« Productivity Management»
Vol.14, No.55, Winter 2021
Date of receipt: 2019.11.04
Date of acceptance:2020.07.25
"Research Article"

10.30495/qjopm.2020.1874313.2558

Determining the Optimal Composition of Industrial Paint Formulation and Productivity Enhancement in Related Production Processes Using FMEA Technique and Taguchi Orthogonal Arrays

Ahmad Ebrahimi (Ph.D.) [*1]

Mehdi Rezaei [2]

Abstract

In today's competitive world, various organizations have been constantly concerned with improving production processes as a way to enhance product quality. Experiment design is a statistical quality control method leading to increased product quality, and thereby, enhanced manufacturing productivity. The present study set out to identify and prioritize the defects in industrial paints produced by Partofooldam industrial paint manufacturing company through failure mode and effects analysis (FMEA) and to determine optimal value levels for the identified effective factors using Taguchi Orthogonal Array Method. To serve the purpose, six trihedral factors and one dihedral factor were defined and the L18 array was selected for designing the required experiments. The findings indicated that the best paint quality was obtained in the experimental condition with over 10 micron granulation, peak metal temperature (PMT) of 232°C, high quality pigment, resin content of 55%, catalyst content of 4.1%, using medium quality plate and maximum content of additives. The effectiveness of the proposed method was determined by comparing the risk priority number (RPN) in FMEA before and after implementing Taguchi Method which showed a 19 point drop in the mean RPNs for all the identified problems. The results verified the impact of Taguchi's method on reducing product failure risk and enhancing product quality.

Key Words: Design of Experiments, Failure Modes and Effects Analysis, Risk Priority Number, Taguchi Orthogonal Array.

1.*Assistant Professor, Departement of Industrial Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, ahmad.ebrahimi@srbiau.ac.ir

2. M.A in Industrial Engineerin, Tehran South Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

10.30495/qjopm.2020.1874313.2558

«مدیریت بهره‌وری»
سال چهاردهم- شماره پنجاه و پنج- زمستان ۱۳۹۹
ص ص: ۱۶۱ – ۱۴۲
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۴
نوع مقاله: پژوهشی

تعیین ترکیب بهینه فرمولاسیون رنگهای صنعتی و بهبود بهره وری فرایندهای تولیدی مربوطه با بهره گیری از تکنیکهای FMEA و آرایه های متعامد تاگوچی

احمد ابراهیمی*[۱]
مهدی رضایی[۲]

چکیده

در دنیای رقابتی امروز، بهبود فرایندها به منظور افزایش کیفیت در محصولات، همواره یکی از دغدغه های اساسی سازمانها بوده است. طراحی آزمایشها به عنوان یکی از روشهای کنترل کیفیت آماری، افزایش کیفیت محصول و نتیجتا بهره وری در تولید را موجب می گردد. در این مقاله، ابتدا سعی گردیده با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی[۳] (FMEA)، مشکلات رنگهای صنعتی در یکی از شرکتهای تولید کننده رنگهای صنعتی (شرکت پرتو فولاد فام) شناسایی و اولویت بندی شده و سپس با استفاده از روش آرایه های متعامد تاگوچی در طراحی آزمایشها، مقادیر بهینه برای سطوح عوامل موثر شناسایی شده در فرآیند، تعیین شوند. بدین ترتیب که شش عامل سه سطحی و یک عامل دو سطحی تعریف شده و آرایه L18 جهت طراحی آزمون های مورد نیاز انتخاب گردیده است. نتایج نشان می دهد که بهترین سطح کیفیت رنگها مربوط به آزمونی است که در آن: سطح دانه بندی بیش از ۱۰، دمای حداکثر فلز برابر ۲۳۲ سانتی گراد، پیگمنت از نوع عالی، مقدار رزین برابر ۵۵٪، مقدار کاتالیست برابر ۴٫۱٪، ورق با کیفیت متوسط و مقدار حداکثر افزودنی در نظر گرفته شود. به منظور تعیین اثربخشی روش به کار گرفته شده، نمره اولویت ریسک(RPN) در روش FMEA، قبل و بعد از به کارگیری روش تاگوچی محاسبه گردید که این امر کاهش ۱۹ واحدی میانگین RPN را به دنبال داشت. این موضوع تاثیر روش تاگوچی را در کاهش ریسک های ناشی از خرابی محصول و درنتیجه افزایش کیفیت محصول بیان داشته است.

واژه های کلیدی: طراحی آزمایشها، آرایه های متعامد تاگوچی، تجزیه و تحلیل حالات و آثار خرابی، نمره اولویت ریسک

۱-استادیارگروه مدیریت صنعتی،واحدعلوم و تحقیقات،دانشگاه آزاداسلامی،تهران،ایران(نویسنده مسؤول)ahmad.ebrahimi@srbiau.ac.ir
۲-کارشناس ارشد مهندسی صنایع ، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

3. Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)

مقدمه

روش های آماری توسعه یافته توسط جنیچی تاگوچی برای بهبود کیفیت کالاهای ساخته شده است که اخیرا در مهندسی، بیوتکنولوژی و بازاریابی و تبلیغات نیز کارایی پیدا کرده است(کارنا و ساهای، ۲۰۱۲). در تحقیقات مختلفی که مورد بررسی قرار گرفت برخی محققان، از تکنیک FMEA استفاده کرده و مشکلات محصول یا خط تولید خود را شناسایی و با جلسات طوفان ذهنی برای بهبود مؤثر پیشنهادهایی داده‌اند که منجر به کاهش نمره اولویت ریسک(RPN[1]) شده است. برای مثال سو و همکاران۲ (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان بهبود قابلیت اطمینان کاغذ های الکترونیکی با استفاده از روش FMEA و تاگوچی، قابلیت اطمینان کاغذ های الکترونیکی را افزایش داده و باعث تولید درآمد مالی در حد ۸۰۰،۰۰۰ دلار شدند. ایشان در این تحقیق میانگین زمان بین دو خرابی را از ۱۸۶۷ به ۴۸۵۲ ساعت افزایش دادند. البته کاربرد این تکنیک محدود به محصول و خط تولید نمی شود، برخی نیز از این ابزار برای بهبود سیستم ها استفاده کرده اند. برای مثال می توان به تحقیق کامروا[3] (۲۰۱۳) اشاره نمود که ۲۸ مشکل اساسی را در فرآیند خرید و تدارکات شناسایی و راهکارهای رفع آنها را ارائه نموده اند.

تجزیه و تحلیل حالات و آثار خرابی، عبارت است از تجزیه و تحلیل کیفی و ساختاریافته یک سیستم یا عملکرد که به شناسایی حالت های بالقوه شکست سیستم، علل و اثرات آن بر عملکرد سیستم همراه با دقت حالت شکست می پردازد(نورامین و همکاران[4]،۲۰۱۲). در حوزه تاگوچی هرچند که آقای تاگوچی روش خود را در دهه ۱۹۵۰ توسعه داد و در سال ۱۹۶۲ جایزه دمینگ را دریافت کرد اما این روش کمتر از دو دهه است که در ایران جایگاه خود را باز کرده و کاربردهای متنوع آن در حوزه های مختلف استفاده شده است. تحقیقاتی چون: شناسایی روابط متقابل با استفاده از روش تحلیل واریانس و نمودار اثرات متقابل (رکابدار و همکاران،۱۳۹۳) و استخراج شرایط بهینه عوامل متفاوت در صنایع مختلف که توسط انشائیه و همکاران (۱۳۹۵) صورت گرفته، نمونه هایی در این راستا می باشند. همچنین روش تاگوچی در دستیابی به فرمولاسیون جدید و پروژه هایی که منجر به اختراع می شوند نیز بسیار قابل استفاده است به شرطی که تیم چند تخصصی با قابلیت خوبی گرد هم جمع شوند. برای نمونه می توان به پژوهش کیومرثی پور و همکاران(۱۳۹۰) اشاره نمود که منجر به تولید رنگ های کنترل گرمایی سفید برای بار اول در ایران گردید. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در زمینهٔ موضوع در ارتباط با بکارگیری دو تکنیک تاگوچی و FMEA اشاره می‌شود:

1.Risk Priority Number
2.Chao-Ton Su et al
3.Kumru
4.Nooramin et al.

