کاربرد طراحي آزمايش ها، روش شناسي رويه پاسخ و تصميم‌گيري چندهدفه دربهبود مشخصه‌هاي كيفي مؤثر: مطالعات موردي بر روي فرايند كشش ورق گلگير عقب پراید ۱۴۱ و فرايند قالب گيري تزريق پلاستيک

مقصود اميری*[۱] كميل قشلاقی، هادی كيومرثی، رضا رشيدی، مجيد رضا حاجی عابد نائينی[۲]
[۱]استاديار دانشكده مديريت صنعتي - دانشگاه علامه طباطبايي
[۲]دانش آموختگان كارشناسي ارشد مهندسي صنايع - دانشگاه آزاد اسلامي واحد قزوين

(تاريخ دريافت ۸۵/۷/۱۲ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۱۲/۲۲ ، تاريخ تصويب ۸۶/۲/۲۶)

چكيده

در دنیای مهندسی طرح آزمایش ابزاری فوق العاده مهم برای اصلاح و بهبود عملکرد فرایندهای تولید است .در آزمایش تعیین مشخصه‌ها ، معمولا به تعیین این که کدام متغیرهای فرایند در پاسخ اثر می گذارند علاقه مندیم . علی الاصول مرحله بعدی بهینه سازی است ، یعنی تعیین حدود عوامل مهمی، که به بهترین پاسخ ممکن منجر می شود . برای تعیین متغیرهای اثرگذار در پاسخ می توان از تکنیکهای مربوط به طراحی آزمایش های (DOE) [۱] برای مرحله بهینه سازی می‌توان از مباحث روش شناسی رویه پاسخ (RSM) [۲] تکنیکهای تحقیق در عملیات (OR)[۳]استفاده نمود . در این مقاله ، به عنوان مطالعه موردی اول ، شناسایی عوامل موثر بر کیفیت محصول و عمر قالب کشش گلگیر عقب پراید ۱۴۱ بوسیله طراحی آزمایشها و به صورت دو طرح فاکتوریل 2^4 و 2^3 انجام می پذیرد. همچنین به عنوان مطالعه موردی دوم مسئله شناسایی عوامل موثر بر بهبود فرایند قالب گیری تزریق پلاستیک و تعیین متغیرهای وابسته به آنها در چارچوب اهدافی که در طراحی آزمایش ها دنبال می شود در قالب یک طرح فاکتوریل بررسی می شود و پس از آن مقادیر قابل قبول عوامل و متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از مباحث روش شناسی رویه پاسخ و تصمیم گیری چند هدفه(در هردو مطالعه موردی) محاسبه و تعیین می گردد .

واژه هاي كليدي: طراحي آزمايش ها - روش شناسي رويه پاسخ - تصميم گيري چند هدفه - فرآيند كشش ورق- فرآيند قالب گيري تزريق پلاستيک

مقدمه و مرور ادبيات مطالعه موردی اول

با توجه به مطالعات انجام شده درزمینه تعیین و تنظیم عوامل موثر برکیفیت قطعات بدنه خودرو با تکنیک DOE و MODM [۴] موردی مشاهده نگردید لذا در اینجا تنها به دو نمونه از کاربردهای DOE در صنعت اشاره می کنیم. از DOE وتحلیل حساسیت بعنوان ابزاری برای ارزیابی روش های تولید شیر استفاده شده است [۱]. شیر و فراورده های شیری در شیر بندی برای از بین رفتن موجودات ذره بینی بیماری زا و همچنین طولانی نمودن تاریخ مصرف محصول تحت عمل گرما قرار می گیرد. استفاده از DOE بعنوان یک روش بسیار کارامد برای به دست آوردن ماکزیمم اطلاعات در کمترین آزمایش ها بکار گرفته شده است وآن روشی است که تعیین می کند که فاکتورهای معنی داری با متغیر های اندازه گیری شده را تحت تاثیر قرار می دهداثرات دو روش تولید برای شیر مورد بررسی قرار گرفت فاکتورهای موثر دربرگیرنده دو فرایند تولد شیر (A,B) و میزان چربی شیر و درجه حرارت آن هستند که این یک طرح عاملی کامل با سه نقطه مرکزی برای هر فرایند است نتایج نشان داده شده به این صورت است که هیچ تفاوت معنی داری علیرغم تحلیل حساسیت به روی روش تولید وجود ندارد این تصمیمات سرمایه گذاری را براساس معیارهای دیگر همگون قیمت، هزینه نگهداری و سرویس تسهیل می کند [۱] .

تجزیه و تحلیل آماری و طراحی آزمایش ها را به منظور شناسایی پارامترهای مواد بر روی نمونه های تشکیل شده از مواد غیر انعطاف پذیر انجام شده است [۲]. در این مقاله اثرات پراکنده اطلاعات آزمایش بر روی شناسایی پرامترهای مواد تشریح شد نتایج اطلاعاتی آزمایش ها از سه نوع آزمایش انجام شده بر روی فولاد و ضدزنگ AINSI SS316 در درجه حرارت۰ که شامل تست کشش، تست تنش با فشار ثابت با استراحت میانی و تست فشار و کشش به صورت دوره ای می باشد هر یک

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۱۸۲۷۳۲۲ , فاكس : ۸۸۸۸۶۰۰۲ , Email: Mg_Amiri@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایش ها با ۱۲ نمونه در نرخ های فشار متفاوت انجام شد به هر حال برای ارزیابی آماری , یک تعداد بسیاری از آزمایش ها نیاز می باشد. روش شبیه سازی تصادفی یک تکنیک قابل قبولی را در مهندسی ارایه می دهد که هیچ گونه پیچیدگی به فرآیند شناسایی مواد اضافه نمی کند که زمان محاسباتی شناسایی مواد را تا حد امکان کم نگه می دارد در حالی که یک بررسی ضریب اطمینان بر روی مناسب بودن پارامترهای مواد انجام می دهد[۲]. اینک با توجه به مطالب عنوان شده به معرفی مطالعه موردی اول می پرداریم. این مطالعه موردی در شرکت گستران قالبهای صنعتی که یکی از تامین کنندگان قطعات بدنه خودرو و سازنده قالبهای صنعتی می باشد در طی مدت ۳ ماه بر روی قالب کشش رویه گلگیر عقب پراید ۱۴۱ به طول انجامیده است. این قطعه یکی از ارکان اصلی بدنه خودرومی باشد و تولید سالم قطعه چه از لحاظ ظاهری و چه ازلحاظ فنی اهمیت فراوانی دارد بطوری که در تراز شدن صندوق عقب و درب های عقب خودرو تاثیر بسزایی دارد.

توضیح مختصری در مورد قالب کشش

کشش نوعي فلز كاري است كه در آن ورق يا قطعه اي با برش محصور در داخل يك ظرف خالي بدون ايجاد چروك يا پارگي فرم داده مي شود. فرآيند كشش برخي ويژگيها را در فلز ايجاد مي كندكه بدون آنها قطعات استحكام لازم را نمي يابند . اين ويژگيها عبارتند از سختي و استحكام حاصل ازكار سختي فلز در اين فرآيند[۳].

در حال حاضر كليه طرح هاي بازرسي و نمونه گيري محصول نهايي كه به منظور كنترل كيفيت فرآيند صورت مي گيرد صرفا پس از توليد شدن محصول و به طريق چشمي صورت مي گيرد و اين بازرسي قادر به كنترل مناسب فرآيند توليد نيست، در فرآيند كشش مشخصه هايي كه پس از توليد محصول مورد بررسي قرار مي گيرند عبارتند از :

این قالب از لحاظ اقتصادی از اهمیت خاصی برخوردار است بطوری که در نگهداری و تعمیر قالب باید دقت زیادی کرد و محدودیتهایی همچون برنامه تولید فشرده، وجود ورق مصرفی غیر خالص و بدون روغن و.... در عمر مفید این قالب مؤثر می باشد. مباحث گفته شده باعث گردیده است که عوامل مؤثر بر عملکرد قالب کشش را شناسایی کنیم و سطوح مقداری آنها را به نحوی که تعداد قطعات معیوب تولید شده توسط قالب معقول باشد حیاتی است. در بخش دوم این مطالعه موردی عوامل و سطوح مقداری آنها بیان می گردد ، در بخش سوم به معرفی سطوح پاسخ می پردازیم، در بخش چهارم با توجه به عوامل و متغییرهای پاسخ عنوان شده در دو بخش قبلی، طرح آزمایش انتخاب می گردد و در بخش پنجم با در نظر گرفتن طرح آزمایش مورد نظر، آزمایش های انجام گرفته و نتایج آن بیان می گردد. در بخش ششم تجزیه و تحلیل آماری ارائه گردیده است. و در بخش هفتم به کمک روش L-P متریک تابع هدف طرح شده حل می گردد. نتیجه گیری و پیشنهادات تحقیقات آتی نیز در بخش پایانی تحقیق آمده است .

جدول ۱ : مشخصه هاي كنترل و نحوه كنترل آنها.

