

## بررسی و سطح بندی عوامل موثر بر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با استفاده از مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) ( مطالعه موردی: شرکت روگا گستر)

معصومه روحی : دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مدیریت مهندسی موسسه آموزش عالی راهبرد شمال

عادل آذر: استادگروه مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس

سید عباس ابراهیمی: استادیار گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی رحمان

### چکیده

**هدف:** هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و سطح بندی مهمترین عوامل موثر بر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با استفاده از مدل ساختاری- تفسیری می باشد.

**روش شناسی:** پژوهش حاضر با روش تحقیقات توصیفی- پیمایشی انجام گرفته است. اطلاعات از روش های گوناگون شامل منابع کتابخانه ای اسنادی و مطالعات میدانی (مصاحبه و پرسشنامه) و استفاده از تارنماها (اینترنت) جمع آوری گردید. در این پژوهش، جهت شناسایی ارتباط بین متغیرها از سیستم قضاوت خبرگان (روش دلفی) استفاده شده است و پرسشنامه ای با هدف بررسی تاثیرات متقابل شاخص ها بصورت زوجی از لحاظ تاثیرپذیری و تاثیرگذاری بر یکدیگر مابین گروهی خبره توزیع گردیده است. پرسشنامه هایی که شامل اطلاعاتی برای مدل پژوهش بودند، در میان ۱۰ نفر از نخبگان به صورت تصادفی توزیع گردید. تجزیه و تحلیل داده های کیفی به روش تئوری بنیادی و داده های حاصل از پرسشنامه نیز به روش تحلیل عاملی بوده است. در این مدل، ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر و یک) حاصل گردید. در مرحله بعد تعیین روابط و سطح بندی عوامل صورت گرفت و سپس ترسیم مدل نهایی انجام گرفت.

**یافته ها:** در فرایند تجزیه و تحلیل پرسشنامه ها، از نرم افزار MICMAC استفاده گردید. با توجه به ماتریس MICMAC مشاهده می شود عوامل ۱ تا ۷ در ناحیه وابسته قرار دارند و این یعنی از قدرت نفوذ کم ولی میزان وابستگی زیاد نسبت به دیگر عوامل برخوردار هستند. عوامل ۸ تا ۱۴ در ناحیه نفوذ قرار دارند. این عوامل از قدرت نفوذ بالا با حداقل وابستگی برخوردارند.

**نتیجه گیری:** با توجه به مدل بدست آمده از تکنیک ISM، شاخص بودجه لازم به عنوان تاثیرگذارترین عامل، شناسایی شد. بنابراین ابتدا می بایست به شناسایی عوامل بودجه لازم در جهت نگهداری و تعمیر پرداخت. گراف ISM یک شمای گویا از روابط علت و معلولی بین عوامل را نشان می دهد. همچنین شاخص چک لیست های مناسب به عنوان تاثیر پذیرترین شاخص شناسایی شدند.

**واژه های کلیدی:** سطح بندی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، مدل سازی ساختاری تفسیری

## مقدمه

نگهداری و تعمیرات یکی از مفاهیم اساسی در سازمان‌های پیشرفته می‌باشد و در میان مدیران ارشد و کارکنان سازمان‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد (بیگیان، ۱۳۹۷). فرآیند نگهداری و تعمیرات (نت) باعث افزایش بهره‌وری منابع تولید می‌گردد. این فرآیندها شامل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده، به منظور حفظ دارایی‌های فیزیکی سازمان در شرایط قابل قبول می‌باشد. اهداف نگهداری و تعمیرات شامل افزایش قابلیت اطمینان، ایمنی، دسترسی و کیفیت دارایی (مانند کارخانه تولیدی، تجهیزات یا ساختمان) همراه با هزینه‌های قابل قبول می‌باشد. (اسحاقیان، ۱۳۹۶).

نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات در حوزه صنعت به عنوان یک فرایند پشتیبانی شناخته می‌شود. به بیان دیگر، فعالیت کسب و کار در هر زمینه و حوزه‌ای که باشد، نیازمند حفظ و نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزاتی است که شرایط را برای تولید کالا یا خدمات بهینه فراهم آورد؛ لذا یافتن استراتژی بهینه برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات جز اولویت‌های کاری بسیاری از کارخانجات تولیدی قرار گرفته است. اگر گزینه‌ای درست انتخاب شود، امکان بهبود و ارتقای کیفی عملکرد ماشین‌آلات به وجود می‌آید و هم‌زمان با آن هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نیز کاهش پیدا خواهد کرد؛ برعکس، در صورتی که گزینه‌های نادرست انتخاب شود، نه تنها قادر به حل مسئله نخواهیم شد بلکه مشکلات قبلی را وخیم‌تر نموده و مشکلات جدیدتری را برای سازمان ایجاد خواهیم نمود. از این رو، اهمیت حیاتی و راهبردی انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات به طور روز افزونی برای صنایع مختلف، برجسته و نمایان می‌شود (فرهادی محلی، ۱۳۹۵).

نت را می‌توان به ترتیب زمانی به سه نسل تقسیم کرد. فعالیت‌های تعمیراتی صرفاً بعد از وقوع خرابی‌ها صورت گرفته و هیچ‌گونه آمادگی قبلی در مورد رویارویی با آن‌ها وجود ندارد، تجارب کسب شده و اقدامات انجام یافته، مورد ثبت و ضبط و تحلیل قرار نمی‌گیرند (عدم وجود مدیریت دانش در مجموعه) و تأثیر منفی روی زمان تولید بر جای می‌گذارد.

امروزه کارخانجات به شدت درگیر مباحثی چون کاهش هزینه‌ها، توان رقابت بالا، بهبود مستمر، افزایش کیفیت و کمیت محصول، کمبود منابع طبیعی، بحران انرژی و ... هستند که در این راستا اندیشیدن به بحث نگهداری و تعمیرات به عنوان یک امر استراتژیک جهت رسیدن به اهداف فوق بسیار حیاتی و اجتناب ناپذیر است. علم نگهداری و تعمیرات در حال حاضر بستری مساعد برای رسیدن به بهبود کیفیت و در پی آن، بهبود سود را فراهم آورده است. این علم که بهتر است نام آن را روشی کاربردی برای رسیدن به بهبود در وضعیت غیر نظام‌مند صنعت حال حاضر گذارد، در عمل دارای پایه و اساس نظری بسیار کاربردی است (لیو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

این علم در حال حاضر به صورت نظری و عملی قادر به حل درصد زیادی از این مشکلات است؛ البته باید یادآوری شود که این کاربرد، تنها بخش کوچکی از علم وسیع نگهداری و تعمیرات است. در سال‌های اخیر روند شتابنده توسعه دانش و فناوری‌های در دست بشر و از سویی، دستیابی به زمینه‌های نوین علوم و تکنولوژی، منجر به طراحی، ساخت و تولید سیستم‌ها و تجهیزات پیچیده و حساس مهندسی شده است. این سامانه‌های

