کاهش اثرات زیست محیطی مواد بجا مانده ناشی از مصرف سوخت های فسیلی در نیروگاه های حرارتی

مسلم نجاتی محمدرضا نجاتی

شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در جهان امروز مشکلات جانبی ناشی از گسترش روزافزون صنعت، صدمات جبران‌ناپذیری بر زندگی آدمیان و سایر موجودات زنده وارد کرده است. سوختهای فسیلی به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین سوخت نیروگاه ها به منظور تولید انرژی الکتریکی محسوب میشوند که در اثر احتراق، ضایعات خطرناک از منظر آلودگی محیط زیست بر جای خواهند گذاشت. وسعت توزیع مواد آلاینده، به نوع کیفیت سوخت مورد استفاده بستگی دارد. انتشار مواد آلاینده تخریب محیط زیست و به خطر افتدن سلامت انسانها را در پی دارد. در این مطالعه مواد باقی مانده ناشی از ته نشینی شیمیایی فلزات سنگین از پساب شستشوی شیمیایی پیش گرمکنهای هوا در نیروگاه ها و زائدات احتراق در کف کوره احتراق به منظور کاهش اثرات مخرب زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: احتراق، آلودگی، مواد زائد

۱- مقدمه

با توجه به رشد و پیشرفت صنعتی بسیاری از جوامع، نرخ مصرف و به تبع آن تولید انرژی در بسیاری از کشورها از جمله ایران افزایش یافته است. از آن جمله میتوان به افزایش تولید انرژی الکتریکی از طریق نیروگاهها در کشورمان اشاره کرد. با توجه به آنکه برخی از نیروگاههای کشورمان از سوختهای فسیلی استفاده میکنند، علاوه بر تولید انرژی مقادیری مواد زائد ناشی از مصرف سوخت فسیلی برجای خواهند گذاشت. از آنجائیکه مواد زائد تولید شده در فرایندهای مختلفنیروگاههای حرارتی، حاوی مقادیری از آلایندهها از جمله فلزات سنگین میباشد لزوم توجه و دقت نظر در خصوص چگونگی دفع و یا بازیافت اینگونه از مواد زائد بسیار حائز اهمیت است. نتایج اولیه این مطالعه بر روی نمونه های برداشت شده از نیروگاه شهید رجایی بیانگر نشت قابل تأمل برخی از آلاینده های فلزی از نمونه ها بود و چنانچه دفع اینگونه از مواد زائد به درستی و با رعایت کامل مسائل ایمنی و بهداشتی و اصلاحی صورت نپذیرد امکان ورود آلاینده های مذکور به منابع آب و خاک وجود دارد. از جمله اقداماتی که برای ایمنتر نمودن مواد زائد خطرناک نیروگاهی میتوان انجام داد، تثبیت و جامد سازی آنها است که پیشتر شرح مفصل و مبسوطی بر آن رفته است. تثبیت و جامدسازی یکی از مهمترین روشهایی است که میتواند در تصفیه مواد زائد خطرناک و سمی مورد استفاده قرار گیرد. فرآیند تثبیت تلاش در کاهش حلالیت یا واکنش پذیری شیمیایی یک پسماند،

Archive of SID

www.SID.ir

توسط مکانیزمهای تغییر حالت شیمیایی یا به دام انداختن فیزیکی (میکروکپسولاسیون) دارد. فرآیند جامدسازی نیز پسماند را به یک فرم جامد که کارکرد آن راحتتر و خطر آن از جهت فراریت و آبشویی و شکافت و خردشدگی کاهش یافته است تبدیل میکند. از این جهت دو فرآیند تثبیت و جامدسازی در هر تحقیق آزمایشگاهی و کارگاهی با هم مورد مطالعه قرار میگیرد. زیرا در نهایت هدف هر دو فرآیند به نوعی اصلاح حضور آلایندهها در پسماندهای تصفیه شده میباشد. از اینرو در این مرحله از مطالعه با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات قبلی بر روی نمونه های خام، سعی بر انتخاب مواد تثبیت کننده و فرمولهای اختلاط به منظور انجام آزمایشات تثبیت و جامدسازی نمونه های پسماند شده است. سپس در مرحلهٔ بعد، آزمایشاتی به منظور سنجش و ارزیابی عملکرد فرآیند تثبیت بر روی نمونه ها انجام گرفت که نتایج آزمایشات به همراه روش تحقیق و مواد مصرفی و فرمولهای اختلاط در ادامه بیان میشود.

۲- تثبیت و جامدسازی

از دهه ۱۹۵۰ برای تصفیه آلاینده های هسته ای رادیواکتیو و از دهه ۱۹۸۰ برای تصفیه آلاینده های خطرناک (سمی) مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر نیز سازمان محیط زیست آمریکا به عنوان یکی از بزرگترین مراکز تحقیقاتی از این روش جهت کنترل و مدیریت زائدات خطرناک و تصفیه پسماند ها استفاده می کند. در جدول ۱-درصد پروژه های انجام شده با استفاده از روش های مختلف تصفیه از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول بیانگر آن است که طی ۲۲ سال حدود ۲۴ درصد از کل پروژه هایی که در زمینه مدیریت پسماندهای خطرناک بوده است، به پروژه های تثبیت و جامدسازی اختصاص یافته است(EPA,2002). از سویی دیگر در میان پروژه های تثبیت و جامدسازی، حدود ۸۵ ٪ از آنها مربوط به ضایعات حاوی آلاینده های فلزات سنگین است که می توان نتیجه گرفت روش جامدسازی و تثبیت پرکاربردترین و به نوعی مؤثرترین روش در جهت تصفیه لجن های آلوده به آلاینده های فلزات سنگین بوده است.

هدف اصلی از این فرآیند محصور نمودن آلایندهها و جلوگیری و یا به حداقل رساندن نشت و رها شدن آنها به درون محیط زیست است.