ردیف	نام مشخصه	معیار پذیرش	ابزار بازرسی	کنترل کیفیت	
				تناوب	تعداد
۱	عمق کشش	نمونه شاهد	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۲	خط و خش	فاقد خط و خش	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۳	نک و پارگی	فاقد نک و پارگی	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۴	موج و چروک	فاقد موج و چروک	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۵	داغی	فاقد داغی	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۶	دفرمگی	فاقد دفرمگی	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۷	خلاصی	نمونه شاهد	چشمی	۱ ساعت	۱۰
۸	دوبلگی	فاقد دوبلگی	چشمی	۱ ساعت	۱۰

انتخاب عوامل و تعیین سطوح آنها

در این مرحله در صدد آن برآمده ایم تا متغیر های ورودی تاثیر گذار برروی کیفیت محصول و عمر قالب(گلگیر عقب پراید ۱۴۱) در مرحله کشش را مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به شرایط این آزمایش را برروی پرس هیدرولیک ۱۰۰۰ تن انجام می گیرد و عوامل مذکور بصورت زیر می باشد:

۱ - دهانه باز پرس : فاصله بین دو لبه صفحه بالایی و پایینی پرس .

۲ - سختی سنبه و ماتریس قالب : سختی قالب نقش اساسی در عمر قالب و کیفیت محصولات تولید شده ایفا می کند . برای سخت کردن سنبه و ماتریس قالب، به طراحی و اجرای فرایند عملیات حرارتی خاصی نیاز است .

۳ - فشار کوشن پرس : فشار ناشی از میل کوشن که از صفحه پایین پرس بر قطعه وارد می شود .

۴ – فشار اسلاید پرس : فشاری که از صفحه بالایی پرس بر قالب و قطعه وارد می شود .

Archive of SID

www.SID.ir

- تنظیم دهانه باز پرس در حین عملیات : عدم ایجاد خط و خش در هنگام قراردادن قطعه در قالب.
- تنظیم دقیق فشار اسلاید و فشار کوشن : باعث مناسب بودن عمق کشش و زنده بودن فرم ها و عدم پارگی در قطعه می گردد .
- سختی سنبه و ماتریس : سنبه و ماتریس دو جز اصلی قالب بوده که به علت تماس و درگیری زیاد با قطعه و محصول همواره تحت فشار و تنش زیادی می باشد لذا به منظور سخت شدن و جلوگیری از استهلاک و از بین رفتن سریع آنها ، نیازمن عملیات حرارتی می باشند .

انتخاب متغیر پاسخ

با توجه به این که متغیر پاسخ باید خصوصیات مهمی از فرآیند مورد بررسی را دربر داشته باشد و باتوجه به تعریف مسئله سطوح پاسخ به صورت زیر بیان می گردد :
- تعداد قطعه نمونه سالم از ۱۰ برگ ورق (Y_1).
- عمر قالب کشش بر حسب تعداد قطعات تولید شده از قالب (Y_2).

انتخاب طرح آزمایش

گام مهم بعدی در انجام تحقیق انتخاب طرحهایی است که بر اساس آن باید آزمایش انجام داد.در آزمایش های مشتمل بر چندین عامل که در آنها مطالعه توام عوامل بر پاسخ ضروری است، طرح های عاملی به صورت وسیعی کاربرد دارند . در طرح های عاملی 2^k ، K عامل هر یک تنها در دو سطح وجود دارند. تکرار کامل چنین طرحهایی نیاز به 2^k مشاهده دارد که آن را طرح عاملی 2^k می نامند سطوح عوامل می توانند دلخواه باشند که ما آنها را بالا و پایین می نامیم .از مزایای این طرح ها هزینه و زمان کمتر نسبت به سایر طرح های آزمایش است که هر عامل فقط در دو سطح بررسی می شود[۴] . با توجه به نکاتی که در بخش های قبلی مطرح شده دو طرح عاملی 2^4 و 2^3 برای انجام آزمایش مناسب است.

باید توجه داشت که یکی از مهمترین پیش نیازهای بخش تجزیه و تحلیل آماری این طرح انجام آزمایش بصورت تصادفی است بدین منظور فرض کنید آزمایش ها را به صورت جداول (۳) و (۴) شماره گذاری کرده ایم . حال یک عدد تصادفی بین ۱و ۸ و یک عدد تصادفی بین ۱۶و۱ اختیار می شود این فرایند تا زمانی که آزمایش شانزدهم انجام شود ادامه دارد .در این تحقیق تولیدی اعداد تصادفی به صورت ۲ ، ۶ ، ۷ ، ۵ ، ۸ ، ۱، ۳ ، ۴ و اعداد تصادفی ۱۰، ۴ ، ۸، ۱۱، ۱، ۹ ، ۷، ۱۶ ، ۱۲ ،۵ ، ، ۱۳، ۱۴ ، ۱۵ ، ۲، ۶ که از آن برای ترتیب انجام آزمایش ها استفاده خواهد شد.

جدول ۲: عوامل و سطوح مقداري آنها.

	عامل	سطح پایین	سطح بالا
۱	دهانه باز پرس	۱۷۵۰ میلی متر	۱۹۵۰ میلی متر
۲	سختی سنبه و ماتریس	۴۸ راکول	۵۲ راکول
۳	فشار کوشن	۶۵ تن	۸۵ تن
۴	فشار اسلاید	۵۵۰ تن	۷۵۰ تن

انجام آزمایش

بعد از مشخص شدن طرح آزمایش و ترتیب انجام آزمایش ها (ابتدا طرح 2^4 و سپس طرح 2^3) نوبت به انجام آزمایش می رسد . همه آزمایشها در مدتی نزدیک به ۳ ماه انجام و نتایج بدست آمده برای متغیر پاسخ Y_1 و Y_2 در جداول (۵) و (۶) خلاصه شده است .

جدول ۵ : نتایج آزمایش ۱ بر حسب تعداد قطعه سالم.

		دهانه باز پرس A			
		۱۷۵۰ میلی متر		۱۹۵۰ میلی متر	
		فشار کوشن C			
		۶۵ تن	۸۵ تن	۶۵ تن	۸۵ تن
سختی سنبه و ماتریس B	۴۸ راکول	۷	۷	۱۰	۶
	فشار اسلاید D ۵۵۰ تن	۸	۹	۹	۵
	۵۲ راکول	۸	۶	۶	۵
	فشار اسلاید D ۷۵۰ تن	۹	۸	۷	۶
	۴۸ راکول	۵	۶	۸	۶
	فشار اسلاید D ۵۵۰ تن	۷	۷	۷	۷
	۵۲ راکول	۷	۵	۵	۴
	فشار اسلاید D ۷۵۰ تن	۸	۴	۴	۶

جدول ۶: نتایج آزمایش ۲ – بر حسب عمر قالب.

		فشار کوشن C	
		۶۵ تن	۸۵ تن
سختی سنبه و ماتریس B	۴۸ راکول	۳۳۳۰	۲۹۸۴
	فشار اسلاید D ۵۵۰ تن	۳۴۰۰	۲۸۳۰
	۵۲ راکول	۳۲۲۰	۲۹۹۲
	فشار اسلاید D ۷۵۰ تن	۳۲۱۸	۳۰۰۳
	۴۸ راکول	۳۱۰۰	۲۹۲۷
	فشار اسلاید D ۵۵۰ تن	۲۸۵۰	۳۲۰۱
	۵۲ راکول	۳۳۴۳	۳۲۳۵
	فشار اسلاید D ۷۵۰ تن	۳۵۲۵	۳۱۱۸

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آماری طرح های ۱ و ۲، مدل رگرسیون چند متغیره برلزش شده ، نمودارهای احتمالات نرمال Y_1 و Y_2 در جداول (۷) تا (۱۲) و نمودارهای ۱ و ۲ توسط نرم افزار SAS ارائه شده است . در این جداول نتایج آزمونهای فرض مربوط به وجود اثرات اصلی و متقابل از طریق مقایسه

Archive of SID
www.SID.ir

آماره F^*و $F_{0.1}(1,16)=3.05$ و $F_{0.1}(1,8)=3.46$ محاسبه شده است .

جدول ۷ : اطلاعات برازش Y_1.

	Master Model	Predictive Model
RMSE	0.935414	0.880932
R-square	81.46%	75.33%
Adjusted R-square	64.07%	68.14%
Coefficient of Variation	14.11946	13.29709

جدول ۸ : مدل رگرسیون متغیر پاسخ Y_1.

Coded Levels(-1,1)	
$Y_1 =$	6.625 - 0.3125*A - 0.625*B -0.5625*C - 0.5*D - 0.4375*A*D+ 0.375*A*B*C + 0.625*A*C*D

جدول ۹ : تنظیمات نمودار پیش بینی $Y1$.

Factor	Optimal Setting	Response	Estimated Value
A	1	Y1	9.4375
B	-1	Desirability	100.0%
C	-1		
D	-1		

جدول ۱۰ : اطلاعات برازش Y_2 .

	Master Model	Predictive Model
RMSE	115.415	107.7359
R-square	82.56%	81.00%
Adjusted R-square	67.30%	71.50%
Coefficient of Variation	3.673005	3.428623

جدول ۱۱: مدل رگرسیون متغیر پاسخ Y_2.

