

## اولویت بندی موانع پیاده سازی مدیریت امنیت سامانه های کنترل صنعتی با رویکرد مدل ساختار تفسیری مطالعه موردی: شرکت فولاد مبارکه اصفهان

صفرعلی تاراسی پروجنی<sup>۱</sup>، امیر هوشنگ تاجفر<sup>۲\*</sup>، محمدمهدی پرهیزگار<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور تهران غرب، ۲ و ۳- استادیار، دانشگاه پیام نور تهران

(دریافت: ۹۷/۰۵/۰۸، پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۱)

### چکیده

گرچه پیشرفت های چشم گیری در حوزه امنیت سامانه های اطلاعاتی (IS) صورت گرفته ولی مباحث امنیت سامانه های کنترل صنعتی نوپا است و هنوز اهمیت آن برای برخی سازمان ها شناخته شده نیست. به تناسب افزایش دسترسی سامانه های کنترل صنعتی و شبکه های آن ها، امنیت این سامانه ها نیز با چالش هایی روبرو شده است. از طرفی سازمان هایی که به اهمیت این موضوع پی برده اند نمی دانند چگونه و از کجا باید شروع کنند. در این پژوهش سعی شده موانع موجود در پیاده سازی مدیریت امنیت سامانه های کنترل صنعتی به صورت موردی در شرکت فولاد مبارکه به روش مدل ساختار تفسیری (ISM) سطح بندی گردد. برای این کار موانع شناسایی شده، به صورت ماتریس مقایسه زوجی در اختیار کارشناسان خبره قرار گرفت و نتایج حاصل از آن سطح بندی گردید. همچنین به روش تحلیل میک مک (MICMAC) میزان تأثیرگذاری و وابستگی موانع به دست آمد. نتایج این فرایند نشان می دهد «عدم آگاهی و دانش کارکنان» به عنوان زیربنایی ترین مانع و «غیربومی بودن طرح ها» و «نبود متولی امنیت در سازمان» موانع زیربنایی رده بعدی هستند که سازمان باید برای پیاده سازی امنیت به آن ها توجه کند. در پایان نیز به روش ضریب همبستگی اسپیرمن رابطه همبستگی بین سطح اهمیت موانع و میزان وابستگی آن ها بررسی شد که نتایج بیانگر یک رابطه معکوس قوی بین این دو مؤلفه بود. این موضوع به این معنا است که هرچه وابستگی موانع کمتر باشد، آن مانع در سطح زیربنایی تر و تأثیرگذارتری قرار دارد.

کلیدواژه ها: امنیت سامانه های کنترل صنعتی، موانع پیاده سازی امنیت، مدل ساختار تفسیری، تحلیل MICMAC

### ۱- مقدمه

شناخته شده نیست. از طرفی سازمان هایی که به اهمیت این موضوع پی برده اند نمی دانند چگونه و از کجا باید شروع کنند. هرچند برخی از سازمان ها در حال پیاده سازی سامانه مدیریت امنیت فناوری اطلاعات (ISMS) هستند و گام هایی در این زمینه برداشته اند اما تفاوت های موجود در ماهیت کار سامانه های اطلاعاتی (IT) و سامانه های کنترل صنعتی (ICS) باعث شده است تدابیر، روش ها و ابزارهای امنیت حوزه فناوری اطلاعات به سادگی قابل استفاده و پیاده سازی برای سامانه های کنترل صنعتی نبوده و چالش ها و مشکلاتی را به همراه داشته باشد [۲]. از طرفی آشنایی با مباحث امنیت در بین متولیان سامانه های کنترل صنعتی به مراتب کمتر از همکاران آن ها در حوزه فناوری اطلاعات و سامانه ها است.

فعالیت های حوزه صنعتی بشر، امروزه به سامانه های کنترل صنعتی وابسته شده که در زیرساخت های حیاتی استفاده می شوند و آن ها را کنترل می کنند. در گذشته این سامانه ها به صورت ایزوله و جدای از دیگر شبکه ها مورد استفاده قرار می گرفت؛ اما امروزه با پیشرفت فضای سایبر و مزایایی که سامانه های یکپارچه و متصل به هم برای ما فراهم می کنند، بسیاری از سامانه های کنترل صنعتی به صورت شبکه های خصوصی و یا متصل به شبکه های عمومی مانند اینترنت و اینترنت، امکان دسترسی و کنترل تجهیزات صنعتی و پشتیبانی از آن ها را در اختیار ما قرار داده اند [۱].

بررسی وضعیت سایبری جهان نشان می دهد هرروز حملات گسترده تری علیه تأسیسات و زیرساخت های کشورها صورت می گیرد. طبق گزارش های مرکز اطلاع رسانی حوادث امنیتی

گرچه پیشرفت های چشم گیری در حوزه امنیت سامانه های اطلاعاتی (IS) صورت گرفته است ولی مباحث امنیت سامانه های کنترل صنعتی نوپا بوده و هنوز اهمیت آن برای برخی سازمان ها

## ۲-۱- امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی

مفهوم امنیت در دنیای واقعی، مفهومی حیاتی و کاملاً شناخته‌شده برای بشر بوده و هست. در دوران ماقبل تاریخ امنیت مفهوم کاملاً فیزیکی را شامل می‌شد که عبارت از اصول حفظ بقا، نظیر امنیت در برابر حمله دیگران یا حیوانات و یا امنیت در زمینه تأمین غذا بود. به تدریج نیازهای دیگری چون امنیت در برابر حوادث طبیعی یا بیماری‌ها و در اختیار داشتن مکانی برای زندگی و استراحت بدون مواجهه با خطر به نیازهای پیشین افزوده شد. با پیشرفت تمدن و شکل‌گیری جوامع، محدوده امنیت ابعاد بسیار گسترده‌تری یافت و با تفکیک حوزه اموال و حقوق شخصی افراد از یکدیگر و از اموال عمومی و همچنین تعریف قلمروهای ملی و بین‌المللی به تدریج مفهوم وسیعی مانند حریم خصوصی، امنیت اجتماعی، امنیت مالی، امنیت سیاسی، امنیت ملی و امنیت اقتصادی را نیز شامل گردید. این مفاهیم گرچه دیگر کاملاً محدود به نیازهای فیزیکی بشر نمی‌شد، ولی عمدتاً تحقق و دستیابی به آن‌ها مستلزم وجود و یا استفاده از محیط‌های واقعی و فیزیکی بود [۴].

تأمین امنیت زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی صنایع کشور در عصری که تمامی فعالیت‌های صنایع به سمت الکترونیکی شدن پیش می‌رود به یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های توسعه تبدیل شده است. در این میان استفاده از یک طرح جامع امنیت برای ارتباطات صنعتی می‌تواند در حفظ دستگاه‌ها، تجهیزات و زیرساخت‌های حیاتی در صنعت کشور در مقابل حملات سایبری مؤثر واقع شود [۵].

