مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۳)
دوره‌ی ۱ - ۳۰، شماره‌ی ۲، ص. ۱۲۹-۱۲۳، (یادداشت فنی)

Research Note

کاربرد متدولوژی سطح پاسخ برای تعیین عوامل مؤثر بر میزان پوسته‌ی اسلب در کوره‌های پیش‌گرم

مقصود امیری (دانشیار)
دانشکده‌ی مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی
حامد مهدی‌نیا* (دانشجوی کارشناسی ارشد)
مهدی عزیزمحمدی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

طراحی آزمایش‌ها یکی از ابزارهای قوی در اصلاح و بهبود عملکرد فرایندهای تولید است که با تعیین یک آزمایش، و انتخاب عوامل فرایند آغاز می‌شود. یکی از روش‌های کاربردی برای مدل‌سازی و حل این مسئله «متدولوژی سطح پاسخ» است. در این نوشتار با استفاده از طراحی آزمایش‌ها تأثیر سه عامل «ورودی قابل کنترل کربن معادل»، «زمان ماندگاری» و «اکسیژن» بر میزان تشکیل پوسته در کوره‌های پیش‌گرم مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام آزمایش‌ها و شناخت عوامل مؤثر، و نیز با توجه به کاربرد روش شناسایی سطح پاسخ، رابطه‌ی بین متغیرهای مربوط به عوامل مؤثر ورودی و متغیر سطح پاسخ با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی تعیین می‌شود. در نهایت مقدار بهینه‌ی هریک از متغیرهای مدل غیرخطی به‌دست آمده به‌وسیله‌ی روش برنامه‌ریزی خطی به دست می‌آید.

واژگان کلیدی: روش شناسایی سطح پاسخ، طراحی آزمایش‌ها، پوسته، روش برنامه‌ریزی خطی.

mg_amiri@yahoo.com
h_mehdinia_sa@yahoo.com
m.azizmohamadi@gmail.com

۱. مقدمه

طراحی آزمایش[1]ها یکی از ابزارهای قوی در اصلاح و بهبود عملکرد فرایندهای تولید است که با تعیین یک آزمایش و انتخاب عوامل فرایند آغاز می‌شود. متدولوژی سطح پاسخ (RSM)[2] روشی آماری است که با استفاده از آن می‌توان به‌طور هم‌زمان پاسخ‌های چندین عامل را با تعدادی آزمایش محدود شده امتحان کرد.[1] هدف از این کار یافتن شرایط عملیاتی یا سطوح عاملی است تا متغیر پاسخ را در حد مطلوب خود تنظیم کند. در واقع به جای انجام روش‌های سعی و خطا در صنعت که هزینه‌های سنگینی را متوجه آن می‌کند، از روش‌شناسی سطح پاسخ برای رهایی از این هزینه‌ها و رسیدن به جواب مطلوب و مطمئن استفاده می‌شود. وجود مقاله‌های متعدد نشان می‌دهد که در زمینه‌های بسیاری از این روش‌شناسی استفاده شده است. اما در زمینه پوسته‌های فولادی کم‌تر نشانی از این تحقیقات یافت می‌شود.

در سال ۲۰۰۶ برای کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی حجم بار سوراخ‌کاری در طول فرایند خم‌کاری ورق‌های آهنی از مدل‌های شناسایی سطح پاسخ بر پایه‌ی طراحی آزمایش‌ها استفاده شد.[2] سپس در سال ۲۰۰۸، در نوشتاری دیگر روشی برای بهینه‌سازی مسائل آماری چندپاسخه با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شد. در آن نوشتار از متدولوژی سطح پاسخ برای مدل‌کردن متغیرهای پاسخ استفاده شد.[3]

