

بکارگیری ابزارهای آماری و زمین آماری در ارزیابی نوسانات عیاری خوراک کارخانه پرعیارکنی مجتمع مس سرچشمه

مجتبی تقوایی نژاد^{۱*}؛ محمدرضا شایسته فر^۲؛ محمدرضا دیانتی^۳؛ محمد جلالی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: mtaghvayi@yahoo.com

۲- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: shayeste@mail.uk.ac.ir

۳- سرپرست واحد کنترل تولید مجتمع مس سرچشمه، Email: dianati@nicico.com

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: mohammadls2005@gmail.com

(دریافت ۲۹ خرداد ۱۳۸۷، پذیرش ۱۴ دی ۱۳۸۸)

چکیده

اختلاف عیاری بین خاک ارسالی معدن و مصرفی کارخانه تغلیظ مشکلی بوده که از اول شروع به کار معدن مس سرچشمه تا به امروز بحث اصلی بین این دو واحد مجتمع بوده است. با توجه به این که کارخانه فرآوری معدن بر اساس خوراکی که نوسانات آن در حد مجاز باشد، طراحی و بهینه سازی می شود، لذا شناسایی خطاهای مراحل مختلف نمونه برداری و همچنین بررسی اختلاف عیاری بین خاک ارسالی معدن و مصرفی کارخانه تغلیظ امری ضروری به نظر می رسد. با تعیین حد مجاز پارامترهای موثر در واریانس نوسانات و به کار بردن آنها در برنامه ریزی تولید روزانه می توان تا حد زیادی از نوسانات عیاری کاست. در این پژوهش، با بکارگیری ابزارهای آماری و زمین آماری روشی جهت تعیین نوسانات دقیق عیاری خوراک مصرفی کارخانه پرعیارکنی ارائه شده است تا به کمک نتایج آن، امکان مقایسه این نوسانات با نوسانات پیش بینی شده خاک ارسالی معدن به صورت شیفتی و روزانه فراهم گردد. برای انجام این پژوهش در یک روز خاص ۵۰۰۰۰ تن خاک با عیار $0/89 \pm 0/05$ به کارخانه ارسال و با تناژ مصرفی و حدود اطمینان عیاری محاسبه شده خوراک مصرفی تغلیظ در این روز 42100 تن خاک با عیار $0/92 \pm 0/04$ مقایسه شد که این عیار در محدوده عیار پیش بینی $0/93 \pm 0/06$ و محدوده عیار اجرایی $0/89 \pm 0/05$ قرار گرفت (در سطح اعتماد ۹۵٪). در نهایت جهت کاهش نوسانات عیاری و افزایش بازیابی کارخانه تغلیظ معدن مس سرچشمه پیشنهاد داده شد که در صورتی که از ۱۰۰ روز متوالی ۹۵ مورد عیار خوراک کارخانه تغلیظ در محدوده اطمینان عیار اجرایی معدن قرار گیرد، از آن زمان به بعد نمونه گیری از خوراک کارخانه تغلیظ صورت نگیرد و عیار اجرایی معدن در محاسبات متالورژی تغلیظ لحاظ گردد.

کلمات کلیدی

نوسانات عیاری، زمین آمار، محدوده اطمینان عیاری، واریانس پراکندگی، واریانس توزیعی ترکیبی، واریانس تخمین

۱- مقدمه

گرم) و وزن زیاد (۱/۵ - ۲ کیلوگرم) تهیه و جهت تعیین عیار مس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱).

نمونه‌های کلی مربوط به هر شیفت از اختلاط جزءنمونه‌های برداشت شده در فواصل منظم زمانی درون شیفت به نسبت وزنی خوراک کارخانه حاصل گردیدند. آماده‌سازی نمونه‌ها نیز شامل فیلتراسیون، خشک کردن و خرد و پودر کردن می‌باشد. در نهایت با محاسبه پراش برای هر یک از دوسری جزءنمونه‌ها، به کمک روابط زیر پراش‌های توزیعی، ترکیبی و نمونه‌برداری و ضریب جدایش محاسبه شدند (جدول ۲).

