بررسی عملکرد افزودنی‌های شکر و آزودی‌کربن‌آمید بر فرایند تبخیر و کلسیناسیون پسماند مایع سطح بالای شبیه‌سازی‌شده جهت تثبیت در شیشه

INC29-1184

زهرا فرحزادی[۱]، فاضل ضحاکی فر[۲]، محمد صمدفام[۱]، پریسا ظاهری [۲]

۱. دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۸۶۳۹، تهران، ایران.

۲. پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران، ایران

چکیده:

جهت تثبیت پسماندهای HLLW در شیشه نیاز است در ابتدا فرایند کلسیناسیون عناصر انجام گیرد. در پژوهش حاضر، اثر افزودن شکر و آزودی‌کربن‌آمید بر شرایط تبخیر و کلسیناسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن آزودی‌کربن‌آمید موجب کاهش زمان تبخیر شده و نرخ انتقال جرم افزایش می‌یابد. با افزودن آزودی‌کربن‌آمید ۱۰ و ۲۰درصد، درصد نرخ تغییرات جرم در زمان‌های ابتدایی به ترتیب ۱۵ و ۴۰ درصد افزایش یافت. افزودن شکر باعث تفاوت زیادی در نرخ تغییرات جرم در زمان‌های ابتدایی نشده اما زمان کلی تبخیر کاهش یافت و خواص فیزیکی محصول را بهبود داد.

آزمایش‌ها نشان داد که کلسیناسیون محلول شبیه‌سازی‌شده HLLW، در دمای ۶۵۰ درجه‌سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد و دماهای بالاتر از آن موجب تصعید عناصر می‌شود. افزودن آزودی‌کربن‌آمید از افزودن شکر، تاثیر بیشتری داشته و اضافه کردن آن تا ۲۰ درصد موجب تجزیه حرارتی بالای ۸۶ درصد شد. نتایج این پژوهش نشان داد؛ افزودن افزودنی‌ها موجب بهبود زمان تبخیر و شرایط کلسیناسیون محلول شبیه‌سازی‌شده HLLW می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تبخیر، کلسیناسیون، پسماند مایع سطح بالای شبیه‌سازی‌شده، شکر، آزودی‌کربن‌آمید.

Study the performance of sugar and azodicarbonamide additives on the process of evaporation and calcination of simulated high-level liquid waste (HLLW) for vitrification

Zahra Farahzadi[1], Fazel Zahakifar[2], Mohammad Samadfam[1], Parisa Zaheri[2]

1. Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, P.O. Box 11365-8639, Tehran, Iran

2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-8486 Tehran- Iran.

Abstract:

In order to vitrification of HLLW, at first, it is necessary to perform the calcination process of the elements. In this research, the effect of adding sugar and azodicarbonamide (ADC) on evaporation and calcination conditions was investigated. The results showed that the addition of ADC decreases the evaporation time and increases the mass transfer rate. By adding 10 and 20 % ADC, the percentage of mass changes in the initial times increased by 15 and 40%, respectively. Addition of sugar did not cause much difference in the rate of mass change in the initial times, but the total evaporation time decreased and improved the physical properties of the product. Experiments showed that the calcination of the simulated HLLW solution takes place at 650 and higher temperatures cause sublimation of elements. The addition of ADC had a greater effect than the addition of sugar, and its addition to 20% caused thermal decomposition of 86%. The results of this research showed; Additives improve the evaporation time and calcination conditions of simulated HLLW solution.

Keywords: Evaporation, Calcination, Simulated high-level liquid waste, Sugar, Azodicarbonamide.

۱. مقدمه

پسماندهای مایع با پرتوزایی سطح بالا[1] از ترکیب پیچیده‌ای از عناصر پرتوزا (محصولات شکافت، آکتینیدهای جزئی) و عناصر غیرپرتوزا تشکیل شده است [۱]. جهت دفع ضروری است که این پسماندها در یک ماتریس مناسب تثبیت شوند. یکی از ایمن‌ترین روش‌های تثبیت پسماندهای با پرتوزایی بالا روش تثبیت در شیشه می‌باشد [۲]. جهت تثبیت نیاز است که عناصر به فرم اکسیدی خود باشند. برای این منظور ضروری است که در ابتدا پسماند تبخیر شده و به فرم جامد در آید تا در ادامه در کوره کلسیناسیون عناصر به فرم اکسیدی در آیند که این امر نیازمند بهینه سازی شرایط تبخیر و کلسیناسیون است تا یکی از چالش‌های اصلی تثبیت در شیشه حل شود [۳, ۴].

