# تاثیر خاک رس کلسینه منطقه مینودشت استان گلستان و میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن

حسن قزلسفلی[1*] امیر طریقت[2]

۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، hassan.ghezel@sru.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،tarighat@sru.ac.ir

چکیده

حجم گسترده تولید سیمان حدود ۵تا۸ ٪ انتشار $CO_2$ را شامل می‌شود. آثار سوء زیست محیطی گاز$CO_2$ و همچنین نیاز به افزایش مقاومت و دوام بتن منجربه معرفی پوزولان گردید. افزودن متاکائولین باعث کاهش تخلخل در بتن می‌گردد، در نتیجه بتن‌های حاوی متاکائولین در مقایسه با بتن‌های معمولی نفوذپذیری کمتری دارند. در این تحقیق ازخاک رس کلسینه شده به عنوان پوزولان استفاده شد، ابتدا خاک تا دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود تا کلسینه شود سپس با پودر سنگ آهک جایگزین سیمان می‌گردد. در این تحقیق ۱۰طرح مخلوط در ۲ نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و ۰/۴ ساخته شد. خاک رس کلسینه در درصدهای صفر، ۱۰ و ۲۰ ٪، پودر سنگ آهک به ترتیب در درصدهای صفر، ۳۰ و ۲۰ ٪ و میکروسیلیس نیز به همراه ترکیب خاک و آهک در درصدهای صفر و۷ ٪ وزنی به عنوان مواد پودری جایگزین سیمان شدند. جهت بررسی خواص خاک رس تهیه شده بر روی آن آزمایش **XRF** و خهت اطمینان از آمورف بودن رس کلسینه آزمایش **XRD** انجام گرفت. برای بررسی و تحلیل خواص مکانیکی بتن از آزمایش‌های مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی در سنین ۳، ۷، ۲۸ و۹۰ روزه، مقاومت کششی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای و مقاومت خمشی بر روی نمونه‌های منشوری در سن ۲۸ روزه استفاده شد. با گذشت زمان و رسیدن نمونه ها به سن ۹۰ روزه طرح‌های شامل ۲۰ ٪ رس کلسینه و ۲۰ ٪ آهک **Mix3** و **Mix8** دارای بیشترین مقاومت در طرح‌های پوزولانی هستند و به عنوان طرح‌های بهینه پزولانی معرفی می‌گردند.

کلید واژه :
خاک رس کلسینه، پوزولان، مقاومت فشاری ، مقاومت کششی ، مقاومت خمشی

ACCEPTED MANUSCRIPT

## ۱-مقدمه

سیمان و بتن برای زیرساخت‌های جهان مدرن ضروری هستند، هیچ ماده دیگری قادر نیست تقاضای روز افزون مصالح سازه‌ای را با همان اثرات زیست محیطی پایین ارضا نماید. دسترسی گسترده و قیمت پایین سیمان را پراستفاده ترین متریال روی زمین گردانده است که با بتن مسلح بیشتر از نصف تولیدات کارخانه‌ای که بشر تولید میکند را شامل می‌شوند.این حجم گسترده تولید سیمان و بتن حدود ۵تا۸ ٪ انتشار $CO_2$ ناشی از فعالیت بشر را شامل می‌شود[۱]. آثار سوء زیست محیطی گاز$CO_2$ و همچنین نیاز به افزایش مقاومت و دوام بتن و نیز کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری سازه‌ها، جامعه مهندسین را به جایگزین کردن موادی با خواص مشابه به جای سیمان تشویق کرد. این موارد موجب معرفی گروه خاصی از مواد افزودنی به بتن به نام پوزولان‌ها گردید. پوزولان ماده‌ای است با ترکیب $Al_2O_3$ و $SiO_2$ که به خودی خود ارزش سیمانی ندارد ولی در صورت ریز بلور و یا آمورف بودن در مجاورت آب آهک خاصیت سیمانی خواهد داشت. پوزولان برای اولین بار در دهکده پوزولی در جنوب غرب آفریقا کشف شد. این ماده سیلیسی یا سیلیسی- آلومینی در حضور رطوبت با هیدروکسید کلسیم ناشی از هیدراسیون سیمان وارد واکنش شده و محصولات سیمانی تولید می‌کند[۲]. پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی مانند کائولن، هالوزیت، زئولیت و میکروسیلیس، به صورت فراوان و بلااستفاده در دسترس ما هستند که می‌توان با جایگزینی سهم مناسبی از آنها در سیمان، علاوه بر کاهش مصرف سیمان، خواص مکانیکی و دوام بتن را بهبود بخشید. استفاده از پوزولان یکی از راه‌های رایج افزایش عمر بتن است. پوزولان‌ها با بهبود منافذ بتن منجر به قدرت بالاتر و نفوذپذیری کمتر بتن می‌شوند[۴-۳]. استفاده از پوزولان به عنوان جایگزین سیمان در کاربردهای مختلف، به دلیل صرفه اقتصادی، کاهش حرارت زایی بتن، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت است. گرچه ممکن است کاهش مقاومت در سنین اولیه را در پی داشته باشد[۵]. از پوزولان‌های نام‌برده و هم‌چنین پوزولان‌هایی مانند سرباره کوره آهن گدازی، خاکستر بادی و نانوسیلیس تا کنون در تحقیقات مختلفی استفاده شده ومیزان تاثیر آن‌ها بر خواص مکانیکی و شیمیایی و دوام بتن بررسی شده و نتایج ارزشمندی حاصل گشته است اما در این تحقیق ازخاک رس کلسینه شده به عنوان پوزولان و جایگزین کردن آن تا ۴۰٪ به جای سیمان با هدف کاهش استفاده از سیمان و کاهش آلایندگی محیط زیستی ناشی از تولید سیمان است بدین گونه که ابتدا خاک از منطقه مورد نظرتهیه می‌شود سپس در کوره در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس حرارت می‌بیند تا کلسینه شود سپس به همراه درصدی از پودر آهک جایگزین سیمان می‌شود. با جایگزینی ۵ تا ۲۰ ٪ کائولین کلسینه شده(متاکائولین) به جای سیمان مقاومت فشاری، کششی و خمشی بالاتری مشاهده شده و در جایگزینی ۱۵ ٪ مقاومت فشاری در حالت بهینه قرار می‌گیرد [۶]. استفاده از متاکائولین به عنوان بخشی از سیمان، خواص مکانیکی بتن را بهبود می‌بخشد. محققین نتیجه گرفتند که سه فاکتور مؤثر در بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن، اثر فیلری، تسریع کنندگی هیدراسیون سیمان(در درجات بالا) و واکنش پوزولانی متاکائولین با هیدروکسید کلیسم است [۷و۸]. در تحقیق مشاهده شد که مصرف متاکائولین مقاومت کششی بتن را به نسبت نمونه شاهد افزایش داده و استفاده از میکروسیلیس تأثیر کمتری بر مقاومت کششی بتن داشته است. در این تحقیق برای سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ مقاومت‌های کششی ۲۸ روزه از ۳ تا ۴ مگاپاسکال بوده است و افزودن متاکائولین در این سن باعث افزایش مقاومت کششی بتن شده است. همچنین به نظر می‌رسد در سنین اولیه و با نسبت‌های بالاتر آب به سیمان تاثیر متاکائولین بر بهبود مقاومت کششی بتن بیشتر است، همچنین جایگزینی متاکائولین در بتن موجب افزایش مقاومت خمشی بتن در مقایسه با نمونه شاهد شده است و این تأثیر در نسبت‌های پایین آب به سیمان ملموس‌تر است [۸]. درصد کائولین مورد نیاز درخاک رس مورد استفاده برای ترکیب پودر سنگ آهک، خاک رس کلسینه و سیمان ($\mathbf{LC^3}$)[۱] بسیارکمتر از رس کائولینیتی خالص مورد استفاده در صنایع سرامیک و کاغذ سازی است این موضوع به این معناست که استفاده از چنین خاکی با درصد پایین کائولین هیچ گونه رقابتی با سایر صنایع در تقاضا برای تامین منابع ایجاد

