

پایاده سازی سیستم هوشمند دیجیتال برای پایش و تحلیل نتایج آزمایشگاهی در فرایند تولید آمیزه های لاستیکی صنعت تایر

پوریا زارعی

کارشناس مسئول آمیزه کاری، لاستیک بارز کردستان

Zarei_p@barez.org

چکیده: در صنعت تایر، فرایندهای آزمایشگاهی تولید آمیزه های لاستیکی اغلب با چالش های دستی و زمان بر مواجه هستند که منجر به تأخیر در شناسایی مشکلات و افزایش ضایعات می شود. فرضیه اصلی این پژوهش، کاهش زمان تشخیص مشکلات تا ۵۰ درصد از طریق دیجیتال سازی و هوشمند سازی است [۱]. روش پژوهش شامل جمع آوری داده های خام از دستگاه های آزمایشگاهی (مانند رنومتر، ویسکومتر مونی، دستگاه های اندازه گیری SPGR، سختی، دیسپرژن و تنسایل برای آمیزه ها و مونی ویسکوزیته، تست کوره، رطوبت و ... برای مواد اولیه مانند کائوچوها، مواد شیمیایی، پرکننده ها و روغن ها و تجمع آن ها در بانک اطلاعاتی SQL Server و visualization در Power BI برای ایجاد داشبورد تحت وب (یکی برای پایش مواد اولیه و دیگری برای تحلیل خواص آمیزه ها) است [۲]. نتایج مهم نشان دهنده کاهش ۵۰ درصدی زمان تشخیص مشکلات (از ۲۴ ساعت به کمتر از ۲ ساعت)، کاهش ۱۵ درصدی نرخ مواد معیوب، و بهبود بهره وری از طریق هشدارهای real-time و تحلیل روندها (مانند تأثیر خواص آمیزه و مواد اولیه بر یکدیگر) است. ارزیابی نتایج براساس پایاده سازی واقعی در کارخانه بارز کردستان و مقایسه KPI ها پیش و پس از سیستم (مانند نرخ NOT-OK در آزمون ها انجام شد، که اعتبار روش را با کاهش ضایعات و تصمیم گیری داده محور تأیید می کند.

واژه های کلیدی: دیجیتال سازی، هوشمند سازی، آمیزه لاستیکی، Power BI، صنعت تایر

مقدمه

صنعت تایر به عنوان یکی از صنایع کلیدی در حوزه خودروسازی و حمل و نقل، وابسته به کیفیت بالای مواد اولیه و فرایندهای تولید است. تولید آمیزه لاستیکی، که شامل ترکیب کائوچو، پرکننده ها، مواد شیمیایی و سایر افزودنی ها می شود، نیازمند کنترل دقیق خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی است. تست های آزمایشگاهی مانند اندازه گیری خواص پختی ۱، مونی ویسکوزیته (Mooney Vis-cosity)، چگالی ویژه ۳، سختی، تفکیک ۲ و تنسایل ۴، نقش حیاتی در تضمین کیفیت آمیزه ها دارند. هم چنین، آزمون های مواد اولیه در آزمایشگاه شیمی، مانند تحلیل ترکیبات کائوچوها، مواد شیمیایی، پرکننده ها (دوده، سیلیکا و کربنات کلسیم) و روغن ها، برای جلوگیری از ورود مواد معیوب ضروری است [۶].

با این حال، فرایندهای سنتی پایش این داده ها اغلب دستی و زمان بر هستند، که منجر به تأخیر در شناسایی مشکلات و افزایش ضایعات می شود. در این مقاله، به هوشمند سازی این فرایندها از طریق دیجیتال سازی پرداخته می شود. این رویکرد، بخشی از همایش "هوشمند سازی در صنعت" است و بر پایه فناوری های داده کاوی و visualization تمرکز دارد. هدف اصلی، ایجاد یک سیستم یکپارچه برای تجمع، تحلیل و نمایش داده ها است که به تسریع مشکل گشایی کمک کند [۴].

بخش تجربی

جمع آوری و تجمع داده ها

داده های خام از دستگاه های آزمایشگاهی مختلف جمع آوری می شوند. برای آمیزه ها، این شامل نتایج تست رنومتری در دماهای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد (برای اندازه گیری گشتاور و زمان پخت)، ویسکومتر مونی برای فرایندپذیری، دستگاه های اندازه گیری SPGR، سختی (Shore A)، دیسپرژن (با استفاده از آزمون های نوری یا میکروسکوپی) و تنسایل، درصد ازدیاد طول ۵ و مدول است. برای مواد اولیه، نتایج آزمون های شیمیایی، آزمون های ویسکوزیته روغن ها، اندازه گیری سطح ویژه پرکننده ها (مانند BET برای سیلیکا) و آزمون های خلوص