در سال ۲۰۱۱، محققین در مطالعات خود سه عامل دما، غلظت سیانید سدیم، و آمپر را برای پوشش آبکاری گالوانیزه‌ی سرد به کار گرفتند.[4] از سوی دیگر در سال ۱۹۹۸، به‌منظور تعیین استحکام پیچشی حد کشسانی و استحکام نهایی در فرایند جوشکاری نقطه‌یی مطالعه‌یی دیگر انجام شد که در آن عوامل: تکنیک اتصال، ضخامت ورق، استحکام فولاد، مساحت مقطع جوشکاری، نوع طراحی قطعه‌ی جوش‌کاری و جوش‌کاری نهایی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تأثیر این عوامل بر خواص پیچشی مقاطع مختلف جوشکاری نشان داد که تکنیک جوشکاری، مساحت مقطع و ضخامت مقطع جوشکاری مهم‌ترین عوامل مؤثر بر استحکام پیچشی مقاطع جوشکاری شده هستند. افزون بر این، استحکام فولاد به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر حد کشسانی و استحکام نهایی است.[5]

محققین از رویکرد طرح مرکب مرکزی برای تعیین و بهینه‌سازی عوامل فرایند جوش قوسی (FCAW)[3] ورق ST37 شامل جریان، ولتاژ، زاویه و فاصله‌ی نوک الکترود استفاده کردند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که شرایط بهینه عبارت است از جریان ۳۰۰ آمپر، ولتاژ ۳۰ ولت و فاصله‌ی ۴۵ میلی‌متری نوک الکترود با زاویه‌ی ۶۰ درجه.[6] دیگر محققین نیز در مطالعات خود روشی برای بهینه‌سازی مسائل چندپاسخه با استفاده از تابع تصمیم‌گیری در چارچوب متدولوژی سطح پاسخ ارائه کرده‌اند.[7]

به‌طور معمول محصولات اصلی احتراق در کوره‌های پیش‌گرم از پتاسیل بالای اکسیدکنندگی برخوردارند و به‌همراه دمای بالای محیط کوره موجب واکنش‌های

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۱۱/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۵/۲۰، پذیرش ۱۳۹۲/۶/۱۶.

شدید اکسایش در سطح تختال‌های فولادی می‌شوند. محصولات این واکنش را اصطلاحاً «پوسته» می‌نامند. وجود پوسته علاوه بر این که باعث افت کیفیت محصول نهایی می‌شود، به اتلاف مستقیم فلز منجر شده و به غلتک‌های پشتیبانی ایستگاه رافینگ نیز آسیب می‌رساند. با توجه به این نکته که غلتک پشتیبان نرم‌تر از غلتک‌های عملیات غلتک‌کاری است، اثرات این پوسته‌ها بر آن مخرب‌تر است. از طرفی این پوسته‌ها جذب و انتقال حرارت در کوره را نیز با مشکل مواجه می‌سازند. وجود پوسته در محصول خروجی کوره باعث ایجاد عیوب ناشی از پوسته‌های خرد شده در محصول نهایی می‌شود و به کاهش راندمان کوره می‌انجامد. پوسته به‌علت هدایت حرارتی پایین و قابلیت انعکاس بالاتر تشعشع به‌عنوان عایق عمل می‌کند و حرارت‌گیری اسلب در کوره را مختل می‌کند. همچنین این پوسته‌ها به سطح فولاد می‌چسبند و با ایجاد چسبندگی، خسارات متعدد دیگری نیز وارد می‌کنند.[۸]

۲. شرح مختصر فرایند تولید

اسلب‌های فولادی را پس از توزین روی ریل‌های پشت کوره‌ی پیش‌گرم قرار می‌دهند. پس از آن اسلب‌ها با فشار وارده توسط بازوهای هیدرولیک به درون کوره هدایت می‌شوند، و شروع به گرفتن حرارت می‌کنند. کوره‌های پیش‌گرم دارای سه ناحیه‌ی حرارتی‌اند: ۱. ناحیه‌ی دارای دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد که حرارت اولیه را در اسلب ایجاد می‌کند؛ ۲. ناحیه‌ی دارای دمای تقریبی ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد که اسلب را به دمای نهایی خود برای تولید می‌رساند؛ ۳. ناحیه‌ی یکسان‌ساز دمای اسلب.

