

# جمع‌آوری عناصر آلوده‌کننده محیط اطراف واحدهای متالورژی

خطیب‌الاسلام صدرنژاد (دانشیار)

دانشکده مهندسی متالورژی

## چکیده

روش تبخیر و نشانیدن ناخالصیهای فلزی بر صفحه سرد شده توسط میز آب گرد به منظور جداسازی عناصر نامطلوب از دو نوع مات تجارتي تولید شده در مجتمع مس سرچشمه کرمان و یکنوع مات مرکب ساختگی آزمایش شده است. تأثیر زمان، دما، تعداد قایقکهای حامل مات و دبی گاز خنثی بر میزان و سرعت تبخیر و نشست عناصر ناخالصی بر سطح صفحه میرد اندازه‌گیری و ترسیم شده است. نتایج تحقیق می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی فرایند بازیابی عناصر و ترکیبات فرار همراه ماتهای مذاب به‌عنوان محصول جنبی و به منظور کاهش آلودگی محیط‌زیست از طریق تبخیر عوامل نامطلوب به‌کار برده شود. از فواید دیگر تحقیق، تکامل تکنولوژی فیلتراسیون از طریق ارائه روش ابتکاری تبخیر و نشانیدن است.

## ۱ مقدمه

یکی از مشکلات صنایع تولید فلز، صدور ذرات ریز (زیرمیکرون) حاوی فلزاتی همچون سرب، روی، آلومینیم، قلع، سلنیوم، کادمیم و گوگرد به هوای اطراف واحدهای صنعتی است که باعث آلودگی محیط‌زیست و به خطر افتادن سلامت محیط کار و اجتماع می‌شود. به ویژه اینکه بر اساس تحقیقات انجام شده پاره‌ای از این ذرات حاوی ترکیبات سرطانزا مانند سولفیدهای چند ظرفیتی

فلزات غیر آهنی مانند روی و مس نیز هستند [۱ و ۲].

حرکت گردشی فلزات زودگذاز در سیستمهای تصفیه و مجاری انتقال گاز به علت تبخیر و تقطیرهای مکرر و پی‌درپی، عموماً سبب ایجاد اشکالات عدیده مانند آسیب دیدن بدنه دیرگذاز و حتی مسدود شدن کانالها می‌شود. فلزات زودگذاز در قسمتهای سرد کوره و یا مجراها تقطیر شده و همراه با مواد جامد به مناطق گرم برگشت داده می‌شوند. با بالا رفتن دما این عناصر مجدداً تبخیر و به مناطق سرد بر می‌گردند.

حذف حرکت گردشی عناصر فرار از طریق بازیابی آنها، می‌تواند باعث بهبود عملیات متالورژیکی در فرایندهای تولید فلز شود. یکی از این عناصر سرب است که معمولاً در گرد و غبار و گازهای خروجی از کوره‌های ذوب و تصفیه فلزات وجود داشته و به این ترتیب وارد محیط‌زیست می‌شود. تحقیقات قبلی نشان داده است که فشار بخار سولفید سرب از فشار بخار سرب فلزی به مراتب بیشتر است [۳ و ۴].

از طرف دیگر به علت وجود اکسیژن چه در محیط سرباره‌های مذاب و چه در هوای اطراف امکان تولید ترکیبات متنوع حاوی سرب، گوگرد و اکسیژن همچون سولفید، سولفات، سولفیت و اکسید و پراکنده شدن این ترکیبات در اتمسفر اطراف وجود دارد.

مشکل تنوع در ترکیبات بین گوگرد، اکسیژن و فلزات در صورت وجود ذرات معلق و نور تشدید می‌شود زیرا تأثیر کاتالیزوری عوامل موجود در جو می‌تواند باعث پایدار شدن موقت برخی از این ترکیبات شود. کاهش اثرات زیان‌آور مواد صادر شده از واحدهای متالورژی جز از طریق خارج ساختن ذرات حاوی این ترکیبات میسر نیست. زیرا گونه‌های گیاهی تحمل دریافت مقادیر روبه‌تزايد انواع ترکیبات را در محیطهای محدود اطراف واحدهای متالورژی ندارند.

