

DOI: 10.48303/bese.2024.2030853.1164

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

اندازه‌گیری مقاومت بتن با استفاده از آزمایش تنش‌های تخریبی انجام می‌گیرد. این آزمایش‌ها به دو صورت آزمایش‌های مخرب و غیر مخرب است. بر اساس این آزمایش‌ها که دربرگیرنده پارامترهای سازه‌ای هستند، می‌توان ارتباط مقاومت فشاری توسط منحنی‌های کالیبراسیون را انجام داد. در این پژوهش با توجه به شرایط عمل‌آوری بتن، در نظر نگرفتن درجه تراکم سازه، تغییرات در نوع و مقدار مصالح از پیمان‌های به پیمان‌های دیگر و عدم توجه به نحوه انتقال بتن، سرعت موج برشی زمین‌لرزه در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس روش غیر مخرب اولتراسونیک، سرعت امواج برای ارزیابی مقاومت بتن سخت شده مورد بررسی قرار گرفت و سرعت برشی در بتن محاسبه شد. امواج پالسی ماورای صوت در دو وجه بتن در ۲۸ روزگی در دو حالت خشک و مرطوب قرار داده شد. ماسه مورد استفاده از نوع رودخانه‌ای و شن شکسته از نوع ماسه‌سنگ بود. سیمان از تیپ ۲ انتخاب شد. ابعاد این بتن ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه فوق مقاومت فشاری کمتری را از خود نشان می‌دهد. در نتیجه هنگام وقوع زمین‌لرزه‌ای با $M_w \geq 7$ به علت عبور سرعت موج برشی از این نوع بتن، ساختمان‌های ساخته‌شده با این بتن پایداری از خود نشان نخواهند داد.

واژگان کلیدی: سرعت موج برشی، سازه، مقاومت بتن، زلزله، روش غیر مخرب اولتراسونیک.

بررسی مقاومت بتن سازه در مقابله با سرعت موج برشی ناشی از زلزله

زهرة سادات ریاضی راد

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی،

چالوس، ایران، zohrehriazirad@iaou.ac.ir

۱- مقدمه

واکنش دیوارها و نرده‌ها به زلزله کمک می‌کند. از آنجاکه بتن پیش‌ساخته مخلوط شده و در محل مونتاژ می‌شود، می‌توان محصولی با کیفیت بالا تولید کرد. دما و رطوبت می‌توانند در سطوح بهینه برای بالاترین مقاومت بتن نگه داشته شوند (American Precast Concrete INC, 2023).

مقاومت فشاری یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های بتن سخت شده است و ارزیابی کمی و کیفی اعضای سازه‌ای بتن‌آرمه از طریق تعیین مقاومت بتن با انجام آزمایش بر روی نمونه‌های استاندارد انجام می‌پذیرد. لیکن ممکن است این نمونه‌ها معرف مشخصات و خصوصیات واقعی بتن نباشد. روش‌های متعددی برای تخمین مقاومت فشاری بتن در محل ابداع شده است که بر اساس مکانیسم حاکم در این روش از روش غیر مخرب امواج

بتن مناسب‌ترین، بادوام‌ترین و مستحکم‌ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده در سراسر جهان است. بتن کل صنعت ساخت‌وساز را متحول کرده و امکان ساخت سازه‌های ساده تا پیچیده را در خشکی یا دریا فراهم کرده است. حتی تمام قطعات هسته‌ای با بتن ساخته شده‌اند تا از اثر تشعشع جلوگیری کنند. هیچ سازه‌ای نمی‌تواند در برابر زلزله مقاوم باشد اما می‌توانیم تأثیرات زمین‌لرزه را از طریق بتن مهار کنیم (Road, Housing & Urban Development Research Center, 2021). بتن پیش‌ساخته جزو مصالح ساختمانی عالی است. نحوه عملکرد دیوارهای بتنی پیش‌ساخته تحت بارهای لرزه‌ای تا حد زیادی به کیفیت بتن پیش‌ساخته و کیفیت طراحی آن بستگی دارد. مواد باکیفیت و استاندارد بالا، به تولید و بهبود نحوه

تأثیر گذار باشد. از بین آنها می توان به نوع روش، دقت، هزینه و زمان انجام آزمایش اشاره نمود. مقاومت فشاری یکی از مهم ترین مشخصه های بتن سخت شده است، ولی ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای سازه ای بتن آرمه از طریق تعیین مقاومت بتن با انجام آزمایش بر روی نمونه های استاندارد انجام می پذیرد.

در روش نیمه مخرب، با به جا گذاشتن تخریب جزئی در سازه که البته ساختار سازه ای را مختل نمی کند، می توان به نوعی مقاومت بتن را مورد ارزیابی قرار داد. تمام آزمایش هایی که به روش نیمه مخرب به کار می رود باعث به وجود آوردن خسارت کوچکی در سازه می گردد. در این روش پارامتری، اندازه گیری می شود که با مقاومت بتن در ارتباط باشد و منحنی کالیبراسیون برای این دسته از آزمایش ها نسبت به متغیرهایی که وابسته به وضعیت بتن و نسبت های اختلاط است، از حساسیت کمتری برخوردار است.

