تاریخ: ۹۰/۱۲/۰۴
شماره: C۹۰-۱۱۳۳۹

تایید پذیرش و ارایه مقاله

تحقق نقشه جامع علمی کشور در گرو تولد نوآوری‌ها در عرصه‌های مختلف اجرایی کشور است. این نوآوری‌ها در پاسخ‌هایی هوشمندانه مبتنی بر فلسفه فکری اسلامی - ایرانی به مسأله‌های سیستم‌های پیرامون انسان و بر اساس فناوری‌ها و علوم امروز و آینده است. سیاست‌گذاری و تسهیل‌گری علمی در این حوزه از شناخت نوآوری و سازمان نوآور آغاز می‌شود.

تاریخ علمی ایران در روزهای ۳ و ٤ اسفندماه ۱۳۹۰ بار دیگر شاهد اراده آگاه و و استوار جامعه علمی و اجرایی کشور در بازتعریف شاخص‌های «نوآوری» و «سازمان نوآور» بود تا از این رهگذر اقدامات تسهیل‌گری دولت را پیشنهاد دهد. در این ۲ روز متخصصان و مشاوران کشف و حل مسأله در دومین **کنفرانس استراتژی‌ها و تکنیک‌های کشف و حل مسأله** کارشناسان اجرایی و عملیاتی عرصه‌های مختلف را به مشورت طلبیدند تا با تحکیم و غنای اندیشه خویش نقشی ماندگار را برای ایرانیان به یادگار گذارند.

فرهاد کلاهان Farhad Kolahan

ارایه‌دهنده محترم مقاله

به‌کارگیری تناسب خاکستری-تاگوچی در بهینه‌سازی چندهدفه مسایل مهندسی و کاربرد آن در تراشکاری فولاد

همت بلند شما را برای مستندسازی و انتشار نتایج کشف و حل یکی از مساله‌های جامعه می‌ستاییم و از ایزد منان توفیق روزافزون شما را برای کشف و حل مساله‌های سرایمان ایران خواستاریم.

با آرزوی توفیق الهی

علیرضا علی‌احمدی

رییس دومین کنفرانس

کنفرانس بین‌المللی استراتژی‌ها و تکنیک‌های حل مساله

2nd Conference On دومین کنفرانس
استراتژی‌ها و تکنیک‌های حل مساله
Problem Solving Strategies & Techniques

بکارگیری تناسب خاکستری-تاگوچی در بهینه‌سازی چندهدفه مسائل مهندسی و کاربرد آن در تراشکاری فولاد

کاربرد بهینه‌سازی در مسائل مهندسی

نام و نام خانوادگی نویسنده اول فرهاد کلاهان
- **سمت یا مرتبه علمی مؤلف: دانشیار دانشکده مهندسی**
- **دانشگاه یا محل اشتغال: دانشگاه فردوسی مشهد**
- **تلفن تماس:** 09153259135
- **آدرس پست الکترونیک:** kolahan@um.ac.ir

نام و نام خانوادگی نویسنده دوم: هانیه فرحمند
- **دانشجو- موسسه آموزش عالی سجاد-** 05117254703- haniyefarahmand@yahoo.com

نام و نام خانوادگی نویسنده سوم: زهرا یوسفی
- **دانشجو- موسسه آموزش عالی سجاد -** 09151098763- zahrayusefi@yahoo.com

مشخصات مقاله	
تاریخ دریافت اولیه	1390/6/8
تاریخ دریافت	1390/7/11
اصلاحیه	1390/.../...
تاریخ پذیرش نهایی	1390/.../...
تاریخ انتشار	

