بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

دانشکده فنی و مهندسی،گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.SC)

گرایش سازه

عنوان :

بررسی اثر حجم خمیر سیمان بر روی خواص مکانیکی بتن خود تراکم

استاد راهنما:

دکتر منوچهر بهرویان

استاد مشاور:

دکتر شهریار طاووسی

پژوهشگر :

محمد مهدی یوسفی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادرم که همواره استاد راهنمای من در درس زندگی بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

با ادای احترام از زحمات دلسوزانه و بی دریغ استاد ارجمند و گران قدر جناب آقای دکتر منوچهر بهرویان و جناب دکتر شهریار طاووسی که در طول تحقیق و نگارش این پایان نامه ، با راهنمایی‌های خویش چراغ راه اینجانب بوده اند و همچنین از کلیه اساتید محترم هیئت داوران به خاطر حضور در جلسه دفاعیه و ارائه توصیه های ارزنده،صمیمانه تشکر می‌نمایم.

بسمه تعالی

در تاریخ :

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای/خانم از پایان نامه خود

دفاع نموده و با نمره به حروف و با درجه

مورد تصویب قرار گرفت.

امضا استاد راهنما

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف ۲

۱-۳- روش تحقیق ۳

۱-٤- مراحل تحقیق ۳

۱-۵- ساختار پایان نامه ۳

فصل ۲: مروری بر منابع **۵**

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- معرفی چگالی انباشتگی ۷

۲-۲-۲- تئوری خمیر سیمان اضافی ۸

۲-۲-۳- تعیین نسبت‌های مخلوط بر اساس حجم خمیر ۱۲

۲-۳- تأثیر اجزا مخلوط بر خواص مکانیکی بتن ۱۵

۲-۳-۱- اثر پودر سنگ ۱۵

۲-۳-۲- اثر حجم خمیر ۱۷

۲-۳-۳- اثر الیاف ۱۹

۲-۳-٤- اثر پلیمر روی مقاومت فشاری ۲۳

۲-۳-۵- اثر میکروسیلیس روی مقاومت فشاری ۲۵

۲-۳-٦- اثر نسبت آب به سیمان روی مقاومت فشاری ۲٦

۲-٤- نتیجه گیری مروری بر منابع ۲۷

فصل ۳: روش تحقیق **۲۹**

۳-۱- مقدمه ۳۰

۳-۲- برنامه آزمایشگاهی ۳۰

۳-۲-۱- مصالح مصرفی ۳۰

۳-۲-۲- نسبت‌های مخلوط ۳٤

۳-۲-۳- نحوه اختلاط : ۳۷

۳-۲-٤- ساخت نمونه‌ها و عمل آوری ۳۷

۳-۲-۵- روش آزمایش ۳۸

فصل ٤: نتایج و تفسیر **٤٠**
٤-١- مقدمه ٤١
٤-٢- نتایج ٤١
٤-٢-١- خواص بتن تازه ٤١
٤-٢-٢- خواص بتن سخت شده ٤٣
٤-٣- تفسیر نتایج ٤٩
٤-٣-١- رابطه حجم خمیر و مقاومت فشاری ٤٩
٤-٣-٢- رابطه حجم خمیر و مقاومت خمشی ٥١
٤-٣-٣- رابطه حجم خمیر و مقاومت کششی ٥٢
٤-٤- ارتباط بین خواص مکانیکی ٥٣
٤-٥- مقایسه اثر الیاف و تغییر حجم خمیر سیمان ٥٥

فصل ٥: جمع‌بندی و پیشنهادها **٥٧**
٥-١- مقدمه ٥٨
٥-١-١- جمع‌بندی ٥٨
٥-١-٢- پیشنهادها ٦٠