زمان ماندگاری اسلب، بسته به ریتم تولید، از ۳ دقیقه به بالاست. بر این اساس و براساس ابعاد اسلب می‌توان زمان ماندگاری را محاسبه و میزان حرارت را تنظیم کرد. مثلاً تعداد ۶۴ اسلب با ابعاد ۵۸۰۰ × ۱۰۰۰ × ۲۵۰ میلی‌متر در کوره قرار می‌گیرد که با ریتم تولید یک اسلب در ۵ دقیقه، زمان ماندگاری آن در اسلب حدود ۳۲۰ دقیقه خواهد بود. پس از خروج اسلب از کوره، پوسته‌شوی با فشار آب پوسته‌های ایجادشده را از روی اسلب می‌شوید و سپس نورد اولیه توسط رافینگ انجام می‌شود تا ضخامت اسلب به ۲۸ الی ۳۵ میلی‌متر برسد. در ادامه، اسلب نوردشده وارد خط پایان شده و در انتهای مسیر، ورق را توسط کویلر جمع و درنهایت به‌وسیله‌ی باسکول الکتریکی وزن می‌کنند.

۳. انتخاب عوامل و تعیین سطح آنها

در تشکیل پوسته در کوره‌های پیش‌گرم سه عامل دما، زمان ماندگاری، و ترکیب‌های شیمیایی اسلب ــ شامل کربن، سیلیسیم، منگنز، منیزیم و غیره ــ تأثیرگذارند. در بررسی این عوامل، با توجه به میزان اهمیت‌شان، ما از زمان ماندگاری اسلب در کوره، میزان اکسیژن ترکیبی برای سوخت کوره و ترکیب شیمیایی استفاده کردیم. از آنجا که ترکیب شیمیایی هریک به‌نحوی خاص بر میزان اکسایش تأثیر می‌گذارند برای آن که همه این عوامل در نظر گرفته شود از فرمول کربن معادل استاندارد (ASM)[۴] استفاده می‌شود:

$$CE = \%C + \%Mn/۶ + \%Ni/۱۵ + \%Cv/۵ + \%Cu/۱۳ + \%Mo/۴$$

در جدول ۱ هریک از مقادیر حدی عوامل ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر حدی هریک از عوامل.

ردیف	شرح عوامل تأثیرگذار	سطح بالای عامل (+)	سطح پایین عامل (-)
۱	کربن معادل (٪)	۰/۲۲۵	۰/۱۷۳
۲	زمان (دقیقه)	۹	۵
۳	نسبت اکسیژن به گاز	۱۱/۱	۱۰/۱

۴. انتخاب متغیر پاسخ

با توجه به توضیحات ارائه شده و خصوصیات متغیر پاسخ، وزن پوسته به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است.

۵. انتخاب طرح آزمایش

در متدولوژی سطح پاسخ، غالباً از چندجمله‌یی‌ها و توابع خطی برای برازش مدل استفاده می‌شود. اگر پاسخ به‌خوبی توسط یک تابع خطی از متغیرهای مستقل مدل شده باشد آنگاه تابع تقریب‌ساز مدل، از مرتبه‌ی اول است. اگر در سیستم خمیدگی وجود داشته باشد، آنگاه باید از چندجمله‌یی‌های درجه بالاتر مانند مدل مرتبه دوم استفاده کرد که شکل کلی آن چنین است:[۹]

$$\hat{Y}_K = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} \underbrace{\beta_{ij} X_i X_j}_{i \neq j}$$

که در آن β_{ij} نشان‌گر اثرهای مرتبه‌ی دوم محض کوادراتیک، $\hat{Y}_K$ متغیر پاسخ به‌ازای $K = 1, 2, 3, 4$، $\beta_{ii}, \beta_j, \beta_i, \beta_0$ ضرائب، و X_i به‌ازای $i = 1, 2, 3, 4$ است.

