

سیستم‌های کنترل اتوماتیک در فرآوری مواد معدنی

حمزه اسحقی

کارشناس ارشد مهندسی معدن گرایش فرآوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(hamzeheshaghi@gmail.com)

چکیده

کنترل اتوماتیک همزمان با رشد صنایع مختلف رشد چشمگیری داشته است. کنترل اتوماتیک به عنوان بخش مهمی از فرایندهای صنعتی، در صنعت فرآوری مواد معدنی نیز علیرغم پیچیدگی‌های موجود در مراحل مختلف از جمله خردایش و فلوتاسیون کاربرد دارد. استفاده از سیستم‌های کنترل در بالابردن کارایی هر بخش و جلوگیری از افت مواد معدنی، مواد شیمیایی و انرژی تاثیر قابل توجهی دارد. با توجه به توسعه رویکردها و روش‌های کنترل در صنایعی مانند صنایع پتروشیمی، به کارگیری این روش‌ها و کنترل‌کننده‌ها مشکلاتی را در مدارهای فرآوری ایجاد می‌کند که این مشکلات از طبیعت کانه و خواص پالپ ناشی می‌شوند و در این خصوص بایستی روش‌های کنترل پیشرفته و هوشمند به کار گرفته شود. بنابراین شناخت تئوری‌های کنترل امری ضروری است و برای بهینه‌سازی و پایدارسازی فرایندها باید از روش‌های جدید کنترل در فرآوری مواد معدنی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی

کنترل اتوماتیک، فرآوری مواد معدنی، روش‌های کنترل، حسگرهای کنترلی

مقدمه

کنترل علمی است که به تنظیم رفتار یا مقدار کمیت‌های موجود در محیط‌های مختلف عملیاتی می‌پردازد. علم کنترل روش‌هایی را معرفی می‌کند که در این روش‌ها به منظور تنظیم خروجی سیستم‌ها می‌توان با استفاده از محاسبات ریاضی، ورودی مناسب هر سیستم را بدست آورد [۱].

مدل‌های ریاضی، برای اجرا و پیکربندی موفق فرایندهای واحد به همراه پروسه‌های پیچیده و نامنظم به کار می‌روند. هدف اصلی در کاربرد مدل‌های ریاضی این است که عملیات تحت شرایط پایا^۱ انجام شود. اما در عمل شرط حالت پایا به آسانی با تغییراتی که در متغیرها به وجود می‌آید به هم می‌خورد. اگر شرط حالت پایای ایده‌آل را در نظر بگیریم در این حالت میانگین تغییرات و انحراف از مقدار متوسط توسط ابزارهای مناسبی تعیین می‌شود که احتمال دارد به حالت پایا برگردانده شود. از سال‌ها پیش ابزارهایی برای این هدف طراحی شده است. این ابزارها توسط سیگنال‌های الکتریکی تولید شده به وسیله متغیرهای خاص عمل می‌کنند. این سیگنال‌ها به نحوی هستند که امکان برنامه‌ریزی برای تشخیص و کنترل انحراف از مقدار میانگین را

ممکن می‌سازند. بنابراین تجهیزات می‌توانند به طور مناسب شرایط را به حالت نرمال برگردانند. لذا موضوع اصلی در کنترل ایجاد مدل ریاضی پویا و پایش مقدار انحراف از مدل و سرانجام برگرداندن عملیات به شرایط اصلی می‌باشد [۲].

هدف از مدلسازی پیاده‌سازی رفتار سیستم با استفاده از امکانات موجود است. مدل بیان‌کننده ارتباط بین خروجی و ورودی یا ورودی‌ها به صورت یک رابطه ریاضی است. در اغلب موارد این ارتباط یک معادله دیفرانسیلی است که به آن معادله مشخصه سیستم گفته می‌شود. بسته به این که قوانین فیزیک و شیمی و سایر موارد حاکم بر اجزای سیستم با چه دقت و صحتی انتخاب شده‌اند، دقت و صحت مدل ریاضی قابل محاسبه است. با توجه به ساده‌سازی‌های فیزیکی اغلب مدل‌ها تقریبی از عملکرد واقعی سیستم را در اختیار ما قرار می‌دهند [۱].

