

سنتر و مطالعه ریخت‌شناسی ترکیبات سولفات - اکسید سرب

$PbSO_4 \cdot nPbO$ و بررسی تجزیه گرمایی ترکیب $PbSO_4$

سید علی اکبر سجادی (استادیار)

سید جمال‌الدین هاشمیان (دانشیار)

مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

در این نوشتار روش‌های کاربردی برای تهیه ترکیبات $(PbSO_4 \cdot PbO)$ و $PbSO_4 \cdot 2PbO$ از طریق شیمی‌تر و تهیه ترکیبات $PbSO_4 \cdot 2PbO; PbSO_4 \cdot PbO; PbSO_4$ از طریق روش گرمایی معرفی شده است. همچنین از کلیه ترکیبات بالا نمودار XRD تهیه شد. در تمام روش‌ها از این ترکیبات تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی ۲۰۰-۳۵۰۰ برابر تهیه شد. در قسمت دوم این نوشتار به مطالعه تجزیه گرمایی ترکیب $PbSO_4$ در مجاورت هوا و در محدوده دمایی $100-250^\circ C$ پرداخته شده است و نشان داده شد که این ترکیب در $95^\circ C$ به PbO تبدیل می‌شود. این نتایج توسط نمودارهای XRD تأیید شد.

مقدمه

سرب یکی از فلزات مهم و پرمصرف در صنعت است، که به صورت خالص یا در ترکیب مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مهم‌ترین صنایع وابسته به فلز سرب می‌توان به صنایع باتری‌سازی، رنگ‌سازی و آلیاژسازی اشاره کرد. در هر یک از این صنایع عمدتاً از سرب خالص یا اکسیدهای سرب ($\beta-PbO, \alpha-PbO$) استفاده می‌شود.^[۱-۱۵] همان‌طور که می‌دانیم، سرب استفاده شده در صنعت ممکن است در طی واکنش‌هایی به نمک‌های سرب تبدیل شود، که این نمک‌ها دیگر کاربرد سرب خالص را ندارند و نمی‌توانند به صورت مزبور در صنعت مورد استفاده قرار گیرند.^[۱۶] از جمله این نمک‌ها می‌توان به سولفات سرب، هیدروکسید سرب، کربنات سرب و نیترات سرب اشاره کرد.^[۱۷] لذا بازیافت صحیح سرب تبدیل شده به این نمک‌ها به منظور استفاده‌ی مجدد در صنعت ضروری است طبق تحقیق به عمل آمده در کشور ما، بازیافت سرب از طریق احیای آن با واکنش‌گرهای شیمیایی صورت می‌گیرد. در این مورد می‌توان به احیای سرب از سولفات سرب در صنعت باتری‌سازی اشاره کرد.^[۱۸-۱۹] براساس مطالعات کتابخانه‌ی انجام شده، یکی دیگر از راه‌های بازیافت سرب از ترکیبات آن، حرارت دادن سرب در دمایی مشخص و جو خاص است. البته طی این عمل سرب نه به صورت فلزی، بلکه به صورت اکسید سرب به دست می‌آید؛ و از آنجا که اکسید سرب در بعضی صنایع مانند باتری‌سازی و رنگ‌سازی اهمیت به‌سزایی دارد، می‌توان از این روش بازیافت در صنایع مزبور استفاده کرد. بدین ترتیب می‌توان از نمک‌های سرب مستقیماً به اکسید سرب

دست یافت و لازم نیست که ابتدا سرب خالص تهیه شود و سپس اقدام به اکسید کردن آن و استفاده از اکسید آن شود. همین مطلب می‌تواند دلیل بر اقتصاد بودن این روش باشد.^[۲۰-۳۱] در این طرح انجام چند آزمایش به منظور تأیید مطالعات فوق، و دستیابی به بهترین شرایط لازم برای انجام این آزمایشات، و نیز ارائه‌ی یک راهکار اقتصادی برای بازیافت این فلز مهم هدف اساسی است.

