

## شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش هزینه زنجیره تأمین کابل و تجهیزات نیروگاهی با استفاده از مهندسی ارزش

جلیل حیدری دهویی\*، سید جلال الدین حسینی دهشیری\*\*

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۱۵

### چکیده

مهندسی ارزش یکی از ابزارهای خلق و بهبود ارزش می‌باشد که ضمن کاهش هزینه‌های غیرضروری و حفظ کارکرد اصلی، منجر به افزایش کارایی می‌گردد. امروزه این تکنیک به‌منظور کاهش هزینه در صنایعی همچون برق که با هزینه‌های بالا مواجه هستند استفاده می‌شود. از آنجا که در بسیاری موارد، کارایی پایین در زنجیره تأمین این صنعت منجر به افزایش هزینه‌ها می‌گردد، لذا بهره‌گیری از گام‌های مهندسی ارزش بسیار اثربخش خواهد بود. در این مقاله سعی شده تا با ترکیب مبحث زنجیره ارزش و روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه نسبت به شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش هزینه در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل‌گهر) اقدام شود. بدین منظور نخست راهکارهای نهایی کاهش هزینه پس از برگزاری جلسات متعدد با خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه شناسایی شدند. سپس این راهکارها با معیارهایی که از ادبیات تحقیق استخراج و با نظر خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه (در قالب فرآیند دلفی فازی) تعدیل و نهایی شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای نهایی و هریک از زیرمعیارها با روش سوآرا وزن‌دهی شدند. سپس وزن نهایی هریک از زیرمعیارها محاسبه شد. در ادامه برای اولویت‌بندی راهکارهای نهایی از روش آراس خاکستری بهره گرفته شد. پس از اولویت‌بندی راهکارها، راهکار دوازدهم (کاهش زمان سفارش تا خرید و تحویل از طریق اصلاح رویه خرید)، به‌عنوان بهترین راهکار برای کاهش هزینه و در نتیجه افزایش کارایی زنجیره تأمین مورد نظر شناسایی شد.

**واژگان کلیدی:** مهندسی ارزش، سوآرا، آراس خاکستری، رتبه‌بندی ایده‌ها، زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی، نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل‌گهر)

\*استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران، (نویسنده مسئول)

heidaryd@ut.ac.ir

\*\*کارشناس ارشد مدیریت صنعتی (مدیریت تولید و عملیات)، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

## مقدمه

انرژی برای فعالیت‌های مختلف زندگی بشر، ضروری است. یکی از مهم‌ترین انواع انرژی، انرژی الکتریکی است. انرژی الکتریکی علاوه بر مصرف در بخش‌های مسکونی و غیرمسکونی، تولید ناخالص داخلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Lorde et al., 2010). با توجه به اهمیت این صنعت در سطح جهان، مطالعات گسترده‌ای به منظور تعیین چالش‌ها و چگونگی رفع آن‌ها انجام شده است. هزینه‌های بالای انرژی، دارای تبعات منفی اقتصادی و مالی زیادی بر ظرفیت کشورها است (Lorde et al., 2010). از این رو یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که باید به آن رسیدگی شود، هزینه می‌باشد. برای کاهش هزینه در این حوزه از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود که یکی از مؤثرترین تکنیک‌ها، مهندسی ارزش<sup>۱</sup> است. مهندسی ارزش روش قدرتمندی برای حل مسائل، کاهش هزینه‌ها و به‌طور همزمان بهبود عملکرد و کیفیت، با شناسایی و ارتقای شاخص‌های ارزش و افزایش رضایت مشتری می‌باشد (Parikh, 2000). اجرای مهندسی ارزش برای یافتن پاسخ این پرسش است که چه راه‌حل دیگری کارکرد مورد نظر برای محصول، فرآیند و یا پروژه را با هزینه کمتری محقق می‌سازد (Elias, 1998; M. Beheshti, 2004; Tohidi, 2011). مهندسی ارزش منجر به ایجاد ایده‌ها و راه‌حل‌های جدید برای افزایش ارزش می‌گردد (Zhang et al., 2009) و نوآوری حاصل از مهندسی ارزش منجر می‌شود که نیازهای مشتریان بهتر برآورده شود (Davis, 1997). بر اساس مرور پیشینه انجام شده، مشخص است که مهندسی ارزش بیشتر در زمینه‌های مربوط به پروژه، تولید و خدمات مورد استفاده قرار گرفته است که در بخش پیشینه تحقیق بررسی خواهد شد. این در حالی است که تجربیات اجرایی مؤلفین این مقاله نشان می‌دهد که در حوزه‌هایی همچون مدیریت زنجیره تأمین فرصت‌های بهبود زیادی وجود دارد که مهندسی ارزش با لحاظ توانمندی‌های تکنیکی خود می‌تواند مسیر آنها را تسهیل نماید.

بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی نحوه بکارگیری مهندسی ارزش با هدف کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین تألیف شده و نتایج حاصل از این فرآیند در حوزه زنجیره تأمین

---

1. Value Engineering

کابل و تجهیزات جانبی در نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان تشریح شده است. بدین منظور در مرحله نخست در قالب جلسات متعدد، لیست بلند ایده‌های بهبود با بررسی خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه، در قالب ۱۲ راهکار دسته‌بندی گردید. در ادامه اعضای تیم مهندسی ارزش با بهره‌گیری از روش سوآرا معیارها و زیرمعیارهای اولویت‌بندی راهکارها را که از ادبیات تحقیق استخراج و با نظر خبرگان تیم مهندسی ارزش تعدیل و نهایی شده بود، وزن‌دهی نمودند. در ادامه برای اولویت‌بندی راهکارهای نهایی از روش آراس خاکستری که از روش‌های نوین تصمیم‌گیری می‌باشند، بهره گرفته شد. از دیگر دلایل بهره‌گیری از این روش‌ها می‌توان به سادگی فرآیند اجرای این روش‌ها (در مقایسه با روش‌هایی همچون AHP که نیاز به مقایسات زوجی زیادی دارند) و پذیرش بهتر از سوی خبرگانی که دارای محدودیت زمان می‌باشند اشاره نمود.

ساختار مقاله پیش‌رو بدین صورت می‌باشد؛ که در بخش دوم به بررسی پیشینه تحقیق مسئله پرداخته می‌شود. بخش سوم به بررسی روش‌های سوآرا، اعداد خاکستری و آراس خاکستری پرداخته خواهد شد. بخش چهارم روش تحقیق پژوهش بیان خواهد شد. در بخش پنجم کاربرد مدل پیشنهادی در قالب یک مطالعه موردی در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان نشان داده خواهد شد و در نهایت در بخش ششم پیشنهاداتی اجرایی و پژوهشی در مورد مسئله ارائه خواهد شد.

### مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مهندسی ارزش در ابتدا در سال ۱۹۴۰ توسط لارنس مایلز برای تولیدات صنعتی معرفی شد (Shen and Yu, 2012). در ادامه این تکنیک، در دهه ۱۹۶۰ در صنعت ساخت‌وساز استفاده گردید (Chen et al., 2010). در آن زمان از مهندسی ارزش به منظور بررسی توازن بین هزینه، زمان و کیفیت استفاده گردید (Ali and Rahmat, 2010). از آن زمان تاکنون تعاریف متعددی برای مهندسی ارزش ارائه شده است. در این بین انجمن مهندسين ارزش آمریکا به عنوان یکی از متولیان اصلی این حوزه از عبارت «متدولوژی ارزش» و تعریف ذیل استفاده می‌کند:

فرآیندی نظام یافته است، که توسط یک تیم چند رشته‌ای و به منظور توسعه ارزش پروژه‌ها، محصولات و یا خدمات از طریق تحلیل کارکردها، به کار گرفته می‌شود (SAVE, 2007). مهندسی ارزش این فرآیند را در سه مرحله اصلی شامل پیش کارگاه، کارگاه و پس کارگاه محقق می‌سازد (Lin et al., 2011). با توجه به اهمیت مهندسی ارزش، تاکنون تحقیقات زیادی در این حوزه انجام شده که خلاصه‌ای از آن‌ها در جدول ۱، آمده است.