پیشرفته، بیشتر در صنایع بسیار حساسی چون، صنایع وابسته به خودرو، صنایع هوایی، دفاعی و مانند آن‌ها کاربرد دارند. از آنجایی که نقص در عملکرد چنین سیستم‌هایی، ممکن است منجر به بروز خسارات شدید و جبران ناپذیر جانی و مالی شود، حصول اطمینان از عملکرد درست آن‌ها در بازه‌های زمانی مورد نظر، از ملزومات اصلی در طراحی و ساخت سیستم‌ها است. همان‌طور که می‌دانید قابلیت اطمینان، احتمال عملکرد صحیح یک سیستم تا زمان مشخص و در شرایط کاری معین است. با توجه به تعریف، باید زمان و شرایط کاری مشخص شده باشد. اهمیت قابلیت اطمینان آن‌چنان زیاد است که در زمینه بهینه‌سازی و بهبود آن، مدل‌ها و روش‌های حل متعددی پیشنهاد شده است (شاوو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

به منظور بهره‌برداری بهتر و افزایش عمر مفید تجهیزات و به کارگیری مطلوب منابع، وجود یک نظام مناسب برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل، کنترل و اعمال روش‌های صحیح مدیریت ضروری است؛ از این رو تدوین یک نظام نگهداری و تعمیرات مؤثر و پویا اهمیت بسزایی دارد. بی‌توجهی به امر نگهداری و تعمیر تجهیزات به ویژه دستگاه‌های پیچیده، حساس و گران‌قیمت، هزینه‌های زیادی را به سازمان تحمیل می‌کند و مشکلات زیادی را برای آن سازمان به وجود می‌آورد (بیگیان، ۱۳۹۷).

با توجه به اهمیت موضوع، نیاز به پژوهش در زمینه تعمیر و نگهداری روز به روز در افزایش است. واضح است که شرایط محیطی سازمان مورد مطالعه، و همچنین تجهیزات گران‌قیمت، اهمیت این موضوع را بیشتر کرده و لزوم توجه به نگهداری و تعمیرات و افزایش اثر بخشی را افزایش می‌دهد. در این پژوهش ضمن ارائه یک مدل مناسب، سعی شده است به این پرسش پاسخ داده شود که: عوامل مؤثر بر نت پیشگیرانه در شرکت مورد مطالعه کدامند؟

## ادبیات و پیشینه پژوهش

### نگهداری و تعمیرات

نت مخفف نگهداری و تعمیرات است و به مجموعه برنامه‌ها و اقداماتی گفته می‌شود که به منظور نگهداری تجهیزات در سطح قابل قبول از نظر عملیاتی و یا بازگرداندن تجهیزات معیوب به چرخه استفاده و بهره‌برداری، انجام می‌شود و نتیجه آن ایجاد آمادگی، حفظ استمرار قابلیت عملیاتی تجهیزات و افزایش عمر مفید تجهیزات طبق شرایط تعریف شده، می‌باشد (رزازان و همکاران، ۱۳۹۳).

### نسل اول

در این نسل، به نگرانی پیشگیری قبل از وقوع اولویت بالایی داده نشده است زیرا بیشتر تجهیزات در آن زمان بیش از حد طراحی شده و نیز ساده بودند. بیشتر تجهیزات بر اساس اجرا تا خرابی بکار برده شده‌اند با توجه به این باور که خرابی متناسب با سن تجهیزات است. شکل (۱) مفهوم ارتباط بین خرابی و سن در طول نسل را به تصویر می‌کشد. شکل نشان می‌دهد که سن تجهیزات احتمال خرابی را افزایش می‌دهد. با فرض اینکه تکنیک

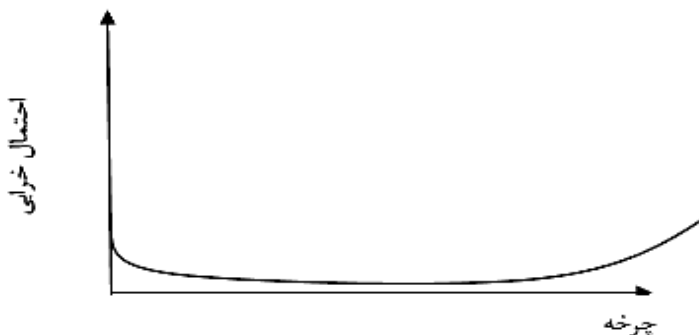
های ساده نگهداری و تعمیر روزمره مانند تمیز کردن، تعمیر و نگهداری، و روانکاری بکار برده شده است (ملکور<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۱. سن و ارتباط آن با خرابی (ملکور و همکاران ۲۰۱۵)

## نسل دوم

با گذشت زمان تجهیزات پیچیده‌تر شده و نگرانی برای خرابی به وجود آمده و دیدگاه نسبت به خرابی تجهیزات تغییر می‌یابد. در این نسل، مفهوم "تلفات طفولیت خرابی" برای نشان دادن احتمال وقوع خرابی برای حتی تجهیزات که به تازگی نصب شده‌اند پدیدار شده است. شکل ۲ ارتباط بین خرابی و زمان عمر را ترکیب می‌کند که نمودار این ارتباط الگوی وان نامیده می‌شود. در نتیجه تکنیک‌های نت در تلاش برای پیشگیری قبل از وقوع خرابی توسعه داده شده است. بر این اساس، روش نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در این نسل پدید آمد. که در این نسل<sup>۲</sup> PM به زمان‌بندی اجرای نت در فاصله زمانی خاص محدود شده است. اگرچه رویکرد RTF ساده است، اما در مقایسه با PM پرهزینه است. بنابراین این نسل نگران هزینه نت است (ملکور و همکاران ۲۰۱۵).



