برنامه درسی رشته

مهندسی مواد

MATERIALS ENGINEERING

مقطع کارشناسی ارشد

گرایش

استخراج فلزات Metals Extraction

تهیه کنندگان:

دکتر مهدی مزمل عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی سهند

دکتر مهدی اجاقی ایلخچی عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی سهند

دکتر بهرام به‌نژادی عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی سهند

فصل اول:

مشخصات کلی برنامه درسی

الف) مقدمه

دوره کارشناسی ارشد رشته "مهندسی مواد– گرایش استخراج فلزات" یکی از دوره‌های تحصیلی آموزش عالی است که بر روش‌های استخراج فلزات و مواد اولیه خام از مواد معدنی،کنسانتره، باطله‌ها و قراضه‌ها و همچنین جداسازی فلزات ارزشمند از یکدیگر و نیز بازگردانی و بازیافت مواد فلزی از محصولات فرعی فرآیندهای مختلف، قطعات و تجهیزات اسقاطی تمرکز دارد. در استخراج فلزات به منظور دستیابی به فلز مورد نظر از فرآیندهای پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکترومتالورژی استفاده می‌شود. دانش‌آموختگان این گرایش علاوه بر کار در کارخانه‌های تولید فلزات نظیر تولید آهن و فولاد، مس، آلومینیوم، سرب، روی و فلزات ارزشمند دیگر می‌توانند در مراکز تحقیقاتی در ارتباط با تولید فلزات و بازیافت فلزات مشغول به کار شوند. بعلاوه در زمینه سنتز مواد جدید نظیر کاتالیستها و مواد نانو ساختار می‌توان از مهندسین این گرایش بهره برد. مسایل زیست محیطی بازگردانی و بازیافت فلزات و مواد مختلف که از نگرانی‌های آینده بشر می-باشد، می‌تواند توسط مهندسین این رشته به خوبی هدایت شود.

ب) مشخصات کلی، تعریف و اهداف

با توجه به اهمیت و گسترش صنایع فلزی در کشور، اعم از تولید فولاد، مس، سرب، روی، آلومینیم، تینانیم، مولیبدن، کروم، فروآلیاژها و نیز کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از محصولات جانبی این صنایع به همراه قراضه‌ها، قطعات و تجهیزات فلزی اسقاطی، لزوم آگاهی و شناخت هر چه بیشتر از فرآیندهای نوین تولید، انتقال تکنولوژی‌های لازم، بازگردانی و بازیافت مواد فلزی/ ترکیبات به همراه پژوهش در این زمینه‌ها احساس می‌شود. بنابراین هدف از برنامه‌ریزی این دوره تربیت کارشناسان متخصصی است که با آگاهی و شناخت از مبانی علمی و تکنولوژیکی در زمینه‌های گوناگون استخراج و تصفیه فلزات نظیر موارد زیر بتوانند در صنایع مذکور به بررسی مشکلات بویژه مشکلات تولید و مشکلات زیست محیطی و چگونگی حل آنها بپردازند:

- لیچینگ فلزات ارزشمند (مانند روی، مس، نیکل، نقره، طلا، لیتیم و فلزات نادر خاکی)
- حذف ناخالصی‌ها و همچنین بازیابی فلزات گرانبها
- بازگردانی و بازیافت فلزات/ ترکیبات و عملیات بر روی گازها، پسآبها و محلول‌های خروجی
- بازیابی فلزات از منابع ثانویه مانند باتری‌ها، سرباره‌ها، انواع غبارها و کاتالیست‌ها
- بهینه‌سازی متغیرهای مربوط به فرآیندهای مختلف

پ) ضرورت و اهمیت

صنایع متالورژی و مواد جزء صنایع مادر کشورها بوده و مطابق برنامه‌های توسعه در کشور ایران بهای زیادی به این صنایع داده شده است. وجود صنایع بزرگ و کوچک متعدد و فراوان در زمینه متالورژی و مواد به خصوص در گرایش استخراج فلزات در ایران ضرورت تربیت کارشناسان متخصص برای آنها را روشن می-

سازد. در واقع، استخراج فلزات از گرایش‌های مهندسی مواد می‌باشد که بر روش‌های استخراج و تصفیه فلزات و مواد اولیه خام از مواد معدنی، کنستانتره، باطله‌ها، قراضه‌ها، منابع ثانویه نظیر باتری‌های نیکل-کادمیوم و لیتیم – یون و همچنین جداسازی فلزات ارزشمند از یکدیگر و از طرف دیگر بر حل مشکلات زیست محیطی ناشی از این صنایع تمرکز دارد.

ت) تعداد و نوع واحدهای درسی

برنامه درسی این گرایش شامل ۳۲ واحد درسی نظری و عملی بوده و طول دوره ۲ سالتحصیلی (۴ نیمسال) می‌باشد. هر نیمسال شامل ۱۶ هفته آموزشی کامل در نظر گرفته شده است. دروس نظری به ازای هر واحد ۱۶ ساعت (یک ساعت در هفته) و دروس عملی به ازای هر واحد ۳۲ ساعت (دو ساعت در هفته) تدریس می‌شوند.

جدول ۱: توزیع واحدهای درسی

نوع دروس	تعداد واحد
دروس جبرانی	**۷**
دروس تخصصی الزامی	**۱۶**
دروس تخصصی اختیاری	**۱۰**
پایان نامه	**۶**

ث) شرایط و ضوابط ورود به دوره

داوطلبان با مدرک کارشناسی مهندسی مواد و سایر رشته‌هایی که مقررات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری مجاز می‌داند، می‌توانند در آزمون ورودی شرکت کنند.

تبصره: دانشجویانی که رشته مقطع قبلی آنان با این رشته غیرمرتبط می‌باشد بایستی تا ۷ واحد را به عنوان دروس جبرانی از میان دروس جبرانی دوره کارشناسی ارشد گرایش استخراج فلزات در نیمسال اول تا دوم بگذرانند. انتخاب این دروس به تشخیص گروه آموزشی/مدیر گروه گرایش استخراج فلزات دانشکده مهندسی مواد می‌باشد.

فصل دوم:

جدول عناوین دروس

جدول ۲: دروس جبرانی

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			هم نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	ترمودینامیک مواد	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	-
۲	اصول هیدرومتالورژی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۳	اصول پیرومتالورژی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-

اخذ این دروس به تشخیص گروه آموزشی یا مدیر گروه گرایش استخراج فلزات برای دانشجویانی که از رشته‌های غیر از مهندسی مواد و متالورژی پذیرفته شده‌اند، الزامی می‌باشد.

جدول ۳: دروس تخصصی الزامی

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			هم نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	ترمودینامیک پیشرفته مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۲	سینتیک پیشرفته مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۳	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	ترمودینامیک پیشرفته مواد
۴	تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۵	الکترومتالورژی و آزمایشگاه	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ترمودینامیک پیشرفته مواد
۶	آزمایشگاه فرآیندهای متالورژی	-	۱	۱	-	۳۲	۳۲	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی
۷	روش‌های شناسایی و آنالیز مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۸	سمینار	۲	-	۲	-	-	-	-
	جمع	۱۴	۲	۱۶				

جدول ۴: دروس تخصصی اختیاری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			هم نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	روش‌های آماری و طراحی آزمایش‌ها	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	-
۲	ملاحظات زیست محیطی و بازیافت مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۳	سیستم‌های چند جزئی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	ترمودینامیک پیشرفته مواد
۴	روش‌های نوین فرآوری و تولید مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی
۵	بررسی فنی و اقتصادی فرآیندهای مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۶	اصول شبیه‌سازی فرآیندهای متالورژی	۲	-	۱	۳۲	-	۳۲	پدیده‌های انتقال پیشرفته در مهندسی مواد
۷	مباحث ویژه در استخراج فلزات	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۸	آنالیز حرارتی مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۹	پدیده‌های انتقال پیشرفته در مهندسی مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۱۰	موازنه جرم و انرژی در تولید فلزات	۳	-	۳	۴۸	-	۴۸	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی الکترومتالورژی و آزمایشگاه

ادامه جدول ۴

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			هم نیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱۱	استخراج فلزات نادر	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی الکترومتالورژی و آزمایشگاه
۱۲	طرح و کنترل پیشرفته فرآیندهای متالورژی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۱۳	زیست فناوری در مهندسی مواد	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی
۱۴	تولید و مصرف آهن اسفنجی	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی
۱۵	مواد انرژی‌های تجدیدپذیر	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	-
۱۶	شیمی فیزیک دمای بالا	۲	-	۲	۳۲	-	۳۲	ترمودینامیک پیشرفته مواد
جمع		۳۴	-	۳۴				

دانشجویان موظف به اخذ ۱۰ واحد درسی از جدول دروس تخصصی اختیاری می‌باشند.

دانشجویان می‌توانند یک درس از سایر رشته‌های مهندسی را به پیشنهاد استاد راهنما و تایید مدیر گروه اخذ نمایند.