چکیده

هدف بهینه‌سازی این است که با تغییر ورودی‌ها، خصوصیات یک فرآیند و یا آزمایش تجربی بهترین خروجی از میان روش‌های مختلف انتخاب شود. با توجه به این‌که مسائل واقعی تقابل بین اهداف متعدد است بنابراین بهینه‌سازی چند منظوره فرآیندها ضروری به نظر می‌رسد. در برخی از مسائل، مدیران دسترسی به داده‌های واقعی نداشته یا اطلاعات ناقصی از آنها دارند و ناچارند به داده‌های مبهم اکتفا کنند. این گونه مسائل و محدودیت‌ها باعث به وجود آمدن روش‌های مختلفی از جمله الگوریتم آنالیز تناسب خاکستری[1] و تاگوچی[2] گردیده است. در این مقاله، هدف بکارگیری تکنیک‌های حل مسائل مهندسی چندهدفه با استفاده از روش تناسب خاکستری-تاگوچی می‌باشد. این رویکرد ترکیبی از دو روش تاگوچی و تناسب خاکستری است و بهترین ترکیب از پارامترهای ورودی جهت بهینه‌سازی مقادیر خروجی را تعیین می‌کند. در روش تناسب خاکستری-تاگوچی ابتدا با توجه به هدف مورد نظر نرخ سیگنال به نویز محاسبه می‌شود سپس این مقدار نرمال شده و ضرایب[3] و رتبه[4] خاکستری محاسبه می‌گردد. در پایان با استفاده از میانگین رتبه خاکستری با توجه به پارامترهای ورودی و سطوح آنها ترکیب بهینه مشخص می‌شود. نمونه موردی مطالعه شده در این مقاله مربوط به روتراشی فولاد St.50.2 با دستگاه CNC با سه پارامتر ورودی و دو پارامتر خروجی است که با روش تناسب خاکستری- تاگوچی ترکیب بهینه و مقادیر

خروجی در حالت بهینه مشخص می‌شود. مقایسه نتایج روش‌های تناسب خاکستری، تاگوچی و تناسب خاکستری- تاگوچی نشان می‌دهد که روش ترکیبی تناسب خاکستری- تاگوچی از دقت بیشتری در پیش‌بینی خروجی‌های فرآیند برخوردار است.

کلمات کلیدی

آنالیز تناسب خاکستری، تاگوچی، بهینه‌سازی چندهدفه، تراش‌کاری، زبری سطح

Utilization Of Grey Relational-Taghuchi In Engineering Problems And Multiobjective Optimization

Dr.Farhad Kolahan; Haniye Farahmand; Zahra Yousefi
Application Of Optimization in Engineering Problems

ABSTRACT

The objective of optimization is to find the best solution among a multitude of possible solutions, given the characteristics of the system under consideration. Since there may be some contradictions among various objectives, multi criteria optimization is necessary. In many cases, managers have to keep up with ambiguous and uncertain data. That is why various optimization methods, such as Grey Relational Analysis and Taguchi, have been proposed to deal with these kinds of information.
The purpose of this paper is to employ a hybrid Grey Relation-Taguchi method to deal with multi-objective problem.

This approach is a combination of Taguchi and a Grey Relation methods that are the best combination to determine input parameters to optimize the output value. In Grey Relation - Taguchi method, according to the objective, we calculating signal to noise rate then make this amount as normal, and calculating the coefficients of Grey level. At the end, it determined with average of coefficients of Grey level of the input parameters and their optimal combination.

This paper is related to machining steel St.50.2 with CNC that have three input and two output parameters that optimization with Grey Relation -Taguchi method. In comparing results it shown that Grey Relation -Taguchi method has a more accuracy in output process.

