مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم شماره (۲) پیاپی(۱۱)، پاییز و زمستان ۱۳۹٤
دریافت: ۹۲/۹/۱۵ پذیرش: ۹۳/٤/۹
صص: ۱۲۸ – ۱۱۳

اولویت‌بندی عوامل موثر در عملکرد یک پرتابه با تلفیق روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و طراحی آزمایش های تاگوچی

مطالعه موردی:صنایع منتخب هوا فضا

صابررضا بهرامی[۱]، سروش آوخ[۲]، مهدی کرباسیان[۳]*

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد نجف آباد
۲-استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد قزوین
۳- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه مالک اشتر

چکیده

هدف این پژوهش اولویت‌بندی عوامل موثر بر عملکرد پرتابه است. اولویت‌بندی این عوامل با استفاده از ترکیب روش فرآیند تحلیل سلسله[۱] مراتبی و طراحی آزمایش های تاگوچی، کمک شایانی به طراحان در راستای بهبود عملکرد سازه‌های پرتابی می‌کند. با توجه به اینکه تاکنون با ایجاد تغییر در هریک از عوامل به شکل جداگانه، سعی در افزایش عملکرد پرتابه هاشده است، لذا در این مقاله سعی شده، بااستفاده از ترکیب روش AHP[۲] و طراحی آزمایش‌های تاگوچی تمام عوامل موثر بر عملکرد پرتابه به طور همزمان بررسی و آنها را اولویت‌بندی نماییم. نحوه کار بدین شکل است که ابتدا با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش های تاگوچی، میزان تاثیر هریک از عوامل بر روی دو معیار برد و انحراف از هدف پرتابه محاسبه و سپس با استفاده از روش AHP این عوامل اولویت‌بندی می‌شوند.با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و با در نظر گرفتن وزن مساوی برای دو معیار برد و انحراف از هدف، از بین ۱۱ فاکتور مورد بررسی فاکتور زاویه پرتابدر رتبه اول، سرعت دهانه در رتبه دوم، زمان سوزش در رتبه سوم تاثیر گذاری بر عملکرد پرتابه قرار گرفتند. همچنین، عامل‌های وزن سوخت و سرعت باد به ترتیب در رتبه های دهم و یازدهم این اولویت بندی قرار گرفتند.

واژه های کلیدی: اولویت بندی، عملکرد پرتابه، برد، انحراف از هدف، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، طراحی آزمایش های تاگوچی

---

* نویسنده مسؤول: saber_reza1365@yahoo.com

۱- مقدمه

در سال‌های متمادی، شرکت های غربی به جای تمرکز بر کیفیت در طراحی و توسعه محصول، بر ارتقای کیفیت در فرآیند ساخت و تولید محصول تکیه کردند. ولی امروزه مشخص شده است که فرآیند توسعه محصول اگر از نظر طراحی در سطح بهینه باشد، به بهترین خروجی و بهبود در بلند مدت منجر می گردد(فادکه،۱۳۸۱).

همواره یکی از مسائل و چالش‌های مهم پیش روی مهندسان و طراحان سازنده سیستم های پرتابی برای بهینه‌سازی و بهبود در مشخصه‌های کیفی پرتابه‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تاثیرگذار بر این مشخصه‌های فنی است. عوامل متعددی در زمینه بهبود عملکرد یک پرتابه می تواند موثر باشد. کوردس و همکاران(۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان "برآورد قابلیت اطمینان ترک‌های روی بدنه پرتابه‌ها" عواملی را به عنوان عوامل تاثیر گذار بر عملکرد واقعی پرتابه ها شناسایی کردند. این عوامل عبارتند از: سرعت دهانه، زاویه پرتاب، زمان سوزش، زمان تاخیر، جرم گلوله، تراست، دما، فشار، سرعت باد، وزن سوخت و جهت وزش باد. عوامل یازده گانه پیش گفته از سوی کارشناسان صنایع هوا فضای ارتش آمریکا نیز شناسایی گردیده بود (گردهمایی سالانه سرویس های مشترک نظامی، ۲۰۰۵). ولی از آنجایی که سرمایه گذاری و اصلاح تمام این عوامل برای سازندگان مقدور و مقرون به صرفه نیست، شناسایی عوامل مهم و اولویت بندی آنها برای ارتقا و در نهایت بهبود مشخصه‌های فنی سیستم پرتاب امری مهم و اجتناب ناپذیر است.

اکثر عوامل پیش گفته از نظر مفهوم برای مخاطب مشخص است ولی به طور خلاصه، توضیحاتی راجع به هریک داده می شود. سرعت دهانه و زاویه پرتاب در حقیقت، سرعت و زاویه خروج پرتابه نسبت به جایگاه ثابت است. پرتابه‌های مورد نظر دارای موتورهایی هستند که پس از پرتاب برای کمک به حرکت بیشتر پرتابه، فعال می شوند. این موتورها دارای سوخت هستند که پس از فعال شدن تا مدتی می‌توانند بسوزند و انرژی لازم برای حرکت پرتابه را تامین کنند. مدت زمانی که از لحظه پرتاب تا روشن شدن موتور طول می کشد، زمان تاخیر و مدت زمانی که موتور دارای سوخت است و کار می کند را زمان سوزش می گویند. سوخت مورد نظر دارای وزنی است که در میزان انرژی تولیدی موثر است. تراست به معنای اختلاف بین زمان سوزش و زمان تاخیر است. شرایط محیطی (جوی) که پرتاب در آن شکل می‌گیرد نیز دارای پارامترهای مهمی از قبیل دما و فشار است. سرعت و جهت وزش باد نیز از عوامل تاثیر گذار در کیفیت پرتاب است(گردهمایی سالانه سرویس های مشترک نظامی، ۲۰۰۵).

در خصوص موضوع تحقیق، تحقیقات مرتبط محدودی وجود دارد. چین نانگ لیو و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان مدل انتخاب تامین کننده با استفاده از تابع زیان تاگوچی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی آرمانی، راهکار و مدل جدیدی برای انتخاب تامین کننده ارائه دادند. شارون (۲۰۱۰) در پژوهشی دیگر با عنوان کاربرد AHP و تابع زیان تاگوچی در زنجیره تامین، مدلی را برای تصمیم گیری در زمینه انتخاب مناسب ترین تامین