۱-**limestone Calcined clay cements**

ACCEPTED MANUSCRIPT

نخواهد کرد [۱]. همچنین استفاده از ۱۵٪ پودر سنگ آهک در بتن مقاومت بتن دربرابر حمله شیمیایی یون سولفات که از جمله عوامل مخرب بتن می‌باشد را افزایش میدهد[۹]. برای بررسی تاثیر کائولن معدن زنوز (واقع در شهرستان مرند) بر روی دوام بتن، فعال سازی حرارتی لازم(کلسینه شدن) در دمای $800\ ^{\circ}C$ در زمان یک ساعت اعمال شد. محقق اشاره می‌کند که کائولن مرند در طی این فرآوری به بالاترین میزان واکنش پوزولانی خود رسیده است و در ادامه مطالعات خود، با مقایسه و بررسی اثر متاکائولن تولید شده، بر اساس استاندارد **ASTM-C618** محصول نهایی را از لحاظ ترکیب در ردیف **N** مواد پوزولانی معرفی کرده است [۱۰]. در تحقیق مشابهی از آزمایش **XRD** (پراش اشعه **X**) جهت مقایسه کائولن(رس کائولینی خام) و متاکائولن(رس کائولینی کلسینه) استفاده شده است. کانی‌های موجود در کائولین و متاکائولین به وضوح مشاهده شده‌اند[۱۱]. **XRD** یک آزمایش غیر مخرب است و اطلاعات دقیقی درباره ترکیبات شیمیایی، ریز ساختار هندسی مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. متاکائولن به علت اثر پرکنندگی، شتاب هیدراسیون و واکنش پوزولانی با **CH** به شکل **C-S-H**، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن، کاهش نفوذپذیری و تخلخل و اصلاح ساختار منافذ می شود[۱۲]. نتیجه پژوهش‌های کابررا۲ و فریاس۳ را نشان می‌دهد که با گذشت زمان هرچه مقدار درصد متاکائولن در نمونه بتنی بیشتر باشد، مقدار هیدروکسید کلسیم باقی مانده در آن نمونه کمتر می‌شود، همچنین در فرآیند هیدراسیون متاکائولن با پرتلندایت تولیدی وارد واکنش می‌شود و ژل اضافی **C-S-H** که شامل آلومینیوم و محصولات کریستالین مثل هیدرات‌های آلومینات کلسیم و سیلیکات آلومینیوم است، تشکیل می‌شود[۱۳]. مطالعات دیگری بیان می‌کند که **C-S-H** اضافی(ثانویه) تشکیل شده طی واکنش‌های پوزولانی نسبت به **C-S-H** معمولی(اولیه) قابلیت بیشتری برای نگه داشتن یون‌های قلیایی در حفرات دارد [۱۴و۱۵]. ژل ثانویه تولید شده دارای چگالی کمتری نسبت به ژل معمولی است ولی در پر کردن و تقسیم حفرات مویینه بزرگ به حفرات مویینه کوچک‌تر و غیر ممتد، مؤثر است و اندازه حفرات را کاهش می‌دهد. درنتیجه انتظار می‌رود متاکائولن نفوذپذیری را کاهش داده و با متراکم کردن ساختار خمیر سیمان، دوام بتن را بهبود بخشد. [۱۶و۱۷]. در مطالعات جدید تر نیز که بر اساس درصدهای مختلف متاکائولین در رس کلسینه انجام شده نیز مشاهده گردید که هر چه میزان متاکالین موجود در رس کلسینه بیشتر باشد نمونه‌های بتنی ساخته شده توسط آن مقاوت فشاری بیشتری دارند[۱۸]. نتایج تحقیقات بر روی ۴ نوع بتن $LC^3$ که که با استفاده از دو نوع خاک و دو نوع آهک که ۳۰٪ رس کلسینه شده و ۱۵٪ پودر سنگ آهک جایگزین سیمان شده و در دو نسبت آب به مواد سیمانی ۰,۴۷۵ و۰,۵ ساخته شدند نشان می‌دهد که مقاومت فشاری، کششی و خمشی آن‌ها نیز بالا بوده و عالی عمل کرده اند[۱۹].

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی در تحقیق

#### ۲-۱-۱- مواد سیمانی

مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان، خاک رس و پودرآهک مصرفی در تحقیق در جدول ۱ ملاحظه میشود.

| درصد وزنی | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $SO_3$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | FCaO | IR | LOI | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سیمان | ۲۰/۸ | ۵/۲ | ۳/۶۲ | ۶۲/۱ | ۱/۸ | ۲/۵ | ۰/۵۵ | ۰/۳ | ۱/۲ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۹۹/۹ |

۲-**Cabrera**

۳-**Fr´ıas**

ACCEPTED MANUSCRIPT

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میکروسیلیس | ۹۳/۹۵ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۱ | ۱/۲۵ | ۰/۰۶ | ۰/۲۵ | ۰/۴ | | | ۱ | ۹۹/۶۱ |
| خاک رس | ۵۷/۶ | ۱۷/۷ | ۵/۶ | ۶/۳ | ۳/۳ | ۰/۰۳ | | | | | ۹/۶۸ | ۹۹/۶۷ |
| پودر آهک | ۵/۶ | | ۰/۰۵ | ۵۱/۷ | ۱/۴ | | | | | | ۴۱/۱۵ | ۹۹/۹ |

**جدول۱: مشخصات ترکیبات شیمایی مواد سیمانی**

Table 1: Specifications of chemical compounds of cement materials

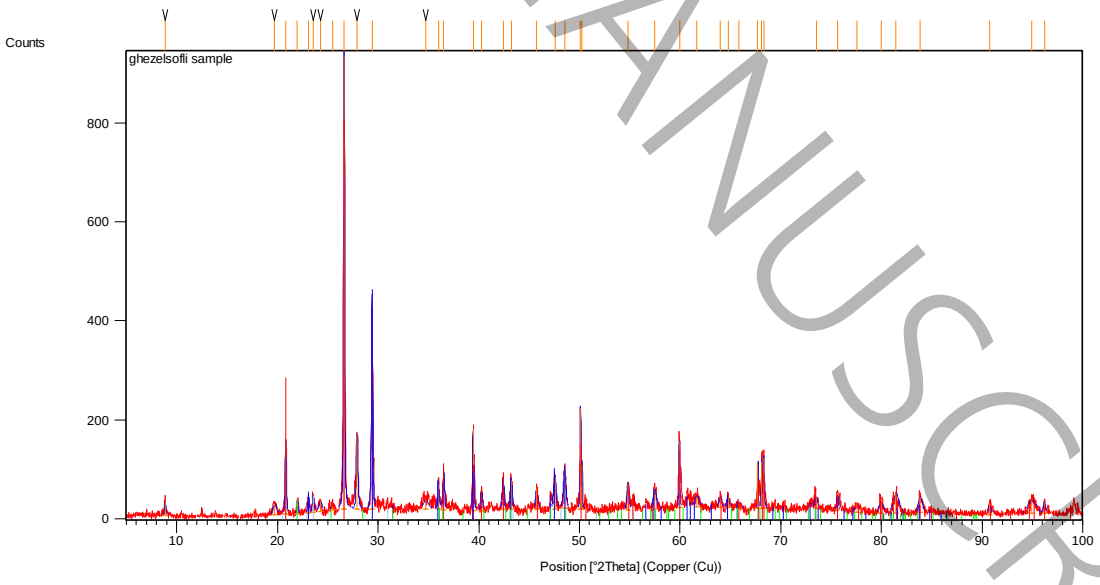
**۲-۱-۱- خاک رس کلسینه**

کائولینیت دارای ترکیب آلومینوسیلیکاتی است بطوری‌که ورقه‌های هشت وجهی آلومینا با ورقه‌های چهار وجهی سیلیکا به صورت متناوب روی هم قرار گرفته‌اند[۲۰]. فرمول شیمیایی کائولن به عنوان کائولینیت $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ می‌باشد. به فرآیند شکل‌گیری کائولن، کائولینیزیشن گفته می‌شود. مرغوب‌ترین کائولن‌ها ۲۰ ٪ ناخالصی دارند که برای کاهش این ناخالصی‌ها به طرق مختلف فرآوری می‌گردد و در هر روش نوعی خاص از این ماده حاصل می‌شود که هر کدام کاربرد خود را دارد [۲۱].

فرایند کلسینه شدن خاک رس شامل کائولینیت در دمای بین ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد که نتیجه‌ی آن تولید یک ترکیب سیلیسی آمورف به نام متاکائولین می‌باشد که یک پوزولان آلومینو سیلیکاتی است که این واکنش در فرمول ۱ نشان داده شده است[۲۲].

$$AL_2Si_2O_5(OH)_4 \longrightarrow AL_2O_3.2SiO_2 + 2H_2O \uparrow \qquad (1)$$

برای اطمینان از صحت فرایند کلسینه سازی و کریستاله نشدن ناشی از حرارت زیاد واطمینان از آمورف بودن ذرات آزمایش XRD بر روی رس کلسینه انجام شد با مشاهده نتایج آزمایش XRD و اطمینان از آمورف بودن ذرات خاک و حضور ترکیبات پوزولانی در آن می‌توان از آن به عنوان جایگزین درصد قابل توجهی از سیمان و تولید بتنی با عملکرد سازه‌ای استفاده کرد.درشکل ۱ نتایج حاصل از آزماشی XRD ارائه شده است.




