

هوشمندسازی فرایندهای فراوری مواد معدنی: تعاریف، اولویت ها و چالشها

ارائه دهنده: محمدرضا خالصی، دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، رئیس هیات مدیره شرکت طلاوران

Smartization?

- Monitoring

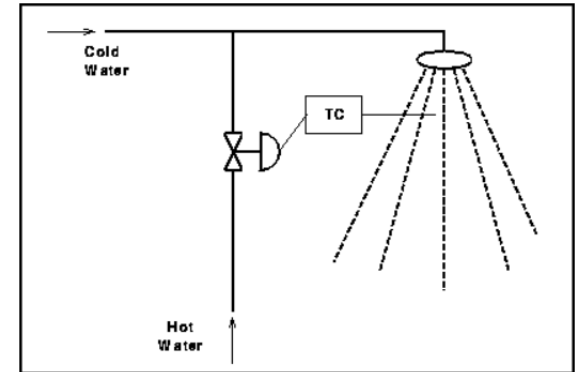
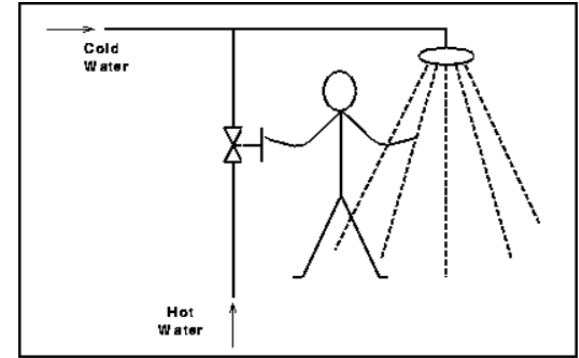
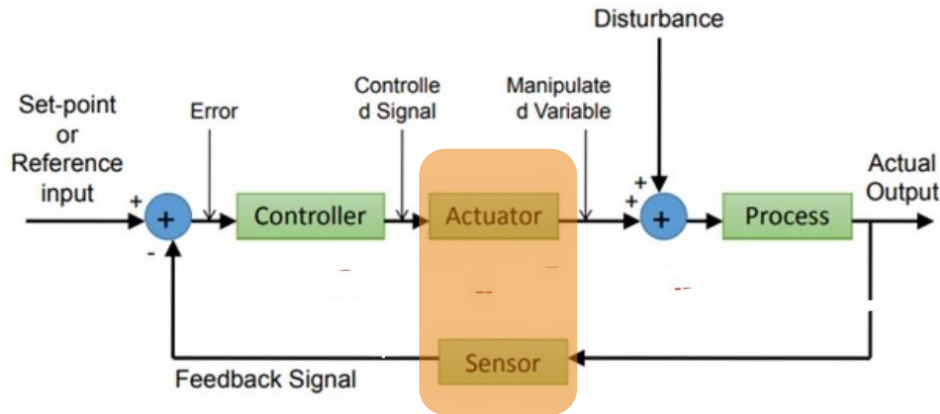


Measurement → **Action**

Model of System?

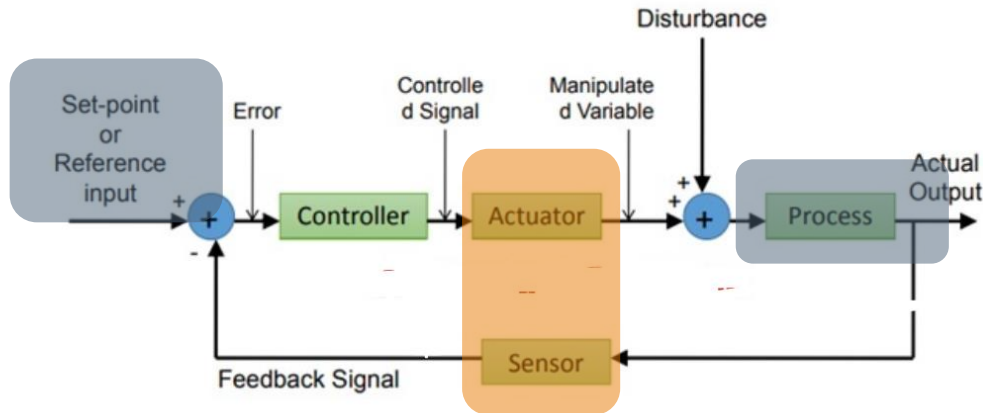
Smartization?

- Monitoring
- Automatic Control?



Smartization?

- Monitoring
- Automatic Control? **Model Based Control?**




Smartization?

- Monitoring
- Automatic Control?
- Automatic Fault Detection?

Data based  **AI, Machine Learning**
Model based

Smartization?

- Monitoring
- Automatic Control?
- Automatic Fault Detection?
- Use of new digital tools in  **Digitalization**

Digitalization Solutions for Monitoring, Controlling, and Modeling the System

-  Information management system
-  Digital twin
-  Robotic Cell
-  Process control system
-  Internet of things (IoT)
-  Vision and imaging equipment
-  Sensors and smart devices
-  Machine vision
-  Machine learning

