DOI: http://dx.doi.org/10.22104/jtdm.2016.223

توجیه و انتخاب تکنولوژی پیشرفته: کاربرد رویکرد تلفیقی FANP-FARAS

فهیمه علی‌اکبری نوری[۱]
محسن شفیعی نیک آبادی*[۲]

چکیده

به‌کارگیری تکنولوژی تولید پیشـرفته ابزاری مهم در کسـب تمایز در بازار رقابتی اسـت. درحالی‌که درک و به‌کارگیری صحیح این تکنولوژی مزایای چشـم‌گیری برای شـرکت‌ها به همراه دارد، انتخاب یک تکنولوژی نامناسب نیز می‌تواند تأثیرات جبران‌ناپذیر مالی و استراتژیک برای شرکت‌ها به‌بار آورد. لذا انتخاب یک تکنولوژی درست، گامی حیاتی در اثربخشی فرآیند انتقال تکنولوژی است. هدف این مقاله ارائه‌ی رویکردی کاربردی برای ارزیابی و رتبه‌بندی تکنولوژی‌های پیشـرفته با اسـتفاده از مدل ترکیبی FANP-FARAS می‌باشد. این تحقیق با هدف کاربردی و به صورت توصیفی- پیمایشی انجام شده‌اسـت. در جمع‌آوری داده‌های موردنیاز برای تعیین میزان اهمیت و اولویت معیارها از پرسشنامه مقایسـات زوجی FANP و بـرای تعیین نرخ عملکرد تکنولوژی‌های مختلف از پرسشـنامه FARAS اسـتفاده شده‌اسـت. مدل ارائه‌شـده برای توجیه و انتخاب تکنولوژی جدید، معیارهای متعدد کمی و کیفی را در سه بعد مختلفِ منابع انسانی، عملیاتی و مالی دسته‌بندی کرده‌است. با درنظرگرفتن روابط درونی بین ابعاد و معیارهای مختلف انتخاب، فرآیند ارزیابی واقع‌گرایانه‌تری نسـبت به سایر رویکردها که این روابط را نادیده می‌گیرند، فراهم شده‌است. مدل ارائه‌شده ابزاری در اختیار مدیران قرار می‌دهد که آن‌ها را قادر می‌سازد با وجود گستردگی معیارهای انتخاب، تضاد احتمالی بین آن‌ها، عدم‌اطمینان و روابط بین معیارها؛ نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت تکنولوژی‌های مختلف را نسـبت به وضع بهینه، موردبررسی قرار دهند و مناسب‌ترین تکنولوژی را انتخاب نمایند.

کلمات کلیدی:

توجیه تکنولوژی، انتخاب تکنولوژی، تکنولوژی تولید پیشرفته (AMT)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP)، ارزیابی نسبت جمعی فازی (FARAS).

---

۱. دانشجوی دکتری مدیریت تولید دانشگاه سمنان، سمنان؛ دانشگاه سمنان، دانشکده اقتصاد و علوم اداری، گروه مدیریت صنعتی.
۲. عضو هیات علمی گروه مدیریت صنعتی دانشگاه سمنان، سمنان؛ دانشگاه سمنان، دانشکده اقتصاد و علوم اداری، گروه مدیریت صنعتی.
* نویسنده عهده دار مکاتبات: mohsenshnaj@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با تغییرات پر شـتاب بازارهای جهانی، توانایی شرکت‌ها در بهره‌برداری از تکنولوژی‌های جدید نقشی اساسـی در ابقاء یک مزیـت رقابتی دارد. معرفی تکنولوژی‌های جدیـد می‌تواند به ارائه‌ی محصولات نوآورانه و بهبود عملکرد محصولات فعلی منجر گردد (سافسن و همکاران[1]، ۲۰۱۴). تکنولوژی از طریق بهبود فرآیندهای سـاخت و توسـعه‌ی محصولات، مزیت رقابتی ایجاد می‌کند و نقشـی کلیدی برای تضمین جمع‌آوری کارآی اطلاعات و مبادله‌ی سـریع آن، انجام سفارشات بیشتر و مدیریت موجودی و نیز حمایت از به اشـتراک‌گذاری ایده‌ها و طراحی‌ها دارد. امروزه، شـرکت‌ها به‌منظور بهبود قابلیت رقابتی‌شـان و غنی‌سازی محصولات‌شان برای مواجهه با نیازهای متغیر مشتریان، سرمایه‌گذاری خود را در دارایی‌های ذهنی و دانش، نرم‌افزار، طراحی و سایر جنبه‌های توسعه‌ی محصول، برند، آموزش و بهبود فرآیندهای کسب‌وکار توسعه می‌دهند (هاتن و دنهام[2]، ۲۰۰۸). سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های تولید پیشـرفته (AMT) منابعی را فراهم می‌کند که شرکت را قادر می‌سازد تا به تغییرات سریع بازار پاسـخ دهد و از طریق طراحی و تولید محصولاتی با کیفیت بالا و منطبق با خواسـته‌ی مشتری، خود را با چرخه‌ی عمر کوتاه‌تر محصولات وفق دهد (تریسی و همکاران[3]، ۱۹۹۹). AMTها تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای هستند که وقتی با عملیات تولید یکپارچه می‌شوند، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر محصول، فرآیند و جنبه‌های اطلاعاتی سیستم دارند. لذا، به‌کارگیری تکنولوژی تولید پیشرفته می‌تواند مزایای متعددی برای شرکت به همراه داشته باشد؛ اما، AMTها متفاوتند. سرمایه‌گذاری‌های AMT نوعاً شامل سه نوع سیستم است: سیستم‌های منفرد[4] (از قبیل طراحی به کمک کامپیوتر (CAD)، برنامه‌ریزی فرآیند به کمک کامپیوتر و ربات‌ها)، سیسـتم‌های واسـطه‌ای[5] (از قبیل سیستم‌های ذخیره و بازیافت اتوماتیک (AS/RS) و تجهیزات تسـت و بازرسی اتوماتیک) و سیستم‌های یکپارچه[6] (سلول‌های تولید منعطف، تولید یکپارچه کامپیوتری (CIM) و برنامه‌ریزی احتیاجات مواد (MRP)) (اسـمل و چن[7]، ۱۹۹۵). با توجه به تنوع این سیسـتم‌ها، مزایای به‌کارگیری هر یک از آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. این نکته‌ای

1 . Säfsten et al.
2 . Hutton & Denham
3 . Tracy, Vonderemse & Lim
4 . Stand-alone Systems
5 . Intermediate Systems
6 . Integrated Systems
7 . Small & Chen

Archive of SID

www.SID.ir

اســت که در انتخاب تکنولوژی جدید باید موردتوجه قرار گیرد. چراکه تکنولوژی بیش از یک ســوم مخارج سرمایه شرکت را به خود اختصاص می‌دهد (تینگلینگ و پرنت[1]، ۲۰۰۴). انتخاب یک تکنولوژی نامناســب می‌تواند هم از نظر مالی و هم اســتراتژیک پیامدهای جبران‌ناپذیری برای شرکت به همراه داشته‌باشــد (اردوبادی، ۲۰۱۲؛ فاروغ و اوبرین[2]، ۲۰۱۴). این امر به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فردی است که در سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته وجود دارد. از جمله این ویژگی‌ها انطباق‌پذیری و عمر طولانی آن است. AMTها انعطاف‌پذیری و نیز عمر بیشتری نسبت به اتوماسیون ثابت دارند. در نتیجه عملکرد مالی کوتاه‌مدت اساس مناسبی برای توجیه سرمایه‌گذاری نخواهد بود. ویژگی منحصر به‌فرد دیگر، ســرمایه‌گذاری اولیه هنگفتی اســت که بازه زمانی طولانی‌تری نسبت به سایر پروژه‌های معمول می‌طلبد. نکته دیگری که در ســرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشــرفته باید موردتوجه قرار گیرد، مزایای متعدد مشاهده‌نشــدنی و غیرقابل کمی‌سازی آن اســت. علاوه بر اینکه اندازه‌گیری این مزایا مشکل اســت، پیاده‌سازی AMTها تأثیرات متعددی نیز بر همه جنبه‌های مختلف سیستم‌های تولیدی دارد؛ مثل بهبود تصویر مشــتری، افزایش ظرفیت نوآوری محصول و فرصت گسترش بازار در آینده. ویژگی منحصربه‌فرد دیگر درآمدهای روبه‌افزایش آن در طول زمان است. اگرچه ممکن است در سال‌های اولیه درآمدها منفی باشد، اما سرمایه‌گذاری در AMT در طول زمان به درآمد روبه‌رشد منجر می‌شــود. این در حالی‌است که ســایر پروژه‌ها معمولاً برعکس عمل می‌کنند و درآمدهای روبه‌کاهش خواهند داشت (ویلکز و ساموئل[3]، ۱۹۹۱، کانادا و سولیوان[4]، ۱۹۹۰ و اردوبادی، ۲۰۱۲). این ویژگی‌های منحصربه‌فرد ســبب شده‌اســت تا تکنیک‌های ارزیابی معمول مثل نرخ بازگشت داخلی، ارزش فعلی خالص و بازگشت سرمایه برای ارزیابی و توجیه تکنولوژی‌های پیشرفته نامناسب باشند. باید رویکردی اتخاذ شود تا جنبه‌های کیفی و تأثیرات گسترده آن در بلندمدت نیز موردارزیابی قرار گیرد. لذا، برای توجیه ســرمایه‌گذاری در تکنولــوژی جدید و در تصمیم‌گیری برای انتخاب یک تکنولوژی مناســب، شــرکت‌های تولیدی باید به معیارهای متعدد در ابعاد مختلف توجه کنند. اهمیت این موضوع ســبب شده‌اســت تا مطالعات متعددی در زمینه‌ی ارزیابی تکنولوژی‌هــای جدید و ارائه‌ی مدل‌های مختلف انتخاب تکنولوژی انجام شود. اما هنوز شرکت‌های بسیاری در سرمایه‌گذاری در تکنولوژی جدید تردید

