



فرآوری مواد معدنی

(طراحی - اجرا)

تالیف : آشوک گوپتا - دنیس یان

ترجمہ :

دکتر علی امامعلی پور دکتر نصرت حیدری
مهندس عباس رکاب طلایی

گویتا، آشوک

فرآوری مواد معدنی (طراحی - اجرا) / نوشته آشوک گویتا، دنیس یان، مترجمین علی امامعلی پور و نصرت حیدری و عباس رکاب طلایی. - ارومیه: انتشارات دانشگاه ارومیه: ۱۳۹۰.

۱۰۴۰ ص. :مصور،. - (انتشارات دانشگاه ارومیه: ۱۱۲)

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۶۴۸-۰۰-۴

عنوان اصلی: Mineral processing (design and operation)

۱. سنگ معدن - آماده سازی. ۲. سنگ معدن - رده بندی. الف. یان، دنیس. نویسنده
همکار. ب. امامعلی پور، علی، مترجم. ب. حیدری، نصرت، مترجم همکار. ج.
رکاب طلایی، عباس، مترجم همکار د. عنوان. ه. فروست TP، ۲۴۵/۲۵، ۶الف ۲/۱۳۹۰

عنوان: فرآوری مواد معدنی (طراحی - اجرا)

ویراستاران: آشوک گویتا، دنیس یان

مترجمین: مترجمین علی امامعلی پور و نصرت حیدری و عباس رکاب طلایی

ناشر: انتشارات دانشگاه ارومیه

چاپ: اول

سال نشر: زمستان ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰

قیمت پشت جلد: ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۶۴۸-۰۰-۴

سری انتشارات: ۱۱۲

تلفن تماس انتشارات دانشگاه ارومیه: ۰۴۴۱۲۷۷۹۹۳۰ — آقای پاشازاده

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

پیش گفتار مترجمین الف

پیش گفتار مولفین ج

فصل ۱- نمونه گیری مواد معدنی

۱. مقدمه ۱

۱-۱. واژگان آماری ۱

۱-۱-۱. میانگین ۴

۱-۱-۲. پراکندگی ۶

۱-۱-۳. فواصل اطمینان ۹

۱-۲. ذرات ماده معدنی متفاوت از نظر ابعاد - روش Gy ۱۰

۱-۳. ذرات کانی با دانسیته متفاوت ۱۷

۱-۴. نمونه گیری افزایشی ۱۹

۱-۵. نمونه گیری پیوسته از خطوط ۳۰

۱-۵-۱. کاتر های خطی ۳۰

۱-۵-۲. کاتر قوس دوار ۳۲

۱-۶. نمونه گیری از کانسنگ های فلزات قیمتی ۳۵

۱-۷. نمودار های محاسباتی نمونه گیری ۳۷

۱-۸ - مسائل ۴۱

منابع : ۴۳

فصل ۲- تخمین و توزیع ابعادی ذرات

۲. مقدمه ۴۴

۲-۱. روش های تخمین ابعاد ۴۴

۲-۱-۱. روش میکروسکوپی ۴۶

۲-۱-۲. ابعاد ذره بر حسب حجم و مساحت سطح ۴۸

۲-۱-۳. روش ته نشینی - ته نشینی ثقلی ۵۰

۲-۱-۴. روش ته نشینی - ته نشینی گریز از مرکز ۶۰

۲-۲. توزیع ابعادی ذره.....	۶۲
۲-۲-۱. آنالیز سرنندی.....	۶۲
۲-۲-۲. توزیع لگاریتم - نرمال.....	۶۵
۲-۲-۳. توزیع گودین - شومن.....	۶۵
۲-۲-۴. توزیع روزین - راملر.....	۶۹
۲-۳. ترکیب کردن توزیع های ابعادی.....	۷۴
۲-۴. مسائل.....	۸۱
منابع.....	۸۶

فصل ۳- کاهش ابعاد و انرژی مورد نیاز

۳. مقدمه.....	۸۸
۳-۱. طراحی فرآیندهای کاهش ابعاد.....	۸۹
۳-۲. انرژی برای کاهش ابعاد - اندیس کار.....	۹۲
۳-۳. تخمین اندیس کار برای سنگ شکن ها و آسیاهای خردایشی.....	۹۵
۳-۳-۱. آزمون پاندول باند.....	۹۶
۳-۳-۲. آزمون پاندول جهشی (برگشتی) نارایانان و وایتن.....	۹۸
۳-۳-۳. آزمون خرد کنندگی سقوط وزنه JKMRC.....	۱۰۲
۳-۳-۴. آزمون استاندارد آسیای گلوله ای باند.....	۱۰۴
۳-۳-۵. آزمون استاندارد آسیای میله ای باند.....	۱۰۸
۳-۳-۶. پارامترهای مؤثر بر اندیس کار.....	۱۱۰
۳-۳-۷. اثر ابعاد سرنند آزمایشی روی اندیس کار.....	۱۱۸
۳-۳-۸. روش های تقریبی برای اندیس کار.....	۱۱۹
۳-۳-۹. اندیس کار آمیزه (مخلوط) کانسنگ.....	۱۲۸
۳-۳-۱۰. اندیس کار و سایش.....	۱۳۰
۳-۴. مسائل.....	۱۳۵
منابع :.....	۱۴۳

فصل ۴- سنگ شکن فکی

۴. مقدمه.....	۱۴۶
۴-۱. طراحی سنگ شکن های فکی.....	۱۴۶

۱-۱-۴	ابعاد سنگ شکن و میزان توان	۱۴۹
۲-۱-۴	مدار های سنگ شکن فکی	۱۵۰
۲-۴	عملیات از سنگ شکن فکی	۱۵۲
۱-۲-۴	وظایف عملیاتی	۱۵۲
۳-۴	ظرفیت سنگ شکن فکی	۱۵۵
۱-۳-۴	روش روز و انگلیش	۱۵۷
۲-۳-۴	روش تاگارت	۱۶۳
۳-۳-۴	روش برومان	۱۷۰
۴-۳-۴	روش میشلسون	۱۷۱
۵-۳-۴	مقایسه روش ها	۱۷۲
۴-۴	سرعت بحرانی عملیات	۱۷۲
۵-۴	توان مصرفی	۱۷۵
۱-۵-۴	روش روز و انگلیش	۱۷۷
۲-۵-۴	روش لینچ	۱۸۰
۳-۵-۴	روش آندرسن و ناپیرمون	۱۸۲
۶-۴	مسائل	۱۸۳
منابع :		۱۸۹

فصل ۵- سنگ شکن های مخروطی و ژیراتوری

۵	مقدمه	۱۹۰
۱-۵	طراحی سنگ شکن های ژیراتوری	۱۹۱
۱-۱-۵	سنگ شکن اولیه	۱۹۱
۲-۱-۵	سنگ شکن های مخروطی ثانویه و ثالثیه	۱۹۵
۲-۵	طراحی مدار سنگ شکن ژیراتوری	۱۹۸
۳-۵	عملیات سنگ شکن ژیراتوری	۲۰۰
۱-۳-۵	سرعت گردشی هسته مرکزی	۲۰۱
۴-۵	ظرفیت	۲۰۲
۱-۴-۵	سنگ شکن های ژیراتوری	۲۰۲
۲-۴-۵	برومان	۲۰۴
۳-۴-۵	روز و انگلیش	۲۰۴

۲۰۵	 ۴-۵. سنگ شکن های مخروطی
۲۰۶	 ۵-۵. توان مصرفی
۲۰۸	 ۶-۵. مسائل
۲۱۱	 منابع

فصل ۶- سنگ شکن های استوانه ای

۲۱۲	 ۱-۶. طراحی سنگ شکن های استوانه ای
۲۱۳	 ۱-۱-۶. طراحی و ابعاد سنگ شکن های استوانه ای
۲۱۳	 ۲-۱-۶. طراحی غلطک
۲۱۹	 ۳-۱-۶. طراحی مدار سنگ شکن استوانه ای
۲۱۹	 ۲-۶. عملیات سنگ شکن های استوانه ای
۲۲۱	 ۳-۶. ظرفیت سنگ شکن های استوانه ای
۲۲۲	 ۴-۶. توان مصرفی سنگ شکن های استوانه ای
۲۲۳	 ۵-۶. غلطک های خردایشی با فشار زیاد (HPGR)
۲۲۶	 ۱-۵-۶. طراحی مدار و HPGR
۲۲۶	 ۶-۶. اجرای HPGR
۲۲۶	 ۱-۶-۶. تخمین فشار عملیاتی
۲۲۸	 ۲-۶-۶. تخمین زاویه درگیر شدن
۲۲۹	 ۳-۶-۶. تخمین دهانه غلطک
۲۳۰	 ۴-۶-۶. سرعت غلطک ها
۲۳۱	 ۵-۶-۶. ابعاد خوراک و محصول
۲۳۲	 ۷-۶. ظرفیت سنگ شکن های HPGR
۲۳۴	 ۸-۶. توان مصرفی HPGR
۲۳۶	 ۹-۶. مسائل
۲۳۸	 منابع