روش غیر مخرب، باعث آسیب یا تأثیر منفی بر روی عضو سازه ای نمی شود و امکان دسترسی به پارامتر یا پارامترهایی که از ویژگی های به کار رفته در عضو سازه ای است را فراهم می کند. توسط آزمایش های غیر مخرب، می توان با استفاده از نمودار کالیبره، مقاومت عضو سازه ای و تغییرات در خواص مصالح را نسبت به زمان با تکرار آزمایش ها برای عضو و بدون برجا گذاردن اثر تخریب بر سازه به دست آورد. این روش به طور معمول، سریع و با هزینه کم انجام می شود. در این روش به سازه بتنی بعد از انجام آزمایش آسیبی نخواهد رسید و از نتایج آن می توان برای بازبینی تغییرات مشخصات سازه، با گذشت زمان نیز استفاده کرد (Nike et al., 2003).

بهترین روش در این حالت، روش غیر مخرب اولتراسونیک است. در این روش سرعت امواج به عنوان روش غیر مخرب برای ارزیابی مقاومت بتن سخت شده مورد بررسی قرار می گیرد و سرعت برشی در بتن محاسبه می شود. بنابراین در این مطالعه ابتدا مصالح بتن و روش های تولید بتن معرفی می شود و پارامترهای مؤثر بر تولید بتن و نقش آن در تعیین مقاومت بررسی می گردد. روش های غیر مخرب سرعت امواج اولتراسونیک تشریح

اولتراسونیک استفاده می شود. آزمایش با دستگاه pundit انجام می گیرد. مبدل فرستنده در تماس با دو وجه بتن قرار می گیرد و ارتعاشات پس از عبور از بتن توسط مبدل گیرنده دریافت می شود. مقاومت فشاری بتن برحسب مگاپاسکال و سرعت امواج اولتراسونیک برحسب کیلومتر بر ثانیه است (Parhizkar et al., 2009). پاسخ سازه به شرایط بتن ساخته شده بر اساس روش های اکتشافی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بتن سنگین تر موج برشی کمتری را نسبت به حالت بتن سبک تر از خود عبور می دهد (Dhakal et al., 2005). تغییرات بتن با اضافه کردن چوب به بتن نیز مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده افزایش سرعت امواج ناشی از زلزله، حین عبور از بتن فوق است (Khalilitabas et al., 2009). بررسی موج برشی در بتن خشک، مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج ناشی از آن نشان داد که سرعت موج می بایست در حالت مرطوب نیز مورد بررسی قرار گیرد (Riazi Rad & Kazemi Jeliseh, 2011). تأثیر سرعت موج برشی ناشی از زلزله بر مقاومت بتن سازه در دو حالت خشک و مرطوب برای سازه های شهر قزوین مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که در هر دو حالت این مقدار با اختلاف $\pm 1/5$ کیلومتر بر ثانیه در بتن خود را نشان می دهند (Riazi Rad, 2024). پژوهش اخیر بر اساس روش غیر مخرب امواج اولتراسونیک، به بررسی مقاومت بتن در مقابل با امواج لرزه ای پرداخته شده است. طبق نتایج به دست آمده از این آزمایش می توان به بررسی سازه های واقع در شهر پرداخت تا مشخص شود که بتن های به کار رفته در بعضی از سازه های مهم شهر در مقابل چه زمین لرزه هایی مقاومت می کنند.

۲- روش کار

روش های متعددی اعم از روش های نیمه مخرب و غیر مخرب به منظور تخمین مقاومت بتن در سازه وجود دارد. این روش ها به صورت مستقیم و غیر مستقیم مقاومت بتن را مورد ارزیابی قرار می دهند. در انتخاب روش مناسب در ارزیابی مقاومت فشاری بتن سخت شده پارامترهای زیادی می توانند

صاف و هموار می‌گردد (شکل ۱-ب). نمونه آماده شده ۲۴ ساعت بدون حرکت در محل پروژه باقی می‌ماند. نمونه‌ها در داخل آزمایشگاه حمل می‌شوند. پس از باز شدن از قالب‌ها در خارج و داخل حوضچه‌های عمل‌آوری قرار می‌گیرند تا در مدت معین تعیین مقاومت شود. نمونه‌های مورد نظر در طی شش مرحله آماده‌سازی می‌گردند (Rahaiee & Nemati, 2002). در مرحله اول، ابعاد نمونه‌ها به وسیله خط کش فلزی اندازه گرفته می‌شود. مرحله دوم، وزن اولیه آن به وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله سوم، برای ثابت نگاه داشتن تأثیر دما بر مقاومت بتن، پنج نمونه را در دمای $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و مدت زمان ۲۴ ساعت در داخل حوضچه آبی نگهداری می‌کنند و برای اینکه بتن به حالت اشباع برسد، بعد از بیرون آوردن بتن از داخل حوضچه، آب وزن نمونه اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۲). سپس این نمونه بتن را در داخل کوره 105°C درجه سانتی‌گراد قرار داده و ۲۴ ساعت دیگر به کمک ترازو وزن می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل (۱): (الف) ریختن بتن در قالب و هواگیری کردن. (ب) صاف کردن سطح روی قالب‌ها توسط خط‌کش فلزی. تاریخ نمونه‌گیری ۰۲/۱۴/۱۴ پل باهنر قزوین.

می‌شود و با استفاده از روابط به دست آمده سرعت موج برشی در بتن محاسبه می‌گردد. برای ارتباط سرعت موج برشی در بتن با چگالی و مقاومت، روابط همبستگی، تعیین گردید. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش، سرعت عبور امواج اولتراسونیک و آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی و رابطه‌ای به کمک روش برازش منحنی به شیوه کمترین مربعات مورد تحلیل قرار می‌گیرد. مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف محاسبه شده و همچنین سرعت موج برشی در این نوع بتن اندازه‌گیری می‌شود.