کننده ارائه داد. هاریش راجپوت و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی بحث استفاده از روش ANOVA برای محاسبه وزن معیارها در AHP فازی تجدید نظر شده را مطرح می نمایند. شاهین و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با عنوان بررسی تاثیر عوامل ۵ گانه(A-B-C-D-E) بر میزان اسیدیته و PH نوشابه فانا با استفاده از روش تاگوچی، بهترین میزان ترکیبات محصول نوشابه فانا را مشخص نمودند. نتایج تحقیق او نشان داد که عوامل A، B، C و E در میزان انحراف اسیدیته و PH نوشابه موثر است.کریمی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای روش‌های تصفیهبی هوازی فاضلاب در شهرک‌های صنعتی شامل روش بستر لجن بی هوازی با جریان روبه بالا (UASB[3])، رآکتور بی هوازی بستر ثابت با جریان رو به بالا (UAFB[4])، رآکتور بافلدار بی هوازی (ABR[5])، فرایند تماس بی هوازی و لاگون بی هوازی را با توجه به معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی وزن دهی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. بر این اساس فرآیندهای UAFB، ABR، UASB، لاگون بی هوازی و فرآیند تماس بی هوازی به ترتیب در اولویت اول تا پنجم قرار گرفتند(۵). همچنین نینگ پی و لو (۲۰۰۵) در پژوهشی دیگر با عنوان ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان با استفاده از روش تاگوچی و AHP بر اساس ٤ معیار کیفیت، تحویل به موقع، قیمت و خدمات روشی را برای انتخاب تامین کنندگان ارایه دادند.

با توجه به اینکه تا کنون هیچگونه پژوهش جامع و مدونی در سطح کشور برای شناسایی میزان تاثیر هر یک از عوامل موثر در عملکرد پرتابه ها شکل نگرفته و نیز تلفیق تکنیک تاگوچی و AHP برای حل مسائل مربوط به اولویت‌بندی همچنان برای پژوهشگران داخلی ناشناخته مانده است، لذا در این پژوهش سعی می شود با تلفیق این دو تکنیک، پارامترهای مورد نظر را شناسایی، اولویت‌بندی و نهایتا تا حد امکان بهبود ایجاد نمود. در ضمن، بر مبنای مطالعه موردی انجام شده در این پژوهش، می‌توان با تنظیم صحیح فرآیند، محصول را در برابر عوامل غیر قابل کنترل مثل فشار و دمای هوا مقاوم نمود.

روش کار به این ترتیب است که با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش‌هاو روش تاگوچی تاثیر(وزن) هریک از عوامل بر روی برد مفید و انحراف از هدف پرتابه را مشخص می کنیم. سپس با استفاده از روش AHP عوامل ۱۱ گانه پیش گفته را که به عنوان گزینه مطرح هستند، بر اساس ۲ معیار برد و انحراف از هدف اولویت بندی می نماییم.

۲- مرور ادبیات موضوع:

۲-۱- تصمیم گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم‌گیری به کار می رود. فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره شامل ٤ مساله اساسی شناسایی و ارزیابی ، وزن دهی ، انتخاب گزینه برتر با استفاده از یک روش MADM[6]و در نهایت تحلیل حساسیت و انتخاب گزینه نهایی است (کریمی و همکاران،۱۳۸۸).

در مرحله شناسایی و ارزیابی، شناسایی تصمیم‌گیرندگان، انتخاب معیارها و مشخص کردن گزینه‌ها انجام شده و ارزیابی گزینه ها در مقابل شاخص‌ها و معیارها شکل می گیرد. انتخاب شاخص‌ها و معیارهای مناسب، مهمترین اثر را بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها دارد (پرتویی،۱۹۸۹). لذا انتخاب شاخص های مناسب برای تصمیم‌گیری از مهم‌ترین مراحل تصمیم گیری چند معیاره است. در مطالعاتی که انجام شده معیارهای مختلفی برای اولویت بندی عوامل موثر در عملکرد یک پرتابه (خمپاره) معرفی گردیده است که از آن جمله می‌توان به هزینه، تاثیرگذاری در برد مفید، میزان انحراف از هدف و تحت کنترل بودن عامل مورد نظر اشاره نمود.

در این مطالعه معیارهای اصلی مقایسه، تاثیر در برد مفید و انحراف از هدف معرفی شدند و ارزیابی معیارها بر اساس استفاده از تجربیات حاصل از طراحی و اجرای پروژه های مشابه در صنایع هوا فضا و نیز استفاده از نظرات خبرگان شکل گرفته است.

وزن‌دهی یکی از مهمترین و مشکل ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره بوده که می تواند عدم قطعیت قابل توجهی در فرآیند تصمیم گیری ایجاد نماید (میان آبادی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه روش های متفاوتی در تشخیص و تعیین میزان اثر فاکتورها بر متغییر پاسخ وجود دارد، روش تاگوچی با تبدیل داده های تکراری به یک مقدار دیگر که بیانگر اندازه تغییرها است، راه استفاده از نسبت های $\frac{S}{N}$را ارائه می دهد(شاهین و همکاران، ۱۳۸۸). در این پژوهش از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی و نسبت های $\frac{S}{N}$، برای تعیین وزن گزینه ها نسبت به معیار های مورد نظر استفاده شد. برای انتخاب گزینه برتر، روش های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در هر مساله ارزیابی و انتخاب، فاکتورها و معیارهایی مطرح هستند که انتخاب بر اساس آنها شکل می‌گیرد. بسیاری از معیارها می توانند کیفی و غیر قابل سنجش باشند. روش های مختلفی تا کنون برای حل یک مساله تصمیم گیری ارائه شده است. در این میان روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روش مناسبی است. زیرا زمانی که معیارهای کمی و کیفی با هم وجود داشته باشند قابل استفاده است(نینک پی و لو، ۲۰۰۵) و (نی دیک و همکاران ۱۹۹۲). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده یرای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است. این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را به شکل سلسله مراتبی فراهم کرده و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرآیند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که یک تکنیک تصمیم‌گیری برای حل مسائل چند معیاره پیچیده در حوزه های کاری مختلف است،روشی قابل انعطاف و کمی برای انتخاب گزینه ها بر اساس عملکرد نسبی آنها نسبت به یک یا تعداد بیشتری معیار

است(لاریچیو و موشکویچ، ۱۹۹۵) و (ساعتی، ۲۰۰۰). این روش، رویکردی موثر و عملیاتی بوده که می تواند تصمیمات غیرساختاری و پیچیده را در نظر بگیرد(بروشاکی و همکاران، ۲۰۰۸). انتخاب این روش بر اساس ویژگی‌های موضوع مورد بررسی و همچنین، مزایا و معایب دیگر روش های تصمیم‌گیری بوده است. چند دلیل استفاده از AHP به جای دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به شرح زیر است:

۱. در این روش، معیارهای کمی و کیفی در تصمیم گیری استفاده می شوند و تنها مدل تصمیم گیری چند معیاره است که می تواند سازگاری قضاوت تصمیم گیرندگان را اندازه گیری نماید.

۲. مقایسه زوجی در روش AHP به تصمیم گیرندگان اجازه می دهد وزن معیارها و یا رتبه گزینه‌ها را از ماتریس‌های مقایسات زوجی استخراج کنند و تعداد زیادی از معیارها می توانند در نظر گرفته شوند.

