فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۱
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 12, No.1, Serial 43 (Spring 2022)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

Proposing a new model for assessing the resilience of susceptible infrastructure (case study: hydroelectric power plant)

Mojtaba sedaghat[1], Mohammad Bagher Izadi[*2] & Hasan Mashhadi[3]

1- Master of science in energy systems, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Iran.
2- PhD student in Energy Engineering ,Department of Energy Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author)
3- Master of passive Defense, Faculity of Passive Defense, Malek - Ashtar University, Tehran, Iran

Abstract

Background and objective: Given the high share of energy production by hydropower plants in Iran and the weaknesses of the resilience and protection model in this area, the importance of providing a model based on concepts such as: Expresses dependencies, correlations, risk management and analysis. In this paper, a new method for measuring the resilience of an energy infrastructure is presented so that it can be generalized to all urban infrastructures such as transportation, social and economic.

Method: This research is applied and innovative in nature and in terms of implementation method, it is a passive defense-mathematical analysis that according to the necessity of research, a combination of previous research studies, consultation and interviews with experts has been used. Finally, using the above and defense compliance with the infrastructure of hydropower plants in Iran, indigenous indicators and sub-indicators are determined and then weighed by experts. Using a new algorithm, the various assets of the hydroelectric power plant infrastructure are examined against various threats, and after 8 stages, the resilience of the desired asset is obtained and this loop is repeated until the resilience reaches the desired level.

Result: Using a model by presenting indicators and sub-indicators, first the status of infrastructure in terms of resilience and protection is examined and by providing scientific and practical suggestions to try to eliminate the weaknesses of the infrastructure and thus increase the resilience of the model. By providing solutions such as reducing the reaction time of guards, using the elements of delay, training staff and observing the principles of defense and vulnerability management can significantly increase the likelihood of attacking attackers and thus resilience.

Conclusion: After completing 9 steps and completing it, the amount of resilience is obtained according to the Excel code and is compared with the desired amount of resilience. Resilience changes can be observed with a small change in each component of a component.

Keyword: Threat, Resilience & Protection, Risk management, Infrastructure

▶**Citation (APA 6th ed.):** sedaghat M, Izadi M, Mashhadi H. (2022, Spring). Proposing a new model for assessing the resilience of susceptible infrastructure (case study: hydroelectric power plant). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 12*(1),21-30.

ارائه مدلی جهت ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حساس (مطالعه موردی: نیروگاه برق آبی)

مجتبی صداقت[۱]، محمدباقر ایزدی[*۲] و حسن مشهدی[۳]

۱- کارشناسی ارشد رشته سیستم‌های انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران ، ایران.Mo.sedaghat@mail.sbu.ac.ir

۲- دانشجو دکتری مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، عضو سازمان پدافند غیرعامل کشور، تهران.ایران. (نویسنده مسئول)Mohamadeizadi@yahoo.com

۳- کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل، دانشگاه مالک اشتر، عضو سازمان پدافند غیرعامل کشور، تهران. ایران.

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به سهم بالای تولید انرژی توسط نیروگاه‌های برق‌آبی در ایران و ضعف‌های مدل تاب‌آوری و حفاظت در این حوزه، اهمیت ارائه مدلی مبتنی بر مفاهیمی نظیر؛ وابستگی‌ها، همبستگی‌ها، مدیریت و آنالیز ریسک را بیان می‌کند. در این مقاله به ارائه روشی نوین برای سنجش میزان تاب‌آوری یک زیرساخت انرژی پرداخته می‌شود، به‌طوری‌که قابلیت تعمیم در کلیه زیرساخت‌های شهری نظیر حمل‌ونقل، اجتماعی و اقتصادی را داراست.

روش: این پژوهش به لحاظ ماهیت از نوع کاربردی و نوآورانه بوده و به لحاظ روش اجرا، تحلیل پدافندی - ریاضیاتی است که بنا بر ضرورت پژوهش، ترکیبی از مطالعات پژوهش‌های پیشین، مشورت و مصاحبه با افراد خُبره بکار رفته است. در نهایت با استفاده از موارد فوق و مطابقت پدافندی با زیرساخت نیروگاه برق‌آبی در ایران، شاخص‌ها و زیر شاخص‌های بومی شده تعیین و سپس توسط متخصصین وزن‌دهی می‌شود. با استفاده از الگوریتم نوین، به بررسی دارایی‌های مختلف زیرساخت نیروگاه برق‌آبی در برابر تهدیدات متنوع پرداخته می‌شود و بعد از ۸ مرحله، میزان تاب‌آوری دارایی مورد نظر به دست می‌آید و آن‌قدر این حلقه تکرار می‌شود تا تاب‌آوری به حد مطلوب برسد.

یافته‌ها: با استفاده از مدلی با ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها، در ابتدا به بررسی وضعیت زیرساخت از نظر تاب‌آوری و حفاظت پرداخته می‌شود و با ارائه پیشنهادات علمی و کاربردی سعی در رفع نقاط ضعف زیرساخت و در نتیجه، افزایش میزان تاب‌آوری مدل پرداخته می‌شود و با ارائه راهکارهایی نظیر کاهش زمان عکس‌العمل نگهبانان، استفاده از عناصر تأخیر، آموزش به کارکنان و رعایت اصول پدافندی (پدافند غیرعامل) و مدیریت آسیب‌پذیری می‌توان به طور چشمگیری احتمال جلوگیری از حمله مهاجمین و در نتیجه، میزان تاب‌آوری را افزایش داد.

نتیجه‌گیری: بعد از انجام ۹ مرحله و به پایان رسیدن آن، میزان تاب‌آوری طبق کد اکسل به‌دست‌آمده و با میزان تاب‌آوری مورد نظر مقایسه می‌شود. در صورت برآورده نکردن حد نیاز، پیشنهادات ارائه شده اعمال می‌شود و دوباره میزان تاب‌آوری محاسبه می‌گردد. مزیت این روش این است که می‌توان با تغییر کوچک در هر یک از اجزا، تغییرات تاب‌آوری را مشاهده نمود.

کلیدواژه‌ها: زیرساخت، تهدیدات، آسیب‌پذیری، مدیریت ریسک، تاب‌آوری و حفاظت

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰)**: صداقت، مجتبی؛ ایزدی، محمدباقر؛ مشهدی، حسن. (بهار، ۱۴۰۱)، ارائه مدلی جهت ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حساس (مطالعه موردی: نیروگاه برق‌آبی). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲* (۱)،۲۱-۳۰.

مقدمه

باتوجه به اینکه در سال‌های اخیر مصرف انرژی الکتریکی افزایش داشته است که در نتیجه، رشد مصرف مشترکین و افزایش توقعات آنان از سطح کیفیت خدمات عمومی بالا رفته است، به منظور پوشش دادن این امر، نیاز به سرمایه‌گذاری عظیم و منسجم در صنعت برق می‌باشد (جلایی، جعفری و لاری،۱۳۹۲)، به‌طوری‌که تأمین منابع مالی این سرمایه‌گذاری‌ها برای بخش‌های دولتی بار سنگینی بر بودجه کشور تحمیل خواهد نمود و جوابگوی کلیه نیازهای این صنعت نمی‌باشد (عیسی زاده و جهان‌بخش،۱۳۹۱).