فصل سوم

مشخصات دروس

عنوان درس به فارسی: **ترمودینامیک پیشرفته مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Thermodynamics of Materials				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

طرح مباحث تکمیلی ترمودینامیکی مطرح در رشته متالورژی و مهندسی مواد

تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی فرآیندهای مواد و متالورژی

رسم نمودارهای فازی در سیستم‌های دوتایی

سرفصل درس:

- مرور قوانین اول، دوم و سوم ترمودینامیک و پایداری فازها در سیستم تک جزئی
- پتانسیل شیمیایی، خواص مولار جزئی، تعادل در سیستم‌های غیرهمگن (شامل بیش از یک فاز)، قانون فازهای گیبس
- پتانسیل شیمیائی و مفاهیم فوگاسیته و اکتیویته، معیار تعادل ترمودینامیکی
- محلولهای باقاعده، توابع اضافی، محلولهای رقیق، معادله گیبس دوهم در سیستمهای سه‌تایی
- تغییر دادن حالت استاندارد، ضرائب تأثیر متقابل و پارامترهای تأثیر متقابل
- نمودارهای منطقه پایداری ترکیبات، نمودارهای انرژی آزاد مولی نسبی با غلظت و ارتباط آنها با سیستم‌های دوتایی
- حلالیت و عدم حلالیت، تعادل بین فازها با ترکیب متغیر، محاسبات نمودارهای فازی، نمودارهای اکتیویته مول جزیی
- آنتروپی و استفاده از معادله بولتزمن، آنتروپی وضعیتی و آنتروپی حرارتی
- مدل شبه‌شیمیایی و سایر مدلها برای محلولها، محلولهای منظم، نظم پر و کم دامنه در محلولها
- ترمودینامیک سطوح و فصل مشترک
- الکتروشیمی و ترمودینامیک محلولهای آبی، رابطه انرژی شیمیایی و الکتریکی، تأثیر غلظت بر نیروی الکتروموتیو، نمودارهای پوربه

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D.R. Gaskell and D.E. Laughlin, (2018). *Introduction to the Thermodynamics of Materials*, 6th Edition, Taylor & Francis Group.
2. H.G. Lee, (2012). *Materials Thermodynamics with Emphasis on Chemical Approach*, World Scientific.
3. R. DeHoff, (2006). *Thermodynamics in Materials Science*, 2nd Edition, Tayler & Francis Group.

4. S. Stolen, T. Grande and N.L. Allan, (2005). *Chemical Thermodynamics of Materials Macroscopic and Microscopic Aspect*, John Wiley & Sons.

عنوان درس به فارسی: **سینتیک پیشرفته مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Kinetics of Materials				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

آشنایی دانشجویان با اصول حاکم بر سینتیک فرآیندهای شیمیایی و مکانیزم انجام آنها، آشنایی با اصول طراحی راکتورهای شیمیایی

آشنایی با قوانین کلی حاکم بر سرعت واکنش ها

تجزیه و تحلیل مکانیزم انجام واکنش های ناهمگن در فرایند های مواد

آشنایی با مدل ها و آنالیز سینتیکی

سرفصل درس:

- مروری بر مبانی سینتیک شیمیائی: واکنشهای همگن و ناهمگن، معادله سرعت
- تئوریهای سرعت واکنش، ترکیب پیچیده ناپایدار، اثر دما
- روشهای تجربی حل معادله سرعت
- مروری بر مبانی سینتیک انتقال جرم: مکانیسمهای انتقال جرم (نفوذ و جابجایی)
- قوانین فیک، نفوذ در خود، نفوذ ذاتی، نفوذ درهم، آزمایش دارکن، اثرکرکندال، تحلیل دارکن از اثر کرکندال
- پیشبینی مقدار ضریب نفوذ در مایعات و گازها
- اصل بقای جرم برای کل ماده و اجزای سازنده و استخراج معادله کلی انتقال جرم
- انتقال جرم در سیال در حال حرکت در حالت آرام و آشفته
- مدلهای انتقال جرم در فصل مشترک: مدل دولایه (Two Films)، مدل نفوذ در لایه مرزی، مدل نو شدن سطح
- مدلهای سینتیکی برای واکنش های سیال- جامد
- بررسی اثر دما و کاتالیزور بر سرعت واکنشها
- پدیده جذب سطحی و بررسی اثرات سینتیکی آن در واکنشهای ناهمگن
- مثالهای کاربردی در مورد سینتیک فرآیندهای متالورژیکی
- اصول طراحی راکتورهای شیمیایی

فهرست منابع پیشنهادی:

۱. خ.ا. صدر نژاد، (۱۳۹۶). فرایندهای سینتیکی در مهندسی مواد و متالورژی، انتشارات امیرکبیر.

2. J.E. House, (2007). *Principles of Chemical Kinetics*, 2nd Edition, Elsevier.
3. S.K. Upadhyay, (2006). *Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*, Springer.
4. D.W. Readey, (2017). *Kinetics in Materials Science and Engineering*, Taylor & Francis Group.
5. F. Habashi, (1999). *Kinetics of Metallurgical Processes*, Metallurgie Extractive Quebec.
6. H.S. Ray, (1993). *Kinetics of Metallurgical Reactions*, Oxford & IBH.

عنوان درس به فارسی: **تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی**				
عنوان درس به انگلیسی: Theory of Pyrometallurgical Processes				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ترمودینامیک پیشرفته مواد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی با اصول و تئوری فرایندهای پیرومتالورژی

تجزیه و تحلیل فرایندهای تولید مرتبط با حوزه پیرومتالورژی از منظر کاربردی و پژوهشی

طراحی فرآیندهای پیرومتالورژی در رابطه با تولید فلزات

سرفصل درس:

- اصول فرایندهای تشویه و تکلیس، نمودارهای پایداری PSD، انواع فرایندهای تشویه شامل تشویه اکسیدان، تشویه سولفاته، تشویه کلرینه و فلورینه و...
- سرباره‌ها: سرباره‌های اسیدی و بازی، سرباره‌های سیلیکاتی و تشکیل دهنده شبکه، سرباره‌های بازی، بازیسیته بهینه، واکنشهای پلیمر شدن سرباره‌ها، مدل سرباره تمکین، مدل سرباره یون مجزا، مدل سرباره FFG
- اصول تولید فلزات از کنسانتره‌های سولفیدی
- اصول احیای اکسید فلزات (توسط کربن، توسط گاز)
- اصول فرایندهای متالوترمی جهت تولید فلزات
- اصول تصفیه فلزات
- بازیافت و کنترل گازها و غبارهای تولید شده در فرایندهای پیرومتالورژی
- مسائل کاربردی در فرایندهای پیرومتالورژی

فهرست منابع پیشنهادی:

1. A. Vignes, (2011). *Extractive Metallurgy*, Vol. 1-3, John Wiley & Sons.
2. A. Butts, (2008). *Metallurgical Problems*, Johnston Press.
3. T. Rosenqvist, (2004). *Principles of Extractive Metallurgy*, Tapir Academic Press.
4. F. Habashi, (1986). *Principles of Extractive Metallurgy*, Volume 3: Pyrometallurgy, Gordon & Breach.
5. C.B. Alcock, (1976). *Principles of Pyrometallurgy*, Academic Press.
6. H.S. Ray, R. Sridhar and K.P. Abraham, (2008). *Extraction of Nonferrous Metals*, Affiliated Eastwest Press Pvt Ltd.
7. A. Volsky and E. Sergieveskevya, (1978). *Theory of Metallurgical Processes: Pyrometallurgical Processes*, Mir Publishers.
8. S.K. Dutta, A.B. Lele and Y.B. Chokshi, (2018). *Extractive Metallurgy: Processes and Applications*, PHI Learning Pvt. Ltd.

۹. م. سلطانیه و م. عادلی، (۱۳۹۲). اصول فرآیندهای پیرومتالورژی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
10. J.J. Moore, (1990). *Chemical Metallurgy*, Butterworths.

عنوان درس به فارسی: **تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی**				
عنوان درس به انگلیسی: Theory of Hydrometallurgical Processes				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

تبیین مبانی شیمیایی، الکتروشیمیایی و تکنولوژیکی تولید و تصفیه فلزات و ترکیبات فلزی از منابع اولیه و ثانویه به روش هیدرومتالورژی

تجزیه و تحلیل فرایندهای لیچینگ، پالایش و پرعیارسازی محلول، بازیابی و ترسیب به روشهای غیرالکتریکی

سرفصل درس:

- کلیاتی در مورد روشهای مختلف استخراج، مقایسه مزایا و معایب روشهای پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی
- مبانی ترمودینامیکی، الکتروشیمیایی و سینتیکی لیچینگ، طریقه رسم و کاربرد نمودارهای پوربه در لیچینگ
- مثالهایی از لیچینگ شیمیایی و الکتروشیمیایی اکسایشی و احیایی، روشهای صنعتی لیچینگ
- اصول و روشهای پالایش و پرعیارسازی محلول با کمک زغال فعال، رزین و حلال آلی، جذب سطحی با زغال فعال، ساختار عمومی رزین‌های تبادل یونی، انواع رزین های مورد استفاده در پالایش و پرعیارسازی محلول
- روشهای استخراج با حلال، ترمودینامیک استخراج با حلال، متغیرهای ضریب توزیع، درصد استخراج و فاکتور جدایش در استخراج با حلال، استخراج مکرر با حلال
- ایزوترم استخراج، رسم نمودار McCabe-Thiele و کاربرد آن در استخراج و بازپس‌گیری
- بازیابی به روش فیزیکی(تبلور)
- هیدرولیز
- ترمودینامیک و سینتیک رسوب‌گیری به صورت هیدروکسید، کربنات و سولفید، ترمودینامیک و سینتیک فرایند
- سمانتاسیون
- مبانی ترمودینامیکی و سینتیکی احیا با هیدروژن، احیا به وسیله گازهای دیگر

فهرست منابع پیشنهادی:

1. A. Vignes, (2011). *Extractive Metallurgy*, Vol. 1-3, John Wiley & Sons.

2. E. Jackson, (1986). *Hydrometallurgical Extraction and Reclamation*, Ellis Horwood.
3. M.L. Free, (2013). *Hydrometallurgy: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons.
4. T. Havlik, (2008). *Hydrometallurgy: Principles and Applications*, Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering.
5. C.K. Gupta and T.K. Mukherjee, (1990). *Hydrometallurgy in Extraction Processes*, Taylor & Francis Group.

