بتن مقاومت بالا با استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب

وحید رحیمی[۱]، قاسم میقانی[۲]، علی کیهانی[۳]

[۱]کارشناس مهندسی عمران، جهاد دانشگاهی استان سمنان ؛
Vahidrahimi1363@yahoo.comE-mail:
[۲]فوق لیسانس عمران – سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود ؛
ghasemmeyghani@gmail.com
[۳]استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود ؛
a_keyhani@hotmail.com
Vahidrahimi1363@yahoo.com

چکیده

در این مقاله به بررسی ساخت بتن مقاومت بالا با استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب پرداخته خواهد شد. این پلیمرها کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف مانند کشاورزی، پزشکی و محیط زیست دارند. این مواد می توانند صدها برابر وزن خود آب جذب کنند. صنعت بتن نیز می تواند از این مواد به عنوان مواد مضاف در عمل آوری داخلی بتن استفاده کند. در این تحقیق پلیمر سوپر جاذب از نوع آ- ۲۰۰ برای عمل آوری داخلی بتن و بررسی تاثیر آن بر مقاومت فشاری بتن مقاومت بالا مورد استفاده قرار گرفت. در گام اول بتن مقاومت بالا بدون استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب ساخته شد. سپس این پلیمرها به بتن اضافه شده و تاثیرات آن مورد مطالعه قرار گرفت. پلیمرها در دو حالت خشک و اشباع به مخلوط اضافه شدند. برای ساخت نمونه ها از قالبهای مکعبی ۱۰cm × ۱۰ × ۱۰ استفاده شد. نتایج نشان دادند که استفاده از این پلیمرها در شرایط خشک و مقدار مشخص موجب افزایش مقاومت فشاری نمونه ها و تولید بتن با مقاومت بالا می شود.

کلمات کلیدی: بتن، عمل آوری داخلی، بتن مقاومت بالا، پلیمرهای سوپر جاذب (SAP)، مقاومت فشاری.

۱. مقدمه

تحقیق و توسعه در زمینه بتن مقاومت بالا (HSC) و کاربرد آن در پروژه های ساختمانی و صنعتی به صورت روزافزون در حال گسترش است[۳-۱]. با توجه به کاربرد زیاد این نوع بتن در نقاط مختلف دنیا تعاریف مختلفی از آن وجود دارد. براساس تعریف ACI 363 بتن با مقاومت بالا بتنی است که دارای مقاومت فشاری بالاتر از $۴۲۰kg/cm^2$ برای بتن ساخته شده از سنگدانه های معمولی و $۲۸۰kg/cm^2$ برای بتن ساخته شده از سنگدانه های سبک می باشد[۴]. در کارگاههای امریکای شمالی معمولاً به بتن های با مقاومت فشاری ۲۸ روزه بیش از۴۲MPa بتن با مقاومت بالا گفته می شود. بکارگیری بتن مقاومت بالا در سازه های عمومی و سازه های بلند به عنوان معیاری برای سنجش میزان پیشرفت کشورها به حساب می آید[۵]. از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۲ تنها در شهر شیکاگو بیش از ۳۰ ساختمان بلند با ستونهایی از بتن با مقاومت ۶۲MPa ساخته شده است. موارد مشابه بسیار بیشتری را نیز می توان در امریکا و کانادا نام برد[۳]. یکی از مهمترین تفاوتها بین ترکیبات بتن معمولی و بتن مقاومت بالا استفاده از مواد مضاف شیمیایی و معدنی است. این مواد برای کاربردهایی نظیر کاهش نسبت آب به سیمان، کاستن از میزان مصرف سیمان، بهبود خواص رئولوژیکی بتن و بهبود شرایط عمل آوری بتن می باشند. برای بتن های معمولی، یکی از روشهای بسیار موثر عمل آوری مرطوب در مجاورت آب است. علاوه بر این، عمل آوری از طریق منابع آب داخلی نیز می تواند انجام شود. این نوع از عمل آوری که به عمل آوری داخلی معروف است در دهه ۹۰ رشد چشمگیری داشته است[۶]. مؤسسه RILEM عمل آوری داخلی را به این صورت تعریف نمود: عمل آوری داخلی اشاره دارد به وارد کردن یک ترکیب به داخل بتن، بطوریکه بتواند به عنوان یک ماده عمل آورنده در داخل بتن قرار گیرد. این ماده می تواند یا یک سنگدانه باشد که در شرایط ویژه ای وارد بتن شده است(مثل حالت اشباع) و یا یک افزودنی ویژه باشد[۶]. تعریفی که مؤسسه بتن آمریکا (ACI Committee 88) در مورد عمل آوری داخلی دارد، با تعریف ارائه شده توسط مؤسسه RILEM کمی متفاوت است. طبق این تعریف عمل آوری داخلی به فرایندی گفته می شود که عمل هیدراسیون به علت در دسترس بودن آب داخلی اضافی پیشرفت می کند که این آب قسمتی از آب مخلوط نمی باشد. عمل آوری داخلی یکی از انواع روشهای عمل آوری بتن محسوب می شود که نیازی به عمل آوری به صورت خارجی نیست[۷]. این روش که به روش شیمیایی خود عمل آورنده معروف است، شامل اضافه کردن یک مادهٔ حل شونده در آب نظیر پلیمرهای گلیکول (پلی اتیلن گلیکول) در طول فرایند مخلوط کردن بتن می باشد، که تبخیر آب از بتن سخت شده را به تأخیر می اندازد و یا کاهش می دهد. همچنین از اتلاف و جذب آب توسط لایه های زیرین بتن جلوگیری می کند. این افزودنی ها که شامل مواد حل شونده در آب هستند دارای گروههای هیدروکسیل می باشند که حفاظت آبی را در بتن ارتقاء داده و باعث بالا رفتن درجه هیدراسیون بتن می شوند. پیوند هیدروژنی که بین گروههای عاملی هیدورکسیل ایجاد می شود باعث افت فشار بخار آب و در نتیجه کاهش تبخیر آب خواهند شد. این مواد افزودنی مورفولوژی ژل C-S-H را تغییر می دهند و موجب کاهش قابلیت جذب بتن خواهند شد. مزیت های استفاده از این مواد زمانی مشهود است که نگهداری آب برای چنین مخلوطهایی، با بتن های معمولی مقایسه می شود که تمام نتایج حاکی از بهتر شدن شرایط می باشد. بتن های خود عمل آورنده در مقایسه با بتن های معمولی کمتر در معرض فرایند خود خشک شدگی قرار دارند. از طرفی در بتن های خود عمل آورنده شرایط هیدراسیون بهتر خواهد شد. این مطلب را هم می توان از مقایسه میزان نفوذ پذیری بتن های خود عمل آورنده با بتن های معمولی نتیجه گرفت زیرا که در این نوع از بتن ها میزان کاهش نفوذ پذیری با زمان بیشتر از بتن های معمولی است[۸]. در این مقاله تاثیر استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب که باعث عمل آوری داخلی بتن می شوند را بر ساخت بتن با مقاومت بالا بررسی کرده و به مطالعه مقاومت فشاری ملات های آزمایشگاهی که با فرایند عمل آوری داخلی در دو حالت پلیمر خشک و پلیمر اشباع در مقایسه با نمونه های بدون پلیمرهای سوپرجاذب پرداخته می شود.