جدول ۱. خلاصه‌ای از تحقیقات انجام گرفته در حوزه مهندسی ارزش

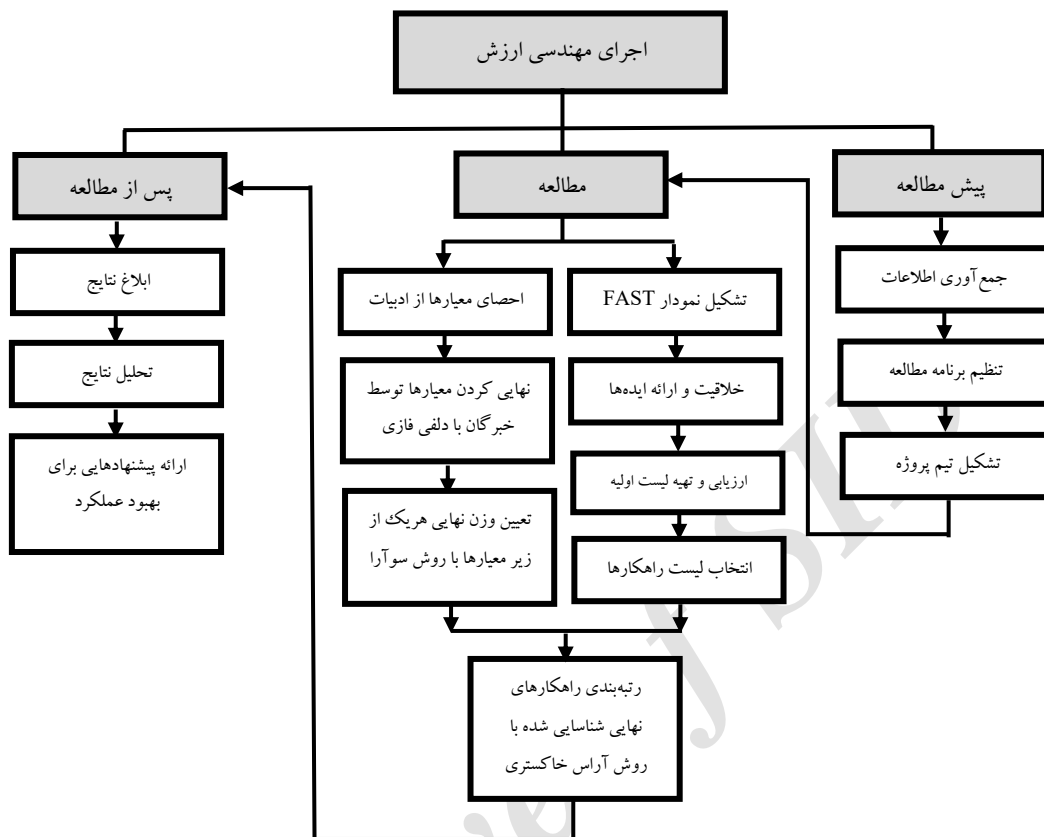
منبع	اقدامات و یافته‌ها	ابزار	مورد مطالعه
دامیریورسیک و کزار ولانتی (۱۹۹۹)	طراحی با استفاده از متدولوژی مدیریت ارزش و هزینه، با ارائه یک مدل تلفیقی از مهندسی ارزش و الگوبرداری انجام شد.	مدیریت ارزش و هزینه	شرکت فیات
گاندهیناتان و همکاران (۲۰۰۴)	هزینه‌یابی هدف با ترکیب دو روش مهندسی ارزش و QFD که به وسیله روش فازی حمایت می‌شود، نتایج اثربخش تری خواهد داشت.	تلفیقی از تکنیک‌های QFD، مهندسی ارزش، هزینه‌یابی هدف و منطق فازی	شرکت تولیدی قطعات خودروی هند
ایوسوکی و کامینسکی (۲۰۰۷)	توسعه محصول با تمرکز بر مهندسی ارزش و هزینه‌یابی هدف	مهندسی ارزش و هزینه‌یابی هدف	شرکت خودروسازی
چن و همکاران (۲۰۱۰)	نتایج ارزیابی، تجزیه و تحلیل شد و پیشنهادها برای بهبود عملکرد کارگاه ارائه شد. عملکرد را می‌توان برای بهبود فرایند و افزایش انگیزه تیم استفاده کرد.	از تحلیل عاملی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی	پروژه‌های ساخت و ساز
زنگین و آدا (۲۰۱۰)	تلفیق این سه تکنیک، شرکت را در دستیابی به مزیت رقابتی یاری خواهد کرد.	VE, QFD و تکنیک هزینه‌یابی هدف	شرکت تولیدی
هوانگ و	شناسایی عوامل حیاتی موفقیت مدیریت ارزش و	مدیریت ارزش	پروژه‌های

منبع	اقدامات و یافته‌ها	ابزار	مورد مطالعه
همکاران (۲۰۱۴)	هم‌چنین پتانسیل عوامل ریسک در مطالعات مدیریت ارزش		ساختمانی سنگاپور
راملی و همکاران (۲۰۱۴)	شناسایی مهم‌ترین عوامل حیاتی موفقیت در مورد مطالعه	تحلیل توصیفی و تست یومن وایتنی	کارگاه‌های مدیریت ارزش مالزی
سوران و همکاران (۲۰۱۵)	فاکتورهای حیاتی مربوط به تجربه‌های محلی برای استفاده در پروژه‌های بین‌المللی شناسایی شدند.	مهندسی ارزش	پروژه‌های بین‌المللی ساختمان
یوان و همکاران (۲۰۱۵)	ارائه چارچوب کارگاه مدیریت ارزش مجازی برای فراهم کردن مشارکت شرکت کنندگان از راه دور و همکاری مجازی	مهندسی ارزش	کارگاه مدیریت ارزش مجازی در هنگ‌کنگ
ریچون و همکاران (۲۰۱۶)	بررسی تأثیر مهندسی ارزش و توجه به پایداری بر ارزش پروژه، که نتایج نشان داد در نظر گرفتن مهندسی ارزش و پایداری منجر به کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی هزینه‌ها گردید.	مهندسی ارزش	صنعت ساخت- وساز
کک و بزداگ (۲۰۱۷)	ارائه یک چارچوب مفهومی متفاوت به منظور درک و اندازه‌گیری درجه تازگی نوآوری	رویکرد زنجیره ارزش پورتر	شرکت تولید باتری اتومبیل
نوکیچرالی و همکاران (۲۰۱۷)	درک اثرات سرمایه‌گذاری در فرآیند ایجاد ارزش در صنعت بازی‌های دیجیتال و ارائه پلت‌فرمی برای تجزیه و تحلیل انواع همکاری و رقابت در این حوزه	زنجیره ارزش	صنعت بازی- های دیجیتال
پارک و همکاران (۲۰۱۷)	بانک ایده‌های مهندسی ارزش مبتنی بر اطلاعات ساختمان، منجر به توسعه ایده‌های جدید و مدیریت بهتر ایده‌ها می‌گردد.	مهندسی ارزش	صنعت ساختمان
باک و پاتز (۲۰۱۷)	ارائه روشی کیفیت محور برای مهندسی ارزش، به منظور تعیین کیفیت اجزای اصلی محصول و همچنین مراحل تولید با در نظر گرفتن هدف‌های هزینه و قیمت از طریق پیاده‌سازی مهندسی ارزش	مهندسی ارزش، برنامه ریزی پویا و تحلیل واریانس	شرکت خودروسازی

با بررسی پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود که اغلب در حوزه‌های مربوط به پروژه، طراحی محصول و خدمات از تکنیک مهندسی ارزش استفاده شده است. این درحالی است که با توجه به اهمیت یافتن موضوع مدیریت زنجیره تأمین طی سال‌های اخیر، به‌ویژه ظهور فناوری‌های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، پتانسیل بالایی برای استفاده از مهندسی ارزش در این حوزه به چشم می‌خورد. بر همین اساس مقاله کنونی با ترکیب تکنیک مهندسی ارزش و روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه اقدام به شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش هزینه در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل‌گهر) نموده است.

#### چارچوب و روش تحقیق

این پژوهش از نظر نوع هدف، تحقیقی کاربردی بوده و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، توصیفی-اکتشافی می‌باشد که هدف آن شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای کاهش هزینه با بهره‌گیری از رویکرد مهندسی ارزش می‌باشد. گام‌های طی شده در این تحقیق در شکل ۱، آمده است.



