پردیس دانشگاهی

گروه مهندسی عمران

گرایش سازه

بررسی تاثیر میلگرد های FRP بر روی سرعت امواج عبوری اولتراسونیک

از

محسن فلاحتکار گشتی

استاد راهنما

دکتر رحمت مدندوست

تابستان ۹۳

تقدیم به مهربان فرشتگانی که :

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم به خانواده عزیزم.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن ، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار ، درفشان.آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان ، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی همتا لازم است از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مدندوست به خاطر سعه صدر و رهنمودهای دلسوزانه که در تهیه این پایان نامه مرا مورد لطف خود قرار دادند و راهنمایی های لازم را نمودند تشکر و قدردانی نمایم.هم چنین لازم است از همه اساتید گرانقدر گروه عمران که بنده را در طول دوره تحصیلی کارشناسی ارشد صبورانه و مشفقانه راهنمایی کرده و از محضر علمیشان مستفیض گردانیده اند کمال تشکر را داشته باشم.

محسن فلاحتکار گشتی

تابستان ۹۳

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده فارسی.....غ

چکیده انگلیسی.....ف

فصل اول : پیشگفتار.....۱

۱-۱پیشگفتار.....۲

فصل دوم : روش غیرمخرب اولتراسونیک.....۶

۲-۱مقدمه.....۷

۲-۲پیشینه تاریخی.....۷

۲-۳ تئوری انتشار امواج.....۸

۲-۴ دستگاه آزمایش اولتراسونیک.....۱۰

۲-۵ روش آزمایش اولتراسونیک.....۱۱

۲-۵-۱ حالات قراگیری مبدل ها نسبت به یکدیگر.....۱۲

۲-۶ کاربرد روش اولتراسونیک.....۱۴

۲-۶-۱ محاسبه مقاومت بتن.....۱۴

۲-۶-۲ مطالعه فرآیند هیدراسیون سیمان.....۱۵

۲-۶-۳ پایش تغییرات کیفیت بتن متناسب با زمان.....۱۷

۲-۶-۴ تعیین مقاومت بتن پس از وقوع آتش سوزی.....۱۷

۲-۶-۵ تعیین یکنواختی بتن.....۱۹

۲-۶-۶ محاسبه مدول الاستیسیته و ضریب پوآسون.....۱۹

۲-۶-۷ شناسایی عیوب بتن.....۲۲

۲-۶-۸ شناسایی حباب و یا حفره موجود در بتن.....۲۲

۲-۶-۹ محاسبه عمق ترک سطحی ۲۲

۲-۶-۱۰ محاسبه ضخامت لایه بی کیفیت بتن.....۲۵

۲-۷ عوامل موثر بر سرعت پالس عبوری از بتن ۲۶
۲-۷-۱ اثر اندازه ، دانه بندی ، نوع و مقدار سنگدانه ها ۲۶
۲-۷-۲ نوع سیمان ۲۷
۲-۷-۳ سن بتن ۲۸
۲-۷-۴ تماس ترانزدیوسرها به بتن ۲۸
۲-۷-۵ دمای بتن ۲۸
۲-۷-۶ اثر رطوبت ۲۸
۲-۷-۷ اثر طول مسیر عبور موج ۲۹
۲-۷-۸ اثر شکل و اندازه نمونه ها ۲۹
۲-۷-۹ اثر میزان تنش موجود در نمونه ۳۰
۲-۷-۱۰ اثر وجود میلگرد ۳۱
۲-۷-۱۰-۱ مقدمه ۳۱
۲-۷-۱۰-۲ تئوری پایه ۳۱
۲-۷-۱۰-۲-۱ حالتی که محور میلگرد موازی با مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد ۳۱
۲-۷-۱۰-۲-۲ حالتی که محور میلگرد عمود بر مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد ۳۵
۲-۷-۱۰-۳ مطالعات آزمایشگاهی Bungey در رابطه با اثر میلگرد فولادی بر روی امواج اولتراسونیک عبوری از بتن ۳۵
۲-۷-۱۰-۳ -۱ برنامه آزمایشگاهی ۳۵
۲-۷-۱۰-۳ -۲ نتایج آزمایشگاهی ۳۶
۲-۷-۱۰-۳ -۲ -۱ نتایج مربوط به میلگردهای طولی ۳۶
۲-۷-۱۰-۳ -۲ -۲ نتایج مربوط به میلگردهای عرضی ۳۷
۲-۷-۱۰-۳ -۲ -۳ سایر نتایج ۳۷
۲-۷-۱۰-۳ ضرایب اصلاح ۴۱
۲-۷-۱۰-۴ مقایسه روش اصلاحی Bungey با سایر روش ها ۴۲