همچنین از آنجاکه توسعه و محیط‌زیست، دو موضوع جدایی‌ناپذیر می‌باشند، لذا ضروری است با دستیابی و استفاده از ابزارهای مدیریت محیط‌زیست، در کلیه برنامه‌های توسعه، حداقل خسارت به منابع و محیط‌زیست وارد شود که این موضوع، نیازمند یک مدیریت پویا است (نکوئی و همکاران،۱۳۹۴). همه کشورها به فکر استفاده از راه‌های جایگزین افتادند که در این راستا، باتوجه به کاهش منابع فسیلی و افزایش روزافزون مصرف انرژی، دانشمندان به فکر بهبود بازده وسایل مصرفی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افتادند (کاظمیان، رسولی و خزایی،۱۳۹۶). با این راه‌حل‌ها، هم تقاضا را پوشش دهند و هم باتوجه به مسائل زیست‌محیطی نظیر مالیات بر کربن که اخیراً در کلیه کشورها بسیار مهم شده است، کاهش تولید آلاینده‌هایی نظیر کربن‌دی‌اکسید را در پی داشته باشد (جهانگرد و همکاران،۱۳۹۸).

یکی از این راه‌کارها استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق است. راه‌کارهای مختلفی برای تولید برق از منابع تجدیدپذیر نظیر استفاده از سوخت زیستی[1]، برق‌آبی، استفاده از نیرویی باد، استفاده از نیروی خورشیدی و سایر منابع ارائه شده است. یکی از این نیروگاه‌ها که توانایی بالایی در تولید برق دارد، نیروگاه برق‌آبی است (کامران، غلامی، یاری و خالدی،۱۳۸۹). کشور ما نیز به علت موقعیت جغرافیایی مناسب، آب و هوای متنوع، وجود رودخانه‌ها و دریاهای فراوان، از پتانسیل بالایی برای استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی برخوردار است (یوسفی و همکاران،۱۳۹۸).

جدول ۱. بزرگترین نیروگاه‌های جهان

رتبه	ایستگاه	کشور	ظرفیت (مگاوات)	نوع
۱	سد سه دره	چین	۲۲۵۰۰	برق‌آبی
۲	سد ایتایبو	برزیل	۱۴۰۰۰	برق‌آبی
۳	سد ژیلودو	چین	۱۳۸۶۰	برق‌آبی
۴	سد گوری	ونزوئلا	۱۰۲۳۵	برق‌آبی
۵	سد تاکوری	برزیل	۸۳۷۰	برق‌آبی
۶	کاشیوازاواکی	ژاپن	۸۰۰۰	هسته ای
۷	سد اورویل	آمریکا	۶۸۰۹	برق‌آبی
۸	سد لنگتن	چین	۶۴۲۶	برق‌آبی
۹	سد ساپانو	روسیه	۶۴۰۰	برق‌آبی
۱۰	نیروگاه براس	کانادا	۶۲۷۲	هسته ای

مشاهده می‌شود که در شکل بالا از ۱۰ نیروگاه بزرگ دنیا، ۸ مورد آن نیروگاه‌های برق‌آبی می‌باشند (فوربس[2]، ۲۰۱۷)، که باتوجه به پتانسیل بالای استفاده از رودخانه‌ها، آب‌های جاری و همچنین آلودگی کمتر، استفاده از این نوع نیروگاه‌ها مورد اقبال هستند. امروزه حدود ۱۵ درصد از ظرفیت نیروگاه‌های کشور را نیروگاه‌های برق‌آبی تشکیل می‌دهند. اجزاء اصلی یک نیروگاه برق‌آبی، سدها، خطوط انتقال آب، توربین، ژنراتور و اتاق کنترل می‌باشد که حفاظت آن‌ها در برابر عوامل مخرب امری انکارناپذیر است (استیری و همکاران،۱۳۹۵). از جمله این عوامل می‌توان از حملات تروریستی، اختلال در عملکرد سدها، افزودن مواد شیمیایی به آب، حمله‌های سایبری و غیره نام برد (عارفی نژاد، آرند و آکده،۱۳۹۶). تاب‌آوری به معنای توانایی زیرساخت مورد نظر، در راستای کاهش شوک یا عامل از هم‌گسیختگی است که شامل سه زیرشاخه: تطبیق، ترمیم، جذب می‌باشد (رضائی، سرایی و بسطامی نیا،۱۳۹۵).

به سبب وقوع بلایا و مخاطرات محیطی مختلف با منشأ طبیعی و انسانی با داشتن اثرات نامطلوب انسانی و بوم شناختی، رویکرد استفاده از مفهوم تاب‌آوری در برابر بلایای مطرح شده است. هدف آن شامل کاهش خسارت‌های جانی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از مخاطرات طبیعی بوده است. مفهوم تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی در مدیریت جامع حوزه آبخیز ارائه شده است و با استفاده از

1. Biomass

2. Forbes

اقدامات مکانیکی نظیر سیل‌بندها و سدها به همراه اتخاذ رویکردهای یکپارچه که شامل لحاظ مقررات مرتبط می‌باشد، می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری کمک کند (پارسازاده، عوری، مصطفی‌زاده و حزباوی، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر تاب‌آوری در بخش‌های مختلف نظیر تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی، برابر جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته است (مشهدی و امینی،۱۳۹۵).

جدول ۲. انواع تاب‌آوری و تعریف آن

ردیف	نوع تاب‌آوری	تعریف
۱	اکولوژی	توانایی ایستادگی در برابر شوک
۲	سیستمی	توانایی سیستم مهندسی برای بازیابی توان بعد از حمله
۳	اجتماعی	توانایی اکثریت مردم برای ایستادگی بعد از حوادث
۴	شهری	توانایی یک سیستم شهری و تمام تجهیزات آن برای ایستادگی در برابر حوادث
۵	زیرساخت	کاهش بزرگی و اثر یک عامل مخرب در یک زیرساخت

