

## کاربرد روش شناسی‌های رویه پاسخ، رگرسیون فازی و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی عوامل موثر در فرایند مونتاژ کاسه چرخ خودرو

هادی همتیان \*

میشم سررشته دار \*\*

حسن هادی پور \*\*\*

### چکیده

هدف این مطالعه بهینه سازی فرایند مونتاژ کاسه چرخ خودرو می باشد. با توجه به نقش حساس مجموعه اکسل بالاخص کاسه چرخ خودرو، به دلیل مرتبط بودن آن با ایمنی سرنشینان، بررسی فرآیند تولید و مونتاژ وانجام آزمایش‌های کنترل کیفی حین این مراحل از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. در این مقاله با توجه به اهمیت بالای سه عامل اصلی قطر توپی قسمت کاسه نمد، قطر داخلی کاسه نمد و گشتاور مهره قفلی به عنوان متغیرهای مستقل، سعی داریم میزان گشتاور چرخشی کاسه چرخ خودرو را (تحت عنوان متغیر پاسخ اول)، به کمک مباحث مطرح در

---

\* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران

\*\* کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران

\*\*\* کارشناس ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران (مسئول مکاتبات) Hadipour.msie@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۷

طراحی آزمایش‌ها و روش شناسی رویه پاسخ و لقی کاسه چرخ (تحت عنوان متغیر پاسخ دوم) به کمک روش رگرسیون فازی با کاربرد برآورد کننده‌های حداقل انحراف مطلق بهینه نمائیم. در نهایت جواب بهینه با استفاده از مدل برنامه ریزی غیر خطی و الگوریتم ژنتیک با کاربرد یکی از روش‌های موجود توابع چند هدفه (LP-متریک) بررسی شده است. مقایسه دو روش بهینه سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به مدل برنامه ریزی غیر خطی دارد. واژگان کلیدی: طراحی آزمایش‌ها، رگرسیون فازی، روش شناسی رویه پاسخ، الگوریتم ژنتیک

#### مقدمه

طراحی آزمایش‌ها<sup>۱</sup> یک روش بسیار کارا به منظور بدست آوردن اطلاعات صحیح از عوامل و متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد. با تعیین اهداف و عوامل موثر بر آنها، اهداف در غالب یک معادله ریاضی، مدل می‌شوند که برای بهینه سازی آن می‌توان از تکنیک‌های تحقیق در عملیات استفاده کرد. طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های آماری به عنوان روش‌هایی موثر در بهبود کیفیت محصولات تولیدی اهمیت فراوان دارند. از طرف دیگر یکی از مسائلی که از پدیده‌های طبیعی و تبدیل کردن آنها به مسائل ریاضی حاصل می‌شود عدم قطعیت است. تمدن در اجتماع معاصر آنقدر پیچیده است که نیازمند بیان کردن متغیرها به صورت ریاضی و واقعی می‌باشد. بنابراین مطالعه‌ها باید در شرایط عدم قطعیت نیز بررسی و با استفاده از تکنیک‌های ریاضی با این نوع مسائل برخورد شود. ذیلاً به معرفی نمونه‌ای از آنها می‌پردازیم:

سیزانسکی و همکارانش [۱] در یک بررسی، طراحی بدنه خودرو را با در نظر گرفتن سه محدودیت شدت صوت، ارتعاش و نامساعد بودن محیط به کمک مباحث مطرح در روش شناسی رویه<sup>۲</sup> پاسخ بهینه نمودند. نیلسون و مارکلند [۲] به کمک روش شناسی رویه پاسخ و طراحی آزمایش‌ها طی مقاله‌ای به تنظیم عوامل

1. Design of experiments (DOE)

2. Response Surface Methodology(RSM)

موثر در طراحی بدنه اتومبیل پرداختند. چان و همکارانش [۳] در مقاله خود 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 دادند. آنان در این مقاله تاثیر پراکنندگی داده های آزمایش را برای شناسایی پارامترهای مواد تشریح نمودند. رزوق و همکارانش [۴] با استفاده از روش شناسی رویه پاسخ به بسط مدل های تجربی برای تجزیه و تحلیل فاکتورهای مستقل و موثر از جمله فشار فرآیند، زمان پردازش و مقدار رطوبت موجود در خاک پرداخته و شرایط بهینه استحصال روغن را با در نظر گرفتن عوامل یاد شده با استفاده از تجزیه و تحلیل رویه پاسخ به دست آوردند. دالوی و همکارانش [۵] از روش شناسی رویه پاسخ برای به دست آوردن شرایط عملیاتی بهینه در صنایع غذایی استفاده نمودند و به کمک آن ماکزیم محصول و مینیمم هزینه صرف شده را تعیین نمودند. امیری و صالحی [۶] در مقاله خود روشی برای بهینه سازی مسائل آماری چند پاسخ با استفاده از برنامه ریزی آرمانی ارائه دادند این روش به وسیله الگوریتمی که در محیط برنامه نویسی LINGO تست می شود اجرا می شود. در این مقاله آنها از روش شناسی رویه پاسخ برای مدل سازی متغیر های پاسخ استفاده نمودند. پسندیده و نیاکی [۷] در مقاله خود مسئله بهینه سازی آماری چند پاسخ را با استفاده از روش تابع مطلوبیت<sup>۱</sup> مدل سازی نمودند. همچنین برای مدل کردن متغیر پاسخ از روش شناسی رویه پاسخ استفاده نمودند. نورالسنا و سلطان پناه [۸] در مقاله خود روشی برای بهینه سازی مسائل چند پاسخ با استفاده از تابع تصمیم گیری در چارچوب روش شناسی رویه پاسخ ارائه نمودند. در مقاله ای دیگر امیری و همکارانش [۹] در دو مطالعه موردی بر روی فرایند کشش ورق گلگیر عقب پراید ۱۴۱ به عنوان مورد اول به شناسایی عوامل موثر در کیفیت محصول و عمر قالب کشش گلگیر به وسیله طراحی آزمایش ها و در مطالعه موردی دوم مسئله شناسایی عوامل موثر بر بهبود فرایند قالب گیری تزریق پلاستیک و تعیین متغیرهای وابسته را بررسی نموده اند. چوی و باکلی [۱۰] در مقاله خود به تشریح و بررسی روش رگرسیون فازی با کاربرد برآورد

