهمیت فراوانی دارد. یکی از این راهکارها استفاده از آزمایش‌های غیرمخرب است. آزمایش‌های غیرمخرب یکی از مهمترین اقدامات لازم جهت بازرسی‌های فنی و ارزیابی وضعیت موجود سازه‌ها می‌باشد. همانگونه که از نام آن پیداست، سلسه روش‌هایی هستند که بدون آسیب رساندن به خود جسم در حال آزمایش، وضعیت موجود جسم را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. به طور کلی با استفاده از آزمایش‌های غیرمخرب می‌توان مشخصاتی نظیر یکنواختی، همگنی، تخلخل، مقاومت و عمق ترک‌های سطحی، عیوب ناشی از حملات مواد شیمیایی و آتش‌سوزی، مدول الاستیسیته، ضخامت بتن روی آرماتور ضخامت و نحوه آرایش آرماتورها را ارزیابی کرد. [۲]

هدف از انجام این پژوهش یافتن مقاومت فشاری و سایر مشخصات مکانیکی بتن سبک سازه‌ای با ترکیبی از روش‌های غیرمخرب با تقریب مناسب و قابل قبول می‌باشد. به این منظور مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتن سبک سازه‌ای توسط آزمایش‌های غیرمخربی نظیر آزمایش فراصوتی و چکش اشmitt ارزیابی شد.

۲- آزمایش‌های غیر مخرب:

۱-۲- روش فراصوتی: آزمایش بتن با سرعت پالس ماورای صوت (پالس فراصوتی)

در این روش با اندازه‌گیری سرعت پالس در نقاط مختلف سازه می‌توان به اطلاعات با ارزشی همچون مقاومت دقیق بتن دست پیدا کرد. این آزمایش غیرمخرب بر روی نمونه‌های بتن معمولی، بتن پیش‌تنیده، بتن پیش‌ساخته و سازه‌ها قابل اجرا می‌باشد. اصولاً هدف از این آزمایش بدست آوردن پارامترهای مدول دینامیکی، مدول الاستیسیته، ضریب پواسن، مقاومت فشاری، همگن بودن، تغییرات خواص بتن حاصل از گذشت زمان، خوردگی، سایش، نقایص بتن و غیره می‌باشد. مقدار سرعت پالس اندازه‌گیری شده توسط دستگاه فراصوتی به عواملی مانند: شکل و اندازه نمونه، دمای بتن، وجود آرماتور در بتن، طول مسیر اندازه‌گیری سرعت پالس و سن بتن بستگی دارد. [۳]

۲-۱- روش انجام آزمایش:

انجام آزمایش اولتراسونیک به سه روش امکان‌پذیر است: ۱- انتقال مستقیم (سطوح مخالف) ۲- انتقال نیمه مستقیم (سطوح مجاور) ۳- انتقال غیرمستقیم (در یک سطح).

اندازه‌گیری سرعت پالس در روش انتقال مستقیم مطلوب‌ترین آرایش قرارگیری مولدهاست زیرا مولد، گیرنده آن قسمت از پالس است که زودتر برسد و چون ارتعاشات طولی سریعتر می‌رسند حداکثر انرژی پالس‌ها منتقل و دریافت می‌شود، لذا تعیین دقت

سرعت پالس تابع دقت در اندازه‌گیری طول مسیر است و چنانچه طول مسیر با دقت اندازه‌گیری شود، سرعت پالس تعیین شده از دقت کافی برخوردار خواهد بود. بنابراین توصیه می‌شود در مواردی که امکان‌پذیر است این روش برای تعیین سرعت پالس استفاده شود. (روش مورد استفاده در این پژوهش)

۲-۲- آزمایش چکش بر جهندگی :