کنترل فرایند، برای بهینه‌سازی و پایدارسازی^۲ مدارهای فرآوری مواد معدنی ابتدا در اواخر دهه ۶۰ میلادی ایجاد شد و پس از گذشت سه دهه توسعه یافته است. هنر و علم کاربرد تکنولوژی به عنوان هسته مکمل در صنعت به وجود آمده است. هدف آن فراهم آوردن چارچوب

^۲ Stabilization

^۱ Steady State

فنی معمولاً با اندازه سیستم (تعداد ورودی-خروجی) و پیچیدگی آن (ورودی-خروجی آنالوگ) افزایش می‌یابد و معمولاً با سطح پیچیدگی سیستم و آموزش، کاهش می‌یابد. در یک کنترل پیشرفته^۴ و تنظیمی^۵ باید فرایند اصلاح شده اجرا شود. بعلاوه، کنترل فرایند و بهینه‌سازی آن به عنوان هسته اصلی در عملیات فرآوری مواد معدنی و جذب سرمایه است [۳].

تاریخچه و اجزای کنترل اتوماتیک در فرآوری مواد

معدنی

کنترل در فرایند تغلیظ مواد معدنی، به مدت چند دهه در حاشیه بوده است. با گذشت زمان، توازن بین تنظیم و بهینه‌سازی دستی نسبت به تنظیم اتوماتیک فرایندهای اصلی به طور عمده تغییر یافته است. در دهه ۷۰ همزمان با رشد کامپیوترها به عنوان سازمان دهنده اصلی که متغیرهای ورودی-خروجی را با تجهیزات کنترلی ترکیب می‌کنند، تغییر چشمگیری در کنترل فرایند ایجاد شد. این ابزار در مقایسه با استانداردهای امروزی فوق العاده ابتدایی بودند ولی برای اولین بار مهندسان فرایند روش‌هایی را برای توسعه، آزمایش و اصلاح استراتژی‌های کنترل فرایند در اختیار داشتند. به هر حال، اپراتورها ابزاری را داشتند که داده‌ها و اطلاعات مربوط به فرایند را به شکلی مرتب نشان می‌دهد که آنها را قادر می‌ساخت تا تصمیم‌های بهتری را اتخاذ کنند. محصول جانبی این تکنولوژی این بود که زمینه‌ای مناسب برای مهندسین فراهم ساخت تا ایده‌هایی را که به بهبود فرایند کمک می‌کردند مورد بحث و بررسی قرار دهند [۳].

ضرورت کنترل اتوماتیک در فرآوری مواد معدنی

با توجه به پیچیده شدن شرایط فرآوری کانه‌ها، افزایش دستمزد و انرژی، حفظ شرایط بهینه در کارخانجات فرآوری امری ضروری است. در بهینه‌سازی عملیات فرآوری، استفاده از کنترل اتوماتیک باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. بنابراین هدف از مکانیزاسیون و اتوماسیون در فرآوری کانه‌ها می‌تواند شامل موارد زیر باشد.

۱. افزایش بهره‌وری پرسنل
۲. افزایش بهره‌وری تجهیزات
۳. کاهش هزینه‌های فرآوری
۴. تسهیل کار کارکنان برای انجام برخی کارهای دشوار و یکنواخت
۵. حفظ و افزایش کارایی تکنولوژیکی و تکنیکی-اقتصادی در واحدهای صنعتی

در حال حاضر، اغلب واحدهای فرآوری مواد معدنی به ابزارهای مختلفی در نقاط بحرانی و مهم تجهیز شده‌اند تا با پایش سیستم، هم فرایند را تنظیم کرده و هم در صورت نیاز هشدارهای لازم را اعلام

آرایشی سیستم‌ها برای پرداختن به کنترل فرایند به وسیله جستجوی اجزای اصلی شامل فرایند، اندازه‌گیری/مدل‌سازی، خط مشی^۱، کاربران^۲ و نگهداری و توسعه آن است [۳].