KEYWORDS

Grey Relational Analysis, Taghuchi, Multiobjective Optimization, Trunery, Surface Roughness

۱- مقدمه

به طور کلی فرآیندهای ساخت و تولید به دو دسته ماشین‌کاری و غیر ماشین‌کاری تقسیم می‌شوند. روش‌های ماشین‌کاری از جمله مهم‌ترین فرآیندهای شکل دهی قطعات می‌باشند که در آن قطعه کار توسط براده برداری توسط یک ابزار برنده به شکل نهایی خود می‌رسد. در یک فرآیند ماشین‌کاری رسیدن به کیفیت سطح مناسب از یک طرف و کاهش زمان و هزینه ماشین‌کاری از طرف دیگر مهم‌ترین شاخص‌های خروجی فرآیند می‌باشند. این دو معیار به نوبه خود به شدت تحت تأثیر پارامترهای تنظیمی فرآیند، شامل سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق براده برداری، هستند. با این حال این دو معیار غالباً در تناقض بوده. به طوری که کاهش زمان ماشین‌کاری معمولاً باعث نزول کیفیت سطح قطعات می‌شود. از طرفی، به منظور افزایش صافی سطح قطعات، ماشین‌کاری می‌بایست با نرخ پیشروی و عمق برش پایین انجام شود، که این خود باعث کاهش نرخ براده برداری می‌گردد. این امر لزوم بهینه‌سازی چندهدفه را به منظور کسب ترکیبی مطلوب از صافی سطح و نرخ براده برداری در سازمان‌ها و کارخانجات تولیدی نشان می‌دهد. البته این‌گونه روش‌های بهینه سازی علاوه بر ماشین‌کاری یا رو تراشی در دیگر مسایل صنعتی از جمله فرزکاری، سنگ زنی، صفحه تراشی و ... کاربرد دارد.

منظور از بهینه‌سازی چندهدفه، پیدا کردن یک یا چند راه حل برای یک یا چند هدف مشخص و بهبود این راه‌حل‌ها می‌باشد. با توجه به عدم وجود رابطه واضح بین پارامترهای ورودی و خروجی و محدودیت‌های موجود، به جای یافتن جواب بهینه مطلق به دنبال جواب بهینه نسبی می‌باشد. به این منظور تصمیم‌گیرنده از الگوریتم‌هایی همچون آنالیز تناسب خاکستری و تاگوچی استفاده می‌کند. تئوری سیستم خاکستری الگوریتمی است که روابط غیر مشخص اعضاء یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل و بررسی می‌نماید و قابلیت استفاده در مسایل چندهدفه را دارا می‌باشد. این‌گونه روش‌ها در حل مسایلی کیفی بسیار پرکاربرد می‌باشد به این ترتیب که ابتدا پارامترهای ورودی و سطوح آن‌ها مشخص شود و به کمک آن‌ها پارامترهای خروجی محاسبه گردد. برای این که پارامترهای خروجی به حداقل یا حداکثر مقدار مورد نظر برسند، روش تاگوچی- خاکستری مشخص می‌کند که پارامترهای ورودی در چه سطحی قرار گیرند که قطعه کار نهایی به کیفیت مورد نظر دست پیدا کند.

در این تحقیق، بهینه‌سازی چندهدفه فرایند رو تراشی فولاد ST.50.2 با تحلیل تناسب خاکستری- تاگوچی انجام گرفت. نرخ ماشین‌کاری (MRR) و زبری سطح (Ra) به عنوان پارامتر خروجی و سرعت برش[۵]، عمق برش[۶] و نرخ پیشروی[۷] به عنوان پارامتر ورودی انتخاب شده‌اند. اطلاعات پارامترهای ورودی از طریق آزمایش و کاتالوگ‌های موجود بدست آمد. سپس اطلاعات پارامترهای خروجی با استفاده از ورودی‌های بدست آمده در آزمایشگاه محاسبه گردید. این آزمایشات در آزمایشگاه دانشکده فردوسی مشهد صورت گرفته است.