**شکل ۱: نتایج حاصل از آزمایشXRD بر روی خاک رس کلسینه**

Figure 1: the XRD test results on calcined clay

ACCEPTED MANUSCRIPT

درنمودار شدت امواج بازتابی حاصل از آزمایش XRD هرچه قله‌ها بلند تر و نوک‌تیزتر باشند ترکیبات شناسایی شده کریستالی‌تر می‌باشند و برعکس پس با توجه به شکل فوق و وجود نوسانات ریز وپایین در آن می‌توان برداشت کرد که ترکیبات شناسایی شده آمورف می‌باشند که برای واکنش‌های سیمانی مناسب می‌باشد.

**۲-۱-۲- سنگدانه**

مشخصات مربوط به اندازه و درصد جذب رطوبت این سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C33 [۲۳] در ادامه آورده شده است.

**جدول ۲: مشخصات سنگدانه های مصرفی**

Table 2: Characteristics of aggregates used

| سنگدانه | درصد جذب آب | حداکثراندازه سنگدانه (میلی‌متر) | مدول نرمی |
|---|---|---|---|
| شن | ۱/۸ | ۱۹ | - |
| ماسه | ۳/۷ | - | ۳/۱۳ |

**جدول ۳: دانه بندی ماسه مصرفی**

Table 3: Granulation of sand used

| شماره الک (اینچ) | اندازه الک (mm) | درصد عبوری از الک | درصد عبوری مجاز طبق **ASTM C33** |
|---|---|---|---|
| ۳/۸ | ۹/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۴ | ۴/۷۵ | ۹۴/۴۷ | ۹۵-۱۰۰ |
| ۸ | ۲/۳۶ | ۷۹/۵۱ | ۸۵-۱۰۰ |
| ۱۶ | ۱/۱۸ | ۵۴/۶۴ | ۵۰-۸۵ |
| ۳۰ | ۰/۶ | ۳۷/۵۲ | ۲۵-۶۰ |
| ۵۰ | ۰/۳ | ۲۲/۳۱ | ۱۰-۳۰ |
| ۱۰۰ | ۰/۱۵ | ۲/۰۴ | ۲-۱۰ |

**جدول ۴: دانه بندی شن مصرفی**

Table 4: Granulation of used sand

| شماره الک (اینچ) | اندازه الک (mm) | درصد عبوری از الک | درصد عبوری مجاز طبق ASTM **C33** |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳/۴ | ۱۹ | ۱۰۰ | ۹۰-۱۰۰ |
| ۱/۲ | ۱۲/۵ | ۷۳/۵۲ | ۶۰-۱۰۰ |
| ۳/۸ | ۹/۵ | ۳۸/۴۳ | ۲۰-۵۵ |
| ۴ | ۴/۷۵ | ۴/۳۵ | ۰-۱۰ |
| ۸ | ۲/۳۶ | ۰/۷ | ۰-۵ |

ACCEPTED MANUSCRIPT

**۲-۱-۳- آب و فوق روان کننده**

آب استفاده شده در این تحقیق آب قابل شرب شهر تهران بوده که دارای کیفیت مطلوب جهت ساخت بتن می‌باشد. عملکرد فوق روان کننده‌ها پخش‌کنندگی الکترواستاتیکی با اعمال نیروی دافعه بین ذرات و پراکندن دانه‌های سیمان از یکدیگرمی‌باشدکه علاوه بر پخش دانه‌های سیمان، آب محبوس در لخته‌های سیمانی را نیز آزاد و صرف بهبود روانی مخلوط می‌کند [۲۴]. فوق روان‌کننده مورد استفاده در این تحقیق، برمبنای پلی‌کربوکسیلات است این ماده دارای رنگ قهوه‌ای روشن بوده و به صورت مایع و همراه با آب در ساخت نمونه‌ها مصرف گردید میزان استفاده از آن حدود ۰/۲ تا ۱/۵ ٪ وزن مواد سیمانی است.

**۲-۲- مشخصات طرح مخلوط بتن**

در این تحقیق ۱۰ طرح مخلوط در دو نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان، خاک رس کلسینه، آهک و میکروسیلیس) ۰/۳۵ و ۰/۴ برای بررسی تاثیر خاک رس محلی استان گلستان بر خواص مکانیکی و دوام بتن درنظر گرفته شد، این طرح مخلوط ها بر اساس استاندارد آیین نامه **BS** موسسه راهسازی انگلستان ساخنه شده است. هر نسبت آب به مواد سیمانی شامل ۵ طرح مخلوط می‌باشدکه و برای هر نسبت آب به مواد سیمانی یک طرح به عنوان طرح شاهد(بدون جایگزینی پوزولان به جای سیمان) درنظر گرفته شد. در جدول ۵ و ۶ نام طرح‌های مخلوط ساخته شده، نحوه نمایش هر یک از آن‌ها، نسبت آب به مواد سیمانی برای هر طرح و درصد جایگزنی هر ماده نسبت به کل مواد سیمانی برای خاک رس کلسینه،آهک ، میکروسیلیس و سیمان را در هر طرح مخلوط نشان میدهد، منظور از آب در این جدول آب آزاد است و آب لازم برای رسیدن سنگدانه‌ها به حالت اشباع با سطح خشک(SSD) جداگانه محاسبه شده و به مخلوط اضافه شده است.

در این تحقیق خاک رس کلسینه در درصدهای ۰، ۱۰ و ۲۰، آهک در درصدهای ۰، ۱۵و ۳۰ و میکروسیلیس نیز در درصدهای ۰ و ۷ درصد از سیمان پرتلند در طرح مخلوط‌ها جایگزین سیمان شدند همچنین سنگدانه‌ها نیز به نسبت ۴۰ و ۶۰ ٪ در بتن مورد استفاده قرار گرفتند(۴۰٪ شن و۶۰ ٪ ماسه). در این تحقیق برای یکسان بودن شرایط تمام طرح مخلوط‌ها و برای امکان مقایسه صحیح بین آن‌ها، اسلامپ تمامی طرح مخلوط‌ها در بازه ۸ تا ۱۲ سانتی‌متر قرار گرفت برای رسیدن به آن در طرح‌هایی که حاوی پوزولان بودند از فوق روان‌کننده بیشتری استفاده شد تا اسلامپ همه آن‌ها در این بازه قرار بگیرد.

عیار مواد سیمانی در این برابر $400\ kg/m^3$ می‌باشد و همچنین منظور از درصد جایگزینی این است که برای مثال درطرح ۸ هر یک از مواد ۲۰ ٪ و در مجموع ۴۰ ٪ جایگزین سیمان شده‌اند و برای تهیه یک متر مکعب از این طرح مخلوط، ۲۴۰ کیلوگرم سیمان، ۸۰ کیلوگرم خاک رس کلسینه و ۸۰ کیلوگرم آهک استفاده شده است.

