Archive of SID

نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

بررسی تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری خطوط انتقال انرژی با رویکرد پدافند غیرعامل

محمد جنیدی[1*]؛ امیدرضا میکائیلی[2] ؛ مهرداد نابغه[3] ؛ مرتضی بسطامی[4]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- زلزله
۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت منابع آب
۳- کارشناسی ارشد مدیریت سوانح-دانشگاه تهران
۴- عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۵

واژگان کلیدی

خطوط انتقال انرژی
تهدیدات
آسیب پذیری
پدافند غیرعامل
AHP

چکیده

در دهه‌های اخیر تجربیات حاصل از جنگ‌های نوین نشانگر آن بوده که ارتش‌های متجاوز به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش خسارات وارده به کشورهای مورد تهاجم، بخش‌هایی را مورد هدف حملات خود قرار داده‌اند که برای آن کشور به عنوان منابع حیاتی بوده است. خطوط لوله انتقال انرژی بدلیل اهمیت بالای آن، بعنوان یکی از شریان‌های حیاتی محسوب شده و می‌بایست تمهیدات پدافند غیرعامل در این خطوط صورت گیرد و تهدیدات این خطوط ارزیابی شوند. روش تحقیق پیشرو، روش توصیفیِ تحلیل محتوا بوده و به‌منظور بهره بردن از بهترین روش ارتباطی با خبرگان، از تکنیک دلفی استفاده شده است. در این تحقیق سعی شده تا با پژوهشی بر این خطوط و در نظر گرفتن شاخص‌های تحلیل تهدید شامل شدت اثرگذاری، احتمال موفقیت و احتمال وقوع و همچنین شاخص‌های آسیب‌پذیری شامل آسیب‌های ثانویه، ضعف جزء، بازسازی، دسترسی، شناسایی و اثرات هم افزا، ابتدا این شاخص‌ها با روش سلسله مراتبی *AHP* وزن‌دهی شده و سپس به اولویت‌بندی تهدیدات پرداخته شود. در میان شاخص‌های تهدید، شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳، احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ و در نهایت احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ وزن‌دهی شدند. در میان شاخص‌های آسیب‌پذیری، سه شاخص قابلیت دسترسی با وزن ۰/۱۸۴، اثرات هم افزا با وزن ۰/۱۷۰ و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ سه اولویت اول می‌باشند. در نهایت سه تهدید مبنا بر اساس کلیه شاخص‌ها، تهدید تروریستی با وزن ۰/۲۵۴، خرابکاری با وزن ۰/۱۹۱ و تهدید اشکالات طراحی و اجرا با وزن ۰/۱۴۸ در رتبه سوم قرار گرفته شدند.

* تهران؛ خیابان ولیعصر؛ بالاتر از خیابان جامی؛ کوچه ناظم، پلاک ۷، ساختمان سلمان فارسی؛ طبقه‌ی اول؛ شماره‌ی تلفکس: ۰۹۱۷۶۰۳۴۳۸۷ رایانامه: **mohamadjonaidi@yahoo.com**

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ایمنی و امنیت از ابتدائی ترین اصول جهت دستیابی به استانداردهای مطلوب برای آسایش و رفاه مردم است و دفاع غیرعامل در مقابل تهدیدات خارجی، یکی از ضروری ترین نیازها در مرحله اولیه طراحی شهرها و تأسیسات مهم است، تا بیشترین امنیت، با کمترین زحمت برای مردم جهت دفاع در مقابل تهدیدات فراهم شود و از طرف دیگر دشمن برای آسیب رساندن به آنها بیشترین زحمت را متقبل شود [۱]. در گذشته بیشتر جنگ ها در خارج از مراکز جمعیتی و در مرزها رخ می داد اما با پیشرفت تکنولوژی در چند دهه اخیر هیچ نقطه ای را نمی‌توان یافت که از خسارات و صدمات دشمنان در امان باشد؛ به ویژه مراکز و تأسیسات حیاتی، حساس و مهم از جمله اهداف اولیه و اصلی دشمن در تهاجم نظامی به شمار می رود، تجربیات جنگ ها در طی نیم قرن اخیر نشان می دهد، شهرها به دلیل گستره جغرافیایی وسیع، تجمع مراکز ثقل، تأسیسات و نیروی انسانی همواره مورد تهدید بوده اند. در مناطق شهری، صدمات جنگی شامل ترکیبی از ویرانه های کالبدی و اختلال در عملکرد عناصر شهری است. انهدام سازه ها و ساختمانها، شبکه راه ها و دسترسی ها، تأسیسات اساسی مخازن سوختی، نیروگاه ها، خطوط ارتباطی تلفن، برق، آب، خطوط انتقال انرژی از آن جمله هستند [۲]. همچنین این مراکز و تأسیسات از جمله اهداف اصلی در اقدامات تروریستی به شمار می روند و در بسیاری از اقدامات تروریستی ما شاهد عملیات خرابکارانه علیه مناطق و مراکز حساس، حیاتی و تأسیسات زیربنایی آسیب پذیر هستیم. این مراکز و تأسیسات شامل مراکز جمعیتی، مراکز مخابراتی، تأسیسات تأمین، زیرساخت های انرژی ، برق، آب و ... هستند و به همین خاطر تمر کز اقدامات تروریستی روی این نوع شبکه ها افزایش یافته است [۳]. بطور کلی در میان کلیه زیرساختها، زیرساخت انرژی بدلیل اهمیت بالای آن، از جذابیت بیشتری برای حملات برخوردار است.

این خطوط از نقطه آغاز تا محل مصرف، در معرض تهدیدات طبیعی و غیر طبیعی قرار خواهد گرفت. حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و از همه مهمتر عبور خطوط لوله از خط گسل زلزله که میتواند آسیب جدی به آن وارد کند. یکی از خطرات غیر طبیعی که خطوط لوله را مورد تهدید قرار خواهد داد، انفجارهایی میباشند که ممکن است در اثر انواع تهدیدات در نزدیکی آن اتفاق افتد. این انفجارها هم میتواند منشا غیرعمدی در اثر فعل و انفعالات داخلی لوله بوده و هم در اثر عوامل بیرونی عمدی انسان ساز باشد. انفجار عمدی انسان ساز که در سطح زمین انجام میشود، می تواند با ارتعاشی که در پهنه وسیعی از محیط خاک ایجاد میکند، خرابیهای زیادی را به وجود آورد؛ لذا پیش بینی بارهای ضربه‌ای دینامیکی و بررسی پاسخ رفتاری سازه-ها از اهمیت زیادی برخوردار است.

از آنجا که ایران دارای ذخایر عظیم نفت و گاز در جهان میباشد و همچنین وابستگی شدید ما به فروش و انتقال نفت و گاز کاملاً مشخص بوده، محافظت از این خطوط اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و لازم است تا مطالعات پدافند غیرعامل در این حوزه انجام شده و با بکارگیری تمهیدات آن، موجب افزایش ایمنی آن شود. بکارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به منظور کاهش آسیب‌پذیری زیرساختها، ارتقاء پایداری ملی، حفاظت از مردم و منابع ملی کشور و تضمین تداوم خدمات به آنان در راستای تکمیل چرخه دفاع غیرنظامی، خواهد بود.

باتوجه به اهداف حوزه پدافندغیرعامل و تجارب حاصل از پروژه‌ها و طرح‌های صورت گرفته و در حال انجام توسط مشاورین و محققین مرتبط، این موضوع کاملاً روشن می‌شود که ارزیابی تهدید و ارزیابی آسیب‌پذیری در فرآیند انجام مطالعات پدافندغیرعامل نقش بسزا و تعیین کننده‌ای را در هدایت طرح به سمت اهداف از پیش مشخص شده در راستای کاهش آسیب‌پذیری زیر ساخت‌های ملی در کشور دارد. بنابراین مساله اساسی، در مرحله اول ارزیابی تهدیدات و ارزیابی آسیب‌پذیری خطوط انتقال انرژی با شرایط و طیف گسترده تهدیدات بر علیه کشور می باشد.

در این پژوهش سعی بر آن شده کلیه تهدیدات مورد نظر در حوزه خطوط انتقال شناسایی شده و هدف اولویت بندی آن‌ها از منظر پدافندغیرعامل می‌باشد. با توجه به در نظر گرفتن تهدیدات که از نظر خبرگان تخصصی حوزه انرژی و همچنین پدافند غیرعامل بعنوان تهدیدات مبنا انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. با توجه به شاخص‌هایی که با مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه از طریق پرسشنامه با صاحب نظران این امر بدست آمده به اولویت بندی درجه تاثیرپذیری این تهدیدات و میزان آسیب پذیری آن بر این خطوط پرداخته می-شود. به منظور بررسی و ارزیابی تهدیدات در جدول ۱ تهدیدات محتمل در سالهای اخیر بر اساس گزارش خبرگزاری های معتبر داخلی (ایرنا، صدا و سیما، مشرق، ایسنا، عصر ایران، فارس و میزان) مورد اشاره قرار داده شده است.

