نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۸۵ – ۱۶۳

ارزیابی فرایند هوشمند سازی کنتورهای برق: رویکرد مهندسی ارزش و تحلیل سلسله مراتبی

[۱] محمد مردانی شهر بابک*، [۲] سید مهدی موسوی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۳/۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۶/۱۷

کلمات کلیدی:
مهندسی ارزش
هوشمندسازی
سلسله مراتبی
کنتورهای هوشمند برق

چکیده

این مقاله باهدف تحلیل سناریوی پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند مبتنی بر رویکرد یکپارچه‌سازی مهندسی ارزش و روش رتبه‌بندی سلسله‌مراتبی AHP صورت گرفته است. مهندسی ارزش تلاش می‌کند تا با شناسایی کارکردهای محصول یا پروژه، کارکردهای غیرضروری را تشخیص داده و ضمن حذف آن‌ها اندیشه خود را به روش‌های دیگری که می‌تواند کارکردهای اصلی را برآورده کند، معطوف سازد. به این منظور، در این تحقیق، ابتدا با بررسی ادبیات و مبانی نظری تحقیق و تکمیل اطلاعات در خصوص کنتورهای هوشمند برق و روش‌های پیاده‌سازی موجود، به بررسی فرایندهای انجام کار با نگاه مهندسی ارزش به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش و بهبود کیفیت، حل مشکلات موجود و استفاده بهینه از منابع، پرداخته شد. سپس با اخذ نظر خبرگان و متصدیان صنعت برق کشور، ابتدا معیارها و زیرمعیارهای سنجش روش‌ها و فرایندهای اجرای هوشمند سازی کنتورهای برق احصاء گردیده و متعاقب آن، راه‌حل‌ها و گزینه‌های جایگزین در ۲ محور کاهش هزینه و ارتقای کیفیت، ارائه شد. اولویت‌بندی و تحلیل حساسیت ایده‌های نهایی جهت پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند پس از بسط و توسعه آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. بهره‌گیری از نتایج این مقاله که بر اساس رویکردی تلفیقی از روش سلسله مراتبی و مهندسی ارزش به‌دست‌آمده است؛ بهسازی پروژه پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند را به دنبال خواهد داشت.

۱. دانشیار، دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران (نویسنده مسئول) mmardani@ihu.ac.ir
۲. کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع) ، تهران Mahdimousavi71 @gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

۱. مقدمه

با توجه به اینکه موضوع تعویض و جایگزینی ۱۲ میلیون کنتور دیجیتالی چند تعرفه در دستور کار شرکت توانیر قرارگرفته به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه‌ها به‌طوری‌که بتواند تمام نیازمندی‌های آینده صنعت برق ازجمله اعمال مدیریت بار را برآورده نماید؛ این شرکت، تصمیم به استفاده از رویکرد مهندسی ارزش گرفته است. بر اساس مصوبه هیئت محترم دولت، وظیفه پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری هوشمند و کنترل سیستم‌های اندازه‌گیری، به وزارت نیرو محول شده است. با عنایت به این مصوبه و با توجه به اینکه سرانه‌ی مصرف انرژی الکتریکی در ایران نسبت به کشورهای صنعتی بالاتر بوده، شرکت مادر تخصصی توانیر با حمایت وزارت نیرو، بر آن شد تا طرح پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری هوشمند (AMI) را در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی به انجام رساند. تحقق این خواسته‌ی مهم به سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) محول گردید. در این راستا پس از انجام مطالعات امکان‌سنجی و تعیین مشخصات اولیه سیستم اندازه‌گیری هوشمند، چند منطقه نمونه به‌عنوان پایلوت پیاده‌سازی این سیستم انتخاب شدند. تکنیک مهندسی ارزش تلاش می‌کند تا با شناسایی کارکردهای محصول یا پروژه، کارکردهای غیرضروری را تشخیص داده و ضمن حذف آن‌ها اندیشه خود را به روش‌های دیگری که می‌تواند کارکردهای اصلی را برآورده نماید، معطوف سازد. مهندسی ارزش برای دستیابی به این مهم، خلاقیت را در جریان یک کار تیمی متشکل از افراد و تخصص‌های مختلف درگیر در پروژه به کار می‌گیرد.(پارک[1] ، ۲۰۱۷) بهره‌گیری نتایج این مقاله بر اساس رویکردی تلفیقی از روش سلسله مراتبی و مهندسی ارزش بهسازی روش پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند برق را به دنبال خواهد داشت.

ماتسوی[2] و همکاران در مقاله ای به منظور افزایش حفاظت از برق در خانوارها دریافتند تشخیص اینکه وسایل برقی مصرف برق زیادی دارند ، مؤثر است. با این حال ، جمع آوری داده‌های مربوط به وسایل برقی نیاز به دستگاه‌های زیادی داشته و دارای هزینه‌های بالایی خواهد بود. بنابراین، تفکیک

1. Park
2. Matsui

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

داده‌ها از کل داده‌ها به هر دستگاه منجر به کاهش هزینه و برق می‌شود. در پژوهش آن‌ها چگونگی تفکیک مصرف لوازم برقی از کل مصرف برق ارائه شده است.

وان آبل[1] و پول در مقاله ای به توصیف عملکرد و تحقق زیرساخت‌های اندازه گیری هوشمند در هلند پرداخته و در مورد تغییراتی که در پاسخ به نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی و امنیت ایجاد شده است ، بحث می‌کنند. آن‌ها همچنین درباره دلیل منطقی برای معرفی کنتورهای هوشمند – که کمتر از آنچه انتظار می‌رود یا در واقع امیدوار است — بحث می‌کنند و تحولات مداوم در استفاده از اطلاعات اندازه گیری هوشمند را در اپراتورهای محلی انرژی در نظر می‌گیرند.

بیجرانو[2] و همکاران در مقاله‌ای دریافتند که میزان و اندازه گیری کنتورهای هوشمند ، ملاحظات رفتاری متنوعی را نشان می‌دهد که می‌تواند بر نحوه واکنش مصرف کنندگان به اطلاعات تأثیر سازگاری با رفتار مصرفی خود در پاسخ به قیمت گذاری پویا تأثیر بگذارد.