**جدول ۵: مشخصات و مقدار مصالح مصرفی در طرح مخلوط‌ها با W/C=0.35**

Table 5: Specifications and quantity of materials used in the design of mixes with W/C=0.35

| شناسه طرح | سیمان ٪ | خاک ٪ | آهک ٪ | میکرو سیلیس ٪ | شن ($kg/m^3$) | ماسه ($kg/m^3$) | آب آزاد ($kg/m^3$) | سیمان (kg/m3) | خاک (kg/m3) | آهک (kg/m3) | میکرو سیلیس (kg/m3) | فوق روان کننده (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C0L0 | ۱۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷۴۴ | ۱۱۱۶ | ۱۴۰ | ۴۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ |
| C10L30 | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰ | ۰ | ۷۴۴ | ۱۱۱۶ | ۱۴۰ | ۲۴۰ | ۴۰ | ۱۲۰ | ۰ | ۱/۲ |

ACCEPTED MANUSCRIPT

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C20L20 | ۶۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۰ | ۷۴۴ | ۱۱۱۶ | ۱۴۰ | ۲۴۰ | ۸۰ | ۸۰ | ۰ | ۱/۲ |
| C10L30SF7 | ۵۵/۸ | ۱۰ | ۳۰ | ۴/۲ | ۷۴۴ | ۱۱۱۶ | ۱۴۰ | ۲۲۳/۲ | ۴۰ | ۱۲۰ | ۱۶/۸ | ۱/۵ |
| C20L20SF7 | ۵۵/۸ | ۲۰ | ۲۰ | ۴/۲ | ۷۴۴ | ۱۱۱۶ | ۱۴۰ | ۲۲۳/۲ | ۸۰ | ۸۰ | ۱۶/۸ | ۱/۵ |

**جدول ۶: مشخصات و مقدار مصالح مصرفی در طرح مخلوط‌ها با W/C=0.4**

Table 6: Specifications and amount of materials used in the design of mixes with W/C=0.4

| شناسه طرح | سیمان ٪ | خاک ٪ | آهک ٪ | میکرو سیلیس ٪ | شن (kg/m3) | ماسه (kg/m3) | آب آزاد (kg/m3) | سیمان (kg/m3) | خاک (kg/m3) | آهک (kg/m3) | میکرو سیلیس (kg/m3) | فوق روان کننده (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C0L0 | ۱۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷۳۶ | ۱۱۰۴ | ۱۶۰ | ۴۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ |
| C10L30 | ۶۰ | ۱۰ | ۳۰ | ۰ | ۷۳۶ | ۱۱۰۴ | ۱۶۰ | ۲۴۰ | ۴۰ | ۱۲۰ | ۰ | ۱/۲ |
| C20L20 | ۶۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۰ | ۷۳۶ | ۱۱۰۴ | ۱۶۰ | ۲۴۰ | ۸۰ | ۸۰ | ۰ | ۱/۲ |
| C10L30SF7 | ۵۵/۸ | ۱۰ | ۳۰ | ۴,۲ | ۷۳۶ | ۱۱۰۴ | ۱۶۰ | ۲۲۳/۲ | ۴۰ | ۱۲۰ | ۱۶/۸ | ۱/۵ |
| C20L20SF7 | ۵۵/۸ | ۲۰ | ۲۰ | ۴,۲ | ۷۳۶ | ۱۱۰۴ | ۱۶۰ | ۲۲۳/۲ | ۸۰ | ۸۰ | ۱۶/۸ | ۱/۵ |

**۲-۳- نحوه انجام آزمایش‌ها**

**۲-۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری**

در این تحقیق باهدف ارزیابی مقاومت فشاری بتن طبق استاندارد ASTM C39 [۲۵] از نمونه‌های بتنی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ cm استفاده شده واین آزمایش برروی نمونه‌های ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه صورت گرفت جهت اطمینان بیشتر به نایج آزمایش و کاهش خطا، برای هر سن در هر طرح مخلوط سه نمونه جهت انجام آزمایش ساخته شد و نتیجه نهایی میانگین مقاومت فشاری آن‌ها در نظر گرفته شد.

**۲-۳-۲- آزمایش مقاومت کششی**

استاندارد ASTM C496 [۲۶] برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن تحت کشش خالص، آزمایش شکافت کششی یا آزمایش شکافت استوانه که همان آزمایش برزیلی است را پیشنهاد می‌کند[۲۷]. برای انجام این آزمایش نمونه بتنی استوانه‌ای با ابعاد ۱۰×۲۰cm از پهلو به صورت افقی تحت فشار قرارمی‌گرفت درنتیجه وارده باعث می‌شود تا نمونه از وسط دو نیم شود.

**۲-۳-۳- آزمایش مدول گسیختگی**

ACCEPTED MANUSCRIPT

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C78 [۲۸]، با هدف تعیین تاب کششی بتن در سنین ۲۸ روزه بر روی نمونه‌های منشوری به طول ۴۰، عرض۱۰ ارتفاع ۱۰ سانتیمتر با استفاده از دستگاه یونیورسال انجام گرفت.

**۲-۴- تعداد نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده**

در جدول ۷ تعداد نمونه‌های آزمایشگاهی برای هر آزمایش و بر اساس سن نمونه‌ها آورده شده است که در مجموع برای انجام تحقیق ۱۸۰ نمونه آزمایشگاهی ساخته شده است. مطابق جدول ۷ برای هر طرح مخلوط و هر سن ۳ نمونه بتنی ساخته شده تا با تکرار پذیری، خطای انجام آزمایش به حد اقل برسد.

**جدول ۷: تعداد نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده در تحقیق**

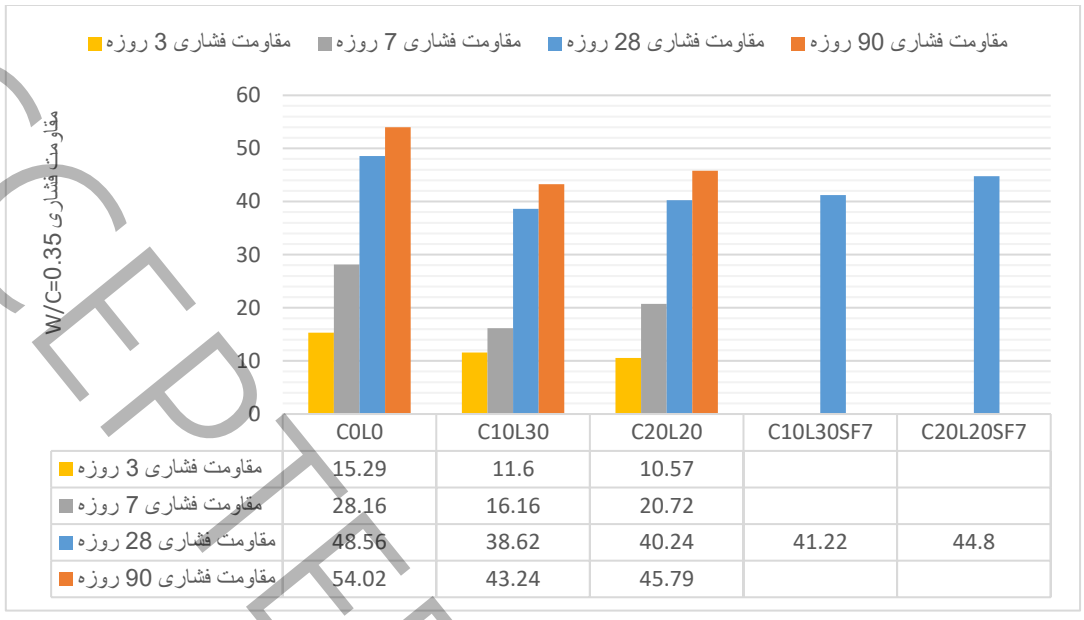
Table 7: The number of laboratory samples made in the research

| شناسه طرح | مکعب ۳ روزه | مکعب ۷ روزه | مکعب ۲۸ روزه | مکعب ۹۰ روزه | استوانه ۲۸ روزه | منشور ۲۸ روزه | مجموع نمونه‌های w/c=0.35 | مجموع نمونه‌های w/c=0.4 | مجموع نمونه‌ها برای هر طرح |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C0L0 | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۸ | ۱۸ | ۳۶ |
| C10L30 | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۸ | ۱۸ | ۳۶ |
| C20L20 | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۸ | ۱۸ | ۳۶ |
| C10L30SF7 | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۸ | ۱۸ | ۳۶ |
| C20L20SF7 | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۸ | ۱۸ | ۳۶ |