بخش تجربی

- ۱- مواد شیمیایی: هیدروکسید سرب (سنتر شده)، سولفات سرب (Merck)
- ۲- تجهیزات: کوره‌ی الکتریکی
- ۳- دستگاه TG - (مشخصات دستگاه TG: متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی) Thermal Sciences, Division, PL-STA
گاز ورودی: N_2 یا هوا و درصد گاز ورودی: $50 - 55 \text{ ml}$ در دقیقه
- دستگاه XRD (مشخصات دستگاه XRD: متعلق به سازمان زمین‌شناسی) SIMENS, Kristallfolex, $D5000$, Diffraktometer
- دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) (مشخصات دستگاه SEM: متعلق به دانشگاه برن - سوئیس - دانشکده شیمی) و REM - JEOL (GSM-840)
۱. تهیه نمونه سولفات اکسید سرب: $(PbSO_4 \cdot PbO)$
الف) تهیه $PbSO_4 \cdot PbO$ به روش شیمی‌تر
مقدار $2/0284$ گرم ترکیب استات سرب (II) قلیایی

۰/۰۵ مولار سولفات سدیم Na_2SO_4 همراه با ۱/۵ گرم قرص سود NaOH به میزان ۵۰۰ میلی‌متر. این دو بورت به‌نحوی تنظیم شدند که محلول‌ها با سرعت یکسان از آنها خارج شوند و درون یک بشر ریخته شوند. مخلوط محلول‌ها با یک همزن مغناطیسی خوب هم‌زده شدند. بلافاصله رسوب سفید رنگی که تشکیل می‌شد، مرتباً بعد از مدت زمان مشخص جداسازی و فیلتر شد. pH محلول همیشه خنثی بوده است. رسوب محصول به دست آمده با آب و الکل و در آخر با استون شستشو داده شد. محصول به دست آمده به‌منظور خشک شدن بلافاصله در دسیکاتور قرار داده شد (راندمان ۹۸٪). با توجه به اینکه تهیه به روش گرمایی منجر به محصول با خلوص بالا نشد، شرح این روش آورده نشده است.

ه) تهیه ترکیب $\text{PbSO}_4 \cdot 2\text{PbO}$ به روش گرمایی

میزان ۱۰ گرم اکسید سرب (p.a. Merck) $\alpha\text{-PbO}$ و ۳/۳۹۶۸ گرم سولفات سرب (p.a. Merck) در یک بوتله پلاتینی قرار داده شد و برای مدت ۱/۵ ساعت در دمای 920°C گذاشته شد و محلول مذاب بلافاصله در دمای اتاق خنک شد (دما توسط یک ترمومتر دیجیتال دقیق اندازه‌گیری شد). ماده‌ی سخت به دست آمده به‌رنگ فلزی و براق بوده و انجام بررسی‌های وزن‌سنجی و اشعه ایکس بر روی آن مؤید خلوص بالای آن (۱۰۰٪) بودند.

۲. مطالعات اشعه‌ی ایکس

کلیدی مطالعات اشعه‌ی ایکس که از نوع XRD بوده‌اند، بر روی نمونه‌های پودری (جامد) و به‌وسیله‌ی دستگاه Nonius MARK IV - Guinier - De - Wolff انجام شده است. اشعه استفاده شده از نوع $\text{CuK}\alpha$ ، و مدت پرتو افکنی نمونه ۲ ساعت بوده است. نمونه‌ها آماده شدند (مشکل از خرد کردن و آمیسا کردن نمونه‌ها) و بر روی صفحه نمونه قرار شده و سپس با محلول Bedacryl پوشانیده شد و پس از محکم کردن نمونه به‌وسیله‌ی نوار چسب، برای عکس‌برداری درون دستگاه قرار داده شد.