شکل ۲. زمان و ارتباط آن با خرابی (ملکور و همکاران ۲۰۱۵)

1. Melchor-Hernández
2. Preventive Maintenance

## نسل سوم

در این نسل تعدادی از انتظارات، تحقیقات، و تکنیک‌ها به‌وجود آمدند. در منظر انتظارات، نگرانی درمورد توقف کارخانه و تأثیرات آن که در نسل دوم به‌وجود آمد در نسل سوم ضروری شده‌اند. از این‌رو، مفاهیم شامل قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری، ایمنی و شرایط زیست محیطی در نت در نظر گرفته می‌شوند. همچنین هزینه‌های مرتبط با نت برای قرار گرفتن در اولویت اول جهش بالایی را داشته است. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، ارتباط بین سن و خرابی تکامل یافته است. در این تکامل چهار الگو دیگر به دو الگوی قبلی برای چهارچوب ارتباط بین احتمال و خرابی و زمان عمر تجهیزات اضافه شده است. در نسل سوم بعضی از توسعه‌ها و تکنیک‌های جدید معرفی شده‌اند. این توسعه‌ها شامل تعدادی ابزار تصمیم‌گیری پشتیبانی به‌کاربرده شده برای مطالعه حالات خرابی و آنالیز تأثیرات خرابی می‌باشد (هیگینس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲)

## تکنیک<sup>۲</sup> ISM

ISM یک روش ساختاری تفسیری است که به وسیله وارفیلد مطرح گردید. در این روش، با تجزیه معیارها در چند سطح مختلف، به تحلیل ارتباط بین شاخص‌ها پرداخته می‌شود. این مدل ساختار تفسیری قادر است سطوح ارتباط بین شاخص‌ها که به صورت تکی یا گروهی به یکدیگر وابسته‌اند، را تعیین نماید. به عبارت دیگر، ISM می‌تواند برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین ویژگی‌های چند متغیر که برای یک مساله تعریف شده‌اند، مورد استفاده قرار گیرد. این روش ابتدا عوامل مؤثر درباره موضوع مورد مطالعه را در سطوح مختلف قرار می‌دهد، سپس روابط بین این عوامل را به گونه‌ای شفاف و در سطوحی جدا (از نظر تأثیر بر موضوع مورد مطالعه) مشخص می‌کند (تقی‌زاده، ۱۳۹۲).

## پیشینه پژوهش

### پیشینه داخلی

آقاسی در پژوهش خود تحت عنوان انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات توسط تکنیک تحلیل سلسله مراتبی به نتایج زیردست پیدا کردند: از مهم‌ترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات می‌توان به نگهداری و تعمیرات اصلاحی، پیشگیرانه، فرصتی، موقعیتی و پیشگویانه اشاره کرد که با توجه به موقعیت و شرایط محیطی، به‌کارگیری هر یک از مزایا و معایبی برخوردار است. وی بیان داشت هدف از این مقاله ارائه یک روش کلی برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات در سازمان‌های تولیدی است. در این راستا سعی شده است با در نظرگیری شاخص‌هایی مانند هزینه، قابلیت اجرا، ایمنی و ارزش‌افزوده پنج استراتژی فوق در کارخانه تبرک مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور پرسشنامه‌ای تنظیم شده است و با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای این کارخانه انتخاب شده است (آقاسی، ۱۳۹۷).

1. Higgins
2. Structural Equation Modeling

حسنى در پژوهشى تحت عنوان الگوريتم چندهدفه فرا ابتكارى تركيبى براى مسئله زمان بندى جريان كارگاهى جاىگشتى دوباره وارد شونده توزيع شده با در نظر گرفتن نگهدارى و تعميرات پيشگيرانه در شرايط عدم قطعيت به نتايج زيردست پيدا كردند: نتايج حل نشان دهنده كارايى مدل ارائه شده براى ارائه زمان بندى و تخصيص مناسب انجام كارها با توجه به معيارهاى ارزيايى مدنظر و لحاظ كردن سطوح مختلف ريسك پذيرى تصميم گيرندگان است. نتايج حل مسائل نمونه و ارزيايى عملکرد الگوريتم حل، نشان دهنده كارايى آن است (حسنى، ۱۳۹۷).

تقى پور و آوخ در پژوهشى تحت عنوان انتخاب استراتژى مناسب نگهدارى و تعميرات با رويکرد سلسله مراتبى فازى به نتايج زيردست پيدا كردند: نتايج دو روش تاپسيس فازى و طراحى بديهى فازى براى انتخاب استراتژى نگهدارى و تعميرات مقايسه گرديد كه نتايج، حاكى از يكسان بودن جواب هاى اين دو روش بود، همچنين نتايج دو مدل نشان مى دهد كه استراتژى نگهدارى و تعميرات بهره ور فراگير از اولويت برترى نسبت به ساير استراتژى ها برخوردار است (تقى پور و آوخ، ۱۳۹۷).

محمدي در پژوهشى تأثير نت پيشگيرانه در سيستم نت خودرويى دانشگاه علوم انتظامى امين را مورد بررسى قرار داده است. جامعه آمارى، كاركنان نت خودرويى دانشگاه مذكور بوده است. براى تجزيه و تحليل داده ها از نرم افزار SPSS استفاده شده است. وي بيان داشت كه مولفه هاى نت پيشگيرانه در سيستم نت خودرويى دانشگاه علوم انتظامى امين تأثير زيادى دارند. مولفه نگهدارى بيشترين تأثير را دارد و مولفه هاى نظارت و بازرسى، كارگاه هاى تعميراتى، برنامه ريزى و خدمات پشتيبانى به ترتيب در رتبه هاى بعدى قرار دارند (محمدي، ۱۳۹۲).

### پيشينه خارجى

ليو در مقاله پژوهشى خود تحت "عنوان بهينه سازى مشترك مبتنى بر يك ماشين برنامه ريزى نگهدارى پيشگيرانه و برنامه ريزى توليد" به نتايج زيردست پيدا كردند: در مدل يكپارچه، وضعيت سلامتى افراد و زمان مورد آمايش از سمت ويژگى هاى ماشين قرارگرفته است. در نهايت، يك نمونه موردى براى نشان دادن ارزش روش هاى پيشنهاده استفاده مى شود و عملکرد راه حل يكپارچه با راه حل هاى به دست آمده از حل برنامه ريزى پيش بينى شده و برنامه ريزى توليد به طور مستقل مقايسه مى شود. در انتها تمام فرضيات نيز به اثبات رسيد (ليو و همكاران، ۲۰۱۸).

اوزكان در پژوهشى تحت عنوان يك "برنامه نويسى تركيبى - روش AHP با پشتيبانى TOPSIS براى انتخاب استراتژى تعمير و نگهدارى در نيروگاه هاى برق آبى" به فعاليت هاى زير پرداختند: محققان در اين پژوهش روش تركيبى برنامه ريزى آرمانى و تحليل سلسله مراتبى متكى بر تاپسيس براى انتخاب استراتژى بهينه نگهدارى و تعميرات در نيروگاه هاى برق آبى استفاده كردند. استراتژى هاى موردبررسى عبارت اند از: نگهدارى و تعمير پيشگويانه، نگهدارى و تعمير اصلاحي، نگهدارى و تعمير پيشگيرانه، نگهدارى و تعمير روئزن. در اين پژوهش ابتدا با استفاده از روش تركيبى تاپسيس - تحليل سلسله مراتبى مهم ترين تجهيزات انتخاب گرديدند و سپس براى تعيين مناسب ترين استراتژى نگهدارى و تعميرات براى بحراني ترين تجهيزات الكتريكي در نيروگاه

برق‌آبی از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کردند (اوزکان و همکاران، ۲۰۱۷). اسماعیلیان و بکران در پژوهشی تحت عنوان "برنامه ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه با برنامه‌نویسی عدد صحیح و برنامه نویسی محدودیت" اذعان داشتند برنامه ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه انجام یک سری وظایف است که از خرابی تولید جلوگیری یا به حداقل می‌رساند و قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشد. هدف از مطالعه مذکور تعیین زمان نگهداری پیشگیرانه با برنامه ریزی محدود است. آن‌ها بیان داشتند مشکل برنامه ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه با منابع چندگانه و منفرد، با برنامه ریزی ریاضی و برنامه محدودیت حل شده است شده‌اند که به طور خودکار، راه حل بهینه و ترکیب صنایع دستی را در مشکلات متعدد منابع تولید می‌کنند (اسماعیلیان و بکران، ۲۰۱۴).