## ۳- نتایج و بحث

**۳-۱- مقاومت فشاری**

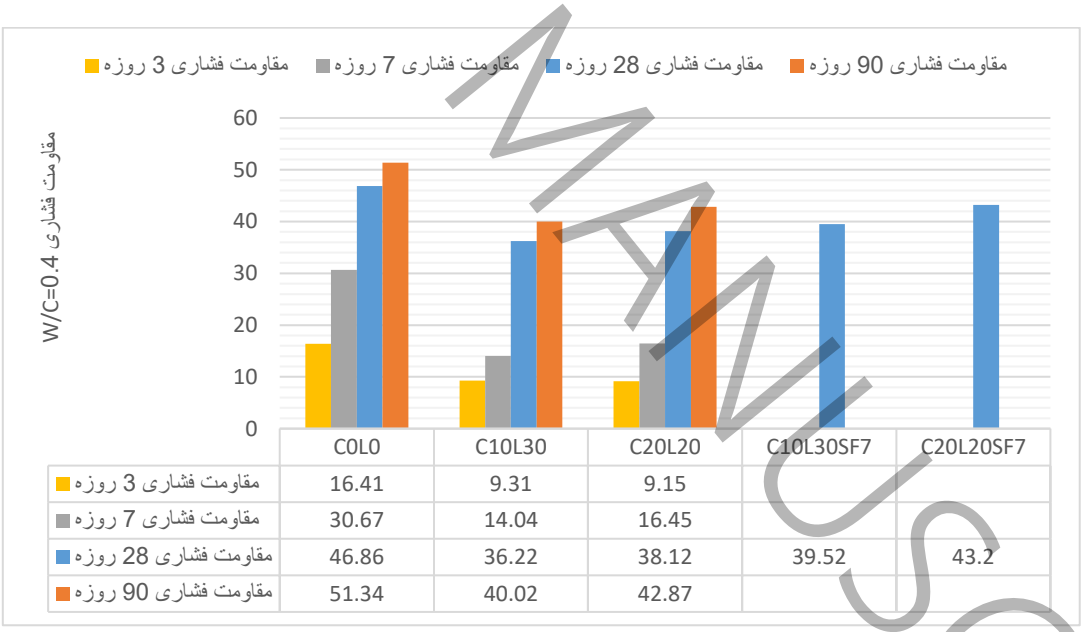
ACCEPTED MANUSCRIPT




| | C0L0 | C10L30 | C20L20 | C10L30SF7 | C20L20SF7 |
|---|---|---|---|---|---|
| مقاومت فشاری 3 روزه | 15.29 | 11.6 | 10.57 | | |
| مقاومت فشاری 7 روزه | 28.16 | 16.16 | 20.72 | | |
| مقاومت فشاری 28 روزه | 48.56 | 38.62 | 40.24 | 41.22 | 44.8 |
| مقاومت فشاری 90 روزه | 54.02 | 43.24 | 45.79 | | |

**شکل ۲: نمودار میله‌ای مقاومت فشاری برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵**

Figure 2: Bar graph of compressive strength for the ratio of water to cement materials of 0.35




| | C0L0 | C10L30 | C20L20 | C10L30SF7 | C20L20SF7 |
|---|---|---|---|---|---|
| مقاومت فشاری 3 روزه | 16.41 | 9.31 | 9.15 | | |
| مقاومت فشاری 7 روزه | 30.67 | 14.04 | 16.45 | | |
| مقاومت فشاری 28 روزه | 46.86 | 36.22 | 38.12 | 39.52 | 43.2 |
| مقاومت فشاری 90 روزه | 51.34 | 40.02 | 42.87 | | |

**شکل۳: نمودار میله‌ای مقاومت فشاری برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴**

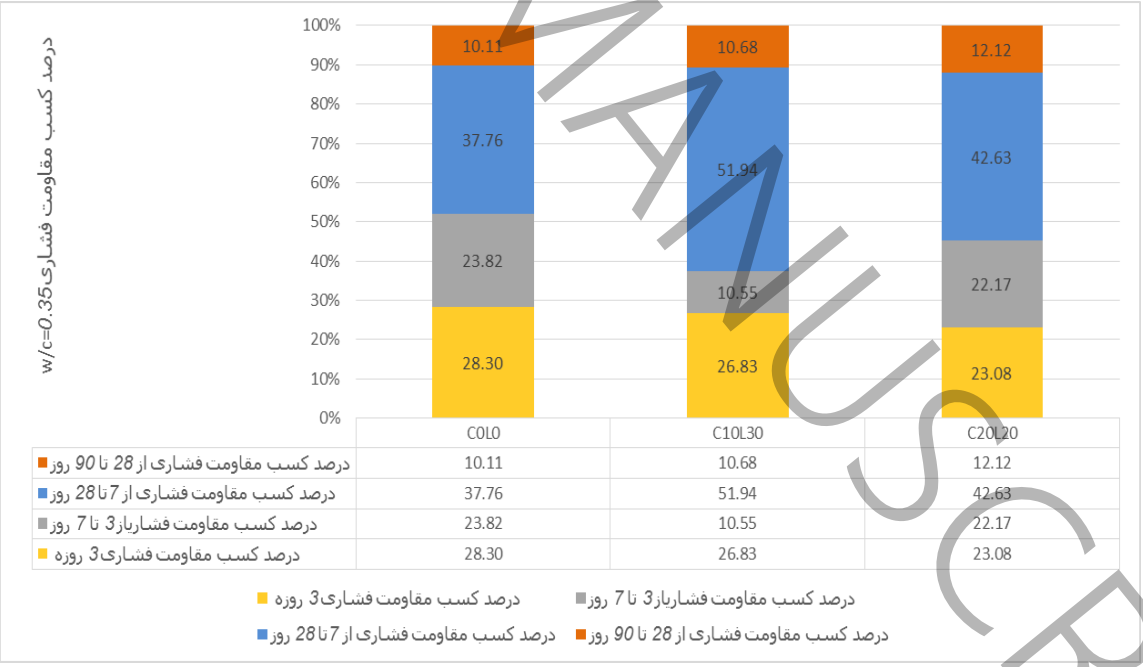
Figure 3: Bar graph of compressive strength for the ratio of water to cement materials of 0.4

با توجه به شکل فوق می‌توان گفت در تمام طرح‌ها، با افزایش سن، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش پیدا کرده است. دلیل این موضوع آن است که با افزایش سن، هیدراتاسیون بین سیمان و آب افزایش پیدا کرده و موجب کاهش آب آهک موجود در بتن و افزایش ژل سیلیکاتی در آن گشته است. ملاحظه می‌شود مقاومت فشاری نمونه‌های پوزولانی از مقاومت بتن شاهد کمتر شده است دلیل این موضوع تکمیل نشدن واکنش‌های پوزولانی و خاصیت رقیق کنندگی(در دسترس نبودن هیدروکسیدکلسیم کافی برای واکنش

ACCEPTED MANUSCRIPT

پوزولانی) آن‌ها می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که مقاومت فشاری نمونه های ۳و۷روزه دارای خاک رس کلسینه بسیار پایین‌تر از مقاومت نمونه‌های شاهد در همان سنین می‌باشد که دلیل آن آغاز نشدن واکنش‌های پوزولانی در این سنین می‌باشد اما باگذر زمان و رسیدن نمونه‌ها به سن ۲۸روز و۹۰روز این کمبود مقاومت‌ها تا حد زیادی جبران شده است و مقاومت نمونه‌های طرح به نزدیکی مقاومت نمونه‌های شاهد رسیده است که بیان‌گر آغاز واکنش‌های پوزولانی خاک رس کلسینه بعد از سنین اولیه می‌باشد که این رفتار شاهدیست بر پوزولانی بودن خاک رس مورد استفاده در تحقیق، برای بیان واضح‌تر جملات فوق یک شکل که درصد کسب مقاومت فشاری را نسبت به سنین مختلف در هر طرح مخلوط نشان میدهد در زیرآورده خواهد شد. نمونه‌هایی که علاوه برخاک و آهک ازمیکروسیلیس در آن‌ها استفاده شده است مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن‌ها نسبت به بتن بدون میکروسیلیس بیشتر شده است که دلیل آن وجود درصد بالای سیلیس فعال در میکروسیلیس است که موجب می‌شود واکنش‌های میکروسیلیس با سرعت بالاتری نسبت به بقیه پوزولان‌ها انجام گیرد و در نتیجه در کوتاه مدت نیز نتایج مطلوبی را رقم بزند.

