به کارگیری و مقایسه روشهای AHP, TOPSIS, ELECTRE در انتقال تکنولوژی تولید ترانسفورماتورهای خشک رزینی

دکتر بهروز زارعی[1] ، ناصر باقری‌مقدم[2]

چکیده

تصمیم‌گیری در خصوص ارزیابی و انتخاب تکنولوژی همواره یکی از چالش‌های تصمیم‌گیری در مدیریت تکنولوژی محسوب می‌شود. این تصمیم‌ها با توجه به پی‌آمدهای قابل توجه، از اهمیت شایانی برخوردار اند. در این تصمیم‌ها لازم است که گزینه‌ها با توجه به مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی و کیفی و گاه متناقض ارزیابی و اولویت‌بندی شوند که این امر انتخاب تکنولوژی مناسب را دشوار می‌نماید. به علاوه، از آنجا که تصمیم‌ها غالبا به صورت گروهی اتخاذ می‌شوند، رسیدن به یک نتیجه واحد دشوار است. در این مقاله به تصمیم گیری در خصوص انتقال تکنولوژی تولید ترانسفورماتورهای خشک رزینی پرداخته و از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه AHP, ELECTERE و TOPSIS استفاده شده است. به دلیل آنکه هر یک از این روشها با رویکرد خود به مدلسازی و حل مسأله می پردازد، در شرایط مختلف هر یک دارای مجموعه جواب های متفاوت بوده که این امر مورد تحلیل آماری قرار گرفته است. سرانجام با توجه به شرایط حاکم بر مسأله نتایج تفسیر و بهترین جواب مشخص گردیده است.

واژگان کلیدی: انتقال تکنولوژی، ترانسفورماتورهای خشک، AHP، ELECTERE، TOPSIS.

Abstract

Technology assessment and selection have substantial impacts on companies in the process of their technology transfer. In practice, it should consider various quantitative and qualitative attributes whereas some are conflicting. This creates a complex decision-making situation. Beside that, technological decisions are usually made by a group of experts and it is difficult to draw the views to a single decision point. This paper discusses the results of a study to transfer winding dry-type transformer technology. It employs three decision-making techniques including Analytical Hierarchy Process, Elimination et Choice Translating Reality, and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution to the problem. The results of each technique are discussed and compared using statistical tests.

Keywords: Technology transformation, Dry transformatores, AHD, TOPSIS, ELECTERE

۱- مقدمه

در دو دهه گذشته، تعاریف مختلفی از تکنولوژی و مدیریت آن در سطح بنگاه و فرابنگاه ارائه شده است. به طور کلی تکنولوژی را می‌توان کلیه دانش‌ها، فرایندها، ابزار، روش‌ها و سیستم‌های بکار رفته در محصولات و ارائه خدمات تعریف کرد[i]. فرایند مدیریت تکنولوژی در برگیرنده همه فعالیتهای مرتبط با اکتساب تکنولوژی از طریق تحقیق و توسعه یا انتقال تکنولوژی، بومی‌سازی و بکارگیری آن در محصولات و خدمات یک بنگاه می‌باشد[ii] که شامل چهار فعالیت اساسی است: شناسایی، انتخاب، اکتساب، و بهره برداری از تکنولوژی[iii]. پس از شناسایی تکنولوژی [iv]، انتخاب

---

۱ - استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

۲- کارشناسي ارشد MBA

تکنولوژی مناسب تاثیر قابل توجهی بر موفقیت فعالیت‌های بعدی و اثربخشی بکارگیری تکنولوژی دارد. اهمیت این مسأله تا به حدی است که نه تنها دارای نتایج اقتصادی قابل توجهی است بلکه با توجه به نقش استراتژیک آن در جهان امروز، می‌تواند منجر به شکست یا موفقیت کامل یک بنگاه اقتصادی شود. تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب تکنولوژی سطوح متفاوتی دارد که در این راستا می‌توان به انتخاب تکنولوژیهای استراتژیک در سطح بنگاه اشاره کرد. همچنین می‌توان به تصمیم‌گیریهای تاکتیکی نظیر انتخاب تکنولوژی مناسب، انتخاب روش مناسب اکتساب، و انتخاب منبع مناسب انتقال تکنولوژی اشاره داشت (شکل ۱). ارزیابی تکنولوژی در اصل، به دلیل بررسی آثار منفی احتمالی آن دارای اهمیت می باشد. بدین صورت که ضمن کاهش پیامدهای منفی تکنولوژی بایستی در اندیشهٔ حداکثر نمودن آثار مثبت آن و نیز توسعه متناسب با شرایط پیاده‌سازی آن همت ورزید. بنا براین محور ارزیابی می‌تواند بررسی ویژگیهای ذاتی و یا بررسی مشکلات اجتماعی ناشی از کاربرد یک تکنولوژی باشد[۷]. به هرحال، ارزیابی و انتخاب تکنولوژی مناسب تحت تاثیر عواملی نظیر نقطه نظرات تصمیم‌گیرندگان کلیدی، و شرایط ملی و بنگاهی است که ممکن است گزینه‌ها بر اساس برخی شاخص ها مطلوب و بر اساس برخی دیگر نامطلوب ارزیابی شوند.