۳. AHP به تصمیم گیرندگان کمک می کند که جنبه‌های بحرانی مساله را به داخل یک ساختار سلسله مراتبی وارد نموده و مطابق با مساله، ساختار سلسله مراتبی انعطاف پذیری بسازند (لینکو و همکاران، ۲۰۰۷).

٤. روش AHP مسائل تصمیم گیری پیچیده را با قرار دادن گزینه ها در ساختار سلسله مراتبی حل می کند. ساختار سلسله مراتبی که از طریق مقایسات زوجی قضاوت های مستقل ایجاد می گردد، نسبت به تلاش هایی که تمام تصمیمات و معیارها را به طور همزمان اولویت بندی می کند، دارای ترجیح است(پرتوی، ۱۹۹٤).

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به شکل زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می گردد که این وزن ها، وزن نسبی نام دارد. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد. وزن نهایی (وزن مطلق) از مجموع حاصلضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست می‌آید(محمودزاده و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۳- طراحی آزمایشات (DOE[۷]) و روش تاگوچی

بیشتر فرآیندها پس از عبور از مقیاس آزمایشگاهی و نیمه صنعتی به مرحله صنعتی و تولید انبوه وارد می شوند. بنابراین، لازم است مخصوصاً در مرحله آزمایشگاهی، آزمایش‌هایی برای بهینه‌سازی پارامترهای موثر با طراحی های خاص شکل گیرد. در این زمینه به منظور کاهش تعداد آزمایش‌ها، نظم، دقت و تسریع در داده های به دست آمده و کاهش هزینه ها و زمان، استفاده از روش هایی موسوم به طراحی آزمایش‌ها که تحلیل های آماری را در پی دارند، اجتناب ناپذیر است. طراحی آزمایشات علاوه بر موارد پیش گفته، قادر به محاسبه تاثیر کنش پارامترهای ورودی بر میزان تغییرات متغییر خروجی و همچنین، وزن‌دهی عوامل موثر در آزمایش است (بوربورثابت، سال شانزدهم).

امروزه طراحی آزمایش ها نقش موثری در بهبود فرآیند و محصولات، کاهش تغییرات و هزینه‌های کیفی دارد. این ابزار موثر در دنیای رقابتی امروز، به

عنوان یک روش کارا ثابت شده است و بیشتر شرکت‌ها و سازمان های موفق از آن بهره جسته و پیشرفت های اساسی در سطح شرکت و سازمان خود به وجود آورده اند. روش های متفاوتی به نام طراحی آزمایش ها وجود دارند که با توجه به شرایط و محدودیت ها برای اجرا در یک سازمان تولیدی و یا حتی خدماتی قابل استفاده هستند (مونتگومری، ۱۳۸۵).

زمانی که ژاپن کار بازسازی خود را پس از جنگ جهانی دوم آغاز کرد با کمبود شدید مواد خام، تجهیزات با کیفیت و مهندسین ماهر روبه رو شد و رقابت برای تولید محصولات با کیفیت بالا و تداوم بهبود کیفیت را تحت آن شرایط آغاز کرد. کار ابداع یک متدولوژی برای برخورد با مساله رقابت به دکتر جنیچی تاگوچی که در آن زمان مهندس مسئول توسعه محصولات مخابراتی ویژه در آزمایشگاه‌های ارتباطات الکتریکی بود، واگذار شد. وی به کمک پژوهش هایش در سال های ۱۹۵۰ و ۱۹٦۰ اصول طراحی اثر زدا را توسعه داد و اساس کار خود را با به کار بستن نظریه هایش در توسعه محصولات مختلف اعتبار بخشید (فادکه، ۱۳۸۱). وی با معرفی این روش، جایزه دمینگ را در سال ۱۹٦۲ دریافت کرد. روش تاگوچی به عنوان یکی از روش های طراحی آزمایش ها از طرفداران بیشماری برخوردار است. این روش طرفدار فلسفه کاربردی مهندسی کیفیت است و سه مرحله را در گسترش تولید یا فرآیند تولید بررسی می کند(شاهین و همکاران، ۱۳۸۸):

۱- طراحی سیستم ۲- طراحی پارامتر
۳- طراحی تلرانس

در طراحی سیستم، مهندس از اصول علمی و مهندسی برای تعیین پیکره‌بندی پایه‌ای استفاده می‌کند. در مرحله طراحی پارامتر، مقادیر خاص پارامترهای سیستم تعیین می شوند و در مرحله طراحی تلرانس و یا طرح تحمل، بهترین مقادیر تحمل برای تلرانس‌ها استفاده می شود. آشنایی با فلسفه و درک درست این روش راه را برای اجرای مداوم آن هموار می کند(مونتگومری، ۱۳۸۵).

۳- روش پژوهش

۳-۱- انتخاب عوامل موثر بر برد و انحراف از هدف پرتابه و تعیین سطوح آن ها

در این مرحله در صدد آن برآمدیم تا متغییرهای ورودی تاثیر گذار بر عملکرد پرتابه را بررسی کنیم. از آنجاییکه در زمینه موضوع پژوهش اطلاعات کافی در اختیار نبود، لذا با در نظر گرفتن پژوهشی که ارتش ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۵ انجام داده بود (گردهمایی سالانه سرویس های مشترک نظامی، ۲۰۰۵)، و نیز جلسه طوفان ذهنی که با حضور جمعی از منتخبین صنایع هوافضای کشور انجام شد، یکسری عوامل و سطوح آنها مطابق جدول شماره ۱ شناسایی و پیشنهاد گردید.

۳-۲- انتخاب طرح آزمایش

قدم مهم بعدی در انجام پژوهش انتخاب طرحی است که بر اساس آن باید آزمایش ها را انجام داد. در آزمایش های مشتمل بر چند عامل که در آنها مطالعه

توام عوامل بر پاسخ ضروری است، طراحی آزمایش‌های تاگوچی به شکل وسیعی کاربرد دارد. از جمله دلایل ترجیح دادن این روش نسبت به دیگر روش های سنتیطراحی آزمایشات مانند طرح های عاملی می توان به تعداد آزمایش های کمتر، بررسی اثرهای متقابل و نیز تعیین وزن اثرگذاری هر یک از عوامل بر روی پاسخ های مساله اشاره نمود. از دیگر مزایای این طرح هزینه و زمان کمتر نسبت به سایر طرح ها و نیز امکان تنظیم عوامل در سطوح مختلف است. با توجه به تعداد عوامل موثر موجود و سطوح آنها طرح مناسب برای انجام آزمایش های تاگوچی انتخاب می شود.