۲. روش و اهداف اصلی انجام پژوهش

بهسازی روش پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند برق با بهره‌گیری رویکرد تلفیقی روش سلسله مراتبی و پژوهش حاضر از منظر هدف، کاربردی و ازنظر انجام، توصیفی، تحلیلی و پیمایشی است. روش گردآوری اطلاعات در این تحقیق، بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای از کتب، پایان‌نامه‌ها و مقالات موجود در کتابخانه‌ها و مقالات موجود در اینترنت و مراجعه به کارشناسان و خبرگان صنعت کنتورهای هوشمند برق از طریق پرسشنامه و مصاحبه است. بر این اساس، ابتدا بر اساس مطالعات مهندسی ارزش، ایده‌های اجرایی در سازمان شناسایی و سپس بر اساس معیارهای مؤثر بر آن‌ها و با به‌کارگیری مدل رتبه‌بندیAHP، ایده‌های مزبور اولویت‌بندی می‌گردند. مهندسی ارزش، از اهداف مهم این پژوهش است.

۳. مطالعات مهندسی ارزش

مهندسی ارزش یک روش نظام‌مند و خلاق برای بهینه کردن هزینه در طول عمر، کاهش زمان اجرا، افزایش سود، ارتقاء کیفیت، توسعه بازار، حل مشکل و استفاده از منابع با اثربخشی بیشتر است که به‌عنوان

1. Van Aubel
2. Batalla-Bejerano

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

روشی کارآمد برای شناسایی و حذف هزینه‌های غیرضروری، با حفظ و ارتقاء کیفیت شناخته‌شده است. (امینی[1] ، ۲۰۰۵)

طی سالیان دراز پس از ابداع روش مهندسی ارزش توسط مایلز، روش مزبور در کشورهای مختلف و برای طراحی و ساخت محصولات بی‌شمار و اجرای پروژه‌های متعدد مورداستفاده قرارگرفته و ضمن بهبود کارایی، صرفه‌جویی‌های فراوانی برای کارفرمایان مختلف به همراه داشته است.

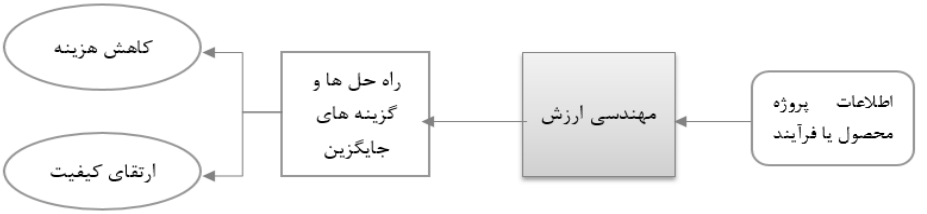
بر اساس تعریف مؤسسه بین‌المللی مدیریت پروژه، مهندسی ارزش نگرشی خلاق به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش سود، بهبود کیفیت، افزایش سهم بازار، حل مشکلات و استفاده بهینه از منابع است. با دریافت اطلاعات پروژه (محصول)، ورودی موردنیاز مهندسی ارزش فراهم‌شده و پس از انجام آن، راه‌حل‌ها و گزینه‌های جایگزین به‌عنوان خروجی مهندسی ارزش به‌منظور کاهش هزینه و ارتقای کیفیت پروژه (محصول) ارائه می‌گردد (میرمحمدصادقی[2] ، ۲۰۱۵).

خوشبختانه در سال‌های اخیر این روش دار کشور ما نیز معرفی و مورداستفاده قرار می‌گیرد. شرکت توانیر در پایه‌گذاری اجرا و به‌کارگیری این روش در صنعت برق با برنامه‌ریزی دقیق و منسجم، نقش محوری خویش را به عهده گرفته است. شرکت توانیر انتخاب بهترین گزینه برای ارتقای دوازده میلیون کنتور مشترکین موجود را به‌طوری‌که تمام نیازهای آینده صنعت برق را در برگیرد را در دستور کار خود قرارداد.

ما در این تحقیق، با استفاده از چارچوب نظری شکل ۱ ابتدا با بررسی ادبیات و مبانی نظری تحقیق و تکمیل اطلاعات در خصوص کنتورهای هوشمند برق و روش‌های پیاده‌سازی موجود، به بررسی فرایندهای انجام کار با نگاه مهندسی ارزش به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش و بهبود کیفیت، حل مشکلات موجود و استفاده بهینه از منابع، پرداخته ایم. سپس با اخذ نظر ۲۷ نفر از خبرگان و متصدیان صنعت برق کشور که اولاً در حوزه علمی کنتورهای هوشمند برق صاحب‌نظر بوده و ثانیاً دارای حداقل ۱۰ سال تجربه میدانی در این خصوص را دارا بوده و به‌طور هدفمند انتخاب شدند، ابتدا معیارها و زیرمعیارهای سنجش روش‌ها و فرایندهای اجرای هوشمند سازی کنتورهای برق احصاء گردیده و متعاقب آن، راه‌حل‌ها و گزینه‌های جایگزین در ۲ محور کاهش هزینه و ارتقای کیفیت، ارائه شد.

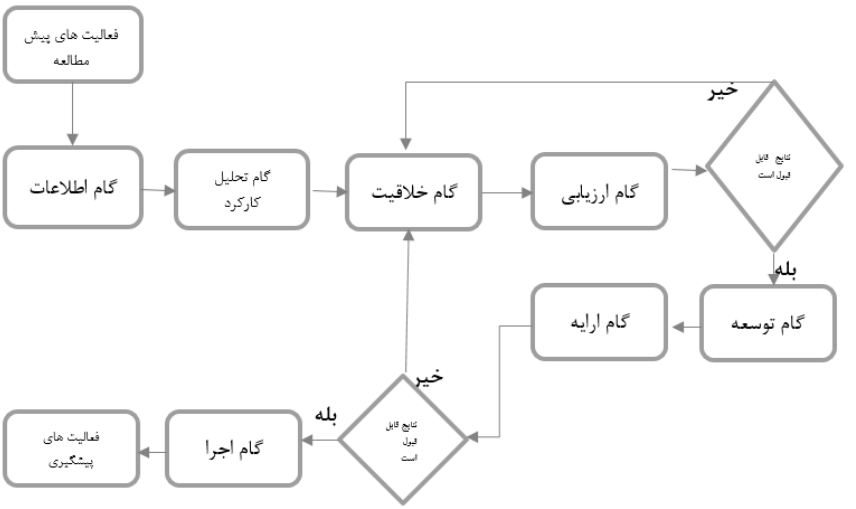
1. Amini
2. Mirmohamadsadeghi

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]



شکل ۱. چارچوب نظری تحقیق

بر اساس مدل مفهومی پژوهش، کار در سه گام عمده انجام می‌شود که عبارت‌اند از گام پیش مطالعه، گام مطالعه اصلی، گام پس مطالعه. هر یک از این سه گام به فازها یا فعالیت‌های مهمی تقسیم می‌شوند که در شکل ۲ ملاحظه می‌شوند (آیر[1] ، ۲۰۱۱) .



