نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
DOI: 10.22112/jwwse.2026.561365.1471

ارزیابی راهبردی بازچرخانی پساب تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره

کامران محمدی[1*] ، مهرداد شمشادی[2] و محمد برهان سلامی[3]

۱- استادیار سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. نویسنده مسئول، رایانامه: k_mohammadi@razi.ac.ir

۲- رئیس واحد پژوهش و توسعه، شرکت پالایش نفت کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۳- رئیس واحد آب و برق و بخار، شرکت پالایش نفت کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۵/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

چکیده

مدیریت آب و پساب در پالایشگاه‌های نفت، نیازمند تصمیم‌گیری هم‌زمان بر پایه داده‌های بهره‌برداری، محدودیت‌های فنی و ملاحظات راهبردی است. هدف این پژوهش، ارزیابی وضعیت تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه نفت کرمانشاه و تعیین راهبرد مناسب برای ارتقای بازچرخانی پساب با استفاده از چارچوب ترکیبی ابزارهای کمی مدیریت استراتژیک و تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این مطالعه، اطلاعات فنی مؤثر بر تصفیه خانه و بازچرخانی پساب به همراه نظرات کارشناسی مدیران و متخصصان پالایشگاه گردآوری و تحلیل شد. بر اساس داده‌های بهره‌برداری، پساب تولیدی تصفیه‌خانه حدود ۷۵ مترمکعب بر ساعت می‌باشد. نتایج تحلیل فاکتورهای داخلی و خارجی نشان داد که چالش‌های تصفیه‌خانه شامل نوسانات کیفی جریان‌های ورودی، محدودیت در کنترل فرآیندهای تصفیه، و فقدان سامانه‌های پایش بلادرنگ، مانع دستیابی به پایداری عملکردی در سیستم موجود است. در ادامه، خروجی مدل ELECTRE TRI برای طبقه‌بندی و وزن‌دهی عوامل در ماتریس‌های فاکتورهای داخلی و خارجی به‌کار رفت و راهبردهای منتخب در ماتریس برنامه‌ریزی استراتژی کمی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که راهبرد WO1، مبتنی بر اجرای طرح تکمیلی تصفیه‌خانه و تقویت کنترل‌های فرآیندی، با امتیاز ۴/۰۴۸ در مقایسه با راهبرد WO2 با امتیاز ۳/۴۲۸، اولویت نخست را دارد. بر این اساس، ارتقای تصفیه تکمیلی و پایش فرآیندی می‌تواند مسیر مناسب‌تری برای افزایش قابلیت بازچرخانی پساب، کاهش فشار بر منابع آب خام و بهبود پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه فراهم کند. یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که اتخاذ رویکرد مدیریت استراتژیک مبتنی بر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مسیر توسعه پایدار تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه را تقویت می‌نماید.

کلمات کلیدی: تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت، بازچرخانی پساب، مدل ELECTRE TRI، توسعه پایدار

Strategic assessment of wastewater reuse in the wastewater treatment plant of Kermanshah Oil Refinery using a multi-criteria decision making approach

Kamran Mohammadi [1*], Mehrdad Shemshadi [2], Mohammad Borhan Salami [3]

1. Corresponding author, Assistant professor of hydraulic structures, Department of water engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: k_mohammadi@razi.ac.ir
2. Head of Research and Development Unit, Kermanshah Oil Refinery Company, Kermanshah, Iran.
3. Head of Utility Unit, Kermanshah Oil Refinery Company, Kermanshah, Iran.

Received: 23/11/2025
Revised: 05/08/2026
Accepted: 01/09/2026

Abstract

Water and wastewater management in oil refineries requires simultaneous decision-making based on operational data, technical constraints, and strategic considerations. The aim of this study is to evaluate the status of the wastewater treatment plant of the Kermanshah Oil Refinery and to determine an appropriate strategy for improving wastewater reuse through a hybrid framework of strategic management quantitative tools and multi-criteria decision making methods. In this study, the technical information affecting the treatment plant and wastewater reuse, along with the expert opinions of refinery managers and specialists, were collected and analyzed. Based on operational data, the amount of generated wastewater from the treatment plant is approximately 75 m^3/h. The results of internal and external factor analysis indicated that the main challenges of the treatment plant include fluctuations in influent quality, limitations in process control, and the lack of real-time monitoring systems, which hinder the achievement of stable operational performance in the existing system. Subsequently, the output of the ELECTRE TRI model was used for classifying and weighting factors in the internal and external factor evaluation matrices, and the selected strategies were assessed using the Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM). The results showed that strategy WO1, based on the implementation of a supplementary treatment scheme and enhancement of process control systems, with a score of 4.048 compared to WO2 with a score of 3.428, holds the highest priority. Accordingly, upgrading advanced treatment and process monitoring can provide a more suitable pathway for increasing wastewater reuse potential, reducing pressure on freshwater resources, and improving the operational sustainability of the Kermanshah Oil Refinery wastewater treatment plant. The findings indicate that adopting a strategic management approach based on multi-criteria decision-making models strengthens the pathway toward sustainable development of the refinery's wastewater treatment system.

Keywords: Wastewater treatment plant of oil refinery, Wastewater reuse, ELECTRE TRI model, Sustainable development

۱- مقدمه

افزایش فشار بر منابع آب کشور، به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک غرب ایران، طی دهه‌های اخیر ضرورت بازنگری در الگوهای مصرف و مدیریت آب صنایع بزرگ را برجسته کرده است. پالایشگاه نفت کرمانشاه نیز به‌عنوان یکی از صنایع راهبردی این منطقه، با اتکا بر چاه‌های آب زیرزمینی، رودخانه قره‌سو و بخشی از شبکه آب شهری، سالانه حجم قابل‌توجهی آب مصرف می‌کند و متناسب با ماهیت فرایندهای پالایشگاهی، مقدار قابل‌توجهی پساب تولید می‌شود. ارزیابی داده‌های موجود نشان می‌دهد که وابستگی پالایشگاه به منابع آب زیرزمینی، افزایش مصرف در واحدهای یوتیلیتی همچون برج‌های خنک‌کننده، واحد نمک‌زدایی و نیز محدودیت ظرفیت تصفیه‌خانه داخلی، چالش‌های جدی در مسیر پایداری و کاهش فشار بر منابع آب خام ایجاد کرده است. با توجه به شرایط اقلیمی، محدودیت دبی چاه‌ها و الزامات محیط‌زیستی مرتبط با کیفیت پساب خروجی، حرکت به سمت بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب، یکی از مهم‌ترین راهبردهای قابل اتکا برای تضمین تداوم بهره‌برداری پایدار پالایشگاه به‌شمار می‌آید. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ظرفیت‌های بالقوه‌ای برای ارتقای عملکرد سیستم تصفیه موجود، بازیافت پساب و جایگزینی بخشی از آب خام با منابعی همچون پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری یا منابع کم‌خطرتر دیگر وجود دارد. ظرفیت‌هایی که بهره‌برداری صحیح از آنها می‌تواند به‌طور قابل توجهی برداشت از سفره‌های زیرزمینی و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد و شاخص‌های عملکرد زیست‌محیطی را ارتقا بخشد.

با وجود اهمیت موضوع، انتخاب راهکارهای بهینه برای مدیریت چرخه آب پالایشگاه به‌دلیل وجود معیارهای متعدد و گاه متضاد—شامل کیفیت آب، هزینه سرمایه‌گذاری، سهولت بهره‌برداری، ریسک‌های محیط‌زیستی، انطباق با استانداردهای فرایندی و محدودیت‌های زیرساختی—یک مسئله ذاتاً چندمعیاره به‌حساب می‌آید. در چنین شرایطی، رویکردهای هیبریدی تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱] که امکان تجمیع قضاوت‌های کارشناسی، ارزیابی هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را فراهم می‌کنند، ابزارهای مؤثری برای تعیین بهترین مسیرهای اصلاح و بهبود سیستم به‌شمار می‌روند. تجربیات پیشین در زمینه استفاده از مدل‌های SWOT[۲] ، QSPM[۳] و ELECTRE TRI در مدیریت راهبردی آب نیز نشان داده است که کاربرد این مدل‌ها می‌تواند به شناسایی واقع‌بینانه چالش‌ها، اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی و انتخاب گزینه‌هایی منطبق با محدودیت‌های عملیاتی پالایشگاه منجر شود.

