

## بررسی تأثیر اسیدشویی بر خواص مقاومتی و دوامی بتن دارای خاکستر پسته برنج

علی قاسمی \*

کارشناس ارشد سازه، مؤسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار

پیام حسینی

سرپرست آزمایشگاه‌های بتن و مصالح ساختمانی، مؤسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار

هرمز فامیلی

ریاست مؤسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار

### چکیده

بهره‌گیری از پوزولان‌ها به منظور کاهش مصرف سیمان به عنوان یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های به وجود آمده ناشی از تولید سیمان پرتلند مطرح می‌باشد. در همین راستا، یکی از فعال‌ترین پوزولان‌های بکار گرفته شده خاکستر حاصل از احتراق کنترل شده پسته برنج بوده که نتایج قابل قبولی را در بهبود دوام و مشخصات مکانیکی بتن نشان داده است. از طرفی یکی از مؤثرترین روش‌ها به منظور بهبود کیفیت این نوع پوزولان که کمتر مورد توجه قرار گرفته، اسیدشویی پسته‌های شلتوک برنج قبل از احتراق آن است. در این مقاله به بررسی مقاومت و دوام بتن ساخته شده با خاکستر تولیدی از روش اسیدشویی پرداخته شده است. در همین راستا و به منظور مقایسه، نمونه‌هایی از پوزولان خاکستر پسته برنج اسیدشویی نشده، زئولیت و دوده سیلیسی ساخته شده و مورد آزمایش‌های مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب تحت فشار، مقاومت الکتریکی، پتانسیل نیم پیل و نفوذ تسریع شده یون کلر قرار گرفتند. نتایج نشان دهنده کارایی مناسب روش اسیدشویی می‌باشد. به طوریکه خاکستر پسته برنج اسیدشویی شده از منظر مقاومتی و دوامی مناسب‌تر از نوع اسیدشویی نشده و نیز زئولیت عمل نموده است. همچنین اگرچه دوام نمونه‌های حاوی خاکستر پسته برنج اسیدشویی شده کمتر از نمونه‌های دارای دوده سیلیس می‌باشد، لیکن مقاومت فشاری این نمونه‌ها بسیار نزدیک به مقاومت نمونه‌های شامل دوده سیلیس بوده است.

واژه‌های کلیدی: خاکستر پسته برنج، خاکستر پسته برنج اسیدشویی شده، مقاومت، دوام.

## ۱- مقدمه

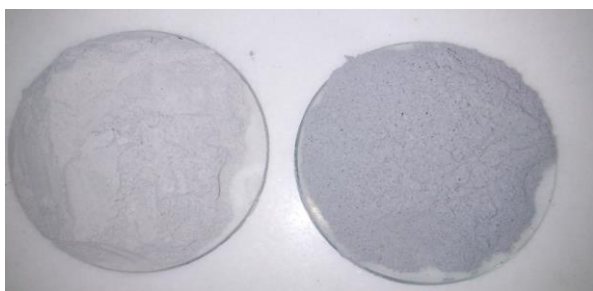
مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها استفاده از دمای بهینه احتراق، زمان بهینه برای آسیاب کردن، نرخ افزایش دمای مناسب، مدت زمان بهینه نگهداری در دمای نهایی و همچنین تصفیه ناخالصی‌ها با شست و شو با اسید را می‌توان نام برد [۱۰-۱]. از موارد بالا، اسیدشویی پوسته برنج کمتر مورد توجه بوده است که از دلایل آن می‌توان نیاز به آب، آلوده شدن منابع آبی پس از شست و شو به علت استفاده از اسیدهای با غلظت نسبتاً بالا، زمان طولانی شست و شو و در برخی موارد توصیه به جوشاندن پوسته‌ها در محلول هنگام اسیدشویی را نام برد.

از تحقیقات انجام شده بر روی خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده، می‌توان به تحقیق آقای Feng و همکاران بر روی نمونه‌های ملات حاوی خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده اشاره نمود. در این مقاله به بررسی اثر اسیدشویی پوسته برنج با هیدروکلریک اسید (HCl) دارای غلظت ۱ N (یک نرمال)، بر خواص پوزولانی خاکستر پوسته برنج پرداخته شده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های با ۱۰٪ جای‌گزینی خاکستر پوسته برنج اسید شویی شده با سیمان پرتلند در عمر ۲۸ روز نشان دهنده بهبود ۸ درصدی نسبت به نمونه خاکستر معمولی و ۴۳ درصدی نسبت به نمونه شاهد است [۵].