شکل ۲. فرآیند مهندسی ارزش

1. Ayer

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

٤. تعیین معیارهای ارزیابی

معیارها به‌منظور مقایسه گزینه‌ها و ایده‌های مختلف در فازهای ارزیابی و توسعه مشخص می‌گردند. این فاکتورها جایگاه کیفی و کمی گزینه‌های جدید را نسبت به طرح اولیه ازنظر برآورده کردن نیازها و خواسته‌های کارفرما، کیفیت و مطلوبیت طرح مشخص خواهد کرد. این معیارها در طول مطالعات، بازنگری، اصلاح و نسبت به یکدیگر وزن دهی خواهند شد (مایلز[1] و دیگران ، ۲۰۱۵).

با توجه به نظر خبرگان و پاسخ به پرسشنامه تحقیق، آن‌ها به‌اتفاق، معیارهای ارزش زیر که در انتخاب ایده‌های برتر ملاک ارزیابی قرار می‌گیرد را به شرح ذیل تعیین نمودند. (جدول ۱)

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی مهندسی ارزش

معیارهای ارزیابی	زیر معیارهای ارزیابی
کارایی	۱-نیاز سیستم به اپراتور
	۲-زمان عکس‌العمل سیستم
	۳-صرفه اقتصادی
	۴-انتقال به‌موقع اطلاعات
قابلیت اطمینان	۱-سهولت تعمیر و نگهداری
	۲-انواع تجهیزات خطایابی و نگهداری
	۳-عدم دسترسی مشترک به کنتور
مدیریت پذیری	۱-محیط عملیاتی سیستم
	۲-قابلیت تعمیم طرح پایلوت به مناطق مشابه
	۳-سطح مهارت کارکنان نگه‌دارنده سیستم
اثربخشی	۱-سطح سرویس
	۲-ارتباط باهدف پروژه
	۳-ارتباط باسیاست‌های جاری کشور

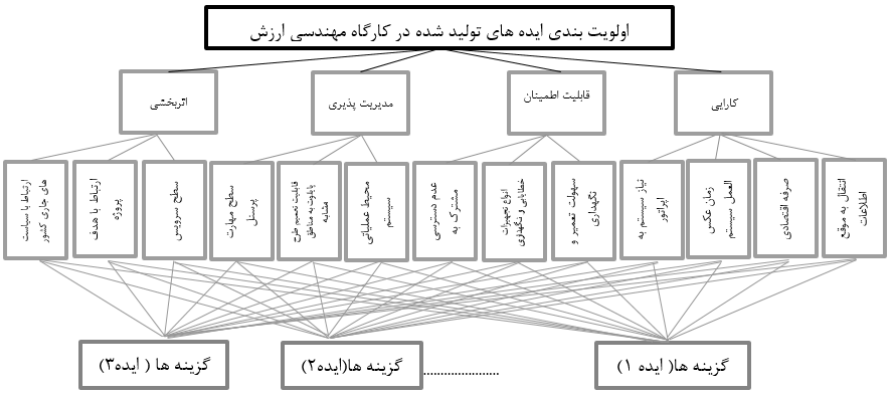
1. Miles

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

۵. توسعه درخت تصمیم

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط توماس اِل ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید(براون[1] ، ۱۹۹۳) . این روش هنگامی‌که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبرو است، می‌تواند مفید باشد. شاخص‌ها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. اساس این روش بر مقایسات زوجی نهفته است. فرآیند رتبه‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها درروش دربرگیرنده مراحلی به شرح زیر است (قدسیپور[2] ، ۲۰۱۰)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نیازمند شکستن مسئله تصمیم موردنظر با چندین معیار به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چند سطح تشکیل‌شده است؛ سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری می‌باشد، در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد، در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند و در آخرین سطح نیز گزینه‌های تصمیم که در اینجا ایده‌های منتج از فرایند مهندسی ارزش هستند، مطرح می‌شوند (علیخانی[3] ، ۲۰۰۰)(شکل ۳).



شکل ۳. مدل سلسله مراتبی اولویت‌بندی ایده‌های منتج از فرایند مهندسی ارزش

1. Brown
2. Ghodsipour
3. Alikhani

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

٦. اولویت‌بندی ایده‌های منتج از فرایند مهندسی ارزش با استفاده از مدل سلسله مراتبی

٦-١. مقایسات زوجی داده‌ها

اساس روش AHP بر مقایسات زوجی یا دودویی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است. برای چنین مقایسه‌ای نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از تصمیم‌گیرندگان است. در این مرحله خبرگان مقایسه‌هایی را بین معیارها و زیر معیارهای تصمیم‌گیری انجام داده و امتیاز آن‌ها را نسبت به یکدیگر تعیین می‌کنند(ویشنوی و دیگران[1] ، ۲۰۱۷). نحوه تکمیل پرسشنامه و جمع‌آوری نظرات خبرگان در این مرحله بدین شرح است:

۱. خبرگان معیارهای اصلی تصمیم‌گیری را به‌صورت زوجی مقایسه می‌نمایند و برحسب اولویت نسبی آن‌ها یک عدد بین ۱ تا ۹ به آن‌ها می‌دهند.

۲. خبرگان مطلوبیت نسبی هریک از زیرمعیارهای معیارهای اصلی را به تفکیک آن معیار و با توجه به آن معیار، باهم مقایسه زوجی می‌نمایند(مشابه گام ۱).

۳. خبرگان مطلوبیت نسبی هر یک از حالت‌ها (راهبرد) را با توجه به هر یک از زیر معیارها به‌صورت جداجدا محاسبه می‌کنند.

جدول ۲ اهمیت نسبی معیارهای اصلی ازنظر خبرگان را نشان می‌دهد. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی این معیارها ۰.۰۵ بوده که نشان می‌دهد مقایسه از دقت خوبی برخوردار بوده است.

