Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 8, No. 4, PP. 70-84, Winter 2024
DOI: 10.22112/JWWSE.2023.378307.1340

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هشتم، شماره ۴، صفحات ۷۰-۸۴، زمستان ۱۴۰۲

Research Paper

Evaluating Maintenance Strategies of Service Companies' Physical Assets with a Green Approach Using the Fuzzy Hierarchical Analysis Method - Case Study: Water and Waste Water Company of Tehran Province

Reza Shahrjardi[1*] and Mostafa Gurbanpour Delivand[2]

1- Assistant Professor, Department of Industrial, Mechanical and Aerospace Engineering, Buin Zahra Technical and Engineering University, Buin Zahra, Qazvin, Iran.

2- B.Sc. in Industrial Engineering, Buin Zahra Technical and Engineering University, Buin Zahra, Qazvin, Iran.

* Corresponding Author, Email: r.shahrjerdi@yahoo.com

Received: 03/01/2023
Revised: 03/05/2023
Accepted: 16/05/2023
© IWWA

Abstract

Population increment, industries growth and development in order to satisfy the increasing needs of human societies, on the one hand, and the risk of the destruction of non-renewable resources such as water, on the other hand, are irreparable results of disregarding the correlation between industry and the environment. In this research, the performance of the physical assets of water and sewage companies is monitored and the appropriate strategy for sustainable maintenance and repairs in these companies is selected. Also, maintenance and repairs and sustainable development data is gathered. Then by using Fuzzy Hierarchy method (Fuzzy AHP), among the strategies that have the most compatibility with sustainable maintenance and repair, the ranking is done. Finally, according to the results, the reactive strategy is determined as the most effective approach in sustainable maintenance and repairs of the physical assets of Tehran Province Water and Sewerage Company.

Keywords: Fuzzy Hierarchical Analysis Technique, Physical Assets, Sustainable Maintenance Strategies, Utilities, Water and Wasrewater Companies.

مقاله پژوهشی

ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات دارایی‌های فیزیکی شرکت‌های خدمات‌رسان با رویکرد سبز به‌روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان تهران

رضا شهرجردی[۱*] و مصطفی قربانپور دلیوند[۲]

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، مکانیک و هوافضا، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران.

۲- کارشناس مهندسی صنایع، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: r.shahrjerdi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

افزایش جمعیت، رشد و توسعه صنایع به منظور رفع نیازهای روزافزون جوامع بشری و تأمین منافع اقتصادی سازمان‌های مختلف برای احراز موجودیت در بازار رقابتی پیچیده امروزی پیامدهای ناگواری را به‌دنبال داشته است. این پیامدها با شتابی نگران‌کننده زوال حیات و سلامت انسان‌ها و حتی موجودات دیگر را ممکن می‌سازد و می‌تواند چرخه طبیعت را برهم زند و پتانسیل‌های طبیعی موجود در رفع نیاز نسل‌های آینده را به‌خطر اندازد. شرکت‌های آب و فاضلاب به‌عنوان مبنای حیات یک جامعه نقش بی‌بدیلی در تأمین و تقسیم این منشأ حیاتی به‌عهده دارند. بنابراین عدم مدیریت مناسب در نگهداری و تعمیرات تجهیزات و دارایی‌های فیزیکی در این صنعت منجر به هدررفت آب و انرژی و زیان‌های جبران‌ناپذیری در محیط‌زیست خواهد شد. بنابراین، با توجه به این‌که نگهداری و تعمیرات در کنترل و ارتباط مسالمت‌آمیز میان صنعت و محیط‌زیست نقشی انکارناپذیر ایفا می‌کند، این پژوهش پایش و بررسی عملکرد این تجهیزات را بررسی می‌کند. از این‌رو با پالایش و جمع‌آوری اطلاعات از پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزه‌های نگهداری و تعمیرات با توجه به رکن محیط‌زیستی آن، درخت تصمیمی طراحی و با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی که از روش‌های تحلیل مبتنی بر نظر کارشناسان است، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پایدار رتبه‌بندی شد. ماحصل این قضاوت‌ها با بیشترین ضریب وزنی (۰/۲۷۱) بیانگر تأثیر نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه بر دستیابی به هدف سبز در کنار انجام وظایف خدماتی شرکت آب و فاضلاب است.

کلمات کلیدی: استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پایدار، دارایی‌های فیزیکی، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، شرکت‌های آب و فاضلاب، شرکت‌های خدمات‌رسان.

۱- مقدمه

پیشرفت علم و صنعت و گسترش تمدن در کنار رفاه و آسایشی که برای انسان به ارمغان آورده است، پیامدهای ناخوشایندی نیز برای انسان به‌دنبال داشته است. از جملهٔ این پیامدها می‌توان به تغییرات محیط‌زیستی نامطلوب هم‌چون گرمایش کرهٔ زمین، افزایش میزان انتشاز گازهای گلخانه‌ای و آسیب به سلامت افراد جامعه اشاره کرد. به‌همین منظور، همگام با افزایش اهمیت مسائل محیط‌زیستی در توسعهٔ پایدار، تلاش تمامی صنایع بر این است که با برنامه‌ریزی صحیح و به‌کارگیری روش‌های مناسب، علاوه‌بر دستیابی به اهداف اقتصادی خود و کسب مزیت رقابتی، آسیب‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی بر محیط‌زیست را به حداقل برسانند. اما تحقق این امر بدون اطلاع از مؤلفه‌های تأثیرگذار در توسعهٔ پایدار و اقدامات اصلاحی در کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی میسر نخواهد شد.

یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در این زمینه، پیامدهای ناشی از فرسایش تجهیزات و تأسیسات بنگاه‌های اقتصادی و خدماتی و فعالیت‌های نامناسب برای نگهداری و تعمیرات آن‌ها است. علت این امر این است که خرابی و فرسایش ماشین‌آلات و تأسیسات فیزیکی و ناتوانی در انجام اقدامات تعمیراتی و بازدارندهٔ مناسب می‌تواند منجر به هدررفت و تلفات بیش از حد مطلوب و مصرف بیش از حد منابع تجدیدناپذیر شود که این موارد، علاوه‌بر کاهش شدید سودآوری و ورشکستگی سازمان، آسیب بزرگی به محیط‌زیست وارد می‌کنند. بنابراین، ایجاد یک سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب و انتخاب استراتژی‌های صحیح و برنامه‌ریزی‌های دقیق نگهداری و تعمیرات در سطح مدیریتی و آموزش نحوهٔ پیاده‌سازی برنامه‌های تعیین‌شده توسط تکنسین‌ها و اپراتورها در سازمان‌ها امری ضروری به‌نظر می‌رسد. این سیستم‌ها، می‌توانند منجر به کاهش تلفات تولید، کاهش انرژی مصرفی، کاهش تولید مواد مضر و در نهایت تولید سبز و پایدار شوند. هم‌چنین، علاوه‌بر کمک به کاهش اثرات محیط‌زیستی، نقش مهمی نیز در دستیابی به اهداف سازمانی و کسب مزیت رقابتی، بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، کاهش زمان توقف تجهیزات، کیفیت تولیدات، افزایش بهره‌وری، ایمنی تجهیزات و ... ایفا می‌کنند.

نکتهٔ قابل‌تأمل در مبحث انتخاب استراتژی صحیح نگهداری و تعمیرات، درنظر گرفتن راهبردی بهینه است که علاوه‌بر داشتن بیشترین تأثیر بازدارندگی در آسیب‌های محیط‌زیستی، از لحاظ فاکتورهایی چون هزینه، انعطاف‌پذیری، ارزش افزوده تولید و ... به‌صرفه باشد تا مدیران ارشد با وجود محدودیت‌های سازمان بتوانند این راهبردها را به‌کار بگیرند. لازمهٔ این امر شناخت و کسب آگاهی کافی از راهبردهای نگهداری و تعمیرات و انتخاب شاخص‌های تصمیم‌گیری است.