سیستم پایدار به سیستمی گفته می‌شود که پاسخ خروجی آن برای همه ورودی‌های کران دار محدود باشد. سیستمی که به ورودی‌های کران دار پاسخ بی‌کران می‌دهد ناپایدار است. ورودی کران دار تابعی از زمان است و معمولاً در داخل محدوده‌های خاصی قرار می‌گیرد. برای مثال، تابع پله و سینوسی دارای ورودی‌های کران دار هستند. تابع $f(t)=t$ بی‌کران است. در سیستم‌های ناپایدار، حالت‌هایی که در آنها خروجی بی‌کران می‌شود فقط از نظر ریاضی صحیح هستند و در سیستم‌های فیزیکی و واقعی، خروجی‌ها کران دار هستند [۴].

علازغم بکارگیری ابزارهای غیر قابل اعتماد و پراکنده، مدارهای فرآوری مواد معدنی از مشکلات دیگری مانند اندرکنش بین واحدهای فرایند، زمان‌های مرده^۳ طولانی، اندازه‌گیری کم و در بعضی مواقع غیر قابل اطمینان از متغیرهای فرایند، سیستم‌های غیر خطی، اختلالات وارد شده به فرایند، فرایندهای دینامیک مختلف و متعدد همراه هستند [۵].

کنترل اتوماتیک ابزاری است که کمک می‌کند تا فعالیت‌های سیستم بهتر و سریعتر انجام شود، قدم‌های بزرگی در توسعه فرایندها و بکارگیری ماشین‌های بزرگ جهت بهبود بهره‌وری برداشته شده است. توسعه تجهیزات خودکار و فرایندهای پیوسته انجام کارهای تکراری و خسته کننده را تسهیل کرده‌اند. ولی این پیشرفت‌ها نیاز به تجهیزات و نیروی کار را نیز افزایش داده است. بنابراین وسایلی نیاز است که اطلاعات را به صورت اتوماتیک جمع آوری کرده و کارها را مطابق برنامه‌ریزی اجرا نمایند. واحدهای صنعتی با ظرفیت بالا، نیازمند تجهیزات و سرمایه‌گذاری‌های بزرگی هستند و یکی از اهداف کنترل، استفاده بهینه از سرمایه‌گذاری و تجهیزات جدید است.

بر خلاف مواد خامی که در صنایع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند و به کارگیری کنترل اتوماتیک را با موفقیت‌های بسیاری همراه کرده‌اند، کانه‌ها از معدنی به معدن دیگر و حتی در یک کانسار تغییر می‌کنند و در نتیجه کنترل فرایند مشکل خواهد بود [۶]. فرایند کنترل در یک سیستم پویا مانند سیستم‌های فرآوری مواد معدنی که تعداد زیادی از متغیرها به صورت همزمان تغییر می‌کنند، پیچیده است. کنترل اتوماتیک عملیات واحدهای صنعتی باعث بهبود بهره‌وری و افزایش درجه خلوص محصولات و کاهش نیروی انسانی می‌شود. لذا عبارت کنترل فرایند معرف یک کار مهندسی است که با مجموعه‌ای از وسایل و تجهیزات برای کنترل فرایندها و سیستم‌ها در ارتباط است [۷].