جی[1] و همکاران(۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان طراحی و بهینه سازی فرایند تصفیه کروماتوگرافی با استفاده از روش طراحی آزمایش ها، از روش تاگوچی و FMEA به صورت ترکیبی استفاده نموده اند. ماریاجایاپرکاش و سنتیلولن۲(۲۰۱۳) در پژوهشی با عنوان تشخیص شکست و بهینه سازی سیستم های دیگ های بخار با استفاده از روش FMEA و تاگوچی، از روش FMEA و تاگوچی برای تشخیص شکست و بهینه سازی سیستم های دیگ های بخار کارخانه قند در کشور هند استفاده کرده‌اند. ایشان به اصلاح سیستم تغذیه سوخت پرداخته اند که برای این کار سه ابزار مهم یعنی نمودار علت و معلول، تکنیک FMEA و روش تاگوچی به‌کار برده اند.

در بازار رقابتی امروز تلاش صنایع بر فعالیتهایی متمرکز شده که محصولات باکیفیت بسیار بالا، حداقل نمودن هزینه ها را به دنبال داشته باشد. برای دستیابی به این هدف ابزارها و سیاستهای بهبود کیفیت مختلفی در سال های اخیر ایجاد شده است که در این بین تاگوچی مناسب ترین و پرکاربردترین تکنیک برای فرآیند بهبود کیفیت می‌باشد(بهاراتی و بسکاران، ۲۰۱۴). در بیشتر صنایع، هزینه مواد خام و قطعات، هزینه اصلی محصول نهایی را تشکیل می دهد و این مقدار در صنایع ساخت و تولید به حدود ۷۰درصد قیمت محصول نهایی می رسد(عربزاده و همکاران،۱۳۹۱). بنابراین طراحی فرمولاسیون محصول می تواند نقش کلیدی در افزایش بهره وری و کاهش هزینه محصول در یک سازمان ایفا کند.

تحقیق حاضر کاملا کاربردی بوده و روش کلی ارائه می‌نماید تا دستیابی به فرمولاسیون رنگ‌های صنعتی ساده تر شود؛ چرا که تکنولوژی تولید اغلب رنگ های صنعتی در اختیار دیگر کشورها یا برخی شرکت های نادر داخلی می باشد. در این مقاله تمرکز اصلی بر روی رنگ های (پوشش ها) کویل کوتینگ قرار گرفته است. این نوع رنگ بر روی ورق های فولاد به عنوان پوشش مقاوم در برابر شرایط محیطی مختلف زده می شود. برای پوشش های پیش ساخته از ورق های فلزی مورد استفاده قرار می گیرد و به طور سنتی یک پوشش مقاوم در برابر حرارت است. ورق های فلزی در کویل کوتینگ، با سرعت ۶۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در دقیقه پوشش داده می شوند و در حرارت بالا داخل کوره برای رسیدن به دمای حداکثر فلز (PMT[3]) تقریبا ۲۴۰°C پوشش داده می شوند(احسن[4] و همکاران،۲۰۱۲).

1.Ji
2.Mariajayaprakash & Senthilvelan
3.Peak Metal Temperature (PMT)
4.Ohlsson et al.

انتخاب این محصول در تحقیق حاضر دو دلیل عمده عملیاتی دارد: الف) تقاضای بسیار زیاد مشتریان برای این محصول، به طوریکه همواره حدود ۹۰ درصد از کل تولیدات کارخانه را به خود اختصاص می دهد و ب) حساسیت بسیار بالای برخی از مشتریان نسبت به این محصول در خطوط تولیدی خود بطوری‌که عیوب حاصل از این محصول، می تواند باعث توقف خطوط تولید کارخانجات تولید کننده ورق های رنگی همچون فولاد مبارکه و تحمیل هزینه های گزاف به مشتریان و جریمه های سنگین به سازندگان این دسته از رنگها گردد. لذا ضرورت انجام این تحقیق باعث گردید تا هدف کلانی چون نهادینه سازی دیدگاه طراحی کیفیت به جای دیدگاه بازرسی در این تحقیق دنبال گردد. بر این اساس، سعی شده اهدافی چون: شناسایی و استخراج مهمترین عوامل اثرگذار روی کیفیت و قیمت رنگ های صنعتی، شناسایی اشکالات بالقوه موجود در رنگ که دارای بالاترین میزان RPN در فرآیند تولید رنگ های صنعتی می باشند، تعیین بهترین ترکیب عوامل موثر در کیفیت رنگ جهت تولید محصول با کیفیت و قیمت مناسب و نهایتا شناسایی روابط متقابل بین عوامل موثر بر کیفیت رنگ، دنبال و مورد بررسی قرار گیرد.

قابل ذکر است جنبه ی نوآوری این تحقیق آن است که اولا جهت بهینه سازی کیفیت و قیمت رنگ های صنعتی، روش FMEA و روش تاگوچی هر دو مورد استفاده قرار می گیرد که در تحقیقات گذشته مورد مشابهی یافت نشد؛ ثانیا ابزار FMEA در دو مرحله یک بار قبل و یک بار بعد از اجرای روش تاگوچی استفاده می شود؛ در ابتدا جهت شناسایی و اولویت بندی مشکلات و در انتها برای بررسی میزان اثربخشی روش تاگوچی؛ یعنی به عنوان یک سنگ محک برای روش تاگوچی به‌کار می‌رود تا نقش تاگوچی را در میزان کاهش ریسک ها در مشکلات محصول محاسبه می کند. در این پژوهش، سعی بر تعیین ترکیب مطلوب سطوح هریک از ابعاد کیفیت رنگ کویل کوتینگ براساس متغیر پاسخ فرمول بهره‌وری محصول است .در ادامه، ابزار و روش تحقیق شامل: تکنیکهای بکارگرفته شده، روش گردآوری داده ها و تجزیه و تحلیل آنها بیان گردیده و سپس مطالعه موردی و یافته ها مورد بررسی و بحث قرار گرفته و نهایتا نتیجه گیری لازم به عمل آمده است.