فرآیند تثبیت و جامدسازی نه تنها آلایندههای خطرناک را توسط فرآیندشیمیایی جامد می کند بلکه غیر محلول کردن، ساکن سازی، کپسوله و جذب نیز از دیگر فرایندهای این روش است(Rachana et al, 2006).

جدول ۱- تعداد پروژه های انجام شده از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۰۲(EPA ,2002)

روش های تثبیت و جامدسازی	درصد از کل پروژ ه ها
تثبیت و جامدسازی	۲۴
تکنیک های حرارتی	۱۷
تکینیک های شیمیایی	۱۰
تکنیک های بیولوژیکی	۱۲
تخلیه گازهای خطرناک درون	۲۵
تصفیه فیزیکی	۴
سایر روش ها	۸

به طور کلی دلایل تکنیکی انتخاب روش تثبیت و جامد سازی را به شرح زیر میتوان برشمرد(Barth et al,1990):

خصوصیات فیزیکی و کار کردن با مواد آلاینده را بهبود میبخشد.

انتقال یا رها شدن آلاینده ها را توسط کاهش مساحت سطح، کم می کند .

حلالیت آلایندهها در ماده تصفیه شده، توسط واکنشهای شیمیایی کاهش مییابد.

این روش تکنیکی برای بهبود وپردازش پسماندهای حاوی آلاینده است و با این وجود اینگونه زائدات دیگر در میان خاک وخاکروبه ها رها نمی شوند.

پسماندهای حاصل از تصفیه مواد زائد خطرناک به روش فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی یا خاکسترسازی میتواند با استفاده از روش تثبیت و جامد سازی تصفیه گردد.

به دلیل مشکلات حفاری تصفیه در محل، استفاده از تثبیت و جامدسازی تنها روش قابل اطمینان است.

روشهای جایگزین تصفیه زائدات خطرناک، اغلب از نظر اقتصادی گرانتر است.

محصور کردن در مقیاس ماکروسکوپی :در این مکانیزم ترکیبات ماده زائد خطرناک به صورت فیزیکی در یک ساختار توده بزرگتر محصور می شوند .در واقع ترکیبات پسماند

Archive of SID

www.SID.ir

خطرناک در داخل ساختار ماده تثبیت کننده به صورت ناپیوسته محبوس می گردند.

محصور کردن در مقیاس میکروسکوپی :در این مکانیزم ترکیبات مواد زائد خطرناک در داخل ساختار کریستالی توده جامدسازی شده و در مقیاس میکروسکوپی محبوس می گردند .جذب کردن :در این فرآیند، ترکیبات مواد زائد خطرناک جذب ماده جاذ می شوند همانند آنچه در اسفنج اتفاق می افتد .در این روش متداولترین مواد جاذب عبارتند از خاک، خاکستر بادی، غبار کوره آهک، مواد معدنی رسی) مانند بتونتیت، کائولینیت و زئولیت(، خاک اره و کاه.

جذب سطحی :علاوه بر محبوس شدن فیزیکی یک ماده در توده جامدسازی شده، ممکن است واکنش های الکتروشیمیایی هم به وقوع بپیوندد .جذب شدن الکتروشیمیایی ترکیبات به ماده جامدسازی کننده را جذب سطحی می نامند.

جدا سازی :فرآیندهای خاص جامدساز ی می توانند باعث جدا شدن ترکیبات مشخصی از ماده زائد شوند که سبب تولید ترکیبات پایدارتری در ماده زائد خواهند شد.

غیر سمی کردن :با بهرهبرداری از روش های متعدد جامدسازی می توان با ایجاد تغییرات شیمیایی در ترکیبات مواد زائد خطرناک، میزان سمیت موادرا کاهش داد.

۲-۱- مطالعات و تحقیقات مختلف در زمینه تثبیت و جامدسازی

در تحقیق پارک(۲۰۰۰)نیز از ترکیب سیمان به تنهایی و سیمان بعلاوه) خاکستر بادی استفاده نموده است و به مقایسه این ترکیبات پرداخته است.

در این ترکیب نیز نسبت ترکیب ماده زائد به ترکیب سیمانی ۹:۱ بوده است و از روش استاندارد ASTM-C109-99 بعنوان طرح اختلاط استفاده شده است. در این تحقیق هدف اصلی کاهش میزان نشت فلزات سنگین بوده است که نتایج آزمایش TCLP نشان دهنده کاهش میزان نشت فلزات سنگین تا ۹۵٪ در توده جامدسازی شده بود. البته بصورت کلی نتایج آزمایش نشت در مورد دو ترکیب گویای ترکیب بهتر دارای خاکستر بادی است که احتمالاً میتواند به علت پیوستگی بهتر بین ذرات مولکولی باشد (Zain et al, 2004) .

در تحقیقی که توسط زین و همکاران (2004) انجام شده است از سیمان و ماسه بعنوان ماده تثبیت کننده استفاده شده است .در این تحقیق که هدف اصلی بررسی تغییرات مقاومت فشاری ترکیب بوده است، نسبت ترکیب ماده زائد به سیمان بین 0% تا % 10 متغیر بوده است .در این تحقیق نیز از روش استانداردASTM-C109-90 برای تهیه ترکیب اختلاط پیروی شده است .بر اساس نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری، میزانمقاومت فشاری در نمونه های دارای نسبت اختلاط بیشتر از 5% به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است و بنابراین این ترکیب نمی تواند قابلیت باربری سازه ای، که به عنوان یکی از اهداف تحقیق مدنظر بوده است، داشته باشد (Zain et al, 2004).

در تحقیقی که جینگ و همکاران (2004) به انجام رساندند نیز سیمان بعنوان ماده افزودنی استفاده شده است .نسبت سیمان به ماده زائد در این تحقیق % 10 و % 25 و روش اختلاط بر اساس استانداردASTM-D1557-91 بوده است. در این تحقیق نیز هدف اصلی کاهش میزان نشت فلزات سنگین بوده است که بر اساس نتایج آزمایش TCLP ، میزان نشت در نمونه با نسبت سیمان به ماده زائد % 25 تا % 90 در نمونه های 28 روزه کاهش یافته است (Jing et al, 2004).

