

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

دکتر بهروز زارعی<sup>۱</sup>، ناصر باقری مقدم<sup>۲</sup>

## 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 transformers, AHP, TOPSIS, ELECTERE

مدیریت آن در سطح بنگاه و فرابنگاه ارائه شده است. به طور کلی تکنولوژی را می توان 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، بومی سازی و بکارگیری آن در محصولات و خدمات یک بنگاه می باشد [ii] که شامل چهار فعالیت اساسی است: شناسایی، انتخاب، اکتساب، و بهره برداری از تکنولوژی [iii]. پس از شناسایی تکنولوژی [iv]، انتخاب

## چکیده

تصمیم گیری در خصوص ارزیابی و انتخاب تکنولوژی همواره یکی از چالش های تصمیم گیری در مدیریت تکنولوژی محسوب می شود. این تصمیم ها با توجه به پی آمدهای قابل توجه، از اهمیت شایانی برخوردار اند. در این تصمیم ها لازم است که گزینه ها با توجه به مجموعه ای از شاخص های کمی و کیفی و گاه متناقض ارزیابی و اولویت بندی شوند که این امر انتخاب تکنولوژی مناسب را دشوار می نماید. به علاوه، از آنجا که تصمیم ها غالباً به صورت گروهی اتخاذ می شوند، 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 تصمیم گیری 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.

## ۱- مقدمه

در دو دهه گذشته، تعاریف مختلفی از تکنولوژی و

۱ - استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

۲ - کارشناسی ارشد MBA

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)<sup>1</sup> مطابقت می‌کند. در این مقاله با تاکید بر این موضوع، نحوه استفاده از روش‌های AHP، TOPSIS و ELECTRE به عنوان معروف‌ترین روش‌های MADM در یک مطالعه موردی جهت تصمیم‌گیری انتقال تکنولوژی در صنعت ترانسفورماتور تشریح گردیده است. از این رو در ادامه 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 مسأله آتش‌زا 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

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 می‌باشد. بدین صورت که ضمن کاهش پیامدهای منفی تکنولوژی بایستی در اندیشه حد اکثر 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 هر حال، 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 شاخص‌ها مطلوب و بر اساس برخی دیگر نامطلوب ارزیابی شوند.



