پردیس دانشگاهی

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

بررسی پارامترهای موثر بر آزمایش نیمه‌مخرب Pull off

در ارزیابی مقاومت بتن

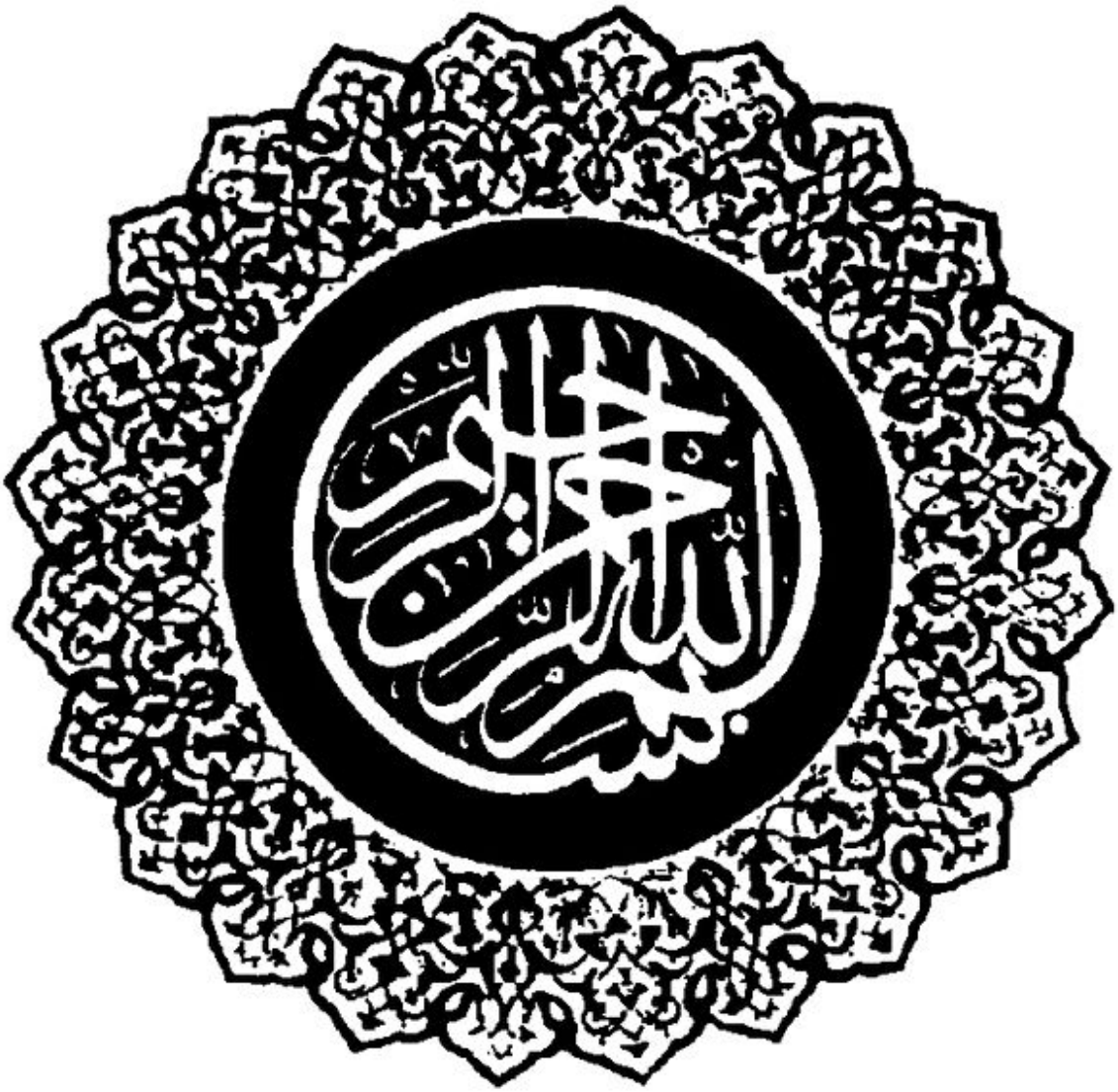
از:

اکبر شهیدزاده‌عربانی

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدندوست

بهمن‌ماه ۱۳۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس دانشگاهی

گروه عمران

گرایش سازه

بررسی پارامترهای موثر بر آزمایش نیمه‌مخرب Pull Off

در ارزیابی مقاومت بتن

از:

اکبر شهیدزاده‌عربانی

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدندوست

بهمن‌ماه ۱۳۹۲

تقدیم به

برادرم

مهران

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس بر یگانه عالِم هستی که خالق آسمان‌ها و زمین است و آفریننده علوم و بنا به کلام بی‌همتایش « **هو بکل شیء علیم** » حمد و سپاس سزاوار اوست که حقیر را توفیق کسب علم و دانش عطا فرمود و ذره‌ای از انوار پرفروغ علم و دانش را در حد وسع و توان حقیر، فرا رویم قرار داد تا با استعانت از ذات اقدس‌اش در مسیر کسب آن حرکت نمایم و مراتب شکرگزاری خویش را ابراز و اذعان نمایم.