یکی از راههای خارج ساختن ذرات فلزی از گازهای متصاعد شده از کوره‌های ذوب و تولید فلزات، روش انتقال توسط گازهای خنثی و سپس جدایش از طریق فیلتراسیون است. اما، هزینه‌های سرمایه‌ای برای فیلترها رو به تزايد و بازدهی عملیاتی آنها غالباً پایین است. علیهذا تحقیق در مورد مشخصات طراحی، نحوه عمل و بازدهی عملیات فیلتر کردن بسیار ضروری است. یک راه حل نسبتاً ساده استفاده از سیستمهای انجماد سریع است. بازدهی عملیات در این نوع سیستمها بستگی به ترمودینامیک و سینتیک تبخیر و انجماد دارد. از آنجا که مکانیزم عمل تبخیر و نشانیدن هنوز بسیار ناشناخته و مبهم است، علیهذا در این تحقیق نسبت به تعیین سرعت تبخیر عوامل موجود در دو نوع مات تولید شده در مجتمع مس سرچشمه کرمان و مقایسه آن با ماتهای مصنوعی مورد استفاده در تحقیقات قبلی [۴] اقدام شده است. نحوه عمل و بازدهی جذب صفحات سردکننده نیز مورد تحقیق و بررسی واقع شده است.

دلایل و فواید بررسی عبارتند از:

- دستیابی به شیوه‌های جلوگیری از آلوده شدن محیط داخل و خارج سالنهای ذوب و تصفیه فلزات در اثر ورود بخارات سمی.
- بررسی قابلیت بازیابی عناصر و مواد جنبی همراه گازهای خارج شده از سیستمهای تولید فلز و امکان تولید اقتصادی آنها.
- حذف جریان چرخشی فلز در سیستمهای انتقال گاز و کوره‌های ذوب و تصفیه.

از بین موارد فوق، حفظ محیط‌زیست مهمترین موضوع محسوب می‌شود. زیرا حجم سرمایه‌گذاری و صرف بودجه در این زمینه با توجه به گسترش روزافزون صنعت بخصوص در سالهای اخیر سیر صعودی داشته و در سالهای آتی نیز بدون شک سیر فزاینده‌ای خواهد داشت [۵ و ۶].

بازیابی و تولید عناصر همراه ماتها و سرباره‌های مذاب به صورت محصول جنبی نیز می‌تواند موضوع جالبی برای تحقیق باشد. زیرا با کاهش عیار ذخایر موجود دنیا، بسیاری از فلزات که در گذشته باطله محسوب می‌شد، امروزه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. مثال مولیبدن در این زمینه به خصوص می‌تواند آموزنده باشد [۷ و ۸].

## ۲ آزمایشها و نتایج

در این تحقیق از روش انتقال و تبرید برای تعیین فشار بخار و سرعت تبخیر شدن ناخالصیهای فرار استفاده می‌شود. در این روش بخار فلز همراه گازی خنثی مانند آرگون از یک لوله میترد Condenser به منظور به دام انداختن فلز عبور داده می‌شود. فلزی که به دام می‌افتد ابتدا حل و سپس تجزیه شیمیایی می‌شود. مقدار جرم به فشار بخار و دبی گاز بستگی دارد. برای مثال میزان تبخیر فلز از رابطه زیر قابل تعیین است

$$n = \frac{P \cdot \dot{V}_{Ar} \Delta t}{RT}$$

$n$  تعداد مولهای فلز به دام افتاده،  $P$  فشار جزئی فلز در گاز،  $\dot{V}_{Ar}$  دبی گاز آرگون،  $\Delta t$  مدت زمان آزمایش،  $R$  ثابت جهانی گازها و  $T$  دمای مطلق دبی سنج است.