۲. مصالح و مواد مصرفی

۲,۱. پلیمرهای سوپر جاذب

در این تحقیق به منظور بررسی امکان نگهداری داخلی بتن از سوپرجاذب A۲۰۰ استفاده شده است. این سوپرجاذب نسبت به پلیمرهای مشابه خارجی از خواص تورمی و استحکام جالب توجهی برخوردار بوده، بطوریکه کیفیت بسیار بالای این سوپرجاذب و

همچنین ارزان بودن آن نسبت به پلیمرهای سوپرجاذب خارجی باعث گردیده بسیاری از شرکتهای تولید محصولات کشاورزی از آن استفاده کنند. با استفاده از روش سعی و خطا مقادیر مختلفی از آن مورد استفاده قرارگرفت تا مقدار مناسب برای استفاده در بتن بدست آید. در این آزمایشها، اضافه کردن این مواد در دو حالت خشک و اشباع انجام شد. همچنین برای کنترل شرایط نمونه ها و مقایسه با شرایط نرمال نمونه هایی بدون استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب ساخته شدند. در حالت خشک سوپرجاذبها قبل از اضافه کردن آب به مخلوط اضافه می شدند. در این حالت مقدار آب اضافه شده به مخلوط بیش از میزان مورد نیاز در نظر گرفته شده است. مقدار آب اضافی با این فرض به مخلوط افزوده شد که متوسط جذب آب توسط سوپرجاذبها با متوسط ذرات ۱۲۵μm در مخلوطهای بتنی برابر ۶۵g/g است. در حالت اشباع نیز طرح اختلاط هایی ساخته شد که در تمامی آنها میزان آب لازم برای اشباع ۱۹۰ برابر وزن آن برآورد شده است. در این آزمایشها از سوپرجاذب مانده برروی الک ۱۰۰ و۱۴۰ با میانگین اندازهٔ ذرات ۱۲۵μm استفاده شد. در حالت خشک مقداری آب اضافه ۰/۰۵ برای اشباع سوپرجاذبها به مخلوط اضافه شد. در این حالت سوپرجاذبها بعد از تمام شدن آب به مخلوط اضافه می شدند و زمان مخلوط کردن ۵ دقیقه در نظر گرفته شد تا فرصت کافی به سوپرجاذبها برای جذب آب داده شود. در حالت اشباع نیز با توجه به اینکه میزان جذب این مواد (۱۹۰g/g) اندازه گیری شده بود، ابتدا آنها را اشباع کرده و بعد از اضافه کردن آب به مخلوط اضافه می شدند.

شکل۱- پلیمر سوپرجاذب قبل(چپ) و بعد از جذب آب(راست)

برای تعیین میزان جذب آب سوپرجاذبها از دو آزمون روش کیسه چای و روش الک استفاده شد. نتایج بدست آمده از این روشها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به اختلاف نتایج بدست آمده از دو روش، تصمیم گرفته شد که از نتایج روش الک استفاده شود. علت این امر نزدیک بودن نتیجه این روش به میزان جذب نهایی g/g ۱۹۰ (اعلام شده توسط تولید کننده) است. نسبت وزنی سوپرجاذبهای استفاده شده به وزن سیمان برابر ۰/۰۵ درصد می باشد.

جدول۱- ظرفیت جذب سوپر جاذبA200

ظرفیت جذب	وزن نمونه با آب جذب شده	وزن کیسه مرطوب بدون نمونه	وزن نمونه اولیه	روش کیسه چای
۱۷۵/۲۶	۲۷/۵	۱/۲۱	۰/۱۵	وزن نمونه ۱
۱۷۹/۲۶	۳۷/۰۶	۱/۲۱	۰/۲	وزن نمونه ۲
ظرفیت جذب	وزن الک با نمونه اشباع شده	وزن الک مرطوب	وزن سوپر جاذب خشک	روش الک
۱۹۳/۶۴	۶۰۳/۹۴	۴۱/۰۳	gr۱	

۲,۲. مصالح سیمانی

سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط ها، سیمان تیپ II با چگالی ویژه $3/15\ gr/cm^3$ و نرمی $3200\ gr/cm^2$ می باشد. میکروسیلیس استفاده شده در این تحقیق، میکروسیلیس شرکت فروسیلیس ایران بوده و دارای ۹۳/۶ درصد سیلیس می باشد.

۲,۳. فوق روان کننده

در این تحقیق از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر (مطابق با استاندارد ASTM C494) استفاده شد. این فوق روان کننده دارای رنگ شفاف مایل به قهوه ای روشن بوده و وزن مخصوص آن $1/02\ kg/lit$ می باشد. روش اضافه کردن فوق روان کننده به بتن کارآیی و مقاومت آنرا تحت تأثیر قرار می دهد. روش مشخصی برای تعیین مقدار فوق روان کننده وجود ندارد و به ناچار باید به روش آزمون و خطا مقدار آن را تعیین کرد. اصولاً اگر مقاومت معیار اصلی باشد باید نسبت آب به سیمان را به حداقل ممکن رساند و بنابراین مقدار فوق روان کننده لازم، به حداکثر مقدارش می رسد. . در کلیه طرح اختلاط های ساخته شده که در آنها از فوق روان کننده استفاده شده است. قبل از اضافه کردن آب، فوق روان کننده با آب مخلوط شده، و سپس همراه با آب به بتن اضافه می شود.

