

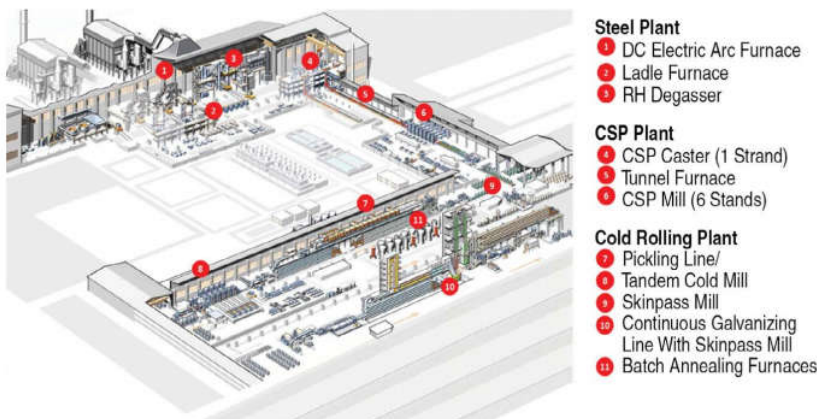
## تأمین کیفیت تولید با روش جدید KPI کارخانه در شرایط بلادرنگ در شرکت BRS (واحد CSP)<sup>1</sup>

تکنولوژی‌های دیجیتال/صنعت 4.0 در صنعت فولاد

ترجمه: محمدحسین نشاطی

شرکت بیگ ریور استیل (BRS)، واقع در Osceola، آرکانزاس، آمریکا، در مساحت تقریبی 5 km<sup>2</sup>، یکی از مدرن‌ترین و سازگارترین کارخانه‌ها با محیط زیست در این کشور است. این شرکت با استفاده از فرآیندهای نوآورانه، پاک و موثر، فولادهای با کیفیت بالا را برای صنایع انرژی، خودرو و نفت و گاز عمدتاً از قراضه فولاد بازیافتی تولید می‌کند.

ظرفیت این کارخانه سالانه 1.5 میلیون تن محصولات فولادی با کیفیت بالا و فولادهای مخصوص است. ظرفیت آن در مرحله دوم ساخت که در ژانویه 2019 آغاز شد، تا 3.0 میلیون تن افزایش خواهد یافت. شرکت SMS به عنوان ارائه‌دهنده سیستم‌های یکپارچه، کلیه واحدها - از کارخانه ذوب تا خروج نوار ورق فولاد تمام‌شده، شامل کلیه درایوها و اجزای هیدرولیکی، کل تجهیزات الکتریکی، سیستم‌های پیچیده اتوماسیون و همچنین تکنولوژی‌های زیست محیطی را تأمین کرده است.



شکل 1- نمای کلی مجتمع مینی میل BRS.

### کارخانه فولاد یادگیرنده BRS - کار

اصلی در این کارخانه فولادسازی توسط سیستم‌های تولید و فرآوری انجام می‌شود. چنین سیستم‌هایی مقدار زیادی داده تولید می‌کنند. داده‌های آنها مورد علاقه انواع مختلف سیستم‌های ارزیابی عملکرد و تطبیق است.

در اینجا دو نقل قول از BRS در مورد هدف آنها (کارخانه فولاد یادگیرنده) ارائه می‌شود:

"به صدها هزار حسگر، اسکنر و ردیاب‌ها که تجهیزات Flex Mill<sup>TM</sup> ما هر روز از آنها برای تبدیل آهن قراضه به گریدهای فولادی جدید و متمایز استفاده می‌نمایند فکر کنید. تمام داده‌های آن تجهیزات در هر مرحله از مسیر تولید خوانده شده، سنجش شده و گزارش می‌شوند. اکنون گردآوری این داده‌ها، و دانش و بینش بسیار زیادی را که در آنها وجود دارد را تصور نمایید. استفاده از این اطلاعات برای ساخت آن کیفیت محصولات فولادی به روش‌های هوشمندتر، سریعتر و دقیق‌تر را در نظر بگیرید. این قدرت هوش مصنوعی (AI) است."

