Journal of Structural and Construction Engineering, 8(11), 2022, pp. 61-76

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Prioritizing safety risk factors in thermal power plant construction projects

Ali Parvari[1]*, Reza Goudarzi[2]

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran
2 -M.Sc., Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran

ABSTRACT

Thermal power plants are one of the most sensitive centers in Iran in terms of occupational accidents. The first step in controlling occupational accidents in this area is to identify their causes. In this research, for the first time, the dimethophase technique and Dalalah method have been used to evaluate and rank safety risks in thermal power plant construction projects. This research has been conducted as an expert-centered. For this purpose, 15 experts with appropriate work experience and familiarity with risk and risk management were purposefully selected. A total of 17 indicators in three dimensions of human, equipment and management were extracted based on literature review and research background and were approved by industry experts through a questionnaire. Then, the effect and effectiveness of the indices were investigated using the dimethophase method. The results show that among the human sub-criteria, the lack of safety training and practice is the most effective; Among the equipment sub-criteria, the lack of first aid equipment is the most effective and the criterion of lack of proper maintenance is very effective. Among the management sub-criteria, the lack of leadership and support of senior managers of the organization on the issue of safety is the most effective and the lack of creating a safety culture is very effective. In the end, the factors were ranked using the Dallah method; The results indicate that among the human sub-criteria; Lack of safety training and practice among equipment sub-criteria; Lack of proper maintenance and management sub-criteria; Lack of proper planning and prevention have gained the first ranks.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 January 2020
Revise Date: 16 October 2020
Accept Date: 20 January 2021

Keywords:
Risk
Safety
Thermal Power Plant
Dimethyl Phase
Dalalah Method

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.214514.2039

*Corresponding author: Ali Parvari
Email address: aliparvari@iaukhomein.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

اولویت‌بندی عوامل افزایش ریسک ایمنی در پروژه‌های ساخت نیروگاه‌های حرارتی

علی پروری[1*]، رضاگودرزی[2]

۱- استادیار،گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
۲- کارشناس ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران

چکیده

نیروگاه‌های حرارتی از نقطه نظر بروز حوادث شغلی از کانون‌های فوق العاده حساس در ایران به شمار می‌رود. برای کنترل حوادث شغلی در این حوزه اولین گام شناسایی علل بروز آنهاست. در این تحقیق برای نخستین‌بار از تکنیک دیمتل‌فازی و روش دالالا جهت ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت نیروگاه‌های حرارتی بهره گرفته شده است. این تحقیق بصورت خبره محوره انجام گرفته است به همین منظور ۱۵ نفر از خبرگانی که دارای سابقه کاری مناسب و آشنایی با ریسک و مدیریت ریسک داشتند بصورت هدفمند انتخاب گردیدند. تعداد ۱۷ شاخص در سه بعد انسانی، تجهیزات و مدیریتی بر اساس مرور ادبیات و پیشینه تحقیق استخراج و توسط پرسشنامه به تایید خبرگان این صنعت رسید. سپس با استفاده از روش دیمتل‌فازی به بررسی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری شاخص‌ها پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در بین زیرمعیارهای انسانی، نبود آموزش و تمرین ایمنی از بیشترین تاثیرگذاری و تاثیرپذیری برخوردار است؛ در بین زیرمعیارهای تجهیزات، عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه از بیشترین تاثیرگذاری و معیار عدم تعمیر و نگهداری مناسب از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار است. در بین زیرمعیارهای مدیریتی نیز عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی از بیشترین تاثیرگذاری و عدم ایجاد فرهنگ ایمنی از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار است. در پایان با استفاده از روش دالالا به رتبه‌بندی عوامل پرداخته شد؛ نتایج حاکی از آن است که در بین زیرمعیارهای انسانی؛ نبود آموزش و تمرین ایمنی، در بین زیرمعیارهای تجهیزات؛ عدم تعمیر و نگهداری مناسب و در بین زیرمعیارهای مدیریت؛ عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب رتبه‌های اول را کسب کرده‌اند.

کلمات کلیدی: ریسک، ایمنی، نیروگاه حرارتی، روش دیمتل‌فازی، روش دالالا

سابقه مقاله:						شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.214514.2039	doi:
۱۳۹۸/۱۰/۱۴	۱۳۹۹/۰۷/۲۵	۱۳۹۹/۱۱/۰۱	۱۳۹۹/۱۱/۰۱	۱۴۰۰/۱۱/۳۰	10.22065/jsce.2021.214514.2039	

*نویسنده مسئول: علی پروری
پست الکترونیکی: aliparvari@iaukhomein.ac.ir

۱- مقدمه

با آغاز انقلاب صنعتی، موضوع حفاظت از سلامت نیروی کار از حالت فردی خارج و حالت عمومی‌تری به خود گرفت. پس از پیدایش مکتب روابط انسانی در مدیریت، توجه به ایمنی منابع انسانی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. هزینه‌های محیط‌های ناایمن بسیار شگفت آورند. اگر هزینه‌های غرامت و ضرر و زیان پرداختی به آسیب‌دیدگان در نظر گرفته شود می‌توان دریافت که عدم وجود ایمنی می تواند یک سازمان را از پا درآورد. امروزه اهمیت مدیریت ایمنی در دستیابی به کارایی سازمان‌ها به طور ویژه‌ای مورد توجه قرار گرفته است؛ کیفیت و اثربخشی سیستم ایمنی، عامل حیاتی و مهم در تحقق اهداف آنها می‌باشد. بالابودن هزینه‌های مورد نیاز برای ارائه خدمات و محصولات گوناگون و پایین بودن اثربخشی سیستم، باعث تمرکز بر روی فعالیت‌هایی برای ارتقاء عملکرد سیستم شده است [۱]. در جامعه امروزی در بسیاری از صنایع مانند پتروشیمی، نیروگاه، نفت و .... اکثرا از سیستم‌های پیچیده با تکنولوژی پیشرفته استفاده می‌شود. از آنجایی که این سیستم‌ها همواره در تعامل متقابل با انسان هستند، پتانسیل بروز خطرات ناشی از حادثه برای کاربران انسانی وجود دارد [۲].

در صنایع و مشاغل مختلفی از آنالیز ایمنی شغلی، جهت شناسایی خطرات استفاده شده است. آنالیز ایمنی شغلی روشی دقیق و نظام‌مند و از مهمترین ابزار مدیریتی جهت شناسایی خطاها، حذف خطرات و کاهش حوادث محیط کار و در نهایت افزایش بهره‌وری در فرآیند تولید می‌باشد. اجرای آنالیز ایمنی شغلی در فاز عملیات و بهره برداری برای شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات توصیه می‌گردد [۳]. نیروگاه‌ها یکی از زیرساخت‌های اساسی توسعه اقتصادی کشور هستند. در حال حاضر پروژه نیروگاه‌های حرارتی متعددی در کشور، در حال اجرا می‌باشند. اگرچه برنامه‌ریزی‌های بلند مدت برای ایجاد تنوع در روش‌های تولید انرژی، خصوصا انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد ولی نیروگاه‌های حرارتی همچنان نقش اصلی را در تولید انرژی الکتریکی عهده‌دار هستند به طوری که در سال ۱۳۸۹ ظرفیت این نیروگاه‌ها بیش از ۶۰ هزار مگاوات بوده است. این پروژه‌ها اغلب به روش کلید در دست انجام می‌شود و پیمانکار عموما مسئول طراحی، تامین تجهیزات، ساخت و راه اندازی می‌باشد. به دلایل متعددی از جمله پیچیدگی‌های فنی، نیاز به منابع ریالی و ارزی، اغلب آنها انحراف قابل توجهی از اهداف تعییین شده در زمان، هزینه، کیفیت و ... دارند بنابراین مدیریت ریسک یکی از الزامات حیاتی این پروژه‌ها است. در اغلب اوقات، ریسک معرف اثر منفی بر پروژه تلقی می گردد، در صورتی که ریسک می تواند دریچه ای بر فرصت ها، توسعه، بهبود و یا تفکر جدید نیز باشد [۴].

