



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی مقاومت بتن در سنین اولیه با استفاده از روش

اولتراسونیک

از:

سیده فاطمه شهابی

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدندوست

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش سازه

ارزیابی مقاومت بتن در سنین اولیه با استفاده از روش اولتراسونیک

از:

سیده فاطمه شهابی

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدن دوست

استاد مشاور:

دکتر ملک محمد رنجبر

اسفند ۸۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

قدردانی

حمد و سپاس بی حد رب جلیل را سزااست که گوهر گرانبهای اندیشه را عطیه اشرف مخلوقات نمود تا چراغ عقل را روشنای راه خود داشته و به سوی فضائل معنوی و دانش پیش رود و درود بر همه کسانی که به یاد دادن عشق می ورزند و همچون شمعی برای روشن ساختن جامعه می سوزند. اکنون که به فضل الهی و با تلاش چند ساله در راه کسب علم و دانش به این مرحله رسیده ام خداوند سبحان را شاکرم که همواره در جهت فراگیری دانش یاریم داده و از الطاف بیکران آن خالق یکتا بهره وافر برده ام.

بدینوسیله از خانواده ام که در طول مدت تحصیل همواره مشوق و پشتیبان من بوده و از هیچ کوششی کوتاهی و دریغ ننموده اند قدردانی می نمایم.

از زحمات بی شائبه و فراوان استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر مددوست که در راه تعلیم آموخته های علمی خود و ارائه راهنماییهای گرانبها و ارزنده تلاش فراوانی نموده اند و همچنین از زحمات استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر رنجبر تشکر و قدردانی ویژه می نمایم.

از کلیه اساتید بزرگوار دانشکده فنی که در طول تحصیل از علم و دانش آنها بهره مند شده ام و همچنین از کارکنان محترم آزمایشگاه بتن و سایر مسئولین دست اندرکار که در مدت انجام پروژه زحمات فراوانی متحمل شده اند صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

در پایان، از خداوند متعال برای همه اساتید بزرگوار و دوستان عزیز سلامتی و توفیق روز افزون مسئلت می نمایم.

سیده فاطمه شهابی

فهرست مطالب

ش	چکیده فارسی
ص	چکیده انگلیسی
۲	۱ فصل اول: پیشگفتار.....
۸	۲ فصل دوم: روش اولتراسونیک در ارزیابی خواص مهندسی بتن.....
۸	۲-۱ مقدمه.....
۱۰	۲-۲ روش سرعت امواج اولتراسونیک.....
۱۱	۲-۲-۱ تعیین سرعت امواج مافوق صوت.....
۱۱	۲-۲-۱-۱ روش انتقال مستقیم.....
۱۲	۲-۲-۱-۲ روش انتقال نیمه مستقیم.....
۱۲	۲-۲-۱-۳ روش انتقال غیر مستقیم.....
۱۲	۲-۲-۲ عوامل موثر در اندازه گیری سرعت امواج.....
۱۳	۲-۲-۲-۱ مقدار رطوبت.....
۱۳	۲-۲-۲-۲ دمای بتن.....
۱۳	۲-۲-۲-۳ طول مسیر.....
۱۴	۲-۲-۲-۴ شکل و اندازه نمونه.....
۱۴	۲-۲-۲-۵ اثر آرماتور.....
۱۶	۲-۲-۲-۶ سن بتن.....
۱۸	۲-۲-۲-۷ نوع سیمان.....
۱۹	۲-۲-۲-۸ تاثیر ترکها.....
۲۰	۲-۲-۲-۹ تاثیر نوع بتن.....
۲۱	۲-۲-۲-۱۰ تاثیر نسبت آب به سیمان.....
۲۲	۲-۲-۳ رابطه بین سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت بتن.....
۲۴	۲-۳ تعیین مقاومت بتن در سنین اولیه.....
۲۴	۲-۳-۱ بلوغ بتن.....

ج

۳۰..... ۱-۳-۲ محدودیت های بلوغ بتن

۳۰..... ۲-۳-۲ روش های تسریع شده.....

