

دانشکده عمران، معماري و شهرسازي

بررسی تأثیر ملاس چغندرقند بر روی خواص مکانیکی بتن‌های حاوی سیمان ضدسولفات

رضا سلیمانی

مهر ماه 1397



دانشکده عمران، معماري و شهرسازي

بررسی تأثیر ملاس چغندرقند بر روی خواص مکانیکی بتن‌های حاوی سیمان ضدسولفات

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران

گرایش مهندسی و مدیریت ساخت

رضا سلیمانی

استاد راهنما

پروفسور حسن حاجی‌کاظمی

مهر ماه 1397



تأييديه‌ي هيأت داوران جلسه‌ي دفاع از پايان‌نامه

|  |  |
| --- | --- |
| نام و نام خانوادگی دانشجو: رضا سلیمانی | شماره دانشجویی: 95726128 |
| گرایش: مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت ساخت | تاریخ دفاع: 10/07/1397 |
| عنوان پایان نامه: بررسی تأثیر ملاس چغندرقند بر روی خواص مکانیکی بتن‌های حاوی سیمان ضدسولفات |

|  |
| --- |
| **هیأت داوران** |
| سمت | نام و نام خانوادگی | نام دانشگاه | امضاء |
| استاد راهنما | پروفسور حسن حاجی‌کاظمی | دانشگاه صنعتی سجاد |  |
| استاد داور اول | دکتر ایمان شکیباپور | دانشگاه صنعتی سجاد |  |
| استاد داور دوم | مهندس سمر حاجی­کاظمی | دانشگاه صنعتی سجاد |  |
| نماینده تحصیلات تکمیلی | مهندس سمر حاجی­کاظمی | دانشگاه صنعتی سجاد |  |

تأييديه‌ي صحت و اصالت نتایج

اينجانب **رضا سلیمانی** به شماره دانشجويي 95726128 دانشجوي رشته مهندسی عمران گرايش **مهندسی و مدیریت ساخت** مقطع تحصيلي کارشناسی ارشد تأييد مي‌نمايم كه كليه‌ي نتايج اين پايان‌نامه حاصل كار اينجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداري‌شده از آثار ديگران را با ذكر كامل مشخصات منبع ذكر كرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخيص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاكم (قانون حمايت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تكثير كتب و نشريات و آثار صوتي، ضوابط و مقررات آموزشي، پژوهشي و انضباطي ...) با اينجانب رفتار خواهد­شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مكتسب و تشخيص و تعيين تخلف و مجازات را از خويش سلب مي‌نمايم. در ضمن، مسؤوليت هرگونه پاسخگويي به اشخاص اعم از حقيقي و حقوقي و مراجع ذي‌صلاح (اعم از اداري و قضايي) به عهده‌ي اينجانب خواهد بود و دانشگاه هيچ‌گونه مسؤوليتي در اين خصوص نخواهدداشت.

 **امضا و تاريخ **

چکيده

در سال­های اخیر راهكارهای جدیدی براي بهبود خواص رفتاری و مقاومتی بتن بخصوص زمان گیرش ارائه شده که یکی از این راهکارها استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی به بتن است. از سوی دیگر با توجه به فراواني ضایعاتی همچون ملاس چغندرقند که به­صورت دورریز و بدون استفاده در کارخانه‌های تولید شکر ، امکان بکارگیری این ماده بازیافتی در راستای بهبود خواص رفتاری بتن ضد‌سولفات وجود دارد که می‌تواند جنبه تحقیقی جدیدی را فراهم آورد. بر این اساس در پژوهش حاضر تلاش شده تا به بررسی تاثیر استفاده از ملاس چغندرقند به عنوان ماده افزودنی شیمیایی کنترل‌کننده زمان گیرش و بر خصوصیات رفتاری و مقاومتی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات پرداخته شود. به همین منظور با انجام مطالعات آزمایشگاهی و تهیه نمونه‌های بتنی مختلف حاوی سیمان ضد‌سولفات، تاثیر ملاس بر این نوع بتن ارزیابی شده است. نتایج آزمایش اسلامپ نشان می­دهد که با افزودن درصد ملاس چغندرقند، اسلامپ بتن ضد سولفات نسبت به بتن شاهد افزایش می‌یابد. همچنین زمان گیرش اولیه و نهایی بتن بر اساس نتایج آزمایش نشان می­دهد که با افزودن ملاس نسبت به بتن شاهد (بدون ملاس) تاحدودی افزایش می‌یابد و مقدار 2/0درصد از این نوع ماده افزودنی را می‌توان به عنوان مقدار بهینه جهت دستیابی به بیشترین زمان گیرش اولیه و نهایی در نظر گرفت. علاوه بر این براساس نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سنین مختلف 7، 28، 42 و 90 روزه بر نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات با طرح اختلاط‌های مختلف با افزودن ملاس با درصدهای وزنی متفاوت، این نتیجه حاصل شد که مقدار 2/0 درصد از ملاس را می­توان به عنوان مقدار بهینه در جهت دستیابی به بیشترین مقاومت فشاری و کششی در نظر گرفت. در نهایت نتایج حاصل از آزمون ذوب و یخ متوالی بر روی نمونه‌های بتنی نشان داد که با افزودن درصد ملاس، میزان جداشدگی بتن و افت وزن آزمونه بتن، به­طور پیوسته در حال کاهش بوده و می‌توان گفت که افزودن ملاس به عنوان ماده شیمیایی کندگیر‌کننده به بتن، باعث استحکام بیشتر بتن در مقایسه با بتن شاهد (بدون ملاس) می­شود.

**واژه‌هاي كليدي:** ملاس چغندرقند، درصد بهینه، خواص مکانیکی بتن، سیمان ضدسولفات

|  |
| --- |
| **فهرست مطالب** |
| **صفحه** | **عنوان** |

|  |  |
| --- | --- |
|  | چکیده  |
| الف | فهرست مطالب . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| ج | فهرست شکل­ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| د | فهرست جدول­ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فصل اول: کلیات تحقیق**  |
| 3 | ۱-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| 3 | ۱-۲ بیان مساله . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 5 | ۱-۳ اهمیت و ضرورت انجام تحقيق. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 5 | ۱-۴ نوآوری پژوهش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 6 | ۱-۵ اهداف تحقيق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 6 | ۱-۵-۱ اهداف علمی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 6 | ۱-۵-۲ اهداف كاربردي . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 7 | ۱-۶ سوالات تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 7 | [۱-۷ ساختار پایان‌نامه](#_Toc506280099) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فصل دوم: مبانی نظری و مروری بر تحقیقات** |
| 11 | ۲-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 11 | ۲-۲ بتن، مشخصات عوامل تشکیل دهنده و افزودنی ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 12 | ۲-2-۱ اجزای تشکیل‌دهنده بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 15 | ۲-۳ ساختار بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 16 | ۲-3-1 ساختار فاز سنگدانه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 16 | ۲-3-2 ساختار ناحیه انتقال . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 17 | ۲-3-3 ساختار فاز خمیر سیمان . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 20 | ۲-۴ سیمان پرتلند نوع ۵ (سیمان ضد‌سولفات) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 21 | ۲-۴-۱ عوامل تاثیرگذار بر سیمان ضد‌سولفات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 21 | ۲-۴-۲ واکنش سولفات‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 22 | ۲-۴-3 حمله سولفات‌ها به بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 23 | ۲-۵ افزودنی‌های کندگیر‌کننده یا کنترل‌کننده زمان گیرش در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 23 | 2-5-1 افزودنی‌‌های کُندگيرکننده بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 24 | 2-5-2 دسته بندي کُندگيرکننده‌های بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 25 | 2-5-3 مكانيزم عملكرد کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 25 | 2-5-4 تركيبات شيميايي و مواد تشكيل‌دهنده کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 26 | 2-5-5 كاربرد کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 27 | 2-5-6 تاثير كندگيرکننده بر ويژگی‌های بتن تازه و سخت‌شده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 28 | 2-5-7 تاثير مواد متشكله بتن بر عملكرد كندگيرکننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 28 | 2-5-8 تاثير عوامل محيطی و اجرايي . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 29 | 2-5-9 تاثیرات و رهنمودهای ناشی از مصرف کندگیر‌کننده‌ها در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 30 | 2-5-10 ارزيابي و انتخاب كندگيرکننده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 31 | 2-5-11 كنترل كيفيت افزودنی‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 31 | ۲-۶ ملاس و کاربرد آن در صنایع مختلف . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 32 | ۲-۶-۱ چگونگی تشکیل ملاس . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 32 | [۲-۶-۲](#_Toc506280111)  ترکیبات ملاس . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 34 | [۲-۶-3](#_Toc506280111)  کاربرد ملاس در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 36 | ۲-۷ مروری بر پیشینه تحقیقات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 44 | ۲-۸ جمع بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فصل سوم: روش تحقیق** |
| 47 | ۳-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-۲ روش‌شناسی تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-۱ نوع روش تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-2 روش گردآوري اطلاعات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-3 روش تجزیه و تحلیل اطلاعات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 48 | ۳-۳ مشخصات مصالح مصرفی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 48 | ۳-3-۱ مصالح سنگدانه‌ای . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 55 | ۳-3-2 طرح اختلاط . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 56 | ۳-2-3 آماده سازي نمونه‌‌ها و روند انجام آزمایش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴ آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های بتنی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴-۱ آزمون اسلامپ. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴-۲ آزمایش گيرش. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 59 | ۳-۴-۳ آزمایش مقاومت فشاری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 60 | ۳-۴-۴ آزمون مقاومت کششی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 61 | ۳-۴-5 آزمون مقاومت خمشی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 62 | ۳-۴-6 آزمون ذوب و یخبندان متوالی بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 66 | ۳-5 جمع‌بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فصل چهارم: جمع‎آوری داده‎ها** |
| 69 | ۱-۴ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 69 | ۲-۴ تحلیل داده‌ها و نتایج آزمایش‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 69 | ۱-2-۴ بررسی تاثیر اسلامپ بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 70 | 2-2-۴ نتایج آزمايش زمان گیرش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 73 | 3-2-۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 82 | 4-2-۴ نتایج آزمایش مقاومت کششی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 85 | 5-2-۴ نتایج آزمایش ذوب و یخبندان متوالی بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 89 | 3-۴ جمع‌بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات** |
| 93 | ۱-۵ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 93 | ۲-۵ محتوای تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 94 | 3-۵ نتایج . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 97 | 4-۵ پیشنهادات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
|  | **فهرست مراجع** |

|  |
| --- |
| **فهرست شکل­ها** |
| شکل (3-1)  | دستگاه انجام آزمایش زمان گیرش و نحوه جمع‌آوری بتن در این آزمایش . . . . . . . . . . . . . | 58 |
| شکل (3-2) | دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 59 |
| شکل (3-3)  | نحوه انجام آزمایش کششی بر روی استوانه بتنی ضد سولفات حاوی ملاس و چگونگی شکست نمونه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 61 |
| شکل (3-4)  | نحوه انجام آزمایش خمشی بر روی تیر بتنی ضد سولفات و چگونگی شکست نمونه . . . . . | 62 |
| شکل (3-5)  | دستگاه ذوب و یخ موجود در آزمایشگاه تکین بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 64 |
| شکل (3-6)  | چرخه زمان- دما براساس استاندارد ISIRI 12728 ملی ایران. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 65 |
| شکل (4-1)  | مقدار اسلامپ نمونه های مختلف بتنی ضد‌سولفات حاوی ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . | 70 |
| شکل (4-2)  | نتایج آزمایش زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات با طرح اختلاط CM با افزودن مقادیر مختلف ماده کندگیر‌کننده (ملاس) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 72 |
| شکل (4-3)  | مقایسه نتایج زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد‌سولفات با مقادیر مختلف ماده کندگیر کننده (ملاس) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 72 |
| شکل (4-4)  | مقادیر مقاومت فشاری میانگین نمونه های بتنی مکعبی با طرح اختلاط‌های مختلف حاوی مقادیر متفاوت ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 79 |
| شکل (4-5)  | پیش بینی تقریبی تاثیر درصد ملاس بر میزان مقاومت فشاری بتن حاوی سیمان ضد سولفات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 81 |
| شکل (4-6)  | مقادیر مقاومت کششی نمونه های بتنی با طرح اختلاط های مختلف حاوی مقادیر متفاوتی ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 83 |
| شکل (4-7)  | پیش بینی تقریبی تاثیر درصد ملاس بر میزان مقاومت کششی بتن حاوی سیمان ضد سولفات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 84 |
| شکل (4-8)  | چرخه زمان- دما براساس استاندارد ISIRI 12728 ملی ایران . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 86 |
| شکل (4-9)  | مقادیر مقاومت کششی نمونه های بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف حاوی مقادیر متفاوتی ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 87 |
| شکل­(4-10)  | پیش‌بینی تقریبی تاثیر درصد ملاس بر میزان مقاومت کششی بتن حاوی سیمان ضد سولفات  | 88 |