فصل ۷- آسیاهای گلوله ای

۲۴۰	 ۷. مقدمه
۲۴۲	 ۱-۷. طراحی آسیاهای لوله ای
۲۴۷	 ۲-۷. عملیات آسیاهای لوله ای گلوله ای

۲۴۸	 ۱-۲-۷. حجم شارژ
۲۵۰	 ۲-۲-۷. ارتفاع شارژ
۲۵۴	 ۳-۲-۷. ابعاد گلوله در شارژ اولیه گلوله
۲۶۴	 ۴-۲-۷. ابعاد گلوله جهت جایگزینی
۲۶۷	 ۵-۲-۷. سایش گلوله
۲۷۱	 ۶-۲-۷. دانسیته حجمی گلوله (چگالی توده ای)
۲۷۲	 ۷-۲-۷. توزیع ابعادی گلوله
۲۷۶	 ۸-۲-۷. دوران آسیا و سرعت بحرانی
۲۸۱	 ۹-۲-۷. شرایط آسیا و شارژ گلوله اولیه
۲۸۳	 ۳-۷. تخمین ظرفیت آسیا
۲۸۸	 ۴-۷. توان مصرفی توسط آسیا - روش های مکانیکی
۲۸۹	 ۱-۴-۷. روش روس و سولیوان
۲۹۰	 ۲-۴-۷. روش نوردبرگ
۲۹۳	 ۳-۴-۷. روش بلانک
۲۹۴	 ۴-۴-۷. روش باند
۳۰۶	 ۵-۴-۷. توان مصرفی آسیا بصورت تئوری
۳۱۴	 ۶-۴-۷. گرداننده الکتریکی آسیاهای گلوله ای
۳۱۵	 ۵-۷. مسائل
۳۱۷	 منابع

فصل ۸ - آسیاهای میله ای

۳۱۹	 ۸. مقدمه
۳۲۰	 ۱-۸. طراحی آسیاهای میله ای
۳۲۲	 ۱-۱-۸. طراحی مدار های آسیای میله ای - آسیای گلوله ای
۳۲۴	 ۲-۸. عملیات آسیاهای میله ای
۳۲۴	 ۱-۲-۸. بار آسیاهای میله ای
۳۲۵	 ۲-۲-۸. طول میله و قطر آن برای شارژ اولیه
۳۲۶	 ۳-۳-۸. قطر میله در هنگام تعویض
۳۲۷	 ۴-۳-۸. ضریب تقلیل در آسیاهای میله ای

۳۲۸	۸-۳-۵. ظرفیت آسیای میله ای
۳۳۱	۸-۴. توان مورد نیاز آسیای میله ای
۳۴۴	۸-۵. محرکه آسیا
۳۴۴	۸-۶. مسائل
۳۱۷	منابع

فصل ۹- آسیاهای خود شکن و نیمه خود شکن

۳۴۹	۹. مقدمه
۳۵۰	۹-۱. طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن
۳۵۴	۹-۱-۱. طراحی مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن
۳۵۹	۹-۲. عملیات آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن
۳۵۹	۹-۲-۱. ابعاد خوراک
۳۶۰	۹-۲-۳. بار آسیا
۳۶۴	۹-۲-۴. سرعت آسیا
۳۶۵	۹-۲-۵. طول مؤثر خردایش آسیا (EGL)
۳۶۵	۹-۲-۶. سایش گلوله
۳۶۶	۹-۳. توان آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن
۳۷۲	۹-۳-۱. توان عادی آسیا (توان نسبی)
۳۷۳	۹-۳-۲. توان خالص و توان بی بار
۳۷۵	۹-۳-۳. توان آسیا ، بار و عملیات آسیا
۳۷۶	۹-۴. انتخاب بین آسیاهای خودشکن و آسیاهای نیمه خودشکن
۳۷۹	۹-۵. مسائل
۳۸۲	منابع

فصل ۱۰- مدل سازی ریاضی برای خردایش

۳۸۴	۱۰. مقدمه
۳۸۶	۱۰-۱. اساس مدل سازی سیستم های خردایش
۳۸۹	۱۰-۱-۱. تخمین تابع شکست
۳۹۶	۱۰-۱-۲. تخمین تابع انتخاب

۳۸۸	۲-۱۰. مدل های ریاضی فرایندهای خردایشی
۳۸۹	۱-۲-۱۰. مدل ماتریسی
۴۰۲	۲-۲-۱۰. مدل سینتیکی
۴۰۵	۳-۱۰. مدل سازی سیستم های سنگ شکنی و آسیا کنی
۴۰۶	۱-۳-۱۰. مدل سازی سنگ شکن های فکی و ژیراتوری
۴۱۴	۲-۳-۱۰. مدل سازی آسیای گلوله ای
۴۲۳	۳-۳-۱۰. مدل سازی آسیاهای میله ای
۴۲۶	۴-۳-۱۰. مدل سازی آسیاهای خودشکن / نیمه خودشکن
۴۳۵	۵-۳-۱۰. غلطک های خردایشی با فشار زیاد (HPGR)
۴۳۵	۶-۳-۱۰. آسیاهای گلوله ای دارای همزن
۴۳۵	۴-۱۰. مسائل
۴۳۹	منابع

فصل ۱۱- سرند کردن

۴۴۲	۱۱. مقدمه
۴۴۲	۱-۱۱. ویژگی های طراحی اساسی در سرند ها
۴۴۲	۱-۱-۱۱. سطح و چشمه ها
۴۵۲	۲-۱-۱۱. انواع سرند ها
۴۵۹	۳-۱-۱۱. ارتعاش و حرکت سرند های مستقیم و قوسی
۴۶۱	۲-۱۱. عملیات سرندهای مستقیم
۴۶۱	۱-۲-۱۱. ملاحظات اساسی
۴۶۵	۲-۲-۱۱. موازنه مواد یک سرند در حال کار
۴۷۰	۳-۲-۱۱. بازده سرند و منحنی ترومپ
۴۷۶	۴-۲-۱۱. عمق بستر
۴۸۰	۳-۱۱. ظرفیت و انتخاب سرند های مستقیم
۴۹۷	۴-۱۱. عملکرد سرند های قوسی
۵۰۰	۱-۴-۱۱. روش سریع برای مشخص کردن ابعاد سرند قوسی
۵۰۱	۵-۱۱. مدل سازی فرآیند سرند کردن
۵۰۱	۱-۵-۱۱. فرآوری دو فرآیندی
۵۲۱	۲-۵-۱۱. مدل سازی سرند های قوسی

۵۲۲	۶-۱۱. مدار های سنگ شکنی و سرند کردن.....
۵۲۳	۵-۱۱. مسائل.....
۵۲۷	منابع.....

فصل ۱۲- طبقه بندی

۵۲۹	۱۲. مقدمه.....
۵۳۰	۱-۱۲. ویژگی های طراحی کلاسیفایر های مکانیکی.....
۵۳۱	۱-۱-۱۲. کلاسیفایر های مار پیچی.....
۵۳۴	۲-۱-۱۲. کلاسیفایر های پارویی.....
۵۳۵	۳-۱-۱۲. کلاسیفایر های مخروطی.....
۵۳۸	۴-۱-۱۲. کلاسیفایر های جامی (کاسه ای).....
۵۳۸	۲-۱۲. طراحی مساحت مخزن کلاسیفایر های مکانیکی.....
۵۴۷	۳-۱۲. ویژگی های طراحی کلاسیفایر های گریز از مرکز.....
۵۴۷	۱-۳-۱۲. کلاسیفایر های هیدروسیکلونی.....
۵۵۲	۴-۱۲. عملیات کلاسیفایر های مکانیکی.....
۵۶۳	۵-۱۲. ظرفیت کلاسیفایر های مکانیکی.....
۵۶۲	۶-۱۲. عملیات کلاسیفایر های گریز از مرکز.....
۵۶۶	۱-۶-۱۲. راندمان جدایش در هیدروسیکلون ها.....
۵۷۵	۲-۶-۱۲. اثر متغیرهای سیکلون روی عملکرد.....
۵۷۸	۷-۱۲. مدل های هیدروسیکلون.....
۵۸۲	۸-۱۲. ظرفیت هیدروسیکلون.....
۵۸۸	۹-۱۲. مدارهای ظرفیت هیدروسیکلون.....
۵۹۱	۱۰-۱۲. مسائل.....
۵۹۹	منابع.....