بحران امنیت سایبری ناشی از نقض زیربنایی در معماری است. بسیاری از فناوری‌های شبکه شده ما که به صورت روزانه با آن‌ها در ارتباط هستیم ساختار امنیتی مناسبی ندارند. معماری اینترنت و بستری از نرم‌افزارهای توسعه داده‌شده در آن، فرصت بسیار خوبی در اختیار نفوذگران و بدخواهان محیط سایبری قرار داده است. این وضعیت دنیایی است که اگر زیرساخت‌ها و فناوری‌های توسعه نرم‌افزاری آن به خوبی مهندسی و تحلیل می‌شد می‌توانست در مقابل تهدیدها و ریسک‌های ناشی از آن‌ها مقاومت کرده و آن‌ها را مدیریت کند. در آن صورت وضعیت امنیت به مراتب بهتر از حال می‌شد [۶].

امنیت اطلاعات را می‌توان حفاظت اطلاعات و سامانه‌های اطلاعاتی از فعالیت‌های غیرمجاز تعریف کرد. این فعالیت‌ها عبارت‌اند از دسترسی، استفاده، افشاء، خواندن، نسخه‌برداری یا ضبط، خراب کردن، تغییر، دست‌کاری. از طرفی نیز می‌توان امنیت اطلاعات را محرمانگی، یکپارچگی و در دسترس بودن داده‌ها بدون در نظر گرفتن فرم اطلاعات اعم از الکترونیکی، چاپ

ICS-CERT تعداد حملات سایبری به سامانه‌های کنترل صنعتی در سال ۲۰۱۲ پنج برابر سال ۲۰۱۰ بوده است (۱۹۷ حادثه در سال ۲۰۱۲ در مقایسه با ۳۲ حادثه در سال ۲۰۱۰). لذا رشد سریع این حوادث موجب توجه بیشتر به امن سازی سامانه‌های کنترل صنعتی شده است [۲].

در این مقاله سعی شده است پس از آشنایی با محیط‌های کنترل صنعتی و چالش‌هایی که به عنوان موانع برای پیاده‌سازی امنیت در این محیط وجود دارد، به اولویت‌بندی موانع پرداخته شود. برای این منظور پس از انتخاب خبرگان و اجرای مدل ساختار تفسیری، نتایج آن در روش تحلیلی میک‌مک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان نیز ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی رابطه بین مولفه‌ها محاسبه می‌شود.

## ۲- آشنایی با سامانه‌های کنترل صنعتی

تقریباً تمام کارخانه‌های صنعتی برای اطمینان از عملیات ایمن و مقرون به صرفه نیاز به نوعی کنترل کننده یا سامانه کنترل دارند. در ساده‌ترین سطح، کارخانه ممکن است شامل یک موتور الکتریکی باشد که یک فن خنک‌کننده را برای کنترل دمای یک اتاق می‌چرخاند. از طرف دیگر این کارخانه می‌تواند یک راکتور هسته‌ای کامل تولید انرژی الکتریکی برای هزاران نفر از مردم باشد [۳].

در یک تقسیم‌بندی سامانه‌های کنترل صنعتی را می‌توان به دو دسته کلی کنترل فرایند و کنترل کارخانه تقسیم کرد. همچنین خود فرایند را نیز می‌توان به دودسته فرایندهای چندمرحله‌ای (بیچ) و فرایندهای پیوسته طبقه‌بندی کرد. فرایندهای بیچ بر اساس تولید مقدار مشخصی از محصول (مثلاً قرص‌های دارو) در بیچ‌ها توصیف می‌شود. فرایندهای پیوسته نیز مواد خام را به محصول کامل یا نیمه‌تمام و معمولاً در یک فرایند حالت پایدار تبدیل می‌کنند. پالایش نفت مثالی از یک فرایند پیوسته است که در فرایندی مداوم نفت خام به بنزین تصفیه می‌شود و اغلب برای سال‌ها بدون هیچ‌گونه وقفه اجرا می‌شود. صنایع غذایی و نوشیدنی، مواد شیمیایی، دارویی، نفت، فلزات، کاغذ و خمیر کاغذ، سیمان و تولید برق (اگرچه دارای محصول فیزیکی نیست)، مثال‌هایی از صنایع فرایندی هستند. در سیر روند پیشرفت فناوری، در سامانه‌های کنترل صنعتی برای کنترل این‌گونه فرایندها، سامانه‌های کنترل مختلفی نظیر «کنترل‌کننده‌های هیدرولیکی و نیوماتیکی، کنترل آنالوگ، DCS، PLC، DDC و FCS» را طراحی و به بازار ارائه کرده است [۳].

به‌طور غیرمجاز و تشخیص تغییر در صورت دستکاری غیرمجاز اطلاعات [۵]. یکپارچگی وقتی نقض می‌شود که اطلاعات نه‌فقط در حین انتقال بلکه در حال استفاده یا ذخیره شدن و یا نابودشدن نیز به‌صورت غیرمجاز تغییر داده شود. سامانه‌های امنیت اطلاعات به‌طور معمول علاوه بر محرمانه بودن اطلاعات، یکپارچگی آن را نیز تضمین می‌کنند.

**دسترس‌پذیری:** اطلاعات باید زمانی که مورد نیاز توسط افراد مجاز هستند در دسترس باشند. این بدان معنی است که باید از درست کار کردن و جلوگیری از اختلال در سامانه‌های ذخیره و پردازش اطلاعات و کانال‌های ارتباطی مورد استفاده برای دسترسی به اطلاعات اطمینان حاصل کرد [۵]. سامانه‌های با دسترسی بالا در همه حال حتی به علت قطعی برق، خرابی سخت‌افزار و ارتقاء سامانه در دسترس باقی می‌ماند. یکی از راه‌های از دسترس خارج کردن اطلاعات و سامانه اطلاعاتی درخواست‌های زیاد از طریق خدمات از سامانه اطلاعاتی است که در این حالت چون سامانه توانایی و ظرفیت چنین حجم انبوه خدمات‌دهی را ندارد از سرویس دادن به‌طور کامل یا جزیی عاجز می‌ماند.

هدف اولیه سامانه‌های کنترل صنعتی، کنترل و نظارت بر فرایند فیزیکی است (مانند برق، لوله‌های گاز، سامانه‌های کارخانه و ...) این فرایند از ترکیب حسگرها، عملگرها، کنترلرها و عملیات انسانی شکل می‌گیرد. این فرایندها ویژگی‌های خاصی دارند که با فرایندهای IT متفاوت است. در سامانه‌های مبتنی بر IT مهندسين وظیفه کنترل و مدیریت داده‌ها را برای سامانه به عهده دارند؛ بنابراین امنیت در سامانه‌های IT تمرکز بر نگهداری محرمانگی، یکپارچگی و دسترسی‌پذیری داده‌ها دارد. در صورتی که در یک سامانه کنترل صنعتی مؤلفه‌های بلادرنگ بودن و ایمنی بسیار مهم هستند. متولی امنیت در سامانه‌های صنعتی همچنین باید به عامل‌های متأثر از محیط پیرامون، تنظیمات و وابستگی‌های بین سامانه با دیگر سامانه‌ها توجه نماید و بعد دست به اقدام بزند [۷].