جدول ۲. ماتریس ارجحیت نسبی معیارهای کلی

معیار کلی	کارایی	قابلیت اطمینان	مدیریت پذیری	اثربخشی
کارایی	1	1/2	1/4	1/3
قابلیت اطمینان	2	1	1/2	2
مدیریت پذیری	4	2	1	3
اثربخشی	3	1/2	1/3	1
جمع ستونی	10	4	2	6/33

1. Vaishnavi

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

پس از مقایسه معیارهای کلی به مقایسه زیرمعیارهای هر یک از معیارهای کلی به‌صورت دودویی می‌پردازیم.

جدول۳ نشان‌دهنده اهمیت نسبی زیرمعیارهای کارایی از دیدگاه خبرگان است. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی زیر معیارهای کارایی ۰.۰۸ است که نشان‌دهنده دقت موردقبول این مقایسه زوجی است.

جدول ۳. ماتریس ارجحیت نسبی زیرمعیارهای کارایی

معیارهای کارایی	انتقال به‌موقع اطلاعات	صرفه اقتصادی	زمان عکس‌العمل سیستم	نیاز سیستم به اپراتور
انتقال به‌موقع اطلاعات	1	3	2	2
صرفه اقتصادی	1/3	1	1/3	2
زمان عکس‌العمل سیستم	1/2	3	1	2
نیاز سیستم به اپراتور	1/2	1/2	1/2	1
جمع ستونی	2/33	7/5	3/83	7

جدول ۴ نشان‌دهنده اهمیت نسبی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان ازنظر خبرگان است. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان ۰.۰۰۸ است که نشان‌دهنده دقت بسیار بالای این مقایسه زوجی می‌باشد.

جدول ۴. ماتریس ارجحیت نسبی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان

معیارهای قابلیت اطمینان	سهولت تعمیر و نگهداری	انواع تجهیزات خطایابی و نگهداری	عدم دسترسی مشترک به کنتور
سهولت تعمیر و نگهداری	1	1/3	1/2
انواع تجهیزات خطایابی و نگهداری	3	1	2
عدم دسترسی مشترک به کنتور	2	1/2	1

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۵ نشان‌دهنده اهمیت نسبی زیرمعیارهای اثربخشی ازنظر خبرگان است. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی زیرمعیارهای اثربخشی ۰.۰۵ است.

جدول ۵. ماتریس ارجحیت نسبی زیرمعیارهای اثربخشی

معیارهای اثربخشی	سطح سرویس	ارتباط باهدف پروژه	ارتباط باسیاست‌های جاری کشور
سطح سرویس	1	1	1
ارتباط باهدف پروژه	1	1	1/2
ارتباط باسیاست‌های جاری کشور	1	2	1

جدول ۶ نشان‌دهنده اهمیت نسبی زیرمعیارهای اثربخشی ازنظر خبرگان می‌باشد. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی زیرمعیارهای اثربخشی ۰.۰۲ است.

جدول ۶. ماتریس ارجحیت نسبی زیرمعیارهای مدیریت پذیری

معیارهای مدیریت پذیری	محیط عملیاتی سیستم	قابلیت تعمیم طرح پایلوت به مناطق مشابه	سطح مهارت کارکنان نگه‌دارنده سیستم
محیط عملیاتی سیستم	1	1/2	1/2
قابلیت تعمیم طرح پایلوت به مناطق مشابه	2	1	3/2
سطح مهارت کارکنان نگه‌دارنده سیستم	2	2/3	1

۲-٦. محاسبه وزن نسبی

برای محاسبه وزن نسبی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. پروفسور ساعتی به ارائه چهار روش تقریبی زیر می‌پردازد: ۱-مجموع سطری، ۲- مجموع ستونی، ۳- میانگین حسابی و ۴ میانگین هندسی

در این مقاله از روش میانگین حسابی استفاده‌شده است. در این روش برای محاسبه وزن نسبی گزینه‌ها ابتدا میانگین حسابی ستون‌های ماتریس معیار را به دست می‌آوریم و سپس با تقسیم هر پارامتر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

موجود در هر ستون به مقدار جمع پارامترهای همان ستون مقدار نرمال هر پارامتر را به دست می‌آوریم و درنهایت با میانگین‌گیری بین مقادیر نرمال هر سطر وزن نسبی هر عنصر را به دست می‌آوریم. در ادامه وزن نسبی معیارهای کلی و زیر معیارها محاسبه‌شده است.

برای نرمال کردن معیارهای کلی، ابتدا میانگین حسابی آن‌ها را با یکدیگر جمع کرده و سپس میانگین حسابی هر یک از آن‌ها را بر عدد به‌دست‌آمده تقسیم می‌کنیم.

۰.۳۹۷ = ۰.۱+۰.۱۲۵+۰.۱۲+۰.۰۵۲

مجموع ضرایب اهمیت معیارهای کلی برابر یک است که نشانه نسبی بودن آن‌ها است:

۱ = ۰.۰۹۹+۰.۲۵۱+۰.۴۶۳+۰.۱۸۵

برای نرمال کردن غیرمعیارها نیز از همین فرآیند استفاده می‌شود و اهمیت نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود.

۳-٦. فاز تحلیل کارکرد

تحلیل کارکرد و ترسیم نمودار به‌عنوان قلب مهندسی ارزش تعریف می‌گردد و انجام کامل و دقیق آن نقش تعیین‌کننده‌ای در شناسایی کشتزارهای خلاقیت و تحلیل هزینه ناشی از تغییرات به‌کارگیری ایده‌های جدید خواهد داشت(گرین[1] ، ۱۹۹۴) (جدول ۷و۸).

