تحقیقات بتن
سال سیزدهم، شمارهٔ سوم
پائیز ۹۹
ص ۱۴۹ – ۱۳۷
تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۸

یادداشت پژوهشی

بررسی اثر تفاله ساقه نیشکر باگاس در طرح اختلاط بتن‌های سازه‌ای در محیط‌های سولفاتی و کلرایدی

سیدعلی موسوی داودی *
فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد سازه –مرکز آموزش عالی طبری، بابل، ایران.
محمدحسن خلیل‌پاشا
استادیار دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار، ایران.

چکیده
در جهان مجتمع‌های تولید نیشکر سالانه حدود یک میلیون و ۲۰۰ هزار تن باگاس مازاد تولید می‌کنند که به‌دلیل نبود صنایع تبدیلی سوزانده می‌شوند. در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌های مختلف علمی، صنعت بتن نیز دچار تحول گردیده است. بتن حاوی پوزولان با توجه به ویژگی های خاصی که دارد دارای کاربردهای مختلف می‌باشد، که برحسب وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن تفکیک می‌گردد. با توجه به اهمیت این موضوع در این مقاله به بررسی اثر تاثیر تفاله ساقه نیشکر باگاس در طرح اختلاط بتن‌های سازه‌ای در محیط‌های سولفاتی و کلرایدی پرداخته می‌شود، برای این منظور از یازده نمونه آزمایشگاهی استفاده می‌شود که درصد پوزولان آن از ۰ تا ۵۵ درصد به عنوان پارامتر متغیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد، در انتها با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی نتیجه شد که افزودن پوزولان باگاس در بتن سبب افزایش مقاومت مکانیکی بتن در محیط‌های کلرایدی و سولفاتی می‌شود و همچنین درصد بهینه پوزولان باگاس که سبب بیشترین مقاوت فشاری در بتن‌های حاوی این پوزولان می‌شود، ۲۵٪ وزنی سیمان است..

واژه‌های کلیدی: تفاله نیشکر، پوزولان باگاس، محیط سولفاتی، محیط کلرایدی.

* نویسنده مسئول: Ali_mousavii@yahoo.com

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر کشورهای زیادی از مواد پوزولانی در بتن برای بهبود مقاومت و دوام استفاده می‌کنند، یکی از مواد پوزولانی مصنوعی که تحقیقات استفاده از آن در حال انجام می‌باشد، خاکستر باگاس نیشکر می‌باشد. باگاس تفاله‌ای است که پس از استخراج شکر از نیشکر، حاصل می‌شود. باگاس در صنعت تولید نئوپان، تخته نیمه فشرده، کاغذ، الکل سازی، تولید اسید سیتریک بکار گرفته می‌شود[۱]. از باگاس برای فرآوری خوراک دام نیز استفاده می‌شود. امروزه مساله خوردگی فولاد در بتن از معضلات عمده کشورهای مختلف جهان است. این مساله حتی در کشورهای پیشرفته همچون آمریکا، کانادا، ژاپن و بعضی کشورهای اروپایی هزینه‌های زیادی را برای تعمیر آن‌ها به دنبال داشته است. به عنوان مثال درگزارش‌های بررسی پل‌ها در آمریکا حدود ۱۴۰،۰۰۰ پل مسئله داشته‌اند. این مسئله در کشورهای در حال توسعه و در کشورهای حاشیه خلیج فارس بسیار شدیدتر بوده و سازه‌های بتنی زیادی در زمانی نه چندان طولانی دچار خوردگی و خرابی گشته اند [۱]. بررسی‌ها در این مناطق نشان می‌دهد که اگر مصالح مناسب انتخاب گردد، بتن با مشخصات فنی ویژه این مناطق طرح گردد، در اجرای بتن از افراد کاردان استفاده شود و سرانجام اگر عمل-آوری کافی و مناسب اعمال شود، بسیاری از مسایل بتن بر طرف خواهد گشت. با پیشرفت روز افزون انقلاب تکنولوژیک به ویژه در تولید بتن‌های خاص و همچنین با وجود افزودنی‌های بتن در مناطق و شرایط خاص می‌توان از این بتن‌ها در ساخت و سازهای آینده استفاده نمود. دانش استفاده صحیح از مصالح، اجرای مناسب و عمل‌آوری کافی می‌تواند به دوام بتن‌ها در مناطق خاص بیفزاید. تحقیقات گسترده و دامنه داری برای بررسی دوام بتن های خاص در شرایط ویژه و در دراز مدت بایستی برنامه‌ریزی و به صورت جهانی به اجرا گذاشته شود. یکی از این روش‌ها استفاده از پوزولان‌های باگاس می باشد[۲].

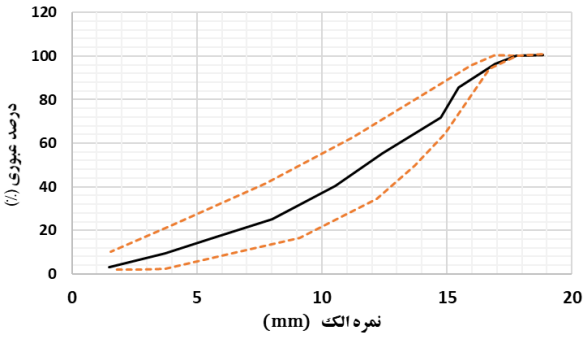
رمضانیانپور و همکاران در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ایی در زمینه خاکستر باگاس انجام دادند، آنها در این پژوهش عنوان نمودند که استفاده از خاکستر تفاله ساقه نیشکر(باگاس) بعنوان یکی از مواد جایگزین سیمان در بتن و ملات به‌شدت افزایش یافته است که این مسئله بدلیل خاصیت پوزولانی و همچنین تأثیرات مثبت زیست محیطی آن می‌باشد. آنها در تحقیق خود ابتدا به بررسی مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با پوزولان باگاس با درصدهای جایگزینی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد پرداختند، سپس مقاومت سولفاتی بتن‌های حاوی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد خاکستر باگاس را مورد بررسی قرار دادند، و میزان تاثیرات باگاس بر روی دوام این نمونه‌ها را ارزیابی کردند. برای این منظورآنها نمونه‌های بتنی را پس از ۲۸ روز عمل‌آوری، در محلول‌های سولفات سدیم ۵٪ و سولفات منیزیم ۵٪ قرار دادند، و میزان حمله سولفاتی آنها را به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری افت مقاومت فشاری مورد ارزیابی قراردادند. نتایج آزمایش‌های آنان بطورکلی نشان داد که عملکرد مناسب پوزولان باگاس در افزایش مقاومت و کاهش اثرات مضر حمله سولفاتی تاثیر گذار می‌باشد، که بیشترین اثر مقاومت سولفاتی در نمونه‌هایی اتفاق افتاد که حاوی ۲۰ درصد پوزولان باگاس بود [۳].