دیجیتالیزاسیون



Rain
Sensor

Light
Sensor

TPMS

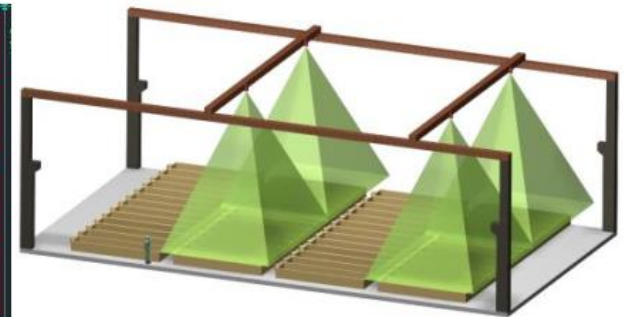
ارتقای عملکرد؟

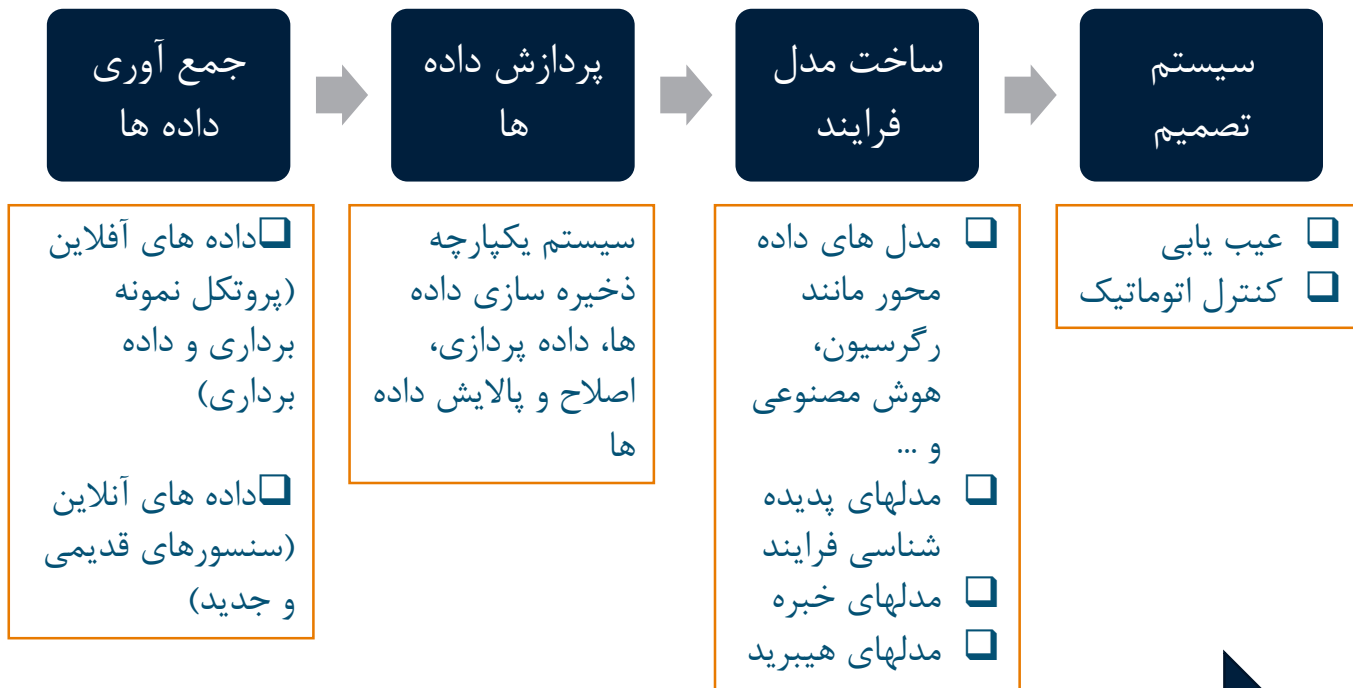
چالشها و اولویت ها

1. هوشمندسازی بخشی از پروژه نوسازی، ارتقای تکنولوژی و نوآوری است (مشکلات طراحی و تجهیزات قدیمی را حل نمی کند، لزوماً به ارتقای عملکرد نمی انجامد)
2. در هر مرحله نیازمند بررسی اقتصادی جدی در مورد منافع و هزینه ها است و مدل های بین المللی لزوماً مناسب ایران نیستند (نیروی کار ارزان، دسترسی پایین تکنولوژی)



Picture from DigMet from Mettop catalogue





استفاده از ابزارهای دیجیتالی نوین: اینترنت اشیا، محاسبات لبه، سنسورهای نرم و سخت، رباتیک، بینایی ماشین و غیره

عیب یابی و کنترل هوشمند در فراوری مواد معدنی

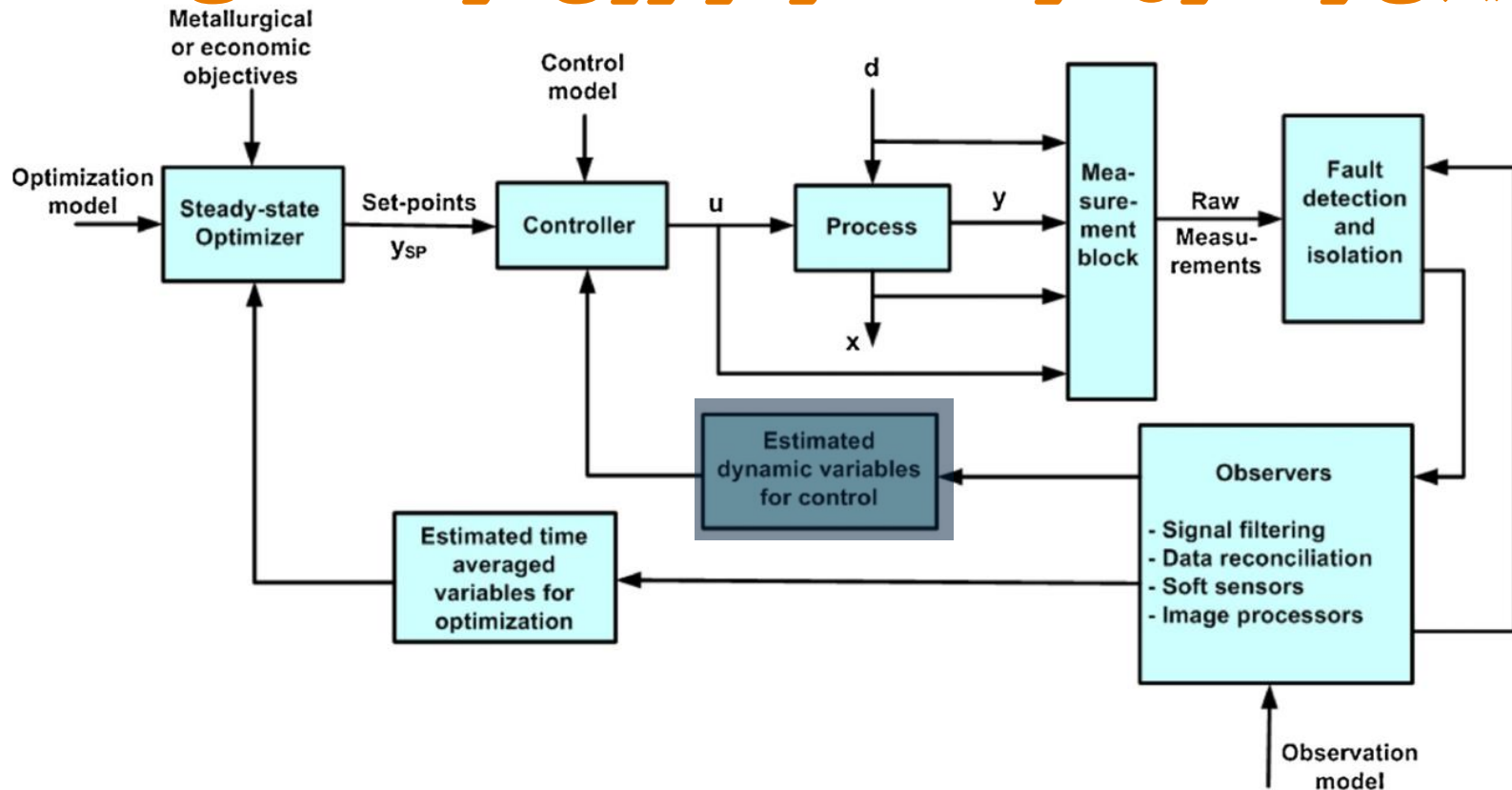
For controlling

- **strongly disturbed,**
- **poorly modeled,**
- **and difficult to measure** processes,