فصل ۱۳- جدا کردن فاز های جامد از مایع (تیکنر)

۵۹۷	۱۳. مقدمه.....
۵۹۷	۱-۱۳. ویژگی های طراحی تیکنر ها.....
۶۰۲	۲-۱۳. طراحی تیکنر - فرآیند ناپیوسته.....
۶۰۵	۳-۱۳. طراحی تیکنر - تیکنر های پیوسته.....

۶۰۶.....	۱۳-۳-۱. تخمین مساحت سطح مقطع مخزن.....
۶۱۴.....	۱۳-۳-۲. تعیین نقطه بحرانی.....
۶۱۸.....	۱۳-۳-۳. تعیین شار ته نشینی.....
۶۲۷.....	۱۳-۳-۴. روش لوله بلند برای تعیین ابعاد تیکنر.....
۶۲۸.....	۱۳-۳-۵. تخمین ارتفاع (عمق) لایه متراکم یا فشرده شده.....
۶۳۰.....	۱۳-۳-۶. تخمین عمق ناحیه تصفیه (زلال سازی).....
۶۳۱.....	۱۳-۳-۷. تخمین زمان ماند.....
۶۳۷.....	۱۳-۴. عملیات تیکنرها.....
۶۳۹.....	۱۳-۵. تیکنرها در مدار.....
۶۴۱.....	۱۳-۱۰. مسائل.....
۶۴۴.....	منابع.....

فصل ۱۴- جدا کردن فاز های جامد از مایع (فیلتراسیون)

۶۳۶.....	۱۴. مقدمه.....
۶۴۸.....	۱۴-۱. خصوصیات طراحی فیلترها.....
۶۵۲.....	۱۴-۱-۱. فرآیندهای غیر پیوسته فیلتراسیون.....
۶۶۰.....	۱۴-۱-۲. فیلتراسیون پیوسته در خلاء.....
۶۶۹.....	۱۴-۱-۳. درجه بندی طراحی فیلترها.....
۶۷۰.....	۱۴-۲. عملیات فیلترها.....
۶۷۴.....	۱۴-۲-۱. فیلتراسیون با فشار ثابت.....
۶۸۲.....	۱۴-۲-۲. فیلتراسیون با حجم ثابت.....
۶۸۵.....	۱۴-۲-۳. فیلتراسیون با فشار متغیر و دبی متغیر.....
۶۸۹.....	۱۴-۲-۴. تراکم پذیری کیک ته نشین شده.....
۶۹۲.....	۱۴-۲-۵. فیلتراسیون رسوبات تراکم پذیر.....
۶۹۷.....	۱۴-۲-۶. عملکرد بهینه فیلترها.....
۶۹۹.....	۱۴-۳. ظرفیت فیلترهای خلاء پیوسته.....
۷۰۳.....	۱۴-۴. شستشوی کیک ته نشین شده.....
۷۰۴.....	۱۴-۴-۱. مدل سازی جا به جایی در مرحله شستشو.....
۷۰۷.....	۱۴-۴-۲. مدل سازی نفوذ در مرحله شستشو.....
۷۱۰.....	۱۴-۴-۳. بازدهی شستشو.....

۷۱۱	۵-۱۴. خشک کردن کیک ته نشین شده
۷۲۳	۶-۱۴. ضخامت بهینه کیک
۷۲۳	۷-۱۴. واسطه فیلتراسیون
۷۲۴	۸-۱۴. کمک فیلترها
۷۲۶	۹-۱۴. فیلتراسیون در مدارهای کانه آرایی
۷۲۷	۱۰-۱۴. مسائل
۷۳۰	منابع

فصل ۱۵- جدایش ثقلی

۷۳۳	۱۵. مقدمه
۷۳۵	۱-۱۵. سرعت ته نشینی ذره
۷۴۷	۱-۱-۱۵. اثر ابعاد و شکل ذره
۷۵۱	۲-۱۵. عملیات جدایش ثقلی
۷۵۲	۳-۱۵. جیگ ها
۷۵۵	۱-۳-۱۵. مدت کورس نوسان
۷۵۹	۲-۳-۱۵. انواع جیگ ها
۷۶۴	۳-۳-۱۵. عملیات جیگ
۷۶۶	۴-۱۵. میزهای جدا کننده
۷۶۶	۱-۴-۱۵. میز های لرزان
۷۶۹	۲-۴-۱۵. لایه بندی و سقوط با مانع
۷۶۹	۳-۴-۱۵. پارامترهای عملیاتی
۷۷۲	۴-۴-۱۵. انواع میزها
۷۷۸	۵-۱۵. جدا کننده های وابسته به جریان های نازک لایه ای
۷۸۰	۱-۵-۱۵. ناوشن شویی ساده
۷۸۱	۲-۵-۱۵. میز شیاردار
۷۸۲	۳-۵-۱۵. پرعیار کننده مارپیچی
۷۸۴	۴-۵-۱۵. جدا کننده مخروطی
۷۸۶	۵-۵-۱۵. جداکننده های ثقلی
۷۸۷	۶-۵-۱۵. جدا کننده استوانه ای لرزان

۷۸۹	۶-۱۵. جدا کردن توسط واسطه سنگین.....
۷۸۹	۱-۶-۱۵. مقدمه
۷۹۱	۲-۶-۱۵. مایعات سنگین ساختگی
۷۹۷	۳-۶-۱۵. انواع جدا کننده های واسطه سنگین
۸۰۶	۴-۶-۱۵. مقایسه جداکننده های واسطه سنگین با جیگ ها
۸۰۶	۷-۱۵. کارآیی جدایش ثقلی
۸۰۸	۱-۷-۱۵. آنالیز شناور- غوطه ور
۸۱۱	۲-۷-۱۵. منحنی های قابلیت شستشو
۸۱۵	۳-۷-۱۵. منحنی ترامپ
۸۲۴	۴-۷-۱۵. گزینه های شناور- غوطه ور
۸۲۵	۸-۱۵. مسائل
۸۲۷	منابع

فصل ۱۶- فلوتاسیون

۸۲۹	۱۶. مقدمه.....
۸۳۲	۱-۱۶. واکنش گر های فلوتاسیون.....
۸۳۳	۱-۱-۱۶. کلکتور ها.....
۸۳۵	۲-۱-۱۶. کف سازها.....
۸۳۷	۳-۱-۱۶. اصلاح کننده ها (تعدیل کننده ها).....
۸۳۸	۲-۱۶. تجهیزات فلوتاسیون
۸۳۸	۱-۲-۱۶. سلول های فلوتاسیون مکانیکی.....
۸۳۹	۲-۲-۱۶. سلول های فلوتاسیون هوایی
۸۴۰	۳-۲-۱۶. فلوتاسیون آزمایشگاهی
۸۴۰	۴-۲-۱۶. نیازمندی های سلول فلوتاسیون.....
۸۴۴	۳-۱۶. مدار های فلوتاسیون.....
۸۴۷	۴-۱۶. سیستم فلوتاسیون.....
۸۴۷	۱-۴-۱۶. فلوتاسیون ناپیوسته.....
۸۴۹	۲-۴-۱۶. معادله درجه یک نرخ.....
۸۵۳	۳-۴-۱۶. معادله درجه دوم
۸۵۹	۴-۴-۱۶. درجه غیر صحیح

۸۶۰	 نتایج آزمایشی
۸۶۳	 فلوتاسیون پیوسته
۸۶۷	 آزمون آزمایشگاهی روابط سیستیک
۸۷۳	 پارامترهای موثر روی نرخ فلوتاسیون
۸۷۴	 ۱-۵-۱۶ سرعت پروانه (پره)
۸۷۵	 ۲-۵-۱۶ نرخ جریان هوا
۸۷۵	 ۳-۵-۱۶ ابعاد ذره
۸۷۷	 ۴-۵-۱۶ مواد شیمیایی (واکنش گر ها)
۸۸۱	 ۶-۱۶ کاربرد مطالعات سیستیکی
۸۸۱	 ۱-۶-۱۶ ملاحظات عملی
۸۸۵	 ۲-۶-۱۶ داده های اساسی برای شبیه سازی فرآیند
۸۸۸	 ۷-۱۶ سایر روش های فلوتاسیون
۸۸۸	 ۱-۷-۱۶ مدل های احتمالات
۸۹۰	 ۲-۷-۱۶ مدل دو مرحله ای (دوحالتی)
۸۹۲	 ۳-۷-۱۶ جریان مساحت سطح حباب
۸۹۴	 ۸-۱۶ مسائل
۸۹۸	 منابع

فصل ۱۷- ارزیابی فرآیند متالورژیکی

۹۰۰	 ۱۷. مقدمه
۹۰۱	 ۱-۱۷. آنالیز اجزاء اصلی
۹۰۳	 ۲-۱۷. تعریف اصطلاحات
۹۰۴	 ۱-۲-۱۷. جرم یا وزن
۹۰۵	 ۲-۲-۱۷. پالپ
۹۰۶	 ۳-۲-۱۷. عیار
۹۰۷	 ۴-۲-۱۷. بازیابی
۹۰۷	 ۵-۲-۱۷. توزیع
۹۰۹	 ۳-۱۷. موازنه مواد
۹۱۱	 ۱-۳-۱۷. فرمول دو محصولی
۹۱۴	 ۲-۳-۱۷. فرمول سه محصولی