شکل ۱. انتخابهای تکنولوژیک یک بنگاه اقتصادی

از سویی دیگر در این موارد تصمیم‌گیری غالباً به صورت گروهی انجام می‌شود و لذا تلفیق نظرات به گونه‌ای که منجر به یک تصمیم مورد توافق و رضایت تمام اعضای گروه گردد، یکی از چالش‌های اساسی است. چنین فضایی از تصمیم‌گیری با قابلیت روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM[1]) مطابقت می‌کند. در این مقاله با تاکید بر این موضوع، نحوه استفاده از روش‌های AHP، TOPSIS، و ELECTRE به عنوان معروف ترین روش‌های MADM در یک مطالعه موردی جهت تصمیم‌گیری انتقال تکنولوژی در صنعت ترانسفورماتور تشریح گردیده است. از این رو در ادامه ابتدا مسأله یاد شده تشریح و سپس نحوه مدلسازی، حل مسأله و اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به روش فوق بیان شده است. از آنجاکه هر یک از روشهای MADM با رویکرد و مفروضات خاص خود به مدلسازی و حل مسأله تصمیم می‌پردازد، لذا نتایج حاصل نیز متفاوت خواهد بود. در این خصوص به کمک آزمونهای آماری مناسب مفهوم تفاوت‌ها بررسی و آنگاه نتایج تفسیر گردیده است.

۲- تشریح مسأله تصمیم

طی چند دهه اخیر مساله آتش زا بودن ترانسفورماتورهای روغنی و خطرات احتمالی کاربرد این نوع ترانسفورماتورها در نقاط مصرفی خاص، متخصصین این صنعت را بر آن داشت تا نسبت به طراحی و ساخت ترانسفورماتورهای خشک با استفاده از مواد عایقی جامد اقدام نمایند. در این زمینه یک شرکت ایرانی تولید کننده ترانسفورماتورهای روغنی فشار قوی، تصمیم به تولید نوع جدید این نوع ترانسفورماتور دارد

[1] Multi Attribute Decision Making

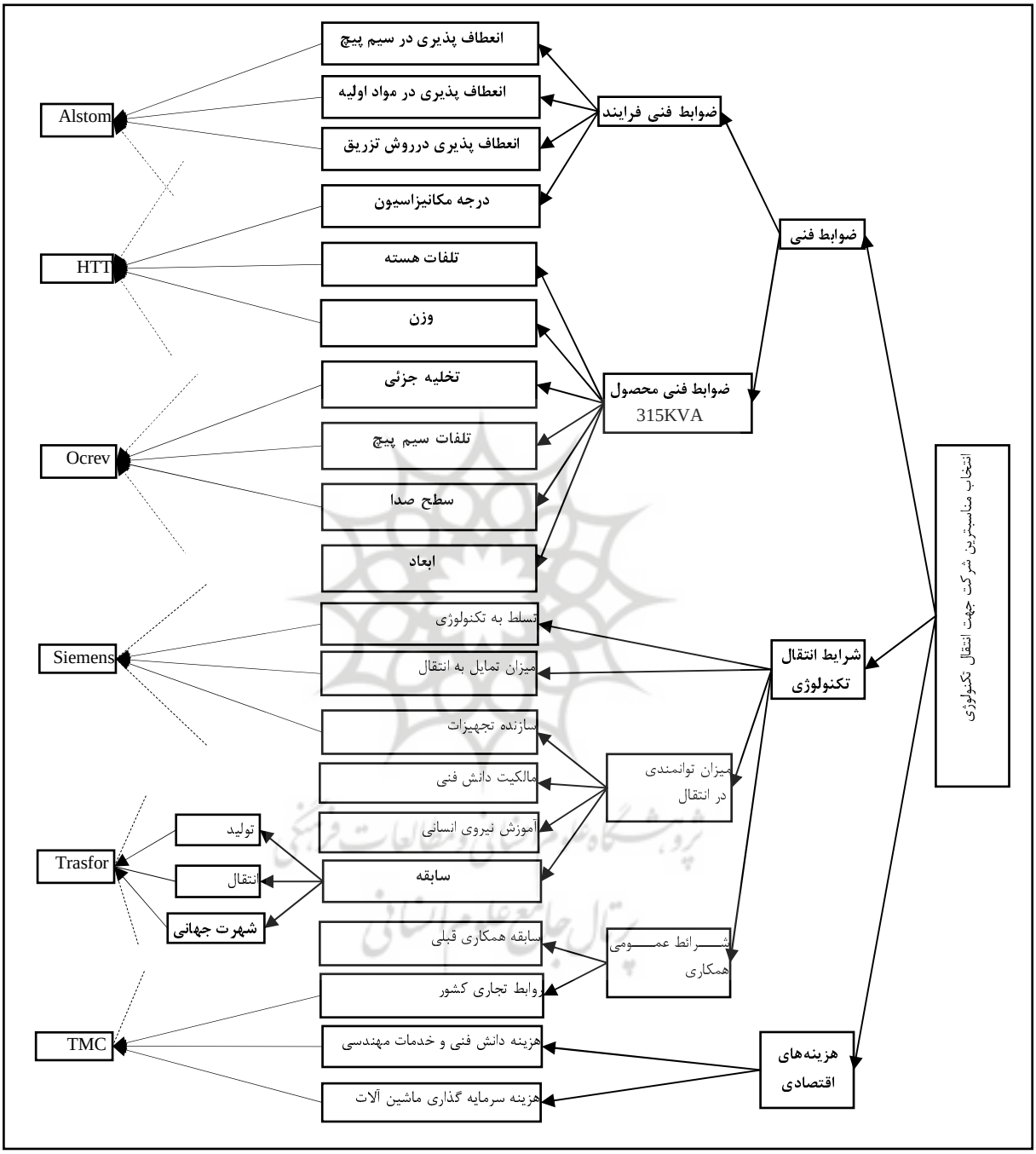
که در این خصوص لازم است به کمک یک شرکت خارجی تکنولوژی تولید این نوع ترانسفورماتور انتقال یابد. با توجه به وجود تکنولوژی های مختلف تولید و شرکت های متعدد خارجی از یک طرف و سرمایه گذاری قابل توجه مورد نیاز برای تولید در ظرفیت اقتصادی از طرف دیگر، این تصمیم‌گیری برای مدیران شرکت حساسیّت زیادی دارد. انتخاب شرکت خارجی مناسب تحت تاثیر دو عامل اساسی مشخصات تکنولوژی تولید و شرایط دارنده تکنولوژی تعیین گردید. لذا به منظور اتخاذ تصمیم مناسب یک گروه کارشناسی مرکب از چهار کارشناس حرفه‌ای مهندسی برق و مکانیک و دو نفر از استادان دانشگاه با تخصص های مهندسی برق و مدیریت تکنولوژی و یک کارشناس مهندسی صنایع تشکیل گردید.