$$Var(c) = \frac{\Delta m(\gamma) \Delta m(\tau) [Var(\gamma) - Var(\tau)]}{\Delta m(\tau) - \Delta m(\gamma)} \quad (1)$$

$$Var(d) = Var(\tau) - \frac{\Delta m(\gamma) [Var(\gamma) - Var(\tau)]}{\Delta m(\tau) - \Delta m(\gamma)} \quad (2)$$

$$Var(s) = Var(c) + Var(d) \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{Var(d)}{Var(c)}} \quad (4)$$

که در آن

Var(c): پراش ترکیبی، ناهمگنی بین ذرات (مقیاس میکرو)
 Var(d): پراش توزیعی، ناهمگنی در توزیع فضایی ذرات در کل واحد نمونه‌برداری (مقیاس ماکرو)
 Var(s): پراش نمونه‌برداری

Var(1): پراش در سری نمونه‌های با وزن کم

Var(2): پراش در سری نمونه‌های با وزن زیاد

Δm(1): میانگین وزن جزءنمونه‌های با وزن کم

Δm(2): میانگین وزن جزءنمونه‌های با وزن زیاد

S: ضریب جدایش که معرف بزرگی انحراف معیار ناشی از ناهمگنی در توزیع فضایی ذرات در کل واحد نمونه‌برداری (مقیاس ماکرو) به ازای یک واحد از انحراف معیار ناشی از ناهمگنی بین ذره‌ای (مقیاس میکرو) می‌باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود پراش توزیعی نقش بیشتری در پراش نمونه‌برداری دارد که نشان دهنده ناهمگن بودن واحد نمونه‌برداری نسبت به توزیع ذرات با جنس مختلف است و برای کاهش این نوع ناهمگنی بایستی در نمونه‌برداری نهایی اهمیت بیشتری به تعداد جزءنمونه‌ها نسبت به وزن آن‌ها داده شود [۳].

آگاهی از میزان نوسانات عیار بار ورودی کارخانه تغلیظ برای به‌کارگیری تمهیدات لازم جهت افزایش بازیابی و همچنین تجزیه و تحلیل اختلافات عیار معنی‌دار بین معدن و کارخانه امری بسیار حیاتی محسوب می‌شود. وجود اختلافات معنی‌دار عیار بین خاک ارسالی و مصرفی کارخانه و نوسانات شدید عیار در بار ورودی باعث افت قابل ملاحظه بازیابی مس و عیار کنسانتره می‌گردد. نمونه‌گیری‌های دقیق و نظام‌دار، مهم‌ترین ابزار کنترل عیار در کارخانه‌های فرآوری می‌باشند. لذا جهت محاسبه نوسانات عیار خوراک کارخانه پر عیار کنی و به حداقل رساندن آن‌ها، بایستی سعی در شناسایی خطاهای مراحل مختلف نمونه‌برداری و کاهش آن‌ها نمود [۱].

از ابتدای فعالیت مجتمع مس سرچشمه تاکنون، مطالعات چندان زیادی در جهت بررسی و شناسایی منابع خطا و کنترل عیار کارخانه انجام نگرفته است. برای برآورد مولفه‌های مختلف پراش نوسانات، از روش‌های نمونه‌برداری دووزنی جهت محاسبه پراش توزیعی و ترکیبی، روش دوستون مشابه جهت تهیه نمونه‌های تکراری همزمان و آنالیز مجدد برای محاسبه پراش آماده‌سازی و آنالیز، روش‌های زمین‌آماري جهت تعیین پراش تخمین نمونه‌برداری سیستماتیک و آمار کلاسیک جهت محاسبه پراش پراکنندگی استفاده گردیده است. با به‌کارگیری این روش‌ها، می‌توان نوسانات عیار خوراک کارخانه تغلیظ را به صورت شیفتی و روزانه محاسبه نمود و اختلافات عیار معنی‌دار بین بار ارسالی معدن و مصرفی را با به‌کارگیری آزمون‌های آماری مورد بررسی قرارداد.

