

## بررسی مقاومت مکانیکی و دوام نمونه‌های ملات ماسه‌سیمان و بتن در اثر افزودن پودر سرباره کارخانجات شهر بناب

مدیا محمدی \*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه بناب، [soltanmedia@yahoo.com](mailto:soltanmedia@yahoo.com)

### خلاصه :

در کارخانجات فولاد شهرستان بناب سرباره تولید می‌شود و تاکنون در خصوص امکان استفاده از این پسماندهای صنعتی در تولید ملات و بتن به منظور ساخت فرآورده‌های سیمانی مطالعه نشده است. در این پایان نامه، مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات ماسه و سیمان ساخته شده با استفاده از ماسه سرباره ای، ماسه رودخانه ای و ماسه ترکیبی سرباره ای - رودخانه ای با نسبت‌های مختلف (۴۰، ۳۰، ۱۵ و ۵۰٪) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نمونه‌های ساخته شده با ماسه سرباره ای بادانه بندی فولردارای مقاومت فشاری بالاتری نسبت به نمونه‌های ماسه رودخانه ای هستند؛ به طوریکه مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه آنها به ترتیب ۲۰۵ و ۳۳۸ کیلوگرم بر سانتی مترمربع به دست آمد. در مقابل، نمونه‌های ساخته شده با ماسه رودخانه ای دارای مقاومت فشاری ۳۶ و ۲۳۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع بودند. همچنین، نمونه‌های ترکیبی در سن ۷ روزه مقاومت مشابهی با ماسه رودخانه ای داشتند، اما در سن ۲۸ روزه مقاومت بالاتری را نشان دادند. یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، استفاده از ماسه سرباره ای بادانه بندی فولر است، که به واسطه شکست سرباره توسط سنگ شکن فکی حاصل شده و پیش از این کمتر مورد مطالعه قرار گرفته بود. این در حالی است که نمونه‌های ماسه رودخانه ای با دانه بندی غیر فولر مقاومت مکانیکی کمتری داشتند. علاوه بر این، نشان داده شد که اصلاح دانه بندی ماسه رودخانه ای به دانه بندی فولر نیازمند هزینه و انرژی بالاتری است. در نمونه‌های ترکیبی، استفاده از ۱۵٪ ماسه سرباره تاثیر قابل توجهی بر افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌های شاهد نداشت. اما با افزایش درصد سرباره به ۳۰ تا ۵۰٪، افزایش مقاومت مشهود بود. این پژوهش با تمرکز بر بهبود استفاده از ماسه سرباره ای در ساخت ملات‌های مقاوم تر، گامی در جهت بهره‌برداری بهینه از مواد پسماند صنعتی در پروژه‌های عمرانی برداشته شود.

**کلمات کلیدی:** بتن، ملات ماسه‌سیمان، سیمان، پوزولان، سرباره

### ۱. مقدمه :

یکی از پرکاربردترین مصالح در صنعت ساختمان، سیمان است که انرژی زیادی صرف تولید آن می‌گردد. از جمله راه‌هایی که به صرفه جویی در مصرف انرژی می‌گردد، جایگزین نمودن سیمان با مصالحی نظیر پوزولان‌ها می‌باشد. علاوه بر این استفاده از پوزولان‌ها، باعث بهبود بسیاری از خواص مهندسی و پایایی بتن‌های سخت شده و همچنین سبب صرفه جویی در مصرف مواد اولیه ای نظیر آهک که در تولید سیمان به مقدار زیادی مصرف می‌شود نیز می‌گردد. باید کمبود

مواد خام کم هزینه در آینده سیمان و صنعت بتن را در نظر گرفت، زیرا در تولید سیمان مصرف از مواد مبتنی بر سنگ آهک معمولی است؛ با توجه به پیشرفت و تولید روزافزون سیمان پرتلند، تنها می توان برای کمتر از ۵۹ سال دیگر سیمان تولید نمود، صنعت بتن برای پاسخگویی به رشد مصرف آن با چالش مواجه است و تقاضا از سیمان پرتلند با توجه به ذخایر محدود از سنگ آهک، مشکل ساز خواهد شد. در سال ۲۰۱۱ تولید سیمان جهان در حدود ۳۶ میلیارد تن بوده است این به معنی آن است که بیش از ۳ میلیارد تن سنگ آهک برای تولید کلینکر نیاز است و با توجه به متوسط مصرف، محصول سنگ آهک روبه اتمام است، بتن از مهمترین مصالح ساختمانی تولید شده توسط انسان بوده که از مصالح ساختمانی ارزان و با شکل پذیری مناسب، شامل سیمان، آب، شن و ماسه ( مصالح سنگی) و مواد افزودنی و مضاف، به نسبت های مختلف به دست می آید. با توجه به مصرف بالای بتن و نیاز روزافزون به تولید سیمان برای تهیه آن، اهمیت مسائل زیست محیطی برای تامین نیاز نسل فعلی و نسل های آینده ضرورت بازنگری در تولید بتن را آشکارتر ساخته است.

جدا از انرژی زیادی که صرف تولید سیمان می گردد، کارخانه های تولید کننده سیمان نیز نقش زیادی در آلوده نمودن محیط زیست دارند.

تحقیقات نشان می دهند که کارخانه های تولید کننده سیمان، مسئول انتشار حدود ۵ درصد از کل دی اکسید کربن وارد شده به اتمسفر کره زمین می باشند. در فرآیند تولید هر تن سیمان بطور متوسط ۱۲۵ لیتر سوخت فسیلی و ۱۱۸ کیلووات ساعت برق مصرف می شود. از طرفی ۱۱/۹ درصد از حمل بار جاده ای کشور اختصاص به سیمان دارد. ضمن اینکه از تولید هر تن سیمان تقریباً یک تن گاز کربنیک تولید و گازهای آلاینده در اثر سوختن نفت کوره و برق مصرفی در کارخانجات سیمان، وارد محیط زیست می شود. سال های اخیر توجه به مسایل زیست محیطی و استفاده از مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و دولت ها قرار گرفته است، از این رو تولید بتنی جدید و سازگار با محیط زیست که با استفاده از چسباننده های پوزولانی فعال شده باشد حس می شود.

از جمله مسائل مهمی که در زمینه ی بتن مورد بحث است در مورد پایداری بتن ها در شرایط سخت محیطی می باشد. سازه های بتن معمولی، عموماً دارای عملکرد مناسبی در شرایط سخت محیطی و عوامل مهاجم نمی باشند و در مدت کوتاهی دچار زوال می گردند. یکی از راهکارهایی که محققان برای رفع این نقیصه پیشنهاد نموده اند، استفاده از مواد پوزولانی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند موجود در مخلوط بتن می باشد.

برای برون رفت از مشکل پیش رو می توان از موادی که در طبیعت موجود است برای ساخت سیمان پرتلند آمیخته و بدون آلاینده برای محیط زیست استفاده کرد و برای ساخت بتن و کاربرد آن در پروژه های مختلف بهره برد. پیشنهاد سیمان پرتلند آمیخته به عنوان سیمان نسل سوم پس از آهک و سیمان پرتلند معمولی در نظر گرفته شده است.