در ایران نیز آقای قلی‌زاده و همکاران تحقیق نسبتاً جامعی را بر روی نمونه‌های ملات حاوی خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده انجام دادند. در این تحقیق از اسید HCl با غلظت ۰/۰۱ نرمال به منظور شست و شوی شلتوک پوسته برنج استفاده شد. اثرات اسید شویی قابل توجه بود. برای مثال در عمر ۲۸ روز نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد خاکستر پوسته برنج اسید شویی شده که در دمای ۷۰۰ درجه به مدت یک ساعت احتراق یافتند، نسبت به نمونه معمولی با همین شرایط ۸ درصد و نسبت به نمونه شاهد ۳۰ درصد بهبود مقاومت داشتند [۶]. همچنین آقای Salas و همکاران که بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده از سیمان پرتلند نوع ۵ به همراه خاکستر معمولی و اسیدشویی شده و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ تحقیقی را انجام دادند، دریافتند نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد پوسته برنج نسبت به دیگر درصدهای جایگزینی برتری دارد. در این تحقیق نیز از غلظت یک نرمال (N)، HCl برای اسید شویی به مدت ۲۴ ساعت و از دمای ۶۰۰ درجه به مدت ۳ ساعت برای احتراق پوسته‌ها استفاده شد [۷].

با توجه به افزایش آلودگی‌های زیست محیطی در جهان، تلاش‌هایی به منظور کاهش یا حذف این آلودگی‌ها آغاز شده است. بتن به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی شناخته می‌شود. یکی از اجزای اصلی بتن، سیمان پرتلند است که فرآیند تولید آن مقادیر زیادی آلاینده را به محیط زیست وارد می‌نماید. جهت کاهش آلاینده‌گی تولید این ماده راهکارهای متعددی نظیر کاهش استفاده از سیمان و یا حذف آن با جای‌گزینی مواد دیگر پیشنهاد شده است. پوزولان‌ها توانسته‌اند چنین نقشی را ایفا نمایند. یکی از این پوزولان‌ها، خاکستر حاصل از احتراق پوسته برنج است که با داشتن مقدار بالای سیلیس، توانایی افزایش مقاومت و دوام مناسبی از خود نشان داده است. توجه به این پوزولان از دهه‌های آغازین قرن بیستم شروع گردید [۵-۱]. در ایران و جهان تحقیقات فراوانی بر روی مقاومت و دوام نمونه‌های خاکستر پوسته برنج انجام شده است. برای مثال در تحقیقی که توسط آقای رمضان پور و همکاران با استفاده از خاکستر پوسته برنج معمولی و سیمان نوع ۱ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ انجام شد، نمونه‌های حاوی جایگزینی ۱۵ درصد خاکستر پوسته برنج نتایج بهتری نسبت به نمونه‌های حاوی ۷ و ۱۰ درصدی این پوزولان کسب کردند. این نمونه‌ها در عمر ۲۸ روز دارای بهبود ۱۶ درصدی مقاومت فشاری، ۱۳ درصدی مقاومت کششی و ۴۳ درصدی مقاومت الکتریکی نسبت به نمونه شاهد بوده‌اند. در آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) نسبت شار عبوری در این نمونه نسبت به نمونه شاهد به ۲۲ درصد می‌رسید [۲]. در تحقیق آقایان مدن دوست و رحیمی پله شاه بر روی نمونه‌های خاکستر پوسته برنج معمولی که با سیمان نوع ۲ و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و احتراق پوسته برنج در دمای ۶۰۰ درجه انجام گردید، نمونه‌های حاوی ۱۰٪ خاکستر پوسته برنج نسبت به نمونه‌های ۵ تا ۲۰ درصدی برتری داشته‌اند، به طوری که این نمونه‌ها در عمر ۲۸ روز حدود ۱۵ درصد مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه شاهد کسب نمودند [۳]. از تحقیقات دیگری که در خارج از کشور صورت گرفته می‌توان به کار آقایان Zhung و Mohan اشاره کرد، که از نسبت آب به سیمان ۰/۴ استفاده نموده و به درصد بهینه ۱۰ دست یافتند [۴]. همچنین در طی سالیان گذشته روش‌های مختلفی جهت تولید بهینه این خاکستر