بدینوسیله از **همسرم** که در تمام مدت تحصیل همواره یار و پشتیبان و مشوق من بوده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. زحمات رؤسا، اولیا و کارکنان محترم دانشگاه‌گیلان را پاس داشته، خسته نباشید عرض می‌نمایم.

بنا به فرمایش حضرت علی (ع) « من عمنی حرفاً فقر صیرنی عبداً » از خداوند بزرگ می‌خواهم مرا قدردان اساتید فرهیخته‌ای بداند که ذکات علم خود را اشاعه آن قرار داده‌اند و تمام سعی خود را در این راه مبذول فرموده و از هیچ تلاشی فروگذار ننموده که دانشجویان از چشمه جوشان علم و معرفت آنان بهره‌مند گردند.

از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای **دکتر مدندوست** که در انجام این پروژه راهنما و راهگشای اینجانب بوده‌اند تشکر و قدردانی ویژه می‌نمایم.

از عزیزان جناب آقای **دکتر حمیدرضا خشنود** و **مهندس رضا قویدل** که در انجام این پروژه مساعدت فراوان نموده اند نیز تشکر می‌نمایم.

ضمناً بر خود وظیفه می‌دانم از دیگر اساتید بزرگوارم، جناب آقای **دکتر حاجتی‌مدارایی**، جناب آقای **دکتر رنجبر**، جناب آقای **دکتر رزاقی**، جناب آقای **دکتر فلاح**، جناب آقای **دکتر بهار**، جناب آقای **دکتر پورزینلی**، جناب آقای **دکتر صدرممتازی**، جناب آقای **دکتر صابری** که از ابتدای تحصیل در این دانشگاه از محضر آنان کسب فیض نموده‌ام سپاسگزاری نمایم.

ازخداوند بزرگ برای همه اساتید بزرگوار و دوستان عزیز هم‌دانشگاهی‌ام سلامتی و توفیق روز افزون مسئلت می‌نمایم.

اکبر شهیدزاده‌عربانی

فهرست عناوین

عنوان صفحه

چکیده فارسی ..... ر
چکیده انگلیسی ..... ز
پیشگفتار ۱
مقدمه ۲
هدف از انجام تحقیق ۳
ساختار پایان‌نامه ۳

فصل اول : روش‌های ارزیابی مقاومت بتن درمحل سرویس‌دهی

۱-۱. مقدمه ٦
۱-۲. آزمایش‌های مقاومت فشاری ٦
۱-۳. ضرورت انجام آزمایش در محل سرویس‌دهی ۷
۱ـ٤. روش‌های غیرمخرب ۱۰
۱-٤-۱. روش سختی‌سطح ۱۰
۱ـ٤ـ۱ـ۱. کاربردها و قابلیت اطمینان نتایج آزمایش چکش‌ارتجاعی ۱۱
۱-٤-۲. روش تعیین سرعت امواج ماورای صوت ۱۲
۱-٤-۲-۱. ارتباط بین سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری بتن ۱٤
۱-۵. روش‌های نیمه‌مخرب ۱٤
۱-۵-۱. انواع روش‌های نیمه‌مخرب ۱٤
۱-۵-۱-۱. آزمایش مقاومت‌نفوذ ۱٤
۱-۵-۱-۱-۱. ارتباط طول بیرون مانده سوزن‌ویندسور با مقاومت‌فشاری ۱۷
۱-۵-۱-۲. آزمایش‌های بیرون‌کشیدگی ۱۹
۱ـ۵ـ۱ـ۲ـ۱. روش درون‌گسیختگی ۲۰
۱-۵-۱-۳. آزمایش پاره‌شدگی ۲۱
۱-۵-۱-٤. مغزه‌گیری ۲۲

فصل دوم : مروری بر آزمایش Pull-Off و مطالعات انجام شده

۲ ـ ۱ . مقدمه ۲٤
۲ ـ ۲ . معرفی آزمایش Pull Off ۲٤
۲ ـ ۳. نحوه چسباندن دیسک به بتن ۲٤
۲-٤. روش‌های آزمایش Pull Off ۲۵
۲-۵. ضرورت استفاده از روش مغزه‌جزئی ۲٦
۲ ـ ٦ . ارتباط مقاومت Pull Off با مقاومت فشاری بتن ۲۸
۲ ـ ۷. تأثیر سن بتن ۲۸