در هر سیستمی وجود ساختاری برای پشتیبانی از سیستم‌های کنترل فرایند شامل تجهیزات و نیروی انسانی امری ضروری است. تعداد افراد

^۱ Strategy

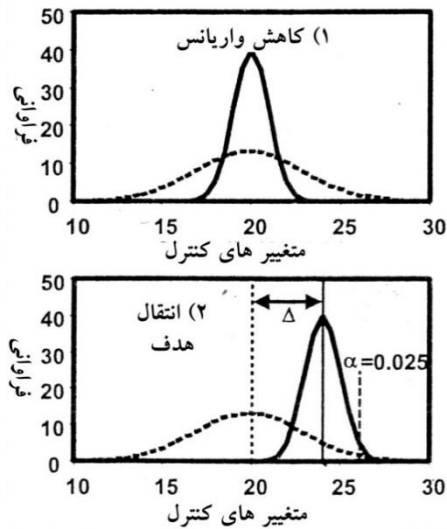
^۲ User Group

^۳ Dead time

^۴ Advance control

^۵ Regulatory control

- ۱- کاهش واریانس: یعنی نشان دادن این که فرایند را می توان کنترل کرد.
- ۲- جابجا کردن اهداف یعنی بهره برداری از فرایند کنترل توسط حفظ اهداف بهینه



شکل (۱) تفسیر گرافیکی از اهداف کنترل فرایند [۳]

تجهیزات کنترل اتوماتیک می توانند جزئیات فرایند را نظارت کنند و همچنین هشدارهای مناسب برای تغییر را بدهند، اطلاعات را ثبت کرده یا مراحل ضروری برای اصلاح انحراف از حالت نرمال را در نظر بگیرند. در حال حاضر، این امکان وجود دارد که سیستم های کنترل اتوماتیک را در اغلب پروسه های واحدهای فرآوری که شامل بخش های مهم شامل خوراک دهی، مخلوط کردن، خردایش و طبقه بندی، جدایش ثقلی، لیچینگ و فلوتاسیون می شود به کار گرفت [۲].

روش های کنترل

سیستم های کنترلی را می توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد:

- ۱) کنترل پیوسته یا آنالوگ که مانیتورینگ و کنترل رویدادها به صورت پیوسته انجام می شود.
- ۲) کنترل دیجیتالی که در آن از کامپیوترها و ریزپردازنده ها استفاده می شود.

برای مثال برای کنترل سطح مخزن فلوتاسیون که به طور پیوسته در حال پر شدن است و به طور پیوسته پالپ از آن خالی می شود می توان به ساده گی با مشاهده سطح پالپ در مخزن انجام گیرد. همچنین می توان به طور دستی و با تنظیم نرخ ورودی توسط شیرهای ورودی جریان مخزن و سطح پالپ در آن را تنظیم کرد. روش روشن-خاموش یا روش دو وضعیتی سطحی با پروفیل متغیر را نتیجه می دهد (شکل

کنند. طرح ریزی کنترل اتوماتیک را زمانی می توان با موفقیت عملی کرد که با تقسیم کل زنجیره عملیاتی به بخش ها و زیرسیستم ها، کمترین تعداد فاکتورهای نیازمند به کنترل وجود شده باشد [۴]. مکانیزاسیون و اتوماسیون کارخانجات فراوریدر دو راستای مهم هستند.

۱. تنظیم فرایند به صورت اتوماتیک با ابزارهای اندازه گیری
۲. تثبیت عیار مواد خام و کمکی و مطمئن بودن از انجام فرایند تحت شرایط پیوسته و یکسان به طور کامل و دقیق

در حالت اول، کارخانه فرآوری نیاز به استفاده از تعداد زیادی وسایل نظارتی، اندازه گیری و کنترل و تطبیق آن با سایر تجهیزات اتوماسیون دارد که ممکن است شامل ساده ترین واحدهای سیگنال دهی، کامپیوترهای پیچیده و ماشین های برنامه ریزی باشد.

حالت دوم شامل استفاده از عملیات ماشینی مواد خام، استفاده از مواد کمکی با عیار مشخص (محیط آسیا، معرف ها، آب و غیره) و استفاده از تجهیزات بادوام و پر محصول است که فرایند با محوریت آنها کنترل می شود.

چنانکه مکانیزاسیون و اتوماسیون پیچیده ای برای واحدهای فرآوری مواد معدنی به کار گرفته شود باید تحقیقات و آزمایشات کافی در این زمینه انجام شود که به طور معمول مشکلات زیر را خواهد داشت.