۲,۴. سنگدانه های مصرفی

سنگدانه های مورد استفاده در این تحقیق از نوع سیلیسی شکسته شده می باشد. دانه بندی و نسبت ترکیبات به صورت نسبت وزنی و بر اساس تجربیات گذشته انتخاب شدند. دانه بندی نمونه ها در حدود اندازه الک ۸ الی ۶۰ بر اساس استاندارد الک های ASTM انتخاب شده است. دانه های سیلیسی پس از شکستن و دانه بندی به دلیل ناخالصی زیاد شسته شده و پس از خشک کردن در آون و توزین بر اساس طرح اختلاط های مربوطه در ساخت ملات بکار می رفتند.

۲,۵. برنامه آزمایشگاهی

برای ساخت نمونه ها ابتدا سنگدانه های سیلیسی دانه بندی شده و با وزن مشخص را همراه با میکروسیلیس در حالت خشک در جام مخلوط کن ریخته شدند تا پس از مخلوط شدن در جام، میکروسیلیس سطح خارجی سنگدانه ها را بپوشاند. سپس سیمان به داخل مخلوط کن اضافه می شد. پس از اضافه کردن سیمان، مخلوط آب و فوق روان کننده به آرامی به مخلوط اضافه می شود (در مدت ۳ دقیقه). در این مدت میکسر با سرعت کم در حال چرخیدن بود. دمای آزمایشگاه در زمان ساخت تقریباً $20\pm2^{\circ}C$ برای تمام نمونه ها اندازه گیری شده است. نمونه های ساخته شده با SAP به دو صورت خشک و اشباع به مخلوط اضافه می شدند، در حالت خشک مقداری آب اضافه($(w/b)_e= 0.05$) برای اشباع سوپرجاذبها به مخلوط اضافه می شد. در این حالت سوپرجاذبها بعد از تمام شدن آب به مخلوط اضافه می شدند. در این حالت زمان مخلوط کردن را به ۵ دقیقه رسانده تا فرصت کافی به سوپرجاذب ها برای جذب آب داده شود. در حالت اشباع نیز با توجه به اینکه میزان جذب آب این مواد (۱۹۰ g/g) اندازه گیری شده بود، ابتدا آنها را اشباع کرده که میزان این آب اضافه شده در جدول شماره ۲ به صورت حاصل جمع همراه با نسبت آب به سیمان ارائه شده است. لذا پس از اشباع سوپر جاذبها در این آب به همراه نسبت آب به سیمان مربوط به آن طرح به مخلوط اضافه شدند. بعد از ریختن تمام مصالح در جام، مخلوط حاصل به داخل قالبهای $10\times10\times10\ cm$ ریخته و در ۳ لایه همراه با ویبره متراکم شدند. بعد از ۲۴ ساعت قالبها را باز و نمونه ها را پس از توزین در شرایط محیطی معمولی عمل آوری می شدند. مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۷ و ۲۸ روزه اندازه گیری شده است. از هر طرح اختلاط ۲ نمونه ساخته و میانگین مقاومت فشاری آنها را گزارش شد.

برای سنجش تأثیر استفاده از مواد سوپر جاذب بر مقاومت فشاری، تمام نمونه های ساخته شده اعم از نمونه های بدون SAP و نمونه های حاوی SAP (در دو حالت پلیمر خشک و پلیمر اشباع با آب اضافه شده) در مجاورت هوا عمل آوری شدند. به این وسیله چون شرایط نگهداری برای تمامی نمونه ها یکسان است می توان امکان عمل آوری داخلی و اثر آن را بر نمونه های ساخته شده را مورد سنجش قرار داد. روشهای عمل آوری که در سطح آزمایشگاه استفاده می شود با شرایط عمل آوری در کارگاه تا حد زیادی متفاوت می باشد. شرایط عمل آوری در کارگاه معمولاً به صورت قرار گیری نمونه های در شرایط باز و یا عمل آوری تناوبی می باشد. به منظور اینکه بتوان حادترین شرایط موجود برای عمل آوری را ایجاد نمود در طرح اختلاطهای ساخته شده، کلیهٔ نمونه ها اعم از نمونهٔ مرجع و نمونهٔ سوپرجاذب دار در محیط باز و هوای باز بلافاصله بعد از قالب برداری قرار داده شدند.

۳. نتایج و بحث

هدف اصلی این تحقیق بررسی امکان استفاده از سوپرجاذبهای پلیمری(SAP) در ساخت بتن با مقاومت بالا بدون نیاز به عمل آوریهای متداول می باشد. تمرکز تحقیق بر بتن های با مقاومت بالا بوده است که انتظار می رود امکان استفاده از سوپرجاذبها بتواند منشأ تأثیرات و تحولات قابل ملاحظه ای در ساخت بتن باشد. این امکان از طریق مقایسهٔ نمونه های شاهد نگهداری شده در شرایط محیطی با مقاومت نمونه های ساخته شده به وسیله سوپرجاذبها بررسی شده است. مقایسه انجام شده عمدتاً به منظور بررسی کیفی امکان جایگزینی سوپرجاذبها (نگهداری داخلی) به جای روشهای عمل آوری متداول(عمل آوری خارجی) انجام پذیرفته است و از بررسی پارامتریک اثر سوپرجاذبها پرهیز شده است. این بررسی پارامتریک موضوع تحقیق جداگانه ای می باشد. با درنظر گرفتن اینکه سوپرجاذبها عمدتاً در مقاومت خمیر سیمان تأثیر گذاشته و اثری بر روی مقاومت سنگدانه ها ندارد لذا با توجه به هدفهای بیان شده و هزینه بر بودن تهیهٔ پلیمرها، تصمیم گرفته شد که آزمایشها برروی نمونه های مکعبیcm ۱۰×۱۰×۱۰ و با سنگدانه های ریز انجام شود. آزمایش مقاومت فشاری برروی نمونه هایی با طرحهای اختلاط متفاوت انجام گردید. در تهیهٔ این مخلوطها از سوپرجاذبها در دو حالت خشک و اشباع استفاده شده است. نتایج بدست آمده با توجه به جدول شماره ۲ به شرح زیر در قسمت نتیجه گیری می باشد.