فصل سوم : کامپوزیت های FRP ۴۴
۳-۱خلاصه ۴۵
۳-۲ مقدمه ۴۵
۳-۳ راه حل مساله ۴۶
۳-۴ تاریخچه کامپوزیت های FRP ۴۷
۳-۵ ساختار مصالح FRP ۴۷
۳-۵-۱ الیاف شیشه ۴۸
۳-۵-۲ الیاف کربن ۴۸
۳-۵-۳ الیاف آرامید ۴۹
۳-۶ انواع محصولات FRP ۴۹
۳-۶-۱ میله های کامپوزیتی ۴۹
۳-۶-۲ شبکه‌های کامپوزیتی ۴۹
۳-۶-۳ کابل، طناب و تاندن‌های پیش‌تنیدگی ۴۹
۳-۶-۴ ورقه‌های کامپوزیتی ۴۹
۳-۶-۵ پروفیل‌های ساختمانی ۵۰
۳-۷ میله‌های کامپوزیتی FRP ۵۰
۳-۸ مشخصات اساسی محصولات کامپوزیتی FRP ۵۱
۳-۸-۱ مقاومت در مقابل خوردگي ۵۱
۳-۸-۲ مقاومت ۵۱
۳-۸-۳ مدول الاستیسیته ۵۲
۳-۸-۴ وزن مخصوص ۵۲
۳-۸-۵ عایق بودن ۵۲
۳-۸-۶ خستگی ۵۲
۳-۸-۷ خزش ۵۳
۳-۸-۸ چسبندگی با بتن ۵۳

۳-۸-۹ خم شدن ۵۳
۳-۸-۱۰ انبساط حرارتی ۵۳
۳-۹ دوام کامپوزیت‌های FRP ۵۴
۳-۹-۱ پیر شدگی فیزیکی ماتریس پلیمر ۵۴
۳-۹-۲ تأثیر رطوبت ۵۵
۳-۹-۳ تأثیرات حرارتی – رطوبتی ۵۶
۳-۹-۴ محیط قلیایی ۵۷
۳-۹-۵ تأثیر دمای پائین ۵۷
۳-۹-۶ تأثیرات سیکل‌های حرارتی در دمای پایین (یخزدن- ذوب شدن) ۵۸
۳-۹-۷ تأثیر تشعشع امواج ماوراء بنفش (UV) ۵۹
۳-۱۰ خلاصه و نتیجه گیری ۵۹
فصل چهارم : برنامه آزمایشگاهی ۶۱
۴-۱ مقدمه ۶۲
۴-۲ مشخصات مصالح مصرفی ۶۲
۴-۲-۱ سنگدانه ۶۲
۴-۲-۱-۱ درشت دانه ۶۲
۴-۲-۱-۲ ماسه ۶۳
۴-۲-۳-۱ وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگدانه ها ۶۴
۴-۴-۲ آب ۶۴
۴-۴-۳ سیمان ۶۵
۴-۴-۴- دوده سیلیس ۶۵
۴-۴-۵ فوق روان کننده ۶۶
۴-۴-۶ الیاف فولادی ۶۶
۴-۴-۷ میلگرد فولادی و GFRP ۶۷
۴-۳ طرح اختلاط بتن ۶۷

