

:

## مقصود امیری<sup>۱\*</sup> کمیل قشلاقی، هادی کیومرثی، رضا رشیدی، مجید رضا حاجی عابد نائینی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت ۸۵/۷/۱۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۱۲/۲۲، تاریخ تصویب ۸۶/۲/۲۶)

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 می‌گذارند علاقه مندیم. علی‌الاصول مرحله بعدی بهینه سازی است، یعنی تعیین حدود عوامل مهمی، که به بهترین پاسخ ممکن منجر می‌شود. برای تعیین متغیرهای اثرگذار در پاسخ می‌توان از تکنیکهای مربوط به طراحی آزمایش‌های (DOE)<sup>۱</sup> برای مرحله بهینه سازی می‌توان از مباحث روش شناسی رویه پاسخ (RSM)<sup>۲</sup> تکنیکهای تحقیق در عملیات (OR)<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup> ۲<sup>۲</sup> و ۲<sup>۳</sup> انجام می‌پذیرد. 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 آزمایش‌ها دنبال می‌شود در قالب یک طرح فاکتوریل بررسی می‌شود 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 هر دو مطالعه موردی) محاسبه و تعیین می‌گردد.

:

### مقدمه و مرور ادبیات مطالعه موردی اول

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه تعیین و تنظیم عوامل موثر بر کیفیت قطعات بدنه خودرو با تکنیک DOE و MODM<sup>۴</sup> موردی مشاهده نگردید لذا در اینجا تنها به دو نمونه از کاربردهای DOE در صنعت اشاره می‌کنیم. از DOE و تحلیل حساسیت بعنوان ابزاری برای ارزیابی روش‌های تولید شیر استفاده شده است [۱]. شیر و فراورده‌های شیری در شیر بندی برای از بین رفتن موجودات ذره بینی بیماری زا و همچنین طولانی نمودن تاریخ مصرف محصول تحت عمل گرما قرار می‌گیرد. استفاده از DOE بعنوان یک روش بسیار کارآمد برای به دست آوردن ماکزیمم اطلاعات در کمترین آزمایش‌ها بکار گرفته شده است و آن روشی است که تعیین می‌کند که فاکتورهای معنی داری با متغیرهای اندازه گیری شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد اثرات دو روش تولید برای شیر مورد بررسی قرار گرفت فاکتورهای موثر در برگیرنده دو فرایند تولد شیر (A,B) و میزان چربی شیر

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه تعیین و تنظیم عوامل موثر بر کیفیت قطعات بدنه خودرو با تکنیک DOE و MODM<sup>۴</sup> موردی مشاهده نگردید لذا در اینجا تنها به دو نمونه از کاربردهای DOE در صنعت اشاره می‌کنیم. از DOE و تحلیل حساسیت بعنوان ابزاری برای ارزیابی روش‌های تولید شیر استفاده شده است [۱]. شیر و فراورده‌های شیری در شیر بندی برای از بین رفتن موجودات ذره بینی بیماری زا و همچنین طولانی نمودن تاریخ مصرف محصول تحت عمل گرما قرار می‌گیرد. استفاده از DOE بعنوان یک روش بسیار کارآمد برای به دست آوردن ماکزیمم اطلاعات در کمترین آزمایش‌ها بکار گرفته شده است و آن روشی است که تعیین می‌کند که فاکتورهای معنی داری با متغیرهای اندازه گیری شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد اثرات دو روش تولید برای شیر مورد بررسی قرار گرفت فاکتورهای موثر در برگیرنده 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 می‌کند [۱].

تجزیه و تحلیل آماری و طراحی آزمایش‌ها را به منظور شناسایی پارامترهای مواد بر روی نمونه‌های تشکیل شده از مواد غیر انعطاف پذیر انجام شده است [۲]. در این مقاله اثرات پراکنده اطلاعات آزمایش بر روی شناسایی پارامترهای مواد تشریح شد نتایج اطلاعاتی آزمایش‌ها از سه نوع آزمایش انجام شده بر روی فولاد و ضدزنگ AINSI SS316 در درجه حرارت ۰ که شامل تست کشش تست تنش با فشار ثابت با استراحت میانی و تست فشار و کشش به صورت دوره ای می‌باشد هر یک

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 پردازیم. 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 خودرو می باشد و تولید سالم قطعه چه از لحاظ ظاهری و چه از لحاظ 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

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 متغیرهای 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 .