چکش اشمیت یکی از رایج‌ترین و پرمصرف‌ترین ابزارهای ضربه‌زنی است، که در صورت استفاده صحیح می‌تواند وسیله‌ای با ارزش باشد. اما بی‌دقتی و استفاده بدون تشخیص پارامترهای موثر می‌تواند به نتایج نادرستی منجر گردد. چکش اشمیت روشی سریع و کم هزینه و غیرمخرب هم در آزمایشگاه و هم در محل می‌باشد. این روش را نمی‌توان به عنوان جایگزین آزمایش مقاومت فشاری استاندارد استفاده نمود، بلکه روشی است در جهت تعیین یکنواختی بتن در سازه و یا مقایسه تغییر کیفیت بتن در نقاط مختلف یک سازه. این آزمایش نسبت به تغییرات موضعی در جنس بتن حساس می‌باشد، برای مثال، وجود ذرات درشت دانه، درست در زیرپیستون، سبب حصول نتیجه کم می‌شود. به علاوه انرژی‌ای را که بتن جذب می‌کند، با مقاومت و هم با سختی آن ارتباط دارد، به طوری که ترکیب مقاومت و سختی کنترل کننده بر جهندگی می‌باشد. آزمایش چکش بر جهندگی فقط خواص سطح بتن را می‌سنجد. به علت پراکندگی موضعی در سختی بتن در یک مساحت کوچک، عدد بر جهندگی باید در تعدادی از نقاط نزدیک به یکدیگر تعیین شوند و سپس از نتیجه آنها میانگین گرفته شود. [۳]

۳- بتن سبک:

بتن به عنوان مصالح برگزیده در صنعت ساختمان پرمصرف‌ترین ماده مصرفی بشر بعد از آب شناخته می‌شود. و با توجه به روند رو به رشد ساخت و ساز در کشور صنعت بتن از صنایع مهم کشور به شمار می‌آید. به خاطر مزایای عملی استفاده از بتن سبکدانه در سالهای اخیر، این بتن به عنوان یکی از مصالح سازه‌ای مهم شناخته شده و تقاضا برای استفاده از آن در حال افزایش است. مزایای استفاده از بتن سبک عبارتند از: کاهش بار مرده وارد بر سازه، مقاومت در برابر آتش سوزی، کاهش هزینه در مراحل نصب و جایجایی عناصر ساختمانی [۴]. بتن‌های سبک سازه‌ای دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می‌باشند، به گونه‌ای که می‌توان از آنها در اعضای سازه‌ای استفاده کرد. [۵]

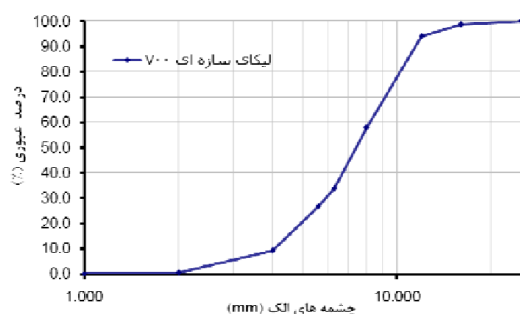
در سالیان اخیر نیز استفاده از بتن سبک در دال سقف ساختمانهای بلند مرتبه، عرشه پل‌های با دهانه‌های بلند و دیگر موارد مشابه و همچنین کاربردهای خاص مانند عرشه و پایه‌های دکل‌های استخراج نفت کاربرد فراوانی یافته است. [۶]

۴- مصالح مصرفی:

۴-۱- سیمان و آب: سیمان مورد استفاده در این پژوهش سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان قائن می‌باشد. برای ساخت نمونه‌ها از آب موجود در شبکه آبرسانی شهر زاهدان استفاده شده است.

۴-۲- سنگدانه: سبکدانه مورد استفاده در این پروژه از نوع لیکا (رس منبسط شده) محصول شرکت لیکا ایران با چگالی توده‌ای 670 kg/m^3 و چگالی دانه‌ای 1140 kg/m^3 انتخاب گردید. منحنی دانه‌بندی لیکای مورد استفاده در طرح مخلوط در شکل (۱)

نشان داده شده. ماسه مورد استفاده ماسه عبوری از الک شماره ۴ است که از شرکت ساروج تهیه شده و دارای چگالی توده‌ای 1650 kg/m^3 و چگالی دانه‌ای 2650 kg/m^3 می‌باشد.



شکل (۱): منحنی دانه‌بندی لیکا سازه‌ای ۷۰۰

۳-۴- فوق‌روان‌کننده مصرفی: در این پژوهش از یک فوق‌روان‌کننده با عنوان تجاری سوپر پلاست PCE محصول شرکت وند شیمی استفاده شده است که بدون نیاز به مصرف آب اضافی کارایی بتن را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد.