۴-۴ مشخصات نمونه های آزمایشگاهی ۶۸
۴-۵ ساخت بتن ۷۰
۴-۵-۱ ساخت بتن با مقاومت متوسط ۷۰
۴-۵-۲ ساخت بتن با مقاومت بالا ۷۰
۴-۵-۳ ساخت بتن حاوی الیاف فولادی ۷۰
۴-۶ آرماتوربندی ، قالب بندی و بتن ریزی نمونه ها ۷۱
۴-۷ عمل آوری نمونه ها ۷۲
۴-۸ آزمایش مقاومت فشاری ۷۲
۴-۹ آزمایش امواج اولتراسونیک ۷۲
فصل پنجم : ارائه و تحلیل نتایج ۷۴
۵-۱ مقدمه ۷۵
۵-۲ نتایج آزمایش مربوط به نمونه های مکعبی ۷۵
۵-۲-۱ نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۷۵
۵-۲-۲ نتایج آزمایش اولتراسونیک نمونه های مکعبی ۷۶
۵-۲-۳ رابطه بین سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری بتن های مورد استفاده ۷۸
۵-۳ نتایج آزمایشات ۸۰
۵-۳-۱ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط ۸۰
۵-۳-۲ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط ۸۶
۵-۳-۳ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت بالا ۹۲
۵-۳-۴ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت بالا ۹۹
۵-۳-۵ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی ۱۰۴
۵-۳-۶ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی ۱۱۰
۵-۳-۷ تاثیر میلگرد فولادی به قطر ۲۵ میلیمتر بر روی امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط مرطوب ۱۱۶

۵-۳-۸ تاثیر میلگرد FRP به قطر ۲۵ میلیمتر بر روی امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط مرطوب..... ۱۱۸
۵-۴ بررسی و مقایسه نتایج ۱۲۰
۵-۴-۱ بررسی اثر میلگردهای فولادی و FRP در بتن با مقاومت متوسط..... ۱۲۰
۵-۴-۲ بررسی اثر میلگردهای فولادی و FRP در بتن با مقاومت بالا ۱۲۲
۵-۴-۳ بررسی اثر میلگردهای فولادی و FRP در بتن حاوی الیاف فولادی ۱۲۳
۵-۴-۴ مقایسه اثر میلگردهای فولادی در بتن های مختلف..... ۱۲۵
۵-۴-۵ مقایسه اثر میلگردهای FRP در بتن های مختلف..... ۱۲۶
۵-۴-۶ مقایسه اثر میلگرد فولادی و FRP به قطر mm ۲۵ در دو وضعیت طولی و عرضی در بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط خشک و مرطوب..... ۱۲۸
۵-۴-۷مقایسه ضرایب اصلاحی به دست آمده با سایر مراجع ۱۲۹
فصل ششم : نتیجه گیری ۱۳۱
۶-۱ مقدامه..... ۱۳۲
۶-۲ پیشنهاد برای کارهای آینده ۱۳۳
مراجع ۱۳۵
پیوست۱ ..... ۱۴۰

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (۲-۱) – مقادیر ضریب پوآسون..... ۲۱

جدول (۲-۲) روابط تجربی بین مدول الاستیسیته دینامیکی ، استاتیکی و سرعت عبور امواج اولتراسونیک..... ۲۱