نیروگاه‌های حرارتی از نقطه نظر بروز حوادث شغلی از کانون‌های فوق‌العاده حساس در ایران به شمار می‌رود. اولین گام در کنترل حوادث شغلی شناسایی علل بروز آنهاست و در همین راستا شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر فرهنگ ایمنی و ارزیابی ریسک و نحوه تأثیر این مؤلفه‌ها بر مولفه‌های ایمنی به عنوان هدف اصلی این مطالعه می‌باشد. فرهنگ ایمنی یک ساختار پیچیده از نگرش‌ها، ارزش‌ها و رفتار ایمنی اعضای سازمان است که اجزای آن قابل تغییر هستند. فرهنگ ایمنی تحت تأثیر فرهنگ کلی جامعه و فرهنگ سازمانی حاکم بر هر سازمان می‌باشد [۵].

ایمنی بر حوزه مدیریتی بنا شده که شناسایی حوزه‌های ریسک آن، منجر به شناسایی ریسک‌های شغلی می‌گردد. تجزیه و تحلیل رویدادها، حوادث و شبه حوادث راهی است برای حفظ و بهبود مداوم ایمنی و فرهنگ آن. شناسایی شرایط اضطراری تهدید کننده و راه‌های حذف، کنترل و کاهش آنها کمک شایانی به کاهش بحران‌های احتمالی خواهد نمود. بررسی نکات ذکر شده نشان می‌دهد خطاهای انسانی علت بیشترین حادثه‌های صنعتی بوده و برای جلوگیری از این حوادث، آموزش اصلی‌ترین اهرم است. مطالعه و بررسی حوادث صنعتی و تجزیه و تحلیل علل و چگونگی وقوع آنها و پیدا کردن دلیل اصلی وقوع آنها به کاهش این قبیل حوادث کمک شایانی خواهد کرد. امروزه مدیریت ریسک بحرانی‌ترین قسمت در پروژه‌ها بوده و مدیریت نامناسب و پیش‌بینی ناکافی در این خصوص، عامل شکست اکثر پروژه می‌باشد.

پروژه‌های نیروگاهی شاید بیش از سایر انواع پروژه‌ها تحت تاثیر ریسک‌ها باشند؛ به گونه ای که گزارشات زیادی در خصوص ضعف عملکرد این نوع پروژه‌ها به علت تاخیرات زمانی و افزایش هزینه‌ها در دست می‌باشد. یکی از مشکلاتی که غالبا پیش روی مدیران

پروژه در پروژه‌های ساخت نیروگاهی می‌باشد، شناسایی ریسک‌ها و سپس اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس بحرانی بودن ریسک‌ها می‌باشد. تفاوت ماهیت پروژه‌ها با یکدیگر باعث شده است تا ریسک‌هایی که در بعضی از پروژه‌ها ماهیت بحرانی دارند فاقد چنین ویژگی در پروژه‌های دیگر باشند؛ ارزیابی ریسک ایمنی در ساخت نیروگاه‌های حرارتی به عنوان یکی از زیر ساخت‌های اصلی توسعه کشور اهمیت ویژه‌ای دارد. (برخوردارند)

۲- پیشینه و روش تحقیق

مدیری و همکاران [۶] به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل اثرگذار در عملکرد ایمنی با رویکرد ترکیبی دیمتل و تحلیل شبکه‌ی فازی در یک نیروگاه سیکل ترکیبی پرداختند. هدف از این مقاله شناسایی و اولویت‌بندی عوامل اثرگذار در تقویت ایمنی به منظور کاهش ریسک‌ها و بهبود عملکرد می‌باشد. در این تحقیق ۱۴ زیرعامل به روش دلفی فازی توسط نظرات خبرگان بومی‌سازی و انتخاب شدند. سپس از روش دیمتل‌فازی برای تعیین روابط، شدت اثرگذاری و اثرپذیری عوامل و از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ی برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که عوامل انسانی، تجهیزات و مدیریتی به ترتیب در بهبود عملکرد ایمنی تأثیرگذار هستند.

در مطالعه‌ای که مهاجری و همکاران [۷] با موضوع تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی پروژه‌های ساختمانی با استفاده از روش یکپارچه AHP-DEA انجام دادند در مطالعه موردی کارگاه‌های ساختمانی متعارف، بیست فعالیت دارای پتانسیل خطرزا که منجر به ده حادثه گردیده بودند به همراه دوازده عاملی که باعث حادثه شده بودند شناسایی گردیدند. در مرحله بعد از طریق پرسشنامه با استفاده از قضاوت متخصصان ایمنی و ناظران پروژه عوامل شناسایی شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که فعالیت‌های گودبرداری و کار در ارتفاع پرخطرترین فعالیت‌ها از نظر ایمنی می‌باشند. در انتها راهکارهایی برای پیشگیری و جلوگیری از بروز حوادث ناشی از این فعالیت‌ها ارائه گردید.

محمدی خواه [۸] در تحقیق دیگری به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی در پتروشیمی بندر امام (ره) با تکنیک فرآیند تحلیل شبکه پرداخت. هدف از این تحقیق، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی بود. از روش ANP و تحلیل عاملی با استفاده از نظرات خبرگان ریسک‌های ایمنی شناسایی شدند و با استفاده از نرم افزار سوپر دسیژن ریسک‌های ایمنی اولویت‌بندی گردید. نتایج حاکی از آن است که، ارزیابی ریسک به سازمان‌ها کمک می‌کند تا اولویت خود را در مباحث ایمنی به درستی شناسایی کرده و در تخصیص منابع به درستی و با دقت عمل نمایند تا بیشترین تاثیر در سیستم مدیریت ایمنی پدیدار شود.

طاهرخانی و همکاران [۹] به ارزیابی ریسک‌های ایمنی بر اساس منطق فازی در پروژه‌های ساخت مترو پرداختند. هدف از این تحقیق ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت مترو می‌باشد . در این تحقیق ابتدا شناسایی خطرات شغلی موجود در ساخت پروژه‌های مترو انجام شد و سپس اولویت‌بندی و رتبه‌بندی خطرات شناسایی شده بر اساس میزان درجه اهمیت به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی صورت گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی، رتبه‌بندی بر روی ریسک‌های ایمنی ساخت مترو انجام شد. نتایج حاکی از آن است که، عمده‌ترین ریسک فاکتورهای این عملیات به ترتیب اولویت شامل ریزش آوار در هنگام حفاری، تصادف ماشین آلات با نیروی انسانی، خطرات مرتبط با عملیات شاتکریت و نشت آبهای سطحی و زیرزمینی می‌باشد.

حسینی و همکاران [۱۰] در مقاله‌ای به ارائه مدل اختصاصی ارزیابی عملکرد مدیریت HSE در شرکت پارس‌خودرو با هدف ارتقاء ایمنی، بهره‌وری، کیفیت محصول و کاهش هزینه‌ها پرداختند. هدف از این تحقیق، ارائه مدل اختصاصی در ارزیابی عملکرد مدیریت HSE در شرکت پارس‌خودرو در راستای ارتقای ایمنی، بهره‌وری، کیفیت محصول و نیز کاهش هزینه‌ها می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا مولفه‌های عملکرد برای هر یک از ادارات از طریق بررسی مستندات و متون علمی مشابه و تشکیل گروه خبرگان صورت گرفت. برای هر داده تعدادی شاخص‌های عمومی، مشترک و تخصصی در نظر گرفته شد؛ بسته به اهمیت هر شاخص وزن هر کدام مشخص گردید.

