GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (42), Summer 2022 https://ges.iaun.ac.ir ISSN: 2008-7845 20.1001.1.20087845.1401.11.42.7.6

Research Article

Classification, Prioritization, Intrinsic Value, Critical Infrastructure, Assets, Indices, Best-Worst

Hossein Ali Beyki, Gholam Reza (Corresponding Author)
PhD Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
rezabeygi110@gmail.com

Akbarpoor Nikghalb Rashti, Abbas
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Hosseini, Seyyed Azim
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abbasian Jahromi, Hamidreza
Assistant Professor, Department of Engineering and Construction Management, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Today, the growth and development of societies in economic, social, political, public health and security dimensions depends on the performance of critical infrastructure. Infrastructure management and management is one of the most important concerns in this field to ensure their proper performance and sustainability against the risks ahead. Securing and safeguarding critical infrastructure and key assets against all risks, factors and adverse conditions is one of the most challenging issues for governments due to limited financial resources. One way to overcome these limitations is to prioritize and classify infrastructure. Proper determination of priorities, using measurable indicators, in addition to distinguishing critical assets and infrastructure from non-critical ones, leads to optimal resource management and increases the effectiveness of measures to protect critical infrastructure. The main purpose of this study is to evaluate and validate the indicators of the vitality of critical infrastructure and determine the weight of each indicator by the best-worst method. The results of studies performed on 26 initial indicators and the validity and reliability of the indicators led to the final confirmation of 24 indicators. Weighting of indicators was done according to the best-worst method (BWM). Based on calculations based on the opinions of selected experts, the index "Number of population at risk" with a weight of 8.5%, "Independence and territorial integrity" with a weight of 7.8% and "Defense capability" with a weight of 7.8%, respectively, have the highest weight and importance. Are assigned among the indicators.

Keywords: Classification, Prioritization, Intrinsic Value, Critical Infrastructure, Indices, Best-Worst.

Citation: Hossein Ali Beyki, G.R, Akbarpoor Nikghalb Rashti, , A., Hosseini, S.A., Abbasian Jahromi, H., (2022) Classification, Prioritization, Intrinsic Value, Critical Infrastructure, Assets, Indices, Best-Worst, Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (42), 106-121. Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.42.7.6

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20.1001.1.20087845.1401.11.42.7.6

مقاله پژوهشی

ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان حیاتی بودن و اهمیت زیرساخت‌ها به روش بهترین-بدترین (BWM)

غلامرضا حسینعلی بیکی

دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عباس اکبرپور نیک قلب رشتی

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

سید عظیم حسینی

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

حمیدرضا عباسیان جهرمی

استادیار، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

امروز رشد و توسعه جوامع در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، بهداشت عمومی و امنیتی به عملکرد زیرساخت‌های حیاتی وابسته است. مدیریت و راهبری زیرساخت برای اطمینان داشتن از عملکرد صحیح و پایداری آن‌ها در برابر ریسک‌های پیش‌رو، یکی از دغدغه‌های بسیار مهم در این حوزه محسوب می‌شود. ایمن‌سازی و مراقبت از زیرساخت‌های حیاتی و دارایی‌های کلیدی در برابر تمامی ریسک‌ها، عوامل و شرایط نامطلوب با توجه به محدودیت منابع مالی، یکی از موضوعات چالش برانگیز برای دولت‌ها محسوب می‌شود. یکی از راه کارها رفع این محدودیت‌ها، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرساخت‌ها است. تعیین صحیح اولویت‌ها، با استفاده از شاخص‌های قابل سنجش علاوه بر تشخیص دارایی‌ها و زیرساخت‌های حیاتی از غیرحیاتی، باعث مدیریت بهینه منابع و افزایش اثربخشی اقدامات در حفاظت از زیرساخت‌ها حیاتی می‌گردد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی و اعتباریابی شاخص‌های حیاتی بودن زیرساخت‌های حیاتی و تعیین وزن هر کدام از شاخص‌ها به روش بهترین-بدترین می‌باشد. نتیجه مطالعات انجام شده بر روی ۲۶ شاخص اولیه و بررسی روایی و پایایی شاخص ها، منجر به تأیید نهایی ۲۴ شاخص گردید. وزن‌دهی شاخص‌ها بر اساس روش بهترین-بدترین (BWM) انجام گردید. بر اساس محاسبات انجام شده مبتنی بر نظرات خبرگان منتخب، شاخص «تعداد جمعیت در معرض خطر» با وزن ۸,۵ درصد، «استقلال و تمامیت ارضی» با وزن ۷,۸ درصد و «توان دفاعی» با وزن ۷,۸ درصد به ترتیب بیشترین وزن و اهمیت را بین شاخص‌ها به خود اختصاص داده‌اند.

کلمات کلیدی: طبقه‌بندی، اولویت‌بندی، ارزش ذاتی، زیرساخت حیاتی، دارایی، شاخص، بهترین-بدترین.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴

نویسنده مسئول: غلامرضا حسینعلی بیکی؛ دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
rezabeygi110@gmail.com

۱. مقدمه

سلامت، ثروت و امنیت کشور به تولید و توزیع کالاها و خدمات خاص متکی است. مجموعه‌ای از دارایی‌های فیزیکی، فرآیندها و سازمان‌هایی که این کالاها و خدمات را ارائه می‌کنند، زیرساخت‌های حیاتی نامیده می‌شوند. این بیانیه در ایالات متحده مرسوم است (Pederson, et al, 2006, 11). زیرساخت‌ها در واقع ارائه‌دهنده جریانی از زندگی هستند با این وجود برخی از زیرساخت‌ها در معرض تهدیدات طبیعی، انسانی و یا در حال فرسوده شدن هستند که این عوامل می‌توانند موجب بروز اختلالات جدی در عملکرد زیرساخت‌ها و اثرات مخرب عظیم در ابعاد اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و رفاهی یک جامعه شوند. لذا حفظ و نگهداری زیرساخت‌ها در برابر عوامل تهدیدکننده و شرایط مخرب، ضرورت و اهمیت می‌یابد.

حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی در نتیجه حوادثی نظیر حملات تروریستی ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ و بلایای طبیعی مانند طوفان کاترینا توجه قابل ملاحظه‌ای به خود جلب کرده است. قوانین و دستورالعمل‌های اجرایی مختلفی صادر شده‌اند که همگی آن‌ها در پی آن هستند تا مشخص کنند چه چیزهایی زیرساخت‌های حیاتی را تعیین می‌کنند، و چه اقداماتی باید برای حفاظت از آن‌ها انجام شود (Aaron Burkhart, 2015, 9). بنابراین اطمینان داشتن از عملکرد صحیح و پایدار زیرساخت‌ها و محافظت از آن‌ها در برابر تهدیدات و شرایط نامطلوب، تبدیل به یکی از دغدغه‌های بسیار مهم در این حوزه شده است. یکی از موضوعات پیش‌رو دولت‌ها و کارفرمایان، تعدد زیرساخت‌ها و محدودیت منابع مالی برای ایمن‌سازی و مراقبت از دارایی‌ها و زیرساخت‌های حیاتی در برابر تمامی عوامل و شرایط نامطلوب و تهدیدکننده است. بنابراین، وجود استانداردها و روش‌ها به منظور تصمیم‌گیری در خصوص نحوه تخصیص منابع، یکی از الزامات مورد نیاز در این حوزه محسوب می‌شود (Aaron Burkhart, 2015, 53). یکی از روش‌های مطرح در رفع این محدودیت، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرساخت‌ها و دارایی‌ها است. تعیین اولویت‌ها مبتنی بر شاخص‌های و معیارهای قابل سنجش علاوه بر تشخیص دارایی‌ها و زیرساخت‌های حیاتی از غیرحیاتی، باعث افزایش بهره وری در مدیریت منابع و افزایش اثربخشی اقدامات در حفاظت از زیرساخت‌ها حیاتی می‌گردد. بنابراین لازمه تعیین اولویت‌ها، تعیین شاخص‌ها و معیارهایی است که با کمک آن بتوان ارزش و اهمیت زیرساخت‌ها را مورد ارزیابی قرار داد.