1 . Tingling & Parent
2 . Farooq & O’Brien
3 . Wilkes & Samuels
4 . Canada & Sullivan

Archive of SID

www.SID.ir

دارند. مطالعات انجام‌شـــده ممکن است از جنبه‌های خاصی تا حدی محدودکننده باشند و معیارهای بکار رفته در این مطالعات ممکن است برای انواع مختلف سازمان‌ها متفاوت باشند. برای کاربردی بودن در سازمان‌های مختلف، نیاز به معیارهای جامع و کلی احساس می‌شود. لذا، ارائه یک ابزار تصمیم‌گیری جامع و قابل درک برای مدیران و ذی‌نفعان شرکت‌ها که از دقت بالایی نیز برخوردار باشد، می‌تواند در بهبود انتخاب تکنولوژی جدید بسیار مؤثر باشد.

لذا هدف اصلی این مطالعه افزایش درک مدیران شرکت‌ها از معیارهای ارزیابی و توجیه تکنولوژی و کمک به تصمیم‌گیری آنان در انتخاب تکنولوژی‌های جدید است. اهداف فرعی این مطالعه عبارتند از:

- شناسایی معیارهای ارزیابی تکنولوژی جدید؛
- ارائه مدلی کاربردی با تلفیق تکنیک‌های FANP و FARAS برای انتخاب تکنولوژی جدید؛
- تأیید اعتبار و کاربردی بودن مدل ارائه‌شده با یک مثال واقعی.

تکنولوژی تولید پیشـــرفته کاربرد ارتقاء کامپیوتری و علم عملی برای سیستم تولید شرکت است. AMT منبعی اســـت که شـــرکت را قادر می‌سازد تا به‌طور کارآ محصولات متعددی را بر مبنای همان سرمایه تولید نماید، در نتیجه صرفه‌جویی نسبت به هدف حاصل می‌گردد (تریسی و همکاران، ۱۹۹۹). بنا به تعریف والترز (۲۰۰۶)، «تکنولوژی تولید پیشـــرفته گروهی از تکنولوژی‌های یکپارچه مبتنی بر ســـخت‌افزار و نرم‌افزار است که اگر به‌طور مناسب پیاده‌ســـازی، نظارت و ارزیابی شود، منجر به بهبود کارآیی و اثربخشی شرکت در تولید محصول یا ارائه‌ی خدمت می‌شود». با توجه به مزیت‌های عمده‌ای که AMTها دارند، انتخاب درســـت آن مســـئله‌ای حیاتی‌است. مطالعات بی‌شماری در حوزه انتخاب و اتخـــاذ تکنولوژی جدید صورت گرفته‌اســـت. رأفت[1] (۲۰۰۲) مروری جامـــع از ادبیات متدهای ارزیابی تکنولوژی‌های پیشـــرفته فراهم آورده‌اســـت. طیف این مدل‌ها از تکنیک‌های اقتصادی رایج مثل نرخ بازگشـــت داخلـــی (IRR)، ارزش فعلی خالص (NPV) و بازگشـــت ســـرمایه (PB) تا تکنیک‌هایی که فاکتورهای مشـــاهده‌ناپذیر و کیفی را دربرمی‌گیرند، متغیر اســـت (رأفـــت، ۲۰۰۲؛ چان و همکاران[2]، ۲۰۰۱). اردوبادی و مولوانی[3] (۲۰۰۱) تکنیک‌های ارزیابی AMT را به چهار گروه طبقه‌بندی کرده‌اند: تکنیک‌های اقتصادی، تکنیک‌های تحلیلی، تکنیک‌های استراتژیک و تکنیک‌های فازبندی‌شده. یکی

1 . Raafat
2 . Chan et al.
3 . Ordoobadi and Mulvaney

Archive of SID

www.SID.ir

از پرکاربردترین متدهایی که در ادبیات ارزیابی و توجیه سـرمایه‌گذاری در AMTها مشاهده می‌شود، تکنیک‌هـای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) اسـت که امکان بررسـی معیارهای کمی و کیفی و حتی ناسـازگار را به‌طور توأم فراهم می‌کند، از قبیل فرآیند تحلیل سلسـله‌مراتبی (AHP) (داتا و همکاران[1]، ۱۹۹۲؛ وبر[2]، ۱۹۹۳؛ ابرین و اسمیز[3]، ۱۹۹۳؛ البایراکگلو[4]، ۱۹۹۶؛ چان و همکاران[5]، ۱۹۹۹و دی[6]، ۲۰۰۴). AHP فـازی (فـو و همکاران[7]، ۲۰۰۶؛ تمایدیس و همـکاران[8]، ۲۰۰۶)، تلفیق AHP و TOPSIS (شیجیت و همکاران[9]، ۲۰۰۸) و PROMETHEE (آناند و کدالی[10]، ۲۰۰۸). نکته‌ای که در این مطالعات موردتوجه قرار نگرفته‌اسـت روابط درونی بین معیارهاست. ادبیات موضوع نشان می‌دهد که معیارهای انتخاب تکنولوژی مستقل نیستند و برخی مطالعات اخیر به روابط درونی بین معیارهای انتخـاب تکنولوژی توجه کرده‌اند و برای فائق آمدن بر این مسـئله، تکنیک ANP را به‌کار برده‌اند، از جمله حسـن و کیکو[11] (۲۰۰۵)، آناند و کدالی (۲۰۰۹)، اردوبادی (۲۰۱۲) و فارسـیجانی و همکاران (۲۰۱۴). امـا در ایـن مطالعات عدم قطعیت و ابهام موجود در قضاوت‌های کارشناسـان درنظر گرفته نشده‌اسـت. در این مطالعات سـعی شده‌اسـت برای ارزیابی دقیق AMTها، معیارهای کمی و کیفی متعددی موردتوجه قرار گیرند. مرور مطالعات این حوزه می‌تواند در شناسـایی معیارهای مناسـب در انتخاب بهترین تکنولوژی راه‌گشا باشد. جدول ذیل معیارهای مختلفی را که در هر مطالعه مورداستفاده قرار گرفته‌است، نشان می‌دهد:

1 . Datta et al.
2 . Weber
3 . O’Brien and Smith
4 . Albayrakoglu
5 . Chan
6 . Dey
7 . Fu et al.
8 . Thomaidis et al.
9 . Shyjith et al.
10 . Anand & Kodali
11 . Hassan & Kikuo

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مرور مطالعات مرتبط

ردیف	مطالعه	موضوع	معیارهای به‌کار رفته
۱	دوال[1] (۱۹۹۵)	توجیه سلول‌های تولیدی	تأثیر بر رضایت مشتری، بهبود در زمان چرخه تولید و راه‌اندازی، سرعت پاسخ‌گویی به تغییر تقاضاهای بازار و نیز بهبود فرآیند عملیات.
۲	چان و همکاران (۱۹۹۹)	انتخاب تکنولوژی پیشرفته تولید (CIM)	هزینه، عملکرد، کیفیت، تحویل، انعطاف‌پذیری، نوآوربودن
۳	تانگ و همکاران[2] (۲۰۰۰)	توجیه سرمایه‌گذاری در سیستم‌های اطلاعاتی در شرکت‌های با اندازه متوسط	هزینه مالی، مزیت رقابتی، کارآیی داخلی، بهره‌وری و بهبود تحویل
۴	کوکاگلو و همکاران[3] (۲۰۰۱)	انتخاب تکنولوژی جدید	اثربخشی، کاربردی‌بودن، مدت‌زمان پیاده‌سازی، هزینه و ریسک
۵	برنویدر و کوک[4] (۲۰۰۱)	فرآیند انتخاب ERP در شرکت‌های بزرگ و متوسط	انطباق‌پذیری، انعطاف‌پذیری، بهبود فرآیند، رضایت مشتری و زمان پیاده‌سازی
۶	یورداکول [5] (۲۰۰۲)	ارزیابی عملکرد سیستم تولید	وابستگی، انعطاف‌پذیری، زمان، کیفیت و هزینه
۷	بایزید[6] (۲۰۰۵)	تصمیم‌گیری در خصوص سیستم‌های تولید منعطف (FMS)	کیفیت، هزینه، بهره‌وری، رضایت مشتری، وابستگی، سازگاری، قدرت رقابت‌پذیری و تعهد مدیریت عالی
۸	براگلیا و همکاران[7] (۲۰۰۶)	ارزیابی نرم‌افزار CMMS	هزینه، عملکرد، پیاده‌سازی، قابلیت اطمینان، کارآیی و قابلیت تعمیر
۹	شهاب‌الدین و همکاران[8] (۲۰۰۶)	بررسی چالش‌های پیش‌روی عملیاتی کردن چارچوب انتخاب تکنولوژی	قابلیت اطمینان، کیفیت، هزینه سرمایه، هزینه عملیات، سازگاری، قابلیت کاربرد و هم‌ترازی استراتژی

1 . Dhavale
2 . Tonge et al.
3 . Kocaglu et al.
4 . Bernoider and Koch
5 . Yurdakul
6 . Bayazit
7 . Braglia et al.
8 . Shehabuddeen et al.