عنوان درس به فارسی: **الکترومتالورژی و آزمایشگاه**				
عنوان درس به انگلیسی: Electrometallurgy and Laboratory				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری - عملی	تعداد واحد: ۳	تعداد ساعت: ۶۴	
دروس هم نیاز	ترمودینامیک پیشرفته مواد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	آزمایشگاه	سمینار	سفر علمی	

اهداف کلی درس:

تبیین مبانی الکتروشیمیایی تولید و تصفیه فلزات و ترکیبات فلزی از منابع اولیه و ثانویه به روش الکترومتالورژی

تجزیه و تحلیل فرایندهای تولید مرتبط با حوزه الکترومتالورژی از منظر کاربردی و پژوهش

طراحی فرآیندهای الکترومتالورژی در رابطه با تولید فلزات

سرفصل درس:

- اصول الکتروشیمی، ترمودینامیک و مفهوم تعادل در واکنشهای الکتروشیمی، اصول پیلها و سلهای الکترولیز
- نیم‌واکنشهای آندی و کاتدی، سینتیک واکنشهای الکتروشیمی در الکترود
- مبانی فرایندهای الکترومتالورژی: قانون فارادی، بازده جریان، مصرف ویژه انرژی، بازده انرژی، چگالی جریان
- پتانسیل تئوری سل (پتانسیل تجزیه،) پتانسیل اضافی و انواع آن شامل پتانسیل اضافی فعالسازی، پتانسیل اضافی هیدروژن، افت پتانسیل IR، عوامل مؤثر بر ولتاژ، راندمان جریان و مصرف ویژه انرژی در فرایند
- فرایندهای استخراج و تصفیه الکترولیتی، اجزای یک واحد صنعتی استخراج یا تصفیه الکترولیتی
- استخراج و تصفیه الکترولیتی مس / روی / نیکل: شرح کلی فرایندهای متداول استخراج الکترولیتی با آندهای خنثی (غیرمصرفی) و تصفیه الکترولیتی با آندهای مصرفی (مثل آند مات نیکل،) نیم‌واکنشهای آندی و کاتدی، محاسبه پتانسیل تئوری و اعمالی، محاسبه مصرف ویژه انرژی، جنس آند و کاتد، اثر ناخالصیهای الکترولیت و روشهای حذف آنها
- اصول فرایند تولید آلومینیم (Hall–Heroult)، نقش کریولیت، علت استفاده از گرافیت به عنوان آند و نقش آن در واکنشها، افزودنیهای حمام مذاب، متغیرهای حمام مذاب، ترکیب بهینه الکترولیت، نیم‌واکنشهای آندی و کاتدی، مواد شارژی، فرایند بایر، طراحی سلول و تلفات گرمایی آن، محاسبه ولتاژ تئوری و اعمالی، محاسبه مصرف ویژه انرژی، بازده انرژی
- اصول و روشهای تصفیه الکترولیتی آلومینیم
- اصول و روشهای تولید منیزیم با استفاده از الکترولیز کلرید منیزیم مذاب

- فرایند احیای مستقیم الکتروشیمیایی، اصول فرایند، کاربردها و عوامل موثر
- آزمایشهای استخراج الکترولیتی روی و مس و تصفیه الکترولیتی مس

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D.R. Gaskell and D.E. Laughlin, (2018). *Introduction to the Thermodynamics of Materials*, 6th Edition, Taylor & Francis Group.
2. P. Atkins, J. de Paula and J. Keeler, (2018). *Atkins' Physical Chemistry*, 11th Edition, Oxford University Press.
3. E. Jackson, (1986). *Hydrometallurgical Extraction and Reclamation*, Ellis Horwood Ltd.
4. F. Habashi, (1999). *Principles of Extractive Metallurgy*, Volume 4: Amalgam and Electrometallurgy, Metallurgie Extractive Quebec.
5. K. Grjotheim, and H. Kvande, (2011). *Introduction to Aluminum Electrolysis*, Beuth Verlag.
6. K. Grjotheim, and B.J. Welch, (1988). *Aluminum Smelter Technology: A Pure and Applied Approach*, 2nd Edition, Aluminium-Verlag.
7. A. Vignes, (2011). *Extractive Metallurgy*, Vol. 1-3, John Wiley & Sons.
8. A. Butts, (2008).*Metallurgical Problems*, Johnston Press.
9. J. Thonstad, P. Fellner, G.M. Haarberg, J. Hives, H. Kvande and A. Sterten, (2001). *Aluminium Electrolysis, Fundamentals of the Hall-Heroult Process*, 3rd Edition, Aluminium-Verlag.
10. K.I. Popov, S.S. Djokic and B.N. Grgur, (2002). *Fundamental Aspects of Electrometallurgy*, Kluwer Academic.
11. R. Sharan and S. Narain, (1991). *An Introduction to Electrometallurgy*, Standard Publishers Distributors.

عنوان درس به فارسی: **آزمایشگاه فرآیندهای متالورژی**				
عنوان درس به انگلیسی: Metallurgical Processes Laboratory				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: عملی	تعداد واحد: ۱	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی و آزمایشگاه در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	آزمایشگاه	سمینار	سفر علمی	

اهداف کلی درس:

هدف از این آزمایشگاه، فراگیری روش انجام آزمایش‌های متالورژیکی و به‌دست‌آوردن داده، پردازش داده‌ها، تحلیل نتایج و ارائه آن به‌صورت گزارش‌های استاندارد می‌باشد.

۶ مورد از آزمایش‌های سرفصل با نظر استاد تعیین و انجام می‌شود.

سرفصل درس:

- آشنایی با تیتراسیون و نحوه تهیه محلول‌های مورد نیاز و تیتراسیون اسید، روی، آهن، کلر و ...
- سینتیک فرایند تشویه/تکلیس
- بررسی واکنش‌های سرباره–مذاب
- بررسی واکنش‌های متالوترمی
- سینتیک لیچینگ اکسید یا سولفید فلزی
- لیچینگ اکسایشی/احیایی
- بررسی اثر فشار بر سرعت لیچینگ (لیچینگ تحت فشار)
- بررسی اثر فعال‌سازی مکانیکی بر سرعت لیچینگ
- جداسازی با استفاده از رزین‌های تعویض یونی
- جداسازی با استفاده از زغال فعال
- جداسازی با استفاده از حلال آلی (جداسازی مایع مایع)
- سنتز حلال‌های نوین و زیست‌سازگار مثل حلال‌های یوتکتیک عمیق

فهرست منابع پیشنهادی:

منابع بسته به نوع و ماهیت آزمایش‌ها، از منابع معرفی شده برای دروس مرتبط انتخاب و منابع دیگر حسب مورد توسط مدرس معرفی می‌گردد.

عنوان درس به فارسی: **روش‌های شناسایی و آنالیز مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Methods of Materials Characterization and Analysis				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی و آزمایشگاه در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی با روش‌های جدید و پیشرفته آنالیز، شناسایی و مشخصه‌یابی مواد

سرفصل درس:

- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): معرفی، اصول و مبانی کار، نحوه تشکیل تصویر، کاربرد و نمونه‌سازی
- اشعه ایکس: اصول و مبانی فیزیکی، آشکارسازها، تفرق، پراش، کاربرد و نمونه‌سازی، آنالیز شیمیائی XRF و مقایسه آن با روش EDS و WDS، آنالیز فازی XRD
- آنالیز حرارتی: آنالیز حرارتی افتراقی (DTA: Differential Thermal Analysis) و روش گرماسنجی روبشی افتراقی (DSC: Differential Scanning Calorimetry)
- آنالیز شیمیایی محلول به روش‌های اسپکتروسکوپی: اسپکتروسکوپی جذب مولکولی (UV-visible)، اسپکتروسکوپی جذب اتمی (AAS) و اسپکتروسکوپی نشر اتمی (ICP)
- میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM): معرفی، اصول و مبانی کار، پراش، نحوه تشکیل تصویر، کاربرد و نمونه‌سازی
- بازدید و استفاده از دستگاه آنالیز اشعه ایکس (XRD)
- بازدید و استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
- بازدید و استفاده از دستگاه گرماسنجی روبشی افتراقی (DSC)
- بازدید و استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی جذب مولکولی (UV-visible)

فهرست منابع پیشنهادی:

۱. ع. سجادی و ف. صبا، (۱۳۹۱). روش‌های پیشرفته شناخت مواد: مقدمه‌ای بر روش‌های میکروسکوپی، طیف‌سنجی و آنالیز حرارتی، انتشارات واژگان خرد.