مالویا و چادوری در سال(2006) ، پسماند های خطرناک تولید شده در کارخانه فولادسازی را با استفاده از روش جامدسازی و تثبیت، تصفیه نمودند .طراح اختلاط هایی به نسبت آلاینده به سیمان در محدود ۰/۱۶ و ۸ را مورد بررسی قرار دادند .در این تحقیق عناصری که به میزان حداقل ساکن شدند، cl و K وNa بودند .آبشویی فلزات سنگین در ماتریس (s/s) را می توان بصورت وابسته بهpH و حلالیت هیدروکسید فلز مربوطه در pH را می توان بصورت وابسته به نظر گرفت . مکانیزم اصلی آبشویی شستشوی سطحی در مراحل اولیه و سپس پخش بود .ضرایب پخش مؤثر سرب و روی و مس و آهن و منگنز بالاتر از (m2/s)۱۱/۵بود که نشان دهنده تحرک متوسط این فلزات در توجهی توسط فرآیند(s/s) ساکن شدند . لازم به ذکر است که با افزایش نسبت آلاینده به همبندکننده، مقاومت فشاری نمونه ها نیز کاهش یافت (Malviya and Chaudhary, 2006).

مالویا و چادوری در سال 2006 ، عوامل مؤثر بر جامدسازی و پایدارسازی پسماندهای خطرناک را مورد بررسی و بازبینی قرار دادند.پارامتر هایی را که برای جامدسازی مورد بررسی قرار

Archive of SID

www.SID.ir

گرفت استحکام، زمان تنظیم گیرش سیمان، و میزان هیدراسیون بود .استحکام تراکمی بهکیفیت ساختار حفره ماتریس سیمان بستگی دارد و کیفیت ساختار حفره به نوع و مقدار سازنده های تشکیل دهنده حفره که همان محصولات هیدراسیون سیمان و محصولات واکنش آنها با یکدیگر است. PH محلول حفره به حضور اجزا پسماند بستگی دارد.پسماند دارای فلزات سنگین دارای اثرات مثبت یا منفی بر روی ایجاد استحکام هستند .مقدار فلز تا حدود 1% وزنی سیمان دارای اثر مثبت و تا حدود 3% وزنی از فلزاتZn و pb وNi می تواند منجر به کاهش استحکام به اندازه % 99 شود .ازعوامل دیگر برای ایجاد و توسعه استحکام مقدار سیمان و زمان نگهداری و نسبت آب به جامد است .به منظور استحکام مطلوب نسبت آلاینده به همبندکننده به میزان۰/۴-۰/۵ و نسبت آب به جامد۰/۴-۰/۶ معمولاً به کار رفت .مهمترین نتایج تحقیق مورد اشاره در ادامه ذکر میشود.

نگهداری بالا و رطوبت بیشتر، معمولاً استحکام را افزایش می دهند.سرعت تنظیم گیرش نسبت معکوس با درصد پسماند دارد .کروم تأثیری بر روی زمان تنظیم ندارد .کربوناسیون از طریق بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی بر روی پسماند تأثیر می گذارد .غلظت یک فلز خاص یا سایر اجزا درون یک پسماند می تواند در تعیین نرخ کربوناسیون مهم باشد (Rachana et al, 2006).

۳- روش تحقیق

۳-۱- آزمایشات فیزیکی

آزمایشاتی که در این تحقیق برای بررسی خصوصیت فیزیکی پسماند خام و نمونه های پسماند خام و نمونه های جامد شده انجام شد به شرح زیر است:

الف. تعیین میزان رطوبت: با تعیین میزان رطوبت پسماند خام قبل ازفرآیند جامدسازی با همبندکنندههای سیمان و آهک مشخص میشود که برای ایجاد ترکیب مناسب آیا نیاز به افزودن آب است و یا اینکه چه مقدار آب دیگر برای انجام عمل هیدراسیون مورد نیاز خواهد بود.

ب. تعیین دانسیته خشک وتر: با تعیین وزن مخصوص پسماند قبل و بعد از جامدسازی علاوه بر شناخت خصوصیات فیزیکی آن، تخمینی از مقدار موادی که باید جابجا شوند و هزینه جابجایی این مواد مشخص میشود که ممکن است این مسئله خود منجر به تغییرات جزیی یا کلی در فرآیند جامدسازی شود. برای تعیین وزن مخصوص پسماند خام طبق روش الف. تعیین میزان رطوبت: با تعیین میزان رطوبت پسماند خام قبل از فرآیند جامدسازی با همبندکننده های سیمان و آهک مشخص میشود که برای ایجاد ترکیب مناسب آیا نیاز به افزودن آب است و یا اینکه چه مقدار آب دیگر برای انجام عمل هیدراسیون مورد نیاز خواهد بود. ب. تعیین دانسیته خشک وتر: با تعیین وزن مخصوص پسماند قبل و بعد از جامدسازی علاوه بر شناخت خصوصیات فیزیکی آن، تخمینی از مقدار موادی که باید جابجا شوند و هزینه جابجایی این مواد مشخص میشود که ممکن است این مسئله خود منجر به تغییرات جزیی یا کلی در فرآیند جامدسازی شود. برای تعیین وزن مخصوص پسماند خام طبق روش استاندارد ASTM-D2937-83 عمل شد.

ج .تعیینpH: به منظور تعیینpH پسماند خام و تشخیص حالت اسیدی و بازی بودن آن و کلیه محلولهای شستشو دهنده قبل و پس از آزمایشات NEN وTCLP7345 طبق روش استانداردEPA-SW-845 باpH، متر، اندازه گیری شده است.

