

ارائه چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی پروژه‌های توسعه‌ای تحت محدودیت منابع: مطالعه موردی کارخانه گاز سوزان

رضا سلطانی تهرانی، رویا محمدعلی پوراهری
گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

نویسنده مسئول: رویا محمدعلی پوراهری (۰۳۱۴۲۲۹۲۵۹۷-roya.ahari@iau.ac.ir)

چکیده: در محیط‌های پروژه‌محور صنعتی، تصمیم‌گیری بهینه در خصوص اولویت‌بندی پروژه‌ها تحت محدودیت منابع، نیازمند چارچوب‌های تحلیلی چندمعیاره است. این پژوهش با هدف اولویت‌بندی شش پروژه توسعه‌ای در کارخانه گاز سوزان، از چارچوب AHP-TOPSIS تحت شرایط عدم قطعیت بهره گرفت. معیارهای تصمیم شامل سودآوری، ریسک فنی، مدت زمان اجرا، اهمیت استراتژیک و نیاز به منابع بوده و وزن آن‌ها از طریق AHP تعیین شد. رتبه‌بندی پروژه‌ها با TOPSIS انجام و تحلیل مونت کارلو با ۵۰۰۰ تکرار به منظور بررسی پایداری نتایج اجرا گردید. پروژه «حمل و نصب ایستگاه اندازه‌گیری LBV با شاخص نزدیکی Ci برابر با ۰.۷۰۹ در رتبه نخست قرار گرفت و در ۹۴.۰۶٪ از تکرارها جایگاه اول را حفظ کرد. در مقابل، پروژه «بهینه‌سازی انبار قطعات» با مقدار Ci معادل ۰.۳۷۰ پایین‌ترین اولویت را کسب نمود. یافته‌ها مؤید کارایی و پایداری چارچوب پیشنهادی در اولویت‌بندی پروژه‌ها در شرایط واقعی است.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ مدیریت پروژه؛ تحلیل سلسله‌مراتبی؛ اولویت‌بندی پروژه‌ها؛ تحلیل عدم قطعیت.

۱. مقدمه

مدیریت پروژه در صنعت، به‌ویژه در محیط‌هایی با منابع محدود و پیچیدگی بالا، همواره با چالش تصمیم‌گیری در مورد اولویت و زمان‌بندی پروژه‌ها مواجه است. در چنین شرایطی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) ابزار مناسبی برای بهینه‌سازی تصمیمات سیاست‌گذاری سازمانی فراهم می‌کنند [1]. به‌ویژه، ترکیب AHP برای وزن‌دهی معیارها و TOPSIS برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، یکی از رایج‌ترین رویکردها در ادبیات تحقیق محسوب می‌شود و در حوزه‌های مهندسی و صنعتی کاربرد گسترده‌ای دارد [2].

با این حال، بیشتر مدل‌های کلاسیک MCDM فرض می‌کنند داده‌ها دقیق و بدون خطا هستند؛ در حالی که در شرایط واقعی، عدم قطعیت و عدم‌تعیین‌پذیری مشهود است. برای غلبه بر این چالش، استفاده از تحلیل مونت کارلو جهت وارد کردن عدم قطعیت در وزن معیارها و عملکرد گزینه‌ها توصیه شده است [3]. همچنین، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که ترکیب AHP با روش‌های شبیه‌سازی، قابلیت انعطاف‌پذیری و پایداری تصمیم‌گیری را در مسائل پیچیده افزایش می‌دهد. در این راستا، در مطالعه حاضر به بررسی و اولویت‌بندی شش پروژه کلیدی در کارخانه گاز سوزان پرداخته می‌شود. پروژه‌های مورد نظر شامل تصحیح‌کننده توربینی، مانیتورینگ، طراحی رگلاتور، بهینه‌سازی انبار، حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری گاز با ظرفیت SCM/H ۱۳۰۰۰۰، تامین ایستگاه CGS و سه دستگاه فیلتر سپریاتور هستند. هدف این مقاله، ارائه یک چارچوب MCDM ترکیبی شامل AHP برای وزن‌دهی معیارها، TOPSIS برای رتبه‌بندی پروژه‌ها، و تحلیل مونت کارلو برای ارزیابی عدم قطعیت است.

این چارچوب نه تنها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا پروژه‌ها را بر اساس معیارهای استراتژیک، فنی، هزینه‌ای و زمانی اولویت‌بندی کنند، بلکه با تحلیل عدم قطعیت، اثربخشی برنامه‌ریزی و تخصیص منابع پروژه را در شرایط واقعی افزایش می‌دهد. نتایج مطالعه‌ی موردی می‌تواند به مدیران پروژه در محیط‌های صنعتی مشابه کمک کند تا تصمیمات بهینه و مقاوم در مواجهه با عدم قطعیت اتخاذ نمایند.

