# اولویت‌بندی فناوری‌های شبکه هوشمند توزیع برق با رویکرد شاخص‌های جذابیت (مطالعه موردی شرکت توزیع برق مازندران)

**مارال محقق منتظری**
دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران، ایران
maral_mohaghegh@yahoo.com

**بابک شیرازی***
استادیار دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران، ایران
shirazi_b@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۶
تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۵/۰۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۲

**چکیده**

شبکه هوشمند برق، نوعی از شبکه برق مدرن، جهت رفع مشکلات اساسی شبکه برق فعلی است و دارای قابلیت‌های اطمینان و ایمنی بالاتر، خودترمیمی، توانایی پشتیبانی از منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. ضرورت حرکت به سمت هوشمندسازی در کشور و نوپا بودن این دانش، سبب گردیده ارزیابی فناوری‌ها جهت توسعه و تعیین نسبی جذابیت فناوری‌های محصول و فرایند در این صنعت احساس شود. شبکه توزیع برق، بخش مهمی از یک سیستم قدرت به‌شمار می‌آید و همچنین نزدیک‌ترین بخش از شبکه به مصرف‌کنندگان می‌باشند، لذا باید توجه خاصی به آن شود. هدف این تحقیق اولویت‌بندی فناوری‌های شبکه هوشمند برق با توجه به شاخص‌های جذابیت، در شرکت توزیع برق مازندران می‌باشد. بدین ترتیب، ابتدا لیستی از فناوری‌های کلیدی مرتبط با هوشمندسازی صنعت برق تهیه شد. سپس ۹ شاخص جذابیت شناسایی شد. پرسش‌نامه‌ای جهت اخذ نظرات تصمیم‌گیرندگان در مورد جایگاه هر فناوری در هر معیار طراحی شد و در اختیار تیم خبره قرار گرفت. از ابزار Saw که یکی از ابزارهای مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه است، جهت وزن‌دهی به شاخص‌ها، مشخص کردن وضعیت نسبی هر فناوری، تصمیم‌گیری گروهی و ارزیابی فناوری‌ها استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد صدور صورت‌حساب لحظه‌ای، فناوری وایرلس، پیش‌بینی بار، محاسبه بهای انرژی و نرم‌افزارها و دانش‌های فنی مربوط به آن، به ترتیب ۵ فناوری اول در نتایج اولویت‌بندی براساس شاخص‌های جذابیت در شرکت توزیع برق مازندران هستند. همچنین به‌عنوان قدمی اساسی جهت برنامه‌ریزی و راهبردهای فناوری و مدیریت زمان می‌باشد.

**واژگان کلیدی**

ارزیابی فناوری؛ اولویت‌بندی؛ شاخص‌های جذابیت؛ شبکه هوشمند توزیع برق؛ مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه.

## ۱- مقدمه

ضرورت استفاده از تولیدات تجدیدپذیر، الزام کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، رشد روزافزون سهم خودروهای الکتریکی و افزایش شدید تقاضای مصرف برق، منجر شد نیاز به وجود شبکه‌ای هوشمندتر، کارآمدتر و با امنیت بیش‌تر احساس شود [۵]. شبکه هوشمند[1] نوعی از شبکه برق مدرن است که از تمام بخش‌های شبکه ملی پشتیبانی می‌کند [۶] و دارای تعاریف متفاوتی از جمله مدرنیزه‌کردن، ایجاد واکنش سریع و مدیریت بهینه شبکه قدرت با استفاده از سیستم مخابرات و فناوری و اطلاعات است. شبکه هوشمند نسل بعدی شبکه برق است که برای حل و فصل بسیاری از مسائل سیستم‌های شبکه برق فعلی مانند کاهش ولتاژ، قطع برق، مشکلات زیست‌محیطی و ... است [۷،۸]. شبکه هوشمند، سیستم قدرتی است که بیشترین استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات را جهت رسیدن به دو هدف اساسی انجام می‌دهد و [۱،۹]. هدف اول فراهم‌کردن اطلاعات الگوی مصرف انرژی مصرف‌کنندگان است و هدف بعدی دست‌یابی به سیستم قدرتی با قابلیت اطمینان و کیفیت توان بالا و بهبود کارآیی با کاهش تلفات سیستم و استفاده بهتر از منابع تولید پراکنده می‌باشد [۱،۹]. در صورتی‌که در شبکه‌های برق فعلی مسائل اساسی همچون عدم کارایی در مدیریت حداکثر تقاضا، عدم اتصال ماشین‌های الکتریکی (PEVs)، مستعد بودن شبکه در بروز خاموشی و اختلال کیفیت، قدیمی و منسوخ بودن زیرساخت‌ها وجود دارد [۱۰].

شبکه توزیع برق ارتباط میان سیستم انتقال و مصرف‌کنندگان را فراهم می‌سازد و آخرین بخش از یک سیستم الکتریکی است که وظیفه تحویل انرژی به مصرف‌کننده‌ها را برعهده دارد. اکثر خاموشی‌ها و

1. Smart Grid

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

اختلالات در این قسمت می‌باشد و می‌بایست برای حرکت به سمت شبکه هوشمند از پایین زنجیره یعنی سیستم توزیع شروع کرد [۱].