۳-۳- انجام آزمایش

بعد از مشخص شدن طرح آزمایش و ترتیب انجام آن، نوبت به انجام آزمایش می رسد. با توجه به مخرب بودن و پر هزینه بودن انجام واقعی آزمایش‌ها، از نرم افزار شبیه‌ساز پرتاب استفاده شد که دقت بالا و درجه انطباق ۹۸٪ با واقعیت دارد. آزمایش ها به شکل کاملا تصادفی اجرا شد و در نهایت برای اطمینان بیشتر چند پرتاب واقعی نیز انجام شد که صحت آزمایشات را تایید نمود. اطلاعات مربوط به اجرای آزمایشات در جدول شماره ۲ ذکر شده است.

۳-٤-تجزیه و تحلیل داده هانسبت $\frac{S}{N}$[۸]

با توجه به اینکه افزایش برد و کاهش انحراف از هدف برای ما دارای مطلوبیت است، با استفاده از فرمول $\frac{S}{N}$بزرگتر- بهتر برای پارامتر برد و $\frac{S}{N}$کوچکتر- بهتر برای پارامتر انحراف از هدف، می‌توان مقدارهای $\frac{S}{N}$را برای هر تیمار آزمایشی یافت. حال با داشتن نسبت های $\frac{S}{N}$برای تمام ترکیبات حاصل از آزمایش‌ها، به راحتی می توان با یافتن اثر هر فاکتور در سطوح مورد آزمایش و سپس کم کردن آنها از هم، اثر و در ادامه وزن هر عامل روی برد و انحراف از هدف را یافت. در ادامه، به محاسبه این اثرها در جدول شماره ۳ و ٤ پرداخته خواهد شد و گراف‌های مربوطه نیز برای تحلیل بیشتر اثر هر یک از پارامترها بر روی معیارهای برد و انحراف از هدف ارائه می‌شوند.

۳-۵- اجرای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در این مرحله نمودار سلسله مراتبی تصمیم گیری را رسم کرده، وزن هر گزینه و هر شاخص را مشخص می نماییم. همانطور که قبلا گفته شد ۲ معیار برد و انحراف از هدف دارای وزن برابر هستند. به عبارتی برای طراحان و سازندگان سیستم های پرتابی به همان اندازه که افزایش برد مهم است، کاهش خطا و انحراف از هدف پرتابه نیز اهمیت دارد. برای تعیین وزن گزینه ها نسبت به شاخص افزایش برد و کاهش انحراف، از نسبت های $\frac{S}{N}$حاصل از روش تاگوچی استفاده شد. سپس با استفاده از نرم افزار ExpertChoice اولویت بندی به روش AHP را انجام می دهیم. از جمله دلایل استفاده از روش AHP می‌توان به سادگی و فهم نسبتا خوب این روش

نسبت به سایر روش های تصمیم‌گیری چند معیاره اشاره نمود.

٤ – مطالعه موردی و یافته های پژوهش

پژوهش مورد نظر در یکی از صنایع منتخب هوافضای کشور که برای اجرای طرح پیش گفته مناسب بود، شکل گرفت. با توجه به مطالعات انجام شده و همچنین، مصاحبه با کارشناسان صنعت مذبور، در قدم اول ۱۱ عامل موثر بر عملکرد پرتابه شناسایی و معرفی گردید که ۱۰ عامل در ۳ سطح و ۱ عامل در ۲ سطح قابل تنظیم بود (جدول ۱).

برای طراحی جدول آزمایش های تاگوچی از نرم افزار MINITAB16 استفاده شد. با توجه به تعداد عوامل و سطوح تنظیمی هریک از آن‌ها جدول L36 انتخاب گردید. سپس تمام ۳٦ آزمایش مورد نظر با استفاده از نرم افزار شبیه ساز انجام و نتایج آن در جدول ۲ ثبت گردید.

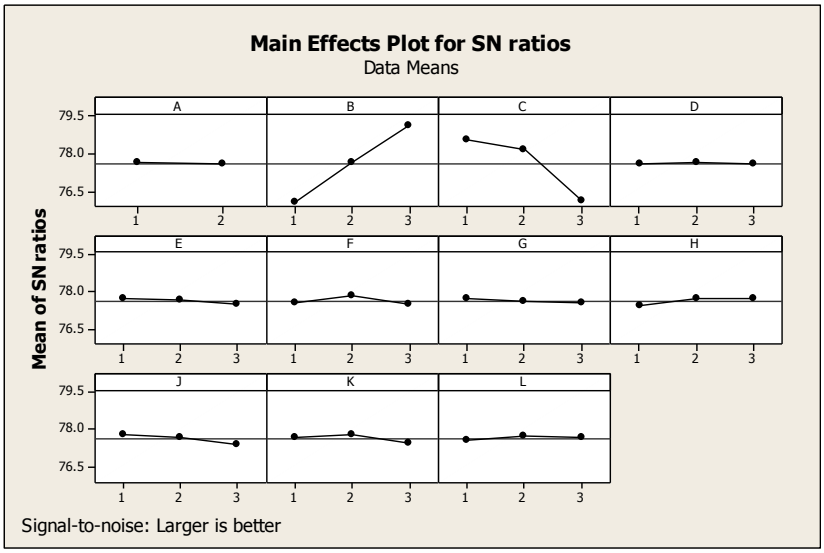
جدول۱– فاکتورها و مقادیر مربوطه

پارامتر	واحد	نشانه	سطح۱	سطح۲	سطح۳
جهت وزش باد	----------				-------
		A	موافق	مخالف	–
سرعت دهانه		B	۱۷۲	۲۱۳	۲٦٥
زاویه پرتاب	درجه	C	٥٥/٦	٦۰	۷٥
زمان سوزش	ثانیه	D	۲/٤	۲/٦	۲/۸
زمان تاخیر	ثانیه	E	٤/٥	٥	٥/٥
جرم گلوله	کیلوگرم	F	۱٥/۸	۱٦	۱٦/۲
تراست	ثانیه	G	۸۳۰	۸٤۰	۸٥۰
دما	سانتیگراد	H	۰	۲۰	٥٤
فشار	پاسگال	J	۷۸	۸٥	۹۳
سرعت باد		K	شمال	شرق	غرب
وزن سوخت	گرم	L	۰	۱۰	۲۰