فصل ٦: مراجع **٦١**

فصل ٧: پیوست‌ها **٦٥**

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) تئوری خمیر سیمان اضافی ۹
شکل (۲-۲) نحوه قرار گرفتن سنگ دانه‌ها در خمیر [۱۷] ۱٤
شکل (۲-۳) افزایش مقاومت فشاری با استفاده از پودر سنگ[23] ۱۷
شکل (۲-٤) رابطه مقاومت و مقدار خمیر[۲٦] ۱۹
شکل (۲-۵) نرخ بارگذاری پلیمر در برابر فشار[۳۰] ۲۵
شکل (۲-٦) تأثیر میکروسیلیس روی خواص مکانیکی بتن[۳۵] ۲٦
شکل (۲-۷) اثر نسبت آب به سیمان روی خواص مکانیکی بتن[۳۵] ۲۷
شکل (۳-۱) منحنی طرح ملی مخلوط ایران با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر ۳۲
شکل (۳-۲) منحنی طرح ملی مخلوط ایران با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر ۳۳
شکل (۳-۳) نحوه اختلاط اجزا بتن در مخلوط کن ۳۷
شکل (٤-۱) مقاومت فشاری در برابر تغییر مقدار پودر سنگ با سیمان ثابت ٤۵
شکل (٤-۲) مقاومت فشاری در برابر تغییر مقدار سیمان با پودر ثابت ٤۵
شکل (٤-۳) مقاومت خمشی در برابر تغییر مقدار پودر سنگ با سیمان ثابت ٤٦
شکل (٤-٤) مقاومت خمشی در برابر تغییر مقدار سیمان با پودر ثابت ٤۷
شکل (٤-۵) مقاومت کششی در برابر تغییر حجم خمیر سیمان با سیمان ثابت ٤۸
شکل (٤-٦) مقاومت کششی در برابر تغییر مقدار سیمان با پودر ثابت ٤۹
شکل (٤-۷) مقاومت فشاری در برابر حجم خمیر ۵۱
شکل (٤-۸) تغییرات مقاومت خمشی در برابر تغییر حجم خمیر ۵۲
شکل (٤-۹) مقاومت کششی در برابر تغییر حجم خمیر سیمان ۵۳
شکل (٤-۱۰) رابطه بین مقاومت فشاری و خمشی ۵٤
شکل (٤-۱۱) رابطه بین مقاومت کششی و خمشی ۵٤
شکل (٤-۱۲) مقایسه اثر تغییر حجم خمیر سیمان و الیاف روی مقاومت فشاری ۵٦
شکل (۷-۱) صفحه و مخروط آزمایش اسلامپ روانی ٦۷
شکل (۷-۲) آزمایش حلقه J ٦۸
شکل (۷-۳) ابعاد قیف V ۷۰
شکل (۷-٤) شکل آزمایش جعبه L ۷۱

شکل (۷-۵) نحوه اندازه گیری مقادیر ۷۲
شکل (۷-٦) نمونه بتنی تحت کشش در آزمایش کششی دو نیم شدن (آزمایش برزیلی).....۷٦
شکل (۷-۷) نحوه مهار نمونه آزمایش (الف) نمونه در زیر فک برای اعمال فشار (ب) ۷٦

فهرست جداول

جدول (۲-۱) مقادیر ضریب شکل سنگ دانه‌ها(Rsa)[۱۷] ۱۵
جدول (۲-۲) نتایج آزمایش مقاومت فشاری وکششی[۳۲] ۲۱
جدول (۲-۳) اثر الیاف پلی‌پروپیلن بر روی خواص مکانیکی بتن[۳٤] ۲۳
جدول (۲-٤) اثر الیاف فولادی بر روی خواص مکانیکی بتن[۳۵] ۲٤
جدول (۳-۱) تجزیه شیمیایی سیمان تهران تیپ دو ۳۱
جدول (۳-۲) نسبت‌های مخلوط ۳٦
جدول (۳-۳) آزمایش‌های بتن سخت شده و شکل و تعداد نمونه‌ها ۳۹
جدول (٤-۱) نتایج آزمایش‌های رئولوژی روی بتن خود تراکم ٤۲
جدول (٤-۲) نتایج آزمایش مقاومت فشاری ٤٤
جدول (۷-۱) روش‌ها و مقادیر مطلوب بتن خودمتراکم ۷۳

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

یکی از عواملی که انتظار می‌رود بر روی مقاومت فشاری موثر باشد،چگالی انباشتگی است.چگالی انباشتگی یک مخلوط دانه ای عبارت است از نسبت حجم ذرات جامد در یک حجم کل واحد. چگالی انباشتگی که یکی از تئوری‌های آن تئوری خمیر سیمان اضافی است، بیش از یک قرن است که توجه محققان مختلف را به خود جلب کرده است، به این دلیل که عامل بسیار مهمی است که نقش بسزایی در تعیین مشخصات مواد در صنایع مختلف نظیر سرامیک،متالوژی،بتن و هر صنعت دیگری که شامل مخلوطی از ذرات مختلف باشد،دارد.چگالی انباشتگی کنترل کننده خصوصیات بتن تازه و سخت شده می‌باشد،از این رو انتظار می‌رود که بر روی مقاومت فشاری نیز موثر باشد.