"ما یک کارخانه فولاد یادگیرنده ایجاد کردیم که در سطحی یکپارچه شده است که قبلاً غیرممکن تصور می‌شد." در یک کارخانه یادگیرنده تولید فولاد، از داده‌های مختلفی برای ارزیابی مواردی که بیشتر مورد علاقه شرکت تولیدی و مشتریان آن هستند استفاده می‌شود. دو تا از مهمترین موارد این ارزیابی‌ها کیفیت محصول و شرایط تولید به همراه نگهداری و تعمیرات (نت) پیش‌بینانه است.

<sup>1</sup> - Production Quality Secured by New Real-Time Plant Condition KPI Approach at Big River Steel CSP, IRON & STEEL TECHNOLOGY, DEC 2020.

**عملکرد تجهیزات همراه با کیفیت محصول** - علاوه بر برنامه‌ریزی تولید، شرایط تولید و فرآیند نیز از عوامل اساسی تأثیرگذار بر کیفیت محصول و عملکرد کارخانه هستند. شرایط ضعیف تولید باعث نتایج بدتری در کیفیت محصول می‌شود. بنابراین هنگام ارزیابی محصولات و جستجوی دلایل افت کیفیت، تمرکز بر شرایط تولید نیز ضروری است. توانایی ایجاد شواهد پیش‌بینی‌کننده در مورد شرایط تولید مربوط به تجهیزات در آینده نزدیک و بسیار نزدیک، امکان برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های نت پیش‌بینانه و احتمالاً زمان‌بندی مجدد برنامه‌ریزی تولید را در صورت وخامت چشمگیر شرایط فرآیند فراهم می‌کند.

سهام SMS به عنوان تامین‌کننده کامل سیستم ارائه اطلاعات مربوط به تجهیزات از لحاظ شرایط تولید به صورتی است که برای کارکنان نت و تولید قابل درک، مشهود و محسوس باشند.

## بحث

برای دستیابی به هدف، یعنی شناسایی روابط بین وضعیت کارخانه و کیفیت محصول حاصل، شناخت زودهنگام مشکلاتی که احتمالاً در صورت ادامه رخ خواهند داد و فراهم آوردن امکان انجام اقدامات برای جلوگیری از این مشکلات، تاکنون گام‌های زیر انجام شده‌اند.

در روش اول، سیستم تحلیلگر کیفیت محصول (PQA<sup>®</sup>) که کل زنجیره فرآیند از فولادسازی تا محصول نهایی را زیر نظر می‌گیرد، در BRS مستقر شده است. سیستم PQA کاملاً استقرار یافته و برای تقریباً تمام قسمت‌های کارخانه BRS عملیاتی است.

به عنوان یک کارکرد اساسی ضروری، انبار داده‌های تولید (PDW) برای ذخیره بلندمدت تمام داده‌های مورد نیاز ایجاد شده است.

در روش دوم، سیستم تحلیلگر شرایط تولید (PCA) نصب می‌شود. در زمان نگارش این مقاله، این سیستم هنوز در دست ساخت است، گرچه کارکرد قابل توجه آن از قبل در دسترس می‌باشد.

**انبار داده‌های تولید (PDW)** - گروه SMS به همراه شرکت‌های خود SMS digital و QuinLogic، یک انبار داده‌های تولید را در BRS نصب کرد. PDW داده‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری، سیستم برنامه‌ریزی تولید، مدل‌های فرآیند و سیستم‌های کنترل تکنولوژیکی مجتمع مینی‌میل کامل را در یکجا جمع می‌کند. بر اساس این داده‌ها و قواعد تعریف شده توسط مهندسان مکانیک، مهندسان وسایل رسانه‌ای و مهندسان برق و همچنین متخصصان فرآیند و متالورژی، می‌توان ارزیابی داده‌ها از دیدگاه‌های مختلف را انجام داد.