شکل ۱. انتخاب‌های تکنولوژیک یک بنگاه اقتصادی

<sup>1</sup> Multi Attribute Decision Making

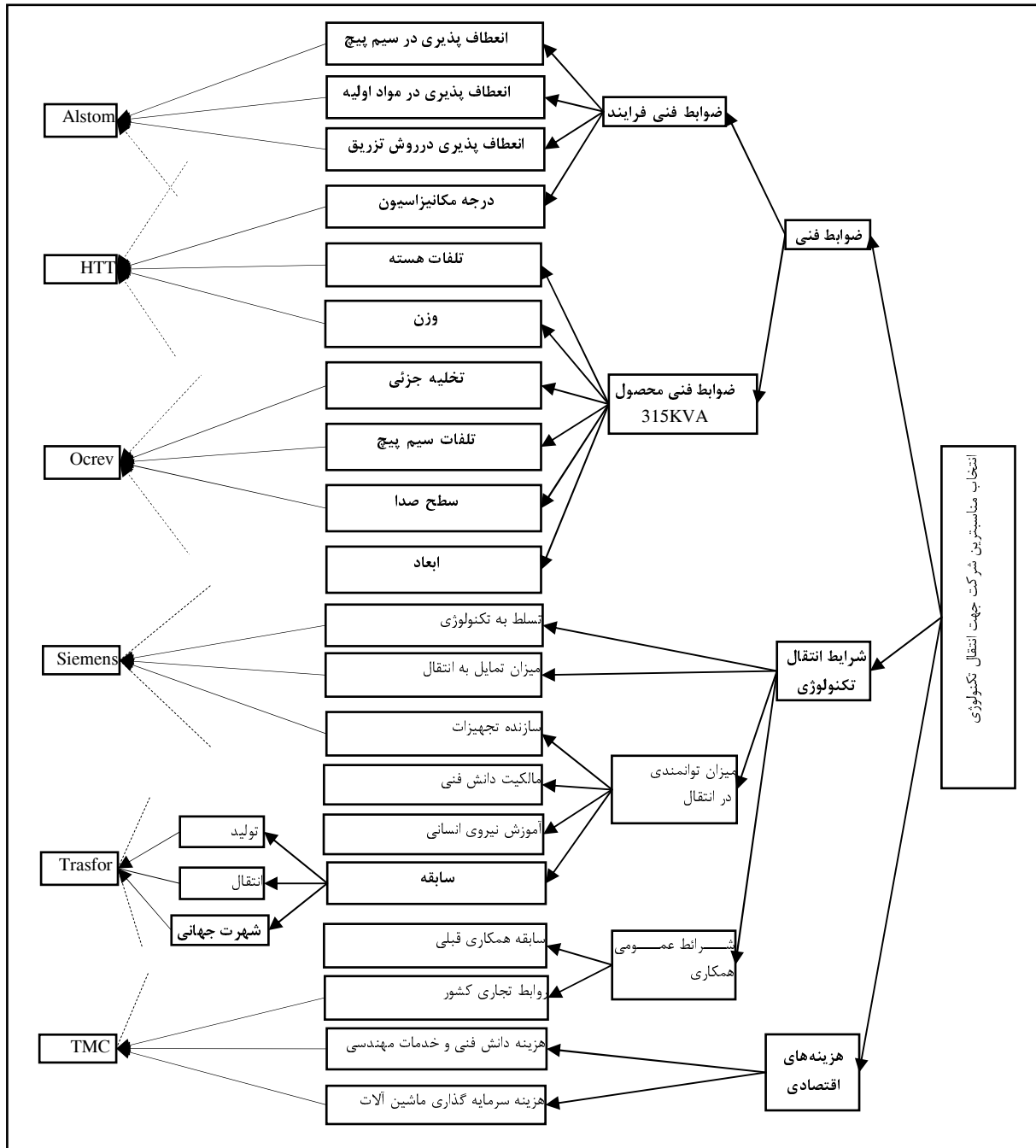
### ۳- پیاده‌سازی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش AHP یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در حوزه‌های مختلف کاربردی مورد استقبال قرار گرفته است<sup>[vi]</sup>. 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 مساله 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 مقایسه‌ها زوجی انجام می‌گیرد و طبق جدول استاندارد ساعتی به آنها امتیاز دهی عددی تخصیص داده می‌شود<sup>[vii]</sup>. 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<sup>[viii]</sup> استفاده شده است. بعلاوه قبل از تحلیل داده‌ها بایست با محاسبه نرخ سازگاری نسبت به سازگاری مقایسه‌ها اطمینان حاصل شود. در این تحقیق نتایج به دست آمده نرخ سازگاری مقایسه‌ها را تأیید نمود. همچنین تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت که در این خصوص ضرایب اهمیت شاخص‌ها، گزینه‌ها، و اولویت‌بندی آنها به شرح جدول ۱ به دست آمده است.

که در این خصوص لازم است به کمک یک شرکت خارجی تکنولوژی تولید این نوع ترانسفورماتور انتقال یابد. با توجه به وجود تکنولوژی‌های مختلف تولید و شرکت‌های متعدد خارجی از یک طرف و سرمایه‌گذاری قابل توجه مورد نیاز برای تولید در ظرفیت اقتصادی از طرف دیگر، این تصمیم‌گیری برای مدیران شرکت حساسیت 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 تخصص‌های 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 مساله 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. اما مشخصات فنی محصول در هر ترانسفورماتور متفاوت است که برای امکان‌پذیر شدن مقایسه‌ها در هر شرکت محصول نوع 315KVA با یکدیگر مقایسه شدند.