سید مرتضی هاتفی و همکاران [۱۱] ارزیابی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک با استفاده از مدل یکپارچه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش ویکور فازی مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد از بین فاکتورهای اصلی ریسک، ریسک زمان و ریسک هزینه اهمیت بالاتری نسبت به سایر فاکتورهای ریسک دارند.

شی وهمکاران۳ [۱۲] ارزیابی و مدیریت ریسک عوامل انسانی فرایند ایمنی در مهندسی را مورد مطالعه قرار دادند. هدف این مقاله معرفی روشی جدید برای شناسایی و مدیریت عوامل انسانی است. مدل ارزیابی شامل ۵ سطح (اثر سازمانی، نظارت غیر ایمن، پیش شرط برای اقدامات غیر ایمن، اقدامات غیر ایمن و اثر غیرمنتظره) و ۲۵ عامل انسانی است. در فرایند ارزیابی ریسک، هر دو روش آنالیزی برای محاسبه مقدار پیوستگی و مقدار پیوستگی جزئی هر عامل، هر سطح و کل سیستم مورد استفاده قرار گرفت.

آدلکه و همکاران۴ [۱۳] تأثیر عوامل خارجی سازمانی بر مدیریت ریسک ساخت و ساز در شرکت‌های ساختمانی نیجریه را مورد بررسی قرار دادند. ابتدا این عوامل شناسایی و سپس توسط روش معادلات ساختاری، تاثیر آنها بررسی شد. نینگ و همکاران۵ [۱۴] مدل ارزیابی ریسک ایمنی کمی برای برنامه‌ریزی طرح‌بندی محل ساخت و ساز را ارائه کردند. هدف از این مقاله ارائه یک مدل ارزیابی ریسک ایمنی کمی، از جمله شناسایی و طبقه‌بندی عامل، تجزیه و تحلیل عامل و تابع ارزیابی، برای کمک به مدیران سایت، ارزیابی سناریوهای مختلف سایت را با دقت و جامع‌تر، ارزیابی می‌کند.

در تحقیقات گذشته به ریسک ایمنی در نیروگاه‌های در حال بهره‌برداری پرداخته شده‌است. معیارهای تاثیرگذار در ریسک ایمنی در سه دسته انسانی، تجهیزات و مدیریتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و همچنین با روش تحلیل شبکه‌ی به وزن‌دهی و اولویت‌بندی دسته‌ها نسبت به یکدیگر پرداخته شده‌است. در تحقیق حاضر به بررسی ریسک ایمنی در پروژه ساخت نیروگاه‌های حرارتی (نیروگاه‌های در حال ساخت) پرداخته شد. هر یک از معیارها به صورت تک به تک و از لحاظ علت و معلولی در دسته خود مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق برای رتبه‌بندی معیارهای مورد بررسی در دسته خود، از روش دالالا روشی متفاوت با مطالعات گذشته بهره گرفته شده‌است. معیارهای مورد بررسی با بهره‌گیری از نظرات خبرگان پالایش، اصلاح و انتخاب گردیده است و معیارهایی که به نظر میرسد تاثیرگذار در ریسک ایمنی ساخت نیروگاه‌های حرارتی می‌باشند با نظر خبرگان شناسایی و به معیارهای قبلی اضافه شده‌است.

این تحقیق بصورت خبره‌محور انجام گردیده است و از تجربیات ۱۵ تن از خبرگان پروژه‌های ساخت نیروگاه‌های حرارتی که دارای تسلط کافی به ریسک و مدیریت ریسک، دارای سابقه مناسب در ساخت پروژه‌های نیروگاهی و امکان دسترسی داشتند بهره گرفته شده است. تحقیق حاضر بر حسب هدف در حیطه تحقیق‌های کاربردی جای می‌گیرد چرا که به زمینه‌یابی برای حل یک مسأله در دنیای واقعی می‌پردازد و از نظر گردآوری اطلاعات در حیطه تحقیق‌های پیمایشی قرار دارد. امروزه با پیچیده شدن فرایند تصمیم‌گیری و دخالت عوامل مختلف، نیاز به تصمیم‌گیری‌هایی که تمام عوامل موثر در مساله را مد نظر قرار دهند، بیش از پیش نمایان گردیده‌است. از این رو محققان داخلی و خارجی، به سمت تصمیم‌گیری‌های چند معیاره رغبت نشان داده‌اند [۱۵]. روش تجزیه و تحلیل در این تحقیق تکنیک دیمتل‌فازی۶و دالالا۷ است. ابتدا با استفاده از روش دیمتل‌فازی عوامل تحقیق از نظر تاثیرگذاری و تاثیرپذیری بررسی شده و سپس توسط روش دالالا این عوامل وزن‌دهی و رتبه‌بندی می‌شوند.

۲-۱- دیمتل‌فازی

تکنیک دیمتل یکی از تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره است که هدف آن ارزیابی عوامل تحقیق از نظر روابط علی می‌باشد [۱۶]. گام‌های تکنیک دیمتل‌فازی در ادامه آورده شده است.

۲-۱-۱- محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (D)

در این گام از پاسخ دهندگان خواسته می‌شود تا میزان تأثیرگذاری معیار i بر معیار j را با استفاده جدول ۱، نشان دهند. برای در نظر گرفتن نظر همه خبرگان طبق رابطه ۱ از آن‌ها میانگین حسابی گرفته می‌شود.

[3] Deyong et al 2018
[4] Adeleke et al , 2018
[5] Xin Ning et al , 2018
[6] Fuzzy DEMATEL
[7] DALALAH

$$\tilde{z} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \ldots \oplus x^p}{p} \quad (۱)$$

در این رابطه p تعداد خبرگان و $\tilde{x}^1$ ، $\tilde{x}^2$ ، $\tilde{x}^p$ به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره ۱، خبره ۲ و خبره p می‌باشد و$\tilde{z}$ عدد فازی مثلثی به صورت $\tilde{z}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ است.

جدول۱ : طیف پنج درجه‌ای تکنیک دیمتل‌فازی

متغییر	معادل قطعی	معادل فازی
بدون تأثیر	۰	(0,0,0.25)
تأثیر کم	۱	(0,0.25,0.5)
تأثیر متوسط	۲	(0.25,0.5,0.75)
تأثیر زیاد	۳	(0.5,0.75,1)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(0.75,1,1)

۲-۱-۲- نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم

مطابق با رابطه ۲ ماتریس میانگین را نرمال کرده و آن را ماتریس H می‌نامیم. برای نرمالایزه کردن ماتریس به‌دست آمده از روابط ۲ و ۳ استفاده می‌کنیم.

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l'_{ij}}{r}, \frac{m'_{ij}}{r}, \frac{u'_{ij}}{r}\right) = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij}) \quad (۲)$$

که r از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$r = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} u'_{ij}\right) \quad (۳)$$

۲-۱-۳- محاسبه ماتریس ارتباط کامل معیارها (TC)

بعد از محاسبه ماتریس‌های فوق، ماتریس روابط کل فازی با توجه به فرمول‌های ۴ تا ۷ به‌دست می‌آید.

$$T = \lim_{k \to +\infty} (\tilde{H}^1 \oplus \tilde{H}^2 \oplus \ldots \oplus \tilde{H}^k) \quad (۴)$$

که هر درایه آن عدد فازی به صورت است $\tilde{t}_{ij} = \left(l^t_{ij}, m^t_{ij}, u^t_{ij}\right)$ است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\left[l^t_{ij}\right] = H_l \times (I - H_l)^{-1} \quad (۵)$$

$$\left[m^t_{ij}\right] = H_m \times (I - H_m)^{-1} \quad (۶)$$

$$\left[u^t_{ij}\right] = H_u \times (I - H_u)^{-1} \quad (۷)$$

در این فرمول‌ها I ماتریس یکه و H_l، H_m و H_u هر کدام ماتریس n×n هستند که درایه‌های آن را به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالاییِ اعداد فازیِ مثلثیِ ماتریسِ H تشکیل می‌دهد.