۹۱۷-۴. بار در گردش.....	۹۱۹
۹۱۷-۵. مسائل.....	۹۲۶
منابع.....	۹۲۸

فصل ۱۸- کنترل فرآیند

۱۸. مقدمه.....	۹۲۹
۱-۱۸. اسلوب کنترل کننده ها.....	۹۳۱
۲-۱۸. سیگنال ها و پاسخ ها (واکنش ها).....	۹۳۷
۳-۱۸. سیگنال های ورودی و خروجی کنترل کننده ها.....	۹۴۰
۴-۱۸. یکپارچه سازی فرآیند ها و نمودار کنده ای (بلوکی).....	۹۴۴
۵-۱۸. تنظیم و میزان سازی کنترل ها.....	۹۴۷
۶-۱۸. کنترل کننده های پیچیده پیشرفته.....	۹۵۰
۱-۶-۱۸. کنترل کننده های مجذور خطا (مربع خطا).....	۹۵۱
۲-۶-۱۸. کنترل کننده نسبت.....	۹۵۲
۳-۶-۱۸. کنترل کننده های زنجیره ای.....	۹۵۳
۴-۶-۱۸. کنترل کننده انطباقی.....	۹۵۴
۷-۱۸. جبران زمان مرده.....	۹۵۵
۸-۱۸. تجهیزات و سخت افزار.....	۹۵۷
۱-۸-۱۸. تجهیزات و ابزار دقیق.....	۹۵۷
۲-۸-۱۸. سخت افزار.....	۹۵۹
۳-۸-۱۸. سخت افزار های دیگر.....	۹۶۲
۹-۱۸. کنترل مدار های فرآوری مواد معدنی انتخاب شده.....	۹۶۲
۱-۹-۱۸. کنترل کردن سطح مایع در تانک ها.....	۹۶۳
۲-۹-۱۸. کنترل دستگاه سنگ شکنی.....	۹۶۶
۳-۹-۱۸. کنترل خردایش آسیا در مدار بسته.....	۹۶۷
۴-۹-۱۸. کنترل تیکنر.....	۹۷۱
۵-۹-۱۸. کنترل عملکرد هیدروسیکلون ها.....	۹۷۶
۱۰-۱۸. پیشرفت ها در سیستم های کنترل فرآیند.....	۹۸۱
۱-۱۰-۱۸. کنترل خود میزان سازی (STC).....	۹۸۲
۲-۱۰-۱۸. کنترل افقی مبسوط.....	۹۸۴

۹۸۷.....	۱۱-۱۸. سیستم های هوشمند
۹۸۷.....	۱-۱۱-۱۸. کنترل سیستم فازی
۹۹۲.....	۲-۱۱-۱۸. روش های شبکه مصنوعی و عصبی (ANN) کنترل
۹۹۶.....	۱۲-۱۸. مکانیک سیستم های کنترل فرایند دیجیتالی
۹۹۷.....	۱-۱۲-۱۸. ورودی ها و خروجی ها
۹۹۸.....	۲-۱۲-۱۸. ارتباطات فرایند و شبکه
۱۰۰۰.....	۱۳-۱۸. مسائل
۱۰۰۲.....	منابع
۱۰۰۵.....	ضمیمه A
۱۰۱۲.....	ضمیمه B
۱۰۲۰.....	ضمیمه C
۱۰۲۳.....	ضمیمه D

پیش گفتار مولفین

در طبیعت کانی های مورد علاقه به صورت فیزیکی و شیمیائی مختلط با سنگ های میزبان وجود دارند. جداسازی باطله ناخواسته برای افزایش غلظت کانی در یک روش اقتصادی، پایه و اساس عملیات کانه آرای می باشد. بزرگ ترین چالش یک کارخانه معدنی، تولید کنسانتره با عیار بالا با بیش ترین بازیابی کانه از یک کانسار است. برای مشخص کردن کمیت بازیابی، عیار اولیه کانی در سنگ معدن مورد نیاز است بنابراین نمونه برداری صحیح از کانسنگ معدن مورد نیاز می باشد. در نتیجه، این کتاب با روش های مختلف نمونه برداری شروع شده و در ادامه طراحی و عملیات واحد های فرآیندهای خردایش که به آزاد شدن کانی از سنگ های همراه کمک می کند را، مورد بررسی قرار داده است.

فرآیند های جداسازی و تغلیظ با استفاده از تکنیک های موجود، سرندکاری، طبقه بندی، جدایش فازهای جامد - مایع، جدایش ثقلی و فلو تاسیون ادامه مباحث این کتاب هستند. طراحی و اجرای فرآیند هر واحد، خود نیازمند یک مطالعه و بررسی است. در خلال سالیان متمادی، پیشرفت های به دست آمده در درک پیچیدگی های این فرآیندها باعث افزایش راندمان، تقویت بیشتر بهره وری و عیار گردیده است. مدل سازی ریاضی کمک زیادی در این جهت نموده و از این رو تاکید زیادی روی استفاده از آنها انجام گرفته است. هرچند، مدل ها در بهترین وضعیت، خود به عنوان یک راهنما در خدمت بهره برداری فرآیندهایی هستند که درگیر متغیرهای وابسته پیچیده ای بوده و ارزیابی آنها همیشه به آسانی وجود ندارد. برای حل این مشکل، کارخانجات به طور فزاینده ای به ابزار دقیق و لوازم اندازه گیری مجهز شده اند که بسیار سریع تر از انسان نسبت به تغییرات واکنش نشان می دهند. مدل های ریاضی دینامیکی اساس عملیات این ابزارآلات هستند که به خوبی توسعه یافته و با دانش الکترونیک در هم آمیخته اند. بنابراین، در این کتاب، فصلی برای بررسی ابزار کنترل فرآیند اختصاص یافته است. این کتاب حاصل سال ها کار در زمینه کارخانجات و روش های مختلف می باشد و بیش تر روی جنبه عملی کانه آرای تاکید نموده است. انتظار می رود این کتاب مورد استفاده متالورژیست های کارخانه، فرآوری کننده های مواد معدنی، مهندسی شیمی و الکترونیک، که در تغلیظ کانی ها دخیل هستند، قرار گیرد. بیش تر مسائل عنوان شده در این کتاب را می توان با ماشین حساب های دستی حل کرد، هر چند که بیش تر کارخانجات، امروزه به کامپیوتر مجهز هستند و بنابراین حل مسائل با کمک آن بسیار آسان تر است، امید است که مباحث این کتاب مورد استفاده خوانندگان قرار گیرد.

آشوک گوپتا - دنیس یان

پرت استرالیا - ژانویه ۲۰۰۶

فصل ۱

نمونه برداری مواد معدنی

۱- مقدمه

در یک کارخانه فرآوری مواد معدنی میلیون ها دلار صرف ساخت و انجام عملیات می گردد. موفقیت این هزینه ها بستگی به عیار سنجی تعداد کمی نمونه دارد. تصمیمات میلیون ها دلاری براساس فراكسیون کوچکی از حجم بزرگ کانسار به عمل می آید، بنابراین اهمیت زیادی دارد که این فراكسیون کوچک تا حد امکان معرف آن حجم بزرگ کانسار باشد. توجه ویژه ای برای هر روش نمونه گیری مورد نیاز است و کوشش قابل توجهی در آنالیز آماری و تئوری نمونه برداری صرف کمیت سنجی روشها شده است. هر چند در عمل، روش نهایی نمونه گیری پذیرفته شده یک مصالحه و سازش بین آنچه تئوری به ما می گوید که انجام دهیم و هزینه و مشکلات رسیدن به آن، می باشد.

۱-۱- واژگان آماری

یک اندازه گیری، وقتی دقیق گفته می شود که اختلاف بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار واقعی در یک حد اندک قابل قبول باشد. در بیشتر موارد مقدار واقعی عیار نامعلوم است بنابراین اطمینانی که ما در دقت مقدار اندازه گیری شده داریم هم نامشخص خواهد بود و مجبوریم به تئوری آماری به منظور مینیمم کردن خطاها در جهت افزایش اطمینان در مقدار اندازه گیری شده، اعتماد نمائیم. می توان بررسی هایی به عمل آورد تا بین اختلافات تصادفی (اتفاقی) و خطاهای سیستماتیک (اصولی) به عنوان علت تفاوت های پتانسیلی، تمایز قائل شد. یک خطای اتفاقی^۱ (ناشی از تجهیزات اندازه گیری) یا پراکندگی متوسط، در خلال یک پریود زمانی، تمایل به صفر شدن دارد درحالیکه خطاهای جامع اصولی^۲ باعث نتیجه یک مقدار خالص مثبت یا منفی می شوند (شکل ۱-۱). پیشقدر^۳ اختلاف بین مقدار حقیقی و متوسط یک تعدادی از مقادیر آزمایشی می باشد و از این رو یکسان با خطای سیستماتیک است. مغایرت بین نمونه های تکراری یک اندازه گیری، از دقت یا تکرارپذیری^۴ می باشد.