۴. نتیجه گیری

۱- استفاده از سوپرحاذبها به عنوان نگهداری داخلی بتن قابلیت جایگزینی روشهای متداول نگهداری بتن (نگهداری خارجی) را دارا می باشد.

۲- به منظور حفظ کارآیی بتن باید طرحهای اختلاط از لحاظ میزان آب مصرفی اصلاح گردد.

۳- پلیمرهای A200 که در این تحقیق از آنها استفاده شد در اکثر موارد توانستند مقاومت فشاری نمونه ها را نسبت به ملاتهای مشابه که از این مواد برای ساخت آنها استفاده نمی شد بهبود بخشند.

۴- استفاده از این پلیمرها برای بتن هایی که شرایط عمل آوری خارجی را در مجاورت رطوبت ندارند توصیه می شود.

۵- بهتر است میزان مصرف این مواد در داخل بتن با توجه به میزان سیمان مصرفی تعیین شود. در این خصوص لازم است مطالعات پارامتریک بیشتری صورت گیرد.

۶- اضافه کردن پلیمرهای سوپر جاذب به صورت خشک نتایج مطلوب تری نسبت به اضافه کردن به صورت اشباع در پی خو اهد داشت.

۷- درنمونه های با SAP خشک بیشترین مقاومت درنمونه هایی بدست می آید که کمترین میزان SAP مصرفی را دارند.

۸- درنمونه های حاوی SAP با افزایش مقدار سیمان مشاهده شد که مقاومت فشاری در نمونه ها کاهش پیدا کرد.

۹- در نمونه های که از SAP خشک برای عمل آوری داخلی آنها استفاده شده توصیه می شود حداقل مقدار سیمان برای حفظ مقاومت مطلوب مقدار kg/m^3 ۲۵۰ درنظرگرفته شود.

۱۰- افزودن سوپر جاذب ها به صورت اشباع موجب کاهش کارایی بتن و پایین آمدن کیفیت آن می شد. این کاهش کیفیت به شکل جداشدگی خمیر سیمان از سنگدانه ها و کاهش چسبندگی می باشد.

جدول ۲- جزئیات طرح های اختلاط و مقاومت های فشاری

نوع	C (kg/m^3)	SAP (kg/m^3)	W/b	SF/C (%)	SP/C (%)	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۷ روزه	۲۸ روزه	نوع	C (kg/m^3)	SAP (kg/m^3)	W/b	SF/C (%)	SP/C (%)	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۷ روزه	۲۸ روزه
بدون SAP	250	-	0.35	15	4.8	352	493	بدون SAP	415	-	0.35	15	1.69	310	411
SAP خشک	250	0.125	0.35+0.05	15	4.8	340	471	SAP خشک	415	0.2	0.35+0.05	15	1.69	420	532
SAP اشباع	250	0.125	0.35+0.039	15	4.8	139	300	SAP اشباع	415	0.2	0.35+0.063	15	1.69	255	322
بدون SAP	315	-	0.35	15	3.8	273	390	بدون SAP	415	-	0.3	18	1.2	459	544
SAP خشک	315	0.15	0.35+0.05	15	3.8	432	504	SAP خشک	415	0.25	0.3+0.05	18	1.2	461	590
SAP اشباع	315	0.15	0.35+0.062	15	3.8	250	402	SAP اشباع	415	0.25	0.3+0.077	18	1.2	249	371
بدون SAP	350	-	0.35	15	3.4	170	314	بدون SAP	498	-	0.3	15	1	430	502
SAP خشک	350	0.175	0.35+0.05	15	3.4	220	363	SAP خشک	498	0.25	0.3+0.05	15	1	412	653
SAP اشباع	350	0.175	0.35+0.065	15	3.4	165	275	SAP اشباع	498	0.25	0.3+0.066	15	1	501	607
بدون SAP	370	-	0.35	13	2.7	240	317	بدون SAP	570	-	0.3	2	-	522	545
SAP خشک	370	0.185	0.35+0.05	14	2.7	223	334	SAP خشک	570	5	0.3+0.05	2	-	428	592
SAP اشباع	370	0.185	0.35+0.066	14	2.7	179	271	SAP اشباع	570	5	0.3+1.1	2	-	337	402
بدون SAP	400	-	0.35	15	3	183	300	بدون SAP	727.1	-	0.35	15	0.69	340	498
SAP خشک	400	02	0.35+0.05	13	3	225	342	SAP خشک	727.1	0.76	0.35+0.05	15	0.69	493	537
SAP اشباع	400	0.2	0.35+0.066	13	3	144	277	SAP اشباع	727.1	0.76	0.35+0.136	15	0.69	270	363
بدون SAP	400	-	0.35	14	3	215	375	بدون SAP	758	-	0.32	15	0.66	404	657
SAP خشک	400	0.02	0.35+0.05	13	3	239	391	SAP خشک	758	0.76	0.32+0.05	15	0.66	483	624
SAP اشباع	400	0.02	0.35+0.066	13	3	241	310	SAP اشباع	758	0.76	0.32+0.131	15	0.66	351	301

بتن مقاومت بالا با استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب

وحید رحیمی[۱]، قاسم میقانی[۲]، علی کیهانی[۳]

[۱]کارشناس مهندسی عمران، جهاد دانشگاهی استان سمنان ؛
Vahidrahimi1363@yahoo.comE-mail:
[۲]فوق لیسانس عمران – سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود ؛
ghasemmeyghani@gmail.com
[۳]استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود ؛
a_keyhani@hotmail.com
Vahidrahimi1363@yahoo.com

چکیده

در این مقاله به بررسی ساخت بتن مقاومت بالا با استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب پرداخته خواهد شد. این پلیمرها کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف مانند کشاورزی، پزشکی و محیط زیست دارند. این مواد می توانند صدها برابر وزن خود آب جذب کنند. صنعت بتن نیز می تواند از این مواد به عنوان مواد مضاف در عمل آوری داخلی بتن استفاده کند. در این تحقیق پلیمر سوپر جاذب از نوع آ- ۲۰۰ برای عمل آوری داخلی بتن و بررسی تاثیر آن بر مقاومت فشاری بتن مقاومت بالا مورد استفاده قرار گرفت. در گام اول بتن مقاومت بالا بدون استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب ساخته شد. سپس این پلیمرها به بتن اضافه شده و تاثیرات آن مورد مطالعه قرار گرفت. پلیمرها در دو حالت خشک و اشباع به مخلوط اضافه شدند. برای ساخت نمونه ها از قالبهای مکعبی ۱۰cm × ۱۰ × ۱۰ استفاده شد. نتایج نشان دادند که استفاده از این پلیمرها در شرایط خشک و مقدار مشخص موجب افزایش مقاومت فشاری نمونه ها و تولید بتن با مقاومت بالا می شود.