با ابداع بتن خودمتراکم و گسترش استفاده از آن در دهه اخیر خواص آن مورد مطالعه قرار گرفته است. اما با توجه به اینکه مطالعات انجام شده درباره تاثیر حجم خمیر بر مقاومت فشاری این بتن بسیار محدود بوده است لذا در این تحقیق موارد ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۲- هدف

هدف اصلی در این تحقیق بررسی اثر حجم خمیر سیمان بر روی خواص مکانیکی بتن خود تراکم و به ویژه مقاومت فشاری می‌باشد.در این پژوهش اهداف دیگری از جمله تعیین مقدار خمیر سیمان بهینه برای ترکیب خواص رئولوژی و مکانیکی دنبال شده است.

۱-۳- روش تحقیق

روش تحقیق مورد استفاده در این پایان نامه از نوع آزمایشگاهی می‌باشد. ابتدا منابع و مطالعات انجام شده در دنیا بررسی شده و سپس برنامه آزمایشگاهی تنظیم و نمونه‌ها ساخته می‌شود. سپس اعداد و داده‌ها تحلیل و تفسیر شده‌اند.

۱-۴- مراحل تحقیق

مراحل تحقیق به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

مروری بر ادبیات

برنامه آزمایشگاهی

تجزیه و تحلیل نتایج

تفسیر داده‌ها

نتیجه گیری

۱-۵- ساختار پایان نامه

فصل اول : مقدمه ای از موضوع و بیان اهمیت و اهداف تحقیق است.در این فصل چارچوب کلی تحقیق ارائه شده.

فصل دوم : این فصل مروری بر ادبیات موضوع و کارهای انجام شده توسط سایر محققین

می‌باشد،که به بیان سوابق تحقیقات قبلی صورت گرفته در زمینه مقاومت فشاری پرداخته شده است و همچنین مفهوم خمیر سیمان اضافی و پژوهش‌های انجام شده روی ارتباط خمیر سیمان اضافی و مقاومت فشاری و خواص مکانیکی بررسی شد.

فصل سوم : در این فصل روش تحقیق و برنامه آزمایشگاهی ارائه می‌شود، که عبارت است از مشخصات مصالح مصرف شده، نسبت‌های مخلوط انتخابی، نحوه ساخت و عمل آوری نمونه‌ها و آزمایش‌ها.

فصل چهارم : شامل ارائه نتایج و تحلیل و تفسیر آن است.در این فصل نتایج آزمایش‌های بتن تازه و سخت شده ارائه شده و ارتباط بین این نتایج و مقدار حجم خمیر بیان شده است و نتایج به دست آمده با نتایج پژوهش‌های گذشته مقایسه شده است.

فصل پنجم : نتیجه گیری‌های انجام شده از تحقیق و پیشنهاد تحقیقات آینده می‌باشد.

فصل ۲:

مروري بر منابع

۲-۱- مقدمه

بتن خودتراکم با قابلیت جریان و روانی بالاست که در آن جدا شدگی به ندرت دیده می‌شود و به راحتی می‌تواند در محل و در قالب گسترده و پخش شود. چون روانی و جریان پذیری یکی از مشخصات بارز و مهم بتن خودمتراکم است ،شناخت و درک رفتار این نوع بتن در حالت تازه آن ضروری است.رفتار و خصوصیات روانی و جریان بتن خودمتراکم تحت تاثیر ترکیب خمیر سیمان و حجم خمیر و توزیع دانه بندی بتن می‌باشد.

هدف بسیاری از روش ها و طرح مخلوط‌ها ،بیشینه کردن چگالی انباشتگی و کمینه کردن خمیر سیمان برای بهبود عملکرد بتن خودمتراکم است. انباشتگی ذرات نقش مهمی در بتن ایفا می‌کند . چگالی انباشتگی یک مخلوط دانه ای عبارت است از نسبت حجم ذرات جامد در یک حجم کل واحد. چگالی انباشتگی که یکی از تئوری‌های آن تئوری خمیر سیمان اضافی است،بیش از یک قرن است که توجه محققان مختلف را به خود جلب کرده است،به این دلیل که عامل بسیار مهمی است که نقش بسزایی در تعیین مشخصات مواد در صنایع مختلف نظیر سرامیک،متالوژی،بتن و هر صنعت دیگری که شامل مخلوطی از ذرات مختلف باشد،دارد.چگالی انباشتگی کنترل کننده خصوصیات بتن تازه و سخت شده می‌باشد،از این رو انتظار می‌رود که بر روی مقاومت فشاری نیز موثر باشد.