محمدیان و حسینی (۱۳۹۴) طی یک مرور نظام‌مند، مجموعه‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را برای تصفیه پساب‌های صنعتی نفت و گاز بررسی کردند. یافته‌های آنان حاکی از این است که رویکردهای ترکیبی به‌ویژه ترکیب پیش‌تصفیه با فرآیندهای پیشرفته مانند غشا یا اکسیداسیون در دستیابی به کیفیت مطلوب آب جهت استفاده مجدد نقش کلیدی دارند. کازرانی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) کارایی فرایندهای پرتوی برای حذف ترکیبات آروماتیک پایدار همچون فنول و فورفورال را ارزیابی کردند. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک‌های غیرسنتی می‌تواند تخریب عمیق‌تر آلاینده‌ها را فراهم کند. ضیائی و خازینی (۱۴۰۱) با بررسی ترکیبات آلی فرّار منتشرشده از حوضچه‌های تصفیه، تأکید کردند که حضور این ترکیبات می‌تواند کیفیت هوا و ایمنی محیط کار را تحت‌تأثیر قرار دهد و کنترل انتشار آن‌ها برای پایداری محیط‌زیستی ضروری است. در همین مسیر، باقری و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش‌های تحلیلی چندمتغیره، امکان افزایش راندمان حذف آلاینده‌های روغنی از پساب پالایشگاه گاز را بررسی کردند و نشان دادند که تنظیم هم‌زمان پارامترهای عملیاتی قادر است راندمان فرایند جذب را به‌طور معناداری ارتقا دهد. صادقی و همکاران (۱۴۰۳) با تمرکز بر مدیریت پسماندهای نفتی در صنایع بالادست و پایین‌دست، مجموعه‌ای از راهکارهای کاهش آلودگی و بهینه‌سازی بازیافت را ارائه کردند که تأکید ویژه‌ای بر نقش رویکردهای یکپارچه در مدیریت جریان‌های پسماند و پساب دارد. این مطالعه با برجسته‌سازی چالش‌هایی نظیر بار آلودگی نفتی، ضرورت استفاده از فناوری‌های نوین تصفیه را تبیین کرده است. فاضلی‌فارسانی (۱۴۰۳) در مروری گسترده بر فناوری‌های تصفیه در پالایشگاه‌های نفتی کشور، بر اهمیت استفاده از روش‌های پیشرفته نظیر اکسیداسیون فتوکاتالیستی و غشایی تأکید کرد و این فناوری‌ها را راهکاری عملی برای کاهش بار آلودگی و انطباق با استانداردهای روز معرفی نمود. علی‌پوری‌پرویزیان و اقدسی‌نیا (۱۴۰۴) در

مطالعه‌ای کاربردی در پالایشگاه تبریز نشان دادند که جاذب‌های اصلاح‌شده می‌توانند گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه‌تر و مؤثرتر نسبت به کربن فعال برای حذف ترکیبات نفتی باشند. یافته‌ای که اهمیت استفاده از مواد بومی و کم‌هزینه را در ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌ها آشکار می‌کند.

در سطح بین‌المللی، طی سال‌های اخیر موضوع بازچرخانی آب و مدیریت پایدار پساب در صنایع سنگین به‌ویژه پالایشگاه‌ها به یکی از محورهای مهم پژوهشی تبدیل شده است. در یک مرور جامع، پیشرفت‌های نوین در حوزه تصفیه پساب پالایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که استفاده از ترکیب فرایندهای بیولوژیکی، غشایی و اکسیداسیون پیشرفته می‌تواند به‌طور هم‌زمان منجر به بهبود کیفیت پساب خروجی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شود (Lawan et al., 2023). این روند بیانگر حرکت جهانی به سمت استفاده از سیستم‌های چندمرحله‌ای و ترکیبی در تصفیه پساب صنعتی است. همچنین در مطالعات مرتبط، بر ضرورت یکپارچه‌سازی فناوری‌های غشایی و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته به‌منظور حذف آلاینده‌های مقاوم تأکید شده است که این موضوع نقش مهمی در ارتقای کیفیت پساب برای استفاده مجدد در صنایع دارد (Guo, 2024). در همین راستا، چارچوب‌های مفهومی توسعه‌یافته برای استفاده چرخه‌ای از آب در صنایع فرآیندی نشان می‌دهند که بازچرخانی پساب می‌تواند به‌طور قابل توجهی برداشت از منابع آب طبیعی را کاهش داده و پایداری عملیاتی در پالایشگاه‌ها را افزایش دهد (Karkou et al., 2024). از سوی دیگر، بررسی چالش‌های اقتصادی، فنی و اجتماعی مرتبط با سیاست‌های بازاستفاده از پساب نشان داده است که بدون یکپارچه‌سازی سیاست‌ها و رویکردهای مدیریتی، دستیابی به سیستم‌های چرخه بسته آب در صنایع سنگین با محدودیت‌های جدی مواجه خواهد بود (Florides et al., 2024). در این زمینه، مدل‌های انتخاب فناوری تصفیه بر اساس اهداف کیفی آب، ویژگی‌های پساب و محدودیت‌های عملیاتی می‌توانند به‌عنوان چارچوب تصمیم‌گیری در سطح پالایشگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Kato, 2024). همچنین ارزیابی اثرات سیاست‌های صرفه‌جویی و بازچرخانی پساب بر پایداری منابع آب نشان داده است که استفاده مجدد از پساب صنعتی می‌تواند اثرات مثبت قابل توجهی در کاهش فشار بر منابع آب سطحی و زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک ایجاد نماید (Wang et al., 2025). در کنار این موارد، برخی مطالعات کاربردی نیز راهکارهایی مانند استفاده مجدد از پساب در برج‌های خنک‌کننده، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده در مصارف غیرحساس صنعتی را معرفی کرده‌اند که می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه برداشت آب خام در صنایع شود (Karkou et al., 2025). از منظر کیفیت پساب، بررسی ترکیبات نوظهور در پساب‌های صنعتی نشان داده است که برخی آلاینده‌ها مانند افزودنی‌های نفتی و مواد فعال سطحی هنوز به‌طور کامل در استانداردهای رایج پوشش داده نشده‌اند و پایش آن‌ها در آینده اهمیت بیشتری خواهد یافت (Khudayr et al., 2025). همچنین توسعه فناوری‌های نوین مانند غشاهای پیشرفته و نانوفتوکاتالیست‌ها نشان‌دهنده حرکت آینده تصفیه صنعتی به سمت سیستم‌های هوشمند، کم‌انرژی و با قابلیت بازیافت بیشتر است (Shamshad and Rehman, 2025).

در کنار پیشرفت‌های فناورانه در حوزه تصفیه پساب، در سال‌های اخیر استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌صورت گسترده در مدیریت آب و بازچرخانی پساب در صنایع پالایشگاهی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات نشان داده‌اند که این روش‌ها عمدتاً به‌عنوان ابزارهای پشتیبان تصمیم برای تلفیق داده‌های عملیاتی محدود با قضاوت خبرگان به کار می‌روند و نقش مهمی در اولویت‌بندی راهبردهای بهبود سیستم‌های آب و فاضلاب دارند (Hajkowicz and Collins, 2007). در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط، رویکردهای هیبریدی مبتنی بر ترکیب روش‌هایی مانندSWOT ، ELECTRE، TOPSIS و QSPM برای تحلیل مسائل پیچیده مدیریت منابع آب در پالایشگاه‌ها به‌کار گرفته شده‌اند و نتایج نشان داده است که این ترکیب‌ها می‌توانند چارچوبی مؤثر برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت و محدودیت داده فراهم کنند. بنابراین، استفاده از مدل ترکیبی در این پژوهش نیز در راستای رویه‌های رایج علمی در حوزه مدیریت پایدار پساب پالایشگاهی بوده و با هدف ارتقای فرآیند تصمیم‌گیری راهبردی انجام شده است.