ابزار و روش

در این تحقیق از دو ابزار کلی استفاده شده است؛ در راستای شناسایی مشکلات رنگ از تکنیک FMEA و جهت بهینه سازی کیفیت و قیمت از روش تاگوچی استفاده شده است. توضیحاتی در خصوص FMEA و روش تاگوچی به شرح ذیل ارائه می گردد:

تجزیه و تحلیل حالات و آثار خرابی(FMEA)

برای اجرای تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار آن ابتدا بایستی یک تیم چندتخصصی در حوزه های مختلف در مورد محصول مورد نظر تشکیل شود. این تکنیک بر اساس طرح جدول ۱ اجرا می گردد؛ بدین ترتیب که ابتدا فعالیت های مختلف جهت تولید محصول ثبت می گردد و سپس اشکالات بالقوه ای که ممکن است در هر یک از فعالیت های مختلف برای محصول به وجود آید ثبت می گردد سپس برای هر یک از مشکلات، آثاری که متوجه ذی نفعان محصول خواهد شد ثبت می گردد. پس از این مرحله بایستی شدت هر یک از آثار بر اساس جدول شدت که از یک تا ۱۰ طبقه بندی شده است توسط تیم چندتخصصی تعیین گردد؛ پس از آن، علت به وجود آمدن اشکال مربوط ثبت می گردد و در مرحله بعدی احتمال وقوع اشکال مزبور بر اساس جدول وقوع که این جدول هم از یک تا ۱۰ طبقه بندی شده است تعیین می شود و پس از آن احتمال تشخیص اشکال به وجود آمده بر اساس جدول تشخیص در تیم چند تخصصی تعیین می گردد؛ در نهایت جهت محاسبه نمره اولویت ریسک (RPN) مقادیر شدت، وقوع و تشخیص مطابق با رابطه زیر در هم ضرب می شوند (امبکار و همکاران[1]، ۲۰۱۳).

$$RPN = \text{شدت} * \text{وقوع} * \text{تشخیص}$$

جدول شماره ۱- تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار آن (FMEA)

ردیف	شرح فعالیت	اشکالات بالقوه فرآیند	آثار مشکلات بالقوه	شدت	علل مشکلات بالقوه	وقوع	تشخیص	RPN

روش تاگوچی

جهت اجرای روش تاگوچی، مؤلفان مختلف روش های متفاوتی را پیشنهاد نموده اند که شباهت های فراوانی نیز با یکدیگر دارند. در تحقیقی که کندا و همکاران[2] (۱۹۹۹) انجام داده اند، ۹ قدم را برای طراحی، اجرا و تجزیه و تحلیل آزمایش ها پیشنهاد کرده اند که تفصیل آن به شرح ذیل است:

الف)- شناسائی عوامل بالقوه با طراحی نمودار علت و معلول

1.Ambekar et al
2.Konda et al.

طی جلسه ای با تیم چندتخصصی و به روش طوفان ذهنی عوامل موثر بر مشخصه های کیفی محصول شناسایی می شود.

ب)- انتخاب عوامل برای مطالعه

از بین عوامل مختلف شناسایی شده، عوامل قابل کنترل و دارای اثربخشی بیشتر انتخاب می شود.

ج)- انتخاب محدوده مناسب کار برای هر عامل بالقوه تعیین شده در قدم ۲

در این مرحله حدود پایین و بالای هر یک از عوامل تعیین می شود

د)- انتخاب سطوح آزمایشی برای هر عامل با کاوش زیاد در قدم ۳

با توجه به مزایای آزمایشات سه سطحی سعی می شود حتی الامکان کلیه عوامل دارای سه سطح باشند و سعی شود غیر از حدود پایین و بالا، یک حد متوسط نیز در نظر گرفته شود.

ه)- در صورت امکان، اجرای آزمایش ها در تمام ترکیبات ممکن در محدوده هر عامل انتخاب شده، اما طی یک اجرای بسیار کوتاه برای جلوگیری از شکست یا خرابی فرآیند به خاطر وجود اثرات متقابل، از این گام صرف نظر شده، در غیر این صورت، قدم ۶ اجرا می‌شود.

و)- انتخاب یک آرایه متعامد برای آزمایش ها

بر اساس تعداد عوامل و سطوح تعیین شده، سعی می شود از بین آرایه های ارائه شده تاگوچی بهترین آرایه انتخاب گردد.

ز)- اجرای آزمایش های طراحی شده. آزمایش ها باید به صورت تصادفی اجرا شوند

در این مرحله هر یک از آزمون های پیشنهادی بر اساس آرایه های متعامد اجرایی می شوند و نمونه های حاصله روی ورق های فولاد اعمال می شوند تا بتوان مشخصه های کیفی رنگ را ارزیابی نمود. سپس امتیاز کیفی هر مشخصه محاسبه گردیده و امتیاز کیفی هر نمونه که در واقع متغیر پاسخ می باشد، تعیین می شود.

ح)- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش ها با توجه به هدف پروژه مورد مطالعه

برای این مرحله روش های آماری مختلفی وجود دارد اما روشی که اطلاعات بسیار مفیدی می تواند ارائه کند و توصیه می شود، استفاده از نمودار اثرات متقابل است که تعدادی از اطلاعات مفید آن به شرح ذیل می باشد :

*ارائه مقادیر بهینه به ازای کلیه فاکتورها.

*ارائه سطوح بهینه برای سایر فاکتورها در ازای ثابت نگهداشتن یک یا چند فاکتور دیگر

*شناسائی روابط موجود بین فاکتورها. نوع روابط موجود بین فاکتورها توسط این نمودارها به روشنی قابل تشخیص می باشد، یعنی به وسیله این ابزار می توان انواع روابط موجود بین فاکتورها را از حیث وجود رابطه متقابل یا عدم وجود این روابط مورد بررسی قرار داد.

برای ترسیم نمودار اثرات متقابل با استفاده از نرم افزار Minitab از روش تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده خواهد شد.

ز)- چنانچه نتایج (اجرای آزمایش با فرمولاسیون و تنظیمات بهینه) منجر به هدف پروژه نشد، دلیل آن باید مربوط به حضور عوامل اغتشاش (غیر قابل کنترل) در تحقیق باشند.

در اینجا دو انتخاب وجود دارد؛ یا اینکه آزمایش ها را در کلیه سطوح برای عوامل متفاوتی دوباره شروع کنیم یا اینکه طراحی محصول یا فرایندها مورد اصلاح و بازنگری قرار گیرد. در هر حال، شخص توانسته به صورت بالقوه با استفاده از یک تکنیک متفاوت و به کارگیری دانش مفید در قدم های یک تا هشت به مجموعه اهداف پروژه خود دست یابد. قابل ذکر است آنچه در این ۹ قدم به عنوان یک قدم مجزا ذکر نشده قسمت تعیین هدف یا متغیر پاسخ است که در اغلب رویه های ارائه شده از سوی سایر محققان دیگر بیان شده است، ولی مزیتی که این روش دارد آن است که تعداد قدم های بیشتری بیان کرده است، یعنی یک قدم خاص را به ۲ یا چند قدم کوچک تر شکسته است و از این رو این روند در این پژوهش انتخاب شده است. بنابراین، حتماً باید مشخصه یا تابعی به عنوان هدف تعیین شود. در نهایت تکنیک FMEA جهت ارزیابی میزان اثربخشی تکنیک تاگوچی، مجددا اجرایی می گردد.

روش گردآوری داده و تجزیه و تحلیل آن

تحقیق حاضر از حیت نوع هدف، کاربردی و از حیث نوع داده، کمی می باشد. لذا به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات و یافته های تحقیق از روش ها و تکنیک های ذیل استفاده می شود:

الف)- تکنیک FMEA: جهت عارضه یابی محصول استفاده می شود.