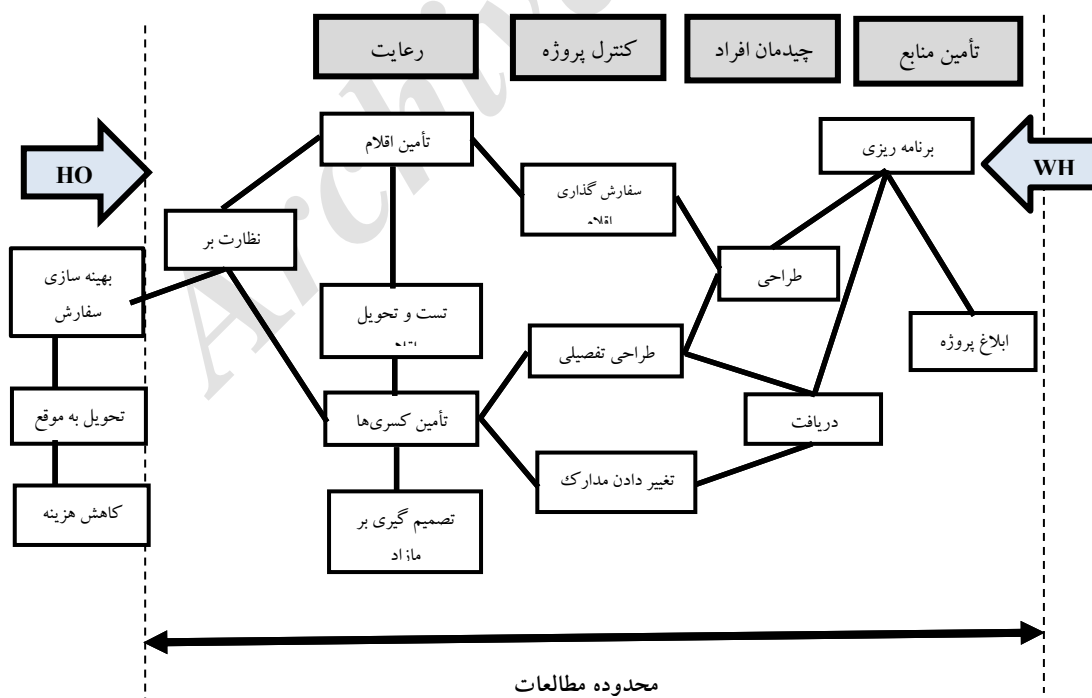
شکل ۱. گام‌های طی شده در تحقیق

در گام اول تیم مهندسی ارزش پروژه "کاهش هزینه در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل گهر)" که شامل مشاورین در حوزه مهندسی ارزش (از شرکت مشاوره مدیریت مینا) و متخصصان زنجیره تأمین نیروگاه (شامل مدیران خرید و تدارکات، تولید، موجودی و انبار، لجستیک و مالی) که دارای تجربه و تخصص لازم در این حوزه می‌باشند، تشکیل گردید و بر اساس مراحل مهندسی ارزش که شامل سه مرحله پیش-مطالعه، مطالعه و پس از مطالعه است، به بررسی موضوع پرداختند. در مرحله مطالعه فرآیند مهندسی ارزش، تیم پروژه پس از بررسی و مرور اطلاعات بدست آمده از مرحله پیش-

کارگاه، اقدام به ترسیم نمودار FAST، پروژه نمودند که در شکل ۲، نمودار FAST پروژه مورد نظر ترسیم شده است.

سپس بر مبنای آن، اعضای تیم پروژه به خلاقیت و ارائه ایده پرداختند. از آنجا که همگی ایده‌های ارائه شده، قابلیت اجرا ندارند، ایده‌های اولیه توسط خبرگان تیم مهندسی ارزش مورد ارزیابی قرار گرفته و در نتیجه دوازده راهکار برای مسئله مورد نظر شناسایی گردید. سپس از ادبیات تحقیق معیارهای مهندسی ارزش برای اولویت‌بندی راهکارها انتخاب و توسط خبرگان تیم مهندسی ارزش (در قالب فرآیند دلفی فازی)، تعدیل و نهایی شدند. از روش سوآرا برای وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها استفاده شد که در نهایت وزن نهایی هر یک از زیرمعیارها بدست آمدند. برای اولویت‌بندی راهکارهای نهایی شناسایی شده، بر اساس روش آراس خاکستری، ماتریس تصمیم نهایی ارزیابی شده توسط خبرگان تشکیل گردید. در گام بعد ماتریس تصمیم نهایی نرمال موزون به شکل اعداد خاکستری ایجاد گردید و در نهایت راهکارهای شناسایی شده رتبه‌بندی گردیدند.

شکل ۲. نمودار FAST پروژه مهندسی ارزش نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان





روش سوآرا<sup>۱</sup>

روش سوآرا یکی از جدیدترین روش‌هایی است که در سال ۲۰۱۰ توسط کرسولین و همکارانش ابداع شده و تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا به انتخاب، ارزیابی و وزن‌دهی شاخص‌ها بپردازد (Keršulienė et al., 2010). مهم‌ترین مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های مشابه، توان آن در ارزیابی دقت نظر خبرگان درباره شاخص‌های وزن داده شده در طی فرآیند روش می‌باشد (Keršulienė et al., 2010). علاوه بر این خبرگان می‌توانند با یکدیگر مشورت کرده و این مشورت نتایج حاصله را نسبت به دیگر روش‌های MCDM دقیق‌تر می‌کنند (Dehnavi et al., 2015).

گام‌های اصلی برای وزن‌دهی بر اساس روش سوآرا به شرح زیر است:

- گام اول: مرتب کردن شاخص‌ها؛
- گام دوم: تعیین اهمیت نسبی هر شاخص ( $S_j$ )؛
- گام سوم: محاسبه ضریب  $K_j$ ؛

ضریب  $K_j$  که تابعی از مقدار اهمیت نسبی هر شاخص می‌باشد با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه می‌گردد.

$$K_j = S_j + 1 \quad (1)$$

- گام چهارم: محاسبه وزن اولیه هر شاخص؛

وزن اولیه شاخص‌ها از طریق رابطه ۲ قابل محاسبه می‌باشد. در این رابطه باید توجه داشت که وزن شاخص نخست که مهم‌ترین شاخص است برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

$$q_j = \frac{q_{j-1}}{K_j} \quad (2)$$

- گام پنجم: محاسبه وزن نرمال نهایی؛

در آخرین گام از روش سوآرا وزن نهایی شاخص‌ها که وزن نرمال شده نیز محسوب می‌گردد از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum q_j} \quad (3)$$

### اعداد خاکستری<sup>۱</sup>

نظریه خاکستری یکی از روش‌هایی است که به وسیله تحلیل‌های ریاضی سیستم‌هایی که دارای اطلاعات دارای عدم اطمینان هستند، تمرکز می‌کند. نظریه خاکستری، که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد، براساس روش توسعه یافته دنگ<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۲ است. در نظر بگیریید:

$$\otimes x = [\alpha, \gamma] = \{x | \alpha \leq x \leq \gamma, \quad \alpha \text{ and } x \in \mathbb{R}\} \quad (۴)$$

بنابراین،  $\otimes x$ ، شامل دو عدد حقیقی است که  $\alpha$  (حد پایین  $\otimes x$ ) و  $\gamma$  (حد بالای  $\otimes x$ ) به شکل زیر تعریف می‌شود:

- اگر  $\alpha \rightarrow -\infty$  و  $\gamma \rightarrow -\infty$  در نتیجه  $\otimes x$ ، عدد سیاه نامیده می‌شود. بدین معنا که عاری از هرگونه اطلاعات معنادار است؛
- اگر  $\alpha = \gamma$  آنگاه  $\otimes x$ ، عدد سفید نامیده می‌شود. بدین معنا که اطلاعات کاملی را به همراه دارند؛
- در غیر این صورت،  $\otimes x = [\alpha, \gamma]$  عدد خاکستری نامیده می‌شود. بدین معنا که حاوی اطلاعات ناکافی و نامطمئن می‌باشد.