Corderio و همکاران با بررسی مقاومت فشاری ملات‌ها گزارش کردند که خاکستر باگاس در رده مواد پوزلانی می‌باشد، اما فعالیت پوزولانی آن بستگی به اندازه ذرات ریزی دارد[۴].-Noor-ul Amin تاثیر خاکستر باگاس را بر روی مقاومت فشاری و مقاوم در برابر یون کلراید بررسی کرده است. نتیجه تحقیقات او نشان می‌دهد که خاکستر باگاس یک پوزلان با درصد بهینه جایگزینی ۲۰٪ می‌باشد که نفوذ یون کلراید را بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌دهد[۵]. Chuslip و همکاران در بررسی که بر روی مقاومت سولفاتی ملات‌های حاوی باگاس انجام دادند به این نتیجه رسیدند که ملات‌های با جایگزینی ۱۰ درصد خاکستر باگاس با افت حرارتی کمتر آسیب پذیری کمتری در مقابل حمله سولفاتی نشان دادند. همچنین پیشرفت مقاومت فشاری‌های ملات-های حاوی خاکستر باگاس با افت حرارتی کمتر بیشتر می‌باشد ولی در نهایت به نمونه‌های با افت حرارتی مختلف به مقاومت مشابه می‌رسند. نمونه‌های حاوی ۲۰،۱۰ و ۳۰ درصد خاکستر باگاس مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های بیشتری نسبت به نمونه‌های کنترل داشتند [۶]. در تحقیق دیگری Nasir Shaifq و همکاران با جایگزینی صفر تا ۵۰ درصد خاکستر باگاس و محاسبه میزان کاهش مقاومت و کاهش وزن نمونه‌های بتنی به بررسی مقاومت سولفاتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فارغ از درصد جایگزینی باگاس افزودن این پوزولان به بتن سبب افزایش مقاومت سولفاتی می‌گردد ولی بهترین مقاومت سولفاتی با درصد جایگزینی ۱۵ درصد حاصل می‌گردد[۷].

۲- مصالح و روش‌ها

۲-۱- معرفی مصالح

اغلب سنگدانه‌های مصرفی در مناطق حاشیه ناحیه‌های ساحلی از انواع ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های آهکی و دولومیتی است. به علت تبخیر شدید، نمک‌ها در سطح این سنگ‌ها رسوب کرده و لایه‌ای سخت با مقدار زیادی نمک تشکیل می‌شود. زیاد بودن میزان نمک‌ها در این مصالح عاملی برای خوردگی فولاد در حمله عوامل خورنده بر بتن است. مصالح سنگدانه مورد استفاده در این آزمایش، ماسه مصرفی، ماسه طبیعی شسته با میزان جذب آب ۲/۱ درصد وزنی می‌باشد. شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر بعد سنگدانه ۱۷ میلی‌متر و با میزان جذب آب ۱/۶۵ درصد وزنی می‌باشد. منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی در ساخت نمونه‌های بتنی در شکل(۱) در ناحیه مورد قبول روش طرح اختلاط آشتو برای دانه‌بندی با حداکثر قطر سنگدانه ۱۷ میلی‌متر قرار می‌گیرد. سنگدانه مصرفی از نوع شن شکسته با وزن مخصوص ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب با جذب آب ۱/۶۵ درصد وزنی می‌باشد. همچنین ماسه مصرفی از نوع طبیعی با وزن مخصوص ۲/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب با جذب آب ۲/۴۷ درصد وزنی می‌باشد.



شکل۱- نمودار منحنی دانه بندی مصالح سنگدانه مصرفی

۲-۱-۱ سیمان

سیمان استفاده شده در این آزمایش از نوع سیمان تیپ 1-525 می‌باشد، سطح ویژه بلین یا درجه نرمی سیمان توسط آزمایش بلین محاسبه شد که مقدار آن برای سیمان تیپ 1-525 به میزان ۲۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بود.

۲-۱-۲- پوزولان باگاس

پوزولان باگاس مورد استفاده در کوره موجود آزمایشگاه با دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد که به عنوان دمای بهینه تهیه پوزولان باگاس مشخص گردید تولید شد. پس از تولید خاکستر در کوره نسبت به آسیاب کردن آن در آسیاب گلوله ای به مدت ۱۵ دقیقه اقدام گردید. خواص مکانیکی سیمان و خاکستر باگاس در جدول (۱) آمده است. میزان پوزولان باگاس مصرفی در طرح اختلاط توسط ابتدا میزان فعالیت پوزولانی با روش ترموگراویمتری (TG) اندازه گیری شده است، که حداکثر مقدار پوزولان توسط این آزمایش تا ۵۵٪ درصد وزن سیمان ارائه شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد چسباننده

ترکیبات شیمیایی(%)	نوع نمونه	
	سیمان	خاکستر باگاس
SiO_2	20.90	64.88
Al_2O_3	4.76	6.40
Fe_2O_3	3.41	2.63
Cao	65.41	10.69
MgO	1.25	1.55
SO_3	2.71	1.56
LOI	0.96	8.16
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	-	73.91

در این پژوهش به منظور مطالعه تاثیر پوزولان باگاس بر روی بتن و اثر مقاومتی آن در محیط‌های سولفاتی و کلرایدی از یازده نمونه مطالعاتی با طرح اختلاط متفاوت استفاده گردید، این یازده نمونه با مقادیر مختلف پوزولان خاکستر باگاس تهیه شده است که این درصد تغییرات پوزولان باگاس از ۰ الی ۵۰٪ درصد وزن سیمان در نمونه متغیر خواهد بود، همچنین لازم به ذکر می‌باشد، کلیه نمونه‌ها مطالعاتی دارای نسبت آب به مواد سیمانی ثابت ۰/۳۸ و میزان مواد سیمانی ۴۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشند. در جدول (۲) می‌توان مشخات کلی نمونه‌های مورد تحلیل را مشاهده کرد.

۲-۱-۳- طرح اختلاط

بررسی اثر تأثیر تفاله ساقه نیشکر باگاس در طرح اختلاط بتن‌های سازه‌ای در محیط‌های سولفاتی و کلرایدی از یازده طرح اختلاط استفاده گردید، که در جدول ۲ مشخصات آن ارائه شده است. لازم به ذکر است در طرح اختلاط نمونه‌ها آزمایشی هیچ نوع مواد افزودنی استفاده غیر از پوزولان باگاس استفاده نشده است.