2. B.D. Cullity and S.R. Stock, (2001). *Elements of X-ray Diffractions*, 3rd Edition, Pearson.
3. J. Goldstein, D.E. Newbury, D.C. Joy, C.E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, and J.R. Michael, (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*, 3rd Edition, Springer.
4. A. Khursheed, (2011). *Scanning Electron Microscope Optics and Spectrometers*, World Scientific Pub. Co. Inc.

5. W. Zhou and Z.L. Wang, (2007). *Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications*, Springer Science & Business Media.
6. D.B. Williams and C.B. Carter, (2009). *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science*, 2nd Edition, Springer.
7. Y. Leng (2008). *Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*, 2nd Edition, John Wiley & sons.
8. D.A. Skoog and D.M West, (2004). *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 8th Edition, Thomson Learning.

عنوان درس به فارسی: **سمینار**				
عنوان درس به انگلیسی: Seminar				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی الزامی	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	ارائه شفاهی-عملکردی			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز				

اهداف کلی درس:

آشنا شدن دانشجو با نحوه گرداوری مطالب علمی و تحقیقاتی در ارتباط با یک موضوع خاص، تدوین آن به همراه تجزیه و تحلیل در قالب یک گزارش کتبی و ارائه مطالب تهیه شده در یک ارائه شفاهی پیشنهاد می‌شود این درس در راستای موضوع پایان‌نامه دانشجو و به منظور تدوین پیشنهاده (پروپوزال) پایان‌نامه تعریف شود تا دانشجو بتواند ضمن گرداوری و تدوین مطالب علمی، توانایی طرح مسأله و طراحی روش تحقیق را بیاموزد.

سرفصل درس:

- بررسی مطالعاتی در زمینه‌های مختلف مربوط به استخراج فلزات شامل تهیه لیست آخرین مقالات علمی در زمینه مورد نظر با استفاده از آخرین روش‌های جستجوی منابع و مراجع علمی
- جمع‌آوری مقالات با انجام مطالعات تئوریک و نقد و بررسی کارهای انجام شده و جمع‌بندی آن‌ها و نتیجه‌گیری نهایی-در انجام سمینار هیچگونه آزمایشی صورت نمی‌گیرد و فقط بررسی و تحلیل مطالبی که توسط دیگر محققان صورت گرفته انجام می‌شود.
- سمینار بعد از تایپ و تدوین در یک جلسه از پیش تعیین شده مطابق آیین‌نامه‌های دانشکده ارائه می‌گردد.

فهرست منابع پیشنهادی:

متناسب با موضوع سمینار با راهنمایی استاد درس تعیین می‌شود.

عنوان درس به فارسی: **روش‌های آماری و طراحی آزمایش‌ها**				
عنوان درس به انگلیسی: Statistical Methods and Design of Experiments				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۳	تعداد ساعت: ۴۸	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

آشنایی با مفاهیم آماری و رویه انجام تحلیل های آماری بر روی داده‌ها در فرایندهای مهندسی

آشنایی با روش‌های طراحی آزمایش

تحلیل نتایج حاصل از طراحی آزمایش

سرفصل درس:

- تعریف علم آمار و مفاهیم بسیار مهم در آن
- جمع آوری داده و روشهای مختلف آن (نمونه‌گیری تصادفی، سیستماتیک و خوشه‌ای)
- آمار توصیفی (روشهای مختلف ارائه داده‌های جمع‌آوری شده، مانند توزیع فراوانی، هیستوگرام، نمودار جعبه‌ای و خلاصه عددی داده‌ها)
- مروری بر مفاهیم احتمال (توزیع‌های احتمال و مروری بر مهمترین توزیع‌های احتمال مانند توزیع نرمال یا گوسی)
- توزیع‌های نمونه‌گیری
- آمار تحلیلی (روشهای مختلف تجزیه و تحلیل داده‌ها)
- مدلسازی آماری (برازش خطی ساده و چندگانه)
- لزوم طراحی آزمایش‌ها، تعاریف، شرایط لازم برای آزمایش مطلوب، تعیین تعداد آزمایش
- انواع روش انجام آزمایش
- معرفی روش تاگوچی
- طرح‌های بخشی (کسری) و کاربرد آنها
- مبانی طرح‌های روش‌های پاسخ سطحی، تحلیل آزمایش‌های با روش پاسخ سطحی
- اختلاط و بلوک‌بندی در طرح‌های دوسطحی
- عناصر تصمیم‌گیری در طراحی آزمایش، تعیین سطح مخاطره، تعیین شاخص
- آزمایش‌های مقایسه‌ای ساده، تصمیم گیری میانگین و واریانس جمعیت‌ها

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D.C. Montgomery and G.C. Runger, (2018). *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 7th Edition, Wiley.
2. J. Antony, (2014). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Elsevier

Science.
3. G.W. Oehlert, (2010). *A First Course in Design and Analysis of Experiments*.
4. T.P. Ryan, (2000). *Statistical Methods for Quality Improvement*, John Wiley & Sons.

۵. ر. ر. روی، ترجمه د. مرادخانی و ف. تقوی، (۱۳۸۶). آشنایی با روش طراحی آزمایشات تاگوچی، انتشارات دانشگاه زنجان.

۶. م. مهدیارفر، (۱۳۸۶). طراحی آزمایش تاگوچی، پژوهشکده صنعت نفت.

عنوان درس به فارسی: **ملاحظات زیست‌محیطی و بازیافت مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Environmental Considerations and Materials Recycling				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی با ضوابط و مقررات زیست‌محیطی حاکم بر صنعت

آشنایی با تأثیرات زیست‌محیطی صنایع فرآوری و استخراج فلزات

آشنایی با نحوه کنترل آثار زیان‌بار پساب‌ها، گازها، گرد و غبارهای منتشره و سایر دورریزهای جامد بر محیط‌زیست

آشنایی با فرایندهای مرتبط با بازیافت فلزات از قراضه‌ها، باطله‌ها و محصولات جانبی صنایع

سرفصل درس:

- توسعه پایدار و محیط‌زیست
- منابع آلودگی زیست‌محیطی و اثرات تخریبی آن بر اکوسیستم
- قوانین و مقررات جهانی و داخلی در ارتباط با محیط‌زیست
- مخاطرات زیست‌محیطی عملیات استخراج فلزات
- اصول طراحی و مهندسی مواد زیست محیطی
- نقش مدیریت بر طراحی، توسعه و انتقال تکنولوژی فرآیندهای استخراج فلزات در ایجاد سازگاری با قوانین محیط زیست
- آشنایی با چرخه آلاینده‌های گازی و پسآب‌های صنایع متالورژی و روش‌های مقابله
- آشنایی با چرخهٔ فیزیکی و شیمیایی مواد و ضایعات فلزی در جهان، نظیر چرخهٔ فلزات آهنی، آلومینیم، مس، کروم، نیکل، سرب و قلع.
- مدیریت مواد دورریز جامد، ضایعات به‌عنوان منابع ثانویه، بازیافت مواد از قراضه‌ها
- بازیافت مواد از گرد و غبار و خاکستر کوره‌ها
- کاربرد سرباره‌ها و بازیافت مواد از آن‌ها
- کاربرد لجن‌ها (sludge) و بازیافت مواد از آن‌ها
- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA) بر واحدهای متالورژی
- طراحی و توسعه فرآیندهای نوین استخراج فلزات برمبنای طراحی مواد زیست‌محیطی

فهرست منابع پیشنهادی:

1. L.M.T. Martínez, O.V. Kharissova and B.I., Kharisov, (2019). *Handbook of*

Ecomaterials, Springer.
2. M.S. Akhtar, S. Ameen and H.S. Shi, (2018). Emerging Materials for Environment Protection and Renewable Energy, Nova Science.
3. K. Watari and S.W. Lee, (2006). Eco-Materials Processing and Design, John Wiley & Sons, 2006.
4. K. Sridharan, (2018). Emerging Trends of Nanotechnology in Environment and Sustainability (A Review-Based Approach), Springer.
5. F. Habashi, (1996). Pollution Problems in the Mineral and Metallurgical Industries, Metallurgie Extractive Quebec.
6. T.J. Veasey, R.J. Wilson and D.M. Squires, (1993). The Physical Separation and Recovery of Metals from Waste, Vol. 1, Gordon and Breach Science Publications.
7. S.R. Rao, (2006). Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes, Volume 7, Elsevier Science.

۸. ف. رشچی، س. شیبانی و ب. غفاری‌زاده، (۱۳۸۸). بازیافت در متالورژی، جلد اول: بازیافت فلزات از قراضه، جهاد دانشگاهی واحد تهران.

۹. ف. رشچی، س. شیبانی و ب. غفاری زاده، (۱۳۹۲). بازیافت باطله‌ها و محصولات جانبی جامد، جهاد دانشگاهی واحد تهران.

