کانون سراسری انجمن های صنفی مهندسان معمارایران
همایش بین المللی معماری،عمران و شهرسازی در هزاره سوم
تهران - خرداد ماه ۹۴

بررسی تاثیر تالک در بتن پودری واکنش‌پذیر به‌همراه میکروسیلیس و پودرسنگ

مریم صفری[۱]*،علی حیدری[۲]، هادی کیانی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، کارشناسی ارشد عمران سازه هیدرولیکی، دانشگاه شهرکرد،
[۲]استادیار دانشگاه شهرکرد، دکتری عمران سازه، دانشگاه شهرکرد،
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد، کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشگاه آزاد نجف‌آباد،

چکیده

بتن با مقاومت بالا مقاومت فشاری بین ۵۰ تا ۱۵۰ مگاپاسکال داشته و کاربردهای زیادی در صنعت ساخت‌وساز دارد. از سوی دیگر همواره بشر در پی این بوده تا با افزودن مواد جدید به ترکیب سنتی بتن، در میزان مصرف سیمان که یک محصول استراتژیک است صرفه جویی کرده و با لحاض نمودن مسائل اقتصادی مقاومت و دوام آن را حفظ کرده و حتی افزایش دهد. در این مطالعه‌ی آزمایشگاهی در ابتدا به بررسی خواص پوزولانی تالک در بتن پودری پرداخته شده است. پس از تایید خواص پوزولانی، پوزولان تالک با مقادیر مختلف در بتن استفاده شده تا خواص بتن حاوی این پوزولان اندازه گیری شده و درصد بهینه آن بدست آید. در بخشی دیگری از آزمایش به بررسی مقایسه خواص بتن حاوی پوزولان تالک و میکرو سیلیس پرداخته شده و در نهایت اثر همزمان این دو ماده بررسی شده است. نتایج نشان داده است که تالک دارای خواص مطلوبی در بتن می‌باشد بنابراین با جایگزینی تالک بخشی ازسیمان مصرفی که در بتن پودری مقدار زیادی است، کم شده وقیمت تمام شده بتن کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: بتن پودری، پودر سنگ، تالک، میکرو سیلیس

۱- مقدمه

پوزولان به مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومیناتی که به خودی خود ارزش چسبندگی ندارند، اما به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاورت رطوبت در درجه حرارت معمولی با هیدروکسید کلسیم در مجاورت آهک یا سیمان واکنش شیمیایی ایجاد می‌کنند و ترکیباتی را به وجود می‌آورند که خاصیت سیمانی و چسبندگی دارند، می‌گویند [۱]. پوزولان در فرآیند واکنش با هیدروکسید کلسیم که حاصل از واکنش‌های هیدراته شدن فازهای اصلی سیمان بوده، یا به صورت آزاد در بتن وجود دارد، موجب تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته می‌شود که بر خلاف هیدروکسید کلسیم، که قابلیت حل شدن در آب را داراست و موجب تخریب بتن می گردد، ماده‌ای پایدار بوده و منجر به بهبود خواص مکانیکی بتن می‌گردد. هیدروکسیدکلسیم و پوزولان هیچکدام به تنهایی خاصیت چسبانندگی ندارند، ولی سیلیکات کلسیم تشکیل شده از واکنش این دو ترکیب، ارزش سیمانی دارد [۲].

استفاده از پوزولان در بتن باعث بهبود بسیاری از خصوصیات مکانیکی و دوام بتن می‌گردد. بعضی آثار ناشی از خواص فیزیکی ذرات شامل ریز بودن و شکل ذرات و بقیه ناشی از فعل و انفعال شیمیایی پوزولان با سیمان است. استفاده از پوزولان‌ها در بتن باعث کاهش تمایل مخلوط به آب انداختن و پدیده‌ی جدایی دانه‌ها و بهبود مشخصات پرداخت پذیری سطح و کاهش ابعاد لوله های مویینه در بتن می‌شوند. به طور کلی به کار بردن پوزولان‌ها در بتن باعث افزایش چسبندگی و کاهش کارایی می‌شوند. استفاده از پوزولان‌ها در بتن باعث کاهش و تتراکلسیم (C۳A) حرارت هیدراتاسیون می‌شوند که به کند شدن هیدراتاسیون تری‌کلسیم آلومینات مربوط است. در رابطه با مقاومت فشاری بتن‌های حاوی پوزولان، به دلیل کندی (C۴AF) آلومینوفریت واکنش‌های اکثر پوزولان‌ها ممکن است مقاومت بتن پوزولانی در سنین اولیه کمتر از مقاومت بتن معمولی باشد. پوزولان‌ها پس از تاثیر و افزایش مقاومت بتن باعث افزایش مدول الاستیسیته و کاهش خزش می‌گردند. علاوه بر موارد ذکر شده، استفاده از پوزولان ها در بتن باعث کاهش منافذ بزرگ و نفوذپذیری شده و به تبع آن مقاومت بتن را در برابر شرایط جوی نامساعد مانند تر و خشک شدن‌های متوالی، حملات سولفات‌ها، اسیدها و یون کلر افزایش می‌دهند. عوامل مؤثر بر فعالیت پوزولانی عبارتند از مقدار درصد فاز آمورف، نرمی و مقدار درصد بر این اساس توسط استانداردهای مختلف الزامات فیزیکی و شیمیایی جهت تعیین، فعالیت پوزولانی تدوین شده است. محدودیت‌های زیر به صورت اجباری برای آنالیز شیمیایی $Fe_2O_3+Al_2O_3+SiO_2$ پوزولان‌های طبیعی در نظر گرفته شده است [۱].