۲- روش مطالعه

۲-۱- محاسبه پراش نمونه‌برداری به کمک روش دو وزنی

برای محاسبه پراش نمونه‌برداری از روش نمونه‌برداری دووزنی که یکی از روش‌های تخمین تغییرپذیری ذاتی واحد نمونه‌برداری می‌باشد، استفاده شده است [۲].

برای این منظور به مدت ده شیفت از بار ورودی (سرریز سیکلون‌های اولیه)، دو سری نمونه کلی با وزن کم (۱۰۰-۲۰۰

جدول ۱: نتایج آنالیز نمونه‌های مربوط به روش دووزنی

شماره نمونه	وزن نمونه های با وزن کم (kg)	وزن نمونه های با وزن زیاد (kg)	عیار مس نمونه های با وزن کم (%)	عیار مس نمونه های با وزن زیاد (%)
۱	۰/۱۵۸	۱/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۸
۲	۰/۱۳۵	۱/۷۶	۰/۸۲	۰/۸۱
۳	۰/۱۵۶	۱/۸۷	۰/۷۴	۰/۷۸
۴	۰/۱۳۶	۱/۷۷	۰/۸۱	۰/۸۷
۵	۰/۱۱۵	۱/۹۰	۰/۷۵	۰/۷۷
۶	۰/۱۱۰	۱/۶۱	۰/۹۵	۰/۸۶
۷	۰/۱۳۰	۱/۷۵	۰/۸۲	۰/۸۱
۸	۰/۱۴۷	۱/۷۷	۰/۹۵	۰/۹۲
۹	۰/۱۳۳	۱/۷۴	۱/۰۷	۱/۰۰
۱۰	۰/۱۲۵	۱/۶۰	۰/۹۳	۰/۹۴
میانگین	۰/۱۳۵	۱/۷۶		

جدول ۲: محاسبه پراش توزیعی، ترکیبی، نمونه برداری و ضریب جدایش

S	Var(s) (%)	Var(d) (%)	Var(c) (%)	Var(۲) (%)	Var(۱) (%)
۲/۵	۵/۳۲ × ۱۰ ^{-۳}	۴/۵۸ × ۱۰ ^{-۳}	۷/۳ × ۱۰ ^{-۴}	۶ × ۱۰ ^{-۳}	۱/۱ × ۱۰ ^{-۲}

میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری نداشته و خطاها همگی تصادفی و در نتیجه خطای سیستماتیک قابل تشخیصی وجود ندارد. با استفاده از فرمول پراش برای نمونه‌های تکراری داریم: پراش آماده‌سازی و آنالیز:

$$Var(pa) = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |x_{i1} - x_{i2}| + \sum_{i=1}^n |x'_{i1} - x'_{i2}|}{2n} \right]^2 = \frac{\pi}{4} (0.019)^2 = 0.000283$$

پراش آنالیز شیمیایی:

$$Var(a) = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |x_{i1} - x'_{i1}| + \sum_{i=1}^n |x_{i2} - x'_{i2}|}{2n} \right]^2 = \frac{\pi}{4} (0.016)^2 = 0.0002$$

پراش آماده‌سازی:

$$var(p) = var(pa) - var(a) = 0.000283 - 0.0002 = 0.000083$$

باید توجه داشت که پراش آماده‌سازی فقط شامل آماده‌سازی نمونه در کارخانه می‌باشد و پراش آنالیز شیمیایی شامل پراش اندازه‌گیری و پراش آماده‌سازی نمونه‌ها در نمونه‌کوبی آزمایشگاه می‌باشد.

برای محاسبه پراش آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه ۱۰ نمونه x_1 انتخاب گردیدند که آنالیز مجدد شوند (جدول ۴)

۲-۲- محاسبه پراش مراحل آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی

برای محاسبه پراش هر مرحله از عملیات باید ترتیبی اتخاذ گردد تا نمونه‌های تکراری از آن مرحله تهیه و مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. هرچه نتایج به دست آمده از آنالیز جزء نمونه‌های تکراری به هم نزدیک‌تر باشد، پراش آن مرحله کمتر خواهد بود. در این پژوهش برای محاسبه پراش روی هم‌رفته دو مرحله آماده‌سازی و آنالیز از برداشت نمونه‌های تکراری به روش دوستون‌مشابه به دلیل پایین بودن خطای برآورد استفاده شد (جدول ۳).