جدول۲- طراحی آزمایش ها به روش تاگوچی و نتایج حاصله

RUN	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	میانگین برد	S/N	میانگین انحراف از هدف	S/N
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	٦٩١٣	٧٦/٧٩	٧٥	٣٧/٥٠-
۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	٨٥٣٢	٧٨/٣١	٦١	٣٥/٧٠-
۳	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	٦٧٧٥	٧٦/٦١	٤٦	٣٣/٢٥-
٤	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳	٧٤١٠	٧٧/٤٠	٧٦	٣٧/٦١-
٥	۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۱	۱	٨٠٣٤	٧٨/١٠	٥٩	٣٥/٤١-
٦	۱	۳	۳	۳	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲	٧٧٢٦	٧٧/٧٦	٣٩	٣١/٨٢-
۷	۱	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۳	۳	۲	۱	٦٨٥١	٧٦/٧٢	٨١	٣٨/١٦-
۸	۱	۲	۲	۱	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۲	٨٣٦٤	٧٨/٤٥	٥٧	٣٥/١١-
۹	۱	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۳	٧٤٤٢	٧٧/٤٣	٤٥	٣٣/٠٦-
۱۰	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۱	۳	۲	۱	۲	٦٩٦٧	٧٦/٨٦	٧٨	٣٧/٨٤-
۱۱	۱	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۱	۳	۲	۳	٨٤٢٠	٧٨/٥١	٦٧	٣٦/٥٢-
۱۲	۱	۳	۳	۱	۲	۲	۳	۲	۱	۳	۱	٧٤٦٦	٧٧/٤٦	٣٣	٣٠/٣٧-
۱۳	۱	۱	۲	۱	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۳	٦٥٥٨	٧٦/٣٤	٦٦	٣٦/٣٩-
۱٤	۱	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۱	۲	۳	۱	٦٦٥٩	٧٦/٤٧	٤٢	٣٢/٤٦-
۱٥	۱	۳	۱	۳	۲	۱	۲	۲	۳	۱	۲	١٠٨٤٦	٨٠/٧١	٦٤	٣٦/١٢-
۱٦	۱	۱	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۳	۳	۳	٦٩٠٣	٧٦/٧٨	٦٩	-٣٦/٧٧
۱۷	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۱	۱	٦٢٣٣	٧٥/٨٩	٤٠	٣٢/٠٤-
۱۸	۱	۳	۱	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۲	١٠٩٢٤	٨٠/٧٧	٥٩	٣٥/٤١-
۱۹	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۳	۲	۱	۱	۲	٦٤٠٩	٧٦/١٤	٦٣	٣٥/٩٨-
۲۰	۲	۲	۳	۱	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۳	٦٣٢٣	٧٦/٠٢	٣٤	٣٠/٦٢-
۲۱	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۲	۱	۳	۳	۱	١٠٩٦٨	٨٠/٨٠	٦٠	٣٥/٥٦-
۲۲	۲	۱	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۳	۱	٦٧٨١	٧٦/٦٣	٦٧	٣٦/٥٢-
۲۳	۲	۲	۳	۱	۳	۲	۱	۲	۳	۱	۲	٦٤٦١	٧٦/٢١	٤١	٣٢/٢٥-
۲٤	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۲	۳	۱	۲	۳	٩٤٥٧	٧٩/٥٢	٤٧	٣٣/٤٤-
۲٥	۲	۱	۳	۱	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۳	٥٥٥٥	٧٤/٨٩	٤٠	٣٢/٠٤-
۲٦	۲	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۲	۱	۲	۱	٨٤٤٧	٧٨/٥٣	٦٧	٣٦/٥٢-
۲۷	۲	۳	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۲	۳	۲	٩٥٣٨	٧٩/٥٩	٤٥	٣٣/٠٦-
۲۸	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۲	٥٤٦٠	٧٤/٧٤	٤٣	٣٢/٦٦-
۲۹	۲	۲	۱	۳	۳	۲	۳	۱	۲	۱	۳	٨١٢٢	٧٨/١٩	٦٩	٣٦/٧٧-
۳۰	۲	۳	۲	۱	۱	۳	۱	۲	۳	۲	۱	٩٨٨٨	٧٩/٩٠	٤٩	٣٣/٨٠-
۳۱	۲	۱	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۱	٥٤٨٣	٧٤/٧٨	٤٥	٣٣/٠٦-
۳۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۲	٨٥٠٦	٧٨/٥٩	٦٥	٣٦/٢٥-
۳۳	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۳	٩١٨٤	٧٩/٢٦	٤٣	٣٢/٦٦-
۳٤	۲	۱	۳	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۲	۲	٥٥٤٨	٧٤/٨٨	٤٢	٣٢/٤٦-
۳٥	۲	۲	۱	۳	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۳	٨١٢١	٧٨/١٩	٦٣	٣٥/٩٨-
۳٦	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۳	۲	۱	۱	٩٨٤٤	٧٩/٨٦	٥٠	٣٣/٩٧-

با توجه به گراف اثرهای اصلی و نیز نسبت‌های $\frac{S}{N}$ حاصل برای هر ۳٦ ترکیب آزمایش، به محاسبه اثر هر عامل و نحوه تاثیر گذاری آن، پرداخته شد. برای این کار پس از محاسبه میانگین سطوح مختلف هر عامل و سپس کم کردن حدبیشتر و حداقل آنها از یکدیگر، اثر و در ادامه وزن هر عامل روی برد و انحراف از هدف برآورد شد که نتایج آن در جدول‌های ۳ و ٤ بیان گردیده است. گراف‌های خطی نیز کمک شایانی در تشخیص اثر هر عامل بر روی معیارهای مورد نظر می کنند.