در نظر بگیریید که عدد خاکستری با دو پارامتر  $(\alpha, \gamma)$  تعریف و نمایش داده شود. و اعمال  $+$ ،  $-$ ،  $\times$ ،  $\div$  به ترتیب نمایانگر اعمال جمع، تفاضل، ضرب و تقسیم باشند. عملیات پایه برای اعداد خاکستری  $\otimes n_1$  و  $\otimes n_2$  به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes n_1 + \otimes n_2 = (n_{1\alpha} + n_{2\alpha}, n_{1\gamma} + n_{2\gamma}) \quad (۵)$$

$$\otimes n_1 - \otimes n_2 = (n_{1\alpha} - n_{2\alpha}, n_{1\gamma} - n_{2\alpha}) \quad (۶)$$

$$\otimes n_1 \times \otimes n_2 = (n_{1\alpha} \times n_{2\alpha}, n_{1\gamma} \times n_{2\gamma}) \quad (۷)$$

$$\otimes n_1 \div \otimes n_2 = \left( \frac{n_{1\alpha}}{n_{2\gamma}}, \frac{n_{1\gamma}}{n_{2\alpha}} \right) \quad (۸)$$

$$k \times (\otimes n_1) = (kn_{1\alpha}, kn_{1\gamma}) \quad (۹)$$

$$(\otimes n_1)^{-1} = \left( \frac{1}{n_{1\gamma}}, \frac{1}{n_{1\alpha}} \right) \quad (۱۰)$$

1. Grey Numbers  
2. Deng

روش آراس خاکستری<sup>۱</sup>

روش آراس (Zavadskas & Turskis, 2010, Zavadskas et al., 2010; Tupenaite et al., 2010) براساس این نظریه استوار است که پدیده‌های پیچیده جهان می‌تواند با استفاده از مقایسه‌های نسبی ساده فهمیده شود. در این روش مجموع مقادیر وزن دار شده و نرمال شده مقادیر معیارها برای هر گزینه که نشان‌دهنده شرایط یک گزینه است، بر مجموع مقادیر وزن-دار شده و نرمال شده بهترین گزینه تقسیم می‌شود. این نسبت، درجه بهینه بودن<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. براساس این درجه بهینه بودن گزینه‌ها، رتبه‌بندی می‌شود.

در گام اول ماتریس تصمیم خاکستری<sup>۳</sup> شکل می‌گیرد. ابعاد این ماتریس،  $m \times n$  است. که  $m$  نشان‌دهنده تعداد گزینه‌ها (سطرها) و  $n$  تعداد معیارها (ستون‌ها) می‌باشد.

$$X = \begin{bmatrix} \otimes x_{01} & \dots & \otimes x_{0j} & \dots & \otimes x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{i1} & \dots & \otimes x_{ij} & \dots & \otimes x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{m1} & \dots & \otimes x_{mj} & \dots & \otimes x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (11)$$

که  $m$  تعداد گزینه‌ها و  $n$  تعداد معیارها می‌باشد.  $\otimes x_{ij}$  نشان‌دهنده عملکرد گزینه  $i$  ام در معیار  $j$  ام می‌باشد.  $\otimes x_{0j}$  مقدار بهینه برای معیار  $j$  ام می‌باشد. اگر مقدار بهینه متغیر  $j$  ام نامعین باشد به شکل زیر مقداری برای آن تعیین می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \otimes x_{0j} &= \max_i \otimes x_{ij} & , if \max_i \otimes x_{ij} & \text{ is preferable} \\ \otimes x_{0j} &= \min_i \otimes x_{ij}^* & , if \min_i \otimes x_{ij}^* & \text{ is preferable} \end{aligned} \quad (12)$$

معمولاً مقدار ارزیابی گزینه‌ها در معیارها ( $\otimes x_{ij}$ ) و وزن هر معیار ( $\otimes w_j$ ) به‌عنوان ورودی‌های ماتریس تصمیم توسط تصمیم‌گیرندگان داده می‌شود. باید در مرحله اول به این نکته توجه شود که معیارها دارای ابعاد<sup>۴</sup> متفاوتی هستند.

در گام دوم، مقادیر ورودی اولیه برای تمامی معیارها نرمال‌سازی شده و به شکل  $\otimes \bar{x}_{ij}$  درآمده که درآیه‌های ماتریس  $\otimes \bar{X}$  هستند، که به شکل زیر تعریف می‌شود.

1. ARAS-G
2. Degree of Optimality
3. Grey Decision-Making Matrix (GDMM)
4. Dimensions

$$\otimes \bar{X} = \begin{bmatrix} \otimes \bar{x}_{01} & \dots & \otimes \bar{x}_{0j} & \dots & \otimes \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \bar{x}_{i1} & \dots & \otimes \bar{x}_{ij} & \dots & \otimes \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \bar{x}_{m1} & \dots & \otimes \bar{x}_{mj} & \dots & \otimes \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (13)$$

برای معیارهای مثبت<sup>۱</sup> نرمال سازی به شکل زیر انجام می شود:

$$\otimes \bar{x}_{ij} = \frac{\oplus x_{ij}}{\sum_{i=0}^m \otimes x_{ij}} \quad (14)$$

برای معیارهای منفی<sup>۲</sup> نرمال سازی به شکل زیر انجام می شود:

$$\otimes x_{ij} = \frac{1}{\otimes x_{ij}^*} \quad \otimes \bar{x}_{ij} = \frac{\oplus x_{ij}}{\sum_{i=0}^m \otimes x_{ij}} \quad (15)$$

وقتی مقادیر بدون بعد معیارها مشخص شود، این امکان فراهم می آید که معیارها با یکدیگر مقایسه شوند.

در گام سوم: وزن ها را در ماتریس نرمال شده  $\otimes \bar{X}$ ، اعمال می کنیم. تا ماتریس  $\otimes \bar{X}$  بدست آید. وزن هر معیار زام با  $w_j$  نمایش داده می شود. وزن ها توسط خبرگان تعیین می شوند. وزن های داده شده باید شروط زیر را داشته باشند:

$$0 < \otimes w_j < 1$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (16)$$

$$\otimes \hat{X} = \begin{bmatrix} \otimes \hat{x}_{01} & \dots & \otimes \hat{x}_{0j} & \dots & \otimes \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \hat{x}_{i1} & \dots & \otimes \hat{x}_{ij} & \dots & \otimes \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \hat{x}_{m1} & \dots & \otimes \hat{x}_{mj} & \dots & \otimes \hat{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (17)$$

$$\otimes \hat{x}_{ij} = \otimes \bar{x}_{ij} \times \otimes w_j; \quad i = \overline{0, m} \quad (18)$$

که  $w_j$  وزن (اهمیت) معیار زام و  $\bar{x}_{ij}$  مقدار نرمال شده معیار زام است. عبارت زیر مشخص کننده ارزش تابع بهینه<sup>۳</sup> را مشخص می کند:

1. Benefit Type Criteria
2. Cost Type Criteria
3. Optimality Function

$$\otimes S_i = \sum_{j=1}^n \otimes \hat{x}_{ij}; \quad i = \overline{0, m} \quad (19)$$

که  $\otimes S_i$  ارزش تابع بهینه برای گزینه  $i$  است. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین ارزش تابع بهینه را داشته باشد. و بدترین گزینه، گزینه‌ای است که کمترین ارزش تابع بهینه را داشته باشد. اولویت گزینه‌ها بر اساس مقدار  $\otimes S_i$  مشخص می‌شود.