عنوان صفحه

۲ ـ ۸. تأثیر نوع و اندازه دانه‌بندی ۲۹
۲–۹. تأثیر وضعیت عمل‌آوری ۳۰
۲–۱۰. تاثیر دستگاه‌ها و شرایط محیطی ۳۰
۲–۱۰–۱. معرفی ابزارهای آزمایش ۳۱
۲–۱۰–۱–۱.دستگاه جرمان ۳۱
۲–۱۰–۱–۲.دستگاه داینا ۳۲
۲–۱۰–۱–۳.دستگاه هیلتی ۳۳
۲–۱۰–۲. نتایج ۳۳
۲–۱۱. تاثیر خروج از مرکزیت ۳۵
۲–۱۲. تاثیر ابعاد نمونه‌های آزمایشگاهی ۳۸
۲–۱۳. تاثیر عمل متەزنی در روش مغزه‌جزئی ۳۹
۲–۱٤. تاثیر چسب رزین‌اپوکسی ۳۹
۲–۱۵. تاثیر ابعاد و جنس دیسک ۳۹
۲–۱٦. تاثیر عمق مغزه‌گیری ٤۱
۲–۱۷. تاثیر عکس‌العمل ابزار آزمایش سه پایه‌ای ٤۱
۲ ـ ۱۸. ملاحضات استانداردها در آزمایش Pull Off ٤۱
۲ ـ ۱۸ ـ ۱. استاندارد BS ٤۱
۲ ـ ۱۸ ـ ۲. استاندارد ASTM ٤۲

فصل سوم: برنامه آزمایشگاهی

۳–۱. مقدمه ٤٤
۳–۲. مصالح مصرفی ٤٤
۳–۲–۱. مصالح مصرفی در ساخت نمونه‌های مکعبی استاندارد ٤٤
۳–۲–۱–۱. مصالح سنگی مصرفی ٤٤
۳–۲–۱–۲. سیمان ٤٦
۳–۲–۱–۳. آب ٤٦
۳–۲–۲. مصالح مصرفی در ساخت دیسک‌های فلزی ٤٦
۳–۲–۲–۱. فولاد ٤٦
۳–۲–۲–۲. آلومینیوم ٤۷
۳–۲–۳. چسب ٤۷
۳–۳. طرح اختلاط بتن ٤۸
۳–٤. ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی ٤۸
۳–۵. شرایط نگهداری نمونه‌ها ٤۹

عنوان صفحه

۳-۵. آماده‌سازی سطح ٤۹
۳-٦. آزمایش نمونه‌ها ۵۰

فصل چهارم : مدل‌سازی و کاربرد نرم‌افزار ABAQUS

٤-۱. مقدمه ۵۳
٤-۲. آشنایی با نرم‌افزار آباکوس ۵٤
٤-۳. روش آنالیز ۵٤
٤-٤. مدل سازی اجزاءمحدود دیسک فلزی متصل به بتن ۵٤
٤-٤-۱. ساخت مدل و انتخاب نوع المان ۵٤
٤-٤-۲. مواد ۵۵
٤-٤-۳. مدل تماسی دیسک و بتن ۵۸
٤-٤-٤. پاراتیشن‌بندی و مش‌بندی ۵۸
٤-٤-۵. بارگذاری، شرایط مرزی و مراحل آنالیز ۵۹
٤ـ۵. محاسبه نیروی گسیختگی و مقاومت Pull Off به کمک نتایج آنالیز ٦۰
٤ـ٦. صحت سنجی ٦۲

فصل پنجم : ارائه نتایج و تحلیل

۵-۱. مقدمه ٦٤
۵-۲. نتایج آزمایشگاهی ٦٤
۵-۲-۱. مقاومت فشاری ٦٤
۵-۲-۲. بار گسیختگی و مقاومت‌های Pull Off ٦۵
۵-۲-۲-۱. طرح اختلاط C1 ..... ٦۵
۵-۲-۲-۲. طرح اختلاط C2 ..... ٦۷
۵-۲-۳. مشاهدات ویژه برنامه آزمایشگاهی ٦۹
۵-۲-٤. تحلیل نتایج برنامه آزمایشگاهی ۷۰
۵-۳. نتایج تحلیل نظری ۷۳
۵-۳-۱. بار گسیختگی و مقاومت‌های Pull Off ۷٤
۵-۳-۱-۱. رده مقاومتی C1 ..... ۷٤
۵-۳-۱-۲. رده مقاومتی C2 ..... ۷٦
۵-۳-۲. تحلیل نتایج نظری ۷۸
۵-۳-۳. بررسی توزیع تنش‌ها ۸۱
۵-۳-۳-۱. روش سطحی ۸۱

عنوان صفحه

۵-۳-۳-۲. روش مغزه‌جزئی ۸۲
۵-۳-۴. بررسی روند گسیختگی ۹۹
۵-۳-۴-۱. روش سطحی ۹۹
۵-۳-۴-۲. روش مغزه‌جزئی ۱۰۰
۵-۳-۵. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نظری ۱۰۲
۵-۳-۶. ارایه منحنی کالیبره ۱۰۸