ب)- طوفان ذهنی: برای استخراج مشکلات رنگ، اجرای تکنیک FMEA، شناسایی عوامل اثرگذار روی متغیر پاسخ و تعیین سطوح مختلف هر عامل مورد استفاده قرار می گیرد. مشکلات محصول جهت اجرای تکنیک FMEA توسط تیم چندتخصصی و بر اساس تجربیات این تیم، سوابق کنترل های صورت گرفته روی محصول، بازخوردهای مشتریان و سوابق محصولات مشابه استخراج شده است.

ج)- روش تاگوچی: برای دستیابی به تنظیمات و ترکیبات بهینه از عوامل جهت تولید محصول با کیفیت استفاده می شود. ورودی های تحقیق در اجرای روش تاگوچی، شامل متغیرهای قابل کنترل و محدوده و سطوح هر یک از آنها بوده که این موارد از طریق تکنیک طوفان ذهنی تعیین شده اند.

د)- آنالیز واریانس (نمودار اثرات متقابل): برای شناسایی روابط متقابل بین عوامل مختلف و تحلیل ارتباط یک عامل با سایر عوامل استفاده می گردد.
در روش تاگوچی و ترسیم نمودار اثرات متقابل از نرم افزار Minitab استفاده می شود.

مطالعه کاربردی و یافته ها

محل اجرای تحقیق در یکی از کارخانجات تولید رنگ های صنعتی انجام گرفته است که این کارخانه فعالیت خود را از سال ۱۳۸۲ توسط تعدادی از مدیران کارآمد صنایع کشور و با استفاده از یک گروه تحقیقاتی شیمی آغاز کرده است. این شرکت مفتخر است که به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان اصلی محصول کویل کوتینگ۱ در کشور از سال ۱۳۸۴ تا کنون دانش فنی این محصول را در ایران بومی سازی کند و در مدت بیش از یک دهه عمده نیاز مشتریان بزرگ خود مثل شرکت های فولاد مبارکه اصفهان، هفت الماس قزوین، نورد و لوله سمنان، نورد آلومینیم اراک و آلومینیم پارس ساوه را در زمینه پوشش کلاف های گالوانیزه و آلومینیم با بالاترین کیفیت و نازل ترین قیمت مطابق با استانداردهای ASTM آمریکا و ECCA اروپا تامین نماید و با محصولات هم تراز خود در اروپا رقابت کند. محصول انتخابی یک نوع رنگ پلی استر است که برای بهبود خواص ورق های فلزی، به عنوان پوشش روی آنها استفاده می شود. رنگ پلی استر از جمله رنگ های تک جزئی کوره ای بر پایهٔ رزین پلی استر می باشد که در رال های مختلف در انواع براق، نیمه براق، و مات تولید و عرضه می گردد.

تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار آن (FMEA)

همانگونه که در بخش های قبلی بیان شد تیم چند تخصصی با حضور مدیران تحقیقات، تکنولوژی، آزمایشگاه و سیستم‌ها و روش ها، تشکیل گردید و پس از آموزش تکنیک FMEA، مشکلات رنگ انتخابی (رنگ کویل کوتینگ) مورد ارزیابی قرار گرفت و ۲۵ حالت خرابی بالقوه برای رنگ مذکور ثبت گردید که قسمتی از آن طی جدول ۲ ارائه شده است.

1.Coil Coating

جدول شماره ۲- تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار آن (FMEA)

نام محصول : رنگ کویل کوتینگ				تیم چند تخصصی پروژه				
ردیف	شرح فعالیت	اشکالات بالقوه فرآیند	آثار مشکلات بالقوه	شدت	علل مشکلات بالقوه	وقوع	تشخیص	RPN
۱	کنترل دانه بندی	تائید محصول نامنطبق	کاهش کیفیت سطح رنگ	۵	خطای اپراتوری	۷	۲	۷۰
۲	انجام تست های آزمایشگاهی	عدم پخت محصول	نیازمند دوباره کاری با زحمت زیاد	۵	عدم انتخاب ورق مناسب	۴	۵	۱۰۰
۳			برگشت محصول	۸	توزین نامناسب مواد در انبار	۳	۳	۷۲
٤		عدم پخت محصول	برگشت محصول	۸	عدم انجام کامل تست توسط اپراتور	۳	۴	۹۶
۵				۸	عدم انتخاب ورق مناسب	۴	۲	۶۴
٦				۸	عدم رسیدن دمای کوره به مقدار مناسب	۵	۲	۸۰
۷		انعطاف پذیری نامناسب	برگشت محصول	۵	عدم انتخاب ورق مناسب	۴	۳	۶۰
۸		نیازمند دوباره کاری با زحمت زیاد		۸	عدم انتخاب ورق مناسب	۶	۳	۱۴۴
۹	انجام تست های آزمایشگاهی (ادامه)	عدم مقاومت کافی در برابر UV	برگشت محصول	۸	عدم پخت مناسب پنل رنگ	۳	۳	۷۲
۱۰				۸	جذب رطوبت بالای مواد پودری و جامد	۳	۳	۷۲
۱۱			جریمه هنگفت محصول درجه ۲	۷	مواد نامناسب	۴	۵	۱۴۰
۱۲			محصول درجه۲	۵	تیتان نامناسب	۵	۵	۱۲۵
۱۳			محصول درجه۲	۵	عدم استفاده از آنتی یووی مناسب	۵	۵	۱۲۵
۱٤			محصول درجه۲	۵	عدم استفاده از درصد آنتی یووی مناسب	۵	۵	۱۲۵
۱۵			محصول درجه۲	۵	عدم استفاده از رزین مناسب	۵	۳	۷۵

اساس اجرای تکنیک FMEA که قسمتی از آن طی جدول ۲ ذکر شده است، مقادیر نمره اولویت ریسک (RPN) برای ۲۵ مشکل شناسایی و محاسبه گردیده است. بالاترین مقدار RPN برابر با ۱۴۴ است که این مقدار مربوط به مشکل عدم انعطاف پذیری مناسب ناشی از ورق نامناسب است که منجر به برگشت محصول می گردد. میانگین مقدار RPN برابر ۷۳ محاسبه شد و ملاحظه گردید که مقدار RPN برای ۱۰ مشکل بیشتر از میانگین محاسبه شده است که علل اصلی این ۱۰ مورد عبارتند از: ورق نامناسب، توزین نامناسب، دمای نامناسب کوره و عدم پخت و در نهایت مواد اولیه نامناسب یا درصد نامناسب آنها. بر اساس مشکلات شناسایی شده بهتر می توان مشخصات کیفی رنگ و همچنین عوامل اثر گذار روی کیفیت رنگ را تعیین نمود.

