



## ارزیابی ریسک شبکه توزیع گاز شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در شهر سنندج

افشار مرادی<sup>۱</sup>، ابراهیم نجفی کانی<sup>۲\*</sup>، مهدی پروینی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۱۳

تاریخ ویرایش: ۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** شبکه خط لوله گازرسانی شهری قسمت مهمی از زیرساخت‌های شهری برای انتقال انرژی است. با گسترش و پیچیده شدن شبکه خط لوله گاز، احتمال بروز حوادث ناشی از نشت گاز از خط لوله افزایش یافته به گونه‌ای که این امر می‌تواند تهدید بزرگی برای ایمنی عمومی شهر باشد. بنابراین، ضروری است که شبکه توزیع گاز شهری مورد ارزیابی ریسک قرار گیرد. هدف از این کار تحقیقاتی، ارزیابی ریسک شبکه توزیع گاز شهری در شهرک بهاران واقع در شهر سنندج می‌باشد.

**روش بررسی:** در فرایند ارزیابی ریسک انجام شده در این مطالعه، با توجه به عدم دسترسی کامل به اطلاعات و نیز معیارهای وزن دهی به آن‌ها، از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای مدیریت ریسک شبکه توزیع گاز شهری استفاده شد. با بررسی آمار رویدادهای نشت در شبکه توزیع گاز، فاکتورهای مؤثر شناسایی شد و وزن هر کدام توسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی مشخص گردید.

**یافته‌ها:** با بررسی آمار رویدادهای نشت شبکه توزیع گاز شهری شهرک بهاران سنندج در به دوره سه و نیم ساله (از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا شش ماهه اول سال ۱۳۹۳)، فاکتور مؤثر بر اساس منطقه مورد مطالعه شناسایی شد و سپس با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی وزن هر کدام از این شاخص‌ها در رتبه بندی ریسک شبکه توزیع گاز شهری مشخص گردید. از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص دخالت اشخاص حقیقی از زیر مجموعه شاخص علیتی و شاخص خطر ماده از زیر مجموعه شاخص پیامد به ترتیب بیشترین وزن (۰/۱۶۵ و ۰/۱۵) و شاخص فشار خط لوله کمترین وزن (۰/۰۳۱) را به خود اختصاص دادند.

**نتیجه‌گیری:** در کشورمان ایران، تاکنون فاکتورهای مؤثر بر ارزیابی ریسک شبکه توزیع گاز شهری با استفاده از تکنیک AHP مورد بررسی قرار نگرفته است و وزن‌دهی به علل رخدادها با در نظر گرفتن سطوح مختلف رخدادها، به خلا تحقیقاتی می‌باشد که کمتر به آن پرداخته شده است. با توجه به سطح دقت و کیفیت اطلاعاتی که از نتایج این تحقیق قابل دستیابی است، پیشنهاد می‌شود که مدیران ایمنی شرکت گاز ضمن استفاده از این روش، از عوامل مهم شناسایی شده در این مطالعه برای کمک به ارتقاء ایمنی شبکه توزیع گاز و کاهش احتمال بروز حوادث در خطوط توزیع گاز شهری استفاده نمایند.

**کلیدواژه‌ها:** ارزیابی ریسک، شبکه توزیع گاز شهری، تحلیل سلسله مراتبی.

### مقدمه

دچار شکست می‌شوند، احتمال مرگ‌ومیر زیادی وجود دارد که متعاقب آن اثر دومینو (Domino effect) ایجاد می‌شود، بنابراین حوادث ایجاد شده می‌تواند مقدار زیادی ضرر و زیان را ایجاد کنند [۲].

**ارزیابی ریسک:** ارزیابی ریسک به‌عنوان تابعی ریاضی از احتمال و پیامد یک حادثه تعریف شده است. هدف ارزیابی ریسک شناسایی حوادث احتمالی، آنالیز علیتی و ارزیابی اثرات اقدامات کاهش‌دهنده ریسک است [۳]. آنالیز ریسک به‌طور گسترده‌ای در علم ایمنی، علم محیط‌زیست، اقتصاد، جامعه‌شناسی، و غیره بکار رفته است. هدفش احتمال حوادث بالقوه و آنالیز علت جهت بهتر شدن و کاهش ریسک است. همچنین تصمیم‌گیری در مورد ریسک تنها مربوط به جنبه‌های فنی نیست و

توسعه، پیشرفت و گسترش فناوری‌های بسیار پیچیده و پراهمیت در صنایع مختلف، خصوصاً صنایع شیمیایی سبب شده است که فلسفه ایمنی از رویکرد پس از وقوع به رویکرد پیش از وقوع تغییر یابد [۱]. گاز طبیعی یکی از پرکاربردترین منابع انرژی بوده و کاربرد آن سریعاً در حال رشد است. خطوط انتقال که گاز طبیعی را حمل می‌کنند در معرض خطر هستند و سرتاسر زمین را دربرمی‌گیرند. در سال‌های اخیر، یکی از منابع رو به رشد مشکلات امنیت، خطوط لوله انتقال گاز شهری است. به علت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گاز طبیعی و نیز عوارض خطوط لوله، سوانح خطوط لوله‌ی انتقال گاز از سوانح صنعتی دیگر کاملاً متفاوت هستند. زمانی که خطوط لوله

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی گرایش بهداشت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۲- (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. e\_najafi@semnan.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

## ضرورت ایمنی شبکه خطوط لوله توزیع گاز طبیعی از دیدگاه آمار

آمار حوادث شبکه انتقال و توزیع گاز در جهان: در این بخش، تعدادی از حوادث مرتبط به خط لوله گاز طبیعی بیان می‌شود. در ۲۰ آوریل ۲۰۰۴، نشت گاز طبیعی منجر به انفجار در محله ناخی<sup>۱</sup>، شهر لوژو<sup>۲</sup> استان سیچوان<sup>۳</sup> در چین شد که سبب مرگ ۵ نفر و زخمی شدن شدید ۳۵ نفر شد. در ۲۰ ژانویه ۲۰۰۶، مجدداً در چین انفجار خطوط لوله گاز طبیعی در ایستگاه انتقال گاز رنشو فوجیا<sup>۴</sup> سبب مرگ ۱۰ نفر، ۳ آسیب جدیدی و ۴۷ آسیب جزئی گردید. در ۶ آوریل ۲۰۰۷، شهر شنیانگ<sup>۵</sup> استان لیاونینگ<sup>۶</sup> شاهد یک نقص بزرگ و نشت مقداری گاز طبیعی و به دنبال آن آتش‌سوزی بود که زندگی ساکنین محلی تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفت. در ۱۵ مارس ۲۰۱۰، انفجار گاز طبیعی ناشی از فعالیت جاده‌سازی در جاده هوانگپو<sup>۷</sup> در ووهان<sup>۸</sup> به خطوط اصلی گاز طبیعی آسیب جدی وارد نمود که در نتیجه آن خانه‌های نزدیک به محل تخریب آتش گرفتند و گازرسانی به ۴۰۰۰ منزل مسکونی قطع گردید. در ۸ ژوئن ۲۰۱۰، انفجار خطوط لوله گاز طبیعی شهرستان لپسکومب<sup>۹</sup> (شهری کوچک در شمال تگزاس در حاشیه اوکلاهما)، سبب مرگ ۲ نفر و ۳ آسیب شدید شد. در چین، خط لوله گاز طبیعی دفن شده در زمین دچار شکست شد و انفجاری در اول ژانویه ۲۰۰۲ رخ داد. به پیامد این حادثه، حداقل شش نفر کشته شدند، دو نفر به شدت زخمی شدند و دو نفر آسیب جزئی در شهر داکینگ<sup>۱۰</sup> دیدند [۴]. سال ۲۰۰۴ در بلژیک، انفجار کارخانه گاز طبیعی سبب مرگ ۱۴ نفر و زخمی شدن بیش از ۲۰۰ نفر شد. در پاراگوئه آتش‌سوزی بزرگ ناشی