برخی از دلایلی که سازمان‌ها به خاطر آن به سمت امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی حرکت می‌کنند را می‌توان به صورت ذیل بیان نمود [۱]:

- نگرانی سازمان‌ها در خصوص اطمینان از قابلیت اعتماد و دسترسی‌پذیری سامانه‌های کنترل صنعتی خود
- در جهت کاهش ریسک و بهبود امنیت.
- در جهت کاهش خسارت‌های عمدی به سامانه‌ها.
- نگرانی در خصوص سلامت و ایمنی کارکنان خود
- محافظت مردم خارج از سازمان و دارایی‌ها

و یا اشکال دیگر آن دانست. سامانه مدیریت امنیت اطلاعات، با به‌کارگیری یک فرایند مدیریت مخاطرات، از محرمانگی، صحت و دسترس‌پذیری اطلاعات محافظت می‌کند و به طرف‌های ذینفع این اطمینان را می‌دهد که مخاطرات به میزان کافی مدیریت می‌شوند. سامانه مدیریت امنیت اطلاعات با فرایندهای سازمان و ساختار مدیریتی کلان یکپارچه بوده و بخشی از آن‌ها است و همچنین امنیت اطلاعات در طراحی فرایندها، سامانه‌های اطلاعاتی و کنترل‌ها، لحاظ می‌شود [۵].

شکل (۱) مفاهیم پایه امنیت اطلاعات را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مفاهیم پایه امنیت اطلاعات [۵]

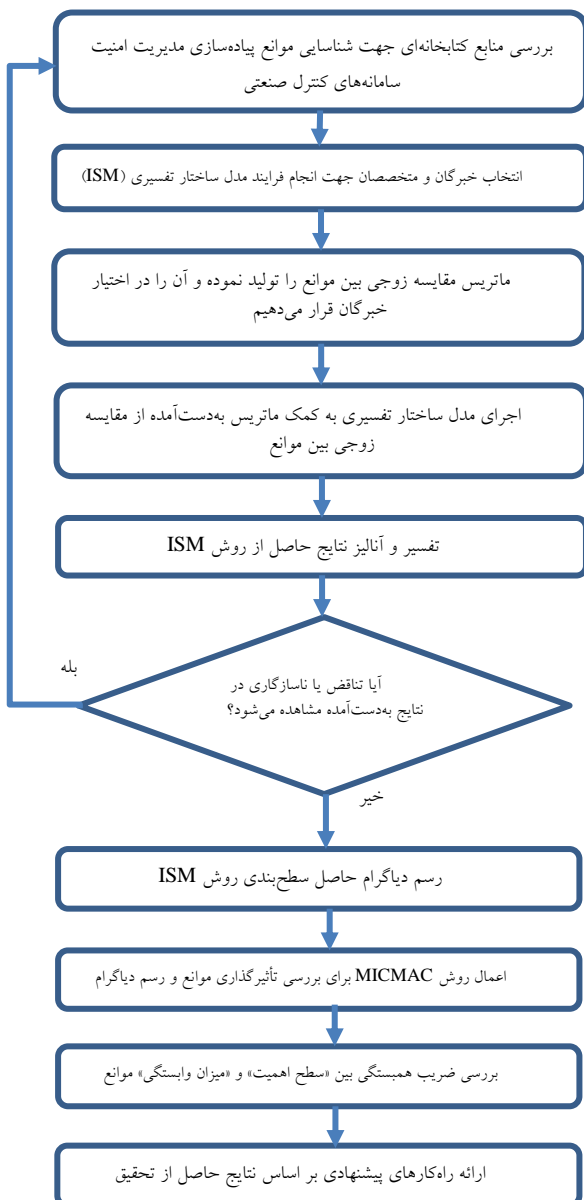
**محرمانگی:** محرمانگی یعنی جلوگیری از افشای اطلاعات به افراد غیرمجاز [۵]. به‌عنوان مثال، برای خرید با کارت‌های اعتباری بر روی اینترنت نیاز به ارسال شماره کارت اعتباری از خریدار به فروشنده و سپس به مرکز پردازش معامله است. در این مورد شماره کارت و دیگر اطلاعات مربوط به خریدار و کارت اعتباری او نباید در اختیار افراد غیرمجاز قرار گیرد و این اطلاعات باید محرمانه بماند. در این مورد برای محرمانه نگه‌داشتن اطلاعات، شماره کارت رمزنگاری می‌شود و در طی انتقال یا جاهایی که ممکن است ذخیره شود (در پایگاه‌های داده، فایل‌های ثبت وقایع سامانه، پشتیبان‌گیری، چاپ رسید و غیره) رمز شده باقی می‌ماند. همچنین دسترسی به اطلاعات و سامانه‌ها نیز محدود می‌شود. اگر فرد غیرمجازی به هر نحو به شماره کارت دست یابد، نقض محرمانگی رخ داده است. نقض محرمانگی ممکن است شکل‌های مختلف داشته باشد. مثلاً ممکن است کسی از روی شانه شما اطلاعات محرمانه نمایش داده روی صفحه‌نمایش کامپیوتر شما را بخواند. فروش یا سرقت کامپیوتر و لپ‌تاپ حاوی اطلاعات حساس و یا دادن اطلاعات محرمانه از طریق تلفن همه از موارد نقض محرمانگی است.

**یکپارچگی:** یکپارچه بودن یعنی جلوگیری از تغییر داده‌ها

۸- عدم حمایت و مشارکت لازم مدیریت ارشد سازمان و همچنین مدیران ستادی. اگر در سازمانی نتوان با دلایل قانع‌کننده مدیریت ارشد را در مورد طرح‌های جدید توجیه کرد جوسازی‌های مخالفان و هزینه‌های بالای طرح می‌تواند نظر مدیر ارشد را به سمت مخالفت با طرح سوق دهد، (B8).

### ۳- روش تحقیق

در این پژوهش از روش مدل ساختار تفسیری، تحلیل میک‌مک و ضریب همبستگی اسپیرمن برای اولویت‌بندی و بررسی رابطه همبستگی موانع پیاده‌سازی مدیریت امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی به صورت موردی در شرکت فولاد مبارکه استفاده شده است. دیاگرام فعالیت تحقیق در شکل (۲) ترسیم شده است.



شکل (۲): دیاگرام فعالیت تحقیق

- پذیرش همایش‌های منظم در این حوزه
- جلوگیری از افشای اطلاعات
- امن سازی اتصالات به سامانه‌های خارجی
- جلوگیری از دست رفتن سرمایه مالی سازمان
- محافظت از اعتبار و برند سازمان
- به حداقل رساندن فشار سهامداران
- و موارد مشابه دیگر.

### ۲-۲- موانع پیاده‌سازی امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی

در راستای پیاده‌سازی امنیت در سامانه‌های کنترل صنعتی چالش‌ها و موانع مختلفی وجود دارد [۸]. برای سهولت کار این ۸ مانع را با حروف B1 تا B8 شماره‌گذاری می‌کنیم:

۱- عدم آگاهی، تجربه و توانایی لازم پیمانکاران داخلی برای ارائه و پیاده‌سازی طرح‌های امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی، (B1).