نتیجه تصمیم‌گیری خاکستری برای هر گزینه، عدد خاکستری  $\otimes S_i$  است. روش‌های متعددی برای تبدیل مقدار خاکستری به مقدار قطعی وجود دارد. روش مرکز ناحیه یکی از کاربردی‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها است که در ذیل به آن اشاره شده است.

$$S_i = \frac{1}{2}(S_{i\alpha} + S_{i\gamma}) \quad (20)$$

درجه کاربرد هر گزینه از مقایسه آن با بهترین مقدار که  $S_0$  نام دارد بدست می‌آید. معادله‌ای درجه کاربرد که  $K_i$  نام دارد برای گزینه  $A_i$  در ذیل تشریح شده است.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \quad i = \overline{0, m} \quad (21)$$

که  $S_0$  و  $S_i$  از معادله (۱۹) بدست آمده‌اند. واضح است که مقدار  $K_i$  در بازه (۰ و ۱) قرار دارد. بر اساس مقادیر  $K_i$  گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

### مطالعه موردی

همان‌طور که تشریح شد، در این مقاله از رویکرد تشریح شده به منظور شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش هزینه در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل‌گهر) استفاده شده است. نیروگاه سیکل ترکیبی گل‌گهر، یکی از نیروگاه‌های مهم کشور برای تولید برق بوده که نقش حیاتی در تأمین برق کشور به عهده دارد. این نیروگاه در راستای توسعه تولید برق کشور و پاسخ‌گویی به رشد مصرف منطقه و استفاده از حداکثر توان مهندسی داخل کشور تأسیس شد. باتوجه به نقش حیاتی این نیروگاه در تأمین برق کشور و رفع هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین آن، تیم مهندسی ارزش پروژه، به سرپرستی مدیر واحد مهندسی ارزش شرکت تشکیل گردید. برای بدست آوردن ایده‌های

مربوط به بهبود ارزش در زنجیره تأمین مهندسی کابل و تجهیزات جانبی پروژه سیکل ترکیبی نیروگاه سیرجان (گل گهر) از افراد خیره داخلی و خارجی در تیم مهندسی ارزش پروژه استفاده گردید. مطابق استانداردهای موجود، مهندسی ارزش در سه مرحله انجام گرفت؛ در اولین مرحله (پیش مطالعه) به جمع آوری اطلاعات، تبیین مبانی مطالعه و تکمیل تیم پروژه پرداخته شد. در مرحله دوم (مطالعه) در قالب کارگاه‌های مرتبط به موضوعات خلاقیت و ارائه ایده، ارزیابی اولیه و توسعه ایده‌ها و ارائه لیست راهکارها پرداخته شد. در مرحله سوم (پس از مطالعه) فعالیت‌های اصلی همچون ابلاغ و تحلیل نتایج، پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد، اجرا و ارزیابی نتایج مبنای قرار خواهد گرفت. با توجه به توضیحات مربوط به مراحل اجرای مهندسی ارزش، برای اجرا و پیاده‌سازی مهندسی ارزش، به تحلیل کارکرد نیاز داریم. تحلیل کارکرد فعالیت‌ها، روشی کارا در ارزیابی قابلیت روش‌های اجرایی در رسیدن به اهداف می‌باشد، که برای دستیابی به این منظور باید از نمودار FAST استفاده کرد. پس از برگزاری جلسات متعدد، خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه، با توجه به پروژه مورد نظر، نمودار FAST را طراحی نمودند. با توجه به نمودار FAST و نظرات خبرگان تیم مهندسی ارزش، ایده‌هایی برای کاهش هزینه استخراج گردید که تعداد ایده‌های تولید شده در هر یک از مشخصه‌های اصلی کارکردی شامل نظارت بر نصب و راه‌اندازی، طراحی تفصیلی، تأمین اقلام، سفارش‌گذاری اقلام، تصمیم‌گیری بر اقلام مازاد و تست و تحویل به ترتیب با ۱۴۱، ۷۱، ۵۱، ۴۹، ۴۴ و ۴۳ ایده، به‌عنوان مشخصه‌های اصلی کارکردی با بالاترین تعداد ایده معرفی شدند. تعداد زیادی از راهکارهای ارائه شده، بنا به دلایلی هم‌چون تکراری بودن، قابلیت اجرای کم، عدم توافق جمعی، خارج از محدوده بودن، نامفهوم بودن و تأثیر منفی بر اهداف در فاز ارزیابی راهکارها، کنار گذاشته شدند. پس از ارزیابی، بررسی مجدد و توسعه راهکارهای اولیه، در نهایت دوازده راهکار نهایی توسط خبرگان انتخاب شدند که برای کاهش هزینه در پروژه نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان استفاده می‌شوند. دوازده راهکار نهایی انتخاب شده به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. راهکارهای نهایی شناسایی شده برای کاهش هزینه در زنجیره تأمین نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان

راهکارهای نهایی شناسایی شده برای کاهش هزینه در زنجیره تأمین	
راهکار ۱	جلوگیری از انجام تغییرات مسیر کابل در سایت، بدون هماهنگی با طراح و مدیر
راهکار ۲	طراحی پس از تکمیل مدارک ورودی
راهکار ۳	کاهش بروکراسی تست تجهیزات از طریق کاهش نفقات تست و رویه‌های تست و انجام ندادن تست برای کابل‌های مشابه ساخته شده توسط یک کارخانه که دارای تست شیت هستند.
راهکار ۴	استفاده از نرم‌افزار ELECDES در تهیه مدارک مهندسی
راهکار ۵	تهیه یک مدرک جامع توسط معاونت مهندسی مینا مبنی بر این که جانمایی تمامی تجهیزات لیست بار در آن مشخص شده باشد.
راهکار ۶	اصلاح معیار ساینینگ کابل‌های قدرت (بررسی تکرار در گروه B)
راهکار ۷	استفاده از پروتکل‌های ارتباطی نرم‌افزار به جای ارتباطات HARD WIRE در جهت کاهش مصرف کابل
راهکار ۸	اعمال Design data freeze در فرآیند طراحی جهت برآورد هزینه‌های مالی و زمانی پروژه
راهکار ۹	اصلاح CBS و دریافت هزینه‌های تغییرات مهندسی پس از لغو و ابلاغ دوباره
راهکار ۱۰	ایجاد سیستم کاتینگ کابل و مصرف بر اساس گزارش‌های کاتینگ و ایجاد مدارک کاتینگ لیست
راهکار ۱۱	ایجاد رویه جدید جهت خرید اقلام کسری
راهکار ۱۲	کاهش زمان سفارش تا خرید و تحویل از طریق اصلاح رویه خرید

### شناسایی و احصاء معیارها

برای این که بتوان راهکارها را اولویت‌بندی نمود، نیاز است تا معیارهای موجود بر اساس ادبیات تحقیق شناسایی گردند. در ادامه نیز می‌بایست تا معیارهای شناسایی شده با نظرات خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه تعدیل و بومی سازی شود. برای این منظور از فرآیند دلفی فازی بهره‌گیری شده است (به دلیل محدودیت حجم این جدول در مقاله وارد نشده است). لیست نهایی معیارهای مورد نظر خبرگان برای ارزیابی راهکارها به شرح جدول ۳، طبقه‌بندی شده است.

جدول ۳. معیارهای نهایی ارزیابی راهکارها

معیار اصلی	زیرمعیار	رفرنس	
کارایی	هزینه	Fong et al., 2007	
		Kelly, 2007	
		Bowen et al., 2010a	
	در نظر گرفتن زمان	Bowen et al., 2010b	
		Kelly, 2007	
		Bowen et al., 2010a	
امکان پذیری	امکان پذیری از نظر اقتصادی	Ellis et al., 2005	
	امکان پذیری تکنولوژیکی	Ellis et al., 2005	
قابلیت اجرا	سهولت اجرا و ایمنی	Fong et al., 2007	
	انعطاف پذیری	Bowen et al., 2010a	
		Bowen et al., 2010b	
اثر بخشی	میزان افزایش ارزش پروژه	Bowen et al., 2010a	
		Bowen et al., 2010b	
	قابل قبول بودن از نظر مشتری	قابل قبول بودن از نظر مشتری	Ellis et al., 2005
		تطابق با خط مشی و سیاست شرکت	Bowen et al., 2010a
			Bowen et al., 2010b
			Bowen et al., 2010a
تناسب با الزامات محیط بیرونی	حداقل کردن تأثیرات زیست محیطی	Bowen et al., 2010b	
	در نظر گرفتن ویژگی‌های محیطی	Fong et al., 2007	
		Kelly, 2007	
	تطابق با ادراکات و باورهای جامعه	Fong et al., 2007	

### محاسبه وزن نهایی هر یک از زیرمعیارها

همان‌طور که در جدول شماره ۴، ملاحظه می‌فرمایید بر مبنای گام اول روش سوآرا از خبرگان خواسته شده تا معیارها را بر حسب اهمیت به‌طور نزولی مرتب نمایند. که این اولویت‌بندی در ستون دوم جدول شماره ۴، به نمایش درآمده است. هم‌چنین گام‌های دوم تا چهارم روش سوآرا به ترتیب در ستون‌های سوم تا پنجم جدول شماره ۴، قابل ملاحظه است. در نهایت با پیمودن گام نهایی روش سوآرا و نرمال‌سازی اوزان معیارهای مؤثر بر کاهش هزینه زنجیره تأمین با رویکرد مهندسی ارزش، وزن نهایی آن‌ها در ستون ششم جدول شماره ۴، به نمایش درآمده است.