1. Green

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۷. اجزای پروژه و کارکردها

اجزای پروژه	کارکرد
کنتور سه فاز اتصال مستقیم RS485	تبادل اطلاعات
کنتور تک فاز	اندازه‌گیری
کنتور سه فاز اتصال مستقیم PLC	اعمال مدیریت مصرف -تشخیص دست‌کاری کنتور
کنتور سه فاز اتصال ثانویه 485	جمع‌آوری و تبادل اطلاعات -بهینه کردن شبکه مخابراتی
کنتور سه فاز اتصال GPRSثانویه	مدیریت و پردازش اطلاعات-کنترل و مدیریت تجهیزات و شبکه ارتباطی-کنترل و مدیریت مصرف
کنتور سه فاز اتصال اولیه	
جمع کننده داده	
نرم‌افزار	کاهش تلفات -بهبود قابلیت اطمینان -حفاظت و امنیت تجهیزات اندازه‌گیری
طراحی	
مرکز کنترل	

جدول ۸. تعیین نوع کارکرد

کارکردها	نوع کارکردها
اندازه‌گیری	اصلی
تبادل اطلاعات	فرعی
اعمال تعرفه	اصلی
تشخیص دست‌کاری کنتور	فرعی
جمع‌آوری اطلاعات	فرعی
بهینه کردن شبکه مخابراتی	فرعی
مدیریت و پردازش اطلاعات	اصلی
کنترل و مدیریت تجهیزات و شبکه ارتباطی	فرعی
کنترل و مدیریت مصرف	اصلی
اندازه‌گیری تلفات	فرعی
بهبود قابلیت اطمینان	فرعی
حفاظت و امنیت تجهیزات اندازه‌گیری	فرعی
محدود کردن دیماند	فرعی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

٤-٦. فاز خلاقیت و هم‌اندیشی و ارزیابی ایده‌ها

فاز خلاقیت و هم‌اندیشی یکی از مراحل مهم فرایند مهندسی ارزش است. در این مرحله کمیت ایده‌ها مهم است نه کیفیت آن‌ها. در این فاز اعضای گروه با توجه به تعیین اجزای مهم ارائه طرح و کارکردها، ایده‌های جدید و خلاق را به‌صورت طوفان ذهنی ارائه نمودند. تأکید شده است که در این مرحله از کار هیچ‌گونه قضاوت و یا انتقادی در مورد عملی بودن و یا نبودن، کارایی محاسن و معایب ایده‌ها مطرح نگردیده و گروه به‌صورت کاملاً آزاد بدون هرگونه خودسانسوری و یا دغدغه ذهنی، هر ایده‌ای که به ذهن ایشان می‌رسد را مطرح و با استفاده از ایده‌های یکدیگر ایده‌های جدید بسازند (پاینه و دیگران[1] ، ۲۰۰۸).

ایده پردازی در این فاز در کارگاه مهندسی ارزش به روش طوفان فکری انجام گردید و نتیجه این فاز ۷۱ ایده بود، که پس از هم‌اندیشی و مورد قضاوت قرار دادن توسط خبرگان ۲۱ ایده مناسب برای فاز بسط و توسعه انتخاب گردید و ارائه گردیده است.

٥-٦. وزن نسبی گزینه‌ها (شاخص‌ها)

پس از تعیین وزن نسبی معیارهای کلی و زیر معیارها در این بخش بر پایه مدل رتبه‌بندی سلسله مراتبی AHP و بر اساس شاخص‌های ارزیابی ایده‌ها برای تعیین وزن نسبی گزینه‌ها، ابتدا امتیاز اولیه هر یک از ایده‌های با توجه به معیارها و زیر معیارها توسط اعضای گروه دلفی به‌صورت طیفی تعیین می‌شود .در این مرحله خبرگان با توجه به معیارهای موردنظر مهندسی ارزش به ایده‌های موردنظر با توجه به جدول راهنمای زیر امتیازدهی کردند. سپس هر یک از امتیازات داده‌شده به روش مجموع ستونی نرمال گردید و درنهایت وزن نسبی آن‌ها محاسبه شد.

1. Payne

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۹. راهنمای امتیازدهی به ایده‌ها

ردیف	عنوان فارسی	عدد امتیاز	عنوان لاتین
۱	کاملاً ارجح	۹	Extremely Preferred
۲	ارجحیت خیلی زیاد	۷	Very Strongle Preferred
۳	ارجحیت زیاد	۵	Strongly Preferred
۴	ارجح	۳	Moderately Preferred
۵	ارجحیت یکسان	۱	Equally Preferred
۶	ترجیحات بینابین	۲، ۴، ۶ و ۸	Intermediate Values

٦-٦. وزن نهایی ایده‌ها

در یک فرایند سلسله مراتبی وزن نهایی گزینه‌ها از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید. (جدول ۱۰) برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد (چک و دیگران[1] ، ۲۰۱۸)

$$\boldsymbol{V_H} = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} W_k W_i(g_{ij})$$

V_H: امتیاز نهایی ایده H

W_k : وزن معیار k

W_i : وزن زیر معیار i

g_{ij} : امتیاز گزینه J در ارتباط با معیار یا زیرمعیارi

1. Cheek

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۱۰. وزن نهایی ایده‌های غربال‌شده

معیارها و زیرمعیارها / کد گزینه	کارایی		قابلیت اطمینان		مدیریت پذیری		اثربخشی	
	وزن نهایی	رتبه	وزن نهایی	رتبه	وزن نهایی	رتبه	وزن نهایی	رتبه
۱	0/00501	1	0/0074	2	0/0141	2	0/0067	1
۲	0/00488	2	0/0081	1	0/0168	1	0/0045	2
۳	0/00079	12	0/0011	13	0/0012	15	0/0004	13
۴	0/00118	5	0/0007	17	0/0029	10	0/0007	11
۵	0/00114	6	0/0020	6	0/0011	16	0/0008	10
۶	0/00071	14	0/0018	7	0/0010	17	0/0003	14
۷	0/00119	4	0/0015	10	0/0011	16	0/0016	7
۸	0/00138	3	0/0018	7	0/0018	13	0/0017	6
۹	0/00045	19	0/0008	16	0/0011	16	0/0007	11
۱۰	0/00110	7	0/0018	8	0/0014	14	0/0014	9
۱۱	0/00052	17	0/0005	19	0/0031	9	0/0008	10
۱۲	0/00058	16	0/0009	15	0/0049	6	0/0005	12
۱۳	0/00062	15	0/0010	14	0/0021	12	0/0021	4
۱۴	0/00076	13	0/0005	18	0/0029	10	0/0026	3
۱۵	0/00088	11	0/0013	11	0/0041	7	0/0021	4
۱۶	0/00071	14	0/0012	12	0/0041	7	0/0019	5
۱۷	0/00138	3	0/0024	5	0/0056	4	0/0026	3
۱۸	0/00101	9	0/0016	9	0/0026	11	0/0015	8
۱۹	0/00102	8	0/0035	3	0/0053	5	0/0019	5
۲۰	0/00047	18	0/0035	3	0/0077	3	0/0019	5
۲۱	0/00099	10	0/0027	4	0/0035	8	0/0016	7

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

۷-٦. محاسبه اعتبار داده‌ها

نرخ ناسازگاری سازوکاری است که با استفاده از آن اعتبار جواب‌های مصاحبه‌شوندگان به مقایسات زوجی موردسنجش قرار می‌گیرد. تقریباً تمامی محاسبات AHP بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه اشتباه و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به‌دست‌آمده از محاسبات را نامعتبر می‌سازد (جین[1] و دیگران ، ۲۰۱۸).

مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند محاسبه کرده‌اندn بعدی نام نهاده‌اند که مقادیر آن‌ها برای ماتریس‌های (I.I.R) و آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی مطابق جدول ۱۱ است.

جدول ۱۱. شاخص تصادفی بودن

N	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
R.I	۰.۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۱	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۹	۱.۵۱	۱.۴۸	۱.۵۶	۱.۵۷	۱.۵۹

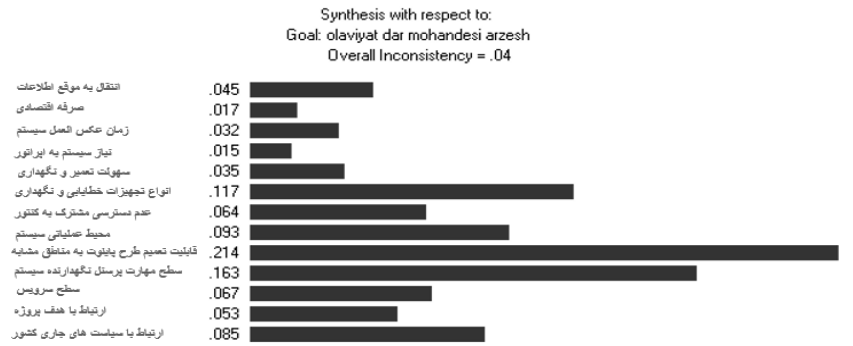
برای محاسبه نرخ ناسازگاری در یک مدل سلسله مراتبی، شاخص ناسازگاری هر ماتریس I.I را در وزن عنصر مربوطه‌ی آن ضرب نموده و حاصل جمع آن‌ها را به دست می‌آوریم. این حاصل جمع را *I.I* می‌نامیم. همچنین وزن عناصر را در I.I.R ماتریس‌های مربوطه ضرب کرده و مجموعشان را *I.I.R* نام‌گذاری می‌کنیم حاصل تقسیم $I.I/I.I.R$ نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی را نشان می‌دهد(لاترا[2] و دیگران ، ۲۰۱۸).

در شرایطی که نرخ ناسازگاری ۰.۱ یا کمتر باشد، بیانگر سازگاری در مقایسات است و اعتبارسنجی پاسخ‌دهنده‌ها تائید می‌گردد. در تحقیق حاضر نرخ ناسازگاری معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert

1. jain
2 Luthra

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

Choice محاسبه شد. این نرخ‌ها همگی کمتر از ۰.۱ هستند. نرخ ناسازگاری کل ساختار سلسله مراتبی با استفاده از همین نرم‌افزار محاسبه گردید و برابر با ۰.۰۴ است که از ۰.۱ کمتر است. (شکل۴)



شکل۴. نرخ ناسازگاری کل ساختار سلسله مراتبی

۸-٦. روایی و پایایی نتایج حاصل از داده‌های فاز مهندسی ارزش

الف- روایی

پس از احصاء جدول معیارها و ایده‌ها از طریق منابع و مصاحبه با صاحب‌نظران، مجدداً این جدول در اختیار ۱۰ نفر از جامعه آماری خبرگان قرار گرفت و پس از اخذ نظر آن‌ها و انجام اصلاحات، مورد تائید آن‌ها قرار گرفت.

ب-پایایی نتایج

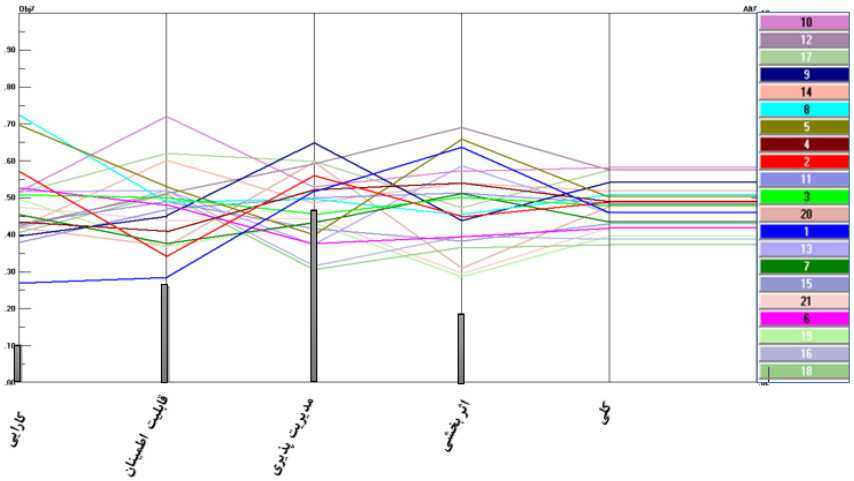
پایایی نتایج از طریق نرم‌افزار Ecpert Chice و محاسبه ضریب نرخ ناسازگاری (۰.۰۴) انجام گرفت. ازآنجاکه ضریب ناسازگاری به میزان زیادی از عدد ۰.۱ که شاخص تشخیص می‌باشد کمتر است؛ لذا پایایی نتایج مورد تائید می‌باشد.

۷. اولویت‌بندی بر اساس آنالیز حساسیت

وزن معیارها دارای بیشترین تأثیر در اولویت‌بندی گزینه‌هاست. تصمیم‌گیرنده باید درجه قابلیت اعتماد نتایج را برای تصمیم‌گیری نهایی بداند. به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، لازم است که قبل از انتخاب گزینه نهایی، تحلیل حساسیت بر روی مسئله صورت گیرد. بنابراین

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

تحلیل حساسیت بعد از حصول رتبه‌بندی گزینه‌ها پیشنهاد می‌گردد. با استفاده از نرم‌افزار Expert choice -11 یک تحلیل حساسیت کامل قابل انجام است. برای انجام این عمل درحالی‌که وزن‌های دیگر معیارها ثابت باقی‌مانده، وزن یک معیار به‌صورت تدریجی، افزایش و یا کاهش می‌یابد. بعد از انجام تحلیل حساسیت، رتبه‌بندی گزینه‌ها ممکن است تغییر یابد. تحلیل تمام تغییرات ممکن توسط نرم‌افزار EC-11 که دارای ماژول تحلیل حساسیت قدرتمند وکاربر دوستی است، قابل انجام است.