۲- غیربومی بودن تأمین‌کنندگان امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی و نیز راه‌کارهای منحصربه‌فرد آن‌ها، از اعتماد سازمان‌ها در این زمینه کاسته و تمایل سازمان‌ها برای دریافت این سرویس را کاهش داده است، (B2).

۳- عدم آگاهی و دانش کافی مدیران، مسئولان و کارشناسان سامانه‌های کنترل صنعتی با مباحث امنیت، اهمیت طرح‌های امنیت را برای سازمان کم‌رنگ نموده و گاهی بسیاری از این افراد امنیت را صرفاً هزینه‌ای اضافی برای سازمان می‌دانند، (B3).

۴- دسترسی به بهترین شیوه‌ها و راه‌کارهای امنیتی پیاده‌سازی شده سخت است. بسیاری از سازمان‌هایی که طرح‌های امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی را پیاده‌سازی نموده‌اند در راستای جلوگیری از سوءاستفاده هکرها و جلوگیری از امکان نفوذ به سامانه‌ها از افشای اطلاعات مربوط به این طرح‌ها خودداری می‌کنند، (B4).

۵- طرح‌هایی که به‌طور اختصاصی برای امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی طراحی شده و در دسترس باشد، بسیار نادر می‌باشند. در حال حاضر با توجه به نو بودن مبحث امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی، در این حوزه به اندازه کافی بر روی موضوع امنیت کار نشده و اکثر طرح‌ها در حد یک نظریه بوده و به صورت عملیاتی پیاده‌سازی نشده‌اند، (B5).

۶- وابستگی شدید طرح‌های امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی به برندهای استفاده‌شده با توجه به تنوع سامانه‌ها و پروتکل‌های به‌کار رفته، ارائه یک طرح کلی امنیت را بسیار مشکل کرده است، (B6).

۷- مشخص نبودن متولی امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی در سازمان، (B7).

## ۳-۱- مدل ساختار تفسیری

با توجه به این که این تحقیق از نوع توصیفی است و به شناخت و ساختاردهی مفاهیم می‌پردازد و مؤلفه‌های مورد بررسی بیشتر جنبه مفهومی دارند، مدل استفاده‌شده برای این تحقیق «مدل ساختار تفسیری (ISM)» است. مدل ساختار تفسیری یکی از روش‌های طراحی سامانه‌ها، به‌ویژه سامانه‌های اقتصادی و اجتماعی است. مدل‌سازی ساختار تفسیری، رویکردی است که با بهره‌گیری از ریاضیات، رایانه و مشارکت متخصصان، به طراحی سامانه‌های بزرگ و پیچیده می‌پردازد. این رویکرد توسط وارفیلد معرفی و توسعه داده شد. رویکرد ISM، افراد و گروه‌ها را قادر می‌سازد که روابط پیچیده بین تعداد زیادی از عناصر را در یک موقعیت پیچیده تصمیم، ترسیم کنند و به‌عنوان ابزاری برای نظم بخشیدن و جهت دادن به پیچیدگی روابط بین متغیرها عمل می‌کند. در این روش با تحلیل تأثیر یک عنصر بر دیگر عناصر، ترتیب و جهت روابط پیچیده میان عناصر یک سامانه بررسی و بدین‌وسیله بر پیچیدگی بین عناصر غلبه می‌شود [۹].

به‌طورکلی مدل‌سازی ساختار تفسیری تکنیکی است که بررسی پیچیدگی سامانه را امکان‌پذیر نموده و سامانه را به‌گونه‌ای ساختاربندهی می‌کند که به‌سادگی قابل‌درک باشد. فرایند مدل‌سازی ساختار تفسیری، مدل‌های ذهنی غیر شفاف و مبهم از سامانه‌ها را به مدل‌های روشن و آشکار در راستای اهداف سودمندی تبدیل می‌نماید. ازجمله مزایای این روش می‌توان به قابل‌درک بودن آن برای گستره بی‌شماری از کاربران، یکپارچگی آن در ترکیب نظرات کارشناسان خبره و قابلیت کاربرد آن در مطالعه سامانه‌های پیچیده و دارای اجزای متنوع اشاره نمود [۹].

برخی کاربردهای این فن عبارتند از [۹]:

- سکسنا و همکاران (۱۹۹۲)، متغیرهای نگهداشت انرژی در صنعت.
- شارما و همکاران (۱۹۹۵)، تعیین سلسله‌مراتب اقدامات لازم برای دستیابی به اهداف آینده مدیریت ضایعات.
- بولانس و همکاران (۲۰۰۵)، تصمیم‌گیری راهبردی گروهی.
- فیصل و همکاران (۲۰۰۵)، کاهش مخاطره در زنجیره تأمین.
- کومار و همکاران (۲۰۰۸)، انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین.
- سانی و همکاران (۲۰۰۸)، مدیریت کیفیت در آموزش.

- پاندی و همکاران (۲۰۰۹)، توانمند سازهای چابکی در زنجیره تأمین.
- تیزرو و همکاران (۱۳۸۹)، طراحی مدل زنجیره تأمین چابک.

## ۳-۲- فرایند مدل ساختار تفسیری

همان‌طور که اشاره شد، مدل ساختار تفسیری، رویکرد فرایند یادگیری تعاملی است که در آن مجموعه‌ای از عناصر متفاوت در قالب یک مدل سیستماتیک جامع ساختاردهی می‌شوند و درواقع با استفاده از آن تأثیر یک متغیر بر دیگر متغیرها بررسی می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، با استفاده از این رویکرد می‌توان روابط میان متغیرها را شناسایی نمود و مدل ساختار تفسیری این عامل‌ها را ارائه نمود و درنهایت متغیرها را بر اساس قدرت نفوذ و میزان وابستگی طبقه‌بندی کرد. فرایند مدل‌سازی ساختار تفسیری در ذیل تشریح می‌گردد [۹].

## گام اول: شناسایی متغیرهای مرتبط با مسئله

این مرحله می‌تواند با بررسی مطالعات گذشته و دریافت نظر کارشناسان صورت گیرد.

## گام دوم: تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری (Structural Self-Interaction Matrix)

در این مرحله متغیرهای مسئله به‌صورت دوبه‌دو و زوجی باهم بررسی می‌شوند و پاسخ‌دهنده با استفاده از نمادهای زیر به تعیین روابط بین متغیرها می‌پردازد.

V: متغیر i به تحقق متغیر j کمک می‌کند.

A: متغیر j به تحقق متغیر i کمک می‌کند.

X: متغیر i و j هر دو به تحقق هم کمک می‌کنند.

O: متغیر i و j باهم ارتباط ندارند.

## گام سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه

در این مرحله ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دودویی تبدیل می‌شود. از این طریق، ماتریس دسترسی اولیه به دست می‌آید. از طریق تبدیل نمادهای O، X، V و A به صفر و یک برای هر متغیر، هر ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دودویی تبدیل شده که به‌اصطلاح ماتریس دسترسی اولیه خوانده می‌شود. قوانین تبدیل این نمادها به شرح زیر است:

- در صورتی که ورودی (i) ام (که محل تلاقی سطر i و ستون j) در ماتریس خود تعاملی ساختاری V باشد در ورودی (i) ام در ماتریس دسترسی یک و در ورودی (j) ام، صفر قرار داده می‌شود.