۵- طرح مخلوط :

با توجه به توصیه ACI 211.2 از روش نسبت‌های حجمی بر مبنای چگالی بتن تازه برای رسیدن به طرح مخلوط مطلوب استفاده شد. جهت صحت‌سنجی و اطمینان از درصدهای حجمی نسبت‌های اختلاط بنا به توصیه ACI 211.2 با شرکت تولیدکننده سبکدانه لیکا مشاوره انجام گرفت. و طرح مخلوط پیشنهادی شرکت لیکا برای دستیابی به بتن سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات طرح مخلوط بتن در جدول شماره (۱) موجود می‌باشد. (واحدها برحسب kg/m^3 می‌باشد).

جدول شماره (۱): طرح مخلوط‌های آزمایش شده در پروژه:

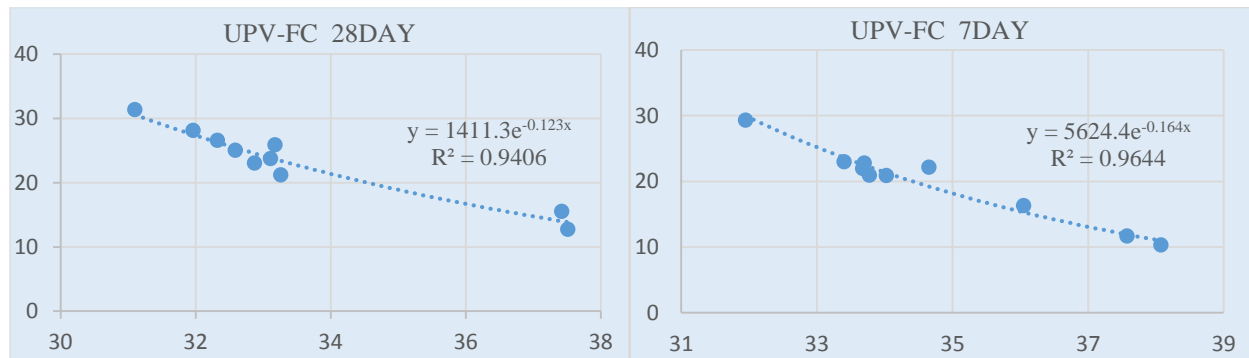
| شماره طرح | سیمان | آب اختلاط موثر | آب جذب شده لیکا | نسبت آب به سیمان | ماسه | سبکدانه | درصد روان‌کننده |
|-----------|-------|----------------|-----------------|------------------|------|---------|-----------------|
| 1 | 450 | 151 | 17 | ۰/۳۷ | 636 | 418 | ۱/۲ |
| 2 | 450 | 152 | 16 | ۰/۳۷ | 676 | 400 | ۱/۲ |
| 3 | 450 | 152 | 15 | ۰/۳۷ | 716 | 383 | ۱/۲ |
| 4 | 450 | 145 | 15 | ۰/۳۷ | 755 | 365 | ۱/۲ |
| 5 | 450 | 135 | 14 | ۰/۳۷ | 795 | 348 | ۱/۲ |
| ۶ | ۴۵۰ | ۱۵۰ | ۱۳ | ۰/۳۶ | ۸۳۵ | ۳۳۱ | ۱/۴ |
| 7 | 450 | 150 | 13 | ۰/۳۶ | 875 | 313 | ۱/۴ |
| 8 | 450 | 150 | 12 | ۰/۳۶ | 914 | 296 | ۱/۴ |
| 9 | 450 | 149 | 11 | ۰/۳۶ | 954 | 278 | ۱/۴ |
| 10 | 450 | 153 | 10 | ۰/۳۵ | 994 | 261 | ۱/۷ |

۶- مراحل ساخت و عمل آوری بتن:

برای ساخت بتن سبک سازه‌ای ابتدا با توجه به حجم مورد نیاز برای هر طرح مصالح شامل: مصالح سنگی، سیمان، آب و فوق روان کننده، وزن شده و آب جذبی لیکا (معادل ۴ درصد وزن لیکا) اضافه گردید. برای اختلاط بتن به ترتیب آب و فوق‌روان‌کننده و سیمان، ماسه و لیکا داخل مخلوط‌کن ریخته شد. پس از حصول اطمینان از رسیدن به مخلوط مطلوب، اقدام به تهیه نمونه‌های بتنی برای انجام آزمایشهای فراصوتی، چکش اشمیت و مقاومت فشاری شد.