۳۶..... ۳ فصل سوم: گیرش بتن

۳۶..... ۱-۳ مقدمه

۳۷..... ۲-۳ گیرش

۳۸..... ۳-۳ هیدراتاسیون سیمان

۴۴..... ۴-۳ زمان گیرش اولیه و توسعه درجه حرارت در طول گیرش

۴۵..... ۵-۳ روش های تعیین زمان گیرش

۴۵..... ۱-۵-۳ سوزن ویکات

۴۶..... ۲-۵-۳ روش مقاومت نفوذ

۴۸..... ۳-۵-۳ سوزن های گیل مور

۵۰..... ۴-۵-۳ بررسی آزمایشات

۵۰..... ۶-۳ روش سرعت امواج اولتراسونیک

۵۱..... ۱-۶-۳ تاریخچه ساخت قالب

۵۴..... ۲-۶-۳ مروری بر روش اولتراسونیک در ارزیابی مراحل گیرش

۶۴..... ۴ فصل چهارم: برنامه آزمایشگاهی

۶۴..... ۱-۴ مقدمه

۶۴..... ۲-۴ مصالح مصرفی

۶۴..... ۱-۲-۴ سیمان

۶۵..... ۲-۲-۴ آب

۶۵..... ۳-۲-۴ مصالح سنگی مصرفی

۶۷..... ۳-۴ ساخت قالب برای آزمایش گیرش

۶۸..... ۴-۴ طرح اختلاط بتن

۶۹..... ۵-۴ شرایط نگهداری

۶۹..... ۶-۴ آزمایش نمونه ها

۵ فصل پنجم: ارائه و تحلیل نتایج..... ۷۲

۱-۵ مقدمه..... ۷۲

۲-۵ نتایج آزمایش اولتراسونیک طی ۲۴ ساعت اولیه پس از اختلاط (مرحله گیرش)..... ۷۲

۱-۲-۵ تاثیر پارامترهای مورد بررسی بر سرعت امواج اولتراسونیک..... ۷۶

۱-۱-۲-۵ تاثیر نوع سیمان..... ۷۶

۲-۱-۲-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان..... ۷۸

۲-۲-۵ زمان گیرش اولیه و نهایی..... ۸۰

۳-۵ ارزیابی مقاومت فشاری بتن در سنین اولیه..... ۸۱

۱-۳-۵ مقاومت فشاری و سن بتن..... ۸۱

۲-۳-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری بتن..... ۸۴

۳-۳-۵ سرعت امواج اولتراسونیک و سن بتن..... ۸۶

۴-۳-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر سرعت امواج..... ۸۸

۵-۳-۵ رابطه مقاومت فشاری بتن و سرعت امواج اولتراسونیک..... ۹۰

۴-۵ تخمین مقاومت بتن..... ۹۴

۱-۴-۵ تحلیل رگرسیون..... ۹۴

۲-۴-۵ تخمین مقاومت فشاری بتن در هر سن..... ۹۶

۱-۲-۴-۵ مدل II:W..... ۹۶

۲-۲-۴-۵ مدل II:D..... ۹۹

۳-۲-۴-۵ مدل II:(W+D)..... ۱۰۱

۴-۲-۴-۵ مدل P.P:W..... ۱۰۳

۵-۲-۴-۵ مدل P.P:D..... ۱۰۶

۶-۲-۴-۵ مدل P.P:(W+D)..... ۱۰۸

۷-۲-۴-۵ مدل (II+P.P):W..... ۱۱۰

۸-۲-۴-۵ مدل (II+P.P):D..... ۱۱۲

۳-۴-۵ پیش بینی مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن..... ۱۱۴

۱-۳-۴-۵ بررسی تاثیر نوع سیمان..... ۱۱۸

خ

۴-۴-۵ ارزیابی مدل پیشنهادی با داده های دیگر محققان..... ۱۲۱

۶ فصل ششم: نتیجه گیری..... ۱۲۵

۱-۶ نتیجه گیری..... ۱۲۵

۲-۶ پیشنهاد برای ادامه کار ۱۲۷

مراجع..... ۱۲۸

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱ مقایسه آزمایش ها از نظر زمان، هزینه، سرعت و دقت ارزیابی مقاومت بتن ۳
- جدول ۱-۲ ضرایب تصحیح اثر دما بر انتقال امواج ۱۳
- جدول ۲-۲ اثر ابعاد نمونه بر انتقال امواج ۱۴
- جدول ۳-۲ برخی از روابط بدست آمده بین سرعت امواج و مقاومت فشاری توسط محققین مختلف ۲۳
- جدول ۱-۳ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند ۳۸
- جدول ۲-۳ زمان گیرش اولیه و نهایی اندازه گیری شده به روش مختلف ۶۲
- جدول ۱-۴ مشخصات شیمیایی سیمان های مصرفی ۶۵
- جدول ۲-۴ مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی ۶۵
- جدول ۳-۴ مقادیر مصالح سنگی مصرفی در یک متر مکعب بتن ۶۸