## ۲. بیان مسئله:

بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان، پوزولانها، مواد مضاف، مواد افزودنی، پلیمرها، الیاف و غیره تهیه شود. افزودنیهای معدنی بتن، مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینی خوب تفکیک شده ای می باشند که در مقادیر نسبتاً زیاد، عموماً به صورت جایگزین درصدی وزنی از سیمان پرتلند، به بتن افزوده می شوند. این مواد به صورت خام یا بعد از فعال سازی حرارتی به عنوان منبع اصلی مواد در افزودنی های معدنی بتن به کار گرفته می شوند. بسیاری از این مواد محصولات زائد صنایع مختلفی هستند که به دلیل خواص خود می توانند در ساخت بتن مورد استفاده قرار گیرند. افزودنیها برای بهبود عملکرد بتن، به عنوان مثال افزایش مقاومت و دوام بتن و کاهش گرما هیدراتاسیون ضروری هستند. مهمترین خاصیت پوزولان به عنوان جایگزین سیمان، توانایی قابل ملاحظه آن در کاهش منافذ بزرگ و نفوذپذیری بتن است. واکنشهای سیلیسی پوزولان و آهک ناشی از هیدراتاسیون سیمان، خاصیت پرکنندگی داشته و موجب کاهش منافذ بزرگ و کاهش نفوذپذیری و افزایش

دوام بتن می شود. استفاده از انواع پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان در بتن علاوه بر کمک به کاهش مصرف سیمان و انرژی و تولید گازهای گلخانه ای، خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری در سنین بالا و دوام بتن نظیر نفوذپذیری را بهبود می بخشد. استفاده از پوزولانهای طبیعی در ساخت بتن میتواند عمر سرویس دهی سازه های بتنی در محیط های خورنده را افزایش دهد. با اختلاط بین سیمان و پوزولان، نوعی سیمان آمیخته با عنوان سیمان پوزولانی تهیه می شود که از مزایای آن می توان موارد زیر را نام برد:

کاهش میزان مصرف سیمان، کاهش سرعت و میزان حرارت حاصل از فرایند آبگیری سیمان، بهبود کارایی بتن، افزایش مقاومت بتن در پایان ۲۸ روز، افزایش پایداری بتن از طریق کاهش نفوذپذیری، صرفه اقتصادی، بالابردن مقاومت در برابر حمله اسیدها و قلیایی سنگدانه هابتن پوزولانی، علاوه بر دارا بودن کلیه ویژگی های مکانیکی بتن با سیمان پرتلند معمولی دارای ویژگی های مهم دیگری مانند: ارزنتر بودن، مقاومت در برابر حمله سولفات ها و اسیدها و حملات شیمیایی، مقاومت در برابر آتش مبتنی بر مواد مرکب هیبرید آلی، کاهش تولید CO<sub>2</sub>، فناوری آسان تولید، رفتار مناسب در برابر خزش و بعضاً کاهش انقباض نسبت به بتن های معمولی و ... می باشد.

به منظور رسیدن به توسعه پایدار می بایست از مصالح نوین در ساخت و ساز بویژه در سازه های بتنی استفاده نمود و تلاش کرد تا با کاربرد مصالح مناسب برای جایگزینی بخشی از سیمان، بتن با کارایی بهتر تولید کرد. در این تحقیق منابع پوزولانی پسماند سرباره کارخانه ای و خاکستر بادی کارخانجات شهرستان بناب به سیمان پرتلند افزوده شده و مقاومت مکانیکی (مقاومت فشاری و خمشی) و دوام ملات ماسه سیمان ساخته شده با استفاده از سیمانهای پوزولانی مذکور بررسی خواهد شد. نتایج به دست آمده از بتن ساخته شده با سیمانهای پوزولانی با نتایج به دست آمده از نمونه شاهد که از بتن معمولی ساخته شده مقایسه شده و نتایج آن ارائه می شود.

## ۲. مرور ادبیات و سوابق مربوطه :

اولین مصرف عمده پوزولان در ایالات متحده در ساختمانی در لس آنجلس بود که از سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۱۲ بطول انجامید و بیش از ۱۰۰ هزار تن پوزولان مورد مصرف قرار گرفت. پس از آن در غرب ایالات متحده بویژه در مناطقی که پوزولان طبیعی یافت می شد در ساختمان تعدادی از سدها و پل ها و ساختمان ها مورد استفاده قرار گرفت. از اوایل قرن بیستم از پوزولان های طبیعی برای کاهش گرمای هیدراتاسیون بتن ریزی های حجیم مورد استفاده قرار گرفت گرچه استفاده از پوزولان در بتن موجب کاهش گرمای هیدراتاسیون می شود ولی در بتن ریزی های حجیم برای کاهش نسبت آب به سیمان و همچنین دستیابی به مقاومت فشاری مناسب از افزودنی های طبیعی استفاده می شود. تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از پوزولان در بتن صورت گرفته است که در ادامه به ارائه چند مورد از آن به عنوان نمونه، می پردازیم.

بابایی و موسوی قاسمی (۱۴۰۱)، در تحقیق خود، نشان دادند که در محیط سولفاتی، بتن با سنگدانه استاندارد که با پوزولان های خاکستربادی و میکروسلیس تقویت شده است با ارائه طرح اختلاط بهینه ای می تواند درمقایسه با بتن بدون ترکیب با هیچ گونه ماده پوزولانی مقاومت فشاری بالاتری داشته باشد. (بابایی و موسوی قاسمی، ۱۴۰۱).

خان و علی در سال ۲۰۱۹ به بهبود رفتار بتن با استفاده از خاکستر بادی، سلیکا فوم و الیاف نارگیل پرداختند. بدین منظور از ۱۵ درصد سلیکا فوم و دو درصد الیاف نارگیل و همچنین ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد خاکستر بادی استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از ۱۵ درصد سلیکا فوم و ۱۰ درصد خاکستر بادی سبب بهبود ۹۵ درصدی خواص بتن می گردد (خان و علی، ۲۰۱۹).

لو و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی تاثیر لاستیک و سلیکا فوم بر رفتار خزشی بتن ساخته شده با الیاف فولادی و

مصلح بازیافتی پرداختند. آنها دریافتند استفاده از ۵ درصد لاستیک و ۱۰ درصد سیلیکا فوم بهترین نتیجه را می دهد (لو و همکاران، ۲۰۱۹).

کاظمی بجد و موسوی (۱۴۰۰)، به بررسی تأثیر پوزولان پومیس و متاکائولین بر روی دوام بتن بازیافتی و خوردگی میلگردهای آن پرداختند و دوام، مقاومت فشاری و نفوذپذیری را بر روی بتن جدید بدست آمده حاصل از طرح اختلاط های مصلح را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از پوزولان به صورت مجزائست به ترکیب های پوزولان عملکرد بهتری داشته است (کاظمی بجد و موسوی، ۱۴۰۰).

مرادی خو واسپرهم (۱۴۰۰)، به بررسی فاکتورهای تأثیرگذار بر مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری بر پایه خاکستر بادی پرداختند. در این پژوهش آزمایشگاهی، برخی از پارامترهای تأثیرگذار شامل: نوع محلول فعالکننده قلیایی، غلظت محلول هیدروکسید سدیم، نسبت وزنی محلول فعالکننده قلیایی به منبع آلومیناسیلیکاتی، نسبت وزنی محلول سیلیکات سدیم به هیدروکسید سدیم، دما و زمان عمل آوری و میزان آب، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از محلول فعالکننده پتاسیمی منجر به دستیابی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه بیشتر و محلول فعالکننده سدیمی سبب دستیابی به مقاومت زودرس بیشتر، میشود. (مرادی خو واسپرهم، ۱۴۰۰).

مومنی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی خواص و ویژگی های بتن ژئوپلیمری با مواد پایه مختلف پرداخته اند (مومنی و همکاران، ۱۴۰۰).

پاچیده و همکاران (۱۳۹۹)، به مطالعه آزمایشگاهی خواص مکانیکی و ریزساختار ملات سیمانی حاوی پودر میکروسیلیس و سرباره کوره آهنگدازی در شرایط پس از دماهای بالا پرداخته اند. نتایج حاصل از ای تحقیق نشان داد که بیشترین تأثیر استفاده از سرباره کوره آهنگدازی و میکروسیلیس به ترتیب در دماهای پایین (تا ۱۵۱ درجه سانتیگراد) و دماهای بالا (۵۱۱ درجه سانتیگراد و بالاتر) با رشد ۷۳٪ و ۱۸۰٪ مقاومت فشاری، ۴۵٪ و ۱۰۰٪ مقاومت کششی و ۱۰۶٪ و ۱۱۲٪ مقاومت خمشی قابل مشاهده است. همچنین با افزایش دما، اندازه دانه نمونه های حاوی میکروسیلیس و سرباره کوره آهنگدازی در آزمایش XRD، دچار افت کمتری تا حدود ۱ درصد نسبت به نمونه شاهد شده است (پاچیده و همکاران، ۱۳۹۹).

