
موازنه جرم در سیستم‌های فرآوری مواد

ویرایش دوم

تألیف:

دکتر صمد بنیسی

استاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

مهندس محمد رضا یاراحمدی



نام کتاب:..... موازنه جرم در سیستم‌های فرآوری مواد
مؤلفان:..... صمد بنیسی، محمدرضا یاراحمدی
ناشر:..... دانشگاه هرمزگان
ویراستار:..... مصطفی مالکی مقدم
صفحه آرا:..... غلامعباس پارساپور
حروفچین:..... احسان ارغوانی

پیش‌گفتار

صنعت فرآوری مواد معدنی، مانند اکثر رشته‌های مهندسی، در چند دهه ی اخیر شاهد تحولات زیادی در زمینه استفاده از تجهیزات الکترونیکی جهت پایش و کنترل عملیات بوده است. به کارگیری روش‌های مختلف کنترل در کارخانه‌ها، در گرو دسترسی به وسایل اندازه‌گیر (حس‌گر) و داده‌های صحیح از شرایط عملیات است. مدل‌های ریاضی که وظیفه‌ی پیش‌بینی نحوه‌ی کار واحدهای مختلف را بر عهده دارند و اساس شیوه‌های مختلف کنترل را تشکیل می‌دهند، نیازمند داده‌های معتبر و عاری از خطا می‌باشند.

در صنعت فرآوری مواد معدنی، که در آن از مدارهای مختلف خردایش و جدایش برای تهیه محصول نهایی باارزش استفاده می‌شود، اندازه‌گیری بعضی از خصوصیات مانند نرخ جریان خیلی مشکل و یا غیر ممکن است. دلیل این امر عمدتاً به عدم دسترسی آسان به محل جریان‌ها، مشکل نمونه‌برداری و هزینه‌های تجهیزات لازم جهت اندازه‌گیری مربوط می‌شود. مهم‌ترین و اساسی‌ترین خصوصیت داده‌های بدست آمده از مدارهای فرآوری مواد، موازنه بودن آنها است. به دلیل وجود خطا در نمونه‌برداری، عدم پایایی سیستم در زمان نمونه‌برداری و خطا در آنالیزهای شیمیایی، داده‌های خام حاصل از کارخانه‌ها موازنه نیستند. از آنجایی که تمام مدل‌های ریاضی مورد استفاده در کنترل فرآیندها، در ورودی خود نیاز به

داده های موازنه شده دارند، این مبحث در صنعت فرآوری مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در کشور ما به دلیل نوپا بودن رشته‌ی فرآوری، در مقایسه با رشته های دیگر مهندسی، این زمینه مورد توجه شایسته قرار نگرفته است.

کتاب حاضر تلاشی در جهت پر کردن خلأ موجود در این زمینه و فراهم آوردن بستر مناسبی برای به کارگیری این مفاهیم در صنایع مختلف می باشد. در تهیه‌ی مطالب این کتاب، علاوه بر تجربه‌ی تهیه نرم افزاری در این زمینه (موازن)، که در نوع خود جزء معدود نرم افزارهای موجود دنیاست، از کارهای انجام شده در کشورهای مختلف نیز بهره گرفته شده است. فهرست منابع آخر هر فصل گواهی بر این مدعاست.

این کتاب در هشت فصل تنظیم شده که با معرفی مفاهیم اولیه شروع و با نحوه‌ی به کارگیری آن در حل مسایل مختلف ختم می‌شود. در پیوست نیز مثال های عملی از مدارهای فرآوری کارخانه‌های مختلف، که با استفاده از نرم افزار موازن حل شده، آورده شده است.

از مدیران محترم و کارکنان زحمتکش شرکت ملی صنایع مس ایران، شرکت معادن ذغال سنگ کرمان و شرکت معدنی و صنعتی گل گهر که زمینه‌ی مناسبی را جهت انجام این کار فراهم نموده و نقش بسزایی در روند پیشرفت کار داشته‌اند، تقدیر و تشکر می‌گردد. از دانشجویان دانشگاه شهید باهنر کرمان و از انتشارات دانشگاه هرمزگان، بخصوص سرکار خانم سمیعی که در نشر این کتاب زحمات فراوان متحمل شدند، قدردانی می‌شود.

از آن جایی که کامل شدن هر کاری در گرو رفع عیوب آن و به کارگیری پیشنهادات سازنده است، لذا ارسال هرگونه نظر اصلاحی از طرف خوانندگان به آدرس banisi@mail.uk.ac.ir موجب امتنان خواهد بود. در خاتمه امید است که خداوند متعال این کار ناچیز را به عنوان باقیات الصالحات قبول نموده و ره توشه آخرت ما قرار دهد.