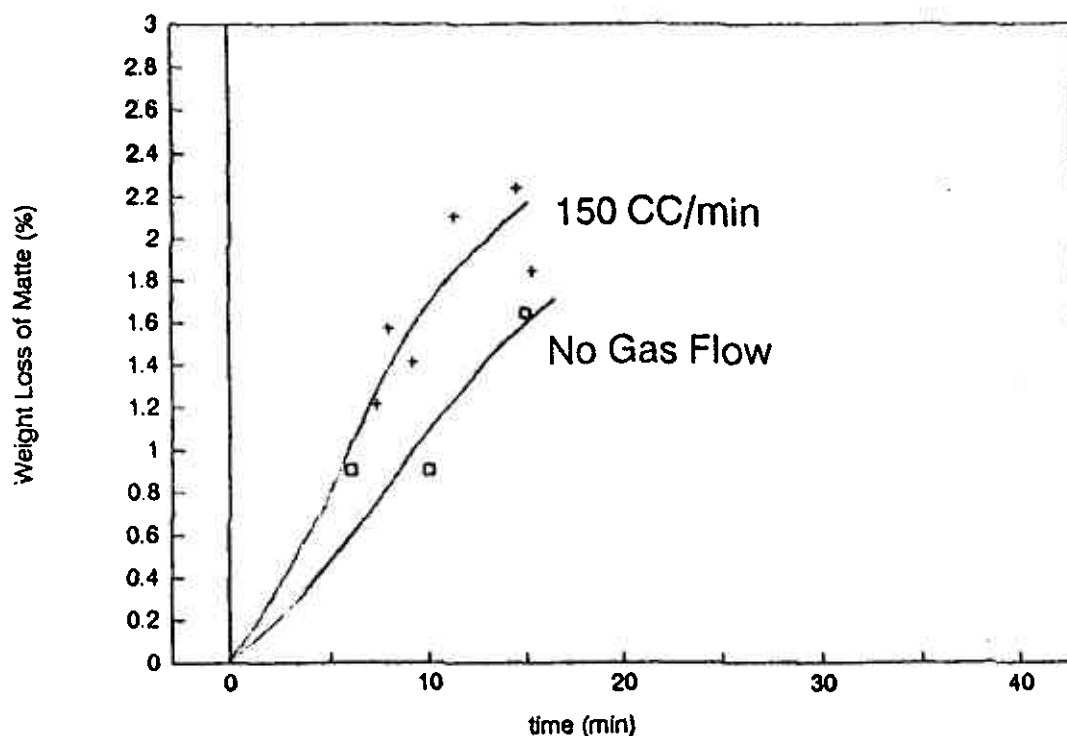
برتری روش انتقال نسبت به سایر روشها (مانند روش نقطه شبنم Dew-Point Technique) در امکان تعیین فشار بخار اجزای مختلف گاز است. ولی انحلال و تجزیه شیمیایی همزمان تمام عناصر و ترکیبات گاز کار ساده‌ای نیست و در صورت نیاز به دقت‌های بالا در بسیاری از موارد غیرممکن می‌باشد. برای مثال بخار مات حاوی سرب دارای عناصر و ترکیبات متنوعی است که تاکنون هیچ روشی که بتواند تجزیه توأم همه آنها را به دست دهد شناخته نشده است. نتیجتاً به کار بردن روش انتقال برای مات مس تنها می‌تواند قسمتی از اطلاعات مورد نیاز را به دست دهد.

جزئیات وسیله مورد استفاده در مرجع ۹ به تفصیل شرح داده شده است. تنها تفاوت مربوط به مواد خام مورد استفاده است که در اینجا از دو نوع مات تجارتي تولیدی مجتمع مس سرچشمه کرمان با ترکیب شیمیایی داده شده در جدول ۱ استفاده شده است. نتایج آزمایشها در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند که نشانگر افزایش میزان تبخیر با دما هستند.