فرمول کلی محاسبه این نوع پراش به صورت زیر است:

$$Var(Pa) = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |x_{i1} - x_{i2}|}{n} \right]^2 \quad (5)$$

که در آن x_{i1} , x_{i2} مقادیر به دست آمده در هر تکرار و n تعداد زوج نمونه‌های تکراری است [۲].

همان‌طور که مشاهده می‌شود نیازی به انجام آزمون آماری t (t-test) و آنالیز پراش برای نمونه‌های تکراری نمی‌باشد چراکه

جدول ۳: جدول نهایی پارامترهای فنی مربوط به ۹ معدن انتخاب شده برای ارزیابی

شماره نمونه	X ₁	X ₁ '	X ₂	X ₂ '	X ₁ -X ₂	X ₁ '-X ₂ '	X ₁ -X ₁ '	X ₂ -X ₂ '
۱	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱
۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰
۳	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰
۴	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۵	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴
۶	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲
۸	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۱
۹	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
۱۰	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
میانگین	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶

لذا پراش آماده سازی نمونه در آزمایشگاه بر طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$Var(a_a) = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |x_{i1} - x'_{i1}|}{n} \right]^2 = \frac{\pi}{4} (0.14)^2 = 1/54 \times 10^{-4}$$

۳-۲- محاسبه پراش روی هم رفته نمونه برداری
 کمیتی است آماری که برای سنجش دقت روی هم رفته مراحل مختلف نمونه برداری، آماده سازی و آنالیز نمونه ها به کار می رود. مقدار این پراش معادل مجموع پراش های مراحل سه گانه فوق است. بدیهی است برای تعیین آن بایستی مقدار هر یک از سه پراش معلوم باشد. رابطه پراش کلی را می توان به صورت زیر نوشت [۴]:

$$var(p_a) = var(a) - var(a_a) = 2 \times 10^{-4} - 1/54 \times 10^{-4} = 4/6 \times 10^{-4}$$

$$var(t) = \frac{var(c)}{k \cdot \Delta m \cdot n} + \frac{var(d)}{k \cdot n} + \frac{var(p)}{K \cdot k} + \frac{var(a)}{K \cdot k \cdot i} \quad (6)$$

که در آن

n: تعداد جزء نمونه در هر پشته

Δm: جرم جزء نمونه ها (kg)

K: تعداد پشته

K: تعداد نمونه های آنالیز شده از هر پشته

i: تعداد دفعات تکرار اندازه گیری

حال با محاسبه تک تک مولفه های پراش روی هم رفته و با توجه به این که در حالت فعلی تعداد ۴۸ جزء نمونه در هر شیفت کاری ۸ ساعته به جرم تقریبی ۱۲۰ گرم به طریقه نمونه برداری اتوماتیک صورت می گیرد، پراش روی هم رفته نمونه برداری در حالت فعلی طبق رابطه ۶ برابر خواهد بود با:

$$var(t) = \frac{7/3 \times 10^{-4}}{48 \times 0.12} + \frac{4/58 \times 10^{-4}}{48} + 8/3 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} = 5/0.4 \times 10^{-4}$$

جدول ۴: نتایج آنالیز مجدد ۱۰ نمونه X₁

شماره نمونه	X ₁	X ₁ '	X ₁ -X ₁ '
۱	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۰۱
۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۰۱
۳	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۰۱
۴	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۰۲
۵	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۰۲
۶	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۰۳
۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۰
۸	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۰۱
۹	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۰۱
۱۰	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۰۲
میانگین	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۱۴

۴-۲- محاسبه پراش تخمین نمونه برداری سیستماتیک کارخانه تغلیظ

در حالت های یک بعدی و دو بعدی که در کتابهای زمین آماری موجود است، محاسبه نمود [۵].