کننده‌های حداقل انحراف مطلق پرداختند و همچنین عملکرد مدل‌های رگرسیون فازی با استفاده از اندازه خطای دقیق رسیدگی نمودند. آی پی و همکارانش [۱۱] در یک بررسی به ارائه مفاهیم رگرسیون فازی و کاربرد آن در قطعات کامپیوتر پرداخته‌اند و روش رگرسیون فازی را به صورت کامل تشریح نمودند. هلند [۱۷] اولین تکنیک‌های موجود در الگوریتم ژنتیک را در اوایل ۱۹۶۰ ارائه نمود. همچنین توسعه‌های بیشتر توسط گلد برگ [۱۸] ارائه گردید. چنگ و همکارانش [۱۹] در مقاله شان یک روش GA برای بهینه سازی مسایل چند هدفه ارائه نمودند. کیم و رهی [۲۰] در مقاله ی خود برای بهینه سازی فرایند جوشکاری از روش تابع مطلوبیت و الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. بررسی تحقیقات پیشین حاکی از آن است که به رغم توسعه چشمگیر طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های آماری به عنوان روش‌هایی موثر در بهبود کیفیت محصولات در صنایع غذایی، شیمیایی، دارویی، روش های بهینه سازی یاد شده در صنایع دیگر همچون خودروسازی مورد توجه کافی قرار نگرفته است. همچنین بررسی متغیر پاسخ به صورت کیفی کمتر مورد توجه قرار گرفته است بنابراین در این مقاله سعی بر این شده است که کاربرد روش‌های فوق در صنعت خودرو مورد توجه قرار گیرد.

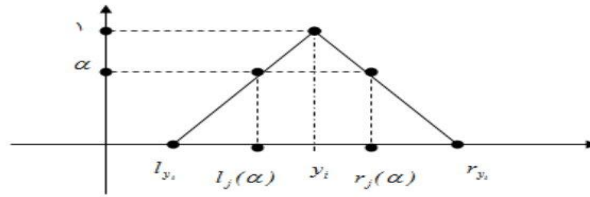
### مرور روش رگرسیون خطی فازی با کاربرد برآورد کننده‌های کمترین انحراف مطلق<sup>۱</sup>

در این قسمت به مرور مدل رگرسیون فازی ارائه شده توسط چوی و باکلی (۲۰۰۷) در حالتی که اطلاعات ورودی غیر فازی، اما اطلاعات خروجی فازی هستند می‌پردازیم. مدل رگرسیون فازی در حالتی که اطلاعات ورودی غیر فازی و اطلاعات خروجی فازی است به صورت زیر بیان می‌شود [۱۰]:

$$Y_i = A_0 + A_1x_{i1} + \dots + A_px_{ip}; i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

که  $A_i$  یک عدد فازی مثلثی با تابع عضویت  $\mu_{A_i}$  است  $x_{ij}$  یک عدد واقعی مثبت است و تابع عضویت  $Y_i$ ،  $\mu_{Y_i}$  است. اگر  $A_i = (l_i \quad m_i \quad r_i)$  به یک عدد فازی با

نقطه انتهایی چپ  $l_i$  و نقطه انتهایی راست  $r_i$  و مرکز  $m_i$  در مدل دلالت کند. برش  $\alpha$  ی متغیر وابسته  $Y_i = (l_{y_i}, y_i, r_{y_i})$  یک فاصله بسته به مانند رابطه ۲ می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل ۱. برش  $\alpha$

برش  $\alpha$  برای  $Y$ :

$$[y_i - (1-\alpha)(y_i - l_{y_i}), y_i + (1-\alpha)(r_{y_i} - y_i)] \quad (2)$$

به طوری که  $0 \leq \alpha \leq 1$ . با عملیات جبری داریم:

$$\sum_{j=0}^p A_j x_{ij} = \left( \sum_{j=0}^p l_j x_{ij} \quad \sum_{j=0}^p m_j x_{ij} \quad \sum_{j=0}^p r_j x_{ij} \right) \quad (3)$$

که  $x_{i0} = 1$

برای به دست آوردن فاصله میان اطلاعات خروجی فازی مشاهده شده و پیش بینی شده از برش های  $\alpha$  ی آنها استفاده می شود که برای این منظور باید معادلات زیر بررسی شود [۱۰]:

$$y_i = \sum_{j=0}^p m_j x_{ij} \quad (4)$$

$$y_i - (1-\alpha)(y_i - l_{y_i}) = \sum_{j=0}^p l_j(\alpha) x_{ij} \quad (5)$$

$$y_i + (1-\alpha)(r_{y_i} - y_i) = \sum_{j=0}^p r_j(\alpha) x_{ij} \quad (6)$$

که  $\sum_{j=0}^p l_j(\alpha) x_{ij}$  و  $\sum_{j=0}^p r_j(\alpha) x_{ij}$  به برش  $\alpha$  ی نقاط انتهایی چپ و راست عدد فازی  $\sum_{j=0}^p A_j x_{ij}$  دلالت می کنند.

بر آورد کننده های حداقل انحراف مطلق برای مرکز ضرایب رگرسیون فازی با  $\hat{m}_j$  نشان داده می شود که می توان با حداقل ساختن عبارت زیر که همان مجموع

انحراف مطلق است حاصل شود [۱۰]:

$$\sum_{i=1}^n \left| y_i - \sum_{j=0}^p m_j x_{ij} \right| = \min! \quad (7)$$

به علاوه  $\hat{l}_j(\alpha)$  و  $\hat{r}_j(\alpha)$  برآوردکننده‌های حداقل انحراف مطلق برای نقاط انتهایی چپ و راست برش  $\alpha$  برای ضرایب رگرسیون با کاربرد معادلات زیر حاصل می‌شود [۱۰]:

$$\sum_{i=1}^n \left| y_i + (1-\alpha)(r_{y_i} - y_i) - \sum_{j=0}^p r_j(\alpha)x_{ij} \right| = \min! \quad (8)$$

Subject to:

$$\hat{m}_j \leq r_j(\alpha) \quad (9)$$

And

$$\sum_{i=1}^n \left| y_i - (1-\alpha)(y_i - l_{y_i}) - \sum_{j=0}^p l_j(\alpha)x_{ij} \right| = \min! \quad (10)$$

Subject to:

$$\hat{m}_j \geq l_j(\alpha) \quad (11)$$

وقتی  $\alpha = 0$  داریم:  $\hat{l}_j(0) = \hat{l}_j$  و  $\hat{r}_j(0) = \hat{r}_j$

بنابراین مدل رگرسیون فازی با استفاده از روش حداقل انحراف مطلق (FLAD) به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$\hat{Y}_i = \hat{A}_0 + \hat{A}_1 x_{i1} + \dots + \hat{A}_p x_{ip}; i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

که  $\hat{A}_i = (\hat{l}_i \quad \hat{m}_i \quad \hat{r}_i)$  و  $\hat{Y}_i = (l_{\hat{y}_i} \quad \hat{y}_i \quad r_{\hat{y}_i})$  می‌باشد.