اگر چه، شناسایی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها از موضوعات مهم و چالش برانگیز در حوزه زیرساخت‌های حیاتی است (Lewis, et al, 2012, 2). در تعیین این‌که کدام یک از دارایی‌ها «حیاتی» تلقی می‌شوند، چالش‌های زیادی وجود دارد. به دلیل وجود شبکه‌ها، گره‌ها، پیوندها و وابستگی‌های متقابل بین بخش‌ها، اولویت‌بندی دارایی‌ها اغلب دشوار است. تصمیم‌گیرندگان اغلب «لیست‌های حیاتی» را بر مبنای ترس و وحشت عمومی مردم اولویت‌بندی می‌کنند که این معیار خطرات احتمالی واقعی را منعکس نمی‌کند. این ابهام در تدوین فهرست دارایی‌های حیاتی، مانع از تدوین درست اقدامات ایمن‌سازی می‌شود (CTED, 2017, 3). کشورها باید برنامه‌ریزی و هماهنگی‌های لازم را برای حفاظت از دارایی‌های کلیدی و زیرساخت‌های مهم، با اعمال معیارهای یکپارچه به منظور تعیین حساسیت، اولویت‌بندی دارایی‌ها انجام دهند (PPCIKA, 2003, 5). ضرورت و اهمیت حفظ و مراقبت از زیرساخت‌ها در برابر عوامل و شرایط تهدیدکننده با وجود محدودیت دولت‌ها و سازمان‌ها در تأمین منابع و سرمایه‌گذاری برای حفظ و مراقبت از تمامی زیرساخت‌های یک کشور، بر لزوم طبقه‌بندی زیرساخت‌ها بر اساس میزان اهمیت و حساسیت آن‌ها تاکید می‌نماید. از مزایای مهم طبقه‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. افزایش بهره‌وری و مدیریت بهینه منابع مالی دولت‌ها در زمینه سرمایه‌گذاری در امر حفظ و راهبری زیرساخت‌ها.

۲. افزایش توجه و تمرکز مدیران سازمان‌ها نسبت به زیرساخت‌ها و دارایی‌های حیاتی.

۳. ایجاد گفتمان مشترک در بین مدیران و ذی‌نفعان نسبت به دارایی‌ها و زیرساخت‌های حیاتی.

تعیین میزان اهمیت و حیاتی‌بودن زیرساخت‌ها، مستلزم شناسایی شاخص‌ها و معیارهایی است که از روایی و پایایی لازم برخوردار باشد. در این پژوهش، تعداد ۲۰ شاخص که در قبل توسط نگارندگان از طریق روش کتابخانه‌ای و اسنادی مورد

شناسایی قرار گرفته بود، به عنوان معیارهای اولیه مورد استفاده قرار گرفته است. این معیارها مبتنی بر رویکرد عملکردمحور شناسایی شده‌اند. در این تحقیق، معیارهای مذکور از لحاظ روایی و پایایی با استفاده از نظرات خبرگان موضوع، مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفته و سپس با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM) هر کدام از معیارها وزن‌دهی می‌شوند. بنابراین، دو هدف اصلی زیر در این تحقیق مورد نظر است:

۱. ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان اهمیت و حیاتی‌بودن زیرساخت‌ها؛

۲. محاسبه وزن شاخص‌ها و معیارهای مذکور.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱. زیرساخت‌های حیاتی

در تعریف زیرساخت‌ها و دارایی‌های حیاتی، تعاریف مختلفی بیان شده است. این تعاریف یک درک مشترک و مفهوم کلی از زیرساخت‌ها را ارائه می‌دهد. اگرچه در بیان مصادیق، شرایط اقتضائی هر کشوری، موجب شده است دسته‌بندی‌های مختلفی از زیرساخت‌ها و دارایی‌های مهم و حیاتی ارائه شود. در تعریف ارائه شده توسط انجمن مهندسین عمران آمریکا (ASCE 2009): زیرساخت‌های حیاتی شامل؛ سیستم‌ها، امکانات و دارایی‌های بسیار حیاتی است که تخریب یا عدم عملکرد آن‌ها می‌تواند تأثیر مخرب بر امنیت ملی، اقتصاد و یا امنیت اجتماعی، بهداشت و یا رفاه داشته باشد (Taylor, 2017, 14). در تعریف ارائه شده توسط پدرسون و همکاران آمده است؛ سلامت، ثروت و امنیت کشور به تولید و توزیع کالاها و خدمات خاص متکی است. مجموعه‌ای از دارایی‌های فیزیکی، فرآیندها و سازمان‌هایی که این کالاها و خدمات توسط آن تامین می‌شوند، به عنوان زیرساخت حیاتی نامیده می‌شوند (Pederson, et al, 2006, 11). بر اساس تعریف ارائه شده در دستورالعمل شورای اروپا (EC/۱۱۴/۲۰۰۸)، زیرساخت‌های حیاتی، به طور خاص، دارایی‌ها، سیستم‌ها و یا بخش‌هایی از سیستم‌ها تعریف می‌شوند که در حفظ عملکرد حیاتی؛ در ابعاد اجتماعی، بهداشت و سلامت اجتماعی، اقتصادی و امنیت ضروری است (European Council, 2008, 77). بر اساس تعریف اداره ارزیابی ریسک بلایای طبیعی سازمان ملل موسوم به UNISDR، زیرساخت‌های حیاتی (CI) به عنوان دارایی‌ها یا سیستم‌هایی تعریف می‌شوند که برای حفظ کارکردهای اقتصادی و اجتماعی جامعه بسیار مهم هستند (UNISDR, 2017, 89). دولت استرالیا، زیرساخت‌های حیاتی را «امکانات فیزیکی، زنجیره‌های عرضه، فن‌آوری‌های اطلاعاتی و شبکه‌های ارتباطی می‌داند که در صورت تخریب، شکست و یا غیرقابل دسترس بودن برای یک دوره طولانی، به طور قابل توجهی بر سلامت اجتماعی یا اقتصادی کشور یا بر توانایی استرالیا در انجام دفاع ملی و تامین امنیت ملی تاثیر می‌گذارد» (Rehak, et al, 2016, 2).

بر اساس تعریف مولر، زیرساخت حیاتی مجموعه‌ای از سیستم‌ها، شبکه‌ها و دارایی‌هایی است که خدمات و قابلیت‌های حیاتی را برای جامعه هدف ارائه می‌دهند (Muller, 2012, 2). دولت کانادا، در استراتژی ملی زیرساخت‌های حیاتی، موارد زیر را در تعریف از زیرساخت حیاتی ارائه می‌دهد: زیرساخت‌های حیاتی به فرآیندها، سیستم‌ها، امکانات، فن‌آوری‌ها، شبکه‌ها، دارایی‌ها و خدمات ضروری برای سلامتی، ایمنی، امنیت و رفاه اقتصادی کانادایی‌ها و عملکرد موثر دولت اشاره دارد. اختلال در زیرساخت‌های حیاتی می‌تواند منجر به از دست رفتن زندگی و فجایع، اثرات نامطلوب اقتصادی و صدمه به اعتماد عمومی شود (Taylor, 2017, 15).