بنابراین، تنوع گسترده فعالیت‌های انسانی و عدم توازن در برقراری اعتدال در مؤلفه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی باعث شد تا بر روی نهادی زیربنایی و در سطح فعالیت خدماتی که زمینه‌ساز فعالیت دیگر سازمان‌ها است، مطالعاتی انجام شود. بدین منظور، با درنظر گرفتن اهمیت تأثیر سیستم نگهداری و تعمیرات پایدار و بررسی مغایرت‌های موضوعی و اتلاف‌های موجود به‌دلیل سوءمدیریت‌ها و نقش حیاتی شرکت‌های خدمت‌رسانی هم‌چون شرکت آب و فاضلاب در تأمین آب شرب شهری، مدیریت پسماندهای صنعتی در زمینه گندآب و هم‌چنین فراهم آوردن زمینهٔ فعالیت و تداوم سایر ارکان یک جامعه، موجب شد تا از ادغام موضوع با فعالیت‌های خدماتی این نهاد مسیر توسعه‌ای با رویکرد جلوگیری از اتلاف و فعالیت بهینه فراهم شود. این رکن اساسی جامعه با در دست داشتن تأسیسات سنگین و حیاتی در سراسر کشور، نیازمند یک الگوریتم اصلاحی مناسب برای نیل به هدف بهینگی است. زیرا این تأسیسات علاوه‌بر تأمین در تقسیم و انتقال آب و فاضلاب نقش کلیدی داشته و درصورت بروز هر رویداد روند خدمات‌رسانی کرده یا حتی قطع می‌شود و تأثیر منفی بر نهاده‌های وابسته به‌خود خواهد گذاشت. هدف از این پژوهش، دستیابی به راهبردی است که با افزایش قابلیت اطمینان و کارکرد بهینهٔ این تجهیزات و تأسیسات، هدف محیط‌زیستی محقق شود.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

استراتژی نگهداری و تعمیرات، شامل مجموعه‌ای از سیاست‌ها و اقداماتی است که برای نگهداری یا بازیابی تجهیزات و هم‌چنین سیستم پشتیبانی تصمیم که در آن فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده است، استفاده می‌شود (Shafiee and Sorensen, 2017). انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری مناسب، به اهداف استراتژیک شرکت بستگی دارد. در ادامه به برخی از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات اشاره می‌شود (Gackowiec, 2019):

براساس Shin and Jun (2015)، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات اساسی عبارت‌اند از: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

(PM)[1]، نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)[2] و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط (CBM)[3]. نگهداری و تعمیرات اصلاحی، ساده‌ترین و در عین‌حال پرهزینه‌ترین استراتژی نت به‌شمار می‌رود، زیرا به‌عنوان واکنشی در برابر خرابی‌ها و پیامدهای حوادث استفاده می‌شود. در این شاخه نگهداری و تعمیرات امکان برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه منابع و از بین بردن عیوب وجود دارد و می‌توان از انبار نمودن بیهوده ابزارآلات، تجهیزات، قطعات یدکی و مواد مصرفی جلوگیری نمود و با حداقل نیروی انسانی خدمات لازم را ارائه کرد. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه پاسخ به معایب اقدامات اصلاحی و نوعی از تعمیرات است که به‌شکل منظم بر روی قطعه‌ای از تجهیزات صورت می‌گیرد تا احتمال از کار افتادن آن‌را کاهش دهد. این نوع از تعمیرات زمانی که تجهیزات هنوز درحال فعالیت هستند صورت می‌گیرد تا مبادا به‌شکل غیرمنتظره‌ای از کار بیفتد. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط، اغلب با عباراتی مانند نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه، مدیریت سلامت و نگهداری و تعمیرات در شرایط مرتبط است. در این استراتژی رعایت وضعیت سیستم و عناصر آن، ارزیابی وضعیت محصولات و هم‌چنین پیش‌بینی خطر آسیب با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده اهمیت دارد (Horner et al., 1997).

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک (RBM)[4] نوع دیگری از استراتژی نت است که هدف آن به‌حداقل رساندن احتمال خرابی تجهیزات، اثرات منفی تجهیزات پس از خرابی و هزینهٔ کلی نگهداری و تعمیرات با به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان تجهیزات است (Krishnasamy et al., 2005).

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)[5]، یک استراتژی مبتنی بر یک روش بهبود سیستم است که ضمن شناسایی و ابداع سیاست‌ها و استراتژی‌های عملیاتی و نگهداری، دیدگاهی مقرون‌به‌صرفه را حفظ می‌کند. به‌طور خلاصه، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، یک رویکرد سیستماتیک برای تعریف یک برنامه نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی‌شده با وظایف مقرون‌به‌صرفه و در عین‌حال حفظ عملکردهای حیاتی کارخانه است (Siddiqui and Ben-Dava, 2009).

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر زمان (TBM)[6] بر این دیدگاه استوار است که ماشین‌آلات پس از مدت کارکرد، دچار استهلاک شده و باید با انجام فعالیت تعمیراتی به وضعیت «مانند نو» برگردانده شوند. در این‌روش براساس دوره‌های زمانی از پیش تعریف‌شده، تجهیزات و ماشین‌آلات مورد بازرسی قرار می‌گیرند و درصورت نیاز تعویض یا اقدامات اصلاحی صورت می‌پذیرد (Ge et al., 2017).

نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)[7] نوعی از تعمیرات است که صرفاً بعد از وقوع خرابی و به صورت اضطراری انجام می‌گیرد. معمولاً هیچ‌گونه آمادگی قبلی در مورد نوع مشکلات و روش رویارویی با آن‌ها وجود ندارد. علت این است که در این سازمان‌ها اقدامات انجام‌شده و تجارب، ثبت، ضبط و تحلیل نمی‌شوند (عدم وجود مدیریت دانش). این روش کاملاً خنثی (غیرقابل برنامه‌ریزی) است و فقط در هنگام خرابی تجهیزات است که این نوع نت نقش ایفا می‌کند. این راهبرد دارای وظایف دائمی نگهداری و تعمیرات نیست. نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM) مجموعه‌ای از فعالیت‌های طراحی‌شده برای شناسایی و تصحیح یک حادثه قبل از وقوع است تا از اثرات آن در شبکه و در داخل سرویس جلوگیری کند (Crespo Márquez et al., 2009).

۲-۲- شرکت‌های خدمات‌رسان

شرکت‌های خدمات‌رسان نهادهایی هستند که مدیریت کالاهای عمومی را به‌ویژه در مراحل پایانی زنجیره تأمین برعهده دارند و شامل خدماتی مانند تولید و توزیع برق، توزیع گاز، مدیریت پسماند، آب و مخابرات هستند. این شرکت‌ها معمولاً توسط سازمان‌های دولتی مدیریت یا کنترل می‌شوند. با این‌حال، آن‌ها باید ذی‌نفعان مختلف را راضی کنند و برای مدیریت بهتر خدمات خود تحت‌فشار هستند (Badia et al., 2020). درصورتی‌که تأسیسات و تجهیزات این سازمان‌ها متوقف شوند، خسارات و نابسامانی‌های متعددی به‌بار می‌آورند که منجر به مختل‌شدن زندگی شهروندان و فشارهای مضاعف ذی‌نفعان خواهد شد. به‌همین دلیل، توجه به سیستم‌های نگهداری و تعمیرات این سازمان‌ها و جلوگیری از اتفاقات مذکور، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲-۳- نگهداری و تعمیرات در فعالیت‌های حوزهٔ سازمان آب و فاضلاب

مأموریت بخش آب و فاضلاب، مشارکت در توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی شهرها و روستاهای کشور از طریق ایجاد و بهره‌برداری از تأسیسات و شبکه‌های فراگیر آب و فاضلاب با روش‌های بهداشتی، کارآمد، مطمئن و منظم، به‌منظور کنترل چرخهٔ آب بین محیط زندگی و محیط‌زیست، با تکیه بر مشارکت‌های مردمی تعریف شده است (نامجو و همکاران، ۱۳۸۹). عرضهٔ خدمات آب و فاضلاب با شش ویژگی کمیت، کیفیت و قیمت مناسب،

استمرار، پوشش و رضایت‌مندی مشترکان، مجموعه‌ای زنجیروار از حلقه‌های به‌هم‌پیوستهٔ مدیریت حوضهٔ آبریز، مدیریت زائده‌های انسانی، صنعتی و کشاورزی، فرآیندها و تأسیسات تصفیه و سالم‌سازی، تأسیسات نگهداشت و توزیع و کنترل عملکرد صحیح آن‌ها است. پرواضح است که هرگونه نقص در زیرساخت‌ها و عملکرد هر یک از حلقه‌های برشمرده، ضمن اعمال فشار مضاعف و ناخواسته بر سایر اجزا، نیل به هدف غایی تأمین مستمر آب آشامیدنی سالم و کافی را دشوار و گاه ناممکن می‌سازد (قنادی، ۱۳۹۷). به‌همین منظور، پژوهش‌های متعددی درخصوص پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات و جلوگیری از توقف تجهیزات و تأسیسات این بخش صورت‌گرفته است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود:

بهزاد و همکاران (۱۳۸۵) روش نگهداری و تعمیرات پیشگویانه و کنترل شرایط در مورد ایستگاه‌های پمپاژ آب را بررسی کردند. روش کار در این پژوهش، اندازه‌گیری ارتعاشات در محل‌های مناسب و بررسی روند این ارتعاشات و طیف‌های فرکانسی آن‌ها است. چنین سیستمی در یکی از ایستگاه‌های پمپاژ آب تهران پیاده‌سازی شده است که نتایج آن حاکی از این است که عیوب موجود، قبل از رسیدن به حالت بحرانی تشخیص داده می‌شوند و تعمیرات لازم بر روی ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. نتایج آماری به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که این روش نگهداری و تعمیرات چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ قابلیت اطمینان ماشین‌آلات، بر سایر روش‌های نگهداری و تعمیرات ارجحیت دارد.

شهرجردی (۱۴۰۱) بهره‌وری سیستم‌های نگهداری و تعمیرات را ارزیابی کردند. در این پژوهش، پس از شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات شرکت آب و فاضلاب استان البرز، با استفاده از روش‌های فازی تصمیم‌گیری، این عوامل رتبه‌بندی شد.

حذار و همکاران (۱۳۹۴) کارایی نرم‌افزار ARC GIS در واحد نگهداری و تعمیرات شرکت آب و فاضلاب را بررسی کردند. این سیستم، علاوه‌بر آن‌که قابلیت سیستم‌های مکانیزهٔ قبلی را دارا است، توانایی مدیریت مکانی اطلاعات را نیز به کاربر می‌دهد و از این‌حیث نگهداری و تعمیرات سیستم‌ها و تأسیساتی که دارای ماهیت مکانی هستند، با استفاده از این سیستم بسیار مناسب است.

