١٤٣٥

دانشکده فنی

گروه مهندسی عمران

گرایش سازه

# بررسی اثر فیبرهای پلی پروپیلن بر رفتار فیزیکی و مکانیکی بتن هایSCC حاوی نانو سیلیس

از

امیرحسن برزگر

استاد راهنما

دکتر علی صدر ممتازی

استادان مشاور

دکتر مرتضی حسنعلی بیگی

دکتر اکبر خداپرست حقی

دی ۱۳۸۸

۳۳۹/۷/ ۲

۱۴۱۷۳۵

تقدیم به حامیم ، به پدرم ، به قدمهای خسته اش

به هستیم ، به مادرم ، به دعاهای بی دریغش

و تقدیم به همسرم

امروز که در ظل توجهات حضرت حق تعالی و با توکل به او توانستم تلاشی سخت اما شیرین را به پایان برسانم، برخود لازم می دانم که به حدیث " من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق " فرستاده اش جامه عمل بپوشانم.

پیش از همه از آقای دکتر صدر ممتازی به خاطر همه راهنماییها و هدایتهایشان در طول این مدت کمال تشکر را دارم و از اساتید محترم آقایان دکتر خداپرست حقی و دکتر حسنعلی بیگی که از مشورت با آنها بهره جسته ام، صمیمانه سپاسگزارم.

به آقایان دکتر رنجبر و دکتر رزاقی که زحمت بازخوانی این پایان نامه را برعهده داشته و با نظرات ارزنده، موجبات غنای بیش از پیش آن را فراهم نمودند، سپاس فراوان می گویم.

از کارکنان آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه گیلان که از مساعدت های آنها برخوردار بوده ام، متشکرم.

و در پایان تنها می توانم بگویم به همسرم، سرکار خانم مهندس خادمی، که همه سختیها و ناملایمتهای این مسیر را به جان خریده و دم بر نیاوردند، مدیونم.

## فهرست مطالب

**عنوان** **شماره صفحه**


**چکیده فارسی** ..... ذ

**چکیده انگلیسی** ..... ر

**فصل اول- مقدمه**

۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ اهداف پژوهش ..... ۲

۱-۳ ساختار کلی پایان نامه ..... ۳

**فصل دوم- مطالعه ای در تحقیقات انجام شده**

۲-۱ مقدمه ..... ٦

۲-۲ اثر نانو مواد بر خمیر سیمان ..... ٦

۲-۳ اثر نانو مواد بر خواص ملات سیمانی ..... ۸

۲-٤ اثر نانو مواد بر خواص بتن ..... ۱۱

۲-۵ استفاده از الیاف پلی پروپیلن در ماتریس های سیمانی ..... ۱۵

۲-٦ پیوند الیاف پلی پروپیلن با خمیر سیمان ..... ۲۰

**فصل سوم- خصوصیات مصالح**

۳-۱ نانو مواد ..... ۲٤

۳-۲ نانو سیلیس ..... ۲۵

۳-۲-۱ مشخصات نانو سیلیس مصرفی ..... ۲۵

۳-۳ میکروسیلیس ..... ۲٦

۳-۳-۱ فعل و انفعالات شیمیایی میکروسیلیس ..... ۲۷

۳-٤ خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ۲۸

۳-۵ سیمان ..... ۲۹

۳-٦ الیاف پلی پروپیلن ..... ۲۹

۳-٦-۱ مزایای الیاف پلی پروپیلن نسبت به آرماتورحرارتی(مش ضد ترک) ..... ۳۲

۳-٦-۲ روش مصرف ..... ۳۳

۳-٦-۳ مشخصات الیاف مصرفی ..... ۳٤
۳-۷ فوق روان کننده ..... ۳٤
۳-۸ سنگدانه ..... ۳۵
۳-۹ آب ..... ۳٦