- جدول ۱-۵ زمان گیرش اولیه و نهایی و مقایسه با دیگران ۸۱
- جدول ۲-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل II:W ۹۷
- جدول ۳-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل II:D ۹۹
- جدول ۴-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل II:(W+D) ۱۰۲
- جدول ۵-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل P.P:W ۱۰۴
- جدول ۶-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل P.P:D ۱۰۶
- جدول ۷-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل P.P:(W+D) ۱۰۸
- جدول ۸-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل (II+P.P):W ۱۱۰
- جدول ۹-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل (II+P.P):D ۱۱۲
- جدول ۱۰-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در تخمین مقاومت ۲۸ روزه ۱۱۵
- جدول ۱۱-۵ نتایج تحلیل رگرسیون در مدل های (II+P.P):w و (II+P.P):D ۱۱۹
- جدول ۱۲-۵ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های دیگر محققین ۱۲۱

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ دستگاه اولتراسونیک ۱۰
- شکل ۲-۲ روش های انتقال و دریافت امواج اولتراسونیک..... ۱۱
- شکل ۳-۲ اثر میلگرد بر سرعت امواج: میلگرد بموازات مسیر امواج..... ۱۵
- شکل ۴-۲ اثر میلگرد بر سرعت امواج: میلگرد عمود بر مسیر امواج..... ۱۵
- شکل ۵-۲ تخمین مقاومت بتن در دراز مدت با استفاده از منحنی کالیبره کوتاه مدت (بتن با مقاومت پایین)..... ۱۶
- شکل ۶-۲ تخمین مقاومت بتن در دراز مدت با استفاده از منحنی کالیبره کوتاه مدت (بتن با مقاومت متوسط)..... ۱۶
- شکل ۷-۲ مدل ۳ بعدی تخمین مقاومت بتن به روش اولتراسونیک برای بتن با مقاومت بالا در شرایط خشک ۱۷
- شکل ۸-۲ ارتباط بین سرعت پالس و مقاومت فشاری بتن با نوع سیمان و ترکیبات آن ۱۹
- شکل ۹-۲ تاثیر وجود ترک بر عبور امواج..... ۲۰
- شکل ۱۰-۲ رابطه نسبت آب به سیمان و سرعت امواج اولتراسونیک..... ۲۱
- شکل ۱۱-۲ رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت پالس ماورای صوت ۲۲
- شکل ۱۲-۲ نمودار مقاومت فشاری - سن معادل در ۲۵ درجه سانتیگراد..... ۲۷
- شکل ۱۳-۲ رابطه بین مقاومت فشاری نسبی و سن معادل در $w/c=0.5$ ۲۸
- شکل ۱۴-۲ نمودار توسعه مقاومت فشاری ملاتها..... ۲۸
- شکل ۱۵-۲ نمودار مقادیر اتلاف بازتاب ملات ها..... ۲۹
- شکل ۱۶-۲ رابطه مقاومت فشاری - اتلاف بازتاب برای ملاتهای با $w/c=0.5$ ۲۹
- شکل ۱۷-۲ رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت فشاری تسریع شده..... ۳۱
- شکل ۱۸-۲ نمودار مقاومت فشاری پیش بینی شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده..... ۳۱
- شکل ۱۹-۲ رابطه مقاومت فشاری با گذشت زمان..... ۳۳
- شکل ۲۰-۲ رابطه دامنه واکنش سازه با گذشت زمان..... ۳۳
- شکل ۲۱-۲ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با داده های سیستم فازی..... ۳۳
- شکل ۲۲-۲ مقایسه مقاومت فشاری اندازه گیری شده و مقاومت فشاری تخمین زده شده..... ۳۴
- شکل ۱-۳ نمودار روند تدریجی گرمای هیدراتاسیون بر حسب زمان..... ۴۰
- شکل ۲-۳ نمودار توسعه حرارت بر حسب زمان ۴۴