|  |
| --- |
| **فهرست جدول‌ها** |
| جدول (2-1)  | محدوده‌های ASTM C33 برای دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 12 |
| جدول (2-2)  | ضوابط ASTM C33 برای دانه‌بندی سنگدانه‌های بزرگ بتن. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 13 |
| جدول (2-3)  | ترکیبات سیمان و خمیر سیمان . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 14 |
| جدول (2-4)  | واکنش‌های تبدیلی مربوط به ترکیبات سیمان . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 18 |
| جدول (2-5)  | انواع ترکیبات ملاس چغندرقند و نیشکر . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 33 |
| جدول (2-6)  | انواع کاربردهای ملاس در صنایع مختلف. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 34 |
| جدول (3-1)  | دانه‌بندی ماسه ریزدانه تهیه شده از معدن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 50 |
| جدول (3-2)  | دانه‌بندی درشت دانه نخودی تهیه شده از معدن. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 50 |
| جدول (3-3)  | دانه‌بندی درشت دانه بادامی تهیه شده از معدن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 51 |
| جدول (3-4)  | میزان رطوبت کلی و جذب شده و سطحی سنگدانه‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 52 |
| جدول (3-5)  | چگالی مصالح سنگدانه‌ای . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 52 |
| جدول (3-6)  | مشخصات فیزیکی سیمان استفاده شده جهت تهیه نمونه‌های بتنی . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 53 |
| جدول (3-7)  | مشخصات شیمیایی سیمان استفاده شده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 54 |
| جدول (3-8)  | مشخصات طرح‌های اختلاط تهیه شده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 56 |
| جدول (3-9)  | مختصات نقاط شكست در آزمایش ذوب و یخ براساس استاندارد ISIRI 12728 ملی ایران  | 65 |
| جدول (4-1)  | تاثیر افزودن ملاس چغندرقندبر میزان اسلامپ بتن حجیم رده A . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 69 |
| جدول (4-2)  | نتایج آزمایش زمان گیرش در طرح‌های اختلاط مختلف . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 71 |
| جدول (4-3)  | نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط اول حاوی 1/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-1) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 74 |
| جدول (4-4)  | نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط دوم حاوی 15/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-2) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 75 |
| جدول (4-5)  | نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط سوم حاوی 2/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-3) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 76 |
| جدول (4-6)  | نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط چهارم حاوی 25/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-4) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 77 |
| جدول (4-7)  | نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط پنجم حاوی 3/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-5) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 78 |
| جدول (4-8)  | مقادیر مقاومت فشاری میانگین نمونه‌های بتنی مکعبی استاندارد با طرح اختلاط‌های مختلف حاوی مقادیر متفاوتی ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 79 |
| جدول (4-9)  | مقادیر مقاومت کششی نمونه‌های بتنی با طرح اختلاط های مختلف حاوی مقادیر متفاوتی ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 83 |
| جدول­(4-10)  | مختصات نقاط شكست در آزمایش ذوب و یخ براساس استاندارد ISIRI 12728 ملی ایران  | 85 |
| جدول(4-11)  | میزان افت وزن در واحد سطح آزمونه در آب برای نمونه‌های بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف حاوی مقادیر متفاوت ملاس چغندرقند . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 87 |

# فصل اول

# کلیات تحقیق

خلاصه: در این فصل ابتدا به اهمیت توجه به مواد آلاینده محیط زیست و استفاده از آن‌ها به عنوان مواد مضاف در بتن به طور خلاصه اشاره می‌شود. سپس به ضرورت تحقیق، نوآوری و اهداف آن پرداخته می‌شود. در پایان به مسئله مورد بررسی در این پایان‌نامه اشاره می‌شود.

|  |  |
| --- | --- |
| 3 | ۱-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 3 | ۱-۲ بیان مساله . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 5 | ۱-۳ اهمیت و ضرورت انجام تحقيق. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 5 | ۱-۴ نوآوری پژوهش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| 6 | ۱-۵ اهداف تحقيق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 6 | ۱-۵-۱ اهداف علمی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 6 | ۱-۵-۲ اهداف كاربردي . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 7 | ۱-۶ سوالات تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 7 | [۱-۷ کلیات پایان‌نامه](#_Toc506280099) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . . .  |

1-1 مقدمه

موضوع پژوهش حاضر بحث و بررسی درخصوص بررسی تأثیر استفاده از ملاس چغندرقند به عنوان یک ماده افزودنی بر روی خواص مکانیکی بتن های حاوی سیمان ضد‌سولفات می‌باشد. بر این اساس، در این فصل از پژوهش ابتدا به بیان مسئله پژوهش، اهمیت و ضرورت و همچنین جنبه نوآوری تحقیق پرداخته می­شود. سپس با بیان اهداف و فرضیات تحقیق، ساختار فصل‌بندی مورد بررسی در این پایان‌نامه ارائه شده است.

2-1 بیان مساله

مزاياي عمده بتن عبارتند از؛ مقاومت فشاري خوب، امكان به­كارگيري آن در اغلب مناطق جغرافيايي، استفاده از مصالح طبيعي و ارزان در ساخت آن، هزينه كم در مقابل حجم عمليات زياد، شكل‌دهي خوب با توجه به اشكال هندسي طرح، امكان مكانيزه كردن عمليات، نياز نداشتن به نگهداري پرخرج در طول عمر بهره برداري و ... است که موجب شده این ماده به یکی از پرمصرف‌ترین و بی‌رقیب ترین مصالح ساختمانی برای ساخت و ساز در جهان تبدیل شود.

ساخت بتن بادوام و پایا از دیرباز چالش ذهنی و عملی بسیاری از مهندسان عمران بوده و هست. خرابی سازه‌های بتنی در سواحل و بنادر جنوبی کشور خصوصاً بتن‌های حجیم مانند اسکله‌ها، سکوها، دیوارهای موج گیر و... باعث خسارات جبران‌ناپذیر می­شود. تغییرات چنین سازه‌هایی بسیار پرخرج بوده و در صورتی که از مواد مناسب و روش­های صحیح استفاده نشود پس از مدت کوتاهی دوباره خرابی­ها ظاهر می­شوند. خوردگی فولاد در بتن یکی از عوامل بسیار موثر در کاهش دوام سازه‌های بتن‌مسلح است؛ منابع هنگفت لازم برای تعمیر خرابی‌های ناشی از خوردگی فولاد در بتن، ضرورت بهبود بخشیدن به وضعیت دوام سازه‌های در دست ساخت و همچنین تضمین دوام سازه‌های موجود تازه تعمیر شده را چند برابر کرده است. یکی از قدم‌های موثر در حل این مهم، استفاده از مواد افزودنی به صورت طبیعی یا مصنوعی به عنوان بخشی از سیمان پرتلند و به عنوان ماده موثر بر خواص فیزیکی و شیمیایی بتن است. امروزه در صنعت ساختمان، استفاده از بتن‌های خاص به طور گسترده‌ای فراگیر شده است؛ لیکن در حالات تعیین شده می‌تواند براساس زمان گیرش خود مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین افزودنی‌‌‌های کندگیر‌کننده به جهت بالا بردن زمان گیرش اولیه و با استفاده از مواد گوناگون مصرف می‌شوند.

در حال حاضر برای ساخت بتن از مصالح اولیه مشتمل بر سنگدانه‌های ریز و درشت، آب و سیمان استفاده می‌شود که از این جهت صنعت تولید بتن صنعتی غیرپایدار است، چراکه نه تنها به لحاظ استفاده از مقادیر زیاد سنگ، شن، ماسه، آب آشامیدنی، بلکه به­کار بردن میلیون‌ها تن سیمان با مصرف انرژی بالا زیان‌ده است، همچنین تولید گازهای مضر گلخانه‌ای که منجر به گرم شدن کره زمین می­شود و در این زمینه عامل مخربی برای محیط زیست است. یکی از روش­های موثر در دستیابی به پیشبرد اهداف ساخت و ساز پایدار، کاهش گازهای گلخانه‌ای و نیز کاهش مصرف منابع طبیعی در صورت استفاده مجدد از محصولات جنبی فرآورده­های صنعتی است. یکی از محصولات جنبی صنایع غذایی، ملاس چغندر است که سالانه چندین هزار تن از این ملاس در کارخانه‌های فراوری شکر تولید شده و تقریباً بدون هیچگونه استفاده مفیدی در محیط‌زیست رها می­شود. ملاس چغندرقند عصاره‌ای غلیظ بوده که تیره و چسبناک است و کیفیت آن به رسیدگی چغندر، مقدار شکر استخراجی و روش استخراج بستگی دارد.

به‌طور کلی، در کارخانه‌های ایران از ملاس چغندر برای مصارفی همچون تهیه الکل، سرکه و علوفه به مقدار محدود استفاده شده و بقیه این مواد به صورت دست نخورده در محیط زیست رها شده و همین موضوع زمینه‌های تخریب زیست‌محیطی فراوانی را به همراه داشته است. از زمانی که اولین کارخانه قند ایران در سال 1274 در کهریزک شروع به کار نمود، ملاس حاصل از قند و شکر تولید شده که به بازار عرضه می­شد، به عنوان ضایعات به شمار می­رفت و به عنوان یک ماده ضایعاتی وارد فاضلاب می­شد. سپس اولین واحد قندگیری در کارخانه قند شیروان در سال 1340 توانست از 4000 تن ملاس در حدود 900 تن شکر به دست آورد و از آن زمان به بعد، با انجام تحقیقات گسترده، این نتیجه حاصل شد که با استفاده از روش استفن می‌توان از هدر رفتن قند ملاس جلوگیری به عمل آورد. از همین روی، کارخانه‌های توسعه‌یافته قند در سال­های بعد، به سوی تولید تفاله خشک با ملاس به عنوان علوفه دامداری و نیز در کارخانه‌های تولید الکل و خمیرمایه حرکت کردند [15].

امروزه میزان تولید ملاس در کارخانه‌های چغندرقند کشور، بین 4 تا 7 درصد وزن چغندر مصرفی است به طوری که ملاس تولیدی در جهان به بیش از 35 میلیون تن و در ایران به بیش از 320 هزار تن در سال می­رسد. عوامل مختلفی بر ترکیبات ملاس موثرند که از جمله­ی آن­ها می­توان به نوع و واریته چغندر، شرایط کشت چغندر، کیفیت و وضعیت نگهداری چغندر، منطقه جغرافیایی، چگونگی و نحوه­ی فرایند در کارخانه و عوامل مختلف دیگر اشاره کرد. از سوی دیگر، در سال­های اخیر راهكارهای جدیدی براي بهبود خواص رفتاری و مقاومتی بتن به­خصوص زمان گیرش ارائه شده و به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته که یکی از این راهکارها استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی به بتن است. تحقيقات نشان داده است که استفاده از افزودنی‌های شیمیایی به بتن، می‌تواند تاثیر قابل توجهي بر خصوصیات مقاومتي و رفتاری بتن داشته باشد [15].