عنوان درس به فارسی: **سیستمهای چند جزئی**			
عنوان درس به انگلیسی: Multicomponent Systems			
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات		
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲
دروس هم نیاز	ترمودینامیک پیشرفته مواد		
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال		
نوع آموزش تکمیلی نیاز	سمینار		

اهداف کلی درس:

آمادگی برای تجزیه و تحلیل دیاگرام‌های تعادل فازی برای سیستم‌های تک و چند جزئی در حوزه‌های پژوهشی و کاربردی

سرفصل درس:

- انواع دیاگرام‌های فازی هم‌فشار، هم‌دما و با ترکیب شیمیایی ثابت
- سیستم‌های تک جزئی، معادله کلاپیرون و کلازیوس-کلاپیرون
- سیستم‌های دوجزئی در فشار ثابت، تحولات فازی محلول‌های جامد-مذاب، انحلال محدود در حالت جامد و مایع، تحول‌های یوتکتیک، منوتکتیک، پری‌تکتیک، یوتکتوئید، منوتکتوئید و پری‌تکتوئید
- سیستم‌های سه‌جزئی، چگونگی نمایش، خطوط الکامید، مثلث‌های الکامید، خصوصیات خطوط الکامید، تحول یوتکتیک سه‌جزئی، دیاگرام‌های با تحولات پری‌تکتیک و یوتکتیک با ترکیبات یکنواخت و غیریکنواخت، ترکیبات میانی در سیستم‌های سه‌جزئی، جدایش فازی در مایع، تحولات فازی حین سرد کردن، برش‌های هم‌دما در دیاگرام‌های سه‌جزئی، برش‌های هم ترکیب در سیستم‌های سه‌جزئی
- سیستم‌های با بیش از سه جزء، اصول و چگونگی نمایش
- قانون فازهای گیبس و دیاگرام‌های فازی، ضرایب تأثیر متقابل
- دیاگرامهای پایداری PSD، دیاگرام‌های پایداری برحسب تغییرات دو فشار جزئی، دیاگرام‌های پایداری برحسب تغییرات دما و یک فشار جزئی، کاربرد دیاگرام‌های پایداری در مهندسی مواد
- مروری بر روش‌های به‌دست آوردن دیاگرام‌های فازی: الف) روش‌های تجربی، ب) روش‌های محاسباتی
- محاسبات دیاگرام‌های فازی در دماهای ثابت برحسب تغییرات فشارهای جزئی
- ترمودینامیک آلیاژهای انتروپی بالا

فهرست منابع پیشنهادی:

1. C.J. Bergeron and S.H. Risbud, (1984). *Introduction to phase equilibria in ceramics*, American society for ceramics.
2. F.C. Campbell, (2012). *Phase Diagrams Understanding the Basics*, ASM

International.
3. D.R.F. West and N. Saunders, (2002). *Ternary Phase Diagrams in Materials Science*, 3rd Edition, Maney Publishing for the Institute of Materials.
4. A. D. Pelton, (2019). *Phase Diagrams and Thermodynamic Modeling of Solutions*, Elsevier.
5. M. Hillert, (2008). *Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations*, 2nd Edition, Cambridge University.
6. Y.M. Chiang, D. Birnie and W.D. Kingery, (1997). *Physical Ceramics-Principles for Ceramics Science and Engineering*, Wiley & Sons.
7. M.F. Berard, (1990). *Fundamentals of phase equilibria in ceramics systems*, Techbooks.

عنوان درس به فارسی: **روش‌های نوین فرآوری و تولید مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Methods in Materials Synthesis and Processing				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی با محدودیت‌ها و پیشرفت‌های روش‌های متداول پیرومتالورژی و هیدروالکترومتالورژی

آشنایی با مفاهیم و کاربرد تکنولوژی‌هایی نظیر بیوتکنولوژی، فعال‌سازی مکانیکی و سونوشیمی در فرآوری مواد

سرفصل درس:

- چالش‌ها، اصلاحات و فرآیندهای متالورژی استخراجی فلزات آهنی، چالش‌های روش‌های مرسوم تولید آهن و اصلاحات نوین صورت گرفته روی این روش‌ها بر اساس افزایش بازده، کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی، چالش‌های روش‌های مرسوم فولادسازی و اصلاحات نوین صورت گرفته روی این روشها بر اساس افزایش بازده، کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی، مبانی و فناوری روش‌های نوین تولید آهن و فناوری روش فولادسازی ثانویه
- چالش‌ها، اصلاحات و فرآیندهای متالورژی استخراجی فلزات غیرآهنی، چالش‌های روش‌های مرسوم پیرو و هیدرومتالورژی در تولید مس و اصلاحات نوین صورت گرفته روی این روش‌ها بر اساس افزایش بازده، کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی و فناوری روشهای نوین تولید مس، چالش‌های روش‌های مرسوم پیرو و هیدرومتالورژی در تولید طلا، آلومینیم، روی، نیکل و و اصلاحات نوین صورت گرفته روی این روشها بر اساس افزایش بازده، کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی، کاربرد بیوتکنولوژی در استحصال فلزات غیرآهنی از کانیهای مقاوم و کم عیار مس، طلا، نیکل و کبالت (واکنش‌های بیوشیمیایی، انحلال میکروبی، انواع باکتری‌ها، انتخاب و رشد باکتری‌ها و ...)
- اصول فعال‌سازی مکانیکی در فرآوری مواد
- کامپوزیتهای زمینه فلزی، سرامیکی و پلیمری
- کامپوزیتهای ذره ای، فیبری و سازه‌ای
- استفاده از امواج فراصوت در فرآوری مواد (سونوشیمی)
- اصول تکنولوژی ماکروویو در فرآوری مواد

فهرست منابع پیشنهادی:

1. B.D. Senk, H.W. Gudenau and K.T. Mavrommatis, (2008). *Iron making*, RWTH Aachen University.
2. A. Ghosh, (2001). *Secondary Steelmaking, Principles and Applications*, CRC Press.
3. M.E. Schlesinger, M.J. King, K.C. Sole and W.G. Davenport, (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*, 5th Edition, Elsevier.
4. F.K. Crundwell, M.S. Moats, V. Ramachandran, T.G. Robinson and W.G. Davenport, (2011). *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals*, Elsevier.
5. P. Balaz, (2008). *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*, Elsevier.
6. C.A. Pickles, (2009). *Microwaves in Extractive Metallurgy: Review of Fundamentals and Applications*, Elsevier.
7. T.J. Mason, (2003). *Practical Sonochemistry: Uses and Applications of Ultrasound*, 2nd Edition, Horwood Publishing Ltd.
8. Alian Vignes, (2011). *Extractive Metallurgy 3: Processing Operations and Routes*, John Wiley & Sons.
9. M.L. Free, (2013). *Hydrometallurgy: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons.
10. M.C. Fuerstenau and K.N. Han, (2003). Principles of Mineral Processing, SME.
11. J.W. Evans and L.C. DeJonghe, (2010). *The Production and Processing of Inorganic Materials*, John Wiley & Sons.
12. S.K. Dutta, A.B. Lele and Y.B. Chokshi, (2018). *Extractive Metallurgy: Processes and Applications*, PHI Learning Pvt. Ltd.
13. W.D. Callister, D.G. Rethwisch, (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, Wiley.
14. F. Bernard, S. Paris, and E. Gaffet, (2006). Mechanical Activation as a New method for SHS, In *Advances in Science and Technology* (Vol. 45, pp. 979-988). Trans Tech Publications Ltd.
15. G. Mucsi, (2019). A review on mechanical activation and mechanical alloying in stirred media mill, *Chemical Engineering Research and Design*, *148*, pp.460-474.

۱۶. اف. ال. ماتیوس و آر. دی. راولینگز، ترجمه ع. شکوه‌فر، م. حداد سبزوار، ع. حائریان اردکانی، (۱۳۸۴). علم و مهندسی مواد مرکب، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

عنوان درس به فارسی: **بررسی فنی و اقتصادی فرآیندهای مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Technical and Economic Analysis of Materials Processes				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی دانشجویان با اصول گزارش‌های توجیه فنی و اقتصادی لازم جهت تولید مواد به ویژه در طرح تاسیس کارخانه تولید فلزات

ایجاد ذهنیت اقتصادی در دانشجویان جهت تولید مواد مهندسی و فعالیتهای شغلی مرتبط با آن

آگاهی از ملاحظات اقتصادی در تصمیم‌گیریها و فعالیتهای شغلی مرتبط با فرایندهای تولید مواد

سرفصل درس:

- مروری به اقتصاد مهندسی، ارزش زمانی پول، نرخ برگشت سرمایه، ارزش فعلی تجهیزات، ارزش آینده تجهیزات، تورم، اثر تورم در بررسی‌های اقتصادی، طبقه‌بندی هزینه‌های تولید، تجزیه و تحلیل نقطه سر به سر تولید و....
- تجزیه و تحلیل قیمت تمام شده مواد اولیه با توجه به کیفیت آنها، تجزیه و تحلیل قیمت تمام شده محصولات فرآیند تولید مواد
- بررسی فنی و اقتصادی روشهای تولید مواد، مقایسه آنها با یکدیگر (از نظر کمیت و کیفیت مواد اولیه، انرژی مورد نیاز، کیفیت محصولات تولیدی، قیمت تمام شده محصولات، سرمایه در گردش مورد نیاز، سرمایه ثابت مورد نیاز، حداقل و حداکثر ظرفیت ممکن، آلودگی محبت زیست، کمیت و کیفیت نیروهای انسانی مورد نیاز و....
- تهیه ترازنامه مالی، بیلان مواد اولیه و جنسی، محاسبه سود و زیان، محاسن فنی و اقتصادی جایگزینی یک نوع انرژی به جای نوع دیگر آن در فرآیند تولید مواد با توجه به عوامل طبیعی موجود
- اصول فنی و اقتصادی که باید در ارایه طرح تاسیس یک کارخانه تولید مواد در نظر گرفته شود

فهرست منابع پیشنهادی:

۱. م.م. اسکونژاد، (۱۳۹۹). اقتصاد مهندسی (ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲. ح. مسعودی، (۱۳۹۵). اقتصاد مهندسی (تجزیه و تحلیل اقتصادی پروژه‌ها)، انتشارات دانشگاه تهران.