- شکل ۳-۳ دستگاه ویکات..... ۴۵
- شکل ۳-۴ دستگاه آزمایش نفوذ..... ۴۷
- شکل ۳-۵ نمودار مقاومت نفوذ با گذشت زمان..... ۴۸
- شکل ۳-۶ دستگاه گیلمور..... ۴۹
- شکل ۳-۷ اولین قالب ساخته شده با ورق های استایرن..... ۵۲
- شکل ۳-۸ قالب ساخته شده با ورق اسفنجی استایرن و ورق آلومینیومی..... ۵۲
- شکل ۳-۹ اولین قالب ساخته شده از ورق های اکریلیک..... ۵۳
- شکل ۳-۱۰ بررسی شکل قالب ها..... ۵۳
- شکل ۳-۱۱ شکل نهایی قالب ساخته شده برای ملات..... ۵۴
- شکل ۳-۱۲ نمودار سرعت - سن..... ۵۵
- شکل ۳-۱۳ زمان گیرش اولیه و نهایی در ملات..... ۵۵
- شکل ۳-۱۴ نمایش شماتیکی از ارزیابی سرعت امواج اولتراسونیک..... ۵۶
- شکل ۳-۱۵ نمودار سرعت - سن و زمان گیرش اولیه و نهایی..... ۵۷
- شکل ۳-۱۶ نمودار سرعت-سن برای نمونه های بتنی با $(w/c=0.5)$ و با جایگزینی درصدهای متفاوتی از BFS..... ۵۷
- شکل ۳-۱۷ مقایسه بین سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت نفوذ برای ترکیبات مختلف..... ۵۸
- شکل ۳-۱۸ ارزیابی سرعت امواج برای خمیر سیمان..... ۵۹
- شکل ۳-۱۹ بررسی پارامترهای مختلف بر سرعت امواج در خمیر سیمان..... ۵۹
- شکل ۳-۲۰ نمودار سرعت امواج- سن ملات..... ۶۱
- شکل ۳-۲۱ نمودار سرعت-زمان در درجه حرارت مختلف..... ۶۲
- شکل ۴-۱ منحنی دانه بندی مصالح درشت دانه..... ۶۶
- شکل ۴-۲ منحنی دانه بندی مصالح ریز دانه..... ۶۶
- شکل ۴-۳ قالب ساخته شده برای آزمایش گیرش..... ۶۸
- شکل ۴-۴ آزمایش اولتراسونیک در ساعات اولیه..... ۷۰
- شکل ۵-۱ نمودار سرعت - سن در طی ۲۴ ساعت..... ۷۳
- شکل ۵-۲ ابتدای مرحله اول، معلق بودن ذرات سیمان..... ۷۴
- شکل ۵-۳ انتهای مرحله اول و آغاز مرحله دوم، پیدایش مسیر جامد..... ۷۴