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد
۶-۱. مقدمه ۱۱۱
۶-۲. نتیجه‌گیری ۱۱۱
۶-۲-۱. برنامه آزمایشگاهی ۱۱۱
۶-۲-۲. تحلیل نظری ۱۱۳
۶-۳. پیشنهاد برای کارهای آینده ۱۱٤

مراجع ۱۱۵

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۳-۱. مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی ٤٤
جدول ۳-۲.تجزیه شیمیایی سیمان ٤٦
جدول ۳-۳.مشخصات مکانیکی چسب رزین‌اپوکسی ٤٨
جدول ۳-٤. مقادیر مصالح مصرفی در یک مترمکعب بتن ٤٨
جدول ٤-۱. خواص مواد ٥٥
جدول ٤-۲. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک فولادی– روش سطحی- ضخامت ۱۰ میلیمتر ٦٢
جدول ٥-۱. نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط‌های مختلف بتن (MPa) ٦٤
جدول ٥-۲. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک فولادی ٦٦
جدول ٥-۳. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک آلومینیومی ٦٦
جدول ٥-٤. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک فولادی ٦٦
جدول ٥-٥. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک آلومینیومی ٦٧
جدول ٥-٦. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک فولادی ٦٧
جدول ٥-۷. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک آلومینیومی ٦٨
جدول ٥-۸. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک فولادی ٦٨
جدول ٥-۹. میانگین بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک آلومینیومی ٦٨
جدول ٥-۱۰. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک فولادی ٧٤
جدول ٥-۱۱. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک آلومینیومی ٧٤
جدول ٥-۱۲. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک فولادی ٧٥
جدول ٥-۱۳. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک آلومینیومی ٧٥
جدول ٥-۱٤. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک فولادی ٧٦
جدول ٥-۱٥. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش سطحی- دیسک آلومینیومی ٧٦
جدول ٥-۱٦. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک فولادی ٧٧
جدول ٥-۱۷. مقادیر بارگسیختگی و مقاومت Pull Off- روش مغزه‌جزئی- دیسک آلومینیومی ٧٧
جدول ٥-۱۸. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک فولادی– روش سطحی– بتن C1 ..... ۱۰٥
جدول ٥-۱۹. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک آلومینیومی– روش سطحی– بتن C1 ..... ۱۰٦
جدول ٥-۲۰. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک فولادی– روش مغزه‌جزئی– بتن C1 ..... ۱۰٦
جدول ٥-۲۱. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک آلومینیومی– روش مغزه‌جزئی– بتن C1 ..... ۱۰٦
جدول ٥-۲۲. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک فولادی– روش سطحی– بتن C2 ..... ۱۰۷
جدول ٥-۲۳. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک آلومینیومی– روش سطحی– بتن C2 ..... ۱۰۷
جدول ٥-۲٤. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک فولادی– روش مغزه‌جزئی– بتن C2 ..... ۱۰۷
جدول ٥-۲٥. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و نظری– دیسک آلومینیومی– روش مغزه‌جزئی– بتن C2 ..... ۱۰۸
جدول ٥-۲٦. نتایج نظری مقاومت Pull Off – دیسک فولادی به قطر ٥۰ و ضخامت ۲٥ میلیمتر ۱۰۸