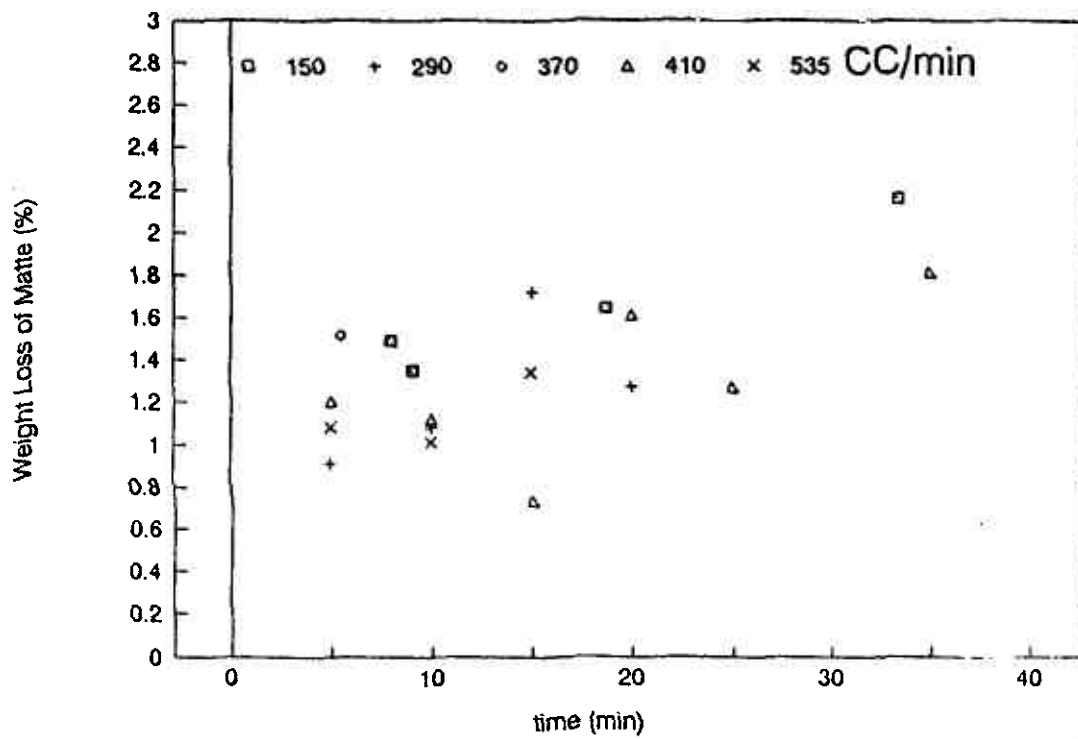
آزمایشهای تبخیر سرب، روی و قلع با استفاده از ماتهای مرکب ساختگی با ترکیب شیمیایی جدول ۲ به‌طور مشابه انجام شده و نتایج حاصل برحسب زمان، دما و سرعت گاز در شکل ۴ ترسیم شده است. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش با ماتهای تجارتي و ماتهای ساختگی نشاندهنده میزان سهم احتمالی هر یک از عناصر و ترکیبات فوق به‌ویژه با توجه به ترکیب شیمیایی مات تجارتي (جدول ۱) است.

جدول ۱ تجزیه شیمیایی ماتهای مورد استفاده در این تحقیق.