۲-۲. مفهوم حیاتی‌بودن زیرساخت

«زیرساخت حیاتی اروپا»، یا «ECI» به معنای زیرساخت‌های حیاتی واقع در کشورهای عضو است که اختلال یا تخریب آن می تواند حداقل در دو کشور عضو تاثیر به سزایی داشته باشد. اهمیت تاثیر باید از نظر معیارهای متقاطع ارزیابی شود. که شامل

اثرات ناشی از وابستگی متقابل به سایر زیرساخت‌ها می‌شود (COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC, 2008, 77). زیرساخت به طور کلی به عنوان یکی از پایه‌های اقتصادی و سازمانی ضروری برای جوامع محسوب می‌شود. در گفتمان علمی مفهوم حیاتی بودن در زیرساخت‌های حیاتی در رویکرد مبتنی بر پیامد، مورد توجه قرار گرفته است. به این معنی که، اهمیت یک زیرساخت، بر اساس پیامدهای سیستمیک، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی که بر اثر یک اختلال ایجاد می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود (Hempel, et al, 2018, 4). شناسایی و اولویت‌بندی از موضوعات مهم و چالش برانگیز در یک زیرساخت حیاتی است (Lewis, et al, 2012, 2). در تعیین این‌که چه دارایی‌هایی باید «حیاتی» تلقی شوند، مشکلات بسیاری وجود دارد. به دلیل اتصال های متراکم، شبکه‌ها، گره‌ها، پیوندها و وابستگی‌های متقابل بین بخش‌ها، اولویت‌بندی اغلب دشوار است (CTED, 2017, 3). زیرساخت‌ها در صورتی «حیاتی» محسوب می‌شوند؛ که تخریب بالقوه آن‌ها بتواند کل سازمان دفاعی و اقتصادی یک کشور یا یک شهر را تضعیف کند (Serre, Heinzlef, 2018, 2). شاخص‌هایی نظیر؛ تاثیر بر جامعه، تاثیر بر اقتصاد، تاثیرات بر محیط، تاثیرات سیاسی و تاثیرات هم‌افزا و تجمعی اثرات تکی می‌تواند برای ارزیابی اهمیت زیرساخت‌ها استفاده شود (Dvorak, et al, 2017, 2). بعضی از سیستم‌های زیرساختی زمانی به عنوان «حیاتی» شناخته می‌شوند که به معنای کلی، وجود آن‌ها برای جوامع بسیار مهم می‌باشد، بنابراین نیاز به طراحی، مدیریت و محافظت دارند تا احتمال شکست یا عدم در دسترس بودن آن‌ها حداقل گردد. انرژی، آب، حمل و نقل و سیستم‌های مخابراتی را می‌توان از این دسته نام برد (Taylor, 2017, 1). از نظر سالیوانت میزان حیاتی بودن و حساسیت یک دارایی از چهار بُعد بررسی می‌شود، بعد اول؛ اهمیت آن دارایی برای بنگاه، مشتری و جامعه است، بعد دوم؛ میزان آسیب‌پذیری دارایی است، بعد سوم؛ میزان اهمیت و جذابیت دارایی برای دشمن است و بعد چهارم؛ واکنش عمومی در به خطر افتادن امنیت و تاثیر آن بر خدمات مورد نیاز جامعه است (Sullivant, 2007, 142). دورک و دیگران، معیارهایی را برای تعیین میزان حیاتی بودن زیرساخت‌های حیاتی تعریف نمودند که شامل؛ ۱) زیان اقتصادی، ۲) احتمال اختلال در عرضه کالاها و ۳) احتمال اختلال در ارائه خدمات عمومی می‌باشد (Dvorak, et al, 2013, 4). دارایی‌های کلیدی اهداف فردی را نشان می‌دهد که تخریب آن‌ها می‌تواند باعث خسارت در مقیاس بزرگ، مرگ یا نابودی اموال و یا آسیب جدی به اعتبار و اعتماد به نفس ملی یک کشور شود. چنین دارایی‌ها و فعالیت‌هایی به تنهایی ممکن است برای تداوم خدمات مهم در مقیاس ملی حیاتی نباشد، اما حمله به هر یک از آن‌ها می‌تواند در بدترین حالت ضرر قابل توجهی را به بار آورد و دارای پیامدهایی در حوزه بهداشت و سلامت عمومی باشد. این طبقه شامل امکاناتی از قبیل نیروگاه‌های هسته‌ای، سدها و تأسیسات ذخیره مواد خطرزا است. حملات تروریستی موفقیت‌آمیز علیه چنین دارایی‌ها می‌تواند تاثیر عمیقی بر افکار عمومی ملی داشته باشد (PPCIKA, 2003, 19).

۲-۳. رویکردهای مطرح در طبقه‌بندی زیرساخت‌ها

شاخص‌هایی که توسط محققین در طبقه‌بندی زیرساخت‌ها ارائه شده است، مبتنی بر دو رویکرد اصلی است.

۱. طبقه‌بندی زیرساخت‌ها با رویکرد عملکردمحور؛

۲. طبقه‌بندی زیرساخت‌ها مبتنی بر رویکرد پیامدمحور یا ریسک محور.

در رویکرد عملکردمحور، میزان اهمیت زیرساخت‌های حیاتی و دارایی‌های کلیدی به نقش عملکردی و کارکردی آنان در رشد و توسعه جوامع مرتبط است. به طوری‌که، بیشتر در پی کشف و شناسایی ارزش ذاتی یک زیرساخت یا دارایی است. فارغ از این‌-که عوامل بیرونی و داخلی اعم از تهدیدات و ضعف‌ها کدام است. اگرچه این عوامل در عملکرد زیرساخت‌ها تأثیرگذار می‌باشد. در رویکرد دوم، طبقه‌بندی زیرساخت‌ها و دارایی‌ها بر اساس پیامدها یا ریسک‌هایی انجام می‌پذیرد که تابعی از متغیرها و یا عناصری نظیر؛ تهدید، آسیب‌پذیری، احتمال وقوع، جذابیت برای دشمن و غیره می‌باشد. دامنه تغییرات این متغیرها و عناصر می تواند نتایج متفاوتی را از میزان اهمیت یک دارایی یا زیرساخت، ارائه دهد.

۳. اهداف و فرضیه‌های پژوهش

هرگونه آسیب یا اختلال در عملکرد زیرساخت‌ها، می‌تواند پیامدهای جبران ناپذیری را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، نظامی، بهداشت و سلامت عمومی در یک جامعه در پی داشته باشد. بنابراین تلاش دولت‌ها برای حفظ و راهبری زیرساخت‌ها با توجه به محدودیت‌های موجود در تأمین منابع مالی، این ضرورت را ایجاب می‌نماید که زیرساخت‌ها بر اساس میزان حساسیت و اهمیتی که در پایداری جوامع دارند مورد شناسایی، ارزیابی و طبقه‌بندی قرار گیرند. دو هدف اصلی در این تحقیق مورد نظر است:

۱. ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان اهمیت و حیاتی‌بودن زیرساخت‌ها مبتنی بر رویکرد عملکردمحور و ارزش ذاتی آنان؛

۲. محاسبه وزن شاخص‌ها و معیارهای حیاتی بودن زیرساخت‌ها.

از اهداف فرعی این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. افزایش بهره‌وری و مدیریت بهینه منابع مالی دولت‌ها در زمینه سرمایه‌گذاری در امر حفظ و راهبری زیرساخت‌ها؛

۲. افزایش توجه و تمرکز مدیران سازمان‌ها نسبت به زیرساخت‌ها و دارایی‌های حیاتی؛

۳. ایجاد گفتمان مشترک در بین مدیران و ذی‌نفعان نسبت به دارایی‌ها و زیرساخت‌های حیاتی.

۴. روش تحقیق

پژوهش حاضر با توجه به عنوان و موضوع آن از لحاظ هدف کاربردی و روش مورد استفاده در این پژوهش «توصیفی و تحلیلی» می‌باشد. هدف این تحقیق، ارزیابی و اعتباریابی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان اهمیت و حساسیت زیرساخت‌ها و دارایی‌های حیاتی می‌باشد. برای جمع‌آوری داده‌ها از شیوه پرسش‌نامه محقق‌ساخته استفاده شده است.