**فصل چهارم- بررسی نتایج آزمایشگاهی**

٤-۱ مقدمه ..... ۳۸
٤-۲ برنامه آزمایشگاهی ..... ۳۸
٤-۳ ساخت نمونه ها ..... ٤۰
٤-٤ آزمایشها ..... ٤۱
٤-٤-۱ جریان اسلامپ ..... ٤۱
٤-٤-۲ قیف v ..... ٤۲
٤-٤-۳ جعبه L ..... ٤۳
٤-٤-٤ مقاومت فشاری ..... ٤٤
٤-٤-۵ مقاومت کششی ..... ٤۵
٤-٤-۵-۱ شکافتن یا دو نیم شدن برزیلی ..... ٤۵
٤-٤-۵-۲ مقاومت خمشی ..... ٤٦
٤-٤-٦ مدول الاستیسیته ..... ٤۷
٤-٤-۷ التراسونیک (UPV) ..... ٤۸
٤-٤-۸ جذب آب ..... ۵۰
٤-٤-۹ انقباض ..... ۵۰
٤-٤-۱۰ عکس برداری توسط میکروسکوپ الکترونی(SEM) ..... ۵۱
٤-۵ نتایج آزمایش ها ..... ۵۳
٤-۵-۱ آزمایش های بتن تازه ..... ۵۳
٤-۵-۲ مقاومت فشاری ..... ۵٤
٤-۵-۲-۱ چگونگی عملکرد نانوسیلیس در بهبود مقاومت مکانیکی بتن های SCC فاقد الیاف پلی پروپیلن ..... ۵٦
٤-۵-۳ شکافتن یا دو نیم شدن برزیلی ..... ٦۱

٤-٥-٤ مقاومت خمشی ..... ٦٣
٤-٥-٤-١ چگونگی عملکرد الیاف پلی پروپیلن در بهبود مقاومت مکانیکی بتن ها ..... ٦٩
٤-٥-٤-٢ چگونگی تاثیر نانوسیلیس در بهبود کارایی الیاف پلی پروپیلن در افزایش مقاومت مکانیکی نمونه ها ..... ٧٠
٤-٥-٥ مدول الاستیسیته ..... ٧١
٤-٥-٦ التراسونیک (UPV) ..... ٧٢
٤-٥-٧ جذب آب ..... ٧٤
٤-٥-٨ انقباض ..... ٧٧
٤-٥-٩ عکس برداری توسط میکروسکوپ الکترونی(SEM) ..... ٨٣

**فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات**

٥-١ نتیجه گیری ..... ٨٧
٥-٢ پیشنهادات ..... ٨٩

**مراجع و ماخذ** ..... ٩٠

## فهرست جداول

**عنوان** **شماره صفحه**


۲-۱ نتایج آزمایش نفوذ اب ..... ۱٤
۳-۱ مشخصات نانو سیلیس مورد استفاده در آزمایش ها ..... ۲٦
۳-۲ آنالیز شیمیایی میکرو سیلیس و خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ۲۸
۳-۳ خصوصیات الیاف مختلف ..... ۳۱
٤-۳ مشخصات الیاف پلی پروپیلن ..... ۳٤
۵-۳ مشخصات فوق روان کننده مصرفی ..... ۳۵
٦-۳ دانه بندی شن و ماسه طبق استاندارد ASTM C ۳۳ ..... ۳٦
٤-۱ مشخصات طرح های اختلاط ..... ۳۹
٤-۲ علائم اختصاری طرح های اختلاط ..... ٤۰
٤-۳ خطای مجاز برای زمان آزمایش نمونه های بتن فشاری وخمشی ..... ٤۵
٤-٤ نتایج آزمایش های بتن تازه ..... ۵٤
٤-۵ مقادیر مقاومت فشاری و میانگین درصد افزایش مقاومت فشاری با افزودن الیاف ..... ۵۹
٤-٦ نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی در سن ۲۸ روزگی ..... ٦۲
٤-۷ مقادیر مقاومت خمشی و میانگین درصد افزایش مقاومت خمشی با افزودن الیاف ..... ٦۷
٤-۸ طبقه بندی کیفیت بتن بر اساس سرعت پالس ..... ۷۳
٤-۹ درصد جذب اب کلیه نمونه ها ..... ۷۵

فهرست اشکال

**عنوان** **شماره صفحه**


۲-۱ کریستال های هیدروکسید کلسیم در سطح تماس بین خمیر سیمان و سنگدانه در نمونه های ۲۸ روزه: الف) خمیر سیمان حاوی ۳ درصد نانو سیلیس ب) خمیر سیمان حاوی ۳ درصد میکروسیلیس ج) خمیر سیمان معمولی ..... ۷

۲-۲ تغییرات مقاومت فشاری خمیر سیمان با درصد های مختلف نانوسیلیس ..... ۸

۲-۳ تغییرات مقاومت الکتریکی با افزایش تنش فشاری در ملات های حاوی درصد های مختلف نانو اکسید آهن: الف) ۰ درصد ب) ۳ درصد ج) ۵ درصد ..... ۹