اجرای روش تاگوچی

نبود عیوب و نواقص ذکر شده در جدول ۲ (FMEA) به طور کلی به عنوان رنگ مطلوب در نظر گرفته می شود. برای قابلیت اندازه گیری درصد مطلوبیت، طی جلسه ای با تیم چندتخصصی، ۷ مشخصه کیفی و یک مشخصه قیمت هر یک با ضریب اهمیت خاص (در یک طیف امتیازدهی ۱ تا ۵) در نظر گرفته شده است. در این راستا، شاخص های تعیین درصد مطلوبیت رنگ و ضرایب مربوطه به شرح ذیل در نظر گرفته شده است:

الف)- وضعیت پخت رنگ با ضریب ۵
ب)- فام رنگ با ضریب ۴
ج)- براقیت رنگ با ضریب ۴
د)- ثبات کیفیت در طول انبارداری با ضریب ۴
ه)- خواص مکانیکی با ضریب ۴
و)- ضخامت با ضریب ۴
ز)- مقاومت در برابر اشعه UV با ضریب ۵
ح)- قیمت با ضریب ۵

هر یک از مشخصه ها می توانند از یک تا پنج برای هر نمونه جداگانه امتیاز بگیرند که این امتیاز در ضریب مشخصه مربوطه ضرب خواهد شد. در جلسه ای با تیم چندتخصصی تعداد هفت عامل قابل کنترل که نقش آنها در تعیین مطلوبیت رنگ قابل ملاحظه است، انتخاب شده و جهت بررسی تعیین گردیدند. شایسته توضیح است، این عوامل بر مبنای مشخصات مورد نظر مشتری (شرکت فولاد مبارکه) و همچنین بر مبنای نقطه نظرات تیم تخصصی معرفی شده در شرکت، طی فرایند طوفان ذهنی در قالب عوامل ذیل استخراج گردید:

الف)- دانه بندی: عبارت است از اندازه ذرات تشکیل دهنده رنگ که برای رنگ مورد نظر در حدود ۱۰ میکرون باید باشد.

ب)- دمای حداکثر فلز: عبارت است از دمایی که هنگام پخت رنگ به ورق اعمال می شود و بر حسب درجه سانتیگراد می باشد؛ در واقع حداکثر دمایی است که به فلز اعمال می شود تا در آن دما رنگ پخت شود.

ج)- نوع پیگمنت: عبارتست ازکیفیت رنگدانه ای که در فرمول استفاده شده است.

د)- درصد رزین: عبارت است از مقدار رزین مصرفی در فرمول رنگ.

ه)- درصد کاتالیست: عبارت است از مقدار کاتالیزوری که در فرمول استفاده شده است.

و)- نوع ورق: عبارتست از کیفیت نمونه ورق فولاد مبارکه یا هر مشتری دیگری که باید رنگ روی آن اعمال شود.

ز)- مقدار افزودنی ها: عبارت است از مقدار فیلر ها و سایر افزودنی هایی که در فرمول رنگ مصرف می شود.

در مرحله بعد، بایستی طی جلسه‌ای محدوده مناسب برای هر عامل بالقوه با توجه به تجربه مسؤولان و کارشناسان شرکت تعیین شود. نکته قابل توجه در این مرحله آنست که محدوده ها را بایستی وسیع انتخاب نمود. با توجه به مزایای فراوان ۳ سطحی تعریف شدن فاکتورها نسبت به حالت ۲ سطحی، عوامل ۳ سطحی انتخاب می شوند، اما از آنجا که تغییرات در تنظیمات دانه بندی فقط دو حالت (سطح) دارد (کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۰)، این فاکتور دو سطحی تعریف می شود. برای این کار طی جلسه ای محدوده و مقادیر سطوح هر یک از فاکتورهای کنترلی طی جدول ۳ تعیین گردید.

جدول شماره ۳- محدوده و سطوح عوامل کنترل

فاکتور	دانه بندی	دمای حداکثر فلز	نوع پیگمنت	درصدرزین	درصد کاتالیست	نوع ورق	مقدار افزودنی
حد بالا	<۱۰	۲۱۶	عالی	۴۲	۴	عالی	حداکثر
حد پائین	>۱۰	۲۳۲	متوسط	۵۵	۵,۵	متوسط	حداقل
سطح ۱	<۱۰	۲۱۶	عالی	۴۲	۴	عالی	حداکثر
سطح ۲	>۱۰	۲۲۴	خوب	۴۸	۴/۸	خوب	متوسط
سطح ۳		۲۳۲	متوسط	۵۵	۵/۵	متوسط	حداقل

همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود در قسمت بالای جدول ابتدا حدود پایین و بالای هر عامل تعیین شده و در قسمت پایینی آن محدوده هر عامل به غیر از عامل دانه بندی به سه سطح تقسیم شده است. پس از تعیین سطوح، نوبت به قدم پنجم از مراحل اجرای پروژه تاگوچی خواهد رسید که به دلیل هزینه بر و زمان بر بودن از این قدم صرف نظر شد و قدم بعدی، یعنی انتخاب جدول آرایه متعامد مدنظر قرار گرفت. این مورد توسط شاهین و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهش خود با عنوان "بهبود کیفیت پلاست شیت با استفاده از طراحی استوار" پیشنهاد و بکارگرفته شده است.

در روش تاگوچی، تجزیه و تحلیل تجربی مبتنی بر آرایه متعامد است. آرایه متعامد برای به حداقل رساندن تعداد آزمایش ها استفاده شده و بر این اساس ویژگی های کیفیت مورد بررسی قرار خواهند گرفت. آرایه متعامد مناسب بر اساس درجه های کلی آزادی مورد نیاز انتخاب می گردد (ماریاجایاپرکاش و سنتیلولن[1]،۲۰۱۳). اولین مرحله ساخت آرایه متعامد برای انطباق با هر مسأله خاص عبارتست از شمارش تعداد کل درجات آزادی که حداقل تعداد آزمایشهای لازم برای مطالعه همه فاکتورهای کنترل انتخابی را نشان می‌دهد. ابتدا یک درجه آزادی به میانگین کل (بدون در نظر گرفتن تعداد فاکتورهای کنترل مورد مطالعه) تخصیص داده می‌شود. سپس به ازای هر فاکتور تعداد سطوح منهای یک درجه آزادی اختصاص داده می شود مثلاً برای فاکتور کنترل ۳ سطحی A. دو درجه آزادی در نظر گرفته می‌شود، چون برای یک فاکتور سه سطحی علاقه‌مندیم دو مقایسه انجام دهیم. در واقع، با در نظر گرفتن سطح A1 بعنوان سطح پایه، می‌خواهیم بدانیم وقتی این سطح به A2 یا A3 تغییر می‌کند، پاسخ مسأله چگونه عوض می‌شود. درجات آزادی مربوط به روابط متقابل بین دو فاکتور مثل a و b نیز از ضرب درجات آزادی دو فاکتور بدست می‌آید. این کار به صورت زیر انجام می‌شود:

فرض کنید nA و nB تعداد سطوح فاکتورهای b,a باشند، در این صورت به تعداد nA × nB ترکیب سطح از این دو فاکتور وجود دارد. از این تعداد باید یک درجه برای میانگی، (nA-l) درجه برای a و (nB-l) درجه برای b کم کنیم (فادکه۲، ۱۹۸۹، ۱۵۱–۱۵۰). پس داریم:

تعداد درجات آزادی رابطه متقابل=A*B

$$n_A \cdot n_B - l-(n_A-l)-(n_B-l) = (n_A-l).(n_B-l) = (\text{درجه آزادي A}) \times (\text{درجه آزادي B})$$

رابطه متقابل بین عامل + (۲-۱)*(تعداد فاکتور ۲سطحی)+(۱-۳)*(تعداد فاکتور ۳ سطحی) + ۱ =درجه آزادی ۲ سطحی و ۳ سطحی +

(فادکه، ۱۹۸۹، ۱۵۱–۱۵۰)

1.Mariajayaprakash & Senthilvelan
2.Phadke

در این تحقیق یک فاکتور دو سطحی و شش فاکتور سه سطحی وجود دارد که درجات آزادی این آزمایش بصورت جدول ۴ محاسبه می‌شوند:

جدول شماره ٤. محاسبه درجه آزادی

فاکتور/ رابطه متقابل	درجه آزادی
میانگین کل	۱
عامل دانه بندی	۲-۱=۱
سایر عوامل	۶×(۳-۱)=۱۲
رابطه متقابل بین ۲ عامل دوسطحی و سه سطحی	(۲-۱)×(۳-۱)=۲
جمع کل	۱۶

طی جدول ۴ درجه آزادی برابر ۱۶ به‌دست آمده و لذا بایستی حداقل ۱۶ آزمایش انجام گردد. بدین ترتیب، نزدیک ترین آرایه متعامد که عوامل ۳ سطحی را پشتیبانی کند آرایه متعامد L18 می باشد.

