علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره سه، پاییز ۹۳

ارایه الگوی ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های انتقال گاز به روش‌های سامانه شاخص‌گذاری و AHP

(مطالعه موردی: پروژه انتقال گاز ۲۴ اینچ تسوج- سلماس)

سحر رضایان[*۱]

s_rezaian@yahoo.com

مهدی ایرانخواهی[۲]

سید علی جوزی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۵ **تاریخ پذیرش:۸۹/۳/۲۹**

چکیده

زمینه و هدف: انتقال حامل‌های انرژی از طریق خطوط لوله یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های انتقال گاز طبیعی، نفت و فرآورده‌های نفتی می‌باشد که انتقال آن‌ها از طریق ناوگان حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی با مخاطرات زیادی همراه است. انجام مطالعات ارزیابی ریسک محیط‌زیستی گامی در جهت شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و طبقه‌بندی عوامل مولّد خطر و در نتیجه کاهش احتمال وقوع پیامدهای نامطلوب و کنترل خطرات بالقوه این گونه طرح‌ها در راستای حفاظت از محیط‌زیست است. این مطالعه با هدف ارایه الگویی جهت ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های انتقال گاز به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق به منظور نیل به هدف، تلفیقی از روش سامانه شاخص‌گذاری و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پیشنهاد شد. با استفاده از این روش ادغام شده می‌توان انواع ریسک‌های محیط‌زیستی موجود در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز را بر اساس شاخص‌ها و معیارهای تعیین شده طبقه‌بندی، کمّی و اولویت‌بندی نمود. به منظور آزمون نتایج حاصل از به‌کارگیری روش پیشنهادی، ارزیابی خط لوله انتقال گاز ۲۴ اینچ تسوج- سلماس به طول ۴۲ کیلومتر به عنوان مطالعه موردی به انجام رسید.

۱- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی- محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود*(مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری محیط‌زیست، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان- واحد علوم و تحقیقات- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی- محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که: ۴۶٪ از طول مسیر خط انتقال گاز "تسوج- سلماس" دارای سطح ریسک بالا (۶۰۵۴- ۵۴۶۷ امتیاز)، ۴۸٪ از طول مسیر واجد سطح ریسک متوسط (۶۶۴۱- ۶۰۵۵ امتیاز) و ۲٪ با ریسک کم (۷۲۲۸-۶۶۴۲ امتیاز) بوده و ریسک ناچیز با امتیاز (>۷۲۲۸) نیز ۴٪ از کل مسیر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌تواند ضمن برطرف نمودن خلأ روش سامانه شاخص‌گذاری در اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد ارزیابی، باعث افزایش دقت آن در برآورد سطح نهایی ریسک شود. لذا، روش تلفیقی ارایه شده می‌تواند به عنوان الگویی در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز مورد استفاده قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، سامانه شاخص‌گذاری، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، خطوط لوله انتقال گاز، سامانه اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

علی‌رغم این‌که احداث خطوط انتقال گاز غالباً بهترین گزینه انتقال این مواد همراه با توجیه فنی و اقتصادی است، لیکن با توجه به خطرپذیری بالا می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر محیط‌زیست تحت تأثیر خود بر جای گذارد (۱). در زمینه ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خطوط لوله انتقال نفت و گاز مطالعات مختلفی در دنیا به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به: مطالعات ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خط لوله انتقال گاز باس (*Bass*) درسال ۲۰۰۱ در استرالیا اشاره نمود. در این مطالعات که در قالب گزارش ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به انجام رسیده، ابتدا فرآیند شناسایی خطرات(*HAZID*)[1] پروژه مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی ریسک محیط‌زیستی به روش کمّی (*QRA*)[2] انجام یافته است (۲). ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال گاز طبیعی در سال ۲۰۰۰ در جنوب مکزیک از دیگر مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌باشد. در این پروژه ریسک‌های ناشی از فعالیت احداث این خطوط لوله بر محدوده اجرای پروژه همچون خوردگی محیطی، وجود مناطق با خطر لرزه خیزی و لغزش به عنوان شاخص‌های واجد پتانسیل بالا مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پتانسیل خطر در مسیر خط لوله پهنه‌بندی گردیده است (۳).

مطالعات دیگری با عنوان ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیطی برای خطوط لوله انتقال گاز طبیعی ۲۰ اینچ شمال آرژانتین – سواحل شیلی در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ به انجام رسیده است. در این مطالعات به منظور شناسایی مخاطرات طبیعی از تفسیر عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی استفاده شده و طول مسیر خط لوله با استفاده از برآوردهای نیمه کمّی ریسک به طور ابتدایی رتبه‌بندی شده است. در این تحقیق با استفاده از تحلیل‌های هزینه- منفعت، نسبت به انتخاب مطلوب‌ترین اقدامات کنترل ریسک (مانند: برنامه‌های پایش، نوسازی تقاطع‌ها با رودخانه‌ها و احتراز از زمین لغزش با استفاده از عملیات *HDD*[3]) در اماکن با سطح ریسک بالا، اقدام شده است (۴).

از دیگر روش‌های متداول در ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از خطوط انتقال حامل‌های انرژی رویکرد ماتریسی ارزیابی ریسک[4] است. این شیوه شامل طرح‌ریزی ماتریسی است که هر قطعه ۱۰۰ متری از خط لوله را به همراه ۳۰ عامل مولّد خطر محیط پذیرنده آن حوزه جغرافیایی نشان می‌دهد. این عوامل از حالات شکست[5]، پیامدهای متعاقب یک شکست، آسیب‌های فردی، تأثیرات جغرافیایی خطر و اثر بر

1- Hazard Identification
2- Quantitative Risk Assessment
3- Horizontal Direct Drilling
4- Matrix-Based Risk Assessment Approach
5- Failure Mode

ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خطر ناشی می‌شوند. این رویکرد روشی نرم افزاری، دقیق و با حداقل خطای انسانی بوده لیکن نیازمند نظر کارشناسی خبره است (۵).