این پژوهش در آزمایشگاه بتن و مکانیک خاک به مدت تقریباً دو ماه انجام شده است. برای اندازه‌گیری سرعت امواج اولتراسونیک نیاز به زمان ۲۸ روزه است (MoustofiNejhad, 1998). برای رسیدن به نتیجه مطلوب، تمام آزمایش‌ها در دو حالت خشک و مرطوب انجام گرفت. از بین انواع بتن، بتنی که به صورت سخت شده است، انتخاب می‌شود. معمولاً نمونه انتخابی معرف مشخصات و خصوصیات واقعی بتن در بعضی مواقع نیست (Road, Housing & Urban Development Research Center, 2002). مصرفی می‌بایست در یک مترمکعب از طرح اختلاط تهیه شود (Ramezani et al., 2002). ماسه مصرفی از نوع رودخانه‌ای و شن شکسته از نوع ماسه‌سنگ و سیمان از نوع تیپ ۲ است. از مخلوط بتنی به ابعاد ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش مقاومت فشاری و آزمایش غیر مخرب سرعت امواج اولتراسونیک استفاده می‌شود.

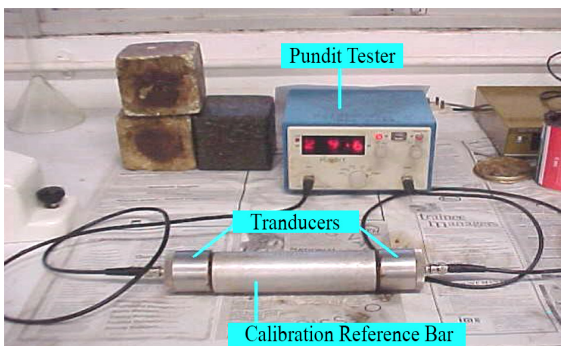
۳- مراحل نمونه‌گیری از بتن تازه

ابتدا سطح قالب‌های نمونه‌گیری روغن کاری می‌شود. قالب روی سطح صاف و مسطح قرار داده می‌شود. بتن به خوبی مخلوط شده و به ارتفاع $1/3$ داخل قالب ریخته می‌شود. قالب‌ها در سه مرحله از نمونه پر می‌شوند. سپس قالب‌ها توسط چکش لاستیکی با ضربه زدن به دیواره‌های قالب، هواگیری می‌گردند (شکل ۱-الف). سطح روی قالب‌ها توسط خط‌کش فلزی کاملاً

۴- به دست آوردن سرعت امواج اولتراسونیک

پالس های ماورای صوت با اعمال یک تغییر ناگهانی پتانسیل از یک فرستنده محرک به یک کریستال پیزوالکتریک مبدل که ارتعاشی با فرکانس اصلی خود صادر می نماید، توسط این دستگاه ایجاد می شود (Sobhani & Ramezanpour, 2009). مبدل فرستنده در تماس با دو وجه بتن قرار می گیرد و ارتعاشات، پس از عبور از بتن توسط مبدل گیرنده دریافت می شود. آزمایش سرعت امواج پالسی ماورای صوت شامل اندازه گیری زمان حرکت امواج از میان بتن و تعیین سرعت عبور آن می باشد.

بدین ترتیب که زمان حرکت از لحظه تولید موج و دریافت آن با وسیله دستگاه گیرنده، به طور الکتریکی انجام می شود. با تقسیم طول طی شده (فاصله بین دستگاه فرستنده و گیرنده) بر زمان اندازه گیری شده، سرعت عبور امواج تعیین می گردد (Alizadeh & Madandoust, 2009). بر اساس نتایج سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری نمونه های استاندارد، منحنی کالیبره تهیه می گردد (شکل ۳).



شکل (۳): دستگاه آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک.



شکل (۲): حوضچه آب برای رسیدن به حالت اشباع.

در مرحله پنجم، نمونه بتن در داخل آب به مدت ۲۸ روز قرار می گیرد. هیچ گونه اهمیت عملی در انتخاب عمر ۲۸ روزه وجود ندارد بلکه توجه ساده آن در این است که چون روند کسب مقاومت سیمان کند است، توصیف مقاومت باید بر اساس بتنی باشد که در آن بخش عمده ای از هیدراسیون سیمان اتفاق افتاده است (هیدراسیون: فرایند شیمیایی گرمایابی که در آن پودر سیمان با آب واکنش داده و تبدیل به ماده سختی شده که سبب چسبندگی دانه های سنگی به هم می شود). در آخر بعد از ۲۸ روز نمونه بتن را از حوضچه آب بیرون آورده و وزن آن به کمک ترازو اندازه گیری می شود. در داخل دستگاه جک بتن شکن قرار داده و مقاومت بتن محاسبه می گردد. این دستگاه دارای دو تکیه گاه فوقانی و تحتانی است و نمونه بتن در داخل این دو مهار می شود. تکیه گاه تحتانی ثابت و فوقانی متحرک است. مقدار بار اعمال شده نیز توسط گیج مدرجی قابل تعیین است. البته برخی از جک ها از نوع دیجیتال هستند. کلیه مراحل آزمایش در منطقه قزوین در بتن های ۵ منطقه به شرح جدول (۱) انجام گرفت.

جدول (۱): آزمایش روش آزمون بر روی نمونه بتن به ابعاد ۱۵ در ۱۵ در ۱۵ سانتی متر در منطقه.