مجموعه خروجی یک متغیر: شامل اجزایی از سامانه است که از آن جزء نشأت می‌گیرد. برای تعیین مجموعه متأخر مربوط به هر جزء سطر مربوط به آن را باید بررسی کرد. تعداد "۱"های این سطر نشان‌دهنده خطوط جهت‌داری است که از آن جزء خارج می‌شود.

مجموعه ورودی یک متغیر: شامل اجزایی از سامانه است که به آن جزء منتهی می‌شود. برای تعیین مجموعه متقدم هر جزء ستون مربوط به آن بررسی می‌شود. تعداد "۱"های این ستون نشان‌دهنده خطوط جهت‌داری است که به آن جزء وارد می‌شود.

#### گام ششم: رسم مدل اولیه و نهایی ساختار تفسیری

در این مرحله با توجه به سطوح متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی یک مدل اولیه رسم و از طریق حذف انتقال‌پذیری‌ها در مدل اولیه مدل نهایی به‌دست می‌آید.

#### گام هفتم: تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی

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. در واقع 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 جمع‌کردن ورودی‌های "۱" در هر سطر و ستون قدرت نفوذ و میزان وابستگی متغیرها به‌دست می‌آید. بر همین اساس، نمودار قدرت نفوذ-وابستگی ترسیم می‌شود.

#### ۳-۳- بررسی ضریب همبستگی

در تحقیق همبستگی هدف اصلی آن است که مشخص شود آیا رابطه‌ای بین دو یا چند متغیر کمی (قابل‌سنجش) وجود دارد و اگر این رابطه وجود دارد اندازه و حد آن چقدر است؟ هدف از مطالعه همبستگی ممکن است وجود یا عدم وجود رابطه بین دو متغیر و به‌کارگیری روابط در انجام پیش‌بینی‌ها باشد. مطالعات همبستگی تعدادی از متغیرهایی را که تصور می‌رود با مسئله مرتبط هستند ارزیابی می‌کند. میزان رابطه بین دو متغیر معمولاً به‌عنوان یک ضریب همبستگی بیان می‌شود که عددی بین صفر و یک است. دو متغیری که به هم وابسته نیستند، ضریبی نزدیک

- در صورتی که ورودی  $(i, j)$  ام (که محل تلاقی سطر  $i$  و ستون  $j$ ) در ماتریس خود تعاملی ساختاری  $A$  باشد در ورودی  $(i, j)$  ام در ماتریس دسترسی صفر و در ورودی  $(j, i)$  ام، یک قرار داده می‌شود.
- در صورتی که ورودی  $(j, i)$  ام (که محل تلاقی سطر  $i$  و ستون  $j$ ) در ماتریس خود تعاملی ساختاری  $X$  باشد در ورودی  $(j, i)$  ام در ماتریس دسترسی یک و در ورودی  $(i, j)$  ام، یک قرار داده می‌شود.
- در صورتی که ورودی  $(j, i)$  ام (که محل تلاقی سطر  $i$  و ستون  $j$ ) در ماتریس خود تعاملی ساختاری  $O$  باشد در ورودی  $(j, i)$  ام در ماتریس دسترسی صفر و در ورودی  $(i, j)$  ام، صفر قرار داده می‌شود.
- در صورتی که  $i=j$  باشد در ورودی ماتریس دسترسی یک قرار داده می‌شود.

#### گام چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی

پس از آن که ماتریس دسترسی اولیه به‌دست آمد، با وارد نمودن انتقال‌پذیری در روابط متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی به دست می‌آید. این یک ماتریس مربعی است که هر یک از درایه‌های  $i, j$  ام آن هنگامی که عنصر  $i$  ام به عنصر  $j$  ام با هر طولی دسترسی داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است. روش به‌دست آوردن ماتریس دسترسی با استفاده از نظریه اویلر است که در آن ماتریس مجاورت را به ماتریس واحد اضافه می‌کنیم و سپس این ماتریس را در صورت تغییر نکردن درایه‌های ماتریس به توان  $n$  می‌رسانیم. فرمول زیر روش تعیین ماتریس دسترسی را با استفاده از ماتریس مجاورت نشان می‌دهد:

$$\begin{aligned} \text{مرحله اول: (۱)} & \quad A+I \\ \text{مرحله دوم: (۲)} & \quad M=(A+I)^n \end{aligned}$$

ماتریس  $A$  ماتریس دسترسی اولیه،  $I$  ماتریس همانی و  $M$  ماتریس دسترسی نهایی است. عملیات به توان رساندن ماتریس باید طبق قاعده بولین باشد که بر این اساس داریم:

$$1 \times 1 = 1, \quad 1 + 1 = 1$$

#### گام پنجم: بخش‌بندی سطح

در این گام، ماتریس دسترسی به سطوح مختلف دسته‌بندی می‌شود. تفکیک سامانه به سطوح مختلف به شفاف‌سازی نقش هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده و تعامل طرفینی آن‌ها کمک و فرایند تجزیه و تحلیل آن‌ها را نیز تسهیل می‌نماید. در این مرحله با استفاده از ماتریس‌های دسترسی نهایی، مجموعه خروجی و ورودی برای هر متغیر به‌دست می‌آید. مجموعه خروجی و ورودی برای یک متغیر به صورت زیر تعریف می‌شود:

**۳-۵- جامعه و ویژگی کارشناسان خبره پژوهش**

با توجه به تخصصی بودن موضوع امنیت برای سامانه‌های کنترل صنعتی و نو بودن این موضوع در سطح جهان و همچنین موردی بودن این پژوهش در فولاد مبارکه به‌عنوان بزرگ‌ترین فولادساز خاورمیانه، جامعه مورد نمونه از کارشناسان خبره و متخصصین در فولاد مبارکه انتخاب شدند. ویژگی مورد استفاده برای انتخاب کارشناسان خبره در ذیل آمده است:

- \* سابقه فعالیت حداقل ۸ سال در حوزه سامانه‌های کنترل صنعتی یا فناوری اطلاعات.
- \* دارای مدرک تحصیلی مرتبط حداقل لیسانس و بالاتر.
- \* علاقه‌مند به شرکت در فعالیت تحقیقاتی مورد اشاره.
- \* شرکت در حداقل یک دوره آموزش امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی.