شبکه هوشمند برق مفهوم تقریباً جدیدی برای کشور است و شامل طیف وسیعی از دانش‌ها می‌باشد. ضرورت حرکت به سمت هوشمندسازی صنعت برق از یک سو و از سوی دیگرکم بودن منابع و نوپا بودن شبکه هوشمند برق درکسب دانش مربوطه، سبب گردیده تا لزوم شناسایی فناوری‌ها وداشتن یک رویکرد تعیین اولویت برای دست‌یابی فناوری‌های موردنیاز برای صنعت احساس شود. ارزیابی فناوری[1] اصطلاحی است که به تحلیل و ارزیابی دستاوردهای خواسته و ناخواسته، فرصت‌ها و ریسک‌های فناوری، اعم از فناوری‌های جدید و یا بالغ می‌پردازد. در واقع، فرایند ارزیابی سعی برآن دارد که با تحلیل پتانسیل‌های اجتماعی، اقتصادی، فنی، فرهنگی و زیست‌محیطی به تصمیم‌گیری درباره توسعه‌های جدید فناورانه کمک نماید [۱۱]. در ادبیات مدیریت فناوری، فرایند ارزیابی فناوری به دو بخش اصلی تقسیم می شود: ممیزی فناوری[2] و ارزیابی جذابیت فناوری[3]. هدف از این مقاله ارزیابی جذابیت فناوری‌های شناسایی شده در این حوزه به کمک مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه و اولویت‌بندی این فناوری‌ها در شرکت توزیع برق مازندران می‌باشد. اهمیت ارزیابی جذابیت فناوری در سطح بنگاه را می‌توان در تعیین جهت حرکت فعالیت‌های تحقیق و توسعه، جذب فناوری جدید و توسعه تدریجی فناوری‌های موجود در بنگاه جست‌وجو کرد. در بخش دوم به مرور پیشینه تحقیقات، در بخش سوم بعد از تعریف جذابیت فناوری و انواع آن، به معرفی متدولوژی استفاده شده پرداخته می‌شود. بخش چهارم نیز به بررسی مطالعه موردی و استفاده از ابزار و در انتها نیز نتیجه این مقاله بیان می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

با پیشرفت فناوری در سطوح مختلف و همچنین ضرورت استفاده از فناوری‌های مدرن، نیاز به ارزیابی فناوری بیش از پیش احساس می‌شود. ارزیابی فناوری یک ابزار یا چارچوب فکری است که به درک بهتر نسبت به فناوری و تصمیم‌گیری در مورد آن کمک می‌کند. در ادبیات این حوزه مدل‌های مختلفی جهت ارزیابی فناوری معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه به شرح چند مورد پرداخته می‌شود.

رن و لوزن[4] از MCDM جهت اولویت‌بندی فناوری‌های کاهش امواج کشتی‌رانی در شرایط عدم قطعیت استفاده کردند. ۹ معیار شناسایی شد و با کمک FUZZY AHP وزن هر معیار مشخص شد. در نهایت از VIKOR جهت اولویت‌بندی فناوری‌های جایگزین استفاده شد [۱۲]. گو و ژاوو[5] از MCDM جهت اولویت‌بندی جایگاه شارژ وسایل نقلیه الکتریکی استفاده کردند. در این تحقیق ۱۱ زیر معیار و ۳ معیار شناسایی شده که با استفاده از FUZZY TOPSIS وزن‌دهی شدند [۱۳]. راجا و همکارانش در تحقیق خود پنج فناوری مورد استفاده در صنعت صابون‌سازی را با کمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) براساس رویکرد جذابیت آن‌ها رتبه‌بندی نمودند [۱۴]. اثباتی به شناسایی فرایندهای سازمانی صنعت شناورهای آلومینیومی، تعیین سطح توانمندی صنعت در مقایسه با سطح توانمندی رقبای جهانی و اولویت‌بندی‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از ترسیم ماتریس جذابیت و توانمندی فناوری‌ها و براساس مدل انتخابی تدوین راهبرد فناوری پرداخته است [۲]. ابراهیمی و همکارانش در حوزه صنعت پتروشیمی، ابتدا به تهیه فهرستی از فناوری‌ها با استفاده از نظر خبرگان می‌پردازد، سپس شاخص‌های توانایی و جذابیت و شاخص میزان اظهارات ثبت اختراع و رشد اختراع را تعیین و با استفاده از این شاخص‌ها وضعیت و جایگاه فناوری‌ها در ماتریس را مشخص می‌کند [۳].

## ۳- مبانی نظری تحقیق

این مقاله، از نظر هدف یک تحقیق توصیفی و از نظر نوع داده‌ها، یک تحقیق کمی است. راهبرد پژوهش مطالعه موردی بوده که از ابزار Saw جهت ارزیابی جذابیت فناوری‌های شبکه‌های هوشمند در شرکت توزیع مازندران استفاده شده است.

ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب فناوری‌های مناسب تحت تأثیر عواملی نظیر شاخص‌های مختلف تصمیم‌گیری، نظرات تصمیم‌گیرندگان کلیدی، لحاظ نمودن شرایط ملی و سازمانی است که این امر دلالت بر یک نوع تصمیم‌گیری پیچیده دارد. این معیارها از لحاظ ماهیت می‌توانند به صورت کمی، کیفی و یا هردو مطرح شوند. از سویی دیگر، تصمیم‌گیری غالباً به صورت گروهی انجام می‌شود و لذا تلفیق نظرات برای رسیدن به یک تصمیم برایند، یکی از چالش‌های اساسی است. چنین فضایی از تصمیم‌گیری با قابلیت‌های فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره[6] مطابقت دارد. در این مقاله از روش Saw استفاده شد.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد ارزیابی فناوری به ۲ بخش ممیزی فناوری و ارزیابی جذابیت فناوری تقسیم شد. در این بخش ابتدا به تعریف ارزیابی جذابیت فناوری و در ادامه به شرح متدولوژی استفاده شده در این مقاله پرداخته می‌شود.

### ۳-۱- ارزیابی جذابیت فناوری

فرایند ارزیابی جذابیت فناوری یک چارچوب فکری و ابزاری مناسب برای درک و شناسایی بهتر وضعیت فناوری است، همچنین اهمیت آن در سطح

1. Technology Assessment
2. Technology Audit
3. Technology Attractiveness Assessment
4 ..Ren& Lützen
5. Guo& Zhao
6. MCDM (Multi Criteria Decision Making)

Archive of SID
www.SID.ir

بنگاه را می‌توان در تعیین جهت حرکت فعالیت‌های تحقیق و توسعه، جذب فناوری جدید، توسعه تدریجی فناوری‌های موجود در بنگاه، تصمیم‌گیری برای خرید یا ساخت فناوری و تعیین سطح سرمایه‌گذاری بهینه روی فناوری جستجو کرد [۱۵]. ترین و دایم[1] در مقاله خود روش‌های ارزیابی فناوری مطرح در ادبیات موضوع را در دو دسته شامل روش‌های مورد استفاده در سطح دولتی و روش‌های مورد استفاده در سطح بنگاه طبقه‌بندی نموده‌اند. [۴،۱۵]. نتایج (جدول ۱) نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در هر دو سطح دولتی و بنگاه مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱- روش‌های ارزیابی فناوری [۴]

| روش‌های ارزیابی فناوری | سطح بنگاه | سطح دولت |
|---|---|---|
| مدل ساختاری و سیستم پویا | | * |
| تجزیه و تحلیل اثر | | * |
| تجزیه و تحلیل سناریو | | * |
| ارزیابی ریسک | | * |
| تصمیم‌گیری چند معیاره | * | * |
| چالش‌های محیطی و ارزیابی فناوری یکپارچه | | * |
| روش فناوری‌های نوظهور | | * |
| تجزیه و تحلیل هزینه و منفعت | * | |
| روش شاخص‌های فناوری | * | |
| روش نقشه مسیر | * | |
| روش دلفی | * | |
| روش بررسی اطلاعات و ارزیابی فناوری | * | |
| سایر روش‌های ترکیبی | * | |

استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره در ارزیابی جذابیت فناوری، عبارت است از فرایند آزمون شاخص‌های مختلف مجموعه‌ای از گزینه‌های فناورانه که با یک روش نظام‌مند به انجام می‌رسد. در این روش اطلاعات فناوری‌های مختلف بر مبنای معیارهای مورد نظر تصمیم‌گیری، در مقایسه با یک دیگر در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌گیرد.

### ۳-۲- متدولوژی تحقیق

گام‌های تحقیق به شرح زیر است:

گام ۱) ابتدا با مطالعه مقالات و مستندات در حوزه شبکه هوشمند برق، لیستی از فناوری‌ها مشخص شد.

گام ۲) شاخص‌های ارزیابی جذابیت براساس مطالعات کتابخانه‌ای و با مصاحبه از تیم خبرگان تعیین شد.

گام ۳) برای تعیین وزن هر شاخص، از نظرات خبرگان این حوزه براساس جدول ۲ اخذ شد. به این منظور، پرسش‌نامه‌ای تدوین شد و در اختیار تیم قرار گرفت. از میانگین هندسی برای تلفیق نتایج استفاده شد (رابطه ۱) که در نهایت اهمیت نسبی معیارها مشخص شد.

$$W_j = \sqrt[n]{W_j^1 * W_j^2 * \dots * W_j^k} \quad (۱)$$

j=1,2,…n

$W_j^k$ درجه اهمیت نرمال شاخص jام از نظر عضو kام تیم خبرگان است. سپس جهت به دست آوردن بردار ویژه وزن، میانگین هندسی آن سطر به جمع میانگین هندسی سطرها تقسیم شد و با $\widetilde{W_j}$ نشان داده شد.