^۱ Random error

^۲ Systematic error

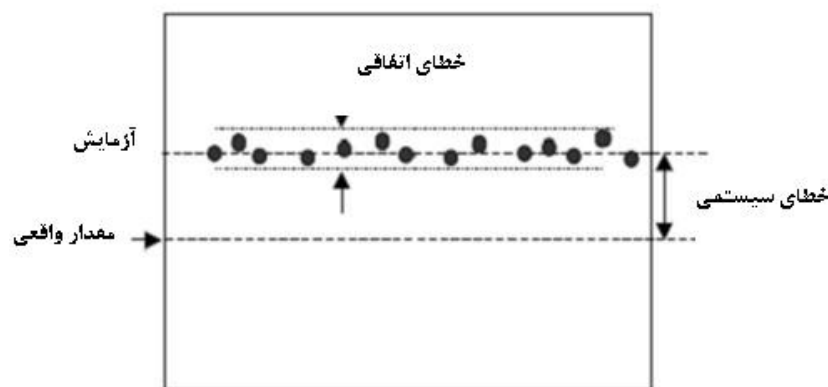
^۳ Bias

^۴ Reproducibility

اختلاف بین میانگین یک سری نمونه های تکراری و مقدار حقیقی، مقیاسی برای دقت می باشد، (شکل ۱-۲). یک سری اندازه گیری ها می تواند دقیق باشد اما ممکن است بقدر کافی نماینده مقدار حقیقی نباشد. روشهای کالیبراسیون و برنامه های چک کردن، صحت را مشخص می کنند و تکرار کردن اندازه گیری ها، دقت را معین می سازند. اگر در رژیم نمونه گیری پیشقدر وجود نداشته باشد دقت همان صحت خواهد بود. نتایج آزمایشات نشان داده است که عیار از یک نمونه به نمونه دیگر متفاوت می باشد.

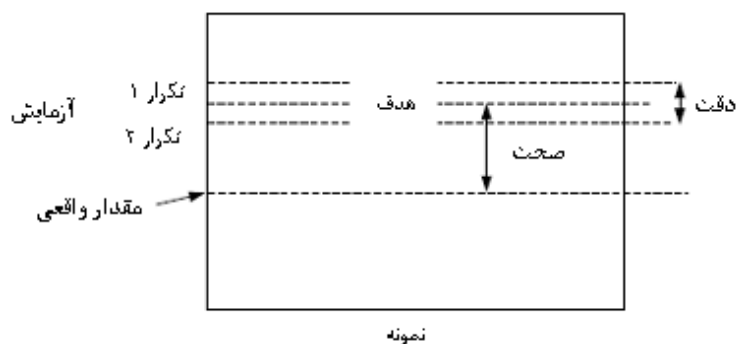
برای روش های نمونه گیری بدون پیش قدر، این اختلافات عیار به علت خطاهای وابسته به طرز عمل (رویه ای) نمی باشند. ترجیحاً، اصطلاح تغییرات تصادفی^۵ به طور مناسب تری تفاوت بین افزایش های نمونه اولیه درون هر عملیات نمونه گیری را تعریف می کند. اختلافات غیر عمدی یک مشخصه ذاتی فرآیند تصادفی می باشد که در آن یک خطای سیستماتیک یا پیش قدر یک اختلاف قابل توجه آماری بین یک اندازه گیری، یا یک میانگین از یک سری اندازه گیری ها و مقدار حقیقی ناشناخته می باشد (شکل ۱-۱).

۱). آمار های کاربردی نقش مهمی در معین کردن تفاوت ها بین اختلافات تصادفی و خطاهای سیستماتیک به عهده دارند.



شکل ۱-۱ - نمایش خطای تصادفی و خطای سیستماتیک

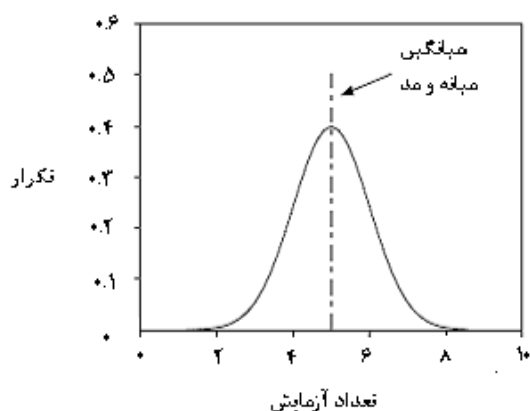
^۵ Random variation



شکل ۱-۲- اختلاف بین دقت و صحت

۱-۱-۱- میانگین

مهم ترین پارامتر برای یک جامعه مقدار متوسط آن می باشد. در نمونه گیری و توزین، میانگین حسابی^۶ و میانگین وزنی^۷ بیشترین کاربرد را دارند. سایر مقیاس ها برای مقدار میانگین یک سری از اندازه گیری ها میانگین همساز^۸ و میانگین هندسی^۹ می باشند. مد^{۱۰} و میانه^{۱۱} مقیاس های مقدار مرکزی یک توزیع می باشند. مد تشکیل پیک (اوج) توزیع فراوانی را می دهد در حالیکه میانه کل تعداد اندازه گیری ها را به دو قسمت مساوی مجموعه اطلاعات تقسیم می کند. اگر توزیع فراوانی^{۱۲} متقارن باشد، آن وقت میانگین، مد و میانه آن همزمان (منطبق) خواهد بود، مانند اشکال ۱-۳ و ۱-۴.



شکل ۱-۳- توزیع نرمال

^۶ Frequency distribution

^۷ Frequency distribution

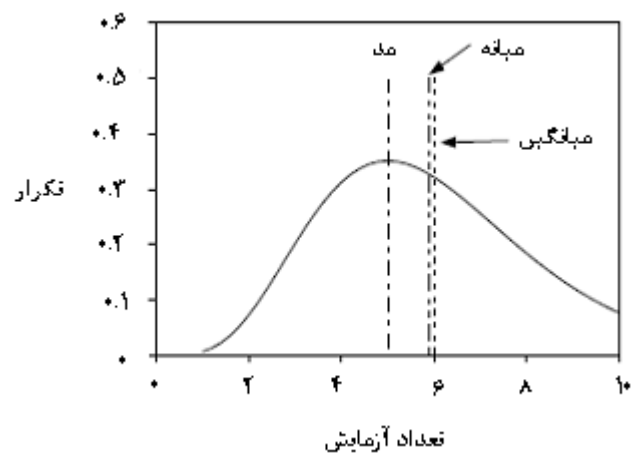
^۸ Harmonic mean

^۹ Geometric mean

^{۱۰} Mode

^{۱۱} Median

^{۱۲} Frequency distribution



شکل ۱-۴- توزیع متقارن

برای یک واحد نمونه گیری دو جمله ای از ذرات مخلوط شده درصد متوسط کانی A از طریق جمع کردن تمام اندازه گیری ها و با تقسیم جمع بر تعداد اندازه گیری ها در هر سری، محاسبه می شود.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1-1)$$

که در آن :

$\bar{x}$ = میانگین نمونه (حسابی)

x_i = i امین اندازه گیری

n = تعداد افزایش

درصد وزنی، یا از کل تعداد ذرات در هر سری یا با ضرب کردن هر درصد افزایش با جرم در هر افزایش مربوطه و تقسیم جمع تمام حاصل ضرب ها بر کل جرم برای هر سری، محاسبه می شود. هرچند خطای کوچک مطرح شده توسط محاسبه میانگین حسابی ترجیحاً نسبت به متوسط وزنی، بخوبی در محدوده دقت این رژیم نمونه گیری می باشد. فرمول زیر برای محاسبه میانگین وزنی برای یک نمونه که شامل n افزایش اولیه می باشد، به کار می رود.

$$\bar{x} = \frac{\sum (\Delta M_i x_i)}{M} \quad (2-1)$$

ΔM_i = وزن i امین افزایش

M = جرم نمونه ناقص

۱-۱-۲. پراکندگی^{۱۳}

واریانس و پارامترهای مشتق شده از آن از قبیل انحراف استاندارد^{۱۴} و ضریب پراکندگی^{۱۵} مقیاسهای مهمی برای تغییر پذیری بین نتایج آزمایشات می باشند. اصطلاح دامنه^{۱۶} ممکن است بعنوان یک مقیاس تغییر پذیری استفاده شود.