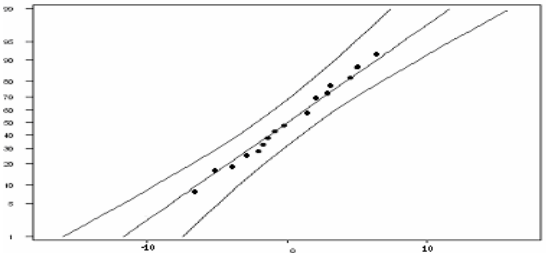
coded levels(-1,1)	
$Y_2 =$	3142.25 - 106*C + 64.5*D + .875*B*C+ 78.375*B*D- 72.875*B*C*D

جدول ۱۲: تنظیمات نمودار پیش بینی Y_2.

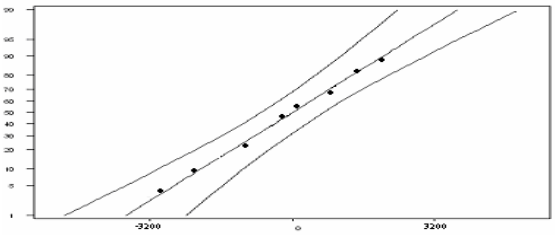
Factor	Optimal Setting	Response	Estimated Value
B	1	Y2	3400.125
C	-1	Desirability	100.0%
D	1		

بررسی کفایت مدل

با فرض این که خطا ها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر باشند با رسم نمودار احتمال نرمال مانده ها در صورتی که این نمودار شبیه یک خط مستقیم باشد میتوان به کفایت مدل پی برد .



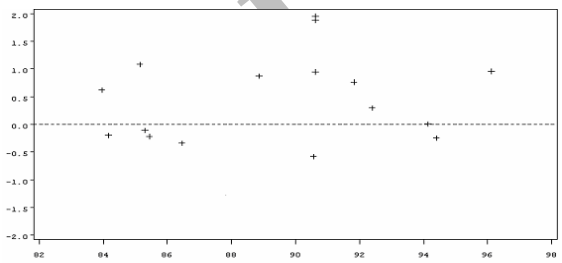
شکل ۱: نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده ها برای متغیر پاسخ اول.



شکل ۲: نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده ها برای متغیر پاسخ دوم.

بررسی واریانس خطا

اگر مدل درست باشد و پذیره ها برقرار باشند مانده ها باید بی ساختار باشند و همچنین به هیچ متغیر دیگری ازجمله متغیر پاسخ وابسته نباشند. با توجه به نمودار پراکنش خطا در مقابل مقادیر پیش بینی شده، خطاها هم واریانس هستند .



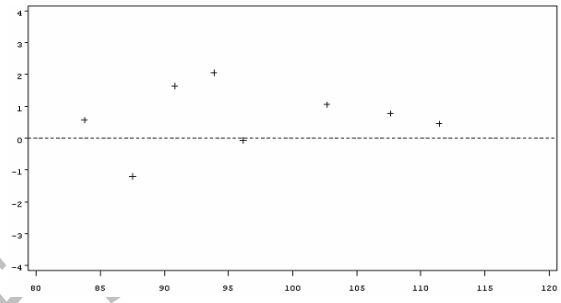
شکل۳ : نمودار پراکنش مشاهده شده (e_i) در مقابل مقادیر متغیر پاسخ اول.

با توجه به تجزیه و تحلیل واریانس و نمودار احتمالات نرمال ارائه شده ، در متغیر پاسخ Y_1 اثرات اصلی A, B, C, D و اثر متقابل دوتایی AD و همچنین اثرات متقابل سه تایی ABC , ACD به عنوان عوامل موثر برکیفیت

Archive of SID

www.SID.ir

محصول اثر می گذارند و لذا برآورد مدل رگرسیون توسط عوامل موثر فوق برازش می گردد. همچنین برای متغیر پاسخ Y_2 اثرات اصلی C و D و اثرات متقابل دوتایی BC و BD و اثر متقابل سه تایی BCD به عنوان عوامل موثر شناسایی و مدل رگرسیون برازش گردید . اینک با توجه به دو مدل رگرسیون حاصل از طراحی آزمایش ها بدنبال آن هستیم این دو مدل را به عنوان دو معیار سنجش قرارداده و از طریق یکی از روشهای MODM جهت بهینه سازی توام پارامترها عمل نمائیم .



شکل۴ : نمودار پراکنش مشاهده شده (e_i) در مقابل مقادیر متغیر پاسخ دوم.

روش L-P متریک

روش L-P متریک به منظور سنجش نزدیکی یک راه حل ایده آل مورد استفاده قرار می گیرد. ایـن سـنجش از انحراف به صورت زیر خواهد بود :

$$\text{Min } z = \sum_{J=1}^{k} W_j \left(\frac{Z_j^* - Z_j}{Z_j^*}\right)^P$$

اهمیت (وزن) هدف j ام ($w_j \geq 0$) می باشد . برای از بین بردن مشکل متفاوت بودن مقیاس های اهداف، میزان انحراف جواب ایده آل هدف j ام و تابع هدف آن را بر Z_j^* تقسیم می کنیم. $1 \leq p < \infty$ هم مشخص کننده درجه تاکید بر انحرافات است به گونه ایی که هر چه این ارزش بزرگتر باشد تاکید بیشتری بر بزرگترین انحراف خواهد بود . تابع هدف کلی روش L-P متریک نیز به منظور حداقل کردن انحرافات از ایده آل باید کمینه گردد . در این روش توابع هدف را بطور جداگانه از طریق نرم افزار LINGO بهینه نموده و جوابهای بهینه بدست آمده از هر تابع هدف را در توابع هدف دیگر قرارمی دهیم و بدین ترتیب ماتریس زیر حاصل می گردد .

جدول ۱۳ : جوابهای بهینه اولیه.

	Y1	Y2	A	B	C	D
Max Y1	9.4375	3398.875	1	-1	-1	-1
Max Y2	7.8125	3400.125	-1	1	-1	1
	(L1 U1)	(L2 U2)				

حال سعی می کنیم تابع انحرافات حاصل از دو تابع فوق را کمینه نمائیم :

$$\text{Min } Z = W_1\left(\frac{9.4375 - Y1}{9.4375}\right)^P + W_2\left(\frac{3400.125 - Y2}{3400.125}\right)^P$$

$-1 \leq A, B, C, D \leq 1$

A , B , C , D آزاد در علامت

با توجه به نظر تصمیم گیران ، وزنهای مقایسه ایی و جواب حاصل در جدول (۱۴) آورده شده است. این جوابها به ازای P=1 حاصل شده است و با افزایش مقدار P جوابهای حاصله برابر مقادیر ذکرشده یا بدتر آز آن بدست می آید[۵] .

نتیجه گیری در مطالعه موردی اول

در این قسمت از مقاله ، شرایط تولید قالب کشش رویه گلگیر عقب پراید ۱۴۱ بوسیله طراحی آزمایش ها و به صورت دو طرح عاملی 2^4 و 2^3 با دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت، عوامل این دو طرح عبارتند از : دهانه باز پرس، سختی سنبه و ماتریس قالب ، فشار کوشن و فشار اسلاید که هریک در دو سطح با انجام ۳۲ و ۱۶ آزمایش انجام گردید . با شناسایی عوامل موثر ، مدل رگرسیونی به آنها برازش گردید . در ادامه به کمک روش های برنامه ریزی چند هدفه، بهینه سازی توام " حداکثر تعداد قطعات سالم تولید شده " و " حداکثر عمر قالب " مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفت .طرح پیشنهادی با توجه به برابری اوزان توابع هدف برای متغیر دهانه باز پرس ۱۷۵۰ میلی متر، برای متغیر سختی سنبه و ماتریس ۴۸ راکول، برای متغیر فشار کوشن ۶۵ تن و برای متغیر فشار اسلاید ۵۵۰ تن می باشد .

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۴ :جواب کد شده و غیر کدشده.

		Y1	Y2	A	B	C	D
Coded	$W_1 = W_2$ P=1	9.4375	3398.875	1	-1	-1	-1
Uncoded		9.4375	3398.875	1750	48	65	550

مقدمه و مرور ادبیات مطالعه موردی دوم

بهینه نمودن فرایند و بهبود در تولید محصول یکی از فعالیتهای مهمی است که شرکتهای ساخت و تولید در آن سرمایه گذاری میکنند . تا با بهترین راه ممکنه به کیفیت و اطمینان و نقص کمتر در محصول برسند . در شرکتهایی که کار قالبگیری تزریقی را انجام میدهند، درخواست روز افزون محصولاتی با کیفیت بالا و در عین حال با قیمت مناسب باعث شده است که قالبگیر مجبور به کنترل فرایند قالبگیری ، شکل قطعه ، مشخصات ماده قالبگیری و روش تغییر شکل و... شود [۶] .

برای شناسایی عوامل موثر بر قالب و فرایند قالبگیری تزریقی می توان از مبحث طرح و تحلیل آزمایش ها (DOE) استفاده نمود. هدف طراحی آزمایش ها مینیمم کردن تعداد آزمایش ها مورد نیاز برای شناسایی عوامل موثر در فرایند تولید است زیرا برای شناسایی عوامل موثر تعداد زیادی از متغیرها بایستی بررسی و تجزیه و تحلیل شوند [۷].