<sup>2</sup> Analytical Hierarchy Process



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

گزینه‌های رقیب						شاخص‌های تصمیم		هدف
Trasfor	TMC	Siemens	Ocrev	HTT	Alstom			
./۰۴۲	./۲۹۲	./۰۴۲	./۰۴۲	./۲۹۲	./۲۹۲	انعطاف پذیری در سیم‌پیچ (./۲۱۶)		ضوابط فنی فرایند (./۶۰)
./۳۲۵	./۳۲۵	./۰۳۶	./۰۳۶	./۱۳۹	./۱۳۹	انعطاف پذیری در مواد اولیه (./۶۵۲)		
./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	انعطاف پذیری در روش تزریق (./۰۹۰)		
./۲۵۰	./۰۸۳	./۲۵۰	./۲۵۰	./۰۸۳	./۰۸۳	درجه مکانیزاسیون (./۰۴۲)		ضوابط فنی (./۶۳۷)
./۱۷۶	./۱۵۰	./۱۷۲	./۱۴۸	./۱۹۷	./۱۵۷	تلفات هسته (./۵۵۸)		
./۱۳۱	./۱۹۰	./۱۳۵	./۱۶۸	./۲۰۶	./۱۷۰	وزن (./۰۲۹)		
./۰۱۲	./۲۲۸	./۲۲۸	./۲۲۸	./۲۲۸	./۰۷۶	تخلیه جزئی (./۰۹۰)		
./۱۶۱	./۱۶۴	./۱۶۱	./۱۷۴	./۱۵۷	./۱۸۴	تلفات سیم‌پیچ (./۱۴۸)		
./۲۰۰	./۱۶۷	./۱۵۹	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۳۹	سطح صدا (./۱۲۳)		
./۱۲۶	./۱۷۵	./۱۵۱	./۱۷۹	./۱۸۹	./۱۸۰	ابعاد (./۰۵۱)		
./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	سازنده تجهیزات (./۰۴۵)		میزان توانمندی در انتقال (./۲۷۹)
./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	مالکیت دانش فنی (./۱۱۰)		
./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	./۱۶۷	آموزش نیروی انسانی (./۱۱۱)		
./۱۳۹	./۱۱۸	./۲۴۳	./۱۵۳	./۲۷۸	./۰۶۹	تولید (./۴۵۵)	سابقه (./۲۳۴)	
./۱۱۱	./۲۲۲	./۲۲۲	./۲۲۲	./۲۲۲	۰	انتقال (./۴۵۵)		
./۱۶۰	./۱۶۰	./۴۰۲	./۱۶۰	./۰۵۹	./۰۵۹	شهرت جهانی (./۰۹۱)		
./۱۶۲	./۰۷۵	./۵۳۱	./۰۳۵	./۱۶۲	./۰۳۵	سابقه همکاری قبلی (./۶۹۷)		
./۰۳۶	./۰۳۶	./۲۸۴	./۲۸۴	./۲۸۴	./۰۷۶	روابط تجاری کشور (./۳۰۳)		
./۱۶۳	./۱۱۹	./۳۸۸	./۱۰۸	./۱۶۳	./۰۶۱	تسلط به تکنولوژی (./۵۷۱)		
./۱۳۹	./۳۲۵	./۱۳۹	./۰۳۶	./۳۲۵	./۰۳۶	میزان تمایل به انتقال (./۱۱۱)		
./۰۸۳	./۲۵۶	./۱۴۸	./۱۴۷	./۲۱۹	./۱۴۷	هزینه دانش فنی و خدمات مهندسی (./۳۰۳)		
./۱۲۵	./۲۰۸	./۱۲۵	./۱۲۵	./۲۰۸	./۲۰۸	هزینه سرمایه‌گذاری ماشین‌آلات (./۶۹۷)		
./۱۷۹	./۲۰۸	./۱۵۴	./۱۲۰	./۱۸۶	./۱۵۲	میانگین موزون گزینه‌ها		
۳	۱	۴	۶	۲	۵	اولویت نهایی		

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

شاخص‌های کیفی تصمیم، در قالب مقیاس دو قطبی انجام گرفته و به آنها معادله‌های 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<sup>[x]</sup>. پس از گردآوری داده‌ها لازم است که ماتریس داده‌ها با استفاده از نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی‌مقیاس شده به نام  $N_d$  به صورت زیر تبدیل می‌شود:

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

#### ۴- پیاده‌سازی روش ELECTRE<sup>۳</sup>

اساس کار این روش بر مبنای روابط غیر رتبه‌ای<sup>۴</sup> 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،  $i, j$  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

<sup>3</sup> Elimination et Choice Translating Reality

<sup>4</sup> Outranking

با جنبه مثبت)

$$S_{KL} = \{ j \mid r_{kj} \leq r_{Lj} \} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

به ازاء  $r_{ij}$  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 می‌شود.