۳. علی فضلوی، (۱۳۹۱). اقتصاد معدن (بررسی فنی و اقتصادی پروژه‌های معدنی)، انتشارات سایه

گستر.
4. M.S. Peters, K.D. Timmerhaus and R.E. West, (2002). *Plant Design & Economics for Chemical Engineers*, Mc Graw Hill.
5. E.L. Grant, W.G. Ireson and R.S. Leavenworth, (1990). *Principles of Engineering Economy*, 8th Edition, Wiley.

عنوان درس به فارسی: **اصول شبیه‌سازی فرآیندهای متالورژی**			
عنوان درس به انگلیسی: Simulation Principles of Metallurgical Processes			
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات		
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲
دروس هم نیاز	پدیده‌های انتقال پیشرفته در مهندسی مواد		
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال		
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار		

اهداف کلی درس:

معرفی و تبیین اصول مدل‌سازی ریاضی و کاربرد آن در تفسیر و شناخت پدیده‌های حاکم بر فرآیندهای مهندسی مواد، تبیین مدل‌سازی فیزیکی و کیفیت ساخت یک مدل فیزیکی از یک فرآیند متالورژیکی و یا جنبه‌ای از یک فرآیند و بررسی کاربردهای شبیه‌سازی فیزیکی

سرفصل درس:

- تعاریف، اهداف مدل‌سازی، مراحل مدل‌سازی، اهمیت و کاربرد
- طبقه‌بندی معادلات به روش مشخصه
- ساختار یک مدل ریاضی، مبانی علمی در توسعه مدل ریاضی
- معرفی تکنیک‌های عددی در حل معادلات حاکم بر فرایندها در مدل‌سازی ریاضی
- روش‌های محاسباتی جهت حل مسائل مرزی
- روش اختلاف محدود جهت حل مسائل مکانیک سیاالت، انتقال حرارت و جرم
- روش حجم محدود جهت حل مسائل مکانیک سیاالت و انتقال حرارت و جرم
- مطالعات موردی مربوطه شامل شبیه سازی انجماد، جریان مذاب و انتقال حرارت در سیستم‌های متالورژیکی
- معرفی اصول و مبانی شبیه‌سازی فیزیکی و کاربردهای آن
- مطالعات موردی در خصوص شبیه‌سازی فیزیکی فرآیندهای مواد
- آشنائی با قابلیت‌های نرم‌افزاری موجود جهت انجام شبیه‌سازی فرآیندهای متالورژیکی

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D. Raabe, (1998). *Computational Materials Science: The Simulation of Materials Microstructures and Properties*, Wiley-VCH.
2. O.J. Ilegbusi, M. Iguchi and W.E. Wahnsiedler, (1999). *Mathematical and Physical Modeling of Materials Processing Operations*, CRC Press.
3. J. Szekely, J.W. Evans and J.K. Brimacone, (1988). *The Mathematical and Physical Modeling of Primary Metals Processing Operations*, Wiley-Interscience.
4. S. Patankar, (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, CRC Press.

عنوان درس به فارسی: **مباحث ویژه در استخراج فلزات**				
عنوان درس به انگلیسی: Specific Topics in Metals Extraction				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

پوشش دادن مباحث جدید در حوزه استخراج فلزات و سنتز و فراوری شیمیایی مواد

سرفصل درس:

- مباحث پیشرو و نوین در حوزه استخراج فلزات شامل روش‌های پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکترومتالورژی مانند آخرین پیشرفت‌ها در زمینه‌های فولادسازی، تولید فلزات غیرآهنی و تولید فلزات نادر و گران‌بها از منابع اولیه و ثانویه (بازیافت)
- مباحث پیشرو و نوین در حوزه سنتز و فرآوری شیمیایی مواد شامل سنتز احتراقی در حالت جامد و محلول، سنتز دمای بالای مواد، فرایندهای مکانوشیمیایی، فرایندهای سل-ژل و فرایندهای هیدروترمال

فهرست منابع پیشنهادی:

بسته به نوع و ماهیت محتوای درس، از منابع و مقالات جدید و به‌روز استفاده می‌شود.

عنوان درس به فارسی: **آنالیز حرارتی مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Thermal Analysis of Materials				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آگاهی از روش کار و مبانی آنالیز حرارتی مواد و تجزیه و تحلیل نتایج آن

سرفصل درس:

- آنالیز حرارتی جرم سنجی افتراقی (Differential Thermogravimetry)، متغیرهای مؤثر روی این آزمایش، نحوه مطالعات سینتیکی فرایندها با این روش
- آنالیز حرارتی Differential Thermal Analysis (DTA) و Differential Scanning Calorimetry (DSC) متغیرهای مؤثر در اخذ جواب مناسب از این روش، نحوه مطالعات سینتیکی با این روش
- روش‌های آنالیز حرارتی همزمان TG-DTA و TG-DSC
- روش‌های شناسایی و آنالیز گازها در دستگاه‌های آنالیز حرارتی Evolved Gas Detection (EGD) و Evolved Gas Analysis (EGA)
- ترکیب روش‌های EGA و EDG با TG و DSC یا DTA
- روش‌های آنالیز حرارتی مکانیکی، Thermodilatometry (TDA)، Thermomechanical Analysis (TMA) و Dynamic Thermomechanometry (DMA)
- سایر روش‌های آنالیز حرارتی و روش‌های کالریمتری در دمای ثابت

فهرست منابع پیشنهادی:

1. M.E. Brown, (2001). *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications*, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers.
2. P. Gabbott, (2007). *Principles and Applications of Thermal Analysis*, Wiley-Blackwell.
3. R. Speyer, (1994). *Thermal Analysis of Materials*, Marcel Dekker INC.
4. T. Hatakeyama and L. Zhenhai, (1999). *Handbook of Thermal Analysis*, Wiley.
5. S. Gaisford, V. Kett and P. Haines, (2016). *Principles of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2nd Edition, Royal Society of Chemistry.
6. W.W. Wendlandt, (1986). *Thermal Analysis*, 3rd Edition, Wiley-Interscience.
7. S.Z.D. Cheng, (2002). *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*, Elsevier Science.
8. J.D. Menczel and R.B. Prime, (2009). *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications*, Willy.

عنوان درس به فارسی: **پدیده‌های انتقال پیشرفته در مهندسی مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Transport Phenomena in Materials Engineering				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

آگاهی از درس پدیده‌های انتقال به عنوان یک ابزار کارآمد، گسترش و توسعه سریع فرآیندهای متالورژی را ممکن می‌سازد. این مبحث شامل اصول مربوط به سیالات، حرارت و جرم است و برقراری روابط آن روی فرآیندهای متالورژی به صورت یک ابزار مفید مورد توجه قرار گرفته است.

سرفصل درس:

- مروری بر تعریف گرانروی، گرانروی گازها و مایعات، سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی و جریان‌های آرام و متلاطم
- موازنه انرژی مکانیکی در جریان سیال (معادله برنولی) و کاربردهای آن در فرآیندهای متالورژیکی
- معادلات پیوستگی و مومنتم و حل معادلات برای فرآیندهای جریان سیال و کاربرد معادلات ناویر-استوکس
- مروری بر مکانیزم‌های انتقال حرارت (هدایت- جابجایی- تشعشع)
- هدایت حرارتی در حالت پایدار و ناپایدار
- جابجایی اجباری و طبیعی
- معادله کلی انرژی و حل معادله برای مسائل مختلف انتقال حرارت
- انتقال حرارت به روش تشعشع
- مقدمه‌ای بر حل عددی معادلات دیفرانسیل انتقال

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D.R. Poirier and G.H. Geiger, (2016). *Transport Phenomena in Materials Processing*, Springer.
2. D.R. Gaskell, (2012). *An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering*, Second Edition, Springer, Momentum Pres.
3. R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot and D.J. Klingenberg, (2015). *Introductory Transport Phenomena*, John Wiley & Sons.
4. J.R. Welty, C.E. Wicks, R.E. Wilson and G.L. Rorrer, (2008). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*, 5th Edition, John Wiley & Sons.
5. J. Szekley and N.J Thermelis, (1971). *Rate Phenomena in Process Metallurgy*, John Wiley & Sons.
6. S. Kou, (2015). *Transport Phenomena and Materials Processing*, Wiley India.