۲. مرور ادبیات

در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت پروژه و تخصیص بهینه منابع شناخته شده است. این رویکردها در شرایطی که تصمیم‌گیرنده با چندین معیار متضاد روبه‌روست، به‌ویژه در محیط‌های صنعتی و پروژه‌محور، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند [1]. روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ [5] معرفی شد، از رایج‌ترین تکنیک‌ها برای وزن‌دهی به معیارها در چارچوب‌های MCDM محسوب می‌شود. این روش با ساختار سلسله‌مراتبی، امکان ترکیب قضاوت‌های ذهنی خبرگان و استخراج اولویت‌های عددی را فراهم می‌کند. در کنار آن، روش TOPSIS که بر مبنای نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل طراحی شده است [6]، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در بسیاری از پژوهش‌های صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است [7].

مطالعات متعددی کاربرد ترکیبی AHP-TOPSIS را در مسائل مدیریتی بررسی کرده‌اند. برای مثال، زاوادسکاس و همکاران در سال ۲۰۱۶ [2] چارچوبی برای انتخاب استراتژی در پروژه‌های ساخت‌وساز ارائه کردند که در آن از AHP برای وزن‌دهی و از TOPSIS برای رتبه‌بندی استفاده شد. در مطالعه‌ای دیگر، سلطانی کرباسچی در سال ۲۰۲۳ [8] با به‌کارگیری مدل AHP-TOPSIS، اولویت‌بندی پروژه‌های زیربنایی در شرایط کمبود منابع را بررسی کردند.

با این حال، بسیاری از این پژوهش‌ها فرض می‌کنند که اطلاعات قطعی و بدون خطا در دسترس است، حال آن‌که در عمل، معیارها و ارزیابی‌ها تحت تأثیر عدم قطعیت قرار دارند. برای مقابله با این چالش، برخی مطالعات از روش‌هایی مانند تحلیل مونتاژ کارلو جهت مدل‌سازی عدم قطعیت در مقادیر ورودی و وزن معیارها استفاده کرده‌اند [9]. این رویکردها با شبیه‌سازی هزاران سناریو، به تصمیم‌گیرنده امکان تحلیل حساسیت و پایداری تصمیم‌ها را می‌دهند. بررسی ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه چارچوب‌های MCDM در مدیریت پروژه به‌طور گسترده استفاده شده‌اند، اما کمتر مطالعه‌ای به ترکیب AHP، TOPSIS و تحلیل عدم قطعیت در قالب مطالعه موردی واقعی صنعتی پرداخته است. بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر اولویت‌بندی پروژه‌های کارخانه گاز سوزان، تلاشی است برای پر کردن این خلأ و ارائه الگویی کاربردی در تصمیم‌گیری پروژه‌ای.

۳. روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و با رویکرد توصیفی - تحلیلی است که به منظور اولویت‌بندی پروژه‌های توسعه‌ای در کارخانه گاز سوزان طراحی شده است. چارچوب پیشنهادی متکی بر ترکیب سه روش تصمیم‌گیری شامل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تکنیک تاپسیس (TOPSIS) و شبیه‌سازی مونتاژ کارلو جهت تحلیل عدم قطعیت است (شکل ۱). فرایند اجرای پژوهش در پنج مرحله اصلی به شرح زیر صورت گرفته است:

۳.۱. تعریف گزینه‌های تصمیم و معیارهای ارزیابی

در گام نخست، با مشارکت مدیر پروژه و کارشناسان ارشد فنی کارخانه، فهرستی از شش پروژه توسعه‌ای مهم به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب شد:

۱. پروژه تصحیح‌کننده توربینی
 ۲. پروژه مانیتورینگ ایستگاه گاز
 ۳. پروژه طراحی رگلاتور
 ۴. پروژه بهینه‌سازی انبار قطعات
 ۵. پروژه حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری با ظرفیت ۱,۳۰۰,۰۰۰ SCM/H
 ۶. پروژه تأمین ایستگاه CGS و سه دستگاه سپریتور
- همچنین با استناد به ادبیات موضوع و مصاحبه با متخصصان پروژه، پنج معیار کلیدی برای ارزیابی پروژه‌ها مشخص شد:

- C1: میزان سودآوری پروژه
- C2: ریسک فنی و اجرایی
- C3: مدت زمان اجرای پروژه
- C4: اهمیت استراتژیک برای سازمان
- C5: میزان نیاز به منابع انسانی و تجهیزاتی