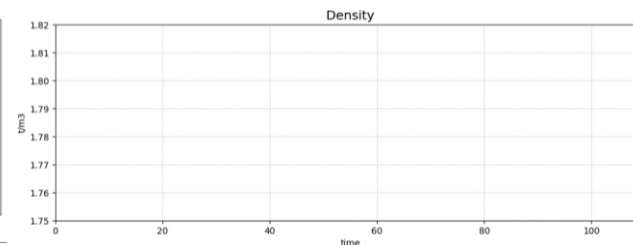
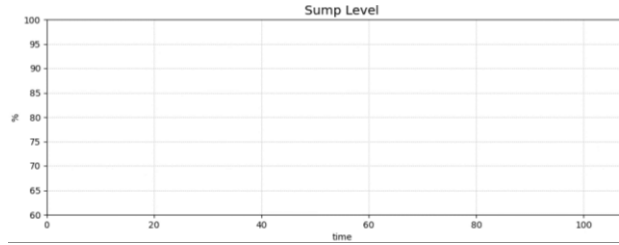
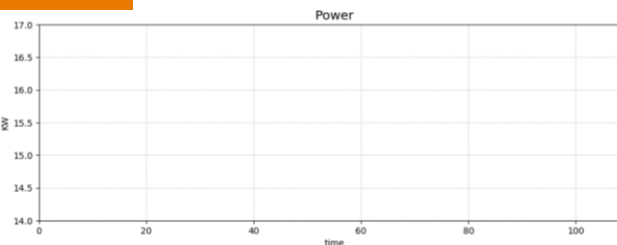
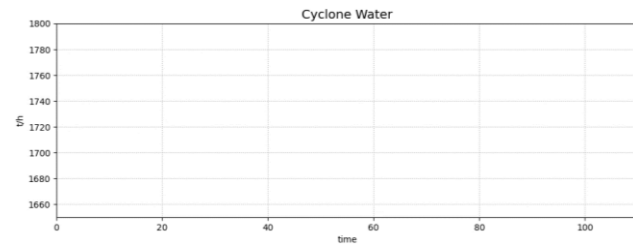
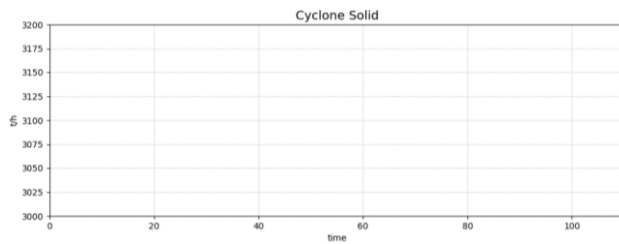
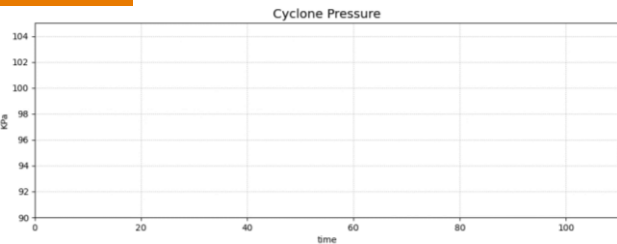
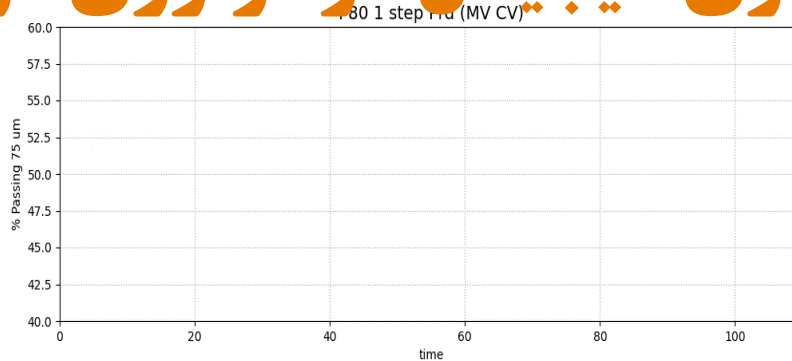
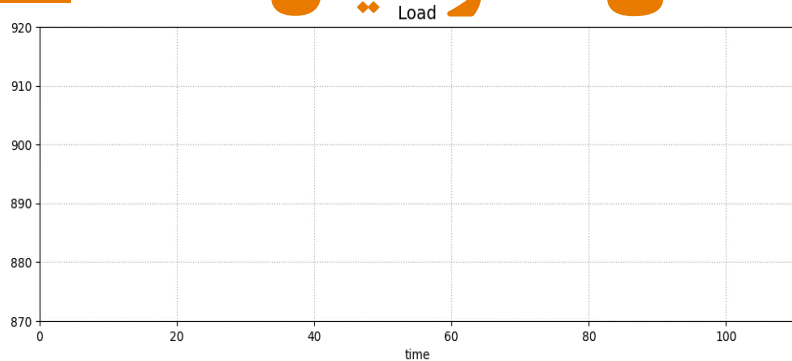
such as those involved in the mineral processing industry, the **peripheral tools** of the control loop are as important as the controller itself.