$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 > ۷۰٪$

$SO_3 < ۴٪$

محدودیت اول به این دلیل می باشد که وجود مقادیر کافی سه اکسید مذکور برای انجام واکنش پوزولانی لازم است یعنی این ترکیبات با آهک ناشی از هیدراتاسیون سیمان واکنش می دهند و سبب بهبود ریز ساختار خمیر سیمان هیدراته می شوند. علت محدودیت دوم این است که وجود سولفور در خمیر سیمان، خطر حملات سولفاتی را افزایش می دهد که نتیجه آن انبساطهای نامطلوب و مخرب می باشد. بسیاری از مواد خصوصاً مواد کریستالی مانند انواع ر س‌ها با آن که ممکن است شرط اول را ارضا کنند اما خاصیت پوزولانی ناچیزی دارند. عموماً بخش های کریستالی مواد پوزولانی به عنوان ناخالصی و بخش‌های آمورف (بی شکل) و شیشه‌ای به عنوان اجزای واکنش‌زای این مواد شناخته می‌شوند. مجموع سه اکسید $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ در تالک تقریبا ۶۳٪ می باشد و تقریبا می‌توان گفت خواصی نزدیک به پوزولان دارد. از آن‌جایی که مقدار سولفیت و سولفور بسیار کم است درنتیجه خطر سولفاته شدن بتن وجود ندارد در نتیجه استفاده از تالک مخصوصا در مناطقی که احتمال سولفاته شدن باشد مطلوب است. در سال ۲۰۱۱ دوام بتن گوگردی با انواع پرکننده‌ها در حلال های HCl و NaCl و H_2SO_4 مورد آزمایش قرار گرفت و در حلال‌های HCl و H_2SO_4 بتن گوگردی با تالک و خاکستربادی دوام بیشتری داشتند و در نمونه NaCl با آلومینا و میکروسیلیس بهتر بودند [۳]. در سال ۲۰۱۳ آزمایشاتی در مورد افزودن تالک به سیمان انجام شد که نشان داد که تالک به‌عنوان یک روان‌کننده

عمل می‌کند و مقدار بهینه تالک حدود ۵٪ و۱۰٪ کل قسمت جامد می‌باشد و تالک به همراه سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می شود[۴].

بتن پودری از جمله مواد ساختمانی است که تا امروزه در صنعت ساخت وساز بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته است. بتن پودری برای مصارف صنعتی توسط Rhodia, Lafarge, Bouygues معرفی شد [۵] و گزارش‌هایی مبنی بر خصوصیات دوام بالای بتن پودری در اشکال مختلف نسبت به بتن‌های با عملکرد بالای موجود در بازار می‌باشد. عملکرد فوق العاده بالا از بتن پودری مزایای بسیاری را در مقایسه با بتن متعارف فراهم می کند، از جمله:

۱- مقاومت بیشتر با استحکام فشاری بسیار بالا (درحدود چهار برابر بتن متعارف) در نتیجه کاهش قابل توجهی در بار مرده دارد و ساختار بتن پودری ممکن است وزنی درحدوده یک سوم یا نیمی از وزن مربوط به سازه های بتنی متداول داشته باشد.

۲- شکل‌پذیری بسیار بالا همراه با جذب انرژی زیاد قابلیت اطمینان بیشتر در معرض زلزله می‌دهد. خصوصیت جذب انرژی بالای بتن پودری سبب عملکرد پلاستیک بسیار مطلوب ستون ها، تیرستون ها و اتصالات ودیوارهای برشی می‌شود [۶].

۳- شکل‌پذیری بالاتر که سبب سرویس دهی بهتر در طول عمر مفید سازه می‌شود. بتن پودری تقریبا نفوذ ناپذیر است که از نفوذ کلراید و سولفات‌ها جلو گیری می‌کند مقاومت بسیار خوب آنها سبب افزایش طول عمر آنها برای عرشه پل و مکانهای صنعتی [۷]و حفاظت در مناطق با شرایط آب وهوایی بد و خشن مانند باران و برف و طوفان شن سنگین با افزایش مقاومت در برابر خوردگی را فراهم می‌کند [۸].

۴- حذف آرماتورها سبب کاهش هزینه‌های کارگری و ایجاد آزادی بیشتر برای طراحان معماری میشود.

۵- کاهش ضخامت المان‌های بتنی سبب صرفه جویی درمصرف مصالح و هزینه‌ها می‌شود.

۶- مقدار بسیار زیاد سیمان هیدراته نشده در سطح تسطیح شده سبب خودترمیمی در شرایط ترک خوردگی می‌شود.

۷- نرمی سطح بتن پودری سبب کیفیت بالای سطح نهایی این مصالح می‌شود. علاوه برخصوصیات برجسته بتن پودری این ماده دارای ضعف‌هایی نیز می‌باشد به عنوان مثال: میزان مصرف زیاد سیمان نه تنها برروی هزینه‌ها تاثیر منفی می‌گذارد بلکه سبب افزایش نامطلوب گرمای هیدراتاسیون که باعث مشکلاتی از قبیل جمع شدگی می‌شود. بتن پودری عموما بتن پرهزینه ای می‌باشد که که نمی توان آنرا به راحتی جایگزین بتن‌های معمولی کرد به خصوص درمواردی کرد که این بتن‌ها برحسب عملکردشان توجیه اقتصادی داشته باشند.

۸- دانسیته بسیار بالای بتن پودری واکنش زا آن را برای دفع و نگهداری پسماندهای هسته‌ای بسیار پایدار می نماید [۹].

۹- این نوع بتن موجب کاهش در ضخامت عناصر بتنی و بنابراین کاهش هزینه ها و مصالح می شود [۱۰].