۳.۲. رتبه‌بندی پروژه‌ها با روش TOPSIS

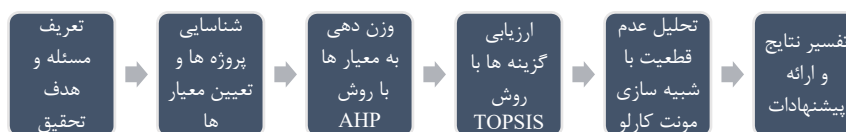
در این مرحله، ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس مقادیر عددی مربوط به هر پروژه (مانند هزینه، زمان، امتیاز فنی) تشکیل گردید. پس از نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و ضرب در وزن‌های AHP، فاصله پروژه‌ها از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه شد و بر اساس شاخص نزدیکی (Ci) رتبه‌بندی نهایی پروژه‌ها صورت گرفت.

۳.۳. مدل‌سازی عدم قطعیت با تحلیل مونتاژ کارلو

برای در نظر گرفتن نوسانات احتمالی در مقادیر معیارها و وزن‌ها، شبیه‌سازی مونتاژ کارلو اجرا شد. در این بخش، وزن معیارها و نمرات پروژه‌ها به‌صورت توزیع نرمال ($\mu \pm 10\%$) تعریف گردید و در ۵۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی، پایداری رتبه‌بندی پروژه‌ها بررسی شد.

۳.۴. تحلیل اعتبار و قابلیت کاربرد چارچوب

نتایج نهایی با ارزیابی کیفی مدیر پروژه و کارشناسان فنی مقایسه و اعتبارسنجی شد. همچنین با استفاده از تحلیل حساسیت، اثر تغییرات وزن معیارها بر رتبه‌بندی پروژه‌ها بررسی گردید که بیانگر پایداری قابل قبول مدل در شرایط ناپایدار بود.



شکل ۱. مراحل کلی انجام تحقیق

۴. مطالعه موردی

کارخانه گازسوزان به عنوان یکی از شرکت‌های فعال در زمینه، انتقال، کنترل و توزیع گاز طبیعی، به منظور افزایش بهره‌وری عملیاتی، کاهش ریسک‌های ایمنی و ارتقاء زیرساخت‌های فنی خود، در نظر دارد تعدادی پروژه توسعه‌ای را طی سال جاری اجرا نماید. با توجه به محدودیت منابع انسانی، تجهیزاتی و مالی مدیریت ارشد پروژه نیازمند چارچوبی نظام‌مند برای اولویت‌بندی این پروژه‌ها در راستای بهره‌برداری بهینه از منابع موجود است. نبود یک سیستم ساخت‌یافته موجب تصمیم‌گیری‌های سلیقه‌ای و کاهش بهره‌وری منابع شده است. در این پژوهش، شش پروژه اصلی شناسایی شده‌اند که در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند. این پروژه‌ها با مشارکت مدیر پروژه و کارشناسان فنی شرکت انتخاب شده‌اند و شامل پروژه‌هایی با ماهیت اجرایی، فنی و زیرساختی هستند.

جدول ۱. مشخصات زمانی پروژه‌های توسعه‌ای کارخانه گازسوزان

کد پروژه	عنوان پروژه	مدت زمان اجرا (ماه)
P1	تصحیح‌کننده توربینی	۷
P2	مانیتورینگ ایستگاه گاز	۶
P3	طراحی رگلاتور	۹
P4	بهینه‌سازی انبار	۵
P5	حمل و نصب ایستگاه LBV	۹
P6	تامین و نصب ایستگاه CGS	۱۰

در مرحله بعد، به منظور اولویت‌بندی این پروژه‌ها، پنج معیار کلیدی برای ارزیابی تعیین شد:

- C1: میزان سودآوری (افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه عملیات، درآمدزایی غیرمستقیم)
- C2: ریسک فنی و اجرایی (احتمال بروز خطا یا خرابی، پیچیدگی نصب، ریسک ایمنی)
- C3: مدت زمان اجرا (ملاک زمانی که به صورت معکوس در تحلیل در نظر گرفته می‌شود)
- C4: اهمیت استراتژیک برای سازمان (همراستایی با اهداف کلان، الزام قانونی یا قراردادی)
- C5: نیاز به منابع (حجم نیروی انسانی و تجهیزاتی موردنیاز)

برای هر پروژه، مقدار معیارهای فوق با بهره‌گیری از داده‌های تاریخی پروژه‌های مشابه، تجربه مدیران پروژه و نظر خبرگان فنی استخراج شد (جدول ۲). این داده‌ها در قالب یک ماتریس تصمیم‌گیری تدوین شد و برای محاسبه وزن معیارها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده گردید. سپس، با استفاده از تکنیک TOPSIS و تحلیل مونت‌کارلو، پروژه‌ها رتبه‌بندی و حساسیت مدل نسبت به تغییرات داده‌ها بررسی شد. نتایج رتبه‌بندی در بخش بعدی ارائه خواهد شد.