۲-٤ مقاومت فشاری ملات های حاوی مقادیر مختلف خاکستر بادی/خاکستر لجن فاضلاب و نانوسیلیس در سن ۲۸ روزه ..... ۱۰

۲-۵ تصویر ذرات نانو سیلیس در مقایسه با میکروسیلیس مورد استفاده در آزمایشات Wan Jo الف) میکروسیلیس، ب) نانو سیلیس ..... ۱۰

۲-٦ مقاومت خمشی ملات های حاوی الف) سیمان معمولی ب) میکروسیلیس ..... ۱۱

۲-۷ الف) کاهش وزن وابسته به زمان ، ب) مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی وابسته به زمان بعد از چندین سیکل یخ زدن و ذوب شدن بتن ..... ۱۲

۲-۸ الف) میزان گرمای حاصل از هیدراتاسیون با گذشت زمان ب) مقاومت فشاری ..... ۱۳

۲-۹ اثر الیاف پلی پروپیلن در محدود کردن انقباض ملات های ساخته شده با سیمان های مختلف الف). سیمان پرتلند ب) سیمان قلیایی روباره ای ..... ۱٦

۲-۱۰ مقاومت فشاری محدود نشده نمونه های رس مسلح شده به الیاف پلی پروپیلن ..... ۱۸

۲-۱۱ اثر الیاف در محدود کردن عرض ترک ها ..... ۱۸

۲-۱۲ اثر استفاده از الیاف مختلف بر رفتار خمشی بتن ..... ۱۹

۲-۱۳ اثر خراش های ایجاد شده در اثر فرایند اختلاط با سیمان و سنگدانه ها بر افزایش زبری الیاف ..... ۲۲

۲-۱٤ نفوذ دانه های سیمان به درون بافت سطحی الیاف پلی پروپیلن پس از عمل آسیاب ..... ۲۲

۳-۱ الیاف پلی پروپیلن مصرفی درآزمایش (٦ میلیمتر) ..... ۳٤

۳-۲ نمودار دانه بندی الف) شن ، ب) ماسه ( بر اساس ASTM C۳۳) ..... ۳٦

٤-۱ مخروط اسلامپ و صفحه پایه ..... ٤۲

٤-۲ قیف V ..... ٤۳

٤-۳ جعبه L ..... ٤٤

٤-٤ جک هیدرولیکی مورد استفاده در آزمایش مقاومت فشاری بتن ..... ٤۵

٤-٥ نمونه قرار گرفته در دستگاه بارگذاری به منظور تعیین مقاومت کششی حاصل از روش دو نیم شدن برزیلی ..... ٤٦
٤-٦ نحوه انجام آزمایش مقاومت خمشی( مدول گسیختگی) ..... ٤٧
٤-٧ آزمایش تعیین مدول الاستیسیته ..... ٤٨
٤-٨ دستگاه التراسونیک مورد استفاده در آزمایش ..... ٤٩
٤-٩ گیج و دستگاه نصب پولکهای انقباض ..... ٥١
٤-١٠ تصویر یک میکروسکوپ الکترونی (SEM) ..... ٥٣
٤-١١ اثر نانو سیلیس بر مقاومت فشاری بتن SCC کنترل ..... ٥٥
٤-١٢ اثر نانو سیلیس بر مقاومت فشاری بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٥٥
٤-١٣ اثر نانو سیلیس بر مقاومت فشاری بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٥٥
٤-١٤ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC کنترل ..... ٥٧
٤-١٥ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٥٧
٤-١٦ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٥٧
٤-١٧ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC حاوی نانوسیلیس ..... ٥٨
٤-١٨ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس ..... ٥٨
٤-١٩ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت فشاری بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج و نانوسیلیس ..... ٥٨
٤-٢٠ مقاومت فشاری کلیه نمونه ها ..... ٦٠
٤-٢١ نمونه مکعبی بتن خودتراکم الیافی بعد از رسیدن به حداکثر مقاومت فشاری ..... ٦١
٤-٢٢ تغییرات مقاومت کششی با مقاومت فشاری نمونه ها و رابطه بین آنها در سن ٢٨ روزگی ..... ٦٢
٤-٢٣ اثر نانو سیلیس بر مقاومت خمشی بتن SCC کنترل ..... ٦٣
٤-٢٤ اثر نانو سیلیس بر مقاومت خمشی بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٦٤
٤-٢٥ اثر نانو سیلیس بر مقاومت خمشی بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٦٤
٤-٢٦ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC کنترل ..... ٦٥
٤-٢٧ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٦٥
٤-٢٨ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٦٥
٤-٢٩ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC حاوی نانوسیلیس ..... ٦٦
٤-٣٠ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس ..... ٦٦
٤-٣١ اثر الیاف پلی پروپیلن برمقاومت خمشی بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج و نانوسیلیس ..... ٦٦
٤-٣٢ مقاومت خمشی کلیه نمونه ها ..... ٦٨