پدرو و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی کارایی بتن مقاومت بالای ساخته شده از مصلح بازیافتی، خاکستر بادی و سیلیکا فوم پرداختند. نتایج نشان داد جایگزینی بخش از شن و ماسه با سنگ دانه های بازیافتی سبب بهبود بالای خواص بتن با مقاومت بالا می گردد. همچنین استفاده از سیلیکا فوم با تراکم بالا سبب بهبود خواص بتن می گردد. ۲۰٪ ضایعات شیشه با سیمان در بتن سبک سبب هوادهی بهتر این نوع بتن شده است. استفاده از الیاف فولادی در بتن های سبک سبب افزایش مقاومت پیچشی نمونه ها نسبت به بتن معمولی مسلح به الیاف است. استفاده از نانو ذرات در بتن پایین در بتن سبب افزایش دوام بتن در شرایط تهاجم های محیطی می شود. آزمایشات بر روی بتن خود متراکم حاوی نانو سیلیکا و نانو لوله های کربنی نشان از افزایش مقاومت و دوام بتن دارد. استفاده از نانوذرات  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به همراه الیاف فولادی سبب افزایش پیوند در مخلوط با درصد بالاتر سیمان می شوند. همچنین نانوذره  $\text{Al}_2\text{O}_3$  سبب کاهش ترک در بتن می شود. استفاده از الیاف های مختلف در بتن منجمله پلی پروپیلن و فولاد سبب افزایش مقاومت مکانیکی و دوام بتن می شود. پودر شیشه نیز سبب بهبود بعضی از پارامترهای مقاومتی و دوام بتن می شود. استفاده از پودر شیشه در بتن سبب افزایش مقاومت بتن می شود. همچنین افزودن پودر شیشه در بتن باعث افزایش کارایی بتن می شود. محققین با افزودن پودر شیشه ضایعاتی در بتن خود متراکم سبز توانستند واکنش های سیلیکایی-قلیایی در بتن را تا ۵۰ درصد کاهش دهند. همچنین آنها یافتند که تأثیر پودر شیشه بر مقاومت فشاری بتن متأثر از نسبت آب به سیمان است. نتایج نشان میدهد  $W/C$  مناسب برای بتن های خود متراکم حاوی پودر شیشه در محدوده ۰.۳۳ تا ۰.۳۴ می باشد. پودر شیشه بر روی خزش بتن نیز تأثیر دارد. استفاده از ۲۰ درصد پودر شیشه در بتن علاوه بر افزایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته آن سبب کاهش خزش در بتن نیز می شود (در نهاست می توان گفت استفاده از پودر شیشه سبب کاهش ضایعات و هزینه های تولید بتن در پروژه های عمرانی

می شود (پدرو و همکاران، ۲۰۱۸).

درویش نژادو زندی (۱۳۹۹)، به بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام بتن ساخته شده با پوزولان های سرباره ذوب مس، سرباره ذوب آهن و متاکائولن به عنوان جایگزین سیمان پرداخته اندو بر روی طرح ها در حالت تازه، آزمایش اسلامپ و در حالت سخت شده در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد BS 1881 و در سن ۲۸ روزه آزمایش نفوذ آب تحت فشار طبق DIN 1048 ۵-انجام گرفت. در تمامی طرح های حاوی پوزولان شاهد کاهش جذب آب در مقایسه با طرح بدون پوزولان هستیم. در، درصد ثابت جایگزینی نفوذآب تحت فشار مربوط به طرح های حاوی متاکائولن و بیشترین مربوط به طرح های حاوی سرباره ذوب مس می باشد (درویش نژادو زندی، ۱۳۹۹).

نادری و همکاران (۱۳۹۹)، به مطالعه نفوذپذیری و مقاومت بتن های حاوی دوده سیلیسی، زئولیت و خاکستر بادی با استفاده از روش محفظه استوانه ای و استاندارد بریتانیا پرداخته اند (نادری و همکاران، ۱۳۹۹).

Samimi و همکاران نیز در سال ۲۰۱۷ به بررسی تاثیر سه نوع سیمان پرتلند و متاکائولن بر خواص فشاری و حمل و نقل SCC در سنین اولیه و تا ۹۰ روز می باشد. شش مخلوط بتن با سه نوع مختلف سیمان و جایگزینی ۱۵٪ متاکائولن توسط نسل سیمان تهیه شد. نتایج نشان داد که بالاترین مقدار مقاومت فشاری برای سیمان سرباره پرتلند (PSC) و بدون متاکائولن در سن ۹۰ روز بدست آمد. در مقابل، پایین ترین سطح مقاومت فشاری در تمام سنین حفاظت برای سیمان پرتلند پوزولانیک (PPC) و ۱۵٪ متاکائولن به دست آمد (Samimi و همکاران، ۲۰۱۷).

رنجبر و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی مقاومت فشاری بتن ساخته شده با پیش ماده های خاکستر بادی، نانو سیلیس و متاکائولن پرداخته شده و استحکام فشاری و عوامل تاثیر گذار بر آن در ملات ژئوپلیمری مورد بررسی قرار گرفته است، استحکام فشاری ملات های ژئوپلیمری پس از گذشت زمان 3، 7 و 28 روز در دماهای عمل آوری مختلف بر پایه های خاکستر بادی، متاکائولن در بازه بین 25 الی 62 مگا پاسکال قرارداد که استحکام مناسبی در مقایسه با ملات ساخته شده سیمان پرتلند را نشان می دهد همچنین با استفاده از مواد نانوسیلیس روی سیمان ژئوپلیمری بر پایه متاکائولن و افزایش درصد وزنی آن از 0 به 6 درصد موجب افزایش قابل توجهی در استحکام فشاری تا حدود ۳۰ درصد شد (رنجبر و همکاران، ۲۰۱۷).

راجراجیسواری و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی بتن ژئوپلیمری حاوی سیلیکا فوم پرداختند. در این پژوهش جایگزینی ۶۰٪ سیلیکا فوم سبب بهبود مقاومت فشاری نمونه ها در مقایسه با نمونه بتن معمولی گردید (راجراجیسواری و همکاران، ۲۰۱۴).

قیاس الدین و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند که عمل آوری ژئوپلیمرهای حاوی خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی در محلول نمک باعث دستیابی به مقاومت فشاری بالاتر و جذب موینه کمتری نسبت به عمل آوری در آب می شود (قیاس الدین و همکاران، ۲۰۱۳).

مستوفی نژاد در مطالعات خود آورده است استفاده از مواد ضایعاتی در بتن به دلیل اهمیت حفظ محیط زیست و احتمال ایجاد خصوصیات مثبت مکانیکی و فیزیکی همواره مدنظر بوده است. مطالعات نشان داده در زمینه ی مسائل زیست محیطی و آلاینده گی حاکی از آن است که بتن شیشه ای سازگار با محیط زیست بوده و در امر اقتصادی نیز باتوجه به استفاده از ضایعات بسیار بصره می باشد و منجر به کاهش هزینه های سیمان و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی زباله های جامد در دسترس می گردد همچنین با استفاده از این ماده ارزشمند میتوان از صرف هزینه و انرژی زیاد برای بازیافت شیشه جلوگیری کرد (مستوفی نژاد، ۱۳۸۴).



### ۳. روش تحقیق:

طرح مخلوط بتن، فرآیند تعیین نسبت اجزای بتن است، به نحوی که بتن تولید شده تا حد امکان مقرون به صرفه باشد و الزامات مورد نیاز را تأمین کند. این الزامات معمولاً مقاومت فشاری، کارایی و دوام می باشد.

مقاومت فشاری، توانایی ماده در تحمل بارهای وارده بدون رخ دادن ترک یا تغییر شکل است. مقاومت فشاری بتن به عنوان یکی از مهم ترین نقاط مثبت این ماده شناخته می شود. این ویژگی معمولاً به عنوان معیاری برای ارزیابی کیفیت کلی بتن و همچنین توصیف ویژگی های دیگر آن نظیر روانی و یکنواختی مورد استفاده قرار می گیرد. در صورت ساخت اصولی مخلوط سیمانی، مقاومت فشاری آن می تواند به اندازه یک سنگ سخت طبیعی باشد.