**تحلیلگر کیفیت محصول (PQA)** - عنوان یک راه‌حل تضمین مدیریت پیشرفته فرآیند و کیفیت توسعه یافته است [5-7] و بر آنالیز داده‌های فرآیند، اطلاعات تجهیزات، دستگاه‌های اینلاین سنجش کیفیت و آنالیز روند تمرکز می‌کند. این سیستم داده‌ها را بدست می‌آورد و پاسخ می‌دهد که آیا فرآیند مطابق تعریف و انتظار در حال اجرا می‌باشد و آیا محصول میانی یا نهایی برای فرآوری بیشتر مناسب است یا می‌تواند به عنوان ماده بدون نقص برای مشتری نهایی حمل شود یا نه. از داده‌ها و تحلیل‌های متصل شده می‌توان از نقطه نظر کیفیت با PQA برای صدور گواهی‌نامه‌های کیفیت بطور خودکار و نیمه خودکار استفاده کرد.

متخصص کیفیت می‌تواند مرور سریع و جامعی در مورد کلیه اطلاعات کیفیت محصول و فرآیند را در سرتاسر زنجیره تولید کامل، از کارگاه ذوب تا خطوط فرآوری و در ترکیب با سابقه کامل مراحل تولید (تاریخچه) کلاف محصول بدست آورد.

بر اساس قواعد تخصصی [کیفیت]، تصمیم‌گیری در مورد آزادسازی کلاف به صورت خودکار یا دستی با استفاده از توصیه‌های PQA امکان‌پذیر است. PQA از نزدیک با سیستم اجرای ساخت (MES) یکپارچه شده است تا امکان آزادسازی خودکار کلاف‌ها را بدهد.

مزایای PQA عبارتند از:

- ترکیب دانش تخصصی و سیستم مدیریت کیفیت.

- ارزیابی تمام کلافها با قواعد

- تخصصی تعریف شده.

- افزایش کیفیت محصول.

- تثبیت تولید با کیفیت بدون

- نقص.

- کاهش رد شدن محصول بر

- حسب مشتریان نهایی.

- ارائه پشتیبانی عیب یابی.

**تحلیلگر شرایط تولید (PCA) - با استفاده**

از PDW به عنوان تنها منبع دادهها،

تحلیلگر شرایط تولید قادر است از انواع

بسیار مختلفی از دادهها برای ارزیابی چنین

دادههایی از سیستمهای بازرسی سطح،



شکل 2 - گام در جهت بهینه‌سازی کیفیت محصول با استفاده از آنالیز همبستگی مبتنی بر آنالیزکننده کیفیت محصول (PQA) و آنالیزکننده شرایط تولید (PCA).

سیستمهای اندازه‌گیری تکنولوژیکی، اتوماسیون پایه، نتایج مدل و همچنین سیستمهای برنامه‌ریزی تولید استفاده کند.

ارزیابی نزدیک به روندها و قواعد زمان واقعی (بالادرنگ) و بلندمدت امکان اعلام هشدار و اطلاعات کوتاه مدت برای مثال، به

سیستم برنامه‌ریزی تولید برای زمان‌بندی مجدد و همچنین بررسی تغییر رفتار بلندمدت را می‌دهد. تشخیص تغییر در رفتار بلندمدت

می‌تواند اقدامات نت پیش‌بینانه را تحریک کند؛ "نت در صورت تقاضا" بجای فقط فعالیت‌های نت دوره‌ای. بطور معمول، نت پیش-

بینانه با داشتن نیروی انسانی نت مشاهده‌گر تجهیزات، با استفاده از نمودارها و آنالیزهای منفرد حاصل می‌شود.

تحلیلگر شرایط تولید می‌تواند قسمت عمده‌ای از این کار دستی را به عهده بگیرد و نقض حدود را درست به موقع نشان دهد.

نظارت خودکار فرآیند و مشاهده کل داده‌های مربوط به فرآیند و تولید در سراسر زنجیره فرآیند و شناسایی زود هنگام نارسائی-

های فرآیند، از اپراتور و پرسنل نت در تصمیم‌گیری‌های مربوط به فرآیند و فعالیت‌های بهینه برنامه‌ریزی نت پشتیبانی می‌کند.

PCA بر شرایط تولید و

همچنین پایش دستگاه تمرکز دارد.