Cupello از طراحی آزمایش ها برای شناسایی موارد و ابزارهای موثر برای بسط و گسترش جنبه رقابتی محصولات و فرایندها استفاده کرده است[۸] . Verseput در این مورد بحث نموده است که DOE نیازمند یک طرح ریزی بلند مدت و نمونه اولیه برای رسیدن به موفقیت می باشد[۹] . DOE شامل یکسری آزمایش ها است طوری که به سمت هدف خاصی مسئله را هدایت کنند، توسط افراد با دانش برنامه ریزی می شود، می تواند شامل همه متغیرهای وابسته باشد و بایستی طوری در الگوی طرح شده مرتب شوند که بیشترین اطلاعات را حاصل نمایند و از تعداد کافی برخوردار باشند به طوری که عوامل مهم یافت شوند و متغیرها و عوامل ناچیز حذف گردند [۱۰].

Launsby یک روش قالبگیری تزریقی علمی را ارائه داده است که باعث بهبود در فرایند قالبگیری میشود که در آن پنج مرحله که قالبگیر میتواند آنها را برای کاربرد موفق DOE بکار گیرد مطرح شده است. این مراحل شامل : برنامه ریزی ، انتخاب یک طرح متعامد، اجرا و هدایت آزمایش ، تحلیل نتایج و سرانجام تایید و تصدیق آنهاست [۱۱]. Maplston در یک مقاله مختصر نشان داد که استفاده از فرایند مهندسی و بهینه سازی، یک بهبود هر چند نمایشی را در فرایندهای قالبگیری تزریقی در یک شرکت خاص ایجاد می کند [۱۲] . Speight مقاله ای در مورد یک سیستم کنترل فرایند قالبگیری که باعث سریعتر شدن سیکل، بالا رفتن کیفیت و پایین آمدن هزینه در فرایند طراحی و ساخت قالب می شود ارائه نمود[۱۳]. Moor & Mapleston از یک فرایند کنترل آماری SPC برای ایجاد بهبود در تکنولوژی قالبهای تزریق استفاده نموده اند [۱۴] . Sower & Foster یک سری مراحل قدم به قدم و یک استراتژی ارزیابی را که در یک شرکت متوسط قالب گیری تزریقی برای بهبود در کیفیت و هزینه قالب اجرا شده که تمرکز بر فرایند کنترل آماری دارد شرح داده اند[۱۵].

هدف از این قسمت از مقاله مطالعه، بررسی و تجزیه و تحلیل فرایند قالبگیری تزریقی پلاستیک به منظور تحت کنترل در آوردن متغیرهای ورودی تاثیر گذار برروی کیفیت محصولات این فرایند در حین تولید است . در این قسمت با استفاده از مبحث طراحی آزمایش ها (DOE) فاکتورها وعوامل موثر بر متغیر های پاسخ در قالب یک طرح فاکتویل بررسی شد، در مرحله بعد با استفاده از مبحث روش شناسی رویه پاسخ (RSM) مدلهای مربوطه برای یافتن مقادیر قابل قبول و بهینه عوامل و متغیر ها بدست می آید و در ادامه با بکار گیری تصمیم گیری چند هدفه فازی (FMODM) [۵] میزان قابل قبول عوامل و متغیر های پاسخ تعیین می شود .

تعیین متغیرهای پاسخ

متغیر پاسخ باید دارای اطلاعات مهمی از فرایند تولید باشد که برای به کنترل درآوردن آن مورد استفاده قرار میگیرد . یکی از عمده ترین عوامل اثر گذار بر کیفیت قطعات تولید شده جنس قالبهای تزریق است، از آنجایی

Archive of SID

www.SID.ir

که هزینه مواد قالب ، قسمت کوچکی از کل هزینه ساخت قالب را تشکیل مـی دهـد در قـالبگیری تزریقـی اغلـب از قالبهای فلـزی بـا اسـتحکام بـالا ، اصـولا فـولاد اسـتفاده می شود . فولادها انواع مختلفی دارند اما یک نوع آنهـا بـه نام فولادهای سختکاری سطحی بهترین فـولاد در سـاخت قالب هستند این فولادها گـران قیمـت نیسـتند و ۸۰٪ از کل مصرف فولاد ها در ساخت قالب را تشکیل می دهنـد . بنابر این انتخاب جنس قالب به عنـوان متغیـر پاسـخ کـار صحیحی نمی باشد زیرا هم قابل اندازه گیری نیست و هم فولاد به کار رفته در اکثر قالبهـا از نـوع فـولاد سـختکاری سطحی می باشد پس با توجه به مسئله مطـرح شـده کـه بهبود فرایند قالبگیری تزریقی می باشد عمر قالـب تزریـق برحسب تعداد قطعات سالم تولید شده مـی توانـد یکـی از متغیرهای پاسخ منتخب باشد .

در صـنعت تزریـق پلاسـتیک کنتـرل ماشـین در سـیکل قالبگیری برای نگهداری و بهبود کیفیت و قابلیت اطمینان محصول تولید شده بسـیاربا اهمیـت اسـت. سـیکل قالـب گیری مراحلی را که پلاسـتیک (مـاده خـام) ذوب شـده و ماشین مربوطه تا تولید محصول نهایی انجام مـی دهنـد را نشان میدهد. یک سیکل قالب گیری در یک ماشین تزریق شامل مراحل ذوب کردن پلاستیک، تزریق پلاستیک ذوب شده به قالب ، خنک سازی پلاسـتیک در داخـل قالـب و خارج کردن قطعه فرم گرفته از قالب مـی باشـد. بنـابراین عامل مهم دیگری که بر بهبود فرایند تاثیر گذار است زمان سیکل قالب گیری در ماشین تزریق است .

پس دو متغیر پاسخ شناسایی شده عبارتند از :

۱.عمر قالب تزریق برحسب تعداد قطعات سالم تولید شده

۲.زمان سیکل قالب گیـری در ماشـین تزریـق پلاسـتیک (برحسب ثانیه)

انتخاب عوامل وشناسایی فاکتورها

عمده ترین مسئله ای که در طراحی آزمایش هـا بـا آن روبرو هستیم شناسایی عوامل (فاکتورهـا) بـرای انـدازه گیری میباشد . عوامل زیادی در بهبود فرایند قـالبگیری و عمر قالب تزریق موثرند میتوان از جنس فولاد به کار رفته، فشار تزریـق در ماشـین، سـرعت تزریـق، زمـان و سـرعت خنک شدن قطعه، نوع گلویی تزریق بکار رفته، دمای قالب تزریق، دمای مواد خام ذوب شـده، درصـدی از مـواد خـام استفاده شده در قالبهای قبلی، درصد عناصر آلیاژی به کار رفته در فولاد و ... نام برد . بـه علـت محـدودیتهایی نظیـر نیروی انسـانی ، زمـان و هزینـه هـای مربـوط بـه اجـرای آزمایش ها و ماهیت DOE که تمرکز بـر عوامـل مهـم در فرایند میباشد امکان اجرای آزمایش برای همه متغیرهـای شناسایی شده وجود نـدارد پـس چهـار عامـل کـه درجـه اهمیت بیشتری از سایرین دارند انتخاب شده که عبارتنـد از :

– **طرح گلویی تزریق بکار رفتـه** : گلـویی تزریـق کـار انتقال مواد از راهگاه به حفره قالب (قطعه قالب گیری) را انجام می دهد و بر راحت بـودن خـروج قطعـه از قالـب و کیفیت و بدون اثـر باقیمانـدن ظـاهر قطعـه مـوثر اسـت، همچنین باید از ورود پوسته سـرد، کـه در دیـواره راهگـاه تشکیل می شود، به داخـل حفـره قالـب جلـوگیری کنـد گلویی های تزریق انواع مختلفی دارند، در اینجـا مـا بـرای آزمایش از گلویی مخروطـی بـرای سـطح اول و از گلـویی حلقه ای برای سطح دوم استفاده می کنیم .

– **فشار تزریق در قالب** : به فشار مـورد نیـاز بـرای پـر کردن قالب اشاره میکند که بایستی به وسیله یک سیستم هیدرولیک کنترل شود کـه فشـار مربوطـه مـی توانـد در دامنه 20000- 5000 PSI باشد .

– **دمای قالب تزریق** : دمـای سـطح قالـب توسـط یـک کنترل کننده دما که وظیفه دارد بـا بـه جریـان انـداختن سیال واسطه دمای قالبها را تا دمای فرایند بالا ببـرد و بـا گرم کردن و خنک کردن، دما را به صورت اتوماتیک ثابـت نگـه دارد ،کنتـرل میشـود .کنتـرل کننـده هـایی کـه در دستگاه کنترل دما به کـار میرونـد از نـوع سـه نقطـه ای هستند که دارای موقعیت گرم کـردن – خنثـی – خنـک کردن (کنتـرل کننـده هـای شـبه پایـدار) میباشـند کـه میتوانند دمای قالب را بوسیله یک مایع خنـک کننـده تـا کمتر از ۸۰ درجه و به وسیله یـک مـایع گـرم کننـده تـا بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی گراد کنترل کنند.