جدول ۱- تهدیدات رخ داده در زیرساخت انرژی

نوع تهدید	سال وقوع	شرح حادثه
حمله نظامی	۱۳۶۳	پس از حدود ۴ سال از آغاز جنگ تحمیلی طرح حمله به پالایشگاه کرکوک و قطع صدور نفت ریخته شده و به اجرا درآمد. ابتدا هواپیمای فانتوم شناسایی از منطقه موردنظر اطلاعات جمع‌آوری کرده و پس از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و نقشه‌ریزی طی یک مأموریت بسیار سخت و سنگین به پالایشگاه کرکوک حمله شد. با انجام این عملیات تا مدّت‌ها صدور نفت از پالایشگاه کرکوک متوقّع شده بود و عراق یکی از منابع اصلی تأمین تجهیزات خود را ازدست‌داده بود.
	۱۳۶۷	در تاریخ ۱۳۶۷/۱/۱۴ دو فروند هواپیمای عراقی به سمت پالایشگاه اصفهان حمله‌ور شدند که در این حمله یک هواپیما سرنگون و دیگری نیز بدون دست یافتن به اهدافش فرار کرد.
عملیات تروریستی	۱۳۸۴	در اسفندماه ۱۳۸۴مقام‌های عربستان اعلام کردند که یک عملیات تروریستی را در تأسیسات نفتی ابقیق در شرق این کشور خنثی کرده‌اند، در این عملیات دونیروی امنیتی و دو تن از اعضای القاعده کشته شدند. همین‌طور یک مظنون، بمبی را دریکی از تأسیسات نفتی در منطقه ابقیق واقع در شرق عربستان منفجر کرد.
حمله نظامی	۱۳۸۵	در تیرماه ۱۳۸۵ حزب‌الله لبنان ایستگاه راه‌آهن، مخازن گاز و پالایشگاه و پتروشیمی حیفا را هدف موشک‌های خود قراردادند. وزیر جنگ رژیم صهیونیستی نیز میزان خسارت وارده براثر تهاجم موشکی حزب‌الله را بسیار سنگین خواند.
حمله نظامی	۱۳۸۶	در آذرماه ۱۳۸۶ نیز براثر حمله‌ی موشکی به پالایشگاه نفتی «الدّوره» واقع در جنوب بغداد، آتش‌سوزی مهیبی در این پالایشگاه رخ داد.
حمله	۱۳۸۷	در خردادماه ۱۳۸۷ شاخه «جندالیمن» القاعده ۳ راکت را به‌سوی پالایشگاه نفت

www.SID.ir

Archive of SID

نظامی		عدن شلیک کرد.
حمله تروریستی	۱۳۸۸	یک مقام امنیتی کویت در مردادماه ۱۳۸۸ اعلام کرد یک گروه شش نفرِ القاعده قصد داشت به پالایشگاه نفت شعیبِ و پایگاه ارتش آمریکا در این کشور حمله کند که کویت توانسته است این طرح حمله به پالایشگاه نفت را خنثی کند.
حمله تروریستی	۱۳۹۰	انفجار در ۳ خط لوله اصلی گاز در جاده قم-دلیجان در عملیات تروریستی.
حمله تروریستی	۱۳۹۰	۷ مرداد حادثه تروریستی صنعت نفت را هدف قرارداد. انفجار خط لوله صادرات گاز ایران به ترکیه که البته تلفات جانی به همراه نداشت.
حمله تروریستی	۱۳۹۰	۱۴ مرداد حادثه تروریستی صنعت نفت را هدف قرارداد. انفجار خط لوله صادرات گاز ایران به ترکیه که البته تلفات جانی به همراه نداشت.
حمله تروریستی	۱۳۹۷	انفجار در خط لوله نفت کرکوک- افراد مسلح مظنون وابستگی به گروه تروریستی داعش یک خط لوله نفت در استان کرکوک عراق را منفجر کردند.
حمله نظامی	۱۳۹۸	جریان انصارالله یمن در عملیاتی که بزرگترین عملیات از زمان آغاز جنگ رژیم آل سعود ضد این کشور به شمار می‌رود، موفق شد با ۷ هواپیمای بدون سرنشین دو تأسیسات نفتی وابسته به شرکت عربستان سعودی را هدف قرار دهد. حمله مذکور خط لوله‌ای به طول ۱۲۰۰ کیلومتر را هدف قرار داده که روزانه دست کم ۵ میلیون بشکه نفت را از چاه‌های منطقه الشرقیه عربستان به بندر ینبع در سواحل غربی این کشور منتقل می‌کند.

با توجه به وقوع تهدیدات انسان ساخت اشاره شده در جدول در خصوص زیرساخت‌های انرژی که از جمله خطوط لوله نفت و گاز، عمده تهدیدات محتمل این حوزه از نوع نظامی و تروریستی گزارش شده است. اما در سال‌های اخیر با توجه به رشد و توسعه در صنعت نظامی و همچنین تغییر رویکرد و راهبرد تهدیدات، تهدیدات دیگری نیز می‌تواند بر این حوزه تاثیرگذار باشد.

۲- پیشینه تحقیق

در راستای بررسی لوله‌های خطوط انتقال انرژی، پژوهش‌های بسیار زیادی صورت گرفته شده که این خود دلیلی بر اهمیت چنین خطوطی می باشد. در منابع داخلی به طور مثال فیوض و همکاران *[۴]* در سال ۱۳۹۳ پارامتریک اثر انفجار بر روی لوله مدفون در خاک را بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیقشان نشان میدهد که با افزایش چگالی خاک مورد استفاده در مدلسازی در انفجار، تنش بیشتری به لوله انتقال یافت و همچنین میتوان به افزایش تنشهای اصلی و فشار با افزایش مقدار تی ان تی، که به صورت کمی ارائه شده است اشاره نمود. سهامی و معصومیان *[۵]* در سال ۱۳۹۰، روشهای حفاظت از زیرساختهای حیاتی درصنعت نفت وگاز را مورد مطالعه قرار داده و راهکارهای کاهش آسیب پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک را ارائه داده‌اند.

در منابع خارجی هم در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته از جمله آن ریگاز *[۶]* در سال ۲۰۱۰ میزان ایمنی لوله های گاز تحت انفجارهای با منبع نزدیک و همچنین نورزاده و همکاران *[۷]* در سال ۲۰۱۰ پاسخ لوله های مدفون را تحت بارگذاری انفجاری را بررسی کردند.

کورتزیس و همکاران *[۸]* در سال ۲۰۰۷ با انجام یک سری فرضیات میزان کرنش بوجود آمده در لوله بر اثر اعمال موج p و موج رایلی حاصل از انفجار را توسط یک سری رابطه ریاضی محاسبه کردند در این تحقیق نتایج حاصل از روابط تئوریک با نتایج حاصل از مدلسازی عددی مقایسه شد و مشاهده گردید این‌دو با هم تطابق خوبی دارند.

دی و همکاران *[۹]* در سال ۲۰۰۵ با انجام آزمایش کوچک مقیاس به بررسی اثر انفجار سطحی بر روی لوله مدفون در خاک پرداختند. در این آزمایش‌ها پاسخ لوله به بارگذاری انفجاری در اثر تغییر در پارامترهای مختلف مانند عمق مدفون لوله، فاصله لوله از مرکز انفجار و مکان انفجار نسبت به محور مرکزی لوله بررسی شد. بارونس و لیو *[۱۰]* در سال ۲۰۰۲، میاجیما و همکاران *[۱۱]* در سال ۲۰۰۱ و همچنین هال و رورک *[۱۲]* در سال ۱۹۹۱ آسیب پذیری لرزه‌ای لوله‌های مدفون را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. پاندی *[۱۳]* در سال ۱۹۹۸مدل احتمالاتی برای ارزیابی شرایط مربوط به خطوط لوله نفت و گاز را مورد بررسی قرار دادند. کندی و کینکاید *[۱۴]* در سال ۱۹۸۵خطوط لوله گاز و نفت و همچنین لنود *[۱۵]* در سال ۱۹۳۳ عملکرد شریان‌های حیاتی را در زلزله ارزیابی کرده‌اند.

نتایج حاصل از تحقیقات در گذشته نشان داد که در لوله‌های مدفون تحت انفجارهای سطحی، با افزایش عمق دفن و فاصله‌ی انفجار، جابه-جایی‌ها، تنشهای اصلی و کرنشها در انواع خاک‌های مورد بررسی کاهش میبابد. این نتیجه به دلیل افزایش محصور شدگی لوله در خاک می‌باشد همچنین با افزایش ضریب اصطکاک داخلی برای یک نوع خاک، تنش وارد بر لوله کاهش میبابد ولی با افزایش چگالی خاک نتیجه برعکس می‌شود.