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

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0.00090.08690.07050.01490.6026 \\ 0.9991 & 0 & 0.33650.26770.14030.8861 \\ 0.91310.6635 & 0 & 0.01970.07940.7606 \\ 0.92950.73230.9803 & 0 & 0.15020.8351 \\ 0.98510.85970.92060.8498 & 0 & 0.8252 \\ 0.39740.11390.23940.16490.1748 & 0 & \end{bmatrix}$$

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 می‌شود:

$$NI_{KL} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |V_{KJ} - V_{LJ}|}{\max_{j \in J} |V_{KJ} - V_{LJ}|}$$

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.

$$NI = \begin{bmatrix} 1.00001.00001.00001.00001.00000.0760 \\ 0.00091.00000.06120.97520.25350.0113 \\ 0.08331.00001.00001.00001.00000.0225 \\ 0.08331.00000.02871.00000.68360.0225 \\ 0.00801.00000.23871.00001.00000.0197 \\ 1.00001.00001.00001.00001.00001.0000 \end{bmatrix}$$

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

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

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<sup>۵</sup> 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<sup>۶</sup> و روش LINMAP<sup>۷</sup> می‌توان استفاده کرد<sup>۸</sup>. 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 می‌شوند که حاصل آن "مجموعه هماهنگ"<sup>۹</sup> و "مجموعه ناهماهنگ"<sup>۹</sup> خواهد بود. مجموعه هماهنگ از گزینه‌های  $K$  و  $L$  ( $K \neq L$ ) شامل کلیه شاخص‌هایی خواهد بود که گزینه  $C_k$  بر گزینه  $C_l$  به ازای آنها دارای مطلوبیت بیشتری باشد یعنی:

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

به ازاء  $r_{ij}$  دارای مطلوبیت افزایشی (شاخص تصمیم

<sup>5</sup> Weighted Normalization Matrix

<sup>6</sup> Least Square Weighted Method

<sup>7</sup> Linear Programming for Multidimensional of Preference

<sup>8</sup> Concordance Set

<sup>9</sup> Discordance Set

گزینه‌ها است. بدان معنی که  $F_{KL} = 1$  نشان می‌دهد که  $C_k$  بر  $C_l$  هم از نظر شاخص‌های هماهنگی و هم از نظر شاخص ناهماهنگی ارجح است، اما  $C_k$  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:

$$F_{KL} = 1 \quad L = 1, 2, \dots, m$$

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<sup>27</sup>

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 بی‌مقیاس کردن

در ماتریس  $I$  و  $NI$  وجه تمایز و عدم تمایز گزینه‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد اما 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 می‌شود که استخراج آنها مستلزم یک حدآستانه‌ای<sup>26</sup> است. تعیین آستانه به نظرات تصمیم‌گیرنده بستگی دارد اما با این وجود یکی از روشهای متعارف برای محاسبه آن، متوسط‌گیری از عناصر ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ می‌باشد [xi]. مقادیر مزبور در خصوص مسأله 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 می‌شوند. برای این منظور ماتریس کلی و موثر،  $F$ ، از حاصلضرب دو ماتریس  $H$  و  $G$  محاسبه می‌شود.