همه فرایندهای اجتماعی، روانشناسی، سیاسی در آن نقش دارند [۴]. ارزیابی ریسک یک فعالیت مهم برای بسیاری از فرایندها از جمله شبکه‌های توزیع گاز شهری بوده که ارائه‌کننده‌ی ریسک‌های آن فن‌آوری می‌باشد. اگرچه خطوط لوله در مطالعات به‌عنوان یکی از امن‌ترین حالت‌های حمل و نقل مواد گازی، با فراوانی تصادف کمتر در مقایسه با جاده و یا راه آهن اشاره شده است، شکست در خط لوله ممکن است رخ دهد و گاهی اوقات باعث عواقب فاجعه باری گردد. ذات پیامد چنین حوادثی بر اهمیت استقرار مدیریت ریسک مناسب و مؤثر برای این نوع از تأسیسات را پررنگ می‌کند. با این حال، ارزیابی منابع ایجاد ریسک که در فضای مورد بررسی توزیع شده است، پیچیدگی‌های مخصوص به خود را داراست. همان‌طور که دانشمندان اشاره کردند، هنوز هم فقدان اجماع در میان محققان دانشگاهی و شاغلان در مورد چگونگی مدل و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با حمل و نقل مواد خطرناک وجود دارد [۲]. راه آهن، بزرگراه‌ها، راه آبی، هوایی و جابجایی خط لوله، پنج حالت از سیستم حمل و نقل است. خطوط لوله یکی از عملی‌ترین و ایمن‌ترین روش‌ها برای انتقال مواد خطرناک، مانند گاز طبیعی است اما در طول زمان این روش انتقال نیز همواره در معرض حوادث و مخاطرات گوناگونی بوده است. خطوط لوله گاز طبیعی معمولاً در یک محیط باز طراحی، ساخته، بهره‌برداری و مدیریت می‌شوند، به این ترتیب در معرض تهدیدها و شرایط نامعلوم مختلف قرار می‌گیرند. با توجه به ضرورت دستیابی به قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌های خط لوله گاز، ارزیابی ریسک به‌عنوان یک واسطه مناسب برای مدیریت این خطرها می‌تواند مورد استفاده قرار گرفته تا بواسطه آن بتوان شناسایی تهدیدها، اندازه‌گیری آسیب‌پذیری و انتخاب فواصل بازرسی مناسب را هرچه بهتر و علمی‌تر اجرایی نمود [۵]. البته لازم به ذکر است که حمل و نقل گاز طبیعی از طریق خطوط لوله گاز حدود ۲۲/۴ درصد از کل حجم مبادلات کالا در جهان را به خود اختصاص داده است [۶].

<sup>1</sup> Naxi

<sup>2</sup> Luzhou

<sup>3</sup> Sichuan

<sup>4</sup> Renshou Fujia

<sup>5</sup> Shenyang

<sup>6</sup> Liaoning

<sup>7</sup> Huangpu

<sup>8</sup> Wuhan

<sup>9</sup> Lipscomb

<sup>10</sup> Daqing

از نشت گاز منجر به بیش از ۲۵۰ مرگ و در سال ۲۰۰۴ شد. در سال ۲۰۰۹، انفجار ناشی از نشت گاز سبب ایجاد بزرگ‌ترین آتش‌سوزی از زمان جنگ جهانی دوم در مسکو شد [۷].

### روش بررسی

۴-۱- مدلسازی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱۱</sup>: یک عارضه در دنیای واقعی از برهم کنش و اثر متقابل یک سری عوامل و اجزای دیگر می باشد و بررسی همه آنها بسیار مشکل و در واقع غیرممکن می باشد. بنابراین برای مدلسازی پدیده ها باید عوامل اصلی و تاثیر گذار بر پدیده ها شناسایی شوند. ضمناً بعد از شناسایی هر یک از شاخصها برحسب اهمیت نسبی و میزان تاثیر هر یک از آنها در تعیین پدیده مورد نظر باید وزن خاصی داده شود؛ اما تعیین وزن برای فاکتورهای مورد نظر با افزایش تعداد شاخص های تحت بررسی دشوار خواهد شد. همچنین می بایست در نظر داشت که در میان این شاخص ها و با توجه به اولویت موضوع مورد بررسی، به یک شاخص نسبت به شاخص دیگر اهمیت بیشتری داده می شود [۱۵]. در فرایند وزن دهی باید شاخص های زیر در نظر گرفته شود.

- نیاز به اطلاعات و تجربه کارشناسی در چندین زمینه علمی برای بحث کردن در مورد یک عامل پیچیده
- وزن دهی به تعداد شاخص های تحت بررسی بستگی دارد.
- نگاه کوتاه مدت یا بلند مدت به موضوع مورد بررسی

تکنیکهای تحلیل چند معیاری<sup>۱۲</sup>، ابزار مناسبی برای بررسی پدیده های پیچیده می باشد که می تواند بهبود قابل قبولی را در برنامه ریزی ایجاد نماید [۱۶]. یکی از روشهای ارزیابی و وزن دهی، روش تحلیل سلسله مراتبی است که به وسیله ساتی در سال ۱۹۷۷ مطرح شد و امروزه یکی از تکنیکهای مناسب و کارآمد برای وزن دهی و حل مسایل چند پارامتری پیچیده می باشد. این روش ابزاری قدرتمند و انعطاف پذیر برای بررسی کمی و کیفی مسایل چند پارامتری است که خصوصیت اصلی آن

**آمار حوادث شبکه انتقال و توزیع گاز در ایران:** بر اثر نشت لوله های گاز در اسفند ماه سال ۹۱ در منطقه خشایار اهواز، هشت منزل مسکونی تخریب شد. به نشت گاز موجب انفجار و تخریب چندین منزل مسکونی شد و چندین خانواده را نیز عزادار کرد. انفجار در یک ساختمان سه طبقه در بزرگراه محمد علی جناح تهران به علت نشت گاز در دی ماه سال ۹۱، دو نفر کشته و ۳ مصدوم بر جا گذاشت [۸]. حوادث ناشی از نشت گاز، سال ۹۲، ۱۷ نفر را در آذربایجان غربی به کام مرگ کشاند [۹]. در آبان ماه ۱۳۹۲ نشت گاز عمل انفجار و مصدوم شدن دو کارگر در زنجان [۱۰] شد. در مهرماه ۱۳۹۲ در شهریار تهران به دلیل برخورد بیل مکانیکی منجر به ترکیدن لوله گاز شد [۱۱].