۶. انجام آزمایش

طرح عاملی 2^3 با هشت نقطه‌ی عاملی، ۵ نقطه‌ی مرکزی و ۶ نقطه‌ی محوری اجرا شده است (جدول ۲). اطلاعات موجود در این جدول، کل مشاهدات در نظر گرفته شده در هر ترکیب عاملی را نشان می‌دهد. نمادهای مثبت و منفی نشان‌گر سطوح بالا و پایین هر عامل، و مقادیر صفر نشان‌گر حد وسط سطوح بالا و پایین است.

۷. بررسی واریانس خطاها

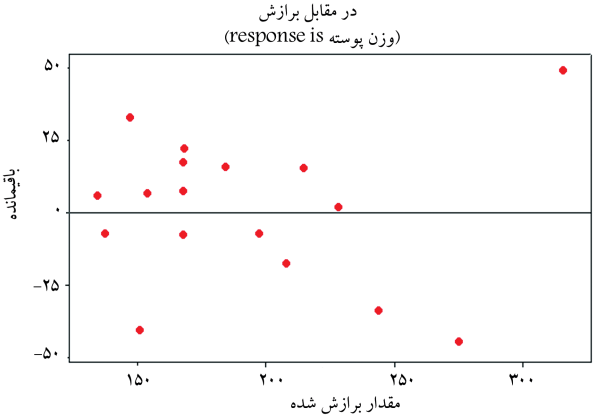
یکی از فرضیات مدل رگرسیون خطی کلاسیک این است که خطاهای مدل دارای واریانس همسان هستند. در شکل ۱ این موضوع با استفاده از نرم‌افزار MINITAB ۱۶ نشان داده شده است.

۸. بررسی مستقل بودن

با استفاده از نرم‌افزار MINITAB ۱۶ ضریب همبستگی متغیرها بررسی شد که نتایج حاصل از آن (جدول ۳) نشان‌گر مستقل بودن ۳ متغیر است.

جدول ۲. اطلاعات آزمایش و مقادیر مشاهده شده‌ی متغیر پاسخ.

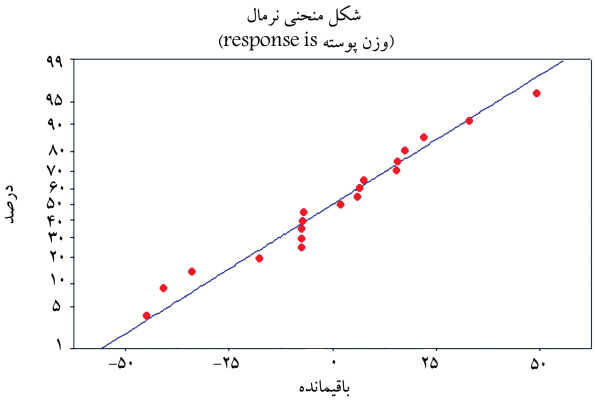
شماره‌ی آزمایش	شماره‌ی اجرا	مقادیر کد شده متغیرها X_1	X_2	X_3	وزن پوسته
۱	۱۶	-۱	-۱	-۱	۲۳۰
۲	۳	۱	-۱	-۱	۱۶۰
۳	۶	-۱	۱	-۱	۳۶۵
۴	۸	۱	۱	-۱	۲۰۰
۵	۹	۱	۱	-۱	۱۹۰
۶	۱	۱	-۱	۱	۱۱۰
۷	۱۲	-۱	۱	۱	۲۳۰
۸	۵	۱	۱	۱	۱۳۰
۹	۲	۰	۰	۰	۱۸۵
۱۰	۱۵	۰	۰	۰	۱۶۰
۱۱	۱۳	۰	۰	۰	۱۷۵
۱۲	۱۸	۰	۰	۰	۱۶۰
۱۳	۷	۰	۰	۰	۱۶۰
۱۴	۱۰	α	۰	۰	۱۸۰
۱۵	۱۹	$-\alpha$	۰	۰	۲۳۰
۱۶	۱۱	۰	α	۰	۱۹۰
۱۷	۱۷	۰	$-\alpha$	۰	۱۴۰
۱۸	۱۴	۰	۰	α	۱۹۰
۱۹	۴	۰	۰	$-\alpha$	۲۱۰



شکل ۱. نمودار پراکندگی خطای مشاهده شده در مقابل مقادیر متغیر پاسخ (وزن پوسته).