پایش دستگاه به عنوان بخشی از

PCA نه تنها ماشین‌آلات همچون

قفسه‌های نورد، خم‌اندازها (لوپرها) و

گیره، بلکه همچنین سیستم

هیدرولیک، پایش سطح و نشت

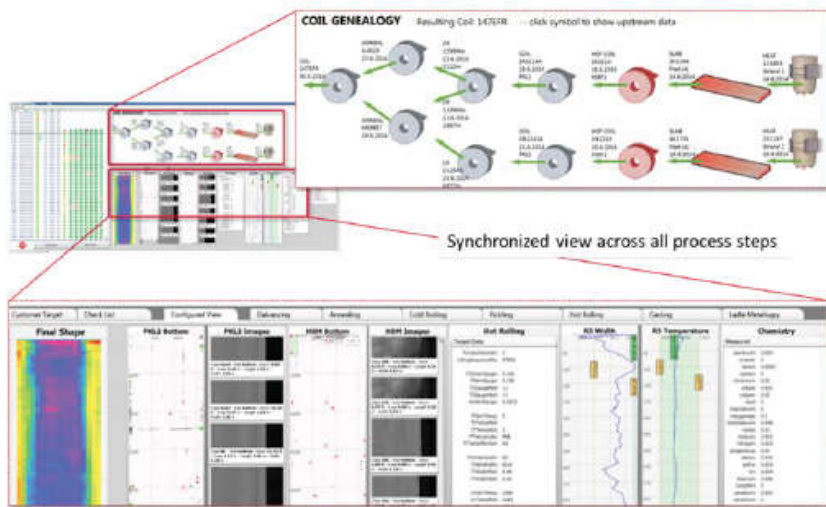
روغن، سیستمهای خنک‌کننده و

وضعیت و شرایط غلتک کاری و

پشتیبان را هم در نظر می‌گیرد.

همچنین شامل روال عادی تجزیه و

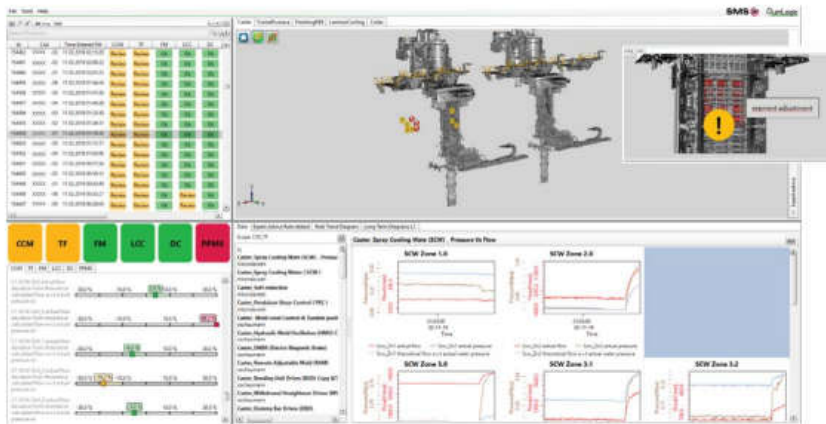
تحلیل بر پایه دادهها است که



شکل 3 - PQA - مانیتور کیفیت محصول که زنجیره کامل فرآیند را پوشش می‌دهد (از فولادسازی تا فرآوری نهایی).

اطلاعات مربوط به شرایط نت یا پیش‌بینی‌ها برای کارخانه مربوطه را منتقل می‌کنند. نتایج سیستم پایش دستگاه به صورت بصری نمایش داده می‌شوند، برای مثال، می‌توان آنها را با مراجعه به فهرست سفارشات تولید شده، ایجاد اتصال به محصولات و کیفیت تولید شده، نشان داد.

در گذشته، متغیرهای فرآیند توسط سنجه‌های قیاسی (آنالوگ) مختلف نشان داده می‌شدند، سیگنال‌های هشدار توسط سیم به پانل‌های اعلام‌کننده ارسال می‌شدند و دستگاه‌های متعدد کنترل دستی در سراسر ایستگاه‌های بزرگ میز اپراتورها پخش بودند. دستورالعمل‌های فرآیند و تنظیمات تجهیزات در مغز انسان یا به صورت دستنویس روی کاغذ بود. این وضعیت هنگامی است که