۲-۲- معرفي چگالي انباشتگي

چگالی انباشتگی یک مخلوط دانه ای عبارت است از نسبت حجم ذرات جامد($\emptyset$) در یک حجم کل واحد،پس تخلخل(π)عبارت خواهد بود از[1] :

$$\pi = 1 - \emptyset \qquad (۱-۲)$$

یکی از مشکلات موجود در مورد بتن پیش‌بینی چگالی انباشتگی مخلوط ذرات می‌باشد.چگالی انباشتگی ذرات بیش از یک قرن است که توجه محققان مختلف را به خود جلب کرده است،به این دلیل که عامل بسیار مهمی است که نقش بسزایی در تعیین مشخصات مواد در صنایع مختلف نظیر سرامیک، متالوژی، بتن و هر صنعت دیگری که شامل مخلوطی از ذرات مختلف باشد،دارد[2].

تمام محققین روی این مطلب اتفاق نظر دارند که می‌توان با کاهش منافذ مویینه و ارتباط بین این منافذ(افزایش چگالی انباشتگی) که این مهم خود با کاهش نسبت آب به سیمان ، آب آزاد و مقدار سیمان میسر خواهد شد [3,4] و یا می‌توان با استفاده از فیلرها به این مهم دست یافت.

چگالی انباشتگی یک مخلوط ذرات تحت اثر سه عامل عمده می‌باشد[1] :

- اندازه ذرات که توسط منحنی دانه بندی مشخص می‌شود.
- نحوه متراکم کردن
- شکل ذرات

از میان متغیر های فراوانی که بر روی چگالی انباشتگی اثر دارند توزیع اندازه ذرات مهم‌ترین عامل می‌باشد،البته شکل ذرات هم عامل بسیار مهمی است و با کاهش کرویت ذرات،تخلخل افزایش میابد[5].

مدل‌های چگالی انباشتگی :

طی ۸۰ سال گذشته تعدادی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی چگالی انباشتگی[۱] ارائه شده‌اند،از جمله[6-13]:

فورناس[۲]، آیم[۳]، توفار[٤]، استووال[٥]، دوار[٦]، دیلارارد(مدل چگالی انباشتگی خطی و تحکیم پذیر)[۷]، دیلارارد بازنگری شده توسط جانسون[۸]، دیلارارد بازنگری شده توسط دوار[۹]،توفار اصلاح شده توسط گلترمن[۱۰] و استووال اصلاح شده توسط دیلارارد[۱۱]

چگالی انباشتگی دارای تئوری‌های مختلفی نظیر تئوری پیوسته، دو جزیی، سه جزیی و تئوری خمیر سیمان اضافی است.در ادامه به بیان تئوری خمیر سیمان اضافی پرداخته می‌شود.

۲-۲-۲- تئوری خمیر سیمان اضافی[۱۲]

بتن خود متراکم نوع جدیدی از بتن است که تا کنون مدل‌های کمی از جمله مدل لایه آب و مدل خمیر سیمان اضافی برای توصیف و تشریح خواص فیزیکی و رفتار این بتن جدید ایجاد شده است[١٤] .در زیر به توضیح تئوری خمیر سیمان اضافی پرداخته می‌شود[١٦-١٤].

تئوری خمیر سیمان اضافی در سال ۱۹٤۰ یعنی ۷۰ سال پیش توسط کندی ایجاد و پیشنهاد شد:

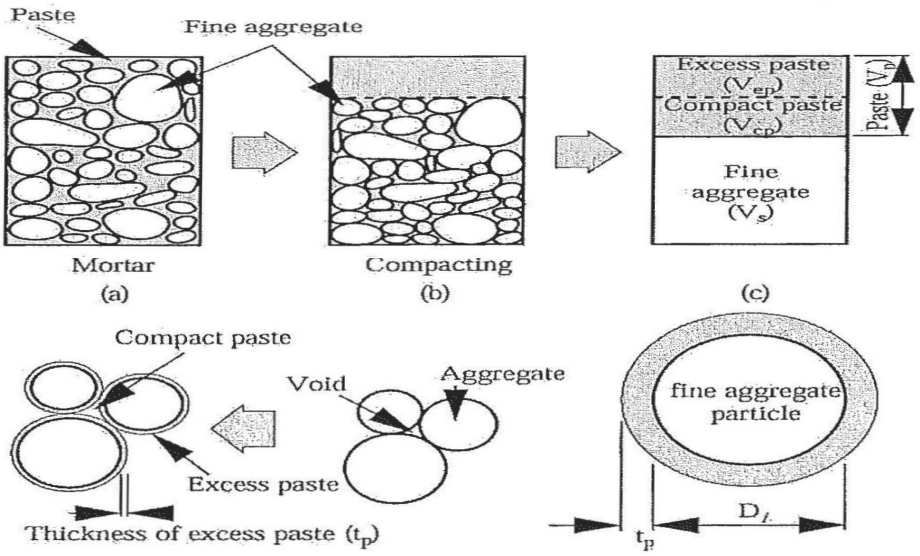
در شکل ۲-۱ به صورت شماتیک این تئوری دیده می‌شود. در این شکل یک نمونه بتنی با فضاهای خالی بین سنگ دانه‌ها دیده می‌شود. که سنگ دانه‌ها با خمیر سیمان پوشیده شده‌اند .