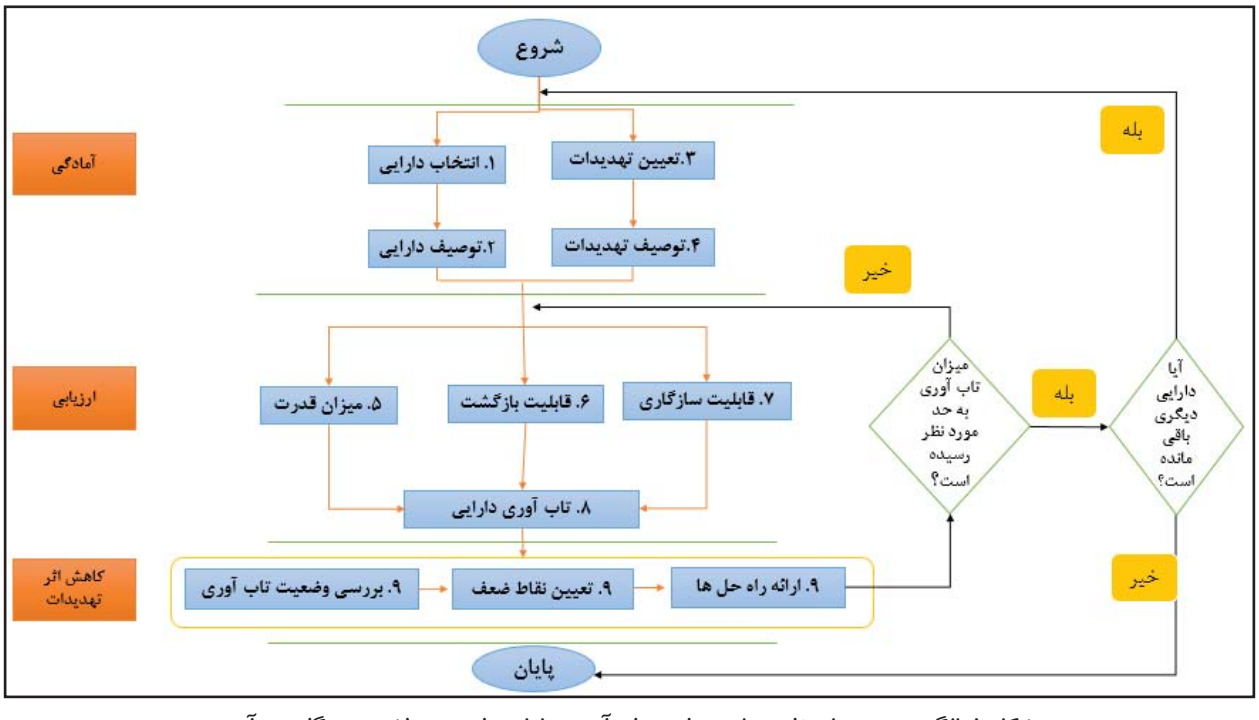
رهاک، سیلوکا و برابکوا[1] (۲۰۱۷) ، مدل تاب‌آوری سیرا[2] به‌عنوان بخشی از پروژه نظامی در کشور چک را ارائه دادند. آن‌ها تاب‌آوری را تحت عنوان یک کیفیت درنظر گرفتند که آسیب‌پذیری یک عنصر را کاهش می‌دهد. ایشان چارچوب کلی بر مبنای اقدامات سازمانی، حوادث مخرب، اندازه‌گیری‌های امنیتی برای تاب‌آوری در نظرگرفتند. سپس به ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها پرداختند و با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره[3] وزن‌دهی شاخص‌ها را انجام دادند. در پایان با ارائه پیشنهادهایی جهت کاهش عیوب زیرساخت و در نتیجه افزایش تاب‌آوری پرداختند. وانگ و همکاران[4] (۲۰۱۹)، به ارائه مدل طراح، حمله‌کننده و دفاع‌کننده[5] پرداختند که از سه‌فاز تشکیل‌شده است: طراح که با دادن پیشنهادهایی درصدد کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌باشد، حمله‌کننده که سعی در ماکزیمم کردن خسارت به زیرساخت دارد و دفاع کننده که درصدد کاهش میزان از دست دادن توان زیرساخت بعد از حمله است. طراح، کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگه‌داری را به دست می‌آورد، دفاع‌کننده سعی می‌کند با استفاده از ظرفیت‌های جایگزین و تقویت زیرساخت به کاهش میزان توان از دست رفته در صورت وقوع حمله بپردازد و حمله کننده که با شناسایی دارایی سعی می‌کند به حساس‌ترین بخش‌ها حمله کند. حال با درنظر گرفتن هر سناریو به عنوان نقطه و وصل کردن آن‌ها با استفاده از خطوط به فرمول‌بندی هر یک از سه سناریو با در نظر گرفتن قیود می‌پردازد و بهترین سناریوی ممکن جهت اجزا با توجه به اولویت‌بندی مقتضی شرایط انتخاب می‌شود. رهاک، سیلوکا و برابکوا[6] (۲۰۱۸) به بررسی اثر متقابل تاب‌آوری زیرساخت انرژی و حمل و نقل پرداختند. ایشان ۵ شاخص آمادگی، جذب، پاسخگویی، قابلیت بازگشت و سازگاری را انتخاب نمودند و برای هر یک از شاخص‌ها، زیر شاخص‌هایی را درنظرگرفتند، سپس به وزن‌دهی هر یک از پارامترها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در حالتی که دو زیرساخت از هم مستقل می‌باشند، میزان تاب‌آوری عددی بیشتری است. در پژوهش آنان در کشور ایتالیا میزان تاب‌آوری شبکه برق ۰/۷۱ و میزان تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل حدود ۶۰ درصد به دست آمد که درصد وابستگی دو زیرساخت ۸۲/۷ درصد به دست می‌آید و در پایان، مهم‌ترین عامل که همان میزان ریسک حاصل از وابستگی دو زیرساخت هنگام وقوع حادثه است در حدود ۹ درصد تخمین زده شد. کوینتانا، مولینوس و چرومو[7] (۲۰۲۰) ، به بررسی تاب‌آوری زیرساخت آب در برابر حوادث طبیعی پرداختند. آن‌ها با این فرض که زیرساخت آب به طور مداوم باید آب باکیفیت بالا در اختیار مصرف‌کننده قرار دهد، کیفیت آب مصرف‌کننده را به‌عنوان عامل اصلی در حوزه تاب‌آوری مطرح نمودند. آن‌ها چهار پارامتر افزونگی در سیستم توزیع آب، ظرفیت ذخیره‌سازی آب، پیوستگی اجزاء سیستم انتقال آب، وجود اجزا پشتیبان و مقاومت آن‌ها در برابر تهدیدات را به‌عنوان پارامترهای مورد بحث، گسترش دادند و به این نتیجه رسیدند که با مدیریت ریسک در این زمینه می‌توان تاب‌آوری را افزایش داد. برای بهبود تاب‌آوری در حوزه نیروگاه برق‌آبی، الزامات و راه‌کارهایی نظیر بهبود واحدها، استفاده از قطعات قابل انعطاف، افزایش ضریب آمادگی، نصب دوربین مداربسته و حسگرهای داخلی و خارجی، آموزش کارکنان و... تا به حال ارائه شده است (فراهانی و همکاران،۱۳۹۴)، (رضانژاد و همکاران،۱۳۹۶)، (سپهری و همکاران،۱۳۹۲).