جدول ۲- امتیازدهی براساس مقایسات زوجی

| مقدار عددی | درجه اهمیت در مقایسه دو به دو | مقدار عددی | درجه اهمیت در مقایسه دو به دو |
|---|---|---|---|
| ۱ | ترجیح یکسان | ۱ | ترجیح یکسان |
| ۲ | نسبتاً مرجح | ۱/۲ | خیلی کم‌اهمیت |
| ۳ | قویا مرجح | ۱/۳ | بسیار کم‌اهمیت |
| ۴ | ترجیح بسیار قوی | ۱/۴ | بی‌اهمیت |
| ۵ | کاملاً مرجح | ۱/۵ | کاملاً بی‌اهمیت |

گام ۴) پس از اخذ نظرات اعضای تیم در مورد وضعیت هر فناوری در هر شاخص شماره ۱ تا n و وزن هریک از شاخص‌ها می‌توان وضعیت فناوری‌ها در شاخص‌های شماره ۱ تا n را به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه نمود.

تیم خبره شامل k نفر است، m تعداد فناوری‌های کلیدی و n تعداد شاخص‌های مشخص شده است.

$$X_{ij} = \sqrt[n]{X_{ij}^1 * X_{ij}^2 * \dots * X_{ij}^k} \quad (۲)$$

j=1,2,…,n  i=1,2,…,m

$X_{ij}^k$ وضعیت هر فناوری iام در شاخص jام از نظر عضو kام تیم خبرگان و $X_{ij}$ وضعیت هر فناوری iام در شاخص jام می‌باشد.

ماتریس تصمیم[2] به صورت زیر می‌باشد:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

که $X_{ij}$ از رابطه (۲) حاصل می‌شود.

برای ایجاد سازگاری میان معیارهای کیفی و رتبه‌های زبانی معیارهای ذهنی، مقیاس‌های متفاوت را می‌توان با استفاده از تغییر مقیاس خطی[3] به یک مقیاس تبدیل کرد. بنابراین می‌توان ماتریس تصمیم نرمال شده که با R نشان داده می‌شود را به صورت رابطه ۴ به دست آورد:

$$R = [r_{ij}]_{m\times n} \qquad r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} X_{ij}} \quad (۴)$$

با در نظر گرفتن اهمیت شاخص‌ها، ارزش نهایی هر فناوری ($P_i$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ \widetilde{W_j} \qquad i = 1,2,\dots, m \quad (۵)$$

1. Tran & Daim

2. Decision Metrix
3. Linear Scale Transformation

Archive of SID

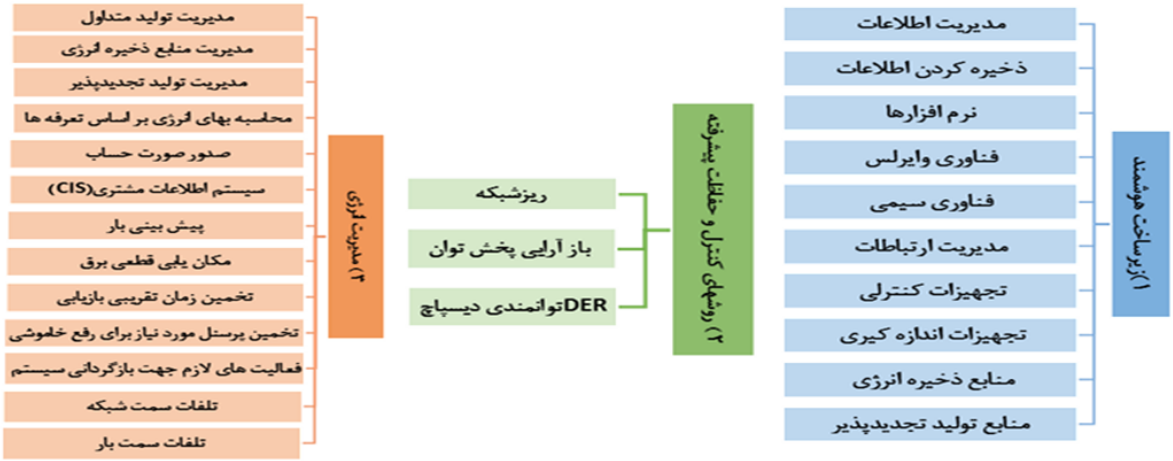
www.SID.ir

با تعیین ارزش نهایی فناوری‌های شناسایی شده در شبکه هوشمند توزیع برق، اولویت‌بندی این فناوری‌ها براساس میزان جذابیت آن‌ها که در راستای رسیدن به اهداف سازمان می‌باشد، مشخص می‌شوند.

## ۴- مطالعه موردی

وجود ساختار یکطرفه در شبکه‌های برق استان مازندران، عدم امکان گسترش خطوط انتقال، وجود دریا و پتانسیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همانند باد و خورشید، مواجه با رویدادهای غیر منتظره متعدد، تراکم جمعیت نسبتاً زیاد، میل به کاهش و مدیریت هزینه‌ها، و پتانسیل بالای استفاده از خودروهای الکتریکی در این منطقه، از دلایل حرکت به سمت شبکه‌های هوشمند و تأکید بر بومی‌سازی این مهم در استان مازندران است.