کائوچوها و مواد شیمیایی، آزمون های کشش جهت بررسی چسبندگی پختی آمیزه ها به الیاف استخراج می شوند. این داده ها در یک بانک اطلاعاتی SQL Server تجمع می شوند. ساختار بانک داده شامل جداول زیر است:

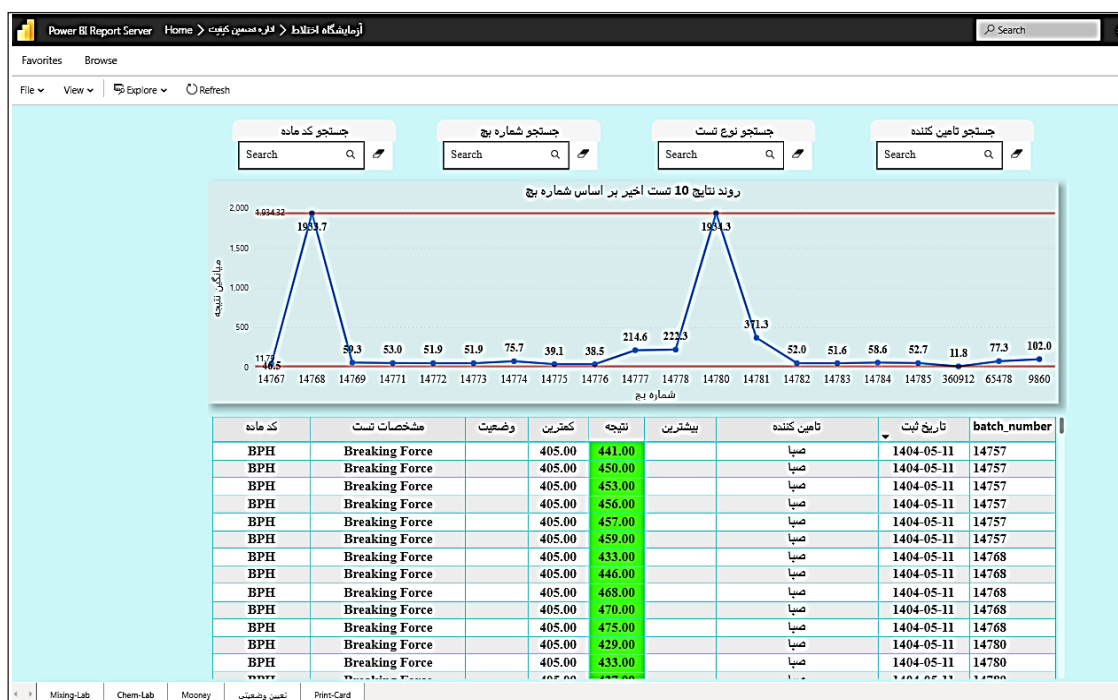
- ۱- جدول آمیزه ها: شامل کد آمیزه، خواص پختی (T10-T40-T90)، گشتاور حداقل/حداکثر در ۱۶۰°C و ۱۸۰°C، مونی ویسکوزیته ۱۰۰°C@100(1+3) ML)، SPGR، سختی، دیسپرژن (درجه تفکیک پرکننده ها)، تنسایل (قدرت کششی، کشیدگی و مدول) [۶].
- ۲- جدول مواد اولیه: شامل شناسه ماده، نتایج آزمون های شیمیایی برای کائوچوها (مانند محتوای Mooney، مقاومت حرارتی)، مواد شیمیایی (خلوص، رطوبت، کوره و pH)، پرکننده ها (اندازه ذرات دوده، سیلیکا و کربنات کلسیم؛ سطح ویژه، جذب و روغن) و روغن ها (ویسکوزیته) و ...
- ۳- جدول زمانی: برای ثبت تاریخ و زمان آزمون ها به منظور پایش روندها.

تحلیل و داشبورد سازی با Power BI

داده های SQL به نرم افزار Power BI وارد می شوند. Power BI به عنوان ابزاری قدرتمند برای visualization و تحلیل داده، امکان ایجاد داشبوردهای سفارشی را فراهم می کند [۲]. دو داشبورد اصلی طراحی شده عبارتند از:

۱- داشبورد پایش و تحلیل نتایج آزمایشگاه شیمی مواد اولیه:

این داشبورد مطابق شکل ۱ نتایج آزمون های مواد اولیه را پوشش می دهد. شامل نمایش خواص کائوچوها (نمودارهای خطی برای روند Mooney و خلوص)، مواد شیمیایی (چارت های میله ای برای pH و ناخالصی ها)، پرکننده ها (نمودارهای پراکندگی برای اندازه ذرات دوده، سیلیکا و کربنات کلسیم؛ سطح ویژه و جذب روغن) و روغن ها (برای ویسکوزیته و محتوای آروماتیک). ادغام با داشبورد آمیزه ها برای ردیابی تأثیر مواد اولیه بر کیفیت نهایی، مانند همبستگی بین جذب روغن پرکننده و ویسکوزیته آمیزه.