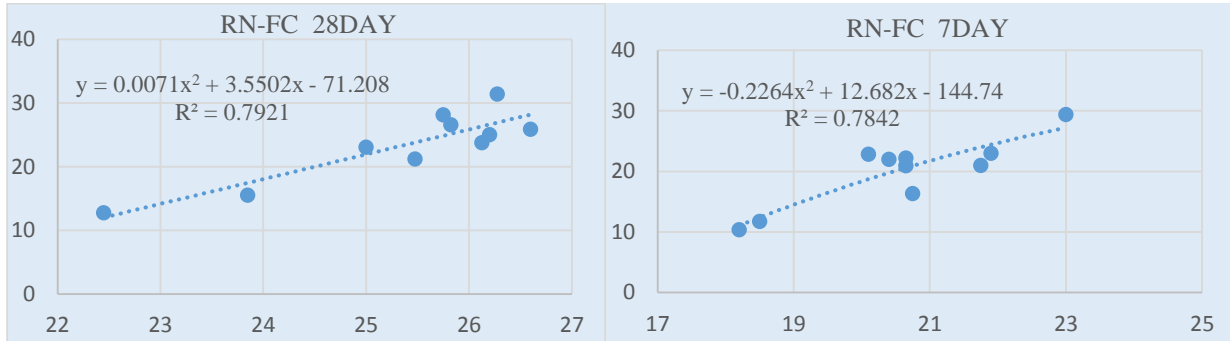
قالب مورد استفاده در این پژوهش قالب مکعبی به ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. ابتدا سطوح داخلی قالب‌ها با روغن مخصوص قالب چرب گردید، سپس بتن در سه مرحله درون قالب ریخته شد. پس از ریختن هر مرحله، قالب‌ها روی میز لرزه قرار گرفته و عملیات تراکم بصورت کامل انجام شد. در نهایت تمام قالب‌های پر شده از بتن وزن شده و در محیط کارگاه قرار داده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت تمام نمونه‌ها از قالب خارج و تا زمان آزمایش تحت عمل‌آوری قرار گرفت.

۷- تحلیل نتایج آزمایشهای مخرب و غیر مخرب روی نمونه های ساخته شده:



نمودار ۳: تغییرات نتایج آزمایش پالس فراصوتی نسبت به مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه و ۲۸ روزه

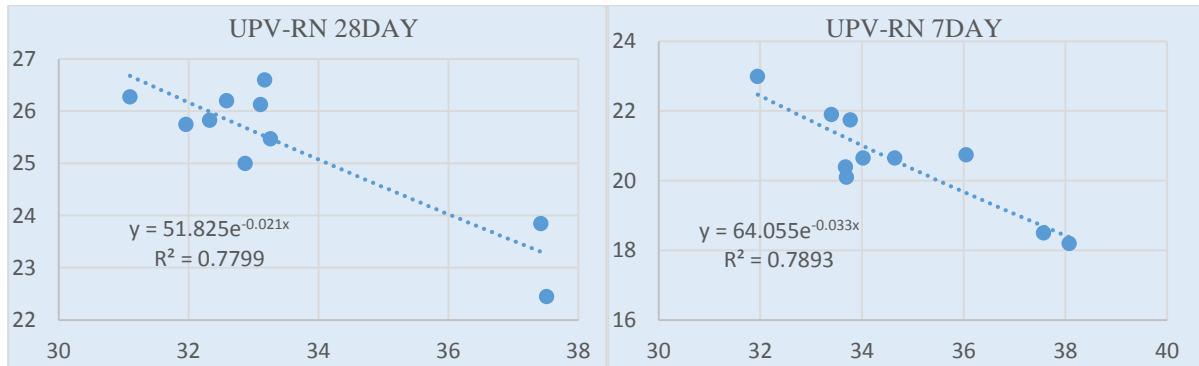
بر اساس تحقیقات، بهترین رابطه جهت برقراری ارتباط میان سرعت امواج فراصوتی و مقاومت فشاری را می‌توان به صورت توابع نمایی $Y = a * e^{bv}$ تخمین زد. که در آن Y : به عنوان پارامتر مورد ارزیابی a, b : پارامترهای استخراج شده از رگرسیون غیرخطی v : سرعت امواج برحسب Km/s می‌باشد. با تحلیل رگرسیون غیرخطی روی نتایج حاصل از آزمایش فراصوتی و مقاومت فشاری مقدار R^2 برابر با ۰/۹۶ برای نمونه‌های ۷ روزه و ۰/۹۴ برای نمونه‌های ۲۸ روزه بدست آمده که بیانگر قابل قبول بودن نتایج است.