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری پروژه‌ها بر اساس پنج معیار اصلی

کد پروژه	عنوان پروژه	سود آوری (C1)	ریسک فنی (C2)	مدت زمان (C3)	اهمیت استراتژیک (C4)	نیاز به منابع (C5)
P1	تصحیح‌کننده توربینی	۷	۶	۶	۸	۵
P2	مانیتورینگ ایستگاه گاز	۶	۵	۷	۷	۶
P3	طراحی رگلاتور	۵	۷	۵	۶	۶
P4	بهینه‌سازی انبار	۶	۴	۸	۵	۸
P5	حمل و نصب ایستگاه LBV	۸	۶	۵	۹	۴
P6	تامین و نصب ایستگاه CGS	۹	۵	۴	۸	۵

روش نرمال‌سازی: از روش نرمال‌سازی برداری (Vector Normalization) استفاده می‌کنیم که فرمول آن به صورت رابطه (۱) است:

$$rij = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

که در آن:

- X_{ij} : مقدار خام معیار j برای گزینه i
- i_{ij} : مقدار نرمال شده
- n : تعداد گزینه‌ها (در اینجا ۶ پروژه)

ماتریس نرمال شده تصمیم‌گیری در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. ماتریس نرمال‌شده تصمیم‌گیری

کد پروژه	عنوان پروژه	سود آوری (C1)	ریسک فنی (C2)	مدت زمان (C3)	اهمیت استراتژیک (C4)	نیاز به منابع (C5)
P1	تصحیح‌کننده توربینی	۰,۴۱۰	۰,۴۳۹	۰,۴۰۹	۰,۴۴۸	۰,۳۵۲
P2	مانیتورینگ ایستگاه گاز	۰,۳۵۲	۰,۳۶۵	۰,۴۷۸	۰,۳۹۲	۰,۴۲۲
P3	طراحی رگلاتور	۰,۲۹۳	۰,۵۱۲	۰,۳۴۱	۰,۳۳۶	۰,۴۲۲
P4	بهینه‌سازی انبار	۰,۳۵۲	۰,۲۹۲	۰,۵۴۶	۰,۲۸۰	۰,۵۶۳
P5	حمل و نصب ایستگاه LBV	۰,۴۶۹	۰,۴۳۹	۰,۳۴۱	۰,۵۰۴	۰,۲۸۱
P6	تامین و نصب ایستگاه CGS	۰,۵۲۷	۰,۳۶۵	۰,۲۷۳	۰,۴۴۸	۰,۳۵۲

۵. تعیین وزن معیارها با استفاده از AHP

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytic Hierarchy Process – AHP) یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط توماس ساعتی ارائه شد. این روش بر پایه مقایسه زوجی معیارها بنا شده و هدف آن استخراج وزن نسبی هر معیار بر اساس قضاوت کارشناسان است.

۵.۱. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی

پنج معیار $C1$ تا $C5$ داریم. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است تصمیم‌گیرنده یا گروه خبرگان با استفاده از طیف مقیاس ۹-درجه‌ای ساعتی اهمیت نسبی معیارها را دو به دو مقایسه می‌کنند.

جدول ۴. ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	C5	C4	C3	C2	C1
C1	۵	۴	۳	۲	۱
C2	۴	۳	۲	۱	۰,۵
C3	۳	۲	۱	۰,۵	۱/۳
C4	۲	۱	۰,۵	۱/۳	۱/۴
C5	۱	۰,۵	۱/۳	۱/۴	۱/۵

در این جدول:

- مقدار ۲ در خانه $C1$ vs $C2$ یعنی $C1$ نسبت به $C2$ دو برابر مهم‌تر است.
- تقارن ماتریس برقرار است ($A_{ij} = 1/A_{ji}$)

۵.۲. نرمال‌سازی ماتریس مقایسه زوجی

برای نرمال‌سازی، ابتدا جمع هر ستون از ماتریس را حساب کرده و سپس مقدار هر خانه را بر مجموع ستون خودش تقسیم می‌کنیم. به رابطه (۲) دقت کنید.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

۵.۳. محاسبه وزن نهایی هر معیار

پس از نرمال‌سازی، میانگین هر ردیف (سطر) را طبق رابطه (۳) به‌عنوان وزن نهایی معیار به‌دست می‌آوریم:

$$w_j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} a_{ij} \quad (3)$$

این w_j که مقدار آن در جدول ۵ نمایش داده شده است نشان‌دهنده اهمیت نسبی معیار j است.