۲-۱-۴- محاسبه شدت و جهت تأثیر

مطابق با رابطه ۸ و ۹ میزان شاخص Di و Rj را محاسبه می‌نماییم. شاخص Di بیانگر مجموع سطر i ام و شاخص Rj بیانگر مجموع ستون j ام از ماتریس ارتباطات کامل (T) می‌باشد. جهت ترسیم و تحلیل نمودار نیاز به ۲ شاخص شدت اثرگذاری و اثرپذیری و جهت تأثیر می‌باشیم که با استفاده از ri و cj به دست می‌آیند. برای هر i=j خواهیم داشت:

$$\widetilde{D} = \left(\widetilde{D}_i\right)_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} \widetilde{T}_{ij}\right]_{n\times 1} \quad (۸)$$

$$\tilde{R} = \left(\tilde{R}_i\right)_{1\times n} = \left[\sum_{j=1}^{n} \widetilde{T}_{ij}\right]_{1\times n} \quad (۹)$$

که $\widetilde{D}$ و $\widetilde{R}$ به ترتیب ماتریس $1 \times n$ و $n \times 1$ هستند.

مرحله بعدی میزان اهمیت شاخص‌ها ($\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$) و رابطه بین معیارها ($\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$) مشخص می‌شود. اگر $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است.

- $ri + dj$ = شدت اثرگذاری و اثرپذیری (به عبارت دیگر هرچه مقدار ri+dj ، عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.)
- $ri - dj$ = جهت تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری (بدین صورت که اگر $ri - dj > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $ri - dj < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است).

با توجه به مقادیر محاسبه شده در فوق، مقدار شاخص $ri + dj$ و $ri - dj$ را برای معیارها و همچنین شاخص $\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$ و $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$ را برای ابعاد بدست می آوریم و سپس با استفاده از رابطه ۱۰ فازی زدایی می کنیم:

$$\text{defuuzy} = \frac{\left((u-l)+(m-l)\right)}{3} + l \quad (۱۰)$$

۲-۱-۵- ترسیم نقشه روابط شبکه (NRM)

جهت تعیین نقشه روابط شبکه (NRM)، باید ارزش آستانه محاسبه شود. با این روش می‌توان از روابط جزئی صرف‌نظر کرده و شبکه روابط قابل اعتنا را ترسیم کرد. تنها روابطی که مقادیر آنها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگتر باشد درNRM نمایش داده خواهد شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط، کافی است میانگین مقادیر دیفازی شده ماتریس T بدست آید. بعد از آنکه شدت آستانه تعیین شد، تمامی مقادیری که کوچکتر از آستانه باشد صفر شده یعنی آن رابطه علی، در نظر گرفته نمی شود.

۲-۱-۶- روش دالالا

دالالا و همکاران [۱۷] طی تحقیقی بیان کردند که می‌توان از ماتریس ارتباطات مستقیم دیمتل‌فازی وزن معیارها را محاسبه کرد. بر این اساس رابطه ۱۱ را ارائه دادند.

$$Wi = \{(Di + Ri)^2 + (Di - Ri)^2\}^{1/2} \quad (۱۱)$$

در این رابطه D حاصل مجموع سطری درایه‌های ماتریس ارتباطات کل و R مجموع ستونی درایه‌های ماتریس ارتباطات کل است.

۳- طراحی پرسشنامه

اصلی‌ترین روش‌ها و ابزارهای جمع‌آوری داده‌ها را اسناد و مدارک، مشاهدات، مصاحبه و پرسشنامه تشکیل می‌دهند. در تحقیق حاضر جهت جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه استفاده شده است. پرسشنامه یکی از ابزار کسب اطلاعات در تحقیق‌های پیمایشی است که داده‌ها را به طور مستقیم گردآوری می‌نماید.

۳-۱- روایی و پایایی پرسشنامه

با توجه به خبره محور بودن تحقیق در این بخش ابتدا بر اساس مرور ادبیات و پیشینه تحقیق بخصوص تحقیقاتی که مدیری، مهاجری و ارقامی بهمراه همکارانشان انجام دادند شاخص‌های تاثیر گذار در سه بعد شناسایی و استخراج شدند. در مرحله بعد از خبرگانی که بر ریسک و مدیریت ریسک تسلط کافی داشتند و دارای سابقه کاری مناسب در پروژه‌های ساخت نیروگاه‌های حرارتی بودند خواسته شد تا معیارهای که از نظر هریک از آنها دارای اهمیت قابل توجهی هستند انتخاب گردند. در مرحله بعد به جمع‌بندی شاخص‌های انتخابی خبرگان پرداخته شد و در نهایت به ۱۷ شاخص دست یافتیم. جهت بومی‌سازی این عوامل طی پرسشنامه‌ای از ۱۵ نفر از خبرگان خواسته شد که بر اساس طیف ۱ تا ۵ لیکرت (۱= اهمیت خیلی کم، ۲= اهمیت کم، ۳= اهمیت متوسط، ۴= اهمیت زیاد، ۵= اهمیت خیلی زیاد) به هر شاخص امتیاز دهند. پس از امتیازدهی خبرگان، میانگین امتیازات هر شاخص محاسبه گردید؛ با توجه به اینکه میانگین هیچ شاخصی از عدد ۳ کمتر نگردید نشان از آن دارد که تمامی شاخص‌ها مورد تایید خبرگان است و پرسشنامه از لحاظ روایی مورد تایید می‌باشد. نتایج محاسبه میانگین شاخص‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲ : معرفی عوامل تحقیق

معیار اصلی	زیرمعیار	میانگین امتیاز
انسانی	تمایل به رفتار پرخطر	۳,۵۳۳
	عدم مهارت	۳,۹۳۳
	نبود آموزش و تمرین ایمنی	۳,۸۶۷
	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	۳,۲۶۷
	رقابت در انجام فعالیت های پرخطر	۳,۴۰۰
	عدم مشارکت در رعایت مسائل ایمنی	۳,۶۰۰
تجهیزات	نداشتن تجهیزات حفاظت فردی	۴,۰۶۷
	عدم تعمیر و نگهداری مناسب	۳,۶۶۷
	عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه	۳,۸۰۰
	استفاده نا مناسب از ابزار و تجهیزات	۳,۴۰۰
	عدم وجود بازرسی قبل از استفاده از تجهیزات	۳,۰۶۷
مدیریتی	عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی	۳,۲۶۷
	عدم ایجاد فرهنگ ایمنی	۳,۴۶۷
	عدم مدیریت روابط کارگر	۳,۸۰۰
	عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب	۳,۶۰۰
	عدم آموزش و توسعه	۳,۴۶۷
	نظارت ناکافی مدیریت عالی ایمنی	۴,۲۰۰

در این تحقیق برای بدست آوردن پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده است که معمولا مقدار بالای ۰/۷ قابل قبول می‌باشد. محاسبه ضریب آلفای کرونباخ با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت و مقدار ۰,۷۷۱ برای آن بدست آمد. با توجه به این که مقدار بدست آمده بالاتر از ۰,۷ می‌باشد نشان از پایایی قابل قبول پرسشنامه دارد.