### توضیح مختصری از فرآیند مونتاژ کاسه چرخ

تویی کاسه چرخ یکی از اجزای اصلی در این مجموعه می‌باشد. پس از قرارگیری تویی بر روی طبق، سیلندر ترمز، اهرم رگلاژ و کفشک‌های ترمز بر روی طبق نصب می‌گردند. سپس کنس خارجی رولبرینگ کوچک و بزرگ را در داخل کاسه چرخ قرار داده و کاسه نم‌بر روی مجموعه کاسه چرخ قرار می‌گیرد. بعد از حصول اطمینان از مشخصه‌های کیفی، مجموعه کاسه چرخ را روی طبق قرار می‌دهیم. نهایتاً مجموعه فوق توسط واشر و مهره قفلی به یکدیگر مونتاژ می‌شوند.

گشتاور اندازه گیری شده مهره قفلی و چرخشی کاسه چرخ در این مرحله باید به ترتیب در بازه ۰,۴-۰,۷ kg.m و ۰,۵-۱۰ kg.cm باشد. پس از این مراحل درپوش مهره قفلی را نصب می کنیم. سپس لقی کاسه چرخ توسط کارشناس مربوطه به صورت کیفی بیان می شود.

### انتخاب عوامل موثر و تعیین سطوح آنها

با توجه به بررسی های انجام شده و اتفاق نظر کارشناسان، عوامل موثر به شرح ذیل می باشند:

#### قطر توپی قسمت کاسه نمد

قطر توپی قسمت کاسه نمد در تعیین مقدار گشتاور چرخشی کاسه چرخ و لقی کاسه چرخ از اهمیت بسیاری برخوردار است. تصویر این قطعه در شکل ۲ و سطوح بالا و پائین این قطر مطابق نقشه فنی مربوط در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲. قطر توپی قسمت کاسه نمد

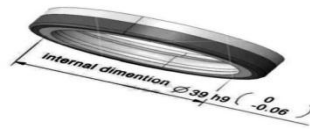
جدول ۱. حدود سطوح و نقاط مرکزی و محوری برای متغیر پاسخ اول

Effective factor	Un coded value	Coded level( $X_i$ )			$-\alpha$	$\alpha$
		Lower level (-)	Center	Upper level (+)		
قطر توپی قسمت کاسه نمد (mm)	$X_1$	۳۸,۹۱۶۹	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۶۹	۳۹	۳۹,۰۲۱
قطر داخلی کاسه نمد (mm)	$X_2$	۳۸,۹۱۶۹	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۶۹	۳۹	۳۹,۰۲۱
گشتاور مهره قفلی (kg.m)	$X_3$	۰,۳	۰,۴	۰,۵۵	۰,۷	۰,۸

$$\alpha = \sqrt[4]{N} = 1.6818, \quad N = \text{تعداد آزمایش های طرح متعامد (طرح عاملی)},$$

### قطر داخلی کاسه نمد

کم و زیاد بودن قطر داخلی کاسه نمد سبب ایجاد درگیری و اصطکاک بیشتر بین کاسه نمد و توپی و در نتیجه سبب افزایش و یا کاهش میزان گشتاور چرخشی کاسه چرخ و لقی کاسه چرخ می گردد. تصویر این قطعه در شکل ۳ و سطوح بالا و پائین این عامل مطابق نقشه فنی مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳. قطر داخلی کاسه نمد

### گشتاور مهره قفلی

کم و زیاد بودن گشتاور مهره قفلی سبب ایجاد درگیری کمتر و بیشتر بین توپی و رولبرینگ، در نتیجه سبب افزایش و یا کاهش میزان گشتاور چرخشی کاسه چرخ و لقی کاسه چرخ می گردد. سطوح بالا و پائین این عامل در جدول ۱ آمده است.

### انتخاب متغیر پاسخ

با توجه به اینکه متغیر پاسخ باید خصوصیات مهمی از فرآیند مورد بررسی را در بر داشته باشد [۱۲] و از طرف دیگر با توجه به تحقیقات صورت یافته [۱۶]، بالا بودن گشتاور چرخشی کاسه چرخ یکی از عوامل موثر در قفل شدن چرخ های عقب اتومبیل، کاهش عمر رولبرینگ ها و از سوی دیگر پائین بودن گشتاور فوق سبب ایجاد لقی چرخ ها می شود که در نهایت، مجموع عوامل فوق ایمنی سرنشینان را تهدید خواهد نمود. بنا به دلایل فوق الذکر، گشتاور چرخشی کاسه چرخ به عنوان متغیر پاسخ اول و همچنین لقی کاسه چرخ یکی از عوامل موثر در خارج شدن رینگ اتومبیل از قسمت کاسه چرخ می باشد که منجر به منحرف شدن اتومبیل می گردد و در نهایت، ایمنی سرنشینان را تهدید خواهد نمود. بنا براین، لقی کاسه چرخ نیز به عنوان متغیر پاسخ دوم در نظر گرفته شده است.



## انتخاب طرح آزمایش برای متغیر پاسخ اول (گشتاور چرخشی کاسه چرخ خودرو)

گام مهم بعدی در انجام تحقیق انتخاب طرح هایی است که بر اساس آن باید آزمایش انجام داد. در آزمایش های مشتمل بر چندین عامل که در آنها مطالعه توام عوامل 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 طرح هایی نیاز به  $2^k$  مشاهده دارد که آن را طرح عاملی  $2^k$  می نامند سطوح عوامل می توانند دل خواه 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]. یکی از طرح های بکار رفته برای برآزش مدل مرتبه دوم، طرح مرکب مرکزی است. این طرح عبارت است  $2^k$  عامل ( کد بندی شده با نماد معمول  $\pm 1$ ) با الحاق  $2k$  نقطه محوری  $(\pm \alpha, 0, 0, \dots, 0)$ ،  $(0, \pm \alpha, 0, \dots, 0)$  و  $(0, 0, \dots, 0, \pm \alpha)$  و  $nc$  تعداد نقاط مرکزی  $(0, 0, \dots, 0)$  است. طرح مرکب مرکزی با انتخاب مناسب  $\alpha$  دوران پذیر می شود. مقدار  $\alpha$  برای دوران پذیری وابسته به تعداد نقاط در بخش عاملی طرح است در واقع با انتخاب  $\alpha = (n_f)^{1/4}$  معلوم می شود که طرح مرکب مرکزی دوران پذیر است که در آن  $n_f$  تعداد نقاط استفاده شده در بخش عاملی طرح است. در این مقاله ۳ عامل مورد بررسی قرار گرفته است، بنابراین بخش عاملی متغیر پاسخ اول شامل  $n_f = 2^3 = 8$  نقطه است پس مقدار  $\alpha$  برای دوران پذیری طرح  $\alpha = 8^{1/4} = 1.68$  است. خواص دیگر طرح مرکب مرکزی را می توان با انتخاب تعداد نقاط مرکزی nc کنترل کرد با انتخاب درست nc می توان طرح مرکب مرکزی را متعادل ساخت یا می توان از آن طرحی با دقت یک نواخت درست کرد [۱۲]. در این مقاله تعداد نقاط مرکزی برای ایجاد طرحی با دقت یک نواخت، ۵ نقطه در نظر گرفته شده است. حدود سطوح و نقاط محوری و مرکزی برای ۳ ترکیب ذکر شده، در جدول ۱ مشخص شده است.