به‌طور کلی روش‌های ارزیابی ریسک پروژه‌های طولی را می‌توان به سه گروه عمده ذیل طبقه‌بندی نمود:

الف- روش‌های کیفی: مانند روش‌های *HAZOP*، تجزیه‌وتحلیل درخت خطا *FTA*[1] و ارزیابی ریسک گزینه‌ای[2]،

ب- روش‌های کمّی همچون: نظریه مطلوبیت چند گزینه‌ای (*MAUT*)[3] و روش ارزیابی کمّی ریسک موسوم به روش *QRA*

و ج- روش‌های نیمه کمّی مثل: روش شاخص‌گذاری.

در انتخاب روش مناسب باید توجه داشت که عوامل مختلفی از جمله میزان داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، پیچیدگی فرآیند مورد سنجش، قابلیت دسترسی به اطلاعات و تخصص مورد نیاز نقش مهمی ایفا می‌کنند (۶).

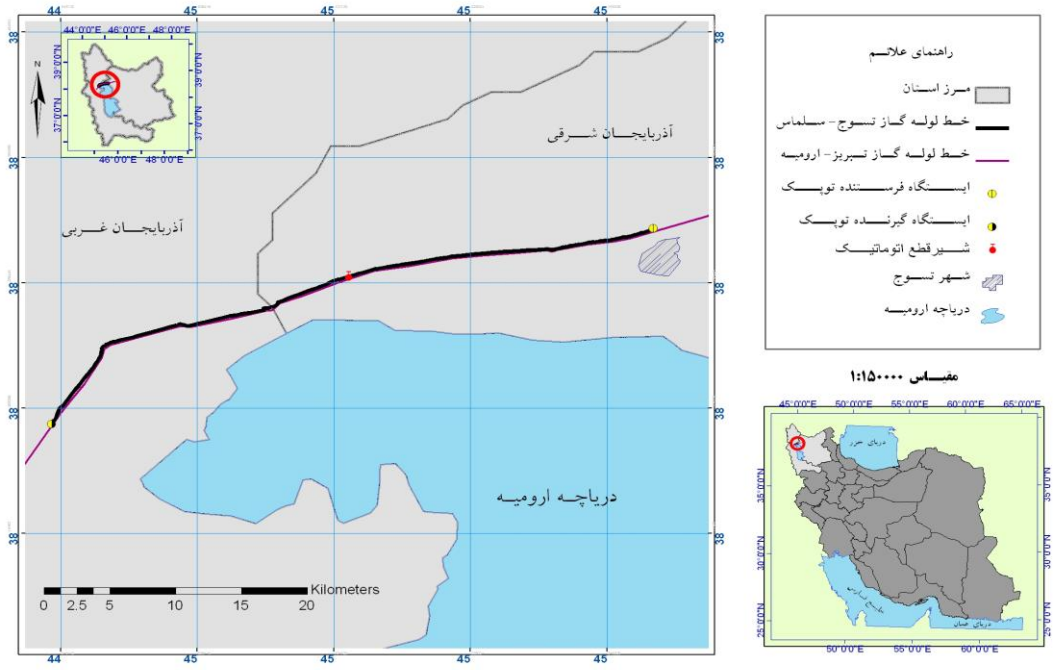
خط لوله انتقال گاز ۲۴ اینچ تسوج- سلماس در شمال شهر تسوج واقع در استان آذربایجان شرقی و در نقطه‌ای به مختصات جغرافیایی ″۱۵، ′۲۰، °۳۸ عرض شمالی و ″۵۸، ′۲۰، °۴۵ طول شرقی از خط لوله گاز موجود تبریز- ارومیه منشعب شده و پس از حدود ۴۲ کیلومتر طی مسیر به موازات آن در جنوب شرقی شهر سلماس واقع در استان آذربایجان غربی در نقطه‌ای به مختصات ″۴۵، ′۱۱، °۳۸ عرض شمالی و ″۲۵، ′۵۶، °۴۴ طول شرقی به پایان می‌رسد.

قطر خط لوله در تمام طول مسیر ۲۴ اینچ است ولی ضخامت آن در حوزه استحفاظی شهرها یا در مجاورت با مناطق مسکونی، مجاورت ایستگاه‌ها و در تقاطع با جاده آسفالته و ریل راه آهن به منظور حصول به ضریب ایمنی استاندارد متفاوت است.

خط لوله مذکور دارای یک ایستگاه فرستنده توپک در ابتدا و یک ایستگاه گیرنده توپک در انتهای مسیر و همچنین یک ایستگاه شیر قطع اتوماتیک درکیلومتر ۲۰ خط لوله می‌باشد (۷). در نقشه ۱ موقعیت جغرافیایی خط لوله تسوج- سلماس نمایش داده شده است.

این مطالعه با هدف ارایه الگویی جهت ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های انتقال گاز به انجام رسیده است. به‌این‌منظور، تلفیقی از روش سامانه شاخص‌گذاری و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پیشنهاد شده است. با استفاده از روش مذکور می‌توان انواع ریسک‌های محیط‌زیستی موجود در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز را بر اساس شاخص‌ها و معیارهای تعیین شده طبقه‌بندی، کمّی و اولویت‌بندی نمود.

1- Fault Tree Analysis
2- Scenario Based
3- Multi Attribute Utility Theory



نقشه ۱- موقعیت جغرافیایی خط لوله انتقال گاز ۲۴ اینچ تسوج - سلماس

مواد و روش‌ها

با توجه به روش مورد استفاده و ویژگی‌های محیط‌زیست منطقه مطالعاتی، محدوده ارزیابی ریسک محیط‌زیستی مشخص و سپس تحقیق در قالب این محدوده به انجام رسید. جهت تلفیق داده‌های مکانی و توصیفی، تجزیه‌وتحلیل و پهنه‌بندی ریسک در طول مسیر خط لوله از نرم افزار $ArcGIS_{9.3}$ استفاده شد. به منظور وزن‌دهی به شاخص‌های مؤثر در برآورد سطح ریسک از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم افزار $Expert\ Choice_9$ بهره‌گیری شد. در مرحله شناسایی این تحقیق خطرهای محتمل درقالب اثرات پروژه بر محیط و نیز محیط بر پروژه مطالعه گردید. مواردی چون: پتانسیل‌های طبیعی منطقه تحت بررسی مانند: گسل، لرزه‌خیزی، روانگرایی، لغزش و رانش از جمله عوامل محیطی محسوب می‌شوند که می‌توانند باعث افزایش احتمال وقوع مخاطرات بر خط لوله و تحمیل خطر از جانب محیط‌زیست بر پروژه و سرمایه‌گذاری انجام یافته محسوب گردند. شاخص‌هایی چون: خوردگی لوله‌ها ناشی از گاز عبوری، از بین رفتن عایق‌های بیرونی یا درونی و انفجار از جمله مخاطرات احتمالی هستند که از جانب سامانه انتقال گاز، محیط‌زیست تحت تأثیر را تهدید می‌کنند.

این مخاطرات در صورت وقوع می‌توانند خسارات زیادی بر محیط‌زیست تحت اثر تحمیل نمایند. در ادامه تخمین و کمّی‌سازی ریسک‌های شناسایی شده در دو محور اصلی شاخص مخاطرات کل و شاخص اثرات به انجام رسید. شاخص مخاطرات کل شامل کلیه عواملی است که در افزایش احتمال

بروز حادثه یا خطر در مسیر خط لوله مؤثرند. این شاخص خود دارای چهار زیرشاخص: پتانسیل تخریب عوامل ثالث، خوردگی، طراحی و کارکرد ناصحیح اپراتور است. شاخص اثرات نیز به کلیه عواملی که در شدت یا ضعف وقوع خطر محیط‌زیستی مؤثرند اتلاق می‌شود. این شاخص نیز دارای سه زیرشاخص: خطر محصول، حساسیت پراکنش و حساسیت اکولوژیک است (۸).

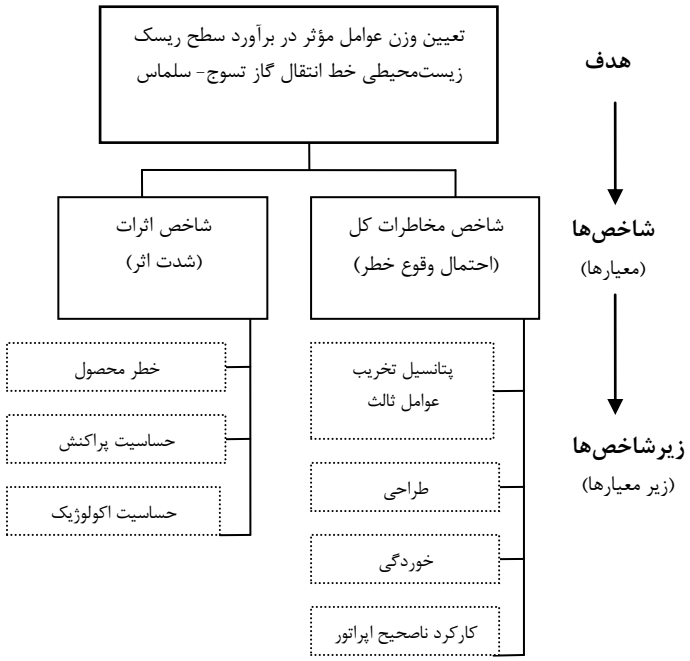
در ادامه، کار روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی (شاخص‌های ارزیابی) و در نتیجه پهنه‌بندی ریسک در طول مسیر خط لوله انجام یافت. با تلفیق نقشه‌های زیرشاخص‌های مؤلفه مخاطرات کل و شاخص اثرات و با لحاظ کردن اهمیت وزنی هر یک و امتیازات کسب شده، نقشه نهایی شاخص مخاطرات کل که مبیّن احتمال وقوع خطر و نقشه نهایی شاخص اثرات که معرّف شدت اثر است تولید گردید. لازم به ذکر است در مواردی که زیرشاخص مورد بررسی قابلیت نمایش و پهنه‌بندی نداشت (مانند کارکرد اپراتور و یا خطر محصول) امتیاز محاسبه شده در این مرحله به‌صورت عدد ثابت در طول مسیر خط لوله لحاظ شد. در جدول ۱ معیار امتیازدهی و کمّی‌سازی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد بررسی مطابق با روش سامانه شاخص گذاری ارایه شده است.

به منظور تعیین میزان اهمیت و تأثیر هر یک از زیرشاخص‌های این دو مؤلفه، زیرشاخص‌ها به صورت دو به دو مورد مقایسه قرار گرفته و بر این اساس ارجحیت هر یک بر دیگری تعیین گردید. در ماتریس‌های مقایسه زوجی، عدد "n" نشان دهنده اهمیت گزینه A نسبت به گزینه B و عدد "1/n" نیز گویای اهمیت گزینه B نسبت به گزینه A می‌باشد. بنابراین اگر اهمیت یک عامل در مقابل دیگری مشخص باشد، عکس این رابطه نیز قابل تشخیص خواهد بود (۹).

جدول ۱- شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مورد بررسی و معیارهای امتیازدهی در روش سامانه شاخص‌گذاری (۸).

شاخص‌ها	زیر شاخص‌ها		محدوده امتیازات	معیارهای امتیازدهی	
شاخص مخاطرات کل	پتانسیل تخریب عوامل ثالث	حداقل ارتفاع پوشش	۰ -۲۴	ارتفاع پوشش بر حسب اینچ تقسیم بر ۳	
		سطح فعالیت‌های منطقه	۰ -۲۵	مراکز جمعیتی، خطوط ارتباطی، پروژه‌های در حال احداث، فعالیت‌های حساس و خطرزا، خطوط انتقال آب و پروژه‌های در حال احداث	
		حریم خط لوله	۰ -۶	عالی، خوب، متوسط، زیر متوسط، ضعیف	
		تأسیسات روزمینی	۰ -۱۱	عدم وجود تأسیسات زیربنایی سطحی امتیاز ۱۱ در غیر این صورت امتیاز ۰	
		تواتر گشت و بازرسی	۰ -۱۷	روزانه- ۴، ۳، ۲ یا ۱ روز در هفته- کمتر از ۴ بار در ماه، کمتر از یکبار در ماه، هیچ وقت	
		برنامه آموزش همگانی	۰ -۱۷	آموزش غیر حضوری، ملاقات با نمایندگان رسمی مردم و پیمانکاران، انتشار آگهی، برخورد مستقیم و برنامه‌های آموزش منظم گروهی	
	خوردگی	خوردگی ناشی از عوامل جوی	۰ -۱۰	در معرض هوا قرار داشتن، شرایط جوّی، عایق	
		خوردگی درونی	۰-۲۰	خوردگی محصول، موانع	
		خوردگی زیر سطحی- محیط زیرزمینی	۰-۲۰	خورندگی خاک، خوردگی مکانیکی	
		خوردگی زیر سطحی- حفاظت کاتدیک	۰ -۲۵	کارایی، قابلیت درونی	
		خوردگی زیر سطحی- عایقکاری	۰ -۲۵	قابلیت، شرایط	
	طراحی	ضریب ایمنی لوله	۰ -۲۵	نسبت میزان فشار قابل تحمل به فشار طراحی (عامل خطر)	
		ضریب ایمنی سامانه انتقال گاز	۰ -۲۵	مقاوم به فشارهای مکانیکی	
		فشار *Surge* (فشار مکانیکی ناشی از توقف ناگهانی سیّال درون لوله)	۰ -۲۰	احتمال بالای ایجاد فشار*surge* (۰)، احتمال متوسط (۱۰) و غیر ممکن(۲۰)	
		جابجایی خاک و عوامل زمین‌ساخت- لغزش	۰ -۷	فاقد پتانسیل (۷)، پتانسیل کم (۵)، پتانسیل متوسط (۳)، پتانسیل زیاد (۰)	
		جابجایی خاک و عوامل زمین‌ساخت- روانگرایی	۰ -۷	فاقد پتانسیل (۷)، پتانسیل کم (۵)، پتانسیل متوسط (۳)، پتانسیل زیاد (۰)	
		جابجایی خاک و عوامل زمین‌ساخت- لرزه خیزی	۰ -۹	فاقد پتانسیل (۹)، پتانسیل کم (۶)، پتانسیل متوسط (۴)، پتانسیل زیاد (۰)	
		جابجایی خاک و عوامل زمین‌ساخت- نشست زمین	۰ -۷	فاقد پتانسیل (۷)، سایر موارد (۰)	
	کارکرد ناصحیح اپراتور	فاز طراحی	۰ -۳۵	شناسایی خطر (۵)، حداکثر فشار قابل تحمل (۱۵)، سامانه‌های ایمنی (۱۲)، کنترل (۳)	
		فاز ساختمانی	۰ -۲۵	بازرسی کیفی (۱۲)، بررسی اتصالات (۳)، استفاده از پوشش مناسب (۲)، مواد و تجهیزات مصرفی (۲)، حفاری (۲)، کارگزاری لوله (۲)، بررسی عایق لوله (۲)	
		فاز بهره‌برداری	۰ -۴۰	برنامه‌های ایمنی (۴)، سیستم‌های کنترل از راه دور(SCADA) ؛ (۶ امتیاز)، برنامه‌های تعمیر و بازسازی (۸)، آموزش (۱۲)، تجهیزات جلوگیری از خطاهای مکانیکی (۱۰)	
شاخص اثرات	خطر محصول	خطرات حاد	۰ -۱۲	قابلیت اشتعال(۴- ۰)، واکنش‌پذیری (۴- ۰)، میزان سمیّت (۴- ۰)	
		خطرات مزمن	۰ -۱۰	سمیّت در محیط آبی، سمیّت برای پستانداران، قابلیت آتش‌گیری و واکنش‌پذیری، پتانسیل سرطانزایی، اسیدیته و خورندگی	
	حساسیت پراکنش	میزان نشت	۰ -۶	حجم نشت و مدل انتشار	امتیاز نهایی شاخص حساسیت پراکنش: (۶- ۰) حاصل تقسیم امتیاز میزان نشت به تراکم جمعیت می‌باشد.
		تراکم جمعیت	۰ -۴	تا شعاع ۲ کیلومتر از خط لوله	
	حساسیت اکولوژیک	رودخانه‌های با اهمیت	۰ -۴	تقاطع یا مجاورت با رودخانه‌های مهم از نظراکولوژیکی (۰) و در غیر این صورت (۴)	
		مناطق چهارگانه تحت مدیریت	۰ -۴	تا شعاع ۵ کیلومتر ؛ حضور مناطق در طول مسیر (۰) و در غیر این صورت (۴)	
		زیستگاه‌ها و رویشگاه‌های ویژه	۰ -۴	حضور در طول مسیر (۰) و در غیر این صورت (۴)	
نحوه محاسبه (امتیاز) سطح ریسک			امتیاز نهایی شاخص مخاطرات کل (مجموع زیرشاخص‌ها) * امتیاز نهایی شاخص اثرات (مجموع زیرشاخص‌ها)		

در نمودار ۱ ساختار سلسله مراتبی تعیین وزن عوامل مورد ارزیابی بر اساس سامانه شاخص‌گذاری ارائه شده است.



نمودار۱- ساختار سلسله مراتبی تعیین وزن عوامل مورد ارزیابی

نتایج

جهت وزن‌دهی به هر یک از عوامل که به صورت لایه‌های رقومی تهیه شده بودند از روش OWA[1] بهره‌گیری شد. روش مذکور این قدرت را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد که عوامل مهم‌تری را که از نظر او سطح ریسک پروژه را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند با همان اهمیت در مسأله قرار دهد (۱۰). استخراج این اوزان می‌تواند از طریق نظرات کارشناسی منتج شود (۱۱).

با استفاده از تجربیات متخصصین امر و نظرات خبرگی برای هر یک از عوامل مورد ارزیابی ضریب وزنی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که نقشه‌های هر یک از زیرشاخص‌های مورد بررسی در نتیجه تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه و با لحاظ کردن ضرایب وزنی مشخص شده به‌دست آمد. در جدول ۲ اوزان نهایی شاخص‌ها، زیرشاخص‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مورد ارزیابی در این مطالعه ارایه شده است.

1- Ordered Weight Analysis

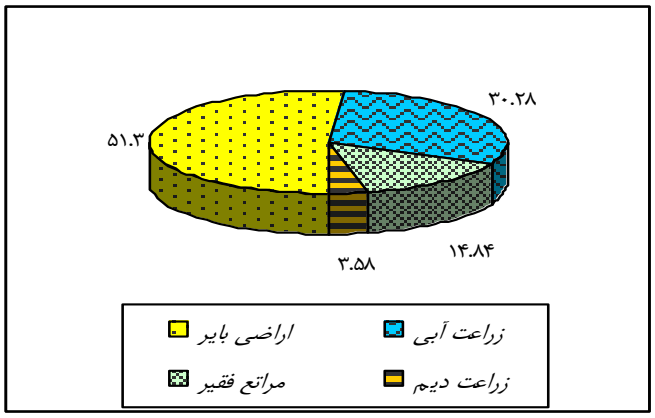
جدول۲- اوزان نهایی شاخص‌ها، زیر شاخص‌ها و عوامل خطر مورد بررسی در مطالعه ارزیابی ریسک زیست‌محیطی خط انتقال گاز تسوج- سلماس

شاخص‌های ارزیابی	درصد اهمیت	زیرشاخص‌های ارزیابی	وزن نهایی	لایه‌های اطلاعاتی مورد ارزیابی (عوامل خطر)	ضریب وزنی
شاخص مخاطرات کل	٪۵۰ (۰/۵۰)	پتانسیل تخریب عوامل ثالث	۰/۵۳۱	مراکز جمعیتی (تا شعاع ۲ کیلومتر)	۰/۱۴
				خطوط ارتباطی (تا شعاع ۱ کیلومتر)	۰/۱۸
				خط لوله انتقال گاز موجود	۰/۲۱
				خطوط انتقال برق فشار قوی	۰/۱۷
				کاربری اراضی (فعالیت های زراعی و کشاورزی)	۰/۲۰
				تأسیسات روزمینی	۰/۱۰
		کارکرد ناصحیح اپراتور	۰/۱۲۳۰	*	
		طراحی	۰/۲۶۹۰	جابجایی خاک (حاصل تلفیق لایه‌های: لرزه خیزی، روانگرایی، لغزش و نشست زمین)	۱
		خوردگی	۰/۰۷۷۰	پتانسیل خورندگی خاک	۱
حاصل تلفیق لایه‌های فوق نقشه شاخص مخاطرات کل می‌باشد					
شاخص اثرات	٪۵۰ (۰/۵۰)	خطر محصول	۰/۱۱	*	
		حساسیت پراکنش	۰/۳۰۹	تراکم جمعیت (تا شعاع ۲ کیلومتر)	۱
		حساسیت اکولوژیک	۰/۵۸۱	پارک ملّی دریاچه ارومیه (تا شعاع ۵ کیلومتر)	۱
حاصل تلفیق لایه‌های فوق نقشه شاخص اثرات می‌باشد					

* لایه اطلاعاتی قابلیت نمایش نداشته، درنتیجه امتیاز محاسبه شده به صورت عدد ثابت برای کل مسیر لحاظ شده است.

غالب طول خط لوله انتقال گاز تسوج- سلماس در مسیر خود از دشت‌های واقع در شهرستان شبستر عبور کرده و در قسمت انتهایی آن از شوره‌زارهای استان آذربایجان غربی می‌گذرد. همچنین خط لوله مذکور از محدوده شمال غربی شهر تسوج و ۱۷ آبادی در طول مسیر عبور می‌کند. از میان مراکز جمعیتی محدوده مورد مطالعه، شهر تسوج با جمعیتی بالغ بر ۷۳۳۲ نفر و روستای قره قشلاق با ۲۱۲۶ نفر جمعیت پرجمعیت‌ترین و همچنین آبادی چوپانلوی سفلی با ۱۵۹ و قزلجه با ۲۳۱ نفر کم جمعیت‌ترین آبادی‌های محدوده مسیر محسوب می‌شوند (۱۲). این خط لوله در طول مسیر، دارای ۱۰ تقاطع با جاده آسفالته، ۱ تقاطع با راه شوسه و ۱ تقاطع با راه‌آهن (کیلومتر ۵۵۲+۲۴) می‌باشد. همچنین در طول مسیر ۶ تقاطع با مسیل و آبراهه (بیش‌تر در دشت تسوج) و ۱ تقاطع با رودخانه فصلی زولاچای با عرض بستر ۶۱ متر (در کیلومتر ۵۰۸+۳۵) در دشت سلماس وجود دارد. از کل مسیر خط لوله مورد بررسی ۵۱/۳۰٪ آن از اراضی بایر، ۱۴/۸۴٪ از مراتع فقیر،

۳۰/۲۸٪ از اراضی با کاربری زراعت آبی و ۳/۵۸٪ از اراضی با کاربری زراعت دیم عبور می‌کند (نمودار ۲).



نمودار ۲- انواع و نسبت کاربری‌های اراضی موجود در مسیر خط لوله تسوج- سلماس

جنس گیاهی غالب مراتع مسیر خط لوله از جنس گون (*Astragalus sp.*) می‌باشد. نزدیکی به مراکز جمعیتی، تقاطع با راه‌های ارتباطی و گذر از اراضی کشاورزی از جمله عواملی هستند که باعث بالا رفتن سطح پتانسیل ریسک حاصل از عوامل ثالث می‌شوند. همچنین مجاورت و تقاطع با خطوط انتقال برق فشار قوی و مجاورت با خط لوله انتقال گاز تبریز- ارومیه به عنوان فعالیت‌های حساس و خطرزایی هستند که در زمان وقوع حوادث احتمالی می‌توانند اثر تشدید کننده بر سامانه انتقال گاز بر جای گذارند. دو گسل در نزدیکی خط لوله وجود دارد؛ گسل اول، گسل فعال تسوج، از انواع گسل‌های اصلی با روند تقریبی شرقی- غربی است که به موازات خط لوله (با حداقل فاصله ۷۰۰ متر و حداکثر ۴ کیلومتر) در شمال خط لوله واقع شده است. در ادامه، این گسل به سمت شمال غربی کشیده شده و به انتهای گسل دوم یعنی گسل شکریازی- مافی کندی می پیوندد. این گسل ادامه گسل شمال تبریز بوده و از ۱۶ کیلومتری شمال شهرستان سلماس عبور کرده و عامل اصلی تشکیل دریاچه تکتونیکی ارومیه محسوب می‌شود.

پدیده لغزش و ریزش نیز در کیلومترهای ۰+۰۰ تا ۱+۲۸۰، ۳۰+۰۰ تا ۸+۱۵۰ ، ۱۳+۲۸۰ تا ۲۱ و ۳۴+۰۳۲ تا ۴۱+۷۴۰ با توجه به نزدیکی به گسل تسوج و واقع شدن در مناطق بین کوه و دشت و مجاورت با رسوبات رسی و مارنی دارای پتانسیل متوسط تا زیاد می باشد (۱۳). در قسمت انتهایی مسیر نیز، گذر از شوره‌زارها با رسوبات سست مارنی، پتانسیل نشست زمین را افزایش داده است. در خصوص حساسیت زیست‌محیطی محدوده پذیرنده، تنها حساسیت مورد بررسی، پارک ملّی دریاچه ارومیه می‌باشد که در جنوب مسیر خط لوله واقع شده و کم‌ترین فاصله خط لوله از حاشیه شمالی دریاچه ارومیه ۱/۸۳۰ کیلومتر پیش بینی می‌شود. با توجه به روش منتخب، حریم ۵ کیلومتری از دریاچه ارومیه به عنوان شعاع ریسک در نظر گرفته شد. نتیجه بررسی‌های مکانی حاکی از آن است که ۱۵ کیلومتر از مسیر خط لوله (ازکیلومتر ۱۸+۲۲۰ تا ۳۳+۲۲۰) در این شعاع واقع شده و در نتیجه در صورت وقوع حادثه در فاز بهره‌برداری پیش‌بینی می شود که در محدوده مذکور بسته به نوع و وسعت حادثه، دریاچه ارومیه را تحت تأثیر قرار دهد لذا این محدوده از لحاظ حساسیت اکولوژیک، محدوده با ریسک زیاد درنظر گرفته شد.

مهم‌ترین عوامل تحت تأثیر شناسایی شده جمعیت، فعالیت‌های انسانی مرتبط با اراضی و دریاچه ارومیه پیش‌بینی گردیدند، همچنین بیش‌ترین میزان ریسک پروژه نیز ناشی از خطرهای پتانسیل تخریب عوامل ثالث و پتانسیل‌های طبیعی (جابجایی خاک) می‌باشد. پس از شناسایی مخاطرات احتمالی در گام اول، نسبت به امتیازدهی و کمّی‌سازی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های ارزیابی با استفاده از معیارهای موجود اقدام گردید. در سامانه انتقال مورد بررسی، سیّال از نوع گاز طبیعی

شیرین با ترکیب ۸۸٪ متان و ۱۲٪ اتان است. وضعیت خط لوله مذکور از نظر این شاخص در تمام طول مسیر یکسان ارزیابی شد و در نتیجه امتیاز محاسبه شده به صورت عدد ثابت برای کل مسیر لحاظ گردید.

پس از مشخص شدن امتیاز شاخص‌های ارزیابی و برآورد میزان اهمیت هر یک از آن‌ها (بر حسب ضریب وزنی) نقشه‌های لایه‌های مورد ارزیابی تولید و استاندارد گردید. سپس در محیط *GIS* نقشه‌های پتانسیل تخریب عوامل ثالث، شاخص خوردگی (پتانسیل خورندگی خاک) و شاخص طراحی با اعمال ضرایب وزنی و بهره‌گیری از تابع *Raster Calculator*، از سری توابع تحلیلگر فضایی[1]، به صورت *WLC* [2] با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی شاخص مخاطرات کل تولید گردید. نقشه نهایی شاخص اثرات نیز از تلفیق نقشه‌های تراکم جمعیت و حساسیت اکولوژیک حاصل شد.

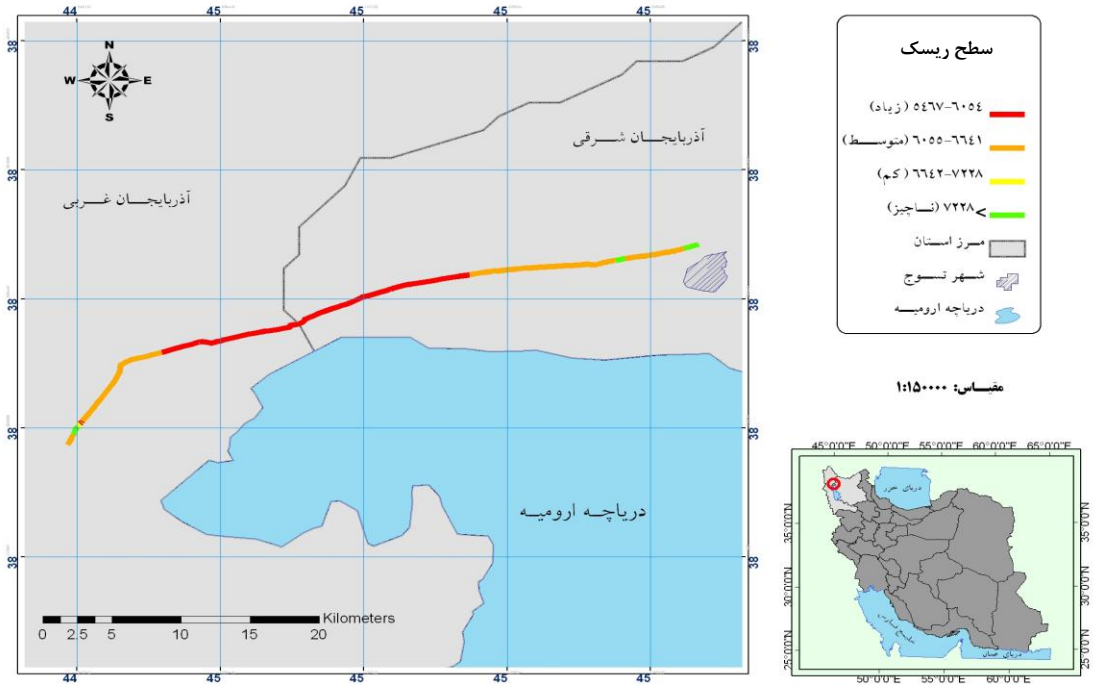
1- Spatial Analyst
2-Weighted Linear Combination

جدول۳- نتایج کمّی‌سازی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های ارزیابی در مطالعه ارزیابی ریسک زیست‌محیطی خط انتقال گاز تسوج- سلماس

	زیر شاخص‌ها			محدوده امتیازات	معیارهای امتیازدهی
شاخص مخاطرات کل	پتانسیل تخریب عوامل ثالث	حداقل ارتفاع پوشش		۱۶	حداقل ارتفاع پوشش خاک روی لوله بر حسب اینچ ۴۸ می‌باشد در نتیجه امتیاز این قسمت (۱۶= ۳ / ۴۸) برآورد شده است.
		سطح فعالیت‌های منطقه		۰ -۲۵	در بازه‌های مختلف بسته به تراکم نقاط جمعیتی، تقاطع با راه‌های ارتباطی، عبور از داخل اراضی کشاورزی، مجاورت و تقاطع با خط لوله انتقال گاز موجود و خطوط انتقال برق فشار قوی امتیازات متفاوت می‌باشد.
		حریم خط لوله		۰ -۶	در محل تأسیسات سیستم انتقال گاز ۵ (عالی) و در سایر نقاط مسیر، امتیاز ۲ (متوسط).
		تأسیسات روزمینی		۰ -۱۱	در نقاط ابتدا و انتهای مسیر و کیلومتر ۲۰، امتیاز (۰) و سایر نقاط (۱۱).
		تواتر گشت و بازرسی		۲	با توجه به معیارها و بررسی‌های صورت گرفته.
		برنامه آموزش همگانی		۱۵	با توجه به معیارها و بررسی‌های صورت گرفته.
	خوردگی	خوردگی ناشی از عوامل جوی		۱۰	خط لوله در زیر زمین مدفون بوده و در معرض عوامل اتمسفری قرار نمی‌گیرد.
		خوردگی درونی		۲۰	گاز طبیعی فاقد پتانسیل خورندگی بوده بعلاوه تمهیدات مناسب در نظر گرفته شده است.
		خوردگی زیر سطحی	محیط زیرزمینی	۰ -۲۰	در بازه‌های مختلف بسته به مقاومت الکتریکی خاک امتیازدهی متفاوت می‌باشد (کمتر از ۵۰۰ (امتیاز صفر)، بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ (امتیاز ۱۰) و بیش از ۱۰۰۰۰ (امتیاز ۲۰).
			حفاظت کاتدیک	۲۵	اجرای سیستم حفاظت کاتدیک طبق استاندارد و انجام آزمایشات مربوطه.
			عایقکاری	۲۵	طبق استانداردهای مهندسی و در حد مناسب.
	طراحی	ضریب ایمنی لوله و سامانه انتقال گاز		۱۰	نسبت میزان فشار قابل تحمل به فشار طراحی (عامل خطر) = ۱/۴۰ (با توجه به معیار در حدّ متوسط است)
		فشار Surge		۱۰	احتمال متوسط ایجاد فشار*surge*
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت	لغزش	۰ -۳۰	نقشه پتانسیل جابجایی خاک در نتیجه روی‌هم‌گذاری لایه‌های لغزش، روانگرایی، لرزه‌خیزی و نشست زمین در طول مسیر خط لوله، به‌دست می‌آید. امتیاز این شاخص در نقاط مختلف بسته به امتیاز عوامل مؤثر مذکور، متفاوت است. دامنه امتیازات در مورد خط لوله گاز تسوج- سلماس ۱۷-۱۰ (پتانسیل متوسط) بوده است.
			روانگرایی		
			لرزه‌خیزی		
			نشست زمین		
	کارکرد ناصحیح اپراتور	فاز طراحی		۲۳	با توجه به معیارها و بررسی های صورت گرفته (امتیاز این شاخص برای کل مسیر خط لوله لحاظ شده است).
		فاز ساختمانی		۲۵	
		فاز بهره‌برداری		۳۴	
شاخص اثرات	خطر محصول	خطرات حاد		۷	مجموع امتیازات قابلیت اشتعال(۰)، واکنش پذیری (۴)، میزان سمیّت (۳).
		خطرات مزمن		۲	بر اساس معیار *CERCLA* میزان نشت قابل توجه برای گاز طبیعی (متان و اتان) برابر ۵۰۰۰ و در نتیجه امتیاز معادل ۲ می باشد.
	حساسیت پراکنش	میزان نشت		۵	بر اساس جرم مولکولی و نرخ نشت گاز طبیعی (متان و اتان).
		تراکم جمعیت		۰ -۴	تا شعاع ۲ کیلومتر از محور خط لوله؛ تراکم ۱۰۴-۲۶ (۴ امتیاز)، ۱۸۳-۱۰۵ (۳ امتیاز)، ۲۶۲-۱۸۴ (۲ امتیاز)، ۳۴۰-۲۶۳ (۱ امتیاز).
		امتیاز نهایی حساسیت پراکنش (امتیازتراکم جمعیت/ امتیاز میزان نشت)		۰ -۶	تراکم جمعیت (۴): ۱/۲۵ امتیاز – تراکم جمعیت (۳): ۱/۶۶ امتیاز – تراکم جمعیت (۲): ۲/۵ امتیاز – تراکم جمعیت (۱): ۵ امتیاز .
	حساسیت اکولوژیک	رودخانه‌های با اهمیت		۴	عدم تقاطع یا مجاورت با رودخانه‌های مهم از نظراکولوژیکی در کل مسیر.
		مناطق چهارگانه تحت مدیریت		۰ -۴	مسیرهایی از خط لوله که در شعاع ۵ کیلومتری از پارک ملّی دریاچه ارومیه واقع شده اند (صفر امتیاز) و فواصل بیشتر (۴ امتیاز).
		زیستگاه‌ها و رویشگاه‌های ویژه		۴	عدم وجود زیستگاه و رویشگاه ویژه در طول مسیر.

بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که غالب طول مسیر خط لوله واجد دو سطح ریسک متوسط و زیاد می‌باشد. به طوری که ۴۶٪ از طول مسیر دارای ریسک بالا (۶۰۵۴- ۵۴۶۷ امتیاز)، ۴۸٪ ریسک متوسط (۶۶۴۱- ۶۰۵۵ امتیاز)، ۲٪ ریسک کم (۷۲۲۸-۶۶۴۲ امتیاز) بوده و ریسک ناچیز با امتیاز (<۷۲۲۸) نیز ۴٪ از طول مسیر را به خود اختصاص داده است. نقشه نهایی پهنه‌بندی ریسک محیط‌زیستی در طول مسیر خط لوله تسوج- سلماس در نقشه ۲ نمایش داده شده است.



نقشه ۲- نقشه پهنه‌بندی ریسک زیست‌محیطی خط لوله انتقال گاز تسوج - سلماس

با توجه به این که نتایج حاصل از این مطالعه مکان‌یابی ریسک‌های شناسایی شده در طول مسیر خط لوله می‌باشد، لذا به منظور تهیه برنامه کنترل ریسک می‌توان با مراجعه به نقشه‌های تولید شده، مخاطرات و پیامدهای حاصل را شناسایی و بر حسب موقعیت جغرافیایی و مکانی آنها در طول مسیر، برنامه کنترلی ارائه داد. همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی ریسک (نقشه ۲) مشاهده می‌شود؛ امتیاز پایین نشان‌دهنده ریسک (خطر احتمالی) زیاد بوده و با افزایش امتیاز، سطح ریسک کاهش می‌یابد.

منابع

1. Brito, A.J. and A.T. de Almeida., 2008, Multi attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines, Reliability engineering & System safety, Available online at (www.sciencedirect.com).
2. Bass gas pipeline, 2002, Environmental impact statement, Southeast Australia, (www.ogp.com).

3. Lina, H.B., 2000, Pipeline risk assessment assist safe transportation of energy resources, Southeastern Mexico, (www.eomonline.com)
4. Porter, M., G. Marcuz, R. Reale, K.W. Savigny, 2006, Geohazard risk management for the Norandino gas pipeline, Proceedings of IPC, 6th International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada.
5. Henselwood, F. and G. Phillips, 2004, A matrix based risk assessment approach for addressing linear hazards such as pipelines, Available online at (www.elsevier.com).

۶. منوری، سید مسعود، ۱۳۸۴، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، نشر میترا.

۷. مهندسین مشاور هامون گستر صنعت، ۱۳۸۶، گزارش ویژگی‌های فنی خط لوله انتقال گاز تسوج- سلماس.

8. Muhlbauer, W.K., 2004, Pipeline risk management manual, Gulf professional publishing, united state of America, Third Ed: 572 pp.
9. Sarkis, J. and Talluri, S., 2004, Evaluating and Selecting e-Commerce Software and Communication Systems for a Supply Chain, European Journal of Operational Research, 159 pp. 318-329.
10. Malczewski, J., 1999, GIS and multi criteria decision analysis, Newyork, John wiley & Sons Inc.

۱۱. متکان، علی‌اکبر، علیرضا شکیب، پورعلی، سیدحسین و حسین نظم‌فر، ۱۳۸۷، مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از GIS (ناحیه مورد مطالعه: شهر تبریز)، فصلنامه علوم محیطی، سال ششم، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۷.

۱۲. مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵، نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن، درگاه ملّی مرکز آمار ایران.

۱۳. مهندسین مشاور ژئو کاو اندیش، ۱۳۸۵، گزارشات فنی خاکشناسی و مطالعات ژئوتکنیک خط لوله انتقال گاز تسوج- سلماس.