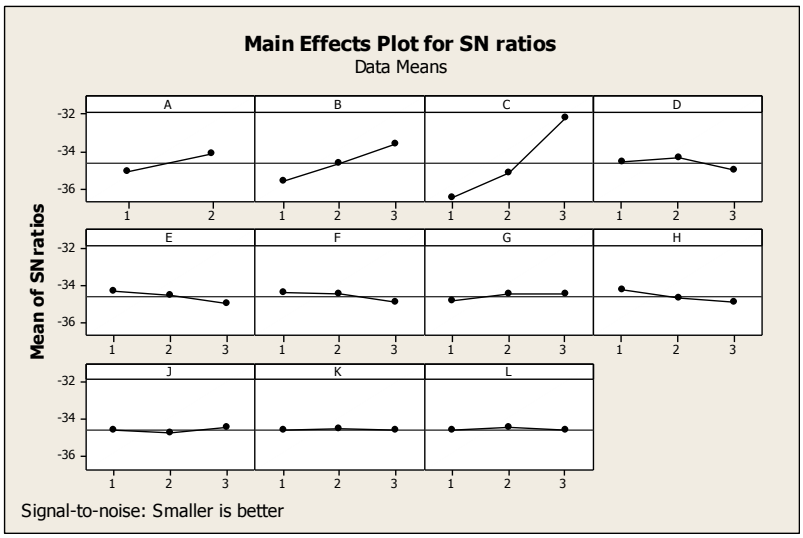


شکل ۱- اثرهای اصلی پارامترها بر روی برد

جدول ۳- اثر و وزن عامل ها در افزایش برد مفید

نشانه	عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	اثر عامل در افزایش برد	وزن عامل در افزایش برد
A	جهت وزش باد	۷۷/٦۳۰	۷۷/٥۹۰	------	-۰/۰۳٥	۰/۰۰٤
B	سرعت دهانه	۷٦/۰۷۰	۷۷/٦۱۰	۷۹/۱٥۰	۳/۰۸۰	۰/٤۲۱
C	زاویه پرتاب	۷۸/٥۹۰	۷۸/۱٥۰	۷٦/۱۰۰	-۲/٤۹	۰/۳٤۰
D	زمان سوزش	۷۷/٥۹۰	۷۷/٦٥۰	۷۷/٦۰۰	۰/۰٦۰	۰/۰۰۸
E	زمان تاخیر	۷۷/۷۲۰	۷۷/٦۱۰	۷۷/٤۷۰	-۰/۲٤٥	۰/۰۳۳
F	جرم گلوله	۷۷/٥٥۰	۷۷/۸۱۰	۷۷/٤٦۰	-۰/۳٤۳	۰/۰٤٦
G	تراست	۷۷/٦۹۰	۷۷/٥۹۰	۷۷/٥٥۰	-۰/۱۳۱	۰/۰۱۷
H	دما	۷۷/٤۱۰	۷۷/۷۰۰	۷۷/۷۲۰	۰/۲۹۰	۰/۰۳۹
I	فشار	۷۷/۷۹۰	۷۷/٦٥۰	۷۷/٤۰۰	-۰/۳۹۰	۰/۰٥۳
K	سرعت باد	۷۷/٥۳۰	۷۷/٦٦۰	۷۷/٦٤۰	۰/۱۳۰	۰/۰۱۷
L	وزن سوخت	۷۷/٦۸۰	۷۷/٥٦۰	۷۷/٥۹۰	-۰/۱۲۰	۰/۰۱٦

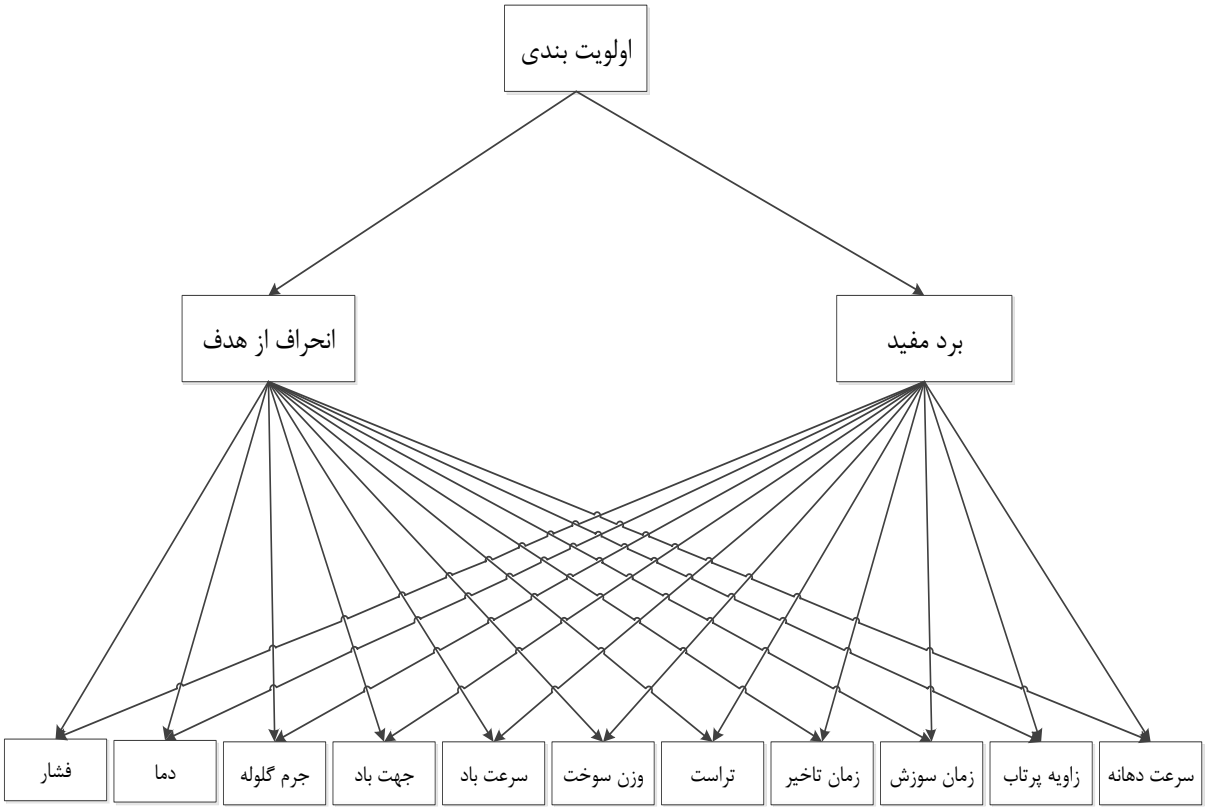
با توجه به شکل ۱ و جدول ۳ عامل سرعت دهانه در رتبه اول، زاویه پرتاب در رتبه دوم، فشار هوا در رتبه سوم، جرم گلوله در رتبه چهارم، دمای هوا در رتبه پنجم و زمان تاخیر در رتبه ششم اثر گذاری روی برد مفید قرار دارند. عامل های تراست، سرعت باد، وزن سوخت، زمان سوزش و جهت وزش باد به ترتیب در اولویت های هفتم تا یازدهم این اثرگذاری هستند.



شکل ۲- اثرهای اصلی پارامترها بر روی انحراف از هدف

جدول ٤-اثر و وزن عامل ها در کاهش انحراف از هدف

نشانه	عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	اثر عامل در انحراف از هدف	وزن عامل در انحراف از هدف
A	جهت وزش باد	-۳۵/۰۸۰	-۳٤/۰۹۰	---	۰/۹۹۵	۰/۰۷۹
B	سرعت دهانه	-۳۵/۵۸۰	-۳٤/٦٤۰	-۳۳/۵٤۰	۲/۰۳۹	۰/۱٦۲
C	زاویه پرتاب	۳٦/٤۳۰	-۳۵/۱٦۰	-۳۲/۱۷۰	٤/۲۵٦	۰/۳۳۹
D	زمان سوزش	-۳٤/۲۸۰	-۳۱/۸۹۰	-۳٤/۹٤۰	-۳/۰۵۱	۰/۲٤۳
E	زمان تاخیر	-۳٤/۵۱۰	-۳٤/۳۱۰	-۳٤/۹۵۰	-۰/٦۳٦	۰/۰۵۰
F	جرم گلوله	-۳٤/۸٦۰	-۳٤/٤۲۰	-۳٤/٤۸۰	۰/٤٤۱	۰/۰۳۵
G	تراست	-۳٤/٤۱۰	-۳٤/٤۹۰	-۳٤/۸۷۰	-۰/۰۷۰	۰/۰۰۵
H	دما	-۳٤/۵۷۰	-۳٤/۷۷۰	-۳٤/٤۷۰	۰/۳۰۲	۰/۰۲٤
I	فشار	-۳٤/۲۰۰	-۳٤/٦۷۰	-۳٤/۸۸۰	-۰/٦۷۷	۰/۰۵٤
K	سرعت باد	-۳٤/٦٤۰	-۳٤/٦۳۰	-۳٤/٦۳۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۷
L	وزن سوخت	-۳٤/٦۱۰	-۳٤/۵٦۰	-۳٤/۵۹۰	۰/۰۵۷	۰/۰۰٤