- شکل ۴-۵ مرحله دوم، اتصال شبکه جامد..... ۷۵
- شکل ۵-۵ اتصال کامل شبکه جامد..... ۷۵
- شکل ۶-۵ مقایسه نمودارهای بدست آمده با نتایج سایر محققان..... ۷۶
- شکل ۷-۵ تاثیر نوع سیمان بر سرعت امواج اولتراسونیک در مرحله گیرش..... ۷۸
- شکل ۸-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر سرعت امواج اولتراسونیک در مرحله گیرش..... ۷۸
- شکل ۹-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر ساختار میکروسکوپی بتن..... ۷۹
- شکل ۱۰-۵ نمودار تغییرات مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف ۸۳
- شکل ۱۱-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری در سنین مختلف برای سیمان تیپ ۲ و نگهداری در شرایط مرطوب..... ۸۴
- شکل ۱۲-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری در سنین مختلف برای سیمان پوزولانی و نگهداری در شرایط مرطوب..... ۸۵
- شکل ۱۳-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان در روند رشد مقاومت فشاری برای سیمان تیپ ۲ و نگهداری شده در شرایط مرطوب..... ۸۵
- شکل ۱۴-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان در روند رشد مقاومت فشاری برای سیمان پوزولانی و نگهداری شده در شرایط مرطوب..... ۸۵
- شکل ۱۵-۵ تغییرات سرعت امواج اولتراسونیک در سنین مختلف..... ۸۸
- شکل ۱۶-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر سرعت امواج اولتراسونیک برای سیمان تیپ ۲ و شرایط نگهداری مرطوب..... ۸۹
- شکل ۱۷-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر سرعت امواج اولتراسونیک برای سیمان پوزولانی و شرایط نگهداری خشک..... ۸۹
- شکل ۱۸-۵ تاثیر نسبت آب به سیمان بر روند رشد سرعت امواج اولتراسونیک برای سیمان تیپ ۲ و شرایط مرطوب..... ۹۰
- شکل ۱۹-۵ رابطه سرعت امواج اولتراسونیک - مقاومت فشاری برای سیمان تیپ ۲..... ۹۱
- شکل ۲۰-۵ رابطه سرعت امواج اولتراسونیک - مقاومت فشاری برای سیمان پوزولانی..... ۹۲
- شکل ۲۱-۵ نمودار سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری در نسبت آب به سیمان مختلف و شرایط نگهداری مرطوب..... ۹۳
- شکل ۲۲-۵ رابطه سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری بتن در دو شرایط خشک و مرطوب..... ۹۳
- شکل ۲۳-۵ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل II:W..... ۹۸
- شکل ۲۴-۵ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل II:W..... ۹۸
- شکل ۲۵-۵ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل II:D..... ۱۰۰
- شکل ۲۶-۵ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل II:D..... ۱۰۱
- شکل ۲۷-۵ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل II:(W+D)..... ۱۰۲

- شکل ۵-۲۸ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $II:(W+D)$ ۱۰۳
- شکل ۵-۲۹ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل $P.P:W$ ۱۰۵
- شکل ۵-۳۰ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $P.P:W$ ۱۰۵
- شکل ۵-۳۱ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل $P.P:D$ ۱۰۷
- شکل ۵-۳۲ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $P.P:D$ ۱۰۷
- شکل ۵-۳۳ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل $P.P:(W+D)$ ۱۰۹
- شکل ۵-۳۴ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $P.P:(W+D)$ ۱۰۹
- شکل ۵-۳۵ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل $(II+P.P):W$ ۱۱۱
- شکل ۵-۳۶ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $(II+P.P):W$ ۱۱۱
- شکل ۵-۳۷ رابطه بین مقاومت فشاری تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده در مدل $(II+P.P):D$ ۱۱۳
- شکل ۵-۳۸ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی در مدل $(II+P.P):D$ ۱۱۳
- شکل ۵-۳۹ رابطه مقاومت فشاری ۲۸ روزه تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده ۱۱۸
- شکل ۵-۴۰ رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه پیش بینی شده و مقاومت فشاری ۲۸ روزه اندازه گیری شده ۱۲۰
- شکل ۵-۴۱ رابطه مقاومت فشاری ۲۸ روزه تخمین زده شده و مقاومت فشاری اندازه گیری شده به ازای داده های دیگر ۱۲۲
- محققین ۱۲۲
- شکل ۵-۴۲ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای داده های کنترلی سایر محققین ۱۲۲