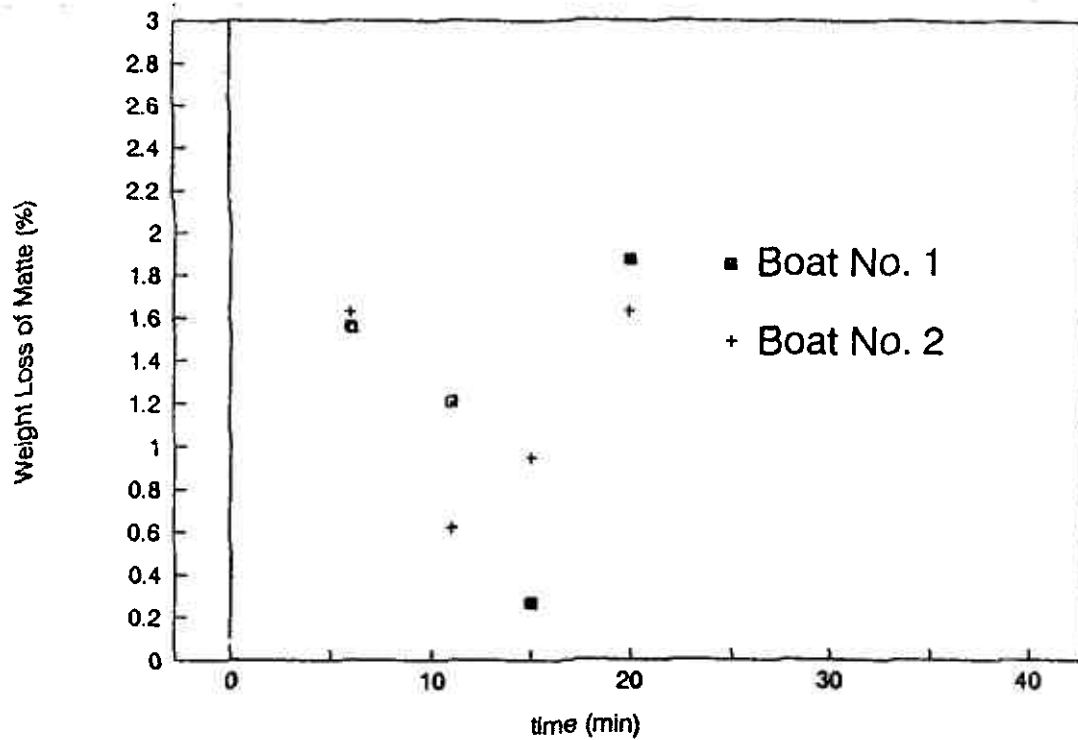
| درصد وزنی محاسبه شده |      |       | درصد وزنی |                  |       |      |      |       |       | مات     |
|----------------------|------|-------|-----------|------------------|-------|------|------|-------|-------|---------|
| Fe                   | FeS  | CuS   | CaO       | SiO <sub>2</sub> | S     | Pb   | Zn   | Fe    | Cu    |         |
| ۱۶٫۲                 | ۱۵٫۴ | ۶۶٫۶  | ۰٫۱۸      | ۰٫۰۷۷            |       | ۰٫۲۲ | ۱٫۰۵ | ۲۶٫۱۶ | ۲۴٫۵۴ | شماره ۱ |
| ۱۹٫۷                 | ۱۴٫۴ | ۶۱٫۱۶ |           |                  | ۲۵٫۸۷ | ۰٫۰۷ | ۰٫۳۳ | ۲۸٫۹۲ | ۳۱٫۱۲ | شماره ۲ |



شکل ۱ اثر دبی گاز خنثی بر افت وزنی مات شماره ۱ سرچشمه کرمان در اثر تبخیر در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد.