در اردیبهشت ۹۲ در قیامدشت انفجار گاز شهری ۵ مصدوم و دو نفر کشته در پی داشت [۱۲]. در تیرماه ۱۳۹۳ بر اثر انفجار گاز شهری در خیابان ۲۲ بهمن تبریز، یک منزل مسکونی تخریب شد و یک نفر جان باخت [۱۳]. آمار ذکر شده در بالا می تواند دلیل بسیار خوبی برای لزوم رعایت اصول ایمنی در شبکه توزیع گاز شهری می باشد. حوادث فوق الذکر هر چند از نظر چگونگی اتفاق با یکدیگر متفاوتند، اما در چند مورد اساسی اشتراک دارند که عبارت هستند از کنترل آتش، انفجار و یا نشت مواد سمی و در نتیجه کشته و زخمی شدن افراد و خسارات مالی در محدوده خطوط لوله گاز است. این حوادث در سالهای اخیر به دفعات به دلیل دخالت سوم شخص، خوردگی، شکست مواد یا مکانیکال، خطرات طبیعی یا بعضی دیگر فاکتورهای ناشناخته اتفاق افتاده است. به علاوه، سیستم شبکه سوخت گاز شهری از نواحی با جمعیت زیاد می گذرد و مردم و اموال در معرض خطر قابل توجه از پیامدهای ناشی از شکست خط لوله است. مدیریت ریسک می تواند خطر را به سطح معقول با کمترین هزینه کاهش داده و از عملکرد ایمن خطوط لوله

<sup>11</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>12</sup> Multiple criteria analysis

به طوریکه در آن:

A ماتریس ارزشهای دو دویی و  $\lambda$  مقدار ویژه می باشد که پس از حل معادلات بالا بدست می آید. به تعداد فاکتورها مقدار ویژه حاصل می شود، I ماتریس همانی و  $\beta$  ضرایب حاصل از محاسبه دترمینان می باشد. پس از بدست آوردن مقدار ویژه که به تعداد فاکتورهای تحت بررسی مقدار ویژه وجود دارد. برای محاسبه مولفه بردار ویژه، بزرگترین مقدار ویژه در فرمول زیر قرار داده می شود. البته شرط تعامد هم باید برقرار باشد.

معادله (۳):

$$\begin{vmatrix} a_{11}^{-\lambda} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}^{-\lambda} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn}^{-\lambda} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \dots \\ n_n \end{vmatrix} = 0$$

n: برابر تعداد فاکتورهای تحت بررسی می باشد [۲۳].

پس از حل دستگاه n معادله ای-n مجهولی بالا، به تعداد فاکتورها مولفه بردار ویژه تعیین خواهد شد (البته امکان دارد که مولفه های بردارهای ویژه به صورت عدد مختلط بدست آیند که لازم است تنها مقادیر عدد حقیقی برای بردار ویژه مد نظر قرار داده شود). بعد از محاسبه بردار ویژه با استفاده از فرمول (۴) وزن هر فاکتور را تعیین می گردد.

معادله (۴):

جمع کل مولفه های برداری های ویژه/مولفه بردار ویژه برای فاکتور  $\lambda_m =$  وزن نهایی فاکتور

این کار تضمین می کند که جمع کل وزنها برای تحلیل نهایی برابر یک باشد. البته برای تعیین ارزشها براساس مقایسه دو به دو فاکتورها باید خوب بررسی شوند و تعیین آنها اختیاری نیستند. اگر چنانچه به صورت اختیاری ارزش برتری را برای فاکتورها تعیین شود ناسازگاری در تحلیل به وجود خواهد آمد. برای مثال فاکتور دخالت اشخاص حقیقی از فاکتور دخالت پیمانکاران مستقل اهمیت بیشتری داشته باشد و شاخص پیمانکاران مستقل نیز از شاخص دخالت شهرداری اهمیت بیشتری داشته باشد؛ بنابراین فاکتور دخالت شهرداری به مراتب اهمیت کمتری از دخالت اشخاص حقیقی خواهد داشت، یعنی همان نسبت تعدی (رابطه ۵).

جدول ۱- اعداد مقایسه دو به دو فاکتورها [۲۲]

| شدت اهمیت | شرح                             |
|-----------|---------------------------------|
| ۹         | اهمیت برتری حداکثر              |
| ۸         | اهمیت برتری خیلی زیاد تا حداکثر |
| ۷         | اهمیت ارزش برتری خیلی زیاد      |
| ۶         | اهمیت برتری زیاد تا خیلی زیاد   |
| ۵         | ارزش برتری زیاد                 |
| ۴         | اهمیت متوسط تا زیاد             |
| ۳         | اهمیت متوسط                     |
| ۲         | ارزش برتری یکسان تا متوسط       |
| ۱         | دو فاکتور با ارزش برتری یکسان   |

براساس مقایسه های دو به دو می باشد [۲۰-۱۷]. در روش AHP همه فاکتورها و معیارها دو به دو با هم مقایسه شده و در ماتریس وزنها قرار داده می شود [۲۱]. برای محاسبه وزن فاکتورها با استفاده از روش AHP، دو کمیت مقدار ویژه ۱۳ و بردار ویژه ۱۴ از ماتریس مربعی تقدم شاخص ها محاسبه می شود که بیانگر مقدار عددی اهمیت یک فاکتور نسبت به فاکتور دیگری می باشد. صبحی و همکاران [۲۲] پیشنهاد کردند که معیار مقایسه دو به دو فاکتورها در دامنه ۱ تا ۹ قرار داده شود به طوریکه ارزش ۱ نشان دهنده اهمیت برابر دو فاکتور و عدد ۹ نشان دهنده اهمیت به شدت مهم یک فاکتور در مقابل فاکتور دیگر می باشد (جدول ۱).

بعد از تعیین اهمیت فاکتورها نسبت به یکدیگر آنها را در یک ماتریس قرار می دهیم. سپس مقدار ویژه را با استفاده از فرمول زیر بدست می آوریم.  
معادله (۱):

$$A - \lambda I = \begin{vmatrix} a_{11}^{-\lambda} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}^{-\lambda} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn}^{-\lambda} \end{vmatrix}$$

معادله (۲):

$$|A - \lambda I| = (-1)^n [\lambda^n - \beta_1 \lambda^{n-1} + \beta_2 \lambda^{n-2} + \dots + (-1)^{n-1} \beta_{n-1} \lambda + (-1)^n \beta_n] = 0$$

<sup>13</sup> Eign-value

<sup>14</sup> Eign-vector

جدول ۲- مقادیر RI پیشنهاد شده ساتی و وارگاس [۲۳]

| n  | ۲ | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | >۸   |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | ۰ | ۰/۵۲ | ۰/۹۰ | ۱/۱۲ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ |

**تحلیل آماری:** در شکل های ۲ تا ۱۲، آمار حوادث شبکه گازرسانی شهری شهر سنندج که از شرکت گاز استان کردستان دریافت شده است، نشان داده می شود. هدف از این تحلیل آماری، ایجاد یک تصویر واقعی از احتمالات و فرکانس نشت های رخ داده، تعیین فاکتورهای مؤثر و ایجاد یک چارچوب ارزیابی ریسک شبکه گازرسانی است (شکل های ۲ تا ۱۲). نشت های رخ داده در ۹۰۴۱۴ کیلومتر از شبکه گازرسانی در یک دوره سه و نیم ساله جمع آوری شده (شکل ۲) و کل مواجهه خط لوله در این دوره بهره برداری برابر ۳۱۶,۴۴۹ کیلومتر-سال است. از آمار نشت های جمع آوری شده، فرکانس مؤثر شکست به دست می آید. فرکانس تمام نشت ها برابر ۱/۲۳ نشت به ازای هر سال در ۱۰ کیلومتر، در دوره ۱۳۹۰ تا پایان شش ماهه اول ۱۳۹۳ است. همچنین، مشخص گردید که رویداد دخالت بیرونی عامل بالقوه پیامدها می باشند (شکل ۳). اکثر نشت های رخ داده ناشی از دخالت بیرونی بدون مجوز و عامل آسیب، بیل مکانیکی بوده است (شکل های ۴ و ۵).