ستوده (۱۳۹۸) جنبه‌های خطر ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیستی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب ارومیه در فرایندهای مختلف فاز یک تصفیه فاضلاب را شناسایی کرد و با استفاده از روش ارزیابی ریسک FMEA نسبت به تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک و مشخص نمودن خطرات با ریسک‌های بالا اقدام کرد. در نهایت ۲۹ جنبهٔ خطر معرفی شد که از این میان، ۱۵ جنبه در رده ریسک‌های بالا قرار گرفته است.

قدمی فیروزآبادی (۱۳۹۵) میزان مصرف آب و انرژی، تلفات و راندمان انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ برقی را بررسی کرد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که تعمیر و نگهداری صحیح پمپ‌ها و موتورها یکی از مهم‌ترین عوامل در بهبود راندمان انرژی است.

Le Gat and Eisenbeis (2000) سودمندی رویکرد تئوری بقا را با استفاده از مدل خطر تناسبی Weibull (WPHM) نشان داد و اعتبار آن‌را در مواردی که فقط داده‌های سوابق نگهداری کوتاه در دسترس هستند مورد بحث قرار داد. این تحقیق نتایج حاصل از اعمال مدل را در سیستم‌های آبی با سوابق نگهداری کوتاه و طولانی ارائه داد. مقایسه بین خرابی‌های پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده نشان می‌دهد که سوابق تعمیر و نگهداری کوتاه (۵±۱۰ سال) به اندازه سوابق تعمیر و نگهداری طولانی نتایج خوبی برای شناسایی لوله‌ها برای بازسازی و پیش‌بینی تعداد خرابی‌های سراسری آینده ارائه می‌دهد.

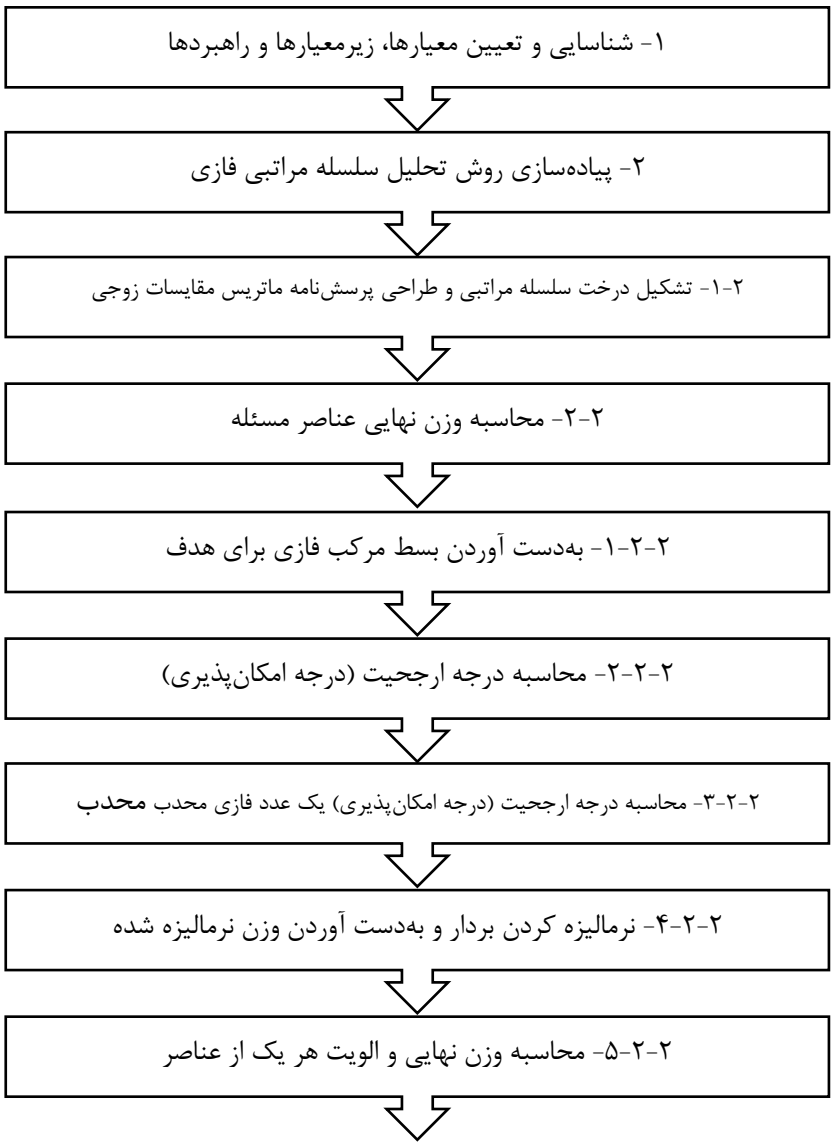
در نهایت، موضوعی که به‌طور ویژه‌ای این پژوهش را هدایت می‌کند این است که مراکز شهری به‌علت تراکم جمعیتی و به تناسب آن، تراکم تأسیسات آبرسانی و گستردگی شبکه جمع‌آوری و دفع فاضلاب، برای مقابله با اثرات فرسایش‌های متداول و رخدادهای ناگهانی نیازمند مراقبت‌ها، مقاوم‌سازی‌ها و تمهیدات خاص خود هستند (نوروزی و قهرودی تالی، ۱۳۹۸) و مدیریت چنین تأسیسات حیاتی‌ای نیازمند برنامه‌ریزی و اقداماتی از پیش تعیین‌شده مانند برنامه‌هایی برای تخصیص آب (کانونی و منعم، ۱۳۹۵) و اقدامات اصلاحی برای نگهداشت تأسیسات زیربنایی (حامد مزرعه و رمضانی، ۱۴۰۱) است. به‌همین منظور، این پژوهش با هدف بهینگی در خصوص تأسیسات زیربنایی شرکت‌های خدمات‌رسان با بهره‌گیری از روشی مبتنی بر نظر کارشناسان حوزهٔ آب و فاضلاب و به‌طور ویژه‌ای در استان تهران صورت‌گرفته است.

۳- بیان مساله

فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، به‌خصوص برای سازمان‌ها و صنایع بزرگ اهمیت زیادی دارد. شرکت‌های خدمت‌رسان به‌عنوان دسته‌ای از نهادها محسوب می‌شوند که نقش بسیار حائز اهمیتی در جامعه کنونی با تأمین زمینه فعالیت و بقای سایر ارکان

جامعه ایفا می‌کند. از سوی دیگر، شرکت‌های خدمت‌رسانی که در حوزهٔ انرژی پاسخگوی پیش‌نیاز فعالیت‌های دیگر هستند، نیاز به توجه دوچندانی برای پایداری و تداوم از یک‌سو و کاهش اتلاف و آسیب از سوی دیگر دارند. چنان‌چه ملاحظات محیط‌زیستی و اقتصادی به‌طور هم‌زمان درنظر گرفته شود، اهمیت مسئله از دیدگاه مدل‌سازان و مدیران بیشتر می‌شود. نگهداری و تعمیرات به‌عنوان یکی از ارکان اساسی هر فعالیت به یکی از بخش‌های ضروری در دستیابی به اهداف کمی و کیفی سازمان در بحث محیط‌زیست تبدیل شده است. بنابراین داشتن یک راهبرد مشخص برای این بخش در راستای سبز از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا چنین راهبردی می‌تواند نتایج و عواقب ناشی از خرابی ماشین‌آلات نظیر تولید ضایعات، انتشار گازهای سمی ناشی از سوخت ناقص، پراکندگی مواد شیمیایی خطرناک و هدررفت انرژی و غیره را کاهش دهد و محیط‌زیست متأثر از صنعت موردنظر را از معضلاتی که آن‌را به‌سمت نابودی می‌کشاند رها سازد.

لذا در این پژوهش به‌منظور یافتن راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات (پایدار) در دارایی‌های فیزیکی شرکت‌های آب و فاضلاب برای کاهش هدررفت آب، کاهش هدررفت انرژی و ایمنی با توجه به معیارهای هزینه، متوسط زمان بین خرابی، در دسترس بودن لوازم تعمیرات و ریسک خطر، از میان استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌شده، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان و نت اصلاحی پرسشنامه‌ای طراحی و در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد تا بتوان با تحلیل سلسه مراتبی فازی به نتیجهٔ مطلوب رسید.