معیار	وزن (w_j)
C1	۰,۳۰
C2	۰,۲۵
C3	۰,۲۰
C4	۰,۱۵
C5	۰,۱۰

مجموع وزن‌ها باید برابر یک باشد. ماتریس نرمال شده وزنی در جدول ۶ نشان داده شده است.

۵.۴. بررسی نرخ ناسازگاری

برای اطمینان از اعتبار قضاوت‌های کارشناسی، نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود:

گام اول: محاسبه بردار وزن ضرب شده مطابق رابطه (۴)

$$W \times A = AW \quad (4)$$

گام دوم: محاسبه $\lambda_{\max}$ مطابق با رابطه (۵)

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(\frac{(AW)_i}{w_i} \right) \quad (5)$$

گام سوم: محاسبه شاخص ناسازگاری (CI) مطابق با رابطه (۶):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

گام چهارم: محاسبه نرخ ناسازگاری (CR) مطابق با رابطه (۷)

$$\frac{CI}{RI} = CR \quad (7)$$

که در آن RI مقدار شاخص تصادفی استاندارد است و برای $n=5$ برابر $RI = 1.12$ است
نتیجه:

- اگر $CR < 0.1$ قابل قبول است
- اگر $CR \geq 0.1$ ناسازگاری زیاد است و نیاز به بازنگری دارد.

جدول ۶. ماتریس نرمال‌شده وزنی

کد پروژه	عنوان پروژه	C1*0.30	C2*0.25	C3*0.20	C4*0.15	C5*0.10
P1	تصحیح کننده توربینی	۰,۱۲۳	۰,۱۱۰	۰,۰۸۲	۰,۰۶۷	۰,۰۳۵
P2	مانیتورینگ ایستگاه گاز	۰,۱۰۶	۰,۰۹۱	۰,۰۹۶	۰,۰۵۹	۰,۰۴۲
P3	طراحی رگلاتور	۰,۰۸۸	۰,۱۲۸	۰,۰۶۸	۰,۰۵۰	۰,۰۴۲
P4	بهینه سازی انبار	۰,۱۰۶	۰,۰۷۳	۰,۱۰۹	۰,۰۴۲	۰,۰۵۶
P5	حمل و نصب ایستگاه LBV	۰,۱۴۱	۰,۱۱۰	۰,۰۶۸	۰,۰۷۶	۰,۰۲۸
P6	تامین و نصب ایستگاه CGS	۰,۱۵۸	۰,۰۹۱	۰,۰۵۵	۰,۰۶۷	۰,۰۳۵

۶. تحلیل TOPSIS

تحلیل TOPSIS یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن رتبه‌بندی پروژه‌ها انجام می‌شود. این بخش شامل اجرای گام‌های نهایی

روش TOPSIS بر اساس ماتریس نرمال شده وزنی است و به‌طور خلاصه به شکل زیر انجام می‌شود:

ابتدا راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) برای هر معیار شناسایی می‌شود. این مقادیر به ترتیب نمایانگر بهترین و بدترین مقدار ممکن در بین پروژه‌ها برای هر معیار هستند (جدول ۷).

سپس فاصله اقلیدسی هر پروژه تا A^+ (نشان‌دهنده میزان دوری از حالت مطلوب) و تا A^- (نشان‌دهنده نزدیکی به بدترین حالت) محاسبه می‌شود (جدول ۸).

در نهایت، شاخص نزدیکی (C_i) برای هر پروژه محاسبه می‌گردد که نشان می‌دهد هر گزینه چقدر به حالت ایده‌آل نزدیک است. پروژه‌ای که بالاترین مقدار C_i را دارد، در اولویت نخست قرار می‌گیرد (جدول ۹).