عنوان درس: **موازنه جرم و انرژی در تولید فلزات**				
عنوان درس به انگلیسی: Mass and Energy Balance in Metals Production				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۳	تعداد ساعت: ۴۸	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی الکترومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

کاربرد موازنه جرم و انرژی در فرآیندهای تولید و تصفیه فلزات

سرفصل درس:

- سوخت:
  - بررسی انواع سوخت‌ها
  - ترکیب سوخت (نمونه برداری و نحوه آنالیز)، ناخالصی‌های سوخت
  - بررسی رابطه بین کربن، اکسیژن، مواد فرار و ارزش حرارتی
  - محاسبات احتراق: سوختن ناقص و کامل، منابع نیتروژن، هوای مورد نیاز و هوای اضافی،جریان گازهای خروجی، دمای شعله
  - محاسبات مربوط به تولید کک
- موازنه جرم و انرژی در فرآیندهای پیرومتالورژیکی
  - شارژ کوره (کنسانتره، کمک ذوب، سوخت و ...)
  - خشک کردن، تکلیس و تشویه
  - کوره بلند آهن: بررسی تعادل بار کوره، احیاء اکسیدها، محاسبه مصرف کک، حداکثر دمای تئوری کوره، بازده حرارتی کوره بلند، تاثیر استفاده از هوای غنی از اکسیژن، محاسبه گازهای تولیدی و کاربرد آن‌ها
  - فولادسازی
  - تشویه کنسانتره سرب، تولید سرب به روش احیاء و تصفیه سرب خام
  - تشویه کنسانتره مس، گدازش مات مس و تبدیل آن به مس خام
  - تشویه کنسانتره روی، احیای کربوترمی اکسید روی و تصفیه روی با فرآیند تقطیر
- موازنه جرم و انرژی در فرآیندهای هیدرومتالورژیکی
  - لیچینگ روی
  - لیچینگ طلا و نقره

- تولید آلومینا
- رسوب‌دهی فلزات از محلول‌های آبی

- موازنه جرم و انرژی در فرآیندهای الکترولیتی
  - تولید الکترولیتی
    - تولید مس از محلول‌های لیچینگ
    - تولید روی از محلول‌های لیچینگ
    - تولید آلومینیوم از نمک‌های مذاب
  - تصفیه الکترولیتی
    - محاسبات مربوط به تصفیه مس خام

فهرست منابع پیشنهادی:

1. A.E. Morris, G.H. Geiger and H.A. Fine, (2011). *Handbook on Material and Energy Balance Calculations in Material Processing*, 3rd Edition, John Wiley & Sons.
2. M.A. Schlesinger, (1996). *Mass and Energy Balances in Materials Engineering*, Prentice Hall.
3. A. Vignes, (2013). *Extractive Metallurgy*, Vol. 1-3, Wiley.
4. M. Free, (2013). *Hydrometallurgy: Fundamentals and Applications*, Wiley.
5. S.K. Dutta, A.B. Lele and Y.B. Chokshi, (2018). *Extractive Metallurgy: Processes and Applications*, PHI Learning Pvt. Ltd.
6. Y.K. Rao, (2009). *Stoichiometry and Thermodynamics of Metallurgical Processes*, Cambridge University Press.
7. F. Wilfrid and M.C. Peters, (2013). *Fuels and Fuel Technology: A Summarized Manual*, 2nd Edition, Elsevier Science.
8. O.P. Gupta, (2002). *Elements of Fuels, Furnaces and Refractories*, Khanna Publ.
9. A. Butts, (2008). *Metallurgical Problems*, Johnston Press.
10. A. Gosh and A. Chatterjee, (2008). *Iron Making and Steel Making: Theory and Practice*, PHI Learning Pvt. Ltd.
11. M.E. Schlesinger, M.J. King, K.C. Sole and W.G. Davenport, (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*, 5th Edition, Elsevier.

عنوان درس به فارسی: **استخراج فلزات نادر**				
عنوان درس به انگلیسی: Extraction of Rare Metals				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی الکترومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

در این درس دانشجو با فرآیندهای استخراج تعدادی از فلزات نادر آشنا می‌شود و با تدوین و ارائه یک سمینار در ارتباط با یک یا چند مبحث درس، با موارد عملی مرتبط با درس نیز تمرین می‌کند.

سرفصل درس:

- تیتانیوم: مواد اولیه، روش‌های تولید روتیل مصنوعی، روش‌های سورل، وسترن، مورفیور، کلرین، تولید فلز تیتانیوم، تولید تتراکلرید تیتانیوم، روش کرول، هانتر، کاربرد و آلیاژهای آن.
- تنگستن: مواد اولیه، تولید ترکیب واسطه آمونیوم پاراتنگستات، حل کردن اسیدی، حل کردن با سود تحت فشار، حل کردن قلیایی با کنسانتره زینتر شده، روش‌های تصفیه، ترکیب واسطه، تولید اکسید تنگستن، تولید پودر تنگستن، تولید کاربید تنگستن، کاربردها و آلیاژهای آن.
- مولیبدن: مواد اولیه، تولید اکسید مولیبدن، تشویه، تشویه معلق، ساکن و سایر روش‌ها، تصفیه مواد تشویه شده، تولید اکسید مولیبدن از مولیبدات، حل کردن با سود، تولید پودر مولیبدن، کاربرد و آلیاژهای آن.
- زیرکونیوم و هافینوم: مواد اولیه، تولید تتراکلرید زیرکونیم و هافینوم، روش سولنت، تولید فلز زیرکونیم و هافینوم، کاربرد و آلیاژهای آن.
- نیوبیوم و تانتالم: مواد اولیه، حل کردن، روش قلیایی، روش اسیدی، روش کلریدی، جدا سازی و تولید فلز، روش اگزوترمیک، روش کربوترمیک، روش سدیم ترمیک، کاربرد و آلیاژهای آن.
- اورانیم: منابع و کانسارها، حل سازی اسیدی، فرآیندهای IX, SX برای اورانیم، تهیه کیک زرد، روش تبدیل و تولید UO_2 خالص، احیا با هیدروژن، تغلیظ اورانیم ۲۳۵ ، دیفوزیون گازی، تولید اورانیم فلزی، کاربردهای اورا نیم.
- روش‌های تولید فلزات نادر دیگر نظیر رنیم، ژرمانیم، سلنیم، تلوریم، پلاتینم، آنتیموان و بیسموت.
- بررسی مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید فلزات نادر

فهرست منابع پیشنهادی:

1. F. Habashi, (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, Vol. II & III, VCH.

2. N.R. Neelameggham, S. Alam, H. Oosterhof, A. Jha, D. Dreisinger, S. Wang, (2015). *Rare Metal Technology*, The Minerals, Metals & Materials Society.
3. C.K. Gupta and N. Krishnamurthy, (2004). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, CRC Press.
4. A. Vignes, (2011). *Extractive Metallurgy*, Vol. 1-3, John Wiley & Sons.

عنوان درس به فارسی: **طرح و کنترل پیشرفته فرآیندهای متالورژی**			
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Design and Control of Metallurgical Processes			
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات		
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲
دروس هم نیاز	ندارد		
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال		
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار		

اهداف کلی درس:

ایجاد توانایی طراحی یک فرایند متالورژی در دانشجو، به گونه‌ای که از جنبه‌های مختلف شرایط بهینه حاصل شود و در عمل نیز ممکن و قابل اجرا باشد.

سرفصل درس:

- طراحی فرآیندهای مواد برای حالت ثبات
- کاربرد اصول بهینه‌سازی در فرآیندهای مختلف
- کنترل فرآیندها در حالت ثبات
- طراحی کنترل کننده‌ها و المان‌های کنترل نهایی از نوع مناسب
- مدل‌سازی دینامیک برای سیستم‌های چند متغیره
- کاربرد مدل‌های تقریبی برای سیستم‌های دینامیک
- جواب‌گذاری سیستم‌های کنترل
- خطی کردن مدل‌های غیرخطی
- تحلیل شرایط پایداری و ناپایداری سیستم‌ها
- کنترل سیستم‌ها به کمک رایانه

فهرست منابع پیشنهادی:

1. J.P. Corriou, (2018). *Process Control: Theory and Applications*, Springer.
2. E.H. Partelpoeg and D.C. Himmesoete, (1989). *Process Control and Automation in Extractive Metallurgy*, TMS.
3. D.R. Coughanowr and S.E. LeBlanc, (2013). *Process Systems Analysis and Control*, 3rd Edition, MC Graw Hill India.
4. D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp and F.J., Doyle III, (2010). *Process Dynamics and Control*, 4th Edition, Willy.

عنوان درس به فارسی: **زیست فناوری در مهندسی مواد**				
عنوان درس به انگلیسی: Biotechnology in Materials Engineering				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای هیدرومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

هدف از این درس آشنایی دانشجویان با اصول و کاربرد زیست فناوری در مهندسی مواد است که برای تولید، تغییر کیفیت، اقتصادی کردن، بهینه‌سازی، حل کردن مواد معدنی و بازیابی فلزات استفاده می‌شود.

سرفصل درس:

- مقدمه‌ای بر میکروارگانیسم‌ها و کاربردهای آن
- انواع میکروارگانیسم‌ها در متالورژی (باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و جلبک‌ها)
- مقایسه میکروارگانیسم‌ها (سینتیک، عملکرد، تحمل و ...)
- اسیدهای تولیدی توسط میکروارگانیسم‌ها شامل اسیدهای معدنی و اسیدهای آلی (اسید سیتریک، اسید اگزالیک، اسید گلوکونیک، اسید مالیک و اسیدهای دیگر)
- انحلال زیستی (بایولیچینگ) در صنعت
- سینتیک و ترمودینامیک، مدل‌های کنترل کننده، راکتورها، روش‌های مختلف تماس (هیپ، درجا، ستونی و ...)، کنترل فرایند و محدودیت‌ها
- روش‌های آنالیز و شمارش میکروارگانیسم‌ها

فهرست منابع پیشنهادی:

1. J. Villadsen, (2016). *Fundamental Bioengineering*, John Wiley & Sons.
2. J.S. Tkacz, and L. Lange, (2004). *Advances in Fungal Biotechnology for Industry, Agriculture, and Medicine*. Springer Science & Business Media.
3. G.M. Gadd, (2006). *Fungi in Biogeochemical Cycles*, Vol. 24, Cambridge University Press.
4. K. Kavanagh, (2011). *Fungi: Biology and Applications*, John Wiley & Sons.
5. L. Murr, (2012) *Metallurgical Applications of Bacterial Leaching and Related Microbiological Phenomena*, Elsevier.
6. S.K. Kawatra and K.A. Natarajan, (2001). *Mineral Biotechnology: Microbial Aspects of Mineral Beneficiation, Metal Extraction, and Environmental Control*, SME.