همچنین به منظور تولید خاکستر پسته برنج اسیدشویی شده، پس از تهیه پسته پسته برنج، محلول ۰/۰۱ نرمال از HCl (جوهر نمک) تهیه گردید [۶]. پسته برنج به مدت ۵ دقیقه در محلول قرار گرفته و سپس با فشار زیاد آب شست و شو داده شد تا اثری از جوهر نمک در آن نباشد. پسته‌ها سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط خشک شدند. پس از خشک شدن، پسته برنج اسید شویی شده نیز به مدت ۳ ساعت در دمای نهایی ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. مشاهده شد که خاکستر حاصله روشن تر از نمونه قبلی است. سپس خاکستر حاصله با شرایط مشابه نمونه معمولی آسیاب گردید. روشن تر بودن رنگ خاکستر پسته برنج اسید شویی شده در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- خاکستر پسته برنج تولیدی (سمت راست خاکستر پسته برنج معمولی و سمت چپ خاکستر پسته برنج اسید شویی شده) ویژگی‌های شیمیایی خاکسترها و سیمان مصرفی در جدول شماره ۱ آورده شده است. مطابق جدول ۱، مشاهده می‌گردد که میزان سیلیس موجود در نمونه اسید شویی شده در حدود یک درصد از نمونه معمولی بیشتر است. این افزایش درصد سیلیس در اسید شویی با همین غلظت به مدت ۱ ساعت و احتراق ۴ ساعته در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس به میزان ۳ درصد می‌رسد [۶]. همچنین آزمایش BET<sup>۱</sup> عدد  $m^2/g$  را برای نمونه خاکستر پسته برنج معمولی و عدد  $126/39$   $(m^2/g)$  را برای نمونه خاکستر پسته برنج اسیدشویی شده نشان داد که این موضوع افزایش سطح ویژه ذرات خاکستر پسته برنج با به کارگیری اسیدشویی را بیان می‌دارد. لازم به ذکر است که از این پس در این مقاله RHA علامت اختصاری خاکستر پسته برنج و T-RHA، خاکستر پسته برنج اسید شویی شده، M، دوده سیلیسی و Z علامت اختصاری زئولیت خواهد بود. نسبت‌های طرح اختلاط بتن در جدول شماره ۲ آورده شده است. مقدار استفاده از فوق‌روان کننده برای دستیابی به اسلامپ  $8 \pm 1$

البته نمونه مقالات دیگری برای درصد بهینه ۱۰ و ۱۵ درصد وجود دارد. با توجه به شرایط نزدیک تولید پسته برنج، و نوع سیمان مصرفی به منابعی که درصد بهینه را ۱۰ درصد اعلام نمودند و همچنین اعلام مشکلات کارایی بتن و نیاز به مصرف درصد بالایی از فوق‌روان کننده در نمونه‌های با جای‌گزینی بیش از ۱۰ درصد، در این تحقیق تصمیم به ساخت نمونه‌هایی با ۱۰ درصد جای‌گزینی از سیمان پرتلند گرفته شد [۴]. نوع سیمان و نسبت آب به سیمان با توجه به توصیه‌های آیین‌نامه‌ای، سیمان نوع ۲ و مقدار ۰/۴ انتخاب گردیدند [۱۱].

با توجه به مطالب بیان گردیده در بالا، در این پژوهش به تولید نمونه‌هایی از خاکستر پسته برنج اسید شویی شده با HCl دارای غلظت ۰/۰۱ نرمال و در دمای احتراق ۶۰۰ درجه به مدت ۳ ساعت پرداخته شد. تفاوت این پژوهش با نمونه‌های دیگر در اسیدشویی پسته برنج با HCl دارای غلظت ۰/۰۱ نرمال تنها به مدت ۵ دقیقه در دمای معمولی و بدون جوشاندن است که ضمن مطابقت بیشتر با حفظ محیط زیست، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در زمان و مصرف انرژی را در پی دارد. همچنین قابل ذکر است که اسید شویی با این غلظت قبلاً در نمونه‌های ملات بررسی گردیده و در بتن آزمایش نشده است و بر همین اساس تعیین مقاومت فشاری و دوام بتن ساخته شده با این محصول می‌تواند جالب توجه باشد.

## ۲- مصالح، نمونه‌ها و روش آزمایش

در این پژوهش پنج مخلوط بتنی شامل نمونه شاهد و نمونه‌هایی با ۱۰٪ جای‌گزینی سیمان نوع ۲ با پوزولان‌های خاکستر پسته برنج اسید شویی شده، خاکستر پسته برنج معمولی، زئولیت و دوده سیلیسی ساخته شد. به منظور تهیه خاکستر پسته برنج، پسته برنج از شمال کشور تهیه گردید. پسته مورد نظر طی مدت زمان ۳ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد احتراق قرار گرفت [۴]. نرخ افزایش دما ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه بوده و احتراق در کوره‌ای با دمای همگن انجام شد. خاکستر حاصل از احتراق در دمای محیط سرد گردید. در این حین مشاهده شد که خاکستر پسته برنج به رنگ خاکستری درآمده است. سپس خاکستر حاصله توسط دستگاه آسیاب گلوله‌ای، به مدت ۲۰ دقیقه با نسبت ۲ کیلوگرم گلوله سرامیکی و ۲۲۵ گرم خاکستر پسته برنج آسیاب شد.

<sup>1</sup> Brunauer, Emmett, Teller

### ۳- نتایج و تحلیل

#### ۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نمونه‌ها پس از ۲۸ و ۹۱ روز مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج این آزمایش در شکل ۲ آورده شده است. نتایج به طور کلی نشان از افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پوزولان نسبت به نمونه شاهد در هر دو سن ۲۸ و ۹۱ روز دارند. افزایش مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌های T-RHA و RHA نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۴ و ۱۴ درصد بوده است و این مقدار افزایش برای سن ۹۱ روزه به ۱۸ و ۱۰ درصد می‌رسد. همچنین نتایج نشان دهنده بهبود مقاومت نمونه T-RHA نسبت به نمونه RHA به مقدار ۹ و ۷ درصد به ترتیب در عمرهای ۲۸ و ۹۱ روزه می‌باشند. لازم به ذکر است نمونه دوده سیلیسی بهترین عملکرد را در بین پوزولان‌های مصرفی داشته است.