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

ماتریس  $F$  نشان دهنده ترتیب برتریهای نسبی

<sup>27</sup> Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>26</sup> Threshold

زیر محاسبه می شود:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_i^+ = \{0.0950, 0.0197, 0.0417, 0.0245, 0.0352, 0.4779\}$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_i^- = \{0.4227, 0.4813, 0.4798, 0.4811, 0.4806, 0.0367\}$$

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

$$b_i \Rightarrow b_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$b_i = \{0.8164, 0.9607, 0.9201, 0.9516, 0.9317, 0.0714\}$$

بر اساس ترتیب نزولی  $b_i$  می توان گزینه های موجود را بر اساس بیشترین میزان اهمیت رتبه بندی کرد. یک برنامه کامپیوتری در محیط Matlab برای اجرای مراحل فوق توسعه یافت که نتایج رتبه بندی گزینه های مساله مورد بررسی در جدول ۳ مشاهده می گردد.

شماره شاخص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
وزن	۰.۵۵۶	۰.۳۴۵	۰.۰۰۱	۰.۰۸۸	۰.۰۳۱	۰.۰۸۶	۰.۵۱۰۶	۰.۰۰۹	۰.۰۳۵	۰.۰۶۷	۰.۰۳۱
شماره شاخص	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
وزن	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۵۸۸	۰.۱۳۳	۰.۳۴۵	۰.۵۸۹	۰.۰۴۲	۰.۱۹۹	۰.۴۲۶	۰.۴۲۶

جدول ۲. ضرایب اهمیت شاخص های تصمیم در روش آنتروپی شانون

گزینه های رقیب	Alstom	HTT	Ocrev	Siemens	TMC	Trasfor
رتبه بندی بر اساس روش TOPSIS	۵	۱	۴	۲	۳	۶
رتبه بندی بر اساس روش ELECTRE	۳	۱	۲	۱	۱	۴

جدول ۳. نتایج رتبه بندی روشهای TOPSIS و ELECTRE

داده ها و تهیه ماتریس  $V$  به تعیین راه حل ایده آل و راه حل ایده آل منفی به صورت زیر پرداخته می شود.

$$C_i^+ = \{v_{i1}^+, v_{i2}^+, \dots, v_{in}^+\}$$

$$\{( \max_j v_{ij} \mid j \in J_1 \}, \{( \min_j v_{ij} \mid j \in J_2 \} \mid i = 1, 2, \dots, m\}$$

$$C_i^- = \{v_{i1}^-, v_{i2}^-, \dots, v_{in}^-\}$$

$$\{( \min_j v_{ij} \mid j \in J_1 \}, \{( \max_j v_{ij} \mid j \in J_2 \} \mid i = 1, 2, \dots, m\}$$

به طوری که

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

راه حل های ایده آل و ایده آل منفی در مورد مساله

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 گزینه ها از راه حل ایده آل

و راه حل ایده آل منفی بر حسب نرم اقلیدسی به صورت

می پردازند 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

## ۶- مقایسه نتایج

از آنجاکه تمام روشهای MADM با رویکرد و فرضیه های خاص خود به مدلسازی و حل مساله



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 تصمیم‌گیرندگان 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 مقایسه‌های زوجی به دست آید. بدین ترتیب نتایج روش AHP به عنوان روش برتر انتخاب می‌شود و می‌تواند مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.

#### ۷- نتیجه‌گیری

امروزه روش‌های 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، اما تحت شرایط و فرضیه‌های 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 مسئله امکان پذیر نیست، بلکه جنبه‌هایی از مسئله در مدل‌سازی مورد توجه قرار می‌گیرد که حالت کمی داشته، سنجش و ارزیابی آنها مقرون به صرفه باشد. از اینرو در حالت

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 رتبه‌ای حالت خاصی از داده‌های کمی می‌باشند از ضریب 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 تأیید نکردند. بدین ترتیب که ضریب همبستگی در آزمون Spearman برای دو روش TOPSIS و ELECTRE معادل ۰/۹۴۱، در آزمون Kendall's معادل ۰/۸۹۴ 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 معنی دار در دیگر مقایسه‌ها 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 مقایسه‌ها 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 شده‌اند. در این روش، وزن هر شاخص ناشی از قدرت تمایزی است که آن شاخص می‌تواند در رتبه بندی