- **fault detection and isolation system,**
- **data reconciliation procedure,**
- **observers,**
- **soft sensors,**
- **optimizers,**
- **model parameter tuners**

عیب یابی و کنترل هوشمند در فراوری مواد معدنی

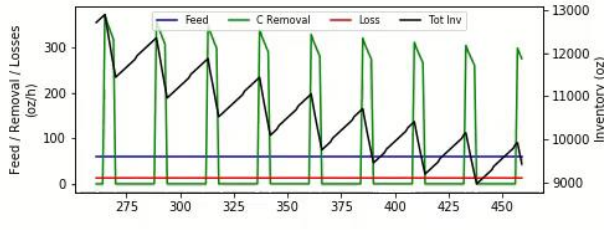
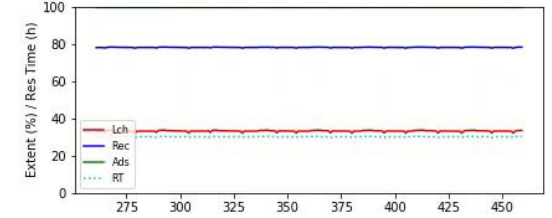
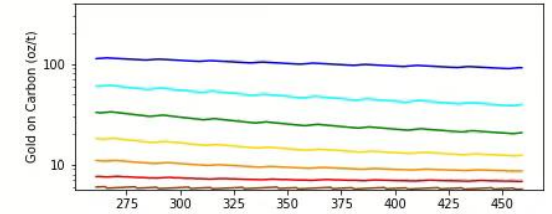
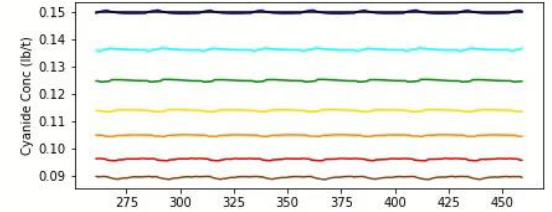
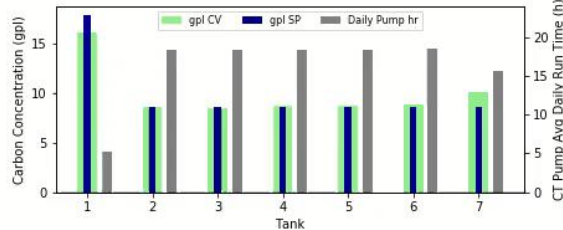
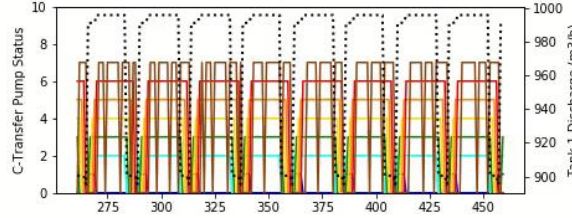
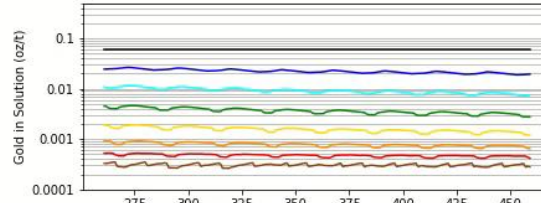
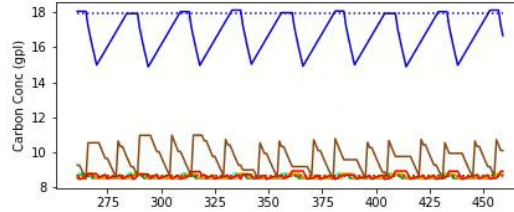
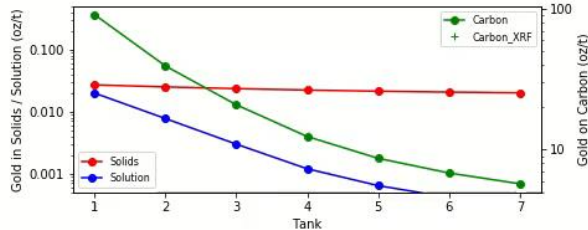
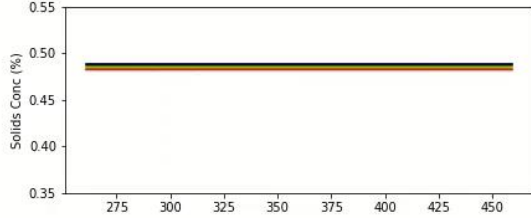
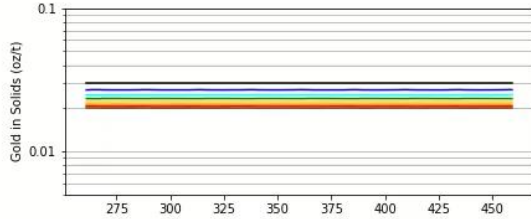
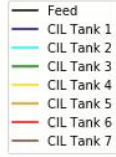


دوقلوی دیجیتال در فراوری مواد معدنی - خردایش

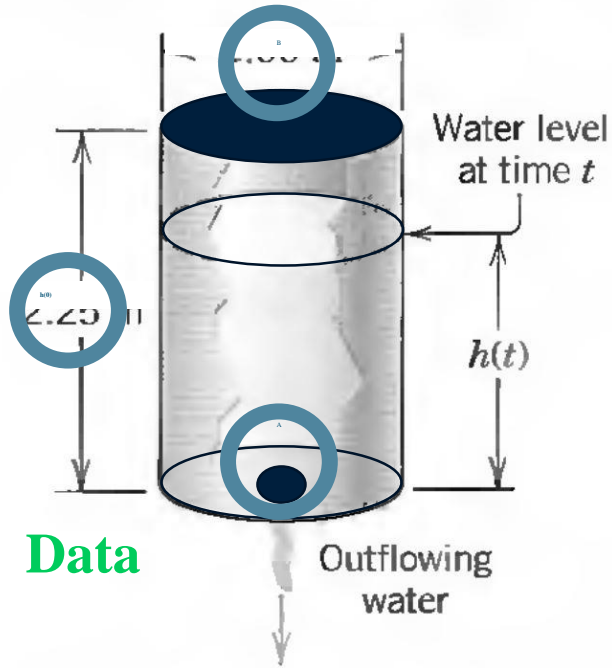


دو قلوئی دیجیتال در فراوری مواد معدنی - CIL

Pre-CIL Tanks: 0
 CIL Tanks: 7
 Vol Feed Rate: 901.0 m³/h
 Solids Feed Rate: 634.0 t/h
 Feed Solids Grade: 0.03 oz/t
 Tails Solids Grade: 0.02 oz/t
 Avg Carbon Conc: 10.0 g/L
 Total Carbon Inventory: 282.6 short t
 Tank Gold Inventory: 9195 oz
 Gold Feed Rate: 19.0 oz/h
 Gold Removal Rate: 266.1 oz/h
 Gold Loss Rate: 12.8 oz/h
 TK1 Carbon Loading (XRF): 91.0 oz/t