از آنجا که درجه آزادی آزمایش ها برابر با ۱۶ می‌شود، بهترین و نزدیک ترین آرایه متعامد استاندارد، آرایه L18 می باشد که بر مبنای آن می بایست حداکثر یک عامل ۲ سطحی و ۷ عامل ۳ سطحی تعریف شود. لذا عامل ۲ سطحی به یک ستون ۲ سطحی و ۶ عامل ۳ سطحی به ۶ تا از ۷ ستون ۳ سطحی (یک ستون خالی می‌ماند)، تخصیص داده شد. آزمایش ها بر اساس جدول تهیه شده از روی آرایه L18، اجرایی می شود و از هر یک نمونه ای جداسازی و جهت تجزیه و تحلیل، نگهداری می شود. عوامل و سطوح مربوطه در آرایه L18 بر اساس اطلاعات حاصله جایگذاری شده و جدول ۵ حاصل می گردد:

جدول شماره ۵- طراحی آزمایشهای تولید رنگ با آرایه متعامد L18

شماره آزمون	دانه بندی	دمای حداکثر فلز	نوع پیگمنت	درصد رزین	درصد کاتالیست	نوع ورق	مقدار افزودنی
۱	<۱۰	۲۱۶	عالی[1]	۴۲	۴	عالی	حداکثر[2]
۲	<۱۰	۲۱۶	خوب[3]	۴۸	۴/۸	خوب	متوسط
۳	<۱۰	۲۱۶	متوسط[4]	۵۵	۵/۵	متوسط	حداقل[5]
۴	<۱۰	۲۲۴	عالی	۴۲	۴/۸	خوب	حداقل
۵	<۱۰	۲۲۴	خوب	۴۸	۵/۵	متوسط	حداکثر
۶	<۱۰	۲۲۴	متوسط	۵۵	۴	عالی	متوسط
۷	<۱۰	۲۳۲	عالی	۴۸	۴	متوسط	متوسط
۸	<۱۰	۲۳۲	خوب	۵۵	۴/۸	عالی	حداقل
۹	<۱۰	۲۳۲	متوسط	۴۲	۵/۵	خوب	حداکثر
۱۰	>۱۰	۲۱۶	عالی	۵۵	۵/۵	خوب	متوسط
۱۱	>۱۰	۲۱۶	خوب	۴۲	۴	متوسط	حداقل
۱۲	>۱۰	۲۱۶	متوسط	۴۸	۴/۸	عالی	حداکثر
۱۳	>۱۰	۲۲۴	عالی	۴۸	۵/۵	عالی	حداقل
۱۴	>۱۰	۲۲۴	خوب	۵۵	۴	خوب	حداکثر
۱۵	>۱۰	۲۲۴	متوسط	۴۲	۴/۸	متوسط	متوسط
۱۶	>۱۰	۲۳۲	عالی	۵۵	۴/۸	متوسط	حداکثر
۱۷	>۱۰	۲۳۲	خوب	۴۲	۵/۵	عالی	متوسط
۱۸	>۱۰	۲۳۲	متوسط	۴۸	۴	خوب	حداقل

بر اساس جدول ۵، عامل دانه بندی که دو سطحی است در ستون اول قرار گرفته و سایر عوامل در ستون های بعدی قرار دارند؛ بدین ترتیب ۱۸ آزمونی که جهت اجرا لازم است طراحی شوند مطابق جدول ۵ طراحی شده و آماده اجرا می باشند. نتایج آزمون های ارائه شده بر اساس آرایه متعامد L18 طی جدول ۶ ارائه شده است.

1.Excellent
2.Max
3.Good
4.Meen
5.Min

جدول شماره ٦- نتایج آزمون های طراحی شده بر اساس آرایه متعامد L18

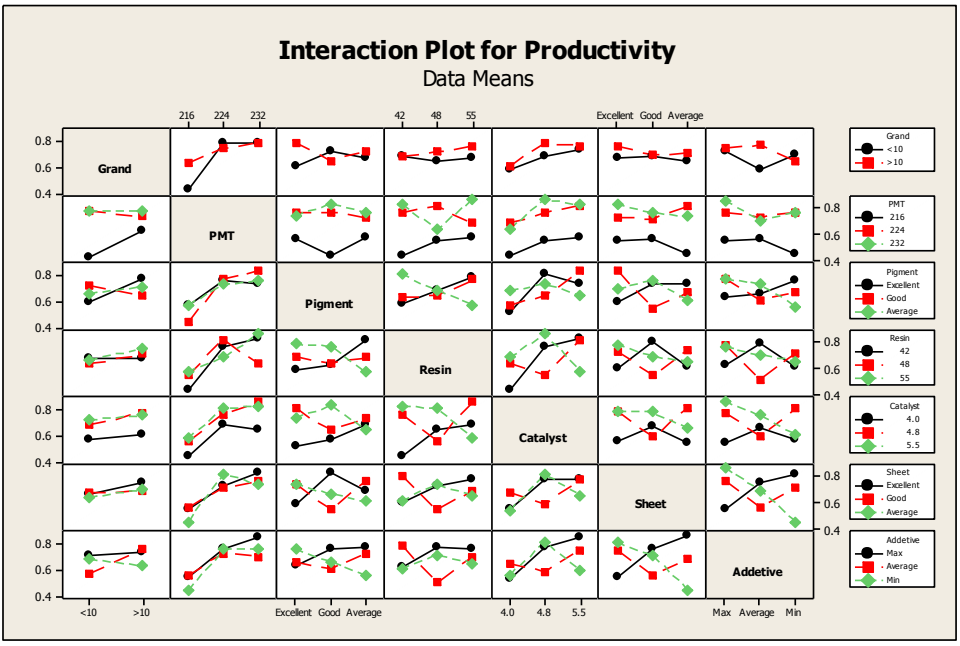
شماره آزمون	امتیاز مشخصه های کیفی هر نمونه							قیمت	امتیاز از ۱۷۵ (باضریب)	کیفیت	بهره وری
	پخت	فام	براقیت	ثبات در طول انبارش	خواص مکانیکی	ضخامت	مقاومت به UV				
۱	۱	۲	۲	۱	۲	۵	۳	۱	۷۳	٪۴۵	٪۴۲
۲	۱	۱	۲	۱	۲	۵	۲	۳	۷۴	٪۳۹	٪۴۲
۳	۱	۱	۲	۱	۲	۵	۱	۵	۷۹	٪۳۶	٪۴۵
۴	۴	۵	۴	۴	۴	۵	۴	۱	۱۳۳	٪۸۵	٪۷۶
۵	۵	۵	۵	۵	۳	۵	۴	۳	۱۵۲	٪۹۱	٪۸۷
۶	۲	۳	۵	۲	۴	۴	۳	۵	۱۲۲	٪۶۵	٪۷۰
۷	۳	۴	۴	۲	۳	۴	۴	۱	۱۰۸	٪۶۹	٪۶۲
۸	۵	۴	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۱۵۲	٪۹۱	٪۸۷
۹	۵	۴	۵	۴	۳	۵	۳	۵	۱۴۹	٪۸۳	٪۸۵
۱۰	۵	۴	۴	۴	۳	۵	۳	۱	۱۲۵	٪۸۰	٪۷۱
۱۱	۱	۲	۳	۲	۲	۴	۲	۳	۸۲	٪۴۵	٪۴۷
۱۲	۲	۲	۴	۳	۴	۵	۳	۵	۱۲۲	٪۶۵	٪۷۰
۱۳	۵	۵	۵	۴	۳	۴	۴	۱	۱۳۴	٪۸۶	٪۷۷
۱۴	۳	۳	۴	۳	۳	۴	۴	۳	۱۱۸	٪۶۹	٪۶۷
۱۵	۴	۴	۴	۴	۳	۵	۲	۵	۱۳۵	٪۷۳	٪۷۷
۱۶	۵	۵	۵	۴	۵	۵	۵	۱	۱۵۱	٪۹۷	٪۸۶
۱۷	۵	۴	۳	۵	۳	۵	۴	۳	۱۴۰	٪۸۳	٪۸۰
۱۸	۳	۳	۴	۲	۴	۴	۲	۵	۱۱۸	٪۶۲	٪۶۷