- ۱- مطالعه پارامترهای مختلف از قبیل استاتیک و دینامیک فرایندها
- ۲- مطالعه فرایندهای مورد هدف اتوماسیون
- ۳- تعیین ترتیب فرایندها
- ۴- توسعه فرستنده ها و وسایل اندازه گیری
- ۵- فرموله کردن الگوریتم ها برای کنترل فرایندها
- ۶- توسعه تجهیزات جدید آسیاکنی، تغلیظ و کمکی برای واحدهای فرآوری مواد معدنی که به منظور اتوماسیون و مکانیزاسیون پیچیده نیاز هستند.
- ۷- یافتن راه حل های جدید برای طراحی واحدها تا اجرای اتوماسیون عملیات اصلی و فرعی را آسان نماید.

عملیات مختلف سیستم های کنترل شامل مراحل زیر می شود.

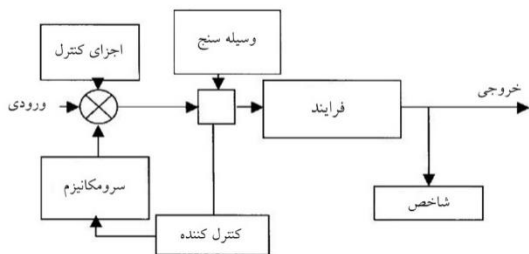
- ۱- کشف تغییرات
- ۲- انتقال سیگنال اخطار
- ۳- نشان دهنده های موثر تغییرات
- ۴- بکارگیری مکانیزم تصحیح

برداشتی که از کنترل فرایند می توان داشت (مخصوصاً زمانی که به سطوح بالاتر کنترل پیش می رویم) این است که خیلی پیچیده و غیر شهودی است. به هر حال باید به خاطر داشت که اهداف عمومی کنترل فرایند سر راست و قابل دسترس هستند و همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است آنها را می توان به دو صورت ساده تقسیم کرد.

(۳) [۱].

در یک فرایند دو نوع تغییر می‌تواند اتفاق بیافتد. اگر در مقدار مینا تغییری ایجاد شود مشکل را سروو^۴ یا فرمان‌بار و اگر در بار ورودی تغییری ایجاد شود مشکل را تنظیمی گویند. روش بدست آوردن پاسخ هر دو نوع اساسا یکسان است و ممکن است برای بدست آوردن پاسخ ترکیب خطی مقدار مینا و بار، دو پاسخ بر روی هم جمع شوند [۳]. مقایسه‌گر^۵ سه وظیفه دارد. اولین وظیفه این است که به صورت صحیح سیگنال‌هایی را از مانیتور دریافت نماید. دومین وظیفه این است که سیگنال را با مقدار مینا یا همان مقدار مطلوب مقایسه کرده و انحراف از حالت نرمال را محاسبه نماید. سومین وظیفه، کنترل کننده نهایی را برای تصحیح خطا فعال می‌کند [۱].

دو فاکتور وجود دارد که کنترل فیدبک را نامطلوب می‌سازند. این فاکتورها عبارتند از اختلالات مکرر که اغلب دارای مقادیر بزرگی هستند و پس از زمانی در طول پروسه بین رخداد یک رویداد و تاخیر در شناسایی سیگنال اتفاق می‌افتد. این اختلالات و پس از آن زمانی را باید اندازه‌گیری و اصلاح کرد. در سیستم فیدفوروارد، سیگنال ورودی، برای مثال برای خوراک ورودی، قبل از این که خوراک وارد فرایند شود، مانیتورینگ و کنترل می‌شود و با انجام آن انتظار می‌رود که خوراک‌دهی به فرایند بدون تغییر انجام شود و بنابراین کارایی فرایند بدون تاثیر باقی می‌ماند. شکل ۴ نمودار بلوکی از سیستم فیدفوروارد را نشان می‌دهد [۱].