شکل ۱ - الگوریتم اجرای مطالعه

۴- الگوریتم اجرای تحقیق

۴-۱- گام اول: شناسایی و تعیین معیارها، زیرمعیارها و راهبردها

مرحله اساسی در هر تصمیم‌گیری و گزینش از بین موارد قابل انتخاب پیش‌رو، تعیین فاکتورهای ارزیابی گزینه‌ها است، فاکتورهایی که اولویت راهبردها را نسبت به‌خود برای انتخاب نشان می‌دهند. به‌همین منظور در این گام، پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات به‌عنوان فعالیت حمایتی تولید در صنایع مختلف و سازمان‌های خدماتی و نهادهای حفاظت محیط‌زیست به‌عنوان اقدام اصلی با رویکرد توسعه پایدار در راستای انتخاب و اجرای سیاست صحیح برای نیل به اهداف توسعه پایدار مورد بررسی قرارگرفت. پس از بررسی در مطالعات انجام شده و استفاده از نظرکارشناسان خبره، از میان ۱۲ معیار مرتبط با نگهداری و تعمیرات، ۱۲ زیرمعیار مطرح‌شده در خصوص توسعه پایدار و ۱۰ آلترناتیو از میان استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، شاخص‌های مناسب برای تشکیل ساختار تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی انتخاب شد تا بتوان در گام‌های بعدی با تحلیل ساختار به نتیجهٔ مطلوب و کاربردی برای صنایع، مخصوصاً سازمان‌های خدمات‌رسان رسید. پس از بررسی و غربال مقاله‌های موجود در زمینهٔ موضوعات مشترک تصمیم‌گیری چندمعیاره، توسعهٔ پایدار و نگهداری و تعمیرات، جدولی از شاخص‌ها و راهبردهای مورد استفاده در این پژوهش‌ها به‌دست آمد که با مشاوره کارشناسان حوزه‌های مربوطه و استدلال پژوهشگر، تعدادی از این معیارها و راهبردها برای طراحی درخت سلسله مراتبی ادغام و انتخاب شدند. درخصوص انتخاب‌ها تلاش بر آن بوده است با دیدگاهی فراگیر گزینه‌ها و معیارهایی در مرحلهٔ مقایسه قرارگیرند تا تفاوت میان آن‌ها تعاملی را برای هم‌پوشانی ضعف‌های هریک در قضاوت‌ها نشان دهد. در واقع این تناقض معیارها است که قضاوت‌هایی صحیح را با علم به موضوع شکل می‌دهد. جدول ۱ برخی معیارها و راهبردهای یافته‌شده در پژوهش‌های علمی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - معیارها و راهبردهای یافته شده در پژوهش‌های علمی

معیارهای نگهداری و تعمیرات	زیرمعیارهای توسعه پایدار	استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات
ریسک خطر حوادث	سطح صدمات بالقوه برای کارگران	نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی شده
پشتیبانی انبار لوازم یدکی	میزان تأثیر بالقوه بر آب‌وهوای محیط اطراف	نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط
متوسط زمان تعمیر	هزینهٔ چرخهٔ عمر تجهیز	نگهداری و تعمیرات اصلاحی
هزینهٔ تعمیر	میزان برخورداری از تکنولوژی سبز	نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان
قابلیت تعمیرپذیری	میزان هدررفت سوخت و انرژی	نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک
در دسترس‌بودن تجهیز	سطح بالقوه آسیب به تأسیسات	نگهداری و تعمیرات زمان خاموشی
قابلیت اطمینان تجهیز	آلودگی قابل پیش‌بینی	نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه
ریسک شکست قطعات	درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	نگهداری و تعمیرات اضطراری
خروجی ضایعات ناشی از خرابی	میزان تاثیر در بازیافت	نگهداری و تعمیرات فرصت‌طلبانه
هزینه تضمین	روند زوال منابع تجدیدناپذیر	نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه
هزینه پیاده‌سازی استراتژی	تولید زباله‌های جامد قابل دفن	
مدت زمان عیب‌یابی	پتانسیل گرم‌شدن زمین	

۴-۲- گام دوم: پیاده‌سازی روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

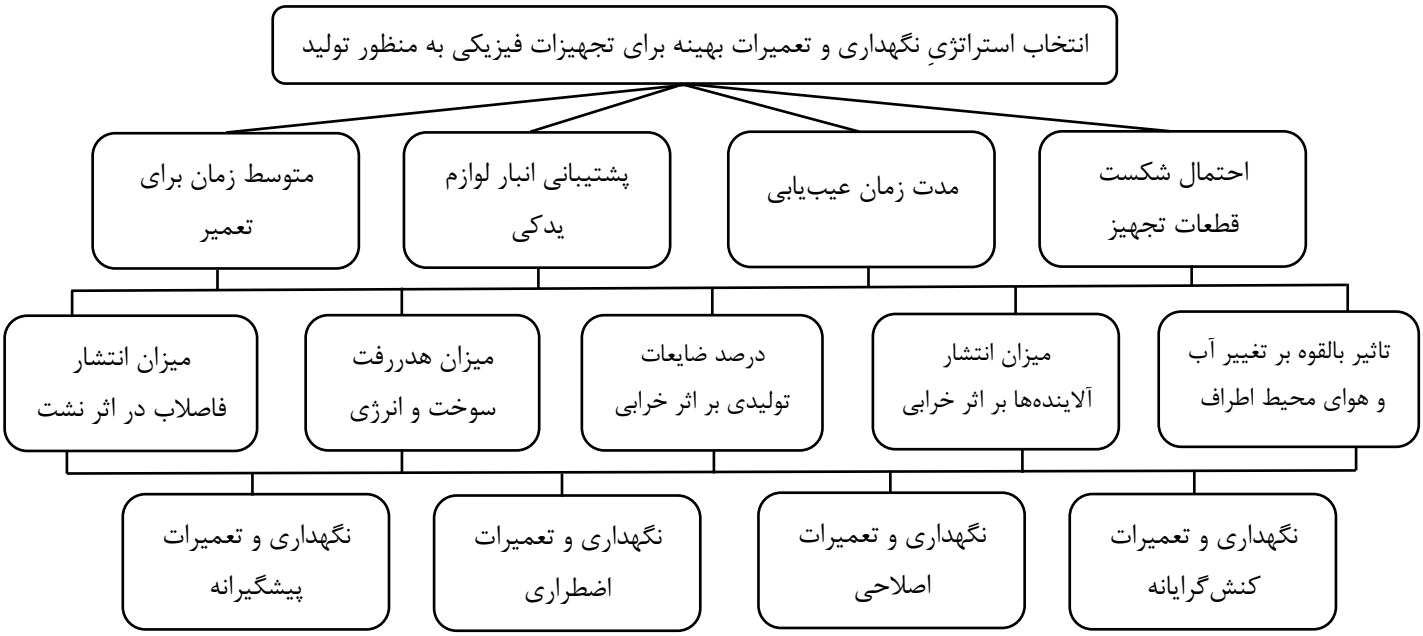
۴-۲-۱-تشکیل درخت سلسله مراتبی و طراحی پرسشنامه ماتریس مقایسات زوجی

گام نخست برای تصمیم‌گیری در خصوص یک موضوع با درنظر گرفتن گزینه‌های قابل انتخاب و معیارها و زیرمعیارهایی که انتخاب بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد، ترسیم نمایی از ارتباط میان این اجزای تعیین‌شده در گام قبل است. ساختار شبکه‌ای عناصر این امکان را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا با نگاهی گسترده‌تر، در پرسشنامه تهیه‌شده بر اساس ارتباطات تعریف‌شده توسط پژوهشگر اقدام به تعیین اولویت عناصر هر سطح نسبت به عنصری در سطح بالاتر کنند. در این پژوهش از ساختار چهارسطحی تحلیل سلسله مراتبی (شکل ۲) استفاده می‌شود که در سطح نخست، هدف از انتخاب راهبرد بهینه، در سطح دوم، معیارهای متناسب با استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، سطح سوم، متشکل از شاخص‌های محیط‌زیستی متأثر از عناصر نگهداری و تعمیرات سطح بالاتر و در سطح آخر، راهبردهای این فعالیت پشتیبان تولید قراردارد که باید براساس

امتیازدهی خبرگان در پرسشنامه اولویت‌بندی شوند.

پرسشنامهٔ مذکور از تعدادی سوال تشکیل شده است که پاسخ خبرگان و کارشناسان به این سوالات در ماتریسی تحت‌عنوان، ماتریس مقایسات زوجی ثبت می‌شود. در واقع ماتریس مقایسات زوجی، ماتریسی است که هر درایهٔ آن نمایانگر درجهٔ اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر است. در این ماتریس قطر اصلی عدد یک قرار می‌گیرد که این موضوع بیانگر برابری اولویت هر یک از عناصر نسبت به خود است، هریک از درایه‌های بالای قطر اصلی نشان‌دهندهٔ درجهٔ اهمیت عناصر سطر نسبت به عناصر ستون و هر یک از درایه‌های پایین قطر اصلی، نشان‌دهندهٔ درجه اهمیت عناصر ستون به عناصر سطر است که مقدار آن‌ها معکوس مقادیر درایه‌های بالای قطر اصلی است.

به‌منظور رفع ابهام تصمیم‌گیری و دستیابی به پاسخی دقیق‌تر از اعداد فازی در بازه‌ای استفاده می‌شود که هر یک از این اعداد فازی بیانگر یک اولویت لسانی و نشانهٔ یک فاصلهٔ فازی مثلثاتی است. خط‌کش‌های مقیاس متفاوتی برای پاسخگویی به‌صورت کیفی وجود دارد که معروف‌ترین آن‌ها خط‌کش مقیاس توماس ساعتی است. البته این مرجع امتیازدهی کیفی برای روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای روش فازی پژوهشگر می‌تواند خط‌کش مقیاس خود را با توجه به موضوع مورد مطالعه تعریف کند. در این پژوهش از خط‌کشی ۶ درجه‌ای با مقیاس فازی مثلثی به شرح جدول ۲ استفاده می‌شود.