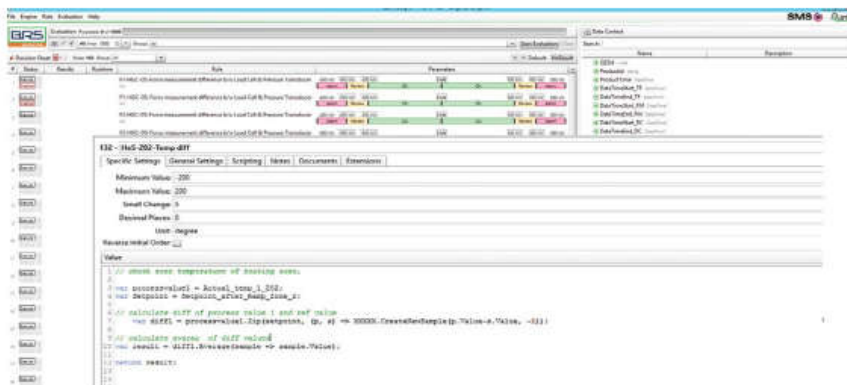


شکل 4- نمونه‌ای از پایش PCA.

بهره‌وری شاخص اصلی عملکرد (KPI)، بدون ارتباط با شرایط واقعی فرآیند و کیفیت محصول مرتبط باشد. ردیابی سلامت فرآیند به صورت درون خطی (اینلاین) امکان شناسایی انحرافات و تعریف پنجره‌های فرآیند بهینه‌شده را بسته به شرایط مرزی بسیار بیشتر از قبل فراهم می‌کند. برقراری ارتباط شرایط فرآیند، شرایط و کیفیت دستگاه امکان تکثیرپذیری

بسیار بهتر و مزایای کاملاً خاص برای تنظیم کیفیت فرآیند بر اساس شرایط موجود فعلی را فراهم می‌سازد. یک مثال رطوبت و دمای اندازه‌گیری شده برای ردیابی نقاط شبنم در کوره‌ها برای تولید نوار ورق می‌باشد. توانایی ردیابی شرایط فرآیند، امکان تکثیرپذیری بسیار بهتر در کیفیت محصول را فراهم می‌کند.

ارزیابی شرایط تولید و پایش دستگاه بر اساس قواعد منطقی فرآیند است. استفاده دائمی و به روزرسانی دانش در حال رشد تخصصی، نتایج مناسب را تضمین می‌کند.



شکل 5- نمونه‌ای از طراح قاعده.

برای دید کلی بهتر، کارخانه معمولاً به چند قسمت تقسیم می‌شود (برای مثال دستگاه ریخته‌گری، کوره تونلی، نورد نهائی، خنک‌کننده آرام، کلاف‌کننده). برای هر منطقه می‌توان مجموعه‌ای از قواعد منطقی را ایجاد کرد. اساساً، همه انواع مختلف داده‌های PDW می‌توانند به عنوان مقادیر ورودی برای یک قاعده استفاده شوند. نتایج تک قاعده تلفیق شده و یک نتیجه کلی برای هر منطقه تعیین می‌شود.

ایجاد ارزیابی‌های بلندمدت امکان شناخت گرایش‌های کارخانه، تجهیزات و رفتار کارخانه را فراهم می‌کند.

برای یک قاعده معمول، جهت بررسی وضعیت کارخانه:

- وضعیت بار درایوها را بررسی کنید، بررسی نمائید که هیچ گشتاور باری بیش از حد زیاد نباشد



- در صورت عدم وجود افزایش گشتاور بار، توصیه انجام بررسی/تعویض یاتاقان ها و غیره را بنماید.

• بررسی بلندمدت جریان شیرهای خنک کننده آرام:

- در صورت کاهش جریان آب، ممکن است شیر/لوله مسدود یا فرسوده باشد.

اطلاعات مربوط به نتایج قواعد در GUI کاربر (رابط گرافیکی کاربر) آورده شده است. در GUI نشانه‌ای وجود دارد از این که کدام قواعد انحراف از رفتار عادی را تعیین می‌کنند. در مدل سه بعدی کارخانه، منطقه موجب مشکل به صورت نمایان نشان داده می‌شود.

#### Rule : F1\_LOO\_Force checking at wait position.

**Rule Description:** Checking the force measurement when looper in waiting position with no control deviation in the position control ( tolerance for the control deviation +/- xx deg).