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱ـ۱. تصویر شماتیک چکش بازگشتی ـ مراحل انجام آزمایش ۱۱
شکل ۱ـ۲. دستگاه پاندیت ۱۳
شکل ۱ـ۳. تجهیزات مورد نیاز در روش مقاومت نفوذ ۱۵
شکل ۱ـ٤. نحوه انجام آزمایش سوزن ویندسور ۱٦
شکل ۱ـ۵. انواع سوزن‌های ویندسور ۱٦
شکل ۱ـ٦. نمودار کالیبراسیون مقاومت فشاری برای دو سنگدانه با درجه سختی متفاوت ۱۸
شکل ۱ـ۷. نمودار کالیبراسیون مقاومت فشاری برای بتن معمولی و بتن سبک ۱۹
شکل ۱ـ۸. مخروط جدا شده از بتن تحت آزمایش بیرون کشیدگی ۱۹
شکل ۱ـ۹. نمای کلی آزمایش بیرون کشیدگی (Pull Out) ۲۰
شکل ۱ـ۱۰. روش درون گسیختگی (Inrernal Fracture Test) ۲۱
شکل ۱ـ۱۱. تهیه نمونه‌های مغزه ۲۲
شکل ۲ـ۱. روش‌های انجام آزمایش (Pull Off) ۲٦
شکل ۲ـ۲. دستگاه داینا ۲٦
شکل۲ـ۳. مغزه جدا شده از نمونه در روش مغزه‌جزئی ۲۷
شکل ۲ـ ٤. مقایسه نتایج دو روش انجام آزمایش Pull Off ۲۷
شکل ۲ ـ ۵ . تأثیر سن بتن بر روی نتایج مقاومت Pull Off انجام شده بر روی بتن سبک حاوی لایتگ ۲۹
شکل ۲ـ ٦ . تاثیر نوع سنگدانه در نتایج آزمایش مقاومت فشاری بدست آمده از روش Pull Off ۳۰
شکل ۲ـ ۷. محل قرارگیری مغزه به قطر ۷۵ و ۵۰ میلیمتر در دال‌های تعمیر شده ۳۱
شکل ۲ـ ۸ . مدهای شکست مغزه در آزمایش مقاومت چسبندگی تعمیرات بتن به روش Pull Off ۳۱
شکل ۲ـ ۹ . نحوه انجام آزمایش به‌وسیله دستگاه جرمان ۳۲
شکل ۲ـ ۱۰. نحوه انجام آزمایش به‌وسیله دستگاه داینا ۳۲
شکل ۲ـ ۱۱. نحوه انجام آزمایش به‌وسیله دستگاه هیلتی ۳۳
شکل ۲ـ ۱۲. ایجاد زاویه انحراف α به سبب مغزه‌گیری نادرست ۳٦
شکل ۲ـ ۱۳. ایجاد بار خروج از مرکز واقعی به علت قرارگیری نادرست دیسک ۳٦
شکل ۲ـ ۱٤. تاثیر مغزه‌گیری نادرست بر روی مقاومت Pull Off ۳۷
شکل ۲ـ ۱۵. ابزار مخصوص برای ایجاد زاویه انحراف ۳۸
شکل ۲ـ ۱٦. تاثیرات آزمایشگاهی متغیر جنس و ضخامت دیسک (روش سطحی) ٤۰
شکل ۲ـ ۱۷. تاثیرات آزمایشگاهی عمق مغزه‌گیری ٤۱
شکل ۳-۱. منحنی دانه‌بندی مصالح ریزدانه بر اساس الزامات آیین‌نامه ASTM C33-03 ٤۵
شکل ۳-۲. منحنی دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه بر اساس الزامات آیین‌نامه ASTM C33-03 ٤۵
شکل ۳-۳. مقطع عرضی دیسک فلزی ٤۷
شکل ۳-٤. نمونه‌های مکعبی آماده برای انجام آزمایش Pull Off ٤۹

عنوان صفحه

شکل ۳-۵. دستگاه آزمایش DYNA ۵۰
شکل ٤-۱. اعمال بار کششی بر دیسک و ایجاد عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی ۵۳
شکل ٤-۲. منحنی تنش- کرنش فشاری در بتن C1 ..... ۵٦
شکل ٤-۳. منحنی تنش- کرنش کششی در بتن C1 ..... ۵٦
شکل ٤-٤. منحنی تنش- کرنش فشاری در بتن C2 ..... ۵۷
شکل ٤-۵. منحنی تنش- کرنش کششی در بتن C2 ..... ۵۷
شکل ٤-٦. پاراتیشن‌بندی نمونه‌ها؛ روش سطحی (سمت راست) و روش مغزه‌جزیی (سمت چپ) ۵۹
شکل ٤-۷. مش‌بندی نمونه‌ها؛ روش سطحی (سمت راست) و روش مغزه‌جزیی (سمت چپ) ۵۹
شکل ٤-۸. اعمال بار ۲۰۰ مگاپاسکال بر سطح مقطع میله رابط ٦۰
شکل ٤-۹. پنجره نتایج برنامه در حین آنالیز ٦۱
شکل ۵-۱. تاثیر متغیرهای دیسک در روش سطحی - بتن C1 ..... ۷۱
شکل ۵-۲. تاثیر متغیرهای دیسک در روش مغزه‌جزئی - بتن C1 ..... ۷۱
شکل ۵-۳. تاثیر متغیرهای دیسک در روش سطحی - بتن C2 ..... ۷۲
شکل ۵-٤. تاثیر متغیرهای دیسک در روش مغزه‌جزئی - بتن C2 ..... ۷۲
شکل ۵-۵. درصد اختلاف نتایج آزمایشگاهی به ازای متغیرهای دیسک، بتن و روش آزمایش ۷۳
شکل ۵-٦. تاثیر ضخامت دیسک در روش سطحی - بتن C1 ..... ۷۹
شکل ۵-۷. تاثیر ضخامت دیسک در روش مغزه‌جزئی - بتن C1 ..... ۷۹
شکل ۵-۸. تاثیر ضخامت دیسک در روش سطحی ـ بتن C2 ..... ۸۰
شکل ۵-۹. تاثیر ضخامت دیسک در روش مغزه‌جزئی - بتن C2 ..... ۸۰
شکل ۵-۱۰. درصد اختلاف نتایج نظری به ازای ضخامت دیسک، بتن و روش آزمایش ۸۱
شکل ۵-۱۱. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸۳
شکل ۵-۱۲. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸۳
شکل ۵-۱۳. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸٤
شکل ۵-۱٤. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر- بتنC1 ..... ۸٤
شکل ۵-۱۵. توزیع تنش‌های اصلی کششی- دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸۵
شکل ۵-۱٦. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸۵
شکل ۵-۱۷. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸٦
شکل ۵-۱۸. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۸٦
شکل ۵-۱۹. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۷
شکل ۵-۲۰. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۵میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۷
شکل ۵-۲۱. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۸
شکل ۵-۲۲. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۸
شکل ۵-۲۳. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۹