در این تحقیق تالک به‌عنوان پوزولان جایگزین سیمان در بتن پودری شده و درصد بهینه آن در بتن پودری مشخص شده است. برای این منظور ۴ طرح با نسبت تالک ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ و ۱۰ درصد جایگزین سیمان شده است که درصد تالک ۵ و ۷/۵ بیشترین مقاومت را داشته است و سپس با نمونه‌های حاوی میکرو ۵ و ۱۰ و ۱۵ مقایسه شده است. سپس به بررسی همزمان استفاده از تالک و میکرو سیلیس در بتن پرداختیم . نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که تالک نسبت به میکروسیلیس تاثیری بهتری روی مقاومت بتن پودری دارد که این نشان می‌دهد استفاده از تالک نسبت به میکروسیلیس باعث کاهش هزینه تمام شده بتن خواهد بود چون قیمت تالک نسبت به میکروسیلیس کمتر می‌باشد.

۲- مواد و مصالح آزمایشگاهی

سیمان

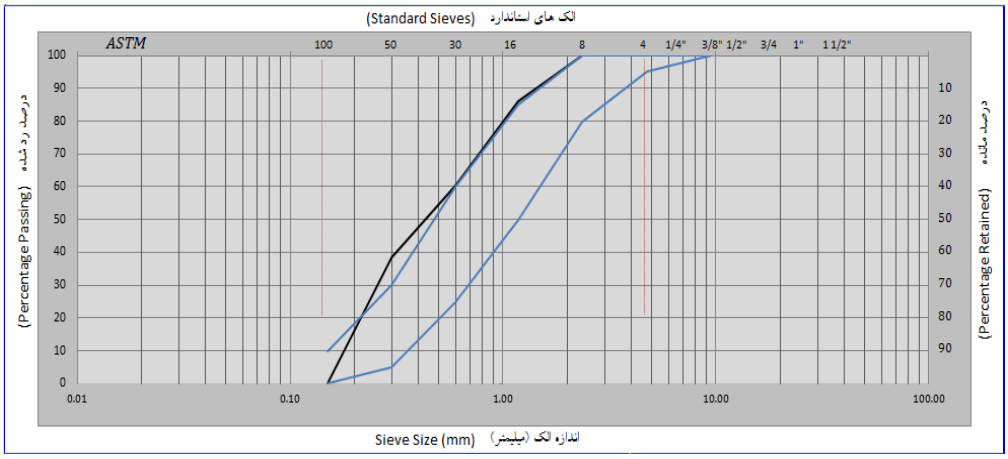
سیمان مورد استفاده در این پژوهش سیمان تیپ یک کارخانه سیمان سازی شهرکرد بوده که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است. سیمان تیپ یک معمول‌ترین سیمانی است که در همه موارد به غیر از مواردی که بتن در معرض سولفات موجود در خاک یا آب قرار می‌گیرد، بکار می‌رود. استاندارد ضریب اشباع آهک را برای این نوع سیمان بین ۰/۶۶ تا ۱/۰۲ محدود می‌کند.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی سیمان مصرفی

ترکیبات موجود	درصد
$SiO_۳$	۲۱/۷
CaO	۶۶/۰۵
$Fe_۲O_۳$	۳/۹
$Al_۲O_۳$	۵/۳
MgO	≤۱/۷
Total alkali	≤۰/۷
cl	≤۰/۰۳
F.CaO	≤۰/۹
I.R	۰≤/۲۵
$SO_۳$	≤۰/۴
LoI	≤۰/۵

ماسه

ماسه استفاده شده در این پژوهش پودر سنگ موجود در بازار می‌باشد که نمودار دانه‌بندی آن مطابق شکل زیر است.



شکل ۱: نمودار دانه‌بندی پودر سنگ

پودر تالک

کانی از هیدرات منیزیم سیلیکات تشکیل شده‌است، فرمول شیمیایی آن عبارت است از $Mg_3Si_4O_{10}.(OH)_2$ طبق جدول سختی موس تالک نرم‌ترین کانی است و می‌توان با ناخن روی آن خراش ایجاد کرد. ورقه‌های کوچک تالک قابل انعطاف ولی غیرقابل ارتجاع است، هادی خوبی برای حرارت نیست و هنگامی که آن را لمس می‌کنیم احساس می‌کنیم که چرب است. دارای لومینسانس اغلب سفید مایل به سبز، زرد، کرم، قهوه‌ای، سبز و آبی است. این کانی در آب حل نمی‌شود ولی بسیار کم در کانی‌های اسیدی حل می‌شود و در شعله ذوب نمی‌شود.

تالک یک کانی دگرگون است که از دگرگونی کانی‌هایی مانند سرپانتین، اولیوین، پیروکسن و آمفیبول در حضور دی‌اکسید کربن و آب تشکیل می‌شود. که در این صورت آن را تالک کربناتی می‌نامند. تالک در اثر واکنش آب‌پوشی یون‌ها و کربن‌گیری سرپانتین به شکل زیر تشکیل می‌شود:

آب + منیزیت + تالک ← دی‌اکسید کربن + سرپانتین

$$2Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 3CO_2 \rightarrow Mg_3Si_4O_{10}.(OH)_2 + 3\ MgCO_3 + 3\ H_2O \qquad (1)$$

در اثر واکنش بین دولومیت و سیلیس نیز تالک تشکیل می‌شود این واکنش در فشار و دمای دگرگونی سنگ‌ها در اثر مجاورت دولومیت و سیلیس اتفاق می‌افتد و اصطلاحاً به آن اسکرن کردن دولومیت می‌گویند.

دی‌اکسید کربن + کلسیت + تالک ← آب + سیلیس + دولومیت

$$3CaMg(CO_3)_2 + 4\ SiO_2 + H_2O \rightarrow Mg_3Si_4O_{10}.\ (OH)_2 + 3\ CaCO_3 + 3\ CO_2 \qquad (2)$$

همچنین تالک از واکنش بین کانی‌های کلریت منیزیمی و کوارتز در شیست آبی و اکلوژیت طی واکنش‌های دگرگونی تشکیل می‌شود.

آب + کیانیت + تالک ← کلریت + کوارتز (۲)

در این حالت میزان تولید تالک و کیانیت بستگی به میزان آلومینیم دارد اگر آلومینیم بیشتر باشد کیانیت بیشتری خواهیم داشت.