جدول ۲- طرح اختلاط نمونه های مورد آزمایش

نام نمونه	مقدار خاکستر باگاس (Kg)	سیمان (Kg)	درشت دانه (Kg)	ریز دانه (Kg)	مقدار آب (Kg)	درصد جایگزینی
Model-1	0	410				%0
Model-2	43	367				%5
Model-3	61	349				%10
Model-4	86	324				%15
Model-5	97	313				%20
Model-6	106	304	712	635	156	%25
Model-7	123	287				%30
Model-8	134	276				%35
Model-9	141	269				%40
Model-10	148	262				%45
Model-11	153	257				%50

۲-۲- معرفی آزمایش‌های تحقیق

۲-۲-۱- آزمایش مهاجرت یون کلراید براساس استاندارد AASHTO TP64)RCMT)

یکی از روش‌ها و آزمایش‌های مهم برای تعیین ضریب انتشار یون کلرید در بتن روش رایج براساس استاندارد AASHTO TP64 است، آزمایش RCMT است، که سطح بتن در معرض محلول کلرید قرار می‌گیرد و مقدار یون کلرید در سنین خاص و در عمق-های خاص اندازه‌گیری می‌شود و عمق نفوذ یون کلرید به‌دست می‌آید که به کمک آن می‌توان کیفیت بتن‌ها را در مقایسه با یکدیگر ارزیابی نمود و می‌توان بتن‌ها را نیز از این نظر طبقه بندی کرد[۸]. در این پژوهش بمنظور تعیین ضریب انتشار یون کلرید انجام آزمایش مهاجرت یون کلراید RCMT بر روی نمونه استوانه با بعد ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت ۵ سانتی‌متر انجام شد و میزان نفوذپذیری بتن در برابر یون کلراید از طریق شکستن و اندازه‌گیری مستقیم میزان نفوذ با پاشیدن محلول نیترات نقره اندازه‌گیری و سپس توسط فرمول (۱) میزان ضریب نفوذ پذیری ماسه می‌گردد.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)^{L}}{(U-2)t}\left[x_d - 0.0238\sqrt{\frac{(273+T)LX_d}{U-2}}\right] \quad (۱)$$

Dnssm: ضریب مهاجرت حالت غیر پایدار در ۱۰ به توان (۱۲-)

U: ولتاژ اعمال شده

T: مقدار میانگین دمای اولیه و نهایی در محلول آنولیت بر حسب سانتی‌گراد

L: ضخامت نمونه بر حسب میلی متر

xd: مقدار میانگین، عمق نفوذ بر حسب میلی متر

۲-۲-۲- آزمایش مقاومت الکتریکی براساس استاندارد AASHTO T358 (RCPT)

این آزمایش با ارائه مقاومت الکتریکی بتن موجود، به طراحان و کارشناسان امکان تصمیم‌گیری در زمینه طرح‌های مقاوم‌سازی و تقویت و یا صحت‌سنجی عملیات‌های ساختمانی را می دهد. سهولت یا سختی عبور جریان الکتریکی از بتن اشباع می‌تواند نشانه‌ای از نفوذپذیری آن در برابر آب و به‌ویژه انتشار و مهاجرت یونی (به‌ویژه یون کلرید) باشد مخصوصا اگر با آب نمک اشباع گردد. در این آزمایش ارزیابی نرخ خوردگی احتمالی نمونه‌های احتمالی بتنی مسلح در حمله کلراید مورد بررسی قرار گرفت که براساس استاندارد AASHTO T358 انجام شد که در آن نمونه‌های ساخته شده به صورت استوانه قطر ۱۰ سانتی‌متر و اتفاع ۵۲۰ سانتی‌متر تا سنین ۲۸ تا ۹۰ روز در محلول آب آهک اشباع نگه‌داری شدند وسپس مقاومت الکتریکی هر نمونه مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد [۹].

۲-۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTMC172

مقاومت فشاری بتن هفت روزه بسته به نوع سیمان مصرفی می‌تواند متغییر باشد. اما به‌صورت استاندارد مقاومت فشاری بتن هفت روزه در حدود ۷۵ درصد بتن ۲۸ روز می‌باشد. مقاومت فشاری نهایی بتن (مقاومت ۲۸ روزه) متناسب با طرح اختلاط، نسبت آب به سیمان، و عیار سیمان بتن می‌باشد. معمولاً با توجه به استانداردهای ایران، مقاومت ۲۸ روزه برابر مقاومت طرح در نظرگرفته می‌شود. در این آزمایش برای انجام آزمایش مقاومت فشاری براساس

استاندارد ASTM C172 نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر ساخته و تا سن آزمایش در محلول آب آهک اشباع نگه‌داری شدند، آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۹۰،۲۸،۷ و ۱۸۰ روز بر روی نمونه‌ها انجام گردید [۱۰].

۲-۲-٤- آزمایش حمله سولفات سدیم و منیزم براساس استاندارد AASHTO T104

آزمایش حمله سولفات سدیم و منیزیم براساس استاندارد AASHTO T104 انجام می‌شود، ابتدا با قراردادن نمونه‌های بتنی در محلول سولفات سدیم و بررسی تغییر وزن و مقاومت فشاری آنها در طول زمان است. نمونه‌ها مکعبی با بعد ۱۰ سانتیمتر که برای این آزمایش تهیه شدند در محلول آب آهک اشباع تا سن ۲۸ روز عمل آوری شدند، سپس در محلول سولفات سدیم ۵ درصد و محلول سولفات منیزیم ۵ درصد قرار داده شدند. وزن نمونه‌های مربوط به تغییر وزن پیش از قرارگیری در محلول سولفات سدیم اندازه‌گیری و ثبت گردید. مقاومت فشاری ۲۸روزه نمونه‌های بتنی هم تعیین گردید. از آنجا که در طول زمان سولفات سدیم با محصولات هیدراتاسیون سیمان واکنش می‌دهد و مقدار آن در محلول کاهش می‌یابد، بایستی به روشی مقدار آن را در محلول ثابت نگاه داشت. با توجه به اینکه pH محلول با کاهش مقدار سولفات سدیم افزایش می‌یابد با کنترل pH محلول مقدار سولفات سدیم ثابت نگاه داشته شد. روش کار بدین صورت بود که pH محلول‌های سولفات در ابتدا ثبت شد و پس از آن بطور روزانه و روزی چند بار این pH با اضافه نمودن اسید سولفوریک به محلول کنترل می‌گردید. البته تغییرات pH پس از حدود ۱۲۰ روز کاهش یافت و دیگر نیازی به تنظیم آن بطور روزانه نبود. نمونه‌های درون ظرف هر چند وقت یکبار جابجا می‌شدند تا اثر سولفات سدیم بطور یکنواخت بر تمامی سطوح اعمال گردد. در سن آزمایش نمونه‌های بتنی مربوط به تغییر وزن از ظرف خارج می‌شدند و همچون با اول قرائت وزن آنها، سطوحشان خشک می‌گردید و وزن اندازه‌گیری می‌شد. نمونه‌های مربوط به تغییر مقاومت فشاری نیز همچون نمونه‌های معمولی مقاومت فشاری تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار داده می‌شدند. همچنین pH محلول منیزیم اندازه‌گیری شد، البته تغییرات pH در این محلول‌ها کمتر از سولفات سدیم بود [۱۱].