مثال ۱-۱- یک مخلوط دوتائی از ذرات کوارتز و هماتیت با حدود ۱۰٪ هماتیت وجود دارد. نمونه هایی گرفته شده و تعداد ذرات هماتیت شمارش شده است تا درصد هماتیت در نمونه مشخص گردد. جدول ۱-۱ نتیجه ۱۵ نمونه گیری را نشان می دهد. برای یک واحد نمونه گیری دوتائی دامنه عبارت است از :

$$6/9\% = 5/7 - 12/6 = \text{مقدار مینیمم} - \text{مقدار ماکزیمم}$$

اگر هر سری از اندازه گیری ها بترتیب صعودی مرتب شوند، آن وقت دامنه به صورت عددی برابر با $X_n - X_1$ خواهد بود. بنابراین دامنه شامل اطلاعات در افزاینده ها X_2

جدول ۱-۱- نمونه برداری با جامعه آماری دوجمله ای (کوارتز و هماتیت)

شماره	نمونه		کل	درصد هماتیت
	کوارتز	هماتیت		
1	105	11	116	9.5
2	132	19	151	12.6
3	99	10	109	9.2
4	98	7	105	6.7
5	83	5	88	5.7
6	87	11	98	11.2
7	91	12	103	11.7
8	86	8	94	8.5
9	98	12	110	10.9
10	113	14	127	11.0

$X_2, \dots, X_{n-1}$ و X_n نخواهد بود. برای یک سری سه یا بیشتر اندازه گیری، چنانکه در شکل ۱-۵ دیده می شود، دامنه به طور تصاعدی کمتر موثر خواهد بود. برای دو نمونه، دامنه تنها مقیاس برای دقت خواهد بود اما این، برای تخمین دقت یک فرآیند اندازه گیری کافی نمی باشد. دقت یک فرآیند اندازه گیری نیازمند میانگین مقادیر مطلق یک مجموعه از دامنه های محاسبه شده از یک سری چهار یا بیشتر تکرارهای همزمان می باشد، این واریانس است. فرمول کلاسیک برای محاسبه واریانس به صورت زیر می باشد :

^{۱۳} Variance

^{۱۴} Frequency distribution

^{۱۵} Frequency distribution

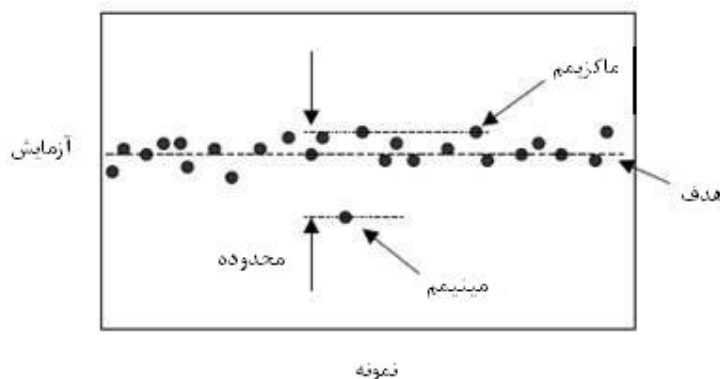
^{۱۶} Frequency distribution

$$Var(x) = \frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1} \approx \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1} \quad (3-1)$$

n = تعداد اندازه گیریها $n-1$ = درجه آزادی

انحراف معیار (استاندارد) σ ، عبارتست از مجذور واریانس. ضریب پراکندگی (CV)، یک مقیاس از دقت می باشد و به صورت عددی برابر است با :

$$\%CV = \frac{100\sigma}{\bar{x}} \quad (4-1)$$



شکل ۱-۵- دامنه آزمایشگاهی مقادیر

مثال ۱-۲- مقادیر واریانس از یک روش نمونه برداری با یک مخلوط دوتائی ذرات معدنی در جدول ۱-۲ داده شده است.

ظاهر فیزیکی یک نمونه که شامل ۵۰ افزایش اولیه هر یک بمیزان ۵ کیلو می باشد مشابه یک نمونه شامل ۵ افزایش ۵۰ کیلوئی یا ۲۵۰ کیلو از یک توده جامد می باشد. هرچند، اختلاف در دقت ذاتی (چنانکه توسط واریانس مشخص می شود) ممکن است چشمگیر باشد، بخصوص اگر تغییر پذیری در واحد نمونه گیری زیاد باشد. در کاربرد های عملی نمونه گیری توده مواد جامد، ما با جمع آوری و اندازه گیری پارامتر های ناشناخته روی نمونه ناخالص و با گزارش $\bar{x}$ (میانگین نمونه بعنوان بهترین تخمین برای V)، مقدار حقیقی ناشناخته، سازش می کنیم. اگر تمام افزونه ها ۱۷ در یک نمونه تنها موجود باشند، ما اطلاعاتی نداریم که دقت این رژیم نمونه گیری را تخمین بزنیم. اگر نیازمند دانستن اطلاعات بیشتری در مورد دقت نمونه ها، سیستم ها و روش ها می باشیم این کار مقدار

جدول ۱-۲- مقادیر واریانس نمونه برداری ترکیب کوارتز و هماتیت

افزایش کم				افزایش زیاد				
Number	Quartz	Hematite	Total	% Hematite	Quartz	Hematite	Total	%Hematite
1	105	11	116	9.48	504	53	557	9.52
2	132	19	151	12.58	350	45	395	11.39
3	99	10	109	9.17	597	56	653	8.58
4	98	7	105	6.67	394	52	446	11.66
5	83	5	88	5.68	428	43	471	9.13
6	87	11	98	11.22	438	52	490	10.61
7	91	12	103	11.65	508	55	563	9.77
8	86	8	94	8.51	533	56	589	9.51
9	98	12	110	10.91	438	50	488	10.25
10	113	14	127	11.02	490	49	539	9.09
				96.89	SUM			
جمع				9.69	Arithmetic mean			
Arithmetic mean				9.69	Arithmetic mean			
Variance				5.0141	Variance			
Variance				5.0141	Variance			
Standard deviation				2.2392	Standard deviation			
Standard deviation				2.2392	Standard deviation			
Coeff. of variation				23.1	Coeff. of variation			
Coeff. of variation				23.1	Coeff. of variation			

این کار نیازمند کپی و تکرار اندازه گیری از یک زمان به زمان دیگر می باشد تا ضریب پراکندگی برای هر مرحله در زنجیره روش های اندازه گیری مشخص گردند.

۱-۱-۳. فواصل اطمینان^{۱۸}

سایر مقیاس های مناسب برای دقت، فواصل اطمینان (CI) و محدوده اطمینان (CR) می باشد. ۹۵٪ فواصل اطمینان و ۹۵٪ دامنه اطمینان ممکن است استفاده شود، هرچند اگر نگرانی روی دقت نمونه گیری زیاد باشد آن وقت ۹۹٪ یا ۹۹/۹٪ محدوده اطمینان^{۱۹} باید مورد توجه قرار گیرد. یعنی اگر ما یک آزمایش بخصوص را یک صد بار تکرار کنیم آن وقت ۹۵ بار از یک صد بار نتیجه در یک محدوده بخصوص در اطراف میانگین واقع خواهد شد و این محدوده یا مرز همان ۹۵٪ فواصل اطمینان میباشد. به طور مشابه، حدود اطمینان ۹۹٪ و ۹۹/۹٪ بدان معناست که ۹۹ بار از یک صد بار یا ۹۹۹ بار از یک هزار بار اندازه گیری در یک محدوده شناخته شده واقع خواهد شد. در پیش نویس استاندارد استرالیا DR۰۰۲۲۳ برای تخمین دقت نمونه گیری در نمونه گیری مواد دارای ذرات ریز یک فاصله اطمینان ۶۸٪ انتخاب شده است. خوشبختانه ما نیازی به تکرار یک اندازه گیری به تعداد یک صد بار، اگر بخواهیم ۹۵ درصد فاصله اطمینان را مشخص کنیم، نداریم. آمارهای کاربردی تکنیک هایی را برای محاسبه فواصل اطمینان از یک تعداد معدودی آزمایش، فراهم ساخته اند. واریانس بین گامها یا بین اندازه گیری ها پارامتر ضروری می باشد. معتبرترین تخمین σ^2 عبارتست از $Var(x)$ ، واریانس نمونه. اطمینان این تخمین برای σ را می توان با جمع آوری، آماده سازی و اندازه گیری گامهای اولیه بیشتر یا با تکرار یک سری از آزمایشات محدود روی همان واحد نمونه گیری، بهبود بخشید. ۹۵٪ فاصله اطمینان برای یک توزیع نرمال (توزیع زنگی شکل) برابر $\pm 1/96\sigma$ از یک میانگین توزیع می باشد. در عمل، ما معمولاً از فاکتور ۲ بجای $1/96$ استفاده میکنیم تا محاسبات و توضیح دقت ساده شود. ۶۸ درصد فاصله اطمینان برابر $\pm 0/99\sigma$ برای درجه

^{۱۸} Confidence intervals

^{۱۹} Confidence intervals

آزادی بینهایت می باشد و اگر تعداد تکرار ها بیش از ۸ شود آن وقت یک فاکتور ۱/۰، یک تقریب قابل قبول خواهد بود.