جدول (۲-۳) – ضرایب اصلاحی مربوط به دماهای مختلف بتن..... ۲۸

جدول (۲-۴) – حداقل بعد نمونه و فرکانس مبدل پیشنهادی ۲۹

جدول (۲-۵) – حداقل بعد نمونه ، سرعت موج عبوری و فرکانس مبدل پیشنهادی..... ۳۰

جدول (۲-۶) – نمونه های مورد استفاده توسط Bungey..... ۳۶

جدول ۴-۱ حدود دانه بندی شن مصرفی..... ۶۳

جدول ۴-۳ مشخصات مصالح ۶۴

جدول ۴-۴ آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی..... ۶۵

جدول ۴-۵ مشخصات شیمیایی دوده سیلیس مصرفی..... ۶۵

جدول ۴-۶ مشخصات فوق روان کننده مصرفی..... ۶۶

جدول ۴-۷ مشخصات الیاف فولادی مصرفی..... ۶۶

جدول ۴-۸ مشخصات میلگرد GFRP مصرفی..... ۶۷

جدول ۴-۹ مقدار مصالح موجود در یک متر مکعب بتن معمولی با مقاومت متوسط(kg)..... ۶۸

جدول ۴-۱۰ مقدار مصالح موجود در یک متر مکعب بتن با مقاومت بالا (kg)..... ۶۸

جدول ۴-۱۱ مقدار مصالح موجود در یک متر مکعب بتن حاوی الیاف فولادی (kg)..... ۶۸

جدول ۴-۱۲ مشخصات نمونه های مورد استفاده..... ۶۹

جدول ۴-۱۳ نقاط آزمایش اولتراسونیک برای نسبت های مختلف a/c..... ۷۳

جدول ۵-۱ نتایج مقاومت فشاری..... ۷۵

جدول ۵-۲ نتایج آزمایش اولتراسونیک نمونه های مکعبی..... ۷۷

جدول ۵-۳ رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت موج عبوری از ۴ نوع بتن مصرفی..... ۷۹

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل (۲-۱) – اجزای دستگاه اولتراسونیک----------۱۰

شکل (۲-۲)- حالت مستقیم----------۱۲

شکل (۲-۳)- حالت نیمه مستقیم ----------۱۲

شکل (۲-۴)- حالت غیرمستقیم ----------۱۳

شکل (۲-۵) – نمونه ای از منحنی کالیبره----------۱۵

شکل (۲-۶) – ارتباط بین سرعت پالس و سفت شدن بتن – نتایج آزمایشات whitehurstو Cheesman----------۱۶

شکل (۲-۷) – نمودار نتایج آزمایش اولتراسونیک در روزهای مختلف----------۱۷

شکل (۲-۸) – منحنی مقایسه ای سیکل های گرما و سرما----------۱۸

شکل (۲-۹) – ارتباط بین مقاومت باقیمانده بتن پس از آتش سوزی و سرعت گذر امواج آلتراسونیک ----------۱۸

شکل (۲-۱۰) – نحوه قرار گیری مبدل جهت تعیین عمق ترک سطحی----------۲۳

شکل (۲-۱۱) – نحوه قرارگیری مبدل جهت تعیین راستای ترک----------۲۴

شکل (۲-۱۲) – نمودار سرعت امواج اولتراسونیک به فاصله ترانزدیوسرها نشان دهنده تاثیر ترک بر این منحنی ----------۲۴

شکل(۲-۱۴) – نحوه جابه جایی گیرنده جهت تعیین ضخامت لایه سطحی بی کیفیت بتن ----------۲۵

شکل (۲-۱۵) – نمودار سرعت گذر موج به فاصله مبدل ها-تعیین ضخامت لایه بی کیفیت سطحی بتن----------۲۶

شکل (۲-۱۶) – اثر سیمان ، ماسه و شن بر روی رابطه بین مقاومت فشاری بتن و سرعت گذر موج----------۲۷

شکل (۳-۱) - حالتی که محور میلگرد موازی با مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد ----------۳۲

شکل (۳-۲) – مقادیر v_c برای $1.4 \leq \frac{a}{c} \leq ۲$ ----------۳۳

شکل (۳-۳) رابطه بین k ، γ و $\frac{a}{l}$ ----------۳۴

شکل (۳-۴) – میلگردها در حالت عمود بر مسیر مستقیم بین مبدل ها----- ----------۳۵

شکل (۳-۵) – نتایج مربوط به حالتی که محور میلگرد منطبق بر مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد –حالت طولی--------۳۸

شکل (۳-۶) – نتایج مربوط به حالتی که محور میلگرد منطبق بر مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد –حالت طولی---------۳۹

