بررسی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری خطوط پرفشار گاز (مطالعه موردی شهرستان اسفراین و تحت حمایت شرکت گاز استان خراسان شمالی)

چوقی بایرام کمکی[1]، محمدتقی علوی[2]، احمد شهابی فر[3*]

۱. مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه وین، وین، اتریش

۲. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳. گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی، گرگان، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: ahmad.shehabi66@gmail.com

مقاله علمی- ترویجی

۱۸ صفحه، از صفحه ۳۹ تا ۵۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین روش‌های انتقال گاز، استفاده از خط لوله است. با توجه به اینکه گاهی خطوط لوله تغذیه‌ی گاز در اطراف مناطق مسکونی گسترش‌یافته‌اند و در صورت بروز نشتی یا پارگی در این خطوط، آلودگی‌های محیط‌زیستی و تخریب غیرقابل‌جبران محیط‌زیست، خسارت‌های جانی، مالی و ایمنی افراد ساکن در مناطق اطراف خطوط لوله تغذیه و پرفشار را به همراه خواهد داشت و تأمین این ایمنی از مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت انتقال گاز است؛ بنابراین هدف از این تحقیق، آسیب‌شناسی خطوط تغذیه گاز است. در این راستا ابتدا معیارهای مؤثر با روش‌های مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه با کارشناسان و مطالعات پیشین شناسایی شدند. این معیارها عبارت‌اند از ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از کانون‌های زلزله. سپس میزان اهمیت یا وزن معیارها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مشخص شدند. در این تحقیق از روش شانون استفاده شد. معیار شیب با وزن ۰/۳۴ بیشترین تأثیر در آسیب‌پذیری خطوط گاز را دارد. بعدازآن به ترتیب معیار فاصله از گسل با وزن ۰/۳۱، معیار فاصله از رودخانه‌ها با وزن ۰/۲۲، معیار فاصله از کانون زلزله با وزن ۰/۱۱ و کمترین تأثیر در آسیب‌پذیری خطوط گاز را معیار ارتفاع با وزن ۰/۰۲ دارد. نقشه‌ی معیارها پس از استانداردسازی، با استفاده از ترکیب خطی وزن‌دار در محیط GIS تلفیق شدند و نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز در سطح شهرستان اسفراین مشخص شد و درنهایت محل‌هایی از لوله‌ها که آسیب‌پذیری بالاتری دارند و همچنین مناطق ایمن مشخص شدند. نتایج نشان دادند که در مناطق واقع در شمال شرقی شهرستان اسفراین، خطوط گاز در معرض بیشترین خطر قرار دارند و ایمن‌ترین خطوط گاز در قسمت‌های مرکزی این شهرستان قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران، آسیب‌پذیری خطوط گاز، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، آنتروپی شانونون، GIS

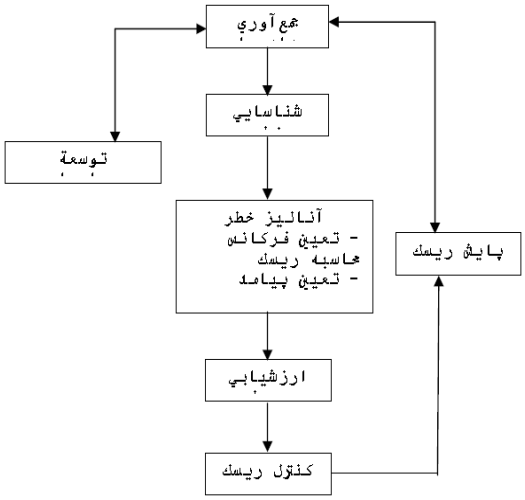
۱. مقدمه

خطوط لوله به‌عنوان یکی از وجه‌های مؤثر کاربردی و اقتصادی برای انتقال مواد خطرناک و قابل اشتعال از قبیل گازهای طبیعی، نفت‌خام و مشتقات آن‌که از طریق خط انتقال راه یا راه‌آهن قابل‌انتقال نمی‌باشند. در خطوط لوله انتقال به علت پخش گاز یا نفت طبیعی به‌وسیله شکست یا نشت آن تحت عنوان یک موضع خطر، امکان انفجار یا

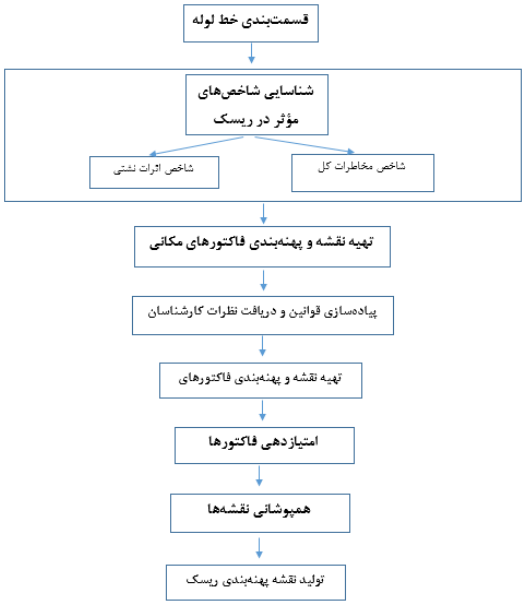
آتـش را به وجود می‌آورد (ایزدی و چاوشیان، ۱۳۹۴). هدف اصلی این تحقیق بررسـی آسـیب‌پذیری خطوط تغذیه گاز با شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری بالا و ارائه راهکار برای آن‌ها همچنین شناسـایی مناطق ایمن در برابر آسـیب‌پذیری است تا بر اساس آن بخش‌های مختلف خط لوله بر اساس امتیازات نسـبی به‌منظور تعمیـرات، بازرسـی و دیگر اقدامـات کاهش ریسک، مشخص شوند.

عمدتاً برای شنایی آسیب‌پذیری خطوط گاز فرآیند تحلیل سلسـله مراتبی بـرای وزن دهی از آنتروپی شـانون برای وزن دهی اسـتفاده می‌شـود. در اکثر تحقیقات گذشته فاکتورهای مؤثر در ریسک با توجه به نظرات خبرگان امتیازدهی شده‌اند و فقـط یک عدد ثابـت مقداردهـی به‌صورت قطعـی بوده که حاکـی از ارزش آن فاکتـور در میـزان ریسـک اسـت، بـه هر قسـمت از خط لوله نسـبت داده‌شده اسـت. فاکتورهای مؤثر در ریسـک خطـوط لولهـی گاز، جابجایی زمیـن، بهره‌برداری نادرسـت، خوردگی، نقص ساختاری و مداخلات شخص ثالث می‌باشـند کـه ماهیـت مکانـی دارند. ازایـن‌رو بـا به‌کارگیری تحلیل‌هـای مکانـی می‌تـوان موقعیـت، وضعیـت و نحوهـی تغییـرات مکانـی هر فاکتـور را در مجاورت خط لوله بررسـی نمود و برآورد ریسک خط لولهی گاز را ارتقاء داد.

مدیریت ریسـک شـبکه توزیع، روشی اسـت برای مدیریت بهتر و کارآمدتر ایمنی شبکه گاز، تحقیقات در این زمینه نسبتاً دیر شروع‌شـده، (در اوایـل قرن ۲۰) در سـال ۱۹۹۵ آیین‌نامه مدیریـت ریسـک خـط لوله آمریـکا نظـرات زیـادی از محافل علمـی را بـه خود جلـب کـرد. از وقتی‌که تعـدادی محققان به انجام کار مطالعه ارزیابی ریسـک متعهد شـده‌اند. هوانگ ویوه[1] مدل محاسـبات احتمال شکسـت ناشـی از لوله خورده شده و ارزیابی پیامدهای را ابداع کرد. ریسک یک حادثه معیاری است از خسـارات وارده بر انسـان، محیط‌زیست یا تجهیزات براثر رخ دادن آن حادثه به گونه که هم تابع احتمال رخ دادن آن حادثه و هم تابع شـدت آسیب‌های وارده ناشی از آن باشد. به عبارتی می‌توان گفت اولین مرحله از مراحل ارزیابی ریسک، شناسایی خطـرات شـبکه توزیع گاز شـهری اسـت و ارزیابـی احتمالات بـا اسـتفاده از فرمول‌هـای تجربی نرخ‌های شکسـت محاسـبه می‌شـود. با توجه به بیشـترین فراوانی نشـت سـناریو حوادث مشخص‌شـده آنالیز پیامدها و ارزشیابی ریسک انجام می‌شود. برای اجرای آنالیز ریسـک و تخمین سـطح ریسک حادثه، سه روش کیفی، نیمه کمی و کمی می‌توان استفاده کرد.



شکل ۱. فرایند مدیریت ریسک



شکل ۲. فرآیند ارزیابی کمی ریسک

۱.۱. قسمت‌بندی خط لوله

برخلاف اکثر تأسیسـات دیگر، معمولاً خط لوله پتانسـیل خطر ثابتی در طول کل مسیر خود ندارد و با تغییر شرایط در طی مسـیر خط لوله، میزان ریسـک نیز متغیر است؛ بنابراین در برآورد ریسـک، بهتر اسـت یـک خط لولهـی طولانی را به بخش‌هـای کوتاه‌تـر تقسـیم‌بندی نمـود. ازایـن‌رو اتخـاذ یک اسـتراتژی مناسـب به‌منظـور تقسـیم‌بندی خـط لولـه بـرای محاسبهی دقیق‌تر ریسـک، ضروری است. بدین ترتیب نتایج برآورد ریسـک در هـر بخش متفـاوت خواهد بـود و برای هر بخـش تکرار می‌شـود. روش‌های مختلفی برای قسـمت‌بندی خط لوله از قبیل طول ثابت، دستی و پویا وجود دارد.

1. Huang Weihe

۱.۲. شناسایی شاخص‌ها

شاخص مخاطرات کل نشان‌دهندهی علت وقوع حوادث بر روی خط لوله و چگونگی آن است. احتمال شکستگی خط لوله با توجه به شرایط محیطی متفاوت در طول خط لوله متغیر است؛ بنابراین شاخص‌های سطح دوم این شاخص شامل فاکتورهایی از قبیل مداخلات خارجی، خوردگی، بهره‌برداری نادرست و نقص در طراحی است.

در قسمت بعدی شاخص دیگری به نام اثرات نشتی، در نظر گرفته می‌شود که شامل فاکتورهای خطرات بالقوه محصول، میزان نشت، پراکنش گاز رهاشده و محیط اطراف است. این شاخص جهت اندازه‌گیری میزان نسبی پیامدهای ناشی از خرابی خط لوله بر جمعیت و محیط اطراف آن تنظیم‌شده است. در این قسمت تجزیه‌وتحلیل بسیار دقیقی از اثرات بالقوه و پیامدهای هر یک از عیوب رخداده در خط لوله انجام خواهد گرفت. خصوصیات محصول، شرایط عملیاتی و موقعیت مکانی خط لوله در دستیابی به فاکتور پیامد موردتوجه قرار می‌گیرد و درنهایت این فاکتور با استفاده از فرمول ۱ محاسبه خواهد شد:

$$LIF = PH \times L \times D \times R \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، PH خطر محصول، L حجم نشتی، D شاخص پراکنش و R دریافت‌کننده‌های موجود در اطراف خط هستند.

پس از انتخاب شاخص‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها، اقدام به تخمین و کمی سازی ریسک‌های شناسایی‌شده در دو محور اصلی شاخص مخاطرات کل و شاخص اثرات نشت می‌شود. در این راستا، مقدار عددی (امتیاز) به شرایط مهم و فعالیت‌هایی در سیستم خط لوله که در ریسک مشارکت دارند، نسبت داده می‌شود. امتیازدهی بر اساس یک سری قوانین و نظرات کارشناسان برای هر شاخص انجام می‌شود. قوانین امتیازدهی از اطلاعات پایگاه دادهی حوادث تاریخی خصوصاً تجزیه‌وتحلیل چگونگی اتفاق افتادن حوادث و پیامدهای ناشی از آن‌ها، استانداردهای موجود، تجارب فنی و مهندسی کارشناس خبره به دست خواهند آمد.

تفاوت در بازهی امتیازی در نظر گرفته‌شده برای هر زیر شاخص حاکی از تفاوت در میزان اثرگذاری آن شاخص در مقدار نهایی ریسک است و به‌نوعی وزن آن زیر شاخص را نشان می‌دهد. در این روش امتیاز عددی یکسانی برای دو شاخص سطح اول مخاطرات کل و اثرات نشتی در نظر گرفته خواهد شد که حاکی از برابری اهمیت آن‌ها است. لازم به ذکر است که نقشه‌های هر یک از زیرشاخص‌های موردبررسی درنتیجهی تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به دست خواهد آمد.

۱.۳. محاسبه ریسک نسبی

در مرحله‌ی بعد، کار روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و درنتیجه پهنه‌بندی ریسک در طول مسیر خط لوله انجام خواهد شد. با تلفیق نقشه‌های زیرشاخص‌های مؤلفه مخاطرات کل و شاخص اثرات، نقشه نهایی شاخص مخاطرات کل که نشان‌دهندهی احتمال وقوع خطر و شاخص اثرات که مبین شدت اثرات نشت گاز است، تولید خواهد شد. پس از تولید نقشه‌ی فاکتور نهایی برای دو شاخص سطح اول، امتیاز ریسک نسبی با استفاده از فرمول ۲ محاسبه خواهد گردید.

$$RRS = \frac{I}{LIF} \qquad (۲)$$

در این رابطه IS مجموع امتیازات شاخص‌های مخاطرات کل و LIF امتیاز به‌دست‌آمده از شاخص اثرات نشتی است. بدین ترتیب با استفاده از رابطه بالا نقشه‌ی پهنه‌بندی ریسک به دست خواهد آمد. نمره نهایی ریسک از بالاترین نمرهی آن یعنی ایمن‌ترین حالت تا پایین‌ترین حالت آن، یعنی ناایمن‌ترین شرایط متغیر ست. این روش برای هر قطعه از خط لوله تکرار می‌گردد. نتیجه نهایی این روش، مقدار عددی ریسک نسبی در هر پیکسل از مسیر خط لوله برای هر یک از بخش‌های خط لوله خواهد بود. سپس در مرحله‌ی بعد، بخش‌های مختلف خط لوله بر اساس امتیازات نسبی به‌منظور اولویت‌بندی برای تعمیرات، بازرسی و دیگر اقدامات کاهش ریسک، رتبه‌بندی خواهد شد. در حقیقت در این روش، شاخص مجموع معرف احتمال وقوع خطر و فاکتور نشت، مبین شدت اثر است.

۱.۴. آنالیز درخت خطا

آنالیز درخت خطا یکی از تکنیک‌های آنالیز سیستم است که در تعیین علل ریشه‌ای و احتمالات رخداد رویداد ناخوشایند ویژه بکار گرفته می‌شود. آنالیز درخت خطا برای ارزیابی سیستم‌های بزرگ پیچیده دینامیک به‌منظور فهمیدن و پیشگیری از مشکلات بالقوه بکار گرفته می‌شود.

اداره ایمنی خط لوله[1] در آمریکا تحت عنوان استاندارد

1. Office of Pipeline Safety (OPS)

برنامه مدیریت ریسک در سال ۱۹۹۷ توسعه یافت و توصیه کرد که شرکت‌های خط لوله بایستی از این استاندارد استفاده کنند. تابه‌حال، رویکرد نیمه کمی کاربردی به ارزیابی ریسک خط لوله، بستگی به مهندسی تصمیم‌گیری تجربی یا ارزیابی ریسک بر اساس ایندکس نامیده می‌شود. امتیازدهی چک‌لیست خط لوله یکی از روش ارزیابی ریسک بر اساس ایندکس که در اکثر خطوط لوله شهرهای کره بکار گرفته‌شده است.

در مطالعه پارک و همکارانش در سال ۲۰۰۴ در شهر سئول کره جنوبی رویدادهای محتمل انتشار گاز به‌وسیله آنالیز درخت رویداد روشن‌شده است. پیامدهای انتشار گاز در ترم از دست دادن مواد و صدمات آتش تخمین زده‌شده است. تکرار رویدادها در ترم علل بزرگ پیامد: گودبرداری به‌وسیله دخالت سوم شخص، خوردگی، نقص جوشکاری و حرکت زمین تخمین زده شد.

بر طبق دپارتمان انتقال[1] در امریکا، علل اصلی انتشار گاز لوله حفاری توسط سوم شخص، خوردگی و حرکت زمین هستند.

۱.۵. ارزیابی ریسک نیمه کمی و استفاده از شاخص‌های خطر

شناسایی خطرات و تعیین درجه آسیب‌پذیری فرآیندهای صنعتی توسط روش‌های مختلفی قابل‌اجرا است. یکی از این روش‌ها شاخص‌های خطر است. شاخص‌های خطر با بررسی کلیه فاکتورهای تأثیرگذار بر آیتم مورداندازه‌گیری به‌صورت کمی محاسبه می‌شوند. با اجرای شاخص‌های خطر در واحدهای فرایندی مختلف یک صنعت، نقاط با سطح ریسک بالا شناسایی می‌شوند و واحدهای فرآیندی یک کارخانه را بر اساس سطح ریسک عمومی آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند. علاوه بر شناسایی نقاط پرخطر راه‌حل‌های کنترلی را برای کاهش ریسک‌های غیرقابل‌پذیرش ارائه می‌دهند. از اصلی‌ترین شاخص‌های خطر می‌توان به شاخص خسارت متوسط سالانه[2]، شاخص حریق، انفجار و سمیت موند[3]، شاخص خطر وزنی ایمنی[4]، شاخص ایمنی ذاتی[5] و شاخص حریق و انفجار DOW اشاره کرد. شاخص DOW از کاربرد بیشتری در صنایع فرآیندی نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار است.

۱.۶. روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های محافظتی[6]

آنالیز لایه‌های حفاظتی یک روش ارزیابی ریسک نیمه کمی است که برای تعیین میزان مؤثر بودن عملکرد سیستم‌های مدیریت ریسک بکار می‌رود. اولین بار در یک فرآیند شیمیایی در سال ۱۹۹۳ پایه‌ریزی شده است. اساس کار این روش مبتنی بر استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده در روش‌های کیفی شناسایی مخاطرات نظیر HAZOP[7] است. به عبارتی این روش بعد از HAZOP و قبل از روش آنالیز درخت خطا اجرا می‌شود. این بر کاهش ریسک وقایعی که بیشترین ریسک را دارند تمرکز داشته و با اطلاعات حاصل از اجرای این روش می‌توان سطح یکپارچگی ایمنی[8] مورد نیازهای سیستم‌های ابزار دقیق ایمنی[9] نظیر اینترلاک‌ها را به دست آورد. این روش امکان تعیین ریسک حاصل از رخدادهای خطرناک گوناگون را با استفاده از شدت حادثه و احتمال وقوع آن حادثه به کاربر می‌دهد.

آنالیز ریسک نیمه کمی برای خطوط لوله با توجه به مقدار ریسک، به‌عنوان پایه، وزن مختلف پیامد و فرکانس اختصاص داده می‌شود. ارزش ریسک نسبی به‌وسیله این دو ایندکس تشکیل‌شده است، معمولاً شامل روش دبلیو.کی. مئوهلبائور[10] و ریاضیات فازی است. روش نخست برای ارزیابی ریسک خط لوله در خارج شهر و هنوز به‌طور گسترده استفاده می‌شود. معرفی‌شده است.

روش ریاضیات با بهره‌برداری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن مختلف فاکتورهای مؤثر و ارزش متفاوت هر فاکتور مطابق با این وضعیت اختصاص داده‌شده است. با ترکیب وزن و ارزش، می‌توان درجه ریسک نسبی را از طریق محاسبات به دست آورد. در حال حاضر، روش دبلیو. کی. مئوهلبائور و روش ریاضیات فازی معمولاً در ارزیابی ریسک جامع خط لوله ترکیب می‌شوند.

۱.۷. روش ارزیابی ریسک کمی[11]

این روش الگوریتمی را به‌منظور ارزیابی ریسک کمی و

1. Department of Transportation (DOT)
2. Instantaneous Fractional Annual Loss Index (IFAL)
3. MOND
4. Safety Weighted Hazard Index(SWEHI)
5. Safety Inhernt Index (SII)

6. Layer of Protection Analysis (LOPA)
7. hazard and operability study (HAZOP)
8. Safety Integrity LeveL(SIL)
9. Systems Instrumentation Safety (SIS)
10. W.K. Muhlbauer
11. Quantitative risk assessment (QRA)

کاهش ریسک ناشی از حوادث مختلف تا جایی که ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است را ارائه می‌دهد و آغاز آن نیز مربوط به صنایع هسته‌ای، هوانوردی و الکتریکی در اوایل سال ۱۹۸۰ است. ارزیابی کمی ریسک اکثراً در مواقعی مورداستفاده قرار می‌گیرد که ارزیابی کیفی و نیمه کمی ریسک، توانایی پیش‌بینی ریسک در واحدهای فرآیندی را نداشته باشد و همواره باید در نظر داشت که این روش، ریسک ناشی از خطرات حاد را بررسی کرده و خطرات مزمن در محدوده کاری آن قرار نمی‌گیرند.

روش QRA یک روش جامع بوده به‌طوری‌که در ابتدا از روش‌های کیفی مناسب جهت غربالگری و شناسایی اولیه کانون‌های خطر استفاده می‌شود و در ادامه جهت برآورد میزان تکرارپذیری پیامدها و احتمال مرگ‌ومیر افراد از معادلات معتبر پرابیت و برای مدل‌سازی و ارزیابی پیامد نیز از بهترین نرم‌افزار تخصصی موجود (PHAST) که منطبق بر معادلات ریاضی است، استفاده می‌گردد.

سایر روش‌ها نه‌تنها هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد رفتارهای مواد شیمیایی خطرناک ارائه نمی‌دهند، بلکه اصولاً متغیرهای مؤثر و متعدد بر رفتارهای متفاوت مواد را در ارزیابی ریسک آن‌ها در نظر نمی‌گیرند. این روش‌ها با در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر و متعدد به‌دست‌آمده در پیش‌بینی رفتار مواد در سناریوهای مختلف، از مدل‌های معتبر و دقیق استفاده می‌کند که این متغیرها عبارت‌اند از:

- خواص مواد شیمیایی مختلف به‌ویژه آنکه برخی سمی و بعضی آتش‌گیر بوده و پاره‌ای هر دو حالت را دارا می‌باشند.
- شرایط عملیاتی و ذخیره‌سازی مواد از قبیل فشار، دما و حالت ترمودینامیکی آن‌ها.
- ابعاد محل خروج مواد و نوع سناریو ازنظر زمانی یعنی تدریجی یا ناگهانی بودن.
- تأثیر یا عدم تأثیر سیستم‌های از کار اندازی اتوماتیک در شرایط رهایش مواد.
- شرایط اقلیمی، مانند سرعت و جهت باد، دما و فشار هوا، کلاس پایداری جوی، رطوبت و نظیر آن‌ها.
- موقعیت مکانی دستگاه‌ها، واحدها و ساختمان‌های صنعتی، اداری و مسکونی در محوطه و خارج از محدوده منطقه عملیاتی.
- الگوی پراکندگی جمعیت منطقه

یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی ریسک صنایع فرآیندی مدل‌سازی پیامدهای ناشی از حوادث محتمل است. این مرحله شامل مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و به دنبال آن مدل‌سازی پیامدهای ناشی از سمیت، اشتعال یا انفجار این مواد است. روش‌های کیفی، نیمه کمی و سایر روش‌های کمی قادر به مدل‌سازی این پیامدها نمی‌باشند و این روش مدل‌سازی کاملی از این پیامدها را انجام می‌دهد که این مدل‌سازی، چگونگی حرکت و تغییرات فیزیکی و شیمیایی توده مواد از هنگام تخلیه به محیط تا مکان تأثیرگذاری را به‌دقت پیش‌بینی نموده و پیامدهای محتمل را تخمین می‌زند، همچنین مدل‌سازی، تشکیل و تقسیم فازها، بارش، جاری شدن روی زمین، فاز تبخیر، رقیق شدن و سایر پدیده‌های فیزیکی مواد را در نظر گرفته و متناسب با نتایج آن‌ها، مکان و زمان تأثیرگذاری نهایی مواد و شدت آن را تعیین می‌نماید.

امروزه مدل‌سازی پیامد به دلیل پیچیدگی روابط مربوطه و زمان‌بر بودن حل آن‌ها، توسط نرم‌افزاری‌های کامپیوتری انجام می‌گیرد. این روش یکی از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود را استفاده می‌کند که قادر به مدل‌سازی تمامی پیامدهای محتمل مواد مختلف است.

روش‌های کیفی، نیمه کمی و سایر روش‌های کمی قادر به ارائه اطلاعات کمی در مورد تأثیرات پیامدهای واحدهای فرایندی نیست. ازجمله مهم‌ترین تأثیرات عبارت‌اند از تشعشع ناشی از آتش‌سوزی (با در نظر گرفتن تنوع حالت‌های مختلف آتش‌سوزی)، افزایش فشار در اثر انفجار (یا به‌اصطلاح موج انفجار) و پراکندگی مواد سمی در مکان و زمان و اثر مواجهه با این مواد (شدت مسمومیت) است، این روش میزان تشعشع، موج انفجار و شدت مسمومیت افراد را در مکان و زمان‌های مختلف با ذکر جزئیات آن‌ها ارائه می‌دهد.

در اکثر روش‌های ارزیابی ریسک، برآورد شدت پیامد و احتمال بروز خطر منطبق بر اصول مهندسی و محاسبات ریاضی نیست و اکثراً یا نوعی روش تحلیلی بوده و یا ریسک نهایی محصول تخمین و برآورد ذهنی افراد بوده و عملکرد سلیقه‌ای داشته که ممکن است به دلایل مختلف مانند بی‌تجربگی و ... نتایجی ناقص و یا گاهاً اشتباه به‌دست‌آمده باشد.

معمولاً هدف از ارزیابی ریسک در واحدهای فرایندی علاوه بر اولویت‌بندی مخاطرات و ارائه راهکارهای مناسب

در جهت کاهش ریسک، برآورد مناسب از هزینه‌های بیمه، جانمایی واحدهای فرایندی[1]، موقعیت‌یابی واحدهای فرایندی[2] ، طرح‌ریزی واکنش اضطراری[3] (ERP)، لزوم استفاده از پوشش‌های حرارتی است که این روش برعکس بسیاری از روش‌ها نتایج بسیار مفیدی را در این زمینه ارائه می‌دهد که به‌راحتی می‌توان برای دستیابی به این اهداف استفاده کرد.

در روش‌های کیفی و بعضی روش‌های نیمه کمی و کمی برای تعیین سطوح ریسک از ماتریس ریسک استفاده می‌گردد که میزان دقت ماتریس ریسک نسبت به منحنی F-N (ارائه نتایج ریسک جمعی در روش QRA) به‌مراتب کمتر است، زیرا در ماتریس ریسک با محدوده تکرارپذیری سروکار داریم، درصورتی‌که در منحنی F-N مقدار تکرارپذیری به‌طور کاملاً مستقل در ارزیابی لحاظ می‌شود.

مدیریت ریسک موفق خطراتی همچون حریق، انفجار و رهایش مواد سمی، بدون یک ارزیابی جامع و صحیح از ریسک‌های موجود و متعاقباً اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و کنترل به‌موقع امکان‌پذیر نیست.

لازم به ذکر است که این روش قادر به ارائه چنین اطلاعاتی است و این شاید به این دلیل است که این روش به‌طور اختصاصی برای صنایع فرایندی ابداع گردیده است.

۱.۸.مزایای فنی،اقتصادی،اجتماعی مدیریت ریسک لوله گاز

در مدیریت ریسک خطوط لوله روشی که هم‌اکنون در صنایع نفت و گاز کشور جهت بازرسی به کار می‌رود، روش بازرسی فنی دوره‌ای با به‌عبارت‌دیگر بازرسی تجهیزات و دستگاه‌ها در بازهی زمانی ثابت است. این روش علاوه بر هزینه‌ی هنگفت، نیاز به زمان طولانی دارد و به جهت عدم امکان پیش‌بینی وقوع حوادث و شدت آن‌ها روشی ناموفق بوده است. روش جدید در این زمینه بازرسی بر مبنای ریسک است. در این روش ابتدا ریسک هرکدام از تجهیزات با معیارهای احتمال و شدت پیامد حتی جنبه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی آن سنجیده می‌شود و در ادامه قسمت‌هایی که ریسک بالاتری دارند، در بازهی زمانی کوتاه‌تر بازرسی فنی می‌گردند که درنتیجهی این عمل باعث کاهش هدر رفتن سرمایه‌ها و زمان فرآیند ارزیابی ریسک می‌شود. به‌عبارت‌دیگر بخش‌های مختلف خط لوله بر اساس امتیازات نسبی به‌منظور اولویت‌بندی برای تعمیرات، بازرسی و دیگر اقدامات کاهش ریسک، رتبه‌بندی خواهد شد؛ بنابراین ازلحاظ اقتصادی و فنی در منابع صرفه‌جویی خواهد شد. همچنین تصمیم‌گیری در مورد ریسک تنها مربوط به جنبه‌های فنی نیست و همه فرایندهای اجتماعی و اقتصادی در آن نقش دارند. به‌نوعی ارزیابی ریسک منجر به کاهش آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی خواهد شد و در ارتقای سلامت جامعه کمک خواهد نمود.

۱.۹. اثرات زیست‌محیطی و HSE پروژه

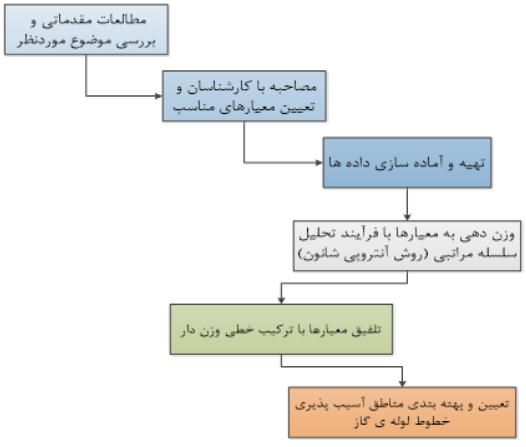
انجام مطالعات ارزیابی ریسک محیط‌زیستی گامی در جهت شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و طبقه‌بندی عوامل مولد خطر و درنتیجه کاهش احتمال وقوع پیامدهای نامطلوب و کنترل خطرات بالقوه این‌گونه طرح‌ها در راستای حفاظت از محیط‌زیست است. درصورتی‌که ارزیابی ریسک خطوط گاز به‌درستی انجام نشود/ مخاطرات ناشی از آن در صورت وقوع می‌تواند خسارت زیادی بر محیط‌زیست وارد کند.

امروزه استفاده از فنون مدیریت ریسک محیط‌زیستی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری اکثر کشورها موردتوجه قرارگرفته است که از فاکتورهای مهم اجرایی در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته استفاده از روش ارزیابی ریسک محیط‌زیستی به‌عنوان یک ابزار کارآمد مدیریتی در مطالعات محیط‌زیست و کاهش مخاطرات پروژه‌های صنعتی-عمرانیهمچنین رعایت اهداف توسعه پایدار است. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی زیرمجموعه مدیریت ریسک محیط‌زیستی، یکی از ملاحظاتی است که موازی و مکمل با ارزیابی اثرات توسعه بر محیط‌زیست به‌صورت کمی، گویای بیان شدت و احتمال آن است. مدیریت ریسک مجموعه‌ای از فعالیت‌های فنی-تحلیلی و فرآیندی نظام‌مند در راستای تصمیم‌گیری برای دستیابی به اطمینان کامل از اجرای صحیح پروژه و رعایت ضوابط مرتبط با کاهش مخاطرات احتمالی است. همچنین این فرآیند انواع مخاطرات را شناسایی و احتمال وقوع آن‌ها را ارزیابی و اولویت‌بندی نموده، درنهایت جهت کاهش شدت مخاطره‌ها و خسارات ناشی از آن‌ها اقدامات کنترلی و برنامه مدیریت ارائه می‌دهد (وکیل‌آزاد و پورستوده، ۱۳۹۶).

1. Layout
2. Siting
3. Emergency response Planning

۲. روش کار:

ایـن مطالعه، توصیفی- تحلیلی با ماهیت کاربردی اسـت و روش‌های گردآوری داده‌های پژوهش، ترکیبی از روش‌های اسـنادی و میدانی اسـت. این پژوهش به دنبال آن اسـت تا با استفاده از مرور ادبیات طرح‌شده در این زمینه، ابتدا مهم‌ترین معیارهـای مرتبط بـا پهنه‌بندی آسـیب‌پذیری خطوط تغذیه گاز را شناسـایی کرده و سـپس بـا اسـتفاده از فرآیند تحلیل سلسـله مرتبـی، محل‌هایـی از لوله که آسـیب‌پذیری بالاتری دارند را مشخص کند. برای این کار ابتدا با مطالعات مقدماتی و ابتدایی و مصاحبه با کارشناسان و مطالعات پیشین، موضوع موردنظر را بررسـی کرده و معیارهای مناسب شناسایی‌شده و داده‌های مناسب (مانند نقشه‌های خطوط گاز، نقشه‌ی شیب، نقشـه‌ی گسـل و غیره) تهیـه می‌شـوند. در ادامه با اسـتفاده از روش تصمیم‌گیـری چنـد معیارهی فرآیند تحلیل سلسـله مراتبـی به این معیارها وزن دهی صورت خواهد گرفت (روش آنتروپی شـانون). سـپس این معیارها استانداردسـازی شده و بـا اسـتفاده از روش ترکیـب خطـی وزن‌دار تلفیق می‌شـوند. درنهایت بر اسـاس امتیازات به‌دسـت‌آمده برای قسـمت‌های مختلف خطوط پرفشـار گاز، پهنه‌بندی آسـیب‌پذیری صورت می‌گیـرد و نقاطی کـه دارای آسـیب‌پذیری بالاتری هسـتند شناسایی‌شـده تا برای آن‌ها تمهیدات ویژه‌ای اندیشیده شود. برای ارزیابی دقـت مدل، نتایج زمینی یا واقعی را اندازه‌گیری کرده و با نتایج حاصل از مدل مقایسه می‌کنیم و به‌این‌ترتیب به‌دقت مدل پی می‌بریم. روند تحقیق در (شـکل ۳-۱) نشان داده‌شده است.



شکل ۳. روند تحقیق

۲.۱. تعیین معیارهای مناسب

در انتخـاب معیارهای ارزیابی قاعده عمومی بر این اسـت کـه این معیارهـا را باید در ارتبـاط با وضعیت مسـئله تعیین کرد. واضح اسـت که مجموعه معیارها، به سامانه خاص مورد تحلیل وابسـته اسـت. به‌عبارت‌دیگر مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابـی به‌تبـع یک مسـئله خـاص تعییـن می‌شـوند و تعداد معیارهای ارزیابی به خصوصیات مسئله تصمیم‌گیری بستگی دارد. همچنیـن مجموعـه‌ای از معیارهـای ارزیابـی برای یک مسـئله تصمیم‌گیـری خـاص، ممکن اسـت از طریق بررسـی ادبیـات مربوطـه، مطالعـه تحلیلی و پیمایشـی عقایـد و آرای افـراد حاصل‌شـده باشـد. در این بخش بـا مطالعـات میدانی، مطالعات پیشـین و مصاحبه با کارشناسان مرتبط، شاخص‌ها و معیارهایـی که بـرای پهنه‌بندی آسـیب‌پذیری خطوط گاز، مطلوب می‌باشـند. مشـخص شـدند. در این راسـتا معیارهای فاصله تا گسل، فاصله تا رودخانه، فاصله تا خطوط گاز، شیب، زمین‌شناسـی و فاصلـه از کانـون زلزله‌هـای گذشـته در نظر گرفته‌شده است.

۲.۲. آماده‌سازی داده‌ها

پیش از ارزیابی ریسـک خطوط گاز لازم است تا داده‌های موردنظر در این راسـتا جمع‌آوری و پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شـود. گردآوری آمار و اطلاعـات که به دو صورت میدانی و کتابخانه‌ای و اسنادی صورت گرفته است.

اطلاعـات فنی و مشـخصات خط لوله‌هـای موردمطالعه از شـرکت گاز تهیه خواهد شـد. اطلاعات جمعیت (تراکم جمعیـت، ویژگی‌های جمعیتی و غیـره) از مرکز آمار تهیه خواهد شـد. اطلاعات شـبکه راه‌هـا از وزارت راه و ترابری تهیـه خواهنـد شـد. اطلاعـات ارتفـاع منطقـه و همچنین شـیب منطقـه، از تصاویـر ماهواره‌ای تهیه‌شـده از سـایت http://gdex.cr.usgs.gov/gdex حاصل می‌شوند. داده‌های گسـل‌ها و کانون‌های زلزله نیز از سـازمان زمین‌شناسی تهیه می‌شـوند. اطلاعـات رودخانه‌ها نیـز از سـازمان برنامه‌وبودجه تهیه خواهد شد. پس منابع داده استفاده‌شده عبارت‌اند از:

- نقشه‌ارتفاعی (تهیه‌شده‌از سایت http://gdex.cr.usgs.gov/gdex)
- نقشه‌ی شیب (تهیه‌شده از نقشه‌ی ارتفاعی)
- نقشه‌ی گسل‌ها
- نقشه‌ی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها
- نقشه‌ی کانون زلزله‌های تاریخی و حاضر رخ‌داده در منطقه موردمطالعه
- نقشـه‌ی خطوط شـبکه‌ی گاز بر اسـاس فرم‌های وصل به گاز و از بیلت
- لایه‌های تراکم جمعیت
- نقشه شبکه راه‌ها

گـردآوری اطلاعـات از بانـک اطلاعاتـی و نرم‌افزارهـای کامپیوتـر ماننـد GIS و AutoCAD و Excel خواهـد بـود. درنهایـت اطلاعات به سیسـتم GIS وارد می‌شـود و لایه‌های رقومی و نقشـه‌های موردنیاز تهیه می‌گردند. پس‌ازآن داده‌ها استانداردسـازی می‌شوند. اغلب بعدازاینکه معیارها و گزینه‌ها مشـخص می‌شـوند، با توجـه بـه مقایسـه ناپذیـری معیارها، استانداردسـازی نیاز دارنـد. استانداردسـازی داده‌ها فرآیندی اسـت کـه در آن معیارهـا بـرای قابل قیـاس شـدن، تبدیل و دوباره مقیاس دهی می‌شوند.

۲.۳. وزن دهی به معیارها

بعـد از انتخـــاب معیارهـــای مؤثـر در پهنه‌بنـدی آسـیب‌پذیری، جهـت ترکیـب آن‌هـا باهـم دیگـر به‌صـورت لایه‌هـای اطلاعاتـی بایسـتی وزن هـر یـک از معیارهـا و زیر معیارهـا متناســب بااهمیـت آن‌هـا بـا اســتفاده از یکی از روش‌هـــای وزن دهی مشـخص شـود؛ زیـرا معیارهایی کـــه در مکان‌یابی استفاده می‌شوند معمولاً از اهمیـــت یکـــسانی برخـــوردار نیـــستند. روش‌هـای مختلفی بـرای وزن دهی به معیارها به سه روش ذیل قابل انجام است:

۱. **استفاده از دانش کارشناسی**

در ایـن روش با اسـتفاده از تجربه و دانش کارشناسـان متخصـص درزمینـه‌ی موردنظـر و بـا در نظـر گرفتـن خصوصیـات محـدوده مطالعاتـی، فاکتورهای مناسـب تعیین و وزن دهی می‌شـوند. از مزایای این روش ساده و مسـتند بودن آن اسـت؛ اما ایـن روش دارای معایبی مانند، احتمال اشـتباه کردن کارشـناس در تعیین وزن و مشـکل استانداردسـازی واحدهای اندازه‌گیری ذهنی آن‌ها، است.

۲. **استفاده از دانش داده‌ای**

دانش داده‌ای متکی بر اطلاعات موجود در مورد جواب مسـئله اسـت. در ایـن روش بـا اسـتفاده از جواب‌های موجود در مسـئله و محاسـبه میزان وابسـتگی هر یک از فاکتورها به جواب، می‌توان وزن مربوط به هر فاکتور را تعییـن کـرد. در روش دانـش داده‌ای، احتمـال بـه وجـود آمدن اشـتباه کمتر اسـت ولی درسـتی عملکرد آن بسـتگی بـه میزان صحـت و دقت جواب‌هـای اولیه موجود دارد.

۳. **استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای به‌صورت توأم**

در ایـن روش بـا توجـه بـه نتایـج حاصـل از دانـش و تجربیـات کارشناسـان و اسـتفاده از اطلاعـات موجود، به هـر یک از فاکتورهـا وزن تعلق می‌گیـرد. بدین نحو کـه ابتـدا وزن‌ها از طریـق دانش کارشناسـی و داده‌ای به‌صورت مجزا محاسـبه می‌شوند، سـپس وزن مطلوب با مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده تعیین می‌شود. درنتیجه احتمـال وقوع اشـتباه کاهش‌یافته و وزن‌هـا به واقعیت نزدیک‌تر خواهند شد.

در این تحقیق از روش آنتروپی شـانون به‌عنوان روشی بر پایه‌ی استفاده از دانش داده‌ای استفاده خواهد شد.

۲.۴. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآینـد تحلیل سلسـه‌مراتبی، یکـی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیـری چنـد شـاخصه اسـت کـه به‌منظـور انتخـاب یـک گزینه از میـان گزینه‌هـای متعـدد تصمیم، بـا توجه به شاخص‌هایی که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند، به کار می‌رود. شاخص‌ها می‌توانند کمی یا کیفی باشند. این روش در دهه‌ی ۱۹۷۰ به همت توماس آل ساعتی[1] ابداع و ارائه گردید. فرایند تحلیـل سلسـله مراتبـی منعکس‌کننده رفتار طبیعـی و تفکر انسـانی اسـت. این تکنیک، مسـائل پیچیده را بر اسـاس آثار متقابل آن‌ها موردبررسی قرار می‌دهد، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیـل کـرده و به حل آن می‌پـردازد. به‌کارگیـری این روش مستلزم چهار گام عمده زیر است:

گام ۱: مدل‌سـازی و تجزیـه مسـئله[2]. در ایـن گام، مسـئله و هـدف از تصمیم‌گیـری به‌صـورت سلسـله مراتبـی از عناصـر تصمیم که باهـم در ارتباط هسـتند، درمی‌آید. عناصـر تصمیـم شـامل «شـاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» است.

گام ۲: قضـاوت ترجیحـی[3]. مقایسـه بین گزینه‌هـای مختلف تصمیم، بر اسـاس معیارهای مشـخص صورت می‌گیرد و بـا اسـتفاده از مقایسـه زوجـی اهمیت هر معیـار نیز مشخص می‌شود.

1. Saaty
2. Modeling and Decomposing
3. Comparative Judgments

گام ۳: محاسبهی وزن‌های نسبی[1]. وزن و اهمیت «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی.

گام ۴: ادغام وزن‌های نسبی[2]. این گام به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم صورت می‌پذیرد. برای درک بهتر یک مسئله سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح اول بیانگر اهداف اصلی فرآیند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده است (که ممکن است به شاخص‌های فرعی‌تر در سطح بعد شکسته شود). سطح سوم گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند. درواقع به این کار، ساختن سلسله مراتبی گفته می‌شود. بعد از مدل‌سازی سلسله مراتبی مسئله تصمیم، باید عنصرهای (شاخص یا گزینه) هر سطح را نسبت به عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر و به‌صورت دوبه‌دو مقایسه و وزن آن‌ها را محاسبه کرد. به‌طورکلی اگر تعداد گزینه‌ها و معیارها به ترتیب برابر n,m باشد آنگاه ماتریس‌های مقایسه زوجی[3] گزینه‌ها به‌صورت m*m و ماتریس مقایسه زوجی معیارها یک ماتریس n*n خواهد بود. المان‌های ماتریس مقایسات زوجی را به‌صورت a_{ij} نشان می‌دهند که مبین میزان ارجحیت یا اهمیت نسبی عنصر i ام بر عنصر j ام است و رابطه $a_{ij}=1/a_{ji}$ در تمام ماتریس‌ها وجود دارد. بنابراین واضح است درصورتی‌که $i=j$ باشد آنگاه $a_{ij}=1$ خواهد بود. a_{ij} بر اساس پیشنهاد آقای ساعتی از (جدول ۱) انتخاب می‌گردند.

جدول ۱. عبارت‌های زبانی برای تعیین ارجحیت

عبارت‌های زبانی برای تعیین ارجحیت	مقدار عددی
ارجحیت یا اهمیت کامل و مطلق	۹
ارجحیت یا اهمیت خیلی قوی	۷
ارجحیت یا اهمیت قوی	۵
ارجحیت یا اهمیت کم	۳
ارجحیت یا اهمیت برابر	۱
برای ترجیحات بین عبارت‌های فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

مرحله بعدی، محاسبه وزن‌های نسبی است که وزن هر یک از گزینه‌ها در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌شود. برای به دست آوردن وزن‌های نسبی، چهار روش عمده مطرح می‌گردد که عبارت‌اند از:

۱. روش حداقل مربعات
۲. روش حداقل مربعات لگاریتمی
۳. روش بردار ویژه
۴. روش تقریبی

ازآنجایی‌که روش‌های فوق دارای محاسبات سنگین است، برخی روش‌های تقریبی که محاسبات کمتر و ساده‌تری دارند ازجمله مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین هندسی و میانگین حسابی پیشنهادشده است که باوجود دقت کمتر، اما قابل‌قبول هستند؛ بنابراین با یکی از روش‌های مذکور، وزن‌های نسبی در هر سطح برای اجزای مختلف آن سطح و با در نظر گرفتن المان‌های سطح بالاتر محاسبه می‌گردد. درنهایت منطق AHP به‌گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد تا وزن نهایی هر گزینه به دست آید. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به وزن نهایی آن‌ها صورت می‌گیرد.

۲.۵. روش آنتروپی شانون

معمولاً به هر یک از شاخص‌ها یک وزن نسبت داده می‌شود. به‌طوری‌که مجموع وزن شاخص‌ها برابر ۱ باشد. برای تعیین وزن شاخص‌ها نیز روش‌های گوناگونی وجود دارد که روش آنتروپی، روش Linmap، روش بردار ویژه و روش کمترین مربعات مهم‌ترین روش‌های تعیین وزن شاخص‌ها می‌باشند. در اینجا روش آنتروپی شرح داده می‌شود.

روش آنتروپی (Entropy) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای محاسبه وزن معیارها است. در این روش نیازمند به ماتریس معیار-گزینه است. این روش در سال ۱۹۷۴ توسط شانون و ویور ارائه شد آنتروپی بیان‌کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. ایده اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. این روش پرسشنامه ندارد و وزن‌ها از خود داده‌ها تعیین می‌شوند، یعنی روش آنتروپی شانون مبتنی بر داده است. گام‌های این روش مطابق زیر است:

1. Calculating The Relative Weights
2. The Relative Weights
3. Pair-Wise Comparisons

گام اول: ابتـدا ماتریـس تصمیم را تشـکیل می‌دهیم. برای تشـکیل این ماتریـس تصمیم کافی اسـت اگـر معیارها کیفی هسـتند از عبـارات کلامـی ارزیابی هـر گزینه را نسـبت به هر معیـار به دسـت آوریم و اگر معیارها کمی هسـتند عدد واقعی آن ارزیابی را قرار دهیم. در شکل زیر که ماتریس تصمیم است ستون‌ها معیار و سطرهای گزینه‌ها هستند. به‌عنوان‌مثال درایه x12 امتیاز گزینه اول نسبت به معیار دوم است.

$$X=[xij]n\times m=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

گام دوم: ماتریـس بـالا را نرمال می‌کنیم و هـر آرایه نرمال شـده را P_{ij} می‌نامیم. نرمال شدن به این صورت است که آرایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می‌کنیم.

$$P_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} \quad (j=1,\ldots,n) \quad (۴)$$

گام سوم: محاسبه آنتروپی هر شاخص: آنتروپی E_j به‌صورت زیر محاسـبه می‌گردد و k به‌عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد.

$$i=1, E_j=-k\sum_{i=1}^{m} P_{ij}\times \ln P_j \quad (۵)$$

K از رابطـه‌ی $K=Ln_m$ محاسـبه می‌شـود کـه m تعـداد گزینه‌ها است.

گام چهـارم: در ادامـه مقـدار d_j (درجـه انحراف) محاسـبه می‌شـود کـه بیـان می‌کند شـاخص مربوطـه (d_j) چـه میزان اطلاعـات مفید بـرای تصمیم‌گیـری در اختیـار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شـده شـاخصی به هم نزدیک باشـند نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب ازنظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. $d_j=1-E_j$

لذا نقش آن شـاخص در تصمیم‌گیری بایـد به همان اندازه کاهش یابد.

گام پنجم: سپس مقدار وزن W_j محاسبه می‌گردد.

$$W_j=dj/\sum dj$$

در ادامـه پس از بـه دست‌به‌دسـت آوردن اوزان معیارها در هر لایه ضرب شـده و با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار، آسیب‌پذیری لوله گاز به دست می‌آید.

۲.۶. روش[1] WLC (روش ترکیب خطی وزنی)

در ایـن روش هـر یک از لایه‌های فازی شـده توسـط توابع عضویـت فازی در وزن مربـوط به خود ضرب شـده و درنهایت بـا یکدیگر جمـع و بر مجموع وزن‌ها تقسـیم می‌شـوند. روش ترکیـب خطی وزنی رایج‌ترین تکنیـک در تحلیل ارزیابی چند معیـاری اسـت کـه روش امتیازدهی نیـز نامیده می‌شـود. این روش بـر مبنای مفهوم میانگین وزنی اسـتوار اسـت. تحلیل‌گر یـا تصمیم‌گیرنده مسـتقیماً بر مبنای اهمیت نسـبی هر معیار موردبررسـی، وزن‌هایـی بـه معیارهـا می‌دهد سـپس از طریق وزن کـردن وزن نسـبی در مقـدار آن خصیصـه، یـک مقـدار نهایـی برای هر گزینه (مثلاً عنصر تصویر در تحلیل فضایی) به دسـت می‌آید. بعدازآنکه مقدار نهایی هر گزینه مشـخص شد، گزینه‌هایی که بیشـترین مقدار را داشـته باشـد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف موردنظر خواهد بود. هدف موردنظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کارکرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یـک رخـداد ویژه باشـد. در ایـن روش قاعدهـی تصمیم‌گیری مقدار هر گزینهی A_i را به‌وسیلهی رابطهی زیر محاسبه می‌کند.

$$A_i=\sum_{=1}^{n} W_j\times X_{ij} \quad (۶)$$

در ایـن رابطه W_j وزن شـاخص jام، X_{ij} مقداری اسـت که مـکان i ام در رابطـه بـا شـاخص j ام به خـود پذیرفته اسـت؛ به‌عبارت‌دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجهی مناسـب بودن مکان i ام در ارتباط با شاخص j ام است. N تعداد کل شاخص‌ها و A_i مقداری است که درنهایت به مکان i ام تعلق دارد.

در این روش می‌بایسـت مجموع وزن‌ها برابر یک باشـد که در صورت وجود عدم چنین شرایطی باید در مرحله‌ی آخر، A_i بر مجموع کل وزن‌ها تقسـیم گردد. در این صورت خروجی A_i نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. درنهایت گزینهی ایده‌ال گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین A_i باشد. روش ترکیب خطی وزنی می‌تواند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت همپوشانی این سیستم اجرا شود.

۳. تجزیه و تحلیل:

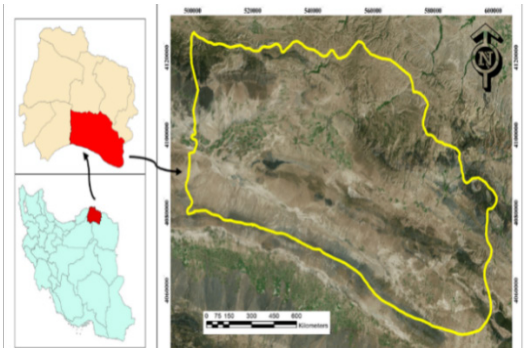
در ایـن بخش مدل پیاده‌سـازی شـده و نتایـج آن در قالب جداول و شـکل‌های مختلف بیان می‌شـوند. برای پیاده‌سـازی ابتـدا داده‌ها آماده‌سـازی شـده و آماده ورود به مدل می‌شـوند و سـپس مدل موردنظر (آنتروپی شـانون) پیاده‌سازی می‌شود. روند تحقیق به ترتیب در این بخش بیان می‌شود.

1. Weighted linear combination

۳.۱. منطقه‌ی موردمطالعه

شهرستان اسفراین از شهرستان‌های استان خراسان شمالی است. مرکز آن شهر اسفراین است. اسفراین بین ۵۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع‌شده است، ارتفاع شهرستان اسفراین از سطح دریا در بلندترین نقاط قله شاه جهان ۳۰۶۴ متر و در پست‌ترین نقطه حدود هزار متر است.

با توجه به توزیع خطوط لوله‌های گاز در این شهرستان، این منطقه به‌عنوان منطقه موردمطالعه انتخاب‌شده است که موقعیت آن در نقشه (شکل ۳) آمده است.

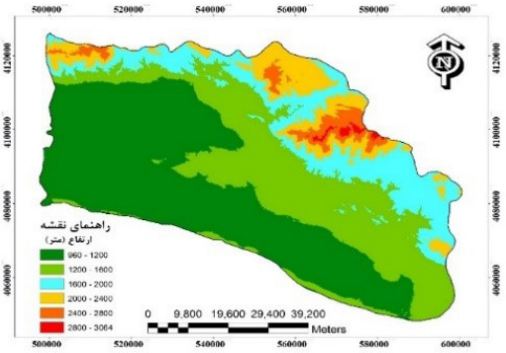


شکل ۴. موقعیت منطقه مورد مطالعه

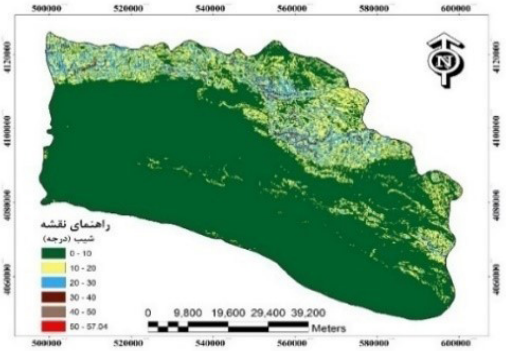
۳.۲. آماده‌سازی معیارها برای ورود به مدل

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، در این تحقیق از نقشه‌های: نقشه‌ی ارتفاعی، نقشه‌ی شیب، نقشه‌ی گسل‌ها، نقشه‌ی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها و نقشه‌ی کانون زلزله‌ها برای تعیین آسیب‌شناسی استفاده‌شده است. هرکدام از این داده‌ها باید به‌عنوان یک معیار در آسیب‌شناسی خطوط پرفشار گاز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شناخته می‌شوند که هرکدام وزن‌های مختلفی می‌گیرند و تأثیر متفاوتی دارند. در ابتدا باید بیان کرد که شهرستان اسفراین در زون ۴۰ در سیستم مختصات[1] UTM قرار دارد و کلیه نقشه‌ها با این سیستم مختصات می‌باشند.

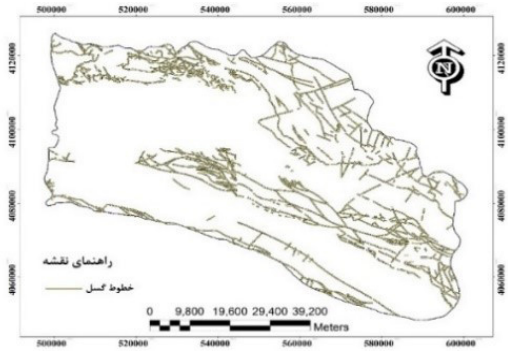
در (شکل‌های ۴ تا ۱۱) نقشه‌های داده‌های مورداستفاده نشان داده‌شده است. همچنین در (شکل ۱۲) نقشه‌ی خطوط گاز تغذیه نشان داده‌شده است.



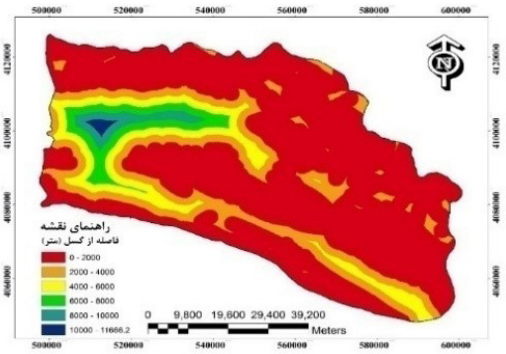
شکل ۵. نقشه‌ی ارتفاع منطقه‌ی موردمطالعه



شکل ۶. نقشه‌ی شیب منطقه‌ی موردمطالعه

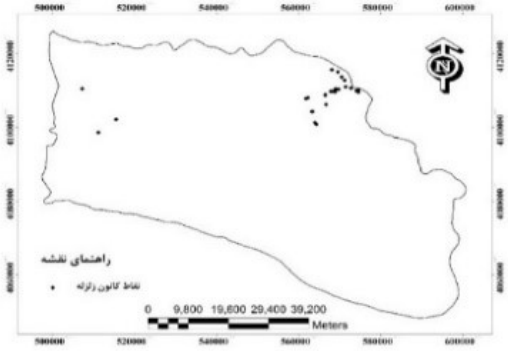


شکل ۷. نقشه‌ی گسل‌های منطقه‌ی موردمطالعه

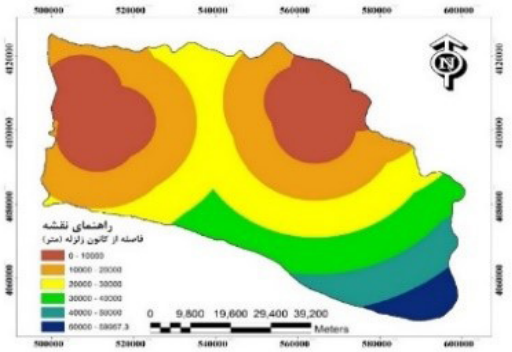


شکل ۸. نقشه‌ی فاصله از گسل‌های منطقه‌ی موردمطالعه

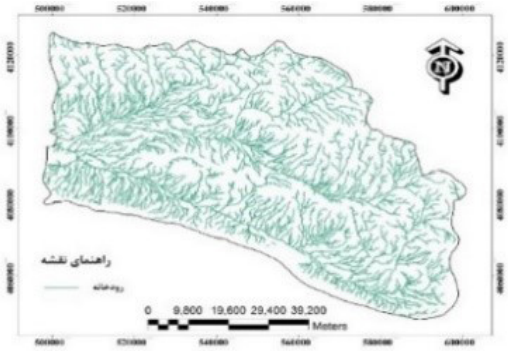
1. Universal Transverse Mercator



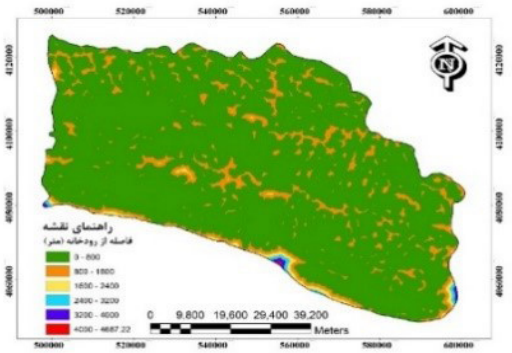
شکل ۹. نقشه‌ی کانون‌های زلزله‌ی منطقه‌ی موردمطالعه



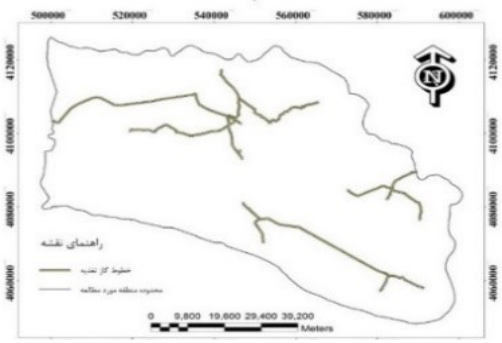
شکل۱۰. نقشه‌ی فاصله از کانون‌های زلزله‌ی منطقه‌ی موردمطالعه



شکل۱۱. نقشه‌ی رودخانه‌های منطقه‌ی موردمطالعه



شکل ۱۲. نقشه‌ی فاصله از رودخانه‌های منطقه‌ی موردمطالعه



شکل ۱۳. نقشه‌ی پراکنش خطوط گاز تغذیه در منطقه‌ی موردمطالعه

با توجه به (شکل‌های ۴ تا ۱۲) نتایج زیر از داده‌ی موردنیاز حاصل شدند:

نقشه‌ی ارتفاع: مناطق شمال، شمال غربی و شرقی و همچنین قسمت‌هایی از شرق دارای بیشترین ارتفاع هستند. مناطق مرکزی و جنوب شرقی دارای ارتفاع متوسط هستند و مناطق جنوبی، جنوب غربی و غربی دارای کم‌ترین ارتفاع در منطقه موردمطالعه هستند.

نقشه‌ی شیب: مناطق شمال، شمال غربی، شمال شرقی و قسمت‌هایی از شرق دارای شیب زیادی هستند و سایر مناطق (مرکزی، جنوبی، غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی)، مناطقی هموار با شیب کم می‌باشند.

نقشه‌ی گسل: با توجه به پراکنش گسل‌های منطقه، مناطق شمال، شمال غربی و شرقی، شرق، جنوب شرقی و قسمت‌هایی از مرکز و جنوب دارای گسل زیادی می‌باشند و فقط مناطق غرب، جنوب غربی، قسم‌هایی از مرکز متمایل به شمال و قسمت‌هایی از جنوب دارای گسل نمی‌باشند. در کل می‌توان گفت که منطقه‌ی موردمطالعه دارای گسل‌های زیادی است.

نقشه‌ی کانون‌های زلزله: کانون‌های زلزله در شمال غربی و غرب منطقه قرار دارند و سایر مناطق دارای کانون‌های زلزله نمی‌باشند.

نقشه‌ی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها: این منطقه دارای آبراهه‌ها و رودخانه‌های کوچک و بزرگ زیادی است، به‌طوری‌که این رودخانه‌ها در کل منطقه‌ی موردمطالعه به‌صورت پراکنده وجود دارند.

نقشه‌ی پراکنش خطوط گاز تغذیه: با توجه به این نقشه، خطوط گاز تغذیه بیشتر در قسمت‌های شمال، شمال شرقی و غربی، شرق و جنوب شرقی پراکنده‌شده‌اند.

۳.۴. پیاده‌سازی مدل و نتایج

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره زمانی استفاده می‌شوند که می‌خواهیم اثر یا وزن چند معیار بر روی گزینه یا گزینه‌های مختلف را مشخص کنیم. در این تحقیق با توجه به این‌که می‌خواهیم نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز تهیه شوند، پس هر نقطه (پیکسل‌های ۱۰۰ متری در داده‌های رستر) یک گزینه محسوب می‌شود. معیارها هم داده‌های مؤثر در آسیب‌پذیری خطوط گاز (در این تحقیق: فاصله از گسل، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از کانون‌های زلزله، ارتفاع و شیب) می‌باشند. پس از آماده‌سازی داده‌ها و برای محاسبه‌ی وزن داده‌ها بر اساس فرمول‌های شانون، نقشه‌های رستر به نقشه‌های نقطه‌ای تبدیل می‌شوند (با دستور Raster To Point در محیط ARC GIS). سپس کلیه‌ی داده‌ها به محیط Excel 2013 برده شدند و کلیه محاسبات مربوط به محاسبه وزن با روش آنتروپی شانون در محیط Excel انجام شد.

با توجه به حجم بسیار زیاد داده‌ها (۴۹۶۶۷۹ پیکسل معادل ۴۹۶۶۷۹ گزینه)، فقط قسمتی از داده‌ها و محاسبات آنتروپی شانون در (جدول‌های ۱ تا ۵) روند محاسبه وزن معیارها با روش آنتروپی شانون برای تعدادی از گزینه‌ها نشان داده‌شده است. در (جدول ۱) ماتریس تصمیم آمده است. در این جدول، ستون‌ها معیار و سطرها گزینه‌ها می‌باشند.

جدول ۲: ماتریس تصمیم

معیارها / گزینه‌ها	فاصله از گسل	ارتفاع	فاصله از کانون زلزله	فاصله از رودخانه‌ها	شیب
۱	۱۹۰۲,۶۳	۱۷۰۶,۰۰	۱۷۱۳۹,۷۰	۰,۰۱	۴,۲۸
۲	۱۸۰۰,۰۰	۱۷۴۱,۰۰	۱۷۱۳۳,۰۰	۱۴۱,۴۲	۱۲,۳۴
۳	۱۸۰۰,۰۰	۱۷۱۱,۰۰	۱۷۰۹۰,۶۰	۱۰۰,۰۰	۷,۸۶
۴	۱۸۰۲,۷۸	۱۷۱۵,۰۰	۱۷۰۴۸,۸۰	۰,۰۱	۱,۷۹
۵	۱۸۱۱,۰۸	۱۷۸۴,۰۰	۱۷۰۰۷,۴۰	۱۰۰,۰۰	۱۴,۱۰
۶	۱۷۰۲,۹۴	۱۷۴۹,۰۰	۱۷۰۸۵,۷۰	۲۸۲,۸۴	۱۷,۳۴
۷	۱۷۰۰,۰۰	۱۷۲۰,۰۰	۱۷۰۴۲,۶۰	۲۰۰,۰۰	۹,۸۵
۸	۱۷۰۰,۰۰	۱۷۱۹,۰۰	۱۷۰۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۳,۸۱
۹	۱۷۰۲,۹۴	۱۸۲۸,۰۰	۱۶۹۵۷,۹۰	۰,۰۱	۳,۲۶
۱۰	۱۷۱۱,۷۲	۱۸۲۹,۰۰	۱۶۹۱۶,۳۰	۱۰۰,۰۰	۱۱,۵۷
۱۱	۱۶۱۲,۴۵	۱۷۹۴,۰۰	۱۷۰۳۹,۴۰	۴۰۰,۰۰	۱۸,۸۹
۱۲	۱۶۰۳,۱۲	۱۷۵۹,۰۰	۱۶۹۹۵,۶۰	۳۰۰,۰۰	۱۸,۲۱
۱۳	۱۶۰۰,۰۰	۱۷۳۲,۰۰	۱۶۹۵۲,۳۰	۲۰۰,۰۰	۱۰,۹۲
۱۴	۱۶۰۰,۰۰	۱۷۲۵,۰۰	۱۶۹۰۹,۵۰	۱۰۰,۰۰	۳,۵۲
۱۵	۱۶۰۳,۱۲	۱۷۳۱,۰۰	۱۶۸۶۷,۱۰	۰,۰۱	۶,۲۸
۱۶	۱۶۱۲,۴۵	۱۸۴۵,۰۰	۱۶۸۲۵,۳۰	۰,۰۱	۸,۷۸
۱۷	۱۶۲۷,۸۸	۱۸۳۸,۰۰	۱۶۷۸۳,۹۰	۱۰۰,۰۰	۱۴,۱۱
۱۸	۱۵۲۹,۷۱	۱۸۰۳,۰۰	۱۶۹۹۴,۱۰	۵۰۹,۹۰	۲۱,۲۷
۱۹	۱۵۱۳,۲۷	۱۷۶۹,۰۰	۱۶۹۴۹,۶۰	۴۱۲,۳۱	۱۹,۹۱
۲۰	۱۵۰۳,۳۳	۱۷۴۰,۰۰	۱۶۹۰۵,۶۰	۳۱۶,۲۳	۱۲,۵۸
۲۱	۱۵۰۰,۰۰	۱۷۳۰,۰۰	۱۶۸۶۲,۱۰	۲۲۳,۶۱	۴,۱۵
۲۲	۱۵۰۰,۰۰	۱۷۳۲,۰۰	۱۶۸۱۹,۰۰	۱۴۱,۴۲	۹,۹۰
۲۳	۱۵۰۳,۳۳	۱۷۷۴,۰۰	۱۶۷۷۶,۵۰	۱۰۰,۰۰	۱۲,۷۷
۲۴	۱۵۱۳,۲۷	۱۸۷۲,۰۰	۱۶۷۳۴,۴۰	۰,۰۱	۵,۴۱
۲۵	۱۵۲۹,۷۱	۱۸۶۴,۰۰	۱۶۶۹۲,۸۰	۱۰۰,۰۰	۱۲,۱۹
۲۶	۱۵۵۲,۴۲	۱۸۶۲,۰۰	۱۶۶۵۱,۷۰	۲۰۰,۰۰	۱۵,۵۹
۲۷	۱۵۸۱,۱۴	۱۸۶۱,۰۰	۱۶۶۱۱,۱۰	۳۰۰,۰۰	۱۸,۹۵
۲۸	۱۴۵۶,۰۲	۱۸۳۰,۰۰	۱۶۹۴۹,۹۰	۶۳۲,۴۶	۲۴,۸۶
۲۹	۱۴۳۱,۷۸	۱۷۸۷,۰۰	۱۶۹۰۴,۷۰	۵۳۸,۵۲	۲۶,۳۵
۳۰	۱۴۱۴,۲۱	۱۷۵۰,۰۰	۱۶۸۶۰,۰۰	۴۴۷,۲۱	۱۸,۷۲
۳۱	۱۴۰۳,۵۷	۱۷۳۸,۰۰	۱۶۸۱۵,۸۰	۳۶۰,۵۶	۷,۹۹
۳۲	۱۴۰۰,۰۰	۱۷۳۶,۰۰	۱۶۷۷۲,۰۰	۲۸۲,۸۴	۸,۸۱
۳۳	۱۴۰۰,۰۰	۱۷۶۹,۰۰	۱۶۷۲۸,۷۰	۲۰۰,۰۰	۱۲,۸۳

در (جدول ۲) ماتریس تصمیم را نرمال می‌کنیم و P_{ij} را محاسبه می‌کنیم. نرمال شدن به این صورت است که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می‌کنیم.

جدول ۴-۲: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

معیارها / گزینه‌ها	فاصله از گسل	ارتفاع	فاصله از کانون زلزله	فاصله از رودخانه‌ها	شیب
۱	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰۱
۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۴
۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۳
۴	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰۱
۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵
۶	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۶
۷	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۳
۸	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۱
۹	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰۱
۱۰	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۴
۱۱	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۶
۱۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۶
۱۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۴
۱۴	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۱
۱۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰۲
۱۶	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰۳
۱۷	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵
۱۸	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۷

۰٫۰۰۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۹
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۰
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۱
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۲
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۳	۲۳
۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۳	۲۴
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۳	۲۵
۰٫۰۰۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۳	۲۶
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۲۷
۰٫۰۰۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۴	۲۸
۰٫۰۰۰۰۰۹	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۴	۲۹
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۴	۳۰
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۴	۳۱
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۴	۳۲
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۴	۳۳

در (جدول ۳) مقادیر $\ln P_{ij}$ نشان داده‌شده است.

جدول ۳: تعیین $\ln P_{ij}$ گزینه‌ها

شیب	فاصله از رودخانه‌ها	فاصله از کانون زلزله	ارتفاع	فاصله از گسل	معیارها / گزینه‌ها
-۱۳,۴۵	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۳	-۱۲,۹۴	-۱۳,۰۹	۱
-۱۲,۳۹	-۱۴,۱۵	-۱۳,۳۳	-۱۲,۹۲	-۱۳,۱۴	۲
-۱۲,۸۴	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۳	-۱۲,۹۴	-۱۳,۱۴	۳
-۱۴,۳۲	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۳	-۱۲,۹۳	-۱۳,۱۴	۴
-۱۲,۲۶	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۹	-۱۳,۱۴	۵
-۱۲,۰۵	-۱۳,۴۶	-۱۳,۳۳	-۱۲,۹۱	-۱۳,۲۰	۶
-۱۲,۶۲	-۱۳,۸۱	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۳	-۱۳,۲۰	۷
-۱۳,۵۷	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۳	-۱۳,۲۰	۸
-۱۳,۷۲	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۷	=۱۳,۲۰	۹
-۱۲,۴۶	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۷	-۱۳,۱۹	۱۰
-۱۱,۹۷	-۱۳,۱۱	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۹	-۱۳,۲۵	۱۱
-۱۲,۰۰	-۱۳,۴۰	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۱	-۱۳,۲۶	۱۲
-۱۲,۵۱	-۱۳,۸۱	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۲	=۱۳,۲۶	۱۳
-۱۳,۶۵	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۳	=۱۳,۲۶	۱۴
-۱۳,۰۷	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۲	-۱۳,۲۶	۱۵
-۱۲,۷۳	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۵	-۱۲,۸۶	-۱۳,۲۵	۱۶
-۱۲,۲۶	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۵	-۱۲,۸۶	-۱۳,۲۴	۱۷
-۱۱,۸۵	-۱۲,۸۷	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۸	-۱۳,۳۱	۱۸
-۱۱,۹۱	-۱۳,۰۸	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۰	-۱۳,۳۲	۱۹
-۱۲,۳۷	-۱۳,۳۵	-۱۳,۳۴	-۱۲,۹۲	-۱۳,۳۲	۲۰
-۱۳,۴۸	-۱۳,۶۹	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۲	-۱۳,۳۳	۲۱
-۱۲,۶۱	-۱۴,۱۵	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۲	-۱۳,۳۳	۲۲

-۱۲,۳۶	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۰	-۱۳,۳۲	۲۳
-۱۳,۲۲	-۲۳,۷۱	-۱۳,۳۵	-۱۲,۸۵	-۱۳,۳۲	۲۴
-۱۲,۴۰	-۱۴,۵۰	-۱۳,۳۶	-۱۲,۸۵	-۱۳,۳۱	۲۵
-۱۲,۱۶	-۱۳,۸۱	-۱۳,۳۶	-۱۲,۸۵	-۱۳,۲۹	۲۶
-۱۱,۹۶	-۱۳,۴۰	-۱۳,۳۶	-۱۲,۸۵	-۱۳,۲۷	۲۷
-۱۱,۶۹	-۱۲,۶۶	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۷	-۱۳,۳۶	۲۸
-۱۱,۶۳	-۱۲,۸۲	-۱۳,۳۴	-۱۲,۸۹	-۱۳,۳۷	۲۹
-۱۱,۹۸	-۱۳,۰۰	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۱	-۱۳,۳۹	۳۰
-۱۲,۸۳	-۱۳,۲۲	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۲	-۱۳,۳۹	۳۱
-۱۲,۷۳	-۱۳,۴۶	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۲	-۱۳,۴۰	۳۲
-۱۲,۳۵	-۱۳,۸۱	-۱۳,۳۵	-۱۲,۹۰	-۱۳,۴۰	۳۳

در (جدول ۴) آنتروپی E_j برای هر گزینه به‌صورت زیر محاسبه شده است و k به‌عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد. m تعداد گزینه‌ها است.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times \ln P_j \ , \ i = 1$$

$$K = Ln_m, m = 496679, k = 0.076245$$

جدول ۴: تعیین آنتروپی گزینه‌ها

شیب	فاصله از رودخانه‌ها	فاصله از کانون زلزله	ارتفاع	فاصله از گسل	معیارها / گزینه‌ها
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۳
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۴
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۵
۰٫۰۰۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۶
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۷
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۸
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۹
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۰
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۱
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۲
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۳
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۴
۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۵
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۶
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۷
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۸
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۱۹
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۰
۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۱
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۲

۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۳
۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۴
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۵
۰٫۰۰۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۶
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۷
۰٫۰۰۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۸
۰٫۰۰۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۲۹
۰٫۰۰۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۳۰
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۳۱
۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۳۲
۰٫۰۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۲	۳۳

در (جدول ۵) مقدار آنتروپی کلی (E_j)، (d_j) (درجه انحراف) و وزن W_j معیارها نشان داده‌شده است.

جدول ۵: تعیین وزن معیارها

معیارها / گزینه‌ها	فاصله از گسل	ارتفاع	فاصله از کانون زلزله	فاصله از رودخانه‌ها	شیب
$E_j = -k\sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times \ln P_j$	۰٫۹۵۶	۰٫۹۹۷	۰٫۹۸۴	۰٫۹۶۸	۰٫۹۵۲
dj = 1-Ej	۰٫۰۴۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۶	۰٫۰۳۲	۰٫۰۴۸
wj = dj/∑dj	۰٫۳۱	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۲۲	۰٫۳۴

با توجه به (جدول ۵)، معیار شیب بیشترین تأثیر در آسیب‌پذیری خطوط گاز را دارد. پس‌ازآن فاصله از گسل قرار دارد. فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از کانون زلزله در رده‌ها بعدی قرار دارند. با توجه به وزن معیارها، ارتفاع کم‌ترین تأثیر در آسیب‌پذیری خطوط گاز را دارد و با توجه به وزن نزدیک به صفر آن می‌توان گفت که این معیار اصلاً تأثیری در آسیب‌پذیری خطوط گاز ندارد.

برای اعمال وزن معیارها به نقشه‌های فاکتور (نقشه‌های فاصله از گسل، فاصله از کانون زلزله، فاصله از رودخانه، ارتفاع و شیب) و تعیین نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز، باید نقشه‌ها را باهم ترکیب نمود. برای انجام این کار از ARC GIS استفاده می‌شود.

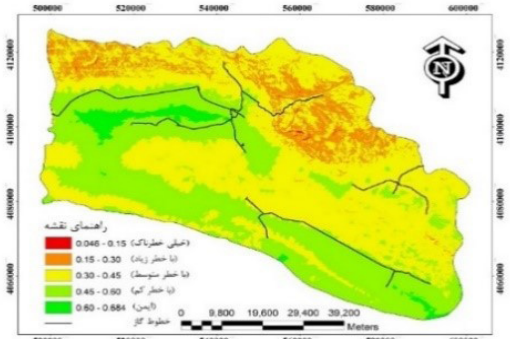
با توجه به این‌که ماهیت داده‌ها متفاوت می‌باشند، مثلاً شیب از جنس درجه، فاصله از رودخانه‌ها، گسل و رودخانه و همچنین ارتفاع از جنس طول می‌باشند و همچنین با توجه به اثرگذاری مستقیم و معکوس این معیارها بر روی خطوط گاز، این معیارها با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار نرمال‌سازی می‌شوند. با نرمال‌سازی، مقادیر معیارها بین ۰ و ۱ می‌شود و درواقع کلیهی معیارها هم مقیاس می‌شوند که برای سنجش و ترکیب مناسب می‌باشند.

برای دست‌یابی به نقشه‌ی آسیب‌پذیری، در هنگام نرمال‌سازی باید نقش و تأثیر معیارها در آسیب‌پذیری مشخص شوند و هرکدام از معیارها با توجه به تأثیرش (مستقیم و معکوس)، نرمال شود. برای تعیین اثر مستقیم و معکوس معیارها، ازنظر کارشناسان استفاده‌شده است. تأثیر مستقیم یعنی هرچقدر مقدار آن معیار بیشتر شود، درنتیجه کار تأثیر مثبتی دارد و برای نقش معکوس نیز برعکس است. برای مثال هرچقدر فاصله از گسل بیشتر باشد بهتر است یعنی خطوط گاز کمتر آسیب می‌بینند و خطرپذیری خطوط گاز کم‌تر است، یعنی هرچقدر فاصله از گسل بیشتر باشد منطقه ایمن‌تر است، پس فاصله از گسل نقش مستقیمی در مدل دارد. یا هرچقدر شیب زمین کم‌تر باشد، خطرپذیری کم‌تر است، پس افزایش شیب باعث افزایش خطرپذیری خطوط گاز می‌شوند و درواقع شیب تأثیر معکوسی در مدل دارد و کم‌تر بودن شیب بهتر است. نتایج تأثیرات معیارها در مدل در (جدول ۶) آمده است.

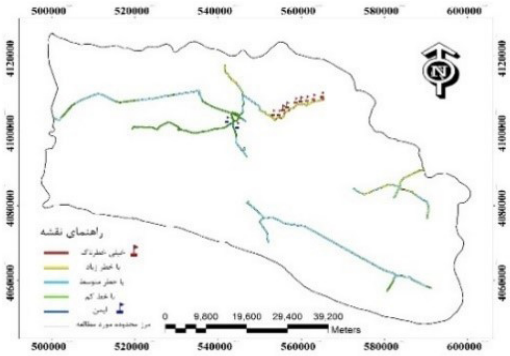
جدول ۶: تأثیرگذاری معیارها در مدل‌سازی

معیارها	نوع تأثیرگذاری معیارها در نقشه‌ی آسیب‌پذیری	
	مستقیم	معکس
فاصله از گسل	✓	-
ارتفاع	-	✓
فاصله از کانون زلزله	✓	-
فاصله از رودخانه‌ها	✓	-
شیب	-	✓

برای استفاده از روش ترکیب خطی وزنی در محیط GIS از توابع فازی استفاده شد و با محاسبه اثرات معیارها و نرمال‌سازی آن‌ها و با استفاده از Raster Calculator، وزن‌ها در معیارهای مربوطه ضرب و با یکدیگر ترکیب شدند. نقشه‌ی حاصل، نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز در منطقه است که در (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) آمده است. با توجه به نرمال‌سازی معیارها، مقادیر نقشه‌ی حاصل در محدوده‌ی بین ۰ و ۱ قرار می‌گیرند که مقادیر نزدیک به ۱، مناطق ایمن و مقادیر نزدیک به ۰، مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر می‌باشند.



شکل۱۴.نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز در شهرستان اسفراین



شکل۱۵. نقشه‌ی آسیب‌پذیری خطوط گاز در شهرستان اسفراین

۴. نتیجه‌گیری:

با توجه به (شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱)، در مناطق واقع در شمال شرقی شهرستان اسفراین، خطوط گاز در معرض خطر خیلی زیادی قرار دارند (پرچم‌های قرمزرنگ روی نقشه). در مناطق شمال و شرق نیز خطوط گاز با خطر زیادی قرار دارند. خطوط غرب متمایل به شمال غربی، جنوب و جنوب شرق و قسمت‌هایی از مرکز دارای خطر متوسط هستند، خطوط مرکزی متمایل به غرب و قسمتی از مرکز با خطر کمی مواجه هستند. ایمن‌ترین مناطق خطوط گاز در قسمت‌های مرکزی این شهرستان قرار دارند که با پرچم‌های آبی‌رنگ در نقشه نشان داده‌شده‌اند.

مراجع:

[1]. GuoHainlin, Ni Xiaoyang, Yuan Mei, Design of the Natural Gas Pipeline Quantitative Risk Assessment System, 2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science

[2]. Han, Z &Weng, Comparison study on qualitative and quantitative riskassessment methods forurban natural gas pipeline network, Journal of Hazardous Materials, Journal of Hazardous Materials 189 (2011) 509–518.

[3]. Hainlin, G, Xiaoyang, N,& Mei, Y, Design of the Natural Gas Pipeline Quantitative RiskAssessment System, 2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science

[4]. Jo, Y. D. &Ahn, B. J. (2002). Analysis of hazard areas associated with high-pressure natural-gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process industries, 15(3), 179-188.

[5]. Jo, Y. D. &Ahn, B. J. (2005). A method of quantitative risk assessment for transmission pipeline carrying natural gas. Journal of hazardous materials, 123(1-3), 1-12.

[6]. Lie M., Liang Cheng, Manchun li (2013). Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems, Journal of loss prevention in the process industries, Journal of Loss Prevention in the Process Industries xxx (2013) 1e10

[7]. Lie Ma, Liang Cheng, Manchun li (2013). Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems, Journal of loss prevention in the process industries, Journal of Loss Prevention in the Process Industries xxx (2013) 1e10

[8]. Ma, L., Li, Y., Liang, L., Li, M., & Cheng, L. (2013). A novel method of quantitative risk assessment based on grid difference of pipeline sections. Safety science, 59, 219-226.

[۹]. ابراهیم‌زاده، الهام؛، اورک.، ندا. محمدی.، روزبهانی، مریم. (۱۳۹۳). «ارزیابی ریسک زیست‌محیطی خط لوله انتقال گاز ۶ اینچ آماک با استفاده از روش PHA»، اولین همایش ملی ارزیابی، مدیریت و آمایش محیط‌زیستی در ایران.

[۱۰]. ایزدی، علی.، چاوشیان، علی. (۱۳۹۴). «ارزیابی کمی و کیفی ریسک‌های خطوط لوله انتقال گاز (مطالعه موردی: شرکت خطوط لوله مخابرات نفت ایران) »، فصلنامه تخصصی علمی ترویجی، شماره ۵۲، ص ۲۰۰-۲۰۹.

[۱۱]. باقری، مجتبی.، بدری، ناصر.، رشتچیان، داود.، اقبالیان، هوشنگ. (۱۳۹۲). «تعیین حریم ایمن خطوط لوله انتقال گازترش به روش ارزیابی کمی ریسک»، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۳۲، شماره ۲، ص ۵۷-۷۱.

[۱۲]. حیرانی، پریسا.، بقایی، علی.، «ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال نفت و گاز بر مبنای روش Bow-tie فازی شده»، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، جلد ۶، شماره ۱، ص ۵۹-۷۰.

[۱۳]. جوزی، علی.، ایرانخواهی، مهدی. (۱۳۸۹). «ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خطوط انتقال گاز به روش تلفیقی AHP»، مجله محیط‌شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵۳، ص ۱۰۷-۱۲۰.

[۱۴]. رضایی نوده، فریده.، کریمی، محمد.، جباری قره‌باغ، موسی.، عسگریان، امیرحسین. (۱۳۹۴). «ارزیابی ریسک خطوط انتقال گاز با استفاده از روش سامانه شاخص گذاری در محیط GIS»، اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی.

[۱۵]. گودرزی، محسن.، جعفری، حمیدرضا.، گیوه‌چی، سعید. (۱۳۹۲). «ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از روش کنت مولبایر»، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست، سال هفتم، شماره ۲۳، ص ۷۴-۸۸.

Vulnerability of high Pressure GAS Lines (Study in Esfarayen City & this Project is Protected by North Khorasan Gas Company)

Chooghi Bayram Komaki[1], Seyed Mohammadtaghi Alavi[2], Ahmad Shahabifar[3*]

1. Austria, Vienna, University Of Vienna

2. Mechanical Engineering, University Of Semnan, Semnan, Iran

3. Civil Engineering, Lamei Gorgani University, Gorgan, Iran

Corresponding Author, Email Address: ahmad.shehabi66@gmail.com

Abstract

One of the most important methods of gas transportatibhon is the use of pipelines. Since gas supply pipelines are sometimes deployed around residential areas and may cause personal and financial damage in the event of leakage or rupture, the safety of residents in the areas surrounding high-voltage and high-pressure pipelines is important. This is one of the most important concerns of the gas transportation industry. The most important consequences of accidents in the oil, gas and petrochemical industries dealing with a wide range of pollutants and hazardous chemicals are environmental pollution and irreparable environmental degradation. It is noteworthy that despite technological advances in societies, many of the environmental, human and economic costs are often irreparable, so the purpose of this study is to identify the pathology of gas supply lines. In this way, effective criteria were first identified. These criteria were identified through library studies, interviews with experts, and prior studies. These criteria are dem, slope, distance from fault, distance from rivers and distance from earthquake foci. Then, the importance or weight of the criteria was determined by the hierarchical analysis process. Shannon method was used in this study. The slope criterion of 0.34 has the greatest impact on the vulnerability of gas lines. After that, the measure of distance from fault is 0.31. Then the distance from rivers is 0.22 and then the distance from earthquake is 0.11. The least impact on the vulnerability of the gas lines is the dem criterion with weight of 0.02. Criteria maps after standardization were integrated using the weighted linear combination in the environment GIS and the gas pipeline vulnerability map was identified at Esfarain city and finally the locations of the pipes with the highest vulnerability as well as safe areas were identified. The results showed that in the areas northeast of Esfarain, gas lines are at highest risk and the safest gas lines are in the central part of the city.

Keywords: *Crisis Management, Gas Line Vulnerability, Analytical Hierarchy Process, Shannon Entropy, GIS*