1. Rehak, Slivkova & Brabcova
2. Ciera
3. Analytic hierarchy process (AHP)
4. Wang et al
5. The planner-attacker-defender model
6. Rehak, Slivkova & Brabcova
7. Quitana, Molinos & Chamorro

با توجه به موارد مطرح شده، در این پژوهش سعی بر این است با ارائه مدلی مبتنی بر شاخص‌ها و زیر شاخص‌های علمی و پدافندی، به بهبود تاب‌آوری زیرساخت نیروگاه برق‌آبی پرداخته شود. در شاخص و زیر شاخص‌هایی که در آینده به آن اشاره خواهد شد، اثر وابستگی‌ها، هم‌بستگی‌های بین اجزا، بهینه‌سازی انرژی، مدیریت و تحلیل ریسک به طور هم زمان مورد توجه قرار می‌گیرد و مدل خروجی، قابلیت استفاده در سایر زیرساخت‌های انرژی و همچنین سایر زیرساخت‌های شهری، اجتماعی و اقتصادی را داراست.

روش

محدوده مورد مطالعه، کلیه نیروگاه‌های برق‌آبی کشور می‌باشند که همان‌طور بیان شد، در حدود ۱۶٪ انرژی الکتریسیته کشور را تأمین می‌کنند. در مورد ویژگی‌هایی که نیروگاه‌های برق‌آبی نسبت به سایر نیروگاه‌ها از جمله حرارتی، بخار و سیکل ترکیبی دارند، می‌توان به این موارد اشاره نمود: وابسته نبودن نیروگاه‌های برق‌آبی به سوخت و انرژی‌های دیگر جهت راه‌اندازی پایین است، هزینه راه‌اندازی، راندمان بالای ۸۰ تا ۹۰ درصد. همچنین، بالا بودن عمر تجهیزات از مزیت‌های این دست نیروگاه‌ها بوده، ضمن آنکه در مدت‌زمان کوتاهی وارد مدار شده و می‌توانند به کنترل ولتاژ، کنترل فرکانس و توان شبکه کمک نمایند (اسکندری و مکی،۱۳۹۵). در مدل تاب‌آوری (که به مدل نویسندگان نام‌گذاری شده است) با الگوگیری از پژوهش‌های پیشین، به ارائه مدلی جدید منتهی گردید که نسبت به طرح پیشین، درنظرگرفتن میزان تاب‌آوری بعد از ارائه راه‌کارها و همچنین وزن‌دهی به هر یک از فاکتورها، از ویژگی‌های طرح پیش رو می‌باشد.



شکل ۱. الگوریتم مورداستفاده برای محاسبه تاب‌آوری دارایی‌های زیرساخت نیروگاه برق‌آبی

شکل ۱، روند کلی طرح مورد نظر برای به‌دست‌آوردن مقدار تاب‌آوری را نشان می‌دهد که نسبت به طرح پیشین رهاک و همکاران (۲۰۱۹) جامع‌تر است. در پژوهش رهاک بعد از محاسبه عدد تاب‌آوری در مرحله ۸، راه‌کارهایی جهت افزایش تاب‌آوری ارائه می‌شود و الگوریتم به پایان می رسد، اما در تحقیق فعلی برای هر یک از دارایی‌های زیرساخت مدنظر، میزان موردنظر تاب‌آوری تعیین می‌شود و حلقه داخلی آن قدر تکرار می‌شود تا با استفاده از راه‌کارهای جدید، میزان تاب‌آوری دارایی مدنظر به حد مطلوب برسد، سپس به سراغ دارایی بعدی رفته و این عمل تکرار می‌شود. در انتها با استفاده از این الگوریتم، کلیه دارایی‌های یک زیرساخت به حد مطلوب می رسند. در نتیجه، این الگوریتم نسبت به پژوهش های پیشین کامل‌تر بوده و از نوآوری های این الگوریتم

درنظرگرفتن میزان تاب‌آوری بعد از ارائه راه‌کارها می‌باشد، بدین معنی که بعد از محاسبه تاب‌آوری هر یک از فازهای ۵-۷ با نظر کارشناسان به وزن‌دهی هر یک از فازها، با توجه به شرایط زیرساخت و نوع تهدید مورد مطالعه پرداخته می‌شود تا میزان تاب‌آوری جزء موردنظر در برابر تهدیدات به دست آید. همچنین بعد از مرحله ۹، به ارائه راه‌کارها پرداخته می‌شود و میزان تاب‌آوری دوباره محاسبه می‌گردد و تأثیر راه‌کارها بر میزان تاب‌آوری دیده می‌شود و با میزان تاب‌آوری مورد نظر برای زیرساخت مقایسه می‌شود. اگر میزان تاب‌آوری بعد از ارائه راه‌کارها بیشتر از حد موردنظر بود، میزان تاب‌آوری مورد تأیید بوده و فرآیند به پایان می‌رسد وگرنه دوباره میزان تاب‌آوری محاسبه شده و این چرخه این‌قدر تکرار می‌شود تا میزان تاب‌آوری به حد مورد نظر برسد.

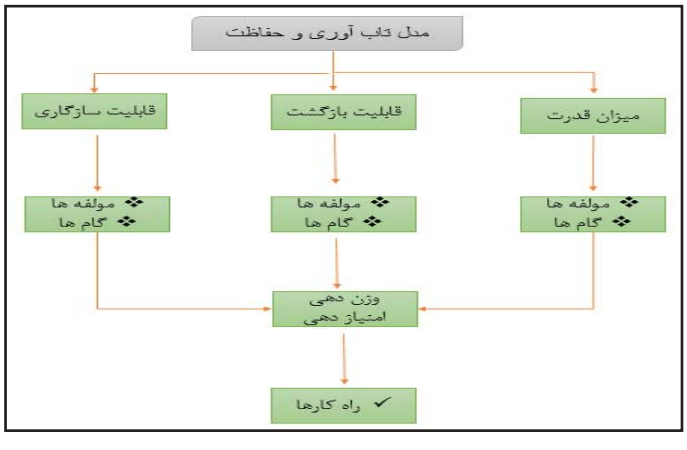
۹ مرحله مدل نویسندگان به‌صورت زیر است:

۱. شناسایی جزء موردنظر ۲. توصیف جزء موردنظر ۳. تعیین تهدیدات
۴. توصیف تهدیدات ۵. تعیین جذب ۶. تعیین تطبیق
۷. تعیین‌ترمیم ۸. تعیین میزان تاب‌آوری
۹. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده، شناسایی نقاط ضعف، محاسبه میزان تاب‌آوری و ارائه پیشنهادها جهت افزایش تاب‌آوری