عنوان درس به فارسی: **تولید و مصرف آهن اسفنجی**				
عنوان درس به انگلیسی: Production and Consumption of Sponge Iron				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	تئوری فرآیندهای پیرومتالورژی			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار	سفر علمی		

اهداف کلی درس:

آشنایی با مباحث مربوط به تولید و مصرف آهن اسفنجی

سرفصل درس:

- مروری بر تئوری تولید گندله و تشریح روش‌های مختلف تولید گندله
- تئوری تولید گازهای احیاکننده و انجام محاسبات مربوط به روش‌های میدرکس پورفر، هیل ...
- بررسی افزایش کربن آهن اسفنجی در روش‌های مختلف احیا ضمن تولید
- تئوری اکسایش آهن اسفنجی تحت شرایط مختلف و روش‌های عملی جلوگیری از اکسایش مجدد آهن اسفنجی قبل از مصرف
- مقایسه فنی و روش‌های مختلف تولید آهن اسفنجی متداول در ایران
- تئوری ذوب آهن اسفنجی
- محاسبه کربن‌دهی به مذاب یا جذب کردن از مذاب به‌وسیله تغذیه آهن اسفنجی
- پیش‌گرم کردن آهن اسفنجی و بررسی امکانات عملی آن برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی برق
- بررسی جزئیات فنی ذوب آهن اسفنجی در کوره‌های قوس الکتریکی (روشهای مختلف شارژ آهن اسفنجی، کمک‌ذوب‌ها، اکسیژن، مصرف الکترود، مصرف برق، مصرف دیرگداز، بازده کوره و ...)
- مصرف آهن اسفنجی در پاتیل‌های گرم شونده فولاد (متالورژی ثانویه)
- تئوری ذوب‌آهن اسفنجی در کنورتور، بررسی جزئیات فنی مصرف آهن اسفنجی در کنورتور (نحوه شارژ مداوم آهن اسفنجی، مصرف دیرگداز و ...)
- مختصری در مورد امکانات مصرف آهن اسفنجی در کوره بلند، محاسن و معایب آن
- جزئیات فنی نحوه مصرف آهن اسفنجی در کوره‌های القایی برای تولید انواع خاص چدن با خواص معین و انواع فولاد، محاسن و معایب فنی و اقتصادی کاربرد آهن اسفنجی در کوره‌های القایی، جزئیات فنی و نحوه مصرف آهن اسفنجی در کوره‌های کوپل، محاسن و معایب کاربرد آن در کوره کوپل.

فهرست منابع پیشنهادی:

۱. ن. توحیدی، (۱۳۸۲). احیای مستقیم: فناوری تولید آهن اسفنجی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

2. A. Chatterjee, (2012). *Sponge Iron Production by Direct Reduction of Iron Oxide*, 2nd

Edition, PHI Learning Pvt. Ltd.
3. A. Sarangi and B. Sarangi, (2011). *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*, PHI Learning Pvt. Ltd.
4. K.K. Prasad and H. S. Ray, (2008). *Advances in Rotary Kiln Sponge Iron Plant*, New Age International Limited.

عنوان درس به فارسی: **مواد انرژی‌های تجدیدپذیر**				
عنوان درس به انگلیسی: Renewable Energy Materials				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ندارد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

آشنایی با فعالیتهای متخصصین مهندسی مواد در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر.

سرفصل درس:

- اهمیت موضوع انرژی، انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و فناوریهای مرتبط، مواد مهندسی مورد نیاز در این فناوری
- مواد پیشرفته در پیل‌های سوختی اکسید جامد و پلیمری، مواد با ساختارهای فلورایتی هدایت یونی، عیوب ساختاری، جای خالی و مکانیزم‌های افزایش هدایت یونی
- انتخاب دوپنت مناسب بر اساس والانس و شعاع یونی در ساختار فلورایتی، تغییر ساختار کریستالی و پایدارسازی، پیر شدن، مرز دانه، دوپینگ دوگانه، روش فراوری
- هدایت الکتریکی در ساختارهای فلورایتی و مکانیزم افزایش آن، هدایت یونی و الکتریکی به‌صورت همزمان
- مواد با ساختارهای پروسکایتی، قابلیت هدایت یون اکسیژن، تغییرات ساختار کریستالی و محاسبه ساختار پایدار، عیوب ساختاری، جای‌خالی و مکانیزم‌های افزایش هدایت یونی، انتخاب دوپنت مناسب، دوپینگ در مکان A و B، اهمیت لانتانم گالایت‌ها
- هدایت الکتریکی در ساختارهای پروسکایتی، مکانیزم افزایش هدایت الکتریکی، بررسی لانتانم منگنایت‌ها، تأثیر فشار جزئی هیدروژن، اکسیژن ترانسپورت، اکتیواسیون لانتانم منگنایت‌ها، سمی شدن لانتانم منگنایت‌ها، کاتالیست‌های هوشمند پروسکایتی
- پروسکایت‌های هادی پروتون، مکانیزم‌های هدایت پروتون، بررسی باریم زیرکونایت‌ها
- پلیمرهای هادی پروتون در دمای محیط، مکانیزم ایجاد و افزایش هدایت یونی، بررسی سولفونیتد فلورو پلیمرها
- نانومواد و نانو ساختارها در پیل‌های سوختی، مکانیزم‌های بهبود دهنده
- باتریهای اولیه و ثانویه، باتریهای لیتیمی، Lithium Intercalation در ساختارهای کربنی و ساختارهای لایه‌ای لیتیم کبالت، الکترولیت‌های لیتیمی و حلال‌ها، جداساز(separator)های پلیمری
- ذخیره‌سازی هیدروژن، خودروهای هیدروژنی، هیدریدهای فلزی، مواد کربنی، مکانیزم‌های

ذخیره‌سازی

- تولید هیدروژن، غشاهای فلزی خالص‌سازی هیدروژن، مکانیزم تراوش هیدروژن، دیاگرام فازی پاالدیم-هیدروژن، آلیاژهای پالادیم

فهرست منابع پیشنهادی:

1. D.W. Bruce, D. O'Hare and R.I. Walton, (2011). *Energy Materials*, Wiley.
2. T. Ishihara, (2009). *Perovskite Oxide for Solid Oxide Fuel Cells*, Springer, Boston.
3. P. Granger, V.I. Parvulescu and W. Prellier, (2016). *Perovskites and Related Mixed Oxides*, Wiley-VCH Verlag.
4. X. Yuan, H. Liu and J. Zhang, (2011). *Lithium-Ion Batteries: Advanced Materials and Technologies*, CRC Press.
5. D.P. Broom, (2011). *Hydrogen Storage Materials: The Characterisation of Their Storage Properties*, Springer.
6. K.V. Peinemann and S.P. Nunes, (2008). *Membranes for Energy Conversion*, WileyVCH Verlag.

عنوان درس به فارسی: **شیمی فیزیک دمای بالا**				
عنوان درس به انگلیسی: Physical Chemistry of High Temperature				
مقطع: کارشناسی ارشد	گرایش: استخراج فلزات			
نوع درس: تخصصی اختیاری	نوع واحد: نظری	تعداد واحد: ۲	تعداد ساعت: ۳۲	
دروس هم نیاز	ترمودینامیک پیشرفته مواد			
ارزیابی	فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال آزمون پایان نیم‌سال			
نوع آموزش تکمیلی مورد نیاز	سمینار			

اهداف کلی درس:

هدف از این درس آشنایی با مباحث شیمی فیزیک فرآیندهای متالورژیکی در دمای بالا می‌باشد.

سرفصل درس:

- یادآوری مبانی و مدل‌های مربوط به محلول‌ها
- بررسی ترمودینامیکی مذاب‌های فلزی
- بررسی ترمودینامیکی سرباره‌ها
- بررسی ترمودینامکی نمک‌ها و دیگر مذاب‌های متالورژیکی
- محاسبات ترمودینامیکی در سیستم‌های ناهمگن در مهندسی مواد
- سینتیک فرآیندهای ناهمگن
- بررسی سینتیکی انواع فرآیندهای ناهمگن: جامد–گاز، مذاب–گاز، مذاب-مذاب
- بررسی ترمودینامیکی و سینتیکی فرآیندهای مختلف در مهندسی مواد

فهرست منابع پیشنهادی:

1. E.T. Turkdogan, (1980). *Physical Chemistry of High Temperature Technology*, Academic Press.
2. F.D. Richardson, (1974). *Physical Chemistry of Melts in Metallurgy*, Academic Press.
3. N. Sano, W.K. Lu, P.V. Riboud and M. Maeda, (1997). *Advanced Physical Chemistry for Process Metallurgy*, Academic Press.
4. T.A. Engh, (1992). *Principles of Metal Refining*, Oxford University Press.
5. K. Mukai, T. Matsushita, (2020). *Interfacial Physical Chemistry of High-Temperature Melts*, CRC Press.