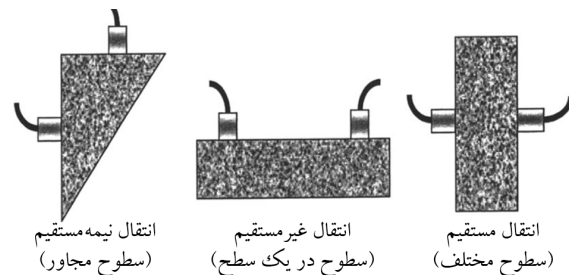
شماره نمونه	محل پروژه در شهر قزوین	وزن اولیه (گرم)	وزن اشباع (گرم)	وزن خشک (گرم)	حجم نمونه (سانتی متر مکعب)	چگالی ρ	مقاومت ۲۸ روزگی (مگاپاسکال)	نیرو k.f	تاریخ نمونه گیری
۱	پل باهنر	۷۳۵۰	۷۵۲۰	۷۰۸۰	۳۳۷۵	۲/۰۹	۵۵	۱۹۶۷۰	۱۴۰۲/۰۶/۱۴
۲	دادگاه خانواده	۷۶۶۰	۷۷۲۰	۷۱۰۰	۳۳۷۵	۲/۱۰	۵۳	۵۵۳۱۰	۱۴۰۲/۰۶/۱۶
۳	ساختمان میرزایی	۷۸۹۰	۷۹۱۰	۷۴۲۰	۳۳۷۵	۲/۱۹	۷۵	۷۵۵۲۰	۱۴۰۲/۰۶/۱۶
۴	پل خوابگاه	۷۷۰۰	۷۸۳۰	۷۲۴۰	۳۳۷۵	۲/۱۴	۷۴	۵۱۸۲۰	۱۴۰۲/۰۶/۱۶
۵	هتل سبز	۷۶۲۰	۷۶۹۰	۷۱۶۰	۳۳۷۵	۲/۱۲	۷۸	۴۲۶۲۰	۱۴۰۲/۰۶/۲۶

۴-۱- روش‌های انتقال امواج

ارزیابی سرعت امواج بستگی به روش‌های انتقال امواج و دریافت آن دارد. یعنی مولد گیرنده آن دسته از امواج را جستجو می‌کند که سریع‌تر به آن برسد.

نحوه قرارگیری مولدها به صورت‌های مختلف به شرح زیر می‌باشد (Raiss Ghasemi & Parhizkar, 2006).

روش انتقال مستقیم: مناسب‌ترین وضعیت برای انتقال امواج در بتن به صورت انتقال مستقیم است که در شکل (۴) نشان داده شده است. در این روش حداکثر انرژی امواج منتقل و دریافت می‌شود. برای اهداف عملی، این روش که فرستنده و گیرنده در دو سطح مقابل هم قرار می‌گیرند روش موفقیت‌آمیزتری است زیرا مسیر امواج به خوبی تعریف می‌شود و با داشتن طول مسیر امواج، سرعت امواج در بتن محاسبه می‌گردد.



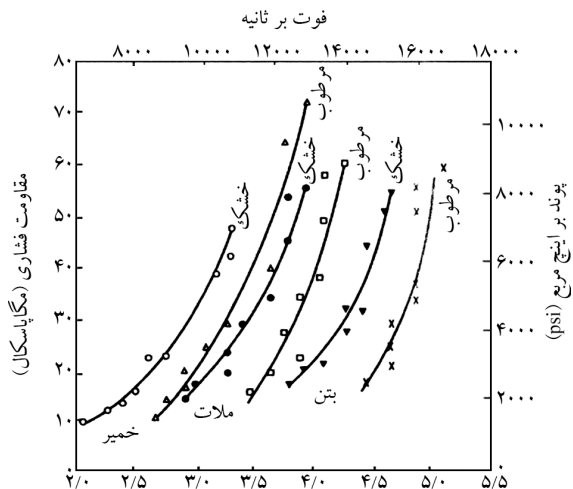
شکل (۴): روش‌های انتقال امواج (Raiss Ghasemi & Parhizkar, 2006).

روش انتقال نیمه مستقیم: در موردی که دسترسی به دو سمت عضو امکان‌پذیر نیست، از این روش استفاده می‌شود، نباید فاصله مولدها چندان زیاد باشد، زیرا امکان عدم دریافت امواج وجود دارد. برای تعیین طول مسیر باید فاصله بین مراکز مولدها اندازه‌گیری شود. این روش اندازه‌گیری از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است.

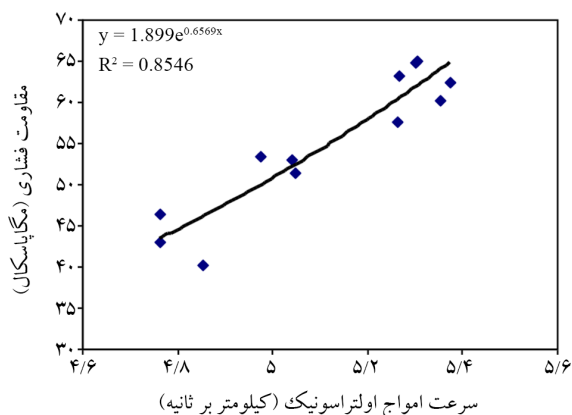
روش انتقال غیر مستقیم: سرعت امواج در روش غیر مستقیم کمتر از سرعت در روش مستقیم در همان عضو سازه‌ای است. این اختلاف بسته به کیفیت بتن بین ۵ تا ۲۰ درصد است. در روش غیر مستقیم، اندازه‌گیری طول دقیق مسیر انتقال، همراه با عدم قطعیت است؛ بنابراین برای دقت بیشتر بایستی یک سری اندازه‌گیری با تغییر دادن وضعیت مولدها انجام شود. نحوه عمل