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- معرفی عوامل تحقیق

هفده معیاری که در مراحل گذشته استخراج و مورد تایید خبرگان قرار گرفته بودند در سه بعد اصلی دسته‌بندی گردیدند و مطابق جدول ۳ کدبندی شدند.

جدول۳ : معرفی عوامل تحقیق

معیار اصلی	زیرمعیار	کد زیرمعیار
انسانی	تمایل به رفتار پرخطر	A1
	عدم مهارت	A2
	نبود آموزش و تمرین ایمنی	A3
	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	A4
	رقابت در انجام فعالیت های پرخطر	A5
	عدم مشارکت در رعایت مسائل ایمنی	A6
تجهیزات	نداشتن تجهیزات حفاظت فردی	B1
	عدم تعمیر و نگهداری مناسب	B2
	عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه	B3
	استفاده نا مناسب از ابزار و تجهیزات	B4
	عدم وجود بازرسی قبل از استفاده از تجهیزات	B5
مدیریتی	عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی	C1
	عدم ایجاد فرهنگ ایمنی	C2
	عدم مدیریت روابط کارگر	C3
	عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب	C4
	عدم آموزش و توسعه	C5
	نظارت ناکافی مدیریت عالی ایمنی	C6

۴-۲- نتایج تکنیک دیمتل‌فازی

کلیه داده‌های بدست آمده از پرسشنامه، جهت پیاده‌سازی تکنیک دیمتل‌فازی در سطح زیرمعیارهای هر معیار مورد استفاده قرار گرفت. برای زیرمعیارهای "عوامل انسانی" تکنیک دیمتل بصورت گام‌های زیر پیاده‌سازی گردید.

۴-۲-۱- تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم

در گام اول پرسشنامه دیمتل در اختیار ۱۵ نفر از خبرگان قرار داده شد تا بر اساس طیف ۰ تا ۴ جدول ۱ تاثیرگذاری هر معیار بر روی دیگر معیارها مشخص شود. سپس با استفاده از رابطه ۱ نظرات پاسخ‌دهندگان ادغام گردید. نتایج حاصل از ادغام نظرات پاسخ‌دهندگان در جدول ۴ آورده شده است.

جدول۴ : ماتریس ارتباط مستقم زیرمعیارهای عوامل انسانی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(۰،۰،۰)	(۰,۲۵،۰,۴۳۳،۰,۶)	(۰,۵۶۷،۰,۸،۰,۹۳۳)	(۰,۴۶۷،۰,۷،۰,۸۵)	(۰,۲۳۳،۰,۴۱۷،۰,۶)	(۰,۱۶۷،۰,۳۵،۰,۵۳۳)
A2	(۰,۲۸۳،۰,۴۶۷،۰,۶۱۷)	(۰،۰،۰)	(۰,۴۵،۰,۶۵،۰,۷۵)	(۰,۲۶۷،۰,۴۳۳،۰,۶)	(۰,۱۳۳،۰,۳۵،۰,۵۶۷)	(۰,۲۱۷،۰,۴،۰,۵۵)
A3	(۰,۵۳۳،۰,۷۶۷،۰,۹۳۳)	(۰,۳۸۳،۰,۵۶۷،۰,۶۶۷)	(۰،۰،۰)	(۰,۴۵،۰,۶۳۳،۰,۷۳۳)	(۰,۲۱۷،۰,۴،۰,۵۶۷)	(۰,۲۸۳،۰,۴۶۷،۰,۶)
A4	(۰,۳۵،۰,۵۳۳،۰,۶۶۷)	(۰,۲۱۷،۰,۴،۰,۵۶۷)	(۰,۴،۰,۵۸۳،۰,۶۸۳)	(۰،۰،۰)	(۰,۰۵،۰,۲۳۳،۰,۴۱۷)	(۰,۲۳۳،۰,۴۵،۰,۶۵)
A5	(۰,۲۳۳،۰,۴۱۷،۰,۶)	(۰,۲۳۳،۰,۴۶۷،۰,۷)	(۰,۲۶۷،۰,۴۸۳،۰,۶۸۳)	(۰,۲،۰,۳۸۳،۰,۵۶۷)	(۰،۰،۰)	(۰,۳،۰,۴۸۳،۰,۶۵)
A6	(۰,۲۱۷،۰,۴،۰,۵۸۳)	(۰,۲۸۳،۰,۵۱۷،۰,۷۳۳)	(۰,۴۳۳،۰,۶۶۷،۰,۸۱۷)	(۰,۱۵،۰,۳۳۳،۰,۵)	(۰,۱۶۷،۰,۳۸۳،۰,۶)	(۰،۰،۰)

۴-۲-۲- نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

در گام دوم با استفاده از روابط نرمال‌سازی، ماتریس ارتباط مستقیم زیر معیارهای عوامل انسانی (جدول ۴) را نرمال کردیم. جهت نرمال‌سازی، ماکزیمم مجموع سطری حدهای بالای ماتریس ارتباطات مستقیم را بدست آوردیم که برابر ۳,۵۱۷ گردید. سپس تمامی اعداد ماتریس ارتباطات مستقیم (جدول ۴) را بر عدد ۳,۵۱۷ تقسیم کردیم. حاصل این عملیات در جدول ۵ منعکس گردیده است.

جدول۵ : ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم زیرمعیارهای انسانی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(۰،۰،۰)	(۰,۰۷۱،۰,۱۲۳،۰,۱۷۱)	(۰,۱۶۱،۰,۲۲۷،۰,۲۶۵)	(۰,۱۳۳،۰,۱۹۹،۰,۲۴۲)	(۰,۰۶۶،۰,۱۱۸،۰,۱۷۱)	(۰,۰۴۷،۰,۱،۰,۱۵۲)
A2	(۰,۰۸۱،۰,۱۳۳،۰,۱۷۵)	(۰،۰،۰)	(۰,۱۲۸،۰,۱۸۵،۰,۲۱۳)	(۰,۰۷۶،۰,۱۲۳،۰,۱۷۱)	(۰,۰۳۸،۰,۱،۰,۱۶۱)	(۰,۰۶۲،۰,۱۱۴،۰,۱۵۶)
A3	(۰,۱۵۲،۰,۲۱۸،۰,۲۶۵)	(۰,۱۰۹،۰,۱۶۱،۰,۱۹)	(۰،۰،۰)	(۰,۱۲۸،۰,۱۸،۰,۲۰۹)	(۰,۰۶۲،۰,۱۱۴،۰,۱۶۱)	(۰,۰۸۱،۰,۱۳۳،۰,۱۷۱)
A4	(۰,۱،۰,۱۵۲،۰,۱۹)	(۰,۰۶۲،۰,۱۱۴،۰,۱۶۱)	(۰,۱۱۴،۰,۱۶۶،۰,۱۹۴)	(۰،۰،۰)	(۰,۰۱۴،۰,۰۶۶،۰,۱۱۸)	(۰,۰۶۶،۰,۱۲۸،۰,۱۸۵)
A5	(۰,۰۶۶،۰,۱۱۸،۰,۱۷۱)	(۰,۰۶۶،۰,۱۳۳،۰,۱۹۹)	(۰,۰۷۶،۰,۱۳۷،۰,۱۹۴)	(۰,۰۵۷،۰,۱۰۹،۰,۱۶۱)	(۰،۰،۰)	(۰,۰۸۵،۰,۱۳۷،۰,۱۸۵)
A6	(۰,۰۶۲،۰,۱۱۴،۰,۱۶۶)	(۰,۰۸۱،۰,۱۴۷،۰,۲۰۹)	(۰,۱۲۳،۰,۱۹،۰,۲۳۲)	(۰,۰۴۳،۰,۰۹۵،۰,۱۴۲)	(۰,۰۴۷،۰,۱۰۹،۰,۱۷۱)	(۰،۰،۰)

۴-۲-۳- تشکیل ماتریس ارتباطات کامل (T)

در گام سوم با استفاده از روابط ۵ و ۶ و ۷ ماتریس ارتباطات کامل (T) زیر معیارهای عوامل انسانی را محاسبه نمودیم. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I_{6*6}) ایجاد نمودیم. ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده سپس ماتریس حاصل را معکوس کرده و در ماتریس نرمال ضرب نمودیم. حاصل این عملیات‌ها بصورت ماتریس ارتباطات کامل زیرمعیارهای عوامل انسانی (جدول ۶) منعکس گردیده است.