مطابق بررسی‌ها، کوره‌ی مناسب جهت انجام فرایند کلسیناسیون باید دارای ساده‌ترین طراحی و حداقل تعداد قطعات متحرک باشد تا نگهداری و تعویض قطعات به‌راحتی انجام شود (به دلیل سطح پرتوزایی بالای پسماند). در بین کوره‌های کلسیناسیون کوره دوار، به دلیل پیچیدگی‌های کمتر انتخاب مناسبی است [۵].

در ابتدای کوره دوار، پسماند مایع وارد شده و پس از تبخیر کامل، پودر حاصل شده مسیر کوره را طی کرده و کلسینه می‌شود. با توجه به ناحیه‌بندی دمایی کوره‌ها، دمای ابتدای کوره کمتر از دمای کلسیناسیون است (کمتر از ۲۰۰ °C). لذا ضروری است سینتیک تبخیر پسماند در ابتدای کوره در دماهای کمتر از ۲۰۰ °C بررسی شود تا زمان مورد نیاز تبخیر و اندازه ناحیه تبخیر کوره محاسبه شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات افزودن آزودی‌کربن‌آمید و شکر بر سینتیک تبخیر و بهبود کلسیناسیون پسماند مایع شبیه سازی شده HLLW بوده است. در این تحقیق با توجه به جدول ۱ یک نمونه پسماند مایع شبیه‌سازی‌شده HLLW تهیه شده و مطالعات سینتیکی بر روی آن انجام گرفت.

جدول ۱. ترکیب درصد اکسیدی پسماند **HLLW** شبیه‌سازی‌شده غیرپرتوزا

اجزای پسماند HLW	مقدار (درصد وزنی)	اجزای پسماند HLW	مقدار (درصد وزنی)	اجزای پسماند HLW	مقدار (درصد وزنی)	اجزای پسماند HLW	مقدار (درصد وزنی)
SeO_2	۱/۱	Na_2O	۲۰	MnO_2	۱/۷۵	Ag_2O	۰/۱۵
Cs_2O	۵/۳۵	BaO	۳	MoO_3	۸/۵	Fe_2O_3	۱۴
SrO	۱/۷	Ce_2O_3	۶	CdO	۰/۲۰	NiO	۲
Y_2O_3	۱	Pr_2O_3	۲/۵	SnO_2	۰/۲۰	Cr_2O_3	۲/۵
ZrO_2	۱۲	Nd_2O_3	۱۲	P_2O_5	۱/۳	La_2O_3	۴/۷۵

۲. روش کار

۱,۲. مواد و تجهیزات

جهت انجام آزمایش‌ها از آزودی‌کربن‌آمید، شکر، سدیم مولیبدات، نئودمیم اکسید، استرانسیم نیترات، ایتریم نیترات، آهن نیترات، سدیم نیترات، سزیم نیترات، منگنز نیترات، نیکل نیترات تهیه شده از شرکت Merck, زیرکونیم نیترات، پرازئودمیم نیترات، کروم نیترات، سریم نیترات، باریم نیترات تهیه‌شده از شرکت SIGMA-ALDRICH, لانتانیم اکسید تهیه‌شده از شرکت CDH استفاده گردید.

جهت انجام آزمایش‌های تبخیر از آون آزمایشگاهی مدل ۴۴-۱۱۰۳-۱۲-۹۷ (خریداری شده از شرکت بهداد)، جهت اندازه گیری وزن از ترازو آزمایشگاهی دیجیتالی مدل M254Ai (خریداری شده از شرکت BEL)، جهت انجام آزمایش‌های کلسیناسیون از کوره آترا مدل AFE1200L-5DE استفاده شد. برای مشخصه‌یابی محصولات نیز از دستگاه XRD ساخت کمپانی STOE مدل STADI MP کشور آلمان استفاده شد.