به این صورت است که ابتدا محل فرستنده ثابت نگه داشته می‌شود و محل مولد گیرنده در فواصل معین و در طول یک خط تغییر می‌یابد. هر بار که محل مولد تغییر می‌کند زمان انتقال موج اندازه‌گیری می‌شود. فاصله بین دو مولد در محور X و زمان‌های انتقال پالس بر روی محور Y، ترسیم می‌گردد. در واقع شیب خط بر اساس نمودار برابر با سرعت موج است. چنانچه خط رسم شده ناپیوسته و یا غیرمستقیم باشد نشانه وجود ترک در لایه سطحی بتن است.

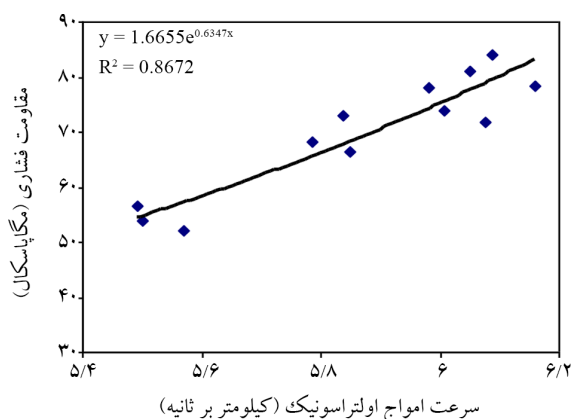
وجود حفره‌ها، تأثیر قابل توجهی بر روی مقاومت بتن دارند. زمانی که تراکم و در نتیجه مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد، سرعت امواج نیز کاهش می‌یابد. میزان کاهش در مقاومت و سرعت امواج به دلیل وجود حفرات، مورد بررسی قرار گرفت (Nike et al., 2003). نتایج مطالعه فوق نشان می‌دهد که حفرات موجود در بتن به دلیل تراکم ناکافی، تأثیر کمتری بر روی سرعت امواج نسبت به تأثیر بر روی مقاومت بتن دارند. شکل (۵) تأثیر ریزترک‌ها بر مسیر عبور امواج اولتراسونیک را نشان می‌دهد. سرعت پالس اولتراسونیک در بتن از زمان طی شده توسط پالس اولتراسونیک برای آنکه از میان خمیر سیمان و سنگ‌دانه بگذرد به دست می‌آید. مدول الاستیسیته سنگ‌دانه‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای متغیر است به طوری که سرعت پالس اولتراسونیک در بتن به مدول الاستیسیته سنگ‌دانه‌های به کار رفته



شکل (۵): رابطه بین سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری برای انواع بتن و ملات و خمیر (Nike et al., 2003).



شکل (۶): رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت عبور امواج اولتراسونیک بر حسب کیلومتر بر ثانیه برای نمونه‌های خشک.



شکل (۷): رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت عبور امواج اولتراسونیک بر حسب کیلومتر بر ثانیه برای نمونه‌های مرطوب.

منحنی کالیبره‌ای به منظور تخمین مقاومت بتن با استفاده از سرعت امواج اولتراسونیک در حالت خشک که با ضریب همبستگی 0.8672 و برای نمونه‌های نگهداری شده در شرایط مرطوب با ضریب همبستگی 0.8546 به دست آمد.

شکل‌های (۸) تا (۱۰) برای نمونه‌های نگهداری شده در شرایط محیط آزمایشگاهی نشان داده شده است. از مقایسه این دو نمودار مشاهده می‌گردد که درصد رطوبت تأثیر زیادی در تخمین مقاومت فشاری دارد. به طوری که اگر کالیبراسیون بر روی نمونه‌های مکعبی‌تر صورت گیرد، مقاومت سازه کمتر از مقدار واقعی تخمین زده خواهد شد. بر اساس میزان خطای به دست آمده بر مبنای ۹۵ درصد، حدود اطمینان برای نمونه‌های بتن نگهداری شده در شرایط مرطوب و محیط

و همچنین مقدار آنها در مخلوط بستگی خواهد داشت. لذا هیچ گونه رابطه واحدی بین سرعت پالس اولتراسونیک و مقاومت بتن وجود ندارد.

به طور کلی سرعت پالس الکترونیک در بتن به مدول الاستیسیته سنگ‌دانه‌های به کار رفته و همچنین مقدار آنها در مخلوط بستگی خواهد داشت. لذا هیچ گونه رابطه واحدی بین سرعت پالس اولتراسونیک و مقاومت بتن وجود ندارد. رابطه بین سرعت امواج و مقاومت به عواملی مانند سن بتن، شرایط عمل آوری، شرایط رطوبت، نسبت‌های مخلوط (نسبت سنگ‌دانه و نسبت آب به سیمان) و نوع سنگ‌دانه و سیمان بستگی دارد. در واقع این نقص اساسی، ویژگی کلیه آزمایش‌های غیر مخرب است که خاصیتی از بتن که سنجیده می‌شود تحت تأثیر عوامل مختلف قرار دارد. لذا ضرورت دارد که برای تخمین مقاومت، بین مقاومت و سرعت عبور امواج بر حسب نوع مورد آزمایش، رابطه‌ای برقرار نمود.