این گروه با توجه به وجود شرکتهای متعدد طی یک بررسی اولیه شش شرکت Alstom، HTT، Ocrev، Simense، TMC و Trasfor به ترتیب مربوط به شعبه ترکیه، آلمان، ایتالیا، آلمان، استرالیا و سوئیس را انتخاب کرد. از این رو در مسأله تحقیق حاضر هدف انتخاب مناسب‌ترین شرکت جهت انتقال تکنولوژی ترانسفورماتور خشک می‌باشد که در این خصوص شاخص‌های تصمیم با استفاده از گروه کارشناسی پروژه و به شکل طوفان مغزی به شرح شکل ۲ تعیین گردید. لازم به توضیح است که شاخص‌های فنی فرایند صرفنظر از نوع ترانسفورماتور در خصوص خط تولید تمام ترانسفورماتورهای یک شرکت یکسان است. امّا مشخصات فنی محصول در هر ترانسفورماتور متفاوت است که برای امکان‌پذیر شدن مقایسه ها در هر شرکت محصول نوع 315KVA با یکدیگر مقایسه شدند.

۳- پیاده‌سازی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[۲])

روش AHP یکی از شناخته‌شده ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در حوزه‌های مختلف کاربردی مورد استقبال قرار گرفته است[vi]. بر اساس رویکرد AHP، موضوع تصمیم‌گیری دارای درختی است که سطح اول آن *هدف*، سطح آخر *گزینه‌های رقیب* و سطح یا سطوح میانی *شاخص‌های تصمیم* خواهند بود. این درخت برای مساله مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است. سپس جهت جمع‌آوری داده‌ها باید عناصر موجود در هر سطح به ترتیب از سطوح پائین به بالا نسبت به کلیه عناصر مرتبط در سطوح بالاتر ارزیابی شوند. از این رو در مسأله تحقیق حاضر شرکت‌های یاد شده از لحاظ ۲۲ شاخص مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در AHP چنانچه مبنای ارزیابی به صورت کیفی مطرح باشد، ارزیابی به صورت مقایسه ها زوجی انجام می‌گیرد و طبق جدول استاندارد ساعتی به آنها امتیاز دهی عددی تخصیص داده می‌شود[vii]. از سوی دیگر، چنانچه مبنای ارزیابی به صورت کمی باشد، عناصر مورد ارزیابی نسبت به یک مبنا سنجش می‌گردند. به عنوان مثال، در این تحقیق تلفات هسته بر حسب وات بر کیلوگرم به صورت کمی سنجش شده‌اند. از این رو نقطه نظر هر تصمیم‌گیرنده در قالب ماتریس‌هایی با یکدیگر تلفیق می‌گردد که در این تحقیق برای تلفیق نظرات گروهی از روش دلفی[viii] استفاده شده است. بعلاوه قبل از تحلیل داده‌ها بایست با محاسبه نرخ سازگاری نسبت به سازگاری مقایسه ها اطمینان حاصل شود. در این تحقیق نتایج به دست‌آمده نرخ سازگاری مقایسه ها را تائید نمود. همچنین تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت که در این خصوص ضرایب اهمیّت شاخص‌ها، گزینه‌ها، و اولویت‌بندی آنها به شرح جدول۱ به دست آمده است.