جامعه آماری این تحقیق، مدیران، کارشناسان و خبرگان مرتبط با موضوع تحقیق می‌باشند. در این پژوهش از تعداد ۵۳ نفر از کارشناسان، خبرگان و مدیران مرتبط با موضوع تحقیق به عنوان نمونه آماری استفاده شده است. نمونه آمار شامل دو دسته می باشد. دسته اول شامل «خبرگان منتخب» است که در تأیید روایی پرسش‌نامه‌ها و وزن‌دهی معیارها مشارکت دارند و دسته دوم کارشناسان و سایر خبرگان هستند که در سایر مراحل تحقیق مشارکت نموده‌اند. برای نمونه‌گیری در دسته اول از روش قضاوتی و هدفمند و برای نمونه‌گیری در دسته دوم از روش تصادفی ساده استفاده است. کارشناسان و خبرگان موضوع در تحقیق حاضر، حائز یکی از شرایط ذیل می‌باشند:

۱. برخورداری از سابقه اجرایی در حوزه زیرساخت‌ها؛

۲. برخورداری از دانش علمی و تخصصی در زمینه زیرساخت‌ها و یا حوزه‌های مرتبط با آن؛

۳. دارا بودن حداقل تحصیلات در مقطع کارشناسی.

بر اساس مطالعات نظری، پرسش‌نامه‌های اولیه شامل ۲۶ سوال و گویه مرتبط با معیارها و شاخص‌های حیاتی بودن زیرساخت‌ها بوده که به منظور ارزیابی روایی محتوی در اختیار خبرگان منتخب قرار گرفت. شاخص‌ها و گویه‌های که روایی محتوی آن تأیید نشود از پرشسنامه حذف می‌شوند. سپس پرسشنامه جدید، در اختیار نمونه آماری قرار گرفت و با استفاده از روش دلفی در سه مرحله نظرات افراد گردآوری شد. سنجش روایی محتوی طبق شاخص VCI، روایی همگرا بر اساس شاخص CR با استفاده از ضریب بارعاملی، روایی واگرا به روش HTMT و پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ انجام شد. شاخص هایی که از روایی و پایایی لازم برخوردار نبوده از فهرست حذف شدند. در مرحله بعد وزن‌دهی هر یک از شاخص‌ها و مولفه‌ها با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM) انجام پذیرفت. وزن نهایی هر شاخص از حاصلضرب وزن مولفه در وزن شاخص محاسبه گردید.

۵. یافته‌ها

۵-۱ وضعیت‌سنجی پاسخ‌دهندگان

برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از نمونه آماری ۵۳ نفری از کارشناسان، مدیران و خبرگان مرتبط با موضوع تحقیق استفاده شده است. در این بخش آمار افرادی که در جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از پرسش‌نامه همراهی نموده‌اند، بیان شده است.

جدول (۵-۱): فراوانی پاسخ‌دهندگان بر اساس میزان سن افراد

گروه سنی	فراوانی	درصد
۳۵-۳۰	۵	۱۰
۴۰-۳۶	۲۳	۴۳
۴۵-۴۱	۱۱	۲۰
بالاتر از ۴۶	۱۴	۲۷

همان‌طور که در جدول شماره ۵-۱ ملاحظه می‌شود، از تعداد ۵۳ نفر پاسخ‌دهنده، ۵ نفر به میزان ۱۰ درصد بین ۳۱- ۳۵ سال، ۲۳ نفر به میزان ۴۳ درصد بین ۳۶- ۴۰ سال، ۱۱ نفر به میزان ۲۰ درصد بین ۴۱- ۴۵ سال، ۱۴ نفر به میزان ۲۷ درصد بین ۴۶ سال به بالا می‌باشند. این آمار حاکی از آن است که عموم پاسخ‌دهندگان دارای سن‌های قابل قبولی برای احراز خبرگی می‌باشند. لذا می‌توان با توجه به این امر پاسخ آن‌ها را قابل قبول دانست.

جدول (۵-۲): فراوانی پاسخ‌دهندگان بر اساس مقطع تحصیلی

تحصیلات	فراوانی	درصد
لیسانس	۲۲	۴۱
فوق‌لیسانس	۲۷	۵۱
دکتری	۴	۸

در جدول شماره ۵-۲ ملاحظه می‌شود، از بین ۵۳ نفر پاسخ‌دهنده، تعداد ۲۲ نفر به میزان ۴۱ درصد دارای مدرک کارشناسی و تعداد ۲۷ نفر به میزان ۵۱ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و تعداد ۴ نفر به میزان ۸ درصد دارای مدرک دکتری می‌باشند. به عبارتی دیگر ۱۰۰ درصد پاسخ‌دهندگان تحصیلات کارشناسی و بالاتر دارند. این موضوع اعتمادپذیری بیشتری را نسبت به نظرات کارشناسی بیان شده فراهم می‌سازد.

جدول (۵-۳): فراوانی پاسخ‌دهندگان بر اساس سوابق کاری

سوابق کاری	فراوانی	درصد
کمتر از ۵	۳	۵
۱۰-۶	۲۰	۳۶
۱۵-۱۱	۹	۱۷
۲۰-۱۶	۱۰	۲۰
۲۵-۲۱	۱	۲
بالاتر از ۲۶	۱۰	۲۰

جدول شماره ۵-۳ بیان‌گر آن است که از بین ۵۳ نفر پاسخ‌دهنده، ۳ نفر به میزان ۵ درصد کمتر از ۵ سال سابقه کاری، تعداد ۲۰ نفر به میزان ۳۶ درصد دارای ۶-۱۰ سال سابقه کاری، تعداد ۹ نفر به میزان ۱۷ درصد دارای ۱۱ تا ۱۵ سال سابقه کاری، تعداد ۱۰ نفر به میزان ۲۰ درصد دارای ۱۶-۲۰ سال سابقه کاری، تعداد ۱ نفر به میزان ۲ درصد دارای ۲۱ تا ۲۵ سال سابقه کاری و تعداد ۱۰ نفر به میزان ۲۰ درصد دارای ۲۶ سال و بالاتر سابقه کاری می‌باشند. این آمار حاکی از آن است که اکثر افراد در موضوع تحقیق از خبرگی لازم برخوردار بوده و می‌توان نظرات ایشان را قابل اتکاء قلمداد نمود.

جدول (۵-۴): فراوانی پاسخ‌دهندگان بر اساس زمینه تخصصی افراد

زمینه تخصصی	فراوانی	درصد
برق	۷	۱۴
مدیریت شهری	۵	۹
پدافند غیرعامل	۱۱	۲۱
آب	۴	۸
انرژی	۹	۱۸
علوم سیاسی	۳	۵
جامعه شناسی	۲	۳
مخابرات	۵	۹
بهداشت و درمان	۳	۵
مدیریت	۴	۸

آمار ارائه شده در جدول شماره ۵-۴ نشان دهنده آن است که از بین ۵۳ نفر پاسخ‌دهنده، تعداد ۷ نفر به میزان ۱۴ درصد در حوزه برق، تعداد ۵ نفر به میزان ۹ درصد در حوزه مدیریت شهری، تعداد ۱۱ نفر به میزان ۲۱ درصد در حوزه پدافند غیرعامل، تعداد ۴ نفر به میزان ۸ درصد در حوزه آب، تعداد ۹ نفر به میزان ۱۸ درصد در حوزه انرژی، تعداد ۳ نفر به میزان ۵ درصد در حوزه علوم سیاسی، تعداد ۲ نفر به میزان ۳ درصد در حوزه جامعه شناسی، تعداد ۵ نفر به میزان ۹ درصد در حوزه مخابرات، تعداد ۳ نفر به میزان ۵ درصد در حوزه بهداشت و درمان و تعداد ۴ نفر به میزان ۸ درصد در حوزه مدیریت می‌باشند. آمار مذکور بیان‌گر آن است که حوزه تخصصی افراد با موضوع پژوهش مرتبط می‌باشد.