اگرچه این راهکار بسیار مطلوب به نظر می­رسد، اما از یک سو هزينه تهيه افزودنی‌های شیمایی در حجم زیاد تولید بتن، ممکن است چالش برانگیز باشد و از سوی دیگر هنوز ماده شیمیایی مناسبی در داخل كشور برای این منظور توليد نگردیده است. از این رو یافتن راه­هایی جدید و کم هزینه که بتواند نقش موثر افزودنی‌های شیمایی کنترل کننده زمان گیرش را با کمترین هزینه در بتن ایجاد نماید، ضروری به نظر می­رسد. این در حالی است که با توجه به فراواني ضایعاتی همچون ملاس چغندرقند که به صورت دورریز و بدون استفاده در کارخانه­های تولید شکر وجود دارد امکان بررسی این ماده بازیافتی را درپژوهش­های جدید ایجاد کرده است.

با توجه به مجموع مطالب بیان شده در اين پژوهش تلاش خواهد شد تا به بررسی تاثیر استفاده از مواد ضایعاتی کارخانه­های تولید شکر، یعنی ملاس چغندرقند، به عنوان ماده افزودنی شیمیایی کنترل کننده زمان گیرش در بتن استفاده شود و تاثير استفاده از این ماده بر خصوصیات رفتاری و مقاومتی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد‌سولفات مورد بررسي قرار گيرد.

3-1 اهمیت و ضرورت انجام تحقيق

در طراحی یک پروژه، به کارگیری مصالح مناسب، مقاوم و ارزان از مهم­ترین وظایف یک مهندس به حساب می­آید. يكي از مهم­ترين، ارزان‌ترين و مناسب‌ترین مصالح موجود كه در دنيا كاربرد وسيعي دارد، بتن است و مزاياي زیاد آن موجب شده كه روز به روز بر گستردگی استفاده از آن افزوده شود. هرچند که از بدو پیدایش بتن، تحول اندکی در آن به وجود آمده لیکن طیف وسیع کاربرد بتن عملاً بیانگر این مطلب است که مزایای بی­شماری که این نوع مصالح از آن برخوردار است، سایر موارد آن را تحت الشعاع قرار می‌دهد.

ايده اضافه كردن افزودنی‌های شیمیایی به بتن از زمان‌هاي قديم وجود داشته و امروزه در سراسر دنيا، بسیار انواع متنوعي از افزودنی­های شیمیایی براي كاربردهاي گوناگون در بتن وجود دارد كه بررسی این مسئله دارای اهمیت بوده و در برخی موارد می‌تواند بسیار مفید باشد. با توجه به مطالب بیان شده مزاياي ملاس چغندرقند که تولید بسیاری در ایران شده، کاربرد چندانی ندارد و عمدتاً به صورت مواد ضایعاتی و دورریز باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. استفاده از این ماده به عنوان یک ماده افزودنی مناسب در بتن می‌تواند مسئله مناسبی برای تحقیق و بررسی باشد که در کشورهای پیشرفته دنیا مورد بررسی قرار گرفته است اما ارزیابی این موضوع در داخل کشور تاکنون به صورت جدی مورد توجه محققان قرار نگرفته است که این امر اهمیت و ضرورت پژوهش را نشان می‌دهد. به همین منظور در این تحقيق تلاش می‌شود تا با استفاده از تست­های آزمایشگاهی بر روی بتن حاوی ملاس چغندرقند به عنوان ماده افزودنی شیمیایی، به بررسی و ارزیابی تأثير این افزودنی بر روي خواص مکانیکی و مقاومتی بتن پرداخته شود.

# فصل دوم

# مبانی نظری و مروری بر تحقیقات

خلاصه: در این فصل پس از معرفی بتن و اجزای تشکیل دهنده آن، ساختار بتن مورد معرفی قرار گرفته و سپس با معرفی سیمان پرتلند نوع ۵ (سیمان ضد سولفات)، خصوصیات آن مورد بررسی قرار گرفته است. آن گاه با بحث و بررسی بر روی افزودنی‌های کندگیر کننده یا کنترل کننده زمان گیرش در بتن، به تعریف ملاس و کاربرد آن در صنایع مختلف پرداخته شده است. در انتهای این فصل نیز با مروری بر پیشینه تحقیقات، مرور مختصری بر تحقیقات گذشته انجام شده است.

|  |  |
| --- | --- |
| 11 | ۲-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 11 | ۲-۲ بتن، مشخصات عوامل تشکیل دهنده و افزودنی ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 12 | ۲-2-۱ اجزای تشکیل‌دهنده بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 15 | ۲-۳ ساختار بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 16 | ۲-3-1 ساختار فاز سنگدانه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 16 | ۲-3-2 ساختار ناحیه انتقال . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 17 | ۲-3-3 ساختار فاز خمیر سیمان . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 20 | ۲-۴ سیمان پرتلند نوع ۵ (سیمان ضد‌سولفات) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 21 | ۲-۴-۱ عوامل تأثیرگذار بر سیمان ضد‌سولفات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 21 | ۲-۴-۲ واکنش سولفات‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 22 | ۲-۴-3 حمله سولفات‌ها به بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 23 | ۲-۵ افزودنی‌های کندگیر‌کننده یا کنترل‌کننده زمان گیرش در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 23 | 2-5-1 افزودنی‌‌های کُندگيرکننده بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 24 | 2-5-2 دسته بندي کُندگيرکننده‌های بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 25 | 2-5-3 مكانيزم عملكرد کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 25 | 2-5-4 تركيبات شيميايي و مواد تشكيل‌دهنده کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 26 | 2-5-5 كاربرد کندگير‌کننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 27 | 2-5-6 تأثیر كندگيرکننده بر ويژگی‌های بتن تازه و سخت‌شده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 28 | 2-5-7 تأثیر مواد متشكله بتن بر عملكرد كندگيرکننده‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 28 | 2-5-8 تأثیر عوامل محيطی و اجرايي . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 29 | 2-5-9 تأثیرات و رهنمودهای ناشی از مصرف کندگیر‌کننده‌ها در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 30 | 2-5-10 ارزيابي و انتخاب كندگيرکننده . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 31 | 2-5-11 كنترل كيفيت افزودنی‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 31 | ۲-۶ ملاس و کاربرد آن در صنایع مختلف . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 32 | ۲-۶-۱ چگونگی تشکیل ملاس . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 32 | [۲-۶-۲](#_Toc506280111)  ترکیبات ملاس . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 34 | [۲-۶-3](#_Toc506280111)  کاربرد ملاس در بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 36 | ۲-۷ مروری بر پیشینه تحقیقات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 44 | ۲-۸ جمع بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |

1-2 مقدمه

در اين فصل از پایان‌نامه پس از بیان تعاریف، اصول و مبانی نظری مرتبط با تحقیق حاضر، در ابتدا به ارائه مفاهیمی در رابطه با بتن، مشخصات و ویژگی­های بتن خودتراکم و فیلرهای میکروسیلیسی و... پرداخته شده و سپس در ادامه، با مروری بر تحقیقات گذشته، برخی از نتایج محققان که فعالیتی با موضوع مشابه و نزدیک با موضوع پایان نامه حاضر را مورد بررسی قرار داده‌اند، ارائه شده است.

2-2 بتن، مشخصات عوامل تشکیل دهنده و افزودنی ها

بتن در مفهوم وسیع به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد گفته می‌شود. بتن ممکن است از انواع مختلف [سیمان](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%DB%8C%D9%85%D8%A7%D9%86) ونیز [پوزولان‌ها](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D9%88%D8%B2%D9%88%D9%84%D8%A7%D9%86%E2%80%8C%D9%87%D8%A7)، [سرباره کوره‌ها](https://fa.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%B3%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D9%87_%DA%A9%D9%88%D8%B1%D9%87%E2%80%8C%D9%87%D8%A7&action=edit&redlink=1)، مواد مضاف، [گوگرد](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%AF%D9%88%DA%AF%D8%B1%D8%AF)، مواد افزودنی، [پلیمرها](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D9%84%DB%8C%D9%85%D8%B1%D9%87%D8%A7)، الیاف و ... تهیه شود. همچنین در نحوه ساخت آن ممکن است [حرارت](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D8%AA)، [بخار آب](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%AE%D8%A7%D8%B1_%D8%A2%D8%A8)، [اتوکلاو](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AA%D9%88%DA%A9%D9%84%D8%A7%D9%88)، [خلأ](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D9%84%D8%A3)، [فشارهای هیدرولیکی](https://fa.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%81%D8%B4%D8%A7%D8%B1%D9%87%D8%A7%DB%8C_%D9%87%DB%8C%D8%AF%D8%B1%D9%88%D9%84%DB%8C%DA%A9%DB%8C&action=edit&redlink=1) و متراکم کننده‌های مختلف استفاده شود. با توجه به گسترش و پیشرفت علم و پیدایش تکنولوژی‌های فراوان در قرن اخیر، شناخت بتن و خواص آن نیز توسعه بسیاری داشته است، به نحوی که امروزه کاربرد انواع متفاوت بتن با مصالح مختلف دیده می­شود که هر یک خواص و کاربری مخصوص به خود را دارد. در حال حاضر انواع مختلفی از سیمان­ها که شامل پوزولان­ها، سولفورها، پلیمرها، الیاف­های مختلف و افزودنی­های متفاوتی­اند، تولید می‌شوند [1] ، [2] و [3].

بتن از پر کاربردترین مصالح ساختمانی است. ویژگی اصلی بتن ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن است. بتن به‌طور کلی محصولی است که از مخلوط آب با [سیمان آبی](https://fa.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%B3%DB%8C%D9%85%D8%A7%D9%86_%D8%A2%D8%A8%DB%8C&action=edit&redlink=1) و سنگدانه‌های مختلف در اثر واکنش آب با سیمان در شرایط محیطی خاصی حاصل می‌شود و دارای ویژگیهای خاص است. بتن اینک با گذشت بیش از ۱۷۰ سال از پیدایش [سیمان پرتلند](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%DB%8C%D9%85%D8%A7%D9%86_%D9%BE%D8%B1%D8%AA%D9%84%D9%86%D8%AF) به صورت کنونی توسط یک بنای لیدزی، دستخوش تحولات و پیشرفت­های شگرفی شده است. در دسترس بودن مصالح آن، دوام نسبتاً زیاد و نیاز به ساخت و سازهای فراوان سازه‌های بتنی چون ساختمان‌ها، سازه‌ها، سدها، پل‌ها، تونل‌ها و راه‌ها این ماده را بسیار پرمصرف کرده است. اینک حدود سه تا چهار دهه است که کاربرد این ماده در شرایط خاص استقبال کاربران مواجه شده است. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی مشخص شده که فقط توجه به مقاومت به عنوان یک معیار برای طرح بتن در محیط­های مختلف و کاربردهای متنوع نمی‌تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در سازه‌های بتنی ایجاد می‌شود. چند سالی است که مسئله دوام بتن در محیط‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. مشاهده خرابی‌هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن‌ها در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشورهای در حال توسعه، افکار و اذهان را به سمت طرح بتن‌هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم سوق داده است. در این راستا در پاره‌ای از کشورها دستورالعمل‌ها و استانداردهایی نیز برای طرح بتن با عملکرد بالا تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته ملزم به رعایت این دستورالعمل‌ها شده­اند.

1-2-2 اجزای تشکیل دهنده بتن

بتن از مصالح مشتمل بر سنگدانه‌های ریز و درشت، آب، سیمان و نیز افزودنی‌ها بسته به کاربرد مصرف آن تشکیل می‌گردد که در ادامه به شرح مختصر آن پرداخته می‌شود.

**مصالح سنگدانه‌ای**

اندازه، شکل، بافت سطحی و تمیزی سنگدانه­ها از جمله مواردی است که باید به آن توجه شود. در بتن، مقاومت سنگدانه و فاز بین خمیر سیمان و سنگدانه عوامل مهمی به شمار می­آیند. آزمون­ها نشان داده­اند که برای اندازه سنگدانه یکسان و مقدار سیمان ثابت، سنگدانه­های شکسته در مقایسه با سنگدانه­های طبیعی در بتن مقاومت بیشتری را پدید می­آورند. این موضوع احتمالاً به دلیل تقویت چسبندگی سنگدانه به خمیر سیمان در هنگام استفاده از سنگدانه شکسته، تیزگوشه و زبر است. مشخصه مهم دیگر مصالح سنگدانه­ای، دانه­بندی است؛ دانه‌­بندی و حداکثر اندازه سنگدانه، علاوه بر تاثیر بر نسبت ترکیب سنگدانه­ها، بر سیمان و آب مورد نیاز، به­صرفه بودن، دوام، کارایی، تخلخل و جمع­شدگی بتن نیز تاثیر می­گذارد. محدوده­های ASTM C33 [7] برای دانه بندی سنگدانه­های ریز به شرح جدول (2-1) است [11].