ح•ساختار میکروسکوپی :برای تعیین ساختار میکروسکوپی پسماند و جهت بررسی از لحاظ کیفی و کمی تأثیر فلزات سنگین بر روی واکنشهای هیدراسیون و میزان شرکت فلزات مورد بررسی) نیکل ، کرم ، روی ، وانادیم (و حضور آنها در فازهای کریستالی سیمان هیدراته شده ، آزمایشاتXRF ، XRD و عکسبرداری الکترونیSEM ، انجام شده است.

۳-۲- آزمایشات شیمیایی

مهمترین معیار آزمایشی در بررسی و موثر بودن روش جامدسازی و تثبیت، میزان نشت مواد زائد از محصول است . همانطور که در فصل قبل مشاهده شد روشهای مختلفی برای تعیین میزان نشت مواد زائد و تراوش آلودگی وجود دارد . آزمایشات نشتی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، روشTCLP و نشت مونولیتیکی استاتیکی (NEN7345) میباشد.

۴- نتایج تحقیق

۴-۱- پسماند نیروگاهی

در آزمایشات مقاومت فشاری نمونه ها پس از ۲۸ روز ماتریس سیمان، پوزولان، و پسماند، از لحاظ مقاومت از ۲ ماتریس دیگر بهتر بوده است. با اینحال تمامی نمونه ها مقاومت

Archive of SID

www.SID.ir

استاندارد مجازEPA برای دفن محصولات جامد شده در محلهای دفن که حدود0/35Mpaمیباشد را ارضا نموده اند . در دو ماتریس دیگر نیز مقاومت نمونه ها پس از آزمایش نشت مونولیتیکی استاتیکی افزایش یافته است.

با توجه به نتایج آزمایشXRD، فلز روی در هیچ طرح اختلاطی تشکیلفاز کریستال نداده است و فقط کروم، نیکل، وانادیم و آهن در بعضی از طرح اختلاطها بانسبت پسماند به همبندکننده بیشتر توانسته تشکیل فاز کریستالی و رسوب بدهد و پیوند شیمیایی با محصولات هیدراسیون ایجاد کند و به تثبیت برسد .در مواردی که پیوندی کریستالی از فلزات سنگیندر نتایجXRDدیده نشده است، در مواقع فلزات سنگین به فرم ذرات آمورف در پیوندهای محصولات هیدراته به صورت فیزیکی حبس شده است.

در نتایج آزمایشTCLP، میزان آبشستگی 4 فلز مورد مطالعه در ماتریس آهک و پوزولان کمتر و در ماتریس سیمان، پوزولان، و پسماند بیشتر بوده است .بطوریکه در نمودارهای غلظت برحسب نسبت پسماند به همبندکننده، نمودار ماتریس سیمان، ماسه، پوزولان و فوق روان کننده بین دو ماتریس دیگر قرار گرفته است .در طرحهایی که غلظت نشتی عناصرکم بوده است،pHمحلول بالاتر بوده است.

بنابراین می توان نتیجه گرفت اغلب آلاینده های غیر ارگانیکی در PH بالا پایدار می شوند. به طور کلی وانادیم در هر سه ماتریس بیشترین تثبیت و روی کمترین را داشته است.

افزودن پوزلان با به همراه داشتن سلیس فراوان باعث کاهش نسبت ca/si در محصولات هیدراته می شود و در نتیجه بار منفی در سطح کریستال C-S-H افزایش می یابد و باعث می شود ظرفیت جذب کاتیونهای فلزات سنگین توسط این کریستال افزایش یابد.

پوزولان میتواند با واکنش با هیدروکسید کلسیم هیدراته شد ه موجود درسیمان، کریستالC-S-H ثانویه تولید کند و مقاومت فشاری نمونه ها را افزایش دهد .با توجه به نتایج آزمایشTCLPو مقایسه مقادیر غلظت های فلزات با ۱۰۰ برابر استانداردEPAدر آب شرب و استاندارد آزمایشTCLP،غلظت وانادیم در کلیه طرح اختلاطها از حد مجاز۱۰mg/Kgکمتر بوده است .غلظت کروم نیز در کلیه طرح اختلاطها از حد مجاز خودیعنی۵mg/Kgکمتر بوده است .غلظت روی نیز در کلیه طرح اختلاط ها ازحد مجاز خود یعنی۵mg/Kgکمتر بوده است .نیکل در طرح اختلاط شماره ۵ ازماتریس سیمان و پوزولان با نسبت پسماند به سیمان برابر ۰/۷۵ از حد مجاز خود یعنی ۱۰ کمتر بوده است و در کلیه طرح اختلاط های ماتریس آهک و پوزولان نیز از حد مجاز خود کمتر بوده است .بنابراین توده جامد شده در طرح اختلاطهای شماره ۵و ۸و ۹و ۱۰۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ از لحاظ این ۶ فلز سنگین جزء مواد زائد خطرناک محسوب نمی شود.

با توجه به نتایج آزمایشNEN 7345 NEN اختلاطها برای ۴ فلز مورد مطالعه از نوع شستشوی سطحی بوده و تمام فلزات دارای پیوند محکم با محصولات هیدراته داشته و میزان تحرک کم دارند.

با توجه به کلیه نتایج و جمع بندی تمام مطالب طرح اختلاط بهینه از لحاظ دارا بودن معیار مقاومتی و آبشستگی مجاز برای ۴ فلز سنگین روی، کرم، وانادیم، نیکل، شماره 5 از ماتریس سیمان، پوزولان، پسماند با نسبت پسماند به سیمان برابر ۰/۷۵ میباشد.

در این تحقیق با توجه خصوصیات پوزولان که باعث توپر شدن و نفوذناپذیر شدن ملات یا بتن میشود(به دلیل واکنش سیلیس موجود در پوزولان با هیدروکسید کلسیم هیدراته شده موجود در سیمان و تولید کریستالC-S-H ثانویه و افزایش مقاومت فشاری)از پوزولان در طرح اختلاط های متفاوت استفاده شده است.