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

### انتخاب عوامل و تعیین سطوح آنها

در این مرحله در صدد آن برآمده ایم تا متغیر های ورودی تاثیر گذار بر روی کیفیت محصول و عمر قالب (گلگیر عقب پراید ۱۴۱) در مرحله کشش را مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به شرایط این آزمایش را بر روی 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 .

[ ]

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

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.

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 ۲<sup>۴</sup> و سپس طرح ۲<sup>۳</sup>) نوبت به انجام آزمایش می رسد. همه آزمایشها در مدتی نزدیک به ۳ ماه انجام و نتایج بدست آمده برای متغیر پاسخ Y<sub>1</sub> و Y<sub>2</sub> در جداول (۵) و (۶) خلاصه شده است.

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

دهانه باز پرس A				شماره کوشن C	تعداد اسلاید D	تعداد راکول	تعداد اسلاید	تعداد راکول	تعداد اسلاید
۱۷۵۰ میل متر		۱۹۵۰ میلی متر							
۶۵ تن	۸۵ تن	۶۵ تن	۸۵ تن						
۷	۷	۷	۷	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۸	۸	۹	۹	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۹	۹	۸	۸	۶	۶	۶	۶	۶	۶
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۷	۷	۵	۵	۸	۸	۸	۸	۸	۸
۸	۸	۴	۴	۹	۹	۹	۹	۹	۹
۷	۷	۴	۴	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۸	۸	۴	۴	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۷	۷	۴	۴	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
۷	۷	۴	۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
۷	۷	۴	۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
۷	۷	۴	۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵

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

فشار کوشن C		تعداد اسلاید D	تعداد راکول	تعداد اسلاید	تعداد راکول	تعداد اسلاید
۶۵ تن	۸۵ تن					
۳۳۳۰	۲۹۸۴					
۳۴۰۰	۲۸۲۰	۵۲ راکول	۵۲ راکول	۵۲ راکول	۵۲ راکول	۵۲ راکول
۳۲۲۰	۲۹۹۲	۶۵ تن	۶۵ تن	۶۵ تن	۶۵ تن	۶۵ تن
۳۲۱۸	۳۰۰۳	۷۵۰ تن	۷۵۰ تن	۷۵۰ تن	۷۵۰ تن	۷۵۰ تن
۳۱۰۰	۲۹۲۷	۸۵ تن	۸۵ تن	۸۵ تن	۸۵ تن	۸۵ تن
۲۸۵۰	۳۲۰۱	۹۵۰ تن	۹۵۰ تن	۹۵۰ تن	۹۵۰ تن	۹۵۰ تن
۳۲۴۲	۳۲۳۵	۱۰۵۰ تن	۱۰۵۰ تن	۱۰۵۰ تن	۱۰۵۰ تن	۱۰۵۰ تن
۳۵۲۵	۳۱۱۸	۱۱۵۰ تن	۱۱۵۰ تن	۱۱۵۰ تن	۱۱۵۰ تن	۱۱۵۰ تن

### تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آماری طرح های ۱ و ۲، مدل رگرسیون چند متغیره برلزش شده، نمودارهای احتمالات نرمال Y<sub>1</sub> و Y<sub>2</sub> 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

- 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 با توجه به تعریف مسئله سطوح پاسخ به صورت زیر بیان می گردد:

- تعداد قطعه نمونه سالم از ۱۰ برگ ورق (Y<sub>1</sub>).
- عمر قالب کشش بر حسب تعداد قطعات تولید شده از قالب (Y<sub>2</sub>).