۵-۲ شناسایی اولیه شاخص‌های حیاتی بودن زیرساخت‌ها

بر اساس مطالعات انجام شده توسط نگارندگان تحت عنوان «تحلیلی بر شاخص‌های ارزیابی‌کننده میزان اهمیت و حیاتی بودن زیرساخت‌ها: رهیافت نظریه داده بنیاد»، تعداد ۲۶ شاخص تحت عنوان ۵ مولفه اصلی در قالب جدول شماره ۵-۶ مبتنی بر عملکردها و کارکردهای یک دارایی یا زیرساخت در رشد و توسعه جوامع شناسایی شده‌اند.

۵-۳ اعتبارسنجی معیارها و شاخص‌ها

برای ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌ها، روایی محتوی، همگرا و واگرا شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌ها که از روایی لازم برخوردار نبوده از فهرست معیارها حذف خواهند شد.

۵-۳-۱ روایی محتوی

ارزیابی روایی محتوی شاخص‌ها و گویه‌های مربوطه، توسط ۵۳ نفر از خبرگان بر اساس شاخص CVI با چهار گزینه (کاملاً مرتبط، مرتبط اما نیاز به بازبینی، نیاز به بازبینی اساسی و غیرمرتبط) انجام شده است. از پاسخ‌دهندگان خواسته شد، در خصوص میزان ارتباط شاخص‌ها با موضوع تحقیق پاسخ دهند. طبق نتایج مندرج در جدول شماره ۵-۶ شاخص‌هایی که ضریب روایی

محتوایی آن کمتر از ۰/۷۹ بوده از روایی محتوی برخوردار نمی‌باشند. بر اساس نظرات ارائه شده توسط خبرگان و محاسبه شاخص روایی محتویی، معیارهای «رفاه اقتصادی» و «خودباوری ملی» به علت آن‌که شاخص CVI آن کمتر از ۰/۷۹ بوده، از روایی محتوی برخوردار نبوده و از فهرست معیارها حذف شدند. در مرحله ارزیابی محتوی، تعدادی از پاسخ‌دهندگان معتقد بودند «رفاه اقتصادی» پیامد رشد اقتصادی، درآمد اقتصادی و اشتغال‌زایی بوده، به همین‌جهت در ارزیابی محتوی مورد تأیید پاسخ‌دهندگان قرار نگرفت و از فهرست شاخص‌ها حذف شد. از تعداد ۲۶ شاخص اولیه، تعداد ۲۴ شاخص دارای روایی محتوی بوده و مورد تأیید خبرگان قرار گرفت.

۵-۳-۲ بررسی روایی همگرا شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

روایی همگرا (Convergent Validity) یک سنجه کمی است که میزان همبستگی درونی و هم‌سویی گویه‌های سنجش یک مقوله را نشان می‌دهد. مفهوم روایی به این سوال پاسخ می‌دهد که ابزار اندازه‌گیری تا چه حد خصیصه مورد نظر را می‌سنجد. اگر همبستگی بین نمرات آزمون‌هایی که خصیصه‌ی واحدی را اندازه‌گیری می‌کند بالا باشد، پرسشنامه دارای اعتبار همگرا می باشد. به عبارتی اگر همبستگی بین بارهای عاملی بالا باشد، پرسشنامه دارای روایی همگرا می‌باشد. این همبستگی برای اطمینان از این که آزمون آنچه را که باید سنجیده شود می‌سنجد، ضروری است. برای بررسی روایی همگرا باید میانگین واریانس استخراج شده (AVE) و پایایی مرکب (CR) محاسبه شود. برای روایی همگرا باید روابط زیر بر قرار باشد:

$$0.7 < CR$$
$$AVE < CR \qquad (۱)$$
$$0.5 < AVE$$

برای سنجش روایی همگرا از شاخص لاندا (بارعاملی) که به شاخص گاتمن نیز معروف است استفاده شده است. این روش زمانی به کار می‌رود که هر دو متغیر مورد سنجش در سطح اسمی چند وجهی (چندارزشی) باشند. بار عاملی هر یک از زیرشاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه و احصاء شده است. روایی همگرا شاخص‌های هر یک از سازه‌ها یا مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه شده است. بر اساس نتایج مندرج در جدول شماره ۵-۷ و ۵-۸ ملاحظه می‌شود، ضریب CR در تمامی سازه‌ها بزرگتر از ۰/۷۰ بوده و AVE در تمام موارد بزرگتر از ۰/۵۰ و کمتر از CR می‌باشد. بنابراین، روایی همگرا شاخص‌ها تأیید می‌شود.

۵-۳-۳ روایی واگرا

روایی همگرا به همبستگی سوالات یک سازه باهم اشاره دارد و روایی واگرا (Discriminant Validity) بر عدم همبستگی بین سوالات یک سازه با سوالات سازه دیگر دلالت دارد. روایی واگرا نشان می‌دهد چقدر سوالات یک عامل با سوالات سایر عوامل تفاوت دارند. روایی واگرا معیاری است که نشان می‌دهد چقدر سنجه‌های عوامل متفاوت واقعا باهم تفاوت دارند. در یک پرسشنامه برای سنجش عوامل مختلف سوالات متعددی مطرح می‌شود بنابراین لازم است که مشخص شود این سوالات از یکدیگر متمایز بوده و باهم همپوشانی ندارند. در این پژوهش برای محاسبه روایی واگرا از روش HTMT استفاده شده است. حد مجاز معیار HTMT بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۰ می‌باشد. اگر مقادیر این معیار کمتر از ۰/۹۰ باشد روایی واگرا قابل قبول است. بر اساس مقایسات زوجی انجام شده در نرم‌افزار SPSS، مقادیر معیار HTMT محاسبه گردید. بر اساس مقادیر مندرج در جدول شماره ۵-۹، شاخص HTMT برای همه سازه‌ها کمتر از ۰/۹۰ بوده، بنابراین روایی واگرا تأیید می‌شود.

۵-۳-۴ بررسی پایایی (آلفای کرونباخ)

پایایی (Reliability) یک پرسشنامه به معنای آن است که ابزار اندازه‌گیری تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می‌دهد. بهترین روش محاسبه‌ی اندازه ثبات درونی، استفاده از ضریب آلفای کرونباخ در اندازه‌گیری پایایی یک پرسشنامه است. طبق تحلیل

انجام شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS، میزان ضریب آلفای کرونباخ برای ۲۴ شاخص، طبق جدول شماره ۵-۱۰ برابر با ۰/۸۵۱ محاسبه گردید. با عنایت به عدد محاسبه شده، پایایی پرسش‌نامه در حد خوب ارزیابی می‌شود.