۱-۲- ذرات ماده معدنی متفاوت از نظر ابعاد - روش Gy

نماینده‌گی توده های بزرگ مواد معدنی به صورت واقعی و دقیق از طریق یک نمونه کوچک بررسی شده در آزمایشگاه یک کار مشکلی می باشد. اشکالات به طور عمده در تعیین یک اندازه مناسب نمونه و در مشخص کردن درجه دقت که نماینده توده باشد، رخ می دهد. در هر مورد صحت نمونه نهائی بستگی به احتمال ریاضی دارد که با آن نمونه نماینده توده مواد می باشد. احتمال نماینده حقیقی بودن با گرفتن نمونه های افزونه زمانی که آن را از یک جریان جمع آوری می کنند، مانند یک نوار نقاله برای مواد جامد و از لوله برای مایع و اسلاری، افزایش می یابد.

روش های مختلفی برای افزایش احتمال نماینده کافی بودن توده مواد، ارائه شده است. یکی از چنین روش هائی، شامل ابعاد و دقت یک نمونه گرفته شده برای عیار سنجی، توسط Gy ایجاد و به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. Gy یک مدل معرفی و پیشنهاد نمود که اگر :

$$D_{Max} = \text{ابعاد بزرگترین ذره}$$

$$M_{Min} = \text{جرم مینیمم نمونه مورد نیاز}$$

σ = واریانس خطای مجاز نمونه گیری در یک عیار سنجی (در حالت یک توزیع نرمال، این برابر انحراف استاندارد می باشد.) آن وقت :

$$M_{MIN} = \frac{k d_{MAX}^3}{\sigma^2} \quad (1-5)$$

k عبارتست از ثابت نمونه گیری مترمکعب/کیلوگرم.

در نمونه گیری مربوط به مواد معدنی ابعاد بزرگترین قطعه (d_{MAX}) را می توان بعنوان چشمه سرند گرفت که از درون آن ۹۰ - ۹۵ درصد مواد عبور می کنند. چون $\pm 2\sigma$ نماینده احتمال رویداد هائی می باشد که ۹۵ از یک صد عیارسنجی در محدوده مقدار عیار حقیقی رخ می دهد، 2σ عبارتست از مقدار احتمال قابل قبول نمونه. ثابت نمونه گیری k ، یک تابعی از مشخصات مواد می باشد و به صورت زیر بیان می شود :

$$k = P_S P_D P_L m \quad (1-6)$$

P_S = پارامتر شکل ذره (معمولاً برای ذرات کروی ۰/۵ و برای کانسنگ طلا برابر ۰/۲ فرض می شود.)

P_D = ضریب توزیع ذرات (معمولاً در محدوده ۰/۷۵ - ۰/۲۰ با مقادیر بیشتر برای توزیع ابعادی تیزتر، معمولاً برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ وقتی ذرات دارای ابعاد نزدیکی به یکدیگر می باشند، فرض می شود).
 P_L = فاکتور آزادی (۰ برای مواد همگن (آزاد نشده)، ۱ برای مواد ناهمگن (آزاد شده) و برای مواد طبقه میانی جدول ۳-۱).

m = فاکتور مربوط به معدن شناسی

فاکتور مربوط به معدن شناسی به صورت زیر تعریف می شود :

$$m = \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} \right] [(1-\alpha)\rho_m + \alpha\rho_G] \quad (V-1)$$

که در آن، α متوسط فراکسیون مواد و ρ_m و ρ_G بترتیب وزن مخصوص مواد و باطله ۲۰ می باشند.
 فاکتور آزادی P_L ، بستگی به ذرات درشت دانه ۲۱، d_{MAX} و ابعاد آزادی، d_L مواد در نمونه دارد. با استفاده از جدول ۳-۱ می توان آنرا مشخص کرد. در عمل P_L بندرت کمتر از ۰/۱ می باشد و اگر ابعاد آزادی شناخته شده نباشند انتخاب P_L برابر صفر اطمینان بخش می باشد.

جدول ۳-۱- فاکتور آزادی بعنوان تابعی از اندازه آزاد شدن

درجه آزادی / اندازه اولیه (d_{MAX}/d_L)	<1	1-4	4-10	10-40	40-100	100-400	>400
فاکتور آزادی (P_L)	1.0	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02

وقتی یک مقدار زیادی نمونه جمع آوری می شود بایستی آن را توسط یک روش مناسب مثلاً نمونه جدا کن ۲۲ به دو قسمت تقسیم کرد. در هر مرحله از تقسیم مجدد، نمونه ها بایستی جمع آوری و عیار سنجی شده و خطاهای آماری آن مشخص گردد. در چنین حالتی، خطای آماری برای کل نمونه برابر جمع خطاهای آماری در خلال نمونه گیری (σ_S) و خطای آماری در عیارسنجی (σ_A) خواهد بود در نتیجه واریانس کل (σ_T^2) برابر خواهد بود با :

$$\sigma_T^2 = \sigma_S^2 + \sigma_A^2 \quad (A-1)$$

وقتی نمونه تقریباً یک موجودی بینهایتی می باشد و جائیکه تناسب ذرات مواد با باطله مخلوط می باشند و ذرات بقدر کافی بزرگ هستند که قابل شمارش باشند، ممکن است آسانتر باشد که روش زیر برای مشخص کردن σ_P اتخاذ گردد، اجازه دهید :

P_M = تناسب ذرات مواد

P_G = تناسب ذرات باطله

۲۰ Gangué
 ۲۱ Topsize
 ۲۲ Splitter

N = تعداد ذرات

انحراف استاندارد تناسب ذرات مواد در نمونه σ_P به صورت زیر خواهد بود :

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{P_M P_G}{N}} \quad (9-1)$$

انحراف استاندارد روی یک مبنای جرم (σ_M) را می توان برحسب درصد مواد در تمام نمونه، مشروط بر آنکه دانسیته (ρ) شناخته شده باشد، نوشت. بنابراین اگر ρ_M و ρ_G به ترتیب دانسیته کانی و باطله باشند آن وقت درصد جرم کانی در کل نمونه، شامل کانی و باطله به صورت زیر خواهد بود :

$$A_M = \frac{100 P_M \rho_M}{P_M \rho_M + P_G \rho_G} \quad (10-1)$$

با فرض آنکه ذرات کانی و باطله دارای یک شکل و یک ابعاد باشند، انحراف استاندارد کل نمونه برابر خواهد بود با :

$$\sigma_T = \left\{ \frac{(100 - A_M) \rho_M + A_M \rho_G}{100 \sqrt{\rho_M \rho_G}} \right\} \cdot \sqrt{\frac{A_M (100 - A_M)}{N}} \quad (11-1)$$

$$\sigma_T = \frac{dA_M}{dP} \cdot \sigma_P$$

مثال ۱-۳- نمونه گیری منظم از خوراک به یک کارخانه فرآوری مواد معدنی مس مورد نیاز است که دارای ۹٪ مس می باشد. سطح اطمینان از تخمین برابر ۰/۱٪ مس در 2σ انحراف استاندارد ضروری می باشد. ابعاد آزادی کالکوسیت (سولفید مس) ۲۳ در کانسنگ برابر ۷۵ میکرون تعیین شده است. ذرات درشت دانه کانسنگ از نمونه ۲/۵ سانتیمتر می باشد. مشخص کنید مینیمم جرم نمونه مورد نیاز به طوریکه نمونه نماینده کانسنگ باشد. دانسیته کانی مس برابر ۵۶۰۰ مترمکعب/کیلوگرم و دانسیته باطله برابر ۲۵۰۰ مترمکعب/کیلوگرم می باشد.

