

ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی حوزه انرژی از منظر پدافند غیرعامل

امین فرجی^۲

مجید فخری^۱

مهدی علیان^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲

چکیده

امروزه زیرساخت‌های حوزه انرژی به واسطه نقش و اهمیت آن‌ها در خدمت‌رسانی به جامعه اهمیت ویژه‌ای یافته است. متقابلاً حفظ امنیت این زیرساخت‌ها در برابر حمله‌ها و تهدیدها، از اولویت‌های تأمین امنیت در یک سرزمین به‌شمار می‌رود و یکی از وجوه تأمین امنیت، سنجش وضعیت آسیب‌پذیری‌های مکانی زیرساخت‌ها است. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شده است به ظرفیت‌سنجی قلمرو استان یزد در مقابل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های انرژی پرداخته شود. در همین راستا از روش توصیفی - تحلیلی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل شبکه‌ای و نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که از منظر پدافند غیرعامل توزیع زیرساخت‌ها در استان الگوی مناسبی نداشته است. پهنه مرکزی استان یزد نسبت به مناطق حاشیه‌ای این استان آسیب‌پذیرتر است، به‌صورتی که بیش از نیمی از زیرساخت‌های شبکه انرژی (۵۵ درصد) در استان یزد در پهنه آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار دارند و ۱۸ درصد از زیرساخت‌ها نیز در پهنه با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند و رعایت آموزه‌های پدافند غیرعامل در پهنه استان شایسته اهمیت بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، آسیب‌پذیری مکانی، زیرساخت‌های انرژی، پدافند غیرعامل، استان یزد

۱- دکتری مدیریت راهبردی پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران ma.fakhri@chmail.ir

۲- استادیار دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران (نویسنده مسئول) afaraji@ut.ac.ir

۳- دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران alian87m@gmail.com

۱- مقدمه

و احتمال بروز مخاطرات را برای این زیرساخت‌ها بیشتر نموده است (رضویان، علیان و رستمی، ۱۳۹۷: ۳۲). به بیان دیگر آسیب رسیدن به این زیرساخت‌ها علاوه بر برهم خوردن تعادل سیستم‌های شهری و منطقه‌ای، می‌تواند به چالش‌های جدی جامعه ساکن در فضا و تولید بحران در جامعه منجر شود (صارمی و حسینی امینی، ۱۳۹۰: ۵۶). اصطلاحی که برای نشان دادن وسعت و میزان خسارات احتمالی وقوع بحران در زیرساخت‌ها به کار می‌رود، با عنوان آسیب‌پذیری شناخته می‌شود که انواع گوناگونی دارد. آسیب‌پذیری مکانی که مبتنی بر تعیین فضاها و مکان‌های آسیب‌پذیر در یک منطقه است، یکی از انواع آسیب‌های شناخته شده‌ی مترتب بر زیرساخت‌هاست. نظر به اهمیت زیرساخت‌های انرژی یک منطقه و با هدف شناخت و سنجش آسیب‌پذیری به مثابه یکی از روش‌های شایسته برنامه‌ریزی علمی و اصولی، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و تحلیل ریسک زیرساخت‌های انرژی استان یزد در گام نخست به شناسایی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های انرژی استان و سپس تحلیل ریسک این زیرساخت‌ها می‌پردازد. همچنین استان یزد یکی از استان‌های مهم کشور است که به سبب موقعیت ویژه و قرارگیری در عمق استراتژیک کشور دارای زیرساخت‌های مهمی در حوزه‌های گوناگون بوده که نظر به کارآمدی انرژی در میان این زیرساخت‌ها، هم می‌تواند نبض فعالیت‌های صنعتی، هم کانون‌های جمعیتی مهم، هم از نظر تأثیرگذاری بر امنیت ملی و... اثرگذاری بیشتر داشته باشد.

در همین راستا پژوهش حاضر ضمن شناخت میزان آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های انرژی استان یزد در پی پاسخ‌گویی به پرسش‌های زیر است:

۱. میزان آسیب‌پذیری مکانی استان یزد از منظر زیرساخت‌های انرژی تا چه میزان است؟
۲. میزان آسیب و ریسک ناشی از تهدیدات در زیرساخت‌های انرژی استان یزد چقدر است؟

در سال‌های اخیر حفاظت از زیرساخت‌ها و به‌ویژه زیرساخت‌های حیاتی اهمیتی فزاینده یافته است (Abedi, Gaudard, & Romerio, 2018, p. 2; Huang, Liou, & Chuang, 2014, p. 66) زیرا اقتصاد و رفاه ساکنان هر منطقه به عملکرد مداوم و قابل اطمینان زیرساخت‌ها وابسته است (Ouyang, 2014, p. 44) و این زیرساخت‌ها به‌مثابه شاه‌رگ‌های تعیین‌کننده بقای شهرنشینی در دنیای امروز به‌شمار می‌روند (سلطانی، موسوی و زالی، ۱۳۹۶: ۹۷).

در میان تمام زیرساخت‌های مورد نیاز در جوامع گوناگون، زیرساخت‌هایی وجود دارند که آسیب دیدن و یا از کار افتادن آن‌ها می‌تواند تأثیرات بسیار مخربی بر حوزه‌های امنیت، اقتصاد و اجتماع در سطوح منطقه‌ای و ملی برجای گذارد.

در همین راستا کشورهای مختلف، فهرست‌های متفاوتی از سیستم‌ها و زیرساخت‌های خود ارائه می‌دهند که سیستم‌های زیرساختی ارتباطی (مخابراتی)، سیستم‌های برق، گاز و نفت، بانکداری و امور مالی، حمل و نقل، سیستم‌های تأمین آب، خدمات دولتی و خدمات اضطراری جزء آن‌ها محسوب می‌شوند (Ouyang, 2014, p. 44) و تحت عنوان زیرساخت‌های حیاتی و حساس شناخته می‌شوند. مروری بر زیرساخت‌های مختلف و رده‌بندی آن‌ها نشان می‌دهد زیرساخت‌های انرژی اهمیت و نقش بیشتری نسبت به سایر زیرساخت‌ها دارند.

علاوه بر این نیاز روزافزون و وابستگی بیشتر به انرژی در کنار سرعت کمتر احداث زیرساخت‌های انرژی نسبت به برخی دیگر از زیرساخت‌ها، اهمیت زیرساخت‌های حوزه انرژی را دوچندان می‌کند (Abedi et al., 2018, p. 3) و هرگونه تهدیدی برای زیرساخت‌های انرژی، به واسطه در اختیار داشتن نبض فعالیت و حیات در هر منطقه، نقش به مراتب حیاتی‌تری را در میان زیرساخت‌ها بازی می‌کند (فرجی ملانی، زاهدی و حسینی امینی، ۱۳۹۴: ۱۹۹). همین امر تمایل تهدیدات

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۰۵

۲- مبانی نظری

۲-۱- آسیب و آسیب‌پذیری مکانی

با وجود اینکه آسیب‌پذیری به یک مفهوم رایج در ادبیات آکادمیک مرتبط با پدافند غیرعامل تبدیل شده است، اما رشته‌های مختلف علمی، این مفهوم را در حوزه‌های مختلف مورد استفاده قرار داده‌اند به صورتی که آسیب‌پذیری در حوزه‌های اجتماعی، سازمانی، اقتصادی، زیست‌محیطی، جغرافیایی و قلمروی، فیزیکی و سیستماتیک به کار می‌رود (Dolan, Walliman, Amouzad, & Ogden, 2017, p. 744; Kundak, 2013, p. 196)

آسیب‌پذیری اغلب به ظرفیت برای خسارت (Cutter, 1996, p. 531) درجه و میزان تخریب در عامل یا گروهی از عوامل که از وقوع هر پدیده حاصل می‌شود (M. Little, 1995, p. 495) یا به ظرفیت نداشتن کافی جامعه برای رویارویی در برابر تهدیدها و مخاطرات اطلاق می‌شود که بر پایهٔ موقعیت افراد و گروه‌ها در دنیای فیزیکی و اجتماعی استوار است (Clark et al., 1998, p. 59). به طور کلی می‌توان گفت آسیب‌پذیری عبارت است از میزانی از خسارت به عنصری معین در معرض خطر که اغلب بر روی بُرداری از صفر (بدون خسارت) تا یک (خسارت و تخریب کامل) قرار دارد. شایان ذکر است آسیب‌پذیری پدیده‌ای ایستا نیست، بلکه فرایندی پویاست که احتمال و میزان ضرر و زیان عوامل مخرب را تغییر می‌دهد و بر آن‌ها اثرگذار است (Ghafory-Ashtiany, 2005, p. 2). در همین راستا آسیب‌پذیری مکانی به میزانی از تفاوت‌های ظرفیتی مکان زیرساخت متأثر از وقوع تهدیدات، براساس ویژگی‌ها و شاخص‌های جغرافیایی و پدافند غیرعامل، اطلاق می‌شود (سیدین و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۳۶). بنابراین آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌ها را می‌توان به نوعی ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی تعریف نمود و پژوهش حاضر نیز براساس همین مفهوم، مبادرت به سنجش و ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های انرژی در سطح منطقه‌ای خواهد نمود.

۲-۲- رویکردهای فرآیند آسیب‌پذیری

در حال حاضر تلاش‌های زیادی برای توسعه مدل‌ها و روش‌های تجزیه و تحلیل سیستم‌های زیرساختی و آسیب‌پذیری آن‌ها صورت گرفته است. یوهانسون و جانسون^۱ (۲۰۰۸) روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده در حوزه ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها را در قالب دو رویکرد کلی تجربی و پیشبین^۲ دسته‌بندی نموده‌اند.

هدف رویکردهای تجربی را افزایش آگاهی و درک از زیرساخت‌ها و برهم‌کنش‌های زیرساختی از طریق مطالعه رویدادهای گذشته می‌دانند. در واقع هدف این رویکردهای تجربی اغلب یافتن الگوهایی است که ممکن است به تصمیمات سیاسی مرتبط باشد. برای مثال در این رویکرد الگوهای مربوط به برآیندها برای یک جامعه یا چگونگی شکست‌ها و اثرات آن بر سایر زیرساخت‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (Johansson & Hassel, 2008, p. 16). نمونه‌های کاربردی از این رویکردهای تجربی را می‌توان در پژوهش‌های مک‌دنیلزو همکاران (McDaniels, Chang, Peterson, 2007, p. 175) و رسترپو (Zimmerman, Mikawoz, & Reed, 2007, p. 175) و همکاران (Restrepo, Simonoff, & Restrepo, 2006) و سایر پژوهش‌های مرتبط، مشاهده نمود. اما رویکردهای پیشبین معمولاً به مدل‌سازی و شبیه‌سازی زیرساخت‌ها و به‌طور ویژه برهم‌کنش‌های زیرساختی در ایجاد اختلالات گسترده در زیرساخت‌ها می‌پردازند. در این حوزه طیف گسترده‌ای از مدل‌ها در پژوهش‌های مختلف به کار رفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های اقتصادی - محاسباتی (Haimes & Jiang, 2001, p. 1)، مدل‌های پویای اکوسیستمی (Min, Beyeler, Brown, Son, & Jones, 2007, p. 57)، مدل‌های عامل مبنا (Brown, Beyeler, & Barton, 2004, p. 108)، مدل‌سازی‌های مبتنی بر شبکه (Apostolakis & Lemon, 2005, p. 361) و سایر مدل‌ها و روش‌هایی اشاره کرد که هدف آن‌ها مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتاری زیرساخت‌ها در صورت

1- Johansson and Jonsson

2- empirical and predictive approaches

روابط معیارها با استفاده از مدل دیمتل، به مرحله مقایسه دودویی عناصر زیرساختی می‌رسیم که با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای، تک تک عناصر زیرساختی استان یزد بر اساس پرسشنامه تهیه شده توسط متخصصان، کارشناسان و خبرگان تکمیل شد. اما مسئله مهم در این مقایسه، معیار سنجش است که در مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای از آن با عنوان معیار کنترلی یاد می‌شود. بدین منظور شناخت صحیح کارکردهای هر زیرساخت، دسته‌بندی آن‌ها و شناسایی دقیق فضاهای هریک بسیار ضروری است.

تعیین ارزش هدف در این راستا کمک شایانی به طبقه‌بندی زیرساخت‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها می‌کند که بی‌شک تعریف شاخص‌های استاندارد برای این مهم، از ضروری‌ترین اقدامات لازم است. شاخص‌هایی نظیر ارزش راهبردی-سیاسی، ارزش اقتصادی، ارزش اجتماعی و ارزش دفاعی، شاخص‌های مناسبی برای کشف میزان اهمیت هر زیرساخت خواهند بود. بنابراین در پژوهش حاضر ارزش راهبردی-سیاسی، ارزش اقتصادی، ارزش اجتماعی و ارزش دفاعی به عنوان معیارهای کنترلی در تدوین پرسشنامه منظور گردید. انتخاب تیم ارزیاب براساس ویژگی «واجد تخصص» و «صاحب‌نظر بودن» انتخاب شد. براین اساس صاحب‌نظران و متخصصان آشنا با مفاهیم پدافند غیرعامل، تهدید، زیرساخت و آسیب‌پذیری زیرساخت از دو جامعه متخصصان سازمان پدافند غیرعامل و جامعه دانشگاهی انتخاب شدند و در مجموع پس از توزیع ۵۰ پرسشنامه اولیه، ۳۴ پرسشنامه جمع‌آوری شد. پس از پایش اولیه به دلیل تفاوت بسیار زیاد و غیرعقلانی بودن و حذف ۲ پرسشنامه جمع‌آوری شده، در نهایت فرآیند تحلیل با ۳۲ پرسشنامه معتبر ادامه یافت. جامعه آماری پاسخگو متشکل از ۹ نفر از جامعه متخصصان سازمان پدافند غیرعامل و ۲۳ نفر از جامعه دانشگاهی می‌باشد.

پس از به پایان رسیدن محاسبات در مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای، گام بعدی تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی برای هریک از عناصر زیرساختی است که با آماده‌سازی آن‌ها

بروز تهدیدهای مختلف است (Huang et al., 2014, p. 66). اما چالش‌های درک، تفهیم، شاخص‌سازی و مدل‌سازی این سیستم‌ها هنوز بسیار زیاد است و تلاش‌های فعلی در این زمینه، هنوز مراحل تکاملی خود را تجربه نکرده است (R. G. Little, 2002, p. 110). اما نکته مشترک در استفاده و کاربرد این مدل‌ها در این است که پژوهش‌های مبتنی بر رویکردهای پیشین تأثیرات و برهم‌کنش‌های زیرساختی را با مدل‌ها و دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌دهند و باتوجه به ماهیت زیرساخت مورد بررسی، سطح تحلیل و منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت هیچ مدل جامع و جهان‌شمولی در حوزه ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها وجود ندارد و بنابر ماهیت مسئله مورد بررسی از روش‌های مرسوم و متداول می‌توان بهره گرفت که در قالب یکی از رویکردهای تجربی یا پیشین قرار می‌گیرند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق معمولاً مبتنی بر ماهیت موضوع و اهداف هر تحقیق تنظیم می‌شود. بر همین اساس پژوهش حاضر از منظر هدف در رده پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد و از نظر روش جزء پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی محسوب می‌شود. در این پژوهش اطلاعات مورد نیاز در بخش ادبیات و مبانی نظری با استفاده از روش کتابخانه‌ای و اسنادی که از معمول‌ترین روش‌های آن استفاده از کتاب‌ها، مقالات علمی داخلی و خارجی، گزارش‌ها و... است، به دست آمده است. در گام بعدی اطلاعات مکانی با استفاده از پایگاه داده زیرساخت‌های کشور استخراج گردید. پژوهش حاضر زیرساخت‌های شبکه انتقال برق، نیروگاه تولید برق، پست‌های برق، خطوط انتقال گاز، پست تنظیم فشار گاز، خطوط انتقال نفت، خطوط انتقال فرآورده‌های نفتی، انبار نفت و گاز، پمپ‌های بنزین را در قالب زیرساخت‌های انرژی استان یزد مورد بررسی قرار می‌دهد.

مرحله بعدی تعیین اهمیت هریک از عناصر زیرساختی نسبت به عنصر زیرساختی دیگر است. بنابراین پس از تعیین

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۰۷

۵- تجزیه و تحلیل

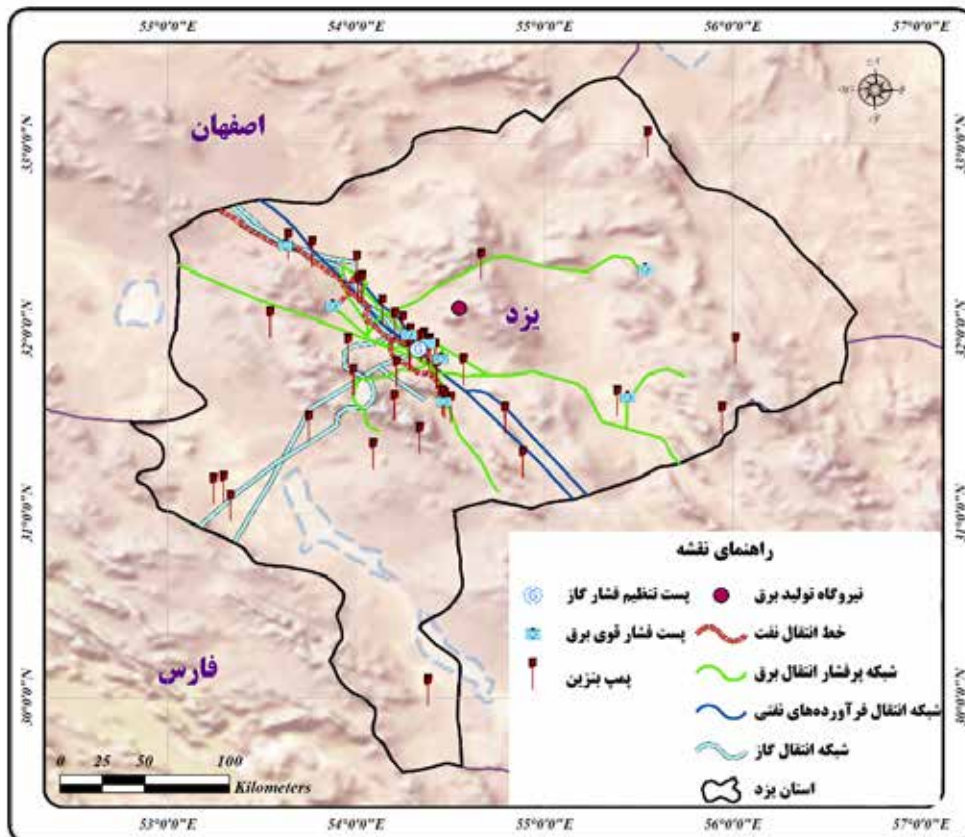
۵-۱- تحلیل جذابیت و اهمیت زیرساخت‌ها

یکی از گام‌های مهم در فرایند طرح‌ریزی و اجرای اقدامات پدافند غیرعامل، سنجش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و اثرگذاری آن‌ها بر منطقه است (برنافر و افرادی، ۱۳۹۳: ۱۶۳).
 به این ترتیب برای اجرای این کار اولویت‌بندی زیرساخت‌ها و شناخت میزان جذابیت آن‌ها برای دشمنان از اهمیت برخوردار است. برای انجام این منظور روش‌های مختلفی قابل استفاده و پیشنهاد است که در پژوهش حاضر به دلیل کارایی و نتایج واقع‌بینانه‌تر از مدل فرایند تحلیل شبکه بهره‌گرفته شده است. در ادامه به اجرای عملیاتی این مدل پرداخته می‌شود. در همین راستا پس از تشکیل ماتریس عناصر زیرساختی، مقایسه زوجی و تک به تک عناصر زیرساختی از نظر میزان اثرگذاری توسط کارشناسان و متخصصین تکمیل گردید. حال زمان آن فرارسیده است که این نوع روابط بین عناصر تعیین شود. برای این کار

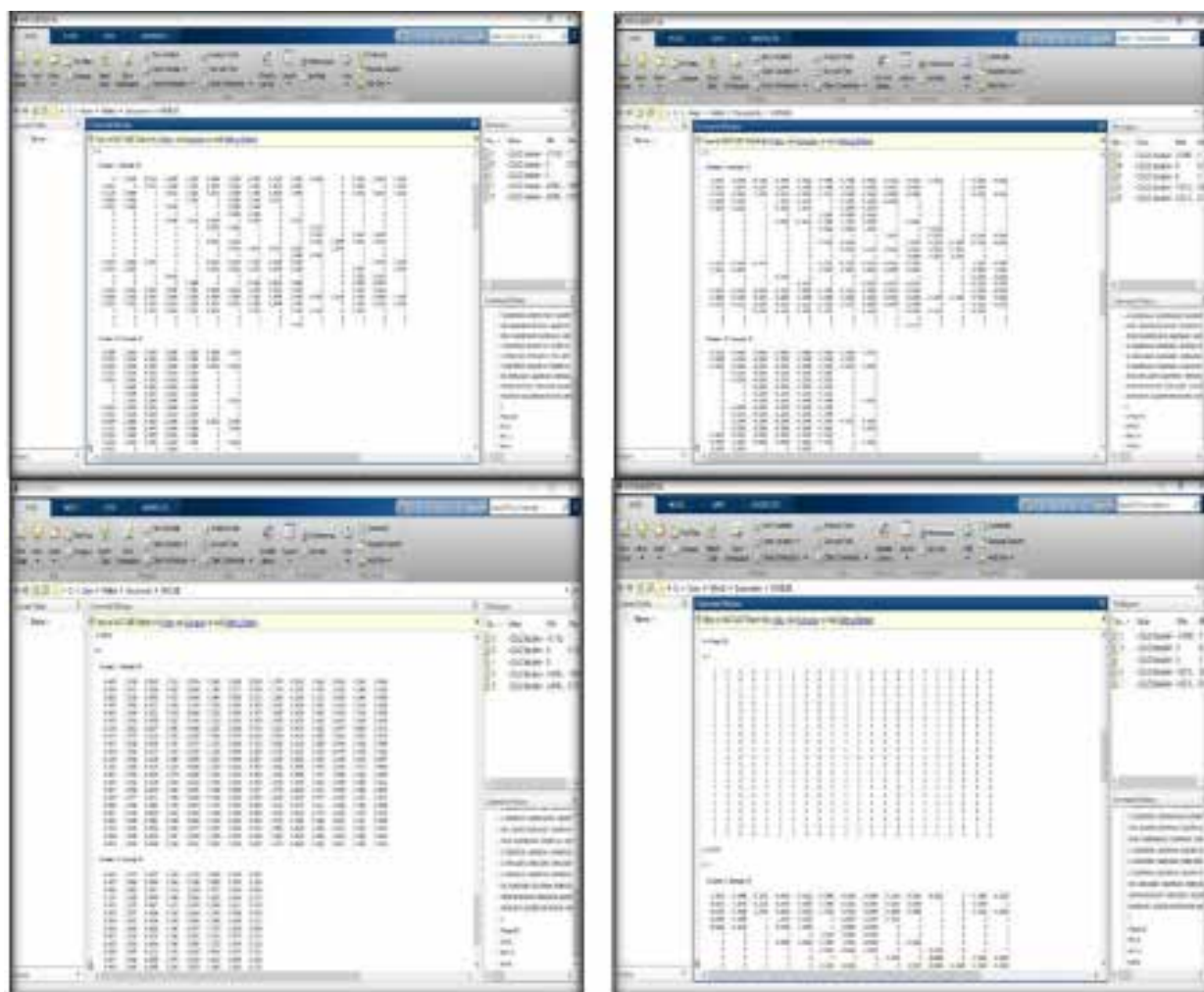
در محیط Arc GIS و اعمال ضرایب نهایی به‌دست آمده از فرایند تحلیل شبکه به هریک از لایه‌ها، نقشه نهایی آسیب‌پذیری استان تهیه شد.

۴- محدوده مورد مطالعه

استان یزد در بخش مرکزی فلات ایران واقع است و به لحاظ قرارداشتن در مرکز کشور (کریدور ارتباطی شمال-جنوب و شرق-غرب) و هم‌جواری با استان‌های فارس، کرمان، اصفهان و خراسان، به‌عنوان یکی از مراکز ثقل و در عمق استراتژیک کشور مطرح است. این استان از نظر تقسیمات سیاسی دارای ۱۰ شهرستان است که اردکان با حدود ۲۳ هزار کیلومترمربع، وسیع‌ترین شهرستان و میبد با حدود ۱۲۰۰ کیلومترمربع، کوچک‌ترین شهرستان است. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، استان یزد حدود ۱۱۳۸۵۳۳ نفر جمعیت دارد (استانداری یزد، ۱۳۹۶: ۱۵). نگاره ۱ زیرساخت‌های انرژی استان یزد را نشان می‌دهد.



نگاره ۱: زیرساخت‌های انرژی استان یزد



نگاره ۲: مراحل محاسبه رابطه بین عناصر زیرساختی در نرم افزار متلب

سمت نمره صفر از میزان اثرگذاری عنصر مستقل بر عنصر وابسته کاسته می شود. در این طیف عدد ۱ کمترین تأثیر و عدد صفر به معنی عدم وجود تأثیر بین دو عنصر می باشد و به همین ترتیب ماتریس مقایسه عناصر زیرساختی تکمیل می شود. لازم به ذکر است که در این ماتریس، قطر ماتریس صفر می باشد. به این صورت (نگاره ۲) همه عناصر زیرساختی باهمدیگر ارزش یابی می شوند و در نهایت ماتریس تکمیل می شود. پس از توزیع پرسشنامه و جمع آوری آن ها برای محاسبه، نتایج همه پرسشنامه ها در نرم افزار اکسل^۱ وارد شدند و سپس میانگین همه پرسشنامه ها محاسبه شد. در مرحله بعد پس از تعیین مجموع سطرها و ستونها

ابتدا جدول مدل دیماتل را پیاده می کنیم. در این مرحله هدف مقایسه زوج به زوج و تک به تک زیرساختها با یکدیگر براساس رابطه علت و معلولی است. به عبارت دیگر همه عناصر زیرساختی باید تک به تک باهم از نظر میزان اثرگذاری یا اثرپذیری مقایسه شوند به صورتی که هر عنصر یکبار به عنوان متغیر مستقل و یکبار به عنوان متغیر وابسته در ماتریس ایفای نقش می کنند. این ارزش دهی و ارزیابی توسط کارشناسان و متخصصان مرتبط با این حوزه صورت گرفت به صورتی که از نمره صفر تا ۵ به میزان رابطه میان زیرساختها امتیاز داده شد؛ بدین صورت که نمره ۵ یک عنصر زیرساختی (به عنوان متغیر مستقل) تأثیر بسیار زیادی بر عنصر دیگر (به عنوان متغیر وابسته) دارد و به تدریج به

1- Excel

جدول ۱: ماتریس حاصله از نتایج مدل دیمتل

| پمپ بنزین | انبار نفت و گاز | خطوط انتقال نفت و فرآورده‌ها نفتی | پست تنظیم فشار گاز | شبکه انتقال گاز | پست‌های فشار قوی برق | نیروگاه تولید برق | شبکه انتقال برق | |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | شبکه انتقال برق |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | نیروگاه تولید برق |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | پست فشار قوی برق |
| ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | شبکه انتقال گاز |
| ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | پست تنظیم فشار گاز |
| ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | خطوط انتقال نفت |
| ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | انبار نفت و گاز |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | پمپ بنزین |

بین عناصر زیرساختی در مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای به کمک این ماتریس ترسیم و فرآیند مقایسه دودویی در مدل تحلیل شبکه‌ای آغاز می‌شود. نتایج این محاسبه در جدول ۱ ارائه شده است. بنابراین اگر به تقاطع سطرها و ستون‌ها بنگریم، در صورتی که عدد ۱ باشد یعنی عنصر واقع شده در سطر ماتریس بر عنصر زیرساختی ستون تأثیر می‌گذارد و اگر در این تقاطع عدد صفر قرار گیرد، یعنی عنصر سطر تأثیری بر عنصر زیرساختی ستون ندارد، ولی ممکن است عکس آن امکان‌پذیر باشد. برای مثال شبکه انتقال برق بر نیروگاه تولید برق که عدد ۱ به دست آمده است، اثرگذار می‌باشد، اما شبکه انتقال برق با پل‌ها که عدد صفر را نشان می‌دهد، رابطه‌ای وجود ندارد. سایر عناصر زیرساختی هم به همین صورت مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت، برهم‌کنش‌های زیرساختی در قالب یکی از حالت‌های روابط یک‌طرفه، روابط دوطرفه و بدون رابطه تحلیل می‌شوند. پس از محاسبه ماتریس نهایی تعیین رابطه و برهم‌کنش‌های زیرساختی، مرحله بعد اعمال این روابط بر عناصر و گزینه‌ها است. این کار در نرم‌افزار Super Decisions به انجام گرفته است. در این مرحله ماتریس‌های مقایسه‌ای خوشه‌ها و وابستگی عناصر زیرساختی به یکدیگر تشکیل شده و سازگاری آن‌ها نسبت به هم کنترل می‌شود. در ادامه

از ماتریس میانگین، بزرگ‌ترین عدد ستون‌ها (عدد ۴۳) و بزرگ‌ترین عدد سطرها (عدد ۴۶) را یافته و سپس همه اعداد ماتریس میانگین بر عدد کوچک‌تر (یعنی عدد ۴۳) تقسیم می‌شود. سپس ماتریس محاسبه شده به نرم‌افزار متلب^۱ انتقال داده شده تا با استفاده از رابطه ۱ سایر محاسبات انجام گیرد (نگاره ۲).

$$T = D(I * D)^{-1} \quad \text{رابطه (۱)}$$

T : ماتریس مورد انتظار برای انجام تحلیل‌های بعدی،
 D : ماتریس حاصل از میانگین نظرات کارشناسان،
 I : ماتریس واحد (ماتریسی که قطر آن ۱ و بقیه ماتریس صفر می‌باشد).

سپس با انتقال ماتریس به دست آمده از طریق محاسبه در نرم‌افزار متلب (نگاره ۲)، به نرم‌افزار اکسل، از کل ماتریس یک میانگین محاسبه می‌شود و در مرحله آخر با استفاده از عملگر If هر کدام از سلول‌های ماتریس که مقدار آن بیشتر از میانگین بوده عدد ۱ را جایگزین مقدار سلول می‌کنیم و هر خانه‌ای هم که مقدار آن از میانگین کمتر بود، عدد صفر را جایگزین مقدار سلول ماتریس می‌کنیم. حال از طریق ماتریس حاصله که دارای مقادیر صفر و ۱ می‌باشد، روابط و وابستگی بین زیرساخت‌ها مشخص می‌شود و سپس ارتباط

1- Matlab



نگاره ۳: ماتریس ارزش‌دهی و مقایسه دودویی عناصر زیرساختی

موزون^۲ (نگاره ۵)، یعنی ماتریسی که جمع اجزای ستون آن ۱ است^۳، تبدیل شود. برای تبدیل سوپرماتریس ناموزون به سوپرماتریس موزون، باید سوپر ماتریس ناموزون را در ماتریس خوشه‌ای ضرب نمود. ماتریس خوشه‌ای^۴ در واقع میزان تأثیرگذاری هریک از خوشه‌ها و عناصر زیرساختی را منعکس می‌کند. مرحله بعدی محاسبه سوپرماتریس حد^۵ (نگاره ۶) است. در واقع هدف از به حد رساندن سوپر ماتریس موزون این است که تأثیر نسبی بلندمدت هریک از عناصر زیرساختی در یکدیگر مشخص شود. پس از محاسبه سوپرماتریس حد، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی خوشه‌ها و عناصر زیرساختی، محاسبه نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر زیرساختی در سوپرماتریس حد است.

مقایسه دودویی عناصر زیرساختی براساس مقیاس ۹ کمیته توماس ال‌ساعتی و به همان ترتیبی که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، توسط کارشناسان و نخبگان تکمیل و سپس وارد نرم‌افزار شد.

سوپر ماتریس (ابرماتریس)، آخرین مراحل در مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای است. سوپر ماتریس در واقع به ترکیب مجموعه‌ای از ماتریس‌های کوچک گفته می‌شود که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و با هم ترکیب می‌شوند تا در نهایت بتوان ضریب اهمیت و جذابیت نهایی هرکدام از عناصر زیرساختی را استخراج نمود. با توجه به این که کلیه ماتریس‌های مقایسه‌ای در ساختار سوپر ماتریس ناموزون^۱ محاسبه شده و سازگاری آن‌ها نیز کنترل شده است، سوپر ماتریس ناموزون به‌عنوان مرحله نخست محاسبات، محاسبه می‌شود (نگاره ۴).

2- Weighted super matrix

۳- براساس آنچه توماس ال‌ساعتی آن را ماتریس تصادفی می‌نامد.

4- Cluster Matrix

5- limit matrix

حال سوپرماتریس ناموزون باید به سوپر ماتریس

1- Unweighted super matrix

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)

ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۱۱

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Unweighted Super Matrix

| Cluster Node Labels | انرژی | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|
| | انبار نفت و گاز | خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | شبه انتقال برق | شبه انتقال گاز | نیروگاه تولید برق | بست تنظیم فشار گاز | بست فشار قوی برق | بمب بزرگ |
| انبار نفت و گاز | 0.000000 | 0.833333 | 0.063015 | 0.187908 | 0.156480 | 0.296575 | 0.085945 | 0.000000 |
| خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | 0.400305 | 0.000000 | 0.198335 | 0.000000 | 0.190656 | 0.000000 | 0.169475 | 0.000000 |
| شبه انتقال برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.227240 | 0.263629 | 0.000000 | 0.199151 | 0.000000 |
| شبه انتقال گاز | 0.385282 | 0.000000 | 0.112225 | 0.000000 | 0.130961 | 0.644980 | 0.225911 | 0.000000 |
| نیروگاه تولید برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.364343 | 0.453170 | 0.000000 | 0.000000 | 0.209387 | 0.000000 |
| بست تنظیم فشار گاز | 0.164126 | 0.000000 | 0.081449 | 0.098619 | 0.070865 | 0.000000 | 0.082893 | 0.000000 |
| بست فشار قوی برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.162537 | 0.000000 | 0.163514 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| بمب بزرگ | 0.050286 | 0.166667 | 0.018097 | 0.033062 | 0.023895 | 0.058445 | 0.027238 | 0.000000 |

Done

نگاره ۴: سوپر ماتریس ناموزون

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Weighted Super Matrix

| Cluster Node Labels | انرژی | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|
| | انبار نفت و گاز | خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | شبه انتقال برق | شبه انتقال گاز | نیروگاه تولید برق | بست تنظیم فشار گاز | بست فشار قوی برق | بمب بزرگ |
| انبار نفت و گاز | 0.000000 | 0.833333 | 0.030103 | 0.094193 | 0.074751 | 0.175469 | 0.041056 | 0.000000 |
| خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | 0.236840 | 0.000000 | 0.094746 | 0.000000 | 0.091077 | 0.000000 | 0.080959 | 0.000000 |
| شبه انتقال برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.113909 | 0.125937 | 0.000000 | 0.095136 | 0.000000 |
| شبه انتقال گاز | 0.227952 | 0.000000 | 0.053610 | 0.000000 | 0.062561 | 0.381601 | 0.107919 | 0.000000 |
| نیروگاه تولید برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.174049 | 0.227160 | 0.000000 | 0.000000 | 0.100025 | 0.000000 |
| بست تنظیم فشار گاز | 0.097105 | 0.000000 | 0.038909 | 0.049435 | 0.033853 | 0.000000 | 0.039599 | 0.000000 |
| بست فشار قوی برق | 0.000000 | 0.000000 | 0.077645 | 0.000000 | 0.078111 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| بمب بزرگ | 0.029752 | 0.166667 | 0.008645 | 0.016573 | 0.011415 | 0.034579 | 0.013012 | 0.000000 |

Done

نگاره ۵: سوپر ماتریس موزون

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Limit Matrix

| Cluster Node Labels | انرژی | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|
| | انبار نفت و گاز | خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | شبه انتقال برق | شبه انتقال گاز | نیروگاه تولید برق | بست تنظیم فشار گاز | بست فشار قوی برق | بمب بزرگ |
| انبار نفت و گاز | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 | 0.140261 |
| خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 | 0.088819 |
| شبه انتقال برق | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 | 0.040998 |
| شبه انتقال گاز | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 | 0.082605 |
| نیروگاه تولید برق | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 | 0.049086 |
| بست تنظیم فشار گاز | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 | 0.042243 |
| بست فشار قوی برق | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 | 0.048503 |
| بمب بزرگ | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 | 0.038545 |

Done

نگاره ۶: سوپر ماتریس حد

نیروگاه یزد و نیروگاه‌های شهرستان طبس در استان خراسان و همچنین شبکه سراسری برق کشور تأمین می‌نماید. شبکه به هم پیوسته قدرت (شامل مراحل تولید، انتقال و توزیع برق) یکی از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین زیرساخت‌های کشوری و منطقه‌ای است که شرایط نسبتاً آسان تولید، قابلیت انتقال سریع و همچنین قابلیت تبدیل آسان به سایر انرژی‌های مورد نیاز موجب تمایل و توجه بیشتر بشر به این انرژی شده است. همچنین هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در احداث و نصب تجهیزات تولید، انتقال و توزیع، تعمیر و نگهداری از یک سو و وابستگی شدید فعالیت‌های روزمره انسان به نیروی برق از سوی دیگر، اهمیت استمرار عرضه برق در زمان وقوع برخی حوادث طبیعی و شرایط جنگی و حملات تروریستی را مضاعف می‌نماید.

براساس نگاره‌های ۷ و ۹ نواحی مرکزی استان شامل شهرستان‌های میبد، یزد، اشکذر و تا حدودی بافق و اردکان نسبت به سایر مناطق استان از نظر شبکه توزیع برق و پست‌های فشار قوی آسیب‌پذیری نسبتاً بیشتری دارند. همچنین براساس نگاره ۸ و با توجه به موقعیت نیروگاه تولید برق، ناحیه مرکزی استان آسیب‌پذیری بیشتری را دارد. یکی دیگر از زیرساخت‌های مهم انرژی استان یزد زیرساخت‌های مرتبط با گاز و نفت است. خطوط لوله به عنوان یکی از وجوه مؤثر کاربردی و اقتصادی برای انتقال مواد خطرناک و قابل اشتعال از قبیل گازهای طبیعی، نفت خام و مشتقات آن است که از طریق حمل و نقل زمینی و یا راه‌آهن قابل انتقال نمی‌باشد. در استان یزد نیز سیستم خطوط لوله در حال بسط و افزایش مصرف نفت و گاز و نیازمند تسهیلات و بهره‌برداری‌های ایمن می‌باشند. همچنین اقتضای مواد احتراق‌پذیر، قابلیت انفجار و پخش به صورت طبیعی را دارد. در شبکه‌های انتقال به علت پخش گاز یا نفت طبیعی به وسیله شکست یا نشت آن به عنوان یک موضع خطر، امکان انفجار یا آتش را به وجود می‌آورد. آتش‌سوزی، انفجار، آلودگی محیط زیست، خسارت‌های مالی و جانی و... از جمله عواقبی است که امکان وقوع دارد

در نهایت پس از محاسبات، ضرایب سوپر ماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و نتیجه نهایی اهمیت زیرساخت‌ها در ارائه خدمات به مردم و سایر زیرساخت‌ها و میزان جذابیت آن، به تفکیک هریک از عناصر زیرساختی مشخص می‌شود. جدول ۲ نتیجه نهایی را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود شبکه انتقال گاز با ارزش ۰/۱۰۰۳، خطوط انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی با امتیاز ۰/۰۹۸۸، انبارهای نفت و گاز با امتیاز ۰/۰۹۸۵ به ترتیب بیشترین میزان وزن و اهمیت و پمپ بنزین‌ها با امتیاز ۰/۰۴۸۵ کمترین میزان اهمیت را نسبت به سایر زیرساخت‌های انرژی استان کسب نموده‌اند.

جدول ۲: وزن عناصر زیرساختی استان یزد از نظر میزان اهمیت و جذابیت

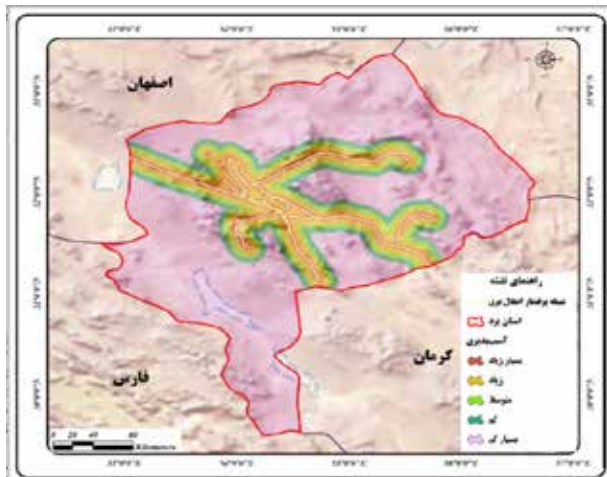
| وزن نهایی | ضرایب نرمال شده توسط خوشه‌ها | زیرساخت‌ها |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|
| ۰/۱۰۰۳ | ۰/۲۸۳۱ | شبکه انتقال گاز |
| ۰/۰۹۸۸ | ۰/۲۶۴۱ | خطوط انتقال نفت و فرآورده های نفتی |
| ۰/۰۹۸۵ | ۰/۲۶۱۳ | انبار نفت و گاز |
| ۰/۰۹۲۶ | ۰/۲۵۰۰ | نیروگاه تولید برق |
| ۰/۰۸۸۵ | ۰/۲۳۲۰ | شبکه انتقال برق |
| ۰/۰۶۹۴ | ۰/۲۰۵۱ | پست فشار قوی برق |
| ۰/۰۶۷۳ | ۰/۱۹۸۸ | پست تنظیم فشار گاز |
| ۰/۰۴۸۵ | ۰/۱۵۵۶ | پمپ بنزین |

۵-۲- ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه انرژی

ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های استان یزد با زیرساخت‌های شبکه انتقال برق، نیروگاه تولید برق، پست فشار قوی برق، شبکه انتقال گاز، پست تنظیم فشار گاز، خطوط انتقال نفت، انبار نفت و گاز و پمپ‌های بنزین مورد بررسی قرار می‌گیرد. استان یزد انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را با تولید برق در واحدهای نیروگاهی فعال استان شامل

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)

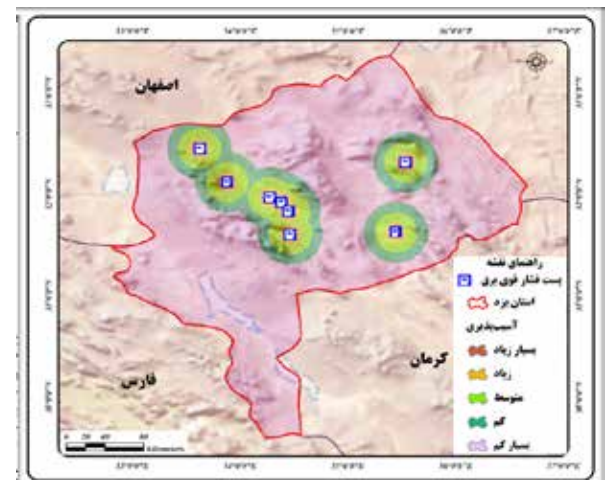
ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۱۳



نگاره ۷: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه انتقال برق استان یزد

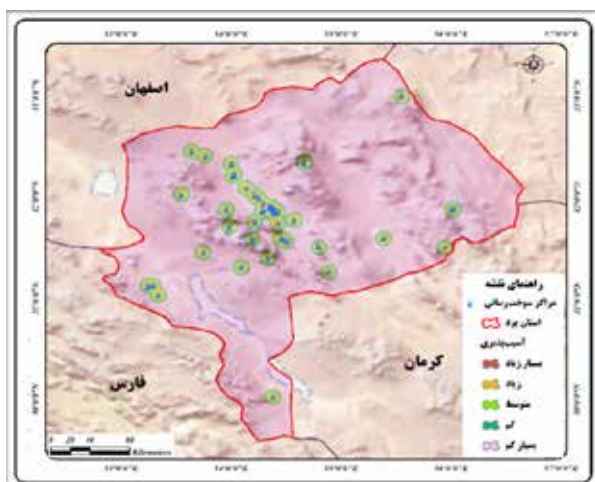


نگاره ۸: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نیروگاه تولید برق استان یزد

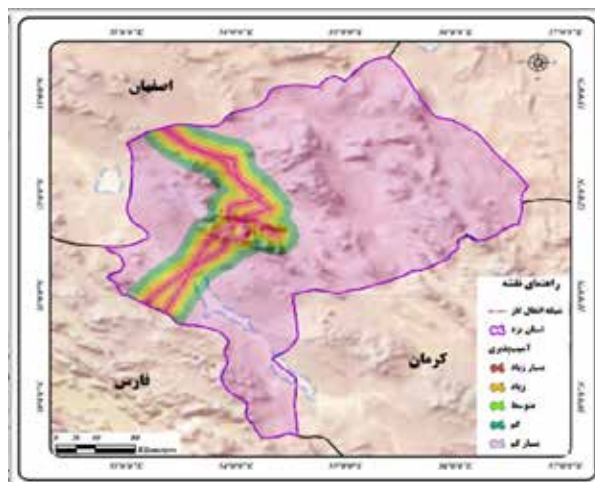


نگاره ۹: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری پست‌های فشار قوی برق استان یزد

و از این نظر علاوه بر وابستگی بخش زیادی از جامعه به این موارد، جذابیت بالایی برای اقدامات خرابکارانه دارد. بدیهی است که هر یک از حوادث مربوط به خطوط لوله کلیه ارکان تولید اعم از نیروی انسانی، تولید، تجهیزات و محیط زیست را به نوعی تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. از طرفی هدر رفتن بخشی از مواد ارزشمند که جزء محصولات و یا مواد اولیه ما به‌شمار می‌روند، از لحاظ اقتصادی ناخوشایند بوده و از طرف دیگر هزینه‌های هنگفتی در جهت جایگزینی تجهیزات صدمه‌دیده و تعمیر و تعویض خطوط لوله، پاکسازی محیط زیست و ... به شرکت‌ها تحمیل شد. استان یزد فاقد منابع مستقل گاز بوده و گاز طبیعی مورد نیاز خود را از طریق شبکه سراسری تأمین می‌نماید و به همین دلیل بخش‌های مرکزی و غربی استان آسیب‌پذیری بیشتری را دارند. همچنین در هنگام ورود گاز به نقاط مصرف لازم است که گاز از سیستم‌های کاهش فشار و اندازه‌گیری عبور نماید؛ بر همین اساس پست‌های تنظیم فشار یکی دیگر از زیرساخت‌هایی است که اهمیت می‌یابد. نگاره ۱۲ آسیب‌پذیری استان را از نظر پست تنظیم فشار گاز و نگاره ۱۱ انبار نفت و گاز نشان می‌دهد. علاوه بر شبکه گاز، اگرچه استان یزد فاقد هرگونه پالایشگاه و امکان تصفیه نفت است اما نیاز استان به نفت و فرآورده‌های نفتی از طریق خطوط انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی تأمین می‌شود. همان‌گونه که در نگاره ۱۴ نشان داده شده است بخش‌هایی از شهرستان‌های مهریز، یزد، اشکدر، میبد و اردکان در طیف مناطق آسیب‌پذیر استان قرار گرفته است. همچنین پمپ‌های بنزین و گازوئیل نیز از زیرساخت‌های مهم هر استان و منطقه‌ای است که از نظر ارائه خدمت به جامعه اهمیت بالایی دارد. همان‌گونه که در نگاره ۱۳ قابل مشاهده است تراکم این زیرساخت در استان یزد با توجه به تراکم جمعیت و در بخش‌های مرکزی استان و همچنین قرارگیری کریدور شمالی- جنوبی، تراکم این زیرساخت در بخش‌های مرکزی استان بیشتر بوده و از این نظر بخش‌های مرکزی استان آسیب‌پذیری بالاتری را دارند.



نگاره ۱۳: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مراکز سوخت‌رسانی (پمپ بنزین، گاز و گازوئیل) استان یزد



نگاره ۱۰: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه انتقال گاز استان یزد



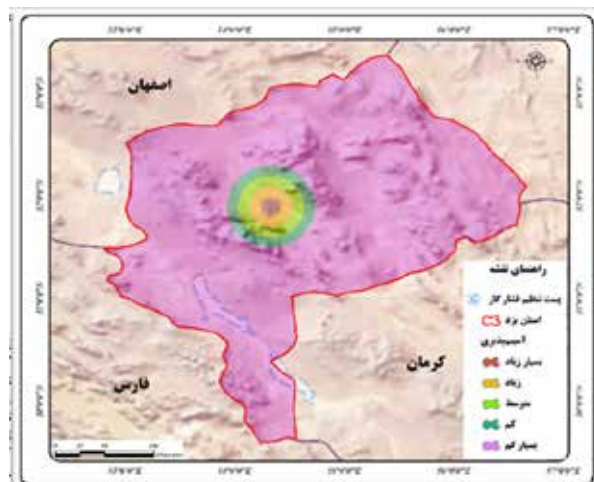
نگاره ۱۴: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی استان یزد



نگاره ۱۱: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری انبار نفت و گاز استان یزد

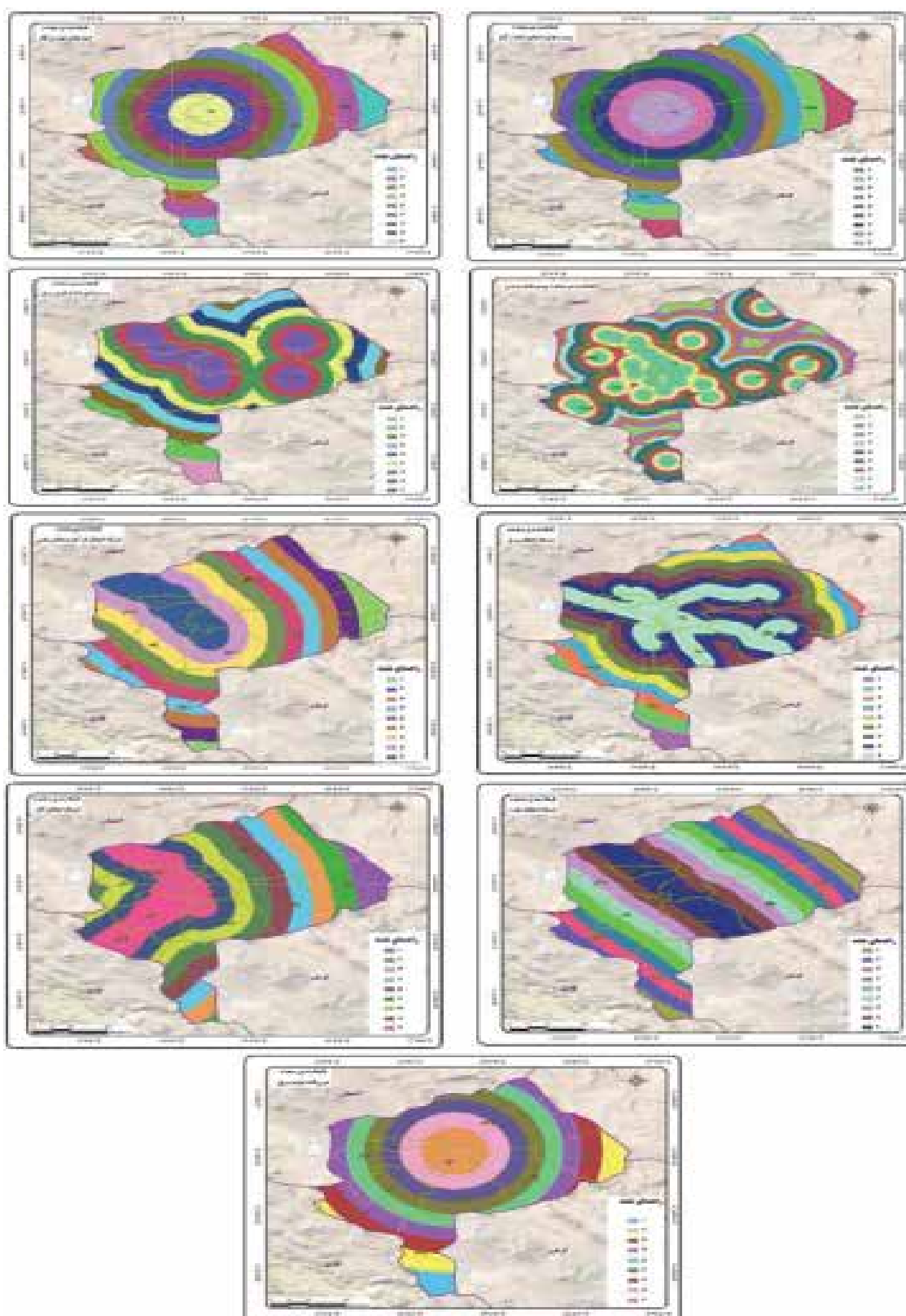


نگاره ۱۵: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی استان یزد



نگاره ۱۲: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری پست تنظیم فشار گاز استان یزد

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۱۵



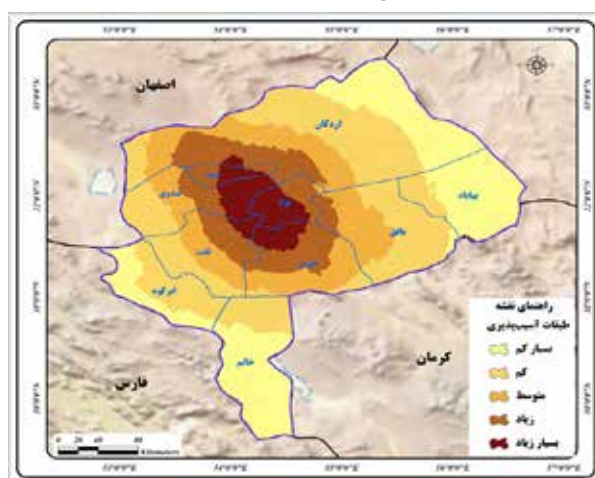
نگاره ۱۶: نقشه‌های طبقه‌بندی مجدد آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شبکه انرژی استان یزد

شبکه انرژی را مورد بررسی قرار دهیم به این نتیجه می‌رسیم که شهرستان‌های یزد و میبد و در رده بعدی مهریز و صدوق آسیب‌پذیری بسیار زیادی دارند و بهاباد، خاتم و ابرکوه در طیف آسیب‌پذیری کم از نظر زیرساخت‌های شبکه انرژی قرار دارند. دلیل این امر هم تراکم بالاتر زیرساخت‌های بیشتر و حیاتی در بخش مرکزی استان و در شهرستان‌های یزد و میبد می‌باشد.

۵-۲-۱- ارزیابی موقعیت استقرار زیرساخت‌های شبکه انرژی در پهنه‌های آسیب‌پذیر

پس از محاسبه و ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه انرژی استان یزد، بررسی موقعیت استقرار زیرساخت‌ها در هریک از پهنه‌های آسیب‌پذیری در نگاره ۱۹ نشان می‌دهد که بیش از نیمی از زیرساخت‌های شبکه انرژی (۵۵ درصد) در استان یزد در پهنه آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار دارند و ۱۸ درصد از زیرساخت‌ها نیز در پهنه با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. در این میان نیروگاه سیکل ترکیبی یزد و انبار نفت و گاز استان که از جمله زیرساخت‌های حساس استان نیز می‌باشند، به طور کامل در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. نگاره ۲۰ به تفکیک، هر یک از زیرساخت‌های

پس از طبقه‌بندی مجدد آسیب‌پذیری هر یک از زیرساخت‌ها (نگاره ۱۶) در نهایت با استفاده از توابع هم‌پوشانی، آسیب‌پذیری استان یزد در بخش زیرساخت‌های انرژی محاسبه و تعیین شد. همان‌گونه که در نگاره ۱۷ نشان داده شده است به دلیل استقرار و تراکم بیشتر زیرساخت‌های انرژی، بخش مرکزی استان یزد آسیب‌پذیرتر و هرچه به سمت حاشیه استان برویم، از میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها کاسته می‌شود.



نگاره ۱۷: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شبکه انرژی استان یزد

اگر با توجه به جدول ۳ و نگاره ۱۸ در مقیاس خردتر و در سطح شهرستان وضعیت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های

جدول ۳: وضعیت آسیب‌پذیری استان یزد از نظر زیرساخت‌های شبکه انرژی به تفکیک شهرستان

| شهرستان | تعداد پیکسل | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف استاندارد | میان | مجموع | آسیب‌پذیری |
|--------------|-------------|-------|--------|---------|------------------|-------|-----------|------------|
| ابرکوه | ۲۲۳۳ | ۳/۰۰۰ | ۶/۰۰۰ | ۴/۵۶۵ | ۰/۶۷۱ | ۵/۰۰۰ | ۱۰۱۹۴/۰۰۰ | کم |
| اردکان | ۹۸۰۵ | ۲/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۵/۶۶۴ | ۱/۶۳۴ | ۶/۰۰۰ | ۵۵۵۳۳/۰۰۰ | متوسط |
| بافق | ۳۵۱۶ | ۴/۰۰۰ | ۸/۰۰۰ | ۶/۱۸۷ | ۰/۹۳۵ | ۶/۰۰۰ | ۲۱۷۵۲/۰۰۰ | متوسط |
| بهاباد | ۲۸۱۱ | ۱/۰۰۰ | ۶/۰۰۰ | ۳/۲۲۹ | ۱/۰۹۴ | ۳/۰۰۰ | ۹۰۷۶/۰۰۰ | کم |
| تفت | ۲۴۳۳ | ۵/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۷/۰۱۰ | ۱/۰۳۸ | ۷/۰۰۰ | ۱۷۰۵۶/۰۰۰ | زیاد |
| خاتم | ۳۳۶۳ | ۱/۰۰۰ | ۶/۰۰۰ | ۳/۶۰۷ | ۱/۳۰۰ | ۳/۰۰۰ | ۱۲۱۲۹/۰۰۰ | کم |
| صدوق (اشکذر) | ۲۳۷۴ | ۴/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۷/۲۰۲ | ۱/۳۸۹ | ۷/۰۰۰ | ۱۷۰۹۸/۰۰۰ | زیاد |
| مهریز | ۲۸۱۱ | ۶/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۷/۵۷۹ | ۰/۸۵۷ | ۸/۰۰۰ | ۲۱۳۰۵/۰۰۰ | زیاد |
| میبد | ۵۱۱ | ۸/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۸/۴۰۵ | ۰/۴۹۱ | ۸/۰۰۰ | ۴۲۹۵/۰۰۰ | زیاد |
| یزد | ۱۰۴۰ | ۷/۰۰۰ | ۹/۰۰۰ | ۸/۵۶۷ | ۰/۵۴۹ | ۹/۰۰۰ | ۸۹۱۰/۰۰۰ | زیاد |

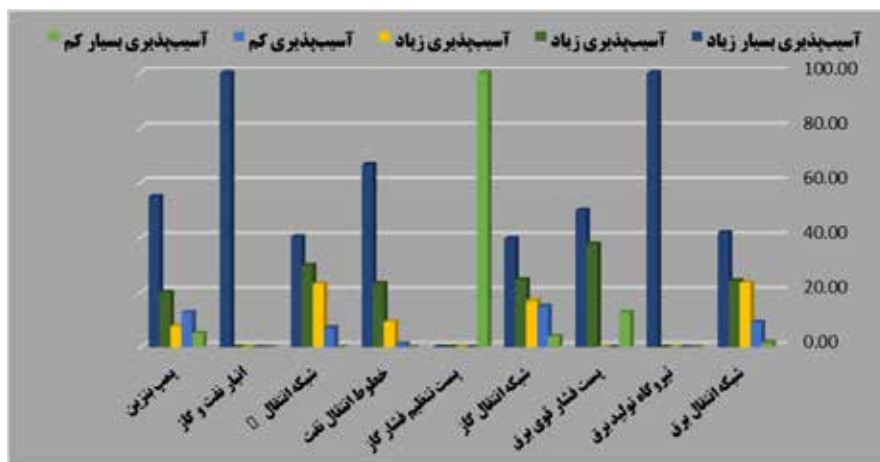
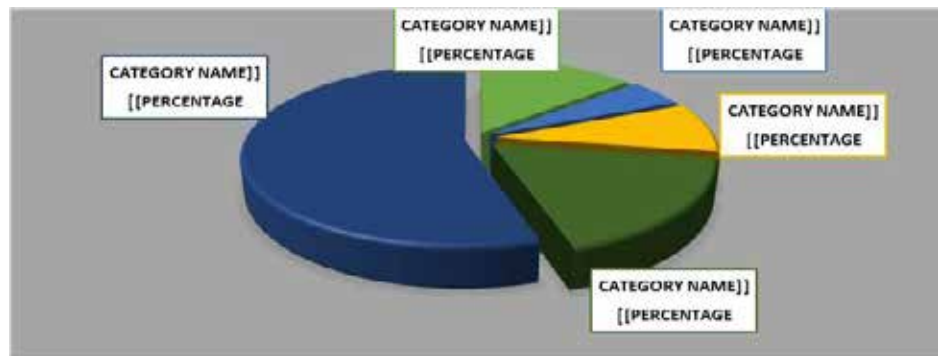
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)

ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۱۷



نگاره ۱۸: نمودار میانگین آسیب‌پذیری شهرستان‌های استان یزد از نظر زیرساخت‌های شبکه انرژی

نگاره ۱۹: نمودار وضعیت استقرار زیرساخت‌های شبکه انرژی استان یزد در پهنه‌های آسیب‌پذیری



نگاره ۲۰: نمودار توزیع زیرساخت‌های شبکه انرژی استان یزد در پهنه‌های پنج‌گانه آسیب‌پذیری

ارتباطی شمالی- جنوبی و شرقی- غربی کشور نیز است که زیرساخت‌های زیادی را در خود جای داده و همچنین محل انتقال برخی از زیرساخت‌های با مقیاس فرامنطقه‌ای و ملی محسوب می‌شود. در همین راستا پژوهش حاضر با انتخاب گستره‌ی این استان، به ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های آن مبادرت نمود. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد شبکه انتقال گاز با ارزش ۰/۱۰۰۳، خطوط انتقال

حوزه انرژی و موقعیت استقرار آن‌ها در پهنه‌های آسیب‌پذیر را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

استان یزد به عنوان یکی از استان‌های مرکزی کشور که جمعیتی بالغ بر ۱ میلیون و ۱۳۸ هزار نفر را در خود جای داده، یکی از استان‌های صنعتی و همچنین کریدور

همچنین مقیاس استانی ضروری به نظر می‌رسد. همچنین یکی از اصول اساسی پدافند غیرعامل اصل پراکندگی است که ضرورت توجه به این اصل در زیرساخت‌های حیاتی و حساس یزد به شدت احساس می‌شود و پراکندگی برخی از زیرساخت‌ها از منطقه مرکزی استان در راستای کاهش آسیب‌پذیری این منطقه می‌تواند مطرح باشد. هرچند در شرایط کنونی و با توجه به هزینه‌های بسیار بالای انتقال برخی از زیرساخت‌های حساس و حیاتی در راستای اصل پراکندگی، به دور از وجاهت و توجه اجرایی باشد اما استفاده از سایر اصول پدافند غیرعامل، توجه امنیتی-راهبردی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارد. علاوه بر این توصیه می‌شود:

- استفاده از اصل مقاوم‌سازی و استحکامات در زیرساخت‌های حیاتی و حساس به‌ویژه در بخش مرکزی استان؛
- استفاده از سیستم‌های هشدار پیشرفته سریع، امن و مبتنی بر فناوری داخلی (بومی)؛
- استفاده از حراست و همچنین موانع فیزیکی به منظور جلوگیری از دسترسی سهل و آسان به زیرساخت‌های حساس و حیاتی مانند شبکه گاز سراسری، شبکه انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی و شبکه فشار قوی برق استان؛
- موازی‌سازی و اتخاذ تمهیدات ویژه به منظور تأمین سیستم پشتیبان در صورت اختلال در عملکرد زیرساخت‌ها، به‌ویژه در حوزه انرژی الکتریکی و وابستگی بخش زیادی از جامعه به این انرژی.
- توجه به ذخیره و تأمین مواد اولیه ایمن و امن برای ادامه فعالیت سامانه‌ها و عناصر زیرساختی خدمات‌رسان حساس و حیاتی در استان یزد؛
- در پایان انتظار می‌رود با برگزاری دوره‌ها و کارگاه‌های آموزشی ویژه مدیریت زیرساخت‌های حساس و حیاتی برای مدیران، دست‌اندرکاران و به‌ویژه مدیران ستاد بحران و شورای تأمین استان، ضمن ارتقاء بینش و توانمندی مدیران به کاهش آسیب‌پذیری و جلوگیری از خسارت‌ها امیدوار باشیم.

نفت و فرآورده‌های نفتی با امتیاز ۰/۰۹۸۸، انبارهای نفت و گاز با امتیاز ۰/۰۹۸۵ به ترتیب بیشترین میزان وزن و اهمیت و پمپ بنزین‌ها با امتیاز ۰/۰۴۸۵ کمترین میزان اهمیت را نسبت به سایر زیرساخت‌های انرژی استان کسب نموده‌اند. بنابراین با توجه به منابع کشور و نیاز جامعه به انرژی، از نظر متخصصان زیرساخت‌های مرتبط با انرژی شامل انرژی فسیلی و الکتریکی دارای اهمیت بیشتری هستند. وضعیت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شبکه انرژی به دلیل این امر هم تراکم بالاتر زیرساخت‌های بیشتر و حیاتی در بخش مرکزی استان و در شهرستان‌های یزد و میبد و مهریز آسیب‌پذیری بسیار زیادی دارند و بهاباد و خاتم در طیف آسیب‌پذیری قرار دارند. بنابراین نتایج نشان می‌دهند به دلیل استقرار و تراکم بیشتر زیرساخت‌های انرژی، بخش مرکزی استان یزد آسیب‌پذیرتر و هرچه به سمت حاشیه استان برویم، از میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها کاسته می‌شود. بنابراین نتایج به‌دست آمده مؤید این مسئله است که اصل پراکندگی زیرساخت‌ها به عنوان یکی از اصول مهم و اساسی پدافند غیرعامل در استان یزد مورد توجه قرار نگرفته و از آن غفلت شده است که این مسئله افزایش آسیب‌پذیری مکانی استان را در پی داشته است. علاوه بر این الگوی استقرار و تراکم جمعیت استان در قالب جمعیت شهری و روستایی حکایت از آن دارد که اتخاذ تدابیر شایسته و کارآمد درخصوص تأمین امنیت زیرساخت‌های انرژی به‌موجب جلوگیری از تلفات و آسیب‌های انسانی نیز در استان یزد حائز اهمیت ویژه‌ای است. کاهش آسیب‌پذیری و خطرپذیری و تأمین امنیت پایدارمشروط به رویه‌های علمی و اجرایی به صورت توأمان و موازی می‌باشد. اگرچه کوشش پیش‌رو (پژوهش حاضر) بیشتر بر رویه پژوهشی استوار است، اما توجه به رویه‌های اجرایی براساس نتایج حاصله می‌تواند اثرات و موفقیت‌های مقبول‌تری در پی داشته باشد. بر همین اساس اهتمام به تدوین طرح جامع مدیریت زیرساخت‌ها مبتنی بر اصول پدافند غیرعامل در مقیاس ملی (به عنوان سند بالادستی) و

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)

ظرفیت‌سنجی پهنه‌های جغرافیایی در مقابل تهدیدات زیرساختی ... / ۱۱۹

of infrastructure vulnerabilities due to terrorism. Risk Analysis: An International Journal, 25(2), 361-376.

10- Brown, T., Beyeler, W., & Barton, D. (2004). Assessing infrastructure interdependencies: the challenge of risk analysis for complex adaptive systems. International Journal of Critical Infrastructures, 1(1), 108-117.

11- Clark, G. E., Moser, S. C., Ratick, S. J., Dow, K., Meyer, W. B., Emani, S., . . . Schwarz, H. E. (1998). Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. Mitigation and adaptation strategies for global change, 3(1), 59-82.

12- Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. Progress in human geography, 20(4), 529-539.

13- Dolan, M., Walliman, N., Amouzad, S., & Ogden, R. (2017). Forensic Disaster Analysis of Flood Damage at Commercial and Industrial Firms. Flood Damage Survey and Assessment, 195-209.

14- Ghafory-Ashtiany, M. (2005). Earthquake risk management strategies: the Iranian experience. Retrieved from

15- Haimes, Y. Y., & Jiang, P. (2001). Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures. Journal of Infrastructure Systems, 7(1), 1-12.

16- Huang, C.-N., Liou, J. J., & Chuang, Y.-C. (2014). A method for exploring the interdependencies and importance of critical infrastructures. Knowledge-Based Systems, 55, 66-74.

17- Johansson, J., & Hassel, H. (2008). A model for vulnerability analysis of interdependent infrastructure networks. Paper presented at the European Safety and Reliability Conference (ESREL)/17th Annual Meeting of the Society-for-Risk-Analysis-Europe (SRA-Europe).

18- Kundak, S. (2013). Cascading and unprecedented effects of disasters in urban system. In Intelligent Systems and Decision Making for Risk Analysis and Crisis Response. (pp. 743-748): CRC Press.

19- Little, M., Paul, K., Jordens, C. F., & Sayers, E.-J. (2000). Vulnerability in the narratives of patients and their carers: studies of colorectal cancer. Health, 4(4), 495-510.

۷- منابع و مآخذ

۱- استانداری یزد (۱۳۹۶): گزیده شاخص‌ها و نماگرهای اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استان یزد. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان یزد.

۲- برنافر، افرادی، مهدی، کاظم (۱۳۹۳): اولویت‌بندی مراکز حیاتی، حساس و مهم شهر بندر انزلی و ارائه راهکارهای دفاعی از دید پدافند غیرعامل، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۴ (۳۲): ۱۷۹-۱۶۱.

۳- رضویان، علیان، رستمی؛ محمدتقی، مهدی، حسین، (۱۳۹۷): ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های استان یزد با رویکرد پدافند غیرعامل، فصلنامه آمایش سرزمین، ۱۰ (۱): ۶۳-۳۱.

۴- سلطانی، موسوی، زالی؛ علی، سیدرضا، نادر، (۱۳۹۶): تحلیل و ارزیابی ریسک زیرساخت‌های منطقه‌ای از منظر پدافند غیرعامل، مطالعه موردی: منطقه صنعتی پارس یک جنوبی، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۷ (۲۵): ۹۶-۸۳.

۵- سیدین، امینی ورکی، رستمی، یزدانی؛ افشار، سعید، حسین، محمدحسین، (۱۳۹۶): ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های استان اردبیل با رویکرد پدافند غیرعامل، فصلنامه آمایش سرزمین، ۹ (۲): ۳۶۲-۳۳۳.

۶- صارمی، حسینی امینی؛ حمیدرضا، حسن، (۱۳۹۰): حفاظت از تأسیسات و تجهیزات شهری با استفاده بهینه از محیط طبیعی درون‌شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی شهر بروجرد)، فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، ۳ (۲): ۶۷-۵۲.

۷- فرجی ملائی، زاهدی، حسینی امینی؛ امین، اسعد، حسن، (۱۳۹۴): آسیب‌پذیری شبکه انتقال انرژی از منظر آمایش دفاعی سرزمین با تأکید بر پدافند غیرعامل، فصلنامه جغرافیا، ۱۳ (۴۷): ۲۱۰-۱۹۷.

8- Abedi, A., Gaudard, L., & Romerio, F. (2018). Review of major approaches to analyze vulnerability in power system. Reliability engineering & System safety.

9- Apostolakis, G. E., & Lemon, D. M. (2005). A screening methodology for the identification and ranking

- 20- Little, R. G. (2002). Controlling cascading failure: Understanding the vulnerabilities of interconnected infrastructures. *Journal of Urban Technology*, 9(1), 109-123.
- 21- McDaniels, T., Chang, S., Peterson, K., Mikawoz, J., & Reed, D. (2007). Empirical framework for characterizing infrastructure failure interdependencies. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(3), 175-184.
- 22- Min, H.-S. J., Beyeler, W., Brown, T., Son, Y. J., & Jones, A. T. (2007). Toward modeling and simulation of critical national infrastructure interdependencies. *Iie Transactions*, 39(1), 57-71.
- 23- Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability engineering & System safety*, 121, 43-60.
- 24- Restrepo, C. E., Simonoff, J. S., & Zimmerman, R. (2006). Unraveling geographic interdependencies in electric power infrastructure. Paper presented at the Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06).
- 25- Zimmerman, R., & Restrepo, C. E. (2006). The next step: quantifying infrastructure interdependencies to improve security.