جدول ۴. محاسبه وزن معیارهای مؤثر بر کاهش هزینه زنجیره تأمین با رویکرد مهندسی ارزش

کد ابعاد	نام معیار	مقدار متوسط اهمیت نسبی	محاسبه ضرب $K_j$	محاسبه وزن اولیه هر شاخص	محاسبه وزن نرمال نهایی
A	کارایی	۱	۱	۱	۰/۲۶۷۶۱۴۹۱۳
B	اثربخشی	۰/۰۹	۱/۰۹	۰/۹۱۷۴۳۱۱۹۳	۰/۲۴۵۵۱۸۲۶۹
C	امکان‌پذیری	۰/۱۳	۱/۱۳	۰/۸۱۱۸۸۶۰۱۱	۰/۲۱۷۲۷۲۸۰۵
D	چگونگی اجرا	۰/۲۸	۱/۲۸	۰/۶۳۴۲۸۵۹۴۶	۰/۱۶۹۷۴۴۳۷۹
E	محیط بیرونی	۰/۷	۱/۷	۰/۳۷۳۱۰۹۳۸	۰/۰۹۹۸۴۹۶۳۴

به‌طور مشابه گام‌های روش سوآرا به شکل فوق برای تعیین وزن زیرمعیارهای معیارهای کارایی، امکان‌پذیری، چگونگی اجرا، اثربخشی و محیط بیرونی محاسبه می‌شود. حال در ادامه وزن هر معیار مؤثر بر کاهش هزینه زنجیره تأمین را با توجه به رویکرد مهندسی ارزش که در جدول شماره ۴، به نمایش درآمده در وزن زیرمعیارهای هر یک از معیارها، ضرب می‌نماییم تا وزن نهایی هر یک از زیرمعیارها مطابق آنچه در جدول ۵، بدان اشاره شده، حاصل شود. همانطور که مشخص شده است سه معیار اصلی کارایی، اثربخشی و امکان‌پذیری با وزن‌های ۰/۲۷، ۰/۲۵ و ۰/۲۱ به ترتیب مهمترین معیارها از دیدگاه اعضای کمیته مهندسی ارزش پروژه بوده‌اند.

جدول ۵. محاسبه وزن نهایی هر یک از زیرمعیارهای مؤثر بر کاهش هزینه زنجیره تأمین با رویکرد مهندسی ارزش به روش سوآرا

کد معیار	نام معیار	وزن معیار	کد زیرمعیار	نام زیرمعیار	وزن زیرمعیار	وزن نهایی زیر معیار
A	کارایی	۰/۲۶۷۶۱۵	A <sub>1</sub>	هزینه	۰/۵۷۸۰۵۹۱	۰/۱۵۴۷
			A <sub>2</sub>	در نظر گرفتن زمان	۰/۴۲۱۹۴۰۹	۰/۱۱۲۹
B	امکان‌پذیری	۰/۲۱۷۲۷۳	B <sub>1</sub>	امکان‌پذیری از نظر اقتصادی	۰/۵۸۳۳۳۳۳	۰/۱۲۶۷
			B <sub>2</sub>	امکان‌پذیری تکنولوژیکی	۰/۴۱۶۶۶۶۷	۰/۰۹۰۵
C	چگونگی	۰/۱۶۹۷۴۴	C <sub>1</sub>	سهولت اجرا و ایمنی	۰/۶۱۳۸۹۹۶	۰/۱۰۴۲

کد معیار	نام معیار	وزن معیار	کد زیرمعیار	نام زیرمعیار	وزن زیرمعیار	وزن نهایی زیر معیار
	اجرا		C <sub>2</sub>	انعطاف پذیری	۰/۳۸۶۱۰۰۴	۰/۰۶۵۵
D	اثربخشی	۰/۲۴۵۵۱۸	D <sub>1</sub>	میزان افزایش ارزش پروژه	۰/۴۶۲۸۰۹۹	۰/۱۱۳۶
			D <sub>2</sub>	قابل قبول بودن از نظر مشتری	۰/۳۳۰۵۷۸۵	۰/۰۸۱۲
			D <sub>3</sub>	تطابق با خط مشی و سیاست شرکت	۰/۲۰۶۶۱۱۶	۰/۰۵۰۷
E	محیط بیرونی	۰/۰۹۹۸۵	E <sub>1</sub>	حداقل کردن تأثیرات زیست محیطی	۰/۳۹۰۹۸۹۴	۰/۰۳۹۰
			E <sub>2</sub>	در نظر گرفتن ویژگی های محیطی	۰/۴۱۰۵۳۸۹	۰/۰۴۱۰
			E <sub>3</sub>	تطابق با ادراکات و باورهای جامعه	۰/۱۹۸۴۷۱۸	۰/۰۱۹۸

بر اساس نتایج جدول فوق، در این بین معیارهای هزینه، امکان پذیری از نظر اقتصادی، میزان افزایش ارزش پروژه و نهایتاً در نظر گرفتن زمان مهمترین معیارها در این تصمیم گیری لحاظ شده اند.

اولویت بندی راهکارهای نهایی کاهش هزینه زنجیره تأمین با رویکرد مهندسی ارزش در ادامه از خبرگان خواسته شده تا به ارزیابی هر یک از گزینه ها در زیرمعیارهای مذکور بر مبنای ادبیات متغیرهای زبانی جدول شماره ۶، پردازند تا جدول تصمیم نهایی به شکل آنچه در جدول شماره ۷ نمایش داده شده حاصل گردد.

جدول ۶. متغیرهای زبانی متناظر با اعداد خاکستری (Turskis & Zavadskas, 2010)

متغیرهای زبانی	عدد خاکستری متناظر
خیلی کم (VL)	(۰/۲ و ۰)
کم (L)	(۰/۳ و ۰/۱)
متوسط رو به پایین (ML)	(۰/۴ و ۰/۲)
متوسط (M)	(۰/۶۵ و ۰/۳۵)
متوسط رو به بالا (MH)	(۰/۸ و ۰/۶)
زیاد (H)	(۰/۹ و ۰/۷)
خیلی زیاد (VH)	(۱ و ۰/۸)

جدول ۷. ماتریس تصمیم نهایی ارزیابی شده بوسیله متغیرهای زبانی اعداد خاکستری

کد معیار	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
گزینه‌ها												
هزینه												
در نظر گرفتن زمان												
امکان‌پذیری از نظر اقتصادی												
امکان‌پذیری تکنولوژیکی												
سهولت اجرا و ایمنی												
انعطاف‌پذیری												
میزان افزایش ارزش پروژه												
قابل قبول بودن از نظر مشتری												
تطابق با خط‌مشی و سیاست شرکت												
حداقل کردن تأثیرات زیست‌محیطی												
در نظر گرفتن ویژگی‌های زیست‌محیطی												
تطابق با ادراکات و باورهای جامعه												
راهکار ۱	H	H	VH	VH	VH	L	VH	VH	VH	M	M	ML
راهکار ۲	VH	VH	VH	VH	VH	ML	VH	VH	VH	M	MH	ML
راهکار ۳	H	VH	VH	H	VH	ML	H	VH	VH	M	M	M
راهکار ۴	VH	VH	VH	VH	VH	ML	VH	VH	VH	H	ML	L
راهکار ۵	H	H	H	H	MH	ML	H	VH	VH	H	M	L
راهکار ۶	VH	H	VH	VH	VH	ML	H	VH	VH	MH	ML	ML
راهکار ۷	VH	VH	H	VH	H	ML	VH	VH	VH	H	ML	L
راهکار ۸	VH	VH	VH	H	H	H	H	VH	H	H	M	L
راهکار ۹	VH	VH	VH	VH	VH	ML	VH	ML	VH	H	ML	L
راهکار ۱۰	VH	H	MH	VH	H	ML	VH	VH	VH	MH	MH	M
راهکار ۱۱	H	H	H	H	H	ML	H	VH	VH	M	M	M
راهکار ۱۲	H	VH	VH	VH	H	H	VH	VH	VH	MH	MH	MH

حال متغیرهای زبانی موجود در جدول شماره ۷ را به کمک جدول شماره ۶ به اعداد خاکستری تبدیل نموده تا جدول تصمیم نهایی با اعداد خاکستری بدست آید. در گام بعدی با توجه به رابطه شماره ۱۲ گزینه ایده آل را بدست آورده و جدول تصمیم نهایی را با توجه به مثبت و منفی بودن زیرمعیارها و با کمک روابط شماره ۱۴ و ۱۵ نرمال سازی نموده تا ماتریس تصمیم نرمال حاصل شود. سپس وزن نهایی زیرمعیارها را که در جدول شماره ۵، نمایش داده شده با کمک رابطه شماره ۱۸ در ستون متناظر با هر زیرمعیار ضرب نموده تا ماتریس تصمیم نرمال موزون به شکل جدول شماره ۸، بدست آید.