در جدول ۶ متغیر پاسخ یک بار بدون در نظر گرفتن مشخصه قیمت تحت عنوان کیفیت و یک بار با احتساب قیمت تحت عنوان بهره وری محاسبه شده است. بر اساس متغیر پاسخ حاصله در جدول ۷، ترکیب بهینه با احتساب قیمت مربوط به آزمایش های شماره ۵ و ۸ می باشد که درصد مطلوبیت آنها برابر ٪۸۷ شده است. و چنانچه مشخصه قیمت در نظر گرفته نشود، ترکیب (آزمون) شماره ۱۶ با درصد مطلوبیت ٪۹۷ ترکیب آزمون بهینه می باشد. این سه آزمون مذکور طی جدول ۷ ارائه شده است.

جدول شماره۷- تنظیمات مربوط به نمونه تصادفی جهت تصدیق

ردیف	فاکتور	دانه بندی	دمای حداکثر فلز	نوع پیگمنت	درصد رزین	درصد کاتالیست	نوع ورق	مقدار افزودنی
۱	مقادیر بهینه برای متغیر پاسخ کیفیت(آزمون شماره ۱۶)	>۱۰	۲۳۲	عالی	۵۵	۴/۸	متوسط	حداکثر
۲	مقادیر بهینه برای متغیر پاسخ بهره وری (آزمون های ۵ و ۸)	<۱۰	۲۲۴	خوب	۴۸	۵/۵	متوسط	حداکثر
۳		<۱۰	۲۳۲	خوب	۵۵	۴/۸	عالی	حداقل

توضیح اینکه بر اساس جدول ۷ چنانچه هدف، افزایش کیفیت بدون در نظر گرفتن قیمت باشد، بایستی عوامل مختلف را بر اساس ردیف ۱ جدول ۷ تنظیم نمود و چنانچه هدف دستیابی به نقطه بهینه ای باشد که عوامل کیفی و هزینه در کنار هم دیده شود بایستی از ردیف ۲ یا ردیف ۳ جهت تنظیم عوامل استفاده نمود. برای تجزیه و تحلیل نتایج، می توان از نمودار اثرات متقابل عوامل استفاده نمود که نمودارهای آن در شکل ۲ ارائه شده است. برای تهیه این نمودارها از نرم افزار Minitab استفاده شده است.



شکل شماره ۲- نمودار اثرات متقابل عاملها حاصل از آزمون ها

نتایج به‌دست آمده نشان داد که بر اساس نمودار، باید گفت تقریبا بین همه فاکتورها رابطه متقابل وجود دارد تنها در برخی موارد این رابطه قوی تر و در برخی ضعیف است. نوع روابط موجود بین فاکتورها توسط این نمودار به روشنی قابل تشخیص می باشد، یعنی به وسیله این ابزار می توان انواع روابط موجود بین فاکتورها را از حیث وجود رابطه متقابل یا عدم این روابط بررسی نمود. برای مثال روابط قوی بین عوامل ذیل بسیار مشهود است:

* نوع ورق – مقدار افزودنی
* درصد رزین – درصد کاتالیست
* نوع ورق – درصد کاتالیست
* دمای پخت – درصد رزین

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، اولین هدف یافتن مهمترین عوامل اثرگذار روی کیفیت و قیمت رنگ های صنعتی بوده است. لذا با تشکیل تیم چندتخصصی طی جلسات مختلف، تعداد هفت عامل قابل کنترل که نقش آنها در تعیین مطلوبیت رنگ قابل ملاحظه است، انتخاب شده و جهت بررسی تعیین گردیدند. صحت این عوامل و تاثیر این عوامل روی کیفیت رنگ بر اساس نتایج حاصل از تحقیق و نمودارهای تهیه شده تایید گردیده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که عوامل انتخاب شده شامل تنظیمات دستگاهی (دمای حداکثر فلز)، نوع ورق مشتری و فرمولاسیون رنگ (نوع پیگمنت، میزان رزین، کاتالیست و افزودنی) می باشد. در مقایسه با سایر تحقیقات هم باید گفت اغلب محققان در استخراج عوامل اثرگذار در کیفیت محصولات خود عوامل متنوع و مختلفی را استخراج کرده اند و به عنوان مثال فقط روی درصد ترکیبات متمرکز نشده اند بلکه تنظیمات دستگاهی، نوع تامین کننده و... نیز مد نظر گرفته شده است.

دومین هدف در نظر گرفته در این مقاله، شناسایی اشکالات بالقوه دارای بالاترین RPN در فرآیند تولید رنگ های صنعتی بود که جهت پاسخ به این پرسش تیم چند تخصصی اقدام به اجرای تکنیک FMEA روی رنگ کویل کوتینگ نمودند و بر این اساس مقادیر RPN برای هر یک از حالات خرابی مطابق آنچه در جدول ۲ ذکر شده آمده است. بر این اساس، بالاترین مقادیر ریسک مربوط به مشکل انعطاف پذیری نامناسب ناشی از عدم انتخاب ورق مناسب و پس از آن مشکل عدم مقاومت کافی در برابر UV ناشی از عوامل مختلفی همچون مواد نامناسب و درصد آنتی یووی نامناسب می باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بر اساس آنچه از اجرای تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و آثار خرابی حاصل شد و مقایسه آن با نتایج حاصل از پرسش قبل مشاهده می شود که اغلب مشکلاتی که دارای RPN بالا می باشند علت مشکل به یکی از عوامل استخراج شده در پرسش قبل مربوط است. بنابراین تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و آثار خرابی می تواند ابزار مناسبی برای تعیین عوامل اثرگذار روی کیفیت محصول مورد نظر باشد. در مقایسه با سایر تحقیقهای صورت گرفته می توان به این نکته اشاره نمود که در پیشینهٔ موضوع، به استفاده همزمان و تلفیق دو روش تاگوچی و FMEA در شرکتهای صنعتی کمتر پرداخته شده است. این در حالی است که استفاده منفرد در هر یک از روشهای فوق به وفور در مباحث موضوع دیده می شود در این مقاله نیز از هر دو تکنیک استفاده شده است. هر چند که این تحقیق در صنعت رنگ سازی استفاده شده، ولی تفاوت عمده آن با سایر تحقیقات صورت گرفته، استفاده مجدد تکنیک FMEA در انتهای کار به عنوان سنگ محکی برای تکنیک تاگوچی بوده است.