راه حل:

$$d_{MAX} = 2/5 \text{ سانتیمتر} \quad \text{از روی داده ها:}$$

چون فاصله اطمینان مورد نیاز برابر ۰/۱٪ $\pm$ از یک عیار ۹٪ می باشد.

$$2\sigma = 1/9\%$$

$$\sigma = 0/11/2 = 0/0555$$

از روی داده ها داریم :

$$\frac{d_{MAX}}{d_L} = 25/0/075 = 333/33$$

از روی جدول ۱-۳ داریم $\rho_L = 0.05$. نظر به اینکه کانسنگ دارای سولفورمس (Cu_2S) بمیزان ۹٪ مس می باشد، می توان نوشت :

$$Cu_2S \quad 11/3\% = 9 * [2 * (63/5 * 159/2)]$$

$$\alpha = 0.113, \text{ بنابراین}$$

سولفور مس (Cu_2S) موجود به صورت نسبت جرم اتمی برابر :

$$Cu = \frac{(63/56 \times 2) \times 100}{(63/56 \times 2) + 32/1} = \frac{127/1 \times 100}{159/2} = 79/8\%$$

(جرم اتمی Cu برابر ۶۳/۵۶ و جرم اتمی S برابر ۳۲/۱ می باشد)

سولفورمس موجود کانسنگ برابر :

$$11/3\% = 79/8 / (9 \times 100)$$

فاکتور ترکیب معدن شناسی m ، را حالا میتوان از طریق معادله ۱-۷ محاسبه کرد :

$$m = \left[\frac{(1-\alpha)}{\alpha} \right] [(1-\alpha)\rho_M + \alpha\rho_G]$$

$$m = 41207/8 \text{ مترمکب/کیلوگرم}$$

$$m = [(1-0.113)/0.113][(1-0.113)5600 + (0.113 \times 2500)]$$

و از معادله ۱-۶ :

$$k = 0.5 \times 0.25 \times 0.05 \times 41207/8 = 257/5 \text{ مترمکعب/کیلوگرم}$$

$$M_{\min} = [257/5 \times (0.025)^3] / (0.00555)^2 = 130/6 \text{ کیلوگرم}$$

به اهمیت گرد نکردن اعداد تا نتیجه نهایی توجه کنید. اگر σ به ۰/۰۰۵۵ گرد شود آن وقت ۱۳۳ $M_{\min} =$ و اگر σ به ۰/۰۰۵۶ گرد شود $M_{\min} = 128$ کیلو گرم خواهد بود.

مثال ۱-۴- یک نمونه مرکب از گالن و کوارتز بایستی به صورتی نمونه گیری شود که عیار در حد ۰/۲۰٪ از عیار حقیقی مثلاً ۵/۵٪ با یک احتمال ۰/۹۹ باشد. عیار نمونه خواستار ۰/۲۰٪ $\pm 5/5$ ، ۹۹ بار از یک صد بار می باشد. اگر دانسیته گالن و کوارتز بترتیب مترمربع/کیلوگرم ۷۴۰۰ و مترمربع/کیلوگرم ۲۶۰۰ باشد و متوسط ابعاد ذرات ۱۲/۵ میلیمتر با یک جرم ۳/۰۷ گرم باشد، مشخص کنید اندازه نمونه ای را که نماینده ترکیب باشد.

راه حل :

گام اول - σ_T را برحسب N از معادله ۱-۱۱ مشخص کنید.

$$\sigma_T = \left\{ \frac{(100-5.5)7400 + 5.5 \times 2600}{100\sqrt{7400 \times 2600}} \right\} \sqrt{\frac{5.5(100-5.5)}{N}}$$

$$\sigma_T = \frac{37.089}{\sqrt{N}} \quad (12-1)$$

برای مشخص کردن N ضروریست که σ_T را پیدا کنیم.

گام دوم - برای مشخص کردن مقدار σ_T که حدود انحراف را بیان کند به طوری که مساحت زیر منحنی بین حدود برابر ۹۹٪ کل مساحت باشد بایستی از جدول ۱-۴ استفاده نمود. از روی جدول، مطابق با احتمال ۰/۹۹، مقدار انحراف از واحد استاندارد برابر ۲/۵۷۶ خواهد بود.

$$\sigma_T = 0.07764 \quad \text{یا} \quad \sigma_T = \frac{x}{X} = 0.20/2.576 \quad \text{یا} \quad X = \frac{x}{\sigma_T}$$

با جایگزینی در معادله ۱-۱۲، خواهیم داشت :

$$N = (37.089 / 0.07764)^2 = 22820.1/9$$

جدول ۱-۴- احتمال P به ازای انحراف X نسبت به واحد انحراف معیار استاندارد

Probability p	Deviation from Standard Unit, X $X = x/\sigma_T$	Probability p	Deviation from Standard Unit, X $X = x/\sigma_T$
0.90	1.645	0.97	2.170
0.91	1.705	0.98	2.326
0.92	1.750	0.99	2.576
0.93	1.812	0.999	3.291
0.94	1.881	0.9999	3.890
0.95	1.960	0.99999	4.417
0.96	2.054	0.999999	4.892

بنابراین جرم نمونه مورد نیاز که یک عیار در محدوده $0.20 \pm 0.5/5$ را ۹۹ بار از هر یک صد بار ارائه نماید برابر زیر خواهد بود :

$$\text{کیلوگرم } 701 = \text{گرم } 700579 = 22820.1/9 \times 3.07$$

۱-۳- ذرات کانی دارای دانسیته متفاوت

وقتی تفاوت ها در دانسیته ذرات و ترکیب آنها رخ می دهد، برای فراهم ساختن اندازه نمونه ملاحظات زیر بایستی اختیار شود :

۱- مواد را به n تا فراکسیون از نظر دانسیته تقسیم کنید، $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ کاملاً متفاوت از یک کانی به دیگری، مثلاً مس و کوارتز در یک کانسنگ مس و n تا فراکسیون از نظر ابعادی در نظر گرفته شود $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$

۲- در نظر بگیرید درصد جرم i آمین فراکسیون ابعادی و j آمین فراکسیون دانسیته به صورت M_{ij} .

۳- در نظر بگیرید A_{ij} و P_{ij} بعنوان عیار و نسبت ذرات در فراکسیون های i آمین ابعاد و j آمین دانسیته.

برای نمونه گیری یک مخلوط از دو جزء (کانی و باطله) نسبت ذرات در فراکسیون ij به صورت زیر خواهد بود :

$$(13-1)$$

و عیار مخلوط A_{ij} ، تقریباً برابر زیر خواهد بود :

$$A_{ij} = \frac{|\rho_M(\rho_{ij} - \rho_G)100|}{\rho_{ij}(\rho_M - \rho_G)} \quad (14-1)$$

که در آن :

ρ_M = دانسیته کانی و ρ_G = دانسیته باطله و انحراف استاندارد ij اُمین فراکسیون به صورت زیر خواهد بود :

$$\sigma^2 = \frac{P_{ij}(1-P_{ij})}{N} \quad (15-1)$$

برای یک سیستم چند جزئی اصول استفاده شده در معادلات ۱۳-۱ تا ۱۵-۱ را ممکن است بسط داد. حل این وضعیت به راحتی توسط کامپیوتر انجام شدنی است. معادله عمومی برای کل عیار نمونه به صورت زیر می باشد.

$$A_{ij} = \frac{\sum_{ij} d_i^3 p_{ij} \rho_j A_{ij}}{\sum_{ij} d_i^3 p_{ij} \rho_j} \quad (16-1)$$

مثال ۱-۵- یک کانی سولفید نیکل (پنتلاندیت) دارای ذراتی با ابعاد متوسط ۱ میلیمتر می باشد و آن را به سه فراکسیون تقسیم و خواص هر فراکسیون به صورت زیر می باشد.

فراکسیون	درصد جرم	درصد عیار Pentlandite	دانسیته
(کنسانتره) ۱	۲/۴	۱۰۰	۴/۸
(محصول میانی) ۲	۸۱/۰	۵۸/۹	۳/۶
(باطله) ۳	۱۶/۶	۰/۰	۲/۶۵

موجودی بایستی نمونه گیری شود بنحوی که عیارسنجی ۰/۱۵% $\pm$ عیار حقیقی دارای ۰/۵% و با یک احتمال ۹۹ درصدی گردد.

راه حل :

گام اول - چون قرار احتمال ۰/۹۹ می باشد می توان از جدول ۱-۴ استفاده کرد.

در این جا : $\sigma = ۰/۰۵۸$ یا $X = ۰/۱۵/\sigma = ۲/۵۶۷$

گام دوم - از معادله ۱-۱۳ می توان P_{ij} را تخمین زد (براساس جدول ۱-۵)

جدول ۱-۵- محاسبه نسبت ذرات در فراکسیون ij اُم

Fraction		Mass Assay	SG	Av.	d_i^3	$d_i^3 \times \rho$	Mass %	Proportion
i	j	%		Dia			$d_i^3 \rho$	by No.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	1	2.4	100.0	4.8	1	1	4.8	0.5
1	2	81.0	58.9	3.6	1	1	3.6	22.7
1	3	16.6	0.0	2.65	1	1	2.65	6.03
	Σ	100.0					29.23	1.0

گام سوم - با داشتن P و σ ، می توان N را با استفاده از معادله $\sigma^2 = \frac{P_i(1-P_i)}{N}$ تخمین زد.

حالا مثال ۱-۴ را ادامه می دهیم تا اندازه نمونه مشخص شود.