۳. مطالعات میکروسکوپ الکترونی

کلید بررسی‌ها و مطالعات ریخت‌شناسی ترکیبات سولفات - اکسید سرب مورد بحث در این نوشتار توسط یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی (REM-JEOL (JSM-۸۴۰) انجام شدند. آماده‌سازی نمونه‌ها با پوشاندن سطح نمونه با بخار طلا به مدت ۲-۴ دقیقه صورت گرفته است. بزرگ‌نمایی انجام شده بر روی نمونه‌ها ۴۵۰۰-۲۰۰۰ برابر بوده است.

(p.a. Merck) $\text{H}_2\text{NSO}_4\text{-H}$ ۳۲۳۶/۰ گرم و (Art. ۱۵۳۱۷, Fluka) در یک آمپول کوارتز با ۱۰ میلی‌لیتر آب ریخته شد. محلول شفاف و بی‌رنگ ایجاد شده با استفاده از شعله دهانه آمپول دوخته شد. این آمپول درون یک کوره‌ی مدور به مدت ۲۰ ساعت در دمای 130°C و سپس به مدت ۴ ساعت در دمای 140°C حرارت داده شد. سپس آمپول در دمای اتاق سرد شد و مشاهده شد که بلورهای سوزنی شکل به بلندی حدوداً ۵/۰ میلی‌متر تشکیل شده است. بلورهای حاصل پس از فیلتر شدن، و چند بار با آب مقطر (دوبار تقطیر شده) و الکل شستشو داده شدند و بلافاصله در دسیکاتور تحت خلاء خشک شدند. محصول از بلورهای سوزنی سفید رنگ تشکیل شده است که بررسی‌های وزن‌سنجی^۱ و اشعه‌ی ایکس بر روی آن حاکی از خلوص بسیار بالای آن (۹۹٪) بود.

ب) تهیه نمونه سولفات - اکسید سرب $\text{PbSO}_4 \cdot \text{PbO}$ به روش گرمایی

مقدار ۵ گرم از ترکیب $\alpha\text{-PbO}$ (p.a. Merck) و ۶/۷۹۴ گرم سولفات سرب PbSO_4 (p.a. Merck) در یک بوتله پلاتینی ریخته و درون کوره‌ی الکتریکی قرار داده شد و تا دمای 1000°C طی مدت زمان ۱/۵ ساعت گذاشته شد (دما توسط یک دماسنج دیجیتال دقیق اندازه‌گیری شد). ماده ذوب شده در دمای اتاق خنک شد. ماده‌ی سخت حاصل به رنگ زرد مایل به سبز بوده و متشکل از ذرات درشت و براق بود که انجام بررسی‌های وزن‌سنجی و اشعه ایکس بر روی آن مؤید خلوص بالای (۹۸٪) محصول بود.

ج) تهیه‌ی نمونه $\text{PbSO}_4 \cdot 2\text{PbO}$ به روش گرمایی

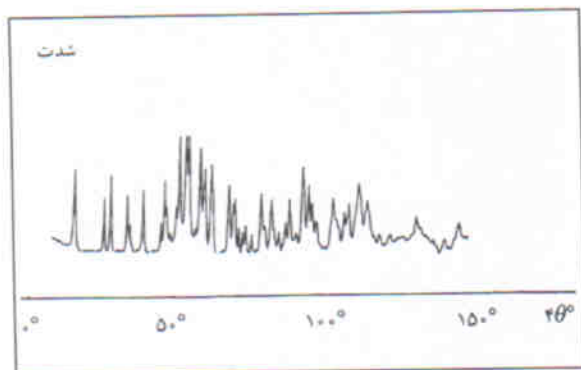
مقدار ۷ گرم اکسید سرب (Merck) $\alpha\text{-PbO}$ و ۴/۷۵۵۵ گرم سولفات سرب PbSO_4 (p.a. Merck) در یک بوتله پلاتینی ریخته و درون کوره‌ی الکتریکی قرار داده و تا دمای 980°C طی مدت زمان ۱/۵ ساعت گذاشته شد. ماده‌ی ذوب شده بلافاصله در دمای اتاق خنک شد. ماده‌ی سخت حاصل به رنگ زیتونی بود. که انجام بررسی‌های وزن‌سنجی و اشعه ایکس بر روی آن مؤید خلوص بالای (۹۶٪) این محصول بود.