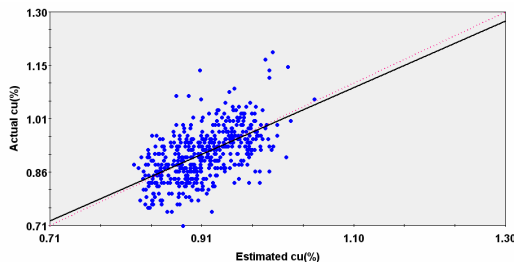
باید توجه داشت که آنچه از این نمودارها به دست می آید مقدار $\frac{\sigma^2 E - C}{C}$ می باشد. با توجه به پارامترهای تغییر نما و مقدار $\frac{l}{a} = 0.18$ داریم:

$$\frac{(\sigma^2 E - C)}{C} = \frac{(\sigma^2 E - 0.0002)}{0.00441} = 0.33$$

$$\Rightarrow \sigma^2 E = 0.00034$$

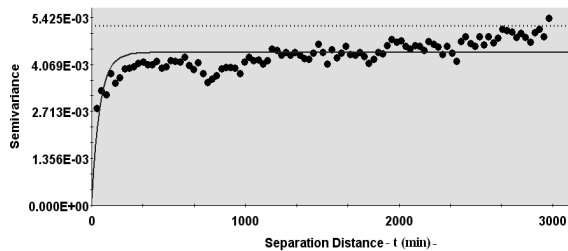
۴-۲-۱- ارزیابی اعتبار تغییرنمای برازش داده شده

کنترل صحت واریوگرام و پارامترهای مدل، نقش مهمی در میزان واریانس تخمین به دست آمده ایفا می کند، با داشتن مجموعه ای از داده های معلوم حاصل از نمونه برداری و اندازه گیری، و مقداری که بر اساس مدل واریوگرام برازش داده شده به نقطه مذکور نسبت داده می شود، می توان داده های معلوم را به منظور آگاهی از اعتبار تغییرنما دوباره تخمین زد. این روش که به کریجینگ جک نایف معروف است، سبب می شود که بتوان مقادیر اصلی را در مقابل مقادیر تخمینی قرار داد (شکل ۲) و در نتیجه خطای تخمین که حاصل تفاضل مقادیر اصلی از تخمینی است قابل محاسبه می باشد، بنابر این در پایان، جامعه ای از خطاهای محاسبه شده تولید خواهد شد. این خطاها را بازماند می نامند. خواصی که دلالت بر صحت تغییر نمای برازش داده شده به داده ها و مطلوبیت تخمین دارد، عبارتند از حداقل پراش، میانگین صفر و تقارن تابع توزیع خطا [۵].



شکل ۲: نمودار پراکندگی عیارهای تخمینی در مقابل عیارهای واقعی خوراک کارخانه تغلیظ

یکی از مهم ترین نقاط قوت زمین آمار، توانایی آن در محاسبه پراش تخمین است. به منظور تعیین پراش تخمین نمونه برداری سیستماتیک بار ورودی کارخانه، نمونه هایی در طول شبانه روز به فواصل زمانی ۳۰ دقیقه از پالپ برداشته شد و مورد آماده سازی و آنالیز قرار گرفت. بنابراین در چنین حالتی، عیار نمونه ای که در وسط هر فاصله زمانی گرفته شده است، برای تمامی آن فاصله زمانی تعمیم داده شد. لذا پراش تخمینی که در این حالت محاسبه شده است، پراش تخمین یک خط به کمک نقطه میانی آن است [۵]. نتایج حاصل از آنالیز نمونه های برداشت شده جهت رسم تغییر نما تجربی در نرم افزار GS+، مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱). محور افقی واریوگرام معرف فاصله جدایش (دقیقه) است.