۲-۲-۵- آزمایش نفوذ آب تحت فشار (BS EN-12390-8)

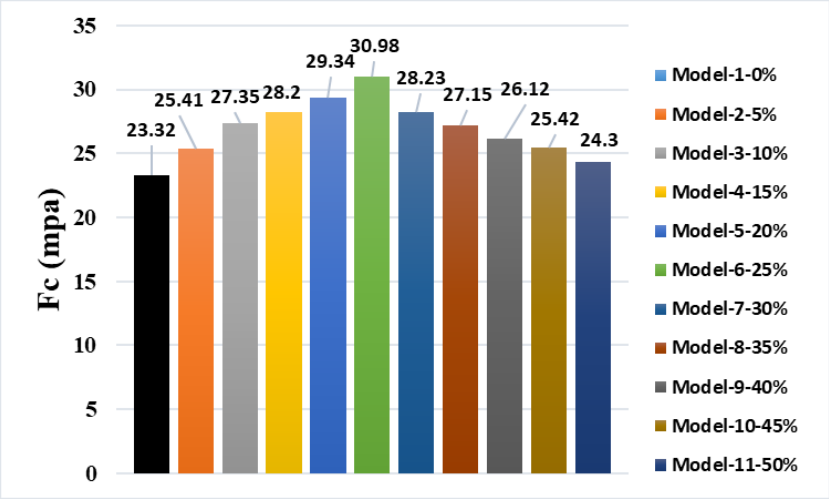
از آنجا که آزمایش‌های نفوذپذیری در برابر آب همراه با چالش‌های فراوانی است، در برخی کشورهای اروپایی مانند آلمان آزمایش دیگری انجام می‌شد که تحت فشار آب، در زمان معینی، عمق آب نفوذی در بتن بدست می‌آمد (DIN 1048-5). سپس در EN 12390-8 با تغییرات مختصر، این آزمایش با سهولت بیشتر ارائه شد که در آن نمونه بتنی سه روز از سطح زیرین تحت فشار ۰/۵ MPa (۵ بار) قرار می‌گیرد و سپس حداکثر عمق نفوذ آب بدست می‌آید که پارامتری در جهت ارزیابی نفوذ آب در بتن می‌باشد. در منابع مختلف طبقه‌بندی بتن‌ها در آزمایش DIN 1048 آمده است، اما هنوز این طبقه‌بندی برای آزمایش براساس روش EN ارائه نشده است. پراکندگی نتایج آزمونه‌های مختلف یک نوع بتن در این آزمایش زیاد است و چندان قابل اعتماد نمی‌باشد [۱۲]. بدین منظور در این پژوهش به منظور انجام آزمایش نفوذ آب از آیین نامه BS EN-12390-8 استفاده گردید، و همچنین نیز این آزمایش بر روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتی‌متر و در سنین ۲۸ روز و ۹۰ روزه انجام شده و نفوذ آب در نمونه‌های با درصد جایگزینی متفاوت پس از سه روز قرارگیری در فشار ۵ اتمسفر با شکاندن نمونه‌ها به دو قسمت اندازه‌گیری گردید [۱۲-۱۳].

۳- نتایج و تحلیل آزمایشگاهی

۳-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن بر روی یازده نمونه مطالعاتی، در شکل (۲) مقادیر مقاومت فشاری بتن برای سن ۲۸ روزه ارائه شده است. در این نمودار مقدار مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی درصد مختلف جایگزینی پوزولان باگاس از ۰ الی ۵۰ درصد وزن سیمان برای سن ۲۸ روزه بتن مشاهده می‌شود. در این نمودار مشخص شده است که مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزایش پوزولان باگاس از صفر درصد تا ۲۵٪ درصد روند افزایشی دارد، این روند افزایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های مطالعاتی تا ۲۵٪ درصد پوزولان جایگزینی باگاس ادامه داشته و بعد از ٪۲۵ روند نزولی را طی می‌نماید. قابل توجه است، که نمونه‌هایی با درصد جایگزینی بالای ۲۵٪ هم نسبت به نمونه بدون پوزولان باگاس و با پوزولان صفر درصد هم مقاومت فشاری بیشتری را از خود نسبت به نمونه بدون پوزولان نشان داده‌اند.

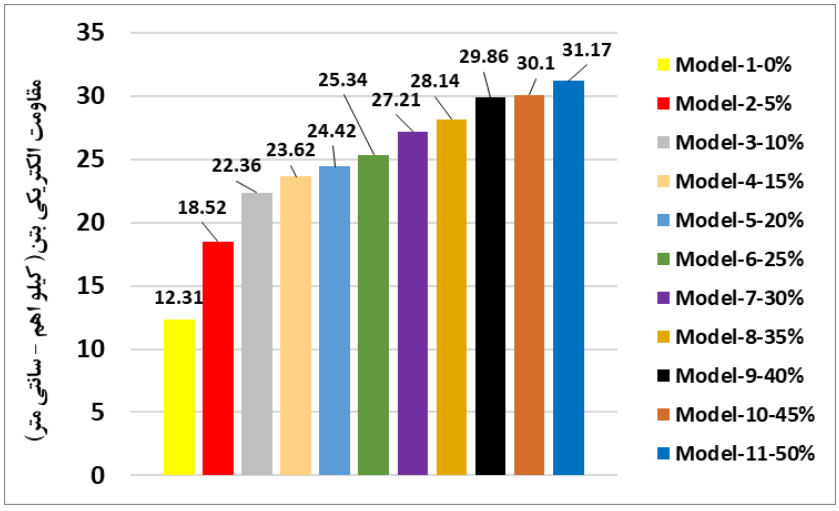
این عامل افزایش مقاومت بیانگر سرعت بالای واکنش‌پذیری پوزولانی می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با درصد جایگزینی ۲۵٪ تا ۵۰ درصد افزایش مقاومت فشاری اندکی نسبت به نمونه‌های قبل از ۲۵ درصد داشته است، که در انتها مشاهده شد که بالاترین مقاومت فشاری از بین این یازده نمونه با درصدهای مختلف پوزولان برای نمونه با درصد پوزولان ۲۵٪ بوده است.