شکل ۱- داشبورد پایش و تحلیل خواص مواد اولیه

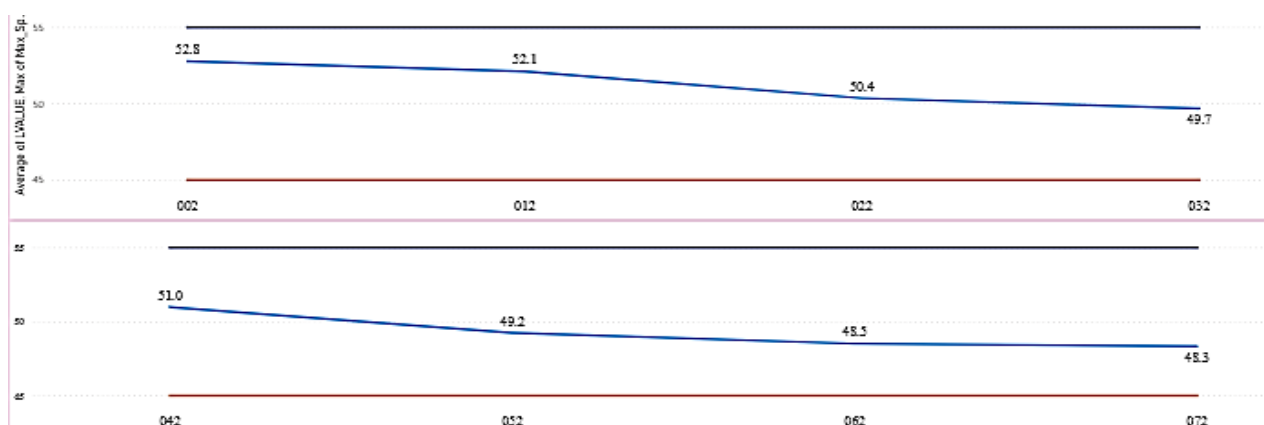
۲- داشبورد پایش و تحلیل نتایج آزمایشگاه اختلاط آمیزه‌ها:

برای قدرت کششی، کشیدگی و مدول). فیلترهای دینامیک براساس نوع آمیزه، دما یا تاریخ آزمون اضافه شده است. هشدارهای رنگی برای مقادیر خارج از محدوده (مثلاً اگر زمان پخت بیش از حد طولانی باشد، سلول مقدار به رنگ قرمز در می‌آید). در داشبورد آزمایشگاه اختلاط می‌توان خواص تمامی بچه‌های آمیزه را پایش و تحلیل کرد [۶].

این داشبورد مطابق شکل ۲ و شکل ۳ بر خواص آمیزه‌ها تمرکز دارد. شامل نمایش گرافیکی خواص پختی (نمودارهای خطی برای منحنی رئومتر در 160°C و 180°C ، نشان‌دهنده گشتاور (MH/ML) و زمان پخت (T10-T40-T90)، فرایندپذیری (مونی ویسکوزیته)، SPGR (چگالی به روش ارشمیدس)، سختی (واحد Shore A)، دیسپرز (تفکیک پرکننده در ماتریس) و تنسایل (نمودارهای ترکیبی

Result												
Date	Time	Compound	Batch	Test	Status	Min	Value	Max	Date-Prod	Device	Operator	
1404-05-30	00:00:09	G845(180)	003	MH	NOT-OK	9.6	14.67	13.0	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:00:09	G845(180)	003	ML	NOT-OK	1.0	1.81	1.4	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:00:09	G845(180)	003	T10	OK	45.0	53.16	55.0	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:00:09	G845(180)	003	T40	OK	56.2	81.70	84.2	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:00:09	G845(180)	003	T90	OK	113.7	209.52	211.1	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:02:49	G845(180)	033	MH	NOT-OK	9.6	14.43	13.0	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	
1404-05-30	00:02:49	G845(180)	033	ML	NOT-OK	1.0	1.83	1.4	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	
1404-05-30	00:02:49	G845(180)	033	T40	NOT-OK	56.2	84.65	84.2	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	
1404-05-30	00:02:49	G845(180)	033	T10	OK	45.0	54.16	55.0	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	
1404-05-30	00:02:49	G845(180)	033	T90	OK	113.7	199.71	211.1	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	
1404-05-30	00:05:46	G845(180)	004	MH	NOT-OK	9.6	14.33	13.0	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:05:46	G845(180)	004	ML	NOT-OK	1.0	1.78	1.4	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:05:46	G845(180)	004	T10	OK	45.0	53.38	55.0	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:05:46	G845(180)	004	T40	OK	56.2	81.15	84.2	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:05:46	G845(180)	004	T90	OK	113.7	191.33	211.1	1404-05-30	Rheo(R3)	NF2D3	
1404-05-30	00:08:10	G845(180)	034	MH	NOT-OK	9.6	14.93	13.0	1404-05-30	Rheo(R1)	NF1D3	