Archive of SID

www.SID.ir

ردیف	مطالعه	موضوع	معیارهای به‌کار رفته
۱۰	تن و همکاران[9] (۲۰۰۸)	انتخاب تکنولوژی جدید	انعطاف‌پذیری، سازگاری، هزینه، فروشنده‌ی تکنولوژی و تناسب استراتژیک
۱۱	پرسین[10] (۲۰۰۸)	ارزیابی و انتخاب سیستم‌های ERP	عملکرد، هم‌ترازی استراتژیک، انعطاف‌پذیری، کاربرد راحت برای کاربر، زمان پیاده‌سازی، هزینه کل و قابلیت اطمینان
۱۲	آناند و کدالی (۲۰۰۸)	انتخاب سیستم‌های تولیدی ناب	فاکتورهای مالی، فاکتورهای سازمانی، نقش مدیریت عالی، تأثیر بر کارکنان، تأثیر بر عرضه‌کنندگان، تأثیر بر مشتریان، تأثیر بر سهام‌داران و مزایای پیش‌بینی شده
۱۳	آناند و کدالی (۲۰۰۹)	انتخاب سیستم‌های تولیدی ناب	بهره‌وری، کیفیت، هزینه، تحویل، انعطاف‌پذیری، نوآوری و روحیه کارکنان
۱۴	کدالی و همکاران (۲۰۰۹)	انتخاب تکنولوژی جدید	بهره‌وری، کیفیت، قابلیت اطمینان، هزینه، تحویل، کار و ایمنی، محیط، روحیه و تأثیر بر موجودی
۱۵	چو[11] (۲۰۰۹)	انتخاب تکنولوژی تولید پیشرفته (FMS)	هزینه سرمایه‌گذاری، زمان تأخیر، ظرفیت، فضای موردنیاز، انعطاف‌پذیری فرآیند، کیفیت محصول، آموزش و در معرض ناآرامی کارکنان بودن
۱۶	اردوبادی (۲۰۱۲)	انتخاب تکنولوژی تولید پیشرفته	هزینه، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، کیفیت، بهره‌وری و تأثیر تکنولوژی جدید بر کارکنان
۱۷	فارسیجانی، شفیعی نیک‌آبادی و امیرطاهری (۲۰۱۴)	ارزیابی تکنولوژی تولید پیشرفته برای کلاس جهانی	هزینه، انعطاف‌پذیری، بهره‌وری، کیفیت، قابلیت اطمینان و تأثیر بر منابع انسانی

۲- رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی تکنولوژی جدید

این مطالعه یک رویکرد ترکیبی براساس تکنیک‌های ANP فازی و ARAS فازی برای تسهیل

9 . Tan et al.
10 . Percin
11 . Chuu

Archive of SID

www.SID.ir

تصمیمات انتخاب تکنولوژی جدید ارائه می‌کند. چارچوب پیشنهادی برای ارزیابی AMT در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

۲-۱- تکنیک‌های پیشنهادی برای چارچوب ارزیابی AMT

FANP -۱-۱-۲

فرآیند ارزیابی ماهیتاً چند بعدی است و برای توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی جدید و در تصمیم‌گیری برای انتخاب یک تکنولوژی مناسب باید به ابعاد و معیارهای متعددی توجه شود. هم متغیرهای کمی و هم کیفی باید در فرآیند ارزیابی موردتوجه قرار گیرند. به‌علاوه، بین متغیرهای مختلف سیستم رابطه وجود دارد. تکنیک ANP این الزامات را با تبدیل قضاوت‌های کیفی به مقادیر کمی و رعایت روابط بین فاکتورها برای آنالیز تصمیم برآورده می‌کند و با انجام مقایسات زوجی بین فاکتورهای مختلف، رویکرد دقیقی در مدل‌سازی مسائل تصمیم‌گیری پیچیده محسوب می‌شود. از آنجاکه قضاوت‌های انسانی درباره ترجیحات اغلب مبهم‌اند و با اعداد دقیق قابل ارائه نیستند، کاربرد منطق فازی در حل چنین مسائلی ضروری است. با این قابلیت‌ها، تکنیک Fuzzy ANP به‌عنوان بهترین تکنیک برای ایجاد ابزار تصمیم این مطالعه به‌کار می‌رود. این تکنیک در سال‌های اخیر در مطالعات بسیاری به‌کار رفته‌است نظیر: موهانتی و همکاران (۲۰۰۵)، توزکایا و انوت (۲۰۰۸)، لیو و لای (۲۰۰۹)، لی، وانگ و لینگ (۲۰۱۰)، داگدویرن و یوکسل (۲۰۱۰)، لو و همکاران (۲۰۱۰) و وینود، رامیا و گاتهام (۲۰۱۱).

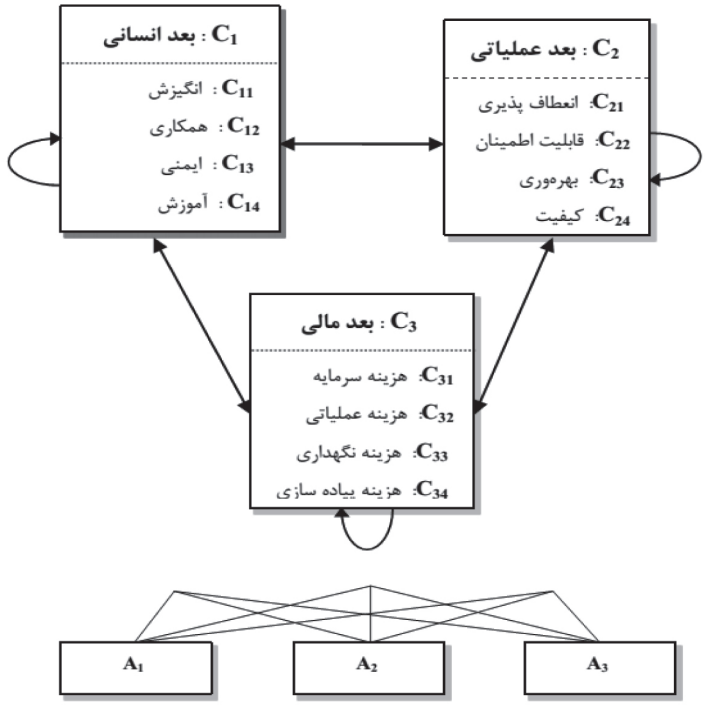
FARAS -۲-۱-۲

گرچه تکنیک FANP قابلیت انتخاب گزینه‌ها را نیز دارا می‌باشد، اما بدیل انجام مقایسات زوجی متعدد، حجم داده‌های موردنیاز و محاسبات فوق‌العاده افزایش می‌یابد. لذا، در سال‌های اخیر مدل‌های متعددی برای تلفیق این تکنیک با سایر تکنیک‌های MCDM ارائه شده‌است تا ضمن بهره‌مندی از مزایای این تکنیک در محاسبه وزن معیارها، از مزایای سایر روش‌ها برای انتخاب گزینه‌ها استفاده شود. تکنیک ARAS براین‌اساس بنا شده‌است که یک دنیای پیچیده می‌تواند با استفاده از مقایسات ساده درک شود. این تکنیک روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه است و از سهولت کاربرد نسبی نیز برخوردار است. همانطورکه پیش‌تر اشاره شد، در بسیاری از شرایط، داده‌های قطعی و دقیق برای حل مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی ناکافی‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین، در این مطالعه تکنیک Fuzzy ARAS برای ارزیابی گزینه‌ها به‌کار گرفته شده‌است. مزایای این تکنیک سبب شده‌است تا اخیراً توجه محققان را به خود جلب کند: کرسولین و تورسکیس (۲۰۱۱) از ARAS فازی و SWARA [1] برای رتبه‌بندی و انتخاب معیار استفاده کردند. این دو محقق در مطالعه‌ای دیگر برای انتخاب ســر حسابدار مناسب از ARAS فازی و AHP بهره بردند (کرسولین و تورسکیس، ۲۰۱۴). زاوادســکاس و همــکاران (۲۰۱۵) AHP و ARAS فازی را برای انتخاب بندر آب‌های عمیق دریای بالتیک شرقی به‌کار بردند.