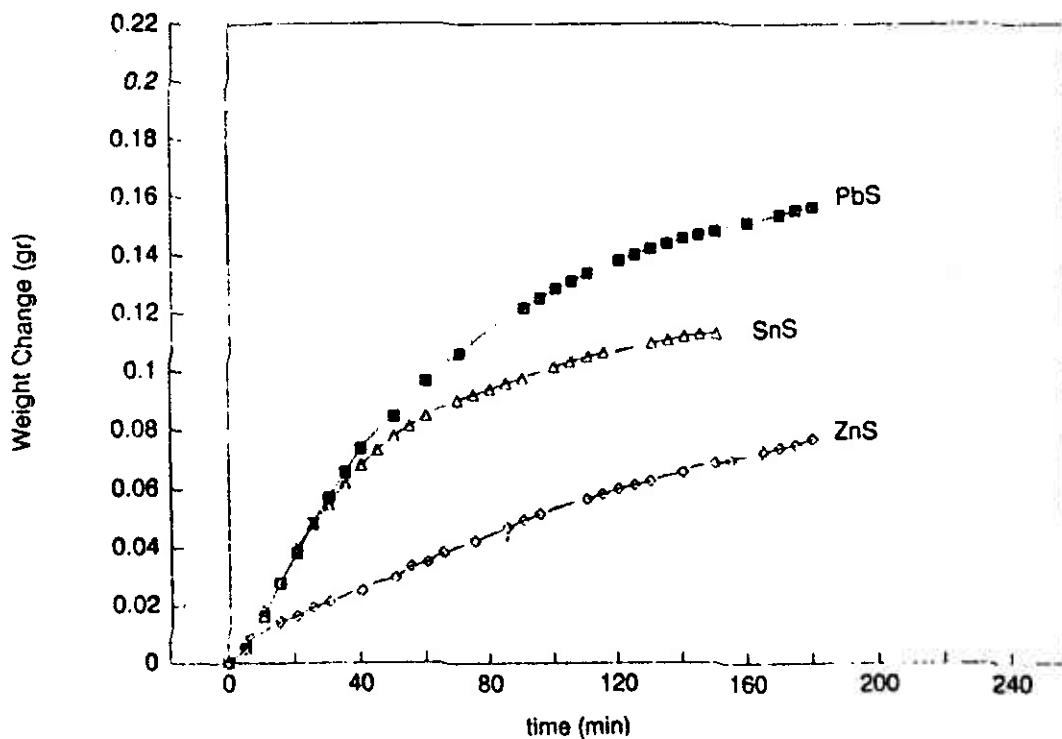
شکل ۲ اثر دبی گاز خنثی بر افت وزنی مات شماره ۲ سرچشمه کرمان در اثر تبخیر در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۳ افت وزنی از دو قایق سری محتوی مات شماره ۱ سرچشمه کرمان در اثر تبخیر در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد.

جدول ۲ تجزیه شیمیایی ماتهای مرکب ساختگی مورد استفاده در این تحقیق.

| درصد وزنی |     |     |     |      | مات ساختگی |
|-----------|-----|-----|-----|------|------------|
| SnS       | ZnS | PbS | FeS | CurS |            |
| ۰         | ۰   | ۳   | ۴۱  | ۵۶   | ۱          |
| ۰         | ۳   | ۰   | ۴۱  | ۵۶   | ۲          |
| ۳         | ۰   | ۰   | ۴۱  | ۵۶   | ۳          |



شکل ۴ مقایسه آزمایشهای تبخیر و نشانیدن بخار از نمونه‌های ۵ گرمی مات در دمای  $1200^{\circ}\text{C}$  بر حسب زمان.

#### بحث و نتیجه‌گیری

اگر چه تحقیق درباره همه موارد ذکر شده در این مقاله حائز اهمیت است، اما در عین حال نیازمند زمان، بودجه و امکانات آزمایشگاهی فراوانی نیز هست که تنها از طریق همکاری بین دانشگاه و صنعت می‌تواند تأمین شود. خوشبختانه پاره‌ای از موارد مانند صدور ترکیبات گوگردی از سیستمهای احتراقی و پیرو متالورژی از سالها قبل مورد بررسی و تحقیق بوده و اطلاعاتی در مورد آنها فراهم شده است [۱ و ۲]. اما رسیدن به نتایجی که بتواند مستقیماً مورد استفاده صنعت قرار گیرد مانند ساختن فیلترهای جاذب بخار فلزات نیاز به تحقیقات و تجربه‌های وسیعتری دارد که لازم است در آینده به آن پرداخته شود.

مطالعات و آزمایشهای انجام شده نتایج مفیدی در مورد ترمودینامیک و سینتیک تبخیر سرب، روی، سالیوم و ترکیبات آنها

به‌دست داده است. ادامه این تحقیقات نیاز به تدارک وسایل و تجهیزات دقیقتری برای کاهش هر چه بیشتر خطاهای آزمایشی به منظور یافتن جوابهای مورد اطمینان درباره خواص ترمودینامیکی و سینتیکی عناصر و ترکیبات فلز موجود در ماتها و سرباره‌های مذاب دارد. این فعالیتها می‌تواند به‌طور موازی در دانشگاه و صنعت انجام شود.