د) تهیه ترکیب $\text{PbSO}_4 \cdot 3\text{PbO}$ به روش شیمی‌تر

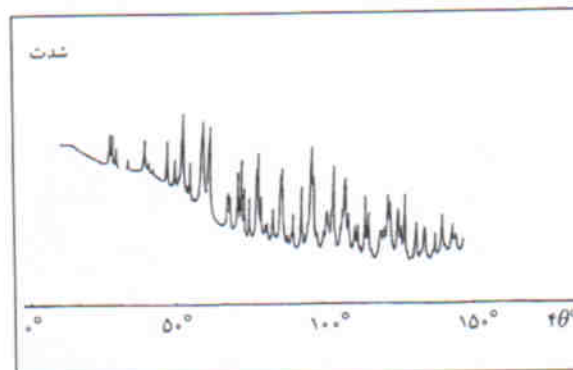
برای تهیه ترکیب بالا که در مراجع به صورت $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot 3\text{PbO}$ (همراه با یک آب) نمایش داده می‌شود، دو بورت به صورت هم‌زمان کنار هم آماده‌گردید که با دو محلول پر شدند: ۱. محلول ۰/۰۵ مولار استات سرب $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ به میزان ۵۰۰ میلی‌متر؛ ۲. محلول

نتایج

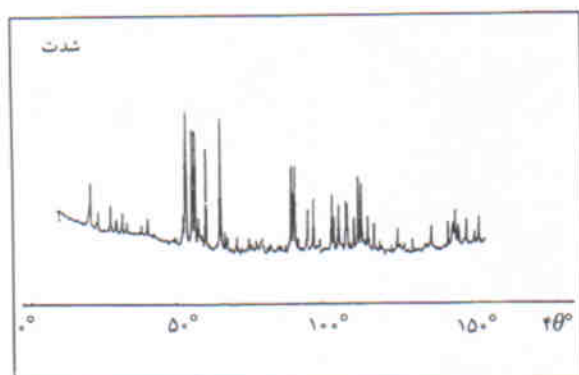
نمونه‌های تهیه شده ناشی از مطالعات اشعه‌ی ایکس از ترکیبات مختلف سولفات - اکسید سرب، که تمامی آنها به صورت جامد و پودری‌اند، آماده و از آنها طیف XRD تهیه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که کلیه ترکیبات به صورت خالص بوده و طیف XRD آنها با طیف استاندارد مطابقت کامل دارد. نتیجه‌ی این مطالعات در شکل‌های ۱ تا ۵ آورده شده است.



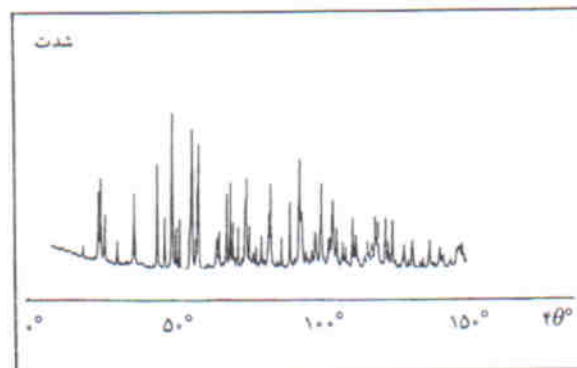
شکل ۴. نمودار پرتوایکس XRD ترکیب $PbSO_4 \cdot 2PbO \cdot H_2O$ تهیه شده به روش گرمایی.



شکل ۱. نمودار پرتوایکس XRD ترکیب $PbSO_4 \cdot PbO$ تهیه شده به روش شیمی‌تری.



شکل ۵. نمودار پرتوایکس XRD ترکیب $PbSO_4 \cdot 4PbO$ تهیه شده به روش گرمایی.