### انتخاب طرح آزمایش

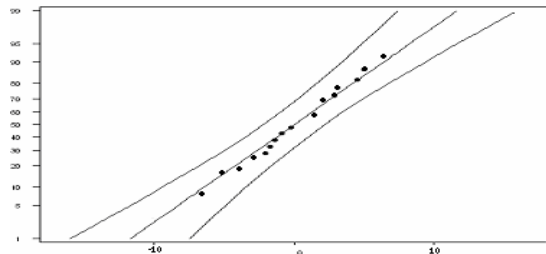
گام مهم بعدی در انجام تحقیق انتخاب طرحهایی است که بر اساس آن باید آزمایش انجام داد. در آزمایش های مشتمل بر چندین عامل که در آنها مطالعه توام عوامل بر پاسخ ضروری است، طرح های عاملی به صورت وسیعی کاربرد دارند. در طرح های عاملی 2<sup>k</sup>، K عامل هر یک تنها در دو سطح وجود دارند. تکرار کامل چنین طرحهایی نیاز به 2<sup>k</sup> مشاهده دارد که آن را طرح عاملی 2<sup>k</sup> 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 ۲<sup>۴</sup> و ۲<sup>۳</sup> 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 ۱ و ۸ و یک عدد تصادفی بین ۱ و ۱۶ اختیار می شود این فرایند تا زمانی که آزمایش شانزدهم

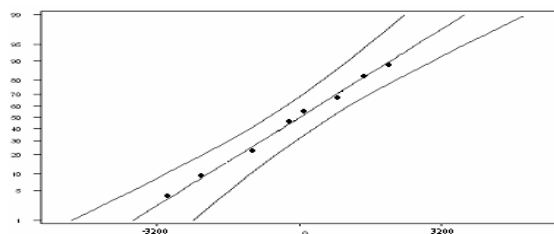
آماره  $F_{0.1}(1,8) = 3.46$  و  $F_{0.1}(1,16) = 3.05$  محاسبه شده است .

### بررسی کفایت مدل

با فرض این که خطاها 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 .



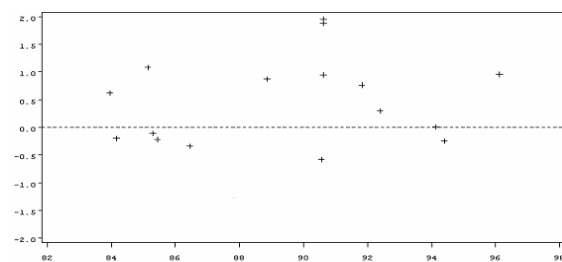
شکل ۱: نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده ها برای متغیر پاسخ اول.



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 از جمله متغیر پاسخ وابسته نباشند. با توجه به نمودار پراکنش خطا در مقابل مقادیر پیش بینی شده، خطاها هم واریانس هستند .



شکل ۳: نمودار پراکنش مشاهده شده ( $\epsilon_i$ ) 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 بر کیفیت

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  $Y_1$ .

$$Y_1 = 6.625 - 0.3125*A - 0.625*B - 0.5625*C - 0.5*D - 0.4375*A*D + 0.375*A*B*C + 0.625*A*C*D$$

جدول ۹: تنظیمات نمودار پیش بینی  $Y_1$ .

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  $Y_2$ .

$$Y_2 = 3142.25 - 106*C + 64.5*D + .875*B*C + 78.375*B*D - 72.875*B*C*D$$

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		

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:

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

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

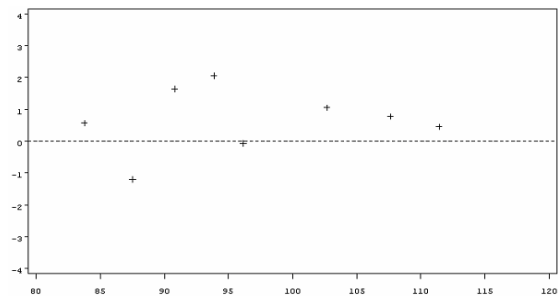
A, B, C, D آزاد در علامت

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 از 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 هر یک 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.