کلمات کلیدی: بتن، عمل آوری داخلی، بتن مقاومت بالا، پلیمرهای سوپر جاذب (SAP)، مقاومت فشاری.

۱. مقدمه

تحقیق و توسعه در زمینه بتن مقاومت بالا (HSC) و کاربرد آن در پروژه های ساختمانی و صنعتی به صورت روزافزون در حال گسترش است[۳-۱]. با توجه به کاربرد زیاد این نوع بتن در نقاط مختلف دنیا تعاریف مختلفی از آن وجود دارد. براساس تعریف ACI 363 بتن با مقاومت بالا بتنی است که دارای مقاومت فشاری بالاتر از $۴۲۰kg/cm^2$ برای بتن ساخته شده از سنگدانه های معمولی و $۲۸۰kg/cm^2$ برای بتن ساخته شده از سنگدانه های سبک می باشد[۴]. در کارگاههای امریکای شمالی معمولاً به بتن های با مقاومت فشاری ۲۸ روزه بیش از۴۲MPa بتن با مقاومت بالا گفته می شود. بکارگیری بتن مقاومت بالا در سازه های عمومی و سازه های بلند به عنوان معیاری برای سنجش میزان پیشرفت کشورها به حساب می آید[۵]. از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۲ تنها در شهر شیکاگو بیش از ۳۰ ساختمان بلند با ستونهایی از بتن با مقاومت ۶۲MPa ساخته شده است. موارد مشابه بسیار بیشتری را نیز می توان در امریکا و کانادا نام برد[۳]. یکی از مهمترین تفاوتها بین ترکیبات بتن معمولی و بتن مقاومت بالا استفاده از مواد مضاف شیمیایی و معدنی است. این مواد برای کاربردهایی نظیر کاهش نسبت آب به سیمان، کاستن از میزان مصرف سیمان، بهبود خواص رئولوژیکی بتن و بهبود شرایط عمل آوری بتن می باشند. برای بتن های معمولی، یکی از روشهای بسیار موثر عمل آوری مرطوب در مجاورت آب است. علاوه بر این، عمل آوری از طریق منابع آب داخلی نیز می تواند انجام شود. این نوع از عمل آوری که به عمل آوری داخلی معروف است در دهه ۹۰ رشد چشمگیری داشته است[۶]. مؤسسه RILEM عمل آوری داخلی را به این صورت تعریف نمود: عمل آوری داخلی اشاره دارد به وارد کردن یک ترکیب به داخل بتن، بطوریکه بتواند به عنوان یک ماده عمل آورنده در داخل بتن قرار گیرد. این ماده می تواند یا یک سنگدانه باشد که در شرایط ویژه ای وارد بتن شده است(مثل حالت اشباع) و یا یک افزودنی ویژه باشد[۶]. تعریفی که مؤسسه بتن آمریکا (ACI Committee 88) در مورد عمل آوری داخلی دارد، با تعریف ارائه شده توسط مؤسسه RILEM کمی متفاوت است. طبق این تعریف عمل آوری داخلی به فرایندی گفته می شود که عمل هیدراسیون به علت در دسترس بودن آب داخلی اضافی پیشرفت می کند که این آب قسمتی از آب مخلوط نمی باشد. عمل آوری داخلی یکی از انواع روشهای عمل آوری بتن محسوب می شود که نیازی به عمل آوری به صورت خارجی نیست[۷]. این روش که به روش شیمیایی خود عمل آورنده معروف است، شامل اضافه کردن یک مادهٔ حل شونده در آب نظیر پلیمرهای گلیکول (پلی اتیلن گلیکول) در طول فرایند مخلوط کردن بتن می باشد، که تبخیر آب از بتن سخت شده را به تأخیر می اندازد و یا کاهش می دهد. همچنین از اتلاف و جذب آب توسط لایه های زیرین بتن جلوگیری می کند. این افزودنی ها که شامل مواد حل شونده در آب هستند دارای گروههای هیدروکسیل می باشند که حفاظت آبی را در بتن ارتقاء داده و باعث بالا رفتن درجه هیدراسیون بتن می شوند. پیوند هیدروژنی که بین گروههای عاملی هیدورکسیل ایجاد می شود باعث افت فشار بخار آب و در نتیجه کاهش تبخیر آب خواهند شد. این مواد افزودنی مورفولوژی ژل C-S-H را تغییر می دهند و موجب کاهش قابلیت جذب بتن خواهند شد. مزیت های استفاده از این مواد زمانی مشهود است که نگهداری آب برای چنین مخلوطهایی، با بتن های معمولی مقایسه می شود که تمام نتایج حاکی از بهتر شدن شرایط می باشد. بتن های خود عمل آورنده در مقایسه با بتن های معمولی کمتر در معرض فرایند خود خشک شدگی قرار دارند. از طرفی در بتن های خود عمل آورنده شرایط هیدراسیون بهتر خواهد شد. این مطلب را هم می توان از مقایسه میزان نفوذ پذیری بتن های خود عمل آورنده با بتن های معمولی نتیجه گرفت زیرا که در این نوع از بتن ها میزان کاهش نفوذ پذیری با زمان بیشتر از بتن های معمولی است[۸]. در این مقاله تاثیر استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب که باعث عمل آوری داخلی بتن می شوند را بر ساخت بتن با مقاومت بالا بررسی کرده و به مطالعه مقاومت فشاری ملات های آزمایشگاهی که با فرایند عمل آوری داخلی در دو حالت پلیمر خشک و پلیمر اشباع در مقایسه با نمونه های بدون پلیمرهای سوپرجاذب پرداخته می شود.