شکل (۳-۷) - رابطه بین γ ، قطر میلگرد و مقدار v_c – حالت طولی----------۴۰

شکل (۳-۸) – نتایج مربوط به حالتی که محور میلگرد عمود بر مسیر مستقیم بین مبدل ها باشد –حالت عرضی---------۴۰

شکل (۳-۹) - رابطه بین γ ، قطر میلگرد و مقدار v_c – حالت عرضی ----------۴۱

شکل (۳-۱۰) – مقایسه آیین نامه ها و روش های اصلاحی اثر میلگرد قرار گرفته در حالت طولی ----------۴۲

شکل (۳-۱۱) – مقایسه آیین نامه ها و روش های اصلاحی اثر میلگرد قرار گرفته در حالت عرضی----------۴۳

شکل ۴-۱ منحنی دانه بندی شن مصرفی ----------۶۳

شکل ۴-۲ حدود دانه بندی ماسه مصرفی ----------۶۴

شکل ۴-۳ الیاف فولادی مصرفی----------۶۶

شکل ۴-۴ میلگردهای GFRP مصرفی----------۶۷

شکل ۴-۵ نمونه های آزمایشگاهی----------۷۰

شکل ۴-۶ جزئیات میلگردگذاری نمونه های منشوری (میلگرد GFRP و فولادی)----------۷۱

شکل ۴-۷ میلگردگذاری نمونه های منشوری ----------۷۲

شکل ۴-۱۱ آزمایش اولتراسونیک در دو وضعیت همراستا و عمود بودن میلگرد بر مسیر انتشار موج - راست (حالت عمودی یا عرضی) – چپ (حالت همراستا یا طولی)----------۷۳

شکل ۴-۱۲ بررسی اثر فاصله عمودی مبدل از موقعیت قرارگیری میلگرد بر روی سرعت موج عبوری----------۷۳

شکل ۴-۱۳ دستگاه Pundit مورد استفاده در آزمایش ----------۷۳

شکل ۵-۱ روند تغییرات مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف----------۷۶

شکل۵-۲ روند افزایش سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن در سنین مختلف----------۷۷

شکل۵-۳ رابطه بین سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری بتن حاوی الیاف فولادی----------۷۸

شکل ۵-۴ رابطه بین سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری بتن با مقاومت متوسط – عمل آوری خشک ----------۷۸

شکل ۵-۵ رابطه بین سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری بتن با مقاومت متوسط – عمل آوری مرطوب ----------۷۹

شکل ۵-۶ رابطه بین سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا ----------۷۹

شکل ۵-۷ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت متوسط در وضعیت طولی ----------۸۱

شکل ۵-۷ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت متوسط در وضعیت عرضی ----------۸۲

شکل ۵-۸ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای فولادی بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط در سن ۲۸روزه----------۸۳

شکل ۵-۹ روند تغییرات اثر میلگرد به قطر ۱۲ میلیمتر با افزایش a/c در سنین مختلف آزمایش----------۸۴

شکل ۵-۱۰ ضرایب k برای بتن با مقاومت متوسط مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت طولی ----------۸۵

شکل ۵-۱۱ ضرایب k برای بتن با مقاومت متوسط مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت عرضی ----------۸۶

شکل ۵-۱۲ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت متوسط در وضعیت طولی ----------۸۷

شکل ۵-۱۳ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت متوسط در وضعیت عرضی ----------۸۸

شکل ۵-۱۴ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای FRP بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط در سن ۲۸روزه----------۸۹

شکل ۵-۱۵روند تغییرات اثر میلگرد به قطر ۱۲ میلیمتر با افزایش a/c در سنین مختلف آزمایش----------۹۰

شکل ۵-۱۶ ضرایب k برای بتن با مقاومت متوسط مسلح به میلگرد FRP در وضعیت طولی ----------۹۱

شکل ۵-۱۷ ضرایب k برای بتن با مقاومت متوسط مسلح به میلگرد FRP در وضعیت عرضی ----------۹۲