جدول۶ : ماتریس ارتباطات کامل زیرمعیارهای عوامل انسانی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(۰,۰۷۷،۰,۳۳۷,۲,۲۴۸)	(۰,۱۲۸،۰,۴۱۳,۲,۲۷۹)	(۰,۲۳۱،۰,۵۷۸,۲,۶۸۳)	(۰,۱۹۲،۰,۴۹۳,۲,۳۵۴)	(۰,۰۹۸،۰,۳۳۸,۱,۹۹۳)	(۰,۰۹۹،۰,۳۶۶,۲,۱۱)
A2	(۰,۱۳۷،۰,۴۰۹,۲,۱۶)	(۰,۰۵۱،۰,۲۶۴,۱,۹۱۱)	(۰,۱۸۹،۰,۴۹۶,۲,۳۸۹)	(۰,۱۳،۰,۳۹۱,۲,۰۷۷)	(۰,۰۶۷،۰,۲۹۴,۱,۷۹۴)	(۰,۱۰۱،۰,۳۴۱,۱,۹۰۶)
A3	(۰,۲۱۴،۰,۵۲۸,۲,۴۵۱)	(۰,۱۶۴،۰,۴۵۲,۲,۲۸۶)	(۰,۱۰۱،۰,۴۰۸,۲,۴۶۷)	(۰,۱۹۳،۰,۴۹,۲,۳۲۶)	(۰,۰۹۷،۰,۳۴۴,۱,۹۸۲)	(۰,۱۳،۰,۴۰۱,۲,۱۱۷)
A4	(۰,۱۴۹،۰,۴۱۳,۲,۱۱۶)	(۰,۱۰۶،۰,۳۵۶,۱,۹۹۸)	(۰,۱۷۴،۰,۴۷۱,۲,۳۱۷)	(۰,۰۵۷،۰,۲۷۲,۱,۸۸)	(۰,۰۴۴،۰,۲۶,۱,۷۱۸)	(۰,۱۰۲،۰,۳۴۳,۱,۸۷۹)
A5	(۰,۱۱۵،۰,۳۸۴,۲,۲۱۵)	(۰,۱۰۷،۰,۳۷۲,۲,۱۳۴)	(۰,۱۳۶،۰,۴۴۸,۲,۴۴۱)	(۰,۱۰۴،۰,۳۶۷,۲,۱۲۶)	(۰,۰۲۷،۰,۱۹۶,۱,۷۰۵)	(۰,۱۱۸،۰,۳۵۱,۱,۹۷۹)
A6	(۰,۱۱۶،۰,۳۹۳,۲,۲۳۷)	(۰,۱۲۲،۰,۳۹۳,۲,۱۶۴)	(۰,۱۷۹،۰,۴۹۹,۲,۴۹۴)	(۰,۰۹۶،۰,۳۶۷,۲,۱۳۶)	(۰,۰۷۴،۰,۳۰۲,۱,۸۷۱)	(۰,۰۴،۰,۲۳۸,۱,۸۴۴)

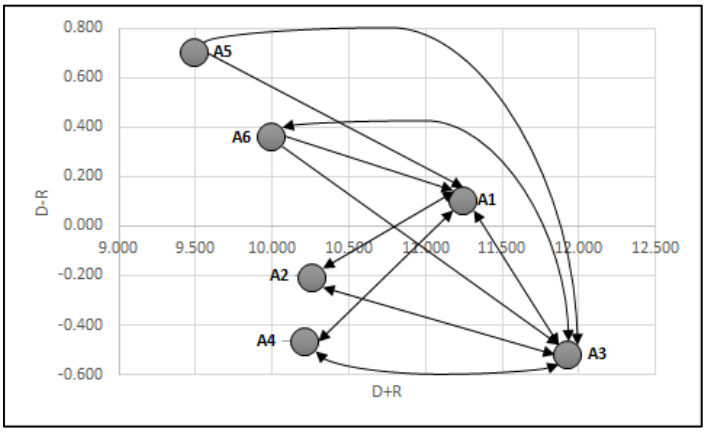
۴-۲-۴- ایجاد و تجزیه و تحلیل نمودار علی

در گام چهارم سطرها و ستون‌های ماتریس ارتباطات کامل (جدول ۶) را جمع نمودیم و به ترتیب در ستون‌های D و R قرار دادیم. سپس مقدار D+R و D-R را محاسبه کردیم. جهت دیفازی کردن ستون‌های D و R از رابطه ۱۰ استفاده نمودیم. کلیه نتایج بدست آمده از محاسبات فوق در جدول ۷ آورده شده است.

جدول۷ : جدول مقادیر D و R زیرمعیارهای انسانی

	Di	Ri	$(Di)^{defuzzy}$	$(Ri)^{defuzzy}$	Di+Ri	Di-Ri	نوع معیار
A1	(0.825,2.524,13.666)	(0.808,2.463,13.428)	5.672	5.566	11.238	0.106	علت
A2	(0.675,2.194,12.236)	(0.678,2.249,12.772)	5.035	5.233	10.268	-0.198	معلول
A3	(0.898,2.622,13.63)	(1.01,2.901,14.792)	5.717	6.234	11.951	-0.517	معلول
A4	(0.632,2.114,11.908)	(0.772,2.378,12.899)	4.885	5.350	10.234	-0.465	معلول
A5	(0.608,2.117,12.601)	(0.408,1.733,11.062)	5.109	4.401	9.510	0.708	علت
A6	(0.627,2.192,12.746)	(0.589,2.04,11.835)	5.188	4.821	10.009	0.367	علت

در جدول ۷ جمع عناصر هر سطر (D) نشانگر میزان تاثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است. براین اساس نبود آموزش و تمرین ایمنی (A3) از بیشترین تاثیرگذاری برخوردار است. جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است که نشان می‌دهد معیار نبود آموزش و تمرین ایمنی (A3) از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی نیز برخوردار است. بردار افقی (D+R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار D+R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. براین اساس معیار نبود آموزش و تمرین ایمنی (A3) بیشترین تعامل را با دیگر عوامل مورد مطالعه دارند. بردار عمودی (D-R)، قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علت محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود. در جدول ۷ علت و معلول بودن معیارها مشخص شده است. همچنین در شکل ۱ نیز به وضوح دیده می‌شود.