پس از مطالعات صورت گرفته در مورد شناسایی فناوری‌های شبکه هوشمند، به کمک صاحب‌نظران مسلط به این حوزه شامل استادان دانشگاه و کارشناسان شرکت توزیع، فناوری‌های این حوزه ابتدا به ۳ بخش اصلی زیر ساخت هوشمند (AMI)، روش‌های کنترل و حفاظت پیشرفته و مدیریت انرژی تقسیم شد و زیر فناوری‌های هر بخش نیز مشخص شد (شکل ۱).




شکل ۱- زیر فناوری‌های شبکه هوشمند توزیع

از فناوری‌های نام برده در شکل ۱ به‌عنوان فناوری‌های کلیدی که مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت، استفاده شد که شماره این فناوری‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- شماره فناوری‌های کلیدی

| شماره | فناوری | شماره | فناوری | شماره | فناوری | شماره | فناوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | توانمندی دیسپاچ | ۸ | مدیریت ارتباطات | ۱۵ | تلفات سمت شبکه | ۲۲ | صدور صورتحساب لحظه‌ای |
| ۲ | بازآرایی پخش توان | ۹ | فناوری سیمی | ۱۶ | فعالیت لازم جهت بازگردانی سیستم | ۲۳ | محاسبه بهای انرژی براساس تعرفه |
| ۳ | ریزشبکه | ۱۰ | فناوری وایرلس | ۱۷ | تخمین پرسنل مورد نیاز برای رفع خاموشی | ۲۴ | مدیریت منابع ذخیره انرژی |
| ۴ | منابع تولید تجدیدپذیر | ۱۱ | نرم‌افزارها | ۱۸ | تخمین زمان تقریبی بازیابی | ۲۵ | مدیریت تولید تجدیدپذیر |
| ۵ | منابع ذخیره انرژی | ۱۲ | ذخیره کردن اطلاعات | ۱۹ | مکان‌یابی قطعی برق | ۲۶ | مدیریت تولید متداول |
| ۶ | تجهیزات کنترلی | ۱۳ | مدیریت اطلاعات | ۲۰ | پیش‌بینی بار | | |
| ۷ | تجهیزات اندازه‌گیری | ۱۴ | تلفات سمت بار | ۲۱ | سیستم اطلاعات مشتری (CIS) | | |

معیارهای ارزیابی جذابیت طبق مطالعات کتابخانه‌ای و طوفان فکری مشخص شد. پرسش‌نامه براساس این معیارها برای همه فناوری‌های کلیدی آماده شد و در اختیار تیم خبره این حوزه قرار گرفت که هر عضوی از تیم با توجه به طیف لیکرت به هر فناوری در هر معیار امتیاز داد. تیم خبره جمعی از کارشناسان شرکت توزیع برق مازندران و اساتید دانشگاه به تعداد ۵ نفر است. ۲۶ فناوری کلیدی و ۹ معیار به‌عنوان معیارهای ارزیابی جذابیت فناوری شناسایی شد (k=۵, n=۹,m=۲۶). با استفاده از روابط ذکر شده، وزن معیارها محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۴- وزن هر معیار جذابیت

| معیارهای ارزیابی جذابیت | وزن هر معیار |
|---|---|
| هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی فناوری | ۰.۰۹۵ |
| وضعیت ارزش افزوده حاصل از توسعه فناوری | ۰.۰۸ |
| امکان صادرات فناوری (بعد از دستیابی کامل به آن) | ۰.۰۵۳ |

Archive
www.SID.ir

| معیارهای ارزیابی جذابیت | وزن هر معیار |
|---|---|
| میزان فوریت دستیابی به فناوری | ۰.۰۹۹ |
| توسعه و بهبود کیفیت خدمات برق‌رسانی | ۰.۱۶۸ |
| حجم سرمایه‌گذاری لازم برای فناوری | ۰.۱۴۲ |
| پشتیبانی صنعت برق از توسعه فناوری | ۰.۱۴۲ |
| میزان نیاز آتی به فناوری | ۰.۱۴۲ |
| میزان ریسک جایگزینی فناوری با فناوری‌های دیگر (جدیدتر) | ۰.۰۷۹ |

نظرات اعضای تیم در مورد وضعیت هر ۲۶ فناوری در هر معیار از شماره ۱ تا ۹ اخذ شد و با استفاده از رابطه ۲ و ۳ ماتریس تصمیم تشکیل شد، سپس ماتریس نرمال آن با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده R