سانتیمتر به صورت درصدوزنی فوق‌روان کننده به مواد سیمانی بیان گردیده است. جدول ۳ شامل ابعاد و تعداد نمونه‌های ساخته شده به تفکیک آزمایش و استانداردهای استفاده شده برای هر آزمایش است. نمونه‌های ساخته شده برای آزمایش‌های مقاومت فشاری، پتانسیل نیم پیل، نفوذ تسریع شده یون کلر و مقاومت الکتریکی پس از ۲۴ ساعت از قالب جدا شده و در دمای  $24 \pm 2$  درجه سلسیوس تا زمان آزمایش در آب آهک اشباع عمل آوری شدند. نمونه‌های آزمایش نیم پیل نیز پس از ۲۴ ساعت از قالب جدا شده و در دمای  $24 \pm 2$  درجه سلسیوس تا سن ۲۸ روز در آب آهک اشباع قرار گرفته و بعد از این مدت به منظور افزایش سرعت خوردگی تا عمر ۹۱ روز در همین دما و محلول آب نمک حاوی ۳٪ نمک طعام (NaCl) قرار گرفتند.

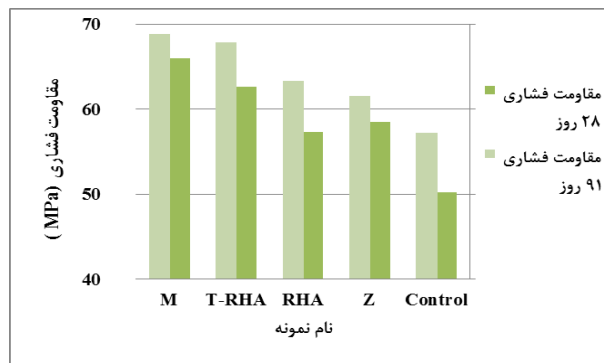
جدول ۱- آنالیز اشعه ایکس فلورسانس (XRF) نمونه‌های RHA, T-RHA, زئولیت، دوده سیلیس و سیمان

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
-	-	-	-	۰/۰۲	۹۴/۴	۲/۲	۰/۱۱	۰/۲	۱/۳	۰/۱۲	RHA
-	-	-	-	۰/۱۳	۹۵/۳	۰/۹	۰/۰۹	۰/۲۴	۱/۶	۰/۱۴	T-RHA
-	-	-	-	-	۹۳	۱/۰۱	-	۰/۹۷	-	۱/۳	M
-	-	-	-	۰/۷۳	۶۹/۲۸	۱/۲۷	۰/۴۹	۰/۵	۳/۵۶	۱۰/۴۳	Z
۵۲	۲۲	۵	۱۲/۱	۰/۴۱	۲۱/۱	۰/۴۱	۳/۹۵	۱/۵۲	۶۳/۵	۴/۴۱	سیمان*

\* نوع دو شاهرود

جدول ۲- نسبت‌های طرح اختلاط بتن

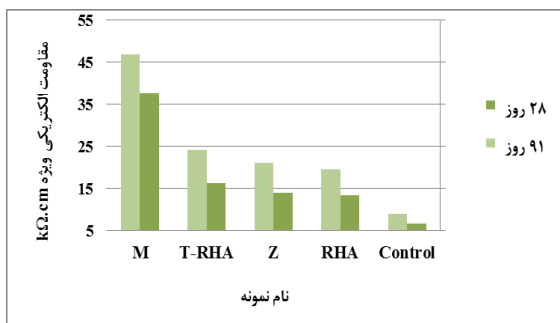
پوزولان (Kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (Kg/m <sup>3</sup> )	آب (Kg/m <sup>3</sup> )	درصد فوق روان کننده به مواد سیمانی	آب به مواد سیمانی	شن (Kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (Kg/m <sup>3</sup> )	مخلوط‌ها
-	۴۲۰	۱۶۸	۰/۱۰	۰/۴۰	۹۵۸	۷۸۴	Control
۴۲	۳۷۸	۱۶۸	۰/۳۹	۰/۴۰	۹۴۹	۷۷۷	RHA
۴۲	۳۷۸	۱۶۸	۰/۴۴	۰/۴۰	۹۴۸	۷۷۶	T-RHA
۴۲	۳۷۸	۱۶۸	۰/۳۶	۰/۴۰	۹۵۰	۷۷۷	Z10
۴۲	۳۷۸	۱۶۸	۰/۳۰	۰/۴۰	۹۵۰	۷۷۷	M10