سپاس از توجه شما



Data

Phenomenological Modeling

$$\left. \begin{aligned} \Delta V &= Av \Delta t \\ \Delta V^* &= -B \Delta h \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

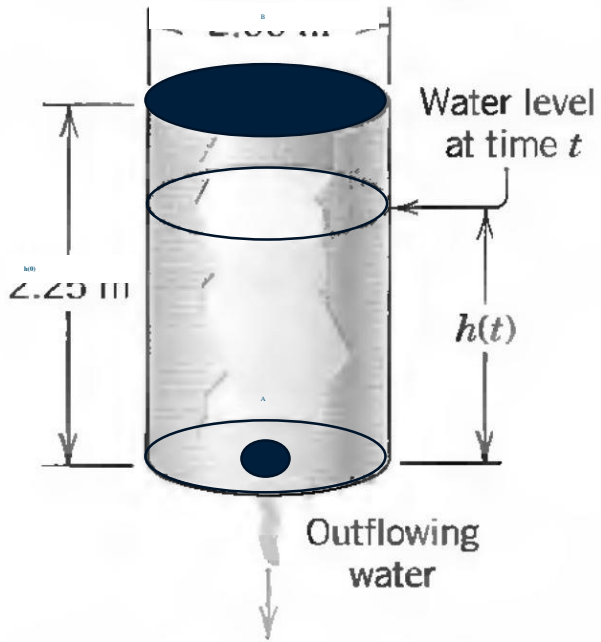
$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = -\frac{A}{B} v = -\frac{A}{B} 0.600 \sqrt{2gh(t)},$$

$$v(t) = 0.600 \sqrt{2gh(t)} \quad (\text{Torricelli's Law})$$

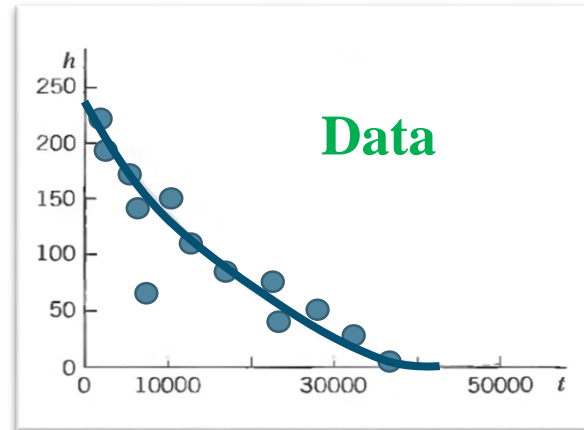
$$\frac{dh}{dt} = -26.56 \frac{A}{B} \sqrt{h},$$

$$2\sqrt{h} = c^* - 26.56 \frac{A}{B} t.$$

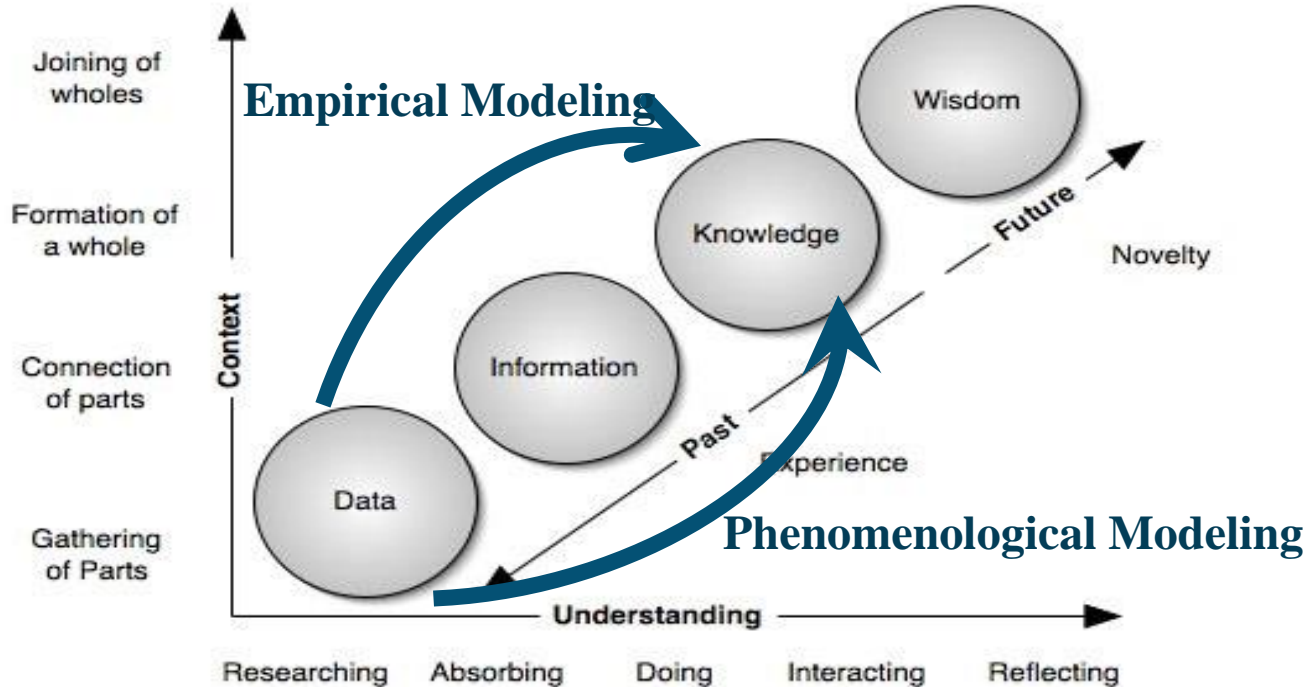
$$h_p(t) = (15.00 - 0.000332t)^2.$$

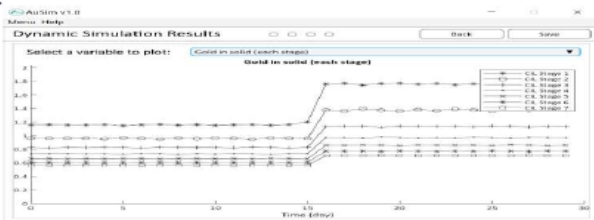


Empirical Modeling



$$h(t) = at^2 + bt + c$$



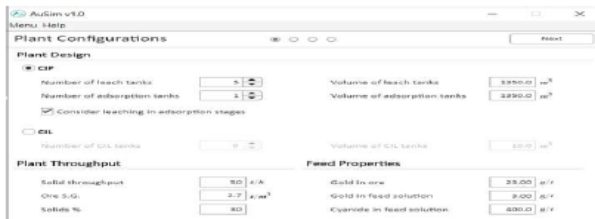


دوقلوی دیجیتال ارائه شده برای کارخانه جریب کانپون آمریکا:

دوقلوی دیجیتال با بهره‌گیری از یادگیری ماشین و هوش مصنوعی و مدل‌های پدیدارشناختی، قادر به شبیه‌سازی رفتار سیستم، تشخیص وقوع عیب و اشکال در عملکرد و همچنین پیش‌بینی رفتار سیستم یا فرایند در شرایط مختلف است. این محصول از **طلاوران** در دو کارخانه داخلی و خارجی نصب شده است.