– **درصد کروم بکار رفته در فولاد** : در فولادهای مـورد استفاده در قالبهای تزریق افزایش کروم باعـث اسـتحکام ، سـختی پـذیری، مقاومـت خـوردگی، مقاومـت گرمـایی و مقاومت در برابـر اکسـید شـدن سـطحی میشـود. درصـد معمول استفاده از کروم در ایـن نـوع فولادهـا حـداکثر تـا ۲۰٪ عناصر آلیاژی موجود است .

Archive of SID
www.SID.ir

انتخاب طرح آزمایش

مرحله بعدی در انجام این فعالیت انتخاب طرحی است که بر اساس آن باید آزمایش انجام شود. در آزمایش های مبتنی بر چندین عامل که در آنها مطالعه اثر توام عوامل بر پاسخ ضروری است طرحهای عاملی به صورتی وسیع کاربرد دارند. در اینجا با توجه به سطوح مشخص شده (سطوح بالا و پایین) و این که چهار عامل برای آزمایش داریم یک طرح عاملی 2^4 مناسب به نظر می رسد . همچنین به دلیل محدودیتهای تولیدی و اقتصادی که در قسمتهای قبلی ذکر شد تنها یک تکرار از طرح فوق قابل آزمایش است به همین دلیل در این پروژه یک طرح عاملی 2^4 بدون تکرار خواهیم داشت یعنی هر یک از ۱۶ حالت اجرای آزمایش در این طرح تنها با یک نمونه آزمایش انجام می شود .

اثر یک عامل با حرف بزرگ لاتین نشان داده می شود مثلا A معرف اثر عامل A است و ... سطوح پایین و بالای عوامل به ترتیب با (-) و (+) در جدول (۳) نشان داده شده است اغلب می توان ترکیبهای تیماری را به ترتیب (۱) ، a ، b ، ab ... abcd نوشت . که با توجه به جداول ارائه شده ،(۱) به این معناست که تمام عوامل مذکور و ترکیب آنها در سطح پایین خود قرار دارند و نیز abcd نشان دهنده ترکیب عوامل در سطح بالا می باشد.

جدول ۱ : عوامل و سطوح مقداری آنها.

عامل	شرح	سطح بالا	سطح پایین	واحد اندازه گیری
A	طرح گلویی تزریق	مخروطی	حلقه ای	--
B	فشار تزریق در قالب	20000	5000	PSI
C	دمای قالب تزریق	250	80	درجه سانتی گراد
D	درصد کروم بکار رفته در فولاد	20	10	درصد

جدول ۲ : چارچوب کلی طرح آزمایش.

A / B		مخروطی		حلقه ای	
	C / D	80 درجه	250 درجه	80 درجه	250 درجه
PSI 5000	10%	(1)	c	a	ac
	20%	d	cd	ad	acd
PSI 20000	10%	b	bc	ab	abc
	20%	bd	bcd	abd	abcd

جدول ۳ : نتایج حاصل از آزمایش ها.

شماره آزمایش	عوامل				ترکیب سطوح عوامل	عمر قالب	زمان سیکل
	A	B	C	D			
1	-	-	-	-	(1)	22620	1585
2	+	-	-	-	a	20536	1433
3	-	+	-	-	b	25753	1700
4	+	+	-	-	ab	22327	1555
5	-	-	+	-	c	18693	1742
6	+	-	+	-	ac	16255	1756
7	-	+	+	-	bc	17462	1714
8	+	+	+	-	abc	16934	1750
9	-	-	-	+	d	29570	1647
10	+	-	-	+	ad	27602	1678
11	-	+	-	+	bd	29634	1685
12	+	+	-	+	abd	27813	1805
13	-	-	+	+	cd	25942	1743
14	+	-	+	+	acd	24016	1654
15	-	+	+	+	bcd	28132	1795
16	+	+	+	+	abcd	26416	1817

Archive of SID

www.SID.ir

اجرای آزمایش ها

یکی از مهمترین پیشنیازهای بحث تجزیه و تحلیل آماری، انجام آزمایش ها به صورت تصادفی است از اینرو با توجه به جدول (۳) از بین شماره اعداد ۱ تا ۱۶ که شماره آزمایش های طراحی شده است یکی را به تصادف انتخاب کرده و اجرا میکنیم که این فرایند تا زمانی ادامه دارد که آزمایش شانزدهم انجام شود . تنها مشکلی که در تصادفی کردن انجام آزمایش ها با آن روبرو هستیم این است که ممکن است آزمایشی که قبلا انجام شده بار دیگر برای انجام انتخاب شود که این مشکل قابل چشم پوشی است.

جدول ۴ : تخمین،مجموع مربعات و درجات آزادی اثرات مختلف مدل.

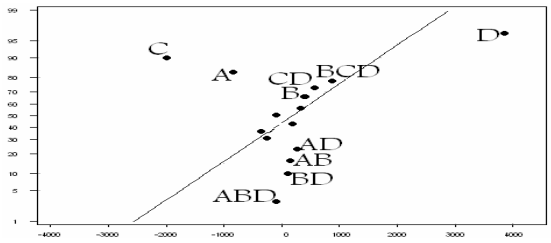
شماره آزمایش	اثر	درجه آزادی	تخمین اثر (عمر قالب)	تخمین اثر (زمان سیکل)	مجموع مربعات (عمر قالب)	مجموع مربعات (زمان سیکل)
1	(1)	-	23731.56	1691.18	4505496469	89377.80
2	A	1	-994.18	-10.18	7907270.28	3.24
3	B	1	577.31	36.25	2666317.78	41.06
4	AB	1	57.81	14.31	26738.28	6.40
5	C	1	-2000.31	54.56	32010000.78	93.02
6	AC	1	168.18	8.06	226296.28	2.03
7	BC	1	-72.56	13.81	42122.53	5.95
8	ABC	1	207.18	2.31	343413.28	0.16
9	D	1	3659.06	36.81	107109907	42.34
10	AD	1	65.31	20.68	34125.78	13.36
11	BD	1	30.81	11.25	7595.28	3.95
12	ABD	1	-13.18	10.68	1391.28	3.56
13	CD	1	736.18	-30.31	4335.77	28.71
14	ACD	1	-149.18	-35.31	179.55	38.95
15	BCD	1	611.93	20.06	2995740.03	12.57
16	ABCD	1	-199.31	0.43	317803.78	0.005

تجزیه و تحلیل آماری مربوط به آزمایش ها

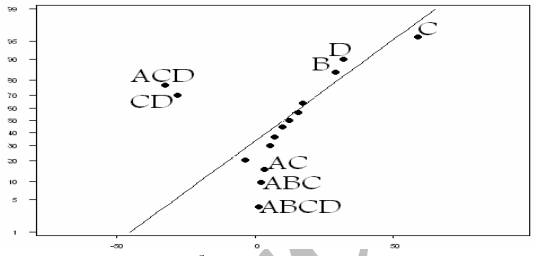
از آنجایی که طرح بدون تکرار است و تخمینی برای عنصر خطا که رکن اصلی در آزمونهای آماری مربوط به وجود اثرات است ممکن نخواهد بود، با استفاده از روش دانیل [۱۶] (تاثیرات ناچیز دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت هستند) میتوان موارد کم اثر را در خطا ادغام کرد و تخمینی از میانگین مربعات خطا ، بدست آورد . از این رو زمانی که نمودار احتمال نرمال برای تخمین خطا ها رسم می شود این گونه اثرات نزدیک و در طول خط مستقیم خواهند بود در صورتی که اثرهای معنی دار، میانگین غیر صفر خواهند داشت و در طول خط مستقیم قرار نمی گیرند.

رسم نمودار احتمالات نرمال مربوط به متغییر وابسته عمر قالب

با توجه به نمودار احتمالات نرمال (شکل ۱) اثرات مربوط به عمر قالب مشخص می شود که عوامل و اثرات ABC، AC ، ACD، BC و ABCD تقریبا در امتداد خط مستقیم هستند که میتوان آنها را به عنوان خطا در نظر گرفت و از مجموع مربعات آنها (1109186.15)که 5 درجه آزادی دارد برای تخمین میانگین مربعات خطا (221837.23) استفاده کرد .



شکل ۱ :نمودار احتمالات نرمال برای آزمایش مربوط به عمر قالب.



شکل ۲ : نمودار احتمالات نرمال برای آزمایش مربوط به زمان سیکل.

رسم نمودار احتمالات نرمال مربوط به متغییر وابسته زمان سیکل

با توجه به نمودار احتمالات مربوط به زمان سیکل، اثراتA، AD، BCD، AB، BC، BD، ABD در امتداد خط نرمال هستند و به عنوان عنصر خطا با مجموع مربعات 49.04 با 7 درجه آزادی و میانگین مربعات خطای 7.005 در نظر گرفته می شوند .