شکل ۱- فرایند رتبه بندی ریسک با استفاده از روش AHP

$$A > B, B > C \Rightarrow A > C \text{ (رابطه ۵)}$$

بنابراین برای جلوگیری از این ناسازگاری، ساتی در سال ۱۹۷۷ یک شاخص عددی را برای کنترل کردن سازگاری مقایسه دو به دو فاکتور ها در ماتریس را پیشنهاد کرد که به نسبت سازگاری (CR<sup>۱۵</sup>) معروف است که از تقسیم شاخص سازگاری (CI<sup>۱۶</sup>) بر متوسط شاخص سازگاری (RI) محاسبه می شود. (معادله ۶).

$$CR = CI/RI \text{ (معادله ۶)}$$

مقدار RI از جدول ۲ که به وسیله ساتی و وارگاس در سال ۱۹۹۱ پیشنهاد شده، استخراج شده است. مقدار CI نیز از معادله شماره (۷) محاسبه می شود.

$$CI = \lambda_{max} - n / (n - 1) \text{ (معادله ۷)}$$

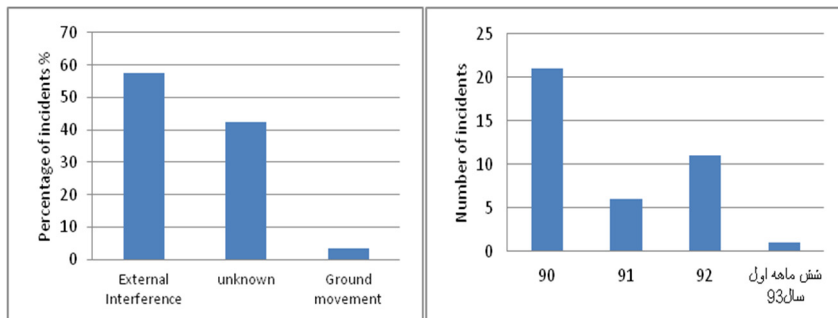
$\lambda_{max}$  بزرگترین مقدار ویژه می باشد که از ماتریس محاسبه شده و n تعداد فاکتورها می باشد. وارگاس و ساتی توصیه کردند که اگر مقدار CR از ۰/۱ بیشتر شود باید در ماتریس و ارزش برتری ماتریس تجدید نظری شود.

در کار تحقیقاتی حاضر، در ابتدا آمار حوادث شبکه گازرسانی شهری شهر سنندج که از شرکت گاز استان کردستان دریافت شده است مورد بررسی قرار گرفته و فاکتورهای مؤثر بر آن استخراج می گردد. سپس، شاخص های تاثیرگذار بر تصمیم گیری انتخاب شده و وزن هر کدام از این شاخص ها با استفاده از روش AHP تعیین می گردد. در ادامه پس از ترکیب شاخص ها، با اهمیت ترین شاخص ها و نقاط آسیب پذیر شناسایی می گردد؛ و در نهایت راهکارهای کنترلی ارائه می گردد. فرایند رتبه بندی ریسک با استفاده از روش AHP در شکل ۱ نشان داده شده است.

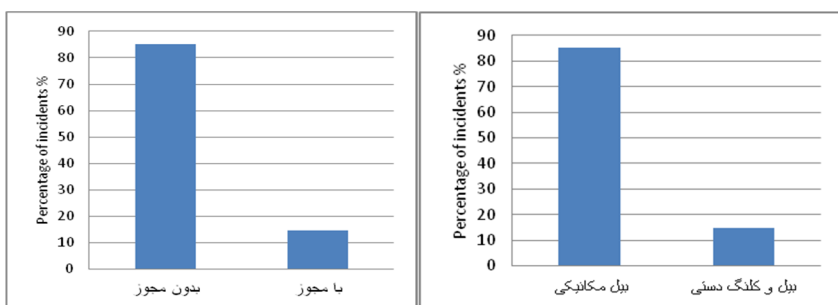
## یافته ها

<sup>15</sup> Consistency ratio

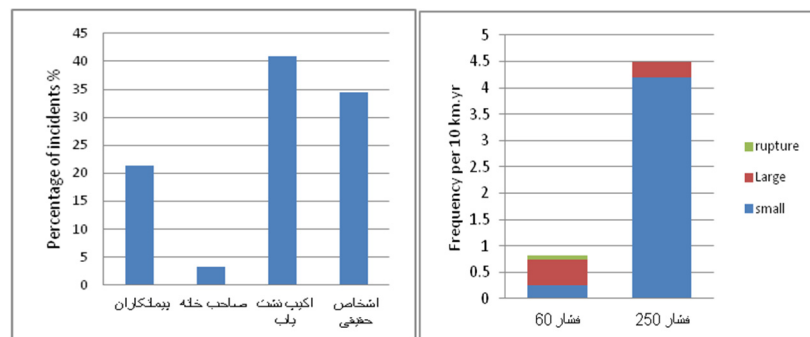
<sup>16</sup> Consistency Index



شکل ۲- تعداد اتفاقات گاز شهرک بهاران سندیج در سه سال و نیم اخیر شکل ۳- توزیع اتفاقات گاز بر حسب علت



شکل ۴- ارتباط بین تجهیزاتی که سبب حادثه شده اند شکل ۵- ارتباط بین وضعیت پرمیت و حوادث

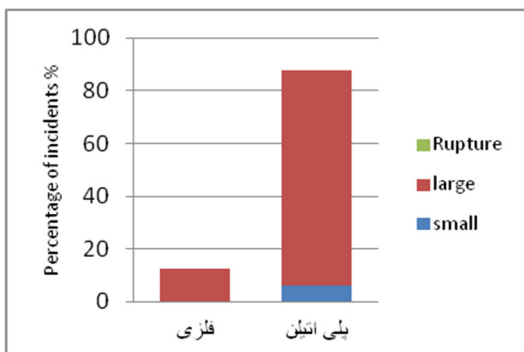


شکل ۶- ارتباط بین سایز نشت و فشار شبکه توزیع شکل ۷- نحوه کشف و گزارش نشت

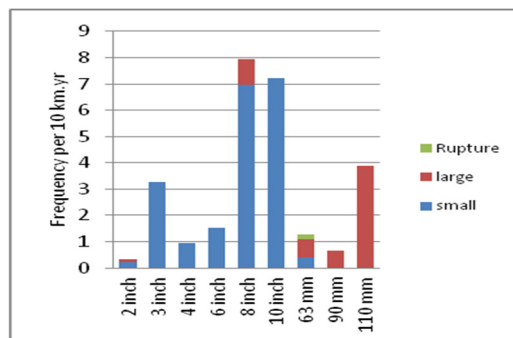
گازرسانی مورد بررسی، فاکتورهای مهم و تاثیر گذار شناسایی گردید (شکل های ۲ تا ۱۲). روشی که ارائه می گردد براساس چارچوب سیستم شاخص رتبه بندی ریسک بوده و شامل سه سطح B, C, D می باشد (شکل ۱۳). درواقع، سیستم شاخص سطح B به سه گروه تقسیم بندی می شود. این سه گروه شامل شاخص علیتی (B1)، شاخص ریسک ذاتی (B2) و شاخص پیامد (B3) می باشد. دو شاخص اول برای توصیف احتمال رخداد

بیشترین فرکانس نشت در خطوط لوله با فشار ۲۵۰ PSI، با قطر ۸ اینچ، با ضخامت ۵/۸ میلی متر و جنس فلزی اتفاق می افتد (شکل های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲). دخالت بیرونی عامل بیشترین آسیب رسانی به لوله با قطر ۱۱۰ میلی متر و لوله های با جنس پلی اتیلن می باشد (شکل های ۹ و ۱۱).