شکل ۳ –نمودار سلسله مراتبی

با توجه به شکل ۲ و جدول ٤ عامل زاویه پرتاب در رتبه اول، زمان سوزش در رتبه دوم، سرعت دهانه در رتبه سوم، جهت وزش باد در رتبه چهارم، فشار هوا در رتبه پنجم و زمان تاخیر در رتبه ششم اثر گذاری روی انحراف از هدف پرتابه قرار دارند. عامل‌های جرم گلوله، دمای هوا، تراست، سرعت باد و وزن سوخت به ترتیب در اولویت های هفتم تا یازدهم این اثر گذاری هستند.

در این مرحله با توجه به اینکه تمام عوامل موثر بر عملکرد پرتابه به همراه وزن آنها مشخص شده است، می توان نمودار سلسله مراتبی را رسم و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را انجام داد. شکل ۳ نمودار سلسله مراتبی را به وضوح نمایش می دهد.

وزن مساوی برای شاخص های برد و انحراف از هدف (هر کدام ۰,۵) و اجرای روش AHP، اولویت‌بندی نهایی عوامل موثر بر عملکرد پرتابه شکل گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۵ ذکر گردیده است. برای اولویت‌بندی عوامل به روش AHP از نرم افزار ExpertChoice استفاده شد. شایان ذکر است، برای محاسبه وزن دو شاخص برد و انحراف از هدف پرسشنامه‌ای بر مبنای مقایسات زوجی طراحی گردید و به کارشناسان و خبرگان صنعت مربوطه ارائه گردید و بر مبنای پاسخ های آن، وزن این دو معیار ۰,۵ محاسبه شد.

جدول ۵- اولویت بندی نهایی پارامترها موثر بر عملکرد پرتابه

اولویت	نام پارامتر	نشانه	وزن نهایی
اول	زاویه پرتاب	C	۰/۳۳۹۸
دوم	سرعت دهانه	B	۰/۲۹۱۸
سوم	زمان سوزش	D	۰/۱۲۵۷
چهارم	فشار	I	۰/۰۵۳۶
پنجم	جهت وزش باد	A	۰/۰٤۲۰
ششم	زمان تاخیر	E	۰/۰٤۲۰
هفتم	جرم گلوله	F	۰/۰٤۱۰
هشتم	دما	H	۰/۰۳۱۸
نهم	تراست	G	۰/۰۱۱۹
دهم	وزن سوخت	L	۰/۰۱۰٤
یازدهم	سرعت باد	K	۰/۰۰۹۲

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، عامل زاویه پرتابدر رتبه اول، سرعت دهانهدر رتبه دوم، زمان سوزش در رتبه سوم، فشار در رتبه چهارم، جهت وزش باد در رتبه پنجم، زمان تاخیر در رتبه ششم، جرم گلوله در رتبه هفتم، دمای محیط در رتبه هشتم، تراست در رتبه نهم، وزن سوخت در رتبه دهم و نهایتاً عامل سرعت باد در رتبه آخر قرار گرفت.

۵- بحث

با توجه به نتایج حاصل از روش تاگوچی و تحلیل نسبت‌های $\frac{S}{N}$، اثر هریک از عوامل مورد بررسی بر روی برد و انحراف از هدف محاسبه شد که عوامل سرعت دهانه، زاویه پرتاب و فشار به ترتیب دارای بیشترین اثر روی برد مفید و عوامل زاویه پرتاب، زمان سوزش و سرعت دهانه در اولویت‌های بالای اثرگذاری بر انحراف از هدف قرار دارند. استفاده از روش تاگوچی به عنوان یکی از متدهای طراحی آزمایش ها این امکان را به ما می‌دهد تا همزمان با بررسی اثرهای اصلی، اثرهای متقابل عوامل را نیز بررسی نماییم. در پژوهش های انجام شده در گذشته عموماً برای اولویت‌بندی یا از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و یا از روش طراحی آزمایش ها به شکل جداگانه استفاده می‌شد. به عنوان مثال شاهین و همکاران(۱۳۸۸) از روش تاگوچی و کریمی و همکاران (۱۳۸۸) از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین میزان اثر و رتبه بندی عوامل استفاده کردند. در این پژوهش سعی

شد با استفاده همزمان از روش تاگوچی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بهترین اولویت‌بندی را انجام دهیم. از پژوهش‌های مشابه در روش پژوهش می‌توان به پژوهشی که شارون (۲۰۱۰) با عنوان کاربرد AHP و تابع زیان تاگوچی در زنجیره تامین انجام داد، اشاره نمود. البته وجه تمایز پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های مشابه پیشین استفاده از روش طراحی آزمایش های تاگوچی به جای استفاده از تابع زیان تاگوچی و تلفیق آن با روش AHPاست. از طرفی پژوهش های مدون و منسجمی در زمینه شناسایی عوامل موثر بر عملکرد پرتابه در کشور انجام نشده است و اندک مطالعات انجام شده در این زمینه صرفا به بررسی هر یک از عوامل به شکل جداگانه پرداخته اند که نتایج محکم و قابل اتکایی به دست نمیداد. لذا در این پژوهش سعی شد با انجام مطالعه‌ای وسیع و منسجم عوامل موثر بر عملکرد پرتابه ها را شناسایی و اولویت بندی نمود.

با در نظر گرفتن نتایج حاصل پیشنهاد می گردد برای ایجاد بهبود در عملکرد پرتابه، بر روی عوامل زاویه پرتاب، سرعت دهانه، زمان سوزش و زمان تاخیر تغییراتی ایجاد شود.

٦- نتیجه گیری

در این پژوهش، از روش تاگوچی به عنوان یکی از روش های طراحی آزمایش ها ، به منظور شناسایی عوامل موثر بر عملکرد پرتابه؛ و از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به عنوان یکی از روش های تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی این عوامل، استفاده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از روش تاگوچی، از میان ۱۱ عامل مورد بررسی عوامل سرعت دهانه، زاویه پرتاب، فشار، جرم گلوله، دما، زمان تاخیرو تراست به ترتیب دارای بیشترین اثر روی برد مفید موثر می‌باشند. از طرفی با توجه به معیار انحراف از هدف عوامل زاویه پرتاب، زمان سوزش، سرعت دهانه، جهت وزش باد، فشار، زمان تاخیر و جرم گلوله در اولویت های بالاتر قرار دارند. لذا با استفاده از روش AHP و با در نظر گرفتن وزن مساوی برای معیارهای انحراف از هدف و برد، عامل های زاویه پرتاب،سرعت دهانه و زمان سوزشبه ترتیب در اولویت های اول تا سوم اثر گذاری بر روی عملکرد پرتابه قرار گرفتند. عامل های فشار در رتبه چهارم، جهت وزش باد در رتبه پنجم، زمان تاخیر در رتبه ششم، جرم گلوله در رتبه هفتم، دمای محیط در رتبه هشتم و تراست در رتبه نهم این اولویت‌بندی قرار دارند. نهایتاً عوامل وزن سوخت و سرعت باد در اولویت های دهم و یازدهم این رتبه بندی قرار گرفتند (جدول ۵).