۶.۱. تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و منفی (A^-)

- اگر معیار از نوع سود (Benefit) باشد: $A^+ =$ بیشینه مقدار هر ستون، $A^- =$ کمینه مقدار هر ستون
 - اگر معیار از نوع هزینه (Cost) باشد (مانند مدت زمان و نیاز به منابع): $A^+ =$ کمینه، $A^- =$ بیشینه
- نوع معیار ها:

- C1: سود (Benefit) بیشینه بهتر
- C2: سود (Benefit) بیشینه بهتر
- C3: هزینه (Cost) کمینه بهتر
- C4: سود (Benefit) بیشینه بهتر
- C5: هزینه (Cost) کمینه بهتر

جدول ۷. استخراج A^+ و A^- از ماتریس نرمال شده وزنی

معیار	نوع معیار	A^+ (ایده‌آل مثبت)	A^- (ایده‌آل منفی)
C1	سود	(P6) ۰,۱۵۸	(P3) ۰,۰۸۸
C2	سود	(P3) ۰,۱۲۸	(P4) ۰,۰۷۳
C3	هزینه	(P6) ۰,۰۵۵	(P4) ۰,۰۱۰۹
C4	سود	(P5) ۰,۰۷۶	(P4) ۰,۰۴۲
C5	هزینه	(P5) ۰,۰۲۸	(P4) ۰,۰۵۶

۶.۲. محاسبه فاصله هر گزینه از A^+ و A^-

فرمول فاصله اقلیدسی:

فاصله از A^+ مطابق با رابطه (۸)

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_{ij} - A_j^+)^2} \quad (8)$$

فاصله از A^- مطابق با رابطه (۹)

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_{ij} - A_j^-)^2} \quad (9)$$

جدول ۸. فاصله هر پروژه از مقدار A^+ و A^-

کد پروژه	S^+ (فاصله از ایده‌آل مثبت)	S^- (فاصله از ایده‌آل منفی)
P1	۰,۰۴۷۶	۰,۰۶۳۱
P2	۰,۰۵۷۲	۰,۰۵۶۴
P3	۰,۰۷۷۷	۰,۰۴۷۶
P4	۰,۰۸۶۱	۰,۰۵۰۵
P5	۰,۰۳۱۴	۰,۰۷۶۷
P6	۰,۰۳۶۹	۰,۰۶۳۰

۶.۳. محاسبه شاخص نزدیکی Ci

فرمول محاسبه شاخص نزدیکی Ci مطابق با رابطه (۱۰)

$$Ci = \frac{\bar{S}_i}{\bar{S}_i + \bar{S}_i^+}$$

(۱۰)

جدول ۹. نتایج شاخص نزدیکی Ci

رتبه	Ci (شاخص نزدیکی)	کد پروژه
۱	۰.۷۰۹	P5
۲	۰.۶۳۱	P6
۳	۰.۵۷۰	P1
۴	۰.۴۹۶	P2
۵	۰.۳۸۰	P3
۶	۰.۳۷۰	P4

پروژه P5 (حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری) با بالا ترین شاخص نزدیکی (Ci=0.709) در رتبه اول قرار دارد.

پروژه P6 (تامین ایستگاه CGS و سپریتور) در رتبه دوم، و پروژه P1 (تصحیح‌کننده توربینی) در رتبه سوم قرار گرفتند.

پروژه‌های P3 و P4 با شاخص نزدیکی پایین تر، در اولویت انتهایی هستند.

نتایج تحلیل مونت کارلو بر اساس ۵۰۰۰ بار شبیه‌سازی درصد دفعاتی که هر پروژه رتبه اول را کسب کرده است را نشان می‌دهد (جدول ۱۰)

جدول ۱۰. درصد دفعاتی که هر پروژه رتبه اول را کسب کرده است.

رتبه	کد پروژه	درصد رتبه اول
۱	P5	۹۴.۰۶٪
۲	P6	۵.۸۸٪
۳	P1	۰.۰۶٪
۴	P2	۰.۰۰٪
۵	P4	۰.۰۰٪
۶	P3	۰.۰۰٪

- پروژه P5 (حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری) در ۹۴٪ از تکرارها رتبه اول را کسب کرده است، که نشان‌دهنده پایداری بسیار بالایی آن در مواجهه با نوسانات داده‌ها است.
- پروژه P6 (تامین ایستگاه CGS و سپریتور) نیز در حدود ۶٪ از مواقع در رتبه نخست ظاهر شده است و گزینه نسبتاً پایدار به شمار می‌رود.
- پروژه‌های دیگر به ندرت در جایگاه نخست قرار گرفته‌اند.

این نتایج نشان می‌دهد که چارچوب AHP-TOPSIS با تحلیل عدم قطعیت نیز از اعتبار و پایداری تصمیمات حمایت می‌کند. بویژه در مورد پروژه P5.