تعیین نسبت های اجزای بتن بر اساس روابط تجربی انجام می شود. طرح مخلوط به مفهوم فرآیندی است که طی آن ترکیب مناسب اجزای بتن، طبق مشخصات فنی داده شده، تعیین می گردد. سازوکار طرح مخلوط پیچیده است، زیرا با تغییر دادن یک متغیر ممکن است خواص بتن به صورت متضاد تحت تأثیر قرار بگیرد. برای مثال، افزودن آب به مخلوط بتن با کارایی کم، ممکن است روانی را افزایش دهد، اما مقاومت را کم می کند. در حقیقت، کارایی خود از دو مولفه اصلی تشکیل یافته است، که شامل روانی (آسانی در جاری شدن) و چسبندگی (مقاومت در مقابل جداشدگی ذرات) می باشد که وقتی به مخلوط آب افزوده می شود، ممکن است این دو مشخصه، عملکردی مخالف یکدیگر نشان دهند. بنابراین، طرح مخلوط، هنر متعادل کردن این اثرهای متضاد است. در طرح مخلوط ممکن است معیارهای دیگری مانند کاهش جمع شدگی، خزش و ... در نظر گرفته شود. هر چند تاکنون تلاش زیادی در خصوص جنبه های نظری طرح مخلوط انجام شده است، اما هنوز از روشهای تجربی استفاده می شود. وبه عبارت دیگر، روشهای طرح مخلوط برای انتخاب اولیه نسبت ها مفید میباشند، اما برای تعیین نسبت نهایی نیاز به ساخت مخلوط های آزمایشی و تنظیم نسبت ها وجود دارد. روابط تجربی، به طور معمول به عنوان راهنما مورد استفاده قرار می گیرند و مخلوط های آزمایشی بر اساس این روابط ساخته می شوند. در صورت مغایر بودن مشخصه ملات و بتن تازه و سخت شده مخلوط های آزمایشی با مشخصه مورد نظر، باید در طرح مخلوط تجدید نظر به عمل آید. مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل مصالح سنگی شن و ماسه، آب، سیمان پرتلند و منابع پوزولانی پودر سرباره و پودر پسماند کوره کارخانجات شهرستان بناب است. این منابع پوزولانی پس از آسیاب شدن با درصدهای وزنی مختلف با سیمان پرتلند مخلوط شده و سیمانهای پوزولانی متعدد تهیه خواهد شد. در این تحقیق ابتدا زمان گیرش سیمانهای پوزولانی تهیه شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با استفاده از این سیمانهای پوزولانی نمونه های مختلف ملات ماسه سیمان برای ارزیابی مقاومت فشاری و خمشی ساخته خواهد شد. و در ادامه به بررسی و مقایسه خواص مکانیکی و دوام ملاتهای پایه سیمانی ساخته شده از آنها پرداخته شده است. درصد جذب آب و دوام نمونه های مختلف نیز، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در این تحقیق، از نشریه ۴۷۹ روش ملی طرح مخلوط بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، استفاده شده است.

### ۳-۱. برنامه آزمایشگاهی:

سیمان مصرفی در این طرح سیمان تیپ ۲ شرکت سیمان بناب، آب مصرفی (آب شرب شهر بناب)، شن و ماسه از معدن محلی (شن و ماسه بناب) تهیه و با حداکثر ساین سنگدانه به ترتیب ۲۵ و ۴۰۷۵ میلیمتر در بتن استفاده شدند.

ضایعات مصرفی تولید کارخانه ذوب آهن و نیروگاه حرارتی شهرستان بناب سرباره و پودر پسماند کوره می باشد که دانه بندی ذرات آن، مطابق شکل زیر می باشد. در این تحقیق، سرباره و پودر پسماند حاصل با سیمان پرتلند نوع دو و نسبت آب به سیمان ۰.۵ (براساس نسبت آب به سیمان جداول طرح اختلاط پیوست) مخلوط شده، و ابتدا ۵ دقیقه مخلوط دستی و

سپس ۱۰ دقیقه با میکسر انجام می شود و در نهایت خمیری به دست می آید که با گذشت زمان به تدریج سخت تر شده و ویسکوزیته آن افزایش می یابد. در نهایت، بتن پوزلانی جدید تولید می شود و اثرات دوام و مقاومت فشاری و خمشی بتن جدید تولید شده با بتن پوزلانی معمولی مقایسه و مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق، نسبت های متفاوت سرباره و پودر پسماند با سیمان پرتلند و یا با ماسه فولر و یا به صورت خالص، ترکیب و بتن پوزلانی جدیدی با طرح اختلاط های متنوع بدست آمد. بر روی این طرح ها در حالت تازه آزمایش اسلامپ و در حالت سخت شده در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه آزمایش مقاومت فشاری و خمشی انجام گرفت و نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته مورد بررسی قرار گرفت. باید این نکته را نیز در نظر داشت که در این تحقیق عیار مواد سیمانی یکسان در نظر گرفته شده است و با جایگزینی پودرهای میکروسیلیس و خاکستر بادی به جای سیمان، به مقدار زیادی از مصرف سیمان کاسته شده و به جای سیمان کاسته شده مواد افزودنی جایگزین سیمان شده اند.



شکل ۱-۳: دانه بندی ماسه سرباره ای

## ۲-۳. طرح اختلاط:

طرح اختلاط طبق آیین نامه آمریکا ACI ۲۱۱ و شرایط مصالح SSD در نظر گرفته شده است. طرحهای این پژوهش در دو بخش بتن های معمولی در محیط آب نرمال و بتن های دارای منابع پوزولانی پودر سرباره و پودر پسماند کوره کارخانجات شهرستان بناب، تقسیم شده اند. بخش بتن معمولی که تحت عنوان نمونه بتنی شاهد می باشد، از شن و ماسه استاندارد و بدون جایگزینی مواد پوزولانی پودر سرباره به جای سیمان ساخته شده و در معرض آب معمولی، قرار داده شدند. در این طرح نسبت آب به سیمان ۰.۵ (براساس نسبت آب به سیمان جداول طرح اختلاط پیوست) در نظر گرفته شد. ماسه

مورد استفاده، ماسه اسلاگ طرح سبک می باشد و نسبت سیمان به ماسه ۱:۳ در نظر گرفته شد. در بخش دوم منابع پوزولانی پودر سرباره و پودر پسماند کوره کارخانجات شهرستان بناب، با درصدهای متفاوتی جایگزین سیمان شدند که در مجموع ۲۰ طرح فقط برای بتن های طرح ها ساخته شد که برای آزمون مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه آزمایش شدند. در نهایت، نمونه آزمایشگاهی در ابعاد مکعبی ۵×۵×۵ و نمونه منشوری ساخته شدند و یک نمونه هم که به عنوان نمونه شاهد از محیط نرمال در سنین مذکور ساخته و نگهداری شد که بنا به اهداف این تحقیق، نتایج مقاومت فشاری بدست آمده از آزمایشات، با نتایج مقاومت فشاری نمونه شاهد مقایسه و مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

به دلیل اینکه دانه های مصرفی به صورت خشک بودند، تأثیر جذب آب دانه ها در مقدار آب نیز در نظر گرفته شده و اصلاحات لازم که در ادامه ذکر می گردد در مقدار آب صورت گرفت. قبل از استفاده ی سنگدانه ها در ساخت بتن آنها را سه روز در هوای آزاد و البته زیر سایه بان به منظور جلوگیری از مرطوب شدن قرار داده و پس از آن برای هر سری ساخت وزن کرده و در کیسه قرار داده ایم. از آنجایی که در نسبت آب به سیمان لحاظ شده در طرح اختلاط شرایط مصالح SSD در نظر گرفته می شود، اما مصالح مصرفی ما که به طریق فوق الذکر جمع آوری می گردد شرایط SSD بودن مصالح را ارضا نمی کند. بنابراین میزان جذب آب سنگدانه ها و نیز رطوبت آنها محاسبه کرده و مقدار تفاضل جذب از رطوبت را به میزان آبی که از نسبت آب به سیمان به دست می آید، اضافه شده تا بدین صورت شرایط مصالح به حالت SSD نزدیک شود. ترتیب اختلاط مصالح برای ساخت بتن ها این گونه بوده که ابتدا قبل از مخلوط کردن مواد در مخلوط کن، با اضافه کردن آب درون میکسر، اجازه داده شد تا میکسر چند ثانیه ای همراه با آب بچرخد تا علاوه بر کاهش اصطکاک مواد با بدنه میکسر، چسبندگی مصالح با سطح میکسر کاهش پیدا کرده که با توجه به حجم محدود بتن باعث جلوگیری از جداسازی مصالح می گردد. سپس سنگدانه های خشک با قسمتی از آب اختلاط (در حدود نصف آب اختلاط) به اضافه آب معادل جذب آب مصالح مخلوط شده سپس مواد سیمانی که شامل سیمان و افزودنی های سیمانی می باشد به مخلوط اضافه شده و پس از آن باقیمانده آب به مخلوط اضافه گردید. آزمایش میز روانی یا اسلامپ بلافاصله پس از این مرحله برای هریک از طرح های اختلاط انجام گرفت. پس از اختلاط مصالح با یکدیگر و پس از اطمینان از نتایج مناسب ملات و بتن تازه و همچنین عدم مشاهده آب انداختگی و جداسازی، نمونه های منشوری و به همراه نمونه های مکعبی به ابعاد ۵سانتیمتر از ملات ساخته شده، تهیه شده است. بتن را به داخل قالب هایی که از قبل آماده و روغن کاری شده بودند، ریخته و و پس از تراکم مناسب (توسط میز لرزان) و صاف کردن سطح آن با کاردک، به اتاق با شرایط استاندارد منتقل شدند. نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت جهت سخت شدن در محیط آزمایشگاه قرار داده و پس از ۲۴ ساعت نمونه ها را از قالب خارج کرده و در حوضچه آب نگهداری می کنند. مشخصات طرح اختلاط های ساخته شده در جداول ۸-۳ درج گردید. در جداول مقدار مصرف پوزولان ها برحسب درصد وزنی، نوشته شده است. هدف تعیین بررسی تاثیر پوزولان ها بر خواص بتن است.