### روش پژوهش

روش مطالعه این پژوهش با توجه به ویژگی‌های خاص آن، تحلیلی-توصیفی است. در جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های گوناگون شامل منابع کتابخانه‌ای اسنادی و مطالعات میدانی (مصاحبه و پرسشنامه) و استفاده از تارنماها (اینترنت) صورت می‌پذیرد. در این پژوهش، جهت شناسایی ارتباط بین متغیرها از سیستم قضاوت خبرگان (روش دلفی) استفاده شده است و پرسشنامه‌ای با هدف بررسی تأثیرات متقابل شاخص‌ها به صورت زوجی از لحاظ تأثیرپذیری و تأثیرگذاری بر یکدیگر مابین گروهی خبره توزیع گردیده است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است، چرا که درصدد سطح بندی عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری می‌باشد، در واقع به دنبال حل مشکل است و از نظر روش، توصیفی-پیمایشی است.

### گام‌های اجرایی تکنیک ISM در این پژوهش

#### گام اول: شناسایی عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

در این پژوهش، عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه شناسایی شده است و به منظور جمع‌آوری نظر خبرگان در خصوص شناسایی روابط میان عوامل استخراج شده و ارائه مدل ساختاری تفسیری از این عوامل، پرسشنامه‌ای طراحی گردید و سپس میان ۱۰ تن از خبرگان توزیع گردید. عوامل حاصل از مطالعه ادبیات موجود پس از اعمال نظرات متخصصین در جدول ۱ آمده است.

| جدول ۱. متغیرهای جمع‌آوری شده از پیشینه پژوهش |                        |
|-----------------------------------------------|------------------------|
| ردیف                                          | عوامل                  |
| ۱                                             | سامانه هوشمند کنترل    |
| ۲                                             | وجود چک لیست‌های مناسب |
| ۳                                             | کالیبرزاسیون ابزارها   |
| ۴                                             | زمینه و شرایط مساعد    |
| ۵                                             | شرایط فرهنگی           |
| ۶                                             | دستور کارهای اصولی     |
| ۷                                             | برنامه ریزی            |
| ۸                                             | زمان‌بندی              |
| ۹                                             | اجرای بهینه و مؤثر     |
| ۱۰                                            | بودجه لازم             |
| ۱۱                                            | آموزش‌های لازم         |
| ۱۲                                            | دانش لازم              |
| ۱۳                                            | شرایط تکنولوژیکی       |
| ۱۴                                            | تأمین قطعات و لوازم    |

### گام دوم: تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری

پس از تعیین عوامل، پرسشنامه ماتریسی ISM طراحی شده و خبرگان این متغیرها را به صورت زوجی مورد بررسی قرار داده و با استفاده از نمادهای زیر به تعیین روابط میان شاخص‌ها پرداخته‌اند:

V: اگر عنصر i بر عنصر j تأثیرگذار باشد

A: اگر عنصر j بر عنصر i تأثیرگذار باشد

X: تأثیر متقابل عناصر i و j

O: در صورت عدم وجود ارتباط بین عناصر i و j

اطلاعات حاصله بر اساس مدل سازی ساختاری تفسیری جمع‌بندی شده و ماتریس خود تعاملی ساختاری از ابعاد و متغیرهای پژوهش و مقایسه آن‌ها با استفاده از چهار حالت روابط مفهومی تشکیل شده است. منطق مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) بر مبنای مد در فراوانی‌ها عمل می‌کند. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها در مورد عوامل مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است.

| جدول ۲. ماتریس خودتعاملی ساختاری |       |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |                        |
|----------------------------------|-------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------------|
| ردیف                             | عوامل |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |                        |
| ۱                                | ۱۴    | ۱۳ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱                      |
| ۱                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | V | V | V | V | V | V | سامانه هوشمند کنترل    |
| ۲                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | A | A | A | A | A |   | وجود چک‌لیست‌های مناسب |
| ۳                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | X | X | V | V |   |   | کالیبرواسیون ابزارها   |
| ۴                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | A | A | X |   |   |   | زمینه و شرایط مساعد    |
| ۵                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | A | A |   |   |   |   | شرایط فرهنگی           |
| ۶                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A | X |   |   |   |   |   | دستور کارهای اصولی     |
| ۷                                | A     | A  | A  | A  | A  | A | A |   |   |   |   |   |   | برنامه ریزی            |
| ۸                                | A     | A  | A  | A  | A  | X |   |   |   |   |   |   |   | زمان‌بندی              |
| ۹                                | A     | A  | A  | A  | A  |   |   |   |   |   |   |   |   | اجرای بهینه و مؤثر     |
| ۱۰                               | V     | V  | V  | V  |    |   |   |   |   |   |   |   |   | بودجه لازم             |
| ۱۱                               | V     | V  | X  |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   | آموزش‌های لازم         |
| ۱۲                               | V     | V  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   | دانش لازم              |
| ۱۳                               | X     |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   | شرایط تکنولوژیکی       |
| ۱۴                               |       |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   | تأمین قطعات و لوازم    |

### گام سوم: تشکیل ماتریس دسترسی اولیه

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر و یک) حاصل می‌گردد. به‌منظور جایگزینی اعداد صفر و یک بجای نمادهای چهارگانه جدول ۳، برای استخراج ماتریس دسترسی اولیه، قوانین زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

اگر ورودی  $(i, j)$  در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد V باشد، در ماتریس دسترسی اولیه  $(i, j)$  عدد یک و ورودی  $(j, i)$  عدد صفر خواهد بود.

اگر ورودی  $(i, j)$  در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد A باشد، در ماتریس دسترسی اولیه  $(i, j)$  عدد صفر و ورودی  $(j, i)$  عدد یک خواهد بود.