[2] Analytical Hierarchy Process



شکل ۲. درخت سلسله مراتب تصمیم انتخاب تکنولوژی مناسب تولید ترانسفوماتور خشک رزینی

هدف	شاخص‌های تصمیم			گزینه‌های رقیب					
				Alstom	HTT	Ocrev	Siemens	TMC	Trasfor
انتخاب مناسبترین شرکت جهت انتقال تکنولوژی	ضوابط فنی (۰/۶۳۷)	ضوابط فنی فرایند (۰/۶۰)	انعطاف پذیری در سیم‌پیچ (۰/۲۱۶)	۰/۲۹۲	۰/۲۹۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	۰/۰۴۲
			انعطاف پذیری در مواد اولیه (۰/۶۵۲)	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۳۲۵	۰/۳۲۵
			انعطاف پذیری در روش تزریق (۰/۰۹۰)	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷
			درجه مکانیزاسیون (۰/۰۴۲)	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۰/۲۵۰
		ضوابط فنی محصول 315KVA (۰/۴۰)	تلفات هسته (۰/۵۵۸)	۰/۱۵۷	۰/۱۹۷	۰/۱۴۸	۰/۱۷۲	۰/۱۵۰	۰/۱۷۶
			وزن (۰/۰۲۹)	۰/۱۷۰	۰/۲۰۶	۰/۱۶۸	۰/۱۳۵	۰/۱۹۰	۰/۱۳۱
			تخلیه جزئی (۰/۰۹۰)	۰/۰۷۶	۰/۲۲۸	۰/۲۲۸	۰/۲۲۸	۰/۲۲۸	۰/۰۱۲
			تلفات سیم‌پیچ (۰/۱۴۸)	۰/۱۸۴	۰/۱۵۷	۰/۱۷۴	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۶۱
			سطح صدا (۰/۱۲۳)	۰/۱۳۹	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۵۹	۰/۱۶۷	۰/۲۰۰
			ابعاد (۰/۰۵۱)	۰/۱۸۰	۰/۱۸۹	۰/۱۷۹	۰/۱۵۱	۰/۱۷۵	۰/۱۲۶
	شرایط انتقال تکنولوژی (۰/۲۵۸)	میزان توانمندی در انتقال (۰/۲۷۹)	سازنده تجهیزات (۰/۰۴۵)	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷
			مالکیت دانش فنی (۰/۶۱۰)	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷
			آموزش نیروی انسانی (۰/۱۱۱)	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷
			سابقه (۰/۲۳۴) تولید (۰/۴۵۵)	۰/۰۶۹	۰/۲۷۸	۰/۱۵۳	۰/۲۴۳	۰/۱۱۸	۰/۱۳۹
			سابقه (۰/۲۳۴) انتقال (۰/۴۵۵)	۰	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲	۰/۱۱۱
			سابقه (۰/۲۳۴) شهرت جهانی (۰/۰۹۱)	۰/۰۵۹	۰/۰۵۹	۰/۱۶۰	۰/۴۰۲	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰
		شرایط عمومی همکاری (۰/۰۳۹)	سابقه همکاری قبلی (۰/۶۹۷)	۰/۰۳۵	۰/۱۶۲	۰/۰۳۵	۰/۵۳۱	۰/۰۷۵	۰/۱۶۲
			روابط تجاری کشور (۰/۳۰۳)	۰/۰۷۶	۰/۲۸۴	۰/۲۸۴	۰/۲۸۴	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶
		تسلط به تکنولوژی (۰/۵۷۱)		۰/۰۶۱	۰/۱۶۳	۰/۱۰۸	۰/۳۸۸	۰/۱۱۹	۰/۱۶۳
		میزان تمایل به انتقال (۰/۱۱۱)		۰/۰۳۶	۰/۳۲۵	۰/۰۳۶	۰/۱۳۹	۰/۳۲۵	۰/۱۳۹
	هزینه‌های اقتصادی (۰/۱۰۵)	هزینه دانش فنی و خدمات مهندسی (۰/۳۰۳)		۰/۱۴۷	۰/۲۱۹	۰/۱۴۷	۰/۱۴۸	۰/۲۵۶	۰/۰۸۳
		هزینه سرمایه‌گذاری ماشین‌آلات (۰/۶۹۷)		۰/۲۰۸	۰/۲۰۸	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۲۰۸	۰/۱۲۵
	میانگین موزون گزینه‌ها			**۰/۱۵۲**	**۰/۱۸۶**	**۰/۱۲۰**	**۰/۱۵۴**	**۰/۲۰۸**	**۰/۱۷۹**
	اولویت نهایی			**۵**	**۲**	**۶**	**۴**	**۱**	**۳**

جدول ۱. ضرایب اهمیت و اولویت نهایی گزینه‌ها در روش AHP

۴- پیاده‌سازی روش ELECTRE[3]

اساس کار این روش بر مبنای روابط غیر رتبه‌ای[4] است، بنابراین، جوابهای به دست آمده به صورت مجموعه‌ای از رتبه‌ها خواهد بود [ix]. مدلسازی مسائل تصمیم‌گیری بر اساس این روش و همچنین روش با تشکیل *ماتریس تصمیم‌گیری* انجام می‌پذیرد که در سطرهای آن گزینه‌های رقیب و در ستونها، شاخص‌های تصمیم قرار دارند. عناصر ماتریس، r_{ij}، نتیجه سنجش و ارزیابی گزینه‌های تصمیم توسط تصمیم‌گیرنده، بر اساس شاخص‌های تصمیم می‌باشد. ارزیابی گزینه‌ها از حیث شاخص‌های کمی بر حسب مبنای مربوطه و از لحاظ شاخص‌های کیفی تصمیم، در قالب مقیاس دو قطبی انجام گرفته و به آنها معادل‌های عددی " ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ " تخصیص داده می‌شود. در اینجا باید توجه داشت که چنانچه ماتریس تصمیم‌گیری از شاخص‌های با جنبه مثبت و منفی مطلوبیت برخوردار باشد، جهت یکسان شدن تفسیر محاسبات لازم است مقادیر اندازه‌گیری شده مربوط به شاخص‌های منفی معکوس شوند[x]. پس از گردآوری داده‌ها لازم است که ماتریس داده ها با استفاده از نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی‌مقیاس شده به نام N_d به صورت زیرتبدیل می‌شود :

$$N_d=[n_{ij}] \quad , \quad n_{ij}=\frac{r_{ij}}{(\sum_{i=1}^{n} r_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

[3] Elimination et Choice Translating Reality
[4] Outranking

به عنوان نمونه بخشی از نتایج این محاسبه در خصوص چهار شاخص مربوط به ضوابط فنی فرایند به صورت زیر است.

$$\mathbf{N_d}=\begin{bmatrix}0.1154 & 0.1667 & 0.1667 & 0.1389\\ 0.2692 & 0.1667 & 0.1667 & 0.1389\\ 0.1154 & 0.1000 & 0.1667 & 0.1944\\ 0.1154 & 0.1000 & 0.1667 & 0.1944\\ 0.2692 & 0.2333 & 0.1667 & 0.1389\\ 0.1154 & 0.2333 & 0.1667 & 0.1944\end{bmatrix}$$