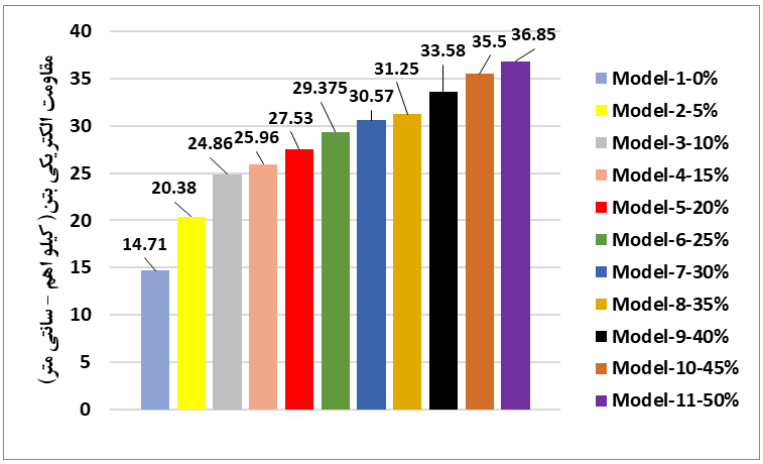
شکل ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

۳-۲- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

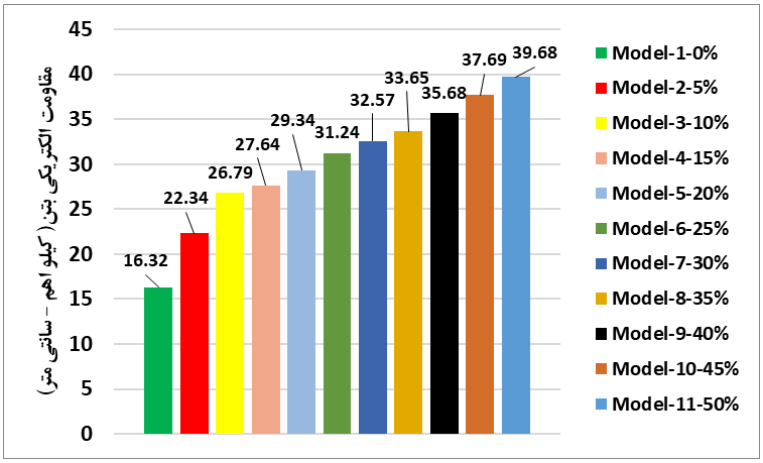
بعد از انجام آزمایش مقاومت الکتریکی بر روی یازده نمونه مطالعاتی با درصد پوزولان مختلف ۰ الی ۵۰٪ در اشکال (۳) الی(۵) می‌توان مقادیر مقاومت الکتریکی محاسبه شده نمونه‌های مطالعاتی در سنین ۲۸ و ۵۶ و ۹۰ روزه را مشاهده کرد. براساس آزمایش مقاومت الکتریکی مشاهده می‌شود، با اضافه کردن پوزولان باگاس در طرح اختلاط بتن مقدار مقاومت الکتریکی بتن افزایش یافته است. همچنین اثر پوزولان‌های باگاس در سنین بالا موجب افزایش مقاومت الکتریکی به طور میانگین درحدود ۲/۳ برابر نمونه بدون پوزولان شده است. با انجام آزمایش مقاومت الکتریکی که بر روی این یازده نمونه مطالعاتی انجام شد، مشاهده می‌شود که نرخ افزایشی مقاومت الکتریکی تا میزان ۲۵٪ پوزولان بسیار بالا و سریع می‌باشد، نرخ افزایش مقاومت الکتریکی بسیار بالاتر از نمونه‌های قبلی می‌باشد. نتایج بدست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که استفاده از پوزولان باگاس در طرح اختلاط بتن سبب کاهش خوردگی میلگردهای مدفون در بتن در محیط‌های کلرایدی و اسیدی می‌شود.



شکل۳- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه



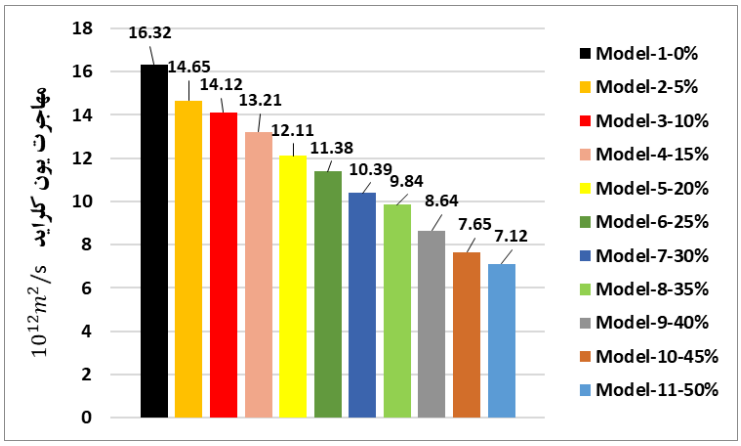
شکل۴- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۹۰ روزه



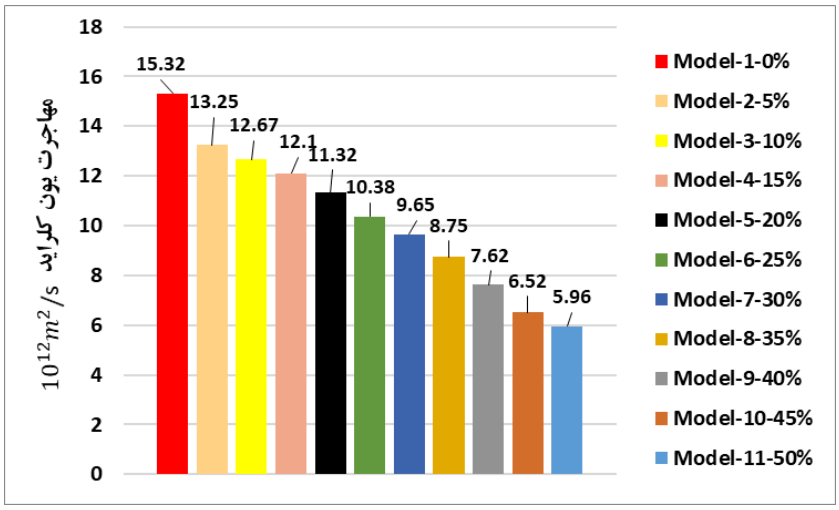
شکل۵- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۱۲۰ روزه

۳-۳- آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلراید (RCMT)

بعد از انجام آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلراید که براساس استاندارد AASHTO-TP64 بر روی یازده نمونه مطالعاتی با درصدهای مختلف حاوی پوزولان‌های باگاس انجام شد، در شکل‌های (۶) الی (۷) نتایج نمودار بدست آمده از آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلراید را مشاهده کرد، براساس این نتایج می‌توان بیان کرد، با افزایش درصد میزان پوزولان باگاس کاهش میزان نفوذ یون کلراید بر روی نمونه‌ها رخ خواهد داد. در بین نمونه‌های آزمایشگاهی با افزایش پوزولان باگاس مشاهده می شود، نمونه‌ها با افزایش درصد پوزولان باگاس در سن ۲۸ و ۵۶ روزگی مقدار ضریب نفوذ یون کلراید آنها کاهش می یابد.