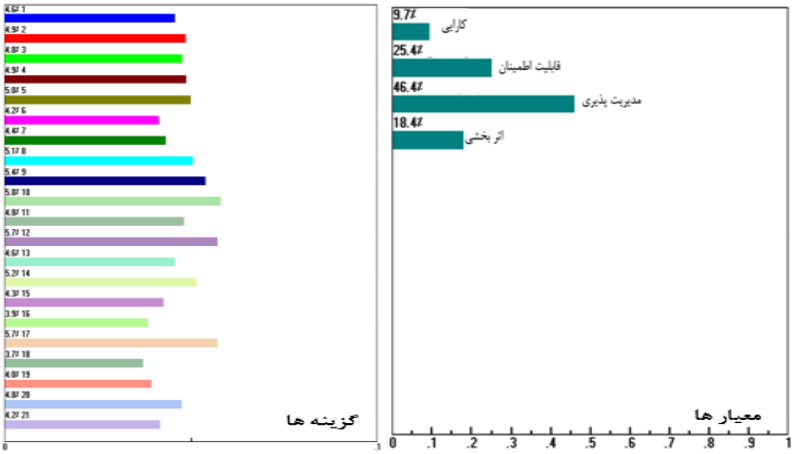


شکل۵. نمودار تحلیل حساسیت عملکرد نسبت به هدف کلی

اعداد در شکل ۵، نمایانگر کد گزینه‌هاست چراکه از نوشتن کامل گزینه‌ها خودداری شده است. مطابق شکل ۵، کد ۱۰ بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی به دست آورده است.در رتبه‌های بعدی به ترتیب :

۱۲، ۱۷، ۹، ۱۴،۸،۵،۴،۲،۱۱، ۳، ۲۰، ۱، ۱۳، ۷،۱۵، ۲۱، ۶، ۱۹، ۱۶، ۱۸ قرارگرفته‌اند.در تحلیل حساسیت صورت گرفته که نمودارآن در شکل ۶ ارائه‌شده، با تغییر درصد وزنی بین معیارهای اصلی، پایداری اولویت‌بندی گزینه‌ها موردبررسی قرار گرفت. آنالیزهای حساسیت انجام‌شده بر روی گره هدف حساسیت گزینه‌ها را نسبت به تمام معیارهای موجود در زیر هدف نشان خواهد داد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]



شکل ۶. نمودار تحلیل حساسیت دینامیک نسبت به هدف کلی

جدول ۱۲. نحوه تأثیر افزایش اهمیت معیارها بر گزینه‌ها به‌صورت تأثیرات مثبت و منفی

کد گزینه‌ها	کارایی	قابلیت اطمینان	مدیریت پذیری	اثربخشی
۱	-	-	-	+
۲	+	-	+	-
۳	+	+	-	+
۴	+	-	-	+
۵	+	+	-	+
۶	+	+	-	-
۷	+	-	-	+
۸	+	-	+	-
۹	-	-	+	-
۱۰	-	+	-	+
۱۱	-	-	+	+
۱۲	-	-	-	+
۱۳	+	+	-	+

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

کد گزینه‌ها	کارایی	قابلیت اطمینان	مدیریت پذیری	اثربخشی
۱۴	-	+	-	+
۱۵	-	+	+	-
۱۶	-	+	-	+
۱۷	-	+	+	-
۱۸	-	+	-	+
۱۹	+	-	+	-
۲۰	-	-	+	-
۲۱	+	-	+	-

با تغییر درصد وزنی معیار کارایی از ۹/۷٪ تا ۴۶/۶٪ اولویت‌بندی ثابت باقی می‌ماند و بعد از اولویت فرایندها جابه‌جا خواهد شد. با تغییر درصد وزنی معیار قابلیت اطمینان از ۲۵/۴٪ تا۳۱/۹٪ اولویت‌بندی گزینه‌ها بدون تغییر خواهد ماند و بعدازآن تغییر خواهد کرد اما همچنان با توجه به تأثیر مثبت بر گزینه با کد ۱۰ در اولویت برتر خواهد بود. وزن اولیه معیار مدیریت پذیری ۴۶/۴٪ بوده است و اولویت فرایندها تا افزایش وزن این معیار تا ۵۵/۶٪ ثابت باقی خواهد ماند. اولویت فرایندهای اثربخشی با تغییر وزن این معیار ۱۸/۴٪ به ۲۶/۸٪ ثابت باقی خواهد ماند. بر اساس شکل ۶ مشخص می‌گردد که بیشترین حساسیت را مدیریت پذیری مربوط به کد گزینه‌های ۲، ۸، ۹، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱ دارد به عبارتی بیشترین تأثیر را در مدیریت پذیری گزینه‌های مذکور دارند به‌طوری‌که با افزایش ضریب اهمیت این معیار،در مقایسات زوجی AHP، بر اهمیت گزینه‌های مطرح‌شده در بالا افزوده و از اهمیت گزینه‌های دیگر کاسته می‌گردد. بر این اساس در جدول۱۲ چگونگی تأثیر افزایش اهمیت معیار مدیریت پذیری آورده شده است.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مهندسی ارزش مبحثی است که در چند سال گذشته پیرامون بهبود روش انجام پروژه‌های گوناگون در کشورمان مطرح‌شده است. اگرچه سابقه‌ی این موضوع در جهان به چندین دهه قبل می‌رسد؛ در ایران این بحث به‌صورت جدی از اواخر دهه‌ی هفتاد شمسی مطرح‌شده است و در این سال‌ها مطالعاتی با عنوان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