در ادامه با استفاده از ماتریس قطری W (وزن شاخص‌های تصمیم) و از طریق رابطه $V= N_d \times W_{n\times n}$ ماتریس بی‌مقیاس موزون[5] به دست می‌آید. عناصر قطر ماتریس W را به دو طریق می‌توان به دست آورد: بیان میزان اهمیت هر شاخص توسط تصمیم‌گیرنده، و یا از طریق شیوه‌های علمی موجود. برای انجام این کار از روشهایی همچون آنتروپی شانون، روش بردار ویژه، روش کمترین مجذورات وزین[6] و روش LINMAP[7] می‌توان استفاده کرد[xi]. در این تحقیق برای به دست آوردن وزن شاخص‌ها از روش آنتروپی شانون استفاده شده که نتایج مربوط به آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

پس از محاسبه ماتریس V کلیه گزینه‌ها به صورت زوجی نسبت به تمام شاخص‌ها ارزیابی می شوند که حاصل آن "مجموعه هماهنگ[8]" و "مجموعه ناهماهنگ[9]" خواهد بود. مجموعه هماهنگ از گزینه‌های K و L (K≠L) شامل کلیه شاخص‌هایی خواهد بود که گزینه C_k بر گزینه C_l به ازای آنها دارای مطلوبیت بیشتری باشد یعنی:

$S_{KL} = \{ j \mid r_{kj} \geq r_{Lj} \}$ $j = 1,2,\ldots ,m$

به ازاء r_{lj} دارای مطلوبیت افزایشی (شاخص تصمیم با جنبه مثبت)

$S_{kL} = \{ j \mid r_{kj} \leq r_{Lj} \}$ $j = 1,2,\ldots ,m$

به ازاء r_{lj} دارای مطلوبیت کاهشی (شاخص تصمیم با جنبه منفی)

و بر عکس مجموعه ناهماهنگ، D_{kL}، مشتمل بر کلیه شاخص‌هایی خواهد بود که گزینه C_k بر گزینه C_l به ازای آنها دارای مطلوبیت کمتری باشد. در ادامه بر اساس شاخص‌های متعلق به مجموعه هماهنگ K و L، ماتریس هماهنگی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$I = [I_{k,l}] \quad , \quad I_{k,l} = \sum_{j\in S_{kl}} w_i$$

$$I=\begin{bmatrix}0 & 0.0009 & 0.0869 & 0.0705 & 0.0149 & 0.6026\\ 0.9991 & 0 & 0.3365 & 0.2677 & 0.1403 & 0.8861\\ 0.9131 & 0.6635 & 0 & 0.0197 & 0.0794 & 0.7606\\ 0.9295 & 0.7323 & 0.9803 & 0 & 0.1502 & 0.8351\\ 0.9851 & 0.8597 & 0.9206 & 0.8498 & 0 & 0.8252\\ 0.3974 & 0.1139 & 0.2394 & 0.1649 & 0.1748 & 0\end{bmatrix}$$

همچنین با توجه به مجموعه ناهماهنگ و عناصر ماتریس V، ماتریس ناهماهنگی، NI، که نسبت عدم مطلوبیت مجموعه ناهماهنگ L و k را به کل ناهماهنگی در شاخص‌ها سنجش می‌کند، بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$NI_{kL} = \frac{\underset{j\in D_{kl}}{MAX} |V_{KJ} - V_{LJ}|}{\underset{j\in J}{MAX} |V_{KJ} - V_{LJ}|}$$

صورت رابطه فوق نشان می‌دهد که به ازاء چه مقادیری از j، بیشترین اختلاف در مجموعه ناهماهنگ رخ می‌دهد و مخرج آن بیشترین مقدار اختلاف ممکن بین دو گزینه K و L را نشان می‌دهد. نتیجه رابطه مشخص می‌کند که چند درصد از بیشترین اختلاف ممکن بین دو گزینه K و L وجود دارد. در خصوص مساله مورد بررسی ماتریس مزبور به صورت زیر به دست آمد.

$$NI=\begin{bmatrix}1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0760\\ 0.0009 & 1.0000 & 0.0612 & 0.9752 & 0.2535 & 0.0113\\ 0.0833 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0225\\ 0.0833 & 1.0000 & 0.0287 & 1.0000 & 0.6836 & 0.0225\\ 0.0080 & 1.0000 & 0.2387 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0197\\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000\end{bmatrix}$$

[5] Weighted Normalization Matrix
[6] Least Square Weighted Method
[7] Linear Programming for Multidimensional of Preference
[8] Concordance Set
[9] Discordance Set

در ماتریس I و NI وجه تمایز و عدم تمایز گزینه ها نسبت به یکدیگر تعیین می گردد امّا این موضوع زمانی معنادار خواهد بود که نسبت به حداقل انتظار مشخص در نظر گرفته شود. برای این منظور ماتریس-هایی تحت عنوان ماتریس هماهنگ موثر، H، و ماتریس ناهماهنگ موثر ، G، محاسبه می شود که استخراج آنها مستلزم یک حدآستانه‌ای[۲۶] است. تعیین آستانه به نظرات تصمیم‌گیرنده بستگی دارد امّا با این وجود یکی از روشهای متعارف برای محاسبه آن، متوسط‌گیری از عناصر ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ می باشد[xi]. مقادیر مزبور در خصوص مساله مورد نظر، برای ماتریس هماهنگ 0.5 و برای ماتریس ناهماهنگ 0.5856 به دست آمده است. چنانچه هر عنصر ماتریس I بزرگتر از آستانه باشد، آن مولفه در ماتریس H مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد گرفت. برعکس چنانچه هر عنصر ماتریس NI کوچکتر یا مساوی آستانه مربوط به آن باشد، آن مولفه در ماتریس G مقدار یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود. نتایج این محاسبات در زیر نشان داده شده است.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