با مرور مطالعات انجام‌شده می‌توان دریافت که پژوهش‌های مرتبط با پساب پالایشگاهی عمدتاً در سه مسیر اصلی توسعه یافته‌اند. گروه نخست بر معرفی و ارزیابی فناوری‌های تصفیه، از جمله فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، غشایی، جذب

و اکسیداسیون پیشرفته تمرکز داشته‌اند و هدف اصلی آن‌ها کاهش بار آلودگی و بهبود کیفیت پساب خروجی بوده است. گروه دوم بیشتر به جنبه‌های بهره‌برداری و کنترل آلاینده‌ها پرداخته‌اند و نقش تنظیم شرایط عملیاتی، کنترل ترکیبات نفتی، کاهش بار آلی و مدیریت جریان‌های آلوده را در پایداری عملکرد تصفیه‌خانه‌ها بررسی کرده‌اند. گروه سوم نیز به موضوع بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب در صنایع پرداخته و نشان داده‌اند که بازگرداندن پساب تصفیه‌شده به چرخه مصرف می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش برداشت از منابع آب خام، کاهش هزینه‌های دفع و ارتقای شاخص‌های زیست‌محیطی باشد.

با وجود این، بخش قابل توجهی از مطالعات پیشین یا بر انتخاب فناوری تصفیه متمرکز بوده‌اند، یا بازچرخانی پساب را از منظر کیفی و فرآیندی بررسی کرده‌اند. در این مطالعات، ارتباط میان داده‌های واقعی بهره‌برداری تصفیه‌خانه، محدودیت‌های فنی و اجرایی، عوامل مدیریتی، فرصت‌ها و تهدیدهای بیرونی و انتخاب راهبرد اجرایی کمتر به‌صورت یکپارچه بررسی شده است. به بیان دیگر، در بسیاری از موارد مشخص نیست که از میان گزینه‌های مختلف اصلاح، توسعه، پایش، تصفیه تکمیلی یا مدیریت مصرف، کدام گزینه با در نظر گرفتن هم‌زمان شرایط فنی تصفیه‌خانه، محدودیت‌های اقتصادی، امکان اجرا و اولویت‌های مدیریتی، برای یک پالایشگاه مشخص مناسب‌تر است.

خلأ اصلی پژوهش‌های قبل به منظور انجام تحقیق حاضر از همین نقطه شکل می‌گیرد. در پالایشگاه نفت کرمانشاه، مسئله بازچرخانی پساب صرفاً یک مسئله فناورانه یا آزمایشگاهی نیست، بلکه تصمیمی چندبعدی است که به کیفیت و کمیت جریان‌های ورودی، وضعیت واحدهای تولیدکننده پساب، قابلیت کنترل فرآیندها، هزینه‌های بهره‌برداری، محدودیت‌های توسعه، الزامات زیست‌محیطی و امکان استفاده مجدد از پساب در واحدهای مختلف پالایشگاه وابسته است. بنابراین، انتخاب راهبرد مناسب برای ارتقای تصفیه‌خانه نیازمند چارچوبی است که بتواند این مؤلفه‌های فنی و مدیریتی را به‌صورت هم‌زمان در فرآیند تصمیم‌گیری وارد کند. لذا نوآوری این پژوهش در به‌کارگیری یک چارچوب ترکیبی تصمیم‌گیری شامل SWOT، AHP[۴]، ELECTRE TRI و QSPM برای تحلیل راهبردی تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه نفت کرمانشاه است. در این چارچوب، ابتدا عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر عملکرد تصفیه‌خانه و بازچرخانی پساب شناسایی می‌شوند، سپس وزن معیارهای تصمیم با استفاده از AHP تعیین شده و عوامل شناسایی‌شده با مدل ELECTRE TRI در طبقات تصمیم قرار می‌گیرند. در ادامه، ماتریس‌های ارزیابی فاکتورهای داخلی و خارجی IFEM[۵] و EFEM[۶] بر اساس این طبقه‌بندی تکمیل شده و راهبردهای منتخب با QSPM ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند. به این ترتیب، پژوهش حاضر تلاش می‌کند فاصله میان داده‌های فنی تصفیه‌خانه و تصمیم‌گیری مدیریتی را کاهش دهد و راهبردی قابل اجرا برای ارتقای بازچرخانی پساب در پالایشگاه نفت کرمانشاه ارائه کند.

مطالعات متعدد در حوزه مدیریت منابع آب و فاضلاب نشان داده‌اند که رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان ابزارهای پشتیبان تصمیم، عمدتاً برای تلفیق قضاوت خبرگان با اطلاعات عملیاتی موجود مورد استفاده قرار می‌گیرند و الزاماً مبتنی بر داده‌های کامل فیزیکوشیمیایی نیستند. در این چارچوب، هدف اصلی این روش‌ها مدل‌سازی فرآیندهای تصفیه یا تحلیل آزمایشگاهی پارامترهای کیفی پساب نیست، بلکه اولویت‌بندی راهبردها و حمایت از تصمیم‌گیری در شرایط پیچیدگی سیستم و محدودیت داده‌ها می‌باشد (Hajkowicz and Collins, 2007). همچنین، مرور مطالعات حوزه آب و فاضلاب نشان می‌دهد که بسیاری از پژوهش‌های اخیر در این حوزه از ترکیب داده‌های محدود عملیاتی با ارزیابی خبرگان برای توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند و این رویکرد به‌عنوان یک چارچوب رایج در مسائل مدیریتی و برنامه‌ریزی تصفیه‌خانه‌ها پذیرفته شده است. بنابراین، استفاده از چارچوب‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این پژوهش نیز در راستای رویه‌های متداول علمی در این حوزه بوده و با هدف ارتقای تصمیم‌گیری مدیریتی در سطح بهره‌برداری تصفیه‌خانه انجام شده است.

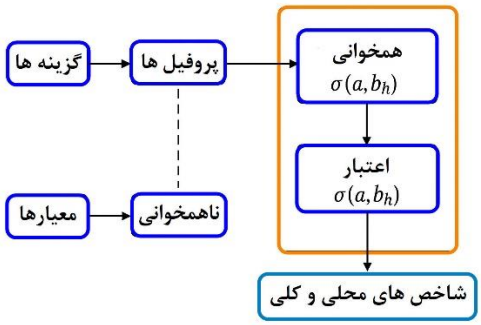
به علاوه، برآیند کلی منابع نشان می‌دهد که گرایش پژوهش‌ها در سال‌های اخیر به‌سمت بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته تصفیه، بهینه‌سازی عملیاتی، بازیافت منابع آب و توسعه رویکردهای چندمعیاره برای تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده صنعتی حرکت کرده است. این روند جهانی و داخلی، ضرورت استفاده از چارچوب‌های تحلیلی و فناوری‌های نوین را در پالایشگاه نفت کرمانشاه برای ارتقای بازچرخانی پساب و کاهش مصرف آب خام برجسته می‌کند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر بهبود عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه در بازچرخانی پساب و بهره‌گیری از رویکردهای هیبریدی تصمیم‌گیری

چندمعیاره، تلاش دارد تا ضمن تحلیل دقیق وضعیت موجود، مهم‌ترین گزینه‌های قابل اجرا برای ارتقای کیفیت تصفیه، افزایش بازچرخانی و کاهش وابستگی به منابع آب خام را شناسایی و ارزیابی کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل اولویت‌دهی و دسته بندی ELECTRE TRI

مدل ELECTRE TRI یکی از روش‌های برجسته خانواده ELECTRE در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره غیرجبرانی است که برای طبقه‌بندی گزینه‌ها در گروه‌های از پیش تعیین‌شده به‌کار گرفته می‌شود. این مدل به‌ویژه در شرایطی مناسب است که مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی، با ماهیت ناهمگون و بعضاً متناقض، به‌صورت هم‌زمان در مسئله دخالت دارند. بر اساس بنیان نظری ارائه‌شده در Roy (1991) و توسعه‌های بعدی Yu (1992) ، مدل ELECTRE TRI با استفاده از مفهوم روابط برتری، به‌جای رتبه‌بندی خطی، یک فرآیند مقایسه‌ای میان گزینه‌ها و پروفایل‌های مرزی (b_h) ایجاد می‌کند و بدین ترتیب امکان دسته‌بندی دقیق و ساخت‌یافته گزینه‌ها را فراهم می‌سازد (شکل ۱). این رویکرد، به دلیل ماهیت غیرجبرانی خود، از جبران‌پذیری نادرست میان معیارها جلوگیری کرده و آن را برای ارزیابی‌های محیط‌زیستی و زیرساختی از جمله تحلیل عملکرد سامانه تصفیه پساب پالایشگاهی به گزینه‌ای کارآمد تبدیل می‌کند (Mousseau et al., 2000).