در کلیه این پژوهش‌ها به بررسی و ارزیابی اثرات انفجار و زمین لرزه بر این خطوط پرداخته شده است. همانطور که در گذشته مشاهده شده این خطوط در معرض گستره وسیعی از تهدیدات قرار می‌گیرد و تهدیدات این خطوط فقط محدود به انفجار و یا زمین لرزه نمی‌باشد و دیگر تهدیدات هم از اهمیت زیادی برخوردار خواهند بود. در این راستا و با این اندیشه که بتوان در شرایط وقوع تهدید کمترین آسیب به این لوله‌ها وارد شود، در این تحقیق به شناسایی کامل این تهدیدات پرداخته‌ایم و با توجه به مقالات و دستور العمل‌های منتشر شده که پیش از این به آنها اشاره شد و با در نظر گرفتن آراء صاحبنظران، تهدیدات پس شناسایی و ارزیابی شده و در انتها شاخص های تعیین کننده در اولویت بندی این تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری خطوط مشخص می‌شود.

تحقیقات اشاره شده در خصوص نوع حوادث و تهدیدات بوده و در خصوص ارزیابی تهدیدات و آسیب‌پذیری که از اهداف مهم این تحقیق می‌باشد نیز مطالعات مختلفی صورت گرفته از جمله در سال ۲۰۱۸ به تجزیه و تحلیل آسیب پذیری شبکه خط لوله گاز شهری پرداخته شده است. این مقاله رویکردی جدید برای ارزیابی آسیب پذیری شبکه خط لوله ای جاده ای گاز ناشی از خرابی خط لوله گاز را ارئه می داده است*[۱۶]*. در سال ۲۰۱۷ نیز تحقیقی با عنوان ارزیابی آسیب پذیری امنیتی خط لوله گاز با استفاده از شبکه زمان گسسته انجام گرفته که در مقاله پیش رو روش شناسی آرزیابی آسیب پذیری امنیتی خلاقانه و تازه ای توسعه داده شده است که بر مبنای تکنیک شبکه بیزی (*Bayesian*) زمان گسسته بوده تا آسیب پذیری تجهیزات خطرناک (در این مطالعه خطوط لوله) را با در نظر گرفتن اقدامات متقابل امنیتی در محل بررسی کند*[۱۷]* . در سال ۲۰۱۹ نیز تجزیه و تحلیل

www.SID.ir

Archive of SID

فاکتورهای ریسک بحرانی مربوط به پروژه های خط لوله گاز و نفت در عراق صورت گرفته و این تحقیق بر روی شناسایی و تحلیل ریسک-هایی ناشی از اختلال تروریست به منظور توسعه مدل مدیریت ریسک جامع تمرکز دارد. یک پرسشنامه نیمه ساختار یافته، با استفاده از ۳۰ فاکتور ریسک شناخته شده از طریق مروری بر مطالعات جامع، طراحی شده است[۱۸].

۳- روش شناسی تحقیق

در این تحقیق برای ارزیابی خطوط لوله مدفون در زمان بروز تهدیدات و یا حتی جنگ، ابتدا تهدیدات متصور با مصاحبه با افراد خبره و متخصصین حوزه منابع انرژی و پدافندغیرعامل که در جدول (۲) تعداد و حوزه تخصصی آنها مشخص شده است، شناسایی و شاخص‌های ضروری و تاثیر گذار در میزان آسیب‌پذیری خطوط مورد بررسی قرار گرفته شد. در ادامه به منظور کسب نظر سنجی از خبرگان، پرسشنامه‌ای جهت وزن دهی به شاخص‌های موثر در معرض دید ۳۰ فرد خبره قرار گرفت. و از طریق بکارگیری روش تصمیم گیری گروهی بر اساس الگوی مقایسات زوجی درجه ضرورت وجودی هر یک از شاخص‌ها و همچنین روش‌ها در قالب یک مقیاس نه تایی لیکرت (معادل یک تا نه) بدست آمده است و در نهایت الویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها تعیین گردید. برای بررسی اعتبار پرسشنامه‌ها نیز از تست آلفای کرون باخ استفاده شده است. آلفای کرون باخ نتایج پرسشنامه-های پر شده توسط جامعه خبرگان این تحقیق برابر ۹۳/۷۵ درصد می‌باشد که از ۷۵ درصد بالاتر بوده و قابل قبول است. همچنین جهت صحت سنجی ماتریس‌های زوجی در هر پرسشنامه سازگاری آن‌ها محاسبه گردید و ماتریس‌هایی که دارای سازگاری بیشتر از یک دهم بوده، حذف شده و تنها از ماتریس‌هایی در این پژوهش استفاده می-شود که دارای سازگاری کمتر از یک دهم باشند.

جدول (۲) : آمار جامعه خبرگان

تخصص	سطح تحصیلات	تعداد افراد
متخصصین حوزه منابع انرژی	دکتری	۸
	کارشناسی ارشد	۷
پدافند غیرعامل	کارشناسی ارشد	۱۵

۳-۱- روش AHP

روش سلسله مراتبی *AHP* اولین بار توسط ساعتی [۱۹] ارائه گردید و این روش شامل سه کارکرد اصلی ساختاردهی به پیچیدگی، سنجش بر مبنای مقیاس نسبی و ترکیب است. کاربرد اصلی این روش در محاسبه‌ی اهمیت نسبی مجموعه‌ای از گزینه‌ها در یک تصمیم گیری چند معیاره است. با بهره گیری از این تکنیک می‌توان معیارها و شاخص‌های کیفی را به صورت معیارهایی کمی ارائه نمود [۲۰]. تکنیک *AHP* از سه بخش اصلی ساختار مدل، داوری تطبیقی از گزینه‌ها و معیارها و در نهایت ترکیب اولویت‌ها تشکیل شده است [۲۱]. پژوهش‌های مهمی و زیادی اخیراً با این تکنیک انجام شده که از جمله آن می‌توان به نخعی و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که به منظور ارزیابی و انتخاب بهترین فضای شهری جهت تبدیل به فضای امن زیرزمینی عمومی در شرایط بحران از روش *AHP* استفاده کردند.

بیطرفان و همکاران [۲۳، ۲۴] همچنین در سال ۲۰۱۳ به منظور انتخاب ترکیب بهینه از فرم های معماری از دیدگاه پدافند غیرعامل و برای ارزیابی نقش فضای معماری در ساختمان های مقاوم در برابر انفجار نیز همین روش را بکار بردند. از دیگر تحقیات صورت گرفته با این روش می‌توان به فولادگر و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۱۱، سیویلویکیس [۲۵،۲۶] در سال ۲۰۱۱، مدینکین و همکاران [۲۷] سال ۲۰۱۰ و همچنین پودوزکو و همکاران [۲۸] سال ۲۰۱۰ و همچنین در سال ۲۰۰۴ دی [۲۹] که این روش را برای خطوط لوله نفت در هند بکار برد، اشاره کرد.

اولین مرحله در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تجزیه مسأله به ساختار سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها است. این عوامل تصمیم گیری یک سلسله مراتب ساختار ایجاد می‌کنند شامل هدف در بالاترین نقطه، معیارها در وسط و گزینه‌ها در پایین‌ترین نقطه این سلسله مراتب قرار دارد. پس از آن در مرحله دوم با استفاده از ساختار ایجاد شده، مقایسات زوجی بین عناصر توسط تصمیم‌گیرندگان انجام می‌شود. ساعتی [۱۹] برای امتیازدهی قضاوتی بین دو عنصر مقیاس ۱ تا ۹ را بر اساس (جدول ۲) پیشنهاد می‌کند.

در این مرحله تصمیم‌گیرندگان در هر بار قضاوت دو عنصر را نسبت به عنصر سطح بالاترشان مقایسه کرده و امتیازی را بر اساس جدول (۳) برای میزان برتری گزینه‌ی اول بر دوم ارائه می‌کنند.

در سومین بخش فرایند تشکیل ماتریس‌های توافقی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در مرحله‌ی قبل به عنوان مقدمه‌ی محاسبه اوزان در این مرحله انجام می‌شود.

لازم به ذکر است که برای محاسبه وزن‌های نسبی، ابتدا عناصر به صورت زوجی با هم مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی(برای عناصر هر سطح) تشکیل می‌گردد. سپس با استفاده از این ماتریس، وزن نسبی محاسبه خواهد شد. بطور کلی یک ماتریس مقایسه زوجی بصورت معادله ۱ نشان داده می شود، که در آن aij میزان ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام است. حال با مشخص بودن aij ها، می خواهیم وزن عناصر یعنی Wi را به دست آوریم(معادله ۱):

$$A=[aij] \qquad (1)$$

$$i, j = 1,2,3,\ldots,n$$

یک مسئله مهم در اینجا نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی است. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالتی که این ماتریس سازگار باشد، محاسبه وزن Wi ها ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می آید. اما در حالتی که

www.SID.ir

Archive of SID

ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و برای بدست آوردن آن چهار روش عمده مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از : روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روشهای تقریبی . لازم به ذکر است که حداکثر نر خ ناسازگاری قابل قبول از نظر "ساعتی "برابر ۰/۱ می باشد. نکته قابل ذکر این است که مقایسه زوجی گزینه‌ها با هم و تعیین ترجیحات، لزوما می‌بایست توسط "تصمیم گیرنده ای آگاه به گزینه ها و معیارها "صورت گیرد.