ارزیابی مقاومت بتن در سنین اولیه با استفاده از روش اولتراسونیک

سیده فاطمه شهابی

مقاومت فشاری بتن یکی از مهمترین و مشخص ترین خواص مورد انتظار بتن است که عمدتاً تحت تاثیر میزان اختلاط، عمل آوری، گیرش و ... می باشد. بخش اعظم مقاومت بتن در طی ۲۸ روز بدست می آید. از طرفی در اجرای سازه های بتن آرمه لازم است که مقاومت بتن در کوتاه مدت تخمین زده شود تا با توجه به شرایط بدست آمده، در صورت نیاز به تغییرات لازم در بتن بتوان به موقع عمل نمود. با توجه به اهمیت گیرش در روند سخت شدن و کسب مقاومت، در این پایان نامه گیرش بتن نیز مورد توجه قرار گرفته است. روش های مختلفی برای ارزیابی گیرش و مقاومت بتن وجود دارد. آزمایشات استاندارد برای بررسی گیرش، تنها بر روی خمیر سیمان و ملات قابل انجام هستند و مستقیماً روی بتن انجام نمی شوند. از طرفی روشهای موجود برای تخمین مقاومت بتن در سنین اولیه دارای محدودیت های عمده ای هستند. در این پایان نامه از روش غیر مخرب اولتراسونیک در ارزیابی مراحل گیرش بتن و تعیین مقاومت بتن در سنین اولیه استفاده شده است. در ادامه از تحلیل رگرسیون چند متغیره برای مدلسازی داده های آزمایشگاهی استفاده گردیده است. متغیر های در نظر گرفته شده در پایه ریزی مدل سرعت امواج، سن بتن و نسبت آب به سیمان بوده و مقاومت فشاری بتن نیز به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده است.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که بیشترین روند رشد مقاومت بتن در سنین اولیه (تا ۷ روز) روی می دهد. در سنین اولیه روند رشد مقاومت حساسیت کمتری به نسبت آب به سیمان دارد. همچنین نوع سیمان و شرایط نگهداری از پارامترهای موثر بر مقاومت بتن در سنین اولیه محسوب می شوند. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون نیز نشان داده است که سن ۱ روزه برای تخمین مقاومت بتن مناسب نمی باشد. بررسی گیرش بتن نیز نشان داده است که روش اولتراسونیک برخلاف روش های موجود تصویر کاملی از مراحل گیرش بتن را ارائه میدهد. این روش قادر است تاثیر پارامترهای مختلف را بر زمان گیرش بررسی کند.

کلید واژه‌ها: مقاومت فشاری بتن، سرعت امواج اولتراسونیک، سنین اولیه، بتن تازه، تحلیل رگرسیون

Abstract

Early age concrete strength assessment using ultrasonic method

S.F.Shahabi

Compressive strength of concrete is one of the most important characteristic of concrete that influenced by mix design, curing, setting and.... The major part of concrete strength is obtained during 28 days. However, as far as construction work is concerned, it is necessary to estimate the concrete strength at early ages in such that any necessary changes could be done on concrete. Due to the importance of setting in hardening process and strength, the setting of concrete is also considered. Different methods were used to evaluate the setting and concrete strength. The standard tests are available for monitoring the setting process only for cement paste and mortar and do not consider on concrete. In addition, the present methods in order to estimate the concrete strength at early ages also have many limitations. In this study, ultrasonic pulse velocity (UPV) method has been used to evaluate the setting process and concrete strength at early ages. In addition, for processing the data sets obtained experimentally, multiple non-linear regression analysis was considered on this study. For this purpose, UPV, water-cement (w/c) ratio and concrete age were considered as input variables and concrete compressive strength as output.

The obtained results show that the maximum growth rate of concrete strength was significantly higher at the early ages (up to 7 days) and has low sensitive to the w/c ratio. Also, cement type and curing conditions are effective parameters on concrete strength at the early ages. Based on regression analysis, the results show that concrete at the age of 1 day is not suitable for long-term concrete strength estimation. Also investigation on concrete setting shows that the UPV method gives a more complete picture of the setting process than the conventional methods and able to evaluate the effect of different parameters on setting times.

Keywords: Concrete compressive strength, UPV, Early ages, fresh concrete, Regression analysis.