در مرحله اول، عنصر مورد نظر، بدون هیچ قیدی (به طور آزادانه) انتخاب می‌شود. سپس در مرحله دوم، با توجه به پارامترهای ساختاری و عملیاتی به زیربخش‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شود (به عنوان نمونه، در شبکه برق، اجزاء به دسته تولید و انتقال دسته‌بندی می‌شوند)، سپس در مرحله سوم، برای عنصر انتخاب شده تمامی تهدیدات موجود شناسایی و در مرحله چهارم، طبقه‌بندی می‌شود و این مدل باید برای تک‌تک تهدیدات به‌صورت مجزا تعیین می‌شود. این چهار مرحله که فاز اول طرح (آمادگی) را نشان می‌دهد، شامل ارائه سناریوی احتمال وقوع و اثرگذاری هر یک از تهدیدها می‌باشد و یا تأثیر گسیختگی یک عنصر بر عنصر دیگر را شامل می‌شود. مرحله ۵ بیانگر میزان قوی بودن عنصر یک زیرساخت در برابر حملات احتمالی می‌باشد که به امتیازدهی به عناصر مورد نظر پرداخته می‌شود. در این راستا عددی بین ۱ (بدترین حالت) تا ۵ (بهترین حالت) به هر عنصر داده می‌شود. معیار امتیازدهی آن‌ها به شرح زیر است (رهاک و همکاران، ۲۰۱۹):

۱. زمان تأخیر بالا و میزان بالای کاهش توان
۲. زمان تأخیر متوسط و میزان متوسط کاهش توان
۳. زمان کوتاهی تأخیر در عملکرد سیستم و با میزان کم کاهش توان
۴. زمان کوتاهی تأخیر در عملکرد سیستم بدون تغییر در عملکرد
۵. بدون تأخیر سیستم کار کند (بدون تغییر در میزان توان)

هر یک از شاخص‌ها عددی بین ۱-۵ توسط صاحب‌نظران امتیازدهی می‌شود، سپس با توجه به اهمیت شاخص، وزنی بین ۰-۱ برای آن شاخص در نظر گرفته می‌شود، با ضرب کردن این دو مقدار در هم عددی به دست می‌آید که با میانگین‌گیری از این اعداد، میزان تاب‌آوری یک فاز به دست می‌آید. فعالیت ۶ و ۷ نیز همانند ۵ امتیازدهی می‌شود که پایه محاسبه تاب‌آوری دارایی مورد نظر می‌باشند. با انجام مراحل فوق، اعداد مرتبط با مراحل ۵-۷ الگوریتم به‌دست‌آمده و با میانگین‌گیری سه فاز، عدد تاب‌آوری دارایی در برابر تهدیدات (مرحله ۸) تعیین می‌شود (سعدالدین، مصطفی‌زاده، شیخ و هلیلی[1]، ۲۰۱۰)



شکل ۲. مدل ساده شده طرح

همان‌گونه که از شکل ۲ پیداست، مدل دارای سه‌لایه است که درونی‌ترین لایه به‌عنوان گام در نظر گرفته شده است، لایه بالاتر، مؤلفه‌ها شاخص‌های تاب‌آوری را در بر می‌گیرد و بالاخره بالاترین لایه، مدل تاب‌آوری را شامل می‌شود که از درونی‌ترین لایه به سمت بیرونی‌ترین لایه، به وزن‌دهی پرداخته می‌شود، برای محاسبه تاب‌آوری عنصر مورد نظر هر یک اجزا را نام‌گذاری می‌شود:

در فرمول‌های (۱-۳)، p گام، k مولفه و R عنصر را نشان می دهد.

1. Sadoddin,Sheikh, Mostafazadeh & Halili

$$P_j = 20 \sum_{k=1}^{l} MP_k \, w_k \quad (۱)$$

$$k_i = \sum_{j=1}^{m} p_j v_j \quad (۲)$$

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} k_i \quad (۳)$$

با استفاده از فرمول ۱، میزان تاب‌آوری گام به دست می‌آید، سپس با وزن‌دهی این عبارت (v)، میزان تاب‌آوری مؤلفه به دست می‌آید(k)، حال با وزن‌دهی به شاخص‌ها و استفاده از فرمول ۳، میزان تاب‌آوری عنصر مورد نظر در برابر تهدید مورد نظر به دست می‌آید (رهاک، سنوسکی، هرمودا و لووک[1]، ۲۰۱۹). فرمول‌های بالا میزان تاب‌آوری را نشان می‌دهد که در آن k بیانگر فازهای تاب‌آوری یعنی تطبیق، ترمیم و جذب که در مراحل پیش وزن‌دهی شده‌اند، می‌باشد و n تعداد اجزایی است که تاب‌آوری را تشکیل می‌دهند، یا به عبارت دیگر، بین ۳ فاز، میانگین گرفته می‌شود (با فرض یکسان بودن وزن هر یک از فازها). یعنی با جمع سه فاز تاب‌آوری و میانگین گرفتن از آن، میزان تاب‌آوری برای هر عنصر به دست می‌آید. در مرحله نهم با نگاه کلی به مراحل قبل، نقاط ضعف زیرساخت به دست می‌آید و با ارائه پیشنهاداتی در جهت اصلاح ساختار و افزایش تاب‌آوری گام برداشته می‌شود. در مدل نویسندگان یک سری فرضیات پیش‌فرض مورد نیاز می‌باشد، ازجمله:

- محاسبه تاب‌آوری در هر مرحله بر روی یک دارایی توجه دارد، به این معنی که یک دارایی تعیین می‌شود و قابلیت جذب و سازگاری و بازگشت‌پذیری آن دارایی در برابر حملات داخلی و خارجی به‌صورت کمی تعیین می‌گردد.
- میزان تاب‌آوری برای کلیه حملات محتمل در نظر گرفته می‌شود.
- مدل ارائه‌شده استاتیک است.

قابلیت تاب‌آوری یک زیرساخت را در ۵ دسته کلی طبقه‌بندی گردید.

1. Rehak, Senovsky, Hromada & Lovecek

جدول ۳. دسته بندی سطوح تاب‌آوری

سطح	درصد
بالا	۱۰۰-۸۵
قابل‌قبول	۸۵-۷۰
پایین	۷۰-۵۵
غیرقابل اطمینان	۵۵-۴۰
بحرانی	زیر ۴۰

برای حالتی که عدد نهایی تاب‌آوری چه برای عنصر و چه برای اجزا و متغیرها بالای ۸۵ درصد باشد، درصد تاب‌آوری، بالا در نظر گرفته می‌شود.

یافته‌ها

حال به ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌هایی برای هر یک از سه فاز میزان قدرت، قابلیت بازگشت، قابلیت سازگاری پس از استفاده از نظر خبرگان و صاحب‌نظران در این زمینه از طریق مصاحبه و مشورت، پرداخته می‌شود. با توجه به افراد متخصص در دسترس، تعداد ۱۰ نفر از صاحب‌نظران در زمینه پدافند غیرعامل و نیروگاه برق‌آبی جهت ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها برابر جدول شماره ۴، انتخاب شدند.