جدول (2-1) محدوده­­های ASTM C33 برای دانه ­بندی سنگدانه­­های ریز [7]

|  |  |
| --- | --- |
| **اندازه الک (mm)** | **درصد عبوری وزنی** |
| (3/8 in) 5/9 | 100 |
| (شماره 4) 75/4 | 95 تا 100 |
| (شماره 8) 36/2 | 80 تا 100 |
| (شماره 16) 18/1 | 50 تا 85 |
| (شماره 30) 6/0 | 25 تا 60 |
| (شماره 50) 3/0 | 10 تا 30 |
| (شماره 100) 15/0 | 2 تا 10 |

ضوابط ASTM C33 [7] برای دانه­بندی سنگدانه­های درشت به شرح جدول (2-2) است. بزرگ­ترین اندازه سنگدانه درشت مصرف شده در بتن اهمیت دارد. معمولاً (برای رسیدن به اسلامپ مشخص) برای سنگدانه­های کوچکتر، آب و سیمان بیشتری نسبت به سنگدانه­های بزرگتر مورد نیاز است. از طرفی، بزرگ­تر شدن اندازه بزرگ­ترین سنگدانه تاثیر منفی بر مقاومت ناحیه انتقال می­گذارد. از این رو حداکثر اندازه بهینه سنگدانه درشت برای بتن به مقاومت نسبی خمیر سیمان، چسبندگی سیمان و سنگدانه و مقاومت دانه­های سنگدانه وابسته است [11].

|  |  |
| --- | --- |
| **نوع الک** | **درصد مقادیر ریزتر از هر الک برای دانه بندی سنگدانه های بزرگ** |
| الک با سوراخهای مربعی (in) | 4 | 2/1 3 | 3 | 2/1 2 | 2 | 2/1 1 | 1 | 4/3 | 2/1 | 8/3 | نمره 4 | نمره 8 | نمره 16 |
| 2/1 3 اینچ تا 1/2 | 100 | 90 تا 100 | - | 25 تا 60 | - | 0 تا 15 | - | 0 تا 5 | - | - | - | - | - |
| 2/1 اینچ تا 1/2 | - | - | 100 | 90 تا 100 | 35 تا 70 | 0 تا 15 | - | 0 تا 5 | - | - | - | - | - |
| 2 تا 1 اینچ | - | - | - | 100 | - | 35 تا 70 | 0 تا 15 | - | 0 تا 5 | - | - | - | - |
| 2 اینچ تا نمره 4 | - | - | - | 100 | 90 تا 100 | - | - | - | 10 تا 30 | - | 0 تا 5 | - | - |
| 2/1 1 اینچ تا 3/4 اینچ | - | - | - | - | 95 تا 100 | 90 تا 100 | 35 تا 70 | 0 تا 15 | - | 0 تا 5 | - | - | - |
| 2/1 1 اینچ تا نمره 4 | - | - | - | - | - | 95 تا 100 | 20 تا 55 | 35 تا 70 | - | 10 تا 40 | 0 تا 5 | - | - |
| 1 اینچ تا 2/1 اینچ | - | - | - | - | - | - | - | 20 تا 55 | 0 تا 10 | 0 تا 5 | - | - | - |
| 1 اینچ تا 8/3 اینچ | - | - | - | - | - | - | 90 تا 100 | 40 تا 85 | 10 تا 40 | 10 تا 15 | 0 تا 5 | - | - |
| 1 اینچ تا نمره 4 | - | - | - | - | - | - | 90 تا 100 | - | 25 تا 60 | - | 0 تا 10 | 0 تا 5 | - |
| 4/3 اینچ تا 8/3 اینچ | - | - | - | - | - | - | 95 تا 100 | 90 تا 100 | 20 تا 55 | 0 تا 15 | 0 تا 5 | - | - |
| 4/3 اینچ تا 8/3 اینچ | - | - | - | - | - | - | - | 90 تا 100 | - | 25 تا 55 | 0 تا 10 | 0 تا 5 | - |
| 2/1 اینچ تا نمره 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 90 تا 100 | 40 تا 70 | 0 تا 15 | 0 تا 5 | - |
| 8/3 اینچ تا نمره 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 85 تا 100 | 0 تا 30 | 0 تا 10 | 0 تا 5 |

جدول (2-2) ضوابط ASTM C33 برای دانه بندی سنگدانه های بزرگ بتن [7]

**سیمان**

در حین عملیات پخت در تولید کلینکر سیمان پرتلند، اکسید کلسیم با ترکیبات اسیدی مواد خام ترکیب می‌شود و چهار ترکیب اصلی، که حدود 90 درصد وزن سیمان را تشکیل می‌دهند، به وجود می‌آورد. باقی مانده وزن سیمان را گچ و مواد دیگر تشکیل می‌دهند. ترکیبات اصلی به همراه روابط شیمیایی و نشانه‌های اختصاری آن‌ها از این قرارند [2] و [3]:

تری کلسیم سیلیکات $3CAO.SiO\_{2}=C\_{3}S$

دی کلسیم سیلیکات $2CAO.SiO\_{2}=C2S$

تری کلسیم آلومینات $3CaO.Al\_{2}O\_{3}=C\_{3}A$

تترا کلسیم آلومینوفریت $4CaO.Al\_{2}O\_{3}.Fe\_{2}O\_{3}=C\_{4}AF$

با استفاده از تجزیه شیمیایی سیمان می‌توان درصد تقریبی هر ترکیب را محاسبه کرد. برای تعیین دقیق­تر درصدهای ترکیبات می‌توان از روش‌های تفکیک به کمک پرتو X بهره گرفت. نمونه­ای از ترکیبات شیمیایی برای هر یک از انواع اصلی سیمان پرتلند در جدول (2-3) نشان داده شده است.

جدول (2-3) ترکیبات سیمان و خمیر سیمان [3]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **نوع سیمان پرتلند** | **ترکیبات شیمیایی (درصد)** | **ترکیب آمیزه‌های بالقوه*[[1]](#footnote-1)* (درصد)** |
| $$SiO\_{2}$$ | $$Al\_{2}O\_{3}$$ | $$Fe\_{2}O\_{3}$$ | **CaO** | **MgO** | $$SO\_{3}$$ | $$C\_{3}S$$ | $$C\_{2}S$$ | $$C\_{3}A$$ | $$C\_{3}AF$$ |
| **نوع 1** | 9/20 | 2/5 | 3/2 | 4/64 | 8/2 | 9/2 | 55 | 19 | 10 | 7 |
| **نوع 2** | 7/21 | 7/4 | 6/3 | 6/63 | 9/2 | 4/2 | 51 | 24 | 6 | 11 |
| **نوع 3** | 3/21 | 1/5 | 3/2 | 9/64 | 0/3 | 1/3 | 56 | 19 | 10 | 7 |
| **نوع 4** | 3/24 | 4/3 | 4/1 | 3/62 | 8/1 | 9/1 | 28 | 49 | 4 | 12 |
| **نوع 5** | 0/25 | 4/3 | 8/2 | 4/64 | 9/1 | 6/1 | 28 | 43 | 4 | 9 |

به طور کلی، ترکیبات سیمان دارای خواص زیر است [1]: سیلیکات تری کلسیم، $C\_{3}S$، به سرعت هیدراته و سخت می‌شود و بخش زیادی از گیرش اولیه و مقاومت اولیه سیمان مربوط به این ترکیب است. مقاومت اولیه بتن ساخته شده با سیمان پرتلند، با افزایش درصد $C\_{3}S$ بیشتر می‌شود.

# فصل سوم

# مواد و روش‌ها

خلاصه: در این فصل پایان نامه، روش تحقیق شامل روش­های آزمایشگاهی، امکانات و تجهیزات مورد استفاده جهت دستیابی به نتایج تحقیق و نحوه انجام آزمایشات مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است.

|  |  |
| --- | --- |
| 49 | ۳-۱ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-۲ روش‌شناسی تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-۱ نوع روش تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-2 روش گردآوري اطلاعات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 47 | ۳-2-3 روش تجزیه و تحلیل اطلاعات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 48 | ۳-۳ مشخصات مصالح مصرفی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 48 | ۳-3-۱ مصالح سنگدانه‌ای . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 55 | ۳-3-2 طرح اختلاط . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 56 | ۳-2-3 آماده سازي نمونه‌‌ها و روند انجام آزمایش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴ آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های بتنی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴-۱ آزمون اسلامپ. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 57 | ۳-۴-۲ آزمایش گيرش. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 59 | ۳-۴-۳ آزمایش مقاومت فشاری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 60 | ۳-۴-۴ آزمون مقاومت کششی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 61 | ۳-۴-5 آزمون مقاومت خمشی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 62 | ۳-۴-6 آزمون ذوب و یخبندان متوالی بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 66 | ۳-5 جمع‌بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |

1-3 مقدمه

در اين فصل تحقیق، ابتدا به بیان روش‌شناسی تحقیق پرداخته شده و بر این اساس نوع روش تحقیق، روش گردآوری اطلاعات و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس مبانی نظری روش تحقیق برشمرده شده و برنامه آزمایشگاهی ارائه شده است. برای این منظور مشخصات مصالح مصرفی در آزمایش­ها و همچنین نحوه انجام آزمایشات مورد استفاده در این تحقیق ارائه شده است.

2-3 روش‌شناسی تحقیق

1-2-3 روش تحقیق

بخش عمده‌ای از مطالعات در این پژوهش بر اساس روش مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی جهت تولید بتن ضدسولفات حاوی ملاس چغندرقند و ویژگی­های آن در مقایسه با بتن معمولی به انجام خواهد رسید. همچنین با استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی با ساخت نمونه‌های بتنی سعی در بررسی رفتار مکانیکی این نوع بتن در اثر افزودن ملاس به عنوان یک ماده شیمیایی کنترل کننده گیرش در بتن خواهد شد.

2-2-3 روش گردآوري اطلاعات

به منظور گردآوری اطلاعات مورد نیاز جهت انجام پژوهش حاضر از روش مطالعات کتابخانه­ای (به منظور شناسایی و ساخت و عمل آوری نمونه­های بتن ضدسولفات) و همچنین روش­های میدانی (به صورت مطالعات و تست‌های آزمایشگاهی) استفاده خواهد شد.

همچنین از جمله ابزار گردآوری اطلاعات مورد نیاز جهت انجام این پایان‌نامه می‌توان به کتب، مقالات، اینترنت، سایت‌ها و دستگاه‌های آزمایشگاهی اشاره کرد.

3-2-3 روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

روش تجزیه و تحلیل اطلاعات در این پژوهش استفاده از تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی برای تعیین رفتار مکانیکی بتن حاوی سیمان ضدسولفات در اثر افزودنی‌های شیمیایی کنترل کننده زمان گیرش همچون ملاس چغندرقند است. برای این منظور از آزمایش‌های اسلامپ، جرم حجمی، ذوب و یخ متوالی، مقاومت فشاری و مقاومت کششی در صورت وجود دستگاه‌های آزمایشگاهی استفاده خواهد شد. سپس با استفاده از نمودارها و گراف‌ها به مقایسه رفتار مکانیکی نمونه­های بتنی ضد سولفات حاوی ملاس چغندرقند پرداخته خواهد شد.

3-3 مشخصات مصالح مصرفی

برای ساخت نمونه‌های مختلف بتن خودتراکم در این پژوهش، مصالح مصرفی به طریق زیر جهت تهیه طرح اختلاط­های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین جهت انجام آزمایشات مربوط به دانه بندی و سایر آزمایشات بر روی نمونه­های بتنی تهیه شده با طرح اختلاط‌های مختلف، از آزمایشگاه مربوط به کارخانه فرآورده‌های بتنی «تکین بتن» استفاده شده است.