نمودار ۴: تغییرات نتایج آزمایش چکش اشمیت نسبت به مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه

برای برقراری ارتباط میان اعداد بازگشت و مقاومت فشاری از رابطه $Y = aR^2 + bR + c$ استفاده شده است که در آن Y مقاومت فشاری، R عدد بازگشت و a, b, c ثابت‌های استخراج شده از رگرسیون غیرخطی می‌باشد.

R^2 بدست آمده از برازش ۰/۷۸ برای نمونه‌های ۷ روزه و ۰/۷۹ برای نمونه‌های ۲۸ روزه است که نسبتاً قابل قبول است.

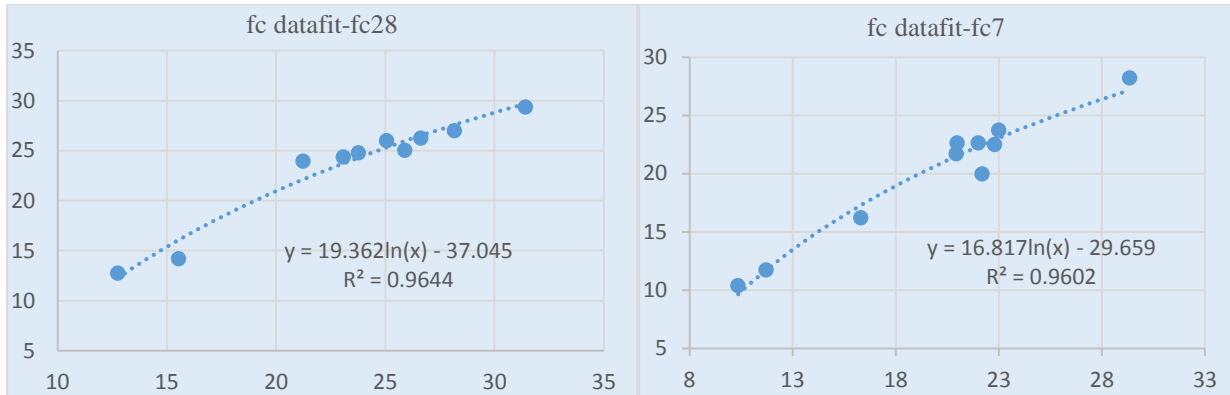


نمودار ۶: همبستگی نتایج حاصل از چکش اشمیت و آزمایش سرعت پالس فراصوتی نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه

همبستگی بین عدد آزمایش فراصوتی و چکش اشمیت در نمونه‌های ۷ روزه ۰/۷۸ و در نمونه‌های ۲۸ روزه ۰/۷۷ می‌باشد.

و نهایتاً از نرم‌افزار دیتافیت برای تحلیل دقیق داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد. پس از ترسیم نمودارهای مربوطه و آنالیز داده‌ها، نرم‌افزار تابع $Y = a + b \cdot \ln(x_1) + c \cdot \ln(x_2)$ را برای پردازش اطلاعات معرفی می‌کند. که بر اساس برازش منحنی‌ها برای نمونه‌های ۷ روزه $a = 344/98, b = -91/53, c = 4/51$ و برای نمونه‌های ۲۸ روزه $a = 202/14, b = 70/61, c = 21/38$ و R_2 ۰/۹۳ می‌باشد.