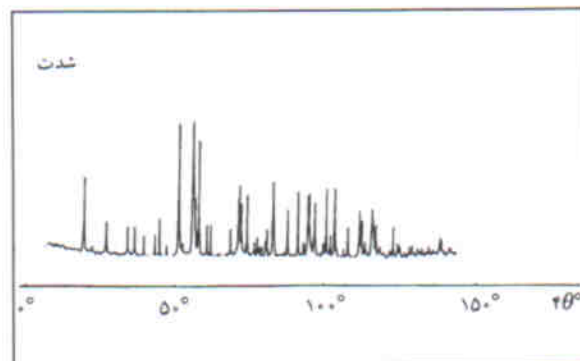


شکل ۲. نمودار پرتوایکس XRD ترکیب $PbSO_4 \cdot PbO$ تهیه شده به روش گرمایی.

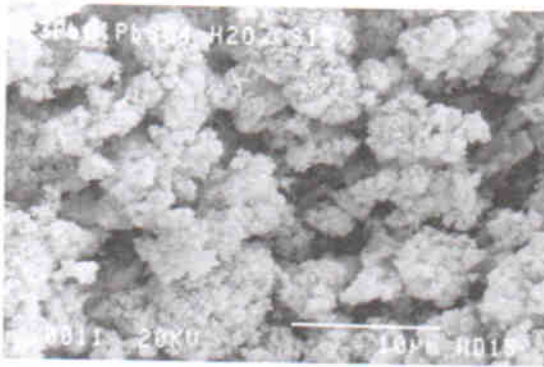
همچنین کلیه ترکیبات سولفات - اکسید سرب که به ترتیب دارای استوکیومتری زیر هستند و روش‌های تهیه آنها در بخش ۳ آمده است مورد مطالعه و بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی‌های $2000 \times$ - $4500 \times$ برابر صورت گرفته است این ترکیبات عبارت‌اند از $PbSO_4 \cdot 2PbO$, $PbSO_4 \cdot 2PbO$, $PbSO_4 \cdot PbO$, $PbSO_4 \cdot 2PbO \cdot H_2O$, $PbSO_4 \cdot 4PbO$. در شکل‌های ۶ تا ۱۰ این ترکیبات را مشاهده می‌کنیم.

آزمایش‌های مربوط به تجزیه گرمای ترکیب سولفات سرب ($PbSO_4$)

برای انجام آزمایش‌های مربوط به $PbSO_4$ از سولفات سرب Merck استفاده شد. ابتدا برای یافتن رفتار گرمایی این ترکیب، نمودار تجزیه‌ی گرمایی آن تهیه شد. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است، سولفات سرب ماده‌ی بسیار پایدار است و تا دمای $882^\circ C$ (نقطه ۲) تقریباً بدون تغییر وزن باقی مانده است. ولی از دمای $882^\circ C$ (نقطه ۲) تا دمای $1200^\circ C$ (نقطه ۳)، افت وزنی بسیار زیادی دارد. نمودار تجزیه‌ی گرمایی این سولفات یک بار نیز با گاز ورودی هوا



شکل ۳. نمودار پرتوایکس XRD ترکیب $PbSO_4 \cdot 2PbO$ تهیه شده به روش گرمایی.



شکل ۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب $PbSO_4 \cdot 3PbO \cdot H_2O$ تهیه شده به روش گرمایی با بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰ برابر.



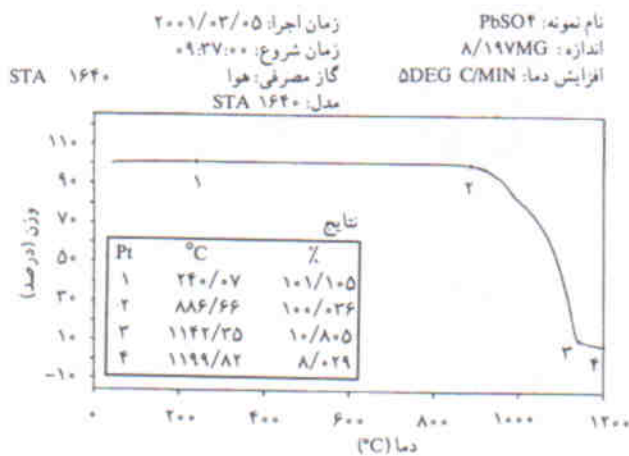
شکل ۶. تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب $PbSO_4 \cdot PbO$ تهیه شده به روش شیمی‌تری با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰ برابر.



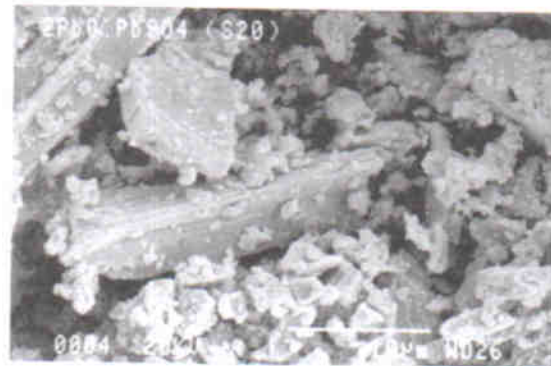
شکل ۱۰. تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب $PbSO_4 \cdot 4PbO$ تهیه شده به روش گرمایی با بزرگ‌نمایی ۴۵۰۰ برابر.



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب $PbSO_4 \cdot PbO$ تهیه شده به روش گرمایی با بزرگ‌نمایی ۴۰۰۰ برابر.



شکل ۱۱. نمودار تجزیه‌ی گرمایی ترکیب $PbSO_4$ در جو هوا، در محدوده‌ی دمای $25-1100^\circ C$.



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب $PbSO_4 \cdot 2PbO$ تهیه شده به روش گرمایی با بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰ برابر.

است. بار دیگر مقداری سولفات سرب را به وسیله‌ی کوره الکتریکی تا دمای $950^\circ C$ و به مدت ۳ ساعت حرارت دادیم و ماده به دست آمده را به منظور شناسایی به وسیله‌ی جذب اتمی مواد تشکیل دهنده به سازمان زمین‌شناسی ارسال داشتیم. نتایج حاصل نشان دادند که محصول به دست آمده از ترکیب PbO تشکیل شده است.

صورت گرفت که نتایج مشابهی به دست آمد (شکل ۱۱). برای شناسایی ماده‌ی حاصل از حرارت دادن سولفات سرب، مقداری از ماده مزبور را در کوره الکتریکی تا دمای $950^\circ C$ (گرمایی که در آن $PbSO_4$ افت وزنی زیاد می‌یابد) و به مدت ۹۰ دقیقه حرارت دادیم. محصول ماده‌ی زرد رنگ بود. پس از تهیه نمودار XRD این ماده مشخص شد که ماده حاصل دارای درصد بسیار زیادی سولفات سرب

بحث و نتیجه‌گیری

($PbSO_4 \cdot 4PbO$) را نمایش می‌دهد که از بلورهای کروی یک‌دست با قطر تقریبی $1/5 - 1 \mu m$ تشکیل شده‌اند. مهم این‌که این بلورها به نحوی مرتب کنار هم چسبیده شده‌اند که سطح فعال با سطح تماس بزرگی را برای این ترکیب ایجاد می‌کنند. حفره‌های مرتب و یکنواخت درون بلورها که باعث عبور ذرات ریز یا حلال می‌شود به تماس یکنواخت و سه‌بعدی ذرات بلور کمک می‌کند و فعالیت نمونه را از لحاظ الکتروشیمیایی افزایش می‌دهد.