در آزمایشات بر روی پسماند نیروگاهی از آنجائیکه نسبت پوزولان به سیمان و یا پوزولان به آهک در تمامی نمونه ها ثابت است و تنها میزان پسماند به سیمان به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است، میتوان نتایج بدست آمده برای تمامی ماتریسها که بر اساس تغییر نسبت پسماند به سیمان بیان شده بود را به تغییر نسبت پسماند به پوزولان تعمیم داد . ذکر این نکته ضروری به نظر میرسد که سیمان به عنوان همبند کننده اصلی در کلیه ماتریسهای ساخته شده مد نظر بوده است و عدم وجود سیمان در برخی ماتریسها (نمونه های ۱۳ تا ۱۶) سبب افت بسیار محسوس مقاومت فشاری نمونه های مذکور شده است .همچنین نتایج آزمایش نشتTCLP بر روی انواع ماتریسها بیانگر تثبیت نیبتا بهتر فلزات سنگین در ماتریس آهک، پوزولان و پسماند بوده است که علی رغم مقاومت فشاری کمتر این ماتریسها، تثبیت فلزات در آنها بیشتر و نشت و تحرک کمتر است.

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲- زائدات کوره احتراق

نتایج برآورد اولیه از زائدات مورد بررسی نشان داد که این زائدات دارای خصوصیت اسیدی قابل توجه(pH در محدوده ۲ تا ۳)، و غلظت های بالای عناصری مانند وانادیم(۱۷/۱۲ ٪)، کروم (۲/۰۷٪)، نیکل (۶/۰۲٪)، آهن (۷/۰۱ ٪) است . سرب و کادمیوم به دست آمده از آزمایش گونه شناسی به صورت طبیعی و دست نخورده هستند .همچنین تشخیص غلظت های بالای کربن(۳۷/۶۷٪وزنی) در زائدات خام از جمله ویژگی های بارز زائدات مورد مطالعه است که در کنار غلظتهای بالای عناصر فلزی و غیر فلزی دیگر این مطالعه را به مطالعهای منحصر به فرد در نوع خود در سطح ملی و بین المللی تبدیل میکند .پس از برآوردهای اولیه از شرایط مواد مورد مطالعه، تستهای فیزیکی و خصوصاً شیمیایی خاصی برای شناسایی خصوصیات زائدات تحت شرایط مختلف و از دیدگاه های مختلف در نظر گرفته شد. نتایج تست مقاومت فشاری و در نمونه های با محدودههای متفاوت نسبتهای سیمان و پوزولان در وهله اول رفتار جالب نمونه ها را در کاهش مقاومت آنها تا نسبت سیمان با زائدات ۱ نشان داد . این رفتار بدون استثناء در تمامی نمونه ها با سنین مختلف عملآوری و حتی نمونه های مورد استفاده در تست مونولیتیکی مشاهده شد .این رفتار قویاً رفتار غیرخطی زائدات را در قبال افزایش سیمان در ترکیب نشان میدهد . یکی از دلایل اصلی این مطلب میتواند حضور مقادیر بالای کربن در ترکیب زائدات خام باشد که در نهایت اختلال در فرآیندهای هیدراتاسیون سیمان و تشکیل ژلهای مقاومت سازC-S-H تا نسبت سیمان تقریباً ۱ ادامه می یابد .به نظر میرسد که پس از آن با افزایش مقادیر بیشتر محصولات سیمانی فرآیندهای هیدراتاسیون به نحو بهتری انجام شده و مقاومت ها با افزایش و تکامل محصولات هیدراتاسیون سیمان به وضوح افزایش یافته اند .لازم به ذکر است که با این حال برای تمامی نمونه ها مقادیر مقاومت های به دست آمده از مقادیر استاندارد حداقل (۳۵۰ کیلو پاسکال) نمونه های دفن شونده در لندفیلهای دفع زائدات بالاتر بوده است.

آزمایشات شیمیایی با تست متداولTCLP آغاز شده است . لازم به ذکر TCLP آزمایشات شیمیایی با تست متداول است که درصدهای بالای حذف با ماتریسهای سیمانی با روند صعودی با افزایش نسبت سیمان مشاهده شده است ولی با این حال غلظت های نشت شده برای عناصر نیکل، کروم و سرب به ترتیب برابر ۳۷۵، ۱۵، ۸/۹میلی گرم در لیتر به دست آمده است که در مقایسه با مقادیر 10و 5 میلی گرم در ، استاندارد نشت برای این عناصر) به ترتیب برابر10 لیتر (در بسیاری نمونه ها از مقادیر استانداردهای نشت فراتر رفته است.

0تا 1 روند / روند تغییرات غلظتها در نمونه های با نسبت سیمان2 نامتعارفی به مانند آنچه در مورد مقاومتها مشاهد شده از خود نشان می دهد .این مشاهده میتواند دلیل دیگری بر ادعای تاثیر منفی غلظتهای نسبتاً بالای کربن در زائدات خام باشد که علاوه بر تاثیر منفی بر روند تغییر مقاومتها بر میزان نشت از نمونه ها نیز تاثیر گذار بوده است.

شناخت بیشتر از فرآیندها، یا مکانیسمهای محتمل در وقوع این امر در خلال آزمایشات بعد مورد مطالعه قرار گرفتند .از آنجا که نتایج تست در مقایسه به تستهای دیگر از اعتمادپذیری بیشتری) به دلیلTCLP کارایی تخصصی این آزمایش در اینگونه سناریوهای مدیریت زائدات جامد (در برآورد زائداتی که سرنوشت نهایی آنها دفع در لندفیل است برخوردار می باشد .بنابراین غلظتهای نشت شده باید مورد توجه ویژه طراحی قرار گیرد .بر این اساس نسبتهای بهینه سیمان به زائدات برای رسیدن به درصدهای حذف بیشتر، نسبتهای سیمان بیشتر از یک توصیه میشوند چرا که با افزایش سیمان به نسبت های بالاتر از 1 است که باعث بهبود چشمگیر خواص نشت و مقاومت میشود .با این وجود با توجه به عدم انطباق مقادیر غلظتها حتی در نسبتهای 3 و5 ، که بیشترین نسبتهای مورد استفاده در این تحقیق بودهاند، ارزیابی خصوصیا زائدات در نسبتهای بالاتر تا حدود 10 برابر نسبت زائدات توصیه میشود و پیش بینی میشود که در این نسبتها مقادیر امن نشت محقق گردند.