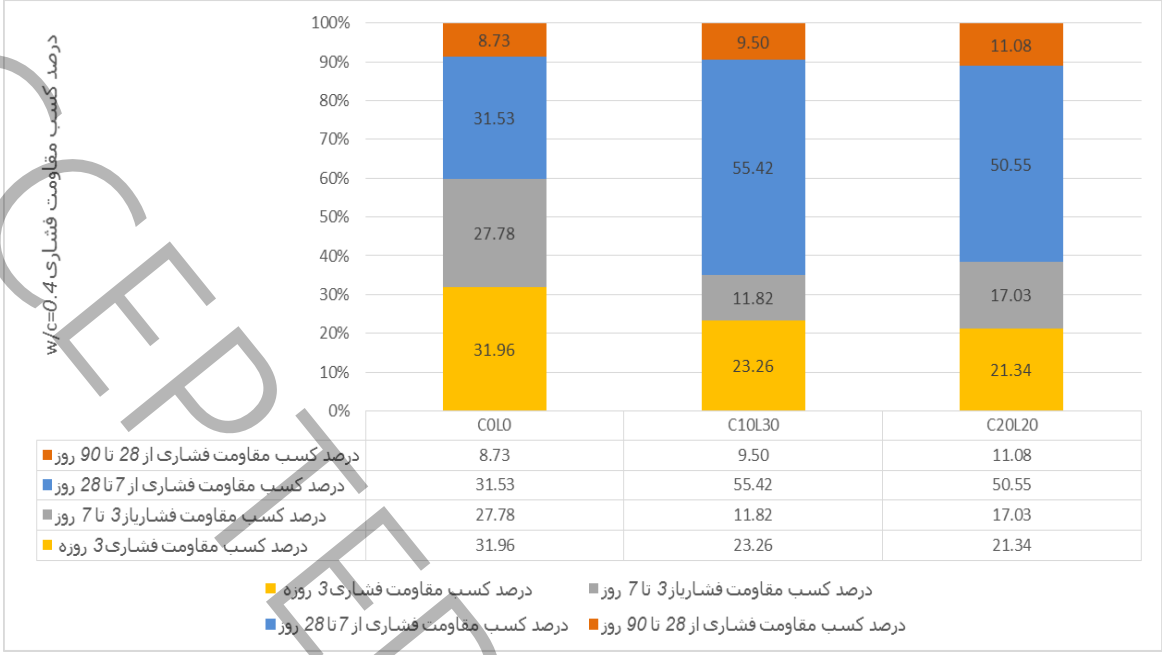
از مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌هایی که با نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و۰/۴ ساخته شده‌اند(شکل‌های زیر) می‌توان دریافت که با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند. نسبت آب به مواد سیمانی یک پارامتر بسیار مهم در ساخت بتن به محسوب می‌شود و می‌توان گفت که برروی تمامی خصوصیات بتن(در کوتاه مدت و بلند مدت) اثرگذار است و هنگامی‌که مقدار آب در بتن(w/c) از یک مقداری بیشتر شود، حتی بعد از سخت شدن بتن مقداری آب در آن وجود خواهد داشت که بدون استفاده باقی مانده است. این آب محبوس شده به تدریج بخار می‌شود و فضایی خالی در ساختار بتن برجای می‌گذارد که موجب افزایش تخلخل بتن می‌شود و طبیعتا این افزایش تخلخل کاهش مقاومت فشاری بتن را به‌دنبال دارد. طرح‌های شامل ۲۰ ٪ رس کلسینه و ۲۰ ٪ آهک Mix3 و Mix8 دارای بیشترین مقاومت در طرح‌های پوزولانی هستند و به عنوان طرح‌های بهینه پوزولانی معرفی می‌گردند.




**شکل۴: نمودار میله‌ای درصد کسب مقاومت فشاری برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵**

Figure 4: Bar graph of the percentage of compressive strength obtained for the ratio of water to cement materials of 0.35

ACCEPTED MANUSCRIPT




**شکل۵: نمودار میله‌ای درصد کسب مقاومت فشاری برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴**

Figure 4: Bar graph of the percentage of compressive strength obtained for the ratio of water to cement materials of 0.4

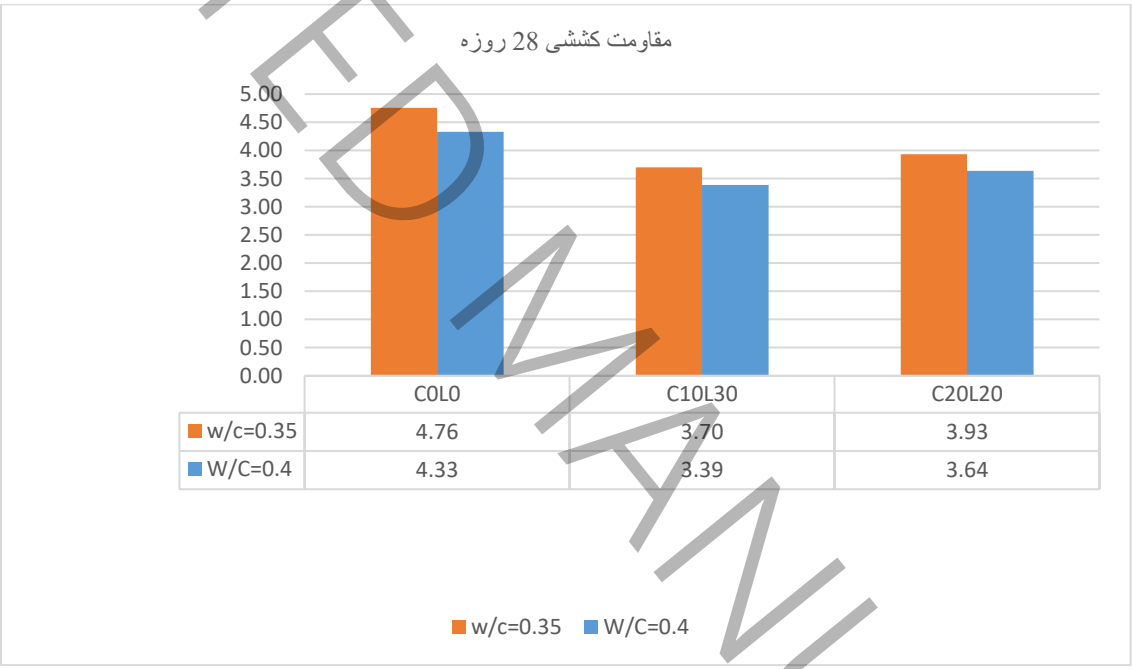
با توجه به شکل فوق در نسبت آب به مواد سیمانی ۰,۳۵ می‌توان گفت که در نمونه‌های شاهد حدود ۵۳٪ مقاومت نهایی(۹۰روزه) در سن ۷ روزه کسب شده است اما مقاومت نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ رس کلسینه حدود ۳۸ تا ۴۳ ٪ مقاوت نهایی می‌باشد و دلیل آن همان‌طور که گفته شد آغاز نشدن فعالیت پوزولانی خاک‌رس در سنین اولیه می‌باشد که با گذشت ۲۸روز از ساختن نمونه‌ها این روند متفاوت می‌شود ومیزان کسب مقاومت درنمونه‌ها برعکس می‌شود حال طرح شامل ۱۰ و۲۰ ٪ رس کلسینه که در سن ۷ روز کمترین پیشرفت را در کسب مقاومت داشته اکنون در سن ۲۸روز بیشترین سرعت کسب مقاومت را دارند درنتیجه می‌توان گفت که این افزایش سرعت کسب مقاومت از سن ۷ تا ۲۸ روز در نمونه‌های دارای پوزولان خاک‌رس ناشی از فعالیت و عملکرد پوزولانی این خاک می‌با شد. طبق نتایج می‌توان گفت که به طور کلی در صد بالایی از مقاومت فشاری(حدود ۹۰٪) برای هر طرح در ۲۸ روز اول کسب می‌شود. که این امر می‌تواند ناشی از گیرش بتن در اثر هیدراتاسیون و شتاب بالای سخت شدن آن نسبت به سنین بالاتر می‌باشد. در سنین بالاتر، بتن سختی خود را به دست آورده است و عواملی چون پرکنندگی، افزایش هیدراتاسیون و افزایش واکنش پوزولانی هستند که باعث افزایش مقاومت بتن شده اند.

برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰,۴ نیز می‌توان گفت که در نمونه‌های شاهد حدود ۶۰٪ مقاومت نهایی(۹۰روزه) در سن ۷ روزه کسب شده است اما مقاومت نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ رس کلسینه حدود ۳۵ تا ۳۸ ٪ مقاوت نهایی می‌باشد و دلیل آن همان‌طور که گفته شد آغاز نشدن فعالیت پوزولانی خاک‌رس در سنین اولیه می‌باشد که با گذشت ۲۸روز از ساختن نمونه‌ها این روند متفاوت می‌شود ومیزان کسب مقاومت درنمونه‌ها برعکس می‌شود حال طرح شامل ۱۰ و۲۰ ٪ خاک که در سن ۷ روز کمترین پیشرفت را در کسب مقاومت داشته اکنون در سن ۲۸روز بیشترین سرعت کسب مقاومت را دارند درنتیجه می‌توان ادعا کرد که این افزایش سرعت کسب مقاومت از سن ۷ تا ۲۸ روز در نمونه‌های دارای پوزولان رس کلسینه ناشی از فعالیت و عملکرد پوزولانی این خاک می‌باشد.با بررسی هردو شکل ۳ و۴ مشاهده می‌کنیم که در روند کسب مقاومت Mix2 و Mix7 که در هردو آنها مواد سیمانی خاک ۱۰٪ و پودر آهک ۳۰٪ جایگزین سیمان پرتلند شده است سرعت کسب مقاومت یا به عبارتی سرعت واکنش پوزولانی از سن ۷تا۲۸روز از