شکل۱- مدل شبکه‌ای انتخاب تکنولوژی

۲-۲- شناسایی معیارهای انتخاب تکنولوژی

مرور ادبیات ارائه‌شده در جدول ۱، نشان‌دهنده‌ی وجود معیارهای متعدد در زمینه‌ی انتخاب تکنولوژی

1 . Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

www.SID.ir

جدید است که می‌تواند توسط کارشناسان به‌کار رود. این معیارها برای انواع مختلف سازمان‌ها متفاوت‌اند. برای کاربردی‌بودن و انعطاف‌پذیری سیستم، به معیارهایی جامع نیاز است. این پژوهش پس از مرور دقیق مطالعات مرتبط، از طریق تحلیل محتوا و مصاحبه با خبرگان موضوع، متغیرهای کلیدی مؤثر در ارزیابی تکنولوژی پیشرفته و رابطه بین آن‌ها را شناسایی کرده‌است. از خبرگان خواسته شده‌است تا این متغیرها حدالامکان کمترین هم‌پوشانی را با هم داشته باشند. معیارهای تأییدشده برای انتخاب تکنولوژی جدید عبارتند از: هزینه سرمایه، هزینه عملیات، هزینه تعمیر، هزینه پیاده‌سازی، انعطاف‌پذیری، کیفیت، قابلیت اطمینان، بهره‌وری، انگیزش، همکاری، فعالیت‌های ایمنی کار و احتیاجات آموزشی. این معیارها به سه دسته عمده بعد مالی، بعد عملیاتی و بعد نیروی‌انسانی دسته‌بندی شده‌اند. شکل ۱ ساختار شبکه‌ای این چارچوب ارزیابی تکنولوژی را نشان می‌دهد.
کاربرد مدل ارائه‌شده در بخش بعدی با یک مثال واقعی شرح داده می‌شود.

۳- مثال کاربردی

در این مقاله برای تشریح کاربرد رویکرد پیشنهادی، شرکت خزر الکتریک- تولیدکننده و صادرکننده ماشین‌آلات کشاورزی- به‌عنوان مثال واقعی ارائه شده‌است. رویکرد ارائه‌شده در گام‌های ذیل دنبال خواهد شد:

گام ۱: تعیین مدل ارزیابی. لیست معیارهای برگرفته از ادبیات در اختیار ۶ تن از کارشناسان موضوع قرار گرفت. این کارشناسان همگی دارای درجه PhD و سابقه فعالیت در حوزه مرتبط‌اند. با بررسی معیارها و تعیین نوع رابطه بین آن‌ها از طریق تحلیل محتوا و تأیید آن توسط کارشناسان، مدل ارزیابی تکنولوژی جدید تعیین شده‌است (شکل ۱).

گام ۲: تعیین مقیاس‌های فازی. متغیرهای زبانی برای تعیین اهمیت معیارها در جدول ذیل ارائه شده‌است:

جدول ۲- مقیاس‌های فازی

عبارت زبانی	کاملا مهم‌تر	خیلی مهم‌تر	مهم‌تر	کمی مهم‌تر	اهمیت ناچیز	دقیقا یکسان
عدد فازی مثلثی	(۷, ۹, ۹)	(۵, ۷, ۹)	(۳, ۵, ۷)	(۱, ۳, ۵)	(۱, ۱, ۳)	(۱ ,۱ ,۱)

گام ۳. تعیین وزن ابعاد و معیارها با استفاده از ANP فازی. از کارشناسان خواسته شد تا

Archive of SID

www.SID.ir

میزان اهمیت و تأثیرگذاری فاکتورهای مختلف را در توجیه تکنولوژی پیشـرفته، در قالب پرسشنامه مقایسـه زوجی FANP با هم موردمقایسـه قرار دهند. معیارهای مختلـف ماتریس قضاوت‌های فازی حاصل از مقایسات زوجی به‌صورت زیر است:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ مقایسـه اهمیت معیار i نسـبت به معیار j را نشان می‌دهد. اگر k خبره داشته باشیم، ماتریس ادغام نظرات خبره‌ها از طریق میانگین هندسی به‌دست می‌آید:

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}^{*}] \quad (2)$$

که در آن $\tilde{a}_{ij}^{*} = (\tilde{a}_{ij}^{1} \otimes \tilde{a}_{ij}^{2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij}^{k})^{1/k}$.

گام ۳-۱- محاسبه وزن معیارها. بردارهای اولویت برای هر ماتریس مقایسه زوجی برای تکمیل سـوپرماتریس لازم‌اند. روش حداقل مجذورات لگاریتمی می‌تواند برای محاسـبه این اوزان به‌کار رود (بویوکازکان و سیفسی، ۲۰۱۲):

$$W_k = \left(W_k^l, W_k^m, w_k^u\right) \qquad k = 1, 2, \dots, n$$

$$W_k^s = \frac{(\prod_{i=1}^{n} a_{kj}^{s})^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}(\prod_{i=1}^{n} a_{ij}^{m})^{1/n}} \qquad S \varepsilon \{l, m, u\} \quad (3)$$

برای $0 < \propto \leq 1$ و همه‌ی i و j ها، $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$.

ازآنجاکه یک ماتریس ناسازگار می‌تواند منجر به محاسبات اشتباه شود، بسیار حائزاهمیت است که قبل از حل مسـئله، سازگاری چک شود. بدین منظور از نرخ سازگاری (CR) ارائه‌شده توسط گاگوس و بوچر (۱۹۹۸)، اسـتفاده شده‌اسـت. هم CR^m و هم CR^g باید کمتر از ۰٫۱ باشـند تا مطمئن شویم مقایسات انجام‌شده قابل‌قبول است.

گام ۳-۲- دیفازی‌سازی وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس‌ها. رابطه‌ی ذیل در این گام به‌کار می‌رود:

www.SID.ir

$$F(\tilde{a}_{ij}) = ۱/۲ \int_{۰}^{۱} (\inf_{x \in R} a_{ij}^{x} + SUP_{x \in R} a_{ij}^{x}) dx \qquad (۴)$$

برای مثال، محاســبه اولویت ابعاد با توجه به بعد عملیاتی به‌ترتیب ذیل است. با به‌کارگیری رابطه (۳) وزن فازی محاسبه شده‌است:

$$w^{l} = \frac{(۱ \times ۰.۵۱ \times ۰.۴۷)^{۱/۳}}{(۱ \times ۰.۶۴ \times ۰.۵۸)^{۱/۳} + (۱.۵۵ \times ۱ \times ۰.۸۶)^{۱/۳} + (۱.۷۳ \times ۱.۱۶ \times ۱)^{۱/۳}} = ۰.۲۰۲$$

$$w^{m} = \frac{(۱ \times ۰.۶۴ \times ۰.۵۸)^{۱/۳}}{(۱ \times ۰.۶۴ \times ۰.۵۸)^{۱/۳} + (۱.۵۵ \times ۱ \times ۰.۸۶)^{۱/۳} + (۱.۷۳ \times ۱.۱۶ \times ۱)^{۱/۳}} = ۰.۲۳۳$$

$$w^{u} = \frac{(۱ \times ۰.۸۹ \times ۰.۷۴)^{۱/۳}}{(۱ \times ۰.۶۴ \times ۰.۵۸)^{۱/۳} + (۱.۵۵ \times ۱ \times ۰.۸۶)^{۱/۳} + (۱.۷۳ \times ۱.۱۶ \times ۱)^{۱/۳}} = ۰.۲۸۲$$

وزن فازی[1] = (۰,۲۰۲ ۰,۲۳۳ ۰,۲۸۲)

سپس، وزن دیفازی‌شده با استفاده از رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

دیفازی[2] = (۰,۲۰۲+۰,۲۸۲)/۲ =۰,۲۴۲

نرمال[3] =۰,۲۴۲/(۰,۲۴۲+۰,۳۶۷+۰,۴۰۳) =۰,۲۳۹

جدول ۳ محاسبه اولویت ابعاد با توجه به بعد عملیاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقایسه زوجی ابعاد با توجه به بعد عملیاتی

	انسانی	مالی	عملیاتی
انسانی	(۱ ۱ ۱)	(۰.۵۱ ۰.۶۴ ۰.۸۹)	(۰.۴۷ ۰.۵۸ ۰.۷۴)
مالی	(۱.۱۲ ۱.۵۵ ۱.۹۴)	(۱ ۱ ۱)	(۰.۶۸ ۰.۸۶ ۱.۲۶)
عملیاتی	(۱.۳۶ ۱.۷۳ ۲.۱۲)	(۰.۷۹ ۱.۱۶ ۱.۴۷)	(۱ ۱ ۱)

1 . Fuzzy weight
2 . Defuzzified weight
3 . Normalized weight

Archive of SID

www.SID.ir

وزن فازی	(۰.۲۰۲ ۰.۲۳۳ ۰.۲۸۲)	(۰.۲۹۶ ۰.۳۵۷ ۰.۴۳۷)	(۰.۳۳۲ ۰.۴۱۰ ۰.۴۷۴)
وزن دیفازی	۰.۲۴۲	۰.۳۶۷	۰.۴۰۳
وزن نرمال‌شده	۰.۲۳۹	۰.۳۶۳	۰.۳۹۸
CR^m = ۰.۰۰۰۱	CR^g = ۰.۰۰۰۸		

وزن‌های نرمال‌شـده جدول فوق، عناصر سـتون مربوط به بعد عملیاتی در جدول ۴ را تشـکیل می‌دهد. سایر ستون‌های این جدول- که به‌عنوان نمونه آورده شده‌است- طی محاسبات مشابه به‌دست می‌آید.