کاربرد عملی نتایج تحقیق در مقیاس صنعتی نیاز به انجام پژوهشهای ویژه در مورد طراحی بهینه فرایند برگشت و بازیابی غبارهای همراه بخارات متصاعد شده از کوره‌های ذوب و تصفیه فلزات دارد. باید توجه داشت که وجود عناصری همچون سرب، روی، سلنیوم، قلع و کادمیوم در غبار خروجی کوره‌های ذوب باعث می‌شود که در صورت بار شدن مجدد غبار به داخل کوره‌ها، عناصر ناخالصی در فازهای مات، سرباره، فلز و گاز افزایش یافته و چرخه نامطلوبی را در فرایندهای صنعتی به‌وجود آورد. علیهذا شیوه مطلوب برای حل مشکل، بازیابی و جدا کردن عناصر از فازهای حامل آنهاست که با توجه به فشار بخار نسبتاً بالای این فلزات، بازیابی آنها مثلاً با اضافه کردن یک یا چند راکتور بازیاب و هدایت گازها به درون آن قابل انجام می‌نماید.

در این میان مس به‌عنوان یکی از مهمترین تولیدات کشور باید مورد توجه و مطالعه قرار گیرد. به ویژه که آلودگی محیط اطراف واحدهای ذوب و تصفیه این فلز به‌طور فزاینده‌ای گسترش یافته است. تولید فلزات جنبی همراه مات مس مانند سرب، سلنیوم، قلع، کادمیوم و روی از طریق تبرید و انجماد امکان‌پذیر است. اما انجام مطالعات وسیع در این زمینه در عین حال که ممکن است به نتایج ارزنده‌ای در رابطه با این صنایع در جهت بهبود محصولات آنها منجر شود، لکن نیاز به همکاری و تأمین اعتبار توسط صنعت مزبور دارد. برای دریافت اهمیت مطلب، بد نیست به تاریخچه فلز ارزشمند مولیبدن که امروزه به‌صورت محصول جنبی تولید مس در بیشتر صنایع مس دنیا و از جمله ایران تولید می‌شود و در گذشته به‌عنوان باطله هدر می‌رفت، توجه شود. ایجاد همکاری بین مراکز صنعتی و علمی کشور در این زمینه همچنین می‌تواند باعث حذف مشکل گردش فلزات زودگذار در سیستمهای ذوب و انتقال مواد شود.

## مراجع

- [1] K. Sadrnezhaad, "Sulfur Species in Particulates Emitted from Reducing Coal Combustion and Pyrometallurgical Furnaces" *J. of Eng. I.R. Iran*, (1988) 73-78.
- [2] D. J. Eatough and A. V. Coulcci: *Anal. Chem.*, 48, (1976) 634-638.
- [3] R. Colin and J. Drowart, "Thermodynamic Study of Tin Sulfide and Lead Sulfide Using a Mass Spectrometer": *J. Chem. Phys.*, (37), 1962, 1120-1125.
- [4] K. Sadrnezhaad and Elliott, "Thermodynamics and Kinetics of the Vaporization of Pbs from Complex Cu-Fe Mattes": Submitted to *JOE, I. R. Iran*.
- [5] J. F. Cole, "Research Keeps Lead and Zinc Viable in High-Tech Markets": *JOM*, (41)(8), August 1989, 27-31.

[6] G. P. Swayn, K. R. Robilliard and J. M. Floyd: JOM, 45,8(1993), 35-38.

[۷] صدرنژاد، بررسی نحوه بازیابی مولیبدن از کنسنترات، معدن و تحقیقات و توسعه، مجموعه مقالات سمینار هفته معدن، تبریز، خردادماه ۱۳۶۸، ۳۲۵-۳۳۳.

[۸] صدرنژاد، کبیری، دماوندی و صمدیان، تشویه و احیاء کنسنترات مولیبدنیت مجتمع مس سرچشمه کرمان، امیرکبیر، ۲، ۳، زمستان ۱۳۶۸.

[9] Kubaschewski and Alcock, "Metallurgical Thermochemistry", (1979).