۲- تکنیک تناسب خاکستری- تاگوچی

هدف آنالیز تناسب خاکستری حل مسایل نامشخص و مبهم می‌باشد پس این الگوریتم ابتدا داده‌ها را نرمال کرده سپس ضرایب و رتبه خاکستری را محاسبه می‌کند. هم‌چنین در کل یک فرآیند فاکتورهایی هستند که بر نتیجه محصول یا فرآیند اثر می‌گذارند. تاگوچی فاکتورها را به فاکتورهای قابل کنترل و غیر قابل‌کنترل تقسیم کرده که باید اثر فاکتورهای غیر قابل کنترلی را بر پارامترهای بهینه بررسی کند. برای بررسی این عوامل نسبت سیگنال به نویز نشان‌دهنده‌ی حساسیت مشخصه کیفی مورد بررسی به فاکتورهای خارجی اثرگذار و غیر قابل‌کنترل (فاکتورهای اغتشاشی) در یک فرایند کنترل شده می‌باشد که هرچه بیشتر باشد اثر فاکتورهای قابل‌کنترل در فرآیند بیشتر خواهد بود.

با توجه به تعاریف فوق، تکنیک تاگوچی- خاکستری هر دو نوع داده مبهم و غیر قابل کنترل را در نظر می‌گیرد. در نتیجه ابتدا مقدار سیگنال به نویز را محاسبه می‌کند سپس داده‌ها را نرمال کرده و ضرایب و رتبه خاکستری را بدست می‌آورد.

اگر هدف، بزرگ‌تر- بهتر باشد، نرخ سیگنال به نویز و مقدار نرمال شده آن از (۱) و (۲) محاسبه می‌شود:

$$SN_{ij} = -10\log\left(\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{Y_{ij}}\right)^2\right) \quad (۱)$$

$$X_i^*(k) = \frac{SN(Y_{ij}) - \min SN(Y_{ij})}{\max SN(Y_{ij}) - \min SN(Y_{ij})} \quad (۲)$$

در روابط فوق Y_{ij} داده‌های اصلی مسأله می‌باشد و $X_i^*(k)$ داده‌ها مسأله پس از محاسبه نرخ سیگنال به نویز و نرمال کردن آن‌ها می‌باشد.

اگر هدف، کوچک‌تر- بهتر باشد، نرخ سیگنال به نویز و مقدار نرمال شده آن عکس (۱) و (۲) می‌باشد.

به دنبال نرمال کردن داده‌ها، ضریب رابطه خاکستری با استفاده از داده‌های نرمال شده قابل محاسبه است که در (۳) Δ_{oi} انحراف داده‌های نرمال شده از داده‌های قابل مقایسه $(X_o^*(k))$ است.

$$\gamma(X_o^*(k), X_i^*(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta\Delta_{\max}} \quad (۳)$$

رتبه تناسب خاکستری- تاگوچی از (۴) محاسبه می‌شود.

$$\Gamma oi = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\gamma(X_o(k), X_i(k)) \quad (۴)$$

اگر از بردار متعامد تاگوچی استفاده شود، می‌توان با استفاده از تابع Average If میانگین رتبه رابطه خاکستری را برای هر سطح بدست آورد. با توجه به این که مقدار بیشتری رتبه خاکستری مطلوب است، سطحی از هر پارامتر ماشین‌کاریی که دارای رتبه رابطه خاکستری بیشتر باشد، نتایج بهتر را بدست می‌دهد.

آخرین مرحله در تکنیک تاگوچی- خاگستری برای بررسی صحت محاسبات، بدست آوردن مقدار پیش‌بینی شده رتبه رابطه خاکستری برای هر یک از آزمایش‌ها در شرایط طراحی بهینه است. در این حالت ترکیب بهینه‌ای که بعد از ترکیب بهینه در دست می‌توان از آن استفاده کرد، مشخص می‌شود.

$$\overline{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^{\alpha}(\eta_m - \overline{\eta}_i) \quad (۵)$$

در (۵) $\overline{\eta}$ مقدار پیش‌بینی شده در شرایط ماشین‌کاری مورد نظر، η_m متوسط کل آزمایشات، $\overline{\eta}_i$ مقدار متوسط در شرایط بهینه و α پارامتر موثر در مدل چند منظوره می‌باشد.