شکل ۵-۱۸ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت بالا در وضعیت طولی ----------۹۳

شکل ۵-۱۹ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت بالا در وضعیت عرضی ----------۹۴

شکل ۵-۲۰ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای فولادی بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت بالا در سن ۲۸روزه----------۹۵

شکل ۵-۲۱ روند تغییرات اثر میلگرد به قطر ۱۶ میلیمتر با افزایش a/c در سنین مختلف آزمایش----------۹۶

شکل ۵-۲۲ روند تغییرات اثر میلگرد به قطر ۲۵ میلیمتر با افزایش a/c در سنین مختلف آزمایش----------۹۶

شکل ۵-۲۳ ضرایب k برای بتن با مقاومت بالا مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت طولی ----------۹۷

شکل ۵-۲۴ ضرایب k برای بتن با مقاومت بالا مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت عرضی ----------۹۸

شکل ۵-۲۵ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت بالا در وضعیت طولی ----------۱۰۰

شکل ۵-۲۶ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن با مقاومت بالا در وضعیت عرضی ----------۱۰۱

شکل ۵-۲۷ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای FRP بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت بالا در سن ۲۸روزه----------۱۰۲

شکل ۵-۲۸ ضرایب k برای بتن با مقاومت بالا مسلح به میلگرد FRP در وضعیت طولی ----------۱۰۳

شکل ۵-۲۹ ضرایب k برای بتن با مقاومت بالا مسلح به میلگرد FRP در وضعیت عرضی ----------۱۰۴

شکل ۵-۳۰ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در وضعیت طولی ---------۱۰۵

شکل ۵-۳۱ تاثیر میلگردهای فولادی بر روی سرعت امواج عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در وضعیت عرضی --------۱۰۶

شکل ۵-۳۲ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای فولادی بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در سن ۲۸روزه----------۱۰۷

شکل ۵-۳۳ ضرایب k برای بتن حاوی الیاف فولادی مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت طولی ----------۱۰۹

شکل ۵-۳۴ ضرایب k برای بتن حاوی الیاف فولادی مسلح به میلگرد فولادی در وضعیت عرضی ----------۱۱۰

شکل ۵-۳۵ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در وضعیت طولی ----------۱۱۱

شکل ۵-۳۶ تاثیر میلگردهای FRP بر روی سرعت امواج عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در وضعیت عرضی ----------۱۱۲

شکل ۵-۳۷ تاثیر فاصله مبدل از میلگردهای FRP بر سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن حاوی الیاف فولادی در سن ۲۸روزه----------۱۱۳

شکل ۵-۳۸ ضرایب k برای بتن حاوی الیاف فولادی مسلح به میلگرد FRP در وضعیت طولی ----------۱۱۵

شکل ۵-۳۹ ضرایب k برای بتن حاوی الیاف فولادی مسلح به میلگرد FRP در وضعیت عرضی ----------۱۱۶

شکل ۵-۴۰ تاثیر میلگرد فولادی به قطر ۲۵ بر سرعت موج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط مرطوب ----------۱۱۷

شکل ۵-۴۱ تاثیر فاصله مبدل از میلگرد فولادی به قطر ۲۵ بر سرعت موج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط تحت عمل آوری مرطوب در سن ۲۸روزه ----------۱۱۷

شکل ۵-۴۲ ضریب k برای بتن با مقاومت متوسط تحت عمل آوری مرطوب مسلح به میلگرد فولادی به قطر ۲۵-------۱۱۸

شکل ۵-۴۳ تاثیر میلگرد FRP به قطر ۲۵ بر سرعت موج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط مرطوب ----------۱۱۹

شکل ۵-۴۴ تاثیر فاصله مبدل از میلگرد FRP به قطر ۲۵ بر سرعت موج اولتراسونیک عبوری از بتن با مقاومت متوسط تحت عمل آوری مرطوب در سن ۲۸روزه----------۱۱۹