شکل ۱- چگونگی عملکرد مدل ELECTRE TRI در دسته‌بندی گزینه‌ها

در ELECTRE TRI، هر گزینه a نسبت به پروفایل‌های مرزی b_h مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا مشخص شود در کدام طبقه C_h قرار خواهد گرفت. سازوکار تصمیم‌گیری مدل بر پایه سه مؤلفه کلیدی شکل می‌گیرد: شاخص توافق[۷]، شاخص ناسازگاری[۸] و شاخص اعتبار[۹] (Roy, 1991).

الف) شاخص توافق: شاخص توافق نشان‌دهنده آن است که عملکرد گزینه a در چه نسبتی از معیارها بهتر یا حداقل هم‌سطح با پروفایل مرزی b_h است. برای هر معیار، مقدار توافق جزئی $c_j(a,b_h)$ محاسبه شده و توافق کلی از ترکیب وزن‌دار معیارها به‌دست می‌آید. این شاخص نخستین شرط لازم برای تأیید رابطه برتری به شمار می‌رود (Roy, 1991).

ب) شاخص ناسازگاری: شاخص ناسازگاری زمانی فعال می‌شود که اختلاف عملکرد گزینه نسبت به پروفایل مرزی در یک معیار از حدود قابل‌قبول فراتر رود. برای تعریف دامنه‌های این اختلاف، سه آستانه بی‌تفاوتی (q)، ترجیح (p) و وتو (v) در نظر گرفته می‌شود. چنان‌که در فایل گزارش نیز بیان شده، این آستانه‌ها نقش اساسی در ساختن شبه‌معیارها و تحلیل دقیق اختلاف‌های $g_j(a)-g_j(b_h)$ ایفا می‌کنند. فعال شدن آستانه وتو می‌تواند به‌تنهایی رابطه برتری را رد کند، حتی اگر شاخص توافق مقدار بالایی داشته باشد (Roy, 1991).

پ) شاخص اعتبار: پس از ترکیب شاخص‌های توافق و ناسازگاری، شاخص اعتبار $\sigma(a,b_h)$ محاسبه می‌شود که میزان استحکام برتری گزینه بر پروفایل مرزی را نشان می‌دهد. طبق ، رابطه برتری زمانی تأیید می‌شود که مقدار اعتبار حد آستانه

تفکیک‌پذیری λ را برآورده سازد - $\sigma(a,b_h)\geq\lambda$. مقدار λ معمولاً بین ۰/۵ تا ۰/۹ انتخاب می‌شود و تعیین‌کننده سخت‌گیری طبقه‌بندی است (Mousseau et al., 2000).

۲-۲- نحوه اجرای مدل ELECTRE TRI و اتصال آن به IFEM/EFEM

در این پژوهش، گزینه‌های ورودی مدل ELECTRE TRI همان عوامل داخلی و خارجی استخراج‌شده از ماتریس SWOT بودند. بنابراین، نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای شناسایی‌شده برای تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه نفت کرمانشاه به‌عنوان گزینه‌های تصمیم در نظر گرفته شدند. هدف از اجرای ELECTRE TRI، رتبه‌بندی خطی این عوامل نبود، بلکه تخصیص هر عامل به یکی از طبقات تصمیم C1 تا C5 و تعیین وزن متناظر آن برای استفاده در ماتریس‌های IFEM و EFEM بود.

برای تشکیل ماتریس تصمیم، پنج معیار اصلی در نظر گرفته شد: سهولت اجرا، سهولت بهره‌برداری، هزینه اجرا، هزینه بهره‌برداری و میزان اثربخشی. این معیارها به‌ترتیب با g1 تا g5 نمایش داده شدند. معیارهای مذکور بر اساس ماهیت مسئله و با توجه به شرایط بهره‌برداری تصفیه‌خانه انتخاب شدند، زیرا هر عامل راهبردی باید هم از نظر امکان اجرا، هم از نظر سهولت بهره‌برداری، هم از نظر بار مالی و هم از نظر اثرگذاری بر بهبود عملکرد تصفیه‌خانه قابل ارزیابی باشد. وزن معیارها در قسمت نتایج و بحث و با استفاده از AHP و بر پایه ماتریس مقایسات زوجی تجمیعی تعیین شد. گام بعدی در تحلیل ELECTRE TRI، تعیین وزن هر معیار و انتخاب حدود دسته‌بندی‌ها است که این موارد برای اولویت‌بندی و تعیین وزن عوامل داخلی و خارجی در IFEM و EFEM به‌کار خواهند رفت. دامنه وزن‌های تخصیص‌یافته به نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها می‌تواند متفاوت باشد، اما هر کدام باید مطابق قاعده مشخصی که در جدول ۱ آمده است رعایت شود.

جدول ۱- امتیاز پارامترهای مرزهای انتخابی بین دسته‌ها و مقادیر اوزان مرتبط

دسته	مرز	معیار					دامنه وزن‌های تخصیصی عوامل داخلی و خارجی
		g1	g2	g3	g4	g5	
C1	b4	۹۰	۸۰	۹۰	۹۰	۷۰	≥ ۰/۲۰۰
C2	b3	۶۵	۵۵	۶۵	۶۰	۵۵	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰
C3	b2	۴۵	۴۰	۴۰	۴۰	۳۰	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰
C4	b1	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰
C5	--	--	--	--	--	--	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰

در این مطالعه چهار پروفایل مرزی b1 تا b4 برای تفکیک پنج طبقه C1 تا C5 به کار رفته است. طبقه C1 بیانگر عوامل با اهمیت بسیار زیاد و وزن ۰/۲۰۰ و بالاتر، C2 بیانگر عوامل با وزن ۰/۲۰۰ تا ۰/۰۸۰، C3 بیانگر عوامل با وزن ۰/۰۸۰ تا ۰/۰۴۰، C4 بیانگر عوامل با وزن ۰/۰۴۰ تا ۰/۰۲۰ و C5 بیانگر عوامل با وزن ۰/۰۲۰ تا ۰/۰۰۱ بود. مقادیر مرزی هر طبقه برای معیارهای g1 تا g5 در جدول مربوط به پروفایل‌های مرزی ارائه شد. در این ساختار، هر عامل پس از ارزیابی نسبت به معیارهای پنج‌گانه، با پروفایل‌های مرزی مقایسه و در طبقه متناظر قرار گرفت. در اجرای نظری ELECTRE TRI، آستانه‌های بی‌تفاوتی، ترجیح و وتو به‌ترتیب با q، p و v شناخته می‌شوند ($v \geq p \geq q$) و برای کنترل شدت تمایز میان گزینه و پروفایل مرزی به کار می‌روند. همچنین، λ سطح برش یا حد پذیرش رابطه برتری است. در کاربرد حاضر، هدف اصلی استفاده از منطق ELECTRE TRI برای طبقه‌بندی عوامل SWOT در بازه‌های وزنی مشخص بود. در تحقیق حاضر مقادیر آستانه‌های بی‌تفاوتی (q)، ترجیح(p)، وتو (v) و سطح برش (λ) با سعی و خطا به ترتیب برابر با ۵، ۱۰، ۳۰ و ۰/۷۵ انتخاب شدند. از این‌رو، پروفایل‌های مرزی تعریف‌شده، مبنای عملی تخصیص عوامل به طبقات تصمیم قرار گرفتند و خروجی نهایی مدل به‌صورت کلاس MCDM و وزن متناظر هر عامل در ماتریس‌های IFEM و EFEM منعکس شد. این موضوع باعث شد ارتباط میان ارزیابی چندمعیاره عوامل و ساختار راهبردی SWOT به‌صورت کمی برقرار شود.