ACCEPTED MANUSCRIPT

سایر طرح ها بیشتر می‌باشدکه این موضوع می‌تواند به علت وجود مقدار بیشتری آهک نسبت به سایر طرح‌ها وبراثر آن در اختیار گذاشتن مقدار بیشتری آب آهک برای واکنش پوزولانی خاک‌رس کلسینه و درنتیجه افزایش سرعت واکنش‌های پوزولانی شود.طبق نتایج می‌توان گفت که به طور کلی درصد بالایی از مقاومت فشاری(حدود ۹۰٪) برای هر طرح در ۲۸ روز اول کسب می‌شود. که این امر می‌تواند ناشی از گیرش بتن در اثر هیدراتاسیون و شتاب بالای سخت شدن آن نسبت به سنین بالاتر می‌باشد. در سنین بالاتر، بتن سختی خود را به دست آورده است و عواملی چون پرکنندگی، افزایش هیدراتاسیون و افزایش واکنش پوزولانی هستند که باعث افزایش مقاومت بتن شده اند. با گذشت زمان و رسیدن نمونه ها به سن ۹۰ روزه طرح‌های شامل ۲۰ ٪ رس کلسینه و ۲۰ ٪ آهک Mix3 و Mix8 دارای بیشترین مقاومت در طرح‌های پوزولانی هستند و واکنش‌های پوزولانی در آن‌ها کامل تر شده است و به عنوان طرح‌های بهینه پزولانی معرفی می‌گردند.

**۳-۲- مقاومت کششی**



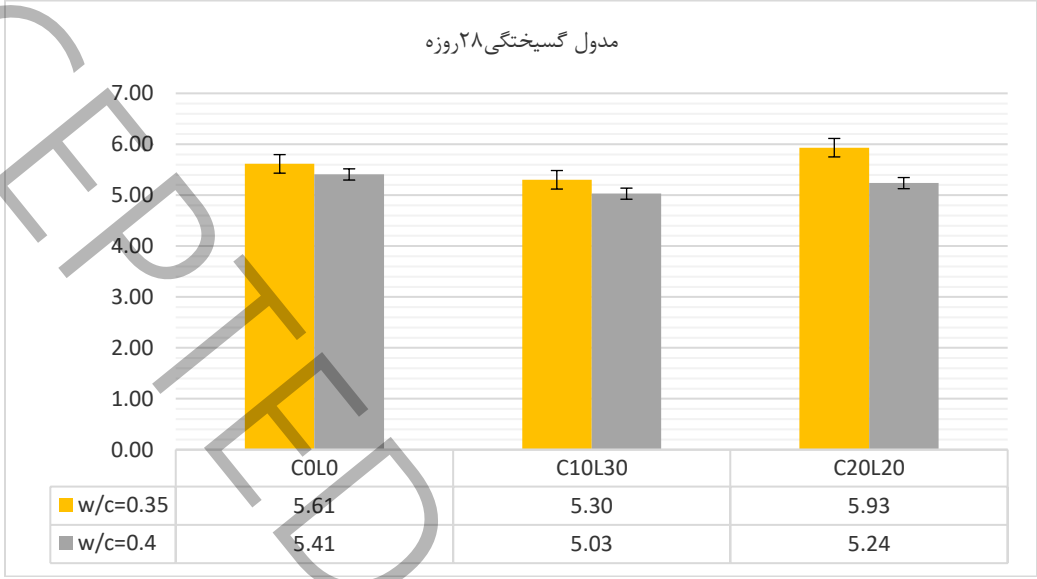

**شکل۶: مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن‌های ساخته شده با W/C=0.35 و W/C=0.4**

Figure 6: the 28-day tensile strength of concretes made with W/C=0.35 and W/C=0.4

در شکل ۵ مقایسه‌ای بین مقادیر مقاومت کششی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و مقادیر مقاومت کششی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ صورت گرفته است. به ترتیبی که در این دو شکل ملاحظه می‌گردد مقادیر مقاومت کششی با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۳۵ به ۰/۴، در سن ۲۸ روزه کاهش پیدا کرده است که علت آن به افزایش ضخامت ناحیه انتقال سطحی (ITZ) در پی افزایش مقدار آب مصرفی در بتن مربوط می‌شود. درنتیجه افزایش ضخامت ناحیه انتقال سطحی در بتن موجب بیشتر شدن تخلخل بتن و کاهش مقاومت نمونه‌ها می‌شود در طرح‌هایی که حاوی جایگزینی ۲۰٪ خاک بوده اند نتایج بالاتری نسبت به طرح‌هایی که حاوی ۱۰٪ خاک بوده‌اند، به دست آمده است که این رفتار همانند مقاومت فشاری این طرح‌ها شاهدیست بر پوزولانی بودن خاک رس کلسینه مورد استفاده در تحقیق.

ACCEPTED MANUSCRIPT

**۳-۳- مقاومت خمشی نمونه‌ها: (مدول گسیختگی)**




**شکل۷ : مدول گسیختگی ۲۸ روزه بتن‌های ساخته شده با W/C=0.4 و W/C=0.45**

Figure 7: the 28-day modulus of rupture of concretes made with W/C=0.4 and W/C=0.45

با توجه به شکل فوق میتوان گفت در این آزمایش از منظر میزان بار اعمال شده طرح‌ها روندی مشابه مقاومت فشاری و کششی داشته اند اما در محدوده‌ای بسیار نزدیک به طرح شاهد، ولی از منظر میزان خیز ایجاد شده کاملا برعکس رفتار مقاومتی عمل کرده‌اند، خیز در طرح‌های ۱۰٪ خاک بیشتر از طرح شاهد و خیز در طرح‌های ۲۰٪خاک بیشر از سایر طرح‌ها بوده است در نتیجه با توجه به میزان باربری طرح‌های شامل خاک که در محدوده‌ای نزدیک به طرح‌های شاهد می‌باشد و همزمان خیزپذیری بالاتر از طرح شاهد می‌توان این نتیجه را گرفت که بتن‌های ساخته شده با خاک رس کلسینه شکل‌پذیری بالاتری نسبت به بتن‌های معمولی دارند، و به همین دلیل در هنگام تست های خمشی ترک‌های بیشتری پذیرفته و بار نسبتا خوبی را تحمل کرده اند اما در طرح‌های شاهد به دلیل ترد بودن شیب نمودار بار تغییر مکان آن بیشتر بوده و پس از از رسیدن به بار بحرانی با اولین ریز ترک‌ها تیر مورد تست منهدم می‌شد.

در طرح‌های شامل ۱۰ ٪ خاک در هر دو نسبت آب به سیمان (Mix2 ,Mix7) مدول گسیختگی به طرح شاهد نزدیک شده، و خیز آنها از طرح‌های شاهد بیشتر شده و در مجموع عملکرد خوبی داشته اند. در طرح‌های شامل ۲۰٪خاک عملکرد تیرها بهتر بوده است زیرا در حین این‌که خیز بسیار خوبی پذیرفته اند در نسبت آب به سیمان ۰,۳۵ باربری بسیارخوبی حتی بهتر از طرح‌های شاهد داشته اند.

## ۴- نتیجه‌گیری

۱- خواص مکانیکی کلیه طرح‌های ساخته شده با گذشت زمان بهبود پیدا می‌کند که این موضوع در طرح‌های حاوی پوزولان چشم‌گیرتر است و موجب متراکم‌تر شدن این طرح‌ها نسبت به طرح شاهد می‌گردد.

ACCEPTED MANUSCRIPT

۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح‌هایی که پوزولان رس کلسینه به تنهایی با پودر سنگ آهک در آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است از مقاومت فشاری طرح شاهد کمتر بوده است اما با گذشت زمان و رسیدن به سن ۹۰ روز، قسمت زیادی از این کاهش جبران شده است.

۳- مقادیر مقاومت فشاری در طرح‌هایی که رس کلسینه وپودر سنگ آهک و میکروسیلیس همزمان در آن‌ها به کار برده شده بسیار مناسب بوده است و پس از ۹۰ روز بالاترین مقادیر مقاومت فشاری در طرح‌های پوزولانی را کسب کرد.