۲-۳- نرم افزار Expert Choice

نرم افزارهای پشتیبان متعددی برای *AHP* توسعه داده شده اند که مطرح ترین آنها به نام نرم افزار *Expert Choice* توسط فورمن و ساعتی *[۳۰]* ایجاد شده است. این نرم افزار دارای توانائی های زیادی بوده و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله مراتبی، تصمیم گیری و طراحی سوالات، تعیین ترجیحات و اولویتها، محاسبه وزن نهایی، محاسبه نرخ ناسازگاری، تحلیل حساسیت تصمیم گیری نسبت به تغییر در پارامتر های مساله، استنتاج حالات مختلف و نیز نمودارها و گرافهای بسیار کاربردی از دیگر توانمندیهای این نرم افزار است.

جدول (۳) : مقیاس نه تایی شدت اهمیت و توضیحات مربوطه[19]

ترجیحات	*Preference*	میزان اهمیت
کاملا مرجح یا کاملا مهمتر یا کاملا مطلوب تر	*Extermely*	۱
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	*Very Strongly*	۳
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	*Strongly Preferred*	۵
کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر	*Moderately Preferred*	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان	*Equally Preferred*	۹
ترجیحات بین فواصل فوق	--	۲،۴،۶،۸

۴- تهدید شناسی

سیستم‌های خطوط انتقال انرژی در معرض تهدیدات متنوعی قرار دارد. این تهدیدات به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- تهدیدات عمدی

تهدیدات عمدی در قالب حملات تروریستی یا خرابکارانه و حملات نظامی(جنگ‌ها) قابل تعریف می‌باشند که با طرح و برنامه قبلی اجرا می‌شوند. یکی از مهمترین تهدیدات متصور عمدی در خطوط انتقال تهدیدات فیزیکی بوده که با ابزار بمب‌گذاری صورت می‌گیرد.

- تهدیدات طبیعی

طبیعت محمل شکل‌گیری پدیده‌هایی است که هر از چند گاهی رخ می‌دهند و می‌توانند انسان و اکوسیستم‌ها را تحت تاثیر خود قرار بدهند. مهم‌ترین بلایای طبیعی در جهان عبارتند از: زلزله، سیل،زمین لغزش و طوفان. در میان بلایای طبیعی زلزله، سیلاب دو پدیده‌ای هستند که بیشترین آسیب‌ها را ممکن است بر سیستم‌های خطوط انتقال وارد کنند.

- تهدیدات عملکردی

عامل بوجود آورنده این قبیل تهدیدات عوامل انسانی بوده که با طرح و برنامه قبلی موجب آسیب رساندن به سیستم نخواهند شد و تهدیدات مرتبط با آن از خطای انسانی، نرم افزاری، سخت افزاری و سازمانی ناشی می‌شوند که انسان به طور مستقیم یا غیرمستقیم در آنها نقش دارند.

تفاوت خطرات طبیعی با سایر خطرات، ناشی از مبدا شروع آن هاست به طوریکه حوادث طبیعی وابسته به طبیعت است اما برخی از خطرات مانند خطرات تکنولوژیکی عموماً ناشی از خطای انسانی است و برخی دیگر مانند عملیات تروریستی که عمدی می باشند.

بطور کلی خطوط لوله ممکن است در اثر عوامل مختلفی گسیخته شوند. مهمترین این عوامل عبارتند از :

- گسیختگی بر اثر عوامل دورنی و طبیعی مانند بالا رفتن فشار داخلی لوله، وقوع زمین لرزه یا زمین لغزش، بروز نشست های غیرمتقارن در زیر لوله
- گسیختگی بر اثر عوامل بیرونی که توسط بشر اعمال می شود. مانند بمباران هوایی خط لوله، فعالیت های تروریستی، کارهای عمرانی که همراه با انفجار است.

در جدول (۴) لیست کاملی از تهدیدات متصور برای خطوط انتقال انرژی با جزئیات کامل و بصورت طبقه بندی ارائه شده است.

در این جدول، تمامی تهدیدات بصورت دسته بندی ارائه شده و از گستردگی زیادی برخوردار است. به منظور بررسی تخصصی‌تر، در جدول شماره (۵)، فهرستی از خلاصه تهدیدات مهم متصور و مبنا در این حوزه با استناد به نظر جامعه خبرگان، جمع آوری شده و به منظور ارجاع راحت‌تر به این تهدیدات، در این جدول کدگذاری شده‌اند. نکته-ای که در مورد تهدیدات منتخب می‌بایست به آن اشاره شود، در نظر گرفتن تهدیدات ذاتی و طبیعی همچون زلزله و اشکالات طراحی و اجرا بوده که بدلیل اهمیت بالای این تهدیدات، هر دوی آنها بطور خاص در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پس ازشناخت تهدیدات می‌بایست احتمال اجرایی شدن

www.SID.ir

Archive of SID

هرکدام از آنها توسط دشمن برعلیه دارائی‌های حیاتی وجذاب، ارزیابی گردد. تهدیداتی دارای احتمال وقوع بیشتری می‌باشند که بالاترین عمق خسارت اقتصادی، سیاسی، نظامی، نیروی انسانی و معیشتی را با کمترین هزینه و کمترین زمان ایجاد نمایند و مردم را با چالش‌های اساسی، روحی و روانی روبرو نماید. بر این اساس معیارهای تحلیل تهدیدات و چگونگی اعمال آن ارزیابی می‌گردند. هر چه میزان این شاخص‌ها بالاتر باشد، احتال استفاده از این تهدیدات بالاتر خواهد رفت. معیارهای تحلیل تهدیدات به شرح زیر می‌باشند:

- احتمال وقوع

توانایی حمله(احتمال وقوع)، اولین موردی است که در تعیین ماهیت تهدید دشمن مورد توجه قرار می‌گیرد. در ارزیابی توانایی، گروه تهدید شناسی تنها به توانایی‌های آشکار و مستقیم توجه نکرده، بلکه توانایی‌هایی که نقش وسیع ولی غیر مستقیم دارند، نیز در نظر گرفته خواهند شد. همچنین باید توجه داشت، کم تحرکی دشمن، دلیلی برای کم توانی او به حساب آورده نشود. همچنین به میزان جذابیت هدف نیز در احتمال وقوع تهدیدات توجه می‌شود. در ارزیابی میزان جذابیت یک فضای فیزیکی معین برای دشمن، باید به اهداف عملیاتی دشمن و میزان ارزشی که برای هدف قائل است، توجه داشت.

- شدت اثرگذاری

شدت اثرگذاری نیز به حجم صدمات، تلفات و خسارت‌هایی که از ناحیه عامل تهدید متوجه نیروی انسانی، تجهیزات، تأسیسات و زمان می‌گردد، گفته می‌شود. این شدت به تجهیزات، عناصر و عوامل تهدیدگر و حجم آثار تخریبی آن بر اهداف و سایر مراکزی که از آن تهدید متأثر می‌شوند بستگی دارد. عمق و دامنه خسارت بیانگر شدت خسارت و صدمات و تلفات و گستردگی آن می‌باشد.

جدول (۴): طبقه‌بندی تهدیدات خطوط انتقال انرژی

استراتژی دشمن	نوع تهدید		روش یا شیوه تهدید	ابزار تهدید
حمله محدود	نرم	امنیتی	خرابکاری	ابزارآلات ساده
		غیر امنیتی	اغفال کارکنان ناراضی	تهدید/ تطمیع / تحریک
			تحریم	تجهیزات خاص
	نیمه سخت		گرافیت	بمب هوایی و موشک
			الکترومغناطیس	بمب هوایی، موشک و بمب چدنی
حمله گسترده	نرم	امنیتی	خرابکاری	ابزارآلات ساده
		غیر امنیتی	اغفال کارکنان ناراضی	تهدید/ تطمیع / تحریک
			تحریم	تجهیزات خاص
	نیمه سخت		گرافیت	بمب هوایی و موشک
			الکترومغناطیس	بمب هوایی، موشک و بمب چدنی
	سخت	نظامی	هوایی	موشک
				بمب
			دریایی	موشک
			زمینی	موشک
		امنیتی	بمب‌گذاری (هدف غیر انسان)	بمب
			عملیات تروریستی (هدف افراد)	حمله توسط نیروی دشمن
-	ذاتی و صنعتی		نشت و از بین رفتن آب‌بندی	
			انفجار صنعتی	
			فرسودگی	
			اشکالات طراحی و اجرا	
	طبیعی		سیل	
			رانش	
			گسلش	
			روان‌گرایی	
			زلزله	

www.SID.ir

Archive of SID

- احتمال موفقیت یا اختلال در عملکرد تاسیسات نیز معیاری است که به عوامل متعددی وابسته بوده و بیشتر به میزان اجرای تمهیدات و ملاحظات پدافند غیرعامل در محیط تاسیسات و تجهیزات وابسته است. از اینرو این معیار در محیط تجهیزات و تاسیسات با توجه به نوع اجزاء مورد بررسی قرار داده شده است.