کاربرد تالک: از تالک در صنایعی مانند کاغذسازی، صنایع کائوچو، صنایع سرامیک، روغن سر، تولید مواد چرب و روان‌کننده، تولید کابل برق، صنایع غذایی، رنگ و تولید پوشش، پلاستیک سازی، لوازم آرایشی بهداشتی، کاربردهای دارویی و ... استفاده می‌شود.

از گل‌سرشور که درصد تالک آن بالا باشد و رنگ آن خاکستری مایل به سبز است در تهیه صابون، صفحه‌تقسیم برق، مدادهای مومی (مانند مداد ابرو)، سینک، اجاق (کوره) استفاده می‌شود. البته کاربرد بیشتر آن به دلیل مقاومتی که در برابر حرارت و الکتریسیته دارد در ساخت سطح میز آزمایشگاه‌ها و صفحه تقسیم برق است. از پودر تالک در تهیه لوازم آرایشی، روان‌کننده و در تولید کاغذ استفاده می‌شود. همچنین از تالک در تهیه پودر بچه، به عنوان گچ مخصوص صنایع جوش‌کاری و فلزکاری و ماده خشک‌کننده برای بازیکنان بسکتبال استفاده می‌شود. در صنایع سرامیک و لعاب‌کاری از تالک برای کنترل دمای ذوب استفاده می‌شود. این کانی ماده مضری نیست و هزاران سال است که توسط مردم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. پودر تالک مصرفی در این آزمایش از شرکت آهکان پودر دلیجان تهیه شده و رنگ آن خاکستری مایل به سبز می باشد که اندازه ذرات آن بگونه‌ای است که درصد مانده روی الک ۲۰۰ یک درصد خواهد بود و ترکیب شیمیایی آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲)ترکیب شیمیایی پودر تالک

ترکیبات موجود	درصد
$SiO_۲$	۵۷/۹
MgO	۲۹/۹
$Fe_۲O_۳$	۲/۲۷
CaO	۵/۲۹
$Al_۲O_۳$	۳/۵۹
LoI	۱/۵۷

میکروسیلیس

پودری است به رنگ خاکستری مایل به سفید که جزء افزودنی‌های با خواص سیمانی دسته بندی می‌شود. میکروسیلیس به شکل ژل بعنوان ژل میکروسیلیس نیز به کار می رود. میکروسیلیس را بسته به نوع کار به نسبت های ۷ الی ۱۰ درصد از وزن سیمان مصرفی جایگزین سیمان نموده و به مخلوط خشک سیمان و مصالح سنگی در ملات یا بتن اضافه می نمایند. بهترین مدت زمان برای اختلاط ۲ دقیقه می باشد .

شسته شدن هیدروکسید کلسیم آزاد شده در هیدراتاسیون سیمان و وجود خلل و فرج ناشی از فقدان ریزدانه‌های پرکننده، استحکام بتن را کاهش داده و آسیب‌پذیری بتن را تشدید می کند. عدم چسبندگی بتن به آرماتورها نیز مزید برعلت است و در واقع چنین ساختاری به لحاظ نفوذپذیری و عدم اکتساب استحکام کافی، حاشیه اطمینان خوبی نداشته و دوام آن نیز کم می‌باشد با مصرف میکروسیلیس در بتن، محلول هیدروکسید کلسیم (ناپایدار) محصور بین سنگدانه‌ها و آرماتورها به سیلیکات کلسیم غیرمحلول تبدیل شده و ریزی ذرات میکروسیلیس ساختار اجزای بتن را تغییر داده و حدفاصل دانه های سنگی و ذرات سیمان را پر میکند، بدین منوال نفوذپذیری بتن کم شده و بالطبع به قوام و دوام آن در طول مدت بهره‌برداری افزوده می‌شود. دوده سلیسی که به نام میکروسیلیس متراکم شده نیز خوانده می‌شود، ماده‌ای است که به عنوان افزودنی پوزولانی بکار گرفته می‌شود. پوزولان ماده‌ای سلیسی یا آلومینوسلیسی است که به تنهایی ارزش سیمانی ندارد یا ارزش سیمانی ناچیزی دارد ولی به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاورت آب با کلسیم هیدروکسید حاصل از آبگیری سیمان پرتلند، واکنش شیمیایی می‌دهد و ترکیباتی بوجود می‌آورد که دارای خواص سیمانی‌اند. این فرآورده پودری، محصولی از عملیات احیای کوارتز خیلی ناخالص با زغال سنگ در یک کوره قوس الکتریکی در کارخانه های تولید آلیاژ سیلیس با فروسیلیس است [۸].

میکروسیلیس مصرفی از شرکت تولیدات معدنی اصفهان تهیه شده است و مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن به‌ترتیب در جدول ۳ و جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳: ترکیبات شیمیایی میکرو سیلیس

ترکیبات موجود	درصد
$SiO_۲$	۸۶/۲
MgO	۶/۵
$Fe_۲O_۳$	۱
$Na_۲O$	۰/۴
CaO	۰/۸
c	۱/۴
$Ka_۲O$	۰/۹
$Al_۲O_۳$	۰/۵

جدول ۴: مشخصات فیزیکی میکرو سیلیس

خاصیت	مقدار
رنگ	سفید مایل به خاکستری
قطر میانگین ذرات (میکرون)	۰/۰۵ -۰/۲
چگالی ویژه	۲/۲-۳/۱
وزن مخصوص ظاهری عادی ($\mathbf{kg/m^3}$)	۱۳۰ -۴۳۰
وزن مخصوص ظاهری متراکم ($\mathbf{kg/m^3}$)	۴۸۰ -۷۲۰
وزن مخصوص با آزمایش بلین ($\boldsymbol{m^2/gr}$)	۳/۳-۳/۷
وزن مخصوص با آزمایش جذب نیترژن BET ($\boldsymbol{m^2/gr}$)	۱۵ -۳۰

ابر روان‌کننده

فوق‌روان‌کننده: ابرروان کننده پلی‌کربکسیلات‌اتر با عملکرد بسیار بالا بر پایه پلی‌کربوکسیلیت است که توانایی بالایی در کاهش آب سیمان و افزایش اسلامپ دارد و برای ساختن بتن‌های با مقاومت بسیار بالا و بتن خودمتراکم طراحی و تولید شده است و دارای استاندارد SM-W-۵۲۴ می باشد. مشخصات این فوق روان‌کننده مطابق جدول ۵ می باشد.