هدف سوم در این مقاله، شناسایی بهترین ترکیب عوامل موثر در کیفیت رنگ جهت تولید محصول با کیفیت و قیمت مناسب است که جهت پاسخ به این پرسش مراحل اجرایی روش تاگوچی مطابق آنچه قبلا بیان شد تا بند تعیین آزمون های مورد نیاز برای مطالعه اجرایی گردید و بر اساس آرایه متعامد L18، جدول ۵ طراحی گردید. نتایج آزمون های پیشنهادی طی جدول ۶ ثبت گردید. در جدول ۶ متغیر پاسخ یک بار بدون در نظر گرفتن مشخصه قیمت تحت عنوان کیفیت و یک بار با احتساب قیمت تحت عنوان بهره وری محاسبه شده است. بر این اساس، ترکیب بهینه با احتساب قیمت مربوط به آزمایش های شماره ۵ و ۸ می باشد که درصد مطلوبیت آنها برابر ۸۷٪ شده است و چنانچه مشخصه قیمت در نظر گرفته نشود، ترکیب (آزمون) شماره ۱۶ با درصد مطلوبیت ۹۷٪ ترکیب آزمون بهینه می باشد. این سه آزمون مذکور طی جدول ۷ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مطابق جدول ۷، در حالت کیفیت بهینه با امتیاز ۹۷٪ ، پیگمنت از نوع عالی مصرف شده است و این تنها عاملی است که با در نظرگرفتن قیمت باید تغییر کند؛ حال برای جبران کمبود کیفیت پیگمنت می توان نوع ورق را بهبود بخشید یا درصد کاتالیست را افزایش داده و مقدار رزین را کاهش داد.

هدف چهارم در این مقاله، شناسایی روابط متقابل بین عوامل موثر بر کیفیت رنگ است که برای دستیابی به پاسخ این پرسش، همانگونه که قبلا ذکر شد از نمودار اثرات متقابل حاصل از نرم افزارMinitab استفاده شد که نمودارهای آن در شکل ۲ ارائه شده است؛ البته این نمودار به غیر از شناسایی روابط متقابل، اطلاعات بسیار مفید دیگری را نیز در اختیار قرار دادند از جمله آنکه می توان یکی از عوامل را ثابت نگه داشت و تنظیمات سایر عوامل را به گونه ای استخراج کرد که کیفیت و قیمت بهینه باشد. برای مثال چنانچه نوع ورق، ثابت (متوسط) در نظر گرفته شود سایر عوامل بایستی بدین صورت تنظیم گردند: دانه بندی کمتر از ۱۰، دمای حداکثر فلز ۲۳۲ و یا ۲۲۴ ، نوع پیگمنت از نوع عالی، درصد رزین ۵۵، در صدکاتالیست ۴/۸ و مقدار افزودنی به میزان حداکثر باشد.

با توجه به بهره‌وری حاصل شده از به‌کارگیری روشهای فوق، پیشنهاد می گردد، سازمانها از روشهای آماری دیگر جهت بهبود فرایند و افزایش کیفیت محصول از قبیل: طرحهای عاملی و کنترل آماری فرایند استفاده نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

References

Enshaeeieh, M., Madani, M., Abdoli, A., Nahavi, A., Asgari Karchagani, F. (2016), "Optimization of the production of microbial oil and xyllitol in fat-producing yeast", Journal of Applied Biology, 29(1), 5-21.[In Persian]

Rekabdar, F., Ghashelaghi, A., Hemati, M., Reyhani, A., Rajai, F. (2014), "Optimization of operating conditions in a membrane ultrafiltration system using the Taguchi method", Journal of Oil Research, 24(79), 108-119.[In Persian]

Kiyomarshypour, N., Shoja Razavi, R., Ghani, K. (2011), "Evaluation of the Optical Properties of the White Thermal Heat Controls of the Silicate Base of the Satellite Using the Taguchi Method", Scientific and Research Journal of Paint Science and Technology, 6(3), 207-197.[In Persian]

Aloini, D., Dulmin,R. and Mininno,V. (2012)," Risk assessment in erp projects", information systems 37,183–199.

Ambekar, S.B., Edlabadkar,A., Shrouty,V. (2013), " A Review: Implementation of Failure Mode and Effect Analysis", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 2(8), 37-41.

Antony, J. (2006). "Taguchi or classical design of experiments: a perspective from a practitioner", Sensor review,26(3), 227–230.

Bharathi, D.Baskaran,R. (2014), "Improvement of painting process in steel structure using taguchi's method of experimental design", international journal of mechanical and industrial technology, 2(1), 1-9.

Dagsuyu,C.,Göçmen,E., Narlı,M. and Kokangül,A. (2016), "Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit" Computers & Industrial Engineering, 101 ,.286–294.

Dhawane,S.H., Kumar,T., Halder,G. (2016)," biodiesel synthesis from hevea brasiliensis oil employing carbon supported heterogeneous catalyst: optimization by taguchi method", renewable energy, 89, 506-514.

Ji,Y,.Tian.Y,.Ahnfelt.M,.Sui.L.,2014,"Design and optimization of a chromatographic purification process forStreptococcus pneumoniae serotype 23F capsular polysaccharide by aDesign of Experiments approach", Journal of Chromatography A, 1348 (2014) 137–149.

Kang,J. Sun,L.Sun,H.,Wu,C. (2017), "Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA", Ocean Engineering, 129, 382–388.

Konda,R., Rajurkar,K.P.,Bishu, R.R., Guha, A., Parson, M. (1999), "Design of experiments to study and optimize process performance", International journal of quality & reliability management, 16(1), 56-71.

Kumru,M.,Kumru,P.Y. (2013),” Fuzzy fmea application to improve purchasing process in a public hospital”, Applied soft computing, 13, 721–733.

Mariajayaprakash,A,. Senthilvelan,T. (2016)," failure detection and optimization of sugar mill boiler using fmea and taguchi method", engineering failure analysis 30, 17–26.

Nooramin, A.S., Ahouei,V.R., Sayareh, J. (2012), A Systematic Framework for Implementing Six Sigma in the Landside of Marine Container Terminals, Journal of the Persian Gulf, 3(8), 55-66.

Ohlsson,K.Bergman,T.,Sundell,P.E.,Deltin,T.,Tran,I.,Svensson,M.Johansson,M. (2012), "Novel coil coating systems using fatty acid based reactive diluents", Progress in Organic Coatings, 73(4), 291– 293.

Phadke,M.s. (1989), "Quality Engineering Using Robust Design", .Englewood Cliffs:PTR Prentice-Hall, Inc.

Shahin.A,Karbasian.M,Ahmadi.M,1386," Quality Improvement of Plast Sheet By Robust Design",(M.Sc., Islamic Azad University, Najafabad Branch)

Shyam Kumar Karna,S.K.,Sahai,R. (2012)", An Overview on Taguchi Method", International Journal of Engineering and Mathematical Sciences, 1, 11-18.

Su,C.T. Lin,H.C.Teng,P.W. and Yang,T. (2014), "Improving the reliability of electronic paper display using fmea and taguchi methods: a case study", microelectronics reliability, 9(54), 6-7.