جدول ۴. توزیع نفرات صاحب‌نظران جهت ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها

صاحب‌نظران	تعداد
متخصصین سازمان پدافند غیرعامل	۵
اساتید دانشگاه شهید بهشتی در حوزه نیروگاه برق‌آبی	۲
دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته عمران دانشگاه شهید بهشتی	۳
مجموع	۱۰

در این پژوهش سعی شد تا با درنظرگرفتن هم زمان اصول پدافندی - علمی در حوزه نیروگاه برق‌آبی به ارائه شاخص‌ها پرداخته شود، به همین دلیل از ترکیبی از متخصصان سازمان پدافند غیرعامل و دانشگاه شهید بهشتی تهران استفاده شده است. در تدوین شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها (گام‌های عملیاتی) از ترکیب مطالعات پیشین، استفاده از نظر متخصصان به همراه نوآوری نویسندگان استفاده گردیده است که بنا بر تشخیص متخصصان، بعضی از شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها ترکیبی هستند تا جامع‌تر بوده و مدل، کارآمدتر باشد.

جدول ۵. شاخص‌ها و زیر شاخص‌های تعیین میزان قدرت یک جزء

مرحله ۵	شاخص	زیر شاخص	منبع
تعیین میزان قدرت	آمادگی پیش از وقوع بحران	وجود گروه امنیتی در زیرساخت	گارسیا[1] (۲۰۰۸)
		برنامه‌ریزی پیوسته	رهاک و همکاران(۲۰۱۹)
		برنامه‌ریزی برای بازگشت‌پذیری	کلین[2] (۲۰۱۹)
		محاسبه آنالیز ریسک	کریدی، شاه، ماتیپ و بورسویک[3] (۲۰۱۹)
	افزونگی	گرفتن نسخه پشتیبان از داده‌ها	(رنجبر، مردانی و پیرایش،۱۳۹۶)
		گرفتن نسخه پشتیبان از شرح وظایف	
		وجود قابلیت در دسترس افزونگی	
	قابلیت شناسایی	سیستم هشداردهنده	گارسیا (۲۰۰۸)
		وجود سیستم دیوار آتشین برای کامپیوترها	
		گزارش‌های لحظه‌ای	
		وجود دوربین امنیتی برای دارایی‌های حیاتی	
	قابلیت پاسخگویی	فعال‌سازی نسخه‌های پشتیبان	گارسیا (۲۰۰۸)
		حل مشکلات	
		هوشیار بودن و عملکرد سریع نگهبانان	نوآوری
	مقاومت فیزیکی	روش‌های فنی نوین	(رنجبر و همکاران،۱۳۹۶)
		رعایت اصول اندازه‌گیری میزان حفاظت	
		اندازه‌گیری عملکرد سیستم‌ها	
		استفاده از عناصر تأخیر نظیر حفاظ و دیوار	نوآوری

فاز اول بیانگر میزان قدرت یک زیرساخت در برابر حملات مختلف اعم از سایبری و فیزیکی است که از ۵ شاخص تشکیل‌شده است.

جدول ۶. شاخص‌ها و زیر شاخص‌های تعیین قابلیت بازگشت یک جزء

مرحله ۶	شاخص	زیر شاخص	منبع
تعیین قابلیت بازگشت	منابع فیزیکی	نحوه عملکرد جز	نوآوری
		زمان کوتاه تعمیر و قابلیت جایگزینی جز موردنظر	رهاک و همکاران(۲۰۱۹)
		شاخص‌های قابلیت اطمینان	کریدی و همکاران (۲۰۱۹)
	منابع اقتصادی	تعیین هزینه فایده برای راه‌حل‌های بازگشت‌پذیری	نوآوری
		تخصیص منابع مالی برای زمان‌های موردنیاز	(فاطمی، پاک‌بین و مودت،۱۳۹۵)
	منابع انسانی	تعیین نیروهای ماهر	رهاک و همکاران (۲۰۱۹)
		ظرفیت نیروهای انسانی	
		تعیین شایستگی نیروهای انسانی	
		حفاظت از کارکنان	گارسیا (۲۰۰۸)
	فرآیندهای بازگشت‌پذیری	برنامه‌ریزی برای عملیات بازگشت‌پذیری	کلین (۲۰۱۹)
		آمادگی برای اجرای برنامه‌ریزی در جهت بازگشت‌پذیری	
		انجام دادن عملیات بازگشت‌پذیری	

1. Garcia
2. Klein
3. Kraidi,Shah,Matipa &Borthwick

فاز دوم بیانگر تعیین قابلیت بازگشت یک زیرساخت در برابر حملات مختلف اعم از سایبری و فیزیکی می‌باشد که از ۴ شاخص تشکیل شده است.

جدول ۷. شاخص‌ها و زیر شاخص‌های قابلیت سازگاری یک جزء

مرحله ۷	شاخص	زیر شاخص	منبع
قابلیت سازگاری	مدیریت ریسک	روش تحلیل ریسک	کریدی و همکاران (۲۰۱۹)
		ارزیابی میزان ریسک زیرساخت	
		اجرا استانداردهای دفاعی	رهاک و همکاران (۲۰۱۹)
		سناریوهایی جلوگیری از حمله مهاجمین	گارسیا (۲۰۰۸)
	فرآیندهای نوآورانه و طرح‌های تحقیق و توسعه	آموزش کارکنان	رهاک و همکاران (۲۰۱۹)
		ایجاد مانور برای آمادگی بیشتر	
		بررسی تأثیر آموزش‌ها	
		ارائه راه‌حل‌های نوآورانه	
		اجرا راه‌حل‌های نوآورانه	

جدول بالا بیانگر فاز قابلیت سازگاری می‌باشد که از دو بخش مدیریت ریسک و فرآیندهای نوآورانه تشکیل شده است.

مثالی از نحوه استفاده از مدل:

به عنوان نمونه، اتاق کنترل سیستم توزیع برق یک نیروگاه برق‌آبی (شهید رجایی شهر ساری) در نظر گرفته می‌شود که در بخش انرژی و زیربخش الکتریسیته طبقه‌بندی می‌گردد.

جدول ۸. نمونه ای از نحوه کارکرد مدل نویسندگان (مرحله ۱و۲)

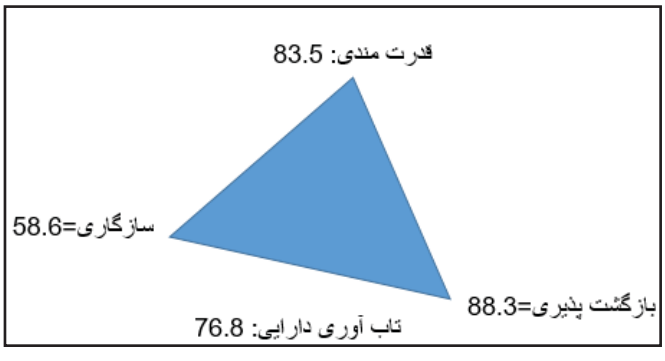
انتخاب و توصیف دارایی	
نام المان	اتاق کنترل شبکه توزیع برق
بخش	انرژی، برق، شبکه توزیع
نوع المان	پهنه‌ای
فنّاوری	اسکادا جغرافیایی

نوع عنصر نقطه‌ای با فنّاوری مختلف می‌باشد که شامل ۲ دسته فنّاوری کلیدی کنترلی و جغرافیایی می‌شود. این دو مرحله، مرحله اول و دوم از ۹ مرحله روش نویسندگان است.

