مهندسی عمران شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۲ - ۳۱، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۳۱-۳۹

Original Article

به‌کارگیری سیستم خبره‌ی فازی و الگوریتم ژنتیک جهت امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز ایران: بررسی عوامل محیط ایمنی و تجربه‌ی شخصی

یعقوب علیپوری (دانشجوی دکتری)
عبدالله اردشیر* (دانشیار)
محمد حسن سبط (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
محمدحسین فاضل‌زرندی (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پیمانکاران صنعت ساخت و ساز با تهیه‌ی بیمه‌ی حوادث کارگری، ریسک‌ها را به شرکت‌های بیمه منتقل می‌کنند. هر چه عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه ساخت و ساز ضعیف‌تر باشد، ریسک بیمه کردن این کارگاه برای شرکت‌های بیمه بیشتر خواهد بود و بالعکس. بنابراین امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز، کمک مناسبی برای شرکت‌های بیمه در راستای تعیین حق بیمه‌ی بهینه خواهد بود. در این پژوهش با مطالعه‌ی ادبیات موضوع و مشاوره با افراد خبره، عوامل اصلی تأثیرگذار در ایمنی یک کارگاه ساخت و ساز شناسایی و سپس یک سیستم خبره‌ی فازی برای امتیازدهی به عملکرد ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز پیشنهاد شده است. به منظور افزایش دقت، سیستم خبره طراحی و پارامترهای سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی سیستم خبره‌ی فازی طراحی‌شده، کارآمدبودن این سیستم را تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: سیستم خبره‌ی فازی، الگوریتم ژنتیک، عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه، محیط ایمنی، تجربه‌ی شخصی.

yalipouri@aut.ac.ir
ardeshir@aut.ac.ir
sebt@aut.ac.ir
zarandi@aut.ac.ir

۱. مقدمه

صنعت ساخت و ساز یکی از خطرناک‌ترین و پر ریسک‌ترین صنایع جهان است و بالاترین میزان حوادث و مرگ و میرهای کارگری را دارد. بیمه کردن یکی از راه‌هایی است که کارفرمایان و پیمانکاران صنعت ساخت و ساز برای منتقل‌کردن بخشی از ریسک‌های مالی ناشی از حوادث صنعت ساخت و ساز به شرکت‌های بیمه انجام می‌دهند. در طرف مقابل، تعهد شرکت‌های بیمه‌کننده بسیار گسترده است و مجبور هستند تا ریسک‌های مالی فراوانی را برای بیمه‌ی حوادث کارگری در نظر بگیرند و معمولاً هیچ استثناء و سقفی بر روی مسئولیت‌های مالی آن‌ها وجود ندارد. آن‌ها باید حق بیمه‌های کافی را برای پوشش‌دادن ریسک‌های آینده پیشنهاد دهند. این حق بیمه‌ها باید به منظور در دست‌گرفتن بازار به اندازه‌ی کافی پایین باشند. بنابراین، این شرکت‌های بیمه برای اینکه بتوانند حق بیمه‌های بهینه را برای مشتریان خود تعریف کنند، باید ارزیابی‌های دقیق بازار و ریسک‌های موجود را انجام دهند.

در این راستا، در نوشتاری در سال ۲۰۰۹، مدلی برای رتبه‌بندی حق بیمه‌ی بیمه‌های حوادث کارگری برای پروژه‌های ساختمانی پیشنهاد شده است، تا از طریق آن ریسک مالی شرکت‌های بیمه و حوادث صنعت ساخت و ساز کاهش پیدا کند.[۱] مدل مذکور یک سیستم خبره‌ی فازی بوده که با توجه به سیستم مدیریت ایمنی پیمانکار به رتبه‌بندی آن‌ها پرداخته است. در ادبیات موضوع ایمنی، تلاش‌های دیگری نیز برای پیشنهاد روش‌هایی برای ارزیابی ایمنی پیمانکاران صورت گرفته است؛ اما نوشتار مذکور، تنها نوشتار یافت‌شده توسط پژوهشگران این مطالعه است که مدل سیستم خبره‌ی فازی را برای ارزیابی ایمنی صنعت ساخت و ساز استفاده کرده است.

سیستم مدیریت ایمنی می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای محیط ایمن یک

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۶/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۱/۱۹، پذیرش ۱۳۹۲/۱۱/۲۷.

کارگاه ساخت و ساز مورد توجه قرارگیرد.[۲] بهبود شرایط کاری و نوآوری در تجهیزات مورد استفاده برای بهبود عملکرد ایمنی کافی نیستند؛ چرا که فرهنگ سازمانی و عوامل انسانی نیز نقش اساسی را بازی می‌کنند. برای داشتن یک کارگاه ساختمانی ایمن، علاوه بر وجود سیستم مدیریت ایمنی، باید عملکردهای مدیریت ایمنی مناسبی نیز وجود داشته باشد، تا در نتیجه‌ی آن کارگران نیز رفتار ایمنی مناسب را از خود نشان دهند. عملکردهای مدیریت ایمنی عبارت‌اند از: خط مشی‌ها، راهبردها، روش‌ها و فعالیت‌هایی که توسط مدیریت یک سازمان با هدف ایمنی کارگرانشان پیاده و استفاده شده است. آگاهی کارگران از میزان عملکردهای مدیریت ایمنی ذکرشده در کارگاه‌های آن‌ها به‌عنوان عواملی سازمانی مطرح می‌شوند، که می‌توانند در عملکرد ایمنی تأثیرگذار باشند. بنابراین، عوامل محیط ایمنی و تجربه‌ی شخصی، به‌عنوان عوامل که از فعل و انفعالات عواملی همچون عملکردهای مدیریت ایمنی تأثیر می‌پذیرند، در توسعه‌ی عملکردهای ایمنی هرچه بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

از این رو در این نوشتار با درنظرگرفتن عوامل محیط ایمنی و تجربه‌ی شخصی، یک سیستم خبره برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز ایران پیشنهاد شده است. با توجه به طبیعت مبهم عوامل مربوط به ایمنی و نیز توانایی منطق فازی در برخورد با عوامل مبهم، سیستم خبره‌ی پیشنهادی یک سیستم خبره‌ی فازی خواهد بود. همچنین از موتور استنتاج بیگر[۱] و عملگرهای پارامتریک بیگر[۲] (تی ـ نرم بیگر[۳]، اس ـ نرم بیگر[۴]، مکمل بیگر[۵] و فازی‌زدای بیگر[۶]) به هنگام ساخت سیستم خبره و از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترهای این موتور استنتاج و عملگرها استفاده شده است.