لازم به ذکر است که درصدهای راندمان حذف به دست آمده از مقایسه مقادیر نشت شده در تستTCLP زائدات خام و محصولات جامدسازی، چیزی بین 50 تا بیش از 92 درصد برای فلزات مختلف، از جمله دستاوردهای قابل توجه و ممتاز این تحقیق به شمار میرود که در مقایسه با موارد مشابه گزارش شده از زائدات دارای درصدهای کربن نسبتاً بالا و در حضور فلزات سنگین فرایندهای جامدسازی و تثبیت از راندمان های به مراتب کمتری برخوردار بودهاند .این واقعیت میتواند گواهی باشد بر خصوصیات ویژه زائدات مورد مطالعه در مقایسه با آنچه در ادبیات این گونه برآوردها بدان اشاره شده است .مطلبی که در بررسی نتایج تستها و فرایندهای شبیه سازی و مدل سازی پی آیند نیز با درجه اعتماد مناسبی تأیید شده است. نتایج تست استخراجهای متوالی شیمیایی مؤید حضور درصدهای بالایی از عناصر نیکل(متوسط% 79)، کروم(متوسط % 46) و آهن(توسط با

Archive of SID

www.SID.ir

70)در جزء باقی مانده، و درصد قابل توجهی از کادمیوم (متوسط با 40%)در ترکیب با اکسیدهای آهن و منگنز در زائدات خام میباشد .نتایج انجام آزمایش بر روی نمونه های جامدسازی شده مؤید انتقال درصدهای قابل نشت عناصر فوق الذکر در زائدات خام به جزءهای با نشت پذیری کمتر (جزء باقی مانده و جزء در اتصال با اکسیدهای آهن و منگنز) در محصولات جامدسازی و تثبیت میباشد .این مطلب مؤید تاثیر گذاری مطلوب فرآیندهای جامدسازی و تثبیت بر روی خصوصیات زائدات خام میباشد .اگرچه در نسبت های سیمان به زائدات مورد استفاده در این تحقیق (نسبت های بین ۰/۲ تا ۵) مقادیر نشت ها از حدود مجاز تجاوز کرده اند ولی میتوان این گونه استنتاج نمود که روند تاثیرگذاری فرآیندهای هیدراتاسیون و نهایتاً تثبیت در ماتریس سیمانی با افزایش نسبتها به مقادیر بالاتر از۵ بهبود چشمگیری داشته باشند و مقادیر استانداردهای نشتTCLP را ارضاء نمایند .اصولاً فلسفه استفاده از آزمایشی مانند تست استخراجهای شیمیایی متوالی هم رسیدن به شناخت تکمیلی از مواد مورد مطالعه برای رسیدن به فرایندهای طراحی نهایی موثرتر و قطعی تر میباشد که در این تحقیق با موفقیت دنبال شده است. آزمایشات صورت گرفته بر روی زائدات کوره احتراق بیانگر افزایش مقاوت فشاری نمونه های حاوی پوزولان با افزایش زمان گیرش از28 روز به 90 روز بوده است .لازم به ذکر است تغییرات مقاوت فشاری در نمونه های ساخته شده در این سری از آزمایشات چندان معنیدار نبوده است .در خصوص تاثیر وجود پوزولان بر میزان نشت فلزات سنگین در مهترین آزمایش نشت(آزمایشTCLP) میتوان بیان داشت که افزوردن پوزولان بر میزان تثبیت فلز کروم تاثیر مثبتی داشته و سبب افزایش تثبیت کروم در ماتریسهای حاوی پوزولان شده است .اگر چه میزان تثبیت نیکل در اثر وجود پوزولان روند منظمی ندارد، با این حال به صورت کلی می-
توان تاثیر مثبت پوزولان بر بیتحرک سازی فلز نیکل در ماتریسهای ساخته شده را مشاهده نمود .نتایج فلز سرب نیز بیانگر افزایش محسوس تثبیت آن فلز در نسبتهای کمتر پسماند به سیمان(نسبتهای ۰/۲، ۰/۵، ۰/۷۵) بوده است .با افزایش نسبت سیمان به پسماند، افزودن پوزولان سبب کاهش میزان تثبیت فلز سرب شده است .نتایج تثبیت فلز کادمیوم در ماتریسهای ساخته شده با و بدون پوزولان تغییرات محسوسی به همراه ندارد و در همه نمونه ها فلز کادمیوم با درصد بالای ۹۰٪ تثبیت شده است.

۵- ارزیابی اقتصادی و نتایج آزمایشات پسماند نیروگاهی

با توجه به نتایج آزمایشات اولیه صورت گرفته بر روی پسماند نیروگاهی و وجود غلظتهای بسیار زیاد فلزات سنگین و همچنین مقادیر بالای نشت آنها، دفن این زایدات در محلهای دفن زباله های شهری ممنوع بوده و در حال حاضر نیز در کشور مدفنهای زائدات صنعتی استاندارد به طور گسترده وجود ندارد . بر این اساس دفع این زائدات به عنوان زاندات خطرناک از طرف سازمان حفاظت محیط زیست کشور دارای محدودیت بوده و برای نیروگاهها مشکل ساز است .خطرناک بودن این زائدات به دلیل میزان نشت زیاد فلزات سنگین از این زائدات طی آزمایشات استاندارد مواد خطرناک از جمله آزمایشTCLP بوده که نشانگر ریسک بالای نشت آنها به محیط زیست در صورت دفن این زائدات بدون تصفیه اولیه می باشد(EPA,2004).