**۴- یافته‌ها و نتایج تحقیق**

**۴-۱- اجرای مدل ساختار تفسیری**

برای این کار ابتدا ۲۰ نفر از کارشناسان خبره که ویژگی خبرگان را دارند از نواحی مختلف تولیدی انتخاب می‌کنیم. این افراد توسط مدیریت نواحی تولیدی، واحد مهندسی کارخانه و واحد IT به عنوان نماینده امنیت سامانه‌های کنترل صنعتی معرفی شده‌اند. در این مرحله ماتریس مقایسه‌ای بین موانع در اختیار کارشناسان خبره قرار گرفت که نتیجه آن به‌صورت جدول (۱) و تبدیل عددی آن به‌صورت جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): نمونه ماتریس مقایسه زوجی

B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	
O	O	A	X	A	A	O	B1
O	O	O	O	V	O		B2
V	V	V	O	O			B3
O	O	A	X				B4
O	O	X					B5
O	O						B6
V							B7

برای جمع‌بندی نظرات همه ۲۰ خبره، ماتریس‌های عددی آن‌ها تهیه‌شده و درایه به درایه جمع زده می‌شود تا ماتریس اولیه حاصل جمع آن‌ها به دست آید. برای این‌که درایه‌های ماتریس به‌دست‌آمده به صفر و یک تبدیل شود از نتایج به‌دست‌آمده mode می‌گیریم:

$$V(i,j)=0 \text{ if } ss(i,j) \leq \text{mode}(ss) \quad (5)$$

$$V(i,j)=1 \text{ if } ss(i,j) > \text{mode}(ss) \quad (6)$$

که در آن،  $ss(i,j)$  درایه‌های ماتریس حاصل جمع و  $V(i,j)$  درایه‌های ماتریس حاصل از محاسبه mode است. Mode یک سری عددی، عددی است که بیشترین تکرار را در آن سری داشته باشد [۸].

صفر و دو متغیری که بسیار به هم وابسته‌اند، ضریبی نزدیک به یک دارند. دو متغیر می‌توانند به‌صورت معکوس به هم وابسته باشند، در چنین حالتی ضریب وابستگی عددی منفی است؛ در این صورت ضریب رابطه قوی معکوس، نزدیک به منفی یک است [۱۰].

**۳-۴- فرضیه و نوع ضریب همبستگی**

در این تحقیق برای بررسی ضریب همبستگی بین دو متغیر «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع فرضیه‌های زیر را تعریف می‌کنیم:

**فرض صفر:** هیچ رابطه‌ای بین «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع وجود ندارد. ( $H_0$ )

$$H_0: P=0 \quad (3)$$

**فرض یک (مخالف):** بین «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع رابطه همبستگی وجود دارد. ( $H_1$ )

$$H_1: P \neq 0 \quad (4)$$

در روابط بالا P همبستگی بین دو متغیر است که مستقل از واحد اندازه‌گیری است. از آنجایی که مطمئن نیستیم نمونه آماری در کدام سمت منحنی نرمال قرار می‌گیرد، باید خود را در معرض نتایج آزمون‌های معنی‌دار دوطرفه قرار دهیم. لذا باید نتایج آزمون به سطح معنی‌دار یعنی میزان خطا کوچک‌تر از «۰,۰۲۵» برسد. اگر نتایج آزمون فرضیه صفر به سطح معنی‌دار نرسد، فرضیه رد می‌شود. ضریب همبستگی بین صفر تا ۰/۳۰ نشان‌دهنده همبستگی ناچیز است. ضریب همبستگی بین ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ نشان‌دهنده همبستگی ضعیف است. ضریب همبستگی بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۰ نشان‌دهنده همبستگی متوسط است. ضریب همبستگی بین ۰/۷۰ تا ۰/۹۰ نشان‌دهنده همبستگی قوی است. ضریب همبستگی بین ۰/۹۰ تا ۱ نشان‌دهنده همبستگی بسیار قوی است [۱۱].

در این پژوهش داده‌های ما شامل نتایج سطح‌بندی موانع در روش ISM و همچنین میزان وابستگی به‌دست‌آمده از روش میک مک، داده‌های کیفی و رتبه‌ای هستند؛ لذا از روش ضریب همبستگی اسپیرمن که یکی از روش‌های ناپارامتریک است برای تعیین همبستگی استفاده می‌کنیم و نتایج را به کمک نرم‌افزار SPSS به‌دست می‌آوریم. ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن توسط چارلز اسپیرمن (۱۸۶۳-۱۹۴۵) روانشناس و آماردان انگلیسی در سال ۱۹۰۴ معرفی شد. این ضریب که با P نشان داده می‌شود، میزان همبستگی رابطه‌ای میان دو متغیر ترتیبی را نشان می‌دهد و به‌عبارت دیگر متناظر ناپارامتری ضریب همبستگی پیرسون است. در این ضریب به‌جای استفاده از خود مقادیر متغیرها، از رتبه‌های آنان استفاده می‌شود.

جدول (۴): ماتریس نهایی به دست آمده از ماتریس اولیه جمع بندی شده

	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	
B1	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۴
B2	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۵
B3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۷
B4	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۴
B5	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۴
B6	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۴
B7	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲
B8	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
	۳	۲	۶	۶	۶	۱	۱	۶	

حال مهم ترین قسمت ISM یعنی سطح بندی بین موانع را انجام می دهیم. برای این کار ابتدا جدول (۵) را ایجاد می کنیم. منظور از مجموعه ورودی برای هر متغیر، متغیرهایی هستند که آن متغیر به آن ها وابسته است؛ به عبارت ساده تر در ماتریس نهایی در ستون زیر متغیر، آن درایه ها یک هستند. منظور از مجموعه خروجی برای هر متغیر، متغیرهایی است که این متغیر زمینه ساز به وجود آمدن آن ها است، به عبارت ساده تر در ماتریس نهایی در سطر روبروی متغیر، آن درایه ها یک هستند. مجموعه مشترک نیز اشتراک مجموعه ورودی و مجموعه خروجی است.

جایی که مجموعه مشترک و مجموعه خروجی دقیقاً یکی باشند، آن متغیرها در یک سطح قرار می گیرند. متغیرهای مشخص شده در این مرحله از جدول حذف شده و مراحل دوباره تکرار می شود تا سطوح بعدی مشخص شود. توجه شود که در هر مرحله تنها یک سطح به دست می آید. این کار را تا جایی که سطح همه متغیرها مشخص گردد ادامه می دهیم. این فعالیت به کمک نرم افزار متلب با تابعی به نام ISMLlevels انجام گرفته است که در پیوست آورده شده است.

جدول (۵): مرحله اول سطح بندی کردن متغیرها

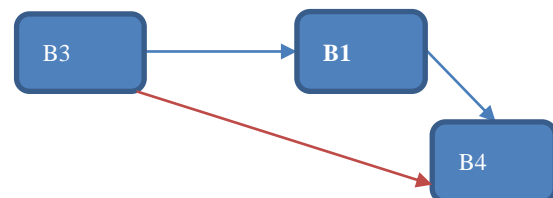
موانع	مجموعه ورودی	مجموعه خروجی	مجموعه مشترک	سطح
B1	B1,B2,B3, B4,B5,B6	B1,B4,B5,B6	B1,B4,B5, B6	1
B2	B2	B1,B2, B4,B5,B6	B2	
B3	B3	B1,B3,B4, B5,B6, B7,B8	B3	
B4	B1,B2,B3, B4,B5,B6	B1,B4, B5,B6	B1,B4,B5, B6	1
B5	B1,B2,B3, B4,B5,B6	B1,B4, B5,B6	B1,B4,B5, B6	1
B6	B1,B2,B3, B4,B5,B6	B1,B4, B5,B6	B1,B4,B5, B6	1
B7	B3,B7	B7,B8	B7	
B8	B3,B7,B8	B8	B8	1

جدول (۲): ماتریس اولیه برای نمونه تکمیل شده جدول ۴-۱

B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	B1
۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	B2
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	B3
۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	B4
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B5
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B6
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	B7
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	B8

جدول (۳) ماتریس اولیه جمع بندی شده از تمامی ماتریس های اولیه، و جدول (۴) ماتریس نهایی به دست آمده از آن را نشان می دهد.