۲. مصالح و مواد مصرفی

۲,۱. پلیمرهای سوپر جاذب

در این تحقیق به منظور بررسی امکان نگهداری داخلی بتن از سوپرجاذب A۲۰۰ استفاده شده است. این سوپرجاذب نسبت به پلیمرهای مشابه خارجی از خواص تورمی و استحکام جالب توجهی برخوردار بوده، بطوریکه کیفیت بسیار بالای این سوپرجاذب و

همچنین ارزان بودن آن نسبت به پلیمرهای سوپرجاذب خارجی باعث گردیده بسیاری از شرکتهای تولید محصولات کشاورزی از آن استفاده کنند. با استفاده از روش سعی و خطا مقادیر مختلفی از آن مورد استفاده قرارگرفت تا مقدار مناسب برای استفاده در بتن بدست آید. در این آزمایشها، اضافه کردن این مواد در دو حالت خشک و اشباع انجام شد. همچنین برای کنترل شرایط نمونه ها و مقایسه با شرایط نرمال نمونه هایی بدون استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب ساخته شدند. در حالت خشک سوپرجاذبها قبل از اضافه کردن آب به مخلوط اضافه می شدند. در این حالت مقدار آب اضافه شده به مخلوط بیش از میزان مورد نیاز در نظر گرفته شده است. مقدار آب اضافی با این فرض به مخلوط افزوده شد که متوسط جذب آب توسط سوپرجاذبها با متوسط ذرات ۱۲۵μm در مخلوطهای بتنی برابر ۶۵g/g است. در حالت اشباع نیز طرح اختلاط هایی ساخته شد که در تمامی آنها میزان آب لازم برای اشباع ۱۹۰ برابر وزن آن برآورد شده است. در این آزمایشها از سوپرجاذب مانده برروی الک ۱۰۰ و۱۴۰ با میانگین اندازهٔ ذرات ۱۲۵μm استفاده شد. در حالت خشک مقداری آب اضافه ۰/۰۵ برای اشباع سوپرجاذبها به مخلوط اضافه شد. در این حالت سوپرجاذبها بعد از تمام شدن آب به مخلوط اضافه می شدند و زمان مخلوط کردن ۵ دقیقه در نظر گرفته شد تا فرصت کافی به سوپرجاذبها برای جذب آب داده شود. در حالت اشباع نیز با توجه به اینکه میزان جذب این مواد (۱۹۰g/g) اندازه گیری شده بود، ابتدا آنها را اشباع کرده و بعد از اضافه کردن آب به مخلوط اضافه می شدند.

شکل۱- پلیمر سوپرجاذب قبل(چپ) و بعد از جذب آب(راست)

برای تعیین میزان جذب آب سوپرجاذبها از دو آزمون روش کیسه چای و روش الک استفاده شد. نتایج بدست آمده از این روشها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به اختلاف نتایج بدست آمده از دو روش، تصمیم گرفته شد که از نتایج روش الک استفاده شود. علت این امر نزدیک بودن نتیجه این روش به میزان جذب نهایی g/g ۱۹۰ (اعلام شده توسط تولید کننده) است. نسبت وزنی سوپرجاذبهای استفاده شده به وزن سیمان برابر ۰/۰۵ درصد می باشد.

جدول۱- ظرفیت جذب سوپر جاذبA200

روش کیسه چای	وزن نمونه اولیه	وزن کیسه مرطوب بدون نمونه	وزن نمونه با آب جذب شده	ظرفیت جذب
وزن نمونه ۱	۰/۱۵	۱/۲۱	۲۷/۵	۱۷۵/۲۶
وزن نمونه ۲	۰/۲	۱/۲۱	۳۷/۰۶	۱۷۹/۲۶
روش الک	وزن سوپر جاذب خشک	وزن الک مرطوب	وزن الک با نمونه اشباع شده	ظرفیت جذب
	gr۱	۴۱/۰۳	۶۰۳/۹۴	۱۹۳/۶۴

۲,۲. مصالح سیمانی

سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط ها، سیمان تیپ II با چگالی ویژه $3/15\ gr/cm^3$ و نرمی $3200\ gr/cm^2$ می باشد. میکروسیلیس استفاده شده در این تحقیق، میکروسیلیس شرکت فروسیلیس ایران بوده و دارای ۹۳/۶ درصد سیلیس می باشد.

۲,۳. فوق روان کننده

در این تحقیق از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر (مطابق با استاندارد ASTM C494) استفاده شد. این فوق روان کننده دارای رنگ شفاف مایل به قهوه ای روشن بوده و وزن مخصوص آن $1/02\ kg/lit$ می باشد. روش اضافه کردن فوق روان کننده به بتن کارآیی و مقاومت آنرا تحت تأثیر قرار می دهد. روش مشخصی برای تعیین مقدار فوق روان کننده وجود ندارد و به ناچار باید به روش آزمون و خطا مقدار آن را تعیین کرد. اصولاً اگر مقاومت معیار اصلی باشد باید نسبت آب به سیمان را به حداقل ممکن رساند و بنابراین مقدار فوق روان کننده لازم، به حداکثر مقدارش می رسد. . در کلیه طرح اختلاط های ساخته شده که در آنها از فوق روان کننده استفاده شده است. قبل از اضافه کردن آب، فوق روان کننده با آب مخلوط شده، و سپس همراه با آب به بتن اضافه می شود.

۲,۴. سنگدانه های مصرفی

سنگدانه های مورد استفاده در این تحقیق از نوع سیلیسی شکسته شده می باشد. دانه بندی و نسبت ترکیبات به صورت نسبت وزنی و بر اساس تجربیات گذشته انتخاب شدند. دانه بندی نمونه ها در حدود اندازه الک ۸ الی ۶۰ بر اساس استاندارد الک های ASTM انتخاب شده است. دانه های سیلیسی پس از شکستن و دانه بندی به دلیل ناخالصی زیاد شسته شده و پس از خشک کردن در آون و توزین بر اساس طرح اختلاط های مربوطه در ساخت ملات بکار می رفتند.