Exponential model (Co = 0.00020; Co + C = 0.00441; Ao = 55.00; I2 = 0.288; RSS = 1.362E-05)

شکل ۱: منحنی تغییر نما تجربی حاصل از نمونه برداری سیستماتیک خوراک کارخانه پرعیارکنی

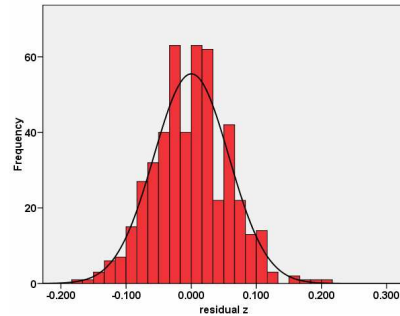
مدل های تغییر نما در بعد زمان، می بایستی از مدل نمایی پیروی کنند تا بتواند در آن بعد قابل تعریف باشد. بنابراین در این گونه موارد در حقیقت با بسط پارامتر زمان مواجه هستیم و بنابراین تغییرنمای مدل نمایی برای چنین مواردی مناسب است [۵] جدول ۵ مدل برازش شده به تغییر نما و ویژگی های مختلف آن را بیان می کند.

جدول ۵: پارامترهای تغییر نما

مدل تغییر نما	اثر قطعه ای (Co)	شعاع تأثیر (A)	سقف (Co+C)
نمایی	0.0002	165	0.0044

مقدار $\sigma^2 E$ را می توان از طریق نمودارهای مربوط به توابع کمکی یا نمودارهای مدل نمایی جهت محاسبه پراش تخمین

همان‌گونه که از شکل ۳ برمی‌آید، توزیع فراوانی مقادیر بازماند، دارای توزیع متقارن و پراش اندک می‌باشد. لذا می‌توان از صحت پارامترهای تغییرنمای برازش داده شده اطمینان حاصل نمود.



شکل ۳: تابع توزیع خطای تخمین نمونه‌برداری سیستماتیک خوراک کارخانه تغلیظ مس سرچشمه

σ_f^2 : پراش نوسانات
 CI: خطای مجاز یا نوسانات میانگین عیار خوراک کارخانه می‌باشد [۷].

۷-۲- مطالعه موردی: برآورد نوسانات عیار بار ورودی کارخانه در یک روز کاری

مولفه‌های پراش نوسانات عیاری خوراک کارخانه تغلیظ در یک روز خاص به شرح زیر است:
 الف) پراش روی هم‌رفته نمونه‌برداری که برای هر شیفت (۱ و ۲) در حالت فعلی برداشت جزء نمونه‌ها برابر است با:

$$\sigma_o^2 = 5/0.4 \times 10^{-4}$$

ب) پراش تخمین مربوط به هر شیفت نیز (بر طبق قضیه حد مرکزی) با تقسیم پراش تخمین میانگین محاسبه شده در بند ۲-۴ بر تعداد بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای موجود در هر شیفت ۸ ساعته به صورت زیر حاصل گردید:

$$\sigma_E^2 = \frac{3/34 \times 10^{-4}}{16} = 2 \times 10^{-5}$$

ج) پراش پراکندگی عیار خوراک مصرفی کارخانه در این روز خاص، برای شیفت ۱ با میانگین عیار ۰/۹۳ و شیفت ۲ با میانگین عیاری ۰/۹۲ معادل:

$$\sigma_d^2 = 8/3 \times 10^{-4} \quad \text{شیفت ۱}$$

$$\sigma_d^2 = 6/4 \times 10^{-4} \quad \text{شیفت ۲}$$

به دست آمد و پراش نوسانات برای هر شیفت بنابر رابطه ۸ برابر است با
 شیفت ۱

$$\sigma_f^2 = 5/0.4 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-5} + 8/3 \times 10^{-4} = 1/35 \times 10^{-3}$$

شیفت ۲

$$\sigma_f^2 = 5/0.4 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-5} + 6/4 \times 10^{-4} = 1/16 \times 10^{-3}$$

۷-۲-۱- برآورد نوسانات میانگین عیار خوراک کارخانه تغلیظ برای خوراک مصرفی مورد نظر به تفکیک شیفت

حدود اطمینان میانگین عیار در شیفت ۱ و ۲ (نوسانات عیاری) در سطح اعتماد ۹۵٪ به شرح زیر می‌باشد:

۵-۲- محاسبه پراش پراکندگی

پراش پراکندگی معیاری جهت اندازه‌گیری پراکندگی عیار بار ورودی می‌باشد. برای آگاهی از میزان تغییرات عیار بار در درون شیفت، از پراش آماری کلاسیک مطابق با رابطه ۷ استفاده می‌شود [۱].

$$S^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}]^2}{n-1} \quad (7)$$

۶-۲- محاسبه نوسانات عیار بار ورودی

حال با داشتن مولفه‌های مختلف پراش نوسانات، می‌توان به کمک رابطه ۸ نوسانات عیاری خوراک کارخانه تغلیظ را به صورت شیفتی و روزانه محاسبه نمود [۶].

$$\sigma_f^2 = \sigma_d^2 + \sigma_E^2 + \sigma_o^2 \quad (8)$$

که در آن

σ_E^2 : پراش تخمین

σ_o^2 و σ_d^2 به ترتیب پراش روی هم‌رفته نمونه‌برداری و پراش پراکندگی عیار بار ورودی

با استفاده از رابطه ۹ نیز در سطح اعتماد معین، می‌توان مقدار نوسانات عیار خوراک مصرفی کارخانه تغلیظ را محاسبه نمود.

$$CI = \pm Z \sigma_f \quad (9)$$

که در آن

در سطح اعتماد ۹۵٪، $Z=1/96$

در این روز خاص ۵۰۰۰۰ تن خاک با عیار (۰/۸۹ ± ۰/۰۵)

به کارخانه ارسال شده است (این بدین معنی است که از هر صد بار تکرار عملیات نمونه برداری و محاسبه میانگین عیار، ۹۵ میانگین محاسبه شده باید در محدوده مورد نظر قرار گیرد) می توان آن را (اگر از تاخیر ۴ ساعتی در مصرف خاک صرف نظر شود) با تناژ مصرفی و حدود اطمینان عیاری محاسبه شده خوراک مصرفی تغلیظ در این روز (۴۲۱۰۰ تن خاک با عیار ۰/۹۲ ± ۰/۰۴) مقایسه کرد.

این عیار در محدوده عیار پیش بینی (۰/۹۳ ± ۰/۰۶) و محدوده عیار اجرایی (۰/۸۹ ± ۰/۰۵) می باشد (در سطح اعتماد ۹۵٪). تناژ برنامه پیش بینی ۴۳۳۰۰ تن و برنامه اجرایی ۵۰۰۰۰ تن بوده است.

۳- نتیجه گیری

- با توجه به ماهیت خطاهای تصادفی، نمی توان خطاهای ناشی از آماده سازی، آنالیز و همچنین خطای ناشی از متغیرهای ذاتی واحد نمونه برداری را حذف کرد، ولی می توان با به کارگیری روش های مناسب تر نمونه برداری و به کارگیری دستگاه های دقیق تر، آن ها را کاهش داد و دقت را بالا برد.
- به کمک پژوهش صورت گرفته و روش های ارائه شده، می توان نوسانات عیار نمونه را به صورت شیفی و روزانه محاسبه کرد تا با بهره گیری از آزمون های آماری، در سطح اعتماد مهندسی و با دقت و صحت بالایی به مقایسه نوسانات عیار خوراک کارخانه تغلیظ و نوسانات پیش بینی شده خوراک ارسالی معدن پرداخت و در صورت وجود اختلاف معنی دار عیاری به دنبال شناسایی خطاهای سیستماتیک و رفع یا کاهش آن ها بود.
- مقدار عددی مجاز نوسانات عیار بار ورودی به علت هزینه بر بودن آزمایش ها تا به حال برآورد نگردیده که انجام آن پیشنهاد می شود.
- در صورتی که از ۱۰۰ روز متوالی ۹۵ مورد عیار بار ورودی در محدوده اطمینان عیار اجرایی معدن قرار گیرد، (هم پوشانی نوسانات عیاری بین بار ارسالی و مصرفی کارخانه تغلیظ) از آن تاریخ به بعد نمونه گیری از خوراک کارخانه تغلیظ صورت نگیرد و عیار اجرایی معدن در محاسبات متالورژی لحاظ شود.