عنوان صفحه

شکل ۵-۲٤. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۸۹
شکل ۵-۲۵. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۰
شکل ۵-۲٦. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۰
شکل ۵-۲۷. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۱
شکل ۵-۲۸. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۱
شکل ۵-۲۹. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۲
شکل ۵-۳۰. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۲
شکل ۵-۳۱. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۳
شکل ۵-۳۲. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹۳
شکل ۵-۳۳. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹٤
شکل ۵-۳٤. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C1 ..... ۹٤
شکل ۵-۳۵. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۵
شکل ۵-۳٦. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۵
شکل ۵-۳۷. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹٦
شکل ۵-۳۸. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹٦
شکل ۵-۳۹. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۷
شکل ۵-٤۰. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۱۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۷
شکل ۵-٤۱. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۲۵ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۸
شکل ۵-٤۲. توزیع تنش‌های اصلی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۹۸
شکل ۵-٤۳. کانتور خرابی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۱۰۰
شکل ۵-٤٤. کانتور خرابی کششی - دیسک فولادی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۱۰۱
شکل ۵-٤۵. کانتور خرابی کششی - دیسک آلومینیومی به ضخامت ۳۰ میلیمتر - بتن C2 ..... ۱۰۲
شکل ۵-٤٦. تاثیر ضخامت و جنس دیسک در روش آزمایشگاهی و نظری - روش سطحی - بتن C1 ..... ۱۰۳
شکل ۵-٤۷. تاثیر ضخامت و جنس دیسک در روش آزمایشگاهی و نظری - روش مغزه‌جزئی - بتن C1 ..... ۱۰٤
شکل ۵-٤۸. تاثیر ضخامت و جنس دیسک در روش آزمایشگاهی و نظری - روش سطحی - بتن C2 ..... ۱۰٤
شکل ۵-٤۹. تاثیر ضخامت و جنس دیسک در روش آزمایشگاهی و نظری - روش مغزه‌جزئی - بتن C2 ..... ۱۰۵
شکل ۵-۵۰. نمودار کالیبره - دیسک فولادی به قطر ۵۰ و ضخامت ۲۵ میلیمتر (سطحی) ۱۰۹
شکل ۵-۵۱. نمودار کالیبره - دیسک فولادی به قطر ۵۰ و ضخامت ۲۵ میلیمتر (مغزه‌جزئی) ۱۰۹

چکیده

بررسی پارامترهای موثر بر آزمایش نیمه‌مخرب Pull Off در ارزیابی مقاومت بتن
اکبر شهیدزاده عربانی

نمونه‌های استاندارد استوانه‌ای یا مکعبی بدلیل عواملی همچون عدم توجه به شرایط واقعی عمل‌آوری، نحوه انتخاب نمونه‌ها از کل مجموعه و تفاوت در نوع تراکم، معرف خصوصیات بتن بکار رفته در ساخت اعضای سازه واقعی نمی‌باشد. لذا روش‌های متعددی برای ارزیابی مقاومت بتن در محل سرویس‌دهی ابداع گردیده است که به دو گروه غیرمخرب و نیمه‌مخرب تقسیم‌بندی می‌شوند. آزمایش Pull Off یکی از روش‌های نیمه‌مخرب است که با ایجاد اثر تخریب‌جزئی در سازه، عملکرد سازه‌ای را مختل نمی‌کند. در این آزمایش به دو روش سطحی و مغزه‌جزئی، دیسک فولادی یا آلومینیومی توسط چسب اپوکسی روی سطح بتن چسبانده می‌شود. آزمایش بر این اصل استوار است که مقدار نیروی کششی لازم جهت جدا شدن دیسک همراه با لایه سطحی یا مغزه‌جزئی بتن، با مقاومت بتن مرتبط است.

پایان‌نامه حاضر در دو بخش برنامه آزمایشگاهی و نرم‌افزاری، عوامل مؤثر بر آزمایش Pull Off شامل جنس و ابعاد دیسک و تراز مقاومت بتن را مورد بررسی قرار می‌دهد. نمونه‌های استاندارد مکعبی در دو تراز مقاومت ساخته شد و با تغییر دیسک به دو روش فوق آزمایش گردید. ازسوی دیگر، نمونه‌ها به روش المان‌محدود و غیرخطی به کمک نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و تحلیل گردید و سپس نتایج مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که نیروی شکست کوچکتر به ازای استفاده از دیسک با ضخامت کمتر حاصل می‌شود. دیسک فولادی در هر ضخامت، بار شکست بزرگتری در مقایسه با دیسک آلومینیومی نظیر نشان می‌دهد. همچنین بار شکست در روش مغزه‌جزئی، کوچکتر از بار شکست در روش سطحی است. نتایج توزیع تنش نشان می‌دهد؛ به ازای استفاده از دیسک با ضخامت ۲۵ میلیمتر و بیشتر، تنش کششی یکنواخت در محاذات دیسک و بتن به وجود می‌آید.