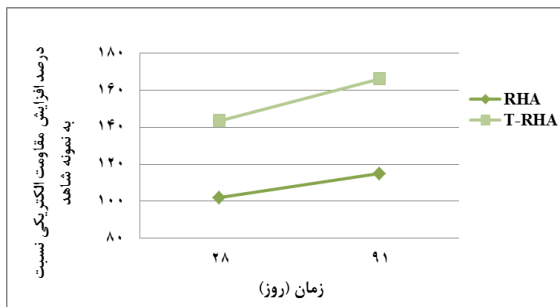
شکل ۲- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۱ روزه

جدول ۳- تعداد و ابعاد نمونه‌ها به تفکیک آزمایش برای هر طرح اختلاط

عمق نفوذ آب در بتن تحت فشار	نیم پیل	نفوذ تسریع شده یون کلر	مقاومت الکتریکی	مقاومت فشاری
تعداد نمونه	۲	۶	۶	۶
ابعاد (cm)	استوانه قطر ۱۰ ارتفاع ۲۰	استوانه قطر ۱۰ ارتفاع ۲۰	۱۰*۱۰*۱۰	۱۰*۱۰*۱۰
توضیحات	میلگردی با قطر ۱۲ در مرکز نمونه قرار گرفت. فاصله میلگرد از انتهای نمونه ۵ سانتیمتر است.	سه نمونه ساخته و سپس در هر ۵ سانتیمتر ارتفاع برش خورده و دو قسمت میانی استفاده شد.		
روش و استانداردهای استفاده شده	ASTM C 876	ASTM C 1202	روش AC Impedance	BS 1881-116
				BS EN 12390-8



شکل ۳- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی



شکل ۴- درصد افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی انواع

مختلف خاکستر پسته نسبت به نمونه شاهد در عمر ۲۸ و ۹۱ روز

جدول شماره ۴- تفسیر نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی به روش Wenner [۱۲]

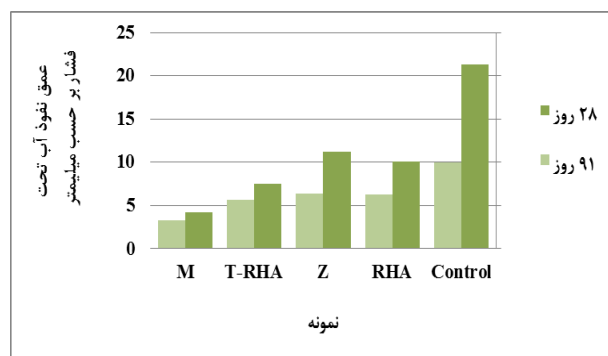
مقاومت ویژه الکتریکی (kΩ.cm)	سرعت خوردگی	نتایج ۲۸ روزه	نتایج ۹۱ روزه
>۵	خیلی زیاد	-	-
۵ < < ۱۰	زیاد	Control	Control
۱۰ < < ۲۰	کم تا متوسط	RHA, T-RHA, Z	RHA
>۲۰	کم	M	M, Z T-RHA,

### ۳-۲- آزمایش مقاومت الکتریکی

نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی که در شکل ۳ آورده شده است نشان‌دهنده بهبود مقاومت الکتریکی هر دو نمونه خاکستر پسته برنج نسبت به نمونه شاهد است. در این بین اما T-RHA مقاومت بیشتری در حدود ۲۱٪ در ۲۸ روز و حدود ۲۴٪ در ۹۱ روز نسبت به نمونه RHA کسب نموده است. شکل شماره ۴، درصد افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌ها را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ که رابطه بین مقاومت الکتریکی و سرعت خوردگی را تفسیر می‌نماید، سرعت خوردگی نمونه شاهد در ۲۸ و ۹۱ روز در محدوده زیاد، سرعت خوردگی RHA در محدوده کم تا متوسط و سرعت خوردگی نمونه T-RHA در عمر ۲۸ روز در محدوده کم تا متوسط و در ۹۱ روز در حد کم است. در همین راستا، از علل مقاومت الکتریکی بیشتر نمونه‌های حاوی خاکستر پسته برنج اسید شویی شده در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌توان به میزان سیلیس فعال بیشتر در نمونه‌های اسید شویی شده اشاره نمود [۵]. همچنین نمونه حاوی دوده سیلیسی بهترین نتایج را در این آزمایش کسب نموده است.