جدول ۴- وزن‌های اولویت ابعاد

	انسانی	مالی	عملیاتی
انسانی	۰.۲۳۵	۰.۲۱۸	۰.۲۳۹
مالی	۰.۳۳۲	۰.۳۷۲	۰.۳۶۳
عملیاتی	۰.۴۳۳	۰.۴۱۰	۰.۳۹۸

جدول ۵- ماتریس مقایسات زوجی بعد عملیاتی با توجه به انگیزش

	انعطاف‌پذیری	قابلیت اطمینان	بهره‌وری	کیفیت
انعطاف‌پذیری	(۱ ۱ ۱)	(۱.۱۰ ۱.۷۱ ۲.۵۰)	(۱.۳۲ ۲.۲۴ ۳.۴۶)	(۰.۶۴ ۰.۹۹ ۱.۶۶)
قابلیت اطمینان	(۰.۴۰ ۰.۵۸ ۰.۹۱)	(۱ ۱ ۱)	(۱ ۲.۷۲ ۴.۰۴)	(۰.۵۳ ۱.۰۹ ۱.۷۱)
بهره‌وری	(۰.۲۹ ۰.۴۵ ۰.۷۵)	(۰.۲۵ ۰.۳۷ ۱)	(۱ ۱ ۱)	(۰.۶۶ ۱ ۱.۵۱)
کیفیت	(۰.۶۰ ۱.۰۱ ۱.۵۷)	(۰.۵۸ ۰.۹۲ ۱.۸۹)	(۰.۶۶ ۱ ۱.۵۱)	(۱ ۱ ۱)
وزن نرمال	۰.۳۳۱	۰.۲۵۶	۰.۱۷	۰.۲۴۳
CR^m = ۰.۰۴۹۱	CR^g = ۰.۰۸۹۱			

وزن‌های ابعاد در جدول ۴ ارائه شده‌اسـت. برای لحاظ‌کردن روابط درون هر بعد، مجدداً مقایسـه زوجی انجام شده‌اسـت. ماتریس بردار ویژه مقایسـات زوجی وزن‌های معیارهـا را ارائه می‌کند که در سوپرماتریس به‌کار می‌رود. برای مثال، مقایسه زوجی درون بعد عملیاتی با توجه به انگیزش در جدول ۵

Archive of SID

www.SID.ir

ارائه شده‌است. به همین ترتیب وزن همه‌ی معیارها برای دست‌یابی به سوپرماتریس اولیه حاصل می‌شود (جدول ۶).

گام ۴- ایجاد و حل سوپر ماتریس. وزن‌های به‌دست‌آمده از گام ۳، ستون‌های سوپرماتریس را شکل می‌دهند. سوپر ماتریس موزون از حاصل‌ضرب وزن معیارها در وزن بعد مربوطه حاصل می‌شود (جدول ۷). سرانجام، سوپر ماتریس موزون به توان‌های فرد متوالی می‌رسد تا به پایایی برسد. وزن معیارهای حاصل از FANP که بعداً در روش FARAS به‌کار خواهد رفت، در جدول ۸ ارائه شده‌است.

جدول ۶- سوپرماتریس اولیه

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
C_{11}	۰.۲۴۷	۰.۲۷۶	۰.۱۹۱	۰.۲۳۶	۰.۲۸۷	۰.۲۶۳	۰.۲۵۶	۰.۲۳۱	۰.۲۴۴	۰.۲۵۶	۰.۲۲۱	۰.۲۳۹
C_{12}	۰.۲۹۸	۰.۲۸۴	۰.۲۴۶	۰.۲۸۳	۰.۲۳۱	۰.۲۷	۰.۲۵۱	۰.۲۴۲	۰.۲۴۱	۰.۲۵۵	۰.۲۱۴	۰.۲۴
C_{13}	۰.۱۳۹	۰.۱۷۵	۰.۲۷۴	۰.۲۵۱	۰.۲۳۲	۰.۲۰۵	۰.۲۴۷	۰.۲۳۷	۰.۲۵	۰.۲۴۳	۰.۲۴۵	۰.۲۳۶
C_{14}	۰.۳۱۶	۰.۲۶۵	۰.۲۸۹	۰.۲۳	۰.۲۵	۰.۲۶۲	۰.۲۴۶	۰.۲۹	۰.۲۶۵	۰.۲۴۶	۰.۳۲	۰.۲۸۵
C_{21}	۰.۳۳۱	۰.۳۱۷	۰.۲۵۹	۰.۲۴۴	۰.۳۹	۰.۳۱۱	۰.۳۲۲	۰.۲۹۵	۰.۲۲۷	۰.۲۶۳	۰.۳	۰.۳۳۱
C_{22}	۰.۲۵۶	۰.۲۵۱	۰.۲۲۸	۰.۲۲۹	۰.۳۲۵	۰.۳۲۱	۰.۳۲۵	۰.۳۶۷	۰.۲۲۴	۰.۲۵۲	۰.۲۱۳	۰.۲۰۵
C_{23}	۰.۱۷	۰.۲۰۳	۰.۲۵۸	۰.۲۵۸	۰.۱۵	۰.۱۸۷	۰.۱۹۹	۰.۱۶	۰.۲۸۵	۰.۲۴۱	۰.۲۴۷	۰.۲۳
C_{24}	۰.۲۴۳	۰.۲۲۹	۰.۲۵۵	۰.۲۶۹	۰.۱۳۵	۰.۱۸۱	۰.۱۵۴	۰.۱۷۸	۰.۲۶۴	۰.۲۴۴	۰.۲۴	۰.۲۳۴
C_{31}	۰.۲۴۴	۰.۲۵۴	۰.۲۵۸	۰.۲۵	۰.۲۸	۰.۳۱۱	۰.۲۷۹	۰.۲۳۸	۰.۲۶۱	۰.۲۵۲	۰.۲۹	۰.۲۷۶
C_{32}	۰.۲۴۹	۰.۲۶	۰.۲۵۷	۰.۲۳۴	۰.۲۲۳	۰.۲۹۶	۰.۲۵۶	۰.۴۱۸	۰.۲۵	۰.۲۵۴	۰.۲۵۸	۰.۲۶۳
C_{33}	۰.۲۵۴	۰.۲۲۹	۰.۲۴۴	۰.۲۵۵	۰.۲۸	۰.۲۲۴	۰.۲۵۶	۰.۱۶۳	۰.۲۵۳	۰.۲۴۳	۰.۲۳	۰.۲۲۹
C_{34}	۰.۲۵۳	۰.۲۵۷	۰.۲۴۱	۰.۲۶۱	۰.۲۱۷	۰.۱۶۹	۰.۲۰۹	۰.۱۸۱	۰.۲۳۶	۰.۲۵۱	۰.۲۲۲	۰.۲۳۲

جدول ۷- سوپرماتریس موزون

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
C_{11}	۰.۰۵۸۱	۰.۰۶۴۹	۰.۰۴۴۹	۰.۰۵۵۵	۰.۰۶۸۶	۰.۰۶۲۹	۰.۰۶۱۲	۰.۰۵۵۲	۰.۰۵۳۲	۰.۰۵۵۸	۰.۰۴۸۲	۰.۰۵۲۱
C_{12}	۰.۰۷۰۰	۰.۰۶۶۷	۰.۰۵۷۸	۰.۰۶۶۵	۰.۰۵۵۲	۰.۰۶۴۵	۰.۰۶۰۰	۰.۰۵۷۸	۰.۰۵۲۵	۰.۰۵۵۶	۰.۰۴۶۶	۰.۰۵۲۳
C_{13}	۰.۰۳۲۷	۰.۰۴۱۱	۰.۰۶۴۴	۰.۰۵۹۰	۰.۰۵۵۵	۰.۰۴۹۰	۰.۰۵۹۰	۰.۰۵۶۶	۰.۰۵۴۵	۰.۰۵۳۰	۰.۰۵۳۴	۰.۰۵۱۵

Archive of SID

www.SID.ir

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
C_{14}	۰.۰۷۴۳	۰.۰۶۲۳	۰.۰۶۷۹	۰.۰۵۴۰	۰.۰۵۹۸	۰.۰۶۲۶	۰.۰۵۸۸	۰.۰۶۹۳	۰.۰۵۷۸	۰.۰۵۳۶	۰.۰۶۹۸	۰.۰۶۲۱
C_{21}	۰.۱۴۳۳	۰.۱۳۷۳	۰.۱۱۲۲	۰.۱۰۵۶	۰.۱۵۵۲	۰.۱۲۳۸	۰.۱۲۸۲	۰.۱۱۷۴	۰.۰۹۳۱	۰.۱۰۷۸	۰.۱۲۳۰	۰.۱۳۵۷
C_{22}	۰.۱۱۰۸	۰.۱۰۸۷	۰.۰۹۸۷	۰.۰۹۹۲	۰.۱۲۹۴	۰.۱۲۷۸	۰.۱۲۹۳	۰.۱۴۶۱	۰.۰۹۱۸	۰.۱۰۳۳	۰.۰۸۷۳	۰.۰۸۴۱
C_{23}	۰.۰۷۳۶	۰.۰۸۷۹	۰.۱۱۱۷	۰.۱۱۱۷	۰.۰۵۹۷	۰.۰۷۴۴	۰.۰۷۹۲	۰.۰۶۳۷	۰.۱۱۶۹	۰.۰۹۸۸	۰.۱۰۱۳	۰.۰۹۴۳
C_{24}	۰.۱۰۵۲	۰.۰۹۹۲	۰.۱۱۰۴	۰.۱۱۶۵	۰.۰۵۳۷	۰.۰۷۲۰	۰.۰۶۱۳	۰.۰۷۰۹	۰.۱۰۸۲	۰.۱۰۰۰	۰.۰۹۸۴	۰.۰۹۵۹
C_{31}	۰.۰۸۱۰	۰.۰۸۴۳	۰.۰۸۵۷	۰.۰۸۳۰	۰.۱۰۱۶	۰.۱۱۲۹	۰.۱۰۱۳	۰.۰۸۶۴	۰.۰۹۷۱	۰.۰۹۳۸	۰.۱۰۷۹	۰.۱۰۲۷
C_{32}	۰.۰۸۲۷	۰.۰۸۶۳	۰.۰۸۵۳	۰.۰۷۷۷	۰.۰۸۰۹	۰.۱۰۷۵	۰.۰۹۲۹	۰.۱۵۱۷	۰.۰۹۳۰	۰.۰۹۴۵	۰.۰۹۶۰	۰.۰۹۷۸
C_{33}	۰.۰۸۴۳	۰.۰۷۶۰	۰.۰۸۱۰	۰.۰۸۴۷	۰.۱۰۱۶	۰.۰۸۱۳	۰.۰۹۲۹	۰.۰۵۹۲	۰.۰۹۴۱	۰.۰۹۰۴	۰.۰۸۵۵	۰.۰۸۵۲
C_{34}	۰.۰۸۴۰	۰.۰۸۵۳	۰.۰۸۰۰	۰.۰۸۶۶	۰.۰۷۸۸	۰.۰۶۱۳	۰.۰۷۵۹	۰.۰۶۵۷	۰.۰۸۷۸	۰.۰۹۳۴	۰.۰۸۲۶	۰.۰۸۶۳