جدول ۵: مشخصات فوق روان کننده مصرفی

ترکیبات موجود	درصد
رنگ	زرد روشن متمایل به قرمز
جرم حجمی **(kgr/lit)**	۱/۱
میزان کلراید	کمتر از ۰/۱ درصد
PH	۵/۶
میزان مواد قلیایی	معمولا کمتر از ۱/۵ گرم NaO_2 در هر لیتر از این محصول

آب

در این آزمایش آب مصرفی مورد استفاده آب شرب دانشگاه شهرکرد می باشد.

جدول ۶: مشخصات آب مصرفی مصرفی

سختی کل (mg/lit)	سولفات‌ها (mg/lit)	کلروها (mg/lit)	PH
۲۰۵	۲۹	۴۰	۶/۷

۳- طرح اختلاط

در این مقاله ۱۷ طرح اختلاط استفاده شده است که در چهار طرح تالک با درصد ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ و ۱۰ جایگزین سیمان شده است. در سه طرح میکروسیلیس ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزین سیمان شده است و سپس ۹ طرح تالک بهینه و میکروسیلیس مورد بررسی قرار گرفته است. درصد فوق‌روان کننده در این طرح اختلاط ۲٪ وزن سیمان به‌علاوه پوزولان می‌باشد.

جدول ۷: طرح‌های مخلوط بتن پودری با نسبت‌های مختلف ماسه به سیمان

نام طرح	نسبت ماسه به سیمان	درصد تالک	درصد میکروسیلیس	درصد فوق‌روان‌کننده به مواد سیمانی	نسبت آب به مواد سیمانی
Sh	۱/۱	-	-	٪۲	۰/۳
T۲.۵	۱/۱	۲/۵	-	٪۲	۰/۳
T۵	۱/۱	۵	-	٪۲	۰/۳
T۷.۵	۱/۱	۷/۵	-	٪۲	۰/۳
T۱۰	۱/۱	۱۰	-	٪۲	۰/۳
M۵	۱/۱	-	۵	٪۲	۰/۳
M۱۰	۱/۱	-	۱۰	٪۲	۰/۳
M۱۵	۱/۱	-	۱۵	٪۲	۰/۳
T۲.۵M۵	۱/۱	۲/۵	۵	٪۲	۰/۳
T۲.۵M۱۰	۱/۱	۲/۵	۱۰	٪۲	۰/۳
T۲.۵M۱۵	۱/۱	۲/۵	۱۵	٪۲	۰/۳
T۵M۵	۱/۱	۵	۵	٪۲	۰/۳
T۵M۱۰	۱/۱	۵	۱۰	٪۲	۰/۳
T۵M۱۵	۱/۱	۵	۱۵	٪۲	۰/۳
T۷.۵M۵	۱/۱	۷/۵	۵	٪۲	۰/۳
T۷.۵M۱۰	۱/۱	۷/۵	۱۰	٪۲	۰/۳
T۷.۵M۱۵	۱/۱	۷/۵	۱۵	٪۲	۰/۳

مراحل ساخت نمونه ها

روش اجرای بتن پودری همانند اجرای بتن معمولی است. در این تحقیق بعد از اندازه گیری مصالح ابتدا مصالح خشک باهم ترکیب شده و در میکسر ریخته می‌شوند و سپس در مرحله آخر آب و فوق‌روان‌کننده به میکسر اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه مخلوط می‌شوند. وقتی بتن آماده شد، بتن در قالب های ۵*۵*۵ برای نمونه‌های فشاری و قالب‌های ۱۶*۴*۴ برای نمونه‌های خمشی که روغن زده شده‌اند ریخته شده است. یک روز بعد نمونه‌ها از قالب در آورده می شوند و در داخل آب عمل‌آوری می‌شوند.

در این مطالعه نمونه های ساخته شده را در تشت پر از آب گذاشته تا عمل‌آوری بتن در آب انجام گیرد. نمونه‌های خمشی در این پژوهش بعد از ۲۸ روز از آب در آورده و بعد از اینکه سطح نمونه ها خشک شدند، مقاومت فشاری نمونه ها با استفاده از دستگاه مقاومت خمشی سنجیده می شوند. مقاومت نمونه ها بر حسب مگاپاسکال می باشد.

شکل ۲: قالب های ۵*۵*۵ نمونه‌های فشاری و قالب ۱۶*۴*۴ نمونه‌های خمشی

۴- نتایج و تحلیل آزمایش ها

نتایج آزمون‌های فشاری طبق جدول ۸ می‌باشد.