جدول ۱-۳: جدول طرح اختلاط نمونه های بتن

| وزن مواد مصرفی نمونه مکعبی (W/C=0.55 و عیار ۳۰۰) |      |                    |         |                | باحتساب<br>ضریب پرت ۱.۰۵ |
|--------------------------------------------------|------|--------------------|---------|----------------|--------------------------|
| وزن سیمان                                        | ۳۰۰  | kg/cm <sup>2</sup> | 112.5   | سه نمونه مکعبی | ۱۱۸.۱۲۵                  |
| وزن آب                                           | ۱۶۵  | kg/cm <sup>2</sup> | 61.875  | سه نمونه مکعبی | ۶۴.۹۶                    |
| وزن ماسه سرباره                                  | ۲۰۳۵ | kg/cm <sup>2</sup> | 763.125 | سه نمونه مکعبی | ۸۰۱.۲۸                   |
| وزن کل                                           | ۲۵۰۰ | kg/cm <sup>2</sup> | 937.5   | سه نمونه مکعبی |                          |

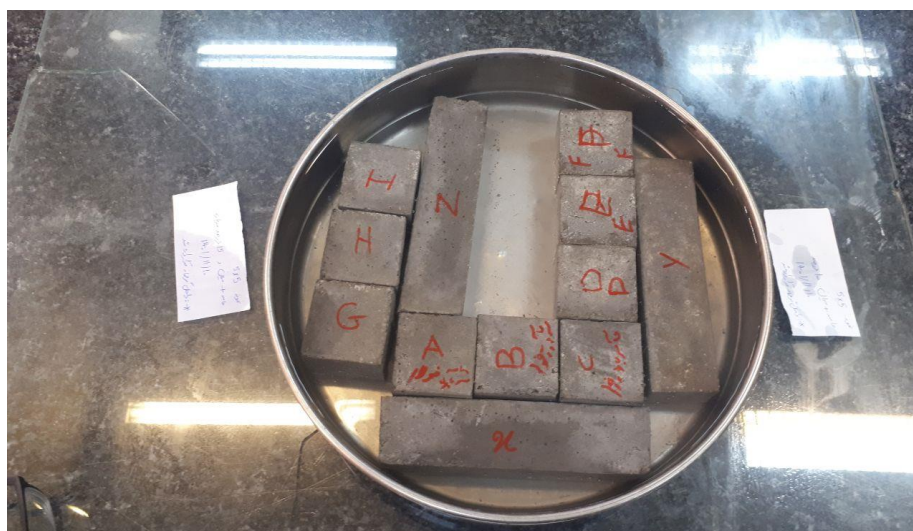


جدول ۲-۳: جدول طرح اختلاط نمونه های بتن

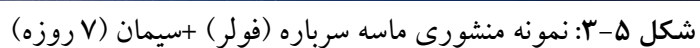
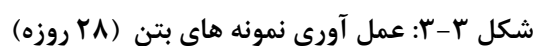
| وزن مواد مصرفی نمونه منشوری (W/C=0.55 و عیار ۳۰۰) |      |                    |         |                | با احتساب<br>ضریب پرت ۱.۰۵ |
|---------------------------------------------------|------|--------------------|---------|----------------|----------------------------|
| وزن سیمان                                         | ۳۰۰  | kg/cm <sup>2</sup> | ۲۳۰.۴   | نمونه منشوری g | ۲۴۱.۹۲                     |
| وزن آب                                            | ۱۶۵  | kg/cm <sup>2</sup> | ۱۲۶.۷۲  | نمونه منشوری g | ۱۳۳.۰۵۶                    |
| وزن ماسه سرباره                                   | ۲۰۳۵ | kg/cm <sup>2</sup> | ۱۵۶۲.۸۸ | نمونه منشوری g | ۱۶۴۱.۰۲۴                   |
| وزن کل                                            | ۲۵۰۰ | kg/cm <sup>2</sup> | ۱۹۲۰    | نمونه منشوری g |                            |

### ۳-۳. آزمایش مقاومت فشاری :

بر اساس استاندارد BS ۱۸۸۱ انجام شد. آزمایش های مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد ۵۰ میلی متر و نمونه های منشوری، انجام شده است. ابتدا سَمپل هایی از نمونه مکعبی و منشوری، جهت بررسی اختلاف مقاومت های فشاری در نحوه قرارگیری مکعب ها در دستگاه فشاری صورت گرفت تا در صورت محسوس نبودن نتایج، برای سهولت کار از عمل کپینگ صرف نظر گردد. که با اختلاف  $\pm 1\%$  درصد در نتایج مقاومت فشاری، نحوه قرارگیری نمونه ها به صورت دو سطح مقابل که در موقع بتن ریزی مجاور قالب بودند، در تماس با رکاب های فوقانی و تحتانی دستگاه باشند، انتخاب گردید که با قرارگیری مکعب ها تنش فشاری مکعبی حاصل نیز با تقسیم این نیرو بر سطح مقطع نمونه بدست می آید. مقاومت فشاری بتن به مقاومتی گفته می شود که نمونه های استاندارد بتنی (استوانه ای و مکعبی) تحت آزمایش فشار تک محوری تا وقوع شکست از خود نشان می دهند. مقاومت فشاری معیار مهمی جهت تعیین عملکرد بتن می باشد. برای تعیین مقاومت فشاری، نمونه های بتنی را بعد از ۷ روز از داخل مخزن خارج نموده و بر روی نمونه های بتنی هر گروه اختلاط، آزمایشهای مربوط به مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز، به وسیله ی جک هیدرولیکی با بارگذاری سرعت 6/8 کیلو نیوتن بر ثانیه انجام شد.



شکل ۲-۳: عمل آوری نمونه های بتن (۲۸ روزه)







شکل ۶-۳: نمونه شماره دو مکعبی ماسه سرباره (فولر) +سیمان (۷ روزه)



شکل ۷-۳: نمونه شماره دو مکعبی ماسه سرباره (فولر) +سیمان (۲۸ روزه)

## ۴- نتایج به دست آمده:

## ۴-۱- نتایج بدست آمده با استفاده از آزمایشهای مقاومت فشاری نمونه های ملات ماسه سیمان

ساخته شده با استفاده از ماسه رودخانه ای، ماسه سرباره ای و ماسه ترکیبی

مقاومت فشاری آزمون مقاومت فشاری و خمشی به عنوان شاخص خواص مکانیکی ملاتها بر روی نمونه های مکعبی با ابعاد ۵\*۵\*۵ سانتی متر و منشوری با ابعاد ۱۶\*۴\*۴ سانتی متری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز انجام گرفته است. نتایج مقاومت فشاری و خمشی نمونه های ساخته شده با ملات ماسه سرباره-سیمان با ماسه سرباره ای با دانه بندی فولر در جدول ۱-۴ ارائه شده است. در جدول ۲-۴ نیز مقاومت فشاری و خمشی نمونه های ساخته شده با ملات ماسه سیمان با ماسه رودخانه ای ارائه شده است. در جداول ۳-۴ الی ۵-۳ نیز مقاومت فشاری نمونه های ملات ماسه سیمان ساخته شده با ماسه ترکیبی (ترکیب ماسه رودخانه ای و سرباره ای) ارائه شده است.