فصل اول

پیشگفتار



فصل اول

پیشگفتار

بخش مهمی از توسعه زیر ساخت های امروزی می تواند در ارتباط با بتن و مصالح سیمانی باشد که انتظار جامعه به طور عمده سودمندی و دوام بالای آن است. خواص بتن کاملاً مربوط به ترکیب اجزای آن، حمل، نگهداری، گیرش، سخت شدگی و ... می باشد که هر گونه خرابی و آسیبی که در این مراحل اتفاق افتد احتمالاً با صرف هزینه زیاد و خسارت همراه خواهد بود. مهمترین و مشخص ترین خواص مورد انتظار بتن مقاومت آن می باشد و همواره فرض بر این بوده که مقاومت بتن تا حد زیادی ارائه دهنده یک شمای کلی از کیفیت آن است. در این بین، مقاومت فشاری بتن از جایگاه قابل ملاحظه تری برخوردار است که در این زمینه، معمولاً مقاومت فشاری اندازه گیری شده بتن در سن ۲۸ روز، مبنای طراحی قرار می گیرد. روش های مختلفی برای ارزیابی و سنجش مقاومت فشاری بتن بکار برده می شود. متداولترین آزمایش استفاده از نمونه های استاندارد استوانه ای و مکعبی می باشد که نتایج آن مستقیماً به عنوان مقاومت بالقوه بتن در نظر گرفته می شود. حال آنکه عواملی چون نوع نمونه، اندازه نمونه، نوع قالب، شرایط عمل آوری، تراکم، پرداخت سطوح نهایی بتن و تغییرات اتفاقی حادث در نوع و مقدار مصالح مصرفی از پیمانہ ای به پیمانہ دیگر بهنگام اختلاط بتن از جمله عللی است که می توان به استناد آنها ادعا نمود، نمونه های استاندارد به طور کامل معرف مشخصات و خصوصیات بتن بکار رفته در ساخت اعضای بتنی نیستند.

از طرفی بررسی خصوصیات مکانیکی بتن از جمله مقاومت نمی تواند تا زمانی که گیرش نهایی رخ داده، انجام گیرد. بنابراین مقاومت فشاری در هر زمان قبل از گیرش نهایی، یک پارامتر تعریف نشده می باشد.

از سوی دیگر بروز حوادثی نظیر زلزله، آتش سوزی، تاثیرات شیمیایی و تخریب های موضعی ناشی از هوا زدگی و لایه لایه شدن بتن و ... بر ضرورت ارزیابی مقاومت بتن در محل تاکید می نمایند که به این منظور روش های مختلفی ابداع شده اند که می توان آنها را در دو گروه نیمه مخرب و غیر مخرب تقسیم نمود که به نحو مستقیم یا غیر مستقیم در ارزیابی مقاومت بتن بکار گرفته می شوند.

روش های نیمه مخرب باعث بروز خسارات کوچک و جزئی می شوند که البته در عملکرد و ساختار سازه ای تاثیری ندارند اما می بایست بلا فاصله نسبت به ترمیم بخش های آسیب دیده مبادرت ورزید. زیرا از دیدگاه دوام بتن می تواند حائز اهمیت باشند. در این روش ها با توجه به اینکه پارامتری که اندازه گیری می شود با مقاومت بتن مرتبط می باشد، از قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به روش های غیر مخرب برخوردار است که می توان از میان این روش ها به روشهای مغزه گیری، مقاومت نفوذ، بیرون کشیدگی^۱ و پاره شدگی^۲ اشاره نمود.

در روش های غیر مخرب هیچگونه آسیب سازه ای به عضو مورد بررسی وارد نمی شود و از نظر پایین بودن هزینه و زمان آزمایش و سهولت انجام آن مورد توجه مهندسين واقع شده است. اساسی ترین محدودیت روش های غیر مخرب در ارزیابی این است که خاصیتی که از بتن سنجیده می شود تحت تاثیر پارامترهای متعدد قرار دارد و از سویی ارتباط فیزیکی معناداری بین پارامتر سنجیده شده و مشخصه مورد نظر بتن وجود ندارد. لذا استفاده از این روش ها در ارزیابی خاصیت مورد نظر بتن (بوپژه مقاومت فشاری) می تواند با خطای زیاد مواجه باشد که مستلزم تهیه منحنی های کالیبراسیون برای هر نوع بتن مورد استفاده است. در میان انواع روش های غیر مخرب می توان به روش های چکش اشmitt^۳ و اولتراسونیک^۴ اشاره نمود [۳-۱]. در جدول ۱-۱ تعدادی از آزمایش ها از نظر زمان، هزینه، سرعت و دقت ارزیابی مقاومت بتن دسته بندی شده اند.