ماتریس اولیه در اصل ماتریسی است که تأثیر مستقیم موانع برهمدیگر را نشان می دهد. به عنوان مثال اگر درایه ای که مقایسه بین مانع سطر B3 و ستون B1 را نشان می دهد ۱ باشد یعنی مانع B3 بر مانع B1 تأثیر مستقیم دارد. حال اگر دقت کنیم B1 نیز بر B4 تأثیر مستقیم دارد ولی ماتریس اولیه تأثیر غیرمستقیم B3 بر B4 را نشان نمی دهد. در ماتریس نهایی تأثیرهای غیرمستقیم نیز محاسبه می شود؛ یعنی اگر B3 بر B1 و B1 بر B4 تأثیر داشت، پس B3 هم بر B4 تأثیر غیرمستقیم دارد. این موضوع را به کمک نظریه اوپلر با روابط (۱) و (۲) در شکل (۳) نشان دادیم.



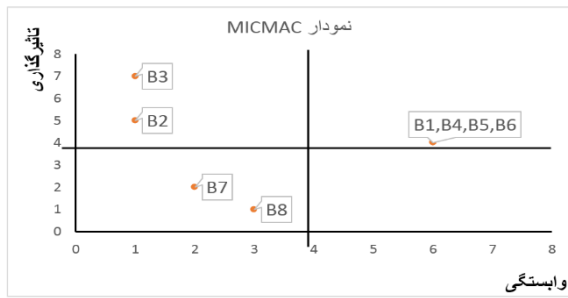
شکل (۳): تأثیر غیرمستقیم متغیرها

در این پژوهش به کمک برنامه متلب این روابط غیرمستقیم کشف و در ماتریس نهایی گنجانده می شود؛ برنامه مورد نظر در پیوست با نام Boolean Production آورده شده است.

جدول (۳): ماتریس اولیه تمامی خبرگان

B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B1
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	B2
۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	B3
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B4
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B5
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	B6
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	B7
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	B8





شکل (۵): میزان تأثیرگذاری و وابستگی موانع

۴-۳- یافته‌های ضریب همبستگی

همان‌طور که مقادیر ارائه‌شده در جدول (۸) نشان می‌دهد، ضریب همبستگی اسپیرمن به‌دست‌آمده به کمک نرم‌افزار SPSS برابر ۰/۹۰۷- است که بیانگر یک رابطه همبستگی معکوس بسیار قوی است. درصد خطا نیز برابر ۰/۰۰۲ است که کوچک‌تر از ۰/۰۲۵ بوده و بیانگر معنی‌دار بودن ضریب همبستگی است. در نتیجه فرض صفر ( $H_0$ ) مبنی بر عدم وجود رابطه‌ای بین «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع رد می‌شود و رابطه بین «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع به‌صورت معکوس برقرار است. این موضوع بدین معنی است که با افزایش رتبه سطح‌بندی موانع میزان وابستگی موانع کاهش پیدا می‌کند. به عبارت ساده‌تر هرچه وابستگی موانع کمتر باشد، آن مانع در سطح زیربنایی‌تر و تأثیرگذارتری قرار دارد.

جدول (۸): محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن

	Level	Dependance
Level Correlation Coefficient	1.000	-.907
Sig.(2-tailed)	.	.002
N	8	8
Dependance Correlation Coefficient	-.907	1.000
Sig.(2-tailed)	.002	.
N	8	8

۵- نتیجه‌گیری

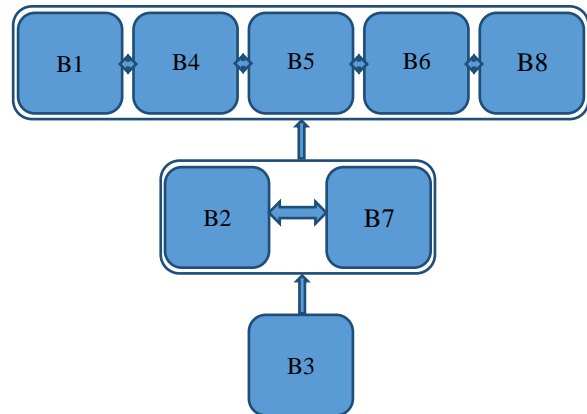
نتایج به‌دست‌آمده از روش ISM نشان می‌دهد همه متغیرهایی که در یک سطح قرار می‌گیرند بر همدیگر اثر متقابل دارند و متغیرهایی که در سطح‌های پایین‌تر (سطح ۳ پایین‌ترین سطح و سطح ۱ بالاترین سطح است) قرار دارند بر متغیرهای سطح‌های بالاتر تأثیرگذار هستند. به‌عنوان‌مثال نتایج حاصل از جدول (۶) نشان می‌دهد متغیرهای B1, B4, B5, B6, B8 که در سطح ۱ قرار دارند بر همدیگر تأثیر متقابل دارند و متغیر B3 که در پایین‌ترین سطح، یعنی سطح ۳ قرار دارد بر متغیرهای سطح‌های بالاتر تأثیر دارد ولی متغیرهای دیگر بر آن تأثیر ندارند. لذا متغیر B3 یک متغیر مستقل است.

نتیجه حاصل از سطح‌بندی موانع در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶): نتیجه سطح‌بندی موانع

سطح	B1
سطح ۱	عدم‌حمایت مدیر ارشد (B8) وابستگی به برند (B6) نادر بودن طرح‌های موجود (B5) سخت‌بودن دسترسی به بهترین شیوه‌ها (B4) عدم تجربه و توانایی پیمانکار داخلی (B1)
سطح ۲	نبود متولی امنیت (B7) غیربومی بودن طرح‌ها (B2)
سطح ۳	عدم آگاهی و دانش کارکنان (B3)

در شکل (۴) موانع به ترتیب تأثیرگذاری و زیربنایی بودن از پایین به بالا قرار گرفته‌اند. این نکته قابل توجه است که تمامی موانعی که در یک سطح قرار می‌گیرند بر همدیگر تأثیرگذار هستند:



شکل (۴): موانع به ترتیب تأثیرگذاری

۴-۲- تحلیل میک‌مک

در ماتریس نهایی حاصل جمع مقادیر هر ستون میزان وابستگی آن متغیر و حاصل جمع مقادیر هر سطر میزان تأثیرگذاری را نشان می‌دهد. جدول (۷) این مقادیر را نشان می‌دهد:

جدول (۷): مقادیر تأثیرگذاری و وابستگی موانع

موانع	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1
تأثیرگذاری	۱	۲	۴	۴	۴	۷	۵	۴
وابستگی	۳	۲	۶	۶	۶	۱	۱	۶

نمودار شکل (۵) میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری موانع را به روش تحلیل MICMAC نشان می‌دهد.