۲,۵. برنامه آزمایشگاهی

برای ساخت نمونه ها ابتدا سنگدانه های سیلیسی دانه بندی شده و با وزن مشخص را همراه با میکروسیلیس در حالت خشک در جام مخلوط کن ریخته شدند تا پس از مخلوط شدن در جام، میکروسیلیس سطح خارجی سنگدانه ها را بپوشاند. سپس سیمان به داخل مخلوط کن اضافه می شد. پس از اضافه کردن سیمان، مخلوط آب و فوق روان کننده به آرامی به مخلوط اضافه می شود (در مدت ۳ دقیقه). در این مدت میکسر با سرعت کم در حال چرخیدن بود. دمای آزمایشگاه در زمان ساخت تقریباً $20\pm2^{\circ}C$ برای تمام نمونه ها اندازه گیری شده است. نمونه های ساخته شده با SAP به دو صورت خشک و اشباع به مخلوط اضافه می شدند، در حالت خشک مقداری آب اضافه($(w/b)_e= 0.05$) برای اشباع سوپرجاذبها به مخلوط اضافه می شد. در این حالت سوپرجاذبها بعد از تمام شدن آب به مخلوط اضافه می شدند. در این حالت زمان مخلوط کردن را به ۵ دقیقه رسانده تا فرصت کافی به سوپرجاذب ها برای جذب آب داده شود. در حالت اشباع نیز با توجه به اینکه میزان جذب آب این مواد ($190\ g/g$) اندازه گیری شده بود، ابتدا آنها را اشباع کرده که میزان این آب اضافه شده در جدول شماره ۲ به صورت حاصل جمع همراه با نسبت آب به سیمان ارائه شده است. لذا پس از اشباع سوپر جاذبها در این آب به همراه نسبت آب به سیمان مربوط به آن طرح به مخلوط اضافه شدند. بعد از ریختن تمام مصالح در جام، مخلوط حاصل به داخل قالبهای $10\times10\times10\ cm$ ریخته و در ۳ لایه همراه با ویبره متراکم شدند. بعد از ۲۴ ساعت قالبها را باز و نمونه ها را پس از توزین در شرایط محیطی معمولی عمل آوری می شدند. مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۷ و ۲۸ روزه اندازه گیری شده است. از هر طرح اختلاط ۲ نمونه ساخته و میانگین مقاومت فشاری آنها را گزارش شد.

برای سنجش تأثیر استفاده از مواد سوپر جاذب بر مقاومت فشاری، تمام نمونه های ساخته شده اعم از نمونه های بدون SAP و نمونه های حاوی SAP (در دو حالت پلیمر خشک و پلیمر اشباع با آب اضافه شده) در مجاورت هوا عمل آوری شدند. به این

وسیله چون شرایط نگهداری برای تمامی نمونه ها یکسان است می توان امکان عمل آوری داخلی و اثر آن را بر نمونه های ساخته شده را مورد سنجش قرار داد. روشهای عمل آوری که در سطح آزمایشگاه استفاده می شود با شرایط عمل آوری در کارگاه تا حد زیادی متفاوت می باشد. شرایط عمل آوری در کارگاه معمولاً به صورت قرار گیری نمونه های در شرایط باز و یا عمل آوری تناوبی می باشد. به منظور اینکه بتوان حادترین شرایط موجود برای عمل آوری را ایجاد نمود در طرح اختلاطهای ساخته شده، کلیهٔ نمونه ها اعم از نمونهٔ مرجع و نمونهٔ سوپرجاذب دار در محیط باز و هوای باز بلافاصله بعد از قالب برداری قرار داده شدند.

۳. نتایج و بحث

هدف اصلی این تحقیق بررسی امکان استفاده از سوپرجاذبهای پلیمری(SAP) در ساخت بتن با مقاومت بالا بدون نیاز به عمل آوریهای متداول می باشد. تمرکز تحقیق بر بتن های با مقاومت بالا بوده است که انتظار می رود امکان استفاده از سوپرجاذبها بتواند منشأ تأثیرات و تحولات قابل ملاحظه ای در ساخت بتن باشد. این امکان از طریق مقایسهٔ نمونه های شاهد نگهداری شده در شرایط محیطی با مقاومت نمونه های ساخته شده به وسیله سوپرجاذبها بررسی شده است. مقایسه انجام شده عمدتاً به منظور بررسی کیفی امکان جایگزینی سوپرجاذبها (نگهداری داخلی) به جای روشهای عمل آوری متداول(عمل آوری خارجی) انجام پذیرفته است و از بررسی پارامتریک اثر سوپرجاذبها پرهیز شده است. این بررسی پارامتریک موضوع تحقیق جداگانه ای می باشد. با درنظر گرفتن اینکه سوپرجاذبها عمدتاً در مقاومت خمیر سیمان تأثیر گذاشته و اثری بر روی مقاومت سنگدانه ها ندارد لذا با توجه به هدفهای بیان شده و هزینه بر بودن تهیهٔ پلیمرها، تصمیم گرفته شد که آزمایشها برروی نمونه های مکعبیcm ۱۰×۱۰×۱۰ و با سنگدانه های ریز انجام شود. آزمایش مقاومت فشاری برروی نمونه هایی با طرحهای اختلاط متفاوت انجام گردید. در تهیهٔ این مخلوطها از سوپرجاذبها در دو حالت خشک و اشباع استفاده شده است. نتایج بدست آمده با توجه به جدول شماره ۲ به شرح زیر در قسمت نتیجه گیری می باشد.

۴. نتیجه گیری

۱۱- استفاده از سوپرحاذبها به عنوان نگهداری داخلی بتن قابلیت جایگزینی روشهای متداول نگهداری بتن (نگهداری خارجی) را دارا می باشد.

۱۲- به منظور حفظ کارآیی بتن باید طرحهای اختلاط از لحاظ میزان آب مصرفی اصلاح گردد.

۱۳- پلیمرهای A200 که در این تحقیق از آنها استفاده شد در اکثر موارد توانستند مقاومت فشاری نمونه ها را نسبت به ملاتهای مشابه که از این مواد برای ساخت آنها استفاده نمی شد بهبود بخشند.