اگر ورودی  $(i, j)$  در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد X باشد، در ماتریس دسترسی اولیه  $(i, j)$  عدد یک و ورودی  $(j, i)$  عدد یک خواهد بود.

اگر ورودی  $(i, j)$  در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد O باشد، در ماتریس دسترسی اولیه  $(i, j)$  عدد صفر و ورودی  $(j, i)$  عدد صفر خواهد بود.

| جدول ۳. ماتریس دسترسی اولیه |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ردیف | عوامل                 |
|-----------------------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|-----------------------|
| ۱۴                          | ۱۳ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |      |                       |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱    | سامانه هوشمند کنترل   |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۲    | وجود چکلیست‌های مناسب |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۳    | کالیبره‌سازی ابزارها  |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۴    | زمینه و شرایط مساعد   |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۵    | شرایط فرهنگی          |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۶    | دستور کارهای اصولی    |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۷    | برنامه ریزی           |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۸    | زمان‌بندی             |
| ۰                           | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۹    | اجرای بهینه و مؤثر    |
| ۱                           | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۰   | بودجه لازم            |
| ۱                           | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۱   | آموزش‌های لازم        |
| ۱                           | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۲   | دانش لازم             |
| ۱                           | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۳   | شرایط تکنولوژیکی      |
| ۱                           | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۴   | تأمین قطعات و لوازم   |

### گام چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی

پس از آنکه ماتریس دسترسی اولیه به دست آمد، روابط ثانویه شاخص‌ها کنترل می‌گردد. رابطه ثانویه به صورتی است که اگر شاخص  $i$  منجر به شاخص  $j$  شود و همچنین شاخص  $j$  منجر به شاخص  $k$  شود، آنگاه شاخص  $i$  نیز منجر به شاخص  $k$  خواهد شد. اگر در ماتریس دسترسی اولیه این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح‌شده و روابطی که از قلم افتاده جایگزین شود؛ به این عمل اصطلاحاً سازگار کردن ماتریس دسترسی اولیه گفته می‌شود. در این گام، کلیه روابط ثانویه بین متغیرها، بررسی شد؛ اما رابطه ثانویه‌ای شناسایی نشد. بنابراین ماتریس دسترسی اولیه همان ماتریس دسترسی نهایی خواهد بود. در این ماتریس قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر متغیر نیز نشان داده شده است. قدرت نفوذ یک متغیر از جمع تعداد متغیرهای متأثر از آن و خود متغیر به دست می‌آید و میزان وابستگی یک متغیر نیز از جمع متغیرهایی که از آن تأثیر می‌پذیرد و خود متغیر به دست می‌آید. جدول ۴ ماتریس دسترسی نهایی را نشان می‌دهد.

| جدول ۴. ماتریس دسترسی نهایی (ماتریس دسترسی سازگار شده عوامل) |                        |   |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |           |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|---|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|-----------|
| ردیف                                                         | عوامل                  |   |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   | قدرت نفوذ |
| ۱                                                            | سامانه هوشمند کنترل    | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۷         |
| ۲                                                            | وجود چک‌لیست‌های مناسب | ۰ | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱         |
| ۳                                                            | کالیبره‌سازیون ابزارها | ۰ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶         |
| ۴                                                            | زمینه و شرایط مساعد    | ۰ | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳         |
| ۵                                                            | شرایط فرهنگی           | ۰ | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۰  | ۰  | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳         |
| ۶                                                            | دستور کارهای اصولی     | ۰ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶         |
| ۷                                                            | برنامه ریزی            | ۰ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶         |
| ۸                                                            | زمان‌بندی              | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹         |
| ۹                                                            | اجرای بهینه و مؤثر     | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹         |
| ۱۰                                                           | بودجه لازم             | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۴        |
| ۱۱                                                           | آموزش‌های لازم         | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۳        |
| ۱۲                                                           | دانش لازم              | ۱ | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۳        |
| ۱۳                                                           | شرایط تکنولوژیکی       | ۱ | ۱  | ۰  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۱        |
| ۱۴                                                           | تأمین قطعات و لوازم    | ۱ | ۱  | ۰  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۱        |
|                                                              | میزان وابستگی          | ۸ | ۱۴ | ۱۱ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۱ | ۱۱ | ۷ | ۷ | ۱ | ۳ | ۳ | ۵ | ۵ |           |

### گام پنجم: تعیین روابط و سطح‌بندی عوامل

در این گام، با استفاده از ماتریس دسترسی، پس از تعیین مجموعه‌های ورودی و خروجی، اشتراک این مجموعه‌ها برای هر یک از عوامل به دست می‌آید.

مجموعه خروجی یک عامل شامل خود آن عامل و عواملی است که بر آن‌ها اثر می‌گذارد که با "۱"‌های موجود در سطر مربوطه قابل‌شناسایی است.

مجموعه ورودی یک عامل شامل خود آن عامل و عواملی است که از آن‌ها اثر می‌پذیرد که با "۱"‌های موجود در ستون مربوطه قابل‌شناسایی است.

پس از تعیین مجموعه‌های ورودی و خروجی، اشتراک آن‌ها برای هر یک از عوامل تعیین می‌شود. عواملی که مجموعه خروجی و مشترک آن‌ها کاملاً مشابه باشند، در بالاترین سطح از سلسله مراتب مدل ساختاری تفسیری قرار می‌گیرند. به منظور یافتن اجزای تشکیل‌دهنده سطح بعدی سیستم، اجزای بالاترین سطح آن در محاسبات ریاضی جدول مربوط حذف می‌شوند و عملیات مربوط به تعیین اجزای سطح بعدی مانند روش تعیین اجزای بالاترین سطح انجام می‌شود. این عملیات تا آنجا تکرار می‌شود که اجزای تشکیل‌دهنده کلیه سطوح سیستم مشخص شوند.

| جدول ۵. سطح بندی (۱) |                                                 |                                               |              |     |
|----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|-----|
| عوامل                | مجموعه خروجی                                    | مجموعه ورودی                                  | مجموعه مشترک | سطح |
| ۱                    | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷                             | ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                   | ۱            |     |
| ۲                    | ۲                                               | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ | ۲            | ۱   |
| ۳                    | ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷                                | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴             | ۳، ۶، ۷      |     |
| ۴                    | ۲، ۴، ۵                                         | ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴    | ۴، ۵         |     |
| ۵                    | ۲، ۴، ۵                                         | ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴    | ۴، ۵         |     |
| ۶                    | ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷                                | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴             | ۳، ۶، ۷      |     |
| ۷                    | ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷                                | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴             | ۳، ۶، ۷      |     |
| ۸                    | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹                       | ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                      | ۸، ۹         |     |
| ۹                    | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹                       | ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                      | ۸، ۹         |     |
| ۱۰                   | ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴<br>۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ | ۱۰                                            | ۱۰           |     |
| ۱۱                   | ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴<br>۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶     | ۱۰، ۱۱، ۱۲                                    | ۱۱، ۱۲       |     |
| ۱۲                   | ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴<br>۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶     | ۱۰، ۱۱، ۱۲                                    | ۱۱، ۱۲       |     |
| ۱۳                   | ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۴<br>۱، ۲، ۳             | ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                            | ۱۳، ۱۴       |     |
| ۱۴                   | ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۴<br>۱، ۲، ۳             | ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                            | ۱۳، ۱۴       |     |