## ۶- منابع

- [1] E. Luijff, and B. Jan te Paske, "Cyber Security of Industrial Control Systems," TNO, The Hague, The Netherlands, 2015.
- [2] W. Knowles, D. Prince, and D. Hutchison, "A survey of cyber security management in industrial control systems," Science Direct Journal, Published by Elsevier B.V, 3 March 2015.
- [3] S. Akbari, "The Basics of Distributed Control Systems," Tehran, Publishing Idehnegar, 2014. (In Persian)
- [4] G. D. Sadowsky, X. James, A. Greenberg, B. J. Mack, and A. Schwartz, "Information Technology Security Handbook," USA, publisher: The World Bank, 2003.
- [5] "International Standard Organization," ISO 27001 Edition 2005: Information Technology, Security Techniques, Information Security Management Systems, Requirements, Translation: Institute for Standard and Industrial Research of Iran, 2008. (In Persian)
- [6] T. J. Mowbray, "Cybersecurity Managing Systems," Conducting Testing, and Investigating Intrusions, Indiana (USA), John Wiley & Sons, 2014.
- [7] J. M. Colbert and E. K. Alexander, "Cyber-security of SCADA and other Industrial Control Systems," Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [8] S. Tarasi, "Identification and Prioritization of Barriers to Implementing Industrial control systems Security Management with Interpretative Structural Modeling (ISM)," Case Study of Mobarakeh Steel Co., Master's thesis, Payame Noor University Tehran West, 2018. (In Persian)
- [9] A. Azar and F. Khosravani, "Investigating Soft Operations (Problems Structural Approaches)," Tehran, the publisher of the Industrial Management Organization, 1392. (In Persian)
- [10] G. R. Khaki, "Research method with a dissertational approach," Tehran, Payame Noor University Press, 2011. (In Persian)
- [11] D. E. Hinkle, W. Wiersma, and S. G. Jurs, "Applied Statistics for the Behavioral Sciences," 5th ed. Boston, Houghton Mifflin, 2003.

همچنین می‌توان گفت، موانع موجود در سطوح ۲ و ۳ موانع زیربنایی‌تری هستند و اگر قرار باشد سازمان با توجه به محدودیت‌های خود در حوزه‌های بودجه و زمان، برای حل موانع اولویت در نظر بگیرد، بایستی ابتدا موانع سطح ۳ و سپس موانع سطح ۲ برطرف گردد و سپس به موانع بالاتر بپردازد.

نتایج حاصل از سطح‌بندی موانع در این پژوهش نشان می‌دهد مهم‌ترین مانع بر سر راه اجرای مدیریت امنیت «عدم آگاهی و دانش کافی مدیران، مسئولان و کارشناسان سامانه‌های کنترل صنعتی نسبت به مباحث امنیت است». این موضوع باعث شده است اهمیت طرح‌های امنیت برای سازمان کم‌رنگ شده و گاهی بسیاری از این افراد امنیت را صرفاً هزینه‌ای اضافی برای سازمان بدانند.

همچنین نتایج حاصل از تحلیل MICMAC نشان می‌دهد که متغیرهای B3 و B2 متغیرهای مستقل و کلیدی هستند و متغیرهای B1، B4، B5 و B6 از درجه وابستگی بالایی برخوردار هستند. این نتایج تا حدودی هم‌راستا با نتایج حاصل از مرحله تحلیل ISM است.

نتایج به‌دست‌آمده از ضریب همبستگی اسپیرمن نیز نشان می‌دهد بین «میزان وابستگی» و «سطح اولویت» موانع، همبستگی شدید معکوس برقرار است. این موضوع بدین معنی است که با افزایش رتبه سطح‌بندی موانع، میزان وابستگی موانع کاهش پیدا می‌کند. به عبارت ساده‌تر هرچه مانع در سطح زیربنایی‌تر و تأثیرگذارتری قرار داشته باشد، وابستگی آن کمتر است.

```

f=mode(a(:));
a(a<=f)=0;
a(a~=0)=1;
a=a-diag(diag(a));
end
3) ISMLevels
function level=ISMLevels(a)
[n,~]=size(a);
aa= 1:n;
counter=1;
level={ };
while isequal(a, []) == 0
[n,~]=size(a);
[r, s, ~] = find(a);
enter={n};
exit={n};
same={n};
c=[];
for i=1:n
enter{i}=r(s==i);
exit{i}=s(r==i);
same{i}=intersect(enter{i},exit{i});
if isequal(exit{i},same{i}) == true
c=[c i];
end
end
a(:,c)=[];
a(c,:)=[];
level{counter}=aa(c);
counter=counter+1;
aa(c)=[];
end

```

## پیوست ۱

توابع نوشته‌شده در برنامه متلب

**1) Boolean Production**

function [T i] = BooleanProduction(a)

```

[n, ~]=size(a);
a= eye(n)+a;
a(a~=0)=1;
F=cell(n);
F{1}=a;
D=a;
for i=2:n
D=D^i;
D(D~=0)=1;
F{i}=D;
if F{i} == F{i-1}
break
end
end;
T=zeros(n);
for j=1:i
T=F{j}+T;
end
T=T+eye(n);
T(T~=0)=1;
end

```

**2) ISMAggregation**

function [a, np]=ISMAggregation(DataAgg)

```

[n,m]=size(DataAgg);
np=n/m;
a=zeros(m);
for i=1:m
for j=0:np-1
a(i,:)=DataAgg(m*j+i,:)+a(i,:);
end
end
end

```

## Prioritizing Obstacles to Industrial Control Systems Security Management Implementation, using Interpretive Structural Modeling (ISM) Approach

S. A. Tarasi Boroujeni, A. H. Tajfar\*, M. M. Parhizgar

\*Tehran Porvince Payame Noor University

(Received: 30/07/2018, Accepted: 13/10/2018)

### ABSTRACT

*Although information system security has been developed extensively, industrial control systems (ICS) security is a newly developed concept and is still unknown to some organizations. Increasing the access to ICS and the related networks, has increased the challenges their security is facing. On the other hand, to those organizations which are aware of the importance of this issue, the roadmap is vague. In this article, we prioritize the obstacles to implementation of ICS security management, using the interpretive structural modeling (ISM). Mobarakeh Steel Company is studied as a case here. The identified barriers, are investigated by expert staff in the form of pair wise comparison matrices, and the results are prioritized. Also, by using Matriced' Impacts Croise's Multiplication Applique'e a UN Classement (MICMAC) analysis method, the barriers effectiveness and dependencies are obtained. Analyzing the results indicates the "inawareness and lack of knowledge of staff" as the most fundamental obstacle, and "non-native plans" and "lack of the security supervisor in the organization" as the elements that should be considered while the organization is dealing with cyber security. At the end, the correlation relation between the obstacles' significance level and their dependencies is studied using Spearman correlation coefficient method, revealing strong inverse relation between those two elements. This shows that less dependent obstacles have effects which are stronger and in the more fundamental level.*

**Keywords:** Industrial Control Systems Security, Obstacles to Implementing Security, Interpretive Structural Modeling, MICMAC

---

\* Corresponding Author Email: amir\_tajfar@yahoo.co.uk