جدول (۵-۶): بررسی روایی محتوی شاخص‌ها، بر اساس شاخص CVI

مولفه	شاخص	CVI	تأیید/رد
اقتصادی	ارزش ریالی زیرساخت	۰/۹۶	✓
	استقلال اقتصادی	۱/۰	✓
	ثبات اقتصادی	۱/۰	✓
	اشتغال	۰/۹۱	✓
	درآمد اقتصادی	۰/۹۲	✓
	رشد اقتصادی	۰/۹۸	✓
	زیان وارده	۰/۸۹	✓
	امنیت غذایی	۰/۹۶	✓
	رفاه اقتصادی	۰/۷۷	✗
اجتماعی	ثبات اجتماعی	۰/۹۸	✓
	شاخص جمعیتی (تعداد ذی‌نفعان و مشتریان)	۰/۸۹	✓
	رفاه اجتماعی	۰/۹۶	✓
	خودباوری ملی	۰/۷۴	✗
ایمنی و سلامت	تأمین چرخه سلامت	۰/۸۷	✓
	پایداری زیست محیطی	۰/۸۶	✓
	امنیت آب	۰/۹۶	✓
	تعداد جمعیت در معرض خطر	۰/۹۸	✓
سیاسی، نظامی - دفاعی	اعتبار سیاسی کشور	۰/۹۸	✓
	آسیب به ساختارها و نهادهای حکومتی	۰/۹۸	✓
	ثبات نظام سیاسی کشور	۰/۹۲	✓
	استقلال و تمامیت ارضی	۰/۹۸	✓
	توان دفاعی	۰/۹۸	✓
فنی - عملکردی	ضروری بودن کالا و خدمات	۰/۹۸	✓
	قابلیت جایگزینی و بازسازی	۰/۹۴	✓
	مدت زمان جایگزینی و بازسازی	۰/۹۱	✓
	وابستگی با سایر زیرساخت‌ها	۰/۹۲	✓

جدول (۵-۷): شاخص‌های نهایی

مولفه/سازه	اندیس	شاخص	اندیس
اقتصادی	A1	ارزش ریالی زیرساخت	C1
		استقلال اقتصادی	C2
		ثبات اقتصادی	C3
		اشتغال	C4
		درآمد اقتصادی	C5
		رشد اقتصادی	C6
		زیان وارده	C7
		امنیت غذایی	C8

اجتماعی	A2	ثبات اجتماعی	C9
		شاخص جمعیتی (تعداد ذی‌نفعان و مشتریان)	C10
		رفاه اجتماعی	C11
ایمنی و سلامت	A3	تأمین چرخه سلامت	C12
		پایداری زیست محیطی	C13
		امنیت آب	C14
		تعداد جمعیت در معرض خطر	C15
سیاسی، نظامی - دفاعی	A4	اعتبار سیاسی کشور	C16
		آسیب به ساختارها و نهادهای حکومتی	C17
		ثبات نظام سیاسی کشور	C18
		استقلال و تمامیت ارضی	C19
		توان دفاعی	C20
فنی - عملکردی	A5	ضروری بودن کالا و خدمات	C21
		قابلیت جایگزینی و بازسازی	C22
		مدت زمان جایگزینی و بازسازی	C23
		وابستگی با سایر زیرساخت‌ها	C24

جدول (۵-۸): بررسی روایی همگرا معیارها با استفاده از بارعاملی

سازه	شاخص	λ	λ^2	$\varepsilon = 1-\lambda^2$	$\sum\lambda^2$	$\sum\varepsilon$	n	$AVE=\frac{\sum\lambda^2}{n}$	$\sum\lambda$	$CR=\frac{(\sum\lambda)^2}{(\sum\lambda)^2+(\sum\varepsilon)}$
A1	C1	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۳۳	۵,۱۰	۲,۹۰	۸	۰,۶۴	۶,۳۱	**۰,۹۳**
	C2	۰,۹۲	۰,۸۵	۰,۱۵						
	C3	۰,۷۳	۰,۵۳	۰,۴۷						
	C4	۰,۹۰	۰,۸۱	۰,۱۹						
	C5	۰,۸۸	۰,۷۷	۰,۲۳						
	C6	۰,۷۷	۰,۵۹	۰,۴۱						
	C7	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۷۵						
	C8	۰,۷۹	۰,۶۳	۰,۳۷						
A2	C9	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۳۳	۱,۷۹	۱,۲۱	۳	۰,۶۰	۲,۲۹	**۰,۸۱**
	C10	۰,۶۰	۰,۳۷	۰,۶۳						
	C11	۰,۸۷	۰,۷۵	۰,۲۵						
A3	C12	۰,۷۰	۰,۴۹	۰,۵۱	۲,۵۳	۱,۴۷	۴	۰,۶۳	۳,۱۶	**۰,۸۷**
	C13	۰,۷۴	۰,۵۵	۰,۴۵						
	C14	۰,۸۰	۰,۶۵	۰,۳۵						
	C15	۰,۹۲	۰,۸۴	۰,۱۶						
A4	C16	۰,۸۹	۰,۷۹	۰,۲۱	۳,۷۶	۱,۲۴	۵	۰,۷۵	۴,۳۳	**۰,۹۴**
	C17	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۳۳						
	C18	۰,۹۲	۰,۸۵	۰,۱۵						
	C19	۰,۷۹	۰,۶۳	۰,۳۷						
	C20	۰,۹۱	۰,۸۲	۰,۱۸						
A5	C21	۰,۸۵	۰,۷۱	۰,۲۹	۲,۸۷	۱,۱۳	۴	۰,۷۲	۳,۳۸	**۰,۹۱**
	C22	۰,۹۰	۰,۸۱	۰,۱۹						
	C23	۰,۸۹	۰,۷۹	۰,۲۲						
	C24	۰,۷۵	۰,۵۶	۰,۴۴						

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول (۵-۹): بررسی روایی واگرا به روش HTMT

	سازه	A1	A2	A3	A4	A5
		اقتصادی	اجتماعی	ایمنی و سلامت	سیاسی، نظامی-دفاعی	فنی-عملکردی
A1	اقتصادی		۰,۲۹	۰,۴۹	۰,۵۱	۰,۸۹
A2	اجتماعی			۰,۰۶	۰,۵۴	۰,۴
A3	ایمنی و سلامت				۰,۳۴	۰,۳۱
A4	سیاسی، نظامی-دفاعی					۰,۵۷
A5	فنی-عملکردی					

جدول (۵-۱۰): ارزیابی پایایی با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.851	24

۵-۳-۵ وزن‌دهی مولفه‌های اصلی و شاخص‌ها به روش بهترین-بدترین BWM

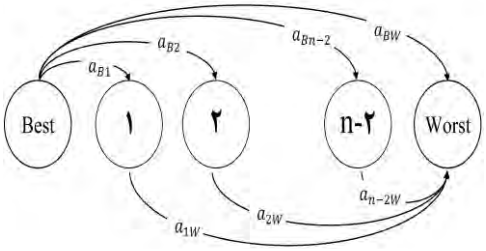
در گام اول روش بهترین-بدترین، مجموعه شاخص‌های به صورت $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ و مولفه‌های اصلی به صورت $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ تعریف می‌شود.

۵-۳-۵-۱ شناسایی بهترین و بدترین مولفه اصلی و شاخص

در گام دوم، بهترین (مهم‌ترین، مطلوب‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین و کم‌ترین مطلوبیت) معیار از بین تمامی شاخص‌ها مشخص می‌شود که به آن‌ها اصطلاحاً best و worst گفته می‌شود. در این مرحله تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین مولفه یا شاخص را به طور کلی تعریف می‌کند و هیچ مقایسه‌ای در این مرحله انجام نمی‌پذیرد. در مرحله اول، با اهمیت‌ترین (بهترین) و کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) مولفه یا شاخص در هر گروه یا دسته بر مبنای نظرات ده نفر از خبرگان منتخب تعیین گردید. در جداول شماره ۵-۱۲ و ۵-۱۳ بااهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین مولفه و شاخص و امتیاز هر یک از آنان بیان شده است.

۵-۳-۵-۲ مقایسات زوجی و محاسبه وزن مولفه‌ها و شاخص‌ها

در گام سوم روش بهترین-بدترین، انجام مقایسات زوجی و تعیین ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها با اعداد ۱ تا ۹ ساعتی مشخص می‌شود به طوری‌که عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان دو معیار و عدد ۹ نشان‌دهنده این است که بهترین معیار نسبت به معیارهای دیگر بسیار مهم‌تر است. بردار ارجحیت بهترین شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها به صورت $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ نمایش داده می‌شود. در بردار ذکر شده، a_{Bj} نشان‌دهنده ارجحیت بهترین شاخص (B) نسبت به شاخص (j) هست، واضح است که $a_{BB} = 1$ است.