جدول ۸- وزن معیارها

Criteria	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
Weights	۰.۰۵۷	۰.۰۵۸	۰.۰۵۳	۰.۰۶۲	۰.۱۲۴	۰.۱۱۲	۰.۰۸۸	۰.۰۸۷	۰.۰۹۷	۰.۰۹۷	۰.۰۸۶	۰.۰۸۰

گام ۵- ارزیابی تکنولوژی‌ها با روش FARAS

گام ۵-۱- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری فازی (FDMM):

از کارشناسان شرکت (شش نفر) خواسته شد تکنولوژی‌های CAD، MRP II و AS/RS را براساس معیارهای مدل، در قالب پرسشنامه تهیه شده برای تکنیک FARAS مورد ارزیابی قرار دهند. فرم کلی ماتریس تصمیم این تکنیک به‌صورت ذیل است:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{.1} & \cdots & \tilde{x}_{.j} & \cdots & \tilde{x}_{.n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \qquad i = \overline{1,m}\ ;\ j = \overline{1,n} \qquad (۵)$$

m تعداد گزینه‌ها، n تعداد معیارها، $\tilde{x}_{ij}$ مقدار فازی نشان‌دهنده‌ی عملکرد گزینه i براساس معیار j و $\tilde{x}_{.j}$ مقدار بهینه‌ی معیار j است. اگر مقدار بهینه‌ی معیار j نامشخص است، بنابراین:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\begin{cases} \tilde{x}_{.j} = \max\limits_{i} \tilde{x}_{ij} \quad if \quad \max\limits_{i} \tilde{x}_{ij} \ , \quad is\ preferable \\ \tilde{x}_{.j} = \min\limits_{i} \tilde{x}_{ij} \quad if \quad \min\limits_{i} \tilde{x}_{ij} \ , \quad is\ preferable \end{cases} \qquad (۶)$$

ماتریس تصمیم‌گیری فازی این مطالعه که حاصل از ادغام نظر خبرگان اســت، در جدول ۹ ارائه شده‌است.

جدول ۹- ادغام نظر خبره‌ها

	A.			MRP II			CAD			ASRS			Σ		
	α	β	γ	α	β	γ	A	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
C_{11}	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۹.۵	۱۰	۳.۶۷	۵.۶۷	۷.۶۷	۰.۱۷	۰.۸۳	۲.۳۳	۲۱.۸	۲۶	۳۰
C_{12}	۹.۶۷	۹.۶۷	۹.۶۷	۶.۳۳	۸.۳۳	۹.۶۷	۳.۳۳	۵.۳۳	۷.۳۳	۰.۱۷	۰.۶۷	۲	۱۹.۵	۲۴	۲۸.۷
C_{13}	۸.۳۳	۸.۳۳	۸.۳۳	۴.۳۳	۶.۳۳	۸.۳۳	۳.۶۷	۵.۶۷	۷.۶۷	۳.۱۷	۵	۷	۱۹.۵	۲۵.۳	۳۱.۳
C_{14}	۳.۰۳	۳.۰۳	۳.۰۳	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۳۳	۰.۷۵	۳	۳.۵۹	۴.۰۶	۶.۴۱
C_{21}	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۶	۸	۱.۱۷	۳	۵	۸.۶۷	۹.۸۳	۱۰	۲۳.۸	۲۸.۸	۳۳
C_{22}	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۶	۸	۸.۶۷	۹.۸۳	۱۰	۰.۶۷	۲.۳۳	۴.۳۳	۲۳.۳	۲۸.۲	۳۲.۳
C_{23}	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۹.۵	۱۰	۱.۸۳	۳.۵	۵.۳۳	۵.۶۷	۷.۶۷	۹.۱۷	۲۵.۵	۳۰.۷	۳۴.۵
C_{24}	۹.۸۳	۹.۸۳	۹.۸۳	۳.۶۷	۵.۶۷	۷.۶۷	۷.۳۳	۹	۹.۸۳	۰.۶۷	۱.۶۷	۳.۳۳	۲۱.۵	۲۶.۲	۳۰.۷
C_{31}	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۱۶	۰.۲۳	۰.۴	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۲۳	۰.۷۸	۰.۹	۱.۱۶
C_{32}	۰.۳۵	۰.۳۵	۰.۳۵	۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۳۵	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۲	۰.۷۲	۰.۸۲	۱.۰۳
C_{33}	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۲۶	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۶۲	۰.۷	۰.۸۶
C_{34}	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۱	۰.۱	۰.۱۲	۰.۱۳	۰.۱۸	۰.۲۶	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۶۱	۰.۶۹	۰.۸۶

گام ۵-۲- نرمال‌ســازی مقادیــر اولیه ماتریــس تصمیم ($\tilde{\tilde{x}}_{ij}$). معیارهای مثبــت به‌ترتیب ذیل نرمال‌سازی می‌شوند:

$$\tilde{\tilde{x}} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=.}^{m} \tilde{x}_{ij}} \qquad (۷)$$

Archive of SID

www.SID.ir

معیارهای منفی با طی دو رابطه‌ی ذیل نرمال‌سازی می‌شوند:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}^*_{ij}}, \qquad \tilde{\tilde{x}} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=.}^{m} \tilde{x}_{ij}} \tag{۸}$$

برای نمونه، معیار انگیزش C_{11}، یک معیار مثبت است (به این معنی که افزایش آن مطلوب است). لذا برای نرمال‌سازی ستون این معیار رابطه (۷) به‌کار می‌رود. بدین‌ترتیب که عناصر سطر معیار انگیزش بر مجموع عناصر این سطر (که در ستون پنجم جدول ۹ ارائه شده‌است) تقسیم می‌شوند:

$$\tilde{x}_{11} = \left(\frac{10}{30}, \frac{10}{26}, \frac{10}{21.8}\right) = (0.33, 0.38, 0.46) \tag{۸}$$

سایر محاسبات نیز به همین ترتیب انجام می‌شود. ماتریس تصمیم نرمال‌شده در جدول ۱۰ ارائه شده‌است.

گام ۵-۳- محاسبه‌ی ماتریس نرمال موزون ($\tilde{\hat{x}}$) :

$$\tilde{\hat{x}} = \tilde{\tilde{x}}_{ij} W_j, \qquad i = \overline{0, m} \tag{۹}$$

W_j وزن معیارهاست که در پایان گام چهارم (روش FANP) به‌دست آمده‌است و $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$ ؛ این وزن‌ها در ستون اول جدول ۱۰ ارائه شده‌است. طبق رابطه (۹) ماتریس نرمال موزون از ضرب وزن معیار در عناصر همان سطر محاسبه می‌شود (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال

	وزن	A.			MRP II			CAD			ASRS		
		α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	Γ
C_{11}	۰.۰۵۷۵	۰.۳۳	۰.۳۸	۰.۴۶	۰.۲۷	۰.۳۷	۰.۴۶	۰.۱۲	۰.۲۲	۰.۳۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۱۱
C_{12}	۰.۰۵۸۱	۰.۳۴	۰.۴	۰.۵	۰.۲۲	۰.۳۵	۰.۵	۰.۱۲	۰.۲۲	۰.۳۸	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۱
C_{13}	۰.۰۵۲۹	۰.۲۷	۰.۳۳	۰.۴۳	۰.۱۴	۰.۲۵	۰.۴۳	۰.۱۲	۰.۲۲	۰.۳۹	۰.۱	۰.۲	۰.۳۶
C_{14}	۰.۰۶۲۱	۰.۴۷	۰.۷۵	۰.۸۴	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۱۸	۰.۸۴
C_{21}	۰.۱۲۴	۰.۳	۰.۳۵	۰.۴۲	۰.۱۲	۰.۲۱	۰.۳۴	۰.۰۴	۰.۱	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۳۴	۰.۴۲
C_{22}	۰.۱۱۱۵	۰.۳۱	۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۱۲	۰.۲۶	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۴۲	۰.۴۳	۰.۰۲	۰.۱	۰.۱۹