جدول ۸: نتایج آزمون‌های فشاری (بر حسب مگا پاسکال)

نام طرح	مقاومت فشاری ۱روزه	مقاومت فشاری ۷روزه	مقاومت فشاری ۲۸روزه	نام طرح	مقاومت فشاری ۱روزه	مقاومت فشاری ۷روزه	مقاومت فشاری ۲۸روزه
Sh	۴۷	۶۴/۴	۷۳/۶	T۲.۵M۱۰	۳۳/۱	۴۷/۱	۶۵/۲
T۲.۵	۳۷	۶۴/۱	۶۷	T۲.۵M۱۵	۳۴	۴۸/۵	۶۵/۳
T۵	۳۵/۸	۵۷/۲	۷۴/۹	T۵M۵	۳۵	۵۲/۴	۵۵
T۷.۵	۳۹	۶۱/۳	۷۵/۸	T۵M۱۰	۳۹/۷	۶۰/۳	۵۹
T۱۰	۲۳/۶	۵۷/۶	۶۹/۶	T۵M۱۵	۱۷/۱	۴۷/۷	۷۱/۸
M۵	۳۶/۹	۶۳/۳	۶۵/۸	T۷.۵M۵	۲۱/۵	۶۴/۹	۸۸/۴
M۱۰	۳۲/۸	۶۶/۳	۷۲/۲	T۷.۵M۱۰	۲۳/۸	۵۰	۶۴/۲
M۱۵	۳۱/۹	۶۴/۸	۶۹/۹	T۷.۵M۱۵	۱۸/۶	۴۳	۵۸
T۲.۵M۵	۳۰	۵۷/۵	۵۵/۴	-	-	-	-

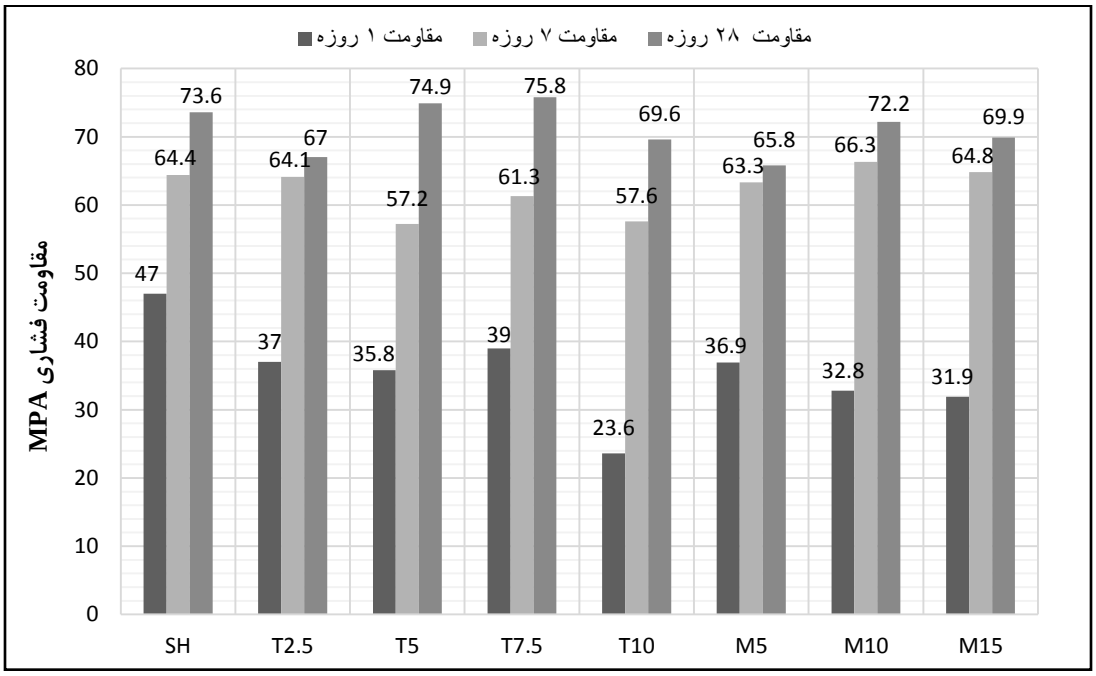
Sh نمونه شاهد و T۲.۵ و T۵ و T۷.۵ و T۱۰ نمونه‌های حاوی ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ و ۱۰ درصد تالک می‌باشند و M۵ و M۱۰ و M۱۵ نمونه‌های حاوی ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس می‌باشد و بقیه نمونه‌ها حاوی ترکیب میکروسیلیس و تالک می‌باشند.

نتایج آزمون‌های خمشی و وزن مخصوص نمونه‌ها طبق جدول ۹ می‌باشد.

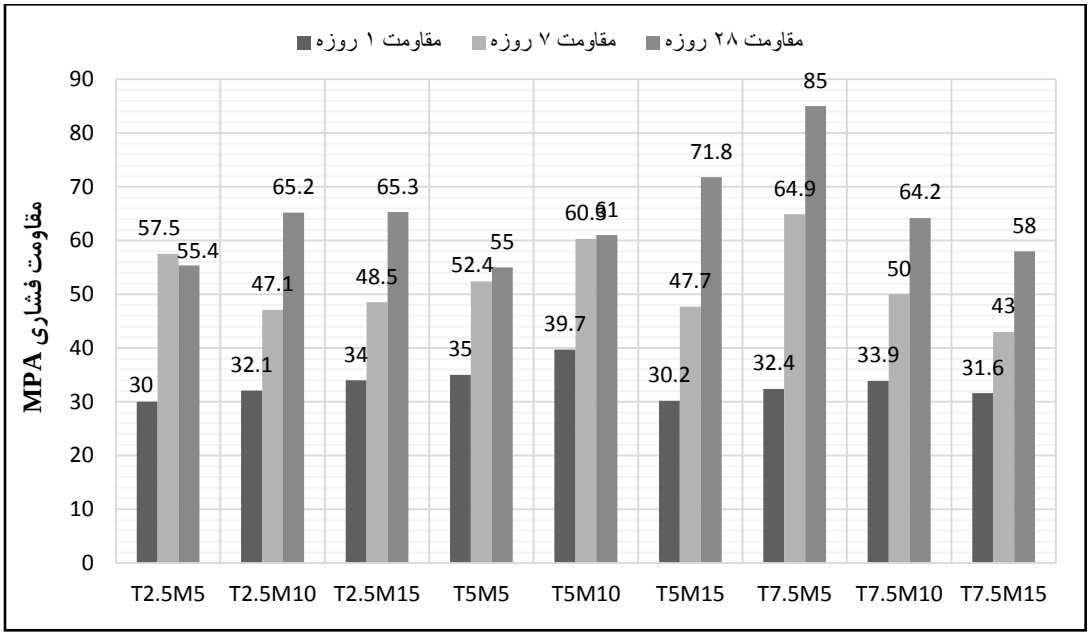
جدول ۹: نتایج آزمون‌های خمشی(مگا پاسکال) و وزن مخصوص نمونه‌ها (کیلوگرم برمترمربع)