سرانجام با در نظر گرفتن وجوه تمایز و عدم تمایز، گزینه اولویت بندی می شوند. برای این منظور ماتریس کلی و موثر،F، از حاصلضرب دو ماتریس H و G محاسبه می شود.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ماتریس F نشان دهنده ترتیب برتریهای نسبی گزینه‌ها است. بدان معنی که F_{KL} =۱ نشان می‌دهد که C_k بر C_l هم از نظر شاخص‌های هماهنگی و هم از نظر شاخص ناهماهنگی ارجح است، امّا C_k هنوز ممکن است تحت تسلط گزینه‌های دیگری باشد. بنابراین، شرط اینکه C_k با استفاده از روش ELECTRE یک گزینه موثر باشد، عبارت است از:

$F_{KL} = 1$ L برای حداقل یک L = 1,2,... . ,m

به دلیل آنکه احتمال رخداد دو شرط فوق به طور همزمان کم است، گزینه موثر را می‌توان آسان تر تعیین کرد. بدین ترتیب که هر ستون از ماتریس F که حداقل دارای یک عنصر واحد باشد قابل حذف است زیرا آن ستون تحت تسلط ردیف یا ردیف‌های دیگر می‌باشد. لذا گزینه مطلوب گزینه‌ای خواهد بود که ستون آن دارای حداکثر صفرها یا سطر آن دارای حداکثر یک‌ها باشد. برای پیاده‌سازی موثر مراحل فوق یک برنامه کامپیوتری طراحی گردیده و بر اساس نتایج به دست آمده اولویت‌های انتخاب شرکت انتقال دهنده تکنولوژی بصورت جدول ۳ خواهد بود.

۵- پیاده‌سازی روش TOPSIS[۲۷]

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط HWANG&YOON ارائه شد. بر اساس این روش هر مسأله از نوع MADM با m گزینه که به وسیله n شاخص تصمیم مورد ارزیابی قرار گیرد، را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت[xi]. تکنیک TOPSIS بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. مدلسازی و مرحله اول و دوم محاسبات این روش کاملاً شبیه روش ELECTRE است، لذا پس از بی مقیاس کردن

[26] Threshold

[27] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

داده‌ها و تهیه ماتریس V به تعیین راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی به صورت زیر پرداخته می شود.

$$C_i^+ = \{ v_1^+, v_2^+, \ldots, v_n^+ \} = \text{راه‌حل ایده آل}$$
$$= \{ ((\max_i v_{ij} \mid j \in J_1), (\min_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1,2,\ldots,m \}$$

$$C_i^- = \{ v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^- \} = \text{راه‌حل ایده آل منفی}$$
$$= \{ ((\min_i v_{ij} \mid j \in J_1), (\max_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1,2,\ldots,m \}$$

به طوری که

$J_1 = \{ 1,2,\ldots,n \mid$ به ازاء شاخص تصمیم با جنبه مثبت $\}$ ، $J_2 = \{ 1,2,\ldots,n \mid$ به ازاء شاخص تصمیم با جنبه منفی $\}$

راه‌حلهای ایده‌آل و ایده‌آل منفی در مورد مسأله مورد بررسی به صورت زیر محاسبه گردید:

$C_i^+ =$ { 0.0337, 0.0187, 0.0001, 0.0041, 0.0010, 0.0027, 0.0264, 0.0003, 0.0012, 0.0023, 0.0015, 0.0001, 0.0001, 0.0001, 0.0367, 0.0642, 0.0072, 0.0187, 0.0422, 0.0018, 0.0059,0.0093}

$C_i^- =$ { 0.0144, 0.0080, 0.0001, 0.0029, 0.0014, 0.0043, 0.5016, 0.0004, 0.0017, 0.0035, 0.0012, 0.0001, 0.0001, 0.0001, 0.0092, 0.0000, 0.0040, 0.0080, 0.0141, 0.0013, 0.0098, 0.0287}

پس از این مرحله فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی بر حسب نرم اقلیدسی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d_i^+ = \{ \sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2 \}^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1,2,\ldots,n \Rightarrow d_i^+ = \{0.0950, 0.0197, 0.0417, 0.0245, 0.0352, 0.4779\}$$

$$d_i^- = \{ \sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2 \}^{\frac{1}{2}}, \; i = 1,2,\ldots,n \Rightarrow d_i^- = \{0.4227, 0.4813, 0.4798, 0.4811, 0.4806, 0.0367\}$$

سرانجام جهت اولویت بندی گزینه ها باید نزدیکی نسبی، b_i، هر گزینه به راه حل ایده‌آل به صورت زیر تعیین گردد:

$$b_i \Rightarrow b_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad i = 1,2,\ldots,n = \{0.8164, 0.9607, 0.9201, 0.9516, 0.9317, 0.0714\}$$

بر اساس ترتیب نزولی b_i می‌توان گزینه‌های موجود را بر اساس بیشترین میزان اهمیت رتبه‌بندی کرد. یک برنامه کامپیوتری در محیط Matlab برای اجرای مراحل فوق توسعه یافت که نتایج رتبه بندی گزینه‌های مساله مورد بررسی در جدول ۳ مشاهده می‌گردد.