جدول ۴-۱ نتایج مقاومت فشاری و خمشی نمونه های ساخته شده با ملات ماسه سرباره-سیمان با ۱۰۰٪ ماسه سرباره ای با دانه بندی فولر

| ردیف |   |      | وزن {kg} | سن (روز) | مقاومت فشاری                                           | نتایج مربوط<br>به قرائت |
|------|---|------|----------|----------|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| ۱    | A | فولر | ۵*۵*۵    | ۷        | $T=230 \text{ kg/cm}^2$ & $F=5763 \text{ kg}$          | ----                    |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۷        | $T=174 \text{ kg/cm}^2$ & $F=4363 \text{ kg}$          | ----                    |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۷        | $T=204 \text{ kg/cm}^2$ & $F=5108 \text{ kg}$          | ----                    |
| ۲    | B | فولر | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T= \text{ } \text{kg/cm}^2$ & $F= \text{ } \text{kg}$ | ----                    |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T=369 \text{ kg/cm}^2$ & $F=9225 \text{ kg}$          | ----                    |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T= \text{ } \text{kg/cm}^2$ & $F= \text{ } \text{kg}$ | ----                    |
| ۳    | C | فولر | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T= 32 \text{ kg/cm}^2$ & $F= \text{ } \text{kg}$      |                         |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T= 34 \text{ kg/cm}^2$ & $F= \text{ } \text{kg}$      |                         |
|      |   |      | ۵*۵*۵    | ۲۸       | $T= 25 \text{ kg/cm}^2$ & $F= \text{ } \text{kg}$      |                         |
| ۴    | X | فولر | ۴*۴*۱۶.۴ | ۷        | ----                                                   | ۳۸.۲                    |
|      |   |      | ۴*۴*۱۶.۴ | ۲۸       | ----                                                   | ۵۰.۳۴                   |



جدول ۲-۴: نتایج مقاومت فشاری نمونه های ملات ماسه سیمان با ۱۰۰٪ ماسه رودخانه‌ای

| ردیف | نام نمونه | نوع نمونه | ابعاد    | سن (روز) | مقاومت فشاری                        | نتایج مربوط به قرائت |
|------|-----------|-----------|----------|----------|-------------------------------------|----------------------|
|      | D         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=36kg/cm <sup>2</sup> & F=907 kg   | ----                 |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=98 kg/cm <sup>2</sup> & F=2464kg  | ----                 |
|      | E         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=38kg/cm <sup>2</sup> & F=910 kg   | ----                 |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=151 kg/cm <sup>2</sup> & F=3787kg | ----                 |
| ۳    | F         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=40kg/cm <sup>2</sup> & F=920 kg   |                      |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=334kg/cm <sup>2</sup> & F=8355kg  |                      |
|      | Y         |           | ۴*۴*۱۶.۴ | ۷        | ---                                 | ۳۸                   |
|      |           |           | ۴*۴*۱۶.۴ | ۲۸       | ---                                 | ۳۱.۳                 |

جدول ۳-۴: نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن سیمان + ماسه + ۱۵٪ سرباره

| ردیف | نام نمونه | نوع نمونه | ابعاد    | سن (روز) | مقاومت فشاری                       | نتایج مربوط به قرائت مقاومت |
|------|-----------|-----------|----------|----------|------------------------------------|-----------------------------|
|      | G         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=38kg/cm <sup>2</sup> & F=kg      | ----                        |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=171kg/cm <sup>2</sup> & F=4289kg | ----                        |
|      | H         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=35kg/cm <sup>2</sup> & F=kg      | ----                        |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=128kg/cm <sup>2</sup> & F=3200kg | ----                        |
| ۳    | I         |           | ۵*۵*۵    | ۷        | T=34kg/cm <sup>2</sup> & F=kg      |                             |
|      |           |           | ۵*۵*۵    | ۲۸       | T=107kg/cm <sup>2</sup> & F=2697kg |                             |
|      | Z         |           | ۴*۴*۱۶.۴ | ۷        | ----                               | ۳۹                          |
|      |           |           | ۴*۴*۱۶.۴ | ۲۸       | ----                               | ۴۲.۸                        |

جدول ۴-۴: نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن سیمان + ۳۰٪ ماسه سرباره

| سری آزمایش | نوع نمونه | ابعاد | سن (روز) | مقاومت فشاری                     | نتایج مربوط به قرائت مقاومت |
|------------|-----------|-------|----------|----------------------------------|-----------------------------|
| A          |           | ۵*۵*۵ | ۷        | T=92kg/cm <sup>2</sup> &F=1155kg | ----                        |
|            |           | ۵*۵*۵ | ۲۸       | T=240kg/cm <sup>2</sup> &F=kg    | ----                        |

جدول ۴-۵: نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن سیمان + ۴۰٪ ماسه سرباره

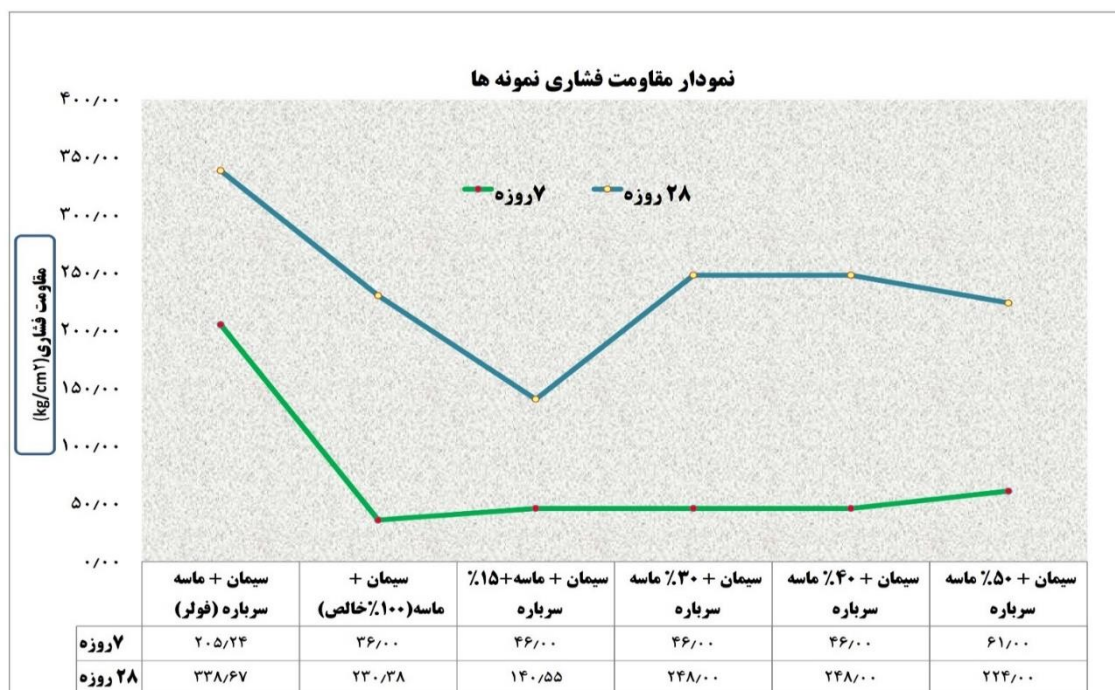
| سری آزمایش | نوع نمونه | ابعاد | سن (روز) | مقاومت فشاری                      | نتایج مربوط به قرائت مقاومت |
|------------|-----------|-------|----------|-----------------------------------|-----------------------------|
| B          |           | ۵*۵*۵ | ۷        | T=46kg/cm <sup>2</sup> &F=1174kg  | ----                        |
|            |           | ۵*۵*۵ | ۲۸       | T=248kg/cm <sup>2</sup> &F=6201kg |                             |
|            |           | ۵*۵*۵ | ۲۸       | T=250kg/cm <sup>2</sup> &F=6201kg | ----                        |

جدول ۴-۶: نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتن سیمان + ۵۰٪ ماسه سرباره

| سری آزمایش | نوع نمونه | ابعاد | سن (روز) | مقاومت فشاری                      | نتایج مربوط به قرائت مقاومت |
|------------|-----------|-------|----------|-----------------------------------|-----------------------------|
| C          |           | ۵*۵*۵ | ۷        | T=61kg/cm <sup>2</sup> &F=1536kg  | ----                        |
|            |           | ۵*۵*۵ | ۲۸       | T=224kg/cm <sup>2</sup> &F=5600kg |                             |
|            |           | ۵*۵*۵ | ۲۸       | T=226kg/cm <sup>2</sup> &F=5620kg | ----                        |