## انجام آزمایش

با توجه به اینکه اندازه گیری مقدار گشتاور کاسه چرخ و لقی کاسه چرخ یکی از عملیاتی است که حین فرآیند مونتاژ انجام می شود و در این خلال، امکان توقف خط به لحاظ تغییر حدود عوامل موثر، وجود ندارد لذا آزمایش مورد نظر در آزمایشگاه صورت می پذیرد. باید توجه داشت که یکی از مهمترین پیش نیازهای بخش تجزیه و تحلیل آماری، تصادفی بودن انجام آزمایش ها می باشد. بعد از مشخص شدن طرح آزمایش و ترتیب انجام آزمایش ها نوبت به انجام آزمایش می رسد. همه آزمایش ها در مدتی نزدیک به ۳ ماه انجام و نتایج بدست آمده برای متغیر پاسخ Y1 و Y2 در جداول ۲ و ۴ خلاصه شده است. در این بررسی اندازه لقی کاسه چرخ به صورت متغیرهای زبانی به صورت زیاد، خیلی زیاد، کم، متوسط و خیلی کم توسط کارشناس متخصص بیان می شود. روش کار بدین گونه می باشد که اندازه متغیر پاسخ در سطوح مربوطه (قطر تویی قسمت کاسه نمد، قطر داخلی کاسه نمد و گشتاور مهره قفلی) از سه کارشناس خبره در این زمینه پرسیده می شود سپس این متغیرهای زبانی در قالب جدول ۳ به صورت اعداد فازی بیان می شوند. بعد از انجام آزمایش های متغیر پاسخ دوم، برای تبدیل نظرات کارشناسان به یک نظر واحد از رابطه زیر استفاده می کنیم:

اگر نظر فازی همه تصمیم گیرندگان به صورت اعداد فازی مثلثی  $(a_k \ b_k \ c_k)$  بیان شوند جمع شده این اعداد فازی برابر است با [۱۵]:

$$R = (a \ b \ c) : n = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

$$a = \min_n \{a_n\} \quad b = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k b_n \quad c = \max_n \{c_n\}$$

داده های جدول ۵ مقدار لقی کاسه چرخ (متغیر پاسخ دوم) برگرفته شده از نظرات سه کارشناس و تبدیل آن به یک نظر واحد را نشان می دهند.

جدول ۲. اطلاعات آزمایش و ارزش مشاهده شده پاسخ با ترکیبات مختلف قطر توپی قسمت کاسه نم (  $x_1$  ) و قطر داخلی کاسه نم (  $x_2$  ) و گشتاور مهره قفلی (  $x_3$  ) با استفاده از طرح

مرتب دوم چرخش پذیر مرکب مرکزی برای روش شناسی رویه پاسخ

Run	شماره آزمایش	Coded variable level			گشتاور چرخشی کاسه چرخ (Y) (kg.cm)
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	
۱۶	۱	-۱	-۱	-۱	۹
۳	۲	-۱	۱	-۱	۷
۶	۳	-۱	-۱	۱	۱۲
۸	۴	-۱	۱	۱	۹
۹	۵	۱	-۱	-۱	۱۸
۱	۶	۱	۱	-۱	۷
۱۲	۷	۱	-۱	۱	۲۳.۵
۷	۸	۱	۱	۱	۱۱
۲	۹	$-\alpha$	.	.	۶.۵
۱۴	۱۰	$\alpha$	.	.	۲۱
۵	۱۱	.	$-\alpha$	.	۱۹
۱۵	۱۲	.	$\alpha$	.	۶
۱۳	۱۳	.	.	$-\alpha$	۷
۱۸	۱۴	.	.	$\alpha$	۱۲
۱۰	۱۵	.	.	.	۹
۱۹	۱۶	.	.	.	۸.۵
۱۱	۱۷	.	.	.	۹.۵
۱۷	۱۸	.	.	.	۸
۴	۱۹	.	.	.	۹

جدول ۳. مجموعه های فازی و توابع عضویت

مجموعه فازی	تابع عضویت	دامنه	مثبت (min, mode, max)
Very high	$U(x) = (x - 7.5) / (10.0 - 7.5)$	$7.5 \leq x \leq 10.0$	7.5, 10.0, 10.0
	$U(x) = (x - 5.0) / (7.5 - 5.0)$	$5.0 \leq x \leq 7.5$	5.0, 7.5, 10.0
high	$U(x) = (10.0 - x) / (10.0 - 7.5)$	$7.5 \leq x \leq 10.0$	5.0, 7.5, 10.0
	$U(x) = (x - 2.5) / (5.0 - 2.5)$	$2.5 \leq x \leq 5.0$	2.5, 5.0, 7.5
medium	$U(x) = (7.5 - x) / (7.5 - 5.5)$	$5.0 \leq x \leq 7.5$	2.5, 5.0, 7.5
	$U(x) = (x - 0.0) / (2.5 - 0.0)$	$0.0 \leq x \leq 2.5$	0.0, 2.5, 5.0
low	$U(x) = (5 - x) / (5.0 - 2.5)$	$2.5 \leq x \leq 5.0$	0.0, 2.5, 5.0
	$U(x) = (2.5 - x) / (2.5 - 0.0)$	$0.0 \leq x \leq 2.5$	0.0, 0.0, 2.5
Very low	$U(x) = (2.5 - x) / (2.5 - 0.0)$	$0.0 \leq x \leq 2.5$	0.0, 0.0, 2.5

جدول ۴. اطلاعات متغیر پاسخ دوم (لقی کاسه چرخ)

Run	شماره آزمایش	Uncoded variable level			لقی کاسه چرخ ( $Y_2$ )	تبدیل اعداد کیفی به فازی
		$X_1(mm)$	$X_2(mm)$	$X_3(kg.m)$		
۱۷	۱	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۴	زیاد	(۵,۷,۵,۱۰)
۱۹	۲	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۴	متوسط	(۲,۵,۵,۷,۵)
۱۰	۳	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۴	متوسط	(۲,۵,۵,۷,۵)
۲۴	۴	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۴	خیلی زیاد	(۷,۵,۱۰,۱۰)
۶	۵	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۴	زیاد	(۵,۷,۵,۱۰)
۱۵	۶	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۴	خیلی زیاد	(۷,۵,۱۰,۱۰)
۱	۷	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)
۲۱	۸	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)
۱۲	۹	۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)
۵	۱۰	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۷	متوسط	(۲,۵,۵,۷,۵)
۹	۱۱	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)
۲	۱۲	۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۷	متوسط	(۲,۵,۵,۷,۵)
۲۲	۱۳	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۴	کم	(۰,۲,۵,۵)
۱۳	۱۴	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۴	خیلی کم	(۰,۰,۲,۵)
۸	۱۵	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۴	خیلی کم	(۰,۰,۲,۵)
۱۶	۱۶	۳۹	۳۹	۰,۴	خیلی زیاد	(۷,۵,۱۰,۱۰)
۳	۱۷	۳۹	۳۹	۰,۴	خیلی زیاد	(۷,۵,۱۰,۱۰)
۱۸	۱۸	۳۹	۳۹	۰,۴	زیاد	(۵,۷,۵,۱۰)
۲۳	۱۹	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۷	خیلی کم	(۰,۰,۲,۵)
۷	۲۰	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۷	خیلی کم	(۰,۰,۲,۵)
۱۴	۲۱	۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۷	خیلی کم	(۰,۰,۲,۵)
۲۰	۲۲	۳۹	۳۹	۰,۷	متوسط	(۲,۵,۵,۷,۵)
۴	۲۳	۳۹	۳۹	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)
۱۱	۲۴	۳۹	۳۹	۰,۷	کم	(۰,۲,۵,۵)