شماره شاخص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
وزن	/۰۵۵۶	/۰۳۴۵	/۰۰۰۱	/۰۰۸۸	/۰۰۳۱	/۰۰۸۶	/۵۱۰۶	/۰۰۰۹	/۰۰۳۵	/۰۰۶۷	/۰۰۳۱
شماره شاخص	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
وزن	/۰۰۰۱	/۰۰۰۱	/۰۰۰۱	/۰۵۸۸	/۱۳۲۴	/۰۱۳۳	/۰۳۴۵	/۰۵۸۹	/۰۰۴۲	/۰۱۹۹	/۰۴۲۶

جدول ۲. ضرایب اهمیت شاخص‌های تصمیم در روش آنتروپی شانون

گزینه‌های رقیب	Alstom	HTT	Ocrev	Siemens	TMC	Trasfor
رتبه‌بندی بر اساس روش TOPSIS	۵	۱	٤	۲	۳	٦
رتبه‌بندی بر اساس روش ELECTRE	۳	۱	۲	۱	۱	٤

جدول ۳. نتایج رتبه‌بندی روشهای TOPSIS و ELECTRE

۶- مقایسه نتایج

از آنجاکه تمام روشهای MADM با رویکرد و فرضیه های خاص خود به مدلسازی و حل مسأله می‌پردازند لذا این امر طبیعی و قابل پیش بینی است که جواب های به دست آمده نیز متفاوت باشند. در خصوص این مطلب و دلایل آن نیز مقالاتی نوشته شده

است[xii]. در این تحقیق سه دسته جواب متفاوت به دست آمده است لذا باید بررسی گردد که آیا تفاوت دسته‌بندی‌های ارائه شده معنا دار است یا خیر؟ پاسخ به این سوال به کمک آزمون‌های آماری انجام می‌گیرد. بدین منظور از آنجا که نوع داده‌ها رتبه‌ای بودند از ضریب همبستگی Spearman و ضریب Kendall`s که اندازه پیوند بین داده‌های رتبه‌ای را مشخص می‌نمایند استفاده شد. ضمناً بدلیل اینکه داده‌های رتبه ای حالت خاصی از داده‌های کمی می‌باشند ازضریب همبستگی Pearson که شاخصی کلی برای اندازه‌گیری پیوند داده‌های کمی است استفاده گردید.

برای به دست آمدن نتیجه آزمونهای فوق، فرض صفر عدم رابطه همبستگی بین روشهای رتبه‌بندی و فرض مقابل وجود رابطه همبستگی بین روشها انتخاب و طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید که هر سه آزمون رابطه معنی داری بین روشهای TOPSIS و ELECTRE را تأیید و وجود رابطه بین روش AHP و هر یک از دو روش قبلی را تائید نکردند. بدین ترتیب که ضریب همبستگی در آزمونSpearman برای دو روش TOPSIS وELECTRE معادل ۰/۹٤۱، در آزمون Kendall`s معادل ۰/۸۹٤ و در آزمون Pearson معادل ۰/۹۳۰ به دست آمد که هر سه مورد نشان‌دهنده وجود یک رابطه معنی دار می‌باشند. همانطور که اشاره شد این رابطه معنی‌دار در دیگر مقایسه ها مشاهده نگردید. با بررسی بیشتر مشخص گردید عاملی که باعث تفاوت پاسخهای روش AHP با دو روش دیگر می‌باشد ضرایب اهمیت شاخص‌های تصمیم‌گیری می‌باشد. در روش AHP ضرایب اهمیت از مقایسه زوجی آنها و محاسبه بردار ویژه ماتریس این مقایسه ها و ضرب سلسله مراتبی شاخصها در سطوح قبلی خود به دست می‌آید در صورتی که این ضرایب در دو روش TOPSIS و ELECTRE با استفاده از روش آنتروپی شانون محاسبه شده اند. در این روش، وزن هر شاخص ناشی از قدرت تمایزی است که آن شاخص می‌تواند در رتبه بندی گزینه‌ها ایجاد نماید. به بیان دیگر شاخصی مهم‌تر تلقی می‌گردد که از پراکندگی پاسخ کارشناسان و اطلاعات بیشتری برخوردار باشد هر چند که این شاخص از نظر کارشناسان اهمیت خاصی نداشته باشد. بنابر این به نظر می‌رسد که پاسخهای به دست آمده از روش AHP تطابق بیشتری با نظر تصمیم گیرندگان داشته باشد و ملاحظات کارشناسی آنها را بیشتر در مدل تصمیم‌گیری بکارگیرد. همچنین مشخص گردید که اگر از ضرایب اهمیت بدست‌آمده از روش AHP در دو روش TOPSIS و ELECTRE استفاده شود رتبه بندی نهایی گزینه‌ها با تقریب بسیار زیادی همانند رتبه بندی روش AHP خواهد شد. لذا به نظر می‌رسد همگرایی معنی داری بین هر سه روش ایجاد خواهد شد به شرطی که روش تعیین اوزان نسبی اهمیت شاخصها از روش بردار ویژه و با استفاده از مقایسه های زوجی به دست آید. بدین ترتیب نتایج روش AHP به عنوان روش برتر انتخاب می شود و می‌تواند مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه روش های تصمیم‌گیری چند شاخصه در زمینه‌های متعدد و مختلف به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. دلیل این امر توانایی و قابلیت بالای این روشها در مدلسازی مسائل واقعی، سادگی و قابل فهم بودن آنها برای اکثر کاربران می‌باشد. روشهای ریاضی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، اگرچه جوابی بهینه را ارائه می‌دهند، امّا تحت شرایط و فرضیه های خاصی از این توانایی برخوردار هستند. این دسته از روش‌ها نیازمند اطلاعات اولیه دقیق و قطعی می‌باشند. در مسائل واقعی امکان تهیه این اطلاعات یا فراهم نیست و یا با صرف هزینه بالا میسر می‌گردد. از طرف دیگر در این روشها در نظر گرفتن تمام ابعاد و جنبه‌های مسأله امکان پذیر نیست، بلکه جنبه‌هایی از مسأله در مدلسازی مورد توجه قرار می‌گیرد که حالت کمی داشته، سنجش و ارزیابی آنها مقرون به صرفه باشد. از اینرو در حالت