شکل ۵-۴۵ روند تغییرات اثر میلگرد با افزایش a/c در سنین مختلف آزمایش----------۱۱۹

شکل ۵-۴۶ ضریب k برای بتن با مقاومت متوسط تحت عمل آوری مرطوب مسلح به میلگرد FRP به قطر ۲۵ ----------۱۲۰

شکل ۵-۴۷ مقایسه ضریب k میلگردهای فولادی و FRP در بتن با مقاومت متوسط ----------۱۲۱

شکل ۵-۴۸مقایسه ضریب k میلگردهای فولادی و FRP در بتن با مقاومت بالا ----------۱۲۳

شکل ۵-۴۹ مقایسه ضریب k میلگردهای فولادی و FRP در بتن حاوی الیاف فولادی ----------۱۲۴

شکل ۵-۵۰ مقایسه اثر میلگرد فولادی به قطر ۱۲ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۵

شکل ۵-۵۱ مقایسه اثر میلگرد فولادی به قطر ۱۶ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۶

شکل ۵-۵۲ مقایسه اثر میلگرد فولادی به قطر ۲۵ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۶
شکل ۵-۵۳ مقایسه اثر میلگرد FRP به قطر ۱۲ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۷
شکل ۵-۵۴ مقایسه اثر میلگرد FRP به قطر ۱۶ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۷
شکل ۵-۵۵ مقایسه اثر میلگرد FRP به قطر ۲۵ در بتن های مختلف در وضعیت های طولی و عرضی----------۱۲۸
شکل ۵-۵۶ مقایسه اثر میلگرد فولادی به قطر ۲۵ mm در دو وضعیت طولی و عرضی در بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط خشک و مرطوب----- ----------۱۲۹
شکل ۵-۵۷ مقایسه اثر میلگرد FRP به قطر ۲۵ mm در دو وضعیت طولی و عرضی در بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط خشک و مرطوب----- ----------۱۲۹
شکل ۵-۵۸ مقایسه ضرایب اصلاحی K به دست آمده با سایر مراجع----------۱۳۰

چکیده :

بررسی اثر میلگرد FRP بر روی امواج اولتراسونیک عبوری از بتن

محسن فلاحتکار گشتی

در روش غیرمخرب امواج اولتراسونیک یکی از عوامل موثر بر روی سرعت پالس ، حضور میلگرد است.سرعت پالس اندازه گیری شده در بتن مسلح بیش تر از بتن خالص(غیر مسلح) است . میزان افزایش در سرعت پالس به عواملی مانند نزدیکی مسیر انتشار به میلگرد ، قطر ، تعداد و راستای میلگرد نسبت به مسیر انتشار موج بستگی دارد.اثر میلگرد در سرعت پالس عبوری در دو حالت بررسی می شود : حالتی که محور میلگرد موازی با مسیر انتشار موج باشد (حالت طولی) و حالتی که محور میلگرد عمود بر مسیر انتشار موج باشد (حالت عرضی) . جهت اصلاح مقادیر اندازه گیری شده سرعت پالس عبوری از بتن مسلح ، از ضریب اصلاحی k استفاده می شود. این پارامتر نشان دهنده میزان اثر میلگرد در سرعت پالس عبوری است. در این پایان نامه ،اثر میلگردهای از نوع FRP و فولادی در سه نوع بتن شامل بتن با مقاومت متوسط ، بتن با مقاومت بالا و بتن حاوی الیاف فولادی تعیین شده است.در این مطالعه ، از نمونه های تیر به ابعاد ۲۵cm*۲۵*۵۰ مسلح به میلگردهای از نوع FRP و فولادی به قطرهای ۱۲mmو۱۶و۲۵ استفاده شده است که آزمایش اولتراسونیک در ۲ حالت طولی و عرضی و در سنین ۳،۵،۷،۲۸و۹۰ روز بر روی آن ها انجام شد.جهت تعیین اثر میلگرد در فواصل مختلف مسیر انتشار از لبه نزدیکترین میلگرد در حالت طولی ، آزمایش اولتراسونیک برای مقادیر ۳< a/c >۰ انجام شده است. جهت تعیین مقاومت فشاری و سرعت پالس عبوری از بتن های مورد استفاده ، آزمایش های مقاومت فشاری و اولتراسونیک بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد ۱۵ cm*۱۵*۱۵ در سنین آزمایش انجام شد.در نهایت ، نتایج این مطالعه نشان می دهند که اثر میلگرد FRP بیش تر از میلگرد فولادی در دو حالت طولی و عرضی است. نتایج نشان می دهند که اثر هر دو میلگرد FRP و فولادی در حالت طولی نسبت به حالت عرضی بیش تر است.هر دو میلگرد FRP و فولادی بیش ترین اثر را در بتن حاوی الیاف فولادی و کم ترین اثر را در بتن با مقاومت بالا دارند. نتایج نشان می دهند که اثرات میلگرد در نسبت۳ =a/c مشاهده می شود.نتایج مطالعه بر روی تاثیر شرایط عمل آوری بتن (مرطوب و خشک) در اثرگذاری میلگرد نشان می دهد که اثر هر دو میلگرد FRP و فولادی به قطر ۲۵mm ، در بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط خشک بیش تر از بتن با مقاومت متوسط عمل آوری شده در شرایط مرطوب است.آخرین نتیجه حاصل این است که ، ضریب اصلاحی k در تمامی نمونه ها و در دو حالت طولی و عرضی با افزایش قطر میلگردهای FRP و فولادی ، کاهش می یابد.