جدول ۵. تبدیل اعداد کیفی به یک عدد فازی

Coded variable level			لقی کاسه چرخ	تبدیل اعداد کیفی به یک عدد فازی
$x_1(mm)$	$x_2(mm)$	$x_3(kg.m)$		
۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۴	متوسط ، متوسط ، زیاد	(۲,۵ ، ۵,۸۳ ، ۱۰)
۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۴	خیلی زیاد ، زیاد ، خیلی زیاد	(۵ ، ۹,۲ ، ۱۰)
۳۸,۹۳۸	۳۸,۹۳۸	۰,۷	کم ، کم ، کم	(۰ ، ۲,۵ ، ۵)
۳۸,۹۳۸	۳۹	۰,۷	متوسط ، کم ، متوسط	(۰ ، ۴,۲ ، ۷,۵)
۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۴	خیلی کم ، خیلی کم ، کم	(۰ ، ۰,۸۳ ، ۵)
۳۹	۳۹	۰,۴	زیاد ، خیلی زیاد ، خیلی زیاد	(۵ ، ۹,۲ ، ۱۰)
۳۹	۳۸,۹۳۸	۰,۷	خیلی کم ، خیلی کم ، خیلی کم	(۰ ، ۰ ، ۲,۵)
۳۹	۳۹	۰,۷	کم ، کم ، متوسط	(۰ ، ۳,۳۳ ، ۷,۵)

### تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آماری متغیر های پاسخ ، مدل رگرسیون چند متغیره برازش شده ، نمودار احتمال نرمال  $Y_1$  در شکل ۳ و نمودار پراکنش مشاهده شده (ei) در مقابل مقادیر متغیر پاسخ اول در شکل ۴ و جداول ۶ و ۷ توسط نرم افزار SAS و MINITAB14 و MATLAB ارائه شده است. در این جداول نتایج آزمون های فرض مربوط به وجود اثرات اصلی و متقابل متغیر پاسخ اول (گشتاور چرخشی کاسه چرخ خودرو) از طریق مقایسه آماره  $F^*$  و  $F_{0.05,1,11} = 6.72$  محاسبه شده است.

جدول ۶. آزمون معناداری برای ضرایب رگرسیون  $Y_1$

Variable	DF	coefficient	Standard error	F value	$p_r >  F $
$x_1$	1	3.43428	0.66472	26.69*	0.0003
$x_2$	1	-3.68932	0.66472	30.80*	0.0002
$x_3$	1	1.67830	0.66472	6.37*	0.0282
$x_1 \times x_2$	1	-2.31250	0.86811	7.10*	0.0220
$x_1 \times x_3$	1	0.56250	0.86811	0.42	0.5303
$x_2 \times x_3$	1	-0.31250	0.86811	0.13	0.7257

× معنی دار

$$F_{0.05,1,11} = 6.72 \text{ و } \alpha = 0.05$$

جدول ۷. تحلیل واریانس و رگرسیون برای  $Y_1$

source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	$p_r >  F $
Model	484.7391	7	69.2484	59.57	< .0001
error	12.7872	11	1.1625		
total	497.5263	18			

Coefficient of correlation ( $R^2$ ), 0.974298

Coefficient of determination (adjusted  $R^2$ ), 0.9579

Coefficient of variation, 9.662939%

مدل رگرسیون متغیر پاسخ  $Y_1$  (گشتاور چرخشی کاسه چرخ خوردرو)

مدل رگرسیون گشتاور چرخشی کاسه چرخ به صورت زیر می باشد:

$$Y = 8.802 + 1.743x_1^2 + 1.3x_2^2 + 0.237x_3^2 + 3.434x_1 - 3.689x_2 + 1.678x_3 - 2.312x_1 \times x_2 \quad (13)$$

مدل رگرسیون متغیر پاسخ  $Y_2$  (اندازه لقی کاسه چرخ خوردرو)

مدل رگرسیون متغیر پاسخ  $Y_2$  با استفاده از اطلاعات به دست آمده از جدول ۵ و با استفاده از روش رگرسیون خطی فازی با کاربرد برآورد کننده های کمترین انحراف مطلق به صورت زیر می باشد:

$$Y_2 = (-1309.4 \quad -1308.6 \quad -1308) + (-33.8 \quad -33.7 \quad -33.7) \times X_1 + (67.6 \quad 67.6 \quad 67.6) \times X_2 + (-12.5 \quad -12.5 \quad -10.4) \times X_3 \quad (14)$$

به منظور استفاده هم زمان این مدل با مدل به دست آمده از متغیر پاسخ  $Y_1$  در مسائل چند هدفه، مدل  $Y_2$  باید از حالت فازی خارج و به صورت کد شده بیان شود که این کار به شرحی که در زیرارایه می شود انجام می گیرد: فرض کنید اعداد فازی ضرایب تابع هدف به صورت اعداد فازی مثلثی تعریف شوند. یعنی بردار فازی  $\tilde{C}$ ، به صورت ذیل تعریف می شود:

$$\tilde{C} = (C^p \quad C^m \quad C^o) \quad (15)$$

رویکرد های مختلفی برای تبدیل ضریب فازی فوق به ضریب کلاسیک وجود دارد. در این مطالعه برای غیر فازی کردن از فرمول ذیل استفاده کرده ایم:

$$C_j = \frac{C_j^p + 4C_j^m + C_j^o}{6} \quad (16)$$

مدل به دست آمده پس از غیر فازی کردن به صورت زیر می باشد:

$$Y_2 = -1308.63 - 33.72 \times X_1 + 67.6 \times X_2 - 12.15 \times X_3 \quad (17)$$