همچنین، بهترین ترکیب عوامل برای داشتن بیشترین برد مفید، آزمایش شماره ۲۱ و بهترین ترکیب عوامل برای داشتن کمترین انحراف از هدف، آزمایش شماره ۱۲ است. همچنین، مقادیر پیشنهادی برای عواملی که توسط طراحان و سازندگان این نوع پرتابه ها قابل تنظیم است، با توجه به آزمایش شماره ۲۷ که در هر دو شاخص دارای مطلوبیت نسبی است، مطابق با جدول شماره ٦ است.

جدول ٦- مقادیر بهینه برای بهترین عملکرد

نام پارامتر	مقادیر پیشنهادی
زاویه پرتاب	٦٠
سرعت دهانه	٢٦٥
زمان سوزش	٢/٨
زمان تاخیر	٤/٥
جرم گلوله	١٦
تراست	٨٣٠
وزن سوخت	١٠

در ادامه پیشنهاد می گردد با در نظر گرفتن اثر متقابل بین عوامل، در پژوهشات آتی از روش های دیگر تصمیم گیری چند معیاره از قبیل ANP و TOPSIS استفاده گردد. همچنین، استفاده از دیگر روش های طراحی آزمایش ها مثل روش طرح های عاملی کسری و مقایسه نتایج حاصل از آن با روش اجرا شده در این پژوهش (تاگوچی)، می تواند کمک شایانی در انتخاب روش مناسب طراحی آزمایش ها برای اینگونه مسائل باشد.

منابع

گردهمایی سالانه سرویس های مشترک نظامی مربوط به سلاح‌های سبک و نمایش قدرت نظامی؛۲۰۰۵."بررسی دقت و ظرافت مکانیزم خمپاره انداز ۱۲۰ میلی متری". ارائه شده برای پیاده نظام بین المللی.

بوربور ثابت، نسیم؛. مجله روشن، سال شانزدهم، شماره ۱۱۰"حل قدم به قدم یک مساله DOE با استفاده از نرم افزار MINITAB

شاهین، آرش؛ نوارچیان، امیرحسین؛ مومیوند، علیرضا؛ (۱۳۸۸). "کاربرد روش تاگوچی در بررسی کاهش انحراف مقادیر پارامترها از مقدار هدف (مطالعه موردی:اسیدیته و PH نوشابه فانا در کارخانه روزنوش کرمانشاه)

فادکه، م.س. (۱۳۸۱). مهندسی کیفیت با استفاده از طراحی اثر زدا، ترجمه عبدالحسین خدایوندی، همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.۷۱-۱۲۳

کریمی، عبدالرضا؛ مهردادی، ناصر؛ هاشمیان، سید جمال الدین؛ ، نبی بید هندی، غلامرضا؛ توکلی مقدم، رضا؛ ۱۳۸۸. "انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP

مونتگمری،داگلاس سی؛ ۱۳۸۵. طرح و تحلیل آزمایش‌ها، ترجمه غلامحسین شاهکار، چاپ دوم، تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ٤٨٨-٥٠٦

Boroushaki,S., and Malczewski, J. (2008). "Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS." *Computers and Geosciences*, 34, 399-410

Chin-Nung Liao., Hsing-Pei Kao.(2010). Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. *Computers & Industrial Engineering*

Expert Choice. (2000). *Quick start guide & tutorials: User's manual*, PA: Expert Choice Inc., Pittsburgh, 37- 45

Ghodsi-pour, S. H. (2007). *Analytical hierarchy process (AHP)*, 5th Ed., Amirkabir University of Tech. Pub., Tehran. (In Persian), 12(3), 4- 9

Hajkowich,S.,Young,M.,wheeler,s.,Macdonald,D. ,and Young,D.(2009)."Supporthng decisions:understanding natural resource management assessment techniques" CSIRO landand water, 7(2)- 6- 7

function and an AHP". Springer-verlag London limited 2005, 27(2), 625–630

Nydick, R.L., Hill, R.P (1992). "Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure", *Journal of Purchasing and Materials*; 25(2): 31-36.

Partovi, F.Y., Burton, J., Banerjee, A. (1989). "Application of analytic hierarchy process in operations management", *International Journal of Operations and Production Management*; 10(3), 5-19.

Partovi, F. Y. (1994). "Determining what to benchmark: An analytic hierarchy process approach."*Int. J. of*, 16(4), 117- 136

Cordes, J.A., Thomas, J., Wong, R.S., Carlucci, D.(2009). Reliability estimates for flawed mortar projectile bodies; 8(1), 2- 5

Saaty, T.L.(2000).Fundamentals of decision making and priority theory, 2nd Ed., PA: RWS Pub., 23(3), 7- 19

Pittsburgh.

sharon M.Ordoobadi.(2010). Application of AHP and Taguchi loss function in supply chain. 110(8), 1251- 1269

Harish C. Rajput, Abbas S. Milani, Andrew Labun.(2011). "Including time dependency and ANOVAin decision-making using the revised.".Applied Soft Computing, 19(1), 15-28.

Larichev, O.I.,and Moshkovich , H.M.(1995). "ZAPROS-LM-a method and system for ordering multi attribute alternatives". *European J.of operational Research*, 82, 503-521

Linkov, I., Satterstrom, F.K., Steevens, J., Ferguson, E., and Pleus, R.C. (2007). "Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials." *J. of Nanoparticle Research*, 9, 543-554.

Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar M., and Zaeri, M. S. (2007). "Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique", *J. of Engineering and Technology*, 14(4), 6- 13

Mianabadi,H.,and Afshar,A.(2008). "Multi-attribute decision- making to Rank urban water supply scheme". *J.of water and wastewater*,*m*, 66, 34-45. (In Persian)

Ningpi-Wei,.Low Chinyao (2005). "Supplier evaluation and selection via Taguchi Loss

پانوشت

1- Analytical Hierarchy Process
2- Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
3- Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor (UAFB)
4- Upflow Anaerobic Baffled Reactor (ABR)
5- Multi Attribute Decision Making
6- Design Of Experiments
7- Signal To Noise