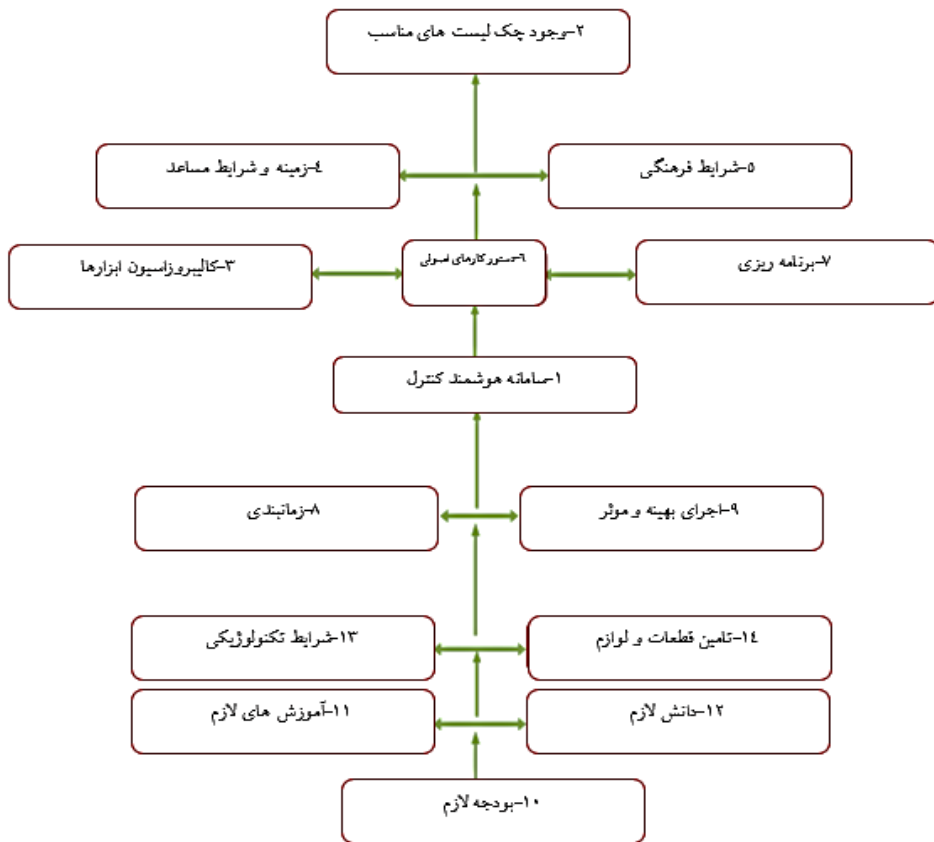
بنابراین عامل شماره ۲ در سطح اول قرار می گیرد و برای ادامه سطح بندی از جدول فوق حذف می شود. سایر مراحل سطح بندی به طور خلاصه در جدول ۶ آمده است.

| جدول ۶. سطح‌بندی (۲) |       |              |                                            |              |     |
|----------------------|-------|--------------|--------------------------------------------|--------------|-----|
| تکرار                | عوامل | مجموعه خروجی | مجموعه ورودی                               | مجموعه مشترک | سطح |
| دوم                  | ۴     | ۴، ۵         | ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ | ۴، ۵         | ۲   |
|                      | ۵     | ۴، ۵         | ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ | ۴، ۵         | ۲   |
| سوم                  | ۳     | ۳، ۶، ۷      | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴          | ۳، ۶، ۷      | ۳   |
|                      | ۶     | ۳، ۶، ۷      | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴          | ۳، ۶، ۷      | ۳   |
|                      | ۷     | ۳، ۶، ۷      | ۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴          | ۳، ۶، ۷      | ۳   |
| چهارم                | ۱     | ۱            | ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                | ۱            | ۴   |
| پنجم                 | ۸     | ۸، ۹         | ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                   | ۸، ۹         | ۵   |
|                      | ۹     | ۸، ۹         | ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                   | ۸، ۹         | ۵   |
| ششم                  | ۱۳    | ۱۳، ۱۴       | ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                         | ۱۳، ۱۴       | ۶   |
|                      | ۱۴    | ۱۳، ۱۴       | ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴                         | ۱۳، ۱۴       | ۶   |
| هفتم                 | ۱۱    | ۱۱، ۱۲       | ۱۰، ۱۱، ۱۲                                 | ۱۱، ۱۲       | ۷   |
|                      | ۱۲    | ۱۱، ۱۲       | ۱۰، ۱۱، ۱۲                                 | ۱۱، ۱۲       | ۷   |
| هشتم                 | ۱۰    | ۱۰           | ۱۰                                         | ۱۰           | ۸   |

در نهایت عوامل شماره ۱۰ در سطح هشتم قرار می‌گیرد و سطح‌بندی به پایان می‌رسد.

#### گام ششم: ترسیم مدل نهایی

در این مرحله با توجه به سطوح عوامل و ماتریس دسترسی نهایی یک مدل اولیه رسم می‌شود و با حذف انتقال‌پذیری‌ها در مدل اولیه، مدل نهایی به دست می‌آید. بنابراین مدل نهایی ISM که حاصل شده است، به صورت شکل ۳ خواهد بود.



شکل ۳. مدل نهایی ISM

با توجه به گراف حاصل، مشاهده می‌شود که شاخص بودجه لازم به عنوان تأثیر گذارترین شاخص و وجود چک لیست‌های مناسب به عنوان تأثیر پذیرترین شاخص شناسایی شدند.

### گام هفتم: تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی (نمودار MICMAC)

در این مرحله متغیرها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. اولین گروه شامل متغیرهای خودمختار (ناحیه ۱) می‌شود که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. این متغیرها تا حدودی از سایر متغیرها مجزا هستند و ارتباط کمی دارند. گروه دوم، متغیرهای وابسته (ناحیه ۲) را شامل می‌شود که از قدرت نفوذ ضعیف اما وابستگی بالایی برخوردارند. گروه سوم متغیرهای پیوندی (ناحیه ۳) هستند. این متغیرها قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند. درواقع هرگونه عملی بر روی این متغیرها منجر به تغییر سایر متغیرها می‌شود. گروه چهارم متغیرهای مستقل (ناحیه ۴) می‌باشند. این متغیرها از قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی برخوردارند. متغیرهایی که از قدرت نفوذ

بالایی برخوردارند اصطلاحاً متغیرهای کلیدی خوانده می‌شوند. واضح است که این متغیرها در یکی از دو گروه متغیرهای مستقل یا پیوندی جای می‌گیرند. از طریق جمع کردن ورودی‌های "۸" در هر سطر و ستون قدرت نفوذ و میزان وابستگی متغیرها به دست می‌آید. بر همین اساس، نمودار قدرت نفوذ-وابستگی ترسیم می‌شود (آذر و همکاران، ۱۳۹۲).