شکل ۲- داشبورد پایش خواص آمیزه‌ها بخش نتایج (ok, not ok)



شکل ۳- داشبورد پایش خواص آمیزه‌ها با نمودار خطی

نتیجه‌ها و بحث

پیاده‌سازی این سیستم در کارخانه لاستیک بارز کردستان، نتایج زیر را به همراه داشته است:

تسریع شناسایی مشکلات: زمان تشخیص آمیزه‌های نامنطبق (مانند گشتاور پختی خارج از محدوده در 160°C) از ۲۴ ساعت به کمتر از ۲ ساعت کاهش یافته است. برای مثال، اگر مونی ویسکوزیته بیش از ۸۰ واحد باشد، هشدار فوری در داشبورد نمایش داده می‌شود، همان‌طور که در شکل ۲ با هشدار و رد شکل ۳ با روند خطی دیده می‌شود.

کاهش ضایعات: نرخ مواد معیوب ۱۵ درصد کاهش یافته، زیرا تحلیل روندها اجازه می‌دهد مشکلات ریشه‌ای (مانند ناخالصی در سیلیکا که بر دیسپرژن تأثیر می‌گذارد) زودتر حل شود، مانند موارد NOT-OK در شکل ۱ [۷].

بهبود تصمیم‌گیری: مدیران می‌توانند با یک نگاه به داشبورد، روندهای ماهانه را ببینند. مثلاً، در داشبورد مواد اولیه، اگر سطح ویژه دوده کمتر از استاندارد باشد، نشان‌دهنده تأثیر بر تنسایل آمیزه است و بلافاصله اقدام اصلاحی انجام می‌شود. این رویکرد، مزایای هوشمندسازی را در صنعت تایر برجسته می‌کند. با ادغام داده‌های آزمایشگاهی، نه تنها دقت افزایش می‌یابد، بلکه امکان استفاده از

مراجع

- [1] Smith, J. (2023). Digital Transformation in Rubber Compounding. Journal of Polymer Science.
- [2] Microsoft Documentation. (2024). Power BI for Data Visualization.
- [3] National Institute for Occupational Safety and Health. (2022). Quality Control in Tire Manufacturing.
- [4] Zhang, Y., & Lee, C. (2021). Smart Manufacturing in Tire Industry: Data-driven Approaches. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- [5] Chen, L., & Kumar, S. (2022). Machine Learning Applications for Rubber Compounding and Testing. Materials Today: Proceedings.
- [6] ISO 2393:2014. Rubber test mixes — Preparation, mixing and vulcanization — Equipment and procedures.
- [7] World Business Council for Sustainable Development (2023). Digitalization in Tire Production: A Sustainability Perspective.
- [8] IBM Corporation. (2022). Implementing AI-driven Analytics in Manufacturing Laboratories.

هوش مصنوعی پیشرفته (مانند یادگیری ماشین برای پیش‌بینی شکست براساس داده‌های تنسایل و دیسپرژن) در آینده فراهم می‌شود [۸]. چالش‌ها شامل مقاومت فرهنگی در برابر تغییرات دیجیتال و نیاز به آموزش پرسنل است، که با برنامه‌های آموزشی حل می‌شود. مقایسه با روش‌های سنتی نشان می‌دهد که سیستم‌های دیجیتال مانند این، بهره‌وری را تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهند.

در مقایسه با مطالعات مشابه (مانند مقالات در Journal of Industrial Engineering)، این سیستم بر پایه ابزارهای در دسترس مانند Power BI استوار است و نیازی به سرمایه‌گذاری سنگین ندارد.

نتیجه‌گیری

دیجیتال‌سازی و هوشمندسازی فرایندهای آزمایشگاهی در تولید آمیزه لاستیکی، ابزاری قدرتمند برای پایش دقیق و مشکل‌گشایی به‌موقع است. با تجمیع داده‌ها در SQL و visualization و دو داشبورد Power BI، صنعت تایر می‌تواند به سمت تولید هوشمند حرکت کند. پیشنهاد می‌شود این سیستم با الگوریتم‌های AI گسترش یابد تا پیش‌بینی‌های دقیق‌تری ارائه دهد. این مقاله، الگویی برای سایر صنایع فرایندی ارائه می‌دهد.