جدول تجزیه و تحلیل واریانس آزمایش ها مربوط به عمر قالب

در این جدول نتایج آزمونهای فرض مربوط به وجود اثرات از طریق مقایسه آماره F بیان شده است که در آن

Archive of SID
www.SID.ir

برای سطح معنی داری $\alpha=0.95$ داریم :

$F_{\alpha,1,5}=6.61$

جدول تحلیل واریانس آزمایش های مربوط بـه زمـان سیکل

آزمون F با توجه به سطح معنی دار 95% انجام شده که برای آن داریم :

$F_{0.95,1,7}=5.59$

جدول ۵ : تجزیه و تحلیل واریانس آزمایش های مربوط به عمر قالب.

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی دار؟
A	7907270.28	1	7907270.28	35.64	بله
B	2666317.78	1	2666317.78	12.01	بله
C	3201000.78	1	3201000.78	14.42	بله
D	107109907.03	1	107109907.03	482.83	بله
AD	34125.78	1	34125.78	0.153	نه
AB	26738.28	1	26738.28	0.120	نه
BD	7595.28	1	7595.28	0.034	نه
CD	4335776.28	1	4335776.28	19.54	بله
ABD	1391.28	1	1391.28	0.006	نه
BCD	2995740.03	1	2995740.03	13.50	بله
خطا E	1109186.15	5	221837.23		
کل T	129395048.90	15			

نتایج آزمایش ها

همان طور که در جدول (۵) نشـان داده شـده اسـت تمام عوامل اصلی بکار رفته در این تحقیـق (A، B، C وD) بر افزایش عمـر قالـب کـه برحسـب تعـداد قطعـات سـالم تولیدی سنجیده شده است موثر هستند همچنـین اثـرات متقابل CD (اثر متقابل درصد کروم بکار رفته در فـولاد و دمای قالب) و BCD (اثرات متقابـل فشـار تزریـق، دمـای قالب و درصد کروم بکـار رفتـه) بـر عمـر قالـب و کیفیـت محصولات تولید شده موثر تشخیص داده شده اند. از سوی دیگربا توجه به جدول (۶) برای متغیـر پاسـخ دوم عوامـل اصـلی (B، C وD) مـوثر تشـخیص داده شـده انـد یعنـی عواملی نظیر میزان فشار تزریق ، دمای قالب ومیزان درصد کروم بکار رفته در فـولاد بـر کـاهش زمـان سـیکل تـاثیر گذارند و عامـل طـرح گلـویی تزریـق (A) و دیگـر روابـط متقابل فاکتورها معنی دار نیستند.

تعیین مقدار بهینه فاکتورها و متغیرهای پاسخ

برای مدل بندی و تحلیل مسائلی کـه پاسـخ مـورد نظر تحت تـاثیر چنـدین متغیـر قـرار میگیـرد میتـوان از تکنیکهای روش شناسی رویـه پاسـخ اسـتفاده نمـود. ایـن متـدولوژی(RSM) مجموعـه ای از تکنیکهـای آمـاری و ریاضی است که برای مدل کردن وآنالیز متغیـر پاسـخ کـه تحت تاثیر چندین متغیر مستقل می باشد و بهینه کردن هدف بسیار کاربردی اسـت بنـابرای بـا کمـک آن تعیـین شرایط عملیاتی بهینـه بـرای سیسـتم تحـت بررسـی یـا ناحیه ای از فضـای جـواب کـه در آن فراینـدی صـورت می گیرد می تواند رضایت بخش باشد [۱۷] .

جدول ۶ : تجزیه و تحلیل واریانس آزمایش ها مربوط به زمان سیکل.

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی دار؟
B	41.06	1	41.06	5.81	بله
C	93.02	1	93.02	13.27	بله
D	42. 34	1	42.34	6.04	بله
AC	2.03	1	2.03	0.29	نه
CD	28.71	1	28.71	4.09	نه
ACD	38.95	1	38.95	5.56	نه
ABC	0.16	1	0.16	0.02	نه
ABCD	0.005	1	0.005	0.0007	نه
خطا E	49.04	7	7.005		
کل T	295.315	15			

تعریف مسئله

متغیـر پاسـخ عمـر قالـب برحسـب افـزایش تعـداد محصولات سالم به هر چهار عامل انتخابی وابسته شـناخته شد از آنجایی که در بحث روش شناسی رویه پاسـخ بـرای بدست آوردن جواب بهینه بایستی متغیـر هـای منتخـب کمی و پیوسته باشند از انتخاب عامل اول که طرح گلـویی تزریق است صرف نظر می شود زیرا این عامل یـک عامـل کمـی نیسـت و مـا در طراحـی آزمـایش هـا از دو نـوع متداولترگلویی مخروطی برای سطح اول و حلقـه ای بـرای سطح دوم استفاده نمودیم که با بررسـی نتـایج حاصـله از آزمایشها بهتر است برای افزایش تعدادمحصولات با کیفیت از گلویی تزریق مخروطی استفاده شود.امـا میـزان عوامـل تاثیر گذار دیگر مانند میزان بهینه فشار تزریق، دمای قالب و مقدار بهینه درصد کروم بکار رفته در فولاد قالب تزریـق با تکنیکهای روش شناسـی رویه پاسخ قابـل دست یابی

Archive of SID

www.SID.ir

است .

متغیر پاسخ زمان سیکل که برای ما، هدف، کاهش آن است از چهار عامل ذکر شده با توجه به قسمت طراحی آزمایش ها به سه عامل فشار تزریق، دمای قالب و درصد کروم بستگی دارد که میزان بهینه زمان سیکل قالب گیری و سه عامل بالا با کمک تکنیک های یاد شده میسر خواهد بود.

طرح برازش مدل

در اکثر مسایل مربوط به RSM از چندجمله ای ها و توابع خطی برای برازش مدل استفاده می شود. به دلیل این که منظور، بهینه سازی است و به دلیل این که مکان نقطه بهینه قبل از اجرای آزمایش نامعلوم است لذا از طرحی که در تمام امتداد دقتی یکسان در بر دارد استفاده می شود. در اینجا از مدل مرتبه دوم برای برازش مدل استفاده شده است زیرا برای اینکه به قدر کافی به مقدار بهینه نزدیک شویم معمولا مدل درجه دوم برای تقریب پاسخ لازم می شود، این مدل دارای مقدار R^2 (ضریب تعیین چندگانه) بیشتری از مدل مرتبه اول و یا مدل مرتبه اول با اثرات متقابل است و همچنین دارای MSE (میانگین مجذور خطا) کمتری از آن می باشد. یکی از طرحهای بکار رفته برای برازش مدل مرتبه دوم، طرح مرکب مرکزی است این طرح عبارت است از عاملی 2^k (کد بندی شده با نماد معمول ۱±) با الحاق 2k نقطه محوری مانند $(\pm\alpha\ ,0\ ,0\ ,\ldots,0)$ و n_c نقطه مرکزی $(0\ 0\ ,\ldots,0)$ است . مقدار α وابسته به تعداد نقاط در بخش عاملی طرح است در واقع با انتخاب $\alpha=(n_f)^{1/4}$ معلوم میشود که در آن n_f تعداد نقاط استفاده شده در بخش عاملی طرح است.

همان طور که در قسمت قبل ذکر شد بدلیل کمی نبودن فاکتور اول مسئله دارای سه عامل مستقل و دو متغیر پاسخ است بنابراین بخش عاملی شامل $n_f=2^3=8$ نقطه است پس مقدار α برابر 1.682 می باشد. با انتخاب درست n_c میتوان طرح مرکب مرکزی را متعامد ساخت یا میتوان از آن طرحی با دقت یکنواخت درست کرد . در این مقاله تعداد نقاط مرکزی برای ایجاد طرحی با دقت یکنواخت 6، نقطه در نظر گرفته شده است.

انجام آزمایش و تحلیل مسئله

برای برازاندن مدل مرتبه دوم بکمک طرح مرکب مرکزی با دقت یکنواخت بدلیل داشتن سه عامل موثر باید به تعداد ۸ آزمایش با در نظر گرفتن سطوح بالا و پایین عوامل و ۶ آزمایش به عنوان نقاط محوری و ۶ آزمایش دیگر با در نظر گرفتن سطح میانی عوامل به عنوان نقاط مرکزی انجام داد که مجموعا مشاهده نتایج ۲۰ آزمایش میسر می شود.

جدول۷ : نتایج حاصل از مشاهدات برای برازندن مدل.