جدول ۹. نمونه ای از نحوه کارکرد مدل نویسندگان (مرحله ۳و۴)

انتخاب تهدید و توصیف آن	
حمله فیزیکی	نام تهدید
انسانی	دسته
فیزیکی	گروه تهدید
اختلال در عملکرد سیستم	هدف

سپس برای فاز ۳ و ، به شناسایی و توصیف تهدیدات پرداخته شد. در همین راستا آن‌ها محتمل‌ترین تهدید را حمله فیزیکی در نظر گرفتند که منشأ انسانی دارد و هدف آن صدمه زدن به شبکه توزیع برق فرض شد. سپس با درنظر گرفتن شاخص‌ها و زیر شاخص‌هایی میزان تاب‌آوری سه فاز بازگشت‌پذیری، سازگاری و قدرتمندی به دست می‌آید که مراحل ۵، ۶،۷ مدل نویسندگان را شامل می‌شود (در جدول‌های ۱-۳ تا ۱-۵ شاخص‌ها ارائه شده‌اند) . با وزن‌دهی شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها با استفاده از فرمول‌های ۱-۳ میزان تاب‌آوری هر یک از شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها و در نتیجه هر یک از فازها به دست می‌آید. حال باید میزان تاب‌آوری جزء (اتاق کنترل) در برابر تهدیدات (حمله فیزیکی) را محاسبه نمود که برابر شکل ۳ می‌توان دریافت که:



شکل ۳. نمونه ای از نحوه کارکرد مدل نویسندگان (مرحله۵، ۶، ۷و۸)

میزان تاب‌آوری المان اتاق کنترل شبکه برق در برابر حمله فیزیکی با میانگین‌گیری سه‌فاز به دست می‌آید که به عدد ۶۱٪

منتج گردید. مرحله ۹ به‌دست‌آوردن نقاط ضعف و ارائه پیشنهادها می‌باشد که در این راستا پیشنهاد شد که از نقاط ضعف سیستم عدم اختصاص بودجه مناسب جهت آموزش کارکنان در برابر حملات فیزیکی می‌باشد که در جهت بهبود تاب‌آوری پیشنهاد می‌شود در برابر سناریوهای احتمالی وقوع حمله تدابیر امنیتی نظیر استفاده از دوربین‌های حفاظتی، سنسورها، افزودن نگهبانان با مهارت بالا اتخاذ شود. همچنین رعایت اصول بهره‌برداری از نیروگاه برق‌آبی، رعایت اصول پدافند غیرعامل، رعایت اصل ۲۱ ساختمان در زمان احداث بنا از موارد ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه مدل مد نظر در نرم‌افزار اکسل کدزنی شده است، در نتیجه درصورتی‌که ورودی مسأله (وزن شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها) اعشاری یا دارای عدم قطعیت باشد، می‌توان در خروجی مسأله (میزان تاب‌آوری دارایی) نیز این اثر را مشاهده نمود [1].

نتیجه‌گیری

با نگاه کلی به شاخص‌ها و زیر شاخص‌های در نظر گرفته شده با ارائه راه‌کارهایی نظیر کاهش زمان عکس‌العمل نگهبانان، استفاده از عناصر تأخیر نظیر حسگر، دیوار، آموزش به کارکنان و رعایت اصول پدافندی می‌توان به طور چشمگیری احتمال جلوگیری از حمله مهاجمین و در نتیجه، میزان تاب‌آوری را افزایش داد و در زمینه مدل تاب‌آوری ارائه شده، بعد از اتمام ۹ مرحله، میزان تاب‌آوری با میزان تاب‌آوری مورد نظر مقایسه می‌شود. در صورت برآورده نکردن حد نیاز، پیشنهادات ارائه شده اعمال می‌شود و دوباره میزان تاب‌آوری محاسبه می‌شود. مزیت این روش این است که می‌توان با تغییر کوچک در هر یک از اجزای یک جزء، تغییرات تاب‌آوری را مشاهده نمود. از طرفی با توجه به این که مدلی که بتواند کلیه زیرساخت‌های شهری را پوشش دهد وجود ندارد، با استفاده از مدل نویسندگان و ارائه شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مختص به هر زیرساخت شهری، مدل مخصوص به آن را ساخت یا به عبارت دیگر مدل ارائه شده، مدل مادر است. در پایان برای محققین آینده پیشنهاد می‌شود، مدل فعلی را برای سایر زیرساخت‌ها نظیر حمل‌ونقل، اقتصادی و اجتماعی گسترش دهند که در این زمینه باید وابستگی بین اجزا، آنالیز و مدیریت ریسک را مدنظر قرار دهند و در پایان به ارائه راه‌حل‌هایی در جهت افزایش تاب‌آوری بپردازند.

1. Model usage link:https://drive.google.com/file/d/1bBuRZ4xAwOLfPI17_3VMUDWhF3DXd4Ds/view?usp=sharing

منابع

جلایی، عبدالمجید؛ جعفری، سعید؛ لاری، صالح (۱۳۹۲)؛ برآورد تابع تقاضای برق خانگی در ایران با استفاده از داده‌های تابلویی استانی؛ پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۲، شماره ۸، ص ۶۹-۹۲. برگرفته از:
https://civilica.com/doc/707645

عیسی زاده، سعید؛ جهان‌بخش، مهران (۱۳۹۱)؛ بررسی ارتباط میان مصرف انرژی و سطح شهرنشینی در ایران (کاربردی از الگوی تصحیح خطای برداری و روش تجزیه عوامل)؛ مجله راهبرد اقتصادی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۴۷-۷۰. برگرفته از:
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=189245

نکوئی، محمدعلی؛ حسن‌زاده، یوسف؛ یوسفی، پیمان؛رضایتی، آرمان (۱۳۹۴)؛ بررسی مدل‌های تخمین اثرات ناشی از تخریب سد مخزنی در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی؛ زاهدان: کنفرانس هیدرولیک ایران، دوره ۱۴. برگرفته از:https://civilica.com/doc/437937/

کاظمیان، غلامرضا؛ رسولی، افشین؛ خزایی، محمدمهدی) ۱۳۹۶)؛ جایگاه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در زیست پذیرانه کردن شهرها، مطالعه موردی شهر تهران؛ مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۸، شماره ۲۹، ص ۹۹-۱۱۸ . برگرفته از:http://jupm.miau.ac.ir/article_2356.html

جهانگرد، اسفندیار؛ بانوئی، علی‌اصغر؛ فریدزاده، علی؛ برخورداری، سجاد؛ آماده، حمید؛ دودابی نژاد، امیر) ۱۳۹۸)؛ مزیت مضاعف با اعمال مالیات بر کربن در اقتصاد ایران: مدل تعادل عمومی قابل محاسبه؛ فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه ریزی انرژی دوره۵، شماره ۳، ص ۷-۳۱ . برگرفته از:
http://epprjournal.ir/browse.php?a_code=A-10-52-3&sid=1&slc_lang=fa