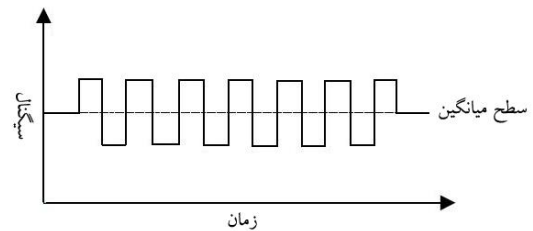
شکل (۴) نمودار بلوکی سیستم کنترلی فیدفوروارد

شاخص جریان ورودی، انحراف از ویژگی‌های جریان ورودی (مانند نرخ جریان خوراک) را به کنترل‌کننده ارجاع می‌دهد و کنترل‌کننده عکس‌العمل آن را به جریان ورودی (و نه در روی پروسه) محدود می‌کند. بزرگی خطا محاسبه شده و سیگنال‌هایی به کنترل‌کننده برای فراهم کردن عکس‌العمل مناسب برای حفظ شرایط جریان ورودی فرستاده می‌شود تا جریان به سطح اصلی خود برگردانده شود [۱].

ابزار و سخت افزار کنترل

^۴ Servo

^۵ Comparator



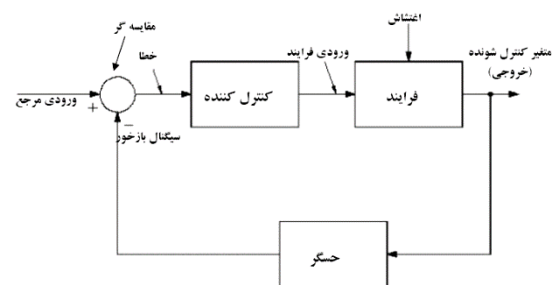
شکل (۲) کنترل دستی روشن-خاموش برای سطح سلول‌های فلوتاسیون [۱]

این وضعیت در اغلب مدارهای فرآوری مواد معدنی غیر قابل قبول است. بنابراین برای حل این مشکل ابزارهایی به کار گرفته می‌شوند که نوسانات سطح پالپ در مخزن را کم کنند. بدین منظور کنترل کننده‌های اتوماتیک برای کنترل نرخ جریان، دانسیته پالپ، سطح مخزن، وظیفه پمپ و تقریبا کنترل عملیات همه واحدها مانند سنگ شکن‌ها، آسیاب‌ها، کلاسیفایرها، تیکنرها، تجهیزات فلوتاسیون و سیستم‌های انتقال مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷]. دو خط مشی اساسی کنترل عبارتند از:

(۱) سیستم کنترل فیدبک^۱ (کنترل بازخورد)

(۲) سیستم کنترل فیدفوروارد^۲ (کنترل پیش‌خور)

در سیستم کنترل فیدبک، خروجی یک پروسه به صورت پیوسته توسط یک حسگر ثبت می‌شود. زمانی که خروجی تغییر می‌کند حسگر این تغییر را شناسایی و سیگنال‌هایی را برای مقایسه‌گر می‌فرستد که این سیگنال‌ها با مقدار مینا یا ورودی مرجع که برای عملیات حالت پایا تنظیم شده است، مقایسه می‌شوند. بنابراین خطا یا انحراف از میانگین برآورد می‌شود. سپس سیگنالی به سیستم تنظیم یا همان محرک^۳ فرستاده می‌شود تا این خطا را به صفر کاهش دهد. این سیگنال‌ها ممکن است الکتریکی، مکانیکی یا پنوماتیکی باشند. شکل ۳ نمودار بلوکی معمول از یک سیستم کنترل فیدبک را نشان می‌دهد [۱].