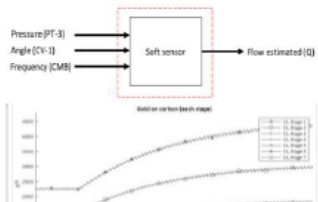
خدمات و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و کنترل اتوماتیک:

افزایش کارایی فرایند همراه با حفظ یا کاهش هزینه‌ها همواره از اهداف اساسی در صنایع مختلف است. **طلاوران** با توسعه بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرایندهای فراوری (از خریداش تا استحصال فلز) همچون بسته مازولار **MPSP** و نرم افزار تخصصی شبیه سازی مدار سیانوراسیون **AuSim** آمادگی اجرای تمامی پروژه‌های مرتبط با پیش، بهینه‌سازی و اتوماسیون کارخانه‌های فراوری مواد معدنی را دارد.



سنسور نرم اندازه‌گیری میزان طلا بر روی کربن یا طلای فاز جامد و محلول:

استفاده از سنسورهای سخت (فیزیکی) برای اندازه‌گیری اکثر متغیرهای اساسی و تعیین‌کننده یا به طور کلی امکان‌پذیر نیست یا نیازمند هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی است. در همین راستا تیم **طلاوران** دائما در حال توسعه ابزارهایی جهت تخمین این متغیرها است که حسگر نرم نامیده می‌شود. اولین حسگر توسعه داده شده در کارخانه‌ای در ایران در حال تست است.



طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی کارخانه‌های موبایل و کوچک مقیاس:

هنگامی که حجم ذخیره معدن کمتر از حد مشخصی باشد یا نیاز به مطالعات پایلوت وجود داشته باشد، یا ملاحظات تامین مالی، امکان ورود یک باره به مقیاس بزرگ را فراهم نکند، بهره‌گیری از کارخانه‌های موبایل یا کوچک مقیاس نیمه موبایل ارزش بالایی پیدا می‌کند. **طلاوران** با ساخت دو واحد ۲۵ و ۲۰۰ تن در روز در صنعت طلا، دارای تجربه بالایی در این حوزه است.



خدمات و نرم افزار پیش و حسابرسی متالورژیکی کارخانه‌های فراوری

ارزیابی و بهبود شبکه برداشت داده از کارخانه:

- آنالیز جریانها با نرم افزار آنالیز مشاهده پذیری و افزونگی جریانها (RedObs) توسعه داده شده توسط **طلاوران**
- ارزیابی کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری آنلاین و آفلاین
- بهینه‌سازی محل‌ها و روش نمونه‌برداری آفلاین و آنلاین

ایجاد سیستم یکپارچه دریافت، پردازش داده‌ها و محاسبات متالورژیکی:

- توسعه الگوریتم موازنه جرم کلی و اجزاء
- توسعه نرم افزار بومی‌سازی شده برای هر کارخانه
 - تشخیص عیوب فرایندی
 - تلفیق داده‌ها و تخمین داده‌های ناقص
 - محاسبه اندیس‌های کارایی کلیدی واحدها
 - ایجاد دسترسی مدیریتی و گزارش‌های فنی اتوماتیک

تهیه کاربردها و دستورالعمل جدید برای برداشت و ورود داده‌ها:

- کاهش خطاهای سیستماتیک و تصادفی داده‌ها
- آموزش نرم افزار و کاربری آن



خدمات و نرم افزار پایش و حسابرسی متالورژیکی کارخانه‌های فراوری

ارزیابی و بهبود شبکه برداشت داده از کارخانه:

- آنالیز جریانها با نرم افزار آنالیز مشاهده پذیری و افزونگی جریانها (RedObs) توسعه داده شده توسط **طلاوران**
- ارزیابی کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری آنلاین و آفلاین
- بهینه‌سازی محل‌ها و روش نمونه‌برداری آفلاین و آنلاین

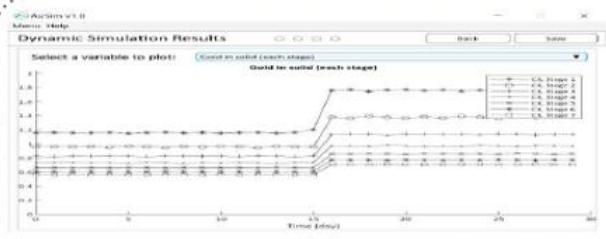
ایجاد سیستم یکپارچه دریافت، پردازش داده‌ها و محاسبات متالورژیکی:

- توسعه الگوریتم موازنه جرم کلی و اجزاء
- توسعه نرم افزار بومی‌سازی شده برای هر کارخانه
 - تشخیص عیوب فرایندی
 - تلفیق داده‌ها و تخمین داده‌های ناقص
 - محاسبه اندیس‌های کارایی کلیدی واحدها
 - ایجاد دسترسی مدیریتی و گزارش‌های فنی اتوماتیک

تهیه کاربرگ‌ها و دستورالعمل جدید برای برداشت و ورود داده‌ها:

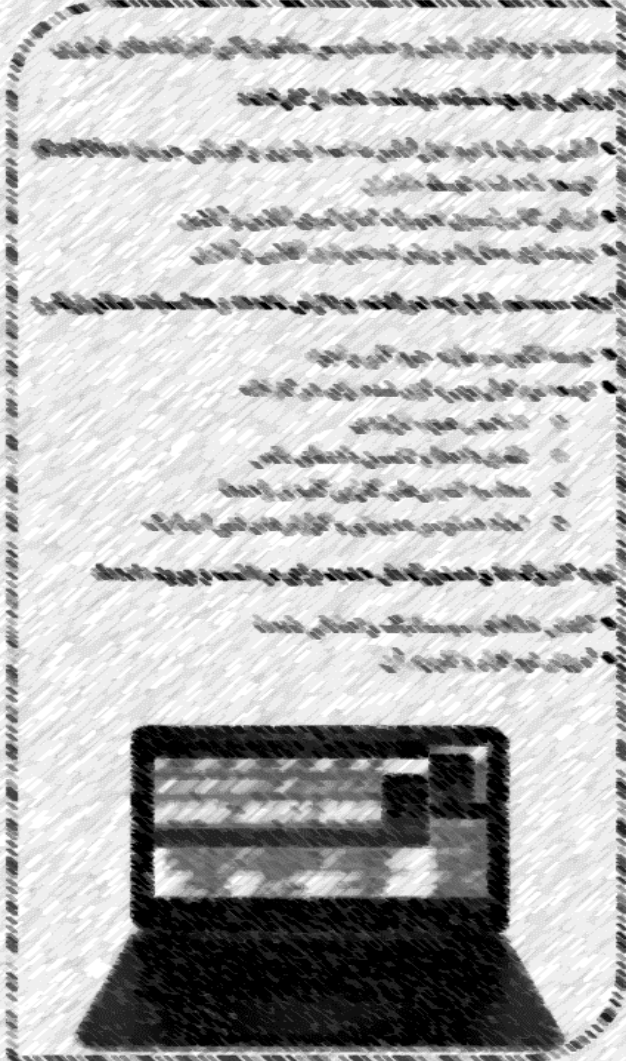
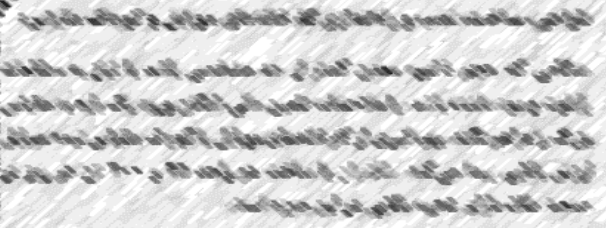
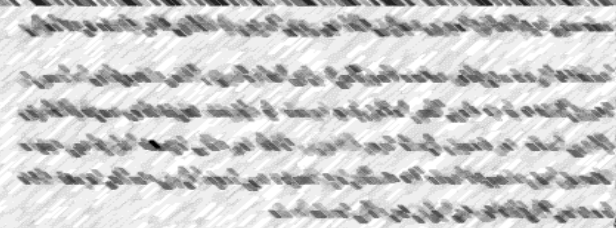
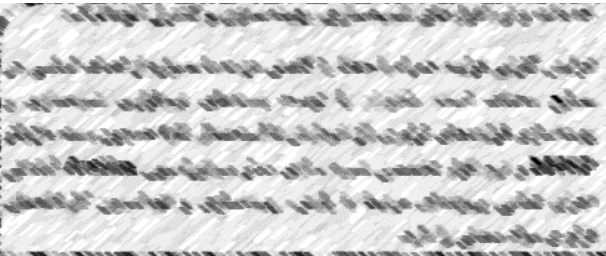
- کاهش خطاهای سیستماتیک و تصادفی داده‌ها
- آموزش نرم افزار و کاربری آن





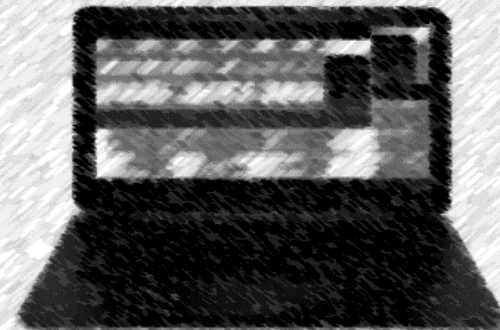
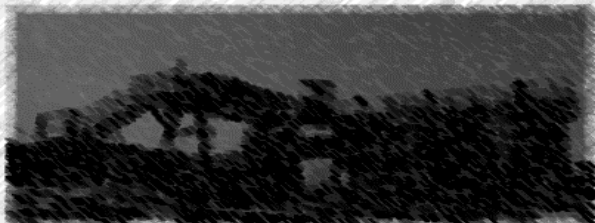
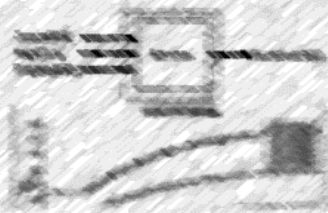
دوقلوی دیجیتال ارائه شده برای کارخانه جریب کانپون آمریکا:

دوقلوی دیجیتال با بهره‌گیری از یادگیری ماشین و هوش مصنوعی و مدل‌های پدیدارشناختی، قادر به شبیه‌سازی رفتار سیستم، تشخیص وقوع عیب و اشکال در عملکرد و همچنین پیش‌بینی رفتار سیستم یا فرایند در شرایط مختلف است. این محصول از **ملاوران** در دو کارخانه داخلی و خارجی نصب شده است.



خدمات و نرم افزارهای شبیه سازی، بهینه سازی و کنترل اتوماتیک:

افزایش کارایی فرایند همراه با حفظ یا کاهش هزینه ها همواره از اهداف اساسی در صنایع مختلف است. **طلاوران** با توسعه بسته های نرم افزاری شبیه سازی و بهینه سازی فرایندهای فراوری (از خردایش تا استحصال فلز) همچون بسته مازولار **MPSP** و نرم افزار تخصصی شبیه سازی مدار سیانوراسیون **AuSim** آمادگی اجرای تمامی پروژه های مرتبط با پایش، بهینه سازی و اتوماسیون کارخانه های فراوری مواد معدنی را دارد.





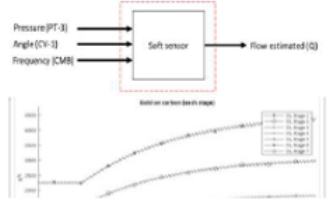
در این پژوهش، از سنسورهای فشار، زاویه و فرکانس برای اندازه‌گیری میزان تلا در روی کرین یا طلای فاز جامد و محلول استفاده شده است. این سنسورها به یک سیستم پردازش سیگنال متصل شده و داده‌ها را به یک رایانه مرکزی ارسال می‌کنند. این سیستم قادر است تغییرات در میزان تلا را به صورت لحظه‌ای ثبت و گزارش دهد. همچنین، این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی برای بررسی سلامت و عملکرد کرین‌ها در طول زمان استفاده شود.