جدول ۱-۱ - مقایسه آزمایشها از نظر زمان، هزینه، سرعت و دقت ارزیابی مقاومت بتن [۱]

قابلیت اطمینان منحنی کالیبراسیون	قابلیت تفسیر نتایج	میزان آسیب به بتن	سرعت انجام آزمایش	هزینه	نام روش
خوب	متوسط	متوسط	آهسته	پالا	مغزه گیری
متوسط	در بخشهای سطحی بتن	کم	سریع	متوسط	مقاومت نفوذ
متوسط	در بخشهای سطحی بتن	کم	سریع	متوسط	Pull out
متوسط	در بخشهای سطحی بتن	کم	متوسط	متوسط	Pull off
ضعیف	خوب	بدون آسیب	سریع	کم	اولتراسونیک
ضعیف	تنها در سطح بتن	احتمالی	سریع	خیلی کم	چکش ارتجاعی

^۱ Pull-out test

^۲ Pull-off test

^۳ Schmidt hammer

^۴ Ultrasonic pulse velocity

آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک یکی از مهمترین روش های غیر مخرب در ارزیابی مقاومت فشاری بتن در محل سرویس دهی بشمار می رود. این روش بر مبنای عبور امواج ماورای صوت از نمونه می باشد و از آنجایی که مستقیماً با بتن در سازه ارتباط دارد و امواج در عمق بتن نفوذ می کند در مقایسه با آزمایش مکانیکی روی نمونه های کنترل ارجحیت دارد. سرعت امواج ماورای صوت تحت تاثیر خواص الاستیک و مکانیکی بتن است. بنابراین متغیر بودن سرعت امواج در طول مسیرهای مختلف در سازه نشانه تغییرات در کیفیت بتن می باشد.

از طرفی مقاومت بتن که عمدتاً از طریق خمیر سیمان و آن هم طی یک فرایند شیمیایی شکل می گیرد، بخش اعظم آن تقریباً در ماه اول بدست می آید. واضح است اگر چنانچه بتوان مقاومت بتن را در سنین اولیه، تخمین زد امتیاز زیادی دربر خواهد داشت. آگاهی از مقاومت بتن در سنین اولیه، موجب بالا رفتن ایمنی در سازه و صرفه جویی در هزینه و زمان می گردد. بنابراین در صورت نیاز به تغییرات لازم در بتن می توان به اصلاح وضعیت آن پرداخت.

روش های مختلفی برای ارزیابی مقاومت بتن در سنین اولیه بکار برده شده است. از جمله این روش ها می توان به روش بلوغ^۱ و روشهای تسریع شده اشاره کرد که عمدتاً تاثیر درجه حرارت را بر مقاومت بتن مورد بررسی قرار می دهند. اگر درجه حرارت عمل آوری برای نمونه های آزمایشگاهی و نمونه های واقعی متفاوت باشد، این روشها تخمین درستی از مقاومت در محل را نخواهند داشت.

همانطور که پیشتر اشاره شد، توسعه مقاومت در بتن طی واکنش های شیمیایی که هیدراتاسیون نامیده می شود، صورت می گیرد. یک سری واکنش های مختلف نیز بین سیمان و آب انجام می پذیرد. ژل سیمان محصول اصلی واکنش هیدراتاسیون می باشد. هیدراتاسیون بلافاصله بعد از اضافه کردن آب به سیمان آغاز می گردد. در طول اولین ساعات پس از اختلاط خواص بتن بطور محسوسی تغییر می کند. در ابتدا مخلوط به حالت خمیری می باشد که قابلیت شکل پذیری دارد. با گذشت زمان و با ادامه یافتن روند هیدراتاسیون ترکیبات بتن سفت می گردند و بتن تغییر حالت تدریجی پیدا می کند. این پیشرفت تدریجی در سفت شدن بتن، گیرش نامیده می شود. گیرش از خواص مهم بتن محسوب می شود. در واقع این ویژگی بتن در تعیین زمان مجاز حمل، ریختن در قالب، پرداخت سطحی بتن و همچنین زمان باز کردن قالبها بسیار با اهمیت خواهد بود. بعد از گیرش مرحله سخت شوندگی صورت می گیرد. با آغاز این مرحله، بتن به خواص مکانیکی از جمله مقاومت می رسد. مقاومت بتن با گذشت زمان افزایش می یابد.

در بررسی گیرش مواد سیمانی، روش های مختلفی استفاده می گردد. در استانداردهای رایج روش هایی که مختص سیمان و ملات باشند، ارائه شده است. از جمله می توان آزمایش سوزن ویکات^۲ برای سیمان و آزمایش مقاومت در برابر نفوذ

¹ Maturity

² Vicat needle test