مطالعات تجزیه گرمایی ترکیب سولفات سرب ($PbSO_4$)

با توجه به نمودار تجزیه‌ی گرمایی، $PbSO_4$ (شکل ۱۱) و نتایج آزمایش جذب اتمی سازمان زمین‌شناسی از نمونه سولفات سرب حرارت داده شده، می‌توان اثبات کرد که سولفات سرب نیز بر اثر حرارت به اکسید سرب تبدیل می‌شود. بنابراین با حرارت دادن سولفات سرب می‌توان به PbO دست یافت ولی باید سولفات سرب را به مدت طولانی در دماهای بالا حرارت داد. پس می‌توان نتیجه گرفت که افت وزنی مشهود در نمودار تجزیه گرمایی (شکل ۱۱) نیز به علت انجام فرایند است. که با تبدیل $PbSO_4$ به PbO و SO_2 همراه است و با خروج گاز SO_2 از محیط افت وزنی حاصل می‌شود.



نکته‌ی قابل توجه در این مبحث این است که با دقت بیشتر به نمودار تجزیه‌ی گرمایی (شکل ۱۱) می‌توان مشاهده کرد که شیب منحنی بین نقاط ۲ و ۳ در نقطه‌ی که با علامت * مشخص شده است، یعنی در محدوده‌ی دمایی $1142 - 886^\circ C$ تغییر کرده است. تغییر جرمی که در نقطه‌ی ۳ حاصل شده است (۱۳٪ ماده باقی‌مانده) طبق محاسبات نمی‌تواند ناشی از دست رفتن SO_2 باشد. یعنی اگر همه‌ی $PbSO_4$ به PbO و SO_2 تبدیل شود، باید $73/6\%$ ماده اولیه باقی بماند. پس باقی ماندن فقط ۱۳٪ از ماده‌ی اولیه نمی‌تواند به علت انجام واکنش فوق باشد.

با توجه به نقطه‌ی تبخیر PbO (در حدود $880^\circ C$) می‌توان گفت که تغییر شیب نمودار تجزیه‌ی گرمایی به علت تبخیر PbO است که تهیه‌ی PbO به این روش را در شرایط ویژه‌ی قرار می‌دهد. به همین علت برای تهیه PbO به این روش، احتیاج به بررسی راهکارهای مختلف داریم که در نوشتارهای بعدی این راهکارها ارائه خواهد شد. بر اساس آنچه گذشت، می‌توان نتیجه گرفت که روش حرارتی برای تهیه‌ی اکسیدهای سرب $\alpha-PbO, \beta-PbO$ از سولفات سرب، به راحتی قابل انجام است. در مورد تهیه‌ی $\alpha-PbO$ از سولفات سرب با توجه به هم‌پوشانی تبدیل سولفات سرب به اکسید سرب و تبخیر اکسید - سرب شرایط ویژه‌ی لازم است.

از مقایسه‌ی شکل‌های ۱ و ۲ مشخص می‌شود که هر دو روش شیمی‌تر و گرمایی به محصولات یکسان ختم می‌شوند. به طوری که نمودارهای XRD هر دو نمونه با طیف استاندارد ترکیب $PbSO_4 \cdot PbO$ مطابقت کامل دارند و در هر دو نمونه هیچ‌گونه ناخالصی مشاهده نمی‌شود. اما از مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ در می‌یابیم که با اعمال روش شیمی‌تر بلورهای سوزنی شکل با اندازه‌های بسیار بزرگ ایجاد می‌شوند. به طوری که طول این بلورها بین $5 - 3 \mu m$ است. البته در کنار این بلورهای درشت بلورهای کوچکی با اندازه‌ی تقریبی تا $2 \mu m$ و به شکل مکعبی دیده می‌شوند. بلورهای درشت سوزنی مانند الیاف و به صورت شبکه‌ی در هم تنیده و بافته شده‌اند. این نکته که این‌گونه بلورها با بزرگ بودن سطح همراه‌اند مهم می‌نماید. زیرا بلورها دارای حفره‌های فراوان و سطح تماس بزرگ‌ترند و می‌توانند واکنش‌های الکتروشیمیایی را به میزان بیشتری انجام دهند. در حالی که در تصویر ۷ بلورهای این نمونه کوچک‌ترند. به طوری که قطر ذرات آنها $1/5 \mu m$ است و عمدتاً مکعبی یا چندحجمی نامنظم‌اند.