Archive of SID

جدول ۸. ماتریس تصمیم نهایی نرمال موزون به شکل اعداد خاکستری

نام زیرمعیار	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
نوع معیار	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت
وزن زیرمعیار	۰/۱۵۴۷	۰/۱۱۲۹	۰/۱۲۶۷	۰/۰۹۰۵	۰/۱۰۴۲	۰/۰۶۵۵
گزینه بهینه	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۵)
راهکار ۱	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۵)
راهکار ۲	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۳	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۴	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۵	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۶	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۷	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۸	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۵)
راهکار ۹	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۱۰	(۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۴)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۱۱	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷)
راهکار ۱۲	(۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۶)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۳)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۰)	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۵)
نام زیرمعیار	D1	D2	D3	E1	E2	E3
نوع معیار	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت
وزن زیرمعیار	۰/۱۱۳۶	۰/۰۸۱۲	۰/۰۵۰۷	۰/۰۳۹۰	۰/۰۴۱۰	۰/۰۱۹۸
گزینه بهینه	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)
راهکار ۱	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۲	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۳	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴)
راهکار ۴	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۵	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)	(۰ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۶	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۷	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۸	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)	(۰ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۹	(۰ و ۰)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰ و ۰)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰ و ۰/۰۰۲)
راهکار ۱۰	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴)
راهکار ۱۱	(۰/۰۰۷ و ۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۳)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴)
راهکار ۱۲	(۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲)	(۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۸)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴)	(۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۵)

در ادامه تابع ارزش بهینه را با کمک رابطه‌ی شماره ۱۹ بدست می‌آید. با توجه به این که مقدار بدست آمده به شکل اعداد خاکستری می‌باشد، با هدف مقایسه این اعداد با یکدیگر با کمک رابطه شماره ۲۰ آن‌ها را به شکل اعداد غیر خاکستری درآورده و با کمک رابطه شماره ۲۱ درجه مطلوبیت هر گزینه را بدست آورده و در نهایت گزینه‌ها را بر مبنای مقدار درجه مطلوبیت متناظر با هریک از آن‌ها، رتبه‌بندی می‌شوند. نتایج فرآیندهای مذکور را در قالب جدول شماره ۹، به نمایش درآمده است.

جدول ۹. نتایج نهایی روش آراس خاکستری

رتبه	K	S	Sgrey	گزینه‌ها
۰	۱	۰/۰۹۳۰۰۴۶۲	(۰/۰۶۹ و ۰/۱۱۷)	گزینه بهینه
۶	۰/۸۵۶۹۱۴۱۹	۰/۰۷۹۶۹۶۹۸	(۰/۰۵۸ و ۰/۱۰۱)	راهکار ۱
۳	۰/۸۷۹۳۷	۰/۰۸۱۷۸۵۴۷	(۰/۰۶۰ و ۰/۱۰۳)	راهکار ۲
۴	۰/۸۷۱۸۰۲۵۸	۰/۰۷۹۹۷۲۸۵	(۰/۰۵۹ و ۰/۱۰۳)	راهکار ۳
۵	۰/۸۵۹۸۸۰۴۴	۰/۰۷۹۹۷۲۸۵	(۰/۰۵۹ و ۰/۱۰۱)	راهکار ۴
۱۱	۰/۸۲۶۵۸۱۹۲	۰/۰۷۶۸۷۵۹۳	(۰/۰۵۶ و ۰/۰۹۸)	راهکار ۵
۱۰	۰/۸۳۶۸۹۷۸۴	۰/۰۷۷۸۳۵۳۶	(۰/۰۵۷ و ۰/۰۹۸)	راهکار ۶
۹	۰/۸۳۷۲۱۶۷۳	۰/۰۷۷۸۶۵۰۲	(۰/۰۵۷ و ۰/۰۹۸)	راهکار ۷
۲	۰/۹۰۹۶۰۴۸۳	۰/۰۸۴۵۹۷۴۵	(۰/۰۶۲ و ۰/۱۰۷)	راهکار ۸
۱۲	۰/۶۵۵۳۸۷۸۹	۰/۰۶۰۹۵۴۱	(۰/۰۴۴ و ۰/۰۷۸)	راهکار ۹
۷	۰/۸۵۳۱۹۱۶۹	۰/۰۷۹۳۵۰۷۷	(۰/۰۵۸ و ۰/۱۰۱)	راهکار ۱۰
۸	۰/۸۳۸۱۵۰۵۸	۰/۰۷۷۹۵۱۸۷	(۰/۰۵۶ و ۰/۱۰۰)	راهکار ۱۱
۱	۰/۹۸۴۸۱۵۵۵	۰/۰۹۱۵۹۲۳۹	(۰/۰۶۸ و ۰/۱۱۶)	راهکار ۱۲

نتایج اولویت‌بندی با روش آراس خاکستری نشان می‌دهد که راهکارهای دوازدهم (کاهش زمان سفارش تا خرید و تحویل از طریق اصلاح رویه خرید)، راهکار هشتم (اعمال Design data freeze در فرآیند طراحی جهت برآورد هزینه‌های مالی و زمانی پروژه) و راهکار دوم (طراحی پس از تکمیل مدارک ورودی) به ترتیب به عنوان بهترین راهکار انتخاب شده است.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله برای افزایش کارایی و کاهش هزینه، پژوهشی با هدف شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش هزینه در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی سیرجان (گل‌گهر)، صورت گرفت. راهکارهای نهایی کاهش هزینه پس از برگزاری جلسات متعدد با خبرگان تیم مهندسی ارزش پروژه شناسایی شدند. سپس این راهکارها با معیارهایی که از ادبیات تحقیق استخراج و با نظر خبرگان تیم مهندسی ارزش تعدیل و نهایی شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای نهایی و هریک از زیرمعیارها با روش سوآرا وزن‌دهی شدند. سپس وزن نهایی هریک از زیرمعیارها محاسبه شد. در ادامه برای اولویت‌بندی راهکارهای نهایی از روش آراس خاکستری بهره گرفته شد. با توجه به تحلیل‌هایی که برای وزن‌دهی زیرمعیارها صورت گرفت و این که زیرمعیارهای هزینه و امکان‌پذیری از نظر اقتصادی به عنوان مهم‌ترین معیارها برای اولویت‌بندی شناخته شدند. نتایج اولویت‌بندی با روش آراس خاکستری نشان می‌دهد که راهکارهای دوازدهم (کاهش زمان سفارش تا خرید و تحویل از طریق اصلاح رویه خرید)، راهکار هشتم (اعمال Design data freeze در فرآیند طراحی جهت برآورد هزینه‌های مالی و زمانی پروژه) و راهکار دوم (طراحی پس از تکمیل مدارک ورودی) به ترتیب به عنوان بهترین راهکار انتخاب شده است. در تحلیل این نتیجه می‌توان به هزینه نسبی پایین‌تر راهکار دوازدهم و هم‌چنین عملکرد بهتر این گزینه در زیرمعیارهای انعطاف‌پذیری و تطابق با ادراکات و باورهای جامعه اشاره نمود. با توجه به نتایج پژوهش، در زنجیره تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه سیکل ترکیبی گل‌گهر، برنامه‌ریزی‌های لازم در بخش‌های زیر می‌بایست صورت گیرد: ۱- رویه‌های خرید اصلاح شده و زمان سفارش تا خرید کاهش یابد تا بدین وسیله کارایی زنجیره تأمین افزایش یابد. ۲- با اعمال Design data freeze در فرآیند طراحی زمینه‌سازی لازم برای برآورد دقیق‌تر هزینه‌های مالی، زمانی و لذا مدیریت بهتر هزینه‌های زنجیره تأمین که هدف اصلی می‌باشد، فراهم شود. ۳- می‌بایست گام‌های فرآیند به نوعی بازطراحی شوند که از این پس، بعد از تکمیل مدارک ورودی نسبت به طراحی اقدام نمود. علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان با کاهش بروکراسی تست تجهیزات از