۱۴- استفاده از این پلیمرها برای بتن هایی که شرایط عمل آوری خارجی را در مجاورت رطوبت ندارند توصیه می شود.

۱۵- بهتر است میزان مصرف این مواد در داخل بتن با توجه به میزان سیمان مصرفی تعیین شود. در این خصوص لازم است مطالعات پارامتریک بیشتری صورت گیرد.

۱۶- اضافه کردن پلیمرهای سوپر جاذب به صورت خشک نتایج مطلوب تری نسبت به اضافه کردن به صورت اشباع در پی خو اهد داشت.

۱۷- درنمونه های با SAP خشک بیشترین مقاومت درنمونه هایی بدست می آید که کمترین میزان SAP مصرفی را دارند.

۱۸- درنمونه های حاوی SAP با افزایش مقدار سیمان مشاهده شد که مقاومت فشاری در نمونه ها کاهش پیدا کرد.

۱۹- در نمونه های که از SAP خشک برای عمل آوری داخلی آنها استفاده شده توصیه می شود حداقل مقدار سیمان برای حفظ مقاومت مطلوب مقدار kg/m^3 ۲۵۰ درنظرگرفته شود.

۲۰- افزودن سوپر جاذب ها به صورت اشباع موجب کاهش کارایی بتن و پایین آمدن کیفیت آن می شد. این کاهش کیفیت به شکل جداشدگی خمیر سیمان از سنگدانه ها و کاهش چسبندگی می باشد.

جدول ۲- جزئیات طرح های اختلاط و مقاومت های فشاری

نوع	C (kg/m^3)	SAP (kg/m^3)	W/b	SF/C (%)	SP/C (%)	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۷ روزه	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۲۸ روزه	نوع	C (kg/m^3)	SAP (kg/m^3)	W/b	SF/C (%)	SP/C (%)	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۷ روزه	مقاومت فشاری (kg/cm^2) ۲۸ روزه
بدون SAP	250	-	0.35	15	4.8	352	493	بدون SAP	415	-	0.35	15	1.69	310	411
SAP خشک	250	0.125	0.35+0.05	15	4.8	340	471	SAP خشک	415	0.2	0.35+0.05	15	1.69	420	532
SAP اشباع	250	0.125	0.35+0.039	15	4.8	139	300	SAP اشباع	415	0.2	0.35+0.063	15	1.69	255	322
بدون SAP	315	-	0.35	15	3.8	273	390	بدون SAP	415	-	0.3	18	1.2	459	544
SAP خشک	315	0.15	0.35+0.05	15	3.8	432	504	SAP خشک	415	0.25	0.3+0.05	18	1.2	461	590
SAP اشباع	315	0.15	0.35+0.062	15	3.8	250	402	SAP اشباع	415	0.25	0.3+0.077	18	1.2	249	371
بدون SAP	350	-	0.35	15	3.4	170	314	بدون SAP	498	-	0.3	15	1	430	502
SAP خشک	350	0.175	0.35+0.05	15	3.4	220	363	SAP خشک	498	0.25	0.3+0.05	15	1	412	653
SAP اشباع	350	0.175	0.35+0.065	15	3.4	165	275	SAP اشباع	498	0.25	0.3+0.066	15	1	501	607
بدون SAP	370	-	0.35	13	2.7	240	317	بدون SAP	570	-	0.3	2	-	522	545
SAP	370	0.185	0.35+0.05	14	2.7	223	334	SAP	570	5	0.3+0.05	2	-	428	592

خشک								خشک						
SAP اشباع	370	0.185	0.35+0.066	14	2.7	179	271	SAP اشباع	570	5	0.3+1.1	2	-	337	402
بدون SAP	400	-	0.35	15	3	183	300	بدون SAP	727.1	-	0.35	15	0.69	340	498
SAP خشک	400	02	0.35+0.05	13	3	225	342	SAP خشک	727.1	0.76	0.35+0.05	15	0.69	493	537
SAP اشباع	400	0.2	0.35+0.066	13	3	144	277	SAP اشباع	727.1	0.76	0.35+0.136	15	0.69	270	363
بدون SAP	400	-	0.35	14	3	215	375	بدون SAP	758	-	0.32	15	0.66	404	657
SAP خشک	400	0.02	0.35+0.05	13	3	239	391	SAP خشک	758	0.76	0.32+0.05	15	0.66	483	624
SAP اشباع	400	0.02	0.35+0.066	13	3	241	310	SAP اشباع	758	0.76	0.32+0.131	15	0.66	351	301

مراجع

Influence of the Packing Density of Fine Particles on Structure, "**[1]. TeichmanT., Schmidt M., , International Symposium on Ultra High Performance** "Strength and Durability of UHPC **Concrete,pp 313-323, Kassel, Germany,2004**

[۲]. **احمد.اس، اچ. شاه، اس.پی،** "بتن های توانمند و کاربردهای آن"، **ترجمه موسی مظلوم، علی اکبر رمضانیانپور، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، چاپ اول، ۱۳۸۳.**

[3]. Nawy.E.G. **" Fundamentals of High Performance Concrete "** , 2nd ed, John Willey&Sons, Inc,2001**.**

[4]. ACI Committee 363R-92, " State of the Report on High Strength Concrete "**, ACI manual of concrete practice, 2004.Atluri, S.N. and Shen, S., (2002), "The Meshless Local Petrov–Galerkin (MLPG) Method", Tech Science Press, USA.**

[۵]. **خالو، علیرضا، "روش و اهمیت نیل به بتن مقاومت بالا در سازه ها"، نشریه انجمن بتن ایران، سال دوم، شماره پنجم، ۱۳۸۰.**

[6]. Konstantin Kovler and Ole. Jensen., " Novel Techniques for Concrete Curing " **, Concrete International, September 2005.**

[7]. Dhir, R.K., Hewlett, P.C., Lota, J.S., and Dyer, T.D., " An Investigation into the Feasibility of Formulating Self-Cure Concrete " **, Material & Structures, V. 27, No. 174, 1994, pp. 606-615.**

[8]. Neville AM and J.J Brooks," **Concrete Technology** ", Co published in the United States with John Wiley & Sons, Inc (1987).