۷. تحلیل نتایج و بحث

پس از انجام مراحل الگوریتم TOPSIS بر روی شش پروژه اولویت‌دار کارخانه گاز سوزان، شاخص نزدیکی (Ci) برای هر پروژه محاسبه و رتبه‌بندی نهایی انجام شد. نتایج نشان داد که پروژه P5 (حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری با ظرفیت SCM/H ۱,۳۰۰,۰۰۰) با بیشترین مقدار Ci برابر با ۰.۷۰۹، بالاترین اولویت را در میان پروژه‌ها به خود اختصاص داده است. این امر نشان‌دهنده ارزش استراتژیک بالای این پروژه و نسبت مناسب آن بین سودآوری، اهمیت فنی، و زمان اجرای قابل قبول است. این پروژه از نظر شاخص اهمیت استراتژیک بالاترین امتیاز (۰.۰۷۶) را در ماتریس نرمال شده وزنی کسب کرد.

پروژه P6 (تامین ایستگاه CGS و سه دستگاه فیلتر سپریتور ۱۰ اینچ) نیز با شاخص نزدیکی ۰.۶۳۱ در رتبه دوم قرار گرفت. علی‌رغم آنکه مدت زمان اجرای این پروژه نسبتاً طولانی است (۱۰ ماه)، اما امتیاز بالای آن در معیار سودآوری (۰.۱۵۸) و اهمیت استراتژیک، نقش مؤثری در ارتقاء رتبه آن ایفا کرده است. این امر بیانگر آن است که در مدل تصمیم‌گیری MCDM، معیارهای استراتژیک و اقتصادی می‌توانند نقش غالب‌تری نسبت به زمان یا منابع ایفا کنند، به‌ویژه در پروژه‌هایی با ارزش افزوده بالا.

پروژه P1 (تصحیح‌کننده توربینی) با شاخص نزدیکی ۰.۵۷۰ در رتبه سوم قرار گرفت. این پروژه اگرچه دارای سودآوری مناسبی است و مدت زمان اجرای متوسطی دارد، اما نسبت به پروژه‌های P5 و P6 در معیار اهمیت استراتژیک و ریسک فنی امتیاز کمتری کسب کرده است. پروژه P2 (سیستم مانیتورینگ) با شاخص Ci

برابر ۰.۴۹۶ در رتبه چهارم قرار گرفت. این نتیجه می‌تواند ناشی از سطح متوسط سودآوری و استراتژیک آن باشد، اگرچه این پروژه از نظر مدت زمان و منابع وضعیت خوبی دارد.

پروژه‌های P3 (طراحی رگلاتور) و P4 (بهینه‌سازی انبار)، به ترتیب در رتبه‌های پنجم و ششم قرار گرفتند. هر دو پروژه در مقایسه با سایر گزینه‌ها دارای شاخص سودآوری پایین‌تری بودند و در سایر معیارها نیز نتوانستند امتیاز برجسته‌ای کسب کنند. با این حال، پروژه P4 به دلیل نیاز کم به منابع (۰.۰۵۶) و زمان اجرای کوتاه (۵ ماه)، می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مکمل یا فازبندی پروژه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

در مجموع، نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی AHP-TOPSIS توانست با لحاظ کردن پنج معیار کلیدی و وزن‌دهی تخصصی، بین اهداف مالی، فنی و زمانی سازمان توازن برقرار کرده و پروژه‌هایی را به‌عنوان اولویت اول معرفی کند که بیشترین ارزش استراتژیک را در مقابل کمترین ریسک و هزینه زمانی ارائه می‌دهند.

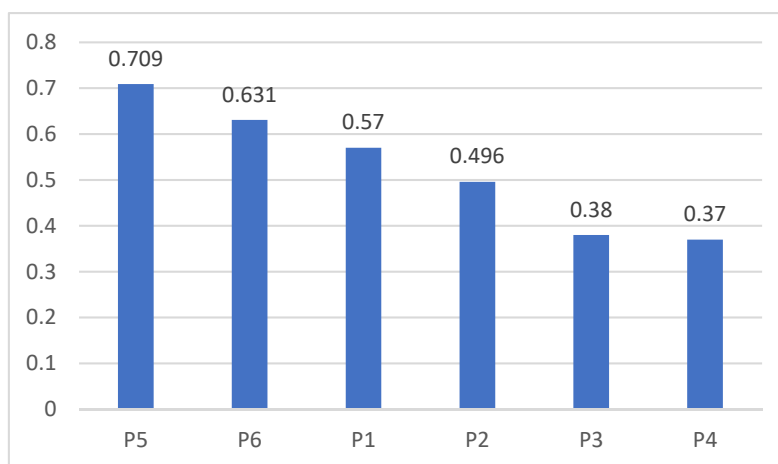
همچنین، استفاده از نرمال‌سازی برداری و تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی در روش TOPSIS به‌خوبی توانست حساسیت‌های تصمیم‌گیری را در برابر معیارهای گوناگون آشکار کند. اگرچه در این تحقیق عدم قطعیت با تحلیل مونت‌کارلو نیز مدل‌سازی شد (در مرحله قبلی)، تحلیل C_i در شرایط قطعی نیز نشان‌دهنده پایداری ساختار تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی بوده است.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