طریق کاهش نفرات تست و رویه‌های تست و انجام ندادن تست برای کابل‌های مشابه ساخته شده توسط یک کارخانه که دارای تست شیت هستند، هزینه‌های غیرضروری، افزایش رویه‌ها و اتلاف وقت را کاهش داد. هم‌چنین برای تهیه مدارک مهندسی با استفاده از نرم‌افزار ELECDES، می‌توان ضمن برخورداری از انعطاف، زمان و هزینه را کاهش داد.

پژوهش‌های آتی می‌توانند زمینه بهره‌گیری از مهندسی ارزش در سایر زنجیره‌های تأمین را در حوزه‌های مختلف (به ویژه زنجیره‌های تأمین پاسخگو در صنایعی همچون خودروسازی) فراهم نمایند. همچنین به نظر منطقی است که در خصوص لیست معیارهای مدنظر نیز کار علمی متمرکزی صورت گرفته و علاوه بر معیارهای شناسایی شده، به معیارهای متناسب دیگری نیز توجه کرد. همچنین با توجه به نوع معیارها می‌توان از رویکردهای تصمیم‌گیری فازی و یا فازی شهودی به منظور تقویت کار انجام شده بهره‌گیری نمود. همچنین بررسی وجود ارتباط بین معیارها و بهره‌گیری از روش‌هایی مثل DANP (ترکیب DEMATEL و ANP) یا FCM و ترکیب آن با روش‌های فراابتکاری (LFCM) در صورت اثبات وجود این رابطه می‌تواند در تحقیقات آتی دنبال شود.



## منابع

- Ali, A. S., & Rahmat, I. (2010). The performance measurement of construction projects managed by ISO-certified contractors in Malaysia. *Journal of Retail & Leisure Property*, 9(1), 25-35.
- Beheshti, H. M. (2004). Gaining and sustaining competitive advantage with activity based cost management system. *Industrial Management & Data Systems*, 104(5), 377-383.
- Bock, S., & Pütz, M. (2017). Implementing Value Engineering based on a multidimensional quality-oriented control calculus within a Target Costing and Target Pricing approach. *International Journal of Production Economics*, 183, 146-158.
- Borsic, D., & Volante, C. (1999). Value engineering in the product development process: an application in automotive industry. In *SAVE INTERNATIONAL PROCEEDINGS* (pp. 24-32).
- Bowen, P., Edwards, P., Cattell, K., & Jay, I. (2010a). The awareness and practice of value management by South African consulting engineers: Preliminary research survey findings. *International journal of project management*, 28(3), 285-295.
- Bowen, P., Jay, I., Cattell, K., & Edwards, P. (2010b). Value management awareness and practice by South African architects: an empirical study. *Construction Innovation*, 10(2), 203-222.
- Chen, W. T., Chang, P. Y., & Huang, Y. H. (2010). Assessing the overall performance of value engineering workshops for construction projects. *International Journal of Project Management*, 28(5), 514-527.
- Chen, W. T., Chang, P. Y., & Huang, Y. H. (2010). Assessing the overall performance of value engineering workshops for construction projects. *International Journal of Project Management*, 28(5), 514-527.
- Davis, S. M. (1997). Bringing innovation to life. *Journal of Consumer Marketing*, 14(5), 338-361.
- Dehnavi, A., Aghdam, I. N., Pradhan, B., & Varzandeh, M. H. M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system

(ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122-148.

Elias, S. E. (1998). Value engineering, a powerful productivity tool. *Computers & industrial engineering*, 35(3), 381-393.

Ellis, R. C., Wood, G. D., & Keel, D. A. (2005). Value management practices of leading UK cost consultants. *Construction Management and Economics*, 23(5), 483-493.

Fong, P. S. W., Hills, M. J., & Hayles, C. S. (2007). Dynamic knowledge creation through value management teams. *Journal of Management in Engineering*, 23(1), 40-49.

Gandhinathan, R., Raviswaran, N., & Suthakar, M. (2004). QFD-and VE-enabled target costing: a fuzzy approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(9), 1003-1011.

Hwang, B. G., Zhao, X., & Ong, S. Y. (2014). Value management in Singaporean building projects: implementation status, critical success factors, and risk factors. *Journal of Management in Engineering*, 31(6), 04014094.

Ibusuki, U., & Kaminski, P. C. (2007). Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company. *International Journal of Production Economics*, 105(2), 459-474.

Ju-Long, D. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), 288-294.

Kelly, J. (2007). Making client values explicit in value management workshops. *Construction Management and Economics*, 25(4), 435-442.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.

Koc, T., & Bozdag, E. (2017). Measuring the degree of novelty of innovation based on Porter's value chain approach. *European Journal of Operational Research*, 257(2), 559-567.

Lin, G., Shen, G. Q., Sun, M., & Kelly, J. (2011). Identification of key performance indicators for measuring the performance of value management studies in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(9), 698-706.

Lorde, T., Waithe, K., & Francis, B. (2010). The importance of electrical energy for economic growth in Barbados. *Energy Economics*, 32(6), 1411-1420.

Mohamad Ramly, Z., Shen, G. Q., & Yu, A. T. (2014). Critical success factors for value management workshops in Malaysia. *Journal of management in engineering*, 31(2), 05014015.

Nucciarelli, A., Li, F., Fernandes, K. J., Goumagias, N., Cabras, I., Devlin, S., ... & Cowling, P. (2017). From value chains to technological platforms: The effects of crowdfunding in the digital game industry. *Journal of Business Research*.

Parikh, S. R. (2000, June). Proving value methodology as an outstanding tool for the assessment of waste minimization opportunities at the Hanford site. In *SAVE INTERNATIONAL PROCEEDINGS* (pp. 196-209).

Park, C. S., Kim, H. J., Park, H. T., Goh, J. H., & Pedro, A. (2017). BIM-based idea bank for managing value engineering ideas. *International Journal of Project Management*, 35(4), 699-713.

Qiping Shen, G., & Yu, A. T. (2012). Value management: recent developments and way forward. *Construction Innovation*, 12(3), 264-271.

Rachwan, R., Abotaleb, I., & Elgazouli, M. (2016). The influence of value engineering and sustainability considerations on the project value. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 431-438.

SAVE International (2007). Value Standard and Body of Knowledge, [Online] Available From <URL: <http://www.save.org>>.

Surlan, N., Cekic, Z., & Torbica, Z. (2015). Use of value management workshops and critical success factors in introducing local experience on the international construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 1-9.

Tohidi, H. (2011). Review the benefits of using value engineering in information technology project management. *Procedia Computer Science*, 3, 917-924.

Tupenaite, L., Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Seniut, M. (2010). Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(2), 257-266.

Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A novel method for multiple criteria analysis: grey additive ratio assessment (ARAS-G) method. *Informatica*, 21(4), 597-610.

Yuan, Z., Shen, G. Q., Chung, K. H., Ramly, Z. M., Yu, T. W., & Wang, H. (2015). Experimental Study on Virtual Value Management Workshop in Hong Kong. *Journal of Management in Engineering*, 32(2), 04015039.

Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of civil and mechanical engineering*, 10(3), 123-141.

Zengin, Y., & Ada, E. (2010). Cost management through product design: target costing approach. *International Journal of production research*, 48(19), 5593-5611.

Zhang, X., Mao, X., & AbouRizk, S. M. (2009). Developing a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry. *Automation in construction*, 18(6), 777-789.