**Importance:** This rule result shows , the error in the looper actual force with respective ideal or normal values of looper actual forces in the wait position with not more than +/- XX deg in the position control deviation. So the status of this rule should be consider as per the limits settings.

**Note:** Initially set the limits as follows:

XX kN --> No Results.

- XX kN --> Status "OK".

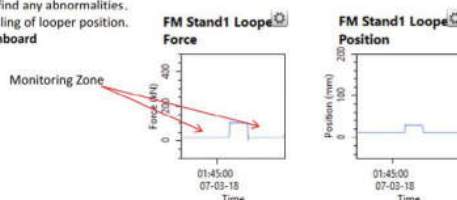
(Greater than - XX kN ) & ( Less than +, XX kN ) --> Status "Review"

Greater than +XX kN --> Status "Alarm".

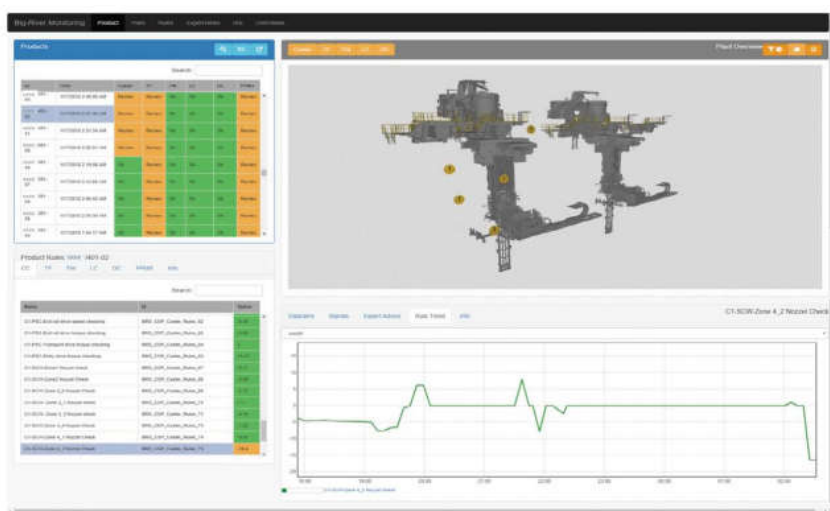
**If rule result in error state, then please do following checks:**

- Check the pressure transducer signals quality. To be sure that there is no noise, spikes in the PT signal.
- Check the pressure transducers no hydraulic pressure to ensure zeroing of the sensors are ok.
- Check the looper physically in mechanical point of view to find any abnormalities.
- Check the absolute encoder, in case of any issues in controlling of looper position.

See the following Charts for the reference to check in the Dashboard



شکل 6- نمونه‌ای از مشاوره تخصصی.



شکل 7- نمونه وب PCA پایانی.

نتایج قاعده، مدل طرح سه بعدی با نشان دادن منطقه مشکل، مشاوره تخصصی، نمودارها و روندها را نشان می‌دهد.

**نتایج PQA و PCA در یک صفحه وب مشترک-** با توجه به هدف نهایی - برای شناسایی روابط بین وضعیت کارخانه/شرایط تولید و کیفیت محصول، داشتن نتایج هر دو سیستم در یک صفحه نمایش مفید است. از آنجا که همه چیز یک دست فراهم می‌شود - PDW، PQA و PCA - به راحتی می‌توان یک نمای وب را تنظیم کرد.

ایجاد و فعال کردن قواعد آسان است. البته کاربران می‌توانند قواعدی را ایجاد، اصلاح و فعال کنند. مدیریت کاربر امکان اداره کردن حق دسترسی‌ها و همچنین کنترل تجدید نظر را فراهم می‌کند.

برای اکثر قواعد، اپراتورها یا پرسنل نت می‌توانند اطلاعات در مورد ارزیابی قاعده و نتیجه قاعده را با باز کردن مشاوره تخصصی مرتبط اصلاح کنند. اطلاعاتی در مورد چگونگی بررسی و نحوه اقدام ارائه می‌شود.

**صفحه وب PCA -** از دیدگاه نت، دسترسی سریع به اطلاعات مربوط به وضعیت نت کارخانه و فرآیند مهم است، در عین حالی که در کارخانه در حال انجام است. صفحه وب PCA امکان در دسترس داشتن اطلاعات در جا که مورد نیاز باشد می‌دهد.