مهندسی ارزش در برخی از پروژه‌ها ازجمله در حوزه نفت، گاز، پتروشیمی، راه، و نیرو انجام‌شده است. برای یافتن نقاط ضعف و اشکالات فرآیند مهندسی ارزش لازم است آسیب‌های فرآیند مشخص‌شده و شناسایی شوند که سبب شناخت بهتر ما از فرآیند و عملکرد بهتر در پیاده‌سازی فرآیند مهندسی ارزش می‌شود. در این پژوهش، بر اساس مدل تحلیلی تحقیق، ابتدا با بررسی ادبیات و مبانی نظری تحقیق و تکمیل اطلاعات در خصوص کنتورهای هوشمند برق و روش‌های پیاده‌سازی موجود، به بررسی فرایندهای انجام کار با نگاه مهندسی ارزش به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش و بهبود کیفیت، حل مشکلات موجود و استفاده بهینه از منابع، پرداخته شد. سپس با اخذ نظر خبرگان و متصدیان صنعت برق کشور،ابتدا معیارها و زیرمعیارهای سنجش روش‌ها و فرایندهای اجرای هوشمند سازی کنتورهای برق احصاء گردیده و متعاقب آن، راه‌حل‌ها و گزینه‌های جایگزین در ۲ محور کاهش هزینه و ارتقای کیفیت، ارائه شد. در ادامه، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در قالب مراحل ساخت سلسله مراتبی، مقایسات زوجی، محاسبه وزن نسبی و وزن نهایی ایده‌ها، این گزینه‌ها با توجه به معیارهای تعیین‌شده اولویت‌بندی گردیدند. در پایان، آنالیز حساسیت برای مقایسه و اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌ها برای کمک به مدیران در تصمیم‌گیری، انجام شد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که از بین معیارهای چهارگانه معیار مدیریت پذیری با ۴۶٪ بیشترین تأثیر را بر روی معیارها دارا بوده و کمترین تأثیر مربوط به معیار کارایی می‌باشد و معیارهای قابلیت اطمینان و اثربخشی به ترتیب بعد از معیار مدیریت پذیری قرار دارند. مطابق شکل ۵، ایده مربوط به کد ۱۰ با عنوان " استفاده از جمع کننده داده موجود در پست‌های توزیع و تجمیع اطلاعات یک یا چند تابلوی برق در پست‌های توزیع و حذف D.C و DCU از این تابلوها و در عوض استفاده نمودن از کنتورهای نوع PLCدر تابلوها" بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی به دست آورده است و کمترین رتبه مربوط به ایده با کد ۱۸ تحت عنوان " ارائه سیستم HAN در برخی از منازل و فروشگاه‌ها به‌منظور مطالعه چگونگی تغییر رفتار و الگوی مصرف آن‌ها" است. اولویت سایر ایده‌ها مطابق با شکل ۶ می‌باشد. در ادامه پیشنهادات نگارندگان بشرح ذیل می‌باشد:

۱- بر اساس نتایج حاصل از تحقیق به مدیران و متصدیان هوشمند سازی کنتورها در کشور پیشنهاد می‌شود که در تصمیم‌گیری در این خصوص به معیارهای مدیریت پذیری و قابلیت اطمینان در هوشمند سازی کنتورها توجه بیشتری نمایند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

۲- نتایج تحقیق بیانگر این است که مدیران و متصدیان هوشمند سازی کنتورهای برق به ایده‌های بهبود مطابق با اولویت مندرج در شکل ۶ عمل نمایند.

۳- به محققین و پژوهشگرانی که علاقه‌مند به تحقیق در این حوزه می‌باشند توصیه می‌شود که از سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری ازجمله روش‌های TOPSIS، VIKORو ANP با رویکرد فازی را برای مطالعات آتی، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

[1] Alikhani,m,(2000) Prioritize Investment Projects Using AHP Model (Case Study of Energy Sector) *MSc Theses*, Tehran, Iran University of Science and Technology.(In Persian)

[2] Amini, B,(2005) Feasibility Study of Value Engineering Potential in Road Construction Based on Modeling Construction Costs, *Second National Conference on Value Engineering*, *Tehran*, University of Science and Technology, Industrial Engineering, (In Persian)

[3] Ayer, S. S., (2011) The method of applying value engineering, translation: Jabal Ameli, M. S , Mir Mohammad Sadeghi, S. A, *Forat Publications*, Tehran, Iran (In Persian)

[4] Batalla-Bejerano, J., Trujillo-Baute, E., & Villa-Arrieta, M. (2020). Smart meters and consumer behaviour: Insights from the empirical literature. *Energy Policy*, *144*, 111610.

[5] Bowen, W. M., (1993). AHP: Multiple Criteria Evaluation in Klosterman. New runswick: Center for Urban Policy Research.

[6] Cheek, R., Sale, M., & Wolverton, C. C. (2018). UX (User Experience)-Driven Website Design Utilizing Analytic Hierarchy Process (AHP) Multi-Attribute Decision Modeling. In *Entrepreneurship, Collaboration, and Innovation in the Modern Business Era* (pp. 121-135). IGI Global.

[7] Ghodsipour, S.h. (2010), Analytical Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University Press, Tehran. (In Persian)

[8] Green, S. D. (1994). Beyond value engineering: SMART value management for building projects. *International Journal of Project Management*, *12*(1), 49-56.

[9] Jain, V., Sangaiah, A. K., Sakhuja, S., Thoduka, N., & Aggarwal, R. (2018). Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. *Neural Computing and Applications*, *29*(7), 555-564.

[10] Luthra, S., Mangla, S. K., Venkatesh, V. G., & Jakhar, S. K. (2018). Management of Risks in Sustainable Supply Chain Using AHP and Monte Carlo Simulation. In Managerial Strategies for Business Sustainability During Turbulent Times (pp. 58-76). IGI Global.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

[11] Matsui, K., Yamagata, Y., & Nishi, H. (2015). Disaggregation of Electric Appliance's Consumption Using Collected Data by Smart Metering System. Energy Procedia, 75, 2940-2945.
[12] Miles, L. D. (2015). *Techniques of value analysis and engineering*. Miles Value Foundation.
[13] Mirmohammadsadeghi, S. A. M ,Safaei , S. H , Safdel , A,(2015) *Comprehensive Value Engineering Book*. Tehran. Forat publication, 13(In Persian)
[14] Park, R. (2017). *Value engineering: a plan for invention*. Routledge.
[15] Payne, A.F., Storbacka, K., Frow, P.,(2008) Managing the co-creation of value. *Journal of the Academy of Marketing Science* 36 (1), pp. 83–96, 2008.
[16] Vaishnavi, B., Yarrakula, K., Karthikeyan, J., & Thirumalai, C. (2017, January). An assessment framework for Precipitation decision making using AHP. In Intelligent Systems and Control (ISCO), 2017 *11th International Conference on* (pp. 418-421). IEEE.
[17] Van Aubel, P., & Poll, E. (2019). Smart metering in the Netherlands: what, how, and why. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *109*, 719-725.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]