۲,۲. شیوه انجام آزمایش‌ها

برای تهیه محلول شبیه‌سازی‌شده مواد شامل سدیم مولیبدات، نئودمیم اکسید، استرانسیم نیترات، ایتریم نیترات، آهن نیترات، سدیم نیترات، سزیم نیترات، منگنز نیترات، نیکل نیترات، زیرکونیم نیترات، پرازئودمیم نیترات، کروم نیترات،

[1] High-level liquid wastes (HLLW)

سریم نیترات، باریم نیترات و لانتانیم اکسید طبق ترکیب درصد ارائه‌شده در جدول ۱، در ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول mol/L ۱ نیتریک‌اسید حل گردیده و سپس در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شده و محلول یکنواختی به دست آمد.

جهت انجام آزمایش‌های تبخیر، در هر آزمایش ۳۰mL از محلول شبیه‌سازی‌شده در یک بشر مدرج ریخته شده و افزودنی‌ها شامل آزودی‌کربن‌آمید و شکر در مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد جرمی به محلول پسماند اضافه گردید. سپس دماسنج داخل بشر قرار گرفت. جهت بررسی سینتیک تبخیر هر ده دقیقه یک‌بار بشر از آون خارج شده و پارامترهای دما، جرم و حجم محلول اندازه‌گیری گردید.

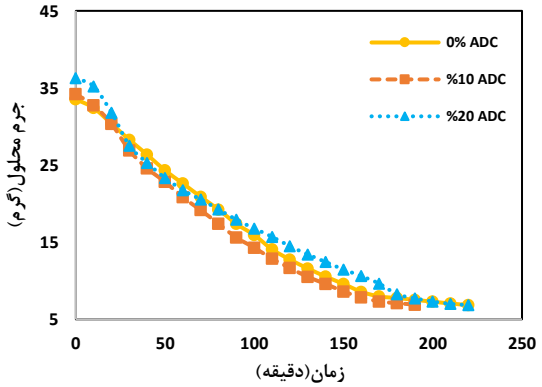
برای انجام آزمایش‌های کلسیناسیون در هر آزمایش ۱۰mL از محلول شبیه‌سازی‌شده در بوته‌های آزمایشگاهی ریخته شده و داخل کوره قرار داده شد. بعد از اتمام فرایند کلسیناسیون، نمونه جهت شناسایی به XRD فرستاده شد.

۳. بحث و نتایج:

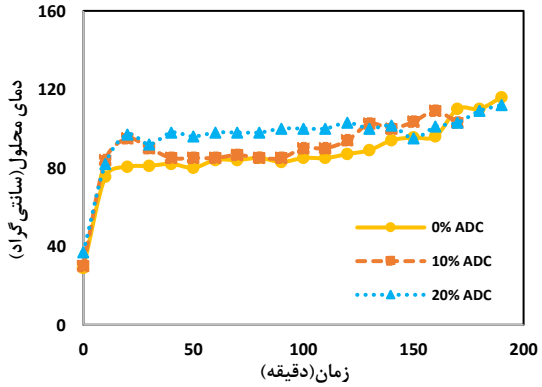
۱,۳. بررسی اثر افزودنی‌ها بر سینتیک تبخیر پسماند مایع شبیه‌سازی‌شده HLLW