### ۳-۳- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر

افزایش سطح ویژه ذرات و میزان سیلیس فعال بیشتر در مقایسه با ذرات خاکستر پوسته برنج معمولی اشاره نمود [۵-۷]. همچنین کاهش عمق نفوذ آب در نمونه‌های دارای ژئولیت به ترتیب در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه ۴۷ و ۳۶ درصد بوده که این موضوع برای نمونه‌های دارای دوده سیلیس ۸۰ و ۶۷ درصد می‌باشد. بر همین اساس در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه نمونه‌های حاوی هر دو نوع خاکستر پوسته برنج عملکرد مناسب‌تری را از منظر عمق نفوذ آب نسبت به نمونه دارای ژئولیت نشان داده‌اند. البته لازم به ذکر است دوده سیلیس نیز در هر دو سن ۲۸ و ۹۱ روزه عملکرد به مراتب بهتری در مقایسه با سایر مصالح پوزولانی بکار گرفته شده در این پژوهش نشان داده است. درصد بالای سیلیس آمورف و نیز خلوص بالای دوده سیلیس در مقایسه با سایر مصالح پوزولانی مورد استفاده از عوامل اصلی عملکرد بالای ذرات دوده سیلیس در ماتریس بتن می‌باشند.

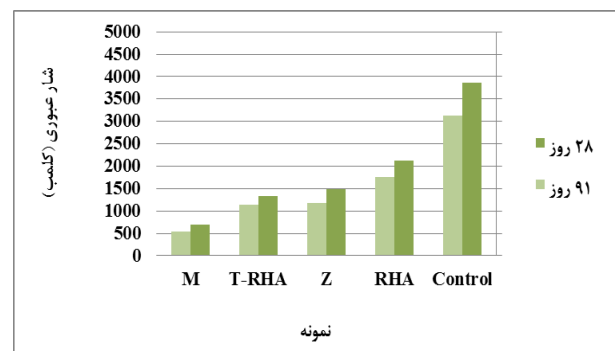


شکل ۶- نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار

### ۳-۵- آزمایش پتانسیل نیم پیل

در این آزمایش که بر اساس استاندارد ASTM C 876 انجام می‌شود، اختلاف پتانسیل یک الکتروود مرجع که بر سطح بتن قرار می‌گیرد با میلگرد مدفون در بتن اندازه‌گیری می‌گردد. در این تحقیق از الکتروود مس-سولفات مس، به عنوان الکتروود مرجع استفاده شده است. شکل ۷ طرح شماتیکی از آزمایش نیم پیل را نشان می‌دهد. نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده در این پژوهش نیز همانند شکل ۷ ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفتند. جزئیات بیشتر ابعاد و تعداد نمونه‌ها در جدول ۳ آورده شده است. اعداد آورده شده در شکل ۸ میانگین نتایج قرائت شده از سه نقطه از نمونه است. نتایج این آزمایش نشان‌دهنده کاهش اختلاف پتانسیل با به کارگیری پوزولان‌ها است، به طوری که نسبت اختلاف پتانسیل نمونه‌های دارای RHA و T-

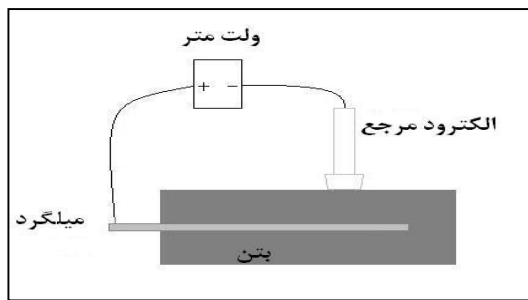
آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر مطابق استاندارد ASTM C 1202 انجام شده است. در این آزمایش، یک نمونه بتنی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر که اشباع می‌باشد، با استفاده از دستگاه تعیین نفوذ تسریع شده یون کلر در معرض یک ولتاژ ۶۰ ولتی جریان مستقیم به مدت ۶ ساعت قرار می‌گیرد. در یک محفظه از محلول ۳٪ NaCl و در محفظه دیگر از محلول ۳ M NaOH استفاده می‌شود و در آخر، مجموع بار الکتریکی اندازه‌گیری می‌گردد [۲]. نتایج این آزمایش در شکل ۵ آورده شده است. نتایج بدست آمده موید تأثیر مثبت اسیدشویی خاکستر پوسته برنج بر روی نتایج آزمایش می‌باشد به طوری که نمونه‌های خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده در سنین ۲۸ و ۹۱ روز حدود ۶۳ درصد کاهش شار عبوری را نسبت به نمونه های حاوی خاکستر پوسته برنج معمولی نشان می‌دهند. از طرفی همانگونه که در شکل ۵ مشخص است، نمونه‌های بتنی دارای خاکستر پوسته برنج اسید شویی شده عملکرد بهتری در مقایسه با نمونه‌های حاوی ژئولیت داشته‌اند، حال آنکه مخلوط‌های دارای ژئولیت از نفوذ یون کلر کمتری در قیاس با نمونه‌های دارای خاکستر پوسته برنج معمولی برخوردار می‌باشند. این موضوع خود بیانگر عملکرد مناسب- تر پوزولان طبیعی ژئولیت نسبت به پوزولان خاکستر پوسته برنج معمولی در کاهش نفوذ یون کلر نمونه‌های بتنی است.