پس از تخصیص فاکتورها به طبقات C1 تا C5، وزن متناظر هر عامل در ماتریس‌های IFEM و EFEM ثبت شده و سپس برای هر عامل، امتیاز داخلی یا خارجی بر اساس کلاس تصمیم تعیین و امتیاز وزنی از حاصل‌ضرب وزن عامل در امتیاز آن محاسبه می‌شود. مجموع امتیازهای وزنی در بخش عوامل داخلی و خارجی، موقعیت راهبردی تصفیه‌خانه را مشخص کرد. در گام بعد، راهبردهای منتخب حاصل از SWOT وارد ماتریس QSPM شدند و برای هر عامل، امتیاز جذابیت راهبردها تعیین شد. امتیاز نهایی هر راهبرد از مجموع حاصل‌ضرب وزن عوامل در امتیاز جذابیت آن راهبرد به دست آمد.

۲-۳- مدل وزن‌دهی سلسله‌مراتبی AHP

روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تعیین وزن معیارهای مختلف در فرآیندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود. این روش با استفاده از مقایسه‌های زوجی و محاسبات ریاضی منسجم، امکان تعیین وزن نسبی معیارها را با درنظرگیری ترجیحات تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌سازد. در این رویکرد، معیارها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و میزان ارجحیت هر معیار نسبت به معیار دیگر مشخص می‌گردد. سپس با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه بردار ویژه، وزن نهایی هر معیار به دست می‌آید. این وزن‌ها که بیان‌کننده اهمیت نسبی هر معیار در تصمیم‌گیری نهایی هستند، از طریق محاسبه شاخص سازگاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا از قابلیت اطمینان قضاوت‌های انجام‌شده اطمینان حاصل شود. کاربرد AHP در وزن‌دهی معیارها به ویژه در موقعیت‌هایی که معیارهای کیفی و کمی به صورت همزمان وجود دارند، بسیار ارزشمند است. این روش با تبدیل قضاوت‌های کیفی به مقادیر کمی، امکان ترکیب معیارهای ناهمگن را در یک چارچوب ساختاریافته فراهم می‌کند (گلفام، ۱۴۰۴). از جمله مزایای این روش در وزن‌دهی می‌توان به قابلیت بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها، انعطاف‌پذیری در ترکیب نظرات چندین خبره، و ارائه نتایج شفاف و قابل دفاع اشاره کرد. این ویژگی‌ها باعث شده است که AHP به‌عنوان یک روش معتبر در وزن‌دهی معیارها در حوزه‌های مختلف از جمله مدیریت، برنامه‌ریزی محیط‌زیست، و ارزیابی پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرد (گلفام، ۱۴۰۴).

در این روش ماتریس A به صورت زیر تشکیل می‌شود که در آن a_{ij} میزان ارجحیت معیار i نسبت به معیار j را نشان می‌دهد:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & \ddots 1 \end{vmatrix} \quad (۱)$$

برای هر سطر i از ماتریس، میانگین هندسی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$GM_i = \left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij} \right)^{1/n} \quad (۲)$$

وزن نرمال‌شده هر معیار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$w_i = \frac{GM_i}{\sum_{k=1}^{n} GM_k} \quad (۳)$$

بردار وزن‌های نرمال‌شده به عنوان بردار ویژه اصلی در نظر گرفته می‌شود:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \quad (۴)$$

برای اطمینان از سازگاری قضاوت‌ها، شاخص‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (۴)$$

$$\mathrm{CI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۵)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۶)$$

که در آن RI از جدول مقادیر تصادفی استخراج می‌شود. شرط قابل قبول بودن سازگاری، $CR < 0.1$ می‌باشد. وزن‌های به دست آمده (w_i) بیان‌کننده اهمیت نسبی هر معیار در فرآیند تصمیم‌گیری بوده و در مراحل بعدی برای ارزیابی گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (گلفام، ۱۴۰۴).

به‌منظور تعیین وزن معیارهای تصمیم و تشکیل ورودی‌های مدل ELECTRE TRI، از پرسشنامه‌های کارشناسی و جلسات فنی با مدیران و کارشناسان مرتبط با چرخه آب و پساب پالایشگاه استفاده شد. جامعه خبرگان به‌صورت هدفمند انتخاب گردید، به این معنا که افراد مشارکت‌کننده از میان مدیران و کارشناسانی انتخاب شدند که به‌طور مستقیم با یکی از حوزه‌های بهره‌برداری تصفیه‌خانه، مدیریت آب و پساب، محیط‌زیست، نگهداری و تعمیرات، کنترل فرآیند یا برنامه‌ریزی فنی پالایشگاه ارتباط کاری داشتند. بنابراین، معیار ورود افراد به فرآیند ارزیابی، آشنایی عملی با وضعیت آب، پساب، واحدهای مصرف‌کننده و محدودیت‌های بهره‌برداری پالایشگاه بود.

۲-۴- مدل SWOT

مدل SWOT یکی از چارچوب‌های ساختاریافته در تحلیل راهبردی است که برای شناسایی و سازمان‌دهی عوامل اثرگذار بر یک نظام، پروژه یا فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gürel and Tat, 2017). این روش بر چهار بُعد اصلی شامل نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها استوار است و هدف آن ایجاد تصویری جامع از شرایط درونی و بیرونی سامانه تصمیم است. در حوزه مدیریت منابع آب و بهینه‌سازی سامانه‌های تصفیه صنعتی، تحلیل SWOT ابزاری مناسب برای دسته‌بندی منظم عوامل کلیدی و فراهم‌سازی ورودی معتبر برای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود (Pickton and Wright, 1998).

در این مدل، عوامل در دو سطح داخلی و خارجی سازمان‌دهی می‌شوند:

- ✓ عوامل داخلی :شامل نقاط قوت (S) و نقاط ضعف (W) بوده و به ویژگی‌های درون‌سازمانی، عملکردی و فنی مرتبط هستند.
- ✓ عوامل خارجی :شامل فرصت‌ها (O) و تهدیدها (T) بوده و ناشی از شرایط محیطی، اقتصادی، نهادی و مقرراتی‌اند.

خروجی مدل، ماتریسی چهاربخشی است که ترکیب عوامل را برای تحلیل راهبردهای ممکن امکان‌پذیر می‌سازد. این ترکیب معمولاً در قالب چهار راهبرد کلان زیر تحلیل می‌شود:

- راهبردهای تهاجمی SO: تکیه بر نقاط قوت برای بهره‌برداری از فرصت‌ها.
- راهبردهای محافظه‌کارانه WO: استفاده از فرصت‌ها برای جبران نقاط ضعف.
- راهبردهای رقابتی ST: بهره‌گیری از نقاط قوت برای مقابله با تهدیدها.
- راهبردهای دفاعی WT: کاهش نقاط ضعف و اجتناب از تهدیدها.

۲-۵- مدل QSPM

ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM) به عنوان یک ابزار تحلیلی جامع در فرآیند برنامه‌ریزی استراتژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماتریس با ترکیب سیستماتیک عوامل داخلی و خارجی، امکان ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های مختلف را بر اساس جذابیت نسبی هر یک فراهم می‌سازد. QSPM با اتکا بر خروجی‌های ماتریس‌های تحلیلی قبلی از قبیل ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) و ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE)، چارچوبی ساختاریافته برای انتخاب استراتژی‌های بهینه ارائه می‌دهد (Mohammadi, 2023).