طبق مطالعات انجام شده در زمینه کلسینا سیون افزودن آزودی‌کربن‌آمید[1] به فرایند کلسینا سیون کمک می‌کند ولی هیچ محصول دیگری در خروجی برجا نمی‌گذارد [۵]. آزودی‌کربن‌آمید یک ماده آلی کف‌زا (عوامل کف‌زا دو نوع هستند: عوامل کف کننده فیزیکی و شیمیایی که آزودی‌کربن‌آمید جزء عوامل کف‌زا شیمیایی است) که دو مزیت اصلی دارد: اختلاط و جابجایی راحت دارد و به راحتی با تجهیزات معمولی فراوری می‌شود [۶, ۷] که با انجام یک واکنش شیمیایی گرمازا (حاصل از تجزیه حرارتی مولکول‌های اصلی) گاز (یا مخلوط گاز) را فراهم می‌کنند و فرایند خشک‌کردن و کلسیناسیون را بهبود می‌بخشد [۸]. در این آزمایش‌ها اثر این افزودنی بر روند تبخیر و خشک‌کردن بررسی گردید که نتایج آن در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است افزودن آزودی‌کربن‌آمید باعث تسریع فرایند تبخیر در زمان‌های اولیه شده است. به‌طوری‌که در زمان ۳۰ دقیقه کاهش جرم در محلول‌های شامل ۰، ۱۰ و ۲۰ در صد از آزودی‌کربن‌آمید به ترتیب ۱۵، ۲۱ و ۲۴ درصد بوده ولی در زمان ۱۸۰ دقیقه کاهش جرم به ترتیب ۷۹، ۷۹ و ۷۷ درصد بوده است که نشان می‌دهد در زمان‌های اولیه تاثیر بیشتری در فرایند داشته است. در منحنی جرم_زمان یک ناحیه کاهشی با شیب زیاد و یک ناحیه پلاتو وجود دارد که ناحیه اول مربوط به تبخیر[2] محلول بوده و ناحیه دوم مربوط به تبخیر آب باقیمانده از رسوبات است که ناحیه دوم ناحیه خشک‌کردن[3] نامیده می‌شود [۹, ۱۰]. در محلول با ۱۰درصد آزودی‌کربن‌آمید طول ناحیه پلاتو بسیار کوچک بوده که نشان‌دهنده سرعت بالای فرایند خشک‌سازی جامدات باقی‌مانده است که موجب کاهش زمان کلی فرایند گردیده است.

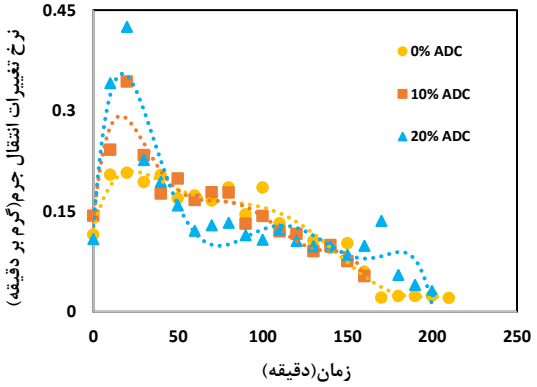


شکل ۱. اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید بر تغییرات جرم محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.

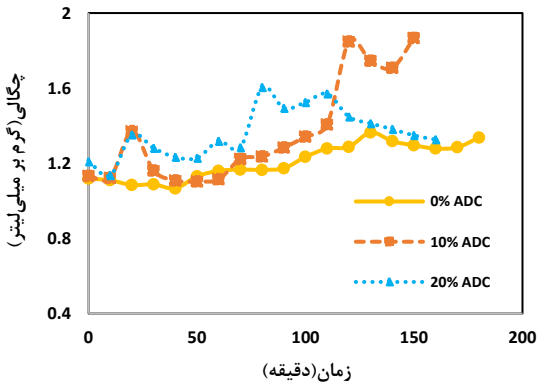


شکل ۲. اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید بر تغییرات دمای محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.

[1] Azodicarbonamide
[2] Evaporation
[3] Drying



شکل ۳. اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید بر نرخ تغییرات انتقال جرم محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.



شکل ۴. اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید بر تغییرات چگالی محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.

اندازه‌گیری دمای محلول برای تمامی آزمایش‌ها با استفاده از یک دماسنج در داخل محلول انجام شد. نتایج نشان داد دمای محلول در مدت زمان ۲۰ دقیقه به دمای مشخصی می‌رسد و سپس روند تقریبا ثابتی را (که بخش عمده‌ای از فرایند تبخیر است) طی می‌کند. این روند ثابت تا زمانی که نمونه به صورت محلول است ادامه داشته و در نهایت به دلیل خمیری شدن نمونه دما به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. مطابق منحنی شکل ۲ افزودن مقدار بیشتری از آزودی‌کربن‌آمید باعث افزایش دمای بیشتر محلول در زمان ۲۰ دقیقه و به دنبال آن افزایش نرخ تبخیر شده است.