شکل ۲- درخت سلسله مراتبی چهار سطحی

جدول ۲- خط‌کش مقیاس ۶ درجه‌ای فازی مثلثی

عدد فازی	اولویت زبانی	مقیاس فازی مثلثی	معکوس مقیاس فازی مثلثی	اولویت زبانی	معکوس عدد فازی
۱	ارجحیت برابر	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	ارجحیت برابر	۱
۲	ارجحیت کمی بیشتر	(۱/۵، ۱، ۰/۵)	(۲، ۱، ۰/۶۷)	ارجحیت کمی کمتر	۰/۵
۳	ارجحیت نسبتاً بیشتر	(۲، ۱/۵، ۱)	(۱، ۰/۶۷، ۰.۵)	ارجحیت نسبتاً کمتر	۰/۳۳
۴	ارجحیت بیشتر	(۲/۵، ۲، ۱/۵)	(۰/۶۷، ۰/۴، ۰/۴)	ارجحیت کمتر	۰/۲۵
۵	ارجحیت خیلی بیشتر	(۳، ۲/۵، ۲)	(۰/۵، ۰/۴، ۰/۳۳)	ارجحیت خیلی کمتر	۰/۲
۶	ارجحیت مطلقاً بیشتر	(۳/۵، ۳، ۲/۵)	(۰/۴، ۰/۳۳، ۰/۲۹)	ارجحیت مطلقاً کمتر	۰/۱۷

پس از جمع‌آوری نتایج پرسشنامه‌های تحلیل سلسله مراتبی فازی از خبرگان، نوبت به انجام محاسبات و دستیابی به نتایج موردنظر می‌رسد. به‌همین دلیل، مراحل گام سوم انجام می‌شود. این مراحل توسط نرم‌افزار MATLAB به‌صورت برنامه‌نویسی‌شده انجام می‌شود.

۴-۲-۲- محاسبه وزن نهایی عناصر مسئله

پس از تجمیع نظرات پرسشنامهٔ تمامی خبرگان در ماتریسی واحد، محاسبهٔ وزن نسبی و اولویت‌بندی انجام می‌شود. در ماتریس تجمیع نظرات، مؤلفه اول هر درایه مقدار کمینهٔ مولفهٔ

اول همهٔ کارشناسان، مولفهٔ دوم، میانگین مؤلفه‌های دوم ماتریس‌های متناظر همهٔ کارشناسان و مؤلفهٔ سوم، حداکثر مؤلفه‌های سوم درایه ماتریس مقایسات زوجی همهٔ خبرگان است. سپس در این مرحله از روش آنالیز توسعهٔ چانگ استفاده می‌شود (مومنی، ۱۳۸۵؛ Dağdeviren and Yüksel, 2008؛ گرامی، ۱۳۹۹) . این روش به‌شرح زیر است:

مرحله ۱: به‌دست آوردن بسط مرکب فازی برای هر هدف.

اگر $M_{gi}^{1}, M_{gi}^{2}, \ldots, M_{gi}^{m}$ مقادیر آنالیز توسعه iامین هدف به‌ازای m آرمان باشد، آن‌گاه بسط مرکب فازی m آرمان برای iامین هدف به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \qquad (۱)$$

چنان‌چه $M_{gi}^{j} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ باشد، آن‌گاه $\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ به‌وسیلهٔ عملکرد جمع فازی روی آنالیز توسعهٔ m آرمان به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{j} M_{gi}^{j} &= (l_{i1}, m_{i1}, u_{i1}) \oplus \ldots \oplus (l_{im}, m_{im}, u_{im}) \\ &= \left(\sum_{j=1}^{m} l_{ij}, \sum_{j=1}^{m} m_{ij}, \sum_{j=1}^{m} u_{ij}\right) \\ &= (l_i', m_i', u_i')\end{aligned} \qquad (۲)$$

همچنین، برای به‌دست آوردن $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}$ با اعمال عملگر جمع فازی، رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i'}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i'}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i'}\right) \qquad (۳)$$

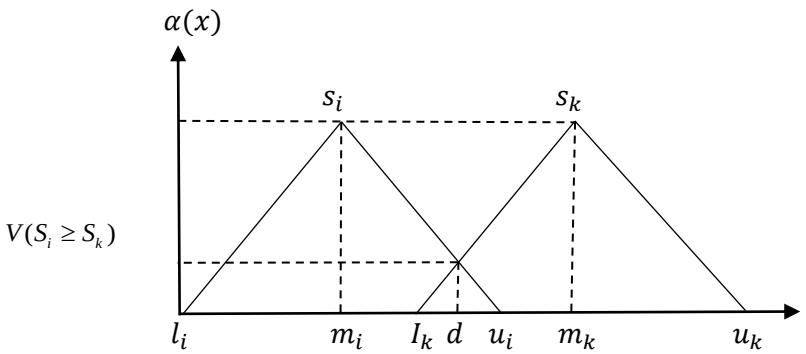
مرحله ۲: محاسبه درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری) S_i بر S_k. چنان‌چه $S_i = (l_i, m_i, u_i)$ و $S_k = (l_k, m_k, u_k)$ باشد، آن‌گاه درجه ارجحیت S_i بر S_k که با $V(S_i \geq S_k)$ نمایش داده می‌شود، به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$V(S_i \geq S_k) = \underset{x \geq y}{SUP}(\min\{\alpha_{S_i}(x), \alpha_{S_k}(y)\}) \qquad (۴)$$

که برای اعداد فازی مثلثی معادل با رابطه (۵) است.

$$V(S_i \geq S_k) = \alpha_S(d) = \begin{cases} 1 & if\ m_i \geq m_k \\ 0 & if\ l_k \geq u_i \\ \dfrac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} & otherwise \end{cases} \qquad (۵)$$

که d: متناظر با بزرگ‌ترین نقطهٔ تقاطع بین α_{S_i} و α_{S_k} است. شکل ۳ درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم را نشان می‌دهد.



شکل ۳- درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم

مرحله ۳: محاسبه درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری) یک عدد فازی محدب S که بزرگ‌تر از k عدد فازی محدب $i = 1,2,\ldots,k$ باشد، S_i، به‌صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} V(S \geq S_1, S_2, \ldots, S_k) &= (V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \ldots, (S \geq S_k)) \\ &= min(V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \ldots, (S \geq S_k)) = min\, V(S \geq S_i) \\ i &= 1,2,\ldots,k \end{aligned} \qquad (۶)$$

چنان‌چه رابطه (۷) فرض شود،

$$d'(A_i) = min\, V(S_i \geq S_k) \quad for\ (k = 1,2,\ldots,n \quad k \neq i) \qquad (۷)$$

آن‌گاه بردار وزن به‌صورت رابطه (۸) به‌دست می‌آید:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n)) \qquad (۸)$$

قابل ذکر است که وزن‌های به‌دست آمده، غیرفازی هستند.

مرحله ۴: نرمالیزه‌کردن بردار W' و به‌دست آوردن وزن نرمالیزه شده W براساس رابطه (۹).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \qquad (۹)$$

مرحله ۵: محاسبه وزن نهایی و اولویت هر یک از عناصر

پس از محاسبهٔ وزن نسبی عناصر هر سطح در هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی نسبت به عنصری در سطح بالاتر خود، وزن‌های به‌دست آمده در ماتریسی تحت‌عنوان ماتریس تصمیم‌گیری تجمیع می‌شود. سطرهای این ماتریس را عناصر هر سطح و ستون‌های آن‌را عناصر سطح بالاتر تشکیل می‌دهد که درواقع وزن آن‌ها را نسبت به یکدیگر نمایش می‌دهد. در این مرحله کافی است تا ضرب ماتریسی ماتریس‌های تصمیم‌گیری به‌ترتیب درخت سلسه مراتبی ترسیم‌شده، در یک دیگر انجام شوند تا اولویت نهایی گزینه‌ها به‌دست آید. یعنی در ابتدا ماتریس تصمیم معیارها در ماتریس تصمیم زیرمعیارها ضرب می‌شود تا وزن نهایی زیرمعیارها به‌دست آید. سپس ماتریس تصمیم‌گیری آلترناتیوها در ماتریس وزن نهایی زیرمعیارها ضرب می‌شود تا این نتایج سلسه‌وار به‌دست آید.

اگر موضوع مورد تصمیم‌گیری با پرسشنامه‌ای با درنظر گرفتن شرایط مشابه حقیقی مورد سنجش قرارگیرد، زمانی نتایج قابل‌اطمینانی به‌دست می‌آید که دو اصل در آن درنظر گرفته‌شود. اصل اول پایایی است که بیانگر حصول به یک نتیجه به‌صورت مکرر است. اصل دوم روایی است که به اندازه‌گیری دقیق موضوع و ویژگی‌های موردبحث بیانجامد. تجربهٔ انجام تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به‌روش سلسله مراتبی این نکته را اثبات کرده که به شاخصی برای اعتبارسنجی قضاوت‌های صورت‌گرفته توسط خبرگان نیاز است تا بتوان این دو اصل را در این پژوهش رعایت کرد. به‌همین منظور، عبارتی تحت‌عنوان نرخ ناسازگاری مطرح می‌شود که بیانگر میزان اعتبار و صحت داده‌های گردآوری‌شده از دیدگاه هر کارشناس است. مفهوم این نرخ به زبان ساده‌تر آن است که اگر معیار A اولویت بالاتری نسبت به معیار B و هم‌چنین معیار B اولویت بالاتری نسبت به معیار C داشته باشد، آن‌گاه قضاوت کارشناس سازگار خواهد بود، اگر معیار A از معیار C اولویت بالاتری داشته باشد. به‌دلیل آن‌که در این پژوهش از روش تحلیل سلسه مراتبی با دیدگاه فازی استفاده شده است، برای محاسبهٔ نرخ ناسازگاری از روش ارائه‌شده توسط Saaty and Vargas (1991) استفاده می‌شود. این روش از الگوریتم زیر پیروی می‌کند.