فرآیند اجرای QSPM با تعیین وزن هر یک از عوامل داخلی و خارجی آغاز می‌شود:

$$w_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i} \quad (۷)$$

که در آن R_i نشان‌دهنده رتبه اهمیت هر عامل و W_i وزن نرمال‌شده آن است. در مرحله بعد، استراتژی‌های بالقوه که عمدتاً از ماتریس SWOT استخراج می‌شوند، شناسایی شده و برای هر یک از این استراتژی‌ها در ارتباط با هر عامل، امتیاز جذابیت

(AS)[10] در مقیاس ۱ تا ۴ تعیین می‌گردد. این مقیاس کیفی شامل سطوح مختلفی از جذابیت است که در آن امتیاز ۴ بیانگر جذابیت بسیار بالا، ۳ جذابیت بالا، ۲ جذابیت متوسط و ۱ جذابیت پایین می‌باشد.

پس از تخصیص امتیازات جذابیت، امتیاز جذابیت وزنی برای هر استراتژی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$WAS_j = \sum_{i=1}^{n} (W_i \times AS_{ij}) \quad (۸)$$

که در این رابطه W_i وزن عامل i ام و AS_{ij} امتیاز جذابیت استراتژی j ام نسبت به عامل i ام است. امتیاز نهایی هر استراتژی (TAS)[11] از جمع امتیازات وزنی در دو بخش عوامل داخلی و خارجی به دست می‌آید. استراتژی‌ها بر اساس امتیاز نهایی به دست آمده رتبه‌بندی شده و استراتژی‌هایی که بالاترین امتیاز TAS را کسب کنند، به عنوان استراتژی‌های برتر انتخاب می‌شوند (Mohammadi, 2023).

۲-۶- محدوده مورد مطالعه

پالایشگاه نفت کرمانشاه به عنوان یکی از قدیمی‌ترین واحدهای صنعتی در غرب ایران، در دامنه‌های کوهستانی زاگرس و در مجاورت رودخانه قره‌سو استقرار یافته است (شکل ۲). این موقعیت جغرافیایی علاوه بر دسترسی به منابع آبی سطحی و زیرزمینی، چالش‌های زیست‌محیطی و عملیاتی متعددی را برای این مجموعه صنعتی به همراه داشته است. بر اساس مطالعات انجام شده، این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه ۴۵۰-۳۵۰ میلی‌متر و نوسانات دمایی گسترده (از ۱۵- درجه در زمستان تا ۴۰+ درجه در تابستان) است. از منظر تاریخی، پایه‌گذاری این پالایشگاه به سال ۱۳۰۹ هجری شمسی بازمی‌گردد و اولین واحد تقطیر آن در سال ۱۳۱۲ به بهره‌برداری رسید. در طول هشت دهه فعالیت، این پالایشگاه تحولات گسترده‌ای را تجربه کرده که از مهمترین آن‌ها می‌توان به توسعه واحدهای جدید در دهه ۱۳۴۰، نوسازی تجهیزات در دوران دفاع مقدس و اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی در دهه ۱۳۹۰ اشاره کرد. در حال حاضر این پالایشگاه با ظرفیت پالایش ۲۵۰۰۰ بشکه در روز، نقش حیاتی در تأمین فرآورده‌های نفتی استان‌های غربی کشور ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر پدیده کاهش بارندگی و افزایش مصارف شهری و صنعتی، فشار قابل توجهی بر منابع آب منطقه وارد کرده است. این امر لزوم بازنگری در سیستم‌های مدیریت آب و بهینه‌سازی مصرف در فرآیندهای پالایشگاهی را بیش از پیش نمایان ساخته است.



شکل ۲- موقعیت پالایشگاه نفت در شهر کرمانشاه

۲-۷- تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه

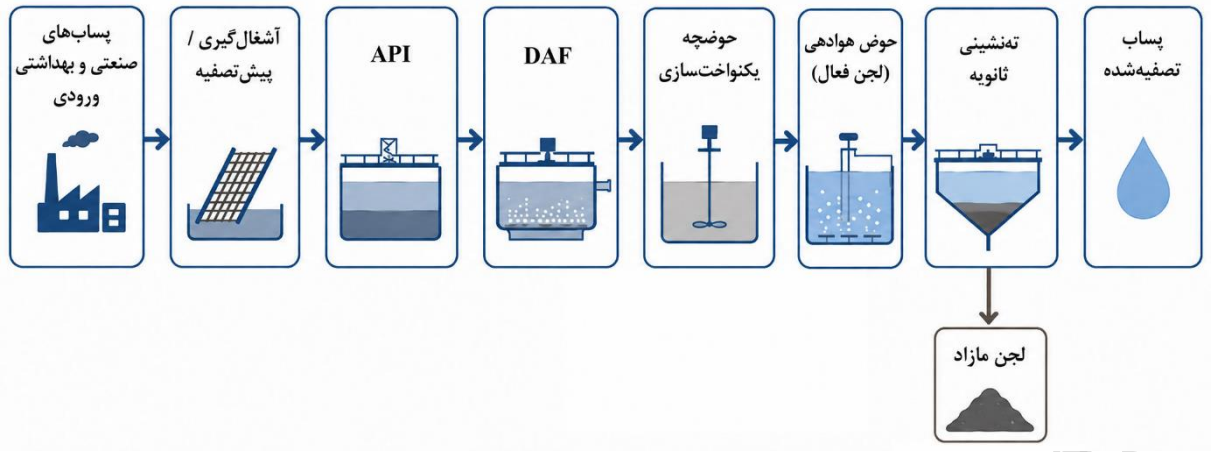
تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه نفت کرمانشاه به‌منظور دریافت و تصفیه جریان‌های مختلف پساب صنعتی و بهداشتی ایجاد شده است. جریان‌های ورودی به این تصفیه‌خانه عمدتاً از واحدهای فرایندی، شست‌وشوی تجهیزات و محوطه، تخلیه‌های عملیاتی، جریان‌های حاوی ترکیبات نفتی، بلودان برخی واحدهای مصرف‌کننده آب و بخشی از فاضلاب بهداشتی تشکیل می‌شوند. این جریان‌ها پس از جمع‌آوری در شبکه داخلی پالایشگاه، وارد بخش‌های ابتدایی تصفیه‌خانه شده و قبل از ورود به واحدهای اصلی تصفیه، از نظر جریان، بار آلودگی و وجود ترکیبات نفتی قابل جداسازی کنترل می‌شوند.

این تصفیه‌خانه از نوع متعارف مبتنی بر سیستم لجن فعال بوده و شامل مجموعه‌ای از واحدهای فیزیکی، فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد که به‌صورت سری و پیوسته در راستای بهبود کیفیت پساب عمل می‌کنند. در گام نخست، پساب‌های تولیدی از بخش‌های مختلف پالایشگاه شامل واحدهای فرایندی، شست‌وشوی تجهیزات، تخلیه‌های عملیاتی و جریان‌های بهداشتی وارد شبکه جمع‌آوری داخلی شده و پس از هدایت به تصفیه‌خانه، وارد واحدهای پیش‌تصفیه می‌شوند. این بخش شامل آشغال‌گیری اولیه و جداسازی فیزیکی ذرات درشت بوده و سپس جریان وارد واحدهای جداسازی روغن و مواد سبک نظیر API و DAF می‌گردد تا بخش عمده‌ای از ترکیبات نفتی و مواد معلق جدا شود. بر اساس داده‌های بهره‌برداری موجود، دبی متوسط جریان ورودی تصفیه‌خانه در حدود ۷۵ مترمکعب بر ساعت برآورد شده است که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت پیوسته جریان در شرایط عملیاتی پالایشگاه می‌باشد. BOD5 و COD در ورودی تصفیه‌خانه دارای تغییرات گسترده بوده و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب تا حدود ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز گزارش شده است. به‌منظور ارائه تصویری از وضعیت عملکردی تصفیه‌خانه، مقادیر ورودی و خروجی برخی پارامترها به‌صورت نرمال‌شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر نرمال شده ورودی و خروجی تصفیه خانه برای برخی از پارامترها

پارامتر	واحد	مقدار نرمال شده ورودی	مقدار نرمال شده ورودی	راندمان حذف نرمال شده
COD	mg/L	۱/۰۰	۰/۱۹	۸۱٪
BOD5	mg/L	۱/۰۰	۰/۱۰	۹۰٪
TSS	mg/L	۱/۰۰	۰/۲۳	۷۷٪
Oil & Grease	mg/L	۱/۰۰	۰/۰۹	۹۱٪
متوسط راندمان برای پارامترها				۸۵٪