جدول ۳. ضریب همبستگی متغیرها.

ضریب همبستگی	X_1	X_2	X_3
X_1	۱	۰	۰
X_2	۰	۱	۰
X_3	۰	۰	۱



شکل ۲. نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای متغیر پاسخ.

۹. بررسی کفایت مدل (نرمال بودن)

با این فرض که خطاها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یکسان‌اند، نمودار احتمال نرمال مانده‌ها رسم می‌شود که درصورت نزدیکی نمودار مذکور به خط مستقیم می‌توان به کفایت مدل پی برد. در ادامه با توجه به نمودار ایجاد شده توسط نرم‌افزار MINITAB ۱۶ (شکل ۲) می‌توان کفایت مدل را مورد تأیید قرارداد.

۱۰. بررسی خمیدگی مدل

آزمون خمیدگی در نرم‌افزار SAS با استفاده از دستور Lackfit انجام، و سپس نتایج حاصل از آزمون مذکور توسط نرم‌افزار SAS۹/۲ آورده شده است. این دستور، آزمون زیر را مورد ارزیابی قرار می‌دهد:[۱۰]

$$H_0 : E[y] = b_0 + b_1 X$$

$$H_A : E[y] \neq b_0 + b_1 X$$

چنانچه مدل دارای خمیدگی باشد فرض صفر رد می‌شود و در غیر این‌صورت، مدل بدون مقادیر درجه ۲ دارای اعتبار است. نتایج این آزمون در نرم‌افزار SAS۹/۲ در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به مقدار فرض شده برای α، و مقادیر P-VALUE استخراج شده

جدول ۴. نتیجه‌ی بررسی وجود خمیدگی در مدل.

آنالیز واریانس					
منبع	درجه‌ی آزادی	مجموع خطا	میانگین خطا	ارزش F	$Pr > F$
مدل	۶	۳۶۹۳۸	۶۱۵۶/۳۰	۴/۷۹	۰/۰۱۰
خطا	۱۲	۱۵۴۲۵	۱۲۸۵/۴۴		
میزان آزمون	۸	۱۴۸۹۵	۱۸۶۱/۹۱	۱۴/۰۵	۰/۰۱۱
خطای خالص	۴	۵۳۰/۰	۱۳۲/۵۰۰		
خطای کل	۱۸	۵۲۳۶۳			

جدول ۵. تحلیل رگرسیون.

متغیر	درجه‌ی آزادی	ضریب	انحراف معیار	ارزش t	$Pr>\|t\|$
عرض از مبداء	۱	۱۶۷/۵۹۳۱۶	۱۵/۱۴۳۸۳	۱۱/۰۷	<۰/۰۰۰۱*
X_1	۱	−۳۸/۰۰۶۳۴	۹/۱۷۳۳۹	−۴/۱۴	۰/۰۰۲۵*
X_2	۱	۲۱/۸۹۸۸۶	۹/۱۷۳۳۹	۲/۳۹	۰/۰۴۰۷*
X_3	۱	−۲۲/۵۹۷۳۳	۹/۱۷۳۳۹	−۲/۴۶	۰/۰۳۶۰*
$X_1 * X_2$	۱	−۱۴/۳۷۵۰۰	۱۱/۹۸۶۲۲	−۱/۲۰	۰/۲۶۱۰
$X_1 * X_3$	۱	۶/۸۷۵۰۰	۱۱/۹۸۶۲۲	۰/۵۷	۰/۵۸۰۳
$X_2 * X_3$	۱	−۱۴/۳۷۵۰۰	۱۱/۹۸۶۲۲	−۱/۲۰	۰/۲۶۱۰
$X_1 * X_1$	۱	۱۵/۳۲۵۹۷	۹/۱۷۴۴۵	۱/۶۷	۰/۱۲۹۲
$X_2 * X_2$	۱	۱/۱۸۷۳۲	۹/۱۷۴۴۵	۰/۱۳	۰/۸۹۹۹
$X_3 * X_3$	۱	۱۳/۵۵۸۶۴	۹/۱۷۴۴۵	۱/۴۸	۰/۱۷۳۶