کلی بسیاری از متغیرها و شرایط تاثیر گذار کـه حالـت کیفـی دارنـد را نمـی‌تـوان در مدلـسازی اعمـال کـرد. بنـابراین از آنجـایی کـه روشـهای تـصمیم‌گیـری چنـد شاخصه قادر به در نظر گرفتن شرایط و متغیرهای کمی و کیفی مسأله بـه طـور همزمـان مـی‌باشـند، کـاربرد و گسترش چشمگیری یافته‌اند.

در این مقاله نحوه بـه کـارگیری روشـهای AHP ، ELECTRE وTOPSIS در خصوص انتخاب تکنولـوژی مناسب تولید ترانـسفورماتورهای خـشک رزینـی ارائـه شد. تفاوت مبانی تئوریک این روشها منجر بـه تفـاوت نتـایج گردیـد کـه از طریـق آزمونهـای آمـاری تفـاوت معنی‌داری آنها بررسی گردید. بـه اسـتناد ایـن آزمونهـا معلوم گردید که اگر از نتایج به دسـت آمـده در تعیـین اوزان شاخص‌های تصمیم‌گیـری (مقایـسات زوجـی و بـــــردار ویـــــژه) روش AHP در دو روش TOPSIS و ELECTRE استفاده شود رتبه بندی بـه دسـت آمـده در هر سه روش بسیار با یکدیگر مشابهت خواهند داشـت. با این حال باید توجه داشـت ایـن دسـته از روش‌هـای تصمیم‌گیری نیز همانند هر روش دیگـری تنهـا داده را به اطلاعات تبدیل کرده و در اختیار تصمیم‌گیرنده قـرار می‌دهد. این تصمیم‌گیرنـده اسـت کـه بایـد بـر مبنـای اطلاعات به دست آمده و موقعیـت و شـرایط سـازمانی تصمیم بهینه را اتخـاذ کنـد و از پـذیرش مطلـق نتـایج بپرهیـزد. در ایـن خـصوص معمـولاً تـشکیل گارگـاه آموزشی با حضور تـصمیم‌گیرنـدگان جهـت تجزیـه و تحلیل نتایج بدست‌آمده و اخذ تـصمیم نهـایی پیـشنهاد می‌گردد. همچنین از آنجاکه شرایط و عوامل تاثیرگـذار بر مدیریت انتقال تکنولوژی تحت تاثیر تحولات جهانی و تجاری در حال افزایش و پیچیده‌تر شدن مـی‌باشـد و از سویی دیگرجهت بهبود تصمیم‌های لازم است که در مدلسازی آنها کمتر ساده سازی صورت گیرد استفاده از روش‌های تـصمیم‌گیـری فـازی همچـون AHP فـازی، ELECTRE فازی و TOPSIS فازی توصیه می‌شود.

فهرست منابع

[i]- Khalil T. M. (2000), Management of Technology: The Key to Competitiveness & Wealth Creation, McGraw Hill.

[ii]- Dankbaar B. (1993), Research and Technology Management in Enterprises: Issues for Community Policy, Overall Strategic Review, EUR 15438-EN, Brussels.

[iii]- Gregory M.J. (1995), Technology Management: A Process Approach, Journal of Engineering Manufacture.

[iv]- باقری مقدم ناصر، عقیقی حسین، (۱۳۸۲)، شناسایی تکنولوژی با رویکرد نگاشت تکنولوژی، اولین کنفرانس مدیریت تکنولوژی.

[v]- Institute for Prospective Technology Studies (IPTS), (2001), Strategic Policy Intelligence: Current Trends, the State of Play and Prospective, S&T Intelligence for Policy – Making Process, IPTS Technical Report Series.

[vi] - Saaty T.L. (1995), Transport planning with multiple criteria: The analytic hierarchy process applications and progress review, J. Adv. Transp. 29,1, pp.81–126.

[vii]- Hwang C.L. and Yoon K.P. (1995), Multiple Attribute Decision Making: An Introduction', London, Sage Publications.

[viii] - Muntzing U. (1989), Predicting Future Trends in elementary Physical Education Using the Delphi Technique. Ph.D. thesis, University of Oregon.

[ix]- اصغرپور محمد جواد، (۱۳۷۷)،' تصمیم‌گیری‌های چند معیاری '، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

[x] - آذر عادل، زارعی عظیم، (۱۳۸۱)، تبیین عوامل مؤثر بر بهره وری سازمان با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند شاخصه، دانشور، سال دهم، شماره ۴۲، ص ۱-۱۶.

[xi] - Hwang. C.L. and Yoon. K.P. (1995), Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, London, Sage Publications.

[xii] - Stelios H. and Zanakis et al (1998), Multi-attribute Decision Making: A Simulation Comparison of Select Methods, European Journal of Operational Research, 107, pp. 507 - 529.