شکل ۶- نتایج آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلراید۲۸ روزه



شکل۷- نتایج آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلراید ۵۶ روزه

۳-٤- آزمایش تغییر وزن نمونه‌های بتنی درحمله سولفات سدیم و منیزیم

بعد از انجام آزمایش حمله سولفات سدیم و منیزیم بر روی یازده نمونه آزمایشگاهی با درصد پوزولان صفر الی ۵۰٪ درصد می‌توان مشاهده کرد. که تمامی نمونه‌های مورد آزمایش با پوزولان و بدون پوزولان تا سن ۶۰ روزگی در محلول سولفات سدیم افزایش وزن داشته‌اند. علت افزایش وزن در نمونه‌های بتنی به علت تشکیل اترینگایت و گچ در اثر واکنش‌های یونی سولفات با هیدورکسیدکلسیم و نیز C_3A می‌باشد. این محصولات در فضاهای خالی بتن قرار می‌گیرند، و به وزن نمونه بتنی می‌افزایند. در دراز مدت به‌دلیل اینکه این محصولات حجم بیشتری نسبت به مواد اولیه دارند، موجب ترک خوررگی در ماتریس سیمان و تخریب و کاهش وزن می‌شوند.

همچنین با انجام آزمایش حمله سولفات سدیم و منیزم بر روی نمونه‌های با سن ۹۰ روز مشاهده گردید، که پس از گذشت ۹۰ روز از سن بتن، نمونه‌های مورد آزمایش در این پژوهش در سولفات منیزیم و سدیم کاهش وزن داشته‌اند. دلیل این کاهش وزن این نکته می‌باشد که اترینگایت و گچ بیشتری در نمونه‌های بتنی تولید شده و فضاهای خالی نمونه‌های بتنی را پر می‌کند این عامل سبب انبساط و تشکیل ترک خوردگی نمونه های بتنی می‌شود. البته در سن ۹۰ روزگی بتن در نمونه‌های قرار گرفته در سولفات سدیم کاهش وزن دیده نشده است، این عامل به دلیل تخریب کمتر نمونه‌ها در اثر سرعت کم تخریب کمتر در سولفات سدیم است.

به طور کلی عامل دیگری که موجب تخریب کمتر و در نتیجه کاهش وزن نمونه های پوزولانی در محلول سولفاتی است. کمتر شدن مقدار C_3A و $Ca(OH)_2$ در این نمونه ها می‌باشد که منجر به کمتر شدن پتانسیل تولید اترینگات و گچ در نمونه-های می‌گردد. در سن ۱۸۰ روزگی اثر این عامل در نتایج دیده می‌شود.

با توجه به نمونه‌های مطالعاتی در سن ۱۸۰روزگی در این پژوهش مشاهده شد، که در سن ۱۸۰روزگی درصد کاهش وزن تمامی نمونه‌های حاوی پوزولان باگاس کمتر از نمونه‌های دیگر است. در سن ۱۸۰ روزگی به طور کاملا مشخص اثر پوزولان‌های خاکستر باگاس در کاهش پتانسیل اترینگات و گچ مشاهده می‌گردد. با مطالعه و انجام آزمایش این یازده نمونه مطالعاتی با درصد باگاس ۰٪ الی ۵۰٪ مشاهده گردید که با اضافه کردن پوزولان خاکستر باگاس از میزان کاهش وزن نمونه‌ها بتنی کاسته خواهد شد. همچنین در بین یازده نمونه مطالعاتی درصد پوزولان باگاس بین ۰٪ الی ۵۰ ٪ ، نمونه با درصد ۲۵٪ پوزولان باگاس کمترین کاهش وزن را نسبت به نمونه‌های دیگر داشت.

بعد از انجام آزمایش حمله سولفات سدیم و منیزم در جداول (۳) و (۴) مشاهده می‌شود درصد کاهش وزن نمونه‌های آزمایشگاهی در محلول سولفات منیزیم بیش‌تر از سولفات سدیم است.

جدول ۳- تغییر وزن نمونه نسبت به وزن اولیه در سولفات سدیم ۵٪

نام نمونه ها	وزن اولیه نمونه(kg)	درصد تغییر وزن نسبت به وزن اولیه					
		۳۰ روزه	۶۰ روزه	۹۰ روزه	۱۲۰روزه	۱۵۰روزه	۱۸۰روزه
Model-1-0%	2410	0.28	0.32	0.24	-1.19	-2.16	-1.23
Model-2-5%	2453	0.34	0.24	0.31	-1.28	-1.42	-2.41
Model-3-10%	2368	0.31	0.27	0.32	-0.87	-2.14	-2.14
Model-4-15%	2634	0.23	0.22	0.27	-1.42	-1.52	-1.42
Model-5-20%	2689	0.27	0.26	0.29	-1.24	-1.34	-1.49
Model-6-25%	2575	0.16	0.23	0.19	-0.79	-1.03	-1.12
Model-7-30%	2398	0.26	0.33	0.23	-1.3	-1.63	-2.15
Model-8-35%	2435	0.33	0.29	0.34	-1.3	-1.75	-1.86
Model-9-40%	2514	0.29	0.36	0.29	-1.3	-2.16	-1.63
Model-10-45%	2451	0.31	0.33	0.38	-1.45	-2.02	-1.78
Model-11-50%	2531	0.34	0.37	0.40	-1.51	-2.12	-1.85

جدول۴- تغییر وزن نمونه نسبت به وزن اولیه در سولفات منیزیم ۵٪

نام نمونه ها	وزن اولیه نمونه(kg)	درصد تغییر وزن نسبت به وزن اولیه					
		۳۰روزه	۶۰روزه	۹۰روزه	۱۲۰روزه	۱۵۰روزه	۱۸۰روزه
Model-1-0%	2410	0.23	0.26	0.24	-1.82	-2.12	-2.42
Model-2-5%	2453	0.18	0.27	0.21	-1.26	-1.42	-1.17
Model-3-10%	2368	0.24	0.31	0.32	-0.87	-2.14	-2.32
Model-4-15%	2634	0.17	0.19	0.27	-1.42	-1.52	-1.53
Model-5-20%	2689	0.26	0.29	0.29	-1.53	-1.34	-1.19
Model-6-25%	2575	0.13	0.23	0.19	-0.82	-1.03	-1.13
Model-7-30%	2398	0.21	0.33	0.23	-1.34	-1.63	-1.45
Model-8-35%	2435	0.29	0.29	0.34	-1.22	-1.75	-2.85
Model-9-40%	2514	0.23	0.36	0.29	-1.25	-2.16	-2.23
Model-10-45%	2451	0.27	0.33	0.38	-1.45	-2.02	-1.87
Model-11-50%	2531	0.28	0.29	0.37	-1.63	-1.85	-1.52

۳-۵- نتایج آزمایش تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی درحمله سولفات سدیم و منیزیم

بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در برابر حمله سولفات سدیم و منیزیم بر روی نمونه‌های مطالعاتی با درصد صفر الی ٪۵۰ درصد باگاس مشاهده گردید، که کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی از سنین اولیه شروع می‌شود، این کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های حاوی پوزولان خاکستر باگاس در سنین اولیه بسیار اندرک می‌باشد، ولی از سن ۱۲۰ روزگی این کاهش مقاومت بسیار چشمگیر خواهد بود. به طور کلی این کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌ی بدون خاکستر باگاس نسبت به نمونه-های حاوی خاکستر باگاس بیشتر می‌باشد. همچنین نیز در بین این نمونه‌های مطالعاتی کمترین کاهش مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های حاوی ۲۵٪ خاکستر باگاس می‌باشد، همچنین نیز بیشترین کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی مورد مطالعه در حدود ۱۵ درصد تغییر داشته است. همچنین نیز به طور کلی با انجام آزمایش مقاومت برابر حمله سولفات سدیم و منیزیم در بین نمونه-های مطالعاتی نمونه‌های موجود در سولفات منیزیم نسبت به نمونه-های موجود در سولفات سدیم کاهش مقاومت بیشتری را از خود نشان داد. در انتهای این آزمایش مشاهده شد، که نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان باگاس قرار گرفته در محلول سولفات به طور کلی روند کاهش مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی پوزولان باگاس دارند.

جدول۵- مقاومت فشاری نمونه های بتن در سولفات منیزیم ۵٪

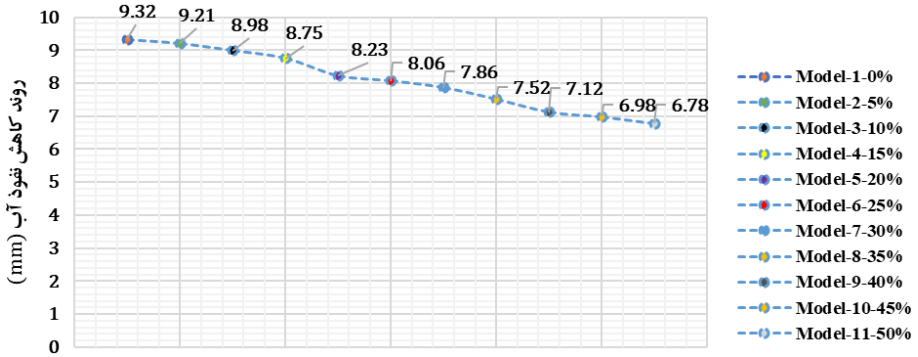
نام مدل	مقاومت فشاری نمونه های بتن در سولفات منیزیم ۸%			
	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۱۲۰ روزه	۱۸۰ روزه
Model-1-0%	45.35	43.24	42.12	41.12
Model-2-5%	45.95	44.76	43.52	42.26
Model-3-10%	46.12	45.09	44.13	43.32
Model-4-20%	46.98	45.72	44.69	43.69
Model-5-25%	47.74	46.52	45.43	44.52
Model-6-30%	47.52	46.31	44.12	43.62
Model-8-35%	47.12	45.95	43.85	42.48
Model-9-40%	46.85	45.72	43.62	42.13
Model-10-45%	46.62	45.53	44.42	43.10
Model-11-50%	45.32	44.85	44.23	42.90

جدول۶- مقاومت فشاری نمونه های بتن در سولفات سدیم ۵٪

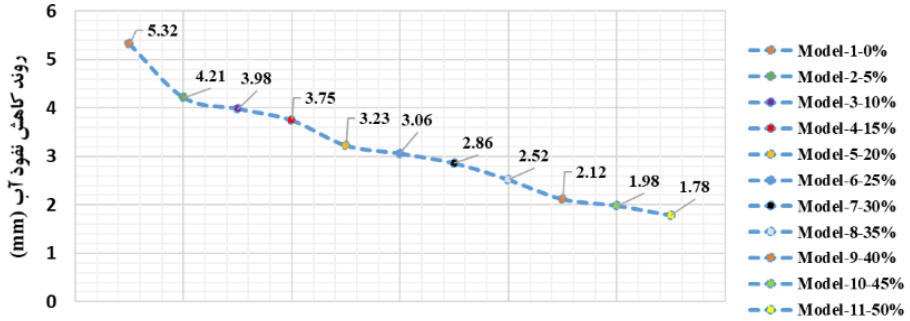
نام مدل	مقاومت فشاری نمونه های بتن در سولفات سدیم ۸%			
	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۱۲۰ روزه	۱۸۰ روزه
Model-1-0%	46.42	45.32	44.42	43.23
Model-2-5%	47.13	46.24	45.36	44.58
Model-3-10%	47.97	46.83	45.72	44.94
Model-4-20%	48.14	47.32	46.42	45.63
Model-5-25%	49.20	48.17	47.35	46.75
Model-6-30%	48.95	47.20	46.42	45.34
Model-8-35%	48.23	47.14	46.23	45.11
Model-9-40%	47.12	46.23	45.12	44.42
Model-10-45%	47.01	46.81	45.63	44.23
Model-11-50%	46.97	46.72	45.23	43.24

۳-۶- نتایج آزمایش نفوذ آب تحت فشار

بعد از انجام آزمایش نفوذ آب تحت فشار براساس استاندارد (BS EN-12390-8) بر روی نمونه‌های بتنی مورد مطالعه براساس جداول (۸) و (۹) مشاهده می گردد، که استفاده از پوزولان خاکستر باگاس به جای درصدی از وزن سیمان باعث کاهش نفوذ آب تحت فشار و نفوذپذیری در نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان خاکستر باگاس نسبت به نمونه بدون خاکستر باگاس است، با مطالعه بر روی نمونه‌های مطالعاتی مشاهده شد که با افزایش درصد پوزولان باگاس به جای درصدی از وزن سیمان نفوذ آب در داخل نمونه‌های بتنی بسیار پایین بود. در این پژوهش مشاهده گردید، نمونه‌های بتنی با درصد ۲۰ و ۲۵ خاکستر باگاس به جای وزن سیمان در سن ۹۰ روز هیچ نفوذی آبی در نمونه‌های بتن مشاهده نگردید، این موضوع نشان می‌دهد که پوزولان‌های خاکستر باگاس عملکرد بسیار مناسب و خوبی در کاهش نفوذ آب و همچنین افزایش دوام بتن را دارا می‌باشد.