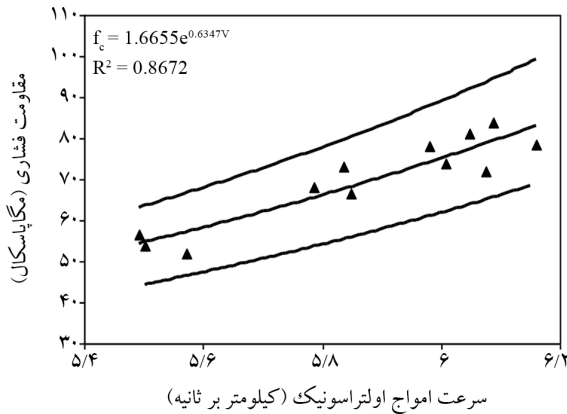
۵- رابطه‌ای متحد بین روش‌های غیر مخرب و مقاومت فشاری بتن توانمند

بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش و آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی، رابطه زیر به کمک روش برازش منحنی به شیوه کمترین مربعات مورد تحلیل قرار گرفت (Sobhani & Ramezanzpour, 2008).

$$f_c = ae^{bv} \quad (1)$$

رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت عبور امواج اولتراسونیک در شرایط عمل آوری خشک و مرطوب در تعدادی از نمونه‌های مکعبی استاندارد با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر در شکل‌های (۶) و (۷) آمده است. با استفاده از برازش، منحنی کالیبره‌ای به منظور تخمین دقیق‌تر مقاومت بتن توانمند با استفاده از روش تعیین سرعت عبور امواج اولتراسونیک به دست آمده است.

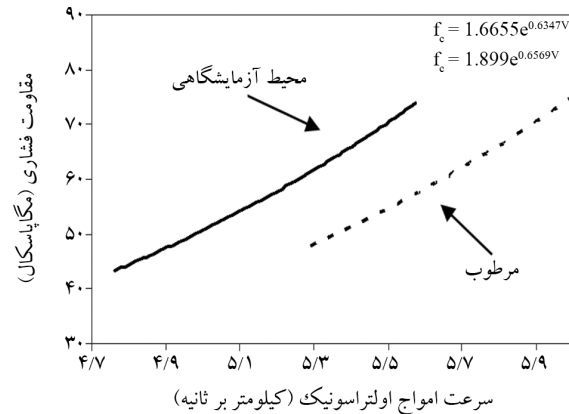
ارتباط بین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن (شامل نمونه‌های خشک و مرطوب) و سرعت امواج اولتراسونیک بدون در نظر گرفتن شرایط عمل آوری ارائه شده است و با استفاده از برازش،



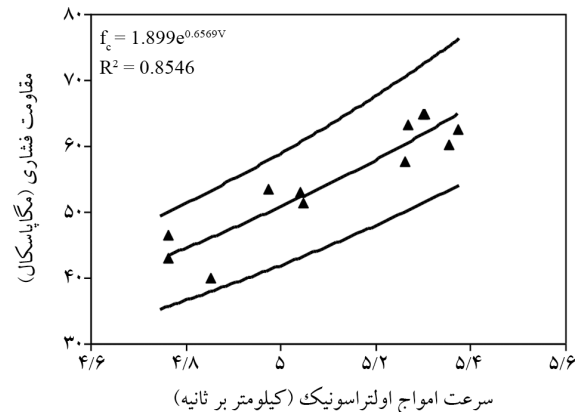
شکل (۱۰): ارتباط سرعت امواج و مقاومت فشاری در نمونه‌های مرطوب.

استفاده از روش سرعت امواج اولتراسونیک، بهترین روش تخمین مقاومت بتن است، درصد رطوبت تأثیر بسزایی در نتیجه آزمایش دارد. به طوری که اگر در تهیه منحنی کالیبراسیون مد نظر قرار نگردد، میزان درصد اطمینان به شدت کاهش می‌یابد (Family et al., 2009). هرچه سرعت موج برشی در مواد متشکل ساختمانی بیشتر باشد، مقاومت در مقابل زمین لرزه بهتر است (Sobhani & Ramezani, 2009). در این پژوهش، با افزایش مقاومت فشاری، سرعت امواج اولتراسونیک در حالت خشک و مرطوب افزایش می‌یابد که در حالت خشک به ۵/۴ کیلومتر بر ثانیه و در حالت مرطوب حداکثر سرعت به ۶/۱۵ کیلومتر بر ثانیه می‌رسد. مقاومت فشاری یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های بتن است و به دلیل اینکه بتن، معمولاً برای تحمل بارهای فشاری طراحی می‌شود، بنابراین تعیین مقاومت فشاری آن دارای اهمیت زیادی است.

آزمایشگاهی، به ترتیب به میزان ± 17 و ± 18 درصد به دست آمد. میانگین پراکندگی نتایج آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک برای نمونه‌های بتن نگهداری شده در شرایط مرطوب و محیط آزمایشگاهی به ترتیب به میزان ۲/۶ و ۲/۹ درصد به دست آمد. نتایج این مطالعه در جدول (۲) آمده است.



شکل (۸): ارتباط بین سرعت امواج و مقاومت فشاری در نمونه خشک و مرطوب.



شکل (۹): ارتباط سرعت امواج و مقاومت فشاری در نمونه‌های خشک.

جدول (۲): مقاومت نسبی نمونه‌های مکعبی در سن ۲۸ روزه و به دست آوردن مقاومت مکعب و سرعت امواج اولتراسونیک.