کلیدواژه: آزمایش Pull Off، روش نیمه‌مخرب، مقاومت بتن

Abstract

Factors influencing " Pull-Off test " on concrete strength assessment

Akbar Shahidzadeh Arabani

Cylindrical or cubic standard samples due to factors such as inattention to the real conditions of curing, the way of choosing samples out of total collection and difference at type of compaction, doesn't identify the characteristics of applied concrete at real structure. Therefore, various methods for assessing in-situ concrete strength have been invented that are divided in two groups of non-destructive and semi-destructive. The Pull-Off test is one of semi-destructive methods that doesn't disorder structural performance by creating partial destruction at the structure. In this test steel or aluminum disc is stocked to the surface of concrete by epoxy glue through surface and partial core metods. The test is based on this principle that the amount of necessary direct tensile force for separating disc accompanied by surface layer or partial core of concrete, is related to concrete strength.

The current thesis in two section of laboratory and numerical analysis consider the factors influencing Pull-Off test including type and dimention of disc and level of concrete strength. Cubic standard samples were built in two levels of strength and was tested with the change of disc by two above methods. On other hand, the samples were modeled and analyzed in nonlinear method by ABAQUS software and then the results have been compared. The results indicates that the smaller fracture force is obtained due to using Disc with less thickness. Steel disc in any thickness shows bigger fracture force comparing to similar aluminum disc. Also failure force in partial coring method is smaller than fracture force at surface method. The results of principal stress distribution show that for using every disc with 25 mm thickness and more, uniform tensile stress be appeared in disc and concrete interface.

Keywords: Pull-Off test, Semi-Destructive Method, Concrete Strength

پیشگفتار

مقدمه:

مقاومت فشاری مهمترین مشخصه بتن است و ارزیابی کمی و کیفی اعضای سازه‌ای بتن آرمه از طریق تعیین مقاومت بتن با انجام آزمایش بر روی نمونه استاندارد انجام می‌پذیرد، لیکن ممکن است این نمونه‌ها معرف مشخصات و خصوصیات واقعی بتن نباشند. از جمله عوامل موثر عدم توجه به شرایط واقعی عمل‌آوری بتن، در نظر نگرفتن درجه تراکم بتن در سازه ، تغییرات در نوع و مقدار مصالح از پیمانه‌ای به پیمانه دیگر و عدم توجه به فاصله را ذکر نمود. همچنین پس از وقوع حوادثی نظیر زلزله و آتش‌سوزی و یا ایجاد تغییرات در کاربری ساختمان موجود، اساساً نمونه‌های استاندارد نمی‌تواند جوابگو باشد. در تمام این موارد انجام آزمایشات درجا ضرورت پیدا می‌کند. تاکنون روش‌های متفاوتی برای ارزیابی مقاومت بتن در محل سرویس‌دهی ابداع گردیده است که به صورت روش‌های غیرمخرب و یا نیمه‌مخرب می‌باشند.

به کمک آزمایشات غیرمخرب، می‌توان مقاومت عضو سازه‌ای و تغییرات در خواص مصالح را نسبت به زمان، با تکرار آزمایشات بر روی عضو بدون بر جای گذاردن اثر تخریب بر سازه به دست آورد. البته از آنجایی‌که تعیین مقاومت مستلزم ایجاد تنش‌های تخریبی می‌باشد، لذا واضح است که روش غیرمخرب نمی‌تواند مقاومت بتن را تعیین نماید و این کار باید توسط منحنی‌های کالیبره انجام گیرد.

در روش‌های نیمه‌مخرب با به جا گذاشتن تخریب جزئی در سازه (که البته ساختار سازه‌ای را مختل نمی‌کند) می‌توان به نوعی مقاومت بتن را مورد ارزیابی قرار داد. در روش نیمه‌مخرب از آنجایی‌که پارامتر اندازه‌گیری شده با مقاومت بتن در ارتباط می‌باشد، نسبت به روش غیرمخرب از درجه اهمیت و اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد.

در میان آزمایش‌های درجا، آزمایش نیمه‌مخرب Pull Off به عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌ها مطرح می‌باشد. این آزمایش برای مقاصد مختلفی از قبیل کنترل رشد مقاومت بتن و کنترل بتن تازه ریخته شده تا وضعیت بتن در سنین بالاتر بکار گرفته می‌شود

آزمایش Pull Off چنانچه بصورت روش سطحی[1] استفاده شود، نسبت به سایر روش‌ها در این گروه باعث ایجاد خرابی کمتری می‌شود و چنانچه از روش مغزه‌جزئی[2] استفاده گردد، در ارزیابی مقاومت چسبندگی تعمیرات در بتن مناسب خواهد بود چرا که بدین‌وسیله نیروی کششی، مستقیماً به محاذات لایه تعمیری و بتن اعمال می‌گردد.