R=

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰.۱۰۱ | ۰.۱۳۱ | ۰.۰۸۴ | ۰.۱۰۱ | ۰.۱۲۹ | ۰.۰۱۱ | ۰.۰۹۱ | ۰.۱۵۱ | ۰.۱۰۲ |
| ۰.۱۱۴ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۲۱ | ۰.۰۹۹ | ۰.۱۱۲ | ۰.۱۱۵ | ۰.۰۹۸ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۰۵ |
| ۰.۰۹۵ | ۰.۱۳۹ | ۰.۰۷ | ۰.۱۱۳ | ۰.۱۱۵ | ۰.۱۲۵ | ۰.۱۱۲ | ۰.۱۳۴ | ۰.۰۹۷ |
| ۰.۱۰۵ | ۰.۱۲۶ | ۰.۱۳۱ | ۰.۱۰۲ | ۰.۰۹۸ | ۰.۰۹۵ | ۰.۰۹۹ | ۰.۱۱۳ | ۰.۱۳۱ |
| ۰.۰۱۱ | ۰.۱۲۸ | ۰.۰۷۷ | ۰.۱۲۵ | ۰.۱۳۱ | ۰.۱۴۸ | ۰.۰۹۱ | ۰.۱۰۱ | ۰.۰۸۹ |
| ۰.۱۱۳ | ۰.۱۲۶ | ۰.۰۸۱ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۲۶ | ۰.۱۲۱ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۰۴ | ۰.۱۱۲ |
| ۰.۱۲۱ | ۰.۱۲۸ | ۰.۰۸۸ | ۰.۱۰۱ | ۰.۱۲۴ | ۰.۱۱۳ | ۰.۱۲۲ | ۰.۰۸۹ | ۰.۱۱۴ |
| ۰.۱۰۸ | ۰.۱۴۹ | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۰۶ | ۰.۰۹۹ | ۰.۱۳۲ | ۰.۰۹۶ | ۰.۱۰۵ | ۰.۱۰۲ |
| ۰.۱۳۳ | ۰.۰۹۷ | ۰.۰۹۲ | ۰.۰۸۸ | ۰.۱۳۱ | ۰.۱۱۹ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۲۳ |
| ۰.۱۲۲ | ۰.۱۲۳ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۱۹ | ۰.۱۱۱ | ۰.۰۷۷ | ۰.۱۲۱ | ۰.۱۰۲ |
| ۰.۱۱۲ | ۰.۱۳۸ | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۸۴ | ۰.۱۱۸ | ۰.۱۱۲ | ۰.۱۲۳ | ۰.۱۳۹ | ۰.۱۰۸ |
| ۰.۱۲۴ | ۰.۱۳۷ | ۰.۰۹۳ | ۰.۰۸۵ | ۰.۱۲۵ | ۰.۱۱۹ | ۰.۰۹۸ | ۰.۱۱۱ | ۰.۱۰۸ |
| ۰.۱۰۱ | ۰.۱۵۹ | ۰.۱۰۳ | ۰.۰۸۲ | ۰.۱۳۸ | ۰.۱۰۴ | ۰.۱۰۲ | ۰.۱۰۲ | ۰.۱۰۹ |
| ۰.۱۲۲ | ۰.۱۰۱ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۰۵ | ۰.۱۲۱ | ۰.۰۷۷ | ۰.۱۲۱ | ۰.۱۰۶ |
| ۰.۱۱۹ | ۰.۱۴۲ | ۰.۰۹۱ | ۰.۱۱۹ | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۱۱ | ۰.۰۹۷ | ۰.۱۲۲ | ۰.۰۹۶ |
| ۰.۱۱۴ | ۰.۱۱۶ | ۰.۰۹۲ | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۳۳ | ۰.۱۲۳ | ۰.۰۸۹ | ۰.۱۱۲ | ۰.۱۱۸ |
| ۰.۱۲۰ | ۰.۱۲۱ | ۰.۰۸۶ | ۰.۰۹۷ | ۰.۱۰۴ | ۰.۱۴۹ | ۰.۰۸۵ | ۰.۱۰۵ | ۰.۱۳۳ |
| ۰.۰۹۹ | ۰.۱۳۸ | ۰.۱۰۴ | ۰.۰۸۱ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۲۹ | ۰.۰۹۵ | ۰.۱۰۲ | ۰.۱۱۸ |
| ۰.۱۲۲ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۱۱ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۰۱ | ۰.۰۸۴ | ۰.۱۲۵ | ۰.۰۹۱ |
| ۰.۰۸۷ | ۰.۱۱۸ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۱۵ | ۰.۱۱۹ | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۰۷ | ۰.۱۱۸ | ۰.۱۱۷ |
| ۰.۱۰۶ | ۰.۱۵۴ | ۰.۱۱۲ | ۰.۰۹۷ | ۰.۱۲۸ | ۰.۱۰۷ | ۰.۰۸۹ | ۰.۰۹۹ | ۰.۱۰۸ |
| ۰.۰۹۸ | ۰.۱۰۶ | ۰.۱۳۶ | ۰.۱۰۷ | ۰.۱۰۹ | ۰.۰۹۴ | ۰.۱۰۴ | ۰.۱۰۲ | ۰.۱۴۴ |
| ۰.۰۹۶ | ۰.۱۰۶ | ۰.۱۴۲ | ۰.۰۹۵ | ۰.۰۹۸ | ۰.۰۸۴ | ۰.۱۰۹ | ۰.۱۳۳ | ۰.۱۳۷ |
| ۰.۱۰۱ | ۰.۱۲۷ | ۰.۰۸۸ | ۰.۱۰۶ | ۰.۱۱۳ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۱۲ | ۰.۱۱۶ |
| ۰.۱۲۴ | ۰.۱۱۷ | ۰.۰۸۷ | ۰.۰۹۸ | ۰.۱۰۷ | ۰.۱۱۹ | ۰.۱۰۵ | ۰.۱۳۶ | ۰.۱۰۷ |