### یافته‌های پژوهش

با استفاده از داده‌های حاصل از گام چهارم می‌توان عوامل مورد مطالعه را بر اساس قدرت نفوذ هر عامل بر عوامل دیگر و میزان وابستگی هر عامل به عوامل دیگر در چهار سطح زیر دسته‌بندی کرد:

- خودمختار: عواملی که حداقل وابستگی و قدرت نفوذ را در دیگر عوامل دارند.
- وابسته: عواملی که وابستگی زیادی به عوامل دیگر دارند.
- پیوندی (متصل): عواملی که رابطه دوطرفه‌ای با دیگر عوامل دارند.
- مستقل (نفوذ): عواملی که بر عوامل دیگر نفوذ قابل توجهی دارند.

برای تعیین مختصات هر عامل در ماتریس MICMAC باید از قدرت نفوذ و میزان وابستگی آن عامل استفاده شود. این مقادیر از ماتریس دسترسی نهایی به دست می‌آید. جدول ۷ قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر عامل را نشان می‌دهد.

| جدول ۷. قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر عامل |                     |                        |                      |                     |              |                    |             |           |                    |            |                |           |                  |                     |
|-------------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------|--------------------|-------------|-----------|--------------------|------------|----------------|-----------|------------------|---------------------|
| عوامل                                     | سامانه هوشمند کنترل | وجود چک لیست‌های مناسب | کالیبروآسیون ابزارها | زمینه و شرایط مساعد | شرایط فرهنگی | دستور کارهای اصولی | برنامه ریزی | زمان‌بندی | اجرای بهینه و مؤثر | بودجه لازم | آموزش‌های لازم | دانش لازم | شرایط تکنولوژیکی | تأمین قطعات و لوازم |
|                                           | ۷                   | ۱                      | ۶                    | ۳                   | ۳            | ۶                  | ۶           | ۹         | ۹                  | ۱۴         | ۱۳             | ۱۳        | ۱۱               | ۱۱                  |
| میزان وابستگی                             | ۸                   | ۱۴                     | ۱۱                   | ۱۳                  | ۱۳           | ۱۱                 | ۱۱          | ۷         | ۷                  | ۱          | ۲              | ۴         | ۵                | ۵                   |

|      |         | جدول ۸. ماتریس MICMAC |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|------|---------|-----------------------|---|----------|---|--------|---|------|---|---|---------|--------|----|------|------|
| زیاد | ۱۴      | ۱۰                    |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۱۳      |                       |   | ۱۱، ۱۲   |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۱۲      |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۱۱      |                       |   |          |   | ۱۳، ۱۴ |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۱۰      |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
| نمود | ۹       |                       |   |          |   |        |   | ۸، ۹ |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۸       |                       |   | نفوذ     |   |        |   |      |   |   |         | پیوندی |    |      |      |
|      | ۷       |                       |   |          |   |        |   |      | ۱ |   |         |        |    |      |      |
|      | ۶       |                       |   |          |   |        |   |      |   |   | ۳، ۶، ۷ |        |    |      |      |
|      | ۵       |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۴       |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۳       |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    | ۴، ۵ |      |
|      | ۲       |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      |      |
|      | ۱       |                       |   | خودمختار |   |        |   |      |   |   |         | وابسته |    |      | ۲    |
|      |         | ۱                     | ۲ | ۳        | ۴ | ۵      | ۶ | ۷    | ۸ | ۹ | ۱۰      | ۱۱     | ۱۲ | ۱۳   | ۱۴   |
| کم   | وابستگی |                       |   |          |   |        |   |      |   |   |         |        |    |      | زیاد |

## نتیجه‌گیری و پیشنهاد

سرعت بالا در اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات یکی از شاخص‌های مهم در این زمینه است. نکته

حائز اهمیت این است که تاکنون بحث نگهداری و تعمیرات با تکنیک ISM بررسی نشده بود و در طی این پژوهش این خلأ رفع گردید.

در شرکت‌هایی نظیر روکاگستر، ماهیت محصولات به گونه‌ای است که برای خرید آن‌ها هزینه زیادی باید تقبل گردد، لذا طبق مدل به دست آمده نگهداری و تعمیر پیشگیرانه طبق مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. نگهداری و تعمیرات یک هنر است، چرا که پیش از وقوع یک مشکل و هنگام وقوع آن توانایی انتخاب رویکردها و فعالیت‌های مختلف وجود دارد. لذا مدیران و سرپرستان و کارشناسان و مسئولان نگهداری و تعمیرات نقش پررنگ‌تری نسبت به پارامترهای دیگر و حتی ماهیت مشکل ایجاد شده برخوردار خواهند بود.

در این پژوهش، عوامل مؤثر بر نت ذکر گردید و ارتباط میان آن‌ها با استفاده از تکنیک ISM در قالب ۸ سطحی ارائه گردید. سپس با استفاده از ماتریس MICMAC به تجزیه و تحلیل تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این عوامل پرداختیم. این نتیجه حادث گردید که مدل پژوهشی حاضر خطوط راهنمای مهمی را در عرصه عمل برای مدیران به همراه خواهد داشت و روابط علت و معلولی تعمیم شده در مدل مورد پژوهش ضمن فراهم آوردن راهنمایی برای هدایت تلاش‌های اجرایی و اثر بخشی تصمیمات مدیران را در هر ۳ فرایند بهبود نت، ارتقا خواهد داد.

همان طور که از نتایج پژوهش بر می‌آید شاخص بودجه لازم به عنوان تأثیرگذارترین عامل، شناسایی شد. بنابراین ابتدا می‌بایست به شناسایی عوامل بودجه لازم در جهت نگهداری و تعمیر پرداخت. گراف ISM یک شمای گویا از روابط علت و معلولی بین عوامل را نشان می‌دهد. و لازم به ذکر است نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از یافته‌های محمدی (۱۳۹۲) مطابقت نداشت اما با نتایج حاصل از پژوهش آقاسی (۱۳۹۷) همخوانی داشت.