گام اول: اگر $A_i = (l_i, m_i, u_i)$ یک عدد فازی مربوط به خط‌کش مقیاس باشد و هر ماتریس تصمیم‌گیری مجموعه‌ای از اعداد فازی این خط‌کش مقیاس باشد که خبره از آن‌ها برای امتیازدهی استفاده کرده است، آن‌گاه به‌صورت روابط (۱۰) و (۱۱) به دو قسمت تقسیم می‌شود.

$A_{im} = (m_i)$ مقدار میانی مقیاس فازی مثلثی است (۱۰)

$A_{ig} = \sqrt{(l_i \otimes u_i)}$ مقدار میانگین هندسی حدود بالا و پایین مقیاس فازی مثلثی است (۱۱)

با توجه به تقسیم صورت‌گرفته بر مقیاس فازی مثلثی، هر یک از ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی نیز به دو قسمت تقسیم می‌شود که محاسبات رابطه (۱۲) بر روی هر یک از آن‌ها به تفکیک باید صورت بگیرد.

$$\begin{pmatrix} A_{i1}^1 & A_{i1}^2 & \cdots & A_{i1}^m \\ A_{i2}^1 & A_{i2}^2 & \cdots & A_{i2}^m \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{in}^1 & A_{in}^2 & \cdots & A_{in}^m \end{pmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{pmatrix} A_{ig1}^1 & A_{ig1}^2 & \cdots & A_{ig1}^m \\ A_{ig2}^1 & A_{ig2}^2 & \cdots & A_{ig2}^m \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{ign}^1 & A_{ign}^2 & \cdots & A_{ign}^m \end{pmatrix} \qquad (۱۲)$$

$$\begin{pmatrix} A_{im1}^1 & A_{im1}^2 & \cdots & A_{im1}^m \\ A_{im2}^1 & A_{im2}^2 & \cdots & A_{im2}^m \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{imn}^1 & A_{imn}^2 & \cdots & A_{imn}^m \end{pmatrix}$$

گام دوم (محاسبه بردار وزن هر ماتریس): ابتدا مجموع درایه‌های هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی تفکیک‌شده را به‌دست آورده و هر یک از مقادیر مجموع به‌دست آمده بر مجموع درایه‌های ستون مربوط به جمع سطرهای ماتریس مقایسات زوجی تقسیم می‌شود تا وزن نسبی نرمال‌شده هر یک از معیارها براساس رابطه (۱۳) به‌دست آید (روش مجموع سطری).

$$W_{ig}^{\ j} = \frac{\sum_{j=1}^{m} A_{ig}^j}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} A_{gi}^j}$$
$$W_{im}^{\ j} = \frac{\sum_{j=1}^{m} A_{im}^j}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} A_{im}^j} \qquad (۱۳)$$

گام سوم (بردار ویژه): در این گام ماتریس مقایسه زوجی تفکیک‌شده در ماتریس وزن نسبی به‌دست آمده معیارها ضرب می‌شود. از انجام این عملیات ماتریسی به‌دست می‌آید که با تقسیم نظیر به نظیر درایه‌های این ماتریس بر درایه‌های ماتریس وزن نسبی، مقدار ویژه برای هر یک از معیارها براساس روابط (۱۴) تا (۱۷) حاصل می شود که میانگین این مقادیر ویژه در گام بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$WSV_{ig}^{j} = \begin{pmatrix} A_{ig1}^{1} & A_{ig1}^{2} & \cdots & A_{ig1}^{m} \\ A_{ig2}^{1} & A_{ig2}^{2} & \cdots & A_{ig2}^{m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{ign}^{1} & A_{ign}^{2} & \cdots & A_{ign}^{m} \end{pmatrix} \otimes \left(W_{ig}^{j}\right) \quad (۱۴)$$

$$\rightarrow \lambda_{ig}^{j} = \frac{WSV_{ig}^{j}}{W_{ig}^{j}} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{ig}^{j}}{n} \quad (۱۵)$$

$$WSV_{im}^{j} = \begin{pmatrix} A_{im1}^{1} & A_{im1}^{2} & \cdots & A_{im1}^{m} \\ A_{im2}^{1} & A_{im2}^{2} & \cdots & A_{im2}^{m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{imn}^{1} & A_{imn}^{2} & \cdots & A_{imn}^{m} \end{pmatrix} \otimes \left(W_{im}^{j}\right) \quad (۱۶)$$

$$\rightarrow \lambda_{im}^{j} = \frac{WSV_{im}^{j}}{W_{im}^{j}} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{im}^{j}}{n} \quad (۱۷)$$

گام چهارم (شاخص ناسازگاری): با استفاده از فرمول (۱۸) و مقدار ویژهٔ به‌دست آمده در گام قبل این شاخص محاسبه می‌شود که در آن n: تعداد معیارهای یک ماتریس است.

$$CI_g = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad CI_m = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۱۸)$$

گام پنجم (نرخ ناسازگاری): با توجه به جدول ۳ مقادیر شاخص ناسازگاری تصادفی به تفکیک مقادیر میانی و هندسی و با توجه به تعداد معیارهای ماتریس از رابطه (۱۹) استفاده می‌شود.

$$CR_g = \frac{CI_g}{RI_g} \qquad CR_m = \frac{CI_m}{RI_m} \quad (۱۹)$$

اگر نرخ ناسازگاری به‌دست آمده کم‌تر از ۰/۱ باشد ($CR \leq 0.1$)، قضاوت‌های کارشناس سازگار بوده و نتایج حاصل از ماتریس مذکور قابل استناد و اعتماد است.

جدول ۳ - مقادیر شاخص ناسازگاری تصادفی هندسی و میانی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
RI_m	۰	۰	۰/۴۸۹	۰/۹۷۳۷	۱/۰۷۲	۱/۱۹۹۶	۱/۲۸۷۴	۱/۳۴۱	۱/۳۷۹۳
RI_g	۰	۰	۰/۱۷۹۶	۰/۲۶۲۷	۰/۳۵۹۷	۰/۳۸۱۸	۰/۴۰۹	۰/۴۱۶۴	۰/۴۳۴۸

۴-۳- نتایج ماتریس‌های مقایسات زوجی

پس از تجمیع نظر کارشناسان در ماتریس مقایسات زوجی واحد، محاسبات وزن هر یک از معیارها و اولویت‌بندی هر یک از استراتژی‌ها صورت می‌پذیرد. از سویی دیگر با انجام محاسبات در نرم‌افزار اکسل، نرخ ناسازگاری هر یک از ماتریس‌ها محاسبه شده و تمامی آن‌ها کمتر از ۰/۱ هستند. این موضوع نشان از سازگاری و اعتبار نظر خبرگان دارد. لذا با اطمینان از اعتبار پرسشنامه‌ها، اوزان نهایی عناصر مسئله محاسبه می‌شود. در این راستا از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. جدول‌های ۴ تا ۷ وزن نرمال هریک از زیرمعیارها نسبت به معیارهای سطح بالاتر خود را نشان می‌دهد. از برآیند این وزن‌ها با وزن نرمال‌شده گزینه‌ها در مقایسه با هریک از زیرمعیارهای محیط‌زیستی که نتایج آن در جدول های ۸ تا ۱۱ درج‌شده، باعث دست‌یابی به هدف پژوهش و اولویت‌بندی نهایی مسئله می‌شوند. نتایج نهایی در جدول‌های ۱۲ تا ۱۴ ذکر شده‌اند. همان‌طور که از جدول ۱۴ مشخص است نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه به‌عنوان موثرترین رویکرد نگهداری و تعمیرات پایدار برای دارایی‌های فیزیکی و تجهیزات معرفی می‌شود. در پایان نیز به‌منظور اطمینان از قضاوت کارشناسان، نرخ ناسازگاری اولویت‌بندی آنان محاسبه و در جدول ۱۵ درج‌شده که بیانگر صحت قضاوت آنان است.