صفحه وب PCA همان اطلاعات مانیتور PCA، از جمله

نمای ترکیبی با PQA و PCA مبنای خوبی را برای ارزیابی مشکلات کیفیت محصول در مقابل وضعیت کارخانه فراهم می‌سازد. مکانیزم‌های نمایش و فیلتر امکان ارزیابی سریع و آسان روابط بالقوه بین کیفیت محصول و وضعیت کارخانه را می‌دهند. بنابراین به کسب دانش تخصصی‌تر، ایجاد قواعد جدید و تعریف پارامترهایی برای مدل‌های هوش مصنوعی استفاده‌کننده از تشخیص الگو و غیره کمک می‌کند.

### صفحه وب PCA با مدل اطلاعات

**SMS** - استفاده از PCA برای تجزیه و تحلیل یک تجهیز خراب به نیاز اطلاعات بیشتر در مورد تجهیزات خاص منتج می‌شود. اگر جایگزینی به مشکلی تبدیل شود، باید به سرعت مکان فیزیکی دستگاه‌ها، برگه داده‌ها، اطلاعات تولیدکننده، نقشه‌های برقی، نقشه‌های وضعیت (چیدمان)، فهرست مواد اولیه و برای مثال مکان انبار ذخیره‌سازی مشخص شوند.

Plant	Status	Date	Value
XXXX-01-01	OK	2023-10-01	10.5
XXXX-01-02	Warning	2023-10-02	12.0
XXXX-01-03	Warning	2023-10-03	15.0
XXXX-01-04	Warning	2023-10-04	18.0
XXXX-01-05	Warning	2023-10-05	20.0
XXXX-01-06	Warning	2023-10-06	22.0
XXXX-01-07	Warning	2023-10-07	25.0
XXXX-01-08	Warning	2023-10-08	28.0
XXXX-01-09	Warning	2023-10-09	30.0
XXXX-01-10	Warning	2023-10-10	32.0
XXXX-01-11	Warning	2023-10-11	35.0
XXXX-01-12	Warning	2023-10-12	38.0
XXXX-01-13	Warning	2023-10-13	40.0
XXXX-01-14	Warning	2023-10-14	42.0
XXXX-01-15	Warning	2023-10-15	45.0
XXXX-01-16	Warning	2023-10-16	48.0
XXXX-01-17	Warning	2023-10-17	50.0
XXXX-01-18	Warning	2023-10-18	52.0
XXXX-01-19	Warning	2023-10-19	55.0
XXXX-01-20	Warning	2023-10-20	58.0
XXXX-01-21	Warning	2023-10-21	60.0
XXXX-01-22	Warning	2023-10-22	62.0
XXXX-01-23	Warning	2023-10-23	65.0
XXXX-01-24	Warning	2023-10-24	68.0
XXXX-01-25	Warning	2023-10-25	70.0
XXXX-01-26	Warning	2023-10-26	72.0
XXXX-01-27	Warning	2023-10-27	75.0
XXXX-01-28	Warning	2023-10-28	78.0
XXXX-01-29	Warning	2023-10-29	80.0
XXXX-01-30	Warning	2023-10-30	82.0
XXXX-01-31	Warning	2023-10-31	85.0

شکل 8 - نمای ترکیبی نتایج درجه‌بندی کیفیت، نتایج ارزیابی شرایط فرآیند و داده‌های محصول.



شکل 9- برگه‌های داده و نمودارهای مدار الکتریکی متصل شده به مدل اطلاعات SMS.

بنابراین، یک مدل اطلاعات شامل داده‌های فرآیند مهندسی، اطلاعات کارخانه واقعی، مشاوره تخصصی، پیوند به سایر اسناد مانند نقشه‌های برقی، برگه‌های داده و غیره است. نقشه برقی، برگه داده و غیره مستقیماً از رابط گرافیکی کاربر قابل دسترسی است.

مدل اطلاعات SMS به راحتی می‌تواند توسط مشتری برای در بر گرفتن اطلاعات یا اسناد بیشتری گسترش یابد. تغییرات را می‌توان در موقع اجرا انجام داد.