با توجه به نتایج بدست آمده بر اساس آزمایشات صورت پذیرفته می توان بیان داشت، فرآیند تثبیت و جامدسازی پسماند نیروگاهی با در نظر گرفتن هر دو معیار مقاومت نمونه ها برای دفن و همچنین میزان نشت آنها عملکرد بسیار مطلوبی داشته است و تقریبا در تمامی ماتریسهای ساخته شده، نشت فلزات مورد مطالعه از حدود استاندارد کمتر بوده است .با توجه به این امر و موفقیت آمیز بودن فرآیند تثبیت و جامدسازی بر روی این پسماند، ارزیابی اقتصادی آن در قالب کاهش ضرر و زیان ناشی از دفع مواد زائد(آئین نامه جرائم زیست محیطی) در ادامه ارائه خواهد شد. در جدول ۱-۲ ارزیابی اقتصادی بر اساس آئین نامه جرائم زیست محیطی بیان شده است.

لازم به ذکر است ارزیابی مذکور بر اساس جداول۲،۳و۷ با در نظر گرفتن ضرائب حساسیت منطقه، آب و خاک موجود در آیین نامه اجرایی جرائم زیست محیطی و آزمایشات انجام شده روی میزان آلاینده ها در این زایدات صورت پذیرفته است .این جرائم با در نظر گرفتن مقدار ۱۰ تن از این زایدات در سال تنها با محاسبه جرایم مربوط به آلاینده های مس، سرب، کرم، نیکل، روی، وانادیم وکادمیم این عدد محاسبه شده و اگر سایر آلایندههای احتمالی موجود از جمله جیوه، منگنز،آرسنیک، سلنیوم، انتیموان و سایر مواد شیمیایی نیز در نظر گرفته شوند میزان جریمه زیست محیطی نیروگاه ممکن است بسیار بیشتر از این مقدار برآورد گردد .با توجه به نتایج آزمایشات نشت پس از تثبیت و جامدسازی و بیخطر بودن نمونه های ساخته شده

Archive of SID

www.SID.ir

میتوان بیان کرد در سال اول رقمی معادل ۱۴۰الی ۲۱۰ میلیون تومان جریمه پیشبینی شده به نوعی صرفه جویی خواهد شد . همچنین این رقم در سالهای بعدی به صورت تصاعدی و با ضریب 2 محاسبه خواهد شد ..همچنین با انجام این طرح در بلندمدت نیز از آلودگی منابع آب و خاک در صورت نشت احتمالی آنها جلوگیری خواهد شد.

جدول ۱-۲ :ارزیابی اقتصادی فرآیند تثبیت و جامدسازی پسماند نیروگاهی

شرح منافع	نحوه محاسبه	مبلغ به ریال
جلوگیری ازجرایم زیست محیطی نیروگاه در بخش زایدات جلوگیری از آلودگی خاک و آب زیرزمینی	میزان زایدات موضوع پروژه در نیروگاه : سالانه 10-15تن الاینده های موجود انواع فلزات سنگین و مواد شیمیایی محاسبه جرایم بر اساس آیین نامه اجرایی بند ج ماده 104و ماده 134 قانون برنامه 5 ساله سوم ، سازمان محیط زیست	جریمه در سال اول بالغ بر 1400 تا 2100میلیون ریال و در سالهای بعد در صورت ادامه وضعیت هر سال نسبت به سال قبل دو برابرمی شود

۶- ارزیابی اقتصادی و نتایج آزمایشات پسماند کوره احتراق

لازم به ذکر است در فرآیند تثبیت و جامدسازی این نوع پسماند به دلیل مقادیر بسیار زیاد نشت فلزات در پسماند اولیه و همچنین میزان قابل توجه ترکیبات کربنی، نسبت همبند کننده بیشتری در مقایسه با پسماند نیروگاهی استفاده شده است. آزمایشات مقاومت فشاری انجام شده بر روی نمونه های ساخته شده که نتایج آن یکی از معیارهای موفقیت آمیزدبودن فرآیند تثبیت و جامدسازی است بیانگر آن بود که مقاومت تمامی نمونه های ساخته شده از حداقل مقاومت مجاز برای دفن(معادل ۰/۳۵ مگاپاسکال) بیشتر بوده است (Culline and Jones,1990). معیار مهم دیگری که مطلوب ارزیابی نمودن فرآیند تثبیت و جامدسازی بسیار حائز اهمیت است، میزان نشت فلزات سنگین بر اثر آزمایشات نشت میباشد. اگر چه درصد حذف در نمونه های مختلف و برای اکثر فلزات، مقادیر بالا و قابل توجهی محسوب میشود . با این حال میزان نشت فلزات در اکثر نمونه های ساخته شده حتی در نسبتهای بالای سیمان و پوزولان استانداردهای مورد نظر برای نشت را ارضا نمیکند .از اینرو فرآیند تثبیت و جامدسازی برای پسماند ناشی از کوره احتراق به دلیل مقادیر زیاد نشت، چندان مطلوب ارزیابی نمیشود.

با توجه به مسئله فوق و ذکر آنکه میزان وانادیم در پسماند مذکور نسبتا زیاد گزارش شده است، پیشنهاد میشود برنامهریزی به منظور بازیافت وانادیم از اینگونه زائدات صورت پذیرد.

بر اساس ارزیابیهای اولیه صورت پذیرفته میتوان میزان زائدات تولید شده ناشی از احتراق نفت کوره در کل نیروگاه های کشور را سالانه حدود۹۸ تن برآورد کرد که با توجه با نتایج آنالیز اولیه دارای ۱۷/۱ درصد وزنی وانادیم است که از طریق روشهای مختلفی قابل بازیافت می باشد.