با استفاده از منحنی جرم-زمان، نرخ تغییرات انتقال جرم تعیین گردید که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. در ابتدا تغییرات نرخ انتقال جرم زیاد می‌شود که به دلیل افزایش دمای ناگهانی محلول از دمای محیط به دمای آون می‌باشد. در ادامه علی‌رغم این‌که دما افزایش می‌یابد به مرور تغییرات نرخ انتقال جرم کاهش می‌یابد زیرا نسبت مایع موجود در محلول کم می‌شود، سطح تماس مایع با هوا کم شده و جدا شدن مولکول‌های مایع از محلول سخت‌تر می شود و در نهایت تغییرات نرخ کمتر می شود [۱۱]. نتایج نشان می‌دهد هرچه مقدار آزودی‌کربن‌آمید بیش‌تر باشد نقطه بیشینه تغییرات نرخ انتقال جرم نیز افزایش می‌یابد.

افزودن آزودی‌کربن‌آمید به محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده، خاصیت‌کف‌زایی خود را بیشتر نشان می‌دهد. به گونه‌ای که موجب کف‌کردن و تغییرات ناگهانی در حجم محلول می‌شود. از این رو تغییرات ناگهانی در چگالی محلول مشاهده گردید که شکل ۴ به خوبی آن را نشان می‌دهد.

طبق مطالعات انجام شده در زمینه کلسیناسیون اضافه کردن شکر به پسماندهای اسیدی کمک به از بین بردن حالت کیکی و کاهش روتنیم موجود در پسماند می‌کند [۵]. در این آزمایش‌ها اثر این افزودنی بر روند تبخیر و خشک‌کردن HLLW بررسی گردید که نتایج آن در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

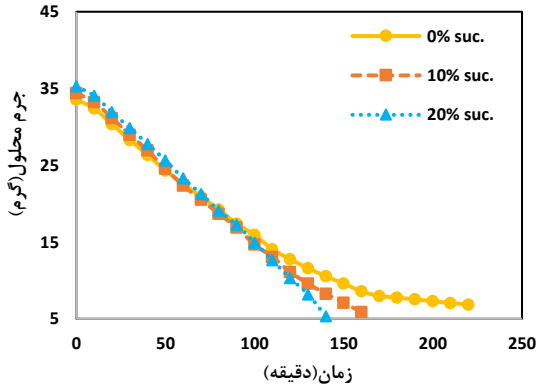
طبق نتایج به دست آمده از منحنی شکل ۵ مشخص گردید که افزودن شکر به محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW باعث کاهش زمان تبخیر محلول می‌گردد، به طوری‌که در زمان ۱۳۰ دقیقه کاهش جرم در محلول‌هایی حاوی ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۶۵، ۷۲ و ۷۷ درصد بوده است. در محلول‌های حاوی شکر ناحیه پلاتو بسیار کوچک است به گونه‌ای که در مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد افزودنی شکر، نمودار فقط شامل ناحیه تبخیر است. در حضور شکر، خشک‌شدن با سرعتی بسیار بالا صورت می‌گیرد.

بررسی خواص فیزیکی ماده نشان داد که وجود شکر بیشتر موجب پفکی‌تر شدن نمونه محصول خشک نهایی شده و خواص چسبندگی کیک را بهبود می‌بخشد که این خاصیت در فرایند کلسیناسیون به صورت پیوسته حائز اهمیت بوده و باعث جدایش راحت‌تر محصول از بدنه کوره دوار و در نتیجه سیال‌پذیری محصول می‌شود.

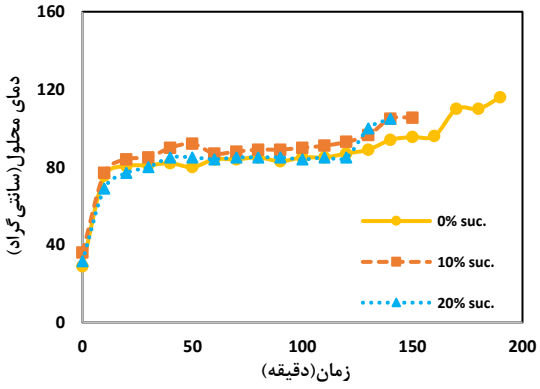
همچنین نتایج به دست آمده از منحنی شکل ۶ نشان می‌دهد افزودن شکر تاثیر چندانی بر افزایش دمای محلول ندارد. در حالی‌که افزودن آزودی‌کربن آمید موجب افزایش شـدید دما در ابتدای فرایند تبخیر شـده که همین پدیده، موجب افزایش‌چشم‌گیر نرخ انتقال جرم شده بود (شکل ۲ و ۳).