نام طرح	مقاومت خمشی ۲۸ روزه	وزن مخصوص ۲۸روزه	نام طرح	مقاومت خمشی ۲۸ روزه	وزن مخصوص ۲۸روزه
M	۲۰/۶	۲۳۴۱	T۲.۵M۱۰	۱۸/۸	۲۲۹۵
T۲.۵	۱۷/۲۵	۲۳۴۱	T۲.۵M۱۵	۱۷/۶	۲۲۹۱
T۵	۱۸/۷۵	۲۳۴۶	T۵M۵	۱۶/۹	۲۲۹۸
T۷.۵	۱۸/۳۸	۲۳۰۲	T۵M۱۰	۱۷/۳	۲۳۴۵
T۱۰	۱۹/۲	۲۳۰۲	T۵M۱۵	۱۵/۴	۲۲۴۰
M۵	۱۵/۷۵	۲۲۶۰	T۷.۵M۵	۱۸/۸	۲۳۰۸
M۱۰	۱۶/۵	۲۲۹۵	T۷.۵M۱۰	۱۵	۲۳۰۳
M۱۵	۱۴/۶	۲۳۰۵	T۷.۵M۱۵	۱۳/۹	۲۲۳۵
T۲.۵M۵	۲۰/۶	۲۲۹۶	-		-

نمودارهای مقاومت‌های فشاری بدست آمده در زیر رسم شده است.

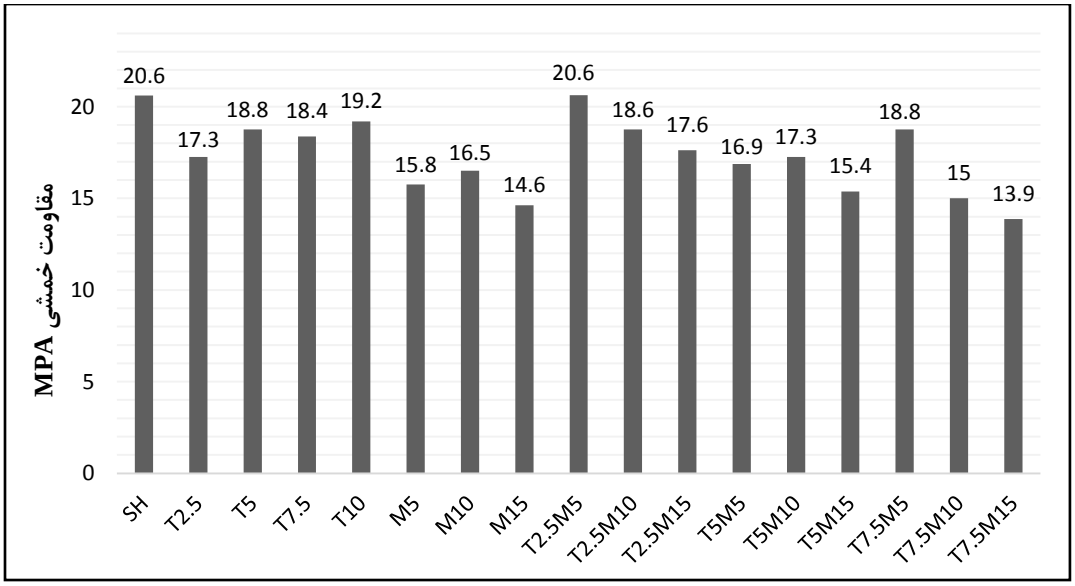


شکل ۳: مقاومت فشاری نمونه‌های تالک و میکروسیلیس



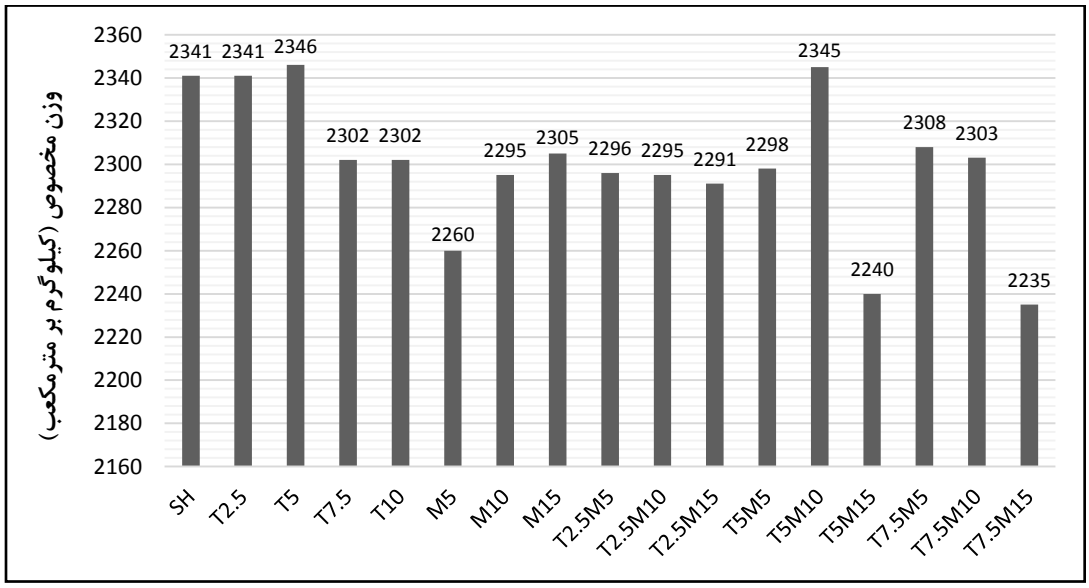
شکل ۴: مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ترکیب میکروسیلیس و تالک

نمودارهای مقاومت‌های خمشی بدست آمده در زیر رسم شده است.