Archive of SID

www.SID.ir

	وزن	A.			MRP II			CAD			ASRS		
		α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	Γ
$C_{۲۳}$	۰.۰۸۷۵	۰.۲۹	۰.۳۳	۰.۳۹	۰.۲۳	۰.۳۱	۰.۳۹	۰.۰۵	۰.۱۱	۰.۲۱	۰.۱۶	۰.۲۵	۰.۳۶
$C_{۲۴}$	۰.۰۸۷۴	۰.۳۲	۰.۳۸	۰.۴۶	۰.۱۲	۰.۲۲	۰.۳۶	۰.۲۴	۰.۳۴	۰.۴۶	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۱۶
$C_{۳۱}$	۰.۰۹۶۸	۰.۳۴	۰.۴۵	۰.۵۱	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۲۶	۰.۵۱	۰.۱۱	۰.۱۸	۰.۳
$C_{۳۲}$	۰.۰۹۶۷	۰.۳۴	۰.۴۳	۰.۴۹	۰.۱	۰.۱۳	۰.۱۷	۰.۱۵	۰.۲۶	۰.۴۹	۰.۱۱	۰.۱۸	۰.۲۸
$C_{۳۳}$	۰.۰۸۵۸	۰.۳	۰.۳۷	۰.۴۲	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۱۹	۰.۱۶	۰.۲۶	۰.۴۲	۰.۱۴	۰.۲۲	۰.۳۴
$C_{۳۴}$	۰.۰۷۹۹	۰.۳	۰.۳۸	۰.۴۳	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۲	۰.۱۶	۰.۲۶	۰.۴۳	۰.۱۴	۰.۲۲	۰.۳۵

جدول ۱۱- ماتریس نرمال موزون

	A.			MRP II			CAD			ASRS		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	Γ
$C_{۱۱}$	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰	۰	۰.۰۱
$C_{۱۲}$	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰	۰	۰.۰۱
$C_{۱۳}$	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲
$C_{۱۴}$	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۰۱	۰.۰۵
$C_{۲۱}$	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵
$C_{۲۲}$	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۵	۰	۰.۰۱	۰.۰۲
$C_{۲۳}$	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳
$C_{۲۴}$	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰	۰.۰۱	۰.۰۱
$C_{۳۱}$	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳
$C_{۳۲}$	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳
$C_{۳۳}$	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳
$C_{۳۴}$	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳

گام ۵-۴- تعیین مقدار تابع بهینگی و درجه مطلوبیت هر گزینه. مقدار تابع بهینگی i امین گزینه از رابطه ی ذیل به‌دست می‌آید:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij} \ , \qquad i = \overline{0,m} \tag{10}$$

گزینه با $\tilde{S}_i$ بزرگتر مرجح است. برای دیفازی کردن $\tilde{S}_i$ از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

$$S_i = \frac{1}{3}(S_{i\alpha} + S_{i\beta} + S_{i\gamma}) \tag{11}$$

درجه مطلوبیت هر گزینه به‌ترتیب ذیل محاسبه می‌شود:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \quad i = \overline{0,m} \tag{12}$$

حاصل محاسبات این گام در جدول ۱۲ آمده‌است. طبق این جدول، گزینه دوم یعنی CAD بالاترین درجه مطلوبیت (۰٫۶۰۸) را دارد.

جدول ۱۲- مقدار تابع بهینگی و درجه مطلوبیت

	A_0			MRP II			CAD			ASRS		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
$\otimes S_i$	۰.۳۲۵	۰.۴۰۸	۰.۴۷۱	۰.۱۳۳	۰.۲۰۶	۰.۲۹۱	۰.۱۳۵	۰.۲۳۲	۰.۳۶۵	۰.۱۰۵	۰.۱۷۷	۰.۳۱۳
S_i	۰.۴۰۱			۰.۲۱			۰.۲۴۴			۰.۱۹۸		
K_i	۱			۰.۵۲۴			۰.۶۰۸			۰.۴۹۴		

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین ابزارهای کسب مزیت رقابتی در کسب‌وکارهای امروزی، به‌کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته است. مادامی‌که این تکنولوژی‌ها به‌درستی درک و به‌کار گرفته شود، می‌تواند منجر به بهبود کسب‌وکارشده و به قدرت رقابتی بنگاه در ابعاد مختلف عملیاتی کمک کند. لذا، انتخاب یک تکنولوژی مناسب می‌تواند نتایج ارزشمندی برای شرکت به همراه داشته باشد. مطالعه موردی انجام‌شده، نشان می‌دهد که مدل تلفیقی FANP-FARAS ارائه‌شده در این مقاله، برای حل مسئله انتخاب تکنولوژی بسیار کارآمد است. طبق این مدل بهترین گزینه در این مطالعه، گزینه‌ی دوم است. مدل پیشنهادی نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت هر گزینه را نسبت به گزینه بهینه نشان می‌دهد. عملکرد بهترین گزینه

Archive of SID

www.SID.ir

(یعنی CAD)، ۶۰/۸ درصد عملکرد گزینه بهینه (A_1) به‌دست آمده‌است.

مسـئله انتخاب تکنولوژی یک تصمیم چندمعیاره است و بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده در ادبیات بـرای حل آن، روش‌های MCDM را به‌کار گرفته‌اند؛ از جملـه روش AHP (داتا و همکاران[1]، ۱۹۹۲؛ وبر[2]، ۱۹۹۳؛ ابرین و اسـمیز[3]، ۱۹۹۳؛ البایراکگلو[4]، ۱۹۹۶؛ چان و همـکاران[5]، ۱۹۹۹و دی[6]، ۲۰۰۴)، تلفیق AHP و TOPSIS (شیجیت و همکاران، ۲۰۰۸) و PROMETHEE (آناند و کدالی، ۲۰۰۸). در این مدل‌ها ابهام و عدم قطعیت در نظر گرفته نشده‌است. اغلب در دنیای واقعی، مقادیر معیارها با عدم قطعیت و به‌طور زبانی مطرح می‌شوند. برای حل کاربردی این مشکل، در این مقاله همانند مطالعه‌ی تمایدیـس (۲۰۰۶) و فو و همکاران (۲۰۰۶)، نظریه مجموعه‌های فازی به‌کار گرفته شده‌اسـت. نکته دیگری که در این مطالعات موردبی‌توجهی قرار گرفته‌اسـت عدم اسـتقلال و روابط بین معیارهاست. ادبیات موضوع نشان می‌دهد که برخی مطالعات اخیر به روابط درونی بین معیارهای انتخاب تکنولوژی توجه کرده‌اند، از جمله آناند و کدالی (۲۰۰۹)، اردوبادی (۲۰۱۲) و فارسـیجانی و همکاران (۲۰۱۴). اما، معیارهای به‌کار رفته توسط آناند و کدالی (۲۰۰۹)، ویژه‌ی یک تکنولوژی خاص (سیستم تولیدی ناب) است و نمی‌تواند برای انتخاب تکنولوژی‌های مختلف به‌کار رود. اردوبادی (۲۰۱۲) و فارسیجانی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌شان معیارهای عمومی‌تری را ارائه کرده‌اند، اما در هر دوی این مطالعات ابعـاد مختلف معیارها و معیارهـای فرعی‌ای که تکنولوژی‌ها را توصیف می‌کنند و باید در این تصمیم مدنظر قرار گیرند، به‌طور جامع پوشـش داده نشده‌اسـت، ضمن اینکه ابهام و عدم‌قطعیت موجود در تصمیم‌گیری نیز در نظر گرفته نشده‌است. مدل ارائه‌شده در این مطالعه، علاوه بر لحاظ روابط درونی بیـن معیارهای تصمیم و عدم قطعیت‌ها (با به‌کارگیـری روش FANP)، جامعیت کافی برای انتخاب تکنولوژی‌های مختلف- صرف‌نظر از نوع‌شان- را دارد. بدین منظور معیارهای مهم در ارزیابی تکنولوژی جدید به‌طور دقیق از ادبیات موضوع و نظر کارشناسان موردشناسایی قرار گرفت و به سه دسته عمده طبقه‌بندی شد: بعد مالی، بعد عملیاتی و بعد نیروی انسانی. از طرفی، تکنیک FARAS روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسـبت به وضع بهینه اسـت که از سهولت

1 . Datta et al.
2 . Weber
3 . O'Brien and Smith
4 . Albayrakoglu
5 . Chan
6 . Dey

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد نسبی نیز برخوردار است. این مطالعه با تلفیق تکنیک FANP و FARAS از مزایای هر دو تکنیک در حل مسئله پیچیده‌ی انتخاب تکنولوژی بهره گرفته‌است. در ادبیات موضوع تاکنون تلفیق این دو تکنیک در محیط فازی برای مسئله انتخاب تکنولوژی به‌کار گرفته نشده‌است.