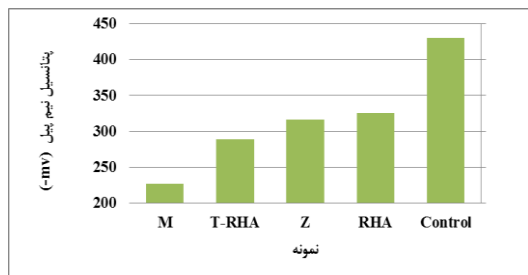
شکل ۵- نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر

### ۳-۴- آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار

نتایج آزمایش نفوذ پذیری (شکل ۶) نشان دهنده کاهش قابل ملاحظه عمق نفوذ آب با مصرف پوزولان است، به طوری که نمونه RHA در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه به ترتیب ۵۳ و ۳۷ درصد کاهش نفوذ و نمونه T-RHA در همین سنین به ترتیب ۶۴ و ۴۴ درصد کاهش نفوذ نسبت به نمونه شاهد داشته‌اند. از دلایل دوام بالاتر نمونه‌های حاوی خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده، می‌توان به



شکل ۷- طرح شماتیک آزمایش نیم پیل



شکل ۸- نتایج آزمایش نیم پیل در عمر ۹۱ روز

جدول ۵- بررسی و تفسیر نتایج آزمایش پتانسیل نیم پیل مطابق ASTM C 876

نتایج ۹۱ روزه	پتانسیل نیم پیل (mv)	شرایط خوردگی
-	> -۲۰۰	کم ( ۱۰ درصد خطر خوردگی )
RHA, T-RHA, Z, M	-۲۰۰ تا -۳۵۰	نامشخص ( خطر خوردگی متوسط )
Control	< -۳۵۰	زیاد ( ۹۰ درصد خطر خوردگی )

#### ۴- نتیجه گیری

نمونه‌های بتنی حاوی خاکستر پوسته برنج معمولی است. البته با افزایش سن نمونه‌ها (۹۱ روزه)، عملکرد مقاومتی و دوامی نمونه‌های دارای خاکستر پوسته برنج معمولی تا حدی بهتر از نمونه‌های حاوی زئولیت بوده است.

لازم به ذکر است هرچند خاکستر پوسته برنج اسیدشویی از منظر دوامی نتایج پایین تری نسبت به نمونه‌های حاوی دوده سیلیسی کسب نموده، لکن از لحاظ مقاومت فشاری در عمر ۹۱ روز نتایج قابل قبولی نشان داده است و می‌توان در شرایطی که دوام اهمیت کمتری دارد، این نوع پوزولان را جایگزین دوده سیلیسی نمود، هرچند با توجه به تأثیر گذار بودن شرایط تولید خاکستر پوسته برنج بر روی خواص نهایی محصول، امکان پیاده‌سازی دیگر شرایط تولید جهت دستیابی به پوزولانی با خواص بهتر امکان‌پذیر می‌باشد. البته می‌بایست به این موضوع توجه نمود که در پژوهش‌های قبلی، نمونه‌هایی از خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده حاوی ۹۹٪ سیلیس نیز تولید گردیده و نتایج مناسب تری از نمونه‌های حاوی

RHA به نمونه کنترل به ترتیب برابر ۶۷ و ۷۵ درصد است که برتری T-RHA را تایید می‌نماید. لازم به ذکر است به منظور تسریع خوردگی، به مقدار ۰/۱۵٪ وزنی سیمان NaCl به نمونه‌های تحت آزمایش نیم پیل اضافه شد. نمونه‌ها پس از ۲۸ روز در محلول ۳٪ وزنی NaCl قرار گرفتند، این مقدار افزایش NaCl و قرارگیری در محلول نمکی بر اساس سعی و خطا در بررسی نرخ خوردگی طرح کنترل برای حضور در ناحیه خوردگی زیاد در ۹۱ روز انتخاب گردید.

جدول ۵ بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش پتانسیل نیم پیل را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان دهنده حضور نمونه شاهد در ناحیه خطر خوردگی زیاد است، در حالی که نمونه‌های حاوی پوزولان در ناحیه خطر خوردگی متوسط قرار دارند و از این منظر شرایط مشابهی را تجربه می‌نمایند.

مطابق نتایج پژوهش انجام شده، تمامی نمونه‌های حاوی خاکستر پوسته برنج معمولی و اسید شویی شده، بهبود مقاومت و دوام مناسبی نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهند. همان طور که بیان گردید، نتایج آزمایش XRF نمونه‌های خاکستر پوسته برنج نشان دهنده افزایش یک درصدی SiO<sub>2</sub> در نمونه اسید شویی شده است. البته این تفاوت اندک در مقدار SiO<sub>2</sub> نمی‌تواند تنها علت بهبود دوام و مقاومت باشد، بلکه همان گونه که در تحقیقات بالا ذکر گردید، میزان سیلیس فعال در نمونه‌های اسید شویی شده به مراتب بیشتر از نمونه‌های معمولی می‌باشد. از دیگر علل، تأثیر بیشتر خاکستر پوسته برنج اسیدشویی شده نسبت به نمونه معمولی می‌توان به سطح ویژه بالاتر آن اشاره نمود که نتایج آزمون BET موید این موضوع می‌باشد.