[1] Surface Method

[2] Partial Method

هدف از تحقیق :

در انجام آزمایش Pull Off پارامترهایی نظیر تراز مقاومت بتن، جنس دیسک و ابعاد هندسی آن، نرخ بارگذاری و... می‌توانند بر نتایج آزمایش تاثیر بگذارند. در این پایان‌نامه مطالعه گسترده در دو بخش تجربی و نظری به ارزیابی پارامترهای یاد شده متمرکز می‌گردد.

مطالعه تجربی؛ شامل ساخت نمونه‌های استاندارد مکعبی بتنی در تراز مقاومتی متفاوت و عمل‌آوری آنها، ساخت دیسک‌های فلزی (فولادی و آلومینیومی) با نسبت ضخامت به قطر متفاوت، آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی و انجام آزمایش با ابزار داینا[1] ، موجود در دانشگاه‌گـیلان به دو شیوه سـطحی و مغزه‌گیری جزئی می‌باشد که منتج به تعیین بارهای گسیختگی و مقاومت‌های Pull Off نظیر می‌گردد.

مطالعه نظری شامل؛ مدل‌سازی نمونه‌های آزمایشی به روش المان‌محدود در نرم‌افزار آباکوس[2] و تحلیل به روش غیرخطی است که منتج به تعیین بارهای گسیختگی و مقاومت‌های Pull Off نظیر می‌گردد. سپس نحوه توزیع تنش‌ها و روند گسیختگی مورد بررسی قرار گرفته و در پایان نتایج حاصل از دو روش مطالعه با یکدیگر مقایسه و منحنی کالیبره ارایه می‌گردد.

ساختار پایان‌نامه :

رساله پیش رو شامل پیشگفتار و ۶ فصل می‌باشد، پیشگفتار شامل ۳ بخش مقدمه، هدف و ساختار کلی پایان‌نامه می‌باشد در بخش مقدمه به طور کلی اطلاعاتی از آزمایش و دلایل و ضرورت و تحقیق بیشتر در مورد آنها ذکر گردیده است، در بخش هدف به تبیین اهداف کلی از انجام این مطالعه پرداخته شده است. در بخش ساختار نیز به چگونگی فصل‌بندی و عنوان و مفاهیم کلی که در هر فصل پرداخته شده، اشاره گردیده است.

در فصل اول به بررسی روش‌های ارزیابی مقاومت بتن در محل سرویس‌دهی پرداخته شده است. در این فصل انواع مختلف آزمایش‌های غیرمخرب و نیمه‌مخرب به طور خلاصه تشریح شده است.

در فصل دوم که تحت عنوان مروری بر آزمایش نیمه‌مخرب Pull Off و مطالعات انجام شده می‌باشد، به معرفی آزمایش، نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها، روش‌های آزمایش، ضرورت استفاده از مغزه‌جزئی، ارتباط مقاومت Pull Off با مقاومت فشاری بتن و نیز به بررسی عوامل موثر بر آزمایش پرداخته شده است.

درفصل سوم، برنامه آزمایشگاهی تشریح شده است. در این فصل به بیان مواد و مصالح مورد استفاده، طرح اختلاط‌های

---

[1] DYNA

[2] ABAQUS

به کار رفته، ساخت نمونه‌ها، چگونگی عمل‌آوری آنها، چگونگی ساخت دیسک‌های فلزی، آماده‌سازی نمونه‌ها با توجه به روش آزمایش و اجرای آزمایش Pull Off پرداخته شده است.

در فصل چهارم که تحت عنوان مدل‌سازی و کاربرد نرم‌افزار آباکوس می‌باشد به روش آنالیز، مدل‌سازی نمونه‌ها و انتخاب نوع المان، تشریح مدل تماسی دیسک و بتن، نحوه پاراتیشن‌بندی و مش‌بندی، نحوه بارگذاری و شرایط‌مرزی، مراحل آنالیز، نحوه محاسبه نیروی‌گسیختگی ، مقاومت Pull Off و صحت‌سنجی نتایج پرداخته شده است.

درفصل پنجم به ارایه نتایج و تحلیل آنها در دو بخش برنامه آزمایشگاهی و تحلیل نظری، بررسی توزیع تنش‌ها، بررسی روند گسیختگی و مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نظری و ارایه منحنی‌کالیبره پرداخته شد. نتیجه‌گیری‌های کلی و پیشنهادات برای کارهای آینده نیز در فصل ششم آورده شده است.

فصل یکم

روش‌های ارزیابی مقاومت بتن در محل سرویس‌دهی