شکل ۳ نیز طیف اشعه ایکس ترکیب $PbSO_4 \cdot 2PbO$ را نشان می‌دهد. این نمودار با طیف استاندارد مطابقت کامل دارد، و مطلب مهم دیگر اینکه خلوص بالای این نمونه کاملاً مشهود است شکل ۸ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی این ترکیب را نشان می‌دهد. بلورهای به دست آمده توسط این روش (و نیز به روش گرمایی) از اندازه‌های مختلف تشکیل شده‌اند. دسته‌ی اول بلورهای درشت میله‌ی شکل به طول تقریبی $3 - 2 \mu m$ ، و دسته دوم بلورهای مکعبی نامنظم‌اند که اندازه‌ی تقریبی آنها $3 - 1 \mu m$ است.

شکل ۴ تصویر اشعه‌ی ایکس ترکیب $PbSO_4 \cdot 3PbO \cdot H_2O$ را نشان می‌دهد که به روش گرمایی به دست آمده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این طیف خلوص بالای محصول را تأیید کرده و با طیف استاندارد مطابقت کامل دارد. شکل ۸ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی این ترکیب را به نمایش می‌گذارد. چنان که مشاهده می‌شود این بلورها از توده‌های بلوری کروی شکل تشکیل شده‌اند که بلورچه‌های کوچک به نوبه‌ی خود بسیار کوچک و کروی‌اند. اندازه تقریبی بلورچه‌های کوچک $5 - 2 \mu m$ ، و اندازه تقریبی گولنی این توده‌های بلوری $2 - 8 \mu m$ است. شکل ۵ نمودار اشعه‌ی ایکس ترکیب $PbSO_4 \cdot 4PbO$ را نشان می‌دهد که این ترکیب نیز با استفاده از روش گرمایی تهیه شده است. در این مورد نیز خلوص بالای محصول تأیید و مطابقت کامل با طیف استاندارد مربوط مشهود است.

شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکیب بالا

پانوشت

1. gravimetry

منابع

۱. سجادی، سیدعلی اکبر، «مطالعه نمک‌های سرب مورد نیاز صنعت»، مجموعه مقالات پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۷۹).

۲. سجادی، سیدعلی اکبر، و هاشمیان، سید جمال‌الدین، «سنتر اکسیدهای سرب و بررسی عملکرد گرمایی آنها»، مجله علوم پایه دانشگاه الزهراء، (۲/۱۴) (۱۳۸۰).

۳. سجادی، سیدعلی اکبر، «بررسی تجزیه گرمایی $PbCO_3$ و مشتقات آن و کاربرد آن در صنعت»، مجله علوم پایه دانشگاه تهران، شماره ۲ (۱۳۸۰).

۴. سجادی، سیدعلی اکبر، «فلزات منگنز و سرب در صنعت باتری‌سازی»، نشریه سبز دانشگاه علم و صنعت (۱۳۸۰).

۵. سجادی، سیدعلی اکبر، «مطالعه ترموگراویمتری ترکیبات هیدروکسید سرب و کربنات قلبایی سرب»، نشریه شیمی، شماره ۲ (۱۳۸۲).

6. a) S.A.A. Sajadi/Liz-Arbeit (1992) / b) J. Cloutier; *Annales der Chemie*, 19, (5) (1933).

7. G. Steiger; *Liz-Arbeit* (1958).

8. J.J. Lander; *J.El. Chm. SOC.* (95) pp.174 (1949).

9. H.H. Ikkelog, S.K. Basu *Trans. AIME* 218, 70/81, 71 (1960).

10. H.Bode, E. Voss; *Elektrochim. Acta* 25, (1) pp.318-319 (1959).