٤-٣٣ تصویر میکروسکوپیک از الیاف پلی پروپیلن پس از اختلاط با سنگدانه وسیمان: الف) ٥٠٠ برابر
ب) ٢٠٠٠ برابر ..... ٧٠
٤-٣٤ تغییرات مدول الاستیسیته با مقاومت فشاری نمونه ها و رابطه بین آنها در سن ٢٨ روزگی ..... ٧٢
٤-٣٥ رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت امواج مافوق صوت در سن ٧ روزه ..... ٧٣
٤-٣٦ رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت امواج مافوق صوت در سن ٢٨ روزه ..... ٧٣
٤-٣٧ رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت امواج مافوق صوت در سن ٦٠ روزه ..... ٧٤
٤-٣٨ روند تغییرات مقدار جذب اب نمونه ها در سن ٢٨ روزه ..... ٧٦
٤-٣٩ روند تغییرات مقامت فشاری نمونه ها در سن ٢٨ روزه ..... ٧٦
٤-٤٠ روند تغییرات مقامت خمشی نمونه ها در سن ٢٨ روزه ..... ٧٦
٤-٤١ اثر نانو سیلیس بر انقباض بتن SCC کنترل ..... ٧٧
٤-٤٢ اثر نانو سیلیس بر انقباض بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٧٧
٤-٤٣ اثر نانو سیلیس بر انقباض بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٧٧
٤-٤٤ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC کنترل ..... ٧٩
٤-٤٥ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC حاوی میکروسیلیس ..... ٧٩
٤-٤٦ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ..... ٧٩
٤-٤٧ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC حاوی میکرو سیلیس و نانو سیلیس ..... ٨٠
٤-٤٨ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج و نانو سیلیس ..... ٨٠
٤-٤٩ اثر الیاف پلی پروپیلن بر انقباض بتن SCC حاوی نانو سیلیس ..... ٨٠
٤-٥٠ میزان انقباض کلیه نمونه ها ..... ٨٢
٤-٥١ میکروساختار خمیر سیمان حاوی الف) سیمان معمولی ، ب) خاکستر پوسته برنج و ج) میکروسیلیس ..... ٨٣
٤-٥٢ میکروساختار خمیر سیمان حاوی الف) ٧ درصد نانو سیلیس، ب) خاکستر پوسته برنج و نانو سیلیس و ج)
میکروسیلیس و نانو سیلیس ..... ٨٤

چکیده

بررسی اثر فیبرهای پلی پروپیلن بر رفتار فیزیکی و مکانیکی بتن های SCC حاوی نانو سیلیس