شکل (۳) نمودار بلوکی سیستم کنترلی فیدبک [۱]

^۱ Feed back

^۲ Feed forward

^۳ Actuator

ابزارهای فیلد شامل حسگرها (حسگرهای جریان، دما، چگالی، ترکیب، فشار، سطح و غیره) و اجزای نهایی کنترل (شامل شیرها و غیره) می-شود. جدول گستره تکنولوژی حسگرهایی که به طور معمول در فرایند کنترل مدارهای آسیا کنی به کار می-رود را نشان می-دهد. واضح است که تکنولوژی‌های مختلفی برای انتخاب وجود دارند. به هرحال، اغتشاشات مدار و خط مشی که برای حذف این اغتشاشات اعمال می-شود مشخص می-گردد که کدام مورد از این لیست باید انتخاب شود.

جدول (۲) انواع تکنولوژی مختلف حسگرها برای استفاده در سیستم‌های خردایش [۳]

اندازه گیری	تکنولوژی به کار گرفته شده
ارتفاع انبار (مواد جامد)	تجهیزات مافوق صوت
	تجهیزات لیزری
	سلول‌های فشار
	تجهیزات مکانیکی
ارتفاع مخزن (پالپ)	تجهیزات مافوق صوت
	تجهیزات مکانیکی
	تجهیزات فشار تفاضلی
توان موتور	فرستنده‌های جریان و قدرت گشتاورسنج‌ها
جریان جامد	ترازوهای نواری الکترونیکی
جریان پالپ	ترازوهای نواری هسته‌ای
جریان آب	ابزارهای مغناطیسی
	ابزارهای مافوق صوت
	ابزارهای فشار تفاضلی
رطوبت(جامد خشک)	ابزارهای میکروموج
رطوبت (پالپ)	راديوآکتیو سنج‌ها
	لوله‌های U شکل
	ابزارهای فشار تفاضلی
فشار	تجهیزات دیافراگمی
لرزش/صدا	شتاب سنج/ میکروفون
دما	ترموکوپل‌ها
	تصویربرداری مادون قرمز
ابعاد ذرات (مواد جامد)	تکنیک‌های آنالیز تصویر
ابعاد ذرات (پالپ)	تجهیزات مافوق صوت
	تجهیزات مکانیکی
pH	الکترودهای ویژه
	پروب‌های هدایتی
فلزات آزاد	تجهیزات مغناطیسی
بار آسیا	وسایل مبتنی بر توان صوتی

وظیفه ابزار، اندازه‌گیری حالت پایا و رفتار ناپایداری فرآیندها است. معمولا طراحی تجهیزات شامل فعالیت‌های اعمال شده به شاخه‌های آموزشی مختلف می‌شود که یک مهندس فرآوری همه آنها را نیاز ندارد اما باید از قابل اطمینان بودن آنها آگاه باشد که اجرای صحیح تجهیزات و همچنین حساسیت آنها را شامل می‌شود. به علاوه، ضروری است که از کمینه کردن اثر باردهی به آنها و از این که سیگنال بدون تضعیف در بزرگی یا تغییر فاز عبور کند، مطمئن شود. برای اغلب تجهیزات نرم افزارهای از سوی کارخانه سازنده در اختیار واحد قرار می‌گیرد. خطای تجهیزاتی ذاتا از ساختار مکانیکی و بخش-های الکتریکی ناشی می‌شود. این محدودیت مهم را باید در مرحله انتخاب تجهیزات معلوم باشد. تجهیزات معمول که سطح کنترل تنظیمی را در واحدهای فرآوری مواد معدنی پوشش می‌دهد در جدول ۱ نشان داده شده است [۱].