۴- با گذشت زمان و رسیدن نمونه ها به سن ۹۰ روزه طرح‌های شامل ۲۰ ٪ رس کلسینه و ۲۰ ٪ آهک Mix3 و Mix8 دارای بیشترین مقاومت در طرح‌های پوزولانی هستند و واکنش‌های پوزولانی در آن‌ها کامل تر شده است و به عنوان طرح‌های بهینه پزولانی معرفی می‌گردند.

۵- در آزمایش مقاومت کششی نیز روند کسب مقاومت مانند آزمایش مقاومت فشاری بوده و مقدار بهینه رس کلسینه ۲۰ ٪، و بیشترین مقدار مقاومت کششی برای طرح‌های پوزولانی به طرح حاوی ۲۰ ٪ رس کلسینه و ۷ ٪ میکروسیلیس اختصاص یافت.

۶- در آزمایش مدول گسیختگی از منظر میزان بار اعمال شده طرح‌ها روندی مشابه مقاومت فشاری و کششی داشته اند اما در محدوده‌ای بسیار نزدیک به طرح شاهد، ولی از منظر میزان خیز ایجاد شده کاملا برعکس رفتار مقاومتی عمل کرده‌اند.

۷- خیز در طرح‌های ۱۰٪ خاک بیشتر از طرح شاهد و خیز در طرح‌های ۲۰٪ خاک بیشتر از سایر طرح‌ها بوده است، در نتیجه با توجه به میزان باربری طرح‌های شامل خاک که در محدوده‌ای نزدیک به طرح‌های شاهد می‌باشد و همزمان خیزپذیری بالاتر از طرح شاهد می‌توان این نتیجه را گرفت که بتن‌های ساخته شده با خاک رس کلسینه شکل‌پذیری بالاتری نسبت به بتن‌های معمولی دارند.

## مراجع


[1] **Karen l. scrivener "options for the future of cement" the indian concrete journal july 2014 vol 88 issue 7**

[2] **Morsy, M. S., and S. S. Shebl. 2007."Effect of silica fume and metakaolin pozzolana on the performance of belend cement paste analys fire". Ceramics – silikaty51(1):40-44**

[3] **Mangat, E. S., J. M. Khatib., B.T. Molloy. 1994."Microstructure, chloride diffusion and reinforcement corrosion in blended cement paste and concrete". Cem Concr Compos ;6:73–81.**

[4] **Habert, G., N. Choupay., J. M. Montel., D. Guillaume., G. Escadeillas. 2008. "Effects of the secondary minerals of the natural pozzolans on their pozzolanic activity". Cem Concr Res ;38:963–75.**

[5] **Ghrici M., Kenai S., Said-Mansour M (2007). "Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements", Cement & Concrete Composites; Vol. 29 Issue 7, 2007, pp. 542–549**

[6] **Nasir, S.h., F. N. Muhd., U.K. Sadaqat., A. Tehmina. 2015. "Calcined kaolin as cement replacing material and its use in high strength concrete". Construction and Building Materials(81): 313-323**

[7] **Kadri, El-Hadj., S. Kenai., K. Ezziane., R. Siddique., and G. Schutter. 2011. "Influence of metakaolin and silica fume on the heat of hydration and compressive strength development of mortar".Applied clay science53:704-708.**

[8] **Justice, J. M., L. H. Kennison., B. J. Mohr., S. L. Beckwith., J. E. McCormick., B. Wigginz., Z. Z. Zhang., K. E. Kurtis. 2005. "Comparision of two metakaolins and a silica fume used as supplementary cementitous**


ACCEPTED MANUSCRIPT

materials".international symposion on utizilation of high-stregth/ high performance concrete. Washington D.C. June. 20-24.

[9] [9] Davood Mostofinejad and Mohammad Raeesi "Investigation of the effect of limestone powder on the compressive strength of concrete containing microsilica and optimization of the mixing design using response curves" Isfahan University of Technology December 2013 in persian.

[10] Ramezanianpour, A. A., and H. Bahrami. 2012. "Influence of metakaolin as supplementary as cementing material on strength and durability of concretes". Construction and building materials30

[11] Konan, K. L., C. Peyratute., A. Smith., J-P. Bonnet., S. S. Rossignol., and S. Oytola. 2009. "Comparison of surface properties between kaolin and metakaolin in concentrated lime solution". Journal of colloid and interface science339:103-109

[12] Wild, S., J. M. Khatibe., and A. Jones. 1996. "Relative Strength, Pozalanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete", cement and concrete research26:1537-1544

[13] Siddique, R. 2008. Waste materials and by – product in concrete.patiala india:springer.

[14] Ramlochan, T., M. Tomas., and K. A. Gruber. 2000. "The effect of metakaolin on the alkali-sillica reaction in the concrete". Cement and concrete research30:339-344.

[15] kostuch, J. A., V. Walters., and T. R. Jones. 2000. "High performance concrete incorporating metakaolin": A review, concrete 2000, economic and durable concrete through excellent, R. K. Dhir and M. R. Jones, eds., E and FN spon, London,1799-1811.

[16] Mehta, P. K. 1986. Concrete: structure, propertiese, and materials, prentice hall, New jersey.

[17] Samet, B., T. Mnif., and M. Chaabouni. 2007. "Use of kaolinitic clay as a pozzolanic material for cements": Formulation of blended cement, Cement and concrete composites729:741-749.

[18] Scrivener K, Avet F, Maraghechi H et al. (2019) Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3). Green Materials 7(1): 3–14,https://doi.org/10.1680/jgrma.18.00029

[19] Shashank bishoni , Amit mallik , Oumen Maity, Shiju Joseph and Sreejith Krishnan "Pilot scale manufacture of limestone calcined clay cement" The IndianExperience April 2017

[20] Varga, G. 2007. "The structure of kaolinite and metakaoline". Epitoanyag,59.

[21] National Geoscience Database of the country, Kaolin, National Geoscience Database in persian http://www.ngdir.ir/GeoportalInfo/PSubjectInfoDetail.asp?PID=281&index=0

[22] AlejandraTironiaMónica A.TrezzaaAlberto N.ScianbEdgardo F.Irassara Kaolinitic calcined clays: "Factors affecting its performance as pozzolans".

[23] ASTM (American Society for Testing and Materials) Standard C33, 2003, "Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0033-03, www.astm.org.

[24] Irajian Mahmoud, 2010, the use of additives in dam construction projects, the fourth international conference on dam construction, Iran, Tehran in persian.

[25] ASTM (American Society for Testing and Materials) C39. 2003. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM Publication.

ACCEPTED MANUSCRIPT

[26] **ASTM (American Society for Testing and Materials) C496. 2003. Standard Test Method fornSplitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM Publication.**

[27] **Mostofi-Nejad, Dawood (2014). Reinforced concrete structures. Edition 2. The first volume. Isfahan, Arkan Danesh Publications in persian.**

[28] **ASTM C78 / C78M-18, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org**

ACCEPTED MANUSCRIPT

# The effect of Minoodasht region calcined clay of Golestan province and silica fume on the mechanical properties of concrete

**Hassan Ghezelsofla [1*] Amir Tarighat [2]**

**1- faculty of Civil Engineering, shahid rajaee teacher training university**
**hassan.ghezel@sru.ac.ir**

**2- faculty of Civil Engineering, shahid rajaee teacher training university**
**Corresponding Author: Email: tarighat@sru.ac.ir**

## Abstract:

**The large volume of cement production includes about 5-8% of CO2 emissions.The adverse environmental effects of CO2 gas as well as the need to increase the strength and durability of concrete led to the introduction of pozzolan. Pozzolan is a substance with a combination of alumina and silica, which will have cement properties if it is amorphous in the vicinity of lime water. In this research, calcined clay was used as pozzolan, first the soil is heated to 700 degrees Celsius to be calcined, then it is replaced with cement with lime powder. In this research, 10 mixed designs were used in 2 ratios of w/c, 0.35 and 0.4. In each proportion of clay at 0, 10 and 20%, limestone powder at 0, 30 and 20%, respectively, and microsilica along with the combination of soil and lime at 0 and 7% by weight as powder materials were replaced by cement. . In order to check the properties of the prepared soil, XRF and XRD tests were performed on it. To investigate and analyze the mechanical properties of concrete from compressive strength tests on 10 cm cube samples at 4 ages of 3, 7, 28 and 90 days, tensile strength on cylindrical samples and flexural strength on prismatic samples at 28 years of age. Fasting was used. over the time and reaching the age of 90 days, designs containing 20% calcined clay and 20% lime Mix3 and Mix8 have more resistance in pozzolanic designs and are introduced as optimal pozzolanic designs.**

## key word:

**calcined clay, pozzolan, compressive strength, tensile strength, bending strength**