جدول (۵) : تهدیدات منتخب جامعه خبرگان

کد تهدیدات مبنا	نوع تهدید منتخب
۱	خرابکاری
۲	بمب گرافیت و الکترومغناطیس
۳	انواع حملات نظامی
۴	تروریستی(بمب گذاری، انواع آلاینده ها)
۵	اشکالات طراحی و اجرا
۶	زلزله

۵- آسیب‌پذیری

با توجه به تهدیدات تعریف شده در بخش قبل، در این قسمت به نحوه شناسایی انواع آسیب‌ها و خسارت‌های احتمالی پرداخته می‌شود. در این راستا با استفاده از تعیین معیارهای زیر برای تحلیل آسیب‌پذیری اجزای طرح اقدام شده است:

- قابلیت شناسایی

منظور شناسایی جزء و میزان تفکیک‌پذیری آن با سایر اهداف و اجزا است.

- قابلیت دسترسی

نحوه سهولت دسترسی به هدف و میزان محافظت از آن را جهت دسترسی نشان می‌دهد.

- ضعف بخش

میزان آسیب‌پذیری جزء در برابر تهدیدات مختلف را نشان می‌دهد.

- قابلیت بازسازی

قابلیت و زمان جایگزینی تعمیر و مرمت جزء را نشان می‌دهد.

- آسیب‌های ثانویه

شدت اثرات ثانویه را در صورت آسیب به جزء و متوقف شدن عملکرد آن نشان می‌دهد.

- اثرات هم‌افزا

همجواری جزء با کاربری‌های مختلف (نفوذ مخاطرات به اطراف) و پتانسیل استفاده از جزء جهت انجام اعمال تهدیدات را نشان می‌دهد.

۶- یافته‌ها

در این مرحله با استفاده از وزن‌های بدست آمده از نتایج حاصل از پرسشنامه، ماتریس داوری مقایسه‌ای جفتی شاخص‌های تحلیل تهدید و همچنین شاخص‌های آسیب‌پذیری در نرم افزار Expert Choice تشکیل گردید و عملیات نمره‌دهی جهت مشخص شدن وزن شاخص‌ها با استفاده از روش AHP صورت گرفته و نتایج در جداول زیر آمده است.

۶-۱- وزن دهی شاخص‌های تهدید

در این بخش ماتریس داوری زوجی شاخص‌های انتخاب شده و تاثیرگذار بر تهدید، با توجه به داده‌های حاصل از جمع آوری پرسشنامه‌های طراحی شده مشاهده می‌گردد. با قرار دادن داده‌ها در نرم افزار Expert Choice، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها بصورت جدول (۶) و همچنین نمودار شکل(۱)، می‌باشد. در میان تمام شاخص-های مورد بررسی شاخص شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳ اهمیت نخست و شاخص احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ اهمیت دوم و در نهایت شاخص احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ از اولویت آخر برخوردار می‌باشد. انحراف معیار در ماتریس ذیل به میزان ۰/۰۱ بوده که مقدار قابل قبولی خواهد بود.

جدول (۶) : ماتریس داوری زوجی شاخص های تحلیل تهدید

وزن	احتمال موفقیت	شدت اثرگذاری	احتمال وقوع	
۰/۲۸۳	۱/۱۷۸	۱/۳۵	۱	احتمال وقوع
۰/۳۸۳	۱/۱۵	۱		شدت اثرگذاری
۰/۳۳۳	۱			احتمال موفقیت

شکل (۱) : نمودار وزن شاخص‌های تهدیدات

میزان اهمیت معیارها به نوعی نشان دهنده این موضوع می باشد که در خطوط انتقال انرژی، شدت اثرگذاری عمده ترین شاخص از دیدگاه پدافند غیرعامل در وقوع تهدید بوده است و از مهمترین عوامل می‌باشد.

۶-۲- وزن‌دهی شاخص‌های آسیب‌پذیری

در این بخش ماتریس داوری زوجی شاخص‌های انتخاب شده و تاثیرگذار بر آسیب‌پذیری با توجه به داده های حاصل از جمع آوری پرسشنامه‌های طراحی شده مشاهده می‌گردد. با قرار

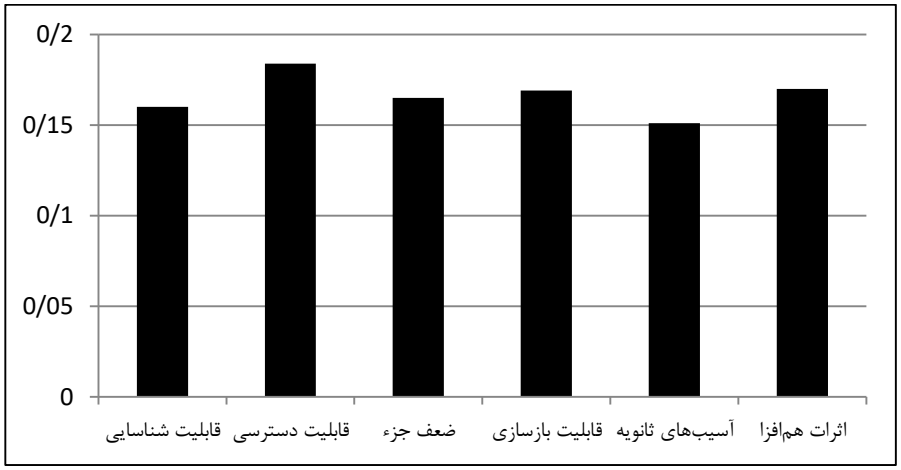
www.SID.ir

Archive of SID

دادن داده ها در نرم افـزار Expert Choice وزن‌دهـی و اولویـت-بندی شاخص‌ها بصورت جدول (۷) و نمودار شکل (۲) می‌باشد. در میان تمام شاخص‌های مورد بررسی شاخص قابلیـت دسترسـی بـا وزن ۰/۱۸۴ اهمیت نخست، اثرات هم افزا با وزن ۰/۱۷۰ رتبه دوم و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ در رتبه سوم ایـن اولویـت بنـدی قرار گرفته شدند. در دیگر رتبه‌ها از رتبه ۴ الی ۶، بترتیـب ضـعف جزء با وزن ۰/۱۶۵، قابلیت شناسـایی بـا وزن ۰/۱۶۰ و در نهایـت شاخص آسیب‌های ثانویه با وزن ۰/۱۵۱ از اهمیت آخر می‌باشد. در این قسمت هم انحراف معیار به میزان ۰/۰۱ بوده که مقـدار قابـل قبولی خواهد بود.

جدول (۷) : ماتریس داوری زوجی شاخص های آسیب‌پذیری

	قابلیت شناسایی	قابلیت دسترسی	ضعف جزء	قابلیت بازسازی	آسیب‌های ثانویه	اثرات هم‌افزا	وزن
قابلیت شناسایی	۱	۱/۱۵۲	۱/۰۳	۱/۰۶	۱/۰۵۷	۱/۰۶۳	۰/۱۶۰
قابلیت دسترسی		۱	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۲۲	۱/۰۸۴	۰/۱۸۴
ضعف جزء			۱	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۰۳۲	۰/۱۶۵
قابلیت بازسازی				۱	۱/۱۲	۱/۰۰۳	۰/۱۶۹
آسیب‌های ثانویه					۱	۱/۱۲۳	۰/۱۵۱
اثرات هم‌افزا						۱	۰/۱۷۰