همچنین در بررسی کلی مقاومت و دوام نمونه‌های حاوی زئولیت مشاهده گردید که نتایج بدست آمده تقریباً مشابه و یا مناسب تر از

fineness" Cement and Concrete Research, 61-62, 20-27, 2014.

[10] Divya Chopra., Rafat Siddique., Kunal., "Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash" Biosystems Engineering, 130, 72-80, 2015.

[۱۱] دفتر مقررات ملی ساختمان، "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه"، تهران، ایران، نشر توسعه ایران صفحه ۴۶ تا ۵۰، چاپ اول ۱۳۹۲.

[12] Broomfield, JP., "Corrosion of steel in concrete", New York, 1997.

دوده سیلیسی بدست آمده است، اما با توجه به غلظت بالا و مدت زمان زیاد اسیدشویی، صرفه اقتصادی چندان ی نداشته و سبب آلودگی بیشتر محیط زیست می گردد.

## ۵- مراجع

[۱] رمضانیان پور، علی اکبر، ضرابی گل خطمی، کمیل، مهدی خانی، مهدی، احمدی بنی، غلامحسین، "تولید بهینه خاکستر پوسته برنج و بررسی اثر بتن های ساخته شده با این خاکستر در پدیده واکنش قلیایی" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اریهشت ۱۳۸۷.

[۲] رمضانیان پور، علی اکبر، ضرابی گل خطمی، کمیل، مهدی خانی، مهدی، احمدی بنی، غلامحسین، "ارزیابی دوام و خصوصیات مکانیکی بتن های ساخته شده از پوزولان خاکستر پوسته برنج در نمونه های بتنی" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اریهشت ۱۳۸۷.

[۳] مدندوست، رحمت، رحیمی پله شاه، پویا، "بررسی ویژگی های بتن حاوی خاکستر پوسته برنج"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، اردیبهشت ۱۳۹۰.

[4] Zhang, M., Mohan Malhotra, V., "High performance concrete incorporating rice husk as a supplementary cementing material", ACI Mater, 93, 629-636, 1996.

[5] Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya. M., Sugita, S., "Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment", Cement and Concrete Research, 34, 521-526, 2004.

[6] Gholizadeh Vayghan, A., Khaloo, A.R., Rajabipour, F., "The effects of a hydrochloric acid pre-treatment on the physicochemical properties and pozzolanic performance of rice husk ash" Cement & Concrete Composites, 39, 131-140, 2013.

[7] Salas, A., Delvasto, S., de Gutierrez R.M., Lange D., "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete" Cement and Concrete Research, 39, 773-778, 2009.

[8] Della, V.P., Kuhn, I., Hotza, D., "Rice husk ash as an alternate source for active silica production" Materials Letters, 57, 818-821, 2002.

[9] Antiohos, S.K., Papadakis, V.G., Tsimas, S., "Rice husk ash (RHA) effectiveness in cement and concrete as a function of reactive silica and



## Investigating the Effects of Acid Treatment on the Mechanical and Durability Properties of Concrete containing Rice Husk Ash

Ali Ghasemi \*

M.Sc. of Structural Engineering, AlaodolehSemnani Institute of Higher Education

Payam Hosseini

Director of Concrete and Construction Materials Laboratories, AlaodolehSemnani Institute of Higher Education

Hormoz Famili

Dean of AlaodolehSemnani Institute of Higher Education

### Abstract

Utilization of pozzolanic materials is one of the strategies applied to reduce pollution emitted during cement production. In this regard, rice husk ash produced through controlled incineration shows high pozzolanic performance which causes reasonable improvement in mechanical and durability properties of concrete materials. Moreover, acid treatment before incineration process is one of the most effective methods which is attracted less attention.

According to the above mentioned issues, in the current study, the influence of acid treated rice husk ash on mechanical and durability characteristics of concrete was investigated. In addition, to make an exact comparison, concrete mixtures incorporating untreated rice husk ash, zeolite, and silica fume were fabricated and tested. Testing program includes compressive strength, water penetration under pressure, electrical resistivity, half-cell potential, and rapid chloride permeability tests.

Results indicated that acid treated rice husk ash performed much better than untreated one and zeolite in increasing compressive strength and durability indices. Moreover, concrete containing silica fume had higher durability compared to concrete incorporating treated rice husk ash; however, the influence of treated rice husk ash on compressive strength was very similar to silica fume.

**Keywords:** Rice husk ash, Acid treated rice husk ash, Compressive strength, Durability.

---

\* Corresponding Author: [alighasemisaze@gmail.com](mailto:alighasemisaze@gmail.com)