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.



شکل ۴: 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. این سنجش 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  $Z_j$  می باشد. برای از بین بردن مشکل متفاوت بودن مقیاس های اهداف، میزان انحراف جواب ایده آل هدف  $Z_j$  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 قرار می دهیم و بدین ترتیب ماتریس زیر حاصل می گردد.

جدول ۱۴: جواب کد شده و غیر کد شده.

		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

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 بر روی کیفیت محصولات این فرایند در حین تولید است. در این قسمت با استفاده از مبحث طراحی آزمایش ها (DOE) فاکتورها و عوامل موثر بر متغیرهای پاسخ در قالب یک طرح فاکتوریل 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 متغیرها بدست می آید و در ادامه با بکار گیری تصمیم گیری چند هدفه فازی (FMODM) <sup>۵</sup> میزان قابل قبول عوامل و متغیرهای پاسخ تعیین می شود.

### تعیین متغیرهای پاسخ

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

### 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]. Versept 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:

رفته در فولاد و ... نام برد . به علت محدودیتهایی نظیر نیروی انسانی ، زمان و هزینه های مربوط به اجرای آزمایش ها و ماهیت DOE که تمرکز بر عوامل مهم در فرایند میباشد امکان اجرای آزمایش برای همه متغیرهای شناسایی شده وجود ندارد پس چهار عامل که درجه اهمیت بیشتری از سایرین دارند انتخاب شده که عبارتند از :

– **طرح گلوبی تزریق بکار رفته** : گلوبی تزریق کار انتقال مواد از راهگاه به حفره قالب ( قطعه قالب گیری) را انجام می دهد و بر راحت بودن خروج قطعه از قالب و کیفیت و بدون اثر باقیماندن ظاهر قطعه موثر است، همچنین باید از ورود پوسته سرد، که در دیواره راهگاه تشکیل می شود، به داخل حفره قالب جلوگیری کند گلوبی های تزریق انواع مختلفی دارند، در اینجا ما برای آزمایش از گلوبی مخروطی برای سطح اول و از گلوبی حلقه ای برای سطح دوم استفاده می کنیم .

– **فشار تزریق در قالب** : به فشار مورد نیاز برای پر کردن قالب اشاره میکند که بایستی به وسیله یک سیستم هیدرولیک کنترل شود که فشار مربوطه می تواند در دامنه 20000-5000 PSI باشد .

– **دمای قالب تزریق** : دمای سطح قالب توسط یک کنترل کننده دما که وظیفه دارد با به جریان انداختن سیال واسطه دمای قالبها را تا دمای فرایند بالا ببرد و با گرم کردن و خنک کردن، دما را به صورت اتوماتیک ثابت نگه دارد، کنترل میشود. کنترل کننده هایی که در دستگاه کنترل دما به کار میروند از نوع سه نقطه ای هستند که دارای موقعیت گرم کردن - خنشی - خنک کردن (کنترل کننده های شبه پایدار) میباشند که میتوانند دمای قالب را بوسیله یک مایع خنک کننده تا کمتر از ۸۰ درجه و به وسیله یک مایع گرم کننده تا بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی گراد کنترل کنند.

– **درصد کروم بکار رفته در فولاد** : در فولادهای مورد استفاده در قالبهای تزریق افزایش کروم باعث استحکام ، سختی پذیری، مقاومت خوردگی، مقاومت گرمایی و مقاومت در برابر اکسید شدن سطحی میشود. درصد معمول استفاده از کروم در این نوع فولادها حداکثر تا ۲۰٪ عناصر آلیاژی موجود است .