صمد بنیسی

محمد رضا یاراحمدی

فهرست مطالب

فصل اول: مفاهیم اولیه موازنه جرم

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- تعریف موازنه جرم ۴
- ۳-۱- فرمول دو محصولی ۵
- ۴-۱- فرمول سه محصولی ۹
- ۵-۱- استفاده از اطلاعات تجزیه سرنندی در موازنه جرم ۱۰
- ۶-۱- استفاده از نسبت رقت در موازنه جرم ۱۴
- ۷-۱- استفاده از اطلاعات عیار طبقات در موازنه جرم ۲۰
- ۸-۱- منابع ۲۲

فصل دوم: موازنه جرم و حداقل نمونه برداری

- ۱-۲- مقدمه ۲۴
- ۲-۲- موازنه جرم و حداقل نمونه لازم ۲۵
- ۳-۲- موازنه جرم مرحله به مرحله ۳۶
- ۴-۲- جداکننده‌های چند محصولی و فرمول اشمیت ۴۴
- ۵-۲- نمونه برداری از محل‌های مناسب ۴۶
- ۱-۵-۲- شرایط لازم برای موازنه جرم ۵۰
- ۲-۵-۲- آزمون استقلال جریان‌ها ۵۱
- ۳-۵-۲- نمونه برداری مناسب و استقلال معادلات بقای جرم ۵۵
- ۴-۵-۲- آزمون مناسب بودن جریان‌ها ۶۰
- ۶-۲- منابع ۷۱

فصل سوم: موازنه جرم مدارهای ساده

۷۳	۱-۳- مقدمه.....
۷۳	۲-۳- مفهوم داده‌های اضافی.....
۷۶	۳-۳- تخمین نرخ‌های جریان و تصحیح داده‌ها.....
۷۷	۴-۳- کمینه سازی مجموع مربعات.....
۷۷	۱-۴-۳- کمینه‌سازی مجموع مربعات باقیمانده‌ها.....
۸۱	۲-۴-۳- کمینه‌سازی مجموع مربعات تصحیح‌ها.....
۸۵	۵-۳- تأثیر خطای سنجش داده‌ها در محاسبات موازنه جرم.....
۸۵	۱-۵-۳- تأثیر خطاها در تصحیح داده‌ها.....
۸۶	۲-۵-۳- تأثیر خطاها در محاسبه نرخ‌های جریان.....
۸۷	۱-۲-۵-۳- وزنه گذاری مجموع مربعات باقیمانده‌ها.....
۸۷	۲-۲-۵-۳- وزنه گذاری مجموع مربعات مقادیر تصحیح.....
۹۰	۶-۳- محاسبه‌ی نرخ‌های جریان از طریق متوسط گیری و رگرسیون خطی.....
۹۰	۱-۶-۳- تخمین نرخ‌های جریان از طریق متوسط گیری.....
۹۵	۲-۶-۳- تخمین نرخ‌های جریان از طریق رگرسیون خطی.....
۹۶	۱-۲-۶-۳- رگرسیون خطی F-V بر حسب U-V.....
۹۷	۲-۲-۶-۳- رگرسیون خطی U-V بر حسب F-V.....
۱۰۰	۷-۳- منابع.....

فصل چهارم: موازنه جرم مدارهای پیچیده

۱۰۲	۱-۴- مقدمه.....
۱۰۳	۲-۴- طبقه بندی داده‌ها.....
۱۰۵	۳-۴- فرضیات روش کمینه‌سازی مجموع مربعات.....
۱۰۵	۴-۴- شبکه‌های جریان.....
۱۱۱	۵-۴- معرفی علایم و نشانه‌ها.....
۱۱۷	۶-۴- شکل ماتریسی معادلات بقای جرم.....
۱۱۷	۱-۶-۴- معادلات بقای جرم جامد و آب.....
۱۱۸	۲-۶-۴- معادلات بقای جرم اجزاء سطح ۳.....
۱۱۹	۳-۶-۴- معادلات بقای جرم اجزاء سطح ۴.....

۱۲۱.....	۷-۴- روش حل مسئله‌ی موازنه جرم.....
۱۲۳.....	۴-۷-۱- افزایش مسئله‌ی کمینه‌سازی.....
۱۲۴.....	۴-۷-۱-۱- افزایش معیار کمینه‌سازی.....
۱۲۵.....	۴-۷-۱-۲- افزایش الگوریتم کمینه‌ساز.....
۱۲۷.....	۴-۸- تخمین متغیرهای مجهول و تصحیح متغیرهای اندازه‌گیری شده.....
۱۲۷.....	۴-۸-۱- کمینه‌سازی تابع درجه دوم تحت معادلات قید خطی.....
۱۲۸.....	۴-۸-۲- تخمین متغیرهای سطح ۳.....
۱۲۹.....	۴-۸-۲-۱- آنالیز غیر کامل اجزاء سطح ۳.....
۱۳۰.....	۴-۸-۲-۲- آنالیز کامل اجزاء سطح ۳.....
۱۳۱.....	۴-۸-۳- تخمین متغیرهای سطح ۴.....
۱۳۱.....	۴-۸-۳-۱- آنالیز غیر کامل اجزاء سطح ۴.....
۱۳۱.....	۴-۸-۳-۲- آنالیز کامل اجزاء سطح ۴.....
۱۳۲.....	۴-۸-۴- تخمین نرخ‌های آب.....
۱۳۲.....	۴-۸-۵- تخمین نرخ خوراک مدار.....
۱۳۳.....	۴-۸-۶- تخمین نرخ‌های جامد نسبی.....
۱۳۸.....	۴-۸-۷- کمینه‌سازی مجموع مربعات باقیمانده‌ها.....
۱۴۴.....	۴-۹- منابع.....