امیرحسن برزگر

در سال های اخیر استفاده از نانو ذرات بدلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر بفرد مواد نانومقیاس بسیار مورد توجه قرار گرفته است.از بین نانوذرات، نانو سیلیس بدلیل فعالیت پوزولانی، دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده در بتن ها می باشد و بنظر می رسد استفاده از نانو سیلیس بتواند موجبات بهبود بیش از پیش خواص مکانیکی ودوام مصالح با پایه سیمانی را فراهم آورد.مسلح کردن بتن توسط الیاف، اغلب بعنوان مسلح سازی ثانویه و بمنظور افزایش استحکام و مقاومت بتن های شکننده، استفاده می شود. تحقیق حاضر نتایج یک بررسی آزمایشگاهی را در مورد اثر الیاف پلی پروپیلن بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی بتنهای خود متراکم(SCC)-حاوی نانوسیلیس، نشان می دهد.همه اختلاطها براساس نسبت آب به مصالح سیمانی ۰/٤۳ ، مقدار مصالح سیمانی $kg/m^3$ ٤٥۰ طرح ریزی گشتند.همچنین قطر جریان اسلامپ همه اختلاط ها، با استفاده از مقادیر مختلف فوق روان کننده، در محدوده ۲±٦۹ سانتیمتر نگه داشته شد.ویژگی های بتن تازه برای قطر جریان اسلامپ، زمان جریان قیف Vو نسبت ارتفاع جعبه L آزمایش شدند.بعلاوه اینکه خصوصیات بتن سخت شده شامل مقاومت فشاری، خمشی و سرعت عبور امواج التراسونیک(UPV)در سنین ۷، ۲۸ و٦۰ روزه تعیین گشتند.آزمایش های شکافتن یا دونیم شدن برزیلی، مدول الاستیسیته و جذب آب در سن ۲۸ روزه صورت پذیرفت.همچنین انقباض خشک نمونه ها تا سن ٤۲ روزه اندازه گیری شد.عکسبرداری توسط میکروسکوپ الکترونی(SEM)بمنظور ارزیابی اثر نانوسیلیس روی میکروساختار کمپوزیت های سیمانی انجام شد.بتن های حاوی مواد پوزولانی فعال علیرغم دارا بودن خصوصیات مقاومتی مطلوب، عملکرد ضعیفی در ارتباط با شکل پذیری دارند.بنظر می رسد نانوسیلیس بدلیل ذرات بسیار ریز و فعالیت پوزولانی بالا توانایی ایجاد میکروساختار لازم برای برقراری پیوند بهتر بین الیاف و ماتریس را داشته باشد.نتایج نشان می دهد که نانو سیلیس اثر قابل توجهی در بهبود مقاومت مکانیکی بتن دارد.کارایی الیاف پلی پروپیلن در بهبود خصوصیات بتن نیز با حضور نانو سیلیس بهبود می یابد.

کلیدواژه: بتن خود متراکم، الیاف پلی پروپیلن، نانو سیلیس، مقاومت مکانیکی، انقباض

Abstract

Assessment of the effect of polypropylene fibers on physical and mechanical characteristics of self-compacting concrete (SCC) with nano-$SiO_2$ particles
Amirhasan Barzegar

In recent years the use of nano particles has gained enormous attention due to unique physical and chemical properties of nano scale size materials. Among nano particles nano-$sio_2$ due to pozzolanic reaction has a high potential to be used in concretes and it seems that application of nano-$sio_2$ can provide further improvements in strength and durability of cement based materials. Fiber reinforcement is often used as secondary reinforcement to increase both the toughness and strength of brittle concretes. This research presents the results of experimental investigation on the effect of polypropylene fiber (PP) on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete (SCC) containing nano-$sio_2$. All the mixtures were designed with the constant water/binder ratio of 0.43, a total binder content of 450 $kg/m^3$ and also the slump flow diameter of all mixtures was kept constant at about 69±2cm by using the superplasticizer at varying amounts. Fresh properties of the SCCs were tested for slump flow diameter, V-funnel flow time and L-box height ratio. Furthermore the hardened properties of the concretes including compressive, flexural strength and ultrasonic pulse velocity (UPV) at 7, 28 and 60 days were determined. The split tensile strength, modulus of elasticity and water absorption tests were carried out at 28 days. The drying shrinkage of specimens was also measured up to the age of 42 days. Scanning electron microscopy (SEM) was also conducted to evaluate the effect of nano-$sio_2$ on microstructure of cement composites. Despite having beneficial properties, SCCs containing active pozzolanic materials have poor performance in the case of ductility. It seems that nano-$sio_2$ due to extremely fine size and high pozzolanic activity has a potential to provide better fiber/matrix bond. Results showed that nano-$sio_2$ significantly improved the strength and permeability of SCCs. Presence of nano-$sio_2$ enhanced the polypropylene fibers effectiveness in improving concrete characteristics.

Key words: Self-Compacting concrete, Polypropylene fibers, Nano-$SiO_2$, Mechanical strength, shrinkage

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

بتن به عنوان یکی از رایج ترین مصالح ساختمانی است. تولید و مصرف آن همگام با پیشرفت تکنولوژی در پروژه های مختلف با درجه اهمیت های متفاوت، از یک ساختمان مسکونی در مساحت های کم تا پروژه های عظیم و زیر بنایی نظیر نیروگاه های اتمی، سد ها و تونل های آبرسانی، اسکله ها، پل ها و .... که به عنوان سرمایه های ملی هر کشور تلقی می-شوند، مورد استفاده قرار می گیرد.