### فهرست منابع

- [<sup>i</sup>]- Khalil T. M. (2000), Management of Technology: The Key to Competitiveness & Wealth Creation, McGraw Hill.
- [<sup>ii</sup>]- Dankbaar B. (1993), Research and Technology Management in Enterprises: Issues for Community Policy, Overall Strategic Review, EUR 15438-EN, Brussels.
- [<sup>iii</sup>]- Gregory M.J. (1995), Technology Management: A Process Approach, Journal of Engineering Manufacture.
- [<sup>iv</sup>]- باقری مقدم ناصر، عقیقی حسین، (۱۳۸۲)، شناسایی تکنولوژی با رویکرد نگاشت تکنولوژی، اولین کنفرانس مدیریت تکنولوژی.
- [<sup>v</sup>]- 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.
- [<sup>vi</sup>] - 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.
- [<sup>vii</sup>]- Hwang C.L. and Yoon K.P. (1995), Multiple Attribute Decision Making: An Introduction', London, Sage Publications.
- [<sup>viii</sup>] - Muntzing U. (1989), Predicting Future Trends in elementary Physical Education Using the Delphi Technique. Ph.D. thesis, University of Oregon.
- [<sup>ix</sup>]- اصغرپور محمد جواد، (۱۳۷۷)،<sup>۲</sup> تصمیم‌گیری‌های چند معیاری<sup>۴</sup>، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- [<sup>x</sup>] - آذر عادل، زارعی عظیم، (۱۳۸۱)، تبیین عوامل مؤثر بر بهره‌وری سازمان با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، دانشور، سال دهم، شماره ۴۲، ص ۱-۱۶.
- [<sup>xi</sup>] - Hwang. C.L. and Yoon. K.P. (1995), Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, London, Sage Publications.
- [<sup>xii</sup>] - 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.

کلی بسیاری از متغیرها و شرایط تاثیر گذار که حالت کیفی دارند را نمی‌توان در مدلسازی اعمال کرد. بنابراین از آنجایی که روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه قادر به در نظر گرفتن شرایط و متغیرهای کمی و کیفی مسأله به طور همزمان می‌باشند، کاربرد و گسترش چشمگیری یافته‌اند.

در این مقاله نحوه به کارگیری روشهای AHP، ELECTRE و TOPSIS در خصوص انتخاب تکنولوژی مناسب تولید ترانسفورماتورهای خشک رزینی ارائه شد. تفاوت مبانی تئوریک این روشها منجر به تفاوت نتایج گردید که از طریق آزمونهای آماری تفاوت معنی‌داری آنها بررسی گردید. به استناد این آزمونها معلوم گردید که اگر از نتایج به دست آمده در تعیین اوزان شاخص‌های تصمیم‌گیری (مقایسات زوجی و بردار ویژه) روش AHP در دو روش TOPSIS و ELECTRE استفاده شود رتبه بندی به دست آمده در هر سه روش بسیار با یکدیگر مشابهت خواهند داشت. با این حال باید توجه داشت این دسته از روش‌های تصمیم‌گیری نیز همانند هر روش دیگری تنها داده را به اطلاعات تبدیل کرده و در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. این تصمیم‌گیرنده است که باید بر مبنای اطلاعات به دست آمده و موقعیت و شرایط سازمانی تصمیم‌بینه را اتخاذ کند و از پذیرش مطلق نتایج پرهیزد. در این خصوص معمولاً تشکیل گارگاه آموزشی با حضور تصمیم‌گیرندگان جهت تجزیه و تحلیل نتایج بدست‌آمده و اخذ تصمیم نهایی پیشنهاد می‌گردد. همچنین از آنجاکه شرایط و عوامل تاثیرگذار بر مدیریت انتقال تکنولوژی تحت تاثیر تحولات جهانی و تجاری در حال افزایش و پیچیده‌تر شدن می‌باشد و از سویی دیگر جهت بهبود تصمیم‌های لازم است که در مدلسازی آنها کمتر ساده سازی صورت گیرد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری فازی همچون AHP فازی، ELECTRE فازی و TOPSIS فازی توصیه می‌شود.