شکل۸- روند کاهش نفوذ آب در نمونه های بتنی حاوی پوزولان در سن ۹۰ روز- (میلیمتر)



شکل۹- روند کاهش نفوذ آب در نمونه های بتنی حاوی پوزولان در سن ۱۲۰ روز- (میلیمتر)

٤- نتیجه گیری

در این پژوهش با بررسی اثر پوزولان باگاس بر روی یازده نمونه آزمایشگاهی نتایج زیر حاصل شد :

- با انجام آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی مشخص شد که مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان باگاس در سنین ۲۸ روز تا یک درصد افزایشی پوزولان سبب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود، که این مقدار درصد بهینه ۲۵٪ می باشد، بعد از این مقدار مقاومت فشاری بتن روند نزولی به خود خواهد گرفت.
- با انجام آزمایش مقاومت الکتریکی مشاهده گردید که افزایش پوزولان باگاس سبب کاهش خوردگی کلرایدی بتن در محیط‌های کلرایدی می‌شود، کاهش خوردگی کلرایدی نمونه‌های بتنی با روند افزایشی درصد پوزولان از صفر الی ۵۵٪ رابطه مستقیم خواهد داشت.
- با انجام آزمایش نفوذ یون‌های کلراید در بتن تحت آزمایش مشاهده گردید که نفوذ یون کلراید بر روی نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان باگاس در سنین ۲۸ و ۵۶ روز نسبت به نمونه-های بدون باگاس کاهش داشته است، این نرخ کاهشی نفوذ یون کلراید بر روی نمونه‌های بتنی با فزایش سن بتن روند افزایشی‌تری خواهد داشت. و همچنین این درصد افزایش یا روند افزایش درصد پوزلان نیز رابطه مستقیم خواهد داشت.
- با انجام آزمایش تغییر وزن نمونه‌های بتنی درحمله سولفات منیزیم و سدیم درتمامی نمونه‌های بتنی حاوی باگاس در ۵٪ سولفات منیزیم نسبت به نمونه‌های بدون پوزولان خاکستر باگاس مشاهده گردید، که مقدار نرخ کاهش وزن نمونه‌های بتنی کاسته شده است، این نکته حائز اهمیت می‌باشد که نرخ کاهشی وزن بتن برای نمونه‌های بتنی با مقدار ۲۵٪ پوزولان باگاس کمترین کاهش وزن را نسبت به نمونه‌های دیگر با درصد پوزولان باگاس داشته است.
- بعد از انجام آزمایش نفوذ آب تحت فشار مشاهده می گردد، که استفاده از پوزولان خاکستر باگاس به جای درصدی از وزن سیمان باعث کاهش نفوذ آب تحت فشار و نفوذپذیری در نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان خاکستر باگاس نسبت به نمونه بدون خاکستر باگاس است.
- نمونه‌های بتنی با درصد ۲۰ و ۲۵ پوزولان باگاس به جای وزن سیمان در سن ۹۰ روز هیچ نفوذی آبی در نمونه‌های بتن مشاهده نگردید، این موضوع نشان می‌دهد که پوزولان‌های باگاس عملکرد بسیار مناسب و خوبی در کاهش نفوذ آب و همچنین افزایش دوام بتن را دارا می‌باشد.
- با انجام آزمایش مقاومت فشاری و آزمایش تسریع شده مهاجرت یون کلراید مشاهده گردید، که با استفاده از پوزولان خاکستر باگاس در بتن به عنوان ماده جایگزین سیمان موجب بهبود عملکرد و کارایی بتن شده است. همچنین با بررسی درصدهای مختلف پوزولان از صفر الی ۵۰ درصدی وزن سیمان مشاهده شد، که بهینه‌ترین درصد جایگزینی وزنی

پوزولان با نسبت وزنی ۲۵٪ می‌باشد، این درصد بهینه از پوزولان باگاس در طرح اختلاط بتن سبب ایجاد بیشترین مقاومت فشاری و کمترین نفوذپذیری نمونهٔ بتنی و ایجاد افزایش دوام و کارایی بتن می‌گردد.

۵- مراجع

[1]. Naji Givi .A, Abdul Rashid .S, A.Aziz .F.N, Mohd Salleh .M.A."Assessment of the effects of tice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete".constr build mater 2010;24:2145-2150

[2]. Nuntachai Chusilp, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol " Effects of LOI of ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars" Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 12, December 2009, Pages 3523-3531.

[۳]. رمضانیانپور، علی اکبر؛ پرهیزکار، طیبه؛ قدوسی، پرویز؛ پورخورشیدی، علیرضا ؛ توصیه هایی برای پایایی بتن در سواحل جنوبی کشور نشریه شماره ۳۹۶ (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران ۱۳۹۳)

[4]. Corderio JF, Middendorf B, Gehrke M, Budelmann H. Use of wastes of sugar industry as pozzolana in lime- pozzolana binders: study of the reaction. Cem Concr Res 1998;28: 1525–36.

[5]. Noor-ul Amin .Use of Bagasse Ash in Concrete and Its Impact on the Strength and Chloride Resistivity . JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING © ASCE /MAY 2011/ 717.

[6]. R.e. Chuslip -Jaquez,J.E.Buelna-Rodriguez,C.P.Barrios-Durstewitz, C.Gaona-Tiburcio, and Almeraya- Calderon "Corrosion of Modified Concrete With Sugar Cane Bagasse Ash " Hindawi Publishing CorPoration International Journal of Corrosion Volume 2012, Articale ID451864, 5 pages doi:10.1155/2012/451864

[7]. Nasir Shafiq , Muhd Fadhil Nuruddin , Asma Abd Elhameed "Effect of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) on Sulphate Resistance of Concrete"International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, ISSN: 2319-7463

[8]. AASHTO TP 64 Standard Method of Test for Predicting Chloride Penetration of Hydraulic Cement Concrete by the Rapid Migration Procedure

[9]. AASHTO T358 Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration(2010)

[10]. ASTM C172 / C172M – 17 Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

[11]. AASHTO T 358 Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration(2010)

[12]. EN 206 Conformity Testing for Concrete Strength in Compression Procedia EngineeringVolume 1712017Pages 227-237

[13]. BS EN 12390-8:2019 standard Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure.

A Study on the Structural Effects of Bagasse Sugar Cane Stem in Structural Concrete Mixture in Sulfate and Chloride Environments

Seyed Ali Mousavi Davoodi *
Graduate of Structural Engineering - Tabari Higher Education Center.
Mohammad Hassan Khalilipasha
Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Jouibar Branch, Joubiar, Iran.

Abstract
Around the world, sugarcane production complexes annually produce about 1.2 million tons of surplus bagasse, which is burned due to the lack of conversion industries. In today's advanced world and due to advances in various scientific fields, the concrete industry has also evolved. Concrete containing pozzolan has different applications due to its special properties, which are differentiated according to its specific weight and compressive strength. Due to the importance of this issue, in this article, the effect of bagasse stem sugar pulp on the mixing of structural concretes in sulfate and chloride environments is investigated. For this purpose, eleven laboratory samples are used with a percentage of pozzolans of 0 to 55% is studied as a variable parameter. Finally, laboratory experiments showed that the addition of bagasse pozzolan in concrete increases the mechanical strength of concrete in chloride and sulfate environments and also the optimal percentage of bagasse pozzolan that causes the highest compressive strength in Concretes containing this pozzolan are 25% by weight of cement.

Keywords: Sugar Cane, Pozzolan Bagasse, Sulfate Environment, Chloride Environment.

* Corresponding Author: Ali_mousavii@yahoo.com