کلید واژه : بتن و اولتراسونیک ، اولتراسونیک و میلگردFRP ، بتن الیاف فولادی ، FRP ،اولتراسونیک وضریب K ، اولتراسونیک و سرعت پالس

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱پیشگفتار :

معیار اصلی جهت بررسی کنترل کیفی بتن آزمایش خواص مکانیکی آن می باشد.مهم ترین آزمایش کنترل بتن شامل مقاومت فشاری ، کششی ، خمشی و مدول الاستیسیته آن می باشد. بررسی مقاومت فشاری بتن یکی از رایج ترین آزمایش های بتن سخت شده است و تاکنون یکی از مهم ترین خواص بتن در نظر گرفته می شود معمولا مقاومت بتن یک تصویر کلی از کیفیت آن را به دست می دهد و دلیل این آن است که مقاومت بتن مستقیما به ساختمان خمیر سخت شده آن بستگی دارد. اکثر آیین نامه های متداول ساختمان بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش روی نمونه های استاندارد ، کیفیت بتن را میزان قضاوت و کنترل خود قرار می دهند.اما حائز اهمیت است که بر روی خواص نمونه های آزمایشگاهی خصوصیات کامل و واقعی بین اجرایی (بتن در محل سرویس دهی) را در بر نمی گیرد.شرایطی که موجب می شود پس از ساخت بتن نیاز به تعیین مقاومت بتن در سازه می باشد عبارتند از :

- نامطلوب بودن اجرا
- عدم تطابق مقاومت نمونه های استاندارد با مشخصات فنی طرح
- آسیب دیدگی بتن در سازه
- اطمینان از سلامت و کیفیت سرویس دهی اعضای سازه ای مشکوک
- عدم دسترسی به نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری نمونه های استاندارد
- عدم توجه به شرایط نگهداری و عمل آوری بتن سازه
- تفاوت سرعت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی
- تغییر کاربری ساختمان سازه موجود

با توجه به موارد فوق تلاش های گسترده ای جهت کنترل کمی و کیفی مقاومت بتن سازه انجام گردید و روش های آزمایشی متعددی ابداع گردید که بر اساس آسیب دیدگی در سازه به گروه نیمه مخرب و غیرمخرب تقسیم می شود که عبارتند از :

- روش ماورای صوت (امواج اولتراسونیک)
- تعیین مقاومت بتن براساس آزمایش های نزدیک به سطح
- روش چکش اشمیت
- روش مغزه گیری