افزودن شـکر موجب افزایش نرخ تغییرات انتقال جرم در زمان‌های اولیه آزمایش گردید به طوری‌که با افزایش مقدار شکر نرخ افزایش بیشتری داشت.

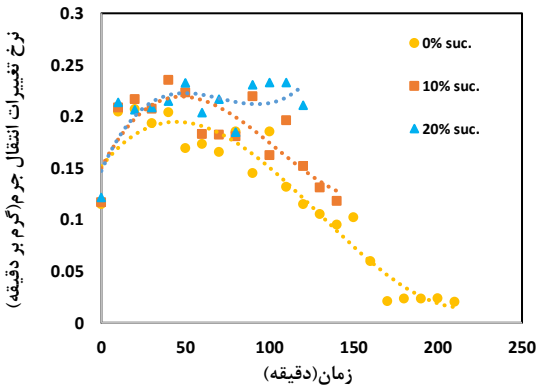
افزودن شـکر به محلول پسـماند شـبیه‌سـازی‌شـده HLLW موجب تغییرات ناگهانی و غیر قابل پیش‌بینی در اثر کف کردن محلول گردیده است از این رو حجم خوانده شده دقیق نبوده و آزمایش‌ها دوبار تکرار گردیده و میانگین حجم‌ها محاسبه گشته و چگالی تعیین شده است که نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.



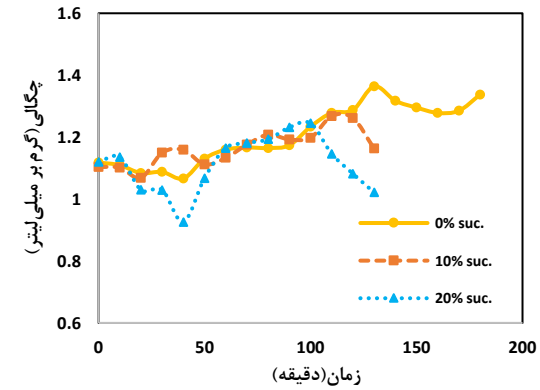
شکل ۵. اثر افزودن شکر بر تغییرات جرم محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.



شکل ۶. اثر افزودن شکر بر تغییرات دمای محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.



شکل ۷. اثر افزودن شکر بر نرخ تغییرات انتقال جرم محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.



شکل ۸. اثر افزودن شکر بر تغییرات چگالی محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW با زمان در دمای ۱۳۰ درجه‌سانتی‌گراد.

۲،۳. بررسی اثر افزودنی‌ها بر کلسیناسیون پسماند مایع شبیه‌سازی‌شده HLLW

ابتدا به انتخاب دمای مناسب جهت کلسیناسیون محلول شبیه سازی شده HLLW پرداخته شد. مطالعات نشان داده است که سدیم نیترات برای تجزیه نیاز به دمای بالاتری نسبت به سایر مواد داشته و به دلیل چسبندگی بالا، چالش زیادی ایجاد می‌کند [۱۲]. از این رو، حل مشکل کلسیناسیون آن به معنای کلسیناسیون کل پسماند است. بنابراین

ابتدا به بررسی دمای تجزیه سدیم نیترات پرداخته شد. از طرفی، آهن نیز عنصری است که در پسماند به مقدار قابل توجهی وجود دارد.

ابتدا تجزیه محلول حاوی سدیم نیترات و آهن نیترات در دمای °C ۹۰۰ بررسی شد. پس از اندازه‌گیری جرم، بیش از ۹۰ درصد کاهش جرم مشاهده شد. با توجه به اینکه تجزیه حرارتی، در اصل به معنای تجزیه نیترات است، و با توجه به محاسبات، مقدار کاهش جرم، باید کمتر از ۹۰ درصد باشد. بنابراین، در دمای ۹۰۰ درجه، تصعید اتفاق افتاده و کلسیناسیون انجام نشده است. نتایج XRD نیز موید این اتفاق بود، به گونه‌ای که اکسید سدیم مشاهده نشد. انجام آزمایش‌ها در دمای ۷۵۰ درجه نیز نشان داد که همچنان اکسید سدیم تشکیل نشده است. ادامه آزمایش‌ها در دمای ۶۵۰ انجام گرفت که حدود ۴۸ درصد از سدیم نیترات به سدیم اکسید تبدیل گردید.