که هزینه مواد قالب ، قسمت کوچکی از کل هزینه ساخت قالب را تشکیل می دهد در قالبگیری تزریقی اغلب از قالبهای فلزی با استحکام بالا ، اصولاً فولاد استفاده می شود . فولادها انواع مختلفی دارند اما یک نوع آنها به نام فولادهای سختکاری سطحی بهترین فولاد در ساخت قالب هستند این فولادها گران قیمت نیستند و ۸۰٪ از کل مصرف فولاد ها در ساخت قالب را تشکیل می دهند . بنابر این انتخاب جنس قالب به عنوان متغیر پاسخ کار صحیحی نمی باشد زیرا هم قابل اندازه گیری نیست و هم فولاد به کار رفته در اکثر قالبها از نوع فولاد سختکاری سطحی می باشد پس با توجه به مسئله مطرح شده که بهبود فرایند قالبگیری تزریقی می باشد عمر قالب تزریق برحسب تعداد قطعات سالم تولید شده می تواند یکی از متغیرهای پاسخ منتخب باشد .

در صنعت تزریق پلاستیک کنترل ماشین در سیکل قالبگیری برای نگهداری و بهبود کیفیت و قابلیت اطمینان محصول تولید شده بسیار با اهمیت است. سیکل قالب گیری مراحل را که پلاستیک (ماده خام) ذوب شده و ماشین مربوطه تا تولید محصول نهایی انجام می دهند را نشان میدهد. یک سیکل قالب گیری در یک ماشین تزریق شامل مراحل ذوب کردن پلاستیک، تزریق پلاستیک ذوب شده به قالب ، خنک سازی پلاستیک در داخل قالب و خارج کردن قطعه فرم گرفته از قالب می باشد. بنابراین 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 گیری در ماشین تزریق پلاستیک (برحسب ثانیه)

## انتخاب عوامل شناسایی فاکتورها

عمده ترین مسئله ای که در طراحی آزمایش ها با آن روبرو هستیم شناسایی عوامل (فاکتورها) برای اندازه گیری میباشد . عوامل زیادی در بهبود فرایند قالبگیری و عمر قالب تزریق موثرند میتوان از جنس فولاد به کار رفته، فشار تزریق در ماشین، سرعت تزریق، زمان و سرعت خنک شدن قطعه، نوع گلوبی تزریق بکار رفته، دمای قالب تزریق، دمای مواد خام ذوب شده، درصدی از مواد خام استفاده شده در قالبهای قبلی، درصد عناصر آلیاژی به کار

## 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 گلوبی 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.

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

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمایش ها.

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



## 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.

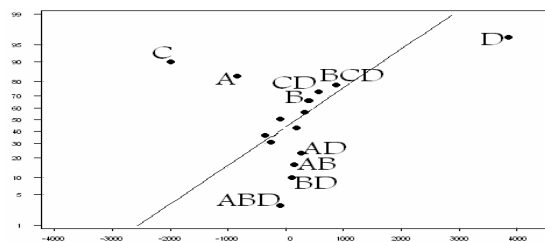
جدول ۴: تخمین، مجموع مربعات و درجات آزادی اثرات مختلف مدل.

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

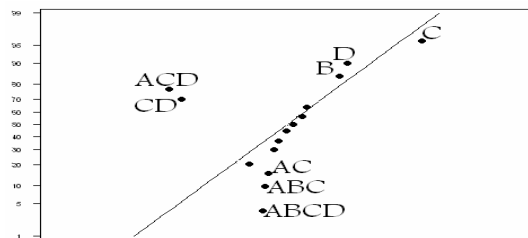
برای تخمین خطاها رسم می شود این گونه اثرات نزدیک و در طول خط مستقیم خواهند بود در صورتی که اثرهای معنی دار، میانگین غیر صفر خواهند داشت و در طول خط مستقیم قرار نمی گیرند.