در پایان باید درصد تأثیر هر پارامتر ورودی محاسبه گردد. به این ترتیب که با توجه به هر فاکتور ورودی و سطوح آن‌ها اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم میانگین رتبه خاکستری را بدست آورده سپس برای هر پارامتر این اختلاف بر مجموع اختلافات تقسیم می‌شود. جهت محاسبه مقدار خروجی بهینه، روابط فوق از انتها به ابتدا به صورت برگشتی انجام می‌شود.

۳- نحوه انجام آزمایش‌ها و داده‌های مسأله

در این مسأله، نرخ ماشین‌کاری (MRR-mm^3/min) و زبری سطح (Ra-μm) به عنوان پارامتر خروجی انتخاب شدند. عوامل زیادی بر روی این دو فاکتور اثرگذار می‌باشند اما در این مسأله پارامترهای سرعت برش (m/min)، عمق برش (mm) و نرخ پیشروی (mm/rev) به عنوان فاکتور ورودی انتخاب شدند. زبری سطح از مهم‌ترین فاکتورهای خروجی می‌باشد که تأثیر آن بر قابلیت تمیزکاری، ترانس‌های مونتاژ، ضریب اصطکاک و نرخ سایش قابل چشم‌پوشی نیست. زبری سطح در این فرآیند توسط دستگاه T20 Hommel اندازه‌گیری شده است. برای محاسبه نرخ ماشین‌کاری وزن قطعه کار قبل و بعد از ماشین‌کاری محاسبه شده و تقسیم بر زمان انجام کار شده است. هدف این مسأله حداقل کردن زبری سطح و حداکثر کردن نرخ ماشین‌کاری می‌باشد که درصد اهمیت هر دو پارامتر یکسان می‌باشد. در این مسأله، طول قطعات مورد آزمایش ۱۰۰ میلی‌متر، قطر آن‌ها ۲۵ میلی‌متر و از جنس فولاد St 50.2می‌باشند هم‌چنین دستگاه تراش مورد استفاده، Tezsan-Oncu 260-330/600-C CNC می‌باشد. . الماسه مورد استفاده در این دستگاه دارای استاندارد ISO و شعاع نوک ۰.۴ میلی‌متر می‌باشد. وظیفه اصلی ماشین تراش تغییر در اندازه قطعات، فرم آن‌ها و پرداخت کاری با یک یا چند عمل برش است. با سوار کردن وسایل و دستگاه‌های یدکی روی ماشین‌های تراش دامنه فعالیت آن بسیار گسترش پیدا کرده به طوری که می‌توان به وسیله آن‌ها عملیات مختلفی انجام داد. مثلاً با قرار دادن ابزارهایی مانند برقو، قلاویز و مته عملیاتی چون برقوکاری، قلاویززنی و سوراخ‌کاری روی ماشین تراش به سادگی انجام پذیر می‌باشد جدول (۱) دامنه تغییرات برای هر یک از پارامترهای ورودی را نشان می‌دهد. از آوردن نتایج آزمایشات که از بردار L_{16} تاگوچی استفاده شده است به دلیل حجم زیاد آن خودداری می‌شود.

جدول (۱): دامنه تغییرات پارامترهای ورودی مسأله

عمق برش(mm)	نرخ پیشروی(mm/rev)	سرعت برش(m/min)	سطح
۰.۵	۰.۱	۱۰۰	۱
۱	۰.۲	۱۵۰	۲
۱.۵	۰.۳	۲۰۰	۳
۲	۰.۴	۲۵۰	۴

۳-۱- پیاده سازی تکنیک تناسب خاکستری- تاگوچی در رو تراشی فولاد

در این قسمت ابتدا نرخ سیگنال به نویز محاسبه شده سپس این مقدار نرمال می‌شود. در نهایت رتبه و ضریب خاکستری محاسبه می‌گردد. جدول (۲) نرخ سیگنال به نویز، مقدار نرمال شده، ضریب و رتبه خاکستری را نشان می‌دهد. درجه اهمیت پارامترهای خروجی یکسان و برابر ۰.۵ می‌باشد.