---

[1] Packing density
[2] Furnas
[3] Aim
[4] Toufar
[5] Stovall
[6] Dewar
[7] Delarrard models,LPM & CPM
[8] Delarrard reviews by both johanson
[9] Delarrard reviews by dewar
[10] Toufar modified by goltermann
[11] stovall modified by delarrard
[12] Excess paste

می‌توان سنگ دانه‌ها را متراکم کرد و خمیر سیمان اضافی را در بین سنگ دانه‌ها جا داد. که در شکل b دیده می‌شود.

تئوری مورد توافق عمومی این است که خمیری که پس از پر کردن فضای خالی حاصل از سنگ دانه‌ها ، اضافه می‌ماند یعنی خمیر سیمان اضافی خصوصیات کارایی بتن را هدایت و کنترل می‌کند. و این در حالیست که چگالی انباشتگی تأثیر مهمی روی خواص بتن دارد به این ترتیب که محتویات سنگ دانه‌ها با سایزهای مختلف در مخلوط سنگ دانه‌ها خواص خمیر سیمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. و همراه با اندر کنش بین اجزای سیمان و مواد سیمانی با سیمان و مواد ریز دانه و پرکننده نقش مهمی در بهبود خواص ملات تولید شده دارد.



شکل (۲-۱) تئوری خمیر سیمان اضافی

خمیر سیمان می‌تواند به دو نوع تقسیم بندی شود. : لایه بالایی همان خمیر سیمان اضافی است و لایه پایینی خمیر سیمان متراکم است که فضاهای خالی را پر می‌کند.

و حجم کل خمیر سیمان از رابطه زیر بدست می‌اید:

$$v_{ep} = \text{(۲-۲)}$$

$$v_p \mp v_{cp}$$

v_{ep} :حجم خمیر سیمان اضافی

v_{cp} :حجم خمیر سیمان متراکم شده

v_p :حجم کل خمیر سیمان

برای محاسبه ضخامت لایه‌ی خمیر سیمان اطراف سنگ دانه‌ها به مساحت ویژه‌ی سطح کل سنگ دانه‌ها در این تئوری نیاز است و این مسلم است که ضخامت خمیر سیمان دور سنگ دانه‌ها را می‌توان از تقسیم حجم کل خمیر سیمان به مساحت ویژه سنگ دانه‌ها بدست آورد. این درحالیست که محاسبه سطح ویژه‌ی کل سنگ دانه‌ها دشوار به نظر می‌رسد. چون این مقدار تابع توزیع دانه بندی سنگ دانه‌ها و همچنین شکل و نوع آنها می‌باشد.

$$t_p = \text{(۳-۲)}$$

$$\frac{v_{ep}}{s_{ta}}$$

علاوه بر اینها ضخامت خمیر سیمان که از فرمول محاسبه می‌شود در واقع به محاسبه‌ی قطر سنگ دانه‌ها بی ارتباط نیست، ولی این ممکن نیست که ما سنگ دانه‌ها را کره فرض کنیم. به همین دلیل اندازه گیری قطر اجزا با الک و یا لیزر از روش‌های معمول است.

ولی دو فرض زیر باید در نظر گرفته شود:

- شکل اجزای سنگ دانه‌ها را می‌توان کروی فرض کرد البته اگر از سنگ دانه های رودخانه ای استفاده می‌کنیم. ولی در کل شکل سنگ دانه‌ها می‌تواند با توجه به دانه بندیشان مربع، کره، و...فرض شود.
- ضخامت خمیر سیمان در اطراف سنگ دانه‌ها برای سایزهای مختلف یکسان است. چون اجزای سنگ دانه‌ها در ملات به صورت یکنواخت پخش شده و فاصله‌ی بین سطوحشان ثابت است.