رسم نمودار احتمالات نرمال مربوط به متغیر وابسته عمر قالب

با توجه به نمودار احتمالات نرمال (شکل ۱) اثرات مربوط به عمر قالب مشخص می شود که عوامل و اثرات ABC، ACD، BC، AC، ABC 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 متغیر وابسته زمان سیکل

با توجه به نمودار احتمالات مربوط به زمان سیکل، اثرات A، AD، BCD، BC، AB، BD، ABD در امتداد خط نرمال هستند و به عنوان عنصر خطا با مجموع مربعات 7.005 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

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

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

جدول تحلیل واریانس آزمایش های مربوط به زمان 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	مهمی داره
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		
T کل	129395048.90	15			

## تعیین مقدار بهینه فاکتورها و متغیرهای پاسخ

برای مدل بندی و تحلیل مسائلی که پاسخ مورد نظر تحت تاثیر چندین متغیر قرار میگیرد میتوان از تکنیکهای روش شناسی رویه پاسخ استفاده نمود. این متدولوژی (RSM) مجموعه ای از تکنیکهای آماری و ریاضی است که برای مدل کردن و آنالیز متغیر پاسخ که تحت تاثیر چندین متغیر مستقل می باشد و بهینه کردن هدف بسیار کاربردی است بنابراین با کمک آن تعیین شرایط عملیاتی بهینه برای سیستم تحت بررسی یا ناحیه ای از فضای جواب که در آن فرایندی صورت 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	مهمی داره
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		
T کل	295.315	15			

## تعریف مسئله

متغیر پاسخ عمر قالب برحسب افزایش تعداد محصولات سالم به هر چهار عامل انتخابی وابسته شناخته شد از آنجایی که در بحث روش شناسی رویه پاسخ برای بدست آوردن جواب بهینه بایستی متغیرهای منتخب کمی و پیوسته باشند از انتخاب عامل اول که طرح گلوبی تزیق است صرف نظر می شود زیرا این عامل یک عامل کمی نیست و ما در طراحی آزمایش ها از دو نوع متداولتر گلوبی مخروطی برای سطح اول و حلقه ای برای سطح دوم استفاده نمودیم که با بررسی نتایج حاصله از آزمایشها بهتر است برای افزایش تعداد محصولات با کیفیت از گلوبی تزیق مخروطی استفاده شود. اما میزان عوامل تاثیر گذار دیگر مانند میزان بهینه فشار تزیق، دمای قالب و مقدار بهینه درصد کروم بکار رفته در فولاد قالب تزیق با تکنیکهای روش شناسی رویه پاسخ قابل دست یابی

## نتایج آزمایش ها

همان طور که در جدول (۵) نشان داده شده است تمام عوامل اصلی بکار رفته در این تحقیق (A, B, C, D) بر افزایش عمر قالب که برحسب تعداد قطعات سالم تولیدی سنجیده شده است موثر هستند همچنین اثرات متقابل CD (اثر متقابل درصد کروم بکار رفته در فولاد و دمای قالب) و BCD (اثرات متقابل فشار تزیق، دمای قالب و درصد کروم بکار رفته) بر عمر قالب و کیفیت محصولات تولید شده موثر تشخیص داده شده اند. از سوی دیگر با توجه به جدول (۶) برای متغیر پاسخ دوم عوامل اصلی (A, B, C, D) موثر تشخیص داده شده اند یعنی عواملی نظیر میزان فشار تزیق، دمای قالب و میزان درصد کروم بکار رفته در فولاد بر کاهش زمان سیکل تاثیر گذارند و عامل طرح گلوبی تزیق (A) و دیگر روابط متقابل فاکتورها معنی دار نیستند.

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 مجموعاً مشاهده نتایج ۲۰ آزمایش میسر می شود.

جدول ۷: نتایج حاصل از مشاهدات برای برازندن مدل.

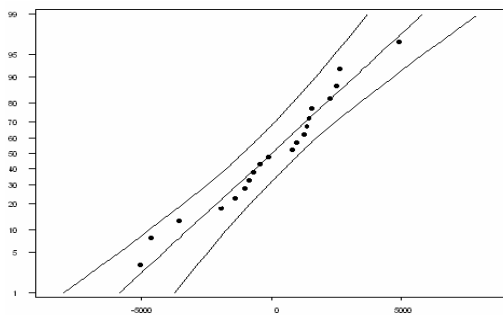
فشار تزریق	دمای قالب	درصد کروم	متغیر کدگذاری $x_1$	متغیر کدگذاری $x_2$	متغیر کدگذاری $x_3$	عمر قالب $(Y_1)$	زمان سیکل $(Y_2)$
5000	80	10	-1	-1	-1	22352	1613
5000	250	20	-1	1	1	25791	1695
20000	80	20	1	-1	1	26603	1724
20000	250	10	1	1	-1	18433	1749
5000	80	20	-1	-1	1	29258	1710
20000	80	10	1	-1	-1	25632	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 متغیرهای کد شده برای متغیر پاسخ عمر قالب به قرار زیر است:

$$\hat{Y}_1 = 23173 + 184.29x_1 - 837.04x_2 + 1796.14x_3 - 395.45x_1^2 - 780.19x_2^2 + 216.05x_3^2 - 309.63x_1x_2 - 622.88x_1x_3 + 623.38x_2x_3 \quad (1)$$

و برای متغیر پاسخ زمان سیکل

$$\hat{Y}_2 = 1795.20 + 7.71x_1 + 5.43x_2 + 11.34x_3 - 20.23x_1^2 - 15.28x_2^2 - 11.75x_3^2 + 1.12x_1x_2 + 15.12x_1x_3 - 18.62x_2x_3 \quad (2)$$



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

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 مسائلی مربوط به RSM از چند جمله 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 معمولاً 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  $(\pm 1)$  با الحاق  $2k$  نقطه محوری مانند  $(0, 0, \dots, 0)$  و  $(\pm \alpha, 0, 0, \dots, 0)$  است. مقدار  $\alpha$  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  $\alpha$  برابر 1.682 می باشد. با انتخاب درست  $n_f$  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.

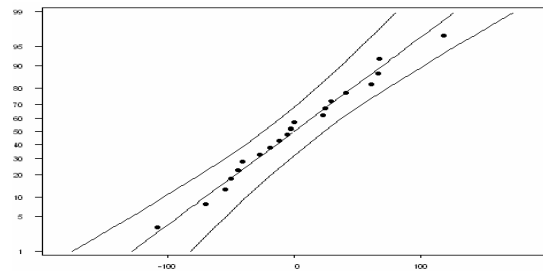
### انجام آزمایش و تحلیل مسئله

برای برازندن مدل مرتبه دوم بکمک طرح مرکب

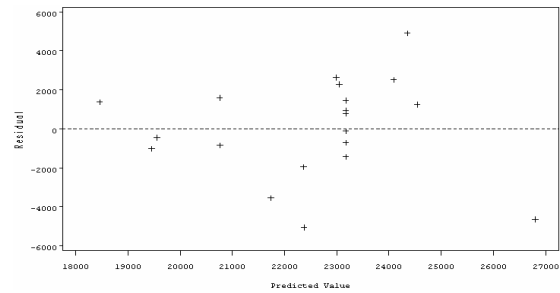
## بررسی کفایت مدل

### پذیره نرمال بودن

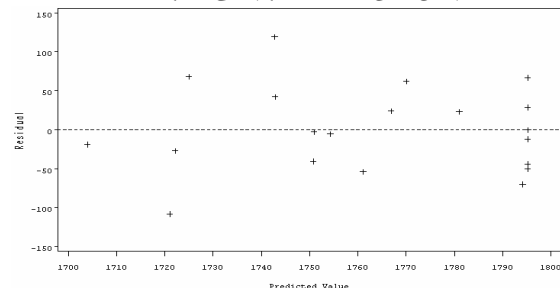
شیوه مفید برای بررسی پذیره نرمال بودن، رسم نمودار احتمال نرمال مانده هاست در صورتی که توزیع زیربنایی خطا نرمال باشد، این نمودار شبیه یک خط مستقیم است. با توجه به شکل (۳) و (۴) مشاهده می شود که مقادیر خطا مربوط به دو متغیر پاسخ عمر قالب و زمان سیکل، تقریباً در امتداد خط مستقیم نرمال می باشند و همه آنها 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.