شکل ۵: مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه‌ها

نمودار وزن مخصوص نمونه‌ها در زیر رسم شده است.



شکل ۶: وزن مخصوص ۲۸ روزه نمونه‌ها

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه آزمایش به بررسی استفاده از تالک به عنوان افزودنی در بتن پودری پرداخته شده است. نمونه‌های مختلف بتنی در درصدهای مختلف تالک ساخته شده است. عمل‌آوری نمونه‌های ساخته شده در آب بوده است. مقاومت فشاری در زمان‌های ۱ و ۷ و ۲۸ روزه و مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه با یکدیگر مقایسه شده است.

۱- با توجه به مقاومت مناسب نمونه‌های حاوی تالک با درصدهای ۵ و ۷/۵، که در سن ۲۸ روزه مقاومتی بالاتر از مقاومت نمونه شاهد کسب کرده اند، استفاده از این ماده در این درصدها به عنوان جایگزین سیمان کاملا مناسب می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه قیمت تالک نسبت به سیمان بسیار ارزان‌تر خواهد بود در پروژه‌ای بزرگ از لحاظ اقتصادی استفاده از تالک به‌عنوان افزودنی بسیار مقرون به صرفه است.

۲- درصد بهینه تالک در این آزمایش ۵ و ۷/۵ درصد بدست آمده که با نتایج مقاله سال ۲۰۱۳ یکسان می باشد.

۳- در بتن پودری ساخته شده با پودرسنگ و تالک مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است وافزودن ۵ و ۱۰ درصد تالک نسبت به بقیه نمونه‌ها مقاومت خمشی مطلوب‌تری داشته و کاهش کمتری نسبت به نمونه شاهد دارد.

۴- افزودن تالک اثر منفی روی وزن مخصوص نمونه‌ها ندارد و در درصدهای تالک بالاتر (۷/۵ و ۱۰ درصد) وزن مخصوص کاهش یافته است.

۵- در نمونه‌های حاوی میکروسیلیس بیشترین مقاومت فشاری مخصوص نمونه حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس می‌باشد.

۶- مقاومت فشاری درسنین ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی تالک نسبت به میکروسیلیس افزایش بیشتری داشته است و از آنجایی که که قیمت تالک نسبت به میکروسیلیس پایین‌تر است استفاده از تالک از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر است.

۷- نمونه‌هایی که حاوی ترکیب تالک و میکروسیلیس است، بیشترین مقاومت فشاری مخصوص نمونه حاوی ۷/۵ درصد تالک به همراه ۵ درصد میکروسیلیس می‌باشد.

۸- وزن مخصوص در نمونه های حاوی میکروسیلیس کمتر از وزن مخصوص نمونه‌های حاوی تالک می‌باشد درنتیجه جایی که سبک بودن سازه حائز اهمیت است استفاده از میکروسیلیس به‌عنوان افزودنی نتیجه مطلوب‌تری خواهد داشت.

۵- مراجع

[۱] ASTM. C ٦١٨ Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use a mineral admixture in concrete; ٢٠٠٣.

[۲] Sabir B, Wild S, Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete. International Journal for Cement and Concrete Composites, ٢٣: ٤٤١–٤٥٤, ٢٠٠٣.

[۳] Hatem Mohammed M, Pusch R.A, Knutsson S, Emborg M, Nilsson M. A, Pourbakhtiar A. Talc-Based Concrete for Sealing Borehole Optimized by Using Particle Packing Theory. Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN ١٩٣٤-٧٣٥٩, USA: ٤٤٠-٤٥٥, (٢٠١٣).

[۴]Milica M.V, Sanja P.M, Tamara D.B, peredrag B. J, Tatjana D. Durability of sulfur concrete in various aggressive environments. Construction and Building Materials, ٢٥: ٣٩٢٦-٣٩٣٤, ٢٠١١.

[۵] Rebentrost M, Cavill B. Reactive powder concrete bridges. In Austroads ٦thbridge conference, bridging the gap Perth, Western Australia, Australia: ١–١١, ٢٠٠٦.

[٦] Lee NP, Chisholm DH. Study report reactive powder concrete. BRANZ: ١٤٦, ٢٠٠٥.

[۷] Dauriac C. Special concrete may give steel stiff competition. The Seattle DailyJournal of Commerce: ١٦٢-١٦٩, ٢٠٠٧.

[۸] Ji WY, An MZ. Yan GP. Wang JM. Study on reactive powder concrete used in theside walk system of the qinghai–tibet railway bridge: ٥٢-٥٨, ٢٠٠٨.

[۹] Richard P, Cheyrezy M. Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*: ١٥٠١-١٥١١, ١٩٩٥.

[۱۰] Steven H, Kosmatka W.C. *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland cement association, ١٩٩٤.

[۷] ویکی پدیا، دانشنامه آزاد، https://fa.wikipedia.org

[۱۰] خالو، ع، ایجیان، م. طراحی و کنترل مخلوط‌های بتن، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۲.

[۱۱] Tao Ji. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO٢. Cement and Concrete Research: ١٩٤٣-٩٤٧, ٢٠٠٥.

[۱۲] Richard P, Cheyrezy MH. Reactive powder concretes with high ductility and ٢٠٠ – ٨٠٠ MPa compressive strength. ACI Material Journal: ٥٠٧–٥١٨, ١٩٩٤.