متغیر های مستقل این مدل نیز توسط رابطه زیر به صورت کد شده بیان می شوند:

$$x_i = \frac{2(X_i - \bar{X}_i)}{d_i} \quad (18)$$

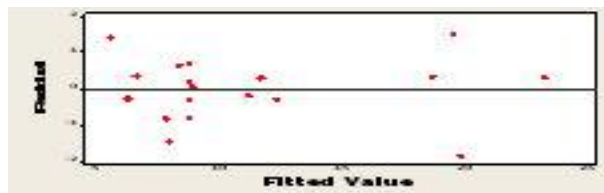
به طوری که  $X_i$  اندازه واقعی عامل  $i$ ام در دیمانسیون مربوطه،  $\bar{X}_i$  میانگین سطوح بالا و پایین  $X_i$  و  $d_i$  فاصله میان سطوح بالا و پایین  $X_i$  می باشند. مدل رگرسیون  $Y_2$  که از آن در مسئله چند هدفه استفاده می شود به صورت زیر می باشد:

$$Y_2 = 4.9565 - 1.04532 \times x_1 + 2.0956 \times x_2 - 1.8225 \times x_3 \quad (19)$$

قابل توجه می باشد که مدل رگرسیون به دست آمده به صورت  $\min$  می باشد.

### بررسی واریانس خطای $Y_1$

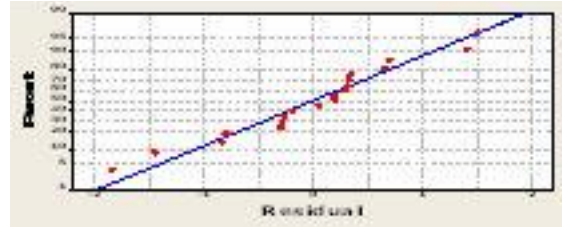
اگر مدل درست باشد و فرض نرمال بودن برقرار باشند مانده ها باید بی ساختار باشند همچنین به هیچ متغیر دیگری از جمله متغیر پاسخ وابسته نباشند. با توجه به نمودار پراکنش خطا در مقابل مقادیر پیش بینی شده که در شکل ۴ دیده می شود، خطاها هم واریانس هستند.



شکل ۴. نمودار پراکنش مشاهده شده (ei) در مقابل مقادیر متغیر پاسخ اول

### بررسی کفایت مدل $Y_1$

با فرض اینکه 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 می توان به کفایت مدل پی برد این نمودار در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. نمودار نقطه ای احتمال نرمال مانده‌ها برای متغیر پاسخ اول

### بهینه سازی فرایند چند پاسخ‌ه مبنی بر LP- متریک

روش LP- متریک به منظور سنجش نزدیکی یک راه حل ایده آل مورد استفاده قرار می‌گیرد این سنجش از انحراف به صورت زیر خواهد بود [۱۳، ۱۴]:

$$Minz = \sum_{j=1}^n w_j \left( \frac{y_j^* - y_j}{y_j^*} \right)^p \quad (20)$$

St:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i : i = 1, 2, \dots, n$$

اهمیت (وزن) هدف زام ( $w_j \geq 0$ ) می‌باشد. برای از بین بردن مشکل متفاوت بودن مقیاس‌های اهداف، میزان انحراف جواب ایده آل هدف زام و تابع هدف آن را بر  $y_j^*$  تقسیم می‌کنیم.  $1 \leq p < \infty$  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 LP- متریک نیز به منظور حداقل کردن انحرافات از ایده آل باید کمینه گردد. در اینجا برای اینکه دو مرحله ذکر شده در مراحل مونتاز کاسه چرخ از درجه اهمیت یکسانی برخوردار باشند مقدار وزن ( $w_j$ ) را برای دو مرحله، یک در نظر می‌گیریم. در این روش توابع هدف را به طور جداگانه از طریق نرم افزار LINGO بهینه نموده و جواب‌های بهینه به دست آمده از هر تابع هدف را در توابع هدف دیگر قرار می‌دهیم. بدین ترتیب جواب‌های به دست آمده در جدول ۸ نشان داده شده است.



جدول ۸. جوابهای بهینه اولیه

	پاسخ	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Max Y1	۱۰	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۶۵
Max Y2	-۲.۰۸۸۶۸	۱	۰	۱

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

$$\min Z = \left( \frac{10 - 8.802 - 1.743x_1^2 - 1.3x_2^2 - 0.273x_3^2 - 3.434x_1 + 3.689x_2 - 1.678x_3 + 2.312x_1x_2}{10} \right)^p \quad (21)$$

$$+ \left( \frac{-2.08868 + 5.5865 - 1.04532x_1 + 2.0956x_2 - 1.8225x_3}{-2.08868} \right)^p$$

s.t

$$x_1 \geq -1 \quad (22)$$

$$x_2 \geq -1 \quad (23)$$

$$x_3 \geq -1 \quad (24)$$

$$x_1 \leq 1 \quad (25)$$

$$x_2 \leq 1 \quad (26)$$

$$x_3 \leq 1 \quad (27)$$

$$8.802 + 1.743x_1^2 + 1.3x_2^2 + 0.273x_3^2 + 3.434x_1 - 3.689x_2 + 1.678x_3 - 2.312x_1 \times x_2 \geq 6.5 \quad (28)$$

$$8.802 + 1.743x_1^2 + 1.3x_2^2 + 0.273x_3^2 + 3.434x_1 - 3.689x_2 + 1.678x_3 - 2.312x_1 \times x_2 \leq 10 \quad (29)$$

با توجه به نظر تصمیم گیران، وزن های مقایسه ایی و جواب حاصل با استفاده از نرم افزار LINGO در جدول ۹ آورده شده است. این جوابها به ازای  $P=2$  حاصل شده است و با افزایش مقدار  $P$  جوابهای حاصله برابر مقادیر ذکر شده یا بدتر از آن به دست می آید.

جدول ۹. جواب به دست آمده توسط LP - متریک

		Y1	Y2	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Z
Coded	$W_1 = W_2$ $P=2$	۱۰	-۳.۵۹۷۹	۰	۰.۲۲۱۴	۱	۰.۵۲۲۱
Uncoded		۱۰	-۳.۵۹۷۹	۳۸.۹۶۹	۳۸.۹۷۶	۰.۷	۰.۵۲۲۱

### بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در این قسمت GA، RSM و FLAD برای پیدا کردن پارامترهای بهینه در فرایند مونتاژ کاسه چرخ به کار گرفته شده است. RSM و FLAD برای برقراری ارتباط‌های خطی و غیر خطی بین پارامترهای فرایند مونتاژ کاسه چرخ ( قطر توپی قسمت کاسه نمد، قطر داخلی کاسه نمد و گشتاور مهره قفلی) و پاسخ‌ها (گشتاور چرخشی کاسه چرخ و لقی کاسه چرخ) به کار گرفته شده‌اند. سپس الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن پارامترهای بهینه فرایند با استفاده از LP - متریک، یکی از روش‌های توابع چند هدفه تحت عنوان تابع برازندگی برای اندازه‌گیری مقدار برازندگی پارامترهای فرایند به کار گرفته شده است. جزئیات روش GA در زیر شرح داده شده است:

#### مرحله ۱: کد گذاری و تولید جمعیت های اولیه

پارامترهای فرایند برای ایجاد ناحیه جواب در روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. ناحیه تحقیق برای سه پارامتر در جدول ۱ نشان داده شده است. این مرحله متغیرهای ورودی فرایند را از رشته دودویی به اعداد واقعی تغییر می دهد. بعد از فرایند کد گذاری، به صورت تصادفی کروموزوم های  $N_{pop}$  را برای پیدا کردن پارامترهای بهینه فرایند تولید می کنیم ( $N_{pop}$  تعداد جمعیت می باشد).