در ادامه، پساب پیش‌تصفیه‌شده وارد حوضچه یکنواخت‌سازی شده تا نوسانات کیفی و کمی جریان تعدیل گردد و شرایط مناسب برای ورود به واحد بیولوژیکی فراهم شود. سپس در حوض هوادهی (فرآیند لجن فعال)، بخش عمده‌ای از مواد آلی قابل تجزیه توسط فعالیت میکروبی حذف می‌گردد و در نهایت جریان به واحد ته‌نشینی ثانویه هدایت می‌شود تا لجن فعال از پساب زلال‌شده جدا شود. بخشی از لجن ته‌نشین‌شده به‌صورت برگشت لجن به حوض هوادهی بازگردانده شده و مازاد آن به واحد مدیریت لجن منتقل می‌گردد. در مرحله پایانی، پساب تصفیه‌شده پس از عبور از فرآیندهای تکمیلی، بسته به شرایط بهره‌برداری و نیازهای داخلی پالایشگاه، به سمت تخلیه کنترل‌شده یا مصارف بازچرخانی هدایت می‌شود. لازم به ذکر است که به دلیل ملاحظات محرمانگی داده‌های عملیاتی و کیفی پالایشگاه، مقادیر دقیق برخی پارامترهای ورودی و خروجی نظیر شاخص‌های کیفی به‌صورت عمومی ارائه نشده است؛ با این حال، ساختار کلی فرایند و داده‌های پایه عملیاتی در سطح لازم برای تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مقاله ارائه گردیده است (شکل ۳).

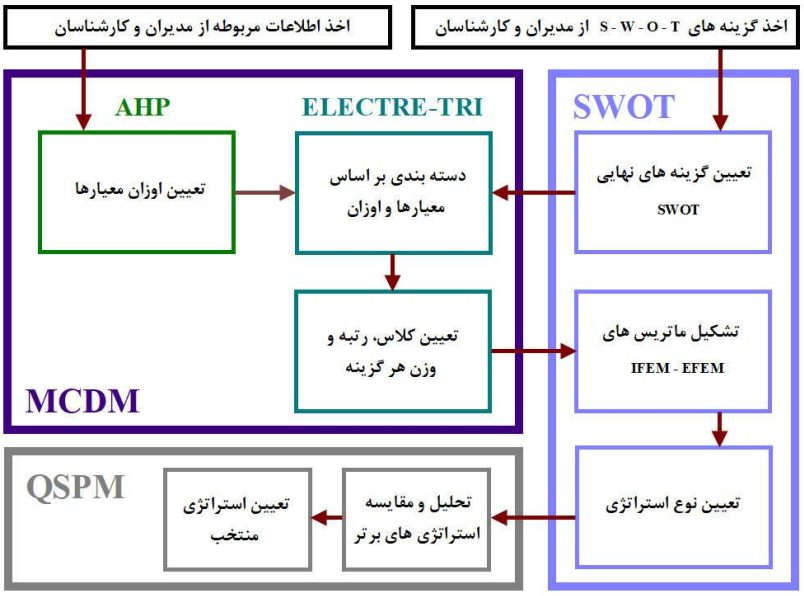


شکل ۳- شماتیک کلی تصفیه‌خانه پساب پالایشگاه نفت کرمانشاه

بازچرخانی پساب به معنای استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده در مصارف غیرشرب و درون‌صنعتی پالایشگاه است. این رویکرد با هدف کاهش وابستگی به منابع آب خام و افزایش بهره‌وری مصرف آب در واحدهای صنعتی مورد توجه قرار گرفته و به‌عنوان یکی از راهبردهای اصلی مدیریت پایدار منابع آب در پالایشگاه‌ها مطرح می‌باشد. کاربردهای بالقوه بازچرخانی شامل استفاده در مصارف خدماتی، سیستم‌های خنک‌کاری، آتش‌نشانی، آبیاری فضای سبز و سایر نیازهای غیرحساس عملیاتی است که امکان جایگزینی آب خام با پساب تصفیه‌شده را فراهم می‌سازد. در وضعیت فعلی بهره‌برداری، پساب تولیدی پس از طی مراحل تصفیه و دستیابی به کیفیت مورد انتظار، در صورت عدم نیاز به استفاده مجدد داخلی، به مسیرهای دفع کنترل‌شده هدایت می‌شود. این مسیرها مطابق با الزامات زیست‌محیطی و دستورالعمل‌های بهره‌برداری پالایشگاه تعیین شده و تحت نظارت‌های مربوطه انجام می‌گیرد. انتخاب بین بازچرخانی یا دفع نهایی به شرایط عملیاتی، نیازهای مصرفی داخلی و کیفیت لحظه‌ای پساب وابسته است.

۲-۸- چارچوب محاسبات

به منظور انجام تحقیق حاضر و تعیین استراتژی منتخب جهت ارتقاء عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه در بازچرخانی پساب، چارچوب کاری جدیدی به صورت هیبریدی سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ابزارهای مدیریت استراتژیک ارائه گردید (شکل ۴). در این چارچوب ابتدا اطلاعات مربوط به نقاط قوت، ضعف، فرصت ها و تهدیدها، به همراه اطلاعات لازم جهت تعیین وزن هریک از شاخص‌های مدل ELECTRE-TRI توسط روش سلسه مراتبی وزن‌دهی AHP از مدیران و کارشناسان مجموعه اخذ می‌گردد. سپس از یک سو، گزینه‌های SWOT بررسی، گزینه‌های نهایی انتخاب و در به جهت تعیین کلاس و وزن آنها اختیار مدل ELECTRE-TRI قرار می‌گیرند و از سوی دیگر، توسط روش AHP، وزن هر کدام از معیارهای دسته‌بندی مدل ELECTRE-TRI معین می‌گردد. سپس مدل ELECTRE-TRI با استفاده از این اطلاعات، دسته، رتبه و دز نتیجه وزن هر گزینه را به منظور تشکیل ماتریس‌های IFEM و EFEM تعیین می‌نماید.