شکل۱ : نمودار علی زیرمعیارهای انسانی

۴-۲-۵- روابط داخلی بین معیارها

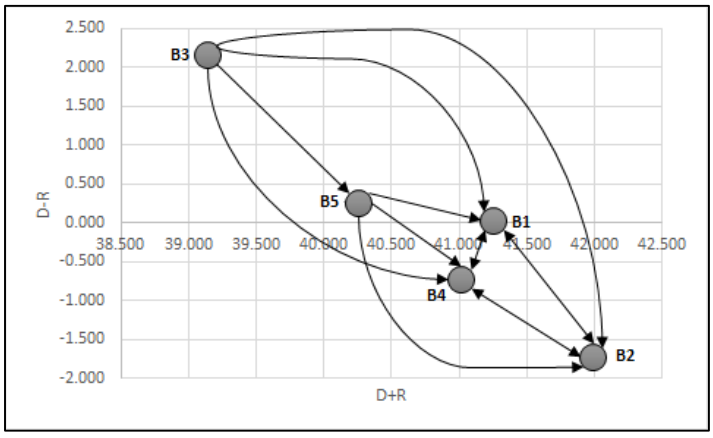
در این گام برای ترسیم روابط قابل اعتنا، ماتریس فازی ارتباطات کل را دیفازی میکنیم (جدول ۸) و سپس حدآستانه (میانگین حسابی درایه‌ها) را مشخص می‌نماییم و هر کدام از اعداد از حد کمتر بود مقدار صفر و در غیر اینصورت مقدار یک اخذ می‌کند مقدار آستانه معیارها ۰,۸۷۸ است.

جدول۸ : ماتریس غیرفازی ارتباطات کل زیرمعیارهای انسانی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۰,۸۸۷*	۰,۹۴*	۱,۱۶۴*	۱,۰۱۳*	۰,۸۰۹	۰,۸۵۸
A2	۰,۹۰۲*	۰,۷۴۲	۱,۰۲۵*	۰,۸۶۶	۰,۷۱۸	۰,۷۸۲
A3	۱,۰۶۴*	۰,۹۶۷*	۰,۹۹۲	۱,۰۰۳*	۰,۸۰۸	۰,۸۸۳*
A4	۰,۸۹۳*	۰,۸۲۰	۰,۹۸۷*	۰,۷۳۶	۰,۶۷۴	۰,۷۷۴
A5	۰,۹۰۵*	۰,۸۷۱	۱,۰۰۹*	۰,۸۶۶	۰,۶۴۳	۰,۸۱۶
A6	۰,۹۱۵*	۰,۸۹۳*	۱,۰۵۷*	۰,۸۶۶	۰,۷۴۹	۰,۷۰۷

با توجه به جدول ۸ اعدادی که بزرگتر از ۰,۸۷۸ است به عنوان رابطه بین معیار سطر با ستون در نظر گرفته می‌شود که این رابطه در شکل ۱ آورده شده است. همچنین در جدول ۸ نیز با ستاره (*) مشخص شده‌اند.

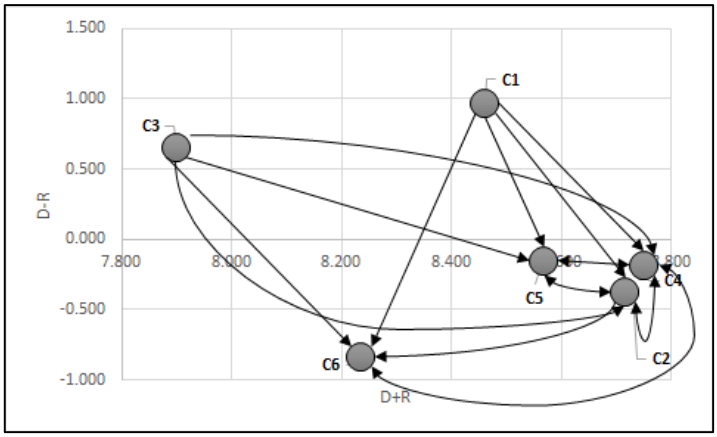
به طریق مشابه برای زیرمعیارهای "تجهیزات" و " مدیریتی" تکنیک دیمتل‌فازی اجرا گردید که به صورت خلاصه در ادامه آورده شده‌است. در بین زیرمعیارهای تجهیزات عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه (B3) از بیشترین تاثیرگذاری برخورداری است و معیار عدم تعمیر و نگهداری مناسب (B2) از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار است. بردار افقی (D+R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار D+R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. براین اساس عدم تعمیر و نگهداری مناسب (B2) بیشترین تعامل را با دیگر عوامل مورد مطالعه دارند. بردار عمودی (D-R)، قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علت محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌گردد که در شکل ۲ آورده شده است.



شکل۲ : نمودار علی زیرمعیارهای تجهیزات

در بین زیرمعیارهای مدیریتی عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی (C1) از بیشترین تاثیرگذاری برخورداری است و عدم ایجاد فرهنگ ایمنی (C2) از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار است. بردار افقی (D+R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار D+R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.

براین اساس عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب (C4) بیشترین تعامل را با دیگر عوامل مورد مطالعه دارند. بردار عمودی (D-R) قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علت محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود که در شکل ۳ نیز به وضوح دیده می‌شود.



شکل۳ : نمودار علی زیرمعیارهای مدیریتی

۴-۳- نتایج روش دالالا

در این مرحله با استفاده از روش دالالا به رتبه‌بندی عوامل تحقیق پرداختیم. برای این منظور ابتدا وزن هریک از زیرمعیارهای عوامل انسانی، تجهیزات و مدیریتی را با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه کردیم. نتایج حاصل از این محاسبات در جداول ۹ تا ۱۱ آورده شده است.

جدول۹ : وزن معیارهای بعد انسانی

	$(Di)^{defuzzy}$	$(Ri)^{defuzzy}$	Di+Ri	Di-Ri	وزن خام	وزن نرمال	رتبه
A1	5.672	5.566	11.238	0.106	۱۱,۲۳۸	۰,۱۷۸	۲
A2	5.035	5.233	10.268	-0.198	۱۰,۲۷۰	۰,۱۶۲	۳
A3	5.717	6.234	11.951	-0.517	۱۱,۹۶۲	۰,۱۸۹	۱
A4	4.885	5.350	10.234	-0.465	۱۰,۲۴۵	۰,۱۶۱	۴
A5	5.109	4.401	9.510	0.708	۹,۵۳۶	۰,۱۵۱	۶
A6	5.188	4.821	10.009	0.367	۱۰,۰۱۶	۰,۱۵۸	۵

با توجه به جدول ۹، نبود آموزش و تمرین ایمنی (A3) با وزن ۰,۱۸۹ رتبه اول، تمایل به رفتار پرخطر (A1) با وزن ۰,۱۷۸ رتبه دوم، عدم مهارت (A2) با وزن ۰,۱۶۲ رتبه سوم، عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (A4) با وزن ۰,۱۶۱ رتبه چهارم، عدم مشارکت در رعایت مسائل ایمنی (A6) با وزن ۰,۱۵۸ رتبه پنجم و رقابت در انجام فعالیت‌های پر خطر (A5) با وزن ۰,۱۵۱ رتبه ششم را کسب کرده است.

جدول۱۰ : وزن معیارهای بعد تجهیزات

	$(Di)^{defuzzy}$	$(Ri)^{defuzzy}$	Di+Ri	Di-Ri	وزن خام	وزن نرمال	رتبه
B1	20.641	20.632	41.273	0.009	۴۱,۲۷۳	۰,۲۰۳	۲
B2	20.160	21.879	42.039	-1.719	۴۲,۰۷۴	۰,۲۰۶	۱
B3	20.643	18.482	39.125	2.161	۳۹,۱۸۵	۰,۱۹۲	۵
B4	20.136	20.854	40.990	-0.718	۴۰,۹۹۶	۰,۲۰۱	۳
B5	20.267	20.001	40.268	0.267	۴۰,۲۶۹	۰,۱۹۸	۴

با توجه به جدول ۱۰، عدم تعمیر و نگهداری مناسب (B2) با وزن ۰,۲۰۶ رتبه اول، نداشتن تجهیزات حفاظت فردی (B1) با وزن ۰,۲۰۳ رتبه دوم، استفاده نا مناسب از ابزار و تجهیزات (B4) با وزن ۰,۲۰۱ رتبه سوم، عدم وجود بازرسی قبل از استفاده از تجهیزات (B5) با وزن ۰,۱۹۸ رتبه چهارم و عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه (B3) با وزن ۰,۱۹۲ رتبه پنجم را کسب کرده است.