در نهایت با استفاده از رابطه ۸ ارزش نهایی هر فناوری شبکه هوشمند برق به دست آمد و این فناوری‌ها براساس میزان جذابیت آن‌ها اولویت‌بندی شد که نتایج به شرح جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶- ارزش نهایی هر فناوری شبکه هوشمند توزیع برق مازندران

| $P_i$ | $\sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ \widetilde{W_j}$ | $P_i$ | $\sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ \widetilde{W_j}$ | $P_i$ | $\sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ \widetilde{W_j}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $P_۱$ | ۰.۱۱۲۳ | $P_{۱۰}$ | ۰.۱۱۴۲ | $P_{۱۹}$ | ۰.۱۱۳۳ |
| $P_۲$ | ۰.۱۱۰۲ | $P_{۱۱}$ | ۰.۱۱۳۴ | $P_{۲۰}$ | ۰.۱۱۳۸ |
| $P_۳$ | ۰.۱۰۸۷ | $P_{۱۲}$ | ۰.۱۰۸۵ | $P_{۲۱}$ | ۰.۱۱۲۸ |
| $P_۴$ | ۰.۱۱۰۸ | $P_{۱۳}$ | ۰.۱۱۱۶ | $P_{۲۲}$ | ۰.۱۱۴۹ |
| $P_۵$ | ۰.۱۱۱۷ | $P_{۱۴}$ | ۰.۱۰۹۷ | $P_{۲۳}$ | ۰.۱۱۳۵ |
| $P_۶$ | ۰.۱۱۲۵ | $P_{۱۵}$ | ۰.۱۱۱۵ | $P_{۲۴}$ | ۰.۱۱۰۵ |
| $P_۷$ | ۰.۱۱۱۵ | $P_{۱۶}$ | ۰.۱۱۱۸ | $P_{۲۵}$ | ۰.۱۱۱۱ |
| $P_۸$ | ۰.۱۱۱ | $P_{۱۷}$ | ۰.۱۱۲۵ | $P_{۲۶}$ | ۰.۱۰۹۰ |
| $P_۹$ | ۰.۱۱۲۲ | $P_{۱۸}$ | ۰.۱۱۰۴ | | |

با توجه به اعداد به دست آمده اولویت‌بندی فناوری‌های شبکه هوشمند توزیع مازندران با در نظر گرفتن معیارهای جذابیت به شرح زیر است (شماره‌های ذکر شده نشان‌دهنده شماره فناوری‌های کلیدی می‌باشد):

۲۲> ۱۰>۲۰> ۲۳>۱۱> ۱۹> ۲۱> ۶> ۱> ۹> ۱۶> ۵> ۱۳>۱۵= ۷

> ۲۵> ۸> ۴>۱۸> ۲۴>۲> ۱۴> ۲۶> ۳> ۱۲>۱۷

## ۵- بحث و گفتگو

با توجه به وضع موجود صنعت برق کشور و رویکرد شتابان سایر کشورها در مدرنیزه کردن و هوشمندسازی آن، لزوم ایجاد بستری مناسب جهت شناسایی فناوری‌ها و دانش بکار گرفته شده و همچنین ارزیابی آن در تعیین جهت حرکت فعالیت‌های تحقیق و توسعه، جذب قناوری جدید، توسعه فناوری‌های موجود و تصمیم‌گیری در مورد این فناوری‌ها ضروری است. ارزیابی جذابیت فناوری بخش مهمی از مدیریت فناوری است که نتایج آن به‌عنوان اطلاعات ورودی فرایند راهبردی انتخاب فناوری به حساب می‌آید. با توجه به اهمیت این موضوع، در مقاله حاضر که در شرکت توزیع برق مازندران انجام شد، ابتدا لیستی از فناوری‌های حوزه شبکه هوشمند شامل ۲۶ فناوری مشخص شد و ۹ معیار مؤثر جذابیت فناوری صنعت برق به کمک خبرگان و مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شد. سپس از روش Saw که ابزاری برای اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری است جهت ارزیابی جذابیت فناوری‌های مشخص شده استفاده شد. طی جلساتی با تیم خبره شامل ۵ نفر متشکل از اساتید دانشگاه و کارشناسان متخصص شرکت توزیع برق مازندران، با ارائه پرسش‌نامه و اخذ نظرات ایشان در مورد میزان اهمیت معیارها و همچنین جایگاه هر فناوری براساس هر معیار، اهمیت نهایی و رتبه فناوری‌های شبکه هوشمند برق انجام شد. نتایج نشان می‌دهد از میان ۲۶ فناوری شناسایی شده، ۳ فناوری اول براساس میزان جذابیت صدور صورت‌حساب لحظه‌ای در رتبه اول، فناوری‌های وایرلس در رتبه دوم و پیش‌بینی بار در رتبه سوم قرار دارد. در نظر گرفتن این فناوری‌ها منجر به تعدیل بار مصرف‌کنندگان، افزایش بهره‌وری به سبب کاهش مقدار اوج بار، کاهش هزینه تولید و ایجاد توازن بین عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی خواهد شد. همچنین تخمین پرسنل مورد نیاز برای رفع خاموشی، ذخیره کردن اطلاعات و ریزشبکه‌ها از کم‌ترین جذابیت برخوردار است. بدین ترتیب با استفاده از این ابزار،

Archive of SID
www.SID.ir

فناوری‌های شناسایی شده در شبکه هوشمند توزیع برق که در راستای رسیدن به اهداف سازمان از جذابیت بیش‌تری برخوردارند مشخص شدند.