هرچه عملکرد مدیریت ایمنی در یک کارگاه ساخت و ساز ضعیف‌تر باشد، ریسک بیمه کردن این کارگاه برای شرکت‌های بیمه بیشتر خواهد بود و بالعکس. بنابراین امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز با استفاده از سیستم خبره‌ی پیشنهادی، کمک مناسبی برای شرکت‌های بیمه در راستای تعیین حق بیمه‌ی بهینه خواهد بود. همچنین، پیمانکاران کارهای ساخت و ساز نیز با این امتیازدهی می‌توانند میزان ایمنی در کارگاه ساختمانی خود را تشخیص دهند و در راستای بهبود آن برآیند.

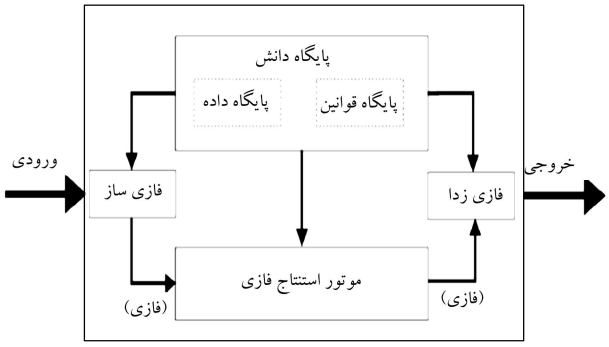
بر این اساس، ادامه‌ی این نوشتار به این صورت سازماندهی شده است که در بخش بعدی با سیستم خبره‌ی فازی و اجزاء مختلف آن آشنا می‌شویم. سپس در بخش سوم، روش انجام این مطالعه بیان و در بخش چهارم نیز روش تعیین عوامل مؤثر در اندازه‌گیری عملکرد مدیریت ایمنی معرفی شده است. همچنین در بخش پنجم به شرح طراحی سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی پرداخته و نحوه‌ی عملکرد آن توضیح داده شده است. در بخش ششم نیز مدل پیشنهادی آزمون و ارزیابی شده و با استفاده از مطالعه‌ی موردی بر روی دو پروژه‌ی ساختمانی در حال اجرا، صحت نتایج مدل سنجیده شده و نحوه‌ی استفاده از امتیاز نهایی به‌دست‌آمده از سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی برای ایمنی یک کارگاه توسط پیمانکاران و مدیریت کارگاه و همینطور شرکت‌های بیمه توضیح داده شده است. در نهایت، در بخش هفتم یک جمع‌بندی از مطالب مطرح‌شده ارائه شده است.

۲. سیستم خبره فازی

در این بخش به بررسی مفهوم و ساختار سیستم خبره‌ی فازی پرداخته‌شده است. لذا، ابتدا لازم است برای رسیدن به مفهوم سیستم خبره‌ی فازی به مفهوم سیستم‌های خبره پرداخته شود. سیستم خبره یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی است که با گردآوری دانش تخصصی و اطلاعات کارشناسی در یک حوزه‌ی خاص و با استفاده از منطق می‌کوشد تا در کنار متخصصان به عرضه‌ی خدمات تخصصی بپردازد. به‌عبارت دیگر، سیستم‌های خبره، سیستم‌هایی هستند که از دانش افراد خبره برای حل مشکلات دنیای واقعی، که معمولاً به هوش انسان نیاز دارند، استفاده می‌کنند. این نوع سیستم‌ها در حال حاضر نقش بسیار مهمی را در سیستم‌های هوشمند بازی می‌کنند و معمولاً برای اهداف برنامه‌ریزی، طراحی، تشخیص خطا و غیره استفاده می‌شوند.[۳] پیشینه‌ی به‌کارگیری سیستم‌های خبره در سطح وسیع به اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ باز می‌گردد و تا قبل از این تاریخ بیشتر سیستم‌های خبره‌ی شناخته‌شده، آزمایشی و فقط جهت مطالعات دانشگاهی بوده‌اند.[۴] تفاوت اصلی سیستم‌های خبره با دیگر نرم‌افزارها در این است که دیگر نرم‌افزارها اطلاعات و داده‌ها را پردازش می‌کنند، درحالی که سیستم خبره، دانش را پردازش می‌کند.[۴]

کاربر سیستم خبره ابتدا واقعیت‌ها یا دیگر اطلاعات را برای سیستم خبره فراهم و در پاسخ، یک توصیه یا نظر تخصصی را دریافت می‌کند. سیستم خبره شامل دو عنصر مهم است که عبارت‌اند از: پایگاه دانش و موتور استنتاج.[۵] از تخصص و دانش افراد خبره جهت ساخت پایگاه دانش استفاده می‌شود. دانش افراد خبره معمولاً به شکل قوانین، داده‌ها و یا موردهایی در بخش دانش ذخیره می‌شوند.[۶] موتور استنتاج برنامه‌یی است که با تجزیه و تحلیل قوانین، داده‌ها و موردهای ذخیره‌شده در پایگاه دانش، نتایج منطقی را ارائه می‌کند.[۷] دو روش استنتاج در سیستم‌های خبره وجود دارد: زنجیره‌ی رو به جلو[۷] و زنجیره‌ی رو به عقب[۸]. زنجیره‌ی رو به جلو استنتاجی است که از واقعیت‌ها به سمت نتایج پیش می‌رود و زنجیره‌ی رو به عقب از فرضیه‌ها به سمت واقعیت‌ها حرکت می‌کند.[۵]

سیستم خبره‌ی فازی عبارت است از یک سیستم خبره یا سیستم مبتنی بر دانش که برای استدلال داده‌ها از مجموعه‌یی از توابع عضویت و قواعد فازی به جای منطق دودویی (بولی)[۹] استفاده می‌کند.[۸] ثابت شده است که سیستم‌های خبره‌ی فازی سیستم‌های قابل اعتمادی هستند و پیاده‌سازی آن‌ها به راحتی ممکن است.[۹] اجزاء یک سیستم خبره‌ی فازی عبارت‌اند از: فازی‌ساز[۱۰]، پایگاه قوانین فازی (پایگاه دانش)[۱۱]، موتور استنتاج فازی[۱۲]، فازی زدا[۱۳] و رابط کاربر[۱۴]. اجزاء فازی‌ساز و فازی زدا را اجزاء فرعی سیستم و ۳ جزء دیگر را اجزاء اصلی آن می‌گویند، که نحوه‌ی ارتباط آن‌ها با یکدیگر در شکل ۱ نشان داده شده است. در ادامه، پس از معرفی منطق فازی به معرفی هر یک از اجزاء سیستم خبره‌ی فازی و نحوه‌ی به‌کارگیری آن‌ها در سیستم خبره‌ی پیشنهادی پرداخته شده است.



شکل ۱. ساختار یک سیستم خبره‌ی فازی.