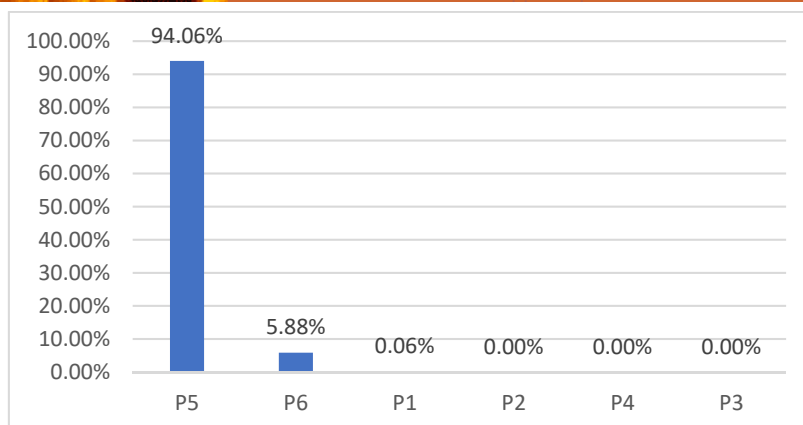
در این پژوهش، با هدف اولویت‌بندی پروژه‌های توسعه‌ای کارخانه گاز سوزان در شرایط محدودیت منابع، یک چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی مبتنی بر تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش تاپسیس (TOPSIS) طراحی و اجرا شد. در مجموع شش پروژه اصلی در زمینه‌های فنی و زیرساختی مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس پنج معیار کلیدی شامل سودآوری، ریسک فنی، مدت زمان اجرا، اهمیت استراتژیک و نیاز به منابع انسانی و تجهیزاتی تحلیل شدند.

وزن‌دهی معیارها با استفاده از فرآیند AHP و بر مبنای قضاوت‌های خبرگان صورت گرفت و سپس با بهره‌گیری از روش TOPSIS، شاخص نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل (C_i) برای هر پروژه محاسبه شد. نتایج نشان داد که پروژه «حمل و نصب ایستگاه LBV و ایستگاه اندازه‌گیری گاز با ظرفیت ۱.۳ میلیون متر مکعب در ساعت» با بالاترین اولویت ($C_i=0.709$) شایسته اجرا در گام نخست است. پروژه‌های «تأمین ایستگاه CGS و فیلتر سپریتور» و «تصحیح‌کننده توربینی» نیز به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (شکل ۲). این اولویت‌بندی بر مبنای تحلیل متوازن بین معیارهای استراتژیک، فنی و عملیاتی انجام شده و نتایج آن با نظر متخصصان پروژه تطابق مطلوبی دارد.

از مهم‌ترین نقاط قوت چارچوب پیشنهادی می‌توان به انعطاف‌پذیری در شرایط عدم قطعیت، ساختارپذیری فرآیند تصمیم‌گیری، و قابلیت تعمیم به سایر سازمان‌های پروژه‌محور اشاره کرد. همچنین، شبیه‌سازی عدم قطعیت با استفاده از تحلیل مونت‌کارلو (در مراحل قبل) نشان داد که رتبه‌بندی پروژه‌ها از پایداری قابل قبولی برخوردار است (شکل ۳).



شکل ۲. مقایسه شاخص نزدیکی پروژه‌ها



شکل ۳. درصد تعداد دفعات رتبه اول پروژه‌ها در ۵۰۰۰ شبیه سازی مونت کارلو

۹. منابع

- [1] Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic
- [2] Zavadskas, E. K., Mardani, A., Khalifah, Z., Zakuan, N., & Jusoh, A. (2016). Development of TOPSIS method to solve complicated decision-making problems
- [3] Lafleur, J. (2022). Probabilistic AHP and TOPSIS for multi-attribute decision-making under uncertainty
- [4] Luisa, M. (2025). An integrated multi-criteria decision making framework for industrial excess heat recovery and utilization
- [5] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- [6] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.
- [7] Shih, H. S., Shyr, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making.
- [8] N. Soltanikarbaschi, 2023. An Integrated AHP-TOPSIS Methodology for Selecting Suitable Project Delivery Method for Construction Projects
- [9] Madani, K., & Lund, J. W. (2011). A Monte Carlo game theoretic approach for multi-criteria decision making under uncertainty. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*