جدول ۴- اولویت زیرمعیارها نسبت به معیار احتمال شکست قطعات

زیرمعیار	W'	نرمال‌شده
تأثیر بالقوه بر تغییر آب‌وهوای محیط اطراف	۰/۸۳۸	۰/۱۸۴
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۸۵۷	۰/۱۸۸
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۰/۹۶۲	۰/۲۱۲
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۱/۰۰۰	۰/۲۲۰
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۰/۸۹۰	۰/۱۹۶

جدول ۵- اولویت زیرمعیارها نسبت به معیار مدت زمان عیب‌یابی

زیرمعیار	W'	نرمال‌شده
تأثیر بالقوه بر تغییر آب‌وهوای محیط اطراف	۰/۹۴۷	۰/۲۰۱
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۹۴۹	۰/۲۰۲
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۱/۰۰۰	۰/۲۱۲
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۰/۹۲۳	۰/۱۹۶
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۰/۸۸۹	۰/۱۸۹

جدول ۶- اولویت زیرمعیارها نسبت به معیار پشتیبانی انبار لوازم یدکی

زیرمعیار	W'	نرمال‌شده
تأثیر بالقوه بر تغییر آب و هوای محیط اطراف	۰/۷۷۷	۰/۱۷۵
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۷۹۰	۰/۱۷۷
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۰/۹۴۵	۰/۲۱۲
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۰/۹۳۸	۰/۲۱۱
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۱/۰۰۰	۰/۲۲۵

جدول ۷- اولویت زیرمعیارها نسبت به معیار متوسط زمان برای تعمیر

زیرمعیار	W'	نرمال‌شده
تأثیر بالقوه بر تغییر آب و هوای محیط اطراف	۰/۸۴۵	۰/۱۸۱
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۹۲۸	۰/۱۹۷
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۱/۰۰۰	۰/۲۱۲
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۰/۹۴۹	۰/۲۰۱
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۰/۹۸۳	۰/۲۰۹

جدول ۸- اولویت زیرمعیارها نسبت به زیرمعیار تأثیر بالقوه بر تغییر آب و هوای محیط اطراف

گزینه	W'	نرمال‌شده
نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM)	۱/۰۰۰	۰/۲۶۴
نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)	۰/۹۹۸	۰/۲۶۴
نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)	۰/۸۱۹	۰/۲۱۶
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)	۰/۹۶۵	۰/۲۵۵

جدول ۹- اولویت زیرمعیارها نسبت به زیرمعیار میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی

گزینه	W'	نرمال‌شده
نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM)	۱/۰۰۰	۰/۲۶۸
نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)	۰/۹۰۹	۰/۲۴۴
نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)	۰/۸۶۶	۰/۲۳۲
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)	۰/۹۵۱	۰/۲۵۵

جدول ۱۰- اولویت زیرمعیارها نسبت به زیرمعیار درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی

گزینه	W'	نرمال‌شده
نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM)	۰/۹۰۶	۰/۲۶۷
نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)	۰/۸۸۴	۰/۲۶۰
نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)	۰/۶۰۸	۰/۱۷۹
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)	۱/۰۰۰	۰/۲۹۴

جدول ۱۱- اولویت زیرمعیارها نسبت به زیرمعیار میزان هدررفت سوخت و انرژی

گزینه	W'	نرمال‌شده
نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM)	۱/۰۰۰	۰/۲۷۷
نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)	۰/۸۷۸	۰/۲۴۳
نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)	۰/۸۲۶	۰/۲۲۹
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)	۰/۹۰۸	۰/۲۵۱

جدول ۱۲- اولویت‌بندی نهایی معیارها نسبت به هدف مطالعه

انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات برای دستیابی به تولید سبز	W'	نرمال‌شده
احتمال شکست قطعات تجهیز	۱/۰۰۰	۰/۲۸۹
مدت زمان عیب‌یابی	۰/۲۴۵	۰/۲۴۵
پشتیبانی انبار لوازم یدکی	۰/۲۱۷	۰/۲۱۷
متوسط زمان برای تعمیر	۰/۲۴۹	۰/۲۴۹

جدول ۱۳- اولویت‌بندی نهایی زیرمعیارها نسبت به هدف مطالعه

تأثیر بالقوه بر تغییر آب و هوای محیط اطراف	۰/۱۸۶
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۱۹۱
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۰/۲۱۲
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۰/۲۰۷
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۰/۲۰۴

جدول ۱۴- اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها نسبت به هدف مطالعه

نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه (PAM)	۰/۲۷۱
نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)	۰/۲۵۱
نگهداری و تعمیرات اضطراری (EM)	۰/۲۱۷
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)	۰/۲۶۲

جدول ۱۵- نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی چهار کارشناس قضاوت‌کننده

زیرمعیار	کارشناس اول		کارشناس دوم		کارشناس سوم		کارشناس چهارم	
	ماتریس میانی	ماتریس هندسی	ماتریس میانی	ماتریس هندسی	ماتریس میانی	ماتریس هندسی	ماتریس میانی	ماتریس هندسی
احتمال شکست قطعات	۰/۰۰۹	۰/۰۵۰	۰/۰۱۷	۰/۰۸۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۳۹	۰/۰۹۹
مدت زمان عیب‌یابی	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	۰/۰۹۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۷۴
پشتیبانی انبار لوازم یدکی	۰/۰۱۱	۰/۰۴۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۸۳	۰/۰۴۷	۰/۰۱۳	۰/۰۶۵
متوسط زمان برای تغییرات	۰/۰۱۱	۰/۰۶۵	۰/۰۳۷	۰/۰۷۹	۰/۰۱۰	۰/۲۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
تأثیر بالقوه بر تغییر آب و هوای محیط اطراف	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۸	۰/۰۶۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳
میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر خرابی	۰/۰۰۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۲۷
درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵	۰/۰۳۹
میزان هدررفت سوخت و انرژی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۵۸	۰/۰۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۳۲
میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات	۰/۰۲۶	۰/۰۸۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱	۰/۰۵۳	۰/۰۲۶	۰/۰۷۹
انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات برای دستیابی به تولید سبز	۰/۰۱۱	۰/۰۷۴	۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	۰/۰۰۷	۰/۰۵۱	۰/۰۰۹	۰/۰۶۸

اعداد به‌دست آمده جدول ۱۵ بیانگر سازگاری قضاوت‌های هر چهار کارشناس در امتیازدهی خود است.

۵- تحلیل نتایج

محاسبات صورت‌گرفته برای حصول وزن نسبی در سطح معیارها نسبت به هدف تولید سبز، بیانگر این موضوع است که معیار احتمال شکست قطعات دارای بالاترین ارجحیت نسبت به دیگر معیارها است. علت این موضوع به‌زعم اکثریت خبرگان می‌تواند به‌منظور جلوگیری از توقفات برنامه‌ریزی‌نشده باشد که با اقداماتی نظیر پایش عملکرد تجهیز به‌صورت منظم می‌توان از خرابی دستگاه به‌صورت ناگهانی پیشگیری کرد و تبعات محیط‌زیستی ناشی از آن را به حداقل رساند. اما درصورت خرابی معیاری که بیشترین امتیاز را پس از احتمال شکست قطعات به خود اختصاص داده است، متوسط زمان برای تعمیر است. لذا هر قدر این مدت زمان بیشتر شود، پیامدهای عدم‌کارکرد تجهیز در سطح استاندارد بیشتر شده و تبعات بیشتری را به زیست‌بوم متحمل می‌شود. هم‌چنین مدت زمان عیب‌یابی با اختلاف وزنی ناچیز در رتبه بعدی قرار می‌گیرد که دلیل این اختلاف نیز نزدیکی معیارهای مذکور به یکدیگر و ارتباط مستقیم مشهود گذر زمان با میزان صدمات محیط‌زیستی است. اما آخرین معیار اولویت‌بندی این سطح، پشتیبانی انبار لوازم یدکی است که بسته به نوع راهبرد انتخابی نقطه سفارش و کنترل موجودی در آن متفاوت است. این معیار نیز همانند دو معیار دیگر زمان را مدنظر قرار می دهد. یعنی هر قدر پشتیبانی در سطح بالاتری صورت بگیرد، کمبود و صدمات پس از خرابی کاهش می‌یابد. باید توجه شود این معیار فقط از جنبهٔ محیط‌زیستی مورد ارزیابی قرار گرفته و نقطهٔ سفارش‌دهی و بررسی‌های اقتصادی انبارش لوازم یدکی درنظر گرفته نشده است.