در ادامه تجزیه سایر نمک‌های موجود در محلول شبیه سازی شده HLLW در دمای ۶۵۰ درجه بررسی گردید. برای این منظور، اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید و شکر بر روند کلسیناسیون محلول شبیه سازی شده HLLW در همین دما بررسی شد. لازم به ذکر است که محصولات حاصل از کلسیناسیون با آنالیز XRD مشخصه‌یابی می‌شدند و با توجه به نتایج همه عناصر تبدیل به اکسید شده‌اند و مطابق انتظار، سدیم عنصر کلیدی است. بنابراین در این قسمت، تنها روند تجزیه حرارتی سدیم نیترات (تبدیل به سدیم اکسید) مدنظر بوده است.

جدول ۲. بررسی اثر دما و افزودنی بر کلسیناسیون محلول شبیه‌سازی‌شده HLLW در مدت زمان ۴ ساعت

نوع ماده	افزودنی	دمای آزمایش (کوره)	محصول	میزان تجزیه (٪)
محلول نیتراته سدیم و آهن	0	۹۰۰	$NaNO_3$	۰
محلول نیتراته سدیم و آهن	0	۷۵۰	$NaNO_3$	۰
محلول نیتراته سدیم و آهن	0	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۴۸٫۳
محلول شبیه‌سازی شده HLLW	0	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۴۶٫۲
محلول شبیه‌سازی شده HLLW	10% ADC	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۶۸٫۶
محلول شبیه‌سازی شده HLLW	10% Suc.	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۶۳٫۱
محلول شبیه‌سازی شده HLLW	20% ADC	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۸۶٫۷
محلول شبیه‌سازی شده HLLW	20% Suc.	۶۵۰	$NaNO_3$ NaO_2	۷۴٫۸

نتایج نشان داد که دمای ۶۵۰ درجه موجب تجزیه حرارتی سدیم نیترات به میزان ۴۸ درصد شد. افزودن افزودنی‌های شکر و آزودی‌کربن‌آمید هر دو موجب بهبود کلسیناسیون شدند. در این بین آزودی‌کربن‌آمید از حیث میزان اکسید تولیدی نسبت به افزودنی شکر عملکرد بهتری داشت. افزودن ۱۰ درصد شکر و آزودی‌کربن‌آمید، موجب تولید سدیم اکسید تا ۶۳ و ۶۸ درصد شد و افزایش افزودنی تا ۲۰ درصد نیز میزان تجزیه حرارتی را تا ۷۴ و ۸۶ درصد افزایش داد. با این حال جهت انتخاب افزودنی برتر باید شرایط اقتصادی و کیفیت فیزیکی محصول را نیز در نظر گرفت. قیمت شکر به مراتب از آزودی‌کربن آمید ارزان‌تر بوده و محصولی با سیال‌پذیری بالا تولید می‌کند. از طرفی وجود شکر موجب فراریت روتنیم می شود.

۴. نتیجه‌گیری:

با توجه به اهمیت نرخ تبخیر در فرایند کلسیناسیون پسماند HLLW جهت تثبیت در شیشه، و تاثیر اضافه نمودن افزودنی‌ها جهت بهبود خواص پسماند و تسهیل فرایند کلسیناسیون در این پژوهش اثر افزودن آزودی‌کربن‌آمید و شکر (در نسبت‌های وزنی ۰، ۱۰و ۲۰درصد) بررسی گردید.