1-3-3 مصالح سنگدانه ای

سنگدانه‌ها در بتن تقریبا سه چهارم حجم آن را تشکیل می‌دهند، از این رو کیفیت آن­ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات، خواص شیمیایی آن­ها در عملکرد بتن تاثیر می‌گذارد. دانه‌های سنگی طبیعی معمولاً بوسیله هوازدگی و فرسایش یا به طور مصنوعی با خرد کردن سنگ‌های مادر تشکیل می‌شوند. بتن عموماً از سنگدانه‌هایی به اندازه‌های مختلف که حداکثر قطر آن بین ۱۰ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر است، ساخته می‌شود و برای تهیه بتن مرغوب، به طور متوسط از سنگدانه‌هایی با قطر ۲۰ میلیمتر استفاده می‌شود. توزیع اندازه ذرات به نام دانه‌بندی سنگدانه مرسوم است. به طور کلی دانه‌های با قطر بیشتر از 4 یا 5 میلیمتر به نام شن و کوچک­تر از آن به نام ماسه نامگذاری شده‌اند که این حد فاصل توسط الک ۵ میلیمتری یا نمره چهار مشخص می‌شود. حد پایین ماسه عموماً 07/0 میلیمتر یا کمی کم­تر است. مواد با قطر بین 06/0 میلیمتر و 02/0 میلیمتر به نام لای (سیلت) و مواد ریزتر رس نامگذاری شده‌اند [1].

مصالح سنگدانه‌ای درشت دانه (نخودی و بادامی) و ریزدانه مورد استفاده جهت ساخت و تهیه نمونه‌های بتنی در این پژوهش از معدن چهارفصل در فاصله تقریبی ۲۵ کیلومتری غرب مشهد در جاده مشهد- قوچان تهیه شده است. این مصالح دارای درصد زیادی سیلیس بوده و شکل ظاهری آن­ها از نوع گردگوشه آهکی (مناسب برای ساخت بتن ضد سولفات) است. این مصالح سنگدانه‌ای خود به تنهایی دارای مقاومت مناسبی بوده و به عبارت دیگر فاز سنگدانه بتن از مقاومت خوبی برخوردار است. سنگدانه‌های درشت مصرفی در این تحقیق، از نوع شن رودخانه­ای شکسته معدن چهارفصل دارای حداکثر اندازه 19 میلیمتر، با چگالی 2650 کیلوگرم بر متر مکعب، مدول نرمی متوسط 67/2، وزن مخصوص 7/2 و جذب آب 8/2 درصد است. همچنین سنگدانه‌های ریز (ماسه) مصرفی ترکیبی از ماسه طبیعی و ماسه آهکی شکسته معدن چهارفصل است که دارای چگالی 67/2 و مدول نرمی متوسط 63/2 و وزن مخصوص 2600 کیلوگرم بر متر مکعب است و دارای اندازه­ای در حدود 35/6 میلیمتر بوده و دانه‌بندي آن­ها در محدوده ASTM C33 قرار دارد.

جدول(3-1) دانه بندی ماسه ریزدانه تهیه شده از معدن

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره الک** | **وزن مانده روی الک (گرم)** | **درصد وزنی مانده روی الک جداگانه** | **درصد وزنی تجمعی مانده روی الک** | **درصد تجمعی وزنی عبوری از الک** |
| **4/3** | 0 | 0 | 0 | 100 |
| **2/1** | 0 | 0 | 0 | 100 |
| **8/3** | 8/4 | 5/0 | 5/0 | 5/99 |
| **4** | 6/177 | 8/17 | 2/18 | 8/81 |
| **10** | 6/352 | 3/35 | 5/53 | 5/46 |
| **16** | 7/190 | 1/9 | 6/72 | 4/27 |
| **30** | 115 | 5/11 | 1/84 | 9/15 |
| **50** | 9/79 | 8 | 1/92 | 9/7 |
| **100** | 7/53 | 4/5 | 4/97 | 6/2 |
| **سینی** | 5/25 | 6/2 |  |  |
| **مجموع** | 1000 | 100 |  |  |

جدول (3-2) دانه بندی درشت دانه نخودی تهیه شده از معدن

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره الک** | **وزن مانده روی الک (گرم)** | **درصد وزنی مانده روی الک** | **درصد وزنی تجمعی مانده روی الک** | **درصد تجمعی وزنی عبوری از الک** |
| **4/3** | 0 | 0 | 0 | 100 |
| **2/1** | 8/35 | 8/1 | 8/1 | 2/98 |
| **8/3** | 8/447 | 4/22 | 2/24 | 8/75 |
| **4** | 8/984 | 2/49 | 4/73 | 6/26 |
| **10** | 5/380 | 19 | 4/92 | 6/7 |
| **16** | 1/42 | ½ | 6/94 | 5/5 |
| **30** | 7/16 | 8/0 | 4/95 | 6/4 |
| **50** | 4/16 | 8/0 | 2/96 | 8/3 |
| **100** | 9/29 | 5/1 | 7/97 | 3/2 |
| **سینی** | 46 | 3/2 |  |  |
| **مجموع** | 2000 | 100 |  |  |

جدول (3-3) دانه بندی درشت دانه بادامی تهیه شده از معدن

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره الک** | **وزن مانده روی الک (گرم)** | **درصد وزنی مانده روی الک** | **درصد وزنی تجمعی مانده روی الک** | **درصد تجمعی وزنی عبوری از الک** |
| **4/3** | 0 | 0 | 0 | 100 |
| **2/1** | 9/1374 | 7/68 | 7/68 | 3/31 |
| **8/3** | 456 | 8/22 | 5/91 | 5/8 |
| **4** | 1/117 | 9/5 | 4/97 | 6/2 |
| **10** | 3 | 1/0 | 5/97 | 5/2 |
| **16** | 2 | 1/0 | 6/97 | 4/2 |
| **30** | 5/8 | 4/0 | 1/98 | 9/1 |
| **50** | 3 | 1/0 | 2/98 | 8/1 |
| **100** | 4/6 | 3/0 | 5/98 | 5/1 |
| **سینی** | 2/29 | 5/1 |  |  |
| **مجموع** | 2000 | 100 |  |  |

**آزمایش تعیین میزان رطوبت سنگدانه­ها**

مقدار رطوبت سنگدانه­های ریز و درشت با استفاده از روش آزمایش ارائه شده در استاندارد ASTM C566 [7] تعیین می­شود. در این روش، نمونه وزن شده­ای از سنگدانه مرطوب در کوره خشک می­شود؛ با معلوم بودن وزن، پیش و پس از خشک کردن، می­توان مقادیر رطوبت کلی و سطحی را محاسبه کرد. سپس رطوبت کل سنگدانه­ها را با فرمول زیر محاسبه نمود کرد:

(1-3)

$ω=100×\frac{W-D}{D}$

به طوری که در این رابطه:

$ω$ رطوبت کل نمونه برحسب درصد

$W$ وزن اولیه نمونه (قبل از خشک کردن)$ $

$D$ وزن خشک شده نمونه

باید توجه شود که فقط رطوبت سطحی سنگدانه­ها بخشی از آب اختلاط بتن به شمار می­رود و رطوبت جذب شده در آن­ها در بتن نقشی ندارد. مقدار رطوبت سطحی سنگدانه با کم کردن مقدار رطوبت جذب شده سنگدانه از مقدار رطوبت کل آن به دست می­آید. مقدار رطوبت جذب شده سنگدانه را می­توان مطابق روش ارائه شده در استاندارد ASTM C127 [7] برای سنگدانه درشت و استاندارد ASTM C128 [7] برای سنگدانه ریز محاسبه کرد. نتایج آزمایش­ها جهت تعیین میزان رطوبت سنگدانه­ها در جدول (3-4) ارائه شده که همخوانی خوبی با مقادیر مجاز در استاندارد داشته است.

جدول (3-4) میزان رطوبت کلی و جذب شده و سطحی سنگدانه ها

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **نوع سنگدانه** | **میزان رطوبت کلی برحسب درصد** | **میزان رطوبت جزئی****برحسب درصد** | **میزان رطوبت سطحی****برحسب درصد** |
| **سنگدانه درشت** | 70/0 | 65/0 | 05/0 |
| **سنگدانه ریز** | 77/0 | 13/0 | 64/0 |

**آزمایش تعیین وزن مخصوص سنگدانه­ها**

وزن مخصوص سنگدانه، وزن مورد نیاز آن سنگدانه برای پر کردن ظرفی به حجم واحد است. حجم مدنظر در اینجا توسط سنگدانه‌ها و فضای خالی بین دانه‌های سنگدانه اشغال می‌شود. وزن مخصوص سنگدانه به روش ارائه شده در ASTM C29 [7] به روش کوبیدن با میله برای سنگدانه درشت و به روش تکان دادن برای سنگدانه ریز تعیین می‌شود. در تعیین نسبت‌های اختلاط فقط به وزن مخصوص سنگدانه‌های درشت نیاز بوده که برابر با 6/1651 کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شده است.

**آزمایش تعیین چگالی سنگدانه­ها**

چگالی یک سنگدانه عبارت است از نسبت وزن سنگدانه به وزن آب هم‌حجم آن سنگدانه. روش تعیین چگالی سنگدانه‌های درشت و ریز به ترتیب در ASTM C127 [7] و ASTM C128 [7] بیان شده است. چگالی یک سنگدانه هم می‌تواند بر اساس حالت خشک شده در کوره و هم بر اساس حالت اشباع با سطح خشک تعیین شود. در این تحقیق چگالی سنگدانه‌ها بر اساس حالت خشک شده در کوره محاسبه شده است که نتایج تعیین چگالی سنگدانه‌ها در جدول (3-5) ارائه شده است.

جدول (3-5) چگالی مصالح سنگدانه ای

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **نوع مصالح** | سنگدانه درشت | سنگدانه ریز |
| **چگالی** | 65/4 | 55/4 |

**سیمان**

عامل چسباننده سنگدانه­ها در بتن (یعنی خمیر سیمان) نقش مهمی در عملکرد بتن ایفا می­کند. علاوه بر الزامات پایایی و مقاومتی مورد نیاز، واکنش­های آبگیری در بتن­های ضد سولفات باید آهسته‌تر از بتن‌های معمولی صورت گیرد تا گرمای حاصل از این واکنش‌ها سبب افزایش بیش از حدود مجاز دمای سازه نشود. عموماً در بتن­های ضد ‌سولفات که جهت انجام بتن ریزی­های حجیم در مناطق ساحلی و گرم و مرطوب استفاده می‌شود، یکی از چند گونه سیمان پرتلند نوع 2، 4 یا 5 یا انواع به خصوصی از سیمان‌های آمیخته پرتلند پوزولانی و روباره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [1].

لذا در این پژوهش برای تهیه نمونه‌های بتنی ضد‌ سولفات از سیمان تیپ ۵ کارخانه سیمان زاوه تربت حیدریه مطابق با استاندارد ASTM C150 استفاده شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مصرفی مطابق جداول (3-6) و (3-7) ارائه شده است.