با استفاده از این نتایج می توان مقاومت فشاری بتن را تخمین زد و با مقاومت فشاری که در آزمایشگاه بدست آمده مقایسه نمود.



نمودار ۹ : همبستگی مقاومت فشاری نمونه‌ها نسبت به مقاومت فشاری حاصل از نرم افزار دیتافیت

تحلیل نتایج، همبستگی ۰/۹۶ برای نمونه های ۷ و ۲۸ روزه بین مقاومت فشاری بدست آمده از نرم افزار و مقاومت فشاری بدست آمده در آزمایشگاه را نشان می دهد.

نتیجه گیری:

- ۱- با افزایش مقاومت فشاری، عدد چکش اشمیت افزایش یافته و عدد آزمایش فراصوتی کاهش می یابد.
- ۲- نمونه های ۲۸ روزه همبستگی قابل قبول تری نسبت به نمونه های ۷ روزه دارند.
- ۳- آزمایش فراصوتی همبستگی بیشتری نسبت به چکش اشمیت با مقاومت فشاری داشت، بنابراین از نظر دقت و صحت نتایج، بهتر ارزیابی می شود.
- ۴- با توجه به اینکه با پردازش ترکیب نتایج آزمون های فراصوتی و چکش اشمیت با مقاومت فشاری نمونه های ۷ و ۲۸ روزه ضریب همبستگی ۰/۹۶ برای هر دو بدست آمد که تفاوت معناداری با نتایج روش فراصوتی ندارد بنابراین ترکیب این دو روش تاثیر چندانی در دقت پیش بینی مقاومت فشاری ندارد.

پیشنهادات:

- ۱- با توجه به مشکلات بسیار زیادی که در راه ساخت بتن سبک سازه ای بوجود آمد (برای ساخت نمونه های قابل قبول مجبور به سه بار تکرار آزمایش شدیم) و اهمیت استفاده از آن در صنعت ساختمان هنوز جا برای مطالعه و تحقیق روی طرح مخلوط و ساخت و عمل آوری بتن سبک سازه ای وجود دارد.
- ۲- به نظر می رسد با تحقیقات بیشتر و افزایش تعداد نمونه ها بتوان به نتایج بهتری دست یافت.

منابع:

- [۱] استاندارد آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن در سازه، آزمایش‌های مخرب و نیمه مخرب مجموعه استانداردها و پیشنهادهای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، شماره نشریه: ش ۳۱۶.
- [۲] معرفت، وحید، فتحی، مهدی، کرمانی، ابوطالب، سیدی، مسعود، انصاری، شعله، موافقی، امیر، ارزیابی پارامترهای بتن با روش غیرمخرب آزمایش سرعت پالس التراسونیک.
- [۳] واقفی، محمد، سعادت، سینا، ۱۳۸۹، بررسی عملکرد دستگاه‌های آزمون‌های غیرمخرب بتن، اولین کنفرانس بین‌المللی بتن‌های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، بهمن ماه، گیلان، ایران.
- [۴] یزدانی، م، اردکانی، ع، هدایتی، جواد، ۱۳۹۰، جایگاه بتن سبک در ایران و جهان، ضوابط آئین نامه ای و کاربرد، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران.
- [۵] دباغ، هوشنگ، اکبرپور، سوده، بابا مرادی، کوروش، ۱۳۹۴، بررسی منحنی تنش کرنش بتن سبک سازه‌ای، چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین، آبان ماه، یاسوج، ایران.
- [۶] بررسی سبکدانه لیکا سازه‌ای، ۱۳۸۶، انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [7] Satish Chandra, Leif Berntsson, Lightw eight Aggregate Concrete, شرکت لیکا، انتشارات دانشگاه تهران،
- [8] Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete (ACT 211.2-98) (Reapproved 2004).
- [9] Compressive Strengh evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method, اسم ها، J.Alexandre Bogas, M Gloria Gomes, Augusto Gomes (2013) DECivi (ICTST, Instituto superior Tecnicol University of bisbon, Av. Rovisco Pais, 1044-001 Lisbon, Portugal.