**ویژگی‌های اضافی مدل اطلاعات: اتصال سیستم eDOC و IMMS به مدل اطلاعات SMS** - مدل اطلاعات SMS را می‌توان به سیستم SMS eDOC (سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی) متصل کرد. تشخیص مرتبط با تجهیزات در سیستم eDOC ذخیره می‌شود، بنابراین نقشه‌های مکانیکی یا هیدرولیکی را می‌توان به راحتی و به سرعت در سیستم مدیریت اسناد یافت. با اتصال مدل اطلاعات به IMMS (سیستم مدیریت یکپارچه نت) گروه SMS، می‌توان اطلاعات مربوط به منطقه مشکل را ارائه کرد. تشخیص مرتبط با تجهیزات به سیستم مدیریت نت نیز منتقل می‌شود، که به IMMS امکان می‌دهد دستورالعمل‌های کاری را با تمام اطلاعات لازم ایجاد کند. ارزیابی PCA از رفتار بلندمدت تجهیزات به برنامه‌ریزی زمانی فعالیت‌های نت پیش‌بینانه کمک می‌کند.

### چشم‌انداز

حتی اگر برخی از مراحل مربوط به دیجیتال‌سازی از قبل انجام شده باشند، پایان کار کاملاً مشهود نیست.

به عنوان یک مرحله، منابع مختلف در یک کارخانه فولادسازی مانند PQA و PCA، MES، نت پیش‌بینانه، مشاور انرژی و داده‌های طراحی با هم مرتبط هستند و در دسترس قرار می‌گیرند. امروزه اپراتورها، متخصصان کیفیت و نت از آن استفاده می‌کنند. استفاده از داده‌ها نیز مشمول ارزیابی هوش مصنوعی است.

### نتیجه‌گیری

با تمرکز بر هدف کارخانه فولاد یادگیرنده، چند گام موفقیت‌آمیز برداشته شده است. اولین دستاوردها: PQA یک محصول کاملاً عملیاتی است و در تمام خطوط تولید در حال انجام وظیفه است. PCA محصولی جدید است که نتایج خوبی را نشان می‌دهد؛ زمینه‌های بیشتری در جریان ساخت هستند. این سیستم به تضمین تولید فولاد پایدار و با کیفیت بالا با حداقل هزینه و تلاش نیروی انسانی کمک می‌کند. پایگاه داده پلتفرم ایده‌آل برای پروژه‌های فعلی و آتی هوش مصنوعی فراهم می‌نماید. از آنجا که تأمین‌کننده کل زنجیره (تکنولوژی، مکانیک، برق، اتوماسیون، دیجیتال‌سازی، برنامه‌ریزی تولید، ارزیابی کیفیت، تجزیه و تحلیل شرایط تولید و کاربردهای هوش مصنوعی)، روابط بین داده‌های مختلف را معلوم کرده است، از این دانش و امکانات و مزایای دیجیتال‌سازی برای حرکت به سمت کارخانه فولاد یادگیرنده استفاده خواهد شد.

### منابع:

1. D. Stickler, "A New Generation Mini-Mill," AMM Chicago, Ill., USA, November 2016.
2. H. Hartmann, "Digitalization at Big River Steel," AIST Managing Technology Conference, September 2017, Memphis, Tenn., USA.
3. H. Hartmann, "Start-Up and Highlights of the BRS Cold Complex," AISTech 2018 Conference Proceedings, 2018.
4. F. Adjogble, "Holistic Approach of High-Quality Flat Steel Production," AISTech 2018 Conference Proceedings, 2018.
5. J. Kempken et al., "The Operation of Expert Systems for Higher Productivity and Better Quality in Oxygen Steelmaking," Proc. Eur. Oxygen Steel. Conf., EOSC, Birmingham, Ala., USA, 2000.
6. J. Kempken and M. Reifferscheid, "Integrated Product Improvement by Quality Analysis and Modeling," Proc. Eur. Cont. Casting Conf. ECCC, Nizza, Italy, 2005.
7. J. Kempken and T. Hüper, "State-of-the-Art Product Quality Management — Operational Success With Product Quality Analysis (PQA) Solutions," ABM Conf. Proc., Rio de Janeiro, Brazil, 2016.