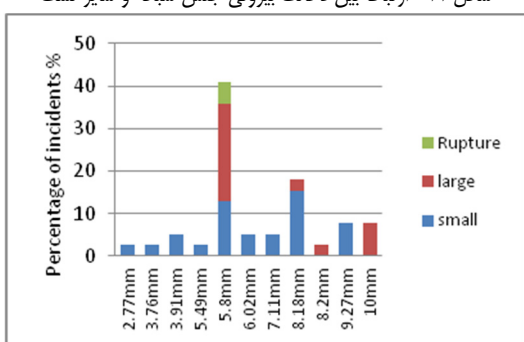
**مدل ارزیابی ریسک شبکه توزیع گاز شهری:**  
با بررسی اطلاعات آماری گزارش شده از حوادث شبکه



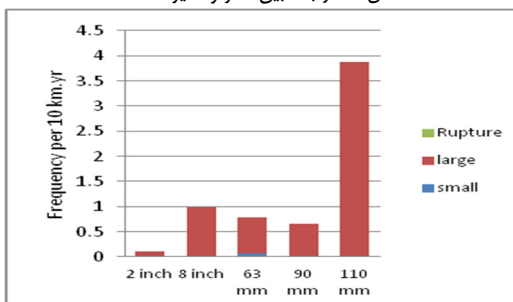
شکل ۱۱- ارتباط بین دخالت بیرونی جنس شبکه و سایز نشت



شکل ۸- ارتباط بین قطر و سایز نشت



شکل ۱۲- ارتباط بین ضخامت و سایز نشت



شکل ۹- ارتباط بین دخالت بیرونی ، سایز نشت و قطر لوله



شکل ۱۰- ارتباط بین جنس شبکه و سایز نشت

زیر شاخه سطح (B1) شامل شاخص شهرداری، شاخص اشخاص حقیقی، شاخص آفها، شاخص پیمانکاران مستقل، شاخص عیب جوشکاری/اجرا، شاخص عیب متریال، شاخص بهره‌برداری نادرست، شاخص خطا در تعمیرات، شاخص سیل، شاخص رانش زمین است. همه این شاخص ها عواملی هستند که ممکن است موجب گسیختگی لوله‌ها شوند.

شاخص ذاتی، ریسک میزان آسیب پذیری لوله را توصیف می‌کند؛ بنابراین احتمال شکست لوله ها توسط شرایط ذاتی بهره‌برداری و نصب آنها تعیین می‌شود. شاخص های سطح دوم (سری C از زیر شاخه سطح B2) از شاخص ریسک ذاتی شامل شاخص بهره‌برداری و شاخص نصب است. شاخص های سطح سوم (سری D از زیر شاخه سطح B2) شامل شاخص نرخ جریان، شاخص فشار، شاخص ضخامت لوله، شاخص قطر لوله و شاخص جنس است. تمام این شاخص ها توسط طراحی مهندسی ذاتی لوله تعیین شده است.

حوادث لوله های گاز شامل نشستی و شکنندگی به کار می رود در حالیکه شاخص سوم برای توصیف خسارات مالی است. شاخص علیتی<sup>۱۷</sup> نشان می دهد که چگونه حوادث لوله های گاز رخ می دهد. احتمال شکست خطوط لوله مطابق با شرایط محیطی مختلف تغییر می کند؛ بنابراین سطح دوم شاخص ها (سری C از زیر شاخه سطح B1) شامل شاخص دخالت بیرونی، شاخص خوردگی/خستگی، شاخص عیب مواد، شاخص خطای بهره‌برداری و شاخص حرکت زمین است. شاخص های سطح سوم (سری D از

<sup>17</sup> Causation index.



جدول ۸- ماتریس مقایسه زوجی C3 برای D5-D6

| C <sub>3</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>6</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|--------|
| D <sub>5</sub> | ۱              | ۸              | ۰/۸۸۸۹ |
| D <sub>6</sub> | ۰/۱۲۵          | ۱              | ۰/۱۱۱۱ |

CR=۰، C<sub>3</sub>=عیب مواد، D<sub>5</sub>=نقص در اجرا/جوشکاری، D<sub>6</sub>=عیب در متریا  
W=وزن D<sub>5</sub> تا D<sub>6</sub> برای C<sub>3</sub>

جدول ۹- ماتریس مقایسه زوجی C4 برای D7-D8

| C <sub>4</sub> | D <sub>7</sub> | D <sub>8</sub> | W    |
|----------------|----------------|----------------|------|
| D <sub>7</sub> | ۱              | ۳              | ۰/۷۵ |
| D <sub>8</sub> | ۰/۳۳۳۳         | ۱              | ۰/۲۵ |

CR=۰، C<sub>4</sub>=خطای بهره برداری، D<sub>7</sub>=بهره برداری نادرست، D<sub>8</sub>=خطا در تعمیرات، W=وزن D<sub>7</sub> تا D<sub>8</sub> برای C<sub>4</sub>

جدول ۱۰- ماتریس مقایسه زوجی C5 برای D9-D10

| C <sub>5</sub>  | D <sub>9</sub> | D <sub>10</sub> | W      |
|-----------------|----------------|-----------------|--------|
| D <sub>9</sub>  | ۱              | ۰/۱۲۵           | ۰/۱۱۱۱ |
| D <sub>10</sub> | ۸              | ۱               | ۰/۸۸۸۹ |

CR=۰، C<sub>5</sub>=حرکت زمین، D<sub>9</sub>=سیل، D<sub>10</sub>=رانش، W=وزن D<sub>9</sub> تا D<sub>10</sub> برای C<sub>5</sub>

جدول ۱۱- ماتریس مقایسه زوجی C6 برای D11-D12

| C <sub>6</sub>  | D <sub>11</sub> | D <sub>12</sub> | W      |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| D <sub>11</sub> | ۱               | ۶               | ۰/۸۵۷۱ |
| D <sub>12</sub> | ۰/۱۶۶۷          | ۱               | ۰/۱۴۲۹ |

CR=۰، C<sub>6</sub>=بهره برداری، D<sub>11</sub>=نرخ جریان، D<sub>12</sub>=فشار، W=وزن D<sub>11</sub> تا D<sub>12</sub> برای C<sub>6</sub>