شکل (۲) : نمودار وزن شاخص‌های آسیب‌پذیری

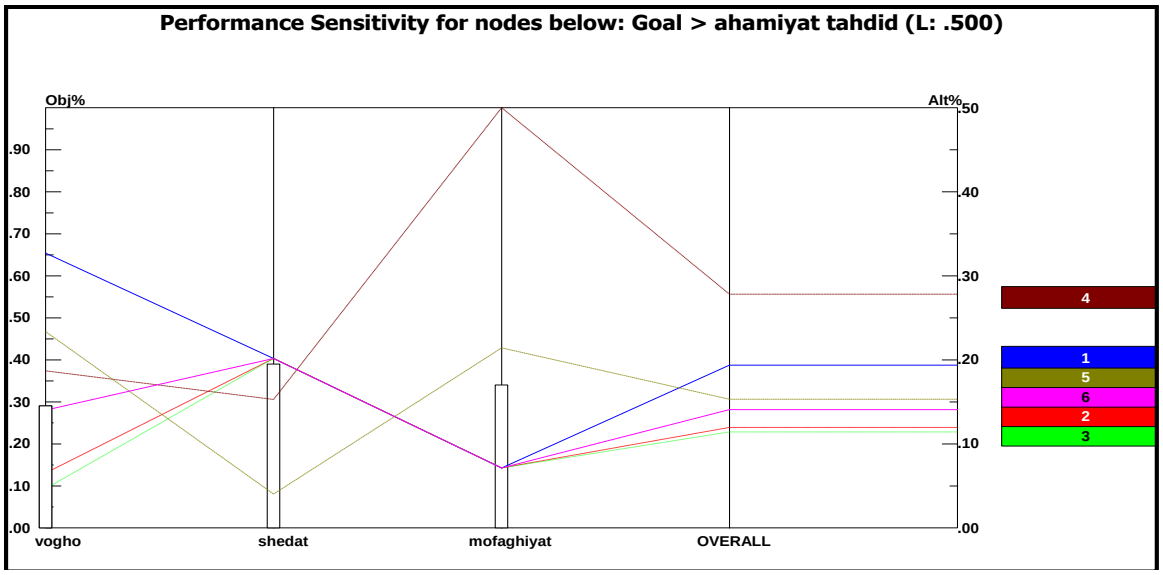
میزان اهمیت معیارها به نوعی نشان دهنده ایـن موضـوع می باشد که در خطوط انتقال انـرژی، دسترسـی بـه تاسیسـات و تجهیزات عمده ترین دلیل جهت ایجاد خسارت به آنهـا از دیـدگاه پدافند غیرعامل بوده است.

۳-۶- اولویت‌بندی تهدیدات با معیارهای تهدید

حال با استفاده از معیارهای تهدیـد، بـه ارزیـابی و اولویـت بندی تهدیدات مبنا با استفاده از پرسشنامه‌ای که در اختیار جامعه خبرگان قرار می‌گیـرد، پرداختـه شـده اسـت. بـه جهـت بررسـی تهدیدات متصـور خطـوط لولـه، جامعـه خبرگـان بـه هـر یـک از تهدیدات در مقابل شاخص‌های مربـوط بـه تهدیـد، بعنـوان مثـال تهدید بمب‌گذاری در مقابل شاخص احتمال وقوع، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ می‌دهند و در نهایت برای بدست آوردن مجموع امتیـاز هـر یک از تهدیدات، از ضرب امتیـاز آن در وزن بدسـت آمـده از روش AHP مربوط به هر شاخص بدست می‌آید. در نمودار بدست آمـده در شکل (۳)، نتایج خروجی نرم افزار Expert Choice مربوط به ارزیابی تهدیدات با معیارهای تهدید نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

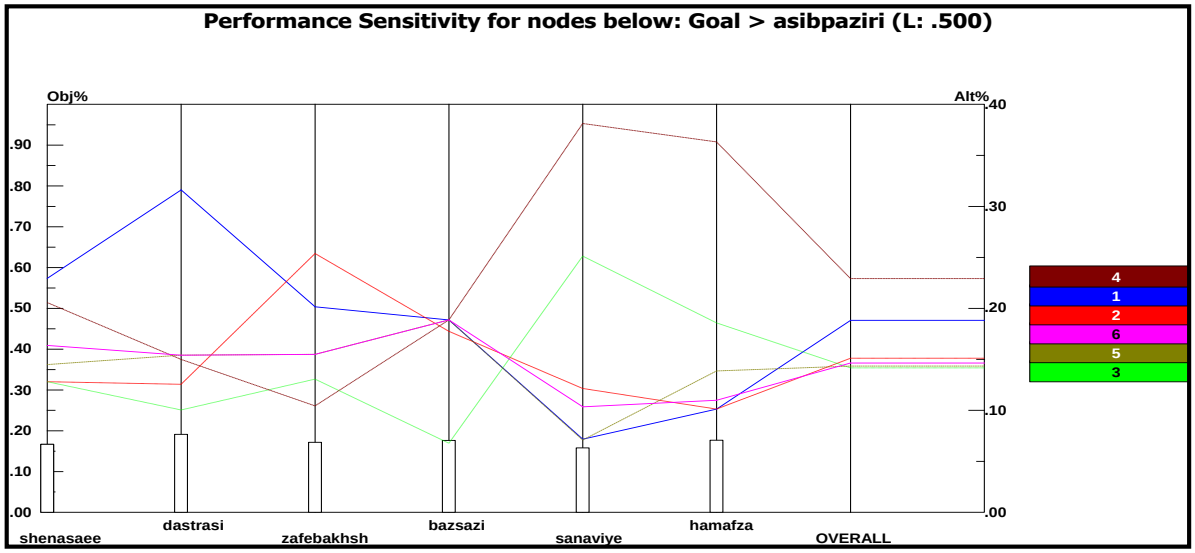


شکل (۳) : اولویت بندی تهدیدات خطوط لوله مدفون انتقال با توجه به شاخص‌های تهدید

در این نمودار، محور افق مربوط به شاخص‌های تهدید بوده و خطوط رنگی هم مشخص کننده تهدیدات با کدهای تعیین شده در جدول(۴) می‌باشد. در این نمودار براحتی می‌توان چگونگی تغییرات امتیاز تهدیدات در برابر شاخص‌های مختلف را مشاهده کرد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اولویت اول تهدیدات، تهدید با کد ۴ یعنی تهدید تروریستی خواهد بود. اولویت بندی دیگر تهدیدات بترتیب بصورت تهدید خرابکاری، اشکالات طراحی و اجرا، زلزله، بمب گرافیت و الکترومغناطیس و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد.

۴-۶- اولویت‌بندی تهدیدات با شاخص‌های آسیب پذیری

در این قسمت اینبار با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری، به ارزیابی و اولویت بندی تهدیدات مبنا با استفاده از پرسشنامه‌ای که در اختیار جامعه خبرگان قرار می‌گیرد، پرداخته شده است. به جهت بررسی تهدیدات متصور خطوط لوله، جامعه خبرگان به هر یک از تهدیدات در مقابل شاخص‌های مربوط به آسیب‌پذیری بعنوان مثال تهدید بمب‌گذاری در مقابل شاخص قابلیت دسترسی، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ می‌دهند و در نهایت برای بدست آوردن مجموع امتیاز هر یک از تهدیدات، از ضرب امتیاز آن در وزن بدست آمده از روش AHP مربوط به هر شاخص بدست می‌آید. در نمودار بدست آمده در شکل (۴)، نتایج خروجی نرم افزار Expert Choice مربوط به ارزیابی تهدیدات با معیارهای آسیب‌پذیری نشان داده شده است.



شکل (۴) : اولویت بندی تهدیدات خطوط لوله مدفون انتقال با توجه به شاخص‌های آسیب پذیری