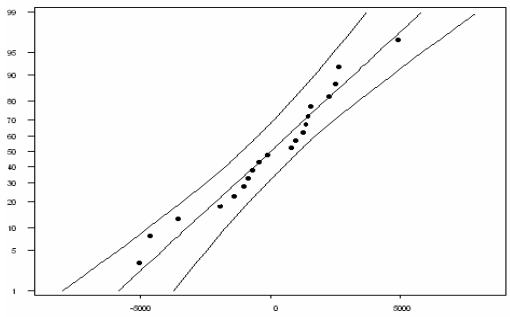
فشار تزریق	دمای قالب	درصد کروم	متغیر کدگذاری x_1	متغیر کدگذاری x_2	متغیر کدگذاری x_3	عمر قالب (Y_1)	زمان سیکل (Y_2)
5000	80	10	-1	-1	-1	22352	1613
5000	250	20	-1	1	1	25791	1695
20000	80	20	1	-1	1	26603	1724
20000	250	10	1	1	-1	18433	1749
5000	80	20	-1	-1	1	29258	1710
20000	80	10	1	-1	-1	25632	1685
5000	250	10	-1	1	-1	19835	1791
20000	250	20	1	1	1	25341	1832
10000	150	15	0	0	0	22462	1745
10000	150	15	0	0	0	24115	1795
10000	150	15	0	0	0	24627	1824
10000	150	15	0	0	0	23054	1862
10000	150	15	0	0	0	21748	1783
10000	150	15	0	0	0	23970	1751
21000	150	15	1.682	0	0	22165	1804
4500	150	15	-1.682	0	0	19911	1785
10000	280	15	0	1.682	0	19115	1707
10000	75	15	0	-1.682	0	17324	1862
10000	150	22	0	0	1.682	20421	1748
10000	150	8	0	0	-1.682	18195	1793

مدل مرتبه دوم برازنده شده با توجه به متغیر های کد شده برای متغیر پاسخ عمر قالب به قرار زیر است:

$$\hat{Y}_1=23173 + 184.29x_1 - 837.04x_2 + 1796.14x_3 - 395.45x_1^2 - 780.19x_2^2 + 216.05x_3^2 - 309.63x_1x_2 - 622.88x_1x_2 + 623.38x_2x_3 \quad (1)$$

و برای متغیر پاسخ زمان سیکل

$$\hat{Y}_2 =1795.20 + 7.71x_1 + 5.43x_2 + 11.34x_3 - 20.23x_1^2 - 15.28x_2^2 - 11.75x_3^2 + 1.12x_1x_2 + 15.12x_1x_2 - 18.62x_2x_3 \quad (2)$$



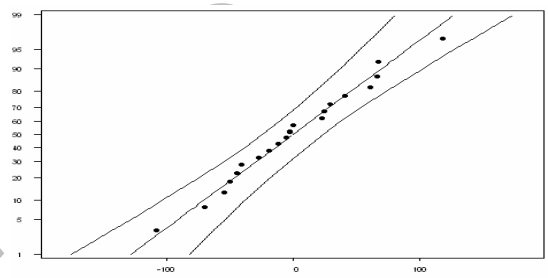
شکل ۳ : نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده ها برای متغیر پاسخ اول.

Archive of SID
www.SID.ir

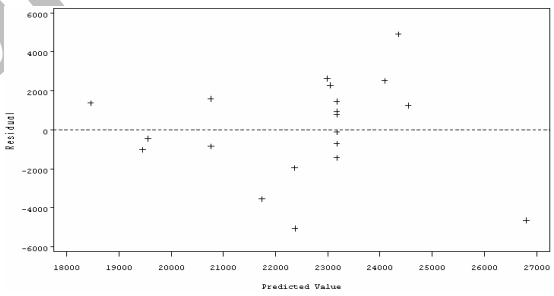
بررسی کفایت مدل

پذیره نرمال بودن

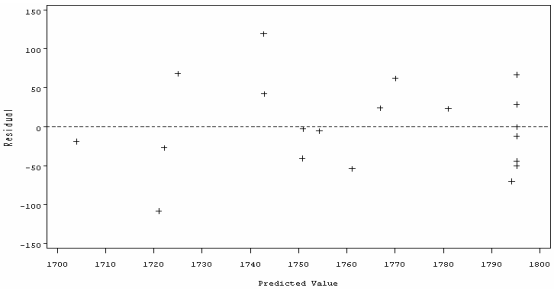
شیوه مفید برای بررسی پذیره نرمال بودن ، رسم نمودار احتمال نرمال مانده هاست در صورتی که توزیع زیربنایی خطا نرمال باشد ، این نمودار شبیه یک خط مستقیم است. با توجه به شکل (۳) و (۴) مشاهده می شود که مقادیر خطا مربوط به دو متغیر پاسخ عمر قالب و زمان سیکل ، تقریبا در امتداد خط مستقیم نرمال می باشند و همه آنها بین حد بالا و پایین سه برابر انحراف از معیار قرار گرفته اند.



شکل ۴ : نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده ها برای متغیر پاسخ دوم.



شکل ۵ : نمودار پراکنش مشاهده شده (e_i) در مقابل مقادیر پیش بینی شده متغیر پاسخ عمر قالب.



شکل۶ : نمودار پراکنش مشاهده شده (e_i) در مقابل مقادیر پیش بینی شده متغیر پاسخ زمان سیکل.

بررسی واریانس خطا

یکسان بودن واریانس خطاها به این مفهوم است که مقدار اطلاع هر مشاهده از متغیر پاسخ با مقدار اطلاع سایر مشاهدات یکسان است (درست بودن مدل) از طرف دیگر ناهمواریانسی خطا ها به این معنی است که مشاهدات مختلف شامل اطلاعات متفاوتی هستند در حالت ناهمواریانسی خطا ویژگی واریانس مینیمم برآوردگرها برقرار نبوده و نتیجه این امر کاهش دقت برآوردگرهای کمترین توان دوم است .رسم نمودار پراکنش خطاهای مشاهده شده (e_i) در مقابل مقادیر پیش بینی شده متغیر وابسته ($\hat{Y}_i$) به تشخیص هموارياني یا ناهمواریانسی کمک می کند در صورتی که در نمودار پراکنش روند خاصی مشاهده نشود خطا ها هموارياني هستند. اگر مدل درست باشد و پذیره ها برقرار باشند مانده ها باید بی ساختار باشند و همچنین به هیچ متغیر دیگری ازجمله متغیر پاسخ وابسته نباشند. همانطور که در نمودارهای زیر نشان داده شده است خطاها به علت مشاهده نشدن یک روند خاص هم واریانس هستند .

بدست آوردن یک جواب بهینه

بدست آوردن یک جواب بهینه به روش برنامه ریزی فازی

در عمل برای انجام این طرح آزمایش داده های ورودی از جمله سطوح عوامل موثر فشار تزریق ، دمای قالب و درصد کروم به دلیل اطلاعات ناکافی یا صرفا کار تجربی به صورت حدودی و غیر دقیق بیان شده است . برای استفاده از این اعداد غیر دقیق می توان از توابع عضویت نشان داده شده در شکل (۷ و ۸) با هدف بیشینه کردن عمر قالب و کمینه کردن زمان سیکل ، کمک گرفت . با این منظور مدل برازش شده برای متغیر پاسخ عمر قالب را به صورت یک مسئله برنامه ریزی ریاضی نوشته و یک جواب قابل قبول را با در نظر گرفتن x_i ، $i=1,2,3$ به عنوان متغیر های کدگذاری شده بین ۱ و۱- بدست می آوریم . یکبار با بیشینه قرار دادن آن به عنوان حد بالا و بار دیگر با کمینه قرار دادن آن به عنوان حد پایین مسئله را حل می کنیم[۱۸].

$$MAX(MIN(\hat{Y}_1)) = 23173 + 184.29x_1 - 837.04x_2 + 1796.14x_3 - 395.45x_1^2 - 780.19x_2^2 + 216.05x_3^2 - 309.63x_1x_2 - 622.88x_1x_2 + 623.38x_2x_3$$

St:

$$-1 < x_i < 1 \; ; \; i = 1,2,3$$

با حل مسئله بالا داریم :

حد بالا (U_1)	25185.19
حد پایین (L_1)	21034.98

همین کار را برای متغیر پاسخ زمان سیکل انجام می دهیم.

Archive of SID

www.SID.ir

یک بار با بیشینه قرار دادن آن به عنوان حد بالا و بار دیگر با کمینه قرار دادن آن به عنوان حد پایین مسئله را حل می کنیم .

$$MAX(MIN(\hat{Y}_2)) = 1795.20 + 7.71x_1 + 5.43x_2 + 11.34x_3 - 20.23x_1^2 - 15.28x_2^2 - 11.75x_3^2 + 1.12x_1x_2 + 15.12x_1x_2 - 18.62x_2x_3$$

St:

$$-1 < x_i < 1 \; ; \; i = 1,2,3$$

با حل مسئله ذکر شده داریم :

حد بالا (U_2)	1801.60
حد پایین (L_2)	1766.32

صورت کلی برنامه ریزی ریاضی به روش فازی برای این مسئله

$$MAX \quad \lambda$$

St:

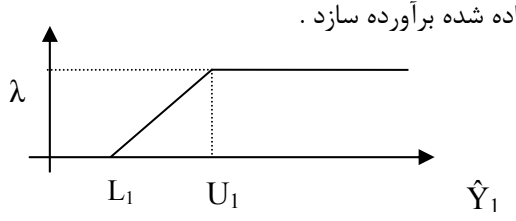
$$\hat{Y}_1 \geq U_1 - (U_1 - L_1)\times(1-\lambda) \qquad (۳)$$

$$\hat{Y}_2 \leq L_2 + (U_2 - L_2)\times(1-\lambda)$$

$$-1 < x_i < 1 \; ; \; i = 1,2,3$$

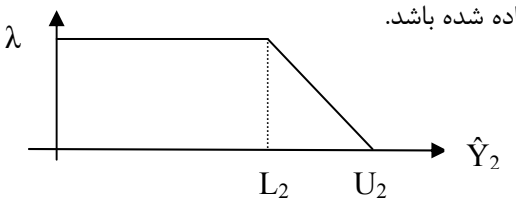
$$0 < \lambda < 1 \; ; \qquad (۴)$$

λ درصدی از تابع هدف $\hat{Y}_i$ است که به نقطه ایده آل رسیده است. با توجه به شکل (۷) به علت اینکه برای بهبود فرایند قالب گیری تزریق مطلوبیت افزایش عمر قالب بر حسب تولید محصولات سالم می باشد در این روش آن را به صورت محدودیت (۳) نشان داده ایم تا انتظار ما را حداقل به اندازه حد بالای مسئله با تلرانس داده شده برآورده سازد .