#### مرحله ۲: محاسبه ارزش برازندگی

LP - متریک، یکی از روش های چند هدفه به عنوان تابع برازندگی در روش GA برای محاسبه کردن ارزش برازندگی به کار گرفته شده است. پاسخ های خروجی به یک مسئله بهینه سازی دو هدفه منتهی می شود. بنابراین می توانیم دو تابع هدف را با استفاده از روش LP - متریک به یک تابع هدف تبدیل کنیم. مدل RSM از متغیر پاسخ اول (گشتاور چرخشی کاسه چرخ)  $Y_1$  و مدل FLAD از متغیر پاسخ دوم (لقی کاسه چرخ)  $Y_2$  تولید می شود و در نهایت تابع برازندگی برای محاسبه ارزش برازندگی به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$Fitness\ function = \sum_{j=1}^2 \left( \frac{y_j^* - y_j}{y_j^*} \right)^2 = \left( \frac{y_1^* - y_1}{y_1^*} \right)^2 + \left( \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*} \right)^2 \quad (30)$$

St:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i : i = 1, 2, \dots, n$$

مرحله ۳: انتخاب: انتخاب یک جفت کروموزوم برای جفت گیری، برای تولید نسل جدید از نسل موجود، از سه عملگر تولید مجدد، جهش (mutation) و تقاطع (crossover) استفاده می گردد.

مرحله ۴: تقاطع: عملگر تقاطع برای تولید یک جفت کروموزوم فرزند به کار گرفته می شود. برای هر جفت انتخاب شده، عملگر تقاطع دو نقطه ای برای تولید فرزند با احتمال  $p_c$  به کار گرفته می شود.

مرحله ۵: جهش: در این بخش، عملگر جهش یک ژن با احتمال جهش از پیش تعیین شده  $p_m$  برای تولید کروموزوم های جدید به کار گرفته می شود. با استفاده از عملگر های جهش و تقاطع جمعیت های جدید ( $N_{pop(offspring)}$ ) محاسبه می شوند. جمعیت کروموزوم های اولیه جایگزین جمعیت های جدید  $N_{pop(offspring)}$  می شوند. مرحله ۲ تا ۵ تا زمانی که معیار نهایی مناسب باشد ادامه می یابد.

یک کروموزوم شامل ۳ ژن که یک ژن برای هر متغیر ورودی ساخته شده است. بنابراین یک کروموزوم به وسیله ارزش های کد شده قطر تویی قسمت کاسه نمود  $(x_1)$ ، قطر داخلی کاسه نمود  $(x_2)$  و گشتاور مهره قفلی  $(x_3)$  تشکیل می شود. که هر یک از اینها بین ۱ و -۱ می باشند. اندازه جمعیت، میزان های تقاطع و جهش و تعداد نسل مهمترین فاکتورها برای الگوریتم می باشد. بالا بودن اندازه جمعیت، جستجوی بهتری از فضای جواب را نتیجه می دهد و شانس به دست آمدن جوابهای ضعیف را کاهش می دهد. اما این موضوع تعداد آزمایشها و هزینه آنها را افزایش می دهد. در این مورد آزمایشهای فرایند مونتاز کاسه چرخ بسیار زمان بر و هزینه زا می باشد. در نتیجه این، تعداد نسلها و اندازه جمعیت محدود در نظر گرفته شده است.

جدولهای ۱۰ و ۱۱ نتایج به دست آمده به وسیله GA را نشان می دهند. ما نقطه بهینه Z را با استفاده از GA به دست آوردیم و در جدول ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۰. نتایج آزمایش‌ها GA

Run number	Input variable ( coded)			Response variables		Fitness value ( Z )	un time duration
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$		
۱							
۲							
۳							
۴	-0.3599	-0.2502	0.7356	9.970109	-3.46776	0.4360	3.5469
۵	-0.7896	-0.3870	0.9708	9.979363	-3.2016	0.2839	3.5781
۶	-0.3566	-0.0899	0.9903	9.996563	-3.33604	0.3566	3.5000
۷	-0.4740	-0.2229	0.9235	9.99095	-3.30179	0.3373	3.5469
۸	-0.2984	-0.0828	0.9015	9.924318	-3.45192	0.4261	3.5938
۹	-0.8465	-0.5246	0.8278	9.986527	-3.23335	0.3003	3.5625
۱۰	-0.2231	0.0183	0.9844	9.981368	-3.43399	0.4148	3.7813
۱۱	-0.7301	-0.3227	0.9106	9.759394	-3.38387	0.3852	3.7500
۱۲	-0.2211	0.0324	0.9852	9.944498	-3.45999	0.4312	3.6094
۱۳	-0.7127	-0.4834	0.7712	9.986883	-3.28297	0.3269	3.6563
۱۴	-0.9260	-0.4307	0.9441	9.852143	-3.30127	0.3372	3.7813
۱۵	-0.6219	-0.3508	0.8701	9.956915	-3.28569	0.3284	3.5000
۱۶	-0.3570	-0.1204	0.9014	9.896198	-3.43457	0.4153	3.6563
۱۷	-0.4269	-0.1079	0.9987	9.908467	-3.3565	0.3685	3.6250
۱۸	-0.6362	-0.5003	0.6342	9.931868	-3.41727	0.4046	3.5625
۱۹	-0.5727	-0.3360	0.8568	9.986525	-3.28952	0.3305	3.7031
۲۰	-0.5177	-0.2600	0.8855	9.927117	-3.33898	0.3584	3.6406
۲۱	-0.5223	-0.2548	0.9175	9.969957	-3.29637	0.3343	3.6719
۲۲	-0.7399	-0.3707	0.9622	9.994734	-3.19948	0.2828	3.5625
۲۳	-0.6222	-0.4531	0.6422	9.816919	-3.48697	0.4484	3.5781
۲۴							
۲۵							
۲۶							
۲۷							
۲۸							
۲۹							
۳۰							
						min	0.2828
						mean	0.365335