با توجه به قرار گرفتن شاخص بودجه لازم در سطح آخر، می‌بایست این شاخص به‌طور جداگانه به بررسی عناصر این عامل پرداخت. سطح‌بندی عوامل پژوهش با مشخص نمودن نقاط قوت و ضعف آن‌ها می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسب برای سیاست‌گذاری و تدوین استراتژی در سطح کلان (در ارتباط با سیاست‌های کلی شرکت‌ها) و همچنین در سطح خرد (اقدامات اصلاحی یا حمایتی توسط دولت و مجلس) استفاده گردد.

## منابع

- اسحاقیان، رامین؛ براتی، مسعود. (۱۳۹۶). ارزیابی عوامل مؤثر بر راهبرد نگهداری و تعمیرات ناب با رویکرد ISM (مطالعه موردی: گروه صنعتی انتخاب). دومین کنفرانس ملی مدیریت راهبردی خدمات. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد. ۷ آذر.
- آذر، عادل؛ خسروانی، فرزانه؛ و جلالی، رضا. (۱۳۹۲). تحقیق در عملیات نرم، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی.
- آقاسی، زهرا. (۱۳۹۷). انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات توسط تکنیک تحلیل سلسله مراتبی؛ علوم اجتماعی، شباک، مرداد ۱۳۹۷ - شماره ۳۴ از ۵۱ تا ۵۶.
- بیگیان، حسین؛ قیدر خلنجان، جعفر؛ کریمی گوارشکی، محمد حسین. (۱۳۹۷). طراحی یک مدل مدیریت

نگهداری و تعمیرات با استفاده از نظریه ساختار سازی تفسیری ISM (مورد مطالعه: یک سازمان فن آوری). نشریه مدیریت بهره وری. سال دوازدهم. شماره ۴۷. ۱۰۸-۸۷.

تقی پور، راضیه؛ و آوخ دارستانی؛ سروش. (۱۳۹۷). انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات با رویکرد سلسله مراتبی فازی؛ مدیریت: مطالعات مدیریت صنعتی. پاییز ۱۳۹۷ - شماره ۵۰ (علمی-پژوهشی) از ۱۹۳ تا ۲۲۸.

تقی زاده، هوشنگ؛ شکری، عبدالحسین. (۱۳۹۲). کاربرد مدل سازی ساختاری تفسیری در سطح بندی شاخص-های رفتار شهروندی سازمانی (مطالعه موردی). فصلنامه علمی- پژوهشی رهیافتی نو در مدیریت آموزشی، سال پنجم، شماره ۳. پاییز ۹۳. ۲۳-۴۲.

حسینی، علی اکبر. (۱۳۹۷). الگوریتم چندهدفه فرا ابتکاری ترکیبی برای مساله زمان بندی جریان کارگاهی جایگشتی دوباره وارد شونده توزیع شده با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در شرایط عدم قطعیت؛ مدیریت، مدیریت تولید و عملیات، پاییز و زمستان ۱۳۹۷ - شماره ۱۷ (علمی-پژوهشی) از ۱ تا ۲۲.

رزازان، عبدالکریم؛ بادکوبه، عباس؛ شه بخش، مهرانگیز؛ جدیدفر، پوریا؛ جهندی، رزگار. (۱۳۹۶). تأثیر استراتژی های نگهداری و تعمیرات بر چرخه عمر شناورها. شانزدهمین همایش صنایع دریایی. آذرماه. بندرعباس. فرهادی محلی، علی؛ اسدی، پیمان. (۱۳۹۵). شناسایی و تعیین استراتژی مناسب مدیریت نگهداری و تعمیرات ماشین آلات با تکنیک سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: شرکت فرآورده های گوشتی کاله آمل). سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری. استانبول - ترکیه.

محمدی، کاظم. (۱۳۹۲). تأثیر و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در سیستم نت خودرویی دانشگاه علوم انتظامی امین. فصلنامه علمی ترویجی توسعه مدیریت منابع انسانی. شماره ۲۹ دوره سوم پاییز ۱۳۹۲. ۷-۲۶.

Higgins, L. R., Mobley, R. K., & Smith, R. (2002). Maintenance engineering handbook (pp. 1-3). New York: McGraw-Hill.

Liu, Q., Dong, M., & Chen, F. F. (2018). Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 51, 238-247.

Melchor-Hernández, C. L., Rivas-Dávalos, F., Maximov, S., Coria, V., & Moreno-Goytia, E. L. (2015). An analytical method to estimate the Weibull parameters for assessing the mean life of power equipment. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 64, 1081-1087.

Xiao, L., Song, S., Chen, X., & Coit, D. W. (2016). Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance. Reliability Engineering & System Safety, 146, 68-78.

Xie, H., Shi, L., & Xu, H. (2013). Transformer Maintenance Policies Selection Based on an Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process. JCP, 8(5), 1343-1350.

Esmaelian, M., & Bakran, H. (2014). Preventive Maintenance Scheduling with Integer Programming and Constraint Programming.

## Investigation and Leveling of Factors Affecting Preventive Maintenance and Repairs Using ISM (Case study: Roga Gostar Company)

Roohi, M., Master of Industrial Engineering, Rahbord Shomal Institute of Higher Education

Azar, A., Professor, Department of Industrial Management, Tarbiat Modares University

Ebrahimi, S. A., Assistant Professor, Management Department, Rahman Institute of Higher Education

### Abstract

**Objective:** The main purpose of this study was to identify and level the most important factors affecting preventive maintenance and repairs using interpretive structural modeling (ISM).

**Methodology:** The present study employed descriptive survey method. The data were collected through a variety of methods, including library resources and field studies (interviews and questionnaires) and the use of websites (the Internet). To identify the relationships between variables, the expert judgment system (Delphi method) was used and a questionnaire was distributed to the experts to examine the pair-wise interaction of indicators in terms of their effectiveness and impact on each other. Questionnaires that included the information for the research model were randomly distributed among 10 elites. The qualitative data were analyzed through grounded theory method and the data collected through the questionnaire were subjected to factor analysis. In this model, the initial access matrix was obtained by converting the structural self-interaction matrix into a dual value matrix (zero and one). In the next step, the relationships and leveling of the factors were determined and then the final model was drawn.

**Results:** MICMAC software was used to analyze the data obtained through the questionnaires. Based on the MICMAC matrix, it was observed that factors 1 to 7 were in the dependent region, which means that they have low driving power but a high degree of dependence on other factors. Factors 8 to 14 were in the driver power zone. These factors have high driving power with minimal dependence.

**Conclusion:** According to the model obtained from the ISM technique, the required budget index was identified as the most effective factor. Therefore, we must first identify the necessary budget factors for maintenance and repair. The ISM graph shows a clear picture of causal relationships between the factors. Also, the appropriate checklist index was identified as the most highly influenced index.

**Keywords:** Leveling, Preventive Maintenance and Repair, Interpretive Structural Modeling (ISM)