شیفت ۱

$$\bar{X} \pm Z\sigma_f = 0.92\% \pm (1/96 \times \sqrt{1/35 \times 10^{-7}}) = 0.92 \pm 0.07(\%)$$

شیفت ۲

$$\bar{X} \pm Z\sigma_f = 0.92\% \pm (1/96 \times \sqrt{1/16 \times 10^{-7}}) = 0.92 \pm 0.06(\%)$$

۲-۷-۲- برآورد نوسانات میانگین عیار خوراک کارخانه تغلیظ در مجموع دو شیفت به کمک رابطه اثر متقابل خطاهای تصادفی

در حالت کلی برای تخمین پراش جامعه کلی می توان به پراش های محاسبه شده متناسب با تعداد اندازه گیری های مربوط به هر یک، وزن یا اهمیت داد. رابطه پراش وزن دار در این حالت به صورت زیر است [۶].

$$\bar{X} = \frac{A \cdot X_A + B \cdot X_B}{A + B} \quad (10)$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \left(\frac{\partial \bar{X}}{\partial X_A}\right)^2 \sigma_{X_A}^2 + \left(\frac{\partial \bar{X}}{\partial X_B}\right)^2 \sigma_{X_B}^2 + \dots \quad (11)$$

که در آن

A: تناژ مصرفی واحد تغلیظ برای شیفت ۱

B: تناژ مصرفی واحد تغلیظ برای شیفت ۲

X_A و X_B : حدود اطمینان میانگین عیاری برای شیفت های ۱ و ۲

با توجه به داده های شیفت ۱ و ۲ اطلاعات زیر حاصل می شود:

$$A = 22000 \text{ ton}, \quad X_A = 0.93 \pm 0.07\%$$

$$B = 20100 \text{ ton}, \quad X_B = 0.92 \pm 0.06\%$$

$$\bar{X} = \frac{22000 \times 0.93 + 20100 \times 0.92}{42100} = 0.92$$

$$\bar{X} = 0.92\% \pm \sigma_{\bar{X}}$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \left(\frac{A}{A+B}\right)^2 \sigma_{X_A}^2 + \left(\frac{B}{A+B}\right)^2 \sigma_{X_B}^2$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \left(\frac{22000}{42100}\right)^2 (0.07)^2 + \left(\frac{20100}{42100}\right)^2 (0.06)^2 = 2/16 \times 10^{-7}\%$$

$$\sigma_{\bar{X}} = 0.04$$

در نتیجه می توان نوشت:

$$\bar{X} = 0.92 \pm 0.04(\%)$$

۴- تقدیر و تشکر

در خاتمه از مساعدت‌های بی دریغ واحد کنترل تولید معدن و کنترل کیفی تغلیظ مجتمع مس سرچشمه تشکر و قدردانی را می‌شود.

منابع

[۴] کارگر دیانتی، م: (۱۳۸۰) بهینه سازی و کنترل عیار سنگ معدن مس سرچشمه و تأثیر آن بر بازیابی کارخانه تغلیظ. اولین کنفرانس معادن روباز ایران.

[۵] مدنی، حسن؛ (۱۳۷۳)؛ *مبانی زمین آمار*؛ مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ واحد تفرش.

[6] Kargar-Dianati, et al; 2005; "Estimating grade variations of dispatched ore to mineral processing plant at Sarcheshmeh copper mine", 20th world mining congress.

[7] Pitard, F, 2001, "A strategy in minimizing ore Grade Reconciliation Problems Between the mine and the mill, in mineral resource and ore Reserve Estimation", Canadian mining institute, pp. 5-7.

[1] Thomas, M. and Snowden, D. V., 1990, "Improving reconciliation and grade control by statistical and geostatistical analysis", Elsevier, Canada, pp. 8-10.

[۲] حسنی‌پاک، علی اصغر، ۱۳۸۰، *نمونه برداری معدنی*؛ انتشارات دانشگاه تهران.

[3] Pitard, F., 1997, "Sampling", Australian Mineral foundation Publication, p. 575.

پی‌نوشت‌ها

¹ Residuals