شکل ۶: 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 خطاها 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 همواریانسی یا ناهمواریانسی کمک می کند در صورتی که در نمودار پراکنش روند خاصی مشاهده نشود خطاها همواریانسی هستند. اگر مدل درست باشد و پذیره ها برقرار باشند مانده ها باید بی ساختار باشند و همچنین به هیچ متغیر دیگری از جمله 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 صرفاً 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 متغیرهای کدگذاری شده بین ۱ و -۱ 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].

$$\text{MAX}(\text{MIN}(\hat{Y}_1)) = 23173 + 184.29x_1 - 837.04x_2 + 1796.14x_3 - 395.45x_1^2 - 780.19x_2^2 + 216.05x_3^2 - 309.63x_1x_2 - 622.88x_1x_3 + 623.38x_2x_3$$

St:

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

با حل مسئله بالا داریم:

$$\text{حد بالا } (U_1) = 25185.19$$

$$\text{حد پایین } (L_1) = 21034.98$$

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

با جایگذاری متغیرها 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  $\lambda$  در محدودیتهای (۳) و (۴) داریم:

$$\hat{Y}_1 \geq 24443.13$$

$$\hat{Y}_2 \leq 1772.62$$

و با جایگذاری متغیرهای 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 آزمایشها مورد بررسی قرار گرفت . چهار

عامل این آزمایشها به صورت طرح گلوبی 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 تعداد قطعات 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

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 .

$$\text{MAX}(\text{MIN}(\hat{Y}_2)) = 1795.20 + 7.71x_1 + 5.43x_2$$

$$+ 11.34x_3 - 20.23x_1^2 - 15.28x_2^2 - 11.75x_3^2 +$$

$$1.12x_1x_2 + 15.12x_1x_3 - 18.62x_2x_3$$

St:

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

با حل مسئله ذکر شده داریم :

$$1801.60$$

حد بالا ( $U_2$ )

$$1766.32$$

حد پایین ( $L_2$ )

صورت کلی برنامه ریزی ریاضی به روش فازی برای

این مسئله

$$\text{MAX } \lambda$$

St:

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

(۳)

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

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

$$0 < \lambda < 1 ;$$

(۴)

$\lambda$  درصدی از تابع هدف  $\hat{Y}_1$  است که به نقطه ایده آل

رسیده است. با توجه به شکل (۷) به علت اینکه برای

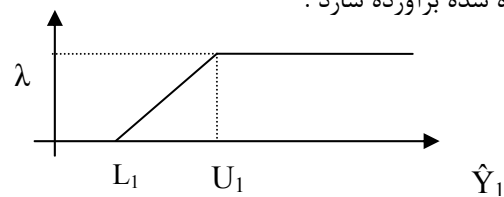
بهبود فرایند قالب گیری تزریق مطلوبیت افزایش عمر

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 تفرانس

داده شده برآورده سازد .



شکل ۷: محدودیت اول به صورت فازی.

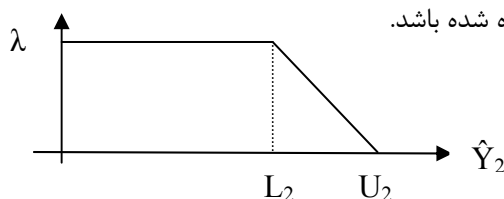
همچنین با توجه به شکل (۸) با در نظر گرفتن این نکته

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 تفرانس

داده شده باشد.



شکل ۸: محدودیت دوم به صورت فازی.

محصولات سالم تاثیر دارند گرفته شد. برای متغیر پاسخ زمان سیکل سه عامل B، C 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 برآزش نمودیم و برای اینکار مجموعاً 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 مقدار بهینه 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 Wikström, S. (2000). *Wold Design of Experiments: Principles and Applications*, Umetrics AB Umeå, Sweden.
- 2 - Chun, B. K., Jinn, J. T. and Lee, J. K. (2002). "Modeling the Bauschinger effect 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*. 2<sup>th</sup> ed, Tech.University, Aachen.
- 7 - Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*, 6<sup>th</sup> 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 - Versept, 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*, 5<sup>th</sup> 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) |  |