۱.۲. منطق فازی

انسان‌ها همواره از کلمات و عباراتی در محاورات خود استفاده می‌کنند که مرزهای روشنی برای خود ندارند. کلماتی نظیر «خوب»، «بد»، «ضعیف»، «قوی»، «زشت»، «زیبا» و نیز قیدهایی از قبیل «اکثراً»، «معمولاً» و «به ندرت» نمونه‌هایی از این کلمات هستند. برای برخورد با چنین کلمات و عبارات مبهمی از منطق فازی بهره گرفته می‌شود.

نوشتاری در سال ۱۹۶۵ با عنوان «مجموعه‌های فازی» در مجله‌ی اطلاعات و کنترل منتشر شده است.[۱۰] در سال ۱۹۷۳، نوشتار دیگری نیز منتشر شد که در آن با جزئیات بیشتری در مورد منطق و ریاضیات فازی و به‌کارگیری آن در سیستم کنترل بحث شده بود. در دهه‌ی ۱۹۷۰، اولین کاربردهای منطق فازی ظاهر شد. ابراهیم ممدانی[۱۵]، اولین سیستم فازی را در انگلستان ارائه کرد. در دهه‌ی ۱۹۸۰، ژاپنی‌ها این سیستم‌ها را برای کنترل استفاده و تا سال ۱۹۹۰، بیش از ۱۰۰ محصول با کاربردهای کنترل فازی ارائه کردند.

یک مجموعه‌ی فازی A در یک مجموعه‌ی جهانی U توسط یک تابع عضویت $\mu_A(x)$ مشخص می‌شود، که این تابع عضویت، مقدار عضویت x را در مجموعه‌ی A مشخص می‌کند. مقادیر این تابع عضویت در بازه‌ی $[۰, ۱]$ قرار دارد.

در عمل معمولاً از اعداد فازی مثلثی یا ذوزنقه‌یی استفاده می‌شود. عدد فازی مثلثی $A=(a,b,c)$، یک مجموعه‌ی فازی در R با تابع عضویت مثلثی به‌صورت رابطه‌ی ۱ است:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}(x-a)/(b-a) & if \quad a\le x\le b\\ (c-x)/(c-b) & if \quad b\le x\le c\\ ۰ & if \quad x>c, \quad or \quad x<a\end{cases} \qquad (۱)$$

به طور مشابه، عدد فازی ذوزنقه‌یی $A=(a,b,c,d)$، یک مجموعه‌ی فازی در R با تابع عضویت ذوزنقه‌یی به‌صورت رابطه‌ی ۲ است:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}(x-a)/(b-a) & if \quad a\le x\le b\\ ۱ & if \quad b\le x\le c\\ (d-x)/(d-c) & if \quad c\le x\le d\\ ۰ & if \quad x>d \quad or \quad x<a\end{cases} \qquad (۲)$$

۲.۲. فازی ساز

فازی ساز یک سیستم خبره‌ی فازی در قسمت ورودی است، که متغیرهای با مقادیر حقیقی یا زبانی را به یک مجموعه‌ی فازی تبدیل می‌کند. در این مرحله، مقادیر ورودی به درجه‌ی عضویت متغیرهای زبانی متناظر تبدیل می‌شوند. در واقع متغیرهای ورودی با استفاده از توابع عضویت از طریق واحد فازی ساز به اعداد فازی تبدیل می‌شوند.[۱۱]

۳.۲. پایگاه قوانین فازی (پایگاه دانش)

پایگاه دانش از ترکیب دانش خبرگان حوزه‌ی تحت بررسی به وجود می‌آید و شامل مجموعه‌یی از قوانین با متغیرهای زبانی است. شکل عمومی یک قانون فازی به‌صورت رابطه‌ی ۳ است:

If condition۱ **and** condition۲**and** condition۳ ... **Then**

$$\text{action۱, action۲, ...} \qquad (۳)$$

برای تشکیل مجموعه‌یی از این قوانین، نظریات خبرگان جمع‌آوری و با استفاده از آن‌ها و به‌کارگیری عملگرهای سه‌گانه‌ی فازی (شامل «و»، «یا» و «نه») در میان آن‌ها، قوانین «اگر ـ آنگاه» ایجاد می‌شود و این قوانین برای ارتباط بین مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی استفاده می‌شوند.[۱۱]

۴.۲. موتور استنتاج فازی

این جزء از سیستم خبره‌ی فازی، جزء تصمیم‌گیرنده‌ی سیستم است و قابلیت استنتاج خروجی‌ها از قواعد و عملگرهای فازی را دارد. در واقع، موتور استنتاج برنامه‌یی است که قوانین و دانش موجود در پایگاه دانش را تحلیل و تعبیر می‌کند و در نهایت، به یک نتیجه‌گیری منطقی می‌رسد.

انواع مختلفی از موتورهای استنتاج وجود دارند، که پرکاربردترین آن‌ها موتورهای استنتاج ممدانی[۱۶]، منطقی[۱۷] و بیگر هستند. موتور استنتاج بیگر با استفاده از رابطه‌ی ۴، نتایج دو موتور استنتاج ممدانی و منطقی را با هم ترکیب می‌کند. کاملاً واضح است که اگر $\beta=۰$ در نظر گرفته شود، موتور استنتاج بیگر همان موتور استنتاج ممدانی و اگر $\beta=۱$ باشد، موتور استنتاج مورد استفاده، موتور استنتاج منطقی است. بنابراین، با توجه به اینکه موتور استنتاج بیگر در برگیرنده‌ی دو موتور استنتاج دیگر است، در این نوشتار از موتور استنتاج بیگر استفاده شده است. در بخش ۵، مقدار بهینه‌ی پارامتر β مربوط به موتور استنتاج مذکور با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سیستم خبره‌ی پیشنهادی تعیین شده است. ضمناً، در موتور استنتاج مذکور از روش استنتاج زنجیره‌ی رو به جلو و رسیدن به نتیجه‌ی نهایی استفاده شده است.

$$\text{Yager}=\beta^{*}\text{Logical}+(۱-\beta)^{*}\text{Mamdani} \qquad (۴)$$

۵.۲. فازی زدا

جزء فازی زدای سیستم خبره‌ی فازی، عکس جزء فازی ساز آن عمل می‌کند. به این معنا که فازی زدا یک خروجی با مقدار قطعی را از مجموعه‌های فازی، که خروجی موتور استنتاج هستند، تولید می‌کند.[۱۱] در این نوشتار از فازی زدای بیگر برای رسیدن به جواب قطعی نهایی استفاده شده است (رابطه‌ی ۵):

$$y^{*}=\frac{\sum_{i=۱}^{N_q} B'(y_i)^{\alpha} y_i}{\sum_{i=۱}^{N_q} B'(y_i)^{\alpha}} \qquad (۵)$$

که در آن، N_q تعداد نمونه‌های کمّی‌ساز y_i برای به‌دست‌آوردن شکل گسسته‌ی تابع عضویت خروجی $B'(y)$ است. پارامتر α مقدار خود را از بازه‌ی $[۱, +\infty]$ اختیار می‌کند. در بخش ۵، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به پیداکردن مقدار بهینه‌ی پارامتر α برای سیستم خبره‌ی پیشنهادی پرداخته شده است.

۶.۲. رابط کاربر

کاربران یک سیستم خبره از طریق رابط کاربر، مقدار موردنظر خود را برای هر یک از ورودی‌ها وارد سیستم خبره می‌کنند. برنامه‌ی نوشته‌شده به گونه‌یی است که

ورودی‌های می‌توانند تصمیم‌گیری مناسب را برای عدد حقیقی، عدد فازی مثلثی، عدد فازی ذوزنقه‌یی و حتی هر ترکیب دلخواهی از این سه مورد صورت دهد. پس از ورود اعداد موردنظر کاربر، عمل محاسبات و استنتاج بر روی این ورودی‌ها توسط سیستم خبره انجام و درنهایت، نتیجه‌ی به‌دست‌آمده‌ی آن‌ها با استفاده از رابط کاربر به کاربر نمایش داده می‌شود.

۳. روش پژوهش

اولین گام در ساخت سیستم خبره‌ی فازی، که برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز استفاده خواهد شد، تعیین عوامل مؤثر در اندازه‌گیری عملکرد مدیریت ایمنی است. نویسندگان این نوشتار (۱۳۹۰) مطلبی با عنوان «تشخیص راهبردهای بهبود رفتار ایمنی کارگران در ایران با بررسی عوامل محیط ایمنی و تجربه‌ی شخصی» در مجله‌ی اساس به چاپ رسانده و در آن به شناسایی عوامل مؤثر در رفتار ایمنی کارگران پرداخته‌اند.[۱۲] در این پژوهش با پایه قراردادن نتایج به‌دست‌آمده در نوشتار مذکور و مشاوره با افراد خبره، عوامل اصلی تأثیرگذار در ایمنی یک کارگاه ساخت و ساز در ایران شناسایی شده‌اند. خبرگان تحت مشورت شامل ۷ نفر از اساتید دانشگاه، کارشناسان و پیمانکاران ساخت و ساز بودند، که در زمینه‌ی مدیریت ایمنی در کارگاه صاحب نظر بودند و نسبت به موضوع پژوهش آگاهی کافی داشتند. دریافت نظرات و پیشنهادات خبرگان مذکور از این لحاظ اهمیت دارد که سبب می‌شود عوامل انتخاب‌شده، مبانی منطقی و محکمی داشته باشند و در شرایط کاری کارگاه‌های ساختمانی ایران پذیرفته شوند. در این راستا، جلسات توجیهی متعددی با خبرگان به منظور مجاب‌ساختن آن‌ها به همکاری در این پژوهش برگزار شده است. همچنین به منظور طراحی سیستم خبره‌ی فازی از نرم‌افزار متلب[۱۸] استفاده و تلاش شده است تا با بهینه‌سازی سیستم از طریق الگوریتم ژنتیک، مناسب‌ترین پارامترها برای سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی انتخاب شوند.

۴. تعیین عوامل مؤثر در اندازه‌گیری عملکرد مدیریت ایمنی

همان‌طورکه در بخش پیشین اشاره شده است، برای تعیین عوامل مؤثر در عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی از نتایج پژوهش علیپوری و همکاران،[۱۲] و نظر خبرگان امر استفاده شده است. پژوهشگران نام‌برده عوامل نشان‌دهنده‌ی عملکرد مدیریت ایمنی را از طریق پرسشنامه‌یی از کارگران و صاحب‌نظران بخش ایمنی مورد سؤال قرار دادند. عوامل مذکور از مطالعه‌ی ادبیات موضوع و سازگاری آن‌ها با وضعیت کارگاه‌های ساخت و ساز ایران در دو شاخه‌ی محیط ایمنی[۱۹] و تجربه‌ی شخصی[۲۰] به‌دست آمده‌اند. عوامل مربوط به محیط ایمنی عبارت‌اند از: تعهد مدیریت به ایمنی، آموزش ایمنی، درگیرشدن کارگران، بازخورد و ارتباطات ایمنی، فرایندها و قوانین ایمنی، سیاست‌های ارتقاء ایمنی، و تأثیرات کارگران. عوامل مربوط به تجربه‌ی شخصی نیز عبارت‌اند از: دانش ایمنی، و مصرف مواد مخدر و مشروبات غیرمجاز.[۱۲]

سپس، آن‌ها داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه‌ها را با استفاده از روش آزمون فرض t (آزمون معنی‌داری) و آزمون همبستگی و رگرسیون خطی با نرم‌افزار SPSS مورد مطالعه قرار دادند.[۱۲]

مدل رگرسیون خطی به‌دست‌آمده در پژوهش مذکور،[۱۲] نشان داده است که حساسیت ایمنی کارگاه ساختمانی به عوامل سیاست‌های ارتقاء ایمنی، فرایندها و قوانین ایمنی و نوشیدن مشروبات غیرمجاز کمتر است. از این رو در این مطالعه، این سه عامل مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. علاوه بر این، نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش مذکور،[۱۲] نشان داده‌اند در صورتی که مدیریت تعهد کافی به ایمنی داشته باشد، حتماً آموزش ایمنی را در اولویت کارهای خود قرار خواهد داد و در این صورت با توجه به تأثیر آموزش ایمنی در بقیه‌ی عوامل می‌توان انتظار ایمنی مناسب در کارگاه را داشت. از این رو، در این پژوهش از بین دو عامل تعهد مدیریت به ایمنی و بهداشت و آموزش ایمنی، عامل تعهد مدیریت به ایمنی برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی انتخاب شده است.

بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش مذکور،[۱۲] عواملی که برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در این پژوهش انتخاب شده‌اند، عبارت‌اند از: تعهد مدیریت به ایمنی[۲۱]، درگیرشدن کارگران[۲۲]، بازخورد و ارتباطات ایمنی[۲۳]، تأثیرات کارگران[۲۴]، و دانش ایمنی[۲۵]. این عوامل به همراه ریز عوامل خود در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. ریزعوامل مطرح‌شده نیز از نوشتار مذکور،[۱۲] استخراج شده و همه‌ی آن‌ها به تأیید خبرگان تحت مشاوره رسیده‌اند.

۵. طراحی سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی و شرح عملکرد آن

جهت طراحی سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی، که به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز امتیاز می‌دهد، از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. با توجه به اینکه در این پژوهش در صدد هستیم تا عملگرهای تی ـ نرم، اس ـ نرم، مکمل و فازی زدای بیگر را به همراه موتور استنتاج بیگر استفاده کنیم، از جعبه‌ی ابزار منطق فازی متلب استفاده نشده و تمامی کدنویسی‌ها در قسمت کدنویسی متلب انجام شده است. در ابتدای کار تولید یک سیستم خبره‌ی فازی، باید تعیین ساختار قوانین[۲۶] را انجام دهیم، یعنی باید تعداد قوانین و متغیرهای ورودی و خروجی را مشخص کنیم. پس از تعیین ساختار، نوبت به مرحله‌ی تعیین پارامتر[۲۷] خواهد رسید، یعنی باید توابع عضویت فازی مورد استفاده در سیستم خبره و نوع عملگرهای مورد استفاده و پارامترهای مربوط به این عملگرها را تعیین کنیم. پس از آنکه تعیین ساختار قوانین و تعیین پارامتر برای یک سیستم خبره‌ی فازی انجام شد، با توجه به توضیحات بخش ۲ در مورد اجزاء یک سیستم خبره‌ی فازی، می‌توان کار طراحی نهایی و کدنویسی سیستم خبره‌ی فازی را انجام داد.

۱.۵. تعیین ساختار قوانین

در پایگاه دانش یک سیستم خبره‌ی فازی، اکثراً دانش را به‌صورت قوانین فازی نشان می‌دهند. برای تعیین ساختار قوانین لازم است که متغیرهای ورودی و خروجی و تعداد قوانین موردنیاز مشخص شوند. ۱۷ ریزعامل نشان داده‌شده در شکل ۲ به‌عنوان متغیرهای ورودی اولیه برای سیستم خبره‌ی فازی توسعه داده‌شده مطرح هستند. قوانین مورد استفاده در قسمت پایگاه دانش، از ساختار سلسله مراتبی نشان داده‌شده در شکل ۲ تبعیت می‌کنند و در نتیجه در این پایگاه دانش، ۸ مجموعه قانون خواهیم داشت.

مطابق شکل ۲، ابتدا ۱۷ ریزعامل اولیه به‌عنوان ورودی وارد سیستم می‌شود و

شکل ۲. عوامل منتخب برای ارزیابی عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی ایران.

موتور استنتاج با استفاده از ۵ مجموعه قانون موجود در پایگاه دانش، مقادیر مربوط به ۵ عامل: تعهد مدیریت به ایمنی، درگیرشدن کارگران، بازخورد و ارتباطات ایمنی، تأثیرات کارگران، و دانش ایمنی را محاسبه می‌کند. سپس، موتور استنتاج با بهره‌گیری از نتایج به‌دست‌آمده برای ۵ عامل مذکور و دو مجموعه قانون دیگر موجود در پایگاه دانش، مقادیر مربوط به عوامل محیطی و تجربه‌ی شخصی را محاسبه می‌کند. در نهایت، نتیجه‌ی نهایی سیستم خبره، که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مدیریت ایمنی است، با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده برای عوامل محیطی و تجربه‌ی شخصی و با بهره‌گیری از آخرین مجموعه قانون موجود در پایگاه دانش محاسبه می‌شود. ۸ مجموعه قانون مورد بحث عبارت‌اند از:

- مجموعه قانون ۱: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به تعهد مدیریت به ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۴ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه‌قانون ۲: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به درگیرشدن کارگران در ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۴ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه قانون ۳: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به بازخورد و ارتباطات ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۳ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه قانون ۴: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به تأثیرکارگران در ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۲ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه قانون ۵: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به دانش ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۴ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه قانون ۶: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به عوامل محیطی استفاده می‌شوند. این قوانین ۴ ورودی و یک خروجی دارند.

- مجموعه قانون ۷: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به عوامل تجربه شخصی استفاده می‌شوند. این قوانین ۱ ورودی و یک خروجی دارند.
- مجموعه قانون ۸: شامل قوانینی است که برای مقداردهی به عملکرد مدیریت ایمنی استفاده می‌شوند. این قوانین ۲ ورودی و یک خروجی دارند.

با توجه به آنچه در بالا در مورد عملکرد سیستم خبره‌ی فازی توسعه داده‌شده بیان شد، سیستم خبره‌ی فازی جهت استنتاج از پایگاه قوانین و موتور استنتاج فازی استفاده می‌کند. با توجه به زیادبودن تعداد ریزعوامل مؤثر در ارزیابی عملکرد مدیریت ایمنی، تعداد قوانین موجود در قسمت پایگاه دانش زیاد خواهند بود، که در ادامه، تعدادی از این قوانین معرفی شده‌اند.

با مشورت خبرگان تحت مشاوره برای همه‌ی عوامل و ریزعوامل به جز نتیجه‌ی نهایی (عملکرد مدیریت ایمنی) سه حالت پایین، متوسط و بالا در نظر گرفته شده است. برای عملکرد مدیریت ایمنی نیز ۵ حالت خیلی پایین، پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا مورد قبول همه خبرگان واقع شده‌اند. به این ترتیب، با توجه به تعداد ورودی‌های قوانین موجود در ۸ مجموعه قانون معرفی‌شده، مجموعه قوانین ۱ الی ۸ به ترتیب شامل: ۸۱، ۸۱، ۲۷، ۹، ۸۱، ۸۱، ۳ و ۹ و در مجموع شامل ۳۷۲ قانون فازی خواهند بود. ۲۷ قانون موجود در مجموعه قانون ۳، که سه ورودی دارد، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جدول ۲ نیز ۹ قانون موجود در مجموعه قانون ۸ را نشان می‌دهد.

۲.۵. تعیین پارامترها

تعیین پارامترهای یک سیستم خبره‌ی فازی شامل دو قسمت می‌شود: تعیین توابع عضویت فازی مورد استفاده در سیستم خبره و تعیین پارامترهای مربوط به عملگرهای تی ـ نرم، اس ـ نرم، مکمل و فازی زدای بیگر و همین‌طور تعیین مقدار پارامتر β در موتور استنتاج بیگر. در این نوشتار، برای تعیین مقدار بهینه‌ی پارامترهای مذکور از ابزار بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. از این رو، در ادامه‌ی نوشتار، پس از معرفی الگوریتم ژنتیک به تعیین پارامترهای سیستم خبره‌ی پیشنهادی پرداخته شده است.

۱.۲.۵. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های فرا ابتکاری پرکاربرد در بهینه‌سازی است، که بر پایه‌ی مکانیسم‌های تکاملی زیستی و ژنتیک‌های طبیعی قرار دارد. در واقع، ایده‌ی اولیه‌ی این روش از نظریه‌ی تکاملی داروین الهام گرفته شده و کارکرد آن بر پایه‌ی ژنتیک طبیعی استوار است. اصول اولیه‌ی الگوریتم ژنتیک استاندارد توسط هلند و همکارانش در دانشگاه میشیگان (۱۹۶۲) ارائه شده است؛ سپس، در سال ۱۹۷۵ مبانی ریاضی آن درکتابی با نام «تطابق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی» منتشر شده است.[۱۳]

الگوریتم ژنتیک با یک جمعیت از n کروموزوم شروع می‌شود. ارزیابی کروموزوم‌ها با استفاده از تابع هزینه[۲۸] (تابع آمادگی[۲۹]) انجام می‌گیرد؛ پس از این ارزیابی، کروموزوم‌ها از کم‌ترین مقدار آمادگی تا بیشترین مقدار آن مرتب می‌شوند. تعدادی از بهترین کروموزوم‌های مذکور برای ادامه‌دادن الگوریتم انتخاب و کروموزوم‌های جدید (فرزندان) از آن‌ها تولید و بقیه حذف می‌شوند. تعداد کروموزوم‌هایی که انتخاب می‌شوند، از طریق شدت انتخاب[۳۰] مشخص‌شده توسط کاربر تعیین می‌شود. برای تولید فرزندان، در الگوریتم ژنتیک استاندارد دو کروموزوم (پدر و مادر) از بین کروموزوم‌های موجود به طور تصادفی انتخاب و با استفاده از عملگر تقاطع[۳۱] با هم ترکیب می‌شوند. سپس، با اعمال تغییر نسل[۳۲] بر روی تعدادی از فرزندان، که این تعداد توسط شدت تغییر[۳۳] مشخص‌شده توسط کاربر به‌دست می‌آید، کروموزوم‌های جدید نهایی تولید و جایگزین کروموزوم‌های حذف‌شده‌ی قبلی می‌شوند. بعد از تولید تعدادی کروموزوم جدید و ایجاد جمعیت جدید از n تا بهترین کروموزوم موجود در مجموعه‌ی کروموزوم‌های جدید و قبلی، الگوریتم روی جمعیت جدید ادامه پیدا می‌کند. این فرایند معمولاً تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تعداد مشخصی از جمعیت ایجاد و ارزیابی شود و یا الگوریتم به معیار توقف مشخص شده‌ی دیگری برسد.

۲.۲.۵. تعیین توابع عضویت فازی

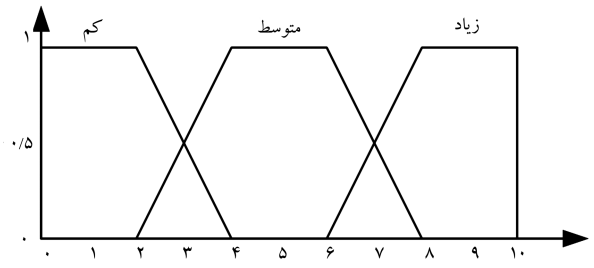
با بهره‌گیری از مشورت و هم‌فکری و تأیید خبرگان امر و با توجه به منطق مسئله‌ی ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز تصمیم گرفته شد که از اعداد فازی ذوزنقه‌یی برای متغیرهای زبانی مورد استفاده در ورودی و خروجی هر یک از قوانین پایگاه دانش استفاده شود. توابع عضویت فازی ذوزنقه‌یی برای تمام متغیرهای ورودی و خروجی به جز متغیر خروجی نهایی (مجموعه قانون ۸) به‌صورت شکل ۳ و برای متغیر خروجی نهایی به‌صورت شکل ۴ در نظر گرفته شده‌اند.

۳.۲.۵. تعیین پارامتر موتور استنتاج و عملگرهای تی ـ نرم و اس ـ نرم مناسب

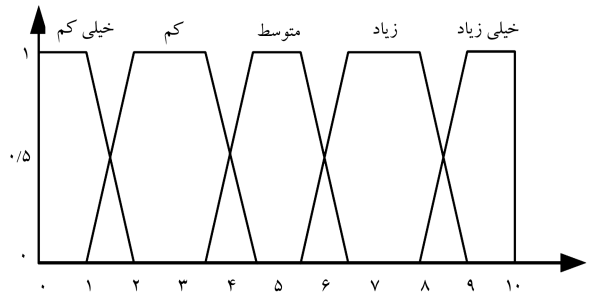
موتور استنتاج مورد استفاده در سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی، موتور استنتاج بیگر است. همچنین عملگرهای تی ـ نرم، اس ـ نرم و مکمل بیگر به همراه فازی زدای بیگر برای انجام محاسبات فازی در داخل موتور استنتاج سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی استفاده و تلاش شده است تا با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مناسب‌ترین مقادیر برای پارامترهای این عملگرها و همچنین پارامتر β موتور استنتاج بیگر انتخاب شود.

رابطه مربوط به عملگر تی ـ نرم بیگر به‌صورت رابطه‌ی ۶ است، که پارامتر $w1$ موجود در رابطه‌ی مذکور با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شود:

$$T(y1, y2) = 1 - \min\{1, (((1 - y1)^{w1}) + ((1 - y2)^{w1}))^{(1/w1)}\} \quad (6)$$



شکل ۳. توابع عضویت ذوزنقه‌یی برای تمام متغیرهای ورودی و خروجی به جز متغیر خروجی نهایی.



شکل ۴. توابع عضویت فازی ذوزنقه‌یی برای متغیر خروجی نهایی.

جدول ۱. قوانین مجموعه‌ی قانون ۳ برای مقداردهی به بازخورد و ارتباطات ایمنی.

ردیف	به‌کارگیری سیاست درهای باز در زمینه‌ی ایمنی	وجود فرصت کافی در جلسات برای بحث و مبادله‌ی نظر در مورد موضوعات ایمنی	وجود ارتباطات باز و روشن درباره‌ی موضوعات ایمنی	بازخورد و ارتباطات ایمنی
۱	بالا	بالا	بالا	بالا
۲	بالا	بالا	متوسط	بالا
۳	بالا	بالا	پایین	بالا
۴	بالا	متوسط	بالا	بالا
۵	بالا	متوسط	متوسط	بالا
۶	بالا	متوسط	پایین	متوسط
۷	بالا	پایین	بالا	بالا
۸	بالا	پایین	متوسط	متوسط
۹	بالا	پایین	پایین	پایین
۱۰	متوسط	بالا	بالا	بالا
۱۱	متوسط	بالا	متوسط	بالا
۱۲	متوسط	بالا	پایین	متوسط
۱۳	متوسط	متوسط	بالا	بالا
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
۱۵	متوسط	متوسط	پایین	پایین
۱۶	متوسط	پایین	بالا	متوسط
۱۷	متوسط	پایین	متوسط	پایین
۱۸	متوسط	پایین	پایین	پایین
۱۹	پایین	بالا	بالا	بالا
۲۰	پایین	بالا	متوسط	متوسط
۲۱	پایین	بالا	پایین	پایین
۲۲	پایین	متوسط	بالا	متوسط
۲۳	پایین	متوسط	متوسط	پایین
۲۴	پایین	متوسط	پایین	پایین
۲۵	پایین	پایین	بالا	پایین
۲۶	پایین	پایین	متوسط	پایین
۲۷	پایین	پایین	پایین	پایین

جدول ۲. قوانین مجموعه قانون ۸ برای مقداردهی به عملکرد مدیریت ایمنی.

ردیف	محیط ایمنی	تجربه‌ی شخصی	عملکرد مدیریت ایمنی
۱	بالا	بالا	خیلی بالا
۲	بالا	متوسط	بالا
۳	بالا	پایین	متوسط
۴	متوسط	بالا	بالا
۵	متوسط	متوسط	متوسط
۶	متوسط	پایین	پایین
۷	پایین	بالا	متوسط
۸	پایین	متوسط	پایین
۹	پایین	پایین	خیلی پایین

جدول ۳. مقادیر بهینه‌ی به‌دست‌آمده توسط الگوریتم ژنتیک برای پارامترهای مورد استفاده در سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی.

پارامتر	β	α	$w1$	$w2$	$w3$
مقدار بهینه	۰	۵	۵۰	۵۰	۵۰

عملگر اس ـ نرم بیگر نیز رابطه‌ی ۷ را دارد و لازم است که پارامتر $w2$ آن بهینه شود:

$$S(y1, y2) = \min\{1, (y1^{w2} + y2^{w2})^{(1/w2)}\} \quad (7)$$

مکمل بیگر از رابطه‌ی ۸ پیروی می‌کند و مقدار بهینه‌ی پارامتر $w3$ این رابطه برای سیستم خبره‌ی پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک به‌دست آمده است:

$$C_w(y) = (1 - y^{w3})^{(1/w3)} \quad (8)$$

جدول ۳، نشان‌دهنده‌ی مقادیر بهینه‌ی پارامترهای β، α، $w1$، $w2$ و $w3$ هستند،

جدول ۴. خطای مجموعه قوانین موجود در سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی برای محاسبه‌ی خروجی‌های مورد انتظار.

مجموعه قانون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مقدار خطا	۰٫۰۸۴۸	۰٫۰۸۴۸	۰٫۱۲۶۸	۰٫۱۱۹۳	۰٫۰۸۴۸	۰٫۰۸۴۸	۰٫۰۳۳۴	۰٫۰۵۳۰

که به ترتیب پارامترهای موتور استنتاج بیگر، فازی زدای بیگر، تی ـ نرم بیگر، اس ـ نرم بیگر و مکمل بیگر هستند.

۶. ارزیابی و به‌کارگیری مدل

هر مدلی که طراحی می‌شود، به علت اینکه تمام جنبه‌های دنیای واقعی در آن در نظر گرفته نشده است، دارای خطا خواهد بود. این خطا اگر در محدوده‌ی قابل قبول و قابل تحمل باشد، مدل اعتبار نسبی دارد؛ در غیر این‌صورت، مدل طراحی‌شده باید اصلاح شود. در اینجا برای آزمون سیستم خبره‌ی پیشنهادی از روش آزمون قوانین موجود استفاده شده است. همچنین، از دو پروژه‌ی مختلف ساختمانی، به‌عنوان مطالعه‌ی موردی، برای صحت‌سنجی نتایج سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی و تشریح نحوه‌ی به‌کارگیری این سیستم استفاده شده است. روش آزمون قوانین موجود به این ترتیب انجام می‌شود که ورودی‌های هر مجموعه قانون (طرف مقدم قوانین موجود در مجموعه قانون) یک به یک وارد موتور استنتاج می‌شود و موتور استنتاج با استفاده از آن، مجموعه قانون خروجی متناظر را تولید می‌کند. خروجی به‌دست‌آمده برای هر قانون با خروجی مورد انتظار مقایسه می‌شود. منظور از خروجی مورد انتظار، آن خروجی است که انتظار داریم براساس قوانین تدوین‌شده به‌دست آید. میانگین مجذور اختلاف خروجی‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار با خروجی‌های مورد انتظار به‌عنوان خطای مجموعه قانون تحت بررسی مطرح است. خطاهای محاسبه‌شده‌ی ۸ مجموعه قانون موجود در سیستم خبره‌ی پیشنهادی در جدول ۴ ارائه شده‌اند، که با توجه به نظر خبرگان تحت مشاوره قابل اغماض هستند.

دو پروژه‌ی انتخاب‌شده جهت صحت‌سنجی نتایج سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی به ترتیب از استان‌های البرز و خوزستان هستند. پروژه‌ی اول مربوط به یک ساختمان آموزشی و آزمایشگاهی در دو طبقه و ۲۰۰۰ مترمربع زیربناست. پروژه‌ی دوم، یک پروژه‌ی مسکونی تجاری است که در ۱۳ طبقه با اسکلت بتنی و با مساحت ۶۰۰۰ مترمربع در حال اجراست. بررسی‌های اولیه نشان داده‌اند که پروژه‌ی اول نسبت به پروژه‌ی دوم از لحاظ ایمنی در جایگاه بهتری قرار دارد. برخی از نقاط ضعف پروژه‌ی دوم عبارت بودند از: عدم استفاده از کمربند ایمنی، داشتن کارگران مهاجر کم‌تجربه، گرم‌بودن هوا و در نتیجه عدم استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی چون کلاه ایمنی، نظارت کم مهندسان ناظر. در مورد پروژه‌ی اول نیز عدم استفاده از کفش و کلاه ایمنی و استفاده‌ی زیاد از تلفن همراه از جمله مشکلات ایمنی موجود بودند. پس از تشکیل گروه ارزیابی ایمنی متشکل از ۳ نفر از متخصصان، سیستم خبره‌ی پیشنهادی برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی و وضعیت ایمنی در کارگاه هر دو پروژه ساختمانی استفاده شده است. نتیجه‌ی حاصل برای کارگاه اول، ۶٫۸۴۹۸ و برای کارگاه دوم ۴٫۹۷۳۸ بوده است، که مورد تأیید تیم ارزیابی ایمنی و مهندسان مسئول هر یک از کارگاه‌ها قرار گرفته است. به این ترتیب، سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی به پیمانکاران و مهندسان کارگاه‌های ساختمانی مورد بررسی در مطالعه‌ی موردی، دید مناسبی را نسبت به وضعیت ایمنی موجود در کارگاه و عملکرد مدیریت از نظر ایمنی داده است. سپس، با توجه به وضعیت ایمنی موجود در کارگاه و اعداد واردشده به سیستم خبره‌ی فازی برای ۱۷ ریزعامل معرفی‌شده در بخش‌های پیشین، توسط تیم ارزیابی ایمنی به پیمانکاران، مهندسان و مدیریت هر یک از این دو کارگاه، پیشنهادهایی برای بهبود وضعیت ایمنی داده شده است.

اگر فرض کنیم که به‌جای گروه ارزیابی ایمنی ما، گروه ارزیابی ایمنی یک شرکت بیمه از سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی استفاده کند، در این صورت، گروه مذکور با بهره‌گیری از امتیاز به‌دست‌آمده برای هر کارگاه ساختمانی خواهد توانست حق بیمه‌ی مناسب آن شرکت پیمانکاری را تعیین کند. البته پر واضح است که علاوه بر امتیاز به‌دست‌آمده برای ایمنی یک کارگاه ساختمانی، باید تعداد و شدت حوادث گذشته‌ی رخ‌داده در کارگاه‌های هر پیمانکار نیز در تعیین این حق بیمه در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال، در صورت داشتن تعداد و شدت حوادث گذشته‌ی یکسان، برای شرکت اول بررسی‌شده در مطالعه‌ی موردی (با امتیاز ۶٫۸۴۹۸) نسبت به شرکت دوم (با امتیاز ۴٫۹۷۳۸) حق بیمه‌ی کمتری تنظیم می‌شود. میزان افزایش یا کاهش حق بیمه را می‌توان به‌صورت ضریبی از نسبت امتیاز ایمنی به‌دست‌آمده و امتیاز مورد قبول شرکت برای تعیین حق بیمه‌ی پایه در نظر گرفت.

۷. نتیجه‌گیری

وجود حوادث در کارگاه‌های ساخت و ساز غیرقابل اجتناب است. سازمان‌های مختلفی در تلاش هستند تا روش‌هایی را برای کنترل این حوادث پیشنهاد کنند. در این نوشتار، یک سیستم خبره‌ی فازی برای امتیازدهی به عملکرد مدیریت ایمنی در کارگاه‌های ساخت و ساز در ایران پیشنهاد شده است. نتایج این سیستم خبره می‌تواند مورد استفاده شرکت‌های بیمه جهت تعیین حق بیمه‌ی شرکت‌های پیمانکاری قرار گیرد. پیمانکاران ساخت و ساز نیز می‌توانند با استفاده از این سیستم از میزان ایمنی کارگاه‌های خود آگاه شوند و در صورت لزوم در صدد بهبود آن برآیند. در صورتی که عملکرد مدیریت ایمنی شرکت پیمانکاری مناسب باشد، این شرکت تخفیف‌هایی را از جانب شرکت بیمه دریافت می‌کند و قادر خواهد بود تا در مناقصات با قیمت مناسب‌تری رقابت کند. به این ترتیب، با استفاده از سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی، پیمانکاران پر ریسک شناسایی می‌شوند و انگیزه‌ی پیمانکاران برای سرمایه‌گذاری بر روی بخش ایمنی در سازمان‌ها برای ادامه‌ی حیات فعالیت‌های تجاری خود افزایش می‌یابد. همچنین، شرکت‌های بیمه نیز با استفاده از این سیستم خبره، ریسک‌های مالی خود را کاهش می‌دهند.

به منظور طراحی سیستم خبره‌ی فازی از نرم‌افزار متلب و در این سیستم از موتور استنتاج، فازی زدا، تی ـ نرم، اس ـ نرم و مکمل بیگر استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مقادیر بهینه‌ی پارامترهای موجود در سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی به‌دست آمده‌اند. در نهایت، سیستم خبره‌ی پیشنهادی

آزمون و ارزیابی شده است، که با توجه به نظر ۷ خبره‌ی تحت مشاوره، خطای محاسبه برای سیستم قابل اغماض و سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی مورد تأیید بوده است. همچنین، به‌عنوان مطالعه‌ی موردی، سیستم خبره‌ی پیشنهادی برای امتیازدهی به دو پروژه‌ی ساختمانی استفاده شده و امتیاز ایمنی به‌دست‌آمده برای هر کارگاه مورد تأیید تیم ارزیابی ایمنی و مهندسان مسئول هر یک از کارگاه‌ها قرار گرفته است. در نهایت، نحوه‌ی استفاده از امتیاز ایمنی به‌دست‌آمده توسط پیمانکاران و مهندسان و مدیران کارگاه و همچنین توسط شرکت‌های بیمه تشریح شده است.

پانوشت‌ها

1. Yager's inference engine
2. Yager's operators
3. Yager's T-norm
4. Yager's S-norm
5. Yager's complement
6. Yager's defuzzification
7. forward chaining
8. backward chaining
9. Boolean logic
10. fuzzifier
11. knowledge base
12. fuzzy inference engine
13. defuzzifier
14. user interface
15. Ebrahim Mamdani
16. Mamdani inference engine
17. logical inference engine
18. Matlab
19. safety climate
20. personal experience
21. management commitment on safety
22. workers' involvement
23. safety communication and feedback
24. workmate's influences
25. safety knowledge
26. structure identification
27. parameter identification
28. cost function
29. fitness function
30. selection rate
31. crossover
32. mutation
33. mutation rate

منابع (References)

1. Imriyas, K. "An expert system for strategic control of accidents and insurers' risks in building construction projects", *Expert Systems with Applications,* **36**(2), pp. 4021-4034 (2009).
2. Vinodkumar, M.N. and Bhasi, M. "Safety management practices and safety behaviour: Assessing the mediating role of safety knowledge and motivation", *Accident Analysis and Prevention*, **42**(6), pp. 2082-2093 (2010).
3. Abraham, A., Sydenham, P.H. and Thorn, R. (Eds.), *Rule-Based Expert Systems*, Handbook of Measuring System Design, John Wiley & Sons (2005).
4. Darlington, K., *The Essence of Expert System*, England, Prentice-Hall (2000).
5. Giarratano, J., *Expert Systems Principles and Programming*, 3th Edn., PWS Publishing Company (1998).
6. Matthews, C. "A formal specification for a fuzzy expert system", *Information and Software Technology,* **45**(7), pp. 419-429 (2003).
7. Wang, L., *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall (1994).
8. Kandel, A. and Raton, B., *Fuzzy Expert Systems*, CRC Press (1992).
9. Rogers, E. and Li, Y., *Parallel Processing in a Control Systems Environment*, London, Prentice Hall (1993).
10. Zadeh, L.A. "Fuzzy sets", *Information and Control,* **8**(3), pp. 338-353 (1965).
11. Huang, Y.P., Lu, C.C. and Chang, T.W. "An intelligent approach to detecting the bad credit card accounts", 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, Innsbruck, Austria, IEEE (2007).
12. Alipouri, Y., Ardeshir, A., Sebt, M.H. and Vasheghani, H. "Identification of strategies for the improvement of human safety behavior in Iran by considering safety climate and personal experience", *Journal of Iranian Society of Civil Engineering (Asas),* **28**, pp. 50-59 (2012).
13. Holland, J.H., *Adaption in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press (1975).