جایگزین کردن بتن با مصالح دیگر به لحاظ کاربرد متنوع آن تقریباً غیر ممکن و نشدنی است. از طرفی توجه به بتن از توجه به مواد تشکیل دهنده آن امری تفکیک ناپذیر است. کارایی و خواص بتن تا حد زیادی به مقدار و ابعاد ریز ساختارهای به-کار رفته در آن وابسته است. ذرات در ابعاد نانو خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت و منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. از این رو به نظر می رسد استفاده از سیمانی مبتنی بر نانو مواد، منجر به تولید بتن با خواص مقاومتی بالا و نفوذپذیری بسیار پایین گردد[۱].

## ۱-۲ اهداف پژوهش

امروزه به منظور دست یابی به مقاومت و پایایی بیشتر علاوه بر مواد متشکله اصلی بتن، یعنی آب، سیمان و سنگدانه، از مواد دیگری در بتن استفاده می شود که مواد پوزولانی نامیده می شوند. در حقیقت از این مواد می توان به عنوان یک عامل چهارم در تولید بتن نام برد. ضمن اینکه مواد پوزولانی، دوام و کیفیت بتن را در شرایط مختلف تامین می کنند. استفاده موفق از این مواد به مقدار زیادی به غنای دانش فنی در ارتباط با استفاده از آنها در حین اجرا و نگهداری پس از اجرا بستگی دارد.

از جمله مواد پوزولانی بسیار جدیدی که به مدد پیشرفت های اخیر در عرصه فناوری نانو حاصل شده است، نانو سیلیس می باشد. تاکنون تحقیقات محدودی در ارتباط با ویژگی ها وخصوصیات بتن های حاوی این پوزولان انجام شده است. نظر به اهمیت شناخت مسایل مربوط به استفاده از این ماده افزودنی در بتن و آشنایی با روش های صحیح مصرف و ویژگی های مثبت و منفی آن، ضروریست که تحقیقات اساسی در این زمینه انجام پذیرد. چرا که شناخت این ماده سبب می شود که از آن بتوان به نحو مطلوب جهت بهبود کیفیت و دوام بتن استفاده نمود.

بر این اساس در تحقیق حاضر، خواص بتن های SCC حاوی نانو سیلیس مورد بررسی قرار گرفت.

استفاده از مخلوط های دوتایی و حتی سه تایی در مواد چسباننده[1] (سیمانی) از جمله راهکار هایست که می تواند در جهت کاهش تخلخل و افزایش تراکم مورد استفاده قرار گیرد. این تکنیک یعنی استفاده از پودر ریز دانه به همراه پودر درشت دانه در ساختار چسباننده ها، از جمله تکنیک های متداول در صنعت سرامیک می باشد و به نظر می رسد بتوان از آن در جهت بهبود خصوصیات کامپوزیت های سیمانی استفاده کرد. عملاً از این تکنیک در ساخت بتن به وفور استفاده می شود چرا که استفاده از ریز دانه (ماسه) به همراه درشت دانه (شن) و انتخاب نسبت اختلاط بهینه آن دو، مصداق کاملی از استفاده از تکنیک مذکور در مقیاس ماکرو می باشد. بر این اساس در ادامه اختلاط نانو سیلیس با میکروسیلیس و خاکستر پوسته شلتوک برنج نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نانو سیلیس به صورت جایگزین بخشی از مواد سیمانی در نمونه های بتنی مورد استفاده قرار گرفت.

سالهاست که الیاف پلی پروپیلن جهت مسلح سازی بتن ها به منظور بهبود خصوصیات مکانیکی و افزایش شکل پذیری مورد استفاده قرار می گیرند. مطالعات متعددی در زمینه اثر الیاف بر خواص مکانیکی بتن صورت گرفته است. در حالی که برخی از مطالعات حاکی از اثر مثبت الیاف پلی پروپیلن در بهبود خواص مکانیکی می باشد، مطالعات دیگر حضور الیاف را در افزایش خصوصیات مکانیکی بی اثر می دانند. به نظر می رسد پیوند ضعیف بین الیاف و ماتریس از جمله عوامل محدود کننده اثر بخشی الیاف پلی پروپیلن باشد. در بخش دوم تحقیقات، اثر الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات بتن SCC بررسی گردید. همچنین اثر استفاده از سیمان های مخلوط متفاوت، (به عبارت دیگر اثر افزایش تراکم ماتریس سیمانی و درنتیجه بهبود پیوند بین الیاف و ماتریس) بر میزان کارایی مسلح سازی با الیاف پلی پروپیلن، نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