گاز را بیان می کند که شامل تلفات و ضررهای مالی است. حوادث ایجاد شده در محیط های مختلف ممکن است منجر به خسارت های مالی متفاوت شود. شاخص های سطح دوم شاخص پیامد (سری C از زیر شاخه سطح B3) شامل شاخص خطر نشت و شاخص اثر خطر است. شاخص اثر خطر، تلفات احتمالی حاصل از خرابی در نواحی تحت تاثیر را بیان می کند زمانی که خطوط انتقالی گاز گسسته می شود. شاخص های سطح سوم (سری D از زیر شاخه سطح B3) شامل شاخص خطر ماده، شاخص شرایط محیطی، شاخص تراکم جمعیتی، شاخص توزیع اموال و تجهیزات شاخص توزیع تأسیسات شهری است. این شاخص ها پیامدهای حوادث

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی A برای B1-B3

| A              | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| B <sub>1</sub> | ۱              | ۴              | ۲              | ۰/۵۴۶۹ |
| B <sub>2</sub> | ۰/۲۵           | ۱              | ۰/۲۵           | ۰/۱۰۸۵ |
| B <sub>3</sub> | ۰/۵            | ۴              | ۱              | ۰/۳۴۴۵ |

CR=۰/۰۵۱۶، A=مدیریت ریسک شبکه گاز شهری، B<sub>1</sub>=علیتی، B<sub>2</sub>=ذاتی، B<sub>3</sub>=پیامد W=وزن B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub> و B<sub>3</sub> برای A

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی B1 برای C1-C5

| B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| C <sub>1</sub> | ۱              | ۹              | ۸              | ۸              | ۵              | ۰/۶۱۹۲ |
| C <sub>2</sub> | ۰/۱۱۱۱         | ۱              | ۰/۵            | ۰/۵            | ۰/۲۵           | ۰/۰۴۶۳ |
| C <sub>3</sub> | ۰/۱۲۵          | ۲              | ۱              | ۱              | ۰/۳۳۳۳         | ۰/۰۷۴۸ |
| C <sub>4</sub> | ۰/۱۲۵          | ۲              | ۱              | ۱              | ۰/۳۳۳۳         | ۰/۰۷۴۸ |
| C <sub>5</sub> | ۰/۲            | ۴              | ۳              | ۳              | ۱              | ۰/۱۸۴۹ |

CR=۰/۰۲۱۱۹، B<sub>1</sub>=علیتی، C<sub>1</sub>=دخالت بیرونی، C<sub>2</sub>=خستگی، C<sub>3</sub>=عیب مواد، C<sub>4</sub>=خطای بهره برداری، C<sub>5</sub>=حرکت زمین، W=وزن C<sub>1</sub> تا C<sub>5</sub> برای B<sub>1</sub>

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی B2 برای C6-C7

| B <sub>2</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | W   |
|----------------|----------------|----------------|-----|
| C <sub>6</sub> | ۱              | ۰/۲۵           | ۰/۲ |
| C <sub>7</sub> | ۴              | ۱              | ۰/۸ |

CR=۰، B<sub>2</sub>=ذاتی، C<sub>6</sub>=بهره برداری، C<sub>7</sub>=نصب، W=وزن C<sub>6</sub>-C<sub>7</sub> برای B<sub>2</sub>

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی B3 برای C8-C9

| B <sub>3</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|--------|
| C <sub>8</sub> | ۱              | ۲              | ۰/۶۶۶۷ |
| C <sub>9</sub> | ۰/۵            | ۱              | ۰/۳۳۳۳ |

CR=۰، B<sub>3</sub>=پیامد، C<sub>8</sub>=خطر نشت، C<sub>9</sub>=اثر خطر، W=وزن C<sub>8</sub>-C<sub>9</sub> برای B<sub>3</sub>

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی C1 برای D1-D4

| C <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| D <sub>1</sub> | ۱              | ۰/۱۴۲۹         | ۰/۲۵           | ۰/۱۶۶۷         | ۰/۰۴۹۹ |
| D <sub>2</sub> | ۷              | ۱              | ۴              | ۲              | ۰/۴۸۶۴ |
| D <sub>3</sub> | ۴              | ۰/۲۵           | ۱              | ۰/۲۵           | ۰/۱۲۸۵ |
| D <sub>4</sub> | ۶              | ۰/۵            | ۴              | ۱              | ۰/۳۳۵۱ |

CR=۰/۰۵۶۸، C<sub>1</sub>=دخالت بیرونی، D<sub>1</sub>=شهرداری، D<sub>2</sub>=اشخاص حقیقی،

شاخص پیامد<sup>۱۸</sup> ضررها و زیان های حوادث لوله های

<sup>18</sup> Consequence index



جدول ۱۲- ماتریس مقایسه زوجی C7 برای D13-D15

| C7  | D13 | D14  | D15 | W      |
|-----|-----|------|-----|--------|
| D13 | ۱   | ۰/۲۵ | ۰/۲ | ۰/۰۹۷۴ |
| D14 | ۴   | ۱    | ۰/۵ | ۰/۳۳۳۱ |
| D15 | ۵   | ۲    | ۱   | ۰/۵۶۹۵ |

CR=۰/۰۲۳۶، C7=نصب، D13=ضخامت لوله، D14=قطر لوله، D15=جنس لوله، W=وزن D13 تا D15 برای C7

جدول ۱۳= ماتریس مقایسه زوجی C8 برای D16-D17

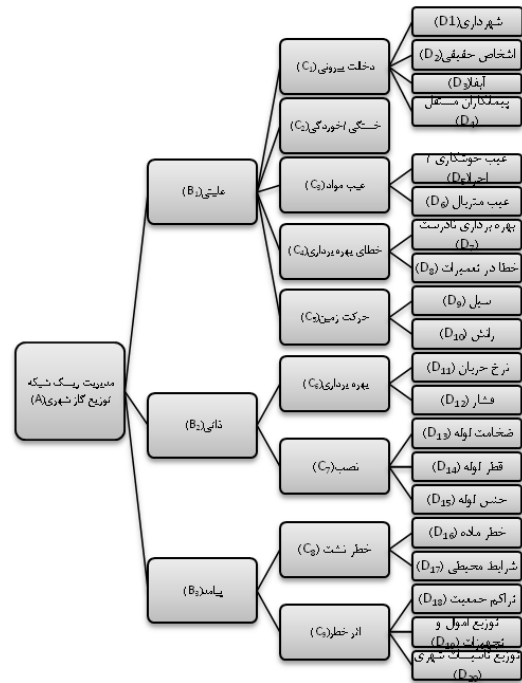
| C8  | D16 | D17 | W      |
|-----|-----|-----|--------|
| D16 | ۱   | ۲   | ۰/۶۶۶۷ |
| D17 | ۰/۵ | ۱   | ۰/۳۳۳۳ |

CR=۰، C8=خطر نشت، D16=خطر ماده، D17=شرایط محیطی، W=وزن D16 تا D17 برای C8

جدول ۱۴- ماتریس مقایسه زوجی C9 برای D18-D20

| C9  | D18    | D19 | D20 | W      |
|-----|--------|-----|-----|--------|
| D18 | ۱      | ۵   | ۶   | ۰/۷۲۸۶ |
| D19 | ۰/۲    | ۱   | ۰/۵ | ۰/۱۰۸۸ |
| D20 | ۰/۱۶۶۷ | ۲   | ۱   | ۰/۱۶۲۶ |