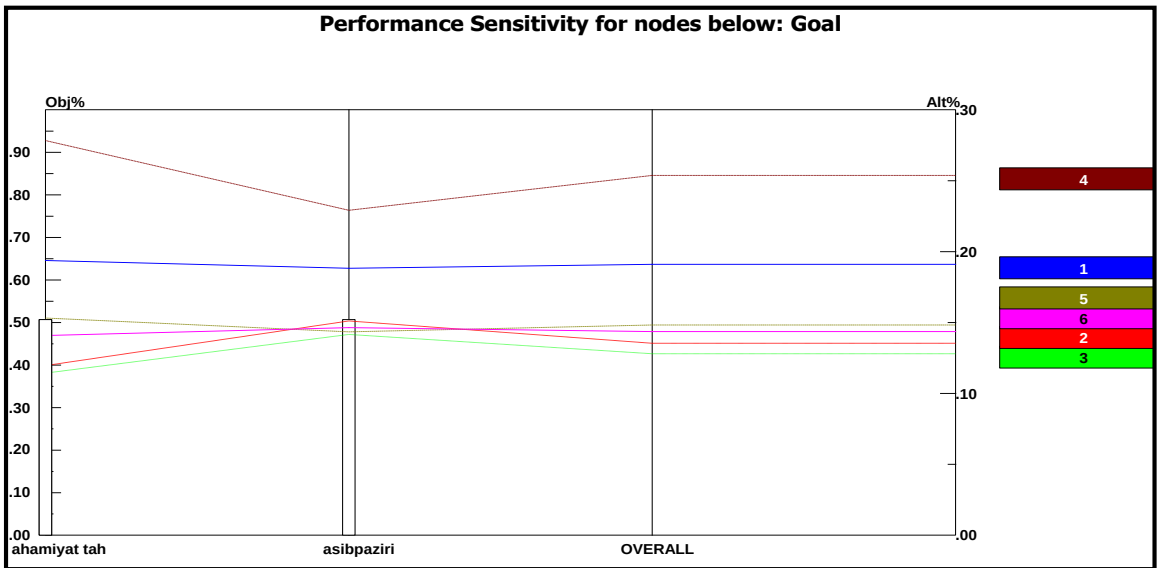
www.SID.ir

Archive of SID

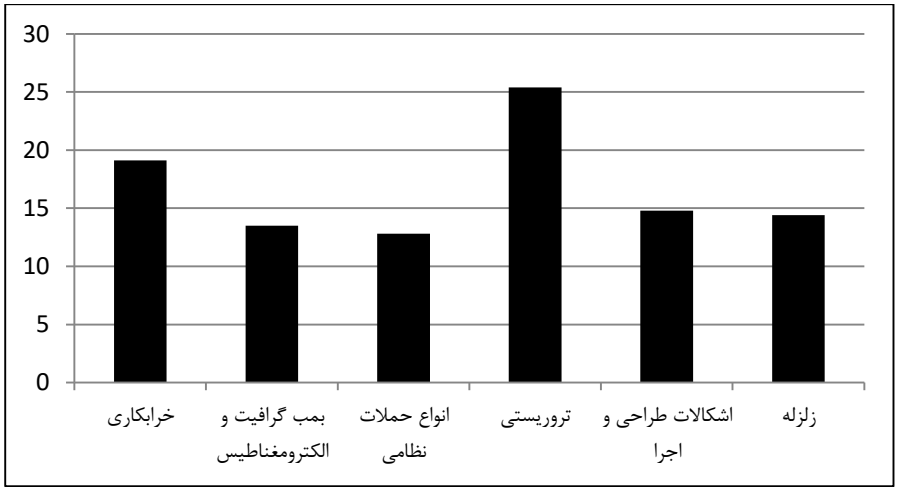
در این نمودار هم براحتی می‌توان چگونگی تغییرات امتیاز تهدیدات در برابر شاخص‌های مختلف آسیب‌پذیری را مشاهده کرد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اولویت اول تهدیدات، باز هم تهدید با کد ۴ یعنی تهدید تروریستی خواهد بود. اولویت بندی دیگر تهدیدات بترتیب بصورت تهدید خرابکاری، بمب گرافیت و الکترومغناطیس، زلزله، اشکالات طراحی و اجرا و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد. نکته‌ای که می‌توان در مورد دو شکل ۳ و ۴ به آن اشاره کرد، یکسان بودن اولویت سه تهدید تروریستی، خرابکاری و همچنین تهدید انواع حملات نظامی در هر دو نمودار می‌باشد.

۵-۶- اولویت‌بندی نهایی تهدیدات

در این قسمت هم با استفاده از تمامی شاخص‌های مورد بررسی شامل شاخص‌های آسیب‌پذیری و شاخص‌های تهدید، به ارزیابی و اولویت بندی تهدیدات مبنا پرداخته می‌شود. در نمودار بدست آمده در شکل (۵)، نتایج خروجی نرم افزار Expert Choice مربوط به ارزیابی نهایی تهدیدات با تمامی شاخص‌ها نشان داده شده است.



شکل (۵) : اولویت بندی نهایی تهدیدات خطوط لوله مدفون انتقال



شکل (۶) : نمودار اولویت بندی نهایی تهدیدات

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار شکل شماره ۶ مربوط به اولویت بندی تهدیدات در برابر تمامی شاخص‌ها می‌باشد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اولویت اول تهدیدات، تهدید تروریستی خواهد بود. اولویت بندی دیگر تهدیدات بترتیب بصورت تهدید خرابکاری، اشکالات طراحی و اجرا، زلزله، بمب گرافیت و الکترومغناطیس و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد. نکته‌ای که می‌توان در مورد دو شکل ۳ و ۴ به آن اشاره کرد، یکسان بودن اولویت سه تهدید تروریستی، خرابکاری و همچنین تهدید انواع حملات نظامی در هر دو نمودار می‌باشد.

۷- راهکارهای عمومی

عوامل دورنی تهدید کننده خطوط لوله مدفون چون بیشتر ناشی از عوامل طبیعی هستند تا حدود زیادی قابل پیش بینی بوده و می‌توان برای کاهش خطر پذیری لوله در برابر این نوع تهدیدات طراحی دقیق تری انجام داد. عوامل بیرونی تهدید کننده خطوط لوله مدفون زاییده شده دست بشر هستند و به دلیل دخالت انسان در بوجود آوردن آن‌ها دارای شرایط و ویژگی‌های خاصی بوده و پیش بینی چگونگی اعمال این تهدیدات و آسیبی که به لوله‌ها وارد می‌کنند امری پیچیده است. عملا برای یک طرح ایمن با عملکرد مناسب برای خطوط لوله لازم است تا تمام شرایط بحرانی لحاظ گردد بخصوص زمانیکه بشر در ایجاد این شرایط نقش داشته باشد.

برای کم کردن تبعات آسیب خطوط لوله مدفون در اثر انفجار، لازم است تا مطالعات دقیق و اصولی انجام شود تا طراحی خطوط لوله مدفون به بهترین نحو انجام گیرد همچنین با استفاده از اطلاعات جدید بدست آمده می‌توان راه کارهایی را برای مقاوم سازی خطوط لوله مدفون ارائه کرد. در طراحی سازه‌ای هدف نهایی دست یابی به موارد زیر می‌باشد:

- تعیین ضخامت بهینه خط لوله در برابر نیروهای وارده
- تعیین بلوک‌های مهاری در خم‌های افقی و عمودی
- نحوه مهار لوله ها در شیب
- پایداری لوله در شرایط بارگذاری دینامیکی خط لوله

از جمله دیگر تمهیدات در زمینه کاهش میزان آسیب پذیری خطوط لوله، این می‌باشد که در اجرای طرح می‌بایست از اقداماتی نظیر کوچک سازی، پراکنده سازی، تبدیل به چند خط کوچکتر، انتقالی و مقاوم سازی سازه‌ای استفاده شود. البته با توجه به نوع تهدیدات محتمل، مهمترین اقدامات کاهش آسیب-پذیری، عملیات حفظ و حراست از این خطوط لوله است. عملیات حفظ و حراست در کاهش آسیب‌پذیری در تهدیدات تروریستی و خرابکاری به شدت تاثیرگذار بوده و در نهایت راهکارهای پیشنهادی بصورت خلاصه در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول (۸):ماتریس داوری زوجی شاخص های آسیب-پذیری

ردیف	شرح بسته راهکار
۱	موازی سازی خطوط لوله و اتصال هر یک به یکدیگر و ایجاد شرایط سوئیچ
۲	افزایش تعداد نیروی حراست و تشکیل تیم گشت زنی در مسیر خط لوله
۳	حمایت مادی و معنوی کارکنان
۴	افزایش سطح آگاهی ساکنین مناطق عبوری خط لوله
۵	استفاده از نیروی داوطلب بومی به منظور حفظ و حراست از خط
۶	ایجاد لایه حفاظتی مجزا برای بخش‌ها و تاسیسات موجود در خط لوله
۷	تهیه و خرید قطعات رزرو از تجهیزات فرآیندی و کنترلی در انبار
۸	برنامه ریزی جهت استفاده از نهادهای نظامی و انتظامی کشور به منظور محافظت از خط لوله
۹	ایجاد تفاهم نامه همکاری با نزدیکترین مراکز انتظامی(کلانتری) محدوده خطوط لوله جهت انجام اقدامات لازم در مواقع اضطراری. این موضوع به منظور جلوگیری از دسترسی تروریست جهت اقدامات خرابکاری می‌باشد.
۱۰	اجرای استحکامات، موانع و سازه‌های موقت در اطراف تاسیسات قابل دسترس در مسیر خط لوله

۸- نتیجه

در این تحقیق سعی بر آن بود تا با پژوهشی بر خطوط لوله انتقال انرژی بعنوان شریان‌های حیاتی و در نظر گرفتن شاخص های تحلیل تهدید از جمله شدت اثرگذاری، احتمال موفقیت و احتمال وقوع و همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های آسیب‌پذیری شامل آسیب‌های ثانویه، ضعف جزء، قابلیت بازسازی، قابلیت دسترسی، قابلیت شناسایی و اثرات هم افزا که با توجه به دیدگاه صاحبنظران امر تعیین شده بود، ابتدا تهدیدات مبنا مشخص شده و سپس با روش سلسله مراتبی AHP به وزن‌دهی و اولویت بندی شاخص‌ها پرداخته شود. در نهایت هم بدنبال اولویت بندی تهدیدات مبنا بر اساس کلیه شاخص‌ها خواهیم بود. روش AHP به عنوان یک روش کار آمد، کم هزینه و با دقت بالا در تعیین و اولویت بندی در تصمیم گیری‌ها می‌تواند قابلیت داشته باشد. این روش بعنوان یک ابزار مدیریتی با حداقل زمان و هزینه می‌تواند الگوی مناسبی جهت مدیریت شرایط موجود ارائه دهد. بدیهی است داشتن اطلاعات دقیق، صحت دقت این روش را بیشتر می‌کند. معهذا به دلیل دقیق بودن متدلوژی AHP با داشتن اطلاعات کلی گزینه‌ها و با استفاده از پرسشنامه و از طریق نظر سنجی از خبرگان، من‌جمله شاخص‌های بیان شده می‌توان تهدیدات را شناسایی و همچنین اولویت بندی نمود.