جدول (3-6) مشخصات فیزیکی سیمان استفاده شده جهت تهیه نمونه­های بتنی

|  |
| --- |
| **آزمایش فیزیکی سیمان براساس استاندارد DIN 1164، ISIR 389** |
| **مشخصات فیزیکی** |
| نرمی | بلین[[2]](#footnote-2) (سطح) (سانتیمتر مربع بر گرم) | 100  3300 |
| آب مصرفی | 25 |
| درصد انبساط اتوکلاو | 02/0  08/0 |
| مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) | 3 روزه | 20  270 |
| 7 روزه | 20  430 |
| 28 روزه | 20  540 |
| مقاومت خمشی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) | 3 روزه | 55 |
| 7 روزه | 76 |
| 28 روزه | 100 |
| حرارت هیدراسیون 7 روزه (کالری بر گرم) | 12 |
| درصد افت اشتعال  | - |
| سطح مخصوص (سانتیمتر مربع بر گرم) | 3570 |
| وزن مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب) | 01/0  13/3 |

جدول (3-7) مشخصات شیمیایی سیمان استفاده شده

|  |
| --- |
| **آزمایش فیزیکی سیمان براساس استاندارد DIN 1164، ISIR 389** |
| **نتیجه (درصد)** | **مشخصات شمیایی** |
| 55/0 | L.O.I.[[3]](#footnote-3) |
| 1/0  25/0 | I.R.[[4]](#footnote-4) |
| 3/0  8/20 | SiO2 |
| 15/0  65/4 | Al2O3 |
| 25/0  25/5 | Fe2O3 |
| 5/0  65 | CaO |
| 18/0  78/1 | MgO |
| 15/0  45/1 | So3 |
| 05/0  15/0 | Na2O |
| 06/0  5/0 | K2O |
| 37/64 | C3S |
| 78/10 | C2S |
| 44/3 | C3A |
| 98/15 | C4AF |
| 2/0  3/1 | Free CaO |
| 007/0 | Cl- |

4-3 آزمایش­های انجام شده بر روی نمونه‌های بتنی

1-4-3 آزمون اسلامپ

آزمون اسلامپ، مطابق استاندارد ASTM C143 [7]، متداول‌ترین روش پذیرفته شده و به کار رفته برای اندازه‌گیری روانی بتن است. وسیله‌های مورد نیاز این آزمون، یک مخروط اسلامپ (قالب فلزی مخروطی به ارتفاع 300 میلیمتر، قطر قاعده 200 میلیمتر و قطر بالای 100 میلیمتر و یک میله فولادی (به قطر 16 میلیمتر و طول 600 میلیمتر) که نوک آن به صورت نیمکره گرد باشد، است.

برای انجام این آزمون باید سطح درونی مخروط اسلامپ را نمدار کرده و آن را به صورت ایستاده بر روی یک سطح محکم و افقی قرار داد. مخروط اسلامپ باید در سه حجم تقریبا مساوی پر شود. بنابراین مخروط اسلامپ برای لایه اول باید تا عمق حدود 65 میلیمتر، برای لایه دوم تا عمق 150 میلیمتر و برای لایه سوم به طور کامل پر شود. سپس هر لایه 25 بار میله کوبی می‌شود. پس از میله کوبی، لایه آخر صاف شده و مخروط به آرامی و به طور عمودی بالا آورده می شود تا بتن پایین برود یا نشست کند و به ارتفاع جدید برسد.

مقدار اسلامپ برابر با افت قائم بتن نشست کرده است که از ارتفاع اولیه بتن تا مرکز بتن در حالت جدید است. باید انجام آزمون اسلامپ بیش از 5/2 دقیقه به درازا نکشد، زیرا اسلامپ بتن با گذشت زمان کاهش می­یابد. همچنین آزمون اسلامپ برای تمامی طرح اختلاط‌های مورد استفاده در این تحقیق، مطابق آنچه که قبلاً ذکر شد، اندازه گیری شده است.

2-4-3 آزمایش گيرش

برای انجام آزمایش زمان گیرش از دستگاهی که در شکل (3-1) نشان داده شده است، یعنی سوزن ویکات استفاده می­شود. براساس استاندارد ASTM C403 [7]، مدت زمانی که ملات بتن در برابر نفوذ سوزن به اندازه 5/2 سانتیمتر، حدود 5/3 مگاپاسکال مقاومت از خود نشان می­دهد را زمان گیرش اولیه بتن گفته و طبق این استاندارد، زمان لازم برای مقاومت 6/27 مگاپاسکالی در برابر مقدار نفوذ 3/2 سانتیمتری سوزن در بتن را زمان گیرش نهایی بتن می‌گویند. زمان‌هاي گيرش از روي منحنی جامد شدن تعيين می‌شود که از ترسيم خطی داده­ها در زمان سپري شده به عنوان محور افقی و مقاومت در برابر نفوذ به عنوان محور عمودي، به دست می‌آید. به عبارت بهتر، گيرش‌هاي اوليه و نهایی به عنوان زمان‌هایی تعریف شده‌اند که در آن­ها مقاومت نفوذ به ترتيب برابر با 5/3 و 6/27 مگاپاسکال است.

به طور کلی معمولاً زمان گیرش اولیه نمونه‌های بتنی، حداقل دو تا سه ساعت بعد از زمان اختلاط آب با سیمان به دست می آید اما این مسئله در خصوص بتن‌های ضد سولفات گاهی زمان زیادتری را در بر می­گیرد؛ بنابراین از آنجایی که آزمایش گیرش فرایندی زمان‌بر در بتن محسوب می‌شود، لذا انجام این آزمایش گاه تا مدت زمانی طولانی ممکن است طول بکشد. همچنین این قضیه در پژوهش حاضر با توجه به استفاده از ملاس چغندرقند و تاثیر آن بر افزایش زمان گیرش، مدت بیشتری به طول انجامیده است. از این‌رو در این پژوهش، جهت تعیین نتایج آزمایش زمان گیرش، همزمان با تهیه نمونه‌ها برای سایر آزمایشات، این آزمایش نیز بر روی نمونه‌های بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف انجام شده است.

در این آزمایش ظرفی که برای قرار دادن نمونه بتنی مورد استفاده قرار می­گیرد، حداقل باید دارای ابعاد 14 سانتیمتر در طول، عرض و ارتفاع باشد. این ظرف می­تواند استوانه­ای یا مکعبی باشد، ولی باید نیاز حداقل قرائت 10 نفوذ را در طی آزمایش برطرف نماید. همچنین به منظور جلوگیری از تخریب آب بتن در زمان انجام آزمایش زمان گیرش بهتر است از پارچه‌های مرطوب و یا روپوش­های پلاستیکی که قابلیت جذب آب را ندارند، بر روی نمونه‌ها استفاده شود. حدود 2 دقیقه قبل از هر نفوذ، ظرف حاوی نمونه بتنی کمی کج می­شود تا آب بتن در گوشه‌ای جمع گردد و سپس از طریق پیپت آن را جمع‌آوری کرد. در شکل (3-1) چگونگی فرایند انجام این آزمایش نشان داده شده است.



شکل (3-1) دستگاه انجام آزمایش زمان گیرش و نحوه جمع آوری بتن در این آزمایش

جهت انجام آزمایش، سطح بالایي آزمونه كه در معرض آزمون یخبندان و آب شدگي در مجاورت نمک یخ‌زدا قرار گرفته، كمتر از 25000 میلیمتر مربع و بیشتر از 7500 میلیمتر مربع در نظر گرفته شده و حداكثر ضخامت جدول در این ناحیه به 103 میلیمتر محدود شده است.

سپس آزمونه­ها در محفظه یخبندان به صورت تراز قرار گرفته تا در معرض یخبندان و آب‌شدگي پي در پي قرار بگیرد. در طي آزمون، چرخه زمان- دما در محلول نمک طعام در وسط سطح همه آزمونه­ها باید در ناحیه هاشورخورده شكل (6-3) واقع شود. همچنین در هر چرخه، دما باید به مدت 7 تا 9 ساعت بیش از صفر درجه سانتیگراد باشد. مشخصات نقاط شکست در جدول ارائه شده است.



شکل(3-6) چرخه زمان- دما براساس استاندارد ISIRI 12728 ملی ایران

# فصل چهارم

# تحلیل داده‌ها و نتایج

خلاصه: در این فصل به آزمایشات معرفی شده در فصل سوم و نتایج حاصل از آن با مقایسه نتایج براساس نمودار‌های مختلف، تجزیه و تحلیل مناسب انجام گردیده است. در انتهای این فصل روابطی براساس مشخصات فیزیکی بتن حاوی سیمان ضدسولفات و نسبت‌های مختلف افزودنی ملاس چغندر با ماهیت ریاضی ارائه گردیده است.

|  |  |
| --- | --- |
| 69 | ۱-۴ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 69 | ۲-۴ تحلیل داده‌ها و نتایج آزمایش‌ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 69 | ۱-2-۴ بررسی تاثیر اسلامپ بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 70 | 2-2-۴ نتایج آزمايش زمان گیرش . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 73 | 3-2-۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 82 | 4-2-۴ نتایج آزمایش مقاومت کششی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 85 | 5-2-۴ نتایج آزمایش ذوب و یخبندان متوالی بتن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |
| 89 | 3-۴ جمع‌بندی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  |

1-4 مقدمه

در اين فصل تحقیق، به تحلیل داده ها و نتایج حاصل از پایان‌نامه درخصوص بررسی رفتار مکانیکی بتن حاوی ضد‌سولفات در اثر افزودن ملاس چغندرقند به عنوان یک ماده افزودنی کنترل‌کننده زمان گیرش پرداخته شده است. به همین منظور، نتایج مربوط به آزمایش‌های مختلفی همچون آزمایش اسلامپ، آزمایش زمان گیرش و آزمون‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی برای هر یک از 5 طرح اختلاط ساخته شده بتن ضد سولفات حاوی ملاس چغندرقند در مقایسه با نمونه بتن شاهد (بدون ملاس) جهت تعیین مقدار بهینه افزودنی کندگیر کننده ملاس ارائه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

2-4 تحلیل داده­ها و نتایج آزمایش­ها

1-2-4 بررسی تأثیر اسلامپ بتن

 نتایج آزمایش اسلامپ نمونه­های بتن حاوی ضد سولفات با مقادیر مختلف ملاس چغندرقند به ترتیب در جدول (1-4) و شکل (4-1) ارائه شده است. در این جدول نمونه شاهد (بدون ملاس) با حرف C و نمونه‌های حاوی ملاس با CM مشخص گردیده است.

جدول (4-1) تاثیر افزودن ملاس چغندرقندبر میزان اسلامپ بتن حجیم رده A

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **شماره بتن** | **اسلامپ (سانتیمتر)** | **میزان تغییرات اسلامپ نسبت به بتن شاهد (سانتیمتر)** | **درصد تغییرات اسلامپ بتن**  |
| **C** | 41/9 | - | - |
| **CM-1** | 44/10 | 03/1 | 86/9 |
| **CM-2** | 85/10 | 44/1 | 27/13 |
| **CM-3** | 73/10 | 32/1 | 30/12 |
| **CM-4** | 12/10 | 71/1 | 37/15 |
| **CM-5** | 26/11 | 85/1 | 42/16 |

شکل (4-1) مقدار اسلامپ نمونه­های مختلف بتنی ضد سولفات حاوی ملاس چغندرقند

نتایج آزمایش اسلامپ نشان می‌دهد که با افزودن درصد ملاس چغندرقند در تمامی حالات، اسلامپ بتن ضد سولفات نسبت به بتن شاهد افزایش یافته است. به گونه‌ای که در نمونه‌های بتنی حاوی ملاس چغندرقند با افزایش درصد ملاس، افت اسلامپ نیز کم­تر شده است.

نتایج کلی به دست آمده از افزایش ملاس چغندرقند به نمونه‌های بتنی ضد سولفات نشان می‌دهد که نمونه بتنی CM-5 با افزودن 3/0 درصد وزنی ملاس چغندرقند، بیشترین تغییرات افزایشی در میزان اسلامپ نمونه‌های بتنی را ایجاد نموده است.

2-2-4 نتایج آزمايش زمان گیرش

همانگونه که پیش از نیز بیان شد، در برخی موارد در پروژه‌های اجرایی مربوط به بتن‌ریزی‌های حجیم، نیاز است که زمان گیرش بتن تا حد ممکن به تاخیر بیفتد. به همین منظور از مواد افزودنی شیمیایی کند‌گیر‌کننده همچون ملاس چغندرقند در بتن استفاده می‌شود. در این بخش، نتایج مربوط به آزمایش زمان گیرش درخصوص تعیین میزان زمان گیرش اولیه و نهایی بتن براساس مقدار نفوذ 3/2 سانتیمتر برای رسیدن به نیروی 5/3 مگاپاسکالی (گیرش اولیه) و نیروی 6/27 مگاپاسکال (گیرش نهایی) نمونه­های بتنی ضد سولفات در طرح اختلاط­های متفاوت بتن بر حسب مقدار ماده افزودنی کندگیر کننده (ملاس) در جدول (4-2) و شکل (4-2) نشان داده شده است.