شکل (۵-۱): نحوه انجام مقایسات زوجی در روش BWM (Rezaei, 2015)

در گام چهارم: ارجحیت همه شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص با اعداد ۱ تا ۹ ساعتی مشخص می‌شود به طوری‌که عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان دو معیار و عدد ۹ نشان‌دهنده این است که معیار مورد نظر نسبت به بدترین معیار بسیار مهم‌تر است.

بردار ارجحیت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص را به صورت $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})$ نمایش داده می‌شود. در بردار ذکر شده، a_{jW} ارجحیت شاخص (j) نسبت به بدترین شاخص (W) می‌باشد، واضح است که $a_{WW} = 1$ است (Rezaei, 2015).

در گام پنجم: مقادیر بهینه وزن‌ها $(w_1, w_2, \dots, w_n)$ محاسبه می‌شود. برای تعیین وزن بهینه هر یک از شاخص‌ها، زوج‌های $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ و $\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}$ تشکیل شده، سپس برای برآورده کردن این شرایط در همه j ها، باید راه حلی پیدا شود تا عبارات $\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right|$ را برای همه j هایی که حداقل شده است، حداکثر نماید. با توجه به غیرمنفی بودن وزن‌ها و مجموع اوزان می‌توان مدل را به صورت رابطه ۲ و ۳ فرموله کرد.

$$\min \max_j \left\{\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right|, \left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right|\right\} \quad (۲)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{for all } j$$

هم‌چنین می‌توان مدل فوق را به مدل زیر تبدیل کرد:

$$\min \xi$$

$$\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right| \leq \xi, \text{for all } j$$

$$\left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right| \leq \xi, \text{for all } j \quad (۳)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{for all } j$$

البته مدل خطی تابع فوق نیز به صورت رابطه ۴ به شکل زیر ارائه شده است و در این مقاله اوزان شاخص‌ها با استفاده از مدل خطی به دست می‌آیند.

$$\min \xi$$

$$|w_B - a_{Bj} w_j| \leq \xi, \text{for all } j$$

$$|w_j - a_{jw} w_w| \leq \xi, \text{for all } j \quad (۴)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{for all } j$$

با حل مدل فوق، مقادیر بهینه $(w_1, w_2, \dots, w_n)$ و ξ (زِتا) به دست می‌آید.

۵-۳-۵-۳ محاسبه نرخ سازگاری در روش BWM

مقایسه؛ زمانی به صورت کامل سازگار محسوب می‌شود که رابطه ذیل برای تمامی j ها برقرار باشد. $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ که در آن a_{jw} ، a_{Bj} و a_{BW} به ترتیب اولویت‌های بهترین معیار نسبت به معیار j ، اولولیت معیار j نسبت به بدترین معیار، و اولویت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار خواهند بود. از آنجاییکه $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ است، می‌توان حداکثر مقدار ξ را به دست آورد. نرخ سازگاری در بازه $[1,0]$ قرار می‌گیرد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردار هستند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردار می‌باشند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

با استفاده از ξ (زِتا) به دست آمده، نرخ سازگاری محاسبه می‌شود. واضح است که مقدار ξ بزرگ‌تر نشان‌دهنده نرخ سازگاری بالاتری می‌باشد. از آن‌جایی‌که $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ و $a_{BW} \in \{1,2,\dots,9\}$ می‌باشد، می‌توان حداکثر ξ به دست آورد. با استفاده از شاخص‌های سازگاری موجود در جدول ۵-۱۱ و فرمول ارائه شده (رابطه ۵) می‌توان نرخ سازگاری را محاسبه کرد.

جدول (۵-۱۱) : شاخص سازگاری روش بهترین-بدترین BWM

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۷/۴۷	۵/۲۳

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (۵)$$

هر چه مقادیر نرخ سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد نتایج سازگاری بیشتری دارد.

۵-۳-۵-۳ محاسبه وزن هر یک از مولفه‌های اصلی

بر اساس روش بهترین-بدترین در مواردی که تعداد شاخص‌ها بیش از ۹ باشد. لازم است این شاخص‌ها در قالب چند گروه اصلی دسته‌بندی شوند. حاصلضرب وزن مولفه اصلی در وزن شاخص، وزن نهایی هر کدام از شاخص‌ها را تعیین می‌نماید. جدول شماره ۵-۱۲، وزن هر یک از مولفه‌های اصلی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مولفه «اقتصادی» با وزن ۲۸ درصد، «اجتماعی» با وزن ۱۵ درصد، «ایمنی و سلامت» با وزن ۲۳ درصد، «سیاسی، نظامی-دفاعی» با وزن ۲۳ درصد و «فنی-عملکردی» با وزن ۱۱ درصد به ترتیب بیشترین تا کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نرخ سازگاری برای تمامی مولفه‌ها در بازه صفر تا یک و کمتر از ۰/۲۵ قرار دارند.

۵-۳-۵-۴ محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها

بر اساس روش بهترین-بدترین، در هر گروه بااهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین شاخص بر اساس پرسشنامه‌هایی که بر اساس طیف پنج درجه‌ای لیکرت تهیه شده، مورد ارزیابی و بعد از انجام مقایسه بهترین سایر شاخص‌ها و مقایسه سایر شاخص‌ها با کم‌اهمیت ترین شاخص، محاسبات مربوطه انجام و نتایج در قالب جدول شماره ۵-۱۳ ارائه شد.

۵-۳-۵-۳ محاسبه وزن نهایی هر یک از شاخص‌ها

طبق روش بیان شده در روش بهترین-بدترین، وزن نهایی هر شاخص، از حاصلضرب وزن مولفه اصلی در وزن هر شاخص، محاسبه می‌شود. در جدول شماره ۵-۱۳، وزن‌نهایی هر یک از زیرشاخص‌ها که از حاصلضرب مولفه اصلی در وزن شاخص به دست آمده، نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، شاخص «تعداد جمعیت در معرض خطر» با وزن ۸,۵ درصد، «استقلال و تمامیت ارضی» با وزن ۷,۸ درصد و «توان دفاعی» با وزن ۷,۸ درصد به ترتیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نرخ سازگاری برای تمامی مولفه‌ها در بازه صفر تا یک قرار دارند و نرخ سازگاری مورد تأیید قرار گرفت.

جدول (۵-۱۲): وزن مولفه اصلی و کنترل نرخ سازگاری

سازه/ مولفه	اندیس	بهترین	کم‌اهمیت‌ترین	وزن شاخص W_A	نرخ سازگاری ksi
اقتصادی	A1	✓		۰,۲۸	۰,۱۶۷
اجتماعی	A2			۰,۱۵	
ایمنی و سلامت	A3			۰,۲۳	
سیاسی، نظامی-دفاعی	A4			۰,۲۳	
فنی-عملکردی	A5		✓	۰,۱۱	