جدول ۱۱. نقطه بهینه به دست آمده توسط GA

Coded value			Uncoded value		
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
-۰.۷۳۹۹	-۰.۳۷۰۷	۰.۹۶۲۲	۳۸.۹۴۶۰۶	۳۸.۹۵۷۵۱	۰.۶۹۴۳۳

جدول ۱۲. پاسخ های بهینه محاسبه شده توسط GA

$Y_1$	$Y_2$
10	-3.1995

جدول ۱۳. پاسخ های بهینه محاسبه شده توسط GA و LP - متریک

	Lp-metric optimization	GA optimization
$\hat{Y}_1$	۱۰	۱۰
$\hat{Y}_2$	-۳.۵۹۷۹	-۳.۱۹۹۵
Z	۰.۵۲۲۱	۰.۲۸۲۸

### نتیجه گیری و پیشنهاد

در این مقاله نشان داده شده است که ، تکنیک های ژنتیک الگوریتم، رگرسیون فازی با کاربرد برآورد کننده های حداقل انحراف مطلق (FLAD) و روش شناسی رویه پاسخ (RSM) برای مسائل با ساختار کاملاً صنعتی موثر هستند. دو هدف در نظر گرفته شده است که این دو هدف، حداکثر کردن گشتاور چرخشی کاسه چرخ و حداقل کردن لقی کاسه چرخ می باشند. مدل ریاضی برای این اهداف و محدودیت‌ها ارائه شد. ضمن بررسی و تعیین عوامل موثر در میزان گشتاور چرخشی کاسه چرخ خودرو و لقی کاسه چرخ ، این عوامل (قطر توپی قسمت کاسه نمد، قطر داخلی کاسه نمد و گشتاور مهره قفلی) به نحوی تنظیم گردیدند که میزان متغیر های پاسخ بهینه گردند. همچنین مقدار بهینه عوامل موثر از طریق مدل برنامه ریزی غیر خطی و الگوریتم ژنتیک با استفاده از یکی از روش های چند هدفه (LP - متریک) محاسبه گردیدند. مقایسه دو روش بهینه سازی، عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک نسبت به مدل برنامه ریزی غیر خطی را نشان داد. با این وجود بهینه سازی با استفاده

از الگوریتم ژنتیک نیازمند تنظیم خوبی از پارامترها می باشد. در غیر این صورت ریسک نارسایی در کل فضای جستجو وجود دارد. بعضی نواحی تحقیقاتی آینده، استفاده از تکنیک های بهینه سازی چند هدفه دیگر و الگوریتم های متاهیورستیک دیگر مثل Simulated Annealing ، neural networks و Ant Colony و غیره برای حل مسئله مورد نظر است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از کارکنان شرکت محور سازان گروه کوشا به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات و تسهیلات دیگر تشکر می کنند آنها همچنین تمایل دارند از هیئت مدیره شرکت به خاطر حمایت های مالی تشکر کنند.

## منابع

1. J. Sobieszczanski-Sobieski, S. Kodiyalam, R.Y. Yang, "**Optimization of car body under constraints of noise, vibration, and harshness (NVH), and crash**", Structural and multidisciplinary optimization 22 (9) , 295-306 (2000).
2. P.O. Marklund, L. Nilsson, "**Optimization of a car body component subjected to side impact**", Structural and Multidisciplinary Optimization 21(5), 383-392 (2001).
3. B. K. Chun, H. Y. Kim, J. K. Lee, "**Modeling the Bauschinger effect for sheet metals, part II: applications**", International Journal of Plasticity 18 (5-6), 597-616 (2002).
4. S.A. Rezzoug , C. Boutekedjiret , K. Allaf , "**Optimization of operating conditions of rosemary essential oil extraction by a fast controlled pressure drop process using response surface methodology**", Journal of Food Engineering 71(1) , 9-17(2005).
5. V. B. Dalvi-, K. N. Tiwari, M. N. Pawade, P. S. Phirke, "**Response surface analysis of tomato production under microirrigation** ", Agricultural water management 41(1) ,11-19 (1999).
6. M. Amiri-, J. Salehiye- sadeghiyani , "**A methodology for optimizing statistical multi-response problems using goal programming**", Scientia Iranica 15(3), 389-397,(2008).
7. S. H. R. Pasandideh and S. T. A. Niaki, "**Multi-response simulation optimization using genetic algorithm within desirability function framework**", Applied Mathematics and Computation 175 (1), 366-382 (2006).
8. R. Nuorollsen, H. Sultan Penah, "**offering a method for extracting D.M function and using it for the multi-purpose optimization within the framework of RSM**", International Journal of Engineering Science 15, 221-233 (2003).
9. M. Amiri, K. Gheshlaghi and H. Kiyomarsi, "**Application of Design Of Experiments (DOE), Response Surface Methodology (RSM), Multi Objective Decision Making (MODM) in effective quality characteristic improvement**", Journal of Tehran University 109(7),(2007).
10. S.H. Choi, J.J. Buckley, "**Fuzzy regression using least absolute deviation estimators**", Soft Computing 12(3), 257-263(2007).
11. K.W. Ip , C.K. Kwong , Y.W. Wong , "**Fuzzy regression approach to modelling transfer moulding for microchip encapsulation** ",journal of materials processing technology140 (1-3),147-151 (2003).
12. Noorosana, R.. "**The presentation of methodology to obtain the decision function for multiple-response optimizing in response surface methodology**", Amirkabir Journal of Science and

- Technology 60, 25-37(2005).
13. Myers, R. H. and Montgomery, D. C. "**Response Surface Methodology: Process and Optimization Using designed experiment**", John Wiley and sons Inc, (1995).
  14. J.Neter , M.H. Kutner, W. Wasserman, C. Nachtsheim , J. Neter , "**Applied Linear Statistical Methods**" , 4ed,McGraw – Hill , New york , (1996). John Neter (Author) › Visit Amazon's John Neter Page Find all the books, read about the author, and more. See search results for this author Are you an author? Learn about Author Central
  15. Chen-Tung Chen, Ching-Torng Lin , Sue-Fn Huang,"**A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management**", International Journal of Production Economics 102(2), 289-301 (2006).
  16. Tatsuyuki. A, **Response Surface Methodology and Its application to Automotive Suspension design**, Toyota central R&D Labs. Inc , Japan, 2001
  17. J.H. Holland, **Adaptation in Natural and Artificial System**, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975, 406 pp.
  18. D.E. Goldberg, **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**, Addison-Wesley, 1989, 435 pp.
  19. B.C. Cheng, C.J. Cheng, E.S. Lee, **Neuro-fuzzy and genetic algorithm in multiple response optimization**, Computers and Mathematics with Applications 44 (2002) 1503–1514.
  20. D. Kim, S. Rhee, **Optimization of a gas metal arc welding process using the desirability function and the genetic algorithm**, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers,Part B Journal of Engineering Manufacture 218 (1) (2004) 35–41.