جدول (4-2) نتایج آزمایش زمان گیرش در طرح­های اختلاط مختلف

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **نام طرح** | **نسبت ملاس به سیمان (درصد)** | **زمان گیرش اولیه (دقیقه)** | **زمان گیرش نهایی (دقیقه)** |
| **C** | 0 | 310 | 401 |
| **CM-1** | 1/0 | 331 | 413 |
| **CM-2** | 15/0 | 352 | 426 |
| **CM-3** | 2/0 | 396 | 451 |
| **CM-4** | 25/0 | 421 | 461 |
| **CM-5** | 3/0 | 433 | 465 |

به عنوان یک نتیجه کلی از جدول فوق مشاهده می‌شود که زمان گیرش اولیه و نهایی بتن با افزودن ملاس نسبت به بتن شاهد (بدون ملاس) تاحدودی افزایش یافته است. همچنین نتایج به دست آمده از آزمایش زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات با طرح اختلاط CM با افزودن ماده کندگیر کننده ملاس با مقادیر مختلف (مطابق شکل (4-2) ) نشان می­دهد که با افزودن مقدار ملاس از 1/0درصد تا 3/0درصد، مقدار زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه­ها به طور پیوسته در حال افزایش است (از 331 تا 433 دقیقه به ازای زمان گیرش اولیه و از 413 تا 465 دقیقه به ازای زمان گیرش نهایی). اما میزان این زمان با افزایش مقدار ماده کندگیر کننده از 2/0درصد به بعد با تغییرات کم­تری همراه بوده است. به عبارت بهتر، براساس نتایج آزمایش گیرش، مقدار 2/0درصد از این نوع ماده افزودنی را می­توان به عنوان مقدار بهینه جهت دستیابی به بیشترین زمان گیرش اولیه و نهایی در نظر گرفت.



شکل (4-2) نتایج آزمایش زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه­های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات با طرح اختلاط CM با افزودن مقادیر مختلف ماده کندگیر کننده (ملاس)

نتایج کلی حاصل از آزمایش زمان گیرش با نمونه­های مختلف بتن ضد سولفات براساس زمان گیرش اولیه و زمان گیرش نهایی در شکل (4-3) نشان داده شده است. نتایج نشان می­دهد که با افزایش مقدار ملاس، مقدار زمان گیرش اولیه و ثانویه تمامی نمونه­ها در حال افزایش است. به گونه ای که در تمامی موارد با افزودن 2/0درصد وزنی افزودنی ملاس در هر پنج نوع طرح اختلاط، بیشترین زمان گیرش برای نمونه ها حاصل شده است.

شکل (4-3) مقایسه نتایج زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه­های بتنی حاوی سیمان ضد سولفات با مقادیر مختلف ماده کندگیر کننده (ملاس)

3-2-4 نتایج آزمایش مقاومت فشاری

نتایج اولیه مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری انجام شده بر روی نمونه های بتن ضد سولفات حاوی ملاس چغندرقند براساس مقدار مقاومت در سنین 7، 28، 42 و 90 روزه نمونه‌های بتنی در طرح اختلاط‌های متفاوت بر حسب مقادیر متفاوت ماده افزودنی کندگیر کننده (ملاس) در جداول (4-3) الی (4-7) آمده است. علاوه بر این نتایج مربوط به مقایسه نمودارهای مقاومت فشاری میانگین نمونه‌ها با طرح اختلاط‌های مختلف جهت تعیین درصد بهینه ملاس مورد استفاده در سنین مختلف در جدول (4-8) و شکل (4-4) نشان داده شده است.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره طرح اختلاط** | **سن نمونه** | **تاریخ آزمایش** | **شماره نمونه** | **وزن (گرم)** | **وزن در آب (گرم)** | **چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)** | **نیروی جک (کیلوگرم)** | **مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)** | **مقاومت فشاری میانگین (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)** | **مقاومت فشاری میانگین (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) استوانه ای** |
| **طرح اختلاط 1 (CM-1)** | 7 | 96/8/8 | 1 | 7694 | 4420 | 2.35 | 37800 | 169.13 | 166.19 | 132.96 |
| 2 | 7748 | 4470 | 2.36 | 37000 | 166.66 |
| 3 | 7708 | 4420 | 2.34 | 35900 | 162.80 |
| 28 | 96/8/29 | 1 | 7781 | 4492 | 2.37 | 60700 | 271.59 | 266.48 | 213.19 |
| 2 | 7758 | 4460 | 2.35 | 56300 | 253.59 |
| 3 | 7918 | 4606 | 2.39 | 61300 | 274.27 |
| 42 | 96/9/13 | 1 | 7924 | 4624 | 2.40 | 66300 | 298.65 | 290.13 | 232.10 |
| 2 | 7774 | 4484 | 2.36 | 63700 | 288.86 |
| 3 | 7725 | 4468 | 2.37 | 62800 | 282.87 |
| 90 | 96/11/1 | 1 | 7814 | 4400 | 2.29 | 68900 | 310.35 | 309.09 | 247.27 |
| 2 | 7838 | 4440 | 2.31 | 68800 | 307.83 |

جدول (4-3) نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط اول حاوی 1/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-1)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره طرح اختلاط** | **سن نمونه** | **تاریخ آزمایش** | **شماره نمونه** | **وزن (گرم)** | **وزن در آب (گرم)** | **چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)** | **نیروی جک (کیلوگرم)** | **مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)** | **مقاومت فشاری میانگین (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)** | **مقاومت فشاری میانگین (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) استوانه ای** |
| **طرح اختلاط 2 (CM-2)** | 7 | 96/8/11 | 1 | 7770 | 4504 | 2.38 | 37200 | 168.69 | 171.49 | 137.19 |
| 2 | 7708 | 4430 | 2.35 | 37400 | 168.46 |
| 3 | 7640 | 4370 | 2.34 | 39100 | 177.31 |
| 28 | 96/9/2 | 1 | 7774 | 4552 | 2.41 | 61300 | 274.27 | 275.38 | 220.31 |
| 2 | 7658 | 4454 | 2.39 | 59900 | 271.63 |
| 3 | 7716 | 4514 | 2.41 | 61800 | 280.25 |
| 42 | 96/9/16 | 1 | 7792 | 4398 | 2.30 | 67900 | 305.84 | 298.21 | 238.57 |
| 2 | 7706 | 4366 | 2.31 | 62100 | 281.61 |
| 3 | 7828 | 4454 | 2.32 | 68200 | 307.19 |
| 90 | 96/11/4 | 1 | 7780 | 4508 | 2.38 | 70700 | 320.61 | 323.52 | 258.81 |
| 2 | 7858 | 4560 | 2.38 | 71500 | 326.42 |

جدول (4-4) نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری بر روی طرح اختلاط دوم حاوی 15/0 درصد وزنی ملاس (نمونه های بتنی CM-2)

# فصل پنجم

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

خلاصه: در این فصل با جمع بندی و ارائه نتایج به دست آمده از بررسی‌های انجام شده در قالب فصول سوم و چهارم به طور خلاصه، پیشنهاداتی برای انجام ادامه تحقیقات آتی در امتداد موضوعات مورد توجه در این پایان‌نامه ارائه گردیده است.

|  |  |
| --- | --- |
| 93 | ۱-۵ مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| 93 | ۲-۵ محتوای تحقیق . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| 94 | 3-۵ نتایج . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| 97 | 4-۵ پیشنهادات . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |

1-5 مقدمه

در اين فصل تحقیق، به طور مختصر به بیان نتایج حاصل از پژوهش درخصوص بررسی تاثیر استفاده از ملاس چغندرقند به عنوان یک ماده افزودنی کنترل کننده زمان گیرش بر رفتار مکانیکی بتن حاوی سیمان ضد‌سولفات پرداخته شده است. به همین منظور در ادامه، پس از ارائه توضیحات مختصری درباره مباحث مورد بررسی در این پایان‌نامه به بیان نتایج حاصل از آزمایش‌های اسلامپ، زمان گیرش، مقاومت فشاری و کششی و همچنین آزمایش ذوب و یخبندان متوالی بر روی نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف ملاس مورد استفاده جهت تعیین مقدار بهینه ملاس به صورت خلاصه پرداخته شده و در انتها پیشنهاداتی جهت انجام تحقیقات آتی درخصوص بررسی استفاده از ملاس چغندرقند حاصل از پساب کارخانه‌ها‌ی قند به عنوان یک ماده ضایعاتی در محیط زیست ارائه شده است. همچنین شایان ذکر است که برخی از محدودیت‌های موجود در مسیر تحقق اهداف پایان نامه حاضر نیز بیان شده است.

2-5 محتوای تحقیق

یکی از روش‌های موثر در دستیابی به پیشبرد اهداف ساخت و ساز پایدار، کاهش گازهای گلخانه‌ای و نیز کاهش مصرف منابع طبیعی در صورت استفاده مجدد از محصولات جنبی فرآورده‌های صنعتی است. یکی از محصولات جنبی صنایع غذایی، ملاس چغندرقند است که سالانه چندین هزار تن از این ماده ملاس در کارخانه‌های فراوری شکر تولید شده و تقریباً بدون هیچگونه استفاده مفیدی در محیط زیست رها می‌شود.

امروزه میزان تولید ملاس در کارخانه‌های چغندرقند کشور، بین 4 تا 7 درصد وزن چغندر مصرفی است؛ به طوری که ملاس تولیدی در جهان به بیش از 35 میلیون تن در ایران و به بیش از 320 هزار تن در سال می‌رسد. عوامل مختلفی بر ترکیبات ملاس موثرند که از جمله آن­ها می‌توان به نوع و واریته چغندر، شرایط کشت چغندر، کیفیت و وضعیت نگهداری چغندر، منطقه جغرافیایی، چگونگی و نحوه­ی فرایند در کارخانه و عوامل مختلف دیگر اشاره کرد.

از سوی دیگر، در سال­های اخیر راهكارهای جدیدی براي بهبود خواص رفتاری و مقاومتی بتن به خصوص زمان گیرش ارائه شده و به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته که یکی از این راهکارها استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی به بتن است. از این رو یافتن راه‌هایی جدید و کم‌هزینه که بتواند نقش موثر افزودنی‌های شیمایی کنترل‌کننده زمان گیرش را با کم­ترین هزینه در بتن ایجاد کند، ضروری به نظر می‌رسد. این در حالی است که با توجه به فراواني ضایعاتی همچون ملاس چغندرقند که به صورت دورریز و بدون استفاده در کارخانه‌های تولید شکر وجود دارد با به کارگیری این ماده بازیافتی، قادر است جنبه تحقیقی جدیدی را ایجاد کند.

بر این اساس در پژوهش حاضر تلاش شد تا به بررسی تاثیر استفاده از مواد ضایعاتی کارخانه‌های تولید شکر، یعنی ملاس چغندرقند، به عنوان ماده افزودنی شیمیایی کنترل کننده زمان گیرش در بتن استفاده شود و تاثير استفاده از این ماده بر خصوصیات رفتاری و مقاومتی نمونه‌های بتنی حاوی سیمان ضد‌ سولفات مورد بررسي قرار گيرد.

بدون شک هر تحقیقی دارای محدودیت‌هایی است که کنترل آن از عهده محقق خارج بوده و از جمله این محدودیت‌ها در تحقیق حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

* محدودیت­های مربوط به تهیه مصالح مورد نیاز جهت ساخت بتن ضد سولفات همچون سیمان و سایر مصالح.
* مشکلات مربوط به هزینه‌های زیاد آزمایشگاهی جهت ساخت، پرداخت و عمل‌آوری نمونه‌های بتنی و انجام آزمایشات مختلف بر روی آن­ها.
* محدودیت در تولید نمونه‌های بتنی ضد‌سولفات با تعداد محدود به دلیل کمبود قالب­های مورد نیاز در ساخت نمونه­ها با ابعاد مختلف در آزمایشگاه.
* نبود دستگاه‌های پیشرفته در آزمایشگاه جهت بررسی رفتار درون ذره‌ای مصالح بتنی در حین شکست.
* عدم وجود زمان کافی برای انجام تست‌های آزمایشگاهی بیشتر به منظور ساخت و تولید نمونه‌های مختلف بتن ضد‌سولفات حاوی ملاس.