جدول (۱) نمونه‌ای از تجهیزات مورد استفاده در واحدهای فرآوری [۷]

تجهیزات	ویژگی اندازه‌گیری شده
وزن سنج	اندازه‌گیری وزنی جریان مواد، معمولا قسمت کوچکی از طول نوار نقاله به سلول-های بار اختصاص داده می‌شود
شاخص ارتفاع	ارتفاع توسط ابزارهای مافوق صوت، اختلاف فشار و یا توسط گلوله‌های شناور ثبت می‌شود
دبی سنج	اندازه‌گیری دبی وزنی جریان توسط روش-های غیر تهاجمی مانند دبی سنج‌های مغناطیسی و مافوق صوت، و روش‌های تهاجمی شامل دبی سنج‌های اوریفیس (Orifice)
چگالی سنج	اندازه‌گیری چگالی پالپ به صورت متمرکز با چگالی سنج اشعه گاما یا برداشتن نمونه و اندازه‌گیری با چگالی سنج‌های دیگر
فشار	اندازه‌گیری فشار یا فشار تفاضلی سیستم-های هیدرولیکی یا پنوماتیکی و اندازه-گیری دما
آنالیز کننده ابعاد ذرات	اندازه‌گیری ابعاد ذراتی که از سرندهای مشخصی عبور می‌کنند
شاخص pH	اندازه‌گیری درجه اسیدی یا قلیایی محلول
مبدل A/D-D/A	تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ
تضعیف کننده	تبدیل دامنه سیگنال‌های ورودی-خروجی

- [4] Coughanowr, D.R., "Process systems analysis and control", Second Eds., Mc- Grawhill chemical engineering series, 566, 1991
- [5] Flintoff, B., "Introduction to process control in mineral processing plant design, practice, and control", Mular, A.L., Halbe, D.N and Barratt, D.J (Eds), 2051-2063, 2001
- [6] Christie, D.J and Chase, P.W., "Automatics controls in mineral processing handbook", Weiss, N(Eds), Section 31, 1-16, SME, AIME, 1985
- [7] Smith, G.C., Jordaan, L., Singh, A., Vandayar, V., Smith, V.C., Muller, B and Hulbert, D.G., "Innovative process control technology for milling and flotation circuit operations", The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 353-366, 2004

سلول‌های بار

کرنش سنج‌ها

تاکومتر

سرعت

مراجع

- [۱] مهندس عبیدی، کنترل اتوماتیک، جزوه درسی، دانشکده فنی اراک، ۱۳۸۶
- [2] Gupta, A., and Yan, D., "Control process in mineral processing design and operation: an introduction", 622-671, 2006
- [3] Jain, S.K., "Sampling, mill control and computer in ore processing in mineral processing", Ch. 19, 463-483, CBS, 2001

استخراج اورانیوم از آب دریا

ژاپنی‌ها از معدود کشورهای قدرتمند اقتصادی هستند که علیرقم جمعیت زیادی که دارند از ضعف منابع طبیعی رنج می‌برند. تقریباً تمام سیستم تامین برق ژاپن مبتنی بر انرژی هسته‌ای می‌باشد لذا تامین سوخت راکتورهای ژاپن بسیار حائز اهمیت است. در همین راستا دانشمندان مراکز مختلف ژاپن بر روی راه‌های تامین اورانیوم مورد نظر برای تامین سوخت راکتور ها کار کرده‌اند. یکی از منابع با ارزش اورانیوم ابهای آزاد هستند که چیزی بالغ بر ۴,۵ میلیارد تن اورانیوم به صورت یون اورانیوم تخمین زده می‌شود که برای تامین شش هزار سال برق کره زمین کافی است. اخیراً یک دانشمند ژاپنی موفق به تولید فیلتری شده است که از خرمالو تهیه شده است. با این فیلتر ژاپن میتواند هزینه‌های خود برای خرید اورانیوم از کشورهای دیگر را به شکل قابل توجهی کاهش دهد و عملاً به منبع عظیمی از این ماده دست پیدا کند و چه بسا در آینده‌ای نه چندان دور صادر کننده اورانیوم بشود. البت پژوهش‌هایی دیگر هم در مناطق مختلف جهان انجام شده است که نشان دهنده عزم برای دسترسی به این منبع بزرگ اورانیوم هست. البته ابهای آزاد حاوی مواد دیگری هم هستند که میتوان در آینده آنها را برداشت کرد و مواد موجود در خود ابهای آزاد جدای از مواد معدنی در بستر کف دریاست.

محمد حیدری

دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