جدول (2): نرخ سیگنال به نویز، سیگنال به نویز نرمال، ضریب و رتبه خاکستری برای خروجی‌ها در رو تراشی فولاد

آزمایش	نرخ ماشین کاری(mm^3/min)	زبری سطح(μm)	S/N MRR(mm^3/min)	S/N Ra(μm)	Norm. MRR	Norm .Ra	GRC. MRR	GRC. Ra	Grade
1	7.5	2.08	17.50	-6.36	0.00	0.21	0.33	0.39	0.36
2	11.25	1.48	21.02	-3.41	0.18	0.37	0.38	0.44	0.41
3	15	0.93	23.52	0.63	0.30	0.58	0.42	0.55	0.48

4	18.75	1	25.46	0.00	0.40	0.55	0.45	0.53	0.49
5	15	3.28	23.52	-10.32	0.30	0.00	0.42	0.33	0.38
6	45	2.38	33.06	-7.53	0.78	0.15	0.69	0.37	0.53
7	60	2.5	35.56	-7.96	0.90	0.13	0.84	0.36	0.60
8	75	2.5	37.50	-7.96	1.00	0.13	1.00	0.36	0.68
9	45	0.5	33.06	6.02	0.78	0.87	0.69	0.80	0.74
10	67.5	0.95	36.59	0.45	0.95	0.57	0.92	0.54	0.73
11	30	2.15	29.54	-6.65	0.60	0.20	0.56	0.38	0.47
12	37.5	0.55	31.48	5.19	0.70	0.83	0.62	0.74	0.68
13	30	0.38	29.54	8.40	0.60	1.00	0.56	1.00	0.78
14	40	0.73	32.04	2.73	0.73	0.70	0.65	0.62	0.63
15	50	0.78	33.98	2.16	0.82	0.67	0.74	0.60	0.67
16	60	1.25	35.56	-1.94	0.90	0.45	0.84	0.48	0.66
ماکزیمم	75	3.28	37.50	8.40					0.58
مینیمم	7.5	0.38	17.50	-10.32					
ماکزیمم-مینیمم	67.5	2.9	20.00	18.72					

در جدول (۳) از رتبه‌های خاکستری جدول (۲) با توجه به پارامترهای ورودی و سطوح آن‌ها و با استفاده از تابع Average If میانگین گرفته شده است. این کار با هدف حداقل کردن زبری سطح و حداکثر کردن نرخ ماشین‌کاری می‌باشد و ترکیب بهینه با توجه به هر دو هدف مشخص می‌شود. در این جدول درصد تأثیرات هر پارامتر ورودی با توجه به اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم نیز مشاهده می‌شود.

جدول (3): محاسبات رتبه خاکستری روش تناسب خاکستری- تاگوچی در رو تراشی فولاد

پارامتر ورودی	سرعت برش(m/min)	نرخ پیشروی(mm/rev)	عمق برش(mm)
سطح پارامتر	میانگین رتبه خاکستری با تاگوچی- خاکستری		
1	0.44	0.56	0.50
2	0.55	0.58	0.53
3	0.66	0.56	0.64
4	0.68	0.63	0.65
میانگین	0.58	0.58	0.58
ماکزیمم - مینیمم	0.25	0.07	0.14
درصد تاثیرات	53.39	15.58	31.03

بنابراین ترکیب فوق بیان می‌کند که با تنظیم سرعت برش در سطح ۴(یعنی ۲۵۰)، نرخ پیشروی در سطح ۴(یعنی ۰.۴)، عمق برش در سطح ۴(یعنی ۲) می‌توان به حداقل مقدار زبری سطح و حداکثر نرخ ماشین‌کاری رسید. اثرگذارترین فاکتور در ترکیب بهینه سرعت برش می‌باشد. جدول (۴) مقادیر خروجی و ترکیب بهینه با روش تناسب خاکستری- تاگوچی را نشان می‌دهد.