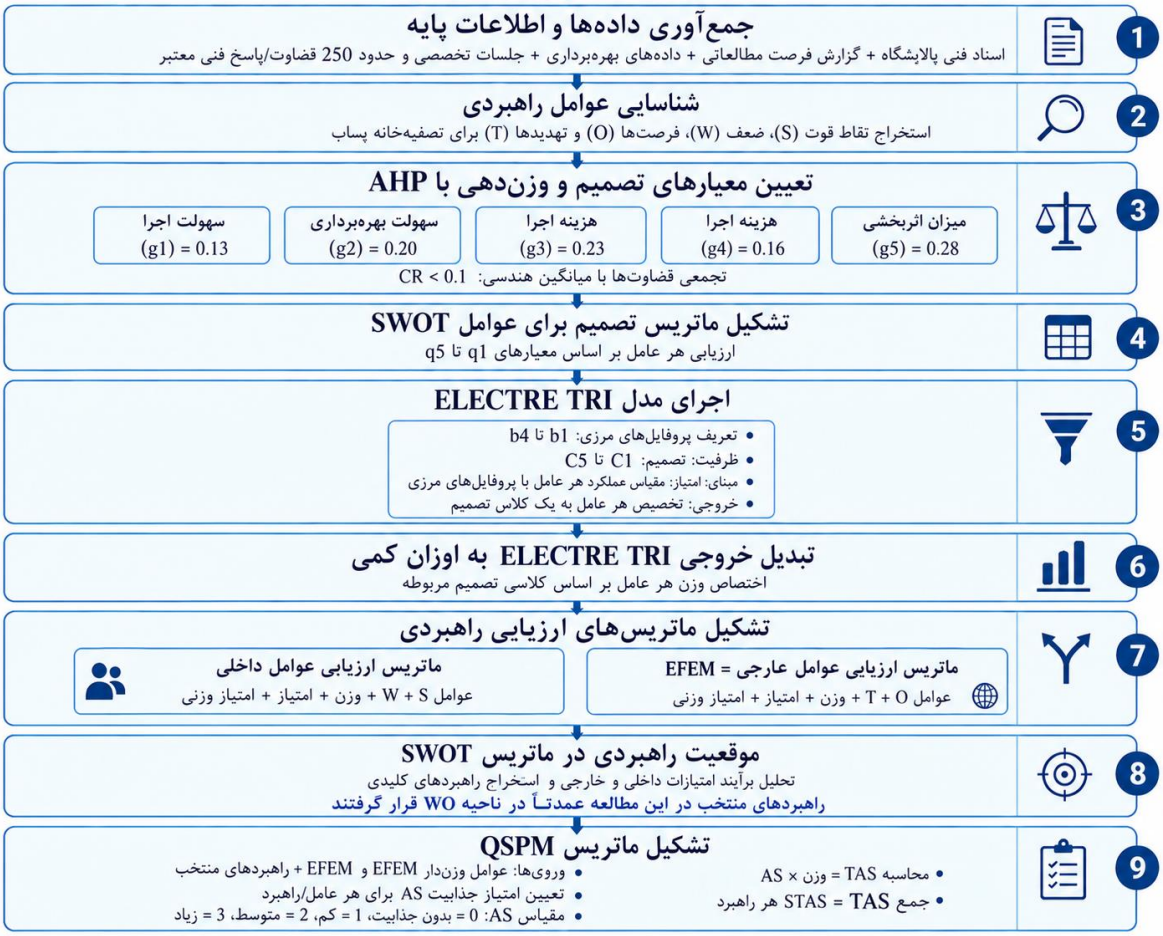


شکل ۴- چارچوب پیشنهادی تعیین استراتژی منتخب جهت ارتقاء عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه در بازچرخانی پساب

تعیین اوزان و رتبه‌ها توسط مدل‌های تصمیم‌گیری چند متغیره ELECTRE-TRI و AHP بر اساس شاخص‌های معین، باعث می‌شود دخالت نظرات شخصی محقق و یا کاربر در انجام تحلیل‌ها به حداقل رسیده و طی یک فرآیند کاملا علمی صرفا نظرات مدیران و کارشناسان خبره مجموعه در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک اثرگذار باشد.

اکنون پس از تشکیل ماتریس‌های IFEM و EFEM، مجموع امتیاز جذابیت TAS محاسبه شده و بر مبنای آن نوع استراتژی برتر تعیین می‌گردد. سپس تحلیل، بررسی و مقایسه استراتژی‌های برتر به صورت کمی توسط مدل QSPM انجام پذیرفته و در نهایت استراتژی برتر مشخص می‌شود. بررسی عملکرد چارچوب پیشنهادی فوق، در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. در واقع این مطالعه یک زنجیره تصمیم‌گیری سه‌مرحله‌ای را دنبال می‌کند، به‌طوری که ELECTRE TRI نقش طبقه‌بندی و کمی‌سازی عوامل را بر اساس پروفایل‌های مرزی ایفا کرده، IFEM و EFEM به‌عنوان تبدیل کمی این طبقه‌بندی در ساختار SWOT عمل نموده و در نهایت QSPM با استفاده از وزن‌های حاصل و امتیازهای جذابیت، اولویت نهایی راهبردها را تعیین می‌کند. فلوچارت روش‌شناسی یکپارچه پژوهش به جهت تبیین چگونگی ارتباط مدل‌های SWOT، ELECTRE TRI، IFEM و EFEM، AHP و QSPM در شکل ۵ ارائه شده است.

این مطالعه در چارچوب یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره در سطح مدیریت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه انجام شده است. بنابراین، تمرکز اصلی بر ارزیابی و اولویت‌بندی راهبردهای بهبود عملکرد و افزایش بازچرخانی پساب بوده و نه تحلیل آزمایشگاهی پارامترهای کیفی پساب. در این راستا، داده‌های عملیاتی و کیفی تصفیه‌خانه به‌عنوان بخشی از شناخت وضعیت موجود و تعریف محدودیت‌های سیستم در فرآیند تحلیل لحاظ شده‌اند و نقش آن‌ها در قالب متغیرهای تصمیم‌سازی غیرمستقیم در ساختار SWOT و ارزیابی خبرگان منعکس گردیده است. از آنجا که هدف اصلی پژوهش، انتخاب راهبرد بهینه در سطح کلان تصمیم‌گیری بوده است، تمرکز بر ادغام قضاوت‌های کارشناسی، شرایط بهره‌برداری و معیارهای فنی اقتصادی در قالب مدل‌های ELECTRE TRI و QSPM قرار گرفته است. بر این اساس، این پژوهش در دسته مطالعات تصمیم‌یار در حوزه مدیریت تصفیه‌خانه قرار می‌گیرد که در آن‌ها تأکید اصلی بر ساختار تصمیم و اولویت‌بندی راهبردها تحت شرایط واقعی بهره‌برداری است، نه ارائه تحلیل کامل آزمایشگاهی کیفیت پساب.



شکل ۵- مسیر محاسباتی و تحلیل پژوهش از داده‌های اولیه تا انتخاب راهبرد نهایی بر اساس چارچوب یکپارچه

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تشکیل گزینه های مدل SWOT و AHP

فرآیند تحقیق با تهیه پرسشنامه و اخذ حدود ۲۵۰ پاسخ فنی از مجموع قضاوت‌ها، پاسخ‌ها و امتیازهای معتبر ثبت‌شده در پرسشنامه‌ها و فرم‌های ارزیابی در خصوص بازچرخانی پساب تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه است که برای شناسایی و غربالگری عوامل SWOT ، امتیازدهی معیارها و تکمیل مقایسات زوجی مورد استفاده قرار گرفت. پاسخ‌های ناقص، تکراری یا ناسازگار با دامنه موضوعی پژوهش در مرحله غربالگری کنار گذاشته شدند و داده‌های نهایی پس از تجمیع وارد تحلیل شدند. در مرحله بعد، این اطلاعات که نمایانگر خرد جمعی مجموعه فنی پالایشگاه است، در فرآیندی جامع مورد ارزیابی و غربالگری قرار گرفت و نهایتاً داده‌های برگزیده به عنوان خروجی نهایی استخراج و در جدول ۳ درج شد.

جدول ۳- نقاط ضعف و قوت داخلی به همراه فرصت ها و تهدیدهای خارجی منتخب از نظر کارشناسان و مدیران ارشد

خارجی		داخلی	
فاکتور کلیدی	فرصت ها	فاکتور کلیدی	نقاط قوت
O1	امکان افزایش راندمان با طرح تصفیه تکمیلی و بازچرخانی پساب	S1	در محدوده طراحی قرار داشتن اکثر پارامترهای پساب ورودی
O2	کاهش تولید پساب ورودی با مدیریت منابع و مصرف به منظور افزایش راندمان مصرف و بازچرخانی آب پالایشگاه	S2	قابل کنترل بودن شوک های وارده از پساب ورودی

O3	پیشرفت فناوری و امکان سرمایه گذاری جهت بازطراحی و یا طرح تصفیه تکمیلی (سیستم های RO، UF و ...)	S3	فرآیند تحت کنترل، پایدار و قابل اطمینان
O4	امکان توسعه تصفیه استفاده برای آب های سطحی و باران	S4	دسترسی آسان در داخل پالایشگاه
O5	حمایت های قانونی، بالا بردن جایگاه زیست محیطی پالایشگاه و اخذ مشوق ها	S5	کاهش هزینه های دفع و جلوگیری از جریمه های قانونی
O6	کاهش وابستگی به آب های زیرزمینی در صورت بهبود عملکرد	S5	توانایی تصفیه پساب های متنوع پالایشگاهی (نفتی، شیمیایی، انسانی و ...)
O7	امکان فروش پساب تصفیه شده و لجن خشک به دیگر صنایع	S6	جدا نمودن فاضلاب بهداشتی از فاضلاب صنعتی
O8	امکان افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی	---	---
O9	امکان احراز شرکت به عنوان شرکت سبز محیط زیستی	---	---
O10	لوله کشی و اتصال پساب تصفیه شده به واحدهای پالایشگاه	---