۷- نتایج

۷-۱- طرح اختلاط پیشنهادی برای ماتریس سیمان و پوزولان و پسماند

با توجه به جدول۳-۱ میزان مواد مورد نیاز برای اختلاط هر ۱۰ کیلوگرم نمونه های بتنی جهت تثبیت و جامدسازی عبارت است از:

جدول ۱-۳: طرحهای اختلاط موفق در فرآیند تثبیت و جامدسازی ماتریس سیمان و پوزولان و پسماند

مواد تشکیل دهنده	طرح اختلاط اول	طرح اختلاط دوم
آب (ml)	۱۴۷	۱۵۰
پوزولان (gr)	۱۷	۱۵
سیمان (gr)	۳۴۰	۳۰۰
پسماند(gr)	۲۵۵	۳۰۰
آب به جامد(سیمان+پوزولان)	۰/۲۴	۰/۲۴
پوزولان به سیمان	۰/۰۵	۰/۰۵
پسماند به سیمان	۰/۷۵	۱

الف) نسبت پسماند به سیمان معادل۰/۷۵

سیمان:۴/۴۸ کیلوگرم

پوزولان:۰/۲۲۳ کیلوگرم

پسماند:۳/۳۶ کیلوگرم

آب: ۱/۹۳ کیلوگرم

ب) نسبت پسماند به سیمان معادل۱

Archive of SID

www.SID.ir

سیمان:۳/۹۲ کیلوگرم

پوزولان:۰/۲ کیلوگرم

پسماند:۳/۹۲ کیلوگرم

آب: ۱/۹۶ کیلوگرم

۷-۲- طرح اختلاط پیشنهادی برای ماتریس سیمان و پوزولان و فوق روان کننده و ماسه و پسماند

با توجه به جدول ۱-۴ میزان مواد مورد نیاز برای اختلاط هر ۱۰ کیلوگرم نمونه های بتنی جهت تثبیت و جامدسازی عبارت است از:

جدول ۱-۴: طرحهای اختلاط موفق در فرآیند تثبیت و جامدسازی ماتریس سیمان و پوزولان و پسماند

مواد تشکیل دهنده	طرح اختلاط اول	طرح اختلاط دوم
آب (ml)	۱۱۰	۱۱۰
ماسه (gr)	۴۴۰	۴۴۰
پوزولان (gr)	۱۰	۱۰
سیمان (gr)	۱۶۰	۱۶۰
پسماند(gr)	۱۲۰	۱۲۰
فوق روان کننده (gr)	۳/۲	۳/۲
آب به جامد	۰/۱۵	۰/۱۵
ماسه به سیمان	۲/۷۵	۲/۷۵
پوزولان به سیمان	۰/۰۶	۰/۰۶
پسماند به سیمان	۰/۷۵	۱

الف) نسبت پسماند به سیمان معادل۰/۷۵

سیمان:۱/۹ کیلوگرم

پوزولان:۰/۱۱ کیلوگرم

پسماند: ۱/۴۲کیلوگرم

آب: ۱/۳ کیلوگرم

ماسه :۴/۹۶ کیلوگرم

فوق روان کننده:۳۷ گرم

ب) نسبت پسماند به سیمان معادل۱

سیمان:۱/۸ کیلوگرم

پوزولان:۰/۱۱ کیلوگرم

پسماند: ۱/۸کیلوگرم

آب: ۱/۲۸ کیلوگرم

ماسه :۴/۹۶ کیلوگرم

فوق روان کننده:۳۶ گرم

منابع و مراجع

[۱]E. Yasar, C.D. Atis, A. Kilic, H. Gulsen, Strength properties of lightweight concrete made with Basaltic pumice and fly-ash, Materials Letters 57 (2003) 2267–2270.

[۲]J.A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini, J.A. Morais, Properties of highperformance LWAC for precast Structures with Brazilian lightweight aggregate, Cement and Concrete Composites 25 (2003) 77– 82.

[۳]A. Kilic, C.D. Atis, E. Yasar, F. Ozcan, High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures, Cement and Concrete Research 33 (2003) 1595–1599.

[۴]M.N. Haque, H. Al-Khaiat, O. Kayali, Strength and durability of lightweight concrete, Cement and Concrete Composites 26 (2003) 307–314.

[۵]J.A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini, Mechanical properties of polymermodified lightweight aggregate Concrete, Cement and Concrete Research 32 (2002) 329– 334.

[۶]P.C. Aitcin, High-Performance Concrete, E&FN Spon, London, 1998.

[۷]H. Okamura, K. Maekawa, K. Ozawa, High Performance Concrete, Gihoudou Pub, Tokyo, 1998.

[۸]H. Okamura, Self-compacting High Performance Concrete, Social System Institute, Tokyo, 1999.

[۹]N. Su, B. Miao, A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low Cement content, Cement and Concrete Composites 25 (2003) 215– 222.

[۱۰]N. Su, K.C. Hsu, H.W. Chai, A simple mix design method for selfcompacting 6 concrete, Cement And Concrete Research 31 (2001) 1799– 1807.

[۱۱]Y.W. Choi, M.Y. Jung, J.S. Chung, D.J. Moon, S.I. An, Optimum mixture proportion of selfcompacting Concrete considering packing factor of aggregate and fine aggregate volume ratio , Proceedings of the Korea Concrete Institute 14 (2002) 549–554.

[۱۲]Y.W. Choi, S.K. Cho, W. Choi, K.H. Kim, S.I. An, Properties of medium strength self-compacting Concrete with simple mix design method, Proceedings of the Korea Concrete Institute 15 (2003) 83– 88.

[۱۳]Japanese Society of Civil Engineering, Guide to Construction of High Flowing Concrete, Gihoudou Pub, Tokyo, 1998.

[۱۴]S. Chandra, L. Berntsson, Lightweight Aggregate Concrete, Noyes, New York, 2002.

[۱۵]T.Y. Lo, H.Z. Cui, Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete, Materials Letters ۵۸ (۲۰۰۴) ۹۱۶–۹۱۹.

[۱۶]T.Y. Lo, H.Z. Cui, Z.G. Li, Influence of aggregate pre-wetting and fly ash on mechanical properties Of lightweight concrete, Waste Management 24 (2004) 333– 338.

[۱۷]K.S. Chia, M.H. Zhang, Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight Aggregate concrete, Cement and Concrete Research 32 (2002) 639– 645.

Archive of SID

www.SID.ir