*: معنی دار در سطح $\alpha = ۰/۰۵$؛ هیچ‌یک از اثرات متقابل و درجه دوم معنی‌دار نیستند.

جدول ۶. مقادیر بهینه‌ی حاصل از حل مدل رگرسیون.

	Y	X_1	X_2	X_3
کد شده	۸۵/۰۹۲	۱	-۱	۱
کد نشده		۰/۲۵۵	۵	۱/۱۱

برای آزمون بدی برازندگی (جدول ۴) درمی‌یابیم که متغیر پاسخ دارای خمیدگی است ($\alpha = ۰/۰۵$).

۱۱. تجزیه و تحلیل آماری

درادامه نتایج آماری طرح به‌همراه مدل رگرسیون برازش شده توسط نرم‌افزار SAS۹/۲ برای متغیر پاسخ با درنظرگرفتن خمیدگی ارائه می‌شود. نتایج تحلیل واریانس در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول تحلیل واریانس طرح عاملی $۲^۳$ مشخص می‌شود که در سطح اطمینان ۹۵٪ عوامل زمان، کربن معادل و میزان اکسیژن ترکیبی بر فرایند تأثیرگذارند.

۱۲. مدل رگرسیون متغیر پاسخ

اولین گام درمتدولوژی سطح پاسخ، یافتن یک رابطه‌ی تقریبی مناسب میان متغیرهای ورودی مؤثر و متغیر سطح پاسخ است. برای مدل‌سازی این رابطه از تابع رگرسیون استفاده می‌شود. تابع رگرسیون براساس مقادیرکدگذاری شده (۱ و ۱-) چنین تنظیم می‌شود:

$$Y = ۱۶۷/۵۹۳ - ۳۸/۰۰۶ * X_۱ + ۲۱/۸۹۸ * X_۲ - ۲۲/۵۹۷ * X_۳$$

۱۳. به‌دست آوردن جواب‌های بهینه

دراین مدل، $X_۱$ نشان‌گر عامل کربن، $X_۲$ نشان‌گر زمان، و $X_۳$ نشان‌گر میزان اکسیژن ترکیبی با گاز است.

با توجه به مدل رگرسیون به دست آمده می‌توان مقادیر ورودی مؤثر را محاسبه کرد. هدف از این کار یافتن مقادیری است که میزان پوسته‌ی حاصل را درکم‌ترین سطح ممکن خود نگه دارد. مدل مذکور با توجه به محدودیت‌های موجود عبارت است از:

$$\text{Min } Y = ۱۶۷/۵۹۳ - ۳۸/۰۰۶ * X_۱ + ۲۱/۸۹۸ * X_۲ - ۲۲/۵۹۷ * X_۳$$

$$-۱ \le X_i \le ۱; \qquad i = ۱, ۲, ۳$$

$$y \ge ۰$$

مدل فوق توسط نرم‌افزار LINGO۱۱ حل شده و نتایج حاصله در جدول ۶ ارائه شده اند. مقادیر متغیرهای کدگذاری شده یعنی $X_۱$، $X_۲$ و $X_۳$ در جدول ۶ نشان داده شده است. برای به‌دست آوردن مقادیر واقعی این متغیرها آنها را از حالت کدگذاری (۱ و ۱-) خارج و نتایج را در جدول ۶ خلاصه می‌کنیم.