این سنسورها به یک سیستم پردازش سیگنال متصل شده و داده‌ها را به یک رایانه مرکزی ارسال می‌کنند. این سیستم قادر است تغییرات در میزان تلا را به صورت لحظه‌ای ثبت و گزارش دهد. همچنین، این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی برای بررسی سلامت و عملکرد کرین‌ها در طول زمان استفاده شود.

در این پژوهش، از سنسورهای فشار، زاویه و فرکانس برای اندازه‌گیری میزان تلا در روی کرین یا طلای فاز جامد و محلول استفاده شده است. این سنسورها به یک سیستم پردازش سیگنال متصل شده و داده‌ها را به یک رایانه مرکزی ارسال می‌کنند. این سیستم قادر است تغییرات در میزان تلا را به صورت لحظه‌ای ثبت و گزارش دهد. همچنین، این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی برای بررسی سلامت و عملکرد کرین‌ها در طول زمان استفاده شود.

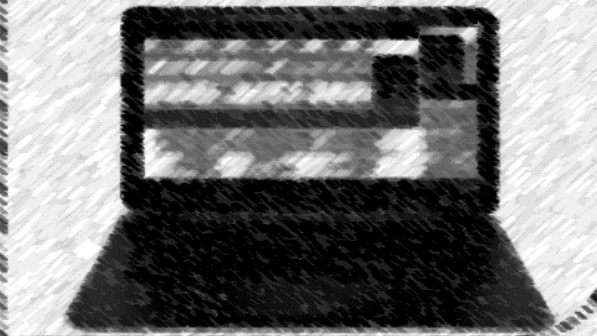
این سنسورها به یک سیستم پردازش سیگنال متصل شده و داده‌ها را به یک رایانه مرکزی ارسال می‌کنند. این سیستم قادر است تغییرات در میزان تلا را به صورت لحظه‌ای ثبت و گزارش دهد. همچنین، این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی برای بررسی سلامت و عملکرد کرین‌ها در طول زمان استفاده شود.

سنسور نرم اندازه‌گیری میزان تلا بر روی کرین یا طلای فاز جامد و محلول:



استفاده از سنسورهای سخت (فیزیکی) برای اندازه‌گیری اکثر متغیرهای اساسی و تعیین‌کننده یا به طور کلی امکان‌پذیر نیست یا نیازمند هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی است. در همین راستا تیم **طلاوران** دائما در حال توسعه ابزارهایی جهت تخمین این متغیرها است که حسگر نرم نامیده می‌شود. اولین حسگر توسعه داده شده در کارخانه‌ای در ایران در حال تست است.

در این پژوهش، از سنسورهای فشار، زاویه و فرکانس برای اندازه‌گیری میزان تلا در روی کرین یا طلای فاز جامد و محلول استفاده شده است. این سنسورها به یک سیستم پردازش سیگنال متصل شده و داده‌ها را به یک رایانه مرکزی ارسال می‌کنند. این سیستم قادر است تغییرات در میزان تلا را به صورت لحظه‌ای ثبت و گزارش دهد. همچنین، این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی برای بررسی سلامت و عملکرد کرین‌ها در طول زمان استفاده شود.

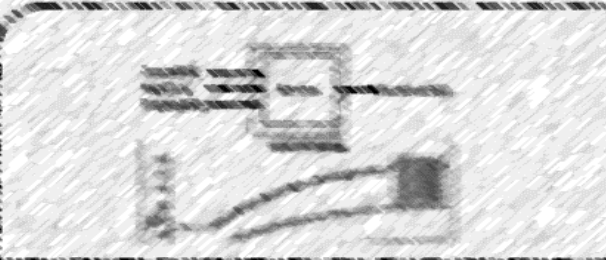




این دستگاه برای اندازه‌گیری دقیق و پایداری در شرایط مختلف محیطی طراحی شده است. قابلیت حمل و نقل آسان آن، امکان استفاده در مناطق دورافتاده را فراهم می‌کند. همچنین، این دستگاه مجهز به سیستم‌های ایمنی و حفاظت از داده است تا از تلفات احتمالی جلوگیری کند.

این دستگاه برای اندازه‌گیری دقیق و پایداری در شرایط مختلف محیطی طراحی شده است. قابلیت حمل و نقل آسان آن، امکان استفاده در مناطق دورافتاده را فراهم می‌کند. همچنین، این دستگاه مجهز به سیستم‌های ایمنی و حفاظت از داده است تا از تلفات احتمالی جلوگیری کند.

ردیف	شرح	واحد	مقدار
۱	ظرف‌های نمونه‌گیری	لیتر	۱۰
۲	ظرف‌های ذخیره‌سازی	لیتر	۲۰
۳	ظرف‌های تصفیه	لیتر	۱۵
۴	ظرف‌های آزمایش	لیتر	۵
۵	ظرف‌های تخلیه	لیتر	۱۰



این دستگاه برای اندازه‌گیری دقیق و پایداری در شرایط مختلف محیطی طراحی شده است. قابلیت حمل و نقل آسان آن، امکان استفاده در مناطق دورافتاده را فراهم می‌کند. همچنین، این دستگاه مجهز به سیستم‌های ایمنی و حفاظت از داده است تا از تلفات احتمالی جلوگیری کند.

این دستگاه برای اندازه‌گیری دقیق و پایداری در شرایط مختلف محیطی طراحی شده است. قابلیت حمل و نقل آسان آن، امکان استفاده در مناطق دورافتاده را فراهم می‌کند. همچنین، این دستگاه مجهز به سیستم‌های ایمنی و حفاظت از داده است تا از تلفات احتمالی جلوگیری کند.

طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی کارخانه‌های موبایل و کوچک مقیاس:
 هنگامی که حجم ذخیره معدن کمتر از حد مشخصی باشد یا نیاز به مطالعات پایلوت وجود داشته باشد، یا ملاحظات تامین مالی، امکان ورود یک باره به مقیاس بزرگ را فراهم نکند، بهره‌گیری از کارخانه‌های موبایل یا کوچک مقیاس نیمه موبایل ارزش بالایی پیدا می‌کند. **طلاوران** با ساخت دو واحد ۲۵ و ۲۰۰ تن در روز در صنعت طلا، دارای تجربه بالایی در این حوزه است.