نتایج نشان داد که با افزایش آزودی‌کربن‌آمید موجب کاهش زمان تبخیر شده و نرخ انتقال جرم افزایش می‌یابد. بیشترین تغییرات نرخ مربوط به ناحیه تبخیر است به طوری که در زمان ابتدایی نرخ تغییر جرم برای محلول پسماند

شبیه‌سازی‌شده HLLW در حالت‌هایی که محلول حاوی ۰، ۱۰ و۲۰٪ وزنی آزودی‌کربن‌آمید بوده به ترتیب ۰٫۲۰۴۶، ۰٫۲۴۱۵ و ۰٫۳۴۱۲ گرم بر دقیقه است که نشان می‌دهد با افزایش مقدار آزودی‌کربن‌آمید از ۰ به ۱۰ درصد و از ۰ به ۲۰ درصد نرخ تغییرات جرم در زمان ابتدایی به ترتیب ۱۵ و ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. در بررسی نتایج اثر افزودن شکر به محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW مشخص گردید که افزودن شکر موجب کاهش زمان تبخیر و بهبود خواص فیزیکی پسماند می‌شود. حضور افزودنی شکر باعث شد که در زمان ابتدایی نرخ تغییرات جرم برای محلول پسماند شبیه‌سازی‌شده HLLW در نسبت‌های وزنی ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۰٫۲۰۴۶، ۰٫۲۰۸۶ و ۰٫۲۱۳۷ گرم بر دقیقه شود که نشان می‌دهد با افزایش مقدار شکر از ۰ به ۱۰ درصد و از ۰ به ۲۰ درصد نرخ تغییرات جرم در زمان ابتدایی به ترتیب ۲ و ۴ درصد افزایش می‌یابد. طبق مقایسه‌ها افزودن آزودی‌کربن‌آمید تاثیر بیشتری بر افزایش نرخ تغییرات انتقال جرم داشته و افزودن شکر باعث کاهش زمان تبخیر و خشک‌کردن بیشتری نسبت به افزودن آزودی‌کربن‌آمید داشته است.

آزمایش‌ها نشان داد که کلسیناسیون محلول شبیه‌سازی‌شده HLLW، در دمای ۶۵۰ اتفاق می‌افتد و دماهای بالاتر از آن موجب تصعید عناصر می‌شود. افزودن آزودی‌کربن‌آمید از افزودن شکر، تاثیر بیشتری داشته و اضافه کردن آن تا ۲۰ درصد موجب تجزیه حرارتی بالای ۸۶ درصد شد.

۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت تماس و شرکت پسمانداری هسته‌ای ایران که این پروژه را حمایت مالی نمودند کمال تشکر و قدردانی نمایند.

۶. مراجع:

1. Turlay, R., *Les déchets nucléaires (1997)*. 2012: EDP Sciences.
2. Ojovan, M.I., *Handbook of advanced radioactive waste conditioning technologies*. 2011: Elsevier.
3. STANDARDISATION, U.I.C.O., et al., *CR9164 QUALITY CONTROL AND MANAGEMENT LTPC IN CERAMIC INDUSTRIES 3 0 0 3 AIM*. UNIVERSITY DEPARTMENTS ANNA UNIVERSITY CHENNAI:: CHENNAI 600 025 REGULATIONS-2009 CURRICULUM I TO IV SEMESTERS (FULL TIME) M. TECH. CERAMIC TECHNOLOGY: p. 26.
4. Agency, I.A.E., *Classification of Radioactive Waste: A Safety Guide*. 1994, IAEA Vienna.
5. Sevigny, G., *Letter report: Evaluation of dryer/calciner technologies for testing*. 1996, Pacific Northwest Lab.
6. Aseeva, R.M., *Handbook of polymeric foams and foam technology*. 2004: Hanser Verlag.
7. Vachon, C. and R. Gendron, *Research on alternative blowing agents.* Thermoplastic Foam Processing: Principles and Development, 2005: p. 139-191.
8. Reyes-Labarta, J. and A. Marcilla, *Kinetic study of the decompositions involved in the thermal degradation of commercial azodicarbonamide*. Journal of applied polymer science, 2008. **107**(1): p. 339-346.
9. Krasnikov, V., *The Methods of Analysis and Calculation of Drying Kinetics, Drying'80*. 1980, . S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation.
10. Kemp, I.C., et al., *Methods for processing experimental drying kinetics data.* Drying technology, 2001. **19**(1): p. 15-34.
11. Hamid, Kh., et al., Studying the kinetics and energy consumption of white mulberry drying in a microwave dryer. (In Persian).
12. Kawai, K., et al., *Thermal decomposition analysis of simulated high-level liquid waste in cold-cap*. EPJ Nuclear Sciences & Technologies, 2016. **2**: p. 44.