جدول (۵-۱۳): وزن نهایی شاخص‌ها

سازه	وزن سازه	شاخص	اندیس	بهترین	کم‌اهمیت-ترین	وزن شاخص	نرخ سازگاریksi	وزن نهایی
اقتصادی	۰,۲۸	ارزش ریالی زیرساخت	C1			۰,۰۶	۰,۰۹۴۷	۱,۷
		استقلال اقتصادی	C2	✔		۰,۲۲		۶,۲
		ثبات اقتصادی	C3			۰,۱۶		۴,۴
		اشتغال	C4			۰,۱۱		۳,۱
		درآمد اقتصادی	C5			۰,۱۰		۲,۸
		رشد اقتصادی	C6			۰,۱۶		۴,۴
		زیان وارده	C7		✔	۰,۰۳		۱
		امنیت غذایی	C8			۰,۱۶		۴,۴
اجتماعی	۰,۱۵	ثبات اجتماعی	C9			۰,۳۱	۰,۱۵۳	۴,۶
		شاخص جمعیتی (تعداد ذی‌نفعان و مشتریان)	C10		✔	۰,۲۳		۳,۵
		رفاه اجتماعی	C11	✔		۰,۴۶		۶,۹
ایمنی و سلامت	۰,۲۳	تأمین چرخه سلامت	C12		✔	۰,۱۳	۰,۶۲۵	۳
		پایداری زیست محیطی	C13			۰,۱۹		۴,۴
		امنیت آب	C14			۰,۳۱		۷,۱
		تعداد جمعیت در معرض خطر	C15	✔		۰,۳۷		۸,۵
سیاسی، نظامی-دفاعی	۰,۲۳	اعتبار سیاسی کشور	C16		✔	۰,۱۰	۰,۰۴۸۳	۲,۳
		آسیب به ساختارها و نهادهای حکومتی	C17			۰,۱۰		۲,۳
		ثبات نظام سیاسی کشور	C18			۰,۱۲		۲,۸
		استقلال و تمامیت ارضی	C19	✔		۰,۳۴		۷,۸
		توان دفاعی	C20			۰,۳۴		۷,۸
فنی-عملکردی	۰,۱۱	ضروری بودن کالا و خدمات	C21	✔		۰,۴۸	۰,۰۶۸۹	۵,۳
		قابلیت جایگزینی و بازسازی	C22			۰,۱۴		۱,۵
		مدت زمان جایگزینی و بازسازی	C23		✔	۰,۱۰		۱,۱
		وابستگی با سایر زیرساخت‌ها	C24			۰,۲۸		۳,۱

۶. بحث و نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها یکی از ضرورت‌هایی است که دولت‌ها ناگزیر هستند به دلیل وجود محدودیت در منابع و افزایش بهره‌وری و مدیریت بهینه منابع به آن توجه ویژه‌ای نمایند. تاکنون، شیوه‌های مختلفی برای طبقه‌بندی زیرساخت‌ها و دارایی‌ها ارائه شده است که غالب این روش‌ها مبتنی بر رویکرد پیامدمحور یا ریسک محور می‌باشد. رویکرد مورد نظر در این تحقیق، مبتنی بر رویکرد عملکردمحور بوده است. در این رویکرد توجه اصلی به مأموریت‌ها و فلسفه وجودی زیرساخت و یا دارایی‌ها است. نقش عملکردی و کارکردی زیرساخت‌ها در رشد و توسعه جوامع به عنوان اصل محوری و بنیادی در تعیین شاخص‌ها و معیارهای اولیه مورد توجه قرار گرفته است. به عبارتی ارزش و اهمیت زیرساخت‌ها بر اساس ارزش ذاتی آنان محاسبه می‌شود. مطالعه انجام شده بر روی ۲۶ شاخص اولیه و بررسی روایی و پایایی شاخص‌ها، منجر به تأیید نهایی ۲۴ شاخص گردید. وزن‌دهی شاخص‌ها بر اساس روش بهترین-بدترین (BWM) انجام گردید. بر اساس محاسبات انجام شده مبتنی بر نظرات خبرگان منتخب، شاخص «تعداد جمعیت در معرض خطر» با وزن ۸,۵ درصد، «استقلال و تمامیت ارضی» با وزن ۷,۸ درصد و «توان دفاعی» با وزن ۷,۸ درصد به ترتیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. در این مطالعه، مدل ارائه شده برای ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌ها و وزن‌دهی آن‌ها، می‌تواند به عنوان مدل اولیه برای تعیین اولویت‌ها و رتبه‌بندی زیرساخت‌های حیاتی و دارایی‌های کلیدی مورد استفاده تصمیم‌گیران و مدیران سازمان‌ها قرار گیرد. چارچوب پیشنهادی از نظر تنوع شاخص های حائز اهمیت است. طبقه‌بندی زیرساخت‌ها به تصمیم‌گیران کمک می‌نماید تا سیاست‌ها و برنامه‌هایی را برای بهبود کارایی و عملکرد زیرساخت‌ها با توجه به میزان اهمیت آن‌ها طراحی و پیش‌بینی نمایند.

منابع

Aaron Burkhart, (2017), Lifeline Infrastructure Risk Analysis Application, University of Colorado at Colorado Springs, 2015.

"CTED" Trends Report, (2017), Physical Protection Of Critical Infrastructure A gainst Terrorist Attacks.

Dvorak, Z., Sventekova, E.,(2013), Evaluation of the resistance critical infrastructure in Slovak Republic, (JEMC) Vol. 3, No. 1, 2013, 1-5.

Dvorak, Z., Sventekov E., Rehak, D., Cekerevac, Z., (2017), Assessment of Critical Infrastructure Elements in Transport, Procedia Engineering 187, 548 – 555, https://doi.org /10.1016 / j.proeng.2017.04.413.

European Council, Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008, on the Identification and Designation of European Critical Infrastructures and the Assessment of the Need to Improve Their Protection, Brussels, Belgium.

Feofilovs, M., Romagnoli, F., (2017), Resilience of critical infrastructures: probabilistic case study of a district heating pipeline network in municipality of Latvia, Energy Procedia 128, 17–23, http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.007.

Hempel, L., Kraff D., Pelzer R., (2018), Dynamic Interdependencies: Problematising Criticality Assessment in the Light of Cascading Effects, International Journal of Disaster Risk Reduction, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.04.011.

Labaka, L., Hernantes, J., Sarriegi, J.M., (2016), A holistic framework for building critical infrastructure resilience, Technological Forecasting & Social Change 103, 21–33, http://dx. doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.005.

Lewis, T.G., Darken, R.P., Mackin, T., Dudenhoeffer, D., (2012), Model-based risk analysis for critical infrastructures, " ISSN 1755-8336 (2012)" https://doi.org/ 10.2495/978-1-84564-562-5/01.

Mikellidou, C.V., Shakou, L.M., Boustras, G., Dimopoulos C., (2017), Energy critical infrastructures at risk from climate change: A state of the art Review, Safety Science, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.022.

Muller, G., (2012), Fuzzy architecture assessment for critical infrastructure resilience, Procedia Computer Science 12, 367–372, https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.09.086.

National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets (PPCIKA), (2003).

Pederson, P., Dudenhoeffer D.,, Hartley, S., Permann, M., (2006), Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research, Idaho National Laboratory Idaho Falls, Idaho 83415, INL/EXT-06-11464.

Rehak, D., Markuci, J., Hromada, M., Barcova, K., (2016), Quantitative evaluation of the synergistic effects of failures in a critical infrastructure system, international journalof critical infrastructure protection1 4, 3–17, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcip.2016.06.002.

Rezaei, j. (2015), Best-worst muliti-criteria decision-making method. Omega, 53, 49-57.

Serre, D., Heinzlef, C., (2018), Assessing and mapping urban resilience to floods with respect to cascading effects through critical infrastructure networks, International Journal of Disaster Risk Reduction, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.018.

Sullivant, j., (2007), Strategise for Protecting National Critical Infrastructure Assets, ISBN: 978-0-471-79926-9.

Taylor, (2017), Vulnerability Analysis for Transportation Networks, ISBN: 978-0-12-811010-2, http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811010-2.00002-2.

UNISDR, (2017), National Disaster Risk Assessment, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).

نحوه ارجاع به مقاله:

حسینعلی بیکی، غلامرضا؛ اکبرپورنیک قلب رشتی، عباس؛ حسینی، سیدعظیم؛ عباسیان جهرمی، حمیدرضا؛ (۱۴۰۱) ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان حیاتی بودن و اهمیت زیرساخت‌ها به روش بهترین-بدترین (BWM)، جغرافیا و مطالعات محیطی ۱۱ (۴۲)، ۱۲۱-۱۰۶،

Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.42.7.6

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.