۱۴. نتیجه‌گیری

در این نوشتار با استفاده از طراحی آزمایش‌ها مشخص شد که عوامل مؤثر بر فرایند کاهش پوسته‌ها درکوره‌های پیش‌گرم عبارت‌اند از: کربن معادل، زمان و میزان اکسیژن ترکیبی. سپس کاربرد متدولوژی سطح پاسخ در مدل‌سازی و ایجاد رابطه بین متغیرهای ورودی مؤثر و متغیر سطح پاسخ در فرایند مورد مطالعه قرارگرفت. در این مرحله با استفاده از تابع رگرسیون یک رابطه‌ی خطی بین این متغیرها شکل گرفت و مقادیر آنها با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی خطی تعیین شد.

استفاده از مدل‌های ۲^{K-P} به‌دلیل نیاز به نمونه‌های کم‌تر و در عین حال بهبود شاخص R-Square را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های توسعه‌ی کاربرد متدولوژی سطح پاسخ در صنعت مورد توجه قرارداد، چراکه به‌طور هم‌زمان علاوه بر کاهش هزینه‌های سرسام‌آور نمونه‌گیری (که در بسیاری از موارد باعث تولید محصول نامنطبق می‌شود)، به‌دلیل استفاده از متغیرهای بیشتر، برآورد دقیق‌تری نیز از مدل رگرسیون مورد نظر ارائه خواهد داد.

پانوشت‌ها

1. design of experiments (DOE)
2. response surface methodology
3. the flux-cored arc welding
4. American society for material Iiternational

منابع (References)

1. Amiri, M., Mousakhani, M., Alaghebandha, M. and Saeeidi, S.R., *DOE by RSM Approach*,. 1st Ed. Chapter 2, Farhikhtegane Daneshghah Pub. Co., Tehran (2010).
2. Bahloul, R., Mkaddem, A., Dal Santo, Ph., Potiron, A. "Sheet metal bending optimization using response surface method, numerical simulation and design of experiments", *International Journal of Mechanical Sciences*, **48**(9), pp. 991-1003 (2006).
3. Amiri, M. and Salehiye sadeghiyani, S. "A methodology for optimizing statistical multi-response problems using goal programming", *Scientia Iranica*, **15**(3), pp. 389-397 (2008).
4. Yazdani, M., Aioobi, M. and Ghoroori, A. "Application of response surface methodology for recognition of effective factors on electroplating process", *Journal of Industrial Management Studies*, **8**(21), pp. 131-142 (2011).
5. Pine, T., Lee, M.M. and Jones, T.B. "Factors affecting torsional properties of box sections", *J. Ironmarking Steelmarking*, **25**(3), pp. 205-209 (1998).
6. Sathavornvichit, N., Bookkamana, P. and Plubin, B. "Central composite design in optimization of the factors of automatic flux cored arc welding for steel ST37", *proceedings of the 2nd IMT-GT Regional Conference on Mathematics*, Statistics and Applications University Sains Malaysia, Penang, pp. 13-15 (2006).
7. Nuorollsena, R. and Sultan Penah, H. "Offering a method for entracting D.M function and using it for the multi-purpose optimization within the framework of RSM", *International Journal Engineering Science*, **15**, pp. 221-233 (2003).
8. Zarei Hanzki, A., Shokoohi, A., Amade, A., "Adhesion of oxide scales on low carbon steels", *Journal of the College of Engineering*, **36**(1), pp.89-96 (2002).
9. Marklund, P.-O. and Nilsson, L. "Optimization of a car body component subjected to impact", *Structural and Multisciplinary Optimization*, **21**(5), pp. 383-392 (2001).
10. Neter, J., Kutner, M.H., Wasserman, W., Nachtsheim, C. and Neter, J., *Applied Linear Statistical Methods*, 4th ed., McGraw-Hill, New york (1996).