زمینه‌های متعددی برای تحقیقات آتی شناسایی شده‌است. اول اینکه مسئله انتخاب تکنولوژی، مسئله‌ای پیچیده است که دربردارنده‌ی ابهام و عدم قطعیت، عدم استقلال و روابط درونی بین معیارهای کمی و کیفی و همچنین معیارهای تصمیم ناسازگار است. نتایج محاسبات و ارزیابی‌های این مطالعه نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی به‌طور کارآ از عهده‌ی حل این مسئله برآمده‌است و می‌تواند برای حل مسائل بسیار پیچیده مشابه به‌کار رود. لذا، مدل تلفیقی FANP-FARAS ارائه‌شده، می‌تواند به‌عنوان یک فرم پشتیبانی تصمیم برای حل مسائل مشابه از جمله مکان‌یابی، ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و پروژه‌ها پیاده‌سازی شود. دیگر اینکه مدل شبکه‌ای ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند با تلفیق تکنیک FANP برای محاسبه وزن معیارها و سایر تکنیک‌ها مثل برنامه‌ریزی آرمانی[1] برای شناسایی بهترین تکنولوژی به‌کار رود. در نهایت، پیشنهاد می‌شود انتخاب این تکنولوژی‌های پیشرفته در قالب روش سناریوسازی[2] در مطالعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

1 . goal programming
2 . Scenario Planning

Archive of SID

www.SID.ir

References

- Albayrakoglu, M. (1996). Justification of new manufacturing technology: a strategic approach using the analytic hierarchy process. *Production & Inventory Management Journal*, 37 (1), 71-6.
- Anand, G., Kodali, R. (2008). Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. *Modeling in Management*, 3(1), 40–70.
- Anand, G., Kodali, R. (2009). Selection of lean manufacturing systems using the analytic network process: a case study. *Manufacturing Technology Management*, 20(2), 258–289.
- Bayazit, O. (2005). Use of AHP in decision making for flexible manufacturing systems. *Manufacturing Technology Management*, 16(7), 808–819.
- Bernoider, E.,,Koch, S. (2001). ERP selection process in midsize and large organizations. *Business Process Management*, 7(3), 251–257.
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., Grassi, A. (2006). AHP-based evaluation of CMMS software. *Manufacturing Technology Management,* 17(5), 585–602.
- Buyukozkan,G., Cifci, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39, 3000–3011.
- Canada, J.R. & Sullivan, W.G. (1990). Persistent pitfalls and applicable approaches for justification of advanced manufacturing systems. *Engineering Costs and Production Economics*, 18, 247-53.
- Chan, F.T.S., Chan, M.H., Lau, H. & Ip, R.W.L. (2001). Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review. *Integrated Manufacturing Systems,* 12 (1), 35-47.
- Chan, F.T.S., Chan, M.H., Mak, K.L. & Tang, N.K.H. (1999). An Integrated Approach to Investment Appraisal for Advanced Manufacturing Technology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 9 (1), 69–86.
- Chuu, S-J. (2009). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 1033–1042
- Dağdeviren, M., Yuksel, I. (2010). A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectorial competition level (SCL). *Expert Systems with Applica-*

Archive of SID

www.SID.ir

tions, 37(2), 1005–1014.

- Datta, V., Sambasivarao, K.V., Kodali, R. and Deshmukh, S.G. (1992). Multi-attribute decision making using the analytic hierarchy process for justification of manufacturing systems. *International Journal of Production Economics,* 28, 2, 227-34.
- Dey, P.K. (2004). Analytical hierarchy process helps evaluate project in Indian oil pipelines industry. *Int. J. of Operations & Production Management*, 24 (6), 588-604.
- Dhavale, D. (1995). Justifying manufacturing cells. *Manufacturing Engineering,* 115 (6), pp. 31-7.
- Farooq, S., O'Brien, C. (2014). An action research methodology for manufacturing technology selection: a supply chain perspective. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, *in press*, DOI: 10.1080/09537287.2014.924599.
- Farsijani, H., Shafiei Nikabadi, M. & Amirtaheri, O. (2014). Evaluation of advanced manufacturing technologies for world-class using analytical network process method. *World Review of Science, Technology and Sust. Development,* 11 (2), 127-147.
- Fu, H.-P., Ho, Y.-C., Chen, R. and Chang, T.-H. (2006). Factors affecting the adoption of electronic marketplaces: a fuzzy AHP analysis. *Int. J. of Operations & Production Management,* 26 (12), 1301-24.
- Gogus, O., Boucher, T. O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94, 133–144.
- Hassan, H. and Kikuo, N. (2005). A model for selecting a CIFMS design model. *Manufacturing Technology Management*, 16 (5), 497-515.
- Hutton, John & Denham, John. (2008). Manufacturing New Challenges, New Opportunities. *BERR & Innovation, Universities and Skills*, pp. 20-24.
- Kersuliene, V. & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision-making model for architect selection. *Technol. Econ. Dev. Econ*. 17 (4), pp. 645–666.
- Kersuliene, V. & Turskis, Z. (2014). An integrated multi-criteria group decision making process: selection of the chief accountant. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 110, pp. 897 – 904.
- Kocaglu, D., Williamson, K., Saberiyan, A., Olive, L. (2001). Technology selection in brownfields redevelopment. *Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, Portland, OR, USA,

Archive of SID

www.SID.ir

Vol. 2, 650-658.

- Kodali, R., Mishra, R.P., Anand, G. (2009). Justification of world-class maintenance systems using analytic hierarchy constant sum method. *Quality in Maintenance Engineering*, 15(1), 47–77.
- Lee, H.I., Wang, W., in, T. (2010). An Evaluation Framework for Technology Transfer of New Equipment in High Technology Industry. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 135–150.
- Liu, K. F. R., Lai, J.-H. (2009). Decision-support for environmental impact assessment: A hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process. *Expert Systems with Applications*, 36, 5119–5136.
- Luo, Z.-M., Zhou, J.-Z., Zheng, L.-P., Mo, L., He, Y.-Y. (2010). A TFN–ANP based approach to evaluate Virtual Research Center comprehensive performance. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8379–8386.
- Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy-ANP based approach to R&D project selection: A case study. *International Journal of Production Research*, 43, 5199–5216.
- O'Brien, C. and Smith, S.J.E. (1993). Design of the decision process for strategic investment in advanced manufacturing systems. *Int. J. of Production Economics*, 30 (30), 309-22.
- Ordoobadi, Sh. M. (2012). Application of ANP methodology in evaluation of advanced technologies. *Manufacturing Technology Management*, 23(2), 229-252.
- Ordoobadi, S. and Mulvaney, N. (2001). Development of a justification tool for advanced manufacturing technologies: system-wide benefit analysis. *Journal of Engineering & Technology Management*, 18, 157-84.
- Percin, S. (2008). Using the ANP approach in selecting and benchmarking ERP systems. *Benchmarking: An International Journal*, 15(5), 630–649.
- Raafat, F. (2002). A comprehensive bibliography on justification of advanced manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 79, 197-208.
- Säfsten, K., Johansson, G., Lakemond, N., Magnusson, T. (2014). Interface challenges and managerial issues in the industrial innovation process. *Journal of Manufacturing Technology Management,* 25 (2), 218–239.
- Shehabuddeen, N., Probert, D. and Phaal, R. (2006). From theory to practice: chal-

Archive of SID

www.SID.ir

lenges in operationalising a technology selection framework. *Technovation*, 26, 324–335.

- Shyjith, K., Ilangkumaran, S. and Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Quality in Maintenance Engineering,* 14 (4), 375-86.
- Small, M. & Chen, I. (1995). Investment justification of advanced manufacturing technology: an empirical analysis. *Engineering & Technology Management*, 12, 27-55.
- Tan, K. H., Noble, J., Sato, Y., Tse, Y.K. (2011). A marginal analysis guided technology evaluation and selection. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 15–21.
- Thomaidis, N.S., Nikitakos, N. and Dounias, G. (2006). The evaluation of information technology projects: a fuzzy multi-criteria decision making approach. *Int. J. of Information Technology and Decision Making,* 15 (1), 89-122.
- Tingling, P. & Parent, M. (2004). An exploration of enterprise technology selection and evaluation. *Strategic Information Systems*, 13, 329-54.
- Tonge, R., Larsen, P., & Roberts, M. (2000). Information systems investment within high-growth medium-sized enterprises. *Management Decision*, 38(7), 489–496.
- Tracey, Michael; Vonderembse, Mark A. & Lim, Jeen-Su., (1999). Manufacturing technology and strategy formulation: keys to enhancing competitiveness and improving performance. *Operations Management*, 17, 411–428.
- Tuzkaya, U. R., Onut, S. (2008). A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study. *Information Sciences*, 178, 3133–3146.
- Vinodh, S., Ramiya, R. A., & Gautham, S. G. (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 272–280.
- Walters, A. T., Millward, H., & Lewis, A. (2006). Case studies of advanced manufacturing technology implementation in small companies. *International Journal of Innovation Technology and Management*, 3(2), 149–169.
- Weber, S.F. (1993). A modified analytic hierarchy process for automated manufacturing decisions. *Interfaces*, 23 (4), 75-84.
- Wilkes, F.M. & Samuels, J.M. (1991). Financial appraisal to support technological

Archive of SID

www.SID.ir

investment. *Long Range Planning*, 24 (6), 60-6.

- Yurdakul, M. (2002). Measuring a manufacturing system's performance using Saaty's system with feedback approach. *Integrated Manufacturing Systems*, 13(1), 25–34.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Bagocius, V. (2015). Multi-criteria selection of a deep-water port in the Eastern Baltic Sea. *Applied Soft Computing*, 26,180–192.

Archive of SID

www.SID.ir