سطح بعدی درخت سلسه مراتبی متشکل از زیرمعیارهای محیط‌زیستی است که با بیشترین وزن نهایی زیرمعیار درصد ضایعات تولیدی بر اثر خرابی در اولویت نخست قرار می‌گیرد. این پیامد ناشی از خرابی علاوه‌بر ضربه اقتصادی که بر سازمان وارد می‌شود، پیامدهای سوئی برای محیط‌زیست دارد. به‌خصوص زمانی این پیامدها برجسته‌تر به‌نظر می‌رسند که ضایعات قابل‌بازیافت نبوده و باید در محیط طبیعت منهدم شوند؛ ضایعاتی که حتی دفن آن‌ها نیز می‌تواند تأثیر خود را بر سلامت زیست‌بوم بگذارد. از سوی دیگر نیز اتلاف مواد اولیه‌ای را به‌همراه خواهد داشت که این هدررفت موجب نزدیکی به زیرمعیار میزان هدررفت سوخت و انرژی در اثر خرابی در اولویت بعدی می‌شود که علت این اهمیت، افزایش سرعت زوال منابع است. زیرا اگر یک تجهیز در اثر خرابی دچار مصرف بیش از حد استاندارد طراحی خود شود، می‌تواند برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و معیشتی سازمان و حتی دولت را در رفع نیازهای آینده به چالش بکشد. همان‌گونه که بیان شد، ضایعات ناشی از خرابی حتی درصورت دفن نیز می‌تواند خطرساز باشد اما اگر این مواد زائد بی هیچ پروتکل بهداشتی وارد طبیعت شوند، آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به زیست‌بوم وارد می‌کنند. به‌همین منظور نیز زیرمعیار میزان انتشار فاضلاب در اثر نشت تأسیسات در اولویت سوم به‌چشم می‌خورد. اولویتی که علاوه‌بر فاضلاب می‌تواند مواد سمی دیگر را نیز شامل شود، به‌خصوص در صنایع خطرآفرینی هم‌چون پتروشیمی که اگر تمهیدات لازم برای انتقال این مواد و در صورت اتخاذ تمهیدات، راه‌کارهایی برای مقابله با نقص آن‌ها در نظر گرفته نشود، حتی به برهم‌زدن چرخهٔ طبیعت نیز منجر می‌شود. علاوه‌بر تأسیسات که عدم‌توجه به آن منجر به آلوده‌شدن محیط می‌شود، خرابی تجهیزات تولیدی نیز آلودگی‌های مختلفی را به‌دنبال دارد، همانند آزادکردن گازهای سمی ناشی از سوخت ناقص، به‌دلیل ضعف عملکردی و یا آلودگی صوتی ناشی از شکست قطعات و تعلل در روغن‌کاری و بازرسی‌های مرتب. اما زیرمعیاری که در اولویت آخر قرارگرفته است می‌تواند به‌دلیل ماهیت زمان‌بر بودن قابل شهود شدن نتایج حاصل از آن باشد. زیرا تغییرات آب و هوا همانند گرم شدن تدریجی و افزایش سطح آلاینده‌های هوا با گذشت زمان رخ می‌دهد و قضاوت درخصوص پیامدهای آن، کار را برای هر کارشناسی سخت می‌کند، اما نباید از آسیب‌های آن چشم‌پوشی کرد.

اولویت‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات منتخبی که در پرسشنامه مورد بررسی خبرگان قرار گرفته‌اند و پیاده‌سازی هر یک از آن‌ها می‌تواند میزانی از سازش را بین صنعت و محیط‌زیست ایجاد کند، به شرح زیر است:

نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه به‌سبب ماهیت عیب‌یابی که دارد، پیش از بروز توقفات برنامه‌ریزی‌نشده درصدد رفع عیب برمی‌آید و احتمال شکست قطعات را به‌طرز چشم‌گیری کاهش می‌دهد. این عیب‌یابی با تمرکز بر بررسی منظم تجهیز و ثبت اطلاعات کنترلی توسط تکنسین و یا نیروی اپراتور آموزش‌دیده انجام شده که این اقدام در نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه نیز به‌نوعی صورت‌می‌گیرد. اما عاملی که باعث برتری نگهداری و تعمیرات کنش‌گرایانه نسبت به نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه شده است، پیشگیری از فرسایش است. فرسایشی که احتمال

شکست و در نتیجه توقفات برنامه‌ریزی‌نشده را افزایش می‌دهد و پیامدهای محیط‌زیستی را به‌دنبال خواهد داشت. در اولویت سوم، نگهداری و تعمیرات اصلاحی قرار دارد که با ماهیت تعدیل و تغییردهندهٔ خود عملکرد و طول عمر تجهیز را بهبود می‌بخشد، اما نقش زیادی را در کاهش خرابی ایفا نمی‌کند. درواقع مدت‌زمان عملکرد تجهیز در سطح مطلوب را افزایش می‌دهد، اما به‌طور مشهود قابلیت پیشگیرانه را نمایان نمی‌کند. استراتژی نگهداری و تعمیرات اضطراری نیز نقشی در پیشگیری توقفات ندارد و فقط در زمان خرابی وظیفه‌ای را به‌عهده خواهد داشت که تأثیر چندانی بر بهبود ارتباط میان طبیعت و صنعت ندارد.

برای ادامه این تحقیقات پیشنهادات زیر را می توان مورد بررسی قرار داد:

- از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان برای دستیابی به نتیجه استفاده کرد.
- انجام پژوهش در فاز دوم به‌منظور ارزیابی علت‌های خرابی و ارزیابی روش‌های کنترل این علل در صنایع مختلف به‌ویژه سازمان‌های خدمت‌رسان.
- محاسبه کمّی پارامترهای محیط‌زیستی در صورت پیاده‌سازی هر یک از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات و پایش بهینگی روش با توجه به پارامترهای هزینه و زمان.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Pereventive Maintenance
2- Corrective Maintenance
3- Condition-Based Maintenance
4- Risk Based Maintenance
5- Reliability Centered Maintenance
6- Time-Based Maintenance
7- Emergency Maintenance

۷- مراجع

بهزاد، م.، قاسمی، ع.، ابراهیمی، ع.، و روحانی بسطامی، ع.، (۱۳۸۵)، "نگهداری و تعمیرات پیشگویانه در ایستگاه‌های پمپاژ آب"، *آب و فاضلاب*، ۱۷(۲)، ۱۰-۱۸.

حامد مزرعه، ب.، و رمضانی، س.، (۱۴۰۱)، "ضرورت ایجاد چارچوبی برای نگهداشت ساختمان، ابنیه و تأسیسات"، *دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم فنی و مهندسی*، تهران.

حذار، ب.، خودچیانی، ر.، حامد، ف.، و فرحبخش‌پور، م.، (۱۳۹۴)، "ارتباط بین سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و نگهداری و تعمیرات در شرکت آب و فاضلاب"، *کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، تهران، https://civilica.com/doc/461496

ستوده مرام، ک.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی تصفیه‌خانه فاضلاب ارومیه با استفاده از روش FMEA"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۱)، ۳۳-۲۳.

شهرجردی، ر.، (۱۴۰۱)، "ارائه چارچوب در بررسی عملکرد سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شرکت‌های آب و فاضلاب؛ مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان البرز"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۷(۴)، ۴۷-۵۹.

قدمی فیروزآبادی، ع.، (۱۳۹۵)، "بررسی بازده، میزان انرژی مصرفی و کارایی مصرف آب در ایستگاه های پمپاژ برقی"، *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۶(۲۵)، ۱-۱۴.

قنادی, م.، (۱۳۹۷)، "مدیریت محلی خدمات آب و فاضلاب، انتظارها و رویکرده "، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۱)، ۵۸-۶۹.

کانونی، ا.، و منعم، م.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی تخصیص و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه‌های آبیاری"، *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۰(۱)، ۱۲-۲۳.

گرامی، ج.، (۱۳۹۹)، "رتبه‌بندی ابعاد سروکوال با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) در صنعت بانک‌داری خصوصی (مطالعه موردی: بانک‌های خصوصی استان فارس)"، *پژوهش‌های نوین در ریاضی* (علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی)، ۶(۲۵)، ۲۳-۳۹.

مومنی، م.، (۱۳۸۵)، *مباحث نوین تحقیق در عملیات*، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، چاپ اول.

نامجو، م.، بلور، ب.، و قنادی، م.، (۱۳۸۹)، "شرکت‌های آب و فاضلاب در گام چهارم توسعه"، *شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور*، تهران، ایران.

نوروزی، ر.، و قهرودی تالی، م.، (۱۳۹۸)، "پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب شهری در مقابل مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: منطقه یک آبفا شهر تهران)"، *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۹(۳۴)، ۱۴۹-۱۶۲

Badia, F., Bracci, E., and Tallaki, M., (2020), "Quality and diffusion of social and sustainability reporting in Italian public utility companies", *Sustainability*, 12(11), 4525.

Dağdeviren, M., and Yüksel, İ., (2008), "Developing a fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) model for behavior-based safety management", *Information sciences*, 178(6), 1717-1733.

Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez

Fernández, J.F., Parra Márquez, C., and López Campos, M., (2009), "The maintenance management framework: A practical view to maintenance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167-178, https://doi.org/10.1108/13552510910961110.

Gackowiec, P., (2019), "General overview of maintenance strategies–concepts and approaches", *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 2(1), 126-139.

Ge, Y., Xiao, M., Yang, Z.h., Zhang, L., Hu, Z., and Feng, D.m (2017), "An integrated logarithmic fuzzy preference programming-based methodology for optimum maintenance strategies selection", *Soft Computing*, 60, 591-601, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.021.

Horner, R.M.W., El-Haram, M.A., and Munns, A.K., (1997), "Building maintenance strategy: A new management approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4), 273-280.

Krishnasamy, L., Khan, F., and Haddara, M., (2005), "Development of a Risk-Based Maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2), 69-81.

Le Gat, Y., and Eisenbeis, P., (2000), "Using maintenance records to forecast failures in water networks", *Urban Water*, 2(3), 173-181.

Saaty, T.L., and Vargas, L.G., (1991), *Prediction, projection and forecasting*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 p, http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-7952-0.

Shafiee, M., and Sørensen, J.D., (2017), "Maintenance optimization and inspection planning of wind energy assets: Models, methods and strategies", *Reliability Engineering and System Safety*, 192, 105993, 1-19, https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.10.025.

Shin, J.H., and Jun, H.B., (2015), "On condition-based maintenance policy", *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(2), 119-127, https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.12.006.

Siddiqui, A.W., and Ben-Daya, M., (2009), *Reliability centered maintenance*, Handbook of Maintenance Management and Engineering, (pp. 397-415), Springer, London, https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_16.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.