فصل پنجم: موازنه جرم عیار طبقات

۱۴۷.....	۵-۱- مقدمه.....
۱۴۸.....	۵-۲- انتخاب شمای عملیات.....
۱۵۰.....	۵-۳- تهیه‌ی داده‌ها.....
۱۵۵.....	۵-۴- موازنه‌ی داده‌ها.....
۱۵۷.....	۵-۴-۱- تخمین متغیرها در مدار فاقد آسیا.....
۱۵۹.....	۵-۴-۱-۱- تخمین متغیرهای سیکلوسایزر.....
۱۶۱.....	۵-۴-۱-۲- تخمین متغیرهای تجزیه‌سرنندی و عیار کلی.....
۱۶۳.....	۵-۴-۳- روند نمای کلی تخمین متغیرها.....
۱۶۵.....	۵-۴-۴- تخمین متغیرها در مدار بستی نرم کنی.....
۱۶۵.....	۵-۴-۴-۱- تخمین متغیرهای سیکلوسایزر.....
۱۶۵.....	۵-۴-۴-۲- تخمین متغیرهای عیار کلی و تجزیه‌سرنندی.....

۱۶۸.....۵-۵- منابع

فصل ششم: بررسی اعتبار نتایج موازنه جرم

۱۷۰.....	۱-۶- مقدمه
۱۷۱.....	۲-۶- اعتبار نتایج فرمول دو محصولی
۱۷۴.....	۳-۶- مروری بر حل کمترین مربعات موازنه جرم
۱۷۶.....	۱-۳-۶- حل کمترین مربعات تصحیح‌ها
۱۷۶.....	۲-۳-۶- حل کمترین مربعات باقیمانده‌ها
۱۷۷.....	۴-۶- اعتبار نتایج موازنه جرم مدارهای مرکب
۱۷۹.....	۱-۴-۶- اعتبار نتایج روش کمترین مربعات مقادیر تصحیح
۱۸۱.....	۲-۴-۶- اعتبار نتایج روش کمترین مربعات باقیمانده‌ها
۱۸۲.....	۵-۶- عوامل موثر بر اعتبار نتایج موازنه جرم
۱۸۳.....	۱-۵-۶- تأثیر خطای اندازه‌گیری اجزاء
۱۸۴.....	۲-۵-۶- تأثیر نسبت عیار محصولات
۱۸۶.....	۳-۵-۶- تأثیر تعداد اجزاء آنالیز شده
۱۸۷.....	۴-۵-۶- تأثیر رفتار اجزاء
۱۸۸.....	۶-۶- موارد کاربرد آنالیز حساسیت
۱۸۸.....	۱-۶-۶- بهبود استراتژی جمع‌آوری داده
۱۸۹.....	۲-۶-۶- کشف داده‌های پرت و ارزیابی مدل خطا
۱۹۱.....	۷-۶- نمونه‌ای عملی از کاربرد آنالیز حساسیت
۲۰۲.....	۸-۶- منابع

فصل هفتم: مروری بر بهینه‌سازی عددی

۲۰۵.....	۱-۷- مقدمه
۲۰۷.....	۲-۷- بهینه‌سازی نامقید (UNRESTRICTED OPTIMIZATION)
۲۱۶.....	۳-۷- تعمیم روش رزنبرک به N بعد
۲۱۷.....	۴-۷- بهینه‌سازی مقید (RESTRICTED OPTIMIZATION)
۲۲۰.....	۵-۷- منابع

فصل هشتم: شناسایی و تخمین خطاهای سیستماتیک

۲۲۲	۱-۸- مقدمه.....
۲۲۳	۲-۸- کشف خطای سیستماتیک.....
۲۲۷	۳-۸- تعیین منبع خطای سیستماتیک.....
۲۲۸	۱-۳-۸- روش حذف ترتیبی.....
۲۳۳	۴-۸- تخمین خطاهای سیستماتیک.....
۲۳۳	۱-۴-۸- تخمین خطاهای اریب.....
۲۳۷	۲-۴-۸- تخمین خطاهای نشتی.....
۲۳۷	۳-۴-۸- تخمین خطاهای نشتی و اریب.....
۲۳۸	۵-۸- منابع.....

پیوست: حل چند مسئله موازنه جرم با نرم افزار موازن

۲۴۰	مقدمه.....
۲۶۱	منابع.....