### ۱-۳ ساختار کلی پایان نامه

رساله حاضر مشتمل بر پنج فصل می باشد. فصل اول به بیان اهداف تحقیق اختصاص داده شده است. فصل دوم به تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از نانو سیلیس در مصالح سیمانی اختصاص داده شده و در ادامه به مطالعه متون علمی ومقالات مرتبط با بکارگیری الیاف پلی پروپیلن در ماتریس های سیمانی پرداخته شده است. در فصل سوم به خصوصیات مواد و مصالح مورد استفاده در انجام آزمایشات پرداخته شده است. فصل چهارم به آزمایشات و بیان نتایج حاصل از انجام آنها

[1] Binder

اختصاص داده شده است. دراین فصل توضیحاتی در مورد مصالح مصرفی و چگـونگی انجـام آزمایشـات بیـان شـده اسـت. همچنین خواص مختلف سیمان های مخلوط حاوی نانو سیلیس در بتن SCC مورد ارزیـابی قـرار گرفتـه و اثـر الیـاف پلـی پروپیلن بر بتن های ساخته شده با نانو سیلیس مورد مطالعه قرار گرفته است. در ایـن راسـتا در برخـی مـوارد توضـیحاتی در جهت توجیه مشاهدات بر اساس مطالعات صورت گرفته در متون علمی و مقالات، ارائه شده است. در فصـل پایـانی (پـنجم) نیز، نتایج قابل استخراج از بررسی داده های آزمایشگاهی ارائه و پیشنهاداتی در جهت ادامه تحقیقات داده شده است.

# فصل دوم

## مطالعه ای در تحقیقات انجام شده

## ۲-۱ مقدمه :

پژوهش های انجام شده در زمینه بهره گیری از نانو مواد در مصالح سیمانی چون خمیر سیمان، ملات و بتن بسیار محدود بوده است. آنچه مسلم است تحقیقات صورت گرفته عموماً بر استفاده از نانو$TiO_2$، نانو $Fe_2O_3$ و نانو $SiO_2$ متمرکز بوده است. از بین نانو مواد مذکور، نانو $SiO_2$ به دلیل دارا بودن خواص پوزولانی از جایگاه بهتری برخوردار بوده و عملکرد مناسب تری را از خود نشان داده است. در زمینه استفاده از الیاف پلی پروپیلن در ماتریس های سیمانی تحقیقات بیشتری صورت گرفته، اما در زمینه اثر بخشی الیاف بر خواص مکانیکی و شکل پذیری، اختلاف نظر هایی وجود دارد. برخی از تحقیقات از افزایش پارامتر های مکانیکی خبر داده اند، در حالی که در برخی دیگر اثر الیاف بسیار ناچیز دانسته شده است. در هرحال مخالفان عدم برقراری پیوند مناسب را از جمله عوامل موثر بر عملکرد ضعیف الیاف پلی پروپیلن در ماتریس های سیمانی می پندارند.

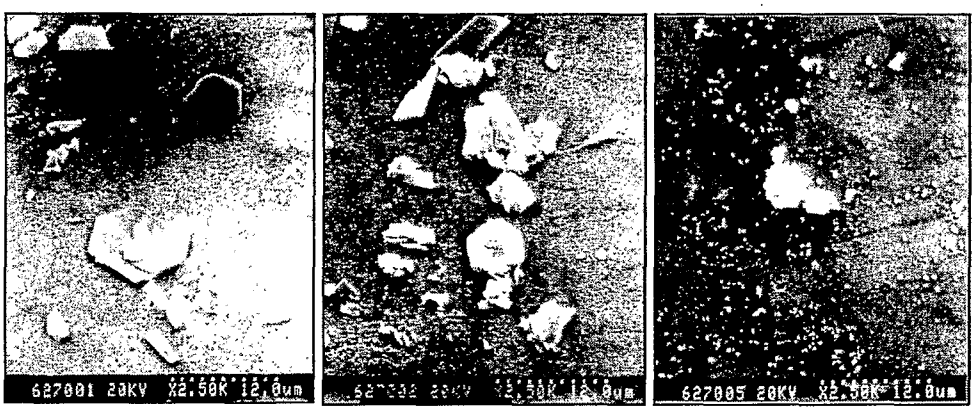
## ۲-۲ اثر نانو مواد بر خمیر سیمان :