خلاصه نتایج مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه های ملات ماسه سیمان ساخته شده با استفاده از ماسه سرباره ای، ماسه رودخانه ای و ماسه ترکیبی سرباره ای رودخانه ای با نسبت های ۱۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ در شکل ۱-۴ ارائه شده است. طبق نمودار، در صورت استفاده از ماسه سرباره ای با دانه بندی فولر مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه ها طبق طرح اختلاط ارائه شده در فصل قبل، به ترتیب ۲۰۵ و ۳۳۸ کیلوگرم بر سانتی متر مربع حاصل شد. این در حالی است که مقاومت

فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای ۳۶ و ۲۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست آمد. همچنین مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده با ماسه ترکیبی در سن ۷ روزه در حد مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای بود، لیکن مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده با ماسه ترکیبی مقاومت فشاری بالاتری داشتند. دستاورد اصلی این تحقیق مربوط به نوع دانه‌بندی ماسه سرباره‌ای می‌باشد که تا کنون در این خصوص مطالعه‌ای انجام نگرفته بود و در حین آزمایش‌های اولیه با انجام آزمایش دانه‌بندی روی نمونه‌های شکسته‌شده سرباره در سنگ‌شکن فکی مشخص شد که دانه‌بندی مصالح شکسته شده تطابق مناسبی با منحنی دانه‌بندی فولر دارد. این در حالی است که نمونه‌های ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای با دانه‌بندی غیرفولر دارای مقاومت مکانیکی کمتری بودند. دستاورد اصلی این تحقیق مربوط به امکان استفاده از شکستن سرباره توسط سنگ‌شکن فکی برای تهیه مصالح با دانه‌بندی فولر است. این در حالی است که برای اصلاح دانه‌بندی ماسه رودخانه‌ای و تنظیم آن به دانه‌بندی فولر نیاز به صرف انرژی هزینه قابل توجهی وجود دارد که در پایان‌نامه‌های بعدی تعریف شده در دانشگاه بناب در حال تحقیق است. در ماسه‌های ترکیبی ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای با ماسه فولر نیز در صورت استفاده از ۱۵٪ ماسه سرباره، نتایج قابل توجهی در خصوص افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌های شاهد (ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای) دیده نمی‌شود. در ماسه‌های ترکیبی ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای با ماسه فولر نیز در صورت استفاده از ۳۰ تا ۵۰٪ ماسه سرباره، افزایش مقاومت نسبتی نسبت به نمونه‌های شاهد (ساخته‌شده با ماسه رودخانه‌ای) رویت می‌شود. مطابق شکل ۴-۱، نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها ارائه شده است.



نمودار ۴-۱: نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها

## ۴-۲- نتایج بدست آمده با استفاده از آزمایشهای مقاومت فشاری نمونه های ملات ماسه سیمان

### ساخته شده با استفاده از پودر سرباره به عنوان افزودنی پوزولانی

با استفاده از سرباره آسیاب شده و عبوری از الک نمره ۲۰۰ (ریزتر از ۰.۰۷۵ میلیمتر)، پودر ریزدانه ای تهیه شد که با افزودن درصد های مختلف از آن به سیمان پرتلند، سیمان های آمیخته مختلف تهیه شد و به عنوان سیمان در ساخت نمونه های ملات ماسه سیمان مختلف مورد استفاده قرار گرفت که در همه موارد منجر به کاهش قابل توجه مقاومت فشاری و خمشی شد. به دلیل نتایج بسیار پایین مقاومت فشاری در مقایسه با نمونه های شاهد و عدم امکان ترسیم نمودارهای منطقی، نمودارهای مربوطه در این فصل ارائه نشد. علت چنین کاهش، کریستالی بودن و غیر پوزولانی بودن سرباره های تهیه شده است که به دلیل سرد شدن آهسته در محل کارخانه ذوب شهرستان بناب، حالت کریستالی داشته و آمورف نبوده و لذا به عنوان پوزولان برای ساخت سیمان پوزولانی و تولید سیمان آمیخته پرتلند پوزولانی توصیه نمی شود. البته با استفاده از کلسینه نمودن پودر مذکور امکان تولید مصالح سیمانی پوزولانی برای تولید سیمان پرتلند پوزولانی وجود دارد که در تحقیق حاضر به دلیل در دسترس نبودن کوره با حجم بالا برای کلسینه نمودن پودر سرباره در حجم بالا مورد بررسی قرار نگرفت و در پایان نامه های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۵- نتیجه گیری:

با مطالعه بر روی تحقیقات گذشته مشاهده شد که پژوهشی بر روی پسماند سرباره کارخانه ای کارخانجات فولاد شهرستان بناب، انجام نشده است. نوآوری این تحقیق استفاده از ماسه و پودر سرباره حاصل از کوره این کارخانجات می باشد که در تولید ملات ماسه سیمان مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق پودر سرباره به سیمان پرتلند افزوده شده و بعد از تولید سیمان آمیخته پرتلند، مشخص شد که مقاومت مکانیکی (مقاومت فشاری و خمشی) ملات ماسه سیمان ساخته شده با استفاده از سیمان آمیخته ای سرباره ای به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. علت این کاهش آمورف نبودن و کریستالی بودن سرباره مذکور است که پس از خروج از کوره در کارخانه به صورت آهسته سرد شده است. پودر سرباره مذکور خاصیت پوزولانی نداشته و در صورت استفاده برای تولید سیمان آمیخته، به دلیل کاهش مقدار سیمان مصرفی در ملات ماسه سیمان در مقایسه با نمونه های شاهد، منجر به کاهش مقاومت فشاری می شود. اما در ادامه، با استفاده از سرباره به عنوان ماسه در تولید ماسه سیمان نتایج قابل توجهی حاصل شد. بعد از خرد نمودن سرباره در سنگ شکن فکی، ماسه ای ارزان قیمت با دانه بندی فولر تولید شد که منجر به افزایش مقاومت مکانیکی قابل توجه نمونه های ساخته شده با آن در مقایسه با نمونه شاهد ساخته شده با استفاده از ماسه رودخانه ای (با دانه بندی غیر فولر) شد.

## ۵-۱- پیشنهادات برای مطالعات آتی:

- ۱- امکان سنجی کلسینه نمودن پودر سرباره برای آمورف نمودن آن به منظور تولید سیمان پرتلند آمیخته و استفاده از آن برای ساخت فرآورده های سیمانی و ارزیابی اقتصادی بودن آن
- ۲- امکان سنجی کلسینه نمودن پودر سرباره برای آمورف نمودن آن به منظور تولید سیمان ژئوپلیمری برای ساخت فرآورده های ژئوپلیمری با مقاومت مکانیکی بالا و دوام مطلوب و ارزیابی اقتصادی بودن آن



۳- امکان سنجی اصلاح دانه بندی ماسه رودخانه ای برای تولید ماسه با دانه بندی فولر برای افزایش مقاومت مکانیکی و بهبود دوام (بخشی از مطالعات این پیشنهاد در فعل حاضر توسط یکی از دانشجویان کارشناسی ارشد در حال انجام است).