3-5 نتایج

به طور کلی نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

1- نتایج آزمایش اسلامپ نشان می‌دهد که با افزودن درصد ملاس چغندرقند در تمامی حالات، اسلامپ بتن ضد سولفات نسبت به بتن شاهد افزایش یافته است. به گونه‌ای که در نمونه‌های بتنی حاوی ملاس چغندرقند با افزایش درصد ملاس، افت اسلامپ نیز کم­تر شده است. همچنین نتایج کلی به دست آمده نشان می‌دهد که نمونه بتنی CM-5 با افزودن 3/0 درصد وزنی ملاس چغندرقند، بیشترین تغییرات افزایشی در میزان اسلامپ نمونه‌های بتنی را ایجاد کرده است (افزایش 42/16 درصدی نسبت به نمونه شاهد).

2- نتایج آزمایش زمان گیرش اولیه و نهایی بتن نشان می‌دهد که با افزودن ملاس نسبت به بتن شاهد (بدون ملاس) تاحدودی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزودن مقدار ملاس از 1/0درصد تا 3/0درصد، مقدار زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه‌ها به طور پیوسته در حال افزایش است (از 331 تا 433 دقیقه به ازای زمان گیرش اولیه و از 413 تا 465 دقیقه به ازای زمان گیرش نهایی). اما میزان این زمان با افزایش مقدار ماده کندگیر‌کننده از 2/0درصد به بعد با تغییرات کمتری همراه بوده است. به عبارت بهتر، براساس نتایج آزمایش گیرش، مقدار 2/0درصد از این نوع ماده افزودنی را می‌توان به عنوان مقدار بهینه جهت دستیابی به بیشترین زمان گیرش اولیه و نهایی در نظر گرفت(افزایش 1/27 درصدزمان گیرش اولیه و 46/12 درصد افزایش زمان گیرش نهایی نسبت به نمونه شاهد).

2- بررسی تاثیر استفاده از مواد پودری متفاوت همچون مواد معدنی در ترکیب با ملاس چغندرقند به عنوان یک افزودنی شیمیایی و تهیه طرح اختلاط‌های مختلف جهت بررسی رئولوژی بتن.

3- بررسی تاثیر استفاده از سایر مواد افزودنی کنترل‌کننده زمان گیرش در بتن ضد‌سولفات همچون زودگیر‌کننده ها، مواد قوام‌آور و مواد افزودنی کاهنده آب در مقایسه با ملاس.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1] | خالو، علیرضا، و ایراجیان، محمود (مترجمان). (1383). *طراحی و کنترل مخلوط­های بتن* (ویرایش سیزدهم) (نوشته کسمانگا، ا.ا.؛ پانارس، و.س.). تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی شریف. |  |
|  | Erntroy, D, & Shacklock, B. (2005). *Design and Control concrete mixtures*. New York: Taylor & Francis. | [2] |
| [3] | رمضان­پور، علی‌اکبر؛ قدوسی، پرویز، و گنجیان، اسماعیل (مترجمان). (1383). ریزساختار، *خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)* (نوشته مهتا، ب.ک.؛ مونته نیرو، پ.). تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. |  |
|  | *ACI Manual of Concrete Practice*. (1987). American Concrete Instirute. | [4] |
|  | *British Standard*, 3rd ed. (1992). London. PCN: 12-540265-89. | [5] |
|  | Caldarone, A. (2009). *High Strength Concrete*. New York: Taylor&Francis. | [6] |
|  | *ASTM Standard*, 1st ed. (1993). Philadelphia: ASTM. PCN: 03-549093-63. | [7] |
|  | Choo, B. S., & Newman J. (2003). Advanced *Concrete Technology (concrete properties)*, London: Butterworth-Heinemann. | [8] |
|  | Choo, B. S., & Newman, J. (2003). *Advanced Concrete Technology (processes)*, London: Butterworth-Heinemann. | [9] |
| [10] | رمضانیان‌پور، علی‌اکبر (مترجم). (1385). *تکنولوژی بتن* (نوشته نویل، پ.). تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. |  |
| [11] | مستوفی‌نژاد. (1393). [*تکنولوژی و طرح اختلاط بتن*. اصفهان: انتشارات ارکان دانش.](https://www.civilweb.ir/%D8%AF%D8%A7%D9%86%D9%84%D9%88%D8%AF-%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%DA%A9%D9%86%D9%88%D9%84%D9%88%DA%98%DB%8C-%D9%88-%D8%B7%D8%B1%D8%AD-%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%84%D8%A7%D8%B7-%D8%A8%D8%AA%D9%86-%D8%AF/)  |  |
| [12] | *نشریه شماره ISIRI-3517*. (1394). بتن آماده و ویژگی ها. استاندارد ملی ايران. |  |
| [13] | *نشریه شماره 120*. (1392). آئین نامه بتن ایران (آبا). استاندارد ملی ايران. |  |
| [14] | صالحین، علیرضا، و عسگری اصل، رضا (مترجمان). (1394). مواد افزودني شيميايي بتن (نوشته ريکسوم، ر.). تهران: [*نشر*](https://www.digikala.com/Search?brand%5b0%5d=3350&sortby=2&status=2) *دانشگاهی فرهمند*. |  |
| [15] | سبحانی سیره، مهشید. (۱۳۹۲). ملاس و کاربرد آن در صنایع مختلف. *بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*، شیراز، دانشگاه شیراز. |  |
| [16] | موسوی‌نسب، مرضیه؛ فرقانی، زهرا، و سیدی، آرزو. (۱۳۹۲). ملاس و کاربردهای آن در صنایع تخمیری. *بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*، دانشگاه شیراز. |  |
| [17] | مصباحی، غلامرضا. (1390). اصول صنایع تولید شکر. *نشر علم کشاورزي ایران*، صص. 275-286. |  |
| [18] | عباسی، زهرا. (1385). روش هاي نوین بازیافت و کاربردهاي جدید ضایعات کارخانجات قند و شکر. *شانزدهمین کنگره ملی صنایع غذایی*. |  |
| [19] | کرامت، جواد. (1380). جدا کردن رنگ کاراملی از ملاس چغندر و بررسی ویژگی ها و کاربرد آن در صنایع غذایی. *مجله علوم و فنون کشاورزي و منابع طبیعی*، ج 5، شماره 1. |  |
| [20] | مصباحی، غلامرضا. (1390). اصول صنایع تولید شکر. *نشر علم کشاورزي ایران*، صص. 275-286. |  |
| [21] | موسوي‌نسب، مرضیه، و داراب‌زاده، نازنین. (1389). تولید میکروبی لایزین با استفاده از آب پنیر و ملاس. *نشریه پژوهش هاي علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد 6، شماره 2. |  |
| [22] | میردامادی، سید سعید؛ بیک محمدی، لیلا؛ رجبی، افسانه، و عزیز محسنی، فرزانه. (۱۳۸۴). استفاده از ملاس در تولید اقتصادی اسید لاکتیک به روش تخمیر غیرپیوسته (feed-batch) توسط سویه Lactobacillus casei subsp casei. *چهارمین همایش ملی بیوتکنولوژی ایران، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.* |  |
| [23] | میاهی‌پور، عباس؛ بنکدارپور، بابک، و بهرامی، علی. (۱۳۸۳). ملاحظاتی در زلا‌لسازی ملاس نیشکر جهت استفاده در فرایند تولید اتانول زیستی. *نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران*، دانشگاه علم و صنعت ایران. |  |
|  | Dan Zhang, et al. (2012). Economical production of poly (γ-glutamic acid) using untreated cane molasses and monosodium glutamate waste liquor by Bacillus subtilis NX-2. *Bioresource Technology*. Vol. 114. | [24] |
|  | Razmovski, R., & Vucurovic, V. (2012). Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using Saccharomyces cerevisiae immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*, Vol. 92. | [25] |
|  | Aalm, A., & Singh, P. (2016) Experimental Study on Strength Characteristics of Cement Concrete by Adding Sugar Waste, International Journal of Enhanced Research in Science. *Technology & Engineering*, Vol. 5, Issue 7, pp. 2319-7463. | [26] |
|  | Liu W.; Liu Y.; Liu S., & Jiang X., The progress of research on treating molasses waste water and resources. *China Res ComprUtil*. (2009). 27, 39-41. | [27] |
|  | Baradan, B.; Yazıcı, H.; & Ün, H. (2002). Durability of concrete and r/c structures. *Publication of Turkish Ready Mixed Concrete Association*, pp. 84-105. | [28] |
|  | Jumadurdiyev, A.; Özkul, M. H.; Sağlam, A. R., & Parlak, N. (2004). The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp. 874-882. | [29] |
|  | Yahia, A.; Tanimura, M., & Shimoyama, Y. (2005). Rheological Properties of Highly Flowable Mortar Containing Limestone Filler-Effect of Powder Content and W/C Ratio. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp. 532-539. | [30] |
|  |  |  |

**Abstract**

In recent years, new strategies have been developed to improve the behavioral and concrete properties of concrete, especially the time it has been used one of these solutions is the use of chemical and mineral additives to concrete. On the other hand, due to the abundance of wastes such as sugar beet molasses, which can be recycled without use in sugar factories, the possibility of using this recycled material to improve the behavioral properties of Concrete containing cesium sulphate can provide a new research aspect. Accordingly, in this research, we tried to study the effect of using sugar beet molasses as a chemical additive on time control on behavioral and resistance properties of concrete samples containing anti-sulfate cement. For this purpose, the effect of molasses on this type of concrete has been evaluated by performing laboratory studies and preparing various concrete samples containing anti-sulfate cement. The results of the slam test indicate that adding molasses of sugar beet, anti-sulfate concrete slump increases relative to the control concrete. Also, the results of initial and final tensile test of concrete show that by adding molasses to concrete (no molasses), it increases somewhat and 0.2% of this additive can be considered as an optimal amount to achieve the maximum initial and final binding time. In addition, based on the results of the test, compressive strength at different ages of 7, 28, 42, and 90 days on concrete samples containing anti-sulfate cement mixed with different molluscs with different weight percentages, it was concluded that 0.2% Molasses can be considered as an optimum amount to achieve the highest compressive strength and tensile strength. Finally, the results of freezing and thawing test on concrete samples showed that by adding molasses percentage, concrete detachment and drop weight of concrete specimens were steadily decreasing, it can be said that the addition of molasses as a chemical to the concrete reduces the strength of the concrete compared to the control concrete (without molasses).

**Key Words:** Sugar beet molasses, Optimum percentage, Concrete mechanical properties, Concrete containing cesium sulphate



*Sadjad University of Technology*

*Department of Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*

**Study of the Effect of Sugar Beet Molasses on the Mechanical Properties of Concrete Containing Cesium Sulphate**

A Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of the Civil Engineering in Construction Management

**Reza Soleimani**

Supervisor

**Professor Hassan Haji Kazemi**

**August 2018**



*Sadjad University of Technology*

*Department of Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*

**Study of the Effect of Sugar Beet Molasses on the Mechanical Properties of Concrete Containing Cesium Sulphate**

**Reza Soleimani**

**August 2018**

1. ترکیب آمیزه‌های بالقوه به حداکثر ترکیب مجاز بر مبنای ASIMC150 و با استفاده از ترکیب شیمیایی سیمان اطلاق می‌شود. ترکیب واقعی آمیزه‌ها ممکن است در اثر واکنش شیمیایی ناقص یا تغییر یافته، با مقدار محاسبه شده آن‌ها متفاوت باشد. [↑](#footnote-ref-1)
2. Blaihne [↑](#footnote-ref-2)
3. Loos of Ignition [↑](#footnote-ref-3)
4. Insolouble Residue [↑](#footnote-ref-4)