شکل ۷ : محدودیت اول به صورت فازی.

همچنین با توجه به شکل (۸) با در نظر گرفتن این نکته که برای بهبود فرایند قالب گیری تزریق باید زمان سیکل آن را کاهش دهیم که آن را به صورت محدودیت (۴) نشان داده ایم تا حداکثر به میزان حد پایین با تلرانس داده شده باشد.



شکل ۸ : محدودیت دوم به صورت فازی.

با جایگذاری متغیر ها و پارامترهای مسئله و حل آن توسط نرم افزار Lingo جواب آن به صورت زیر میشود:

$\lambda = 0.821$

$x_1 = 0 \; ; \; x_2 = 0.847 \; ; \; x_3 = 1$

با جایگذاری λ در محدودیتهای (۳) و (۴) داریم:

$\hat{Y}_1 \geq 24443.13$

$\hat{Y}_2 \leq 1772.62$

و با جایگذاری متغیر های کد گذاری شده x_i داخل مدلهای برازش شده مقادیر $\hat{Y}_i$ به صورت زیر خواهد شد:

$\hat{Y}_1 = 24443$

$\hat{Y}_2 = 1772$

مقادیر واقعی عوامل و متغیرهای مستقل

رویکرد بدست آوردن مقدار واقعی متغیرهای مستقل از روی مقادیر کد گذاری شده به صورت زیر است :

$$x_i = (X_i - [(l_i + u_i)/2]) / [(l_i - u_i)/2]$$

که در آن، x_i = مقادیر کد گذاری شده ،X_i مقادیر واقعی متغیرها،l_i سطح پایین متغیرها و u_i سطح بالای متغیرها میباشند. با توجه به موارد گفته شده مقدار واقعی فاکتور برابر آنچه که در زیر ذکر شده است خواهد شد :

$X_1 = 12500 \; ; \; X_2 = 237.057 \; ; \; X_3 = 20$

با توجه به مدل به کار گرفته شده مقادیر واقعی برای فشار تزریق (X_1) ، دمای قالب (X_2) و درصد کروم بکار رفته (X_3) بدست می آید که مقادیر مورد قبولی برای بهبود فرایند قالب گیری تزریق پلاستیک می باشند.

نتیجه گیری مطالعه موردی دوم

در این قسمت از مقاله ابتدا فرایند قالب گیری تزریق پلاستیک با شناسایی دو متغیر پاسخ و چهار عامل یا متغیر مستقل از طریق یک طرح عاملی 2^4 در زمینه مبحث طراحی آزمایش ها مورد بررسی قرار گرفت . چهار عامل این آزمایش ها به صورت طرح گلویی به کار رفته در فرایند (A) ، فشار تزریق (B) ، دمای قالب تزریق (C) و درصد کروم بکار رفته در فولاد قالب (D) هر یک در دو سطح مطرح شدند . با انتخاب تعدادقطعات سالم تولیدی با نام عمر قالب به عنوان متغیر پاسخ اول و زمان سیکل فرایند قالب گیری به عنوان متغیر پاسخ دوم با انجام 16 آزمایش به صورت تک تکرار به نتایج زیر دست یافتیم. هر چهار عامل A ، B ، C و D با اطمینان 95% بر متغیر پاسخ اول موثر هستند همچنین نتایجی نیز مبنی بر اینکه بعضی از اثرات متقابل مانند CD (اثر متقابل درصد کروم بکار رفته در فولاد و دمای قالب) و BCD (اثرات متقابل فشار تزریق، دمای قالب و درصد کروم بکار رفته) بر تولید

Archive of SID
www.SID.ir

محصولات سالم تاثیر دارند گرفته شد . برای متغیر پاسخ زمان سیکل سه عامل C، B و D معنی دار تشخیص داده شدند و سایر عوامل و اثرات متقابل در مدل معنی دار نبودند. برای بدست آوردن یک مقدار قابل قبول از عوامل یاد شده برای بهبود فرایند، ما از مبحث روش شناسی رویه پاسخ استفاده نمودیم. به دلیل اینک عامل اول قابل اندازه گیری نبود در این فاز با استفاده از طرح مرکب مرکزی دو مدل مرتبه دوم را برای دو متغیر پاسخ با سه عامل برازش نمودیم و برای اینکار مجموعا ۲۰ آزمایش و مشاهده دیگر انجام دادیم .

همچنین کفایت مدلهای برازنده شده در قسمتهای قبل نشان داده شده است. به کمک مدلهای بدست آمده و تکنیک تصمیم گیری چند هدفه فازی مقداربهینه میزان فشار تزریق ، دمای قالب و درصد کروم بکار رفته، همچنین یک میزان مطلوب برای تعداد قطعات سالم تولیدی و مقدار زمان سیکل فرایند قالب گیری بدست می آید. در پایان میتوان اذعان داشت که یکی از شرایط قابل قبول عملیاتی استفاده از طرح مخروطی گلویی تزریق که ساده ترین و قدیمیترین نوع گلویی است به عنوان عامل اول و فشار 12500PSI به عنوان فشار تزریق و دمای 237.05 درجه سانتی گراد برای قالب تزریق و استفاده از ۲۰% کروم آلیاژی برای روکش کاری الکتریکی به منظور افزایش در مقاومت خوردگی فولاد بکار رفته در قالب تزریق است. همچنین با توجه به مقادیر یاد شده و مدلهای بدست آمده عمر یک قالب تزریق برحسب قطعات سالم تولیدی ۲۴۴۴۳ قطعه و یک زمان سیکل مطلوب در فرایند قالب گیری تزریق ۱۷۷۲ ثانیه بر آورد شده است.

مراجع

1 - L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh-Wold, C. and Wikstro¨m, S. (2000). *Wold Design of Experiments: Principles and Applications,* Umetrics AB Umea°, Sweden.

2 - Chun, B. K., Jinn, J. T. and Lee, J. K. (2002). "Modeling the Bauschinger e.ect for sheet metals." *Part I theory. Int. J. Plasticity*, Vol. 18, No. 5-6, PP.571–595.

3 - Sheet Metal Forming Processes Die, Design by: Vokota Boljanovic,*Technology*, 2004.

4 - *The Design and Analysis of Computer Experiments*, by: Thomas J Santner, Brain J Williams, Williams I Notz, 2003.

5 - Sakawa Masatoshi. (1993). *Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization*, Plenum Press , New York USA.

6 - Menges, G. and Mohren, P. (1992). *How to make injection molds.* 2th .ed , Tech.University , Aachen.

7 - Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*, 6td ed , John Wiley and sons , New york .

8 - Cuppello, J. M. (1999). "Training technologies in experimental design." *Reaserch Thechnology Management*, Vol. 42, No. 5, PP.47-50.

9 - Verseput, R. (1998). "DOE requires careful planning." *R&D Magazine*, Vol. 40, PP.71-72.

10 - Hicks, C. R. and Turner, K.V. (1999). *Fundamental concept in the Design Of Experiments*, 5th ed . Oxford University press, New york .

11 - Launsby, R. (1998). "DOE : not just for eggheads any more." *Molding Systems*, Vol. 56, PP.36-40.

12 - Mapleston, P. (1999). "Real-time process control is said to provide prefects shots." *Modern plastic,*Vol. 29, No. 8, PP.29-30.

13 - Speight, R. G. (1998). "Molding process optimization comes of age." *Molding Systems*, Vol. 56, No. 8, PP.20-23.

14 - Moore, S. and Maplston, P. (1998). "Warning to injection molders: Your machines may be better than you think." *Modern Plastics,* Vol. 28, No. 3, PP.74.

15 - Sower, V. E. and Foster, P. R. (1990). "Implementing and evaluating advanced technologies : a case study." *Production and Inventory Management Journal,* Vol. 31, No. 4, PP.44.

16 - Daniel, C. (1959). "Use of half –normal plots in interpreting two level factorial experiments." *Technometrics*, Vol. 1, PP.311-342.

17 - Myers, R. H. and Montgomery, D. C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and Optimization Using designed experiment*, John Wiley and sons Inc .

18 - Jou Lai, Y. and Hwang, Ch. (1994). *Fuzzy Multiple Objective Decision Making ,methods and applications*, Springer – verlag Berlin Heidelberg.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Design of Experiments (DOE)
2 - Response Surface Methodology (RSM)
3 - Operation Research (OR)
4 - Multi Objective Decision Making (MODM)
5 - Fuzzy Multi Objective Decision Making (FMODM)

Archive of SID

www.SID.ir