### ۱۲. مراجع :

۱. رمضانپور، علی اکبر. کاظمیان، مازیار. صدیقی، سعید، " بررسی و مقایسه خواص مکانیکی و دوام ملاتهای سیمانی حاوی پوزولانهای طبیعی و مصنوعی"، ۱۳۹۷، سومین کنفرانس بین المللی و هفتمین کنفرانس ملی
۲. کاظمی بجد، موسوی، قادری (۱۴۰۰)، « بررسی تأثیر پوزولان پومیس و متاکائولین بر روی دوام بتن بازیافتی و خوردگی میلگردهای آن »،
۳. اسپرهم، علیرضا . مرادی خو، امیربهادر (۱۴۰۰)، « فاکتورهای تاثیرگذار بر مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری بر پایه خاکستر بادی »
۴. مومنی، کامیل. صحاوی، سید امیرعلی. نقدی، کامیاب (۱۴۰۰)، « نگاه مروری بر خواص و ویژگی های بتن ژئوپلیمری با مواد پایه مختلف»
۵. پاچیده، قاسم. قلهکی، مجید. مشتاق، امین (۱۳۹۹)، « مطالعه آزمایشگاهی خواص مکانیکی و ریزساختار ملات سیمانی حاوی پودر میکروسیلیس و سرباره کوره آهنگدازی در شرایط پس از دماهای بالا ، تهران.
۶. نادری، محمود. کبودان، علیرضا. کشتکار، محمدرضا، ۱۳۹۹، " مطالعه نفوذپذیری و مقاومت بتن های حاوی دوده سیلیسی، ژئولیت و خاکستر بادی با استفاده از روش محفظه استوانه ای و استاندارد بریتانیا "
۷. رنجبر، ملک محمد ،مدندوست. رحمت، یوسفی. سامان، موسوی. سید یاسین، " بررسی خواص بتن سخت شده خود متراکم حاوی متاکائولن"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن خرداد ۱۳۹۱.
۸. رستمی، وحید و کیارش لطفی، ۱۳۹۰، بررسی تأثیر ضایعات پودر شیشه با دانه بندی مختلف بر مقاومت بتن، سومین همایش ملی عمران شهری، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج.
۹. مستوفی نژاد، داود و سیدبهراد طلائی طب، ۱۳۸۴، بررسی تأثیر ریزدانه های شیشه ای و پودر شیشه در دوام بتن با مقاومت بالا ، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

10. Forty, A., (2013), Concrete and culture: a material history. Reaktion Books.

11. Poon, C.S. Lam, L., Kou, S.C. Wong, Y.L. and Wong, R., (2001), "Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high performance cement pastes," Cement and Concrete Research.

12. Khan, M., & Ali, M, (2019), Improvement in concrete behavior with fly ash, silica-fume and coconut fibres. Construction and Building Materials.

13. Xie, J., Li, J., Lu, Z., Li, Z., Fang, C., Huang, L., & Li, L, (2019), Combination effects of rubber and silica fume on the fracture behavior of steel-fibre recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials.
14. Pedro, D., De Brito, J., & Evangelista, L, (2018), Durability performance of high-performance concrete made with recycled aggregates, fly ash and densified silica fume. Cement and Concrete Composites.
15. Hooi LS, Min PJ. Potential of substituting waste glass in aerated light weight concrete. Procedia engineering. 2017.
16. Xu S, Xie N, Cheng X, Huang S, Feng L, Hou P, Zhu Y, 2018, Environmental resistance of cement concrete modified with low dosage nano particles. Construction and Building Materials.
17. Aydın AC, Nasl VJ, Kotan T, 2018, The synergic influence of nano-silica and carbon nano tube on self-compacting concrete. Journal of Building Engineering.
18. Ismael R, Silva JV, Carmo RN, Soldado E, Lourenço C, Costa H, Júlio E, 2016, Influence of nano-SiO<sub>2</sub> and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additions on steel-to-concrete bonding. Construction and Building Materials.
19. Qin Y, Zhang X, Chai J, Xu Z, Li S, 2019, Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete. Construction and Building Materials.
20. Badogiannis EG, Christidis KI, Tzanetatos GE, 2019, Evaluation of the mechanical behavior of pumice lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers. Construction and Building Materials.
21. Badogiannis EG, Christidis KI, Tzanetatos GE, 2019, Evaluation of the mechanical behavior of pumice lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers. Construction and Building Materials.
22. de Alencar Monteiro VM, Lima LR, de Andrade Silva F, 2018, On the mechanical behavior of polypropylene, steel and hybrid fiber reinforced self-consolidating concrete. Construction and Building Materials.
23. Wang D, Ju Y, Shen H, Xu L, 2019, Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber. Construction and Building Materials.
24. Akand L, Yang M, Wang X, 2018, Effectiveness of chemical treatment on polypropylene fibers as reinforcement in pervious concrete. Construction and Building Materials.
25. Ramdani S, Guettala A, Benmalek ML, Aguiar JB, 2019, Physical and mechanical performance of concrete made with waste rubber aggregate, glass powder and silica sand powder. Journal of Building Engineering.
26. Omran AF, Etienne D, Harbec D, Tagnit-Hamou, 2017, A Long-term performance of glass-powder concrete in large-scale field applications. Construction and Building Materials.

27. Hendi A, Mostofinejad D, Sedaghatdoost A, Zohrabi M, Naeimi N, Tavakolinia A, 2019, Mix design of the green self-consolidating concrete: Incorporating the waste glass powder. Construction and Building Materials.
28. He ZH, Zhan PM, Du SG, Liu BJ, Yuan WB, 2018, Creep behavior of concrete containing glass powder. Composites Part B: Engineering.
29. Omran A, Tagnit-Hamou A, 2016, Performance of glass-powder concrete in field applications. Construction and Building Materials.
30. Samimi, K., Mahdikhani, M. and Moodi, F., 2018. Influence of metakaolin and various cements types on compressive strength and transport properties of self-consolidating concrete. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil and Environmental Engineering, 5(3).
31. Okoye, F.N., Durgaprasad, J. and Singh, N.B., 2016. Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete.
32. Saghi, Hassan and Abdolrahim Mehrdadi, 2015, Geopolymer Cement and its Application in Concrete, Fourth National Conference on New Materials and Structures in Civil Engineering, Yasuj, Yasuj University In Persian.
33. Bandar, Daly; Nemat Hassani and Mohammad Mehdi Khodaparast, 1390, Jupolymer concrete and its applications, the first international conference on Natrava concretes, drinking water storage tanks, Rasht, Golestan Urban Water and Sewerage Company In Persian.
34. Redaei, Mohammad Mehdi and Mehdi Mehdikhani, 2016, Effect (CFRP) on Compressive Strength Characteristics of Lightweight Geopolymer Concrete with Economic Approach, 2nd International Conference on New Research Findings in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, Tehran, Confederation International Inventors of the World (IFIA), Comprehensive University of Applied Sciences In Persian.
35. Razmi, Khadijeh; Bahram Rezaei and Abdollah Sadri, 2011, The use of geopolymer concretes instead of Portland concretes in construction projects, the first international conference on Natrava concretes, drinking water storage tanks, Rasht, Golestan Urban Water and Sewerage Company In Persian
36. Redaei, Mohammad Mehdi and Mehdi Mehdikhani, 2016, Comparison of the effect of lightweight aggregate on the compressive strength properties of geopolymer concrete and ordinary concrete according to economic evaluation, International Conference on Civil Engineering, Tehran, Permanent Secretariat of the Conference In Persian.
37. Mahdi DarvishNezhad Aliabad, Yusef Zandi, Zahra DarvishNezhad Aliabad, 2019, Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Made with Metakaolin Scrap, Melting Iron Slag and Copper Smelting Slag.
38. Madani, Seyed Hesam, Pourjahanshahi, Amin, 1397, Investigation of pozzolanic properties of different materials and their effect on the properties of super-capable concrete. Journal of Civil Engineering Amirkabir.

39. Ramezaniapour, Ali Akbar, Zolfagharansab, Arash, Bahmanzadeh, Farnaz, Ramezaniapour, Amir Mohammad, 1397, Evaluation of performance of reinforced concrete containing pozzolan against sulfuric acid attack. Journal of Civil Engineering Amirkabir.
40. Navid Ranjbar, Mohammad Mehrali, Mahmoud R. Maheri, Mehdi Mehrali, Hot-pressed geopolymers, 2017, Cement and Concrete Research.
41. M. Babaei, A. Castel, Chloride, 2016, induced corrosion of reinforcement in low-calcium fly ash-based geopolymer concrete, Cement and Concrete Research.
42. Arnaud Castel, Stephen J. Foster, 2015, Bond strength between blended slag and Class F fly ash geopolymer concrete with steel reinforcement, Cement and Concrete Research.
43. Xiao Xue, Yun-Lin Liu, Jian-Guo Dai, Chi-Sun Poona, Wei-Dong Zhang, Peng Zhang, 2018, Inhibiting efflorescence formation on fly ash-based geopolymer via silane surface modification, Cement and Concrete Composites.
44. Raphaëlle Pouhet, Martin Cyr, 2016, Carbonation in the pore solution of metakaolin-based geopolymer, Cement and Concrete Research.
45. Ali Akbar Maghsoudi, Mostafa Anjum Shoa, 2018, The effect of cement addition on the compressive strength of pozzolanic geopolymer.