جدول۱۱ : وزن معیارهای بعد مدیریتی

	$(Di)^{defuzzy}$	$(Ri)^{defuzzy}$	Di+Ri	Di-Ri	وزن خام	وزن نرمال	رتبه
C1	4.714	3.746	8.460	0.968	۸,۵۱۵	۰,۱۶۸	۴
C2	4.185	4.545	8.730	-0.360	۸,۷۳۷	۰,۱۷۱	۲
C3	4.276	3.626	7.902	0.651	۷,۹۲۹	۰,۱۵۶	۶
C4	4.248	4.499	8.747	-0.251	۸,۷۵۱	۰,۱۷۲	۱
C5	4.206	4.360	8.566	-0.154	۸,۵۶۷	۰,۱۶۹	۳
C6	3.691	4.544	8.234	-0.853	۸,۲۷۸	۰,۱۶۳	۵

با توجه به جدول ۱۱، عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب (C4) با وزن ۰,۱۷۲ رتبه اول، عدم ایجاد فرهنگ ایمنی (C2) با وزن ۰,۱۷۱ رتبه دوم، عدم آموزش و توسعه (C5) با وزن ۰,۱۶۹ رتبه سوم، عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی (C1) با وزن ۰,۱۶۸ رتبه چهارم، نظارت ناکافی مدیریت عالی ایمنی (C6) با وزن ۰,۱۶۳ رتبه پنجم و عدم مدیریت روابط کارگر (C3) با وزن ۰,۱۵۶ رتبه ششم را کسب کرده است.

۵- نتیجه‌گیری

۱. در گروه شاخص‌های انسانی، نبود آموزش و تمرین ایمنی بیشترین تاثیرگذاری و تعامل با دیگر عوامل مورد مطالعه را دارد.

۲. در بین شاخص‌های تجهیزاتی معیار عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه بیشترین تاثیرگذاری و معیار عدم تعمیر و نگهداری مناسب بیشترین تاثیرپذیری را دارد.

۳. در بین شاخص‌های مدیریتی عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی بیشترین تاثیرگذاری و معیار عدم ایجاد فرهنگ ایمنی بیشترین تاثیرپذیری را دارد.

الف : رتبه بندی شاخص‌های انسانی با روش دالالا

۱. نبود آموزش و تمرین ایمنی رتبه اول

۲. تمایل به رفتار پرخطر رتبه دوم

۳. عدم مهارت رتبه سوم

۴. عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی رتبه چهارم

۵. عدم مشارکت در رعایت مسائل ایمنی رتبه پنجم

۶. رقابت در انجام فعالیت‌های پرخطر رتبه ششم

ب : رتبه بندی شاخص‌های تجهیزاتی با روش دالالا

۱. عدم تعمیر و نگهداری مناسب رتبه اول

۲. نداشتن تجهیزات حفاظت فردی رتبه دوم

۳. استفاده نا مناسب از ابزار و تجهیزات رتبه سوم

۴. عدم وجود بازرسی قبل از استفاده از تجهیزات رتبه چهارم

۵. عدم وجود تجهیزات کمک‌های اولیه رتبه پنجم

ج : رتبه بندی شاخص‌های مدیریتی با روش دالالا

۱. عدم برنامه‌ریزی و پیشگیری مناسب رتبه اول

۲. عدم ایجاد فرهنگ ایمنی رتبه دوم

۳. عدم آموزش و توسعه رتبه سوم

۴. عدم رهبری و حمایت مدیران ارشد سازمان به مساله ایمنی رتبه چهارم

۵. نظارت ناکافی مدیریت عالی ایمنی رتبه پنجم

۶. عدم مدیریت روابط کارگر رتبه ششم

مراجع

[1] Behm M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Journal of Safety Science*. 43(8), 589-611.

[2] DarbarRazavi, M., Rajaei H., Gerami, M. (2011). Identifying the Factors Affecting Safety Performance in Construction Projects, Second International Conference on Strategic Project Management.

[3] Shariat, SM. and Monavari, SM.(2008). Introduction to Environmental Impact Assessment. Tehran: Environmental Organization Publications,115-270.

[4] Lingard, HC., Cooke, T., Blismas, N. (2010). Safety climate in conditions of construction subcontracting: a multi-level analysis. *Journal of Construction Management and Economic*, 28(8), 813–825.

[5] Goodarzi, R., Arghami, SH., Pouyakian, M. (2016). Identification of factors affecting safety culture in Iranian thermal power plants. *Journal of Occupational Health Engineering*, 3(2),12-20.

[6] Modari, M., DashtiShiramin, M., KarimiShirazi, H. (2019). Identification and Prioritization of Influencing Factors on Safety Performance with hybrid Fuzzy DEMATEL and Analytical Network Process Approach (DANP)(Case Study: A Combined Cycle Power Plant). *Journal of Health and Safety at Work*, 9(1), 49-60.

[7] Mohajer, M., Ardeshir, A. (2016). Safety Risk Analysis of Construction Projects Using AHP-DEA Integrated Method. *Amirkabir Jounrnal of Civil Engineering*, 48(3), 217-226.

[8] MohammadiKhah, S., Khosravan, Sima. (2018). Identification and Prioritization of Safety Risks in Petrochemical Port of Imam Port by ANP Network Analysis Process Technique. In: *Second National Conference on New Topics in Computer and Information Technology*. Mahshar: Khuzestan Province Computer Guild Organization, 2-10.

[9] TaherKhani, F., MirzaEbrahimTehrani, M., Melmasi, S. (2017). safety risk management based on fuzzy logic at underground projects. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 4(3), 49-62.

[10] HosseiniDehshiri, SJ., Arab, A., Mohaghar, A. (2016). Identification and Prioritization of Human Resources Risks Based on Fuzzy DEMITEL. In: *International Conference on Industrial Engineering and Management*. Tehran: Permanent Secretariat of Conference, 3-15.

[11] Hatefi, SM., Heydari, Ali. (2019). Evaluating Construction Projects based on the Risk Factors by using an Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Model. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 5(4), 156-175.

[12] Xie, X., Guo, D. (2018). Human factors risk assessment and management: process safety in engineering. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 467-482.

[13] Adeleke, AQ., Bahaudin, AY., Kamaruddeen, AM., Bamgbade, JA., Salimon, MG., Khan, MW., Sorooshian, S. (2018). The Influence of Organizational External Factors on Construction Risk Management in Nigerian Construction Companies. *Safety and Health at Work*, 9(1), 115-124.

[14] Ning, X., Qi, J., Wu, C. (2018). A quantitative safety risk assessment model for construction site layout Planning. *Safety Science*, 104, 246-259.

[15] Rezaiean, A., Hoseini, SA. (2019). Selecting the Optimal Building System Using Multiple Criteria Decision Making Emphasising on Three Methods of TOPSIS , SAW, AHP. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 2(2), 156-175.

[16] Yeh, TM., Huang, YL. (2014). Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP. *Journal of Renewable Energy*, 66, 159-169.

[17] Dalalah, D., Hayajneh, M., Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications*, 38.