سن (روز)	طول (سانتی‌متر)	عرض (سانتی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	وزن (گرم)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	مقاومت فشاری در حالت خشک (مگاپاسکال)	سرعت موج خشک (کیلومتر بر ثانیه)	مقاومت فشاری در حالت مرطوب (مگاپاسکال)	سرعت موج مرطوب (کیلومتر بر ثانیه)
۲۸	۱۵	۱۵	۱۵	۷۵۲۰	۲/۰۹۱	۴۲	۴/۷۸	۵۵	۵/۵
۲۸	۱۵	۱۵	۱۵	۷۷۲۰	۲/۱۰۲	۴۰	۴/۸۲	۵۳	۵/۵۷
۲۸	۱۵	۱۵	۱۵	۷۹۱۰	۲/۱۹۲	۵۲	۵/۰۴	۷۵	۵/۸۲
۲۸	۱۵	۱۵	۱۵	۷۸۳۰	۲/۱۴۴	۵۵	۵/۲۳	۷۴	۶/۰۲
۲۸	۱۵	۱۵	۱۵	۷۶۹۰	۲/۱۲۳	۶۲	۵/۳۸	۷۸	۶/۱۷

۶- نتیجه گیری

ادارات دانشگاه آزاد اسلامی قزوین انجام شده است. در اینجا از زحمات جناب آقای مهندس محمد شه‌بندگان و خانم مهندس هنگامه جلیسه کاظمی تشکر و قدردانی می‌گردد.

استفاده از روش سرعت امواج اولتراسونیک در روش غیر مخرب، بهترین روش ارزیابی مقاومت بتن است. درصد رطوبت تأثیر بسزایی در نتیجه آزمایش دارد به طوری که اگر در تهیه منحنی کالیبراسیون درصد رطوبت مد نظر قرار نگیرد میزان درصد اطمینان به شدت کاهش می‌یابد. با افزایش سن بتن در تمام شرایط سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن افزایش می‌یابد. با افزایش سن بتن مقاومت آن افزایش می‌یابد. بیشترین روند رشد در سنین ۱ تا ۲۸ روزگی اتفاق می‌افتد و بعد از آن روند رشد مقاومت کاهش می‌یابد. در این پژوهش با افزایش مقاومت فشاری، سرعت امواج اولتراسونیک در حالت خشک و مرطوب افزایش می‌یابد.

References

مراجع

American Precast Concrete INC. (2023). *Is Precast Concrete Earthquake-Resistant?* <https://www.americanprecastfences.com/>

Alizadeh, R., & Madandost, R. (2009). *Comparison of Non-Destructive and Semi-Destructive Methods in Assessing the Strength of Reinforced Concrete* [Master's thesis]. Gilan University (in Persian).

Dhakal, R. P., Pan, T.-C., Irawan, P., Tsai, K. C., Lin, K. C., & Chen, C. H. (2005). Experimental study on the dynamic response of gravity-designed reinforced concrete connections. *Engineering Structures*, 27(1), 75-87.

Family, H., Parhizkar, T., & Raiees Ghasemi, A. M. (2009). Using simpge paste and saryazdi international mortar tests results to optimize self consolidating concrete mix design. *3rd International Development Conference on Concrete*, Tehran, Iran.

Khalilitabas, M., Khorrami, J., & Sobhani, I. (2009). Effects of wood-pulp fibers on the concrete and mechanical properties of cement composites. *3rd International Development Conference on Concrete*, Tehran, Iran.

Maleki, M., & Riazi Rad, Z. S. (2022). Application of Bayesian theory in seismology, case study: The north and north-west of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 17(1), 1-20.

Mostofinejhad, D. (1998). *Technology and Design of Concrete Mixing*. Nashr (in Persian).

Naik, T. R., Malhotra, V. M., & Popovics, J. S. (2003). The ultrasonic pulse velocity method. In V. M. Malhotra & J. H. Carino (Eds.), *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete* (2nd ed., 8-1 and 8-19). CRC Press.

Parhizkar, T., Raiees Ghasemi, A.M., Pourkhorshidi, A.R. (2009). High performance concrete for repair of sewer network. *3rd International Conference on Concrete and Development*, Iran.

Rahaie, A. R., & Nemat, S. (2004). *Evaluation of*

با استفاده از روش اولتراسونیک جهت ارزیابی مقاومت بتن به کمک منحنی کالیبره از طریق مطالعه سرعت امواج اولتراسونیک با مقاومت فشاری دنبال و مشاهده می‌گردد که بین دو پارامتر سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری مکعبی در دو شرایط عمل‌آوری خشک و مرطوب، رابطه خطی و همبستگی نسبتاً خوبی برقرار است.

با توجه به اینکه حجم نمونه در کل نمونه‌های مورد استفاده در محل‌های پروژه یکسان در نظر گرفته شد، بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های مورد نظر، نمونه پل باهنر به عنوان کم‌مقاومت‌ترین سازه در بین بقیه سازه‌های مورد مطالعه، تعیین شد. با توجه به آیین‌نامه ۲۸۰۰ پی‌یود ساختگاه با در نظر گرفتن ارتفاع پل، $T = 0.1$ (s) به دست می‌آید. همچنین با استفاده از داده‌های سایت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۲۰۲۲)، شتاب افقی برای دوره بازگشت ۵۰ سال $2/66E+0/2g$ تعیین شد (Maleki & Riazi Rad, 2022) که با این شتاب، این سازه در مقابل زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۷، تخریب خواهد شد که نیاز به مقاوم‌سازی دارد.