کوینگ و همکاران[۲] به بررسی خصوصیات خمیر سیمان حاوی نانوسیلیس ($Nano\text{-}SiO_2$) در مقایسه با میکروسیلیس[1] پرداختند. بدین منظور از نانو ذرات دی اکسید سیلیس با قطر متوسط ۱۵ نانومتر استفاده کردند. درصد های جایگزینی نانو سیلیس ۱ ، ۲ ، ۳ و ۵ درصد نسبت به وزن سیمان مصرفی و درصد های جایگزینی میکروسیلیس نیز ۲ ، ۳ و ۵ درصد نسبت به وزن سیمان مصرفی در نظر گرفته شد. پس از بررسی مقاومت فشاری در سنین مختلف دریافتند که نانو سیلیس دارای واکنش پذیری بیشتر و فعالیت پوزولانی بهتری خصوصاً در سنین اولیه می باشد. بررسی میزان کریستال های هیدروکسید کلسیم (CH) موجود در سطح مشترک خمیر سیمان و سنگدانه توسط اشعهٔ ایکس نشان داد که میزان کریستال- های هیدروکسید کلسیم در نمونهٔ حاوی نانو سیلیس به شدت کاهش یافت. نانوسیلیس با مصرف کریستال های ضعیف CH و ایجاد ژل سیلکات کلسیم هیدراته (CSH) باعث بهبود ساختار میکروسکوپیک سطح تماس گردید. مشاهده عکس های گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی[2] (SEM) نیز موید کاهش اندازه و مقدار کریستال های هیدروکسید کلسیم در

---

[1] Silica fume
[2] Scanning electron microscopy

سطح تماس بود (شکل۲-۱). آنها سطح مخصوص بیشتر نانو سیلیس را در مقایسه با میکروسیلیس، عامل اصلی واکنش-پذیری بیشتر این مواد معرفی کرده و اظهار داشتند واکنش پذیری به مساحت رویه مربوط می شود. مواد دارای مساحت رویه




(ج) (ب) (الف)

**شکل۲-۱ کریستال های هیدروکسید کلسیم در سطح تماس بین خمیر سیمان و سنگدانه در نمونه های ۲۸ روزه: الف) خمیر سیمان حاوی ۳ درصد نانو سیلیس ب) خمیر سیمان حاوی ۳ درصد میکروسیلیس ج) خمیر سیمان معمولی[۲]**

بیشتر، مکان های بیشتری برای پیوند، بر هم کنش و واکنش با سایر عوامل شیمیایی خواهد داشت. هرچه اندازه ذره کوچکتر شود، مساحت رویه بیشتر می گردد با این فرض که کل جرم ماده بدون تغییر باقی بماند. بنابراین با کوچکتر شدن اندازه ذرات تا مقیاس نانو، مواد بیشترین مساحت رویه و بیشترین واکنش پذیری ممکن را بدست می آورند. از این رو، وجود اتم-های بیشمار در محیط واکنش باعث می شود تا مرحله اول واکنش پوزولانی نانو سیلیس یعنی ترکیب سیلیس با آب و تشکیل هیدروکسید سیلیس(شکل ۲-۱) بسیار سریعتر از واکنش مشابه در مورد میکروسیلیس رخ دهد[۳].

شیخ و همکاران[٤] درتحقیقات خود با بهره گیری از نانوسیلیسی به صورت محلول در آب و قطر متوسط ذرات ۲۰ نانومتر به بررسی تاثیر درصدهای مختلف (۰/۲ ، ۰/٤ ، ۰/٦ و ۰/۸ ) نانو سیلیس بر مقاومت فشاری خمیر سیمان پرداخته و ۰/٦ درصد ( نسبت به وزن سیمان ) را به عنوان درصد بهینه نانوسیلیس در کامپوزیت های سیمانی معرفی کردند(شکل۲-۲). آنها با بهره گیری از شیوه نفوذ جیوه (MIP ) نشان دادند که استفاده از نانو سیلیس موجب افزایش تراکم سیلیکات های هیدراته موجود در خمیر سیمان می گردد.

$$SiO_2 + H_2O \rightarrow SiOH \qquad (۱-۲)$$

$$SiOH + Ca(OH)_2 \rightarrow C_3S_2H_3 \qquad (۲-۲)$$