جدول (4): ترکیب بهینه و مقدار خروجی روش تاگوچی- خاکستری در رو تراشی فولاد

ترکیب بهینه با توجه به هر دو هدف	پارامتر ورودی	پارامتر خروجی
$C_4F_4D_4$	سرعت برش=۲۵۰	زبری سطح = ۰.۵۵
	نرخ پیشروی= ۰.۴	نرخ ماشین‌کاری = ۶۱.۴۷
	عمق برش= ۲	

در این مرحله پیش‌بینی ترکیب بهینه از بین ۱۶ آزمایش انجام شده صورت می‌گیرد. با توجه به این که سطوح ترکیب بهینه این روش در آزمایش‌ها وجود ندارد، پیش‌بینی نشان می‌دهد آزمایش ۱۴ که دارای ترکیب $C_4F_2D_3$ می‌باشد، به عنوان بهترین آزمایش انتخاب می‌گردد. تفاوت آن با ترکیب بهینه روش تاگوچی- خاکستری در سطح نرخ پیشروی و عمق برش می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

مسایلی که امروزه در صنعت و در دنیای واقعی مطرح می‌شوند دارای چندین هدف مختلف جهت بهینه‌سازی می‌باشند و پارامترهای ورودی متفاوتی در این مسایل مطرح می‌گردد، بهینه‌سازی چندهدفه اهمیت قابل توجهی در صنعت و بخش‌های تولیدی پیدا کرده است. با توجه به اهمیت مسایل بهینه‌سازی و روش‌های حل آن‌ها، امروزه روش‌های جدیدی در این راستا پدید آمده است. یکی از انواع این روش‌ها، روش تناسب خاکستری- تاگوچی می‌باشد. این رویکرد ترکیبی مزایای هر دو روش تاگوچی (تعیین نسبت سیگنال به نویز) و آنالیز خاکستری (همسنگ سازی داده‌ها با هر وزن دلخواه) را دارا می‌باشد. مسأله مورد مطالعه در این تحقیق، رو تراشی فولاد St.50.2 بود که با روش تناسب خاکستری- تاگوچی بهینه گردید و مقدار خروجی محاسبه شد. برای حل این‌گونه مسایل می‌توان از روش‌های دیگری چون آنالیز تناسب خاکستری یا تاگوچی استفاده کرد ولی ترکیب روش‌های فوق نتیجه بهتری را نشان می‌دهد. همچنین برای حل این مسایل می‌توان از مدل‌سازی رگرسیونی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده کرد. مدل‌سازی رگرسیونی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری جوابی بالاتر از بهینه‌سازی ارائه داده و تقریباً جواب بهینه مطلق را ارائه می‌دهند. مدل‌های رگرسیونی را هم بر اساس داده‌های اولیه و هم بر اساس رتبه نهایی تاگوچی- خاکستری می‌توان محاسبه کرد.

۵- تقدیر و تشکر

در پایان از جناب آقای دکتر کلاهان که در انجام این پایان‌نامه و تهیه مقاله همراه ما بودند، متشکریم.

۶- مراجع

[۱]	مهرگان، محمدرضا، **تصمیم‌گیری چندهدفه**، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، ۱۳۸۵
[۲]	R. H. Myers, D. C. Montgomery, "Process and product optimization using designed experiments", Second Edition, Wiley, New York, 2002
[۳]	Ming-Fei Chen, Yu-Sen Ho, Wen-Tse Hsiao, Tse-Hung Wu, Shih-Feng Tseng, Kuo-Cheng Huang, "Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis", Journal of Materials Processing Technology, February 2011
[۴]	Coşkun Hamzaçebi, Mehmet Pekkaya, "Determining of stock investments with grey relational analysis ", Journal of Materials Processing Technology, August 2011

[1] Grey Relational Analysis
[2] Taghuchi
[3] Coeifficient
[4] Grade
[5] Cutting Speed
[6] Depth of Cut
[7] Feed Rate