## ۶- نتیجه‌گیری

با اولویت‌بندی فناوری‌ها براساس میزان جذابیت آن‌ها، می‌توان بیان کرد برای تعیین جهت حرکت فعالیت‌های تحقیق و توسعه در راستای هوشمندسازی، بهتر است از فناوری‌های صدور صورت‌حساب لحظه‌ای، وایرلس، پیش‌بینی بار، محاسبه بهای انرژی و نرم‌افزارها و دانش‌های فنی مربوط به آن‌که به ترتیب ۵ فناوری اول در نتایج اولویت‌بندی می‌باشند، آغاز کرد. همچنین تقویت دانش مربوط به فناوری‌های مکان‌یابی قطعی برق، CIS، تجهیزات کنترلی، توانمندی دیسپاچ و فناوری سیمی ۵ فناوری اولویت دوم توسعه هستند. نتایج نشان می‌دهد که مدیریت بار در رأس توجه سازمان برق قرار دارد. به‌عبارت دیگر، برنامه‌ریزی و نظارت بر آن قسمت از فعالیت‌های مرتبط با انرژی الکتریکی که بر مصرف تأثیر گذاشته و سبب به‌وجود آمدن تغییرات مطلوب در الگوی زمانی مصرف و میزان مصرف انرژی می‌گردد.

## ۷- مراجع


۱- سلیمانی فر، مهران.ظفری، لیلا. ۱۳۹۲، اتوماسیون توزیع چالش اساسی هوشمندسازی شبکه توزیع برق ایران، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو.

۲- اثباتی، حسین. ۱۳۸۹، تدوین استراتژی توسعه تکنولوژی با رویکرد فرآیندی سطح کلان بنگاه(صنعت شناورهای آلومینیومی)،چهارمین کنفرانس مدیریت تکنولوژی، تهران، انجمن مدیریت تکنولوژی ایران.

۳- ابراهیمی، مریم. مقبل باعرض، عباس. خداداد حسینی، حمید. آذر، عادل. ۱۳۹۰. طراحی مدل برنامه ریزی استراتژیک فناوری با رویکرد هوشمند ترکیبی. پژوهش های مدیریت عموم، سال چهارم، شماره چهارده، زمستان، صص ۳۹-۲۳.

۴- مختارزاده، نیما. دباغی، آزاده. ۱۳۹۰. ارزیابی جذابیت تکنولوژی با استفاده از تئوری خاکستری، اولین کنفرانس بین المللی، پنجمین کنفرانس ملی مدیریت تکنولوژی.

5- Coppo, M., Pelacchi, P., Pilo, F., Pisano, G., Soma, G. G., & Turri, R. (2015). The Italian smart grid pilot projects: Selection and assessment of the test beds for the regulation of smart electricity distribution. Electric Power Systems Research, 120, 136-149.

6- Peng, L., & Yan, G. S., "Clean energy grid-connected technology based on smart grid," Energy Procedia , no. 12, pp. 213-218, 2011.

7- Nejad, M. F., Saberian, A. M., Hizam, H., Radzi, M. A. M., & Ab Kadir, M. Z. A. (2013, June). Application of smart power grid in developing countries. InPower Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2013 IEEE 7th International (pp. 427-431). IEEE.

8- Colak, I., Fulli, G., Sagiroglu, S., Yesilbudak, M., & Covrig, C. F. (2015). Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios. Applied Energy, 152, 58-70.

9- Pisanupoj, S., Ongsakul, W., & Singh, J. G. (2014, March). Potential of smart grid in Thailand: A development of WADE smart grid model. In Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 2014 International Conference and Utility Exhibition on (pp. 1-7). IEEE.

10- Xenias, D., Axon, C. J., Whitmarsh, L., Connor, P. M., Balta-Ozkan, N., & Spence, A. (2015). UK smart grid development: An expert assessment of the benefits, pitfalls and functions. Renewable Energy, 81, 89-102.

11- Deshmukh, A. (1999). The role of audit technology and extension of audit procedures in strategic auditing. International Journal of Applied Quality Management, 2(2), 187-209.

12- Ren, J., & Lützen, M. (2015). Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 40, 43-60.

13- Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. Applied Energy, 158, 390-402.

14- Raju, U. S., Rangaraj, N., & Date, A. W. (1995). The influence of development perspectives on the choice of technology. Technological Forecasting and Social Change, 48(1), 27-43.

15- Tran, T. A., & Daim, T. (2008). A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment. Technological Forecasting and Social Change, 75(9), 1396-1405.


Archive of SID

www.SID.ir