در میان شاخص‌های تهدید، وزن نهایی شاخص‌های بترتیب شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳ اهمیت نخست و شاخص احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ اهمیت دوم و در نهایت شاخص احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ از اولویت آخر برخوردار می‌باشد.

در میان شاخص‌های آسیب‌پذیری، وزن نهایی شاخص‌های بترتیب شاخص قابلیت دسترسی با وزن ۰/۱۸۴ اهمیت نخست، اثرات هم افزا با وزن ۰/۱۷۰ رتبه دوم و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ در رتبه سوم این اولویت بندی قرار گرفته شدند. در دیگر رتبه‌ها از رتبه ۴ الی ۶، بترتیب ضعف جزء با وزن ۰/۱۶۵، قابلیت شناسایی با وزن ۰/۱۶۰ و در نهایت شاخص آسیب‌های ثانویه با وزن ۰/۱۵۱ از اهمیت آخر می‌باشد.

در نهایت سه تهدید مهم مبنا بر اساس کلیه شاخص‌های مورد بررسی که رتبه‌های یک تا سه را بدست آوردند شامل تهدید تروریستی با وزن ۰/۲۵۴، خرابکاری با وزن ۰/۱۹۱ و در نهایت تهدید اشکالات طراحی و اجرا با وزن نهایی ۰/۱۴۸ در رتبه سوم قرار گرفته شدند. به نظر می رسد با توجه به تحقیق انجام گرفته در زمینه ارزیابی خطوط لوله مدفون انتقال انرژی، لازم و ضروری است که به منظور ایمن سازی این خطوط در برابر این تهدیدات، تمهیدات لازم اندیشیده شود و نقاط ضعف پس از بررسی های کارشناسانه مرتفع گردد تا از کارایی لازم در زمان بحران برخوردار گردند.

www.SID.ir

Archive of SID

۷- مراجع

[۱] اهری، علی اکبر مرادی، اسماعیل (۱۳۹۰)، ارزیابی مهندسی پدافند غیرعامل در مطالعات شکست سدها و تأسیسات آبی وابسته، سومین کنفرانس بین المللی سیستم های مقاوم سازی، تبریز، صص ۶۶-۹۱.

[۲] جعفری، یونس، حسامی،امیر (۱۳۹۲)، ارزیابی انواع ساخت ها در محلات شهری از منظر پدافند غیر عامل، هفتمین کنگره انجمن ژئوپلیتیک ایران، مشهد.

[۳] زرقانی، سیدهادی، اعظمی، هادی، (۱۳۸۹)، تحلیل ملاحظات دفاعی - امنیتی در آمایش کلان شهر مشهد با تأکید بر تهدیداتتروریستی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۴، صص ۷۱-۹۶.

[۴] فیوض، علیرضا ،واقفی، محمد و پرویز، محسن، **"بررسی پارامتریک اثر انفجار بر روی لوله مدفون در خاک"**، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه، ارومیه، ۱۳۹۳.

[۵] سهامی، حبیب اله و معصومیان، محمدحسین، **"روشهای حفاظت از زیرساختهای حیاتی درصنعت نفت وگاز و ارایه راهکارهای کاهش آسیب پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک"**، نخستین همایش ملی و بین المللی مدیریت بحران در خطوط لوله و تاسیسات، شرکت آفاق ره آوران صنعت، تهران، ۱۳۹۰.

[6] Rigas F., *"safety of buried pressurized gaz piplines near explosion source"*, proceedings of 1th st mandala gas processing symposium. H. alfodalo.g.v. rex reklaitis and m.m el-halwagi (editors), 2010.

[7] Nourzadeh, D., Takado sh., Bargi kh., *"response of buried pipelines to underground blast loading"*, 5th engineering conference in Asian and Australian structural engineering, pp 233-238, 2010.

[8] Kouretzis G. P., Bouckovalas G. D. *"Analytical calculation of BLAST-INDUCED strains to buried pipelines"*, International Journal of Impact Engineering, Vol. 34, PP. 1683-1704, 2007.

[9] De, A., Zimmie, T., and Vamos, K., *"Centrifuge Experiments to Study Surface Blast Effects on Underground Pipelines"*, Journal of American Society of Civil Engineers, pp. 362-370, 2005.

[10] Barrones R, F. and Liu, X, L., *"Seismic vulnerability of buried pipelines"*, Mexican Institute of Water Technology, Juitepec, Morelos, Mexico, May 31, 2002.

[11] Miyajima, M., Yoshifuji, Y. and Kitaura, M., *"Experience on Behavior of buried pipeline subjected to Surface Fault Rupture"*, 2001.

[12] Hall, W.J. O'Rourke, T.D. *"Seismic behavior and vulnerability of pipelines"* Proc 3 US Conf, Lifeline Earthquake, pp 761-773, 1991.

[13] Pandey, M. D., *"Probabilistic models for condition assessment of oil and gas pipelines"*, NDT & E International, Vol 31, pp 349–358, 1998

[14] Kennedy, R. P. Kincaid, R. H. *"Fault crossing design for buried gas and oil pipelines"*, American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, vol 98-4, pp 3-10, 1985.

[15] Le Val Lund, P.E., *"Lifelines Performance, Long Beach Earthquake"*, M. ASCE-TCLEE March 10, 1933.

[16] Kai Liu , Ming Wang , Weihua Zhu , Jinshan Wu , Xiaoyong Yan *"Vulnerability analysis of an urban gas pipeline network considering pipeline-road dependency*", Elsevier, International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2018.

[17] Donya Fakhravara, Nima Khakzadb, Genserik Reniersb,Valerio Cozzani " *Security vulnerability assessment of gas pipelinesusing Discrete-time Bayesian network* ", Elsevier, Process Safety and Environmental Protection, 2017.

[18] Layth Kraidi PhD student , Raj Shah Senior Lecturer , Wilfred Matipa Senior Lecturer , Fiona Borthwick Principle Lecturer, "*Analyzing the Critical Risk Factors Associated with Oil and Gas Pipeline Projects in Iraq* ",Elsevier, International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2019.

[19] Saaty, L. T., The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill Company, New York, 1980.

[20] Badri, M. A., *"A combined AHP-GP model for quality control systems"*, International Journal of Production Economics, vol 72, pp 27–40, 2001.

[21] Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K., *"An integrated model for prioritizing strategies of the Iranian mining sector"*, Technological and Economic Development of Economy, 17(3), pp 459-484, 2011.

[22] Nakhaei, J., Bitarafan, M. and Arefi, S. L., *"Choosing the best urban tunnels as safe space in crisis using AHP method: a case study in Iran"*, Journal of Architecture and Urbanism, 39(2), pp 149-160, 2015.

[23] Bitarafan, M., Hosini, S. B., Abazarlou, S. and Mahmoudzadeh A., "Selecting the optimal composition of architectural forms from the perspective of civil defense using AHP and IHWP methods", Journal of Architectural Engineering and Design Management, 11(2), 2013.

www.SID.ir

Archive of SID

[24] Bitarafan, M., Hosini, S. B., hashemi-fesharaki, S. J. and Abazarlou, S., *"Applied AHP methot for Role of architectural space in blast-resistant buildings"*, Journal of Frontiers of Architectural Research, Vol 2, pp 67–73, 2013.
[25] Sivilevicius, H., *"Modeling the interaction of transport system elements"* Transport, vol 26, pp 20–34, 2011.
[26] Sivilevicius, H. *"Application of expert evaluation method to determine the importance of operating asphalt mixing plant quality criteria and rank correlation"*, Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, vol 6, pp. 48–58, 2011.
[27] Medineckiene, M., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., *"Sustainable Construction Taking Into Account the Building Impact on the Environment"*, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 18(2), PP 118-127, 2010.
[28] Podvezko, V., Mitkus, S., Trinkuniene, E., *"Complex evaluation of contracts for construction"*, Journal of Civil Engineering and Management 16(2), PP 287–297, 2010.
[29] Dey, P. K., *"Analytic hierarchy process helps evaluate project in Indian oil pipelines industry"*, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 24, pp.588 – 604, 2004.
[30] Forman E.H. and Saaty T.L. Expert Choice Software Package for IBM PC, Pittsburgh,PA, USA, 1991. ExpertChoiceProfessional,LimitedEdition,1998.

www.SID.ir