قدردانی

این مقاله با کمک آزمایشگاه فنی مکانیک خاک مجتمع

Performance and Retrofitting Methods. Isatis (in Persian).

Raiss Ghasemi, A. M., & Parhizkar, T. (2006). Comparative Study of Concrete Surface Treatment, Ghoddousi of FIB, materials on reinforcing steel corrosion behavior. *2nd International Congress Naples*, Italy.

Ramezani, A. A., Ahmad, S. H., & Shah, S. P. (2004). *Strong Concretes and Their Applications*. Shahid Rajaie University (in Persian).

Road, Housing & Urban Development Research Center. (2002). *Standard tests to determine the strength of concrete in the structure*. Road, Housing & Urban Development Research Center (in Persian).

Road, Housing & Urban Development Research Center. (2021). *Iranian Concrete Code Volume I Analysis and Design No. 120-1*. Plan and Budget Organization (in Persian).

Riazi Rad, Z. S. (2024). The effect of shear wave velocity for earthquake on the strength of structural concrete. *9th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE 9)*, Tehran, Iran (in Persian).

Riazi Rad, Z. S., & Kazemi Jeliseh, H. (2011). Investigation of shear waves in concrete. *The First Geological Conference of Iranian Plateau*, Zarand, Iran (in Persian).

Sobhani, J., & Ramezani, A. A. (2008). Service life prediction, chloride laden environments using fuzzy random variables. *3rd International Bridge Conference*, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.

Sobhani, J., & Ramezani, A. A. (2009). A sensitivity analysis on the chloride-induced concrete and development initiation time of RC elements. *3rd International Development Conference on Concrete*, Tehran, Iran.

Investigating the Concrete Resistance of Construction for Shear Wave Velocity Caused by Earthquakes

Zohreh Sadat Riazi Rad

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Chalous branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran, zohrehriazi@iauc.ac.ir

Compressive strength is one of the most important characteristics of concrete, which can be understood by conducting tests on standard samples. Concrete is the most suitable, durable, and strong building material worldwide. Concrete has revolutionized the entire construction industry and made it possible to build simple to complex structures on land or sea. No structure can resist earthquakes, but we can control the effects of earthquakes through concrete. Precast concrete is an excellent building material. The performance of precast concrete walls under seismic loads largely depends on the quality of precast concrete and its design. High-quality materials and high production standards help to improve the way walls and fences react to earthquakes. A high-quality product can be produced because precast concrete is mixed and assembled on-site. Temperature and humidity can be maintained at optimal levels for the highest concrete strength.

Compressive strength is one of the most critical characteristics of hardened concrete. Evaluating reinforced concrete structural members involves determining concrete strength through tests on standard samples, both quantitatively and qualitatively. However, these samples may not represent the natural characteristics of concrete. Several methods have been devised to estimate the compressive strength of concrete in place. The non-destructive method of ultrasonic waves is used based on the prevailing mechanism. The test is done with the pundit device. The transmitting transducer is placed in contact with both faces of the concrete, and the vibrations are received by the receiving transducer after passing through the concrete. The compressive strength of concrete is in MPa, and the velocity of ultrasonic waves is in km/s.

In this research, the shear wave velocity of earthquakes in concrete has been investigated. The study considers the conditions of concrete processing, changes in the type and amount of materials from one unit to another, and the concrete transfer method. The structure's compaction level is not considered. It is necessary to create destructive stresses to determine the strength of concrete, and in this study, non-destructive tests were used. The relation of compressive strength can be determined using these tests, based on the structural parameters, by calibration curves. In this study, based on the non-destructive ultrasonic method, the velocity of waves was investigated to evaluate the strength of hardened concrete, and the shear velocity in concrete was calculated.

Five important structures in Qazvin city, built based on one concrete, were selected. The composition of concrete used in these structures was sand, gravel, and cement. Laboratory concrete was also selected from river-type sand, crushed sand of sandstone type, and type 2 cement. The dimensions of this concrete were considered to be 15 cm in all three dimensions. Ultrasonic pulse waves were investigated in two faces of concrete for 28 days in dry and wet conditions. The concrete sample is placed in water for 28 days. There is no practical significance in choosing a life of 28 days. The simple justification of this issue is that the cement strength process is slow, so the strength description should be based on concrete where a significant portion of cement hydration has occurred. After 28 days, the concrete sample is taken out of the water basin, and its weight is measured with the help of a scale. It is placed inside the concrete breaker jack, and the resistance is calculated.

The comparison of two dry and wet conditions shows that the percentage of moisture significantly affects the estimation of compressive strength. So, if the calibration is done on more cubic samples, the structure's resistance will be estimated as lower than the actual value. Also, based on a 95% confidence level, the error rates for concrete samples stored in wet conditions and laboratory environments were determined to be $\pm 17\%$ and $\pm 18\%$, respectively.

The average dispersion of ultrasonic wave velocity test results for concrete samples kept in wet and laboratory environments was obtained as 2.6% and 2.9%, respectively. This test showed that the above sample shows a lower compressive strength. Therefore, in dealing with an earthquake with $M_w \geq 7$, due to the shear wave velocity passing through this type of concrete, buildings made with this concrete will not show stability. Therefore, among the studied structures, the Bahonar Bridge needs serious retrofitting.

Keywords: Shear Wave Velocity, Structure, Concrete Resistance, Earthquake, Non-destructive Ultrasonic Method.