CR=۰/۰۸۲۵، C9=اثر خطر، D18=تراکم جمعیت، D19=توزیع اموال و تجهیزات، D20=توزیع تاسیسات شهری، W=وزن D18 تا D20 برای C9



شکل ۱۳- چارچوب سیستم شاخص ارزیابی ریسک

که شاخص های دخالت بیرونی و حرکت زمین دارای اهمیت بیشتری نسبت به عیب مواد، خطای بهره برداری و خستگی/خوردگی می باشند. این برتری از وزن محاسبه شده برای این عوامل در ماتریس و از وزن نهایی آنها قابل مشاهده است. شاخص سازگاری CR نیز تاییدکننده صحت این وزن دهی می باشد. در قسمت زیر مجموعه شاخص ذاتی، شاخص نصب نسبت به شاخص بهره برداری از اهمیت بیشتری برخوردار است و وزن نهایی آن ها نیز از حاصل ضرب وزن هر عامل (در ماتریس مقایسات سطح دوم) در وزن عامل ذاتی در سطح اول محاسبه شده است. در عوامل پیامد، شاخص خطر نشت نسبت به شاخص اثر خطر، وزن بیشتری دارد. در این حالت شاخص سازگاری CR به سمت صفر میل می کند که نشاندهنده استقلال این شاخص ها نسبت به یکدیگر می باشد در جداول ۷ تا ۱۰، ماتریس مقایسات زیر شاخص های عوامل علیتی در سطح سوم نشان داده شده است که در این جداول، وزن هر شاخص در ماتریس

لوله های گاز مانند عوامل ایجاد حادثه، اثرات زنجیره ای<sup>۱۹</sup> و زیان مالی در سیستم زندگی را آشکار می سازند (شکل ۱۳).

در جداول ۳ تا ۱۴ ماتریس مقایسه زوجی شاخص های سطح D, C, B به همراه وزن دهی های محاسبه شده و نیز نسبت سازگاری CR محاسبه شده، آورده شده است.

### بحث و نتیجه گیری

در بررسی صورت گرفته با روش AHP، پارامترهای مدل رتبه بندی ریسک شبکه توزیع گاز شهری در سه دسته علیتی، ذاتی و پیامد به صورت مدل ساختار سلسله مراتبی طبقه بندی گردیدند.

در جداول ۳ تا ۶، ماتریس مقایسات زیرشاخص های علیتی، ذاتی و پیامد به ترتیب آمده اند. در ماتریس مقایسات زیرمجموعه شاخص علیتی ملاحظه می گردد

<sup>19</sup> Domino effect



آمده در جدول ۱۵ و بررسی نسبت سازگاری CR محاسبه شده نتیجه می‌گردد که هر چه اثر متقابل شاخص‌ها در سطوح مختلف که خود را در نسبت سازگاری محاسبه شده نشان می‌دهد، با یکدیگر بیشتر باشد، آن شاخص‌ها از وزن بیشتر و نیز درجه اهمیت بیشتری نیز برخوردار می‌باشند.

به طور کلی می‌توان گفت که روشی برای ارزیابی ریسک شبکه توزیع گاز شهری مناسب‌تر است که با صرف زمان کمتر، دقت بیشتر، سازگارتر نسبت به شرایط، محدودیت‌های اطلاعاتی موجود برای هر پارامتر را رعایت کند. با توجه به این موارد در این مقاله، یک روش یکپارچه مبتنی بر AHP برای خطرات مرتبط با شبکه خط لوله پیشنهاد شده است. برای رتبه‌بندی ریسک شبکه گاز شهری بر مبنای نتایج بدست آمده از فرآیند تجزیه و تحلیل مراتبی (AHP) صورت پذیرفته در این

وزن نهایی آن آورده شده است. اهمیت آنها به ترتیب شاخص دخالت اشخاص حقیقی، دخالت پیمانکاران، رانش زمین، دخالت آبفا، نقص در اجراء بهره‌برداری نادرست، خستگی/خوردگی، دخالت شهرداری، سیل، خطا در تعمیرات و عیب در مترپال می‌باشد.

جداول ۱۱ و ۱۲، ماتریس مقایسات شاخص‌های عوامل ذاتی در سطح سوم را نشان داده شده است. در این جداول، وزن هر زیرشاخص در ماتریس و وزن نهایی آمده است. اهمیت آنها به ترتیب شامل جنس لوله، قطر لوله، فشار و ضخامت لوله می‌باشد. جداول ۱۳ و ۱۴، ماتریس مقایسات زیر شاخص‌های عوامل پیامد در سطح سوم را نشان می‌دهد. مهمترین شاخص‌ها در این حوزه به ترتیب شامل شاخص خطر ماده، تراکم جمعیت، شرایط محیطی، توزیع تأسیسات شهری و توزیع اموال می‌باشد. برای شاخص‌های مورد بررسی در این سطح، نکته قابل تامل افزایش نسبت سازگاری CR می‌باشد که نشان‌دهنده تاثیرپذیری متقابل شاخص‌ها با یکدیگر بوده به گونه‌ای که اهمیت شاخص‌های این سطح را قویتر جلوه می‌دهد.

نکته قابل توجه در بحث تعیین وزن شاخص‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی، میزان کم ضریب ناسازگاری (CR) محاسبه شده می‌باشد که در جداول ۳ تا ۱۴ گزارش شده است. این امر حاکی از آن است که ماتریس مقایسات به گونه‌ای تشکیل شده که قضاوت‌ها در تقابل شاخص‌های مختلف با یکدیگر سازگار بوده‌اند. این نتایج، همخوانی مناسبی با نتایج بدست آمده در کار تحقیقاتی کومار و همکاران دارد [۱۸].

وزن هر شاخص با استفاده از فرآیند AHP در نرم افزار مطلب و بر مبنای نظرات کارشناسی تعیین شد. وزن شاخص‌های سطح سوم در جدول ۱۵ نشان داده شده است. بیشترین وزن در ریسک پذیری خط لوله مربوط به دخالت اشخاص حقیقی از زیر مجموعه شاخص علیتی و معادل ۰/۱۶۵ و شاخص خطر ماده از زیر مجموعه شاخص پیامد و معادل با ۰/۱۵ می‌باشد. کمترین وزن مربوط به فشار خط لوله از مجموعه شاخص ذاتی و معادل با ۰/۰۳۱ است. با مقایسه وزن دهی به عمل

جدول ۱۵- وزن فاکتورهای موثر در ریسک پذیری خطوط لوله شبکه توزیع گاز شهری

| فاکتور                 | وزن    |
|------------------------|--------|
| دخالت اشخاص حقیقی      | ۰/۱۶۵  |
| خطر ماده               | ۰/۱۵   |
| دخالت پیمانکاران       | ۰/۱۱۳  |
| رانش                   | ۰/۰۸۹  |
| تراکم جمعیت            | ۰/۰۸۷  |
| شرایط محیطی            | ۰/۰۷۹  |
| جنس لوله               | ۰/۰۴۹  |
| دخالت آبفا             | ۰/۰۴۴  |
| نقص در جوشکاری         | ۰/۰۳۶  |
| بهره برداری نادرست     | ۰/۰۳   |
| قطر لوله               | ۰/۰۲۸  |
| خستگی                  | ۰/۰۲۵  |
| توزیع تأسیسات شهری     | ۰/۰۱۹  |
| نرخ جریان (Flow rate)  | ۰/۰۱۸۶ |
| دخالت شهرداری          | ۰/۰۱۷  |
| توزیع اموال            | ۰/۰۱۲۴ |
| سیل                    | ۰/۰۱۲  |
| خطا در تعمیرات         | ۰/۰۱   |
| ضخامت (Wall thickness) | ۰/۰۰۸۴ |
| عیب در مترپال          | ۰/۰۰۴۵ |
| فشار خط لوله           | ۰/۰۰۳۱ |

Materials. Journal of Hazardous Materials. 2011; 189:509-518.