کامران حسن، غلامی؛ یاری، بهادر؛ اسلام حسینی، حسن؛ خالدی، حسین (۱۳۸۹)؛ جغرافیا و قدرت ملی ایران؛ نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳ ، شماره ۱۶ . برگرفته از:
http://ensani.ir/fa/article/303835/جغرافیا-و-قدرت-ملی-ایران

یوسفی، حسین؛ نور الهی، یونس؛ موسوی، سید محمدمهدی؛ علی محمدی، آرمان؛ ساعدی، مهین (۱۳۹۸)؛ ارزیابی منابع و پتانسیل سنجی انرژی برق‌آبی مقیاس کوچک در استان کردستان؛ نشریه علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۹، شماره ۱، ص ۱۰۹-۱۱۸ . برگرفته از:
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=485700

https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2017/08/10/the-biggest-power-plants-in-the-world-hydro-and-nuclear [online]

استیری، فربد (۱۳۹۵)؛ آمار تفضیلی نیروگاه‌های برق‌آبی کشور؛ وزارت نیرو، ص ۲۳-۲۵ . برگرفته از:
https://isn.moe.gov.ir/۱۳۹۶-سال-در-کشور-ابی-برق-های-نیروگاه-تفصیلی-امار

عارفی نژاد، سید مجید؛ آرند، سعادت جمالی؛ آکده، سید محمد) ۱۳۹۶)؛ توصیف، بررسی و آسیب‌شناسی سد و نیروگاه برق‌آبی مارون بهبهان از

نظر پدافند غیرعامل در جنگ نوین و ارائه راهکار برای مقابله با تهدیدات و آسیب‌های احتمالی؛ تهران: هفتمین همایش سراسری پدافند جنگ‌های نوین، دانشگاه امام حسین. برگرفته از:
https://civilica.com/doc/762101/

رضایی، محمدرضا؛ سرائی، محمدحسین؛ بسطامی نیا، امیر (۱۳۹۵)؛ تحلیل مفهوم تاب‌آوری در سوانح طبیعی؛ فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱ . برگرفته از:
http://dpmk.ir/browse.php?a_code=A-10-47-1&sid=1&slc_lang=fa

پارسازاده کلوانق، مرضیه؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ حزباوی، زینب (۱۴۰۰)؛ مفهوم تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی در مدیریت جامع حوزه آبخیز؛ نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، سال نهم، شماره ۳. برگرفته از:https://wmji.ir/fa/ManuscriptDetail?mid=23905

مشهدی، حسن؛ امینی، سعید (۱۳۹۵)؛ مبانی نظری مدیریت آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها؛ تهران: انتشارات بوستان حمید، ص ۱۳۶-۱۳۹.

Rehak, D., Slivkova, S., & Brabcova, V. (2017). Evaluation the resilience of critical infrastructure subsystems. Safety and Reliability–Theory and Application, CRC Press, Boca Raton, FL, 955-962. extracted from:
https://www.researchgate.net/publication/317392760_Evaluation_the_resilience_of_critical_infrastructure_subsystems

Wang, J., Zuo, W., Rhode-Barbarigos, L., Lu, X., Wang, J., & Lin, Y. (2019). Literature review on modeling and simulation of energy infrastructures from a resilience perspective. Reliability Engineering & System Safety, 183, 360-373. extracted from:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832017313972

Brabcova, V., Slivkova, S., Rehak, D., Toseroni, F., & Havko, J. (2018). Assessing the cascading effect of energy and transport critical infrastructure elements: case study. Communications-Scientific letters of the University of Zilina, 20(2), 8-15. extracted from:http://communications.uniza.sk/index.php/communications/article/view/81

Quitana, G., Molinos-Senante, M., & Chamorro, A. (2020). Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems. International Journal of Disaster Risk Reduction, 48, 101575. extracted from:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420919313342

سربندی فراهانی، محمد ابراهیم و همکاران. (۱۳۹۴)؛ سند راهبردی فناوری های نوین بهره‌برداری نیروگاه ها؛ پژوهشگاه نیرو، ص ۳۶-۵۲. برگرفته از:https://www.nri.ac.ir/Tech-Plan

رضا نژاد، رضا و همکاران (۱۳۹۶)؛ راهنمای IEEE برای نوسازی نیروگاه های برق‌آبی؛ وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، ص ۹-۱۱. برگرفته از:
https://waterhouse.ir/sites/default/files/445-a.pdf

سپهری، محمد؛ حشمتی راد، مهدی؛ دربهانی ها، علی؛ قاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۲)؛. اقدامات پدافند غیرعامل در تأسیسات نیروگاهی و برق رسانی؛ تهران: همایش سراسری پدافند غیرعامل در علوم و مهندسی، وزارت کشور برگرفته از:
http://cmid.tpph.ir/Lists/CMIDLibrary/Attachments/2/1101.pdf

اسکندری، شادی؛ مکی، سید وهاب الدین (۱۳۹۵)؛ نیروگاه برق‌آبی؛ استانبول: سومین کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی. برگرفته از:
https://civilica.com/doc/491476/

SAD, A. A., SHEYKH, V., Mostafazadeh, R., & Halili, M. G. (2010). Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. extracted from:https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=165800

Rehak, D., Senovsky, P., Hromada, M., & Lovecek, T. (2019). Complex approach to assessing resilience of critical infrastructure elements. International Journal of Critical infrastructure protection, 25, 125-138 extracted from:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548218301744

Klein, P., & Klein, F. (2019). Dynamics of interdependent critical infrastructures–A mathematical model with unexpected results. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 24, 69-77. extracted from:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548217302068

Kraidi, L., Shah, R., Matipa, W., & Borthwick, F. (2019). Analyzing the critical risk factors associated with oil and gas pipeline projects in Iraq. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 24, 14-22. extracted from:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548217301208

فاطمی ، سیداحسان؛ پاک بین، مژگان ؛ مریم، حافظ پرست مودت (۱۳۹۵) ؛ توسعه مدل شبیه سازی تولید انرژی برق‌آبی مخزن با رویکردی جدید؛ فصلنامه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، دوره۴۶، شماره ۸۴. برگرفته از:https://civilica.com/doc/629639/

رنجبر، محمد حسین؛ مردانی شهربابک، محمد ؛ پیرایش، ابوالفضل (۱۳۹۶) ؛ ارائه مدلی برای ارزیابی حفاظت فیزیکی از تاسیسات حیاتی جهت پدافند غیرعامل در برابر تهدیدات فیزیکی و خرابکارانه؛ مجله علمی- پژوهشی علوم و فناوری های پدافند نوین، دوره۸، شماره ۴. برگرفته از:
https://civilica.com/doc/934591/

Garcia, M. L. (2008). Design and evaluation of physical protection systems. Elsevier. second edition,pages 252-290 extracted from:https://www.researchgate.net/publication/288163549_Physical_Protection_System_Design