4. Lie M, Cheng L, Li M. Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013; 26(6):1183-1192.

5. Doremammi N, Afshar A, Mohammadi A. Hierarchical risk assessment in gas pipelines based on fuzzy aggregation. 2010; International Conference on Reliability, Safety & Hazard.

6. Hainlin G, Xiaoyang N, Mei Y. Design of the natural gas pipeline quantitative risk assessment system. 2010; Second International Workshop on Education Technology and Computer Science.

7. Shu-jiaoa T, Siu-mingb L, ZHANG P, Chen B. Jet fire consequence evaluation on the natural gas transported by pipelines. Journal of Procedia Engineering. 2013; 52:349-354.

8. <http://www.tabnak.ir/fa/mobile/news/306669>.

9. <http://www.irna.ir/fa/News/81048497>.

10. <http://www.isna.ir/fa/news/92080200626>.

11. <http://www.yjc.ir/fa/news/4584343>.

12. <http://www.asriran.com/fa/news/268543>.

13. <http://www.khabaronline.ir/detail/364552/society/events>.

14. Park KS, Lee JH, Jo YD. An approach to risk management of city gas pipeline. Process Safety and Environmental Protection. 2004;82(B6):446-452.

15. Marinoni O. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. Computers & Geosciences. 2004; 30:637-646.

16. Makropoulos CK, Butler D. Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. Environmental Modelling & Software. 2006;21(1):69-84.

17. Ngai EWT, Chan EWC. Evaluation of knowledge management tools using AHP. Expert Systems with Applications. 2005;29:889-899.

18. Kumar Dey P. Analytic Hierarchy Process Analyzes Risk of Operating Cross-Country Petroleum Pipelines in India. Natural Hazards Review. 2003;4(4):213-221.

19. Kumar Dey P. Managing project risk using combined analytic hierarchy process and risk map. Applied soft computing. 2010;10(4):990-1000.

20. Ardeshir A, Mohajeri M, Amiri M. Safety Assessment in Construction Projects Based on Analytic Hierarchy Process and Grey Fuzzy Methods. IOH. 2014;11(2):87-98.

21. Saaty TL, Vargas LG. Prediction, Projection

کار تحقیقاتی می توان پنج شاخص مؤثر در آسیب پذیری شبکه خطوط لوله توزیع گاز شهری را در نظر گرفت. این شاخص ها به ترتیب عبارت است از دخالت ناشی از اشخاص حقیقی، خطر ماده، دخالت ناشی از پیمانکاران مستقل، رانش، تراکم جمعیت، شرایط محیطی و دخالت سازمان آفا می باشند.

با نگاهی به وزن برآورد شده شاخص ها با استفاده از فرایند AHP مشخص می شود که شاخص های علیتی وزن بیشتری را به خود گرفته اند که نشان دهنده اهمیت شاخص های علیتی نسبت به پیامد و ذاتی و پیامد نسبت به ذاتی در منطقه مورد مطالعه است. درخصوص شاخص های پراهمیت نظیر دخالت اشخاص حقیقی و پیمانکاران مستقل ارائه برنامه های آموزشی در سطح جامعه و نیز دقت در صدور مجوزهای عملیاتی و نیز بازنگری در دستورالعمل های گشت زنی می تواند در مجموعه راهکارهای پیشنهادی به منظور کاهش بروز نشت در شبکه گازرسانی مورد استفاده قرار گیرد.

### تقدیر و تشکر

کار تحقیقاتی انجام شده در این مقاله، نتیجه یک پایان نامه کارشناسی ارشد بوده که توسط شرکت گاز استان کردستان (شماره قرارداد گ ۵۱/۰۰۰/۴۴۲۲) مورد حمایت قرار گرفته است. نویسندگان مقاله سپاسگزار این حمایت می باشند.

### منابع

1. Zarei E, Dormohammadi A. Semi quantitative and quantitative risk assessment in process industries with focus on techniques of QRA, LOPA, DOW Index, First Edition. Tehran: Fanavaran Publication; 1390, page 10 [Persian].

2. Brito AJ, Teixeira de Almeida A, Mota CMM. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating utility theory. European Journal of Operational Research. 2010;200:812-821.

3. ZY H, WG W. Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network, Journal of Hazardous



and Forecasting. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1991:251.

22. Al-Subhi Al-Harbi KM. Application of the AHP in project management. International Journal of Project Management. 2001;19:19-27.

23. Kalarens RW, Bert LS. Advanced Engineering Mathematics, First Edition. Tehran: Sharif University publication. 1377;2:1205-1196-1195 [Persian].

## Risk assessment of municipal natural gas pipeline networks using Analytic Hierarchy Process (AHP) for Sanandaj city

Afshar Moradi<sup>1</sup>, Ebrahim Najafi Kani<sup>2\*</sup>, Mehdi Parvini<sup>3</sup>

Received: 2016/053/30

Revised: 2017/03/13

Accepted: 2017/09/04

### Abstract

**Background and aims:** Natural gas pipeline network is an important part of a city's infrastructure for energy transmission. As the gas pipeline network becoming vaster and more complex, accident may occur caused by the leak of gas pipeline network. Accidents consequences caused by gas pipeline rupture, can directly threaten the safety of persons and properties in the city. Thus, it is necessary to do risk assessment for natural gas pipeline network. In this work, risk assessment of natural gas pipeline network for Baharan town in Sanandaj city was investigated.

**Methods:** In this study, there was a limitation because of unavailable and managed required data for the risk management process. Thus, for the risk assessment, Analytic Hierarchy Process (AHP) technique was used in municipal gas distribution network. After investigating the reported data of any accidents and leakages, the main effective parameters were recognized and the related quantitative weights were determined.

**Results:** The statistical analysis showed a spill event municipal gas distribution network for a period of three and a half years (from the beginning of 1390 to the end of the summer of the 1393), as a factor based on the selected studied area (Baharan town, Sanandaj city). Between the investigated factors and based on the AHP technique, involvement index of individuals and substance hazard (0.165, 0.15, respectively) showed the maximal amounts of the most important parameters with major effects on the risk assessment and pressure index (0.0031) showed the minimal amount with the minor effect on the investigation.

**Conclusion:** To assess the risk factors of municipal gas pipeline network, there was no a well-covered investigation for complete requirement in Iran. Therefore, because of the useful data obtained by the used AHP technique, it is recommended gas safety managers to use these methods. In this study, the most important factors for promoting safety and reducing accidents in municipal gas distribution network in gas distribution lines were identified.

**Keywords:** Risk assessment, Pipeline networks, Analytic Hierarchy Process (AHP).

1. MSc of Chemical Engineering, Faculty of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2. (**Corresponding author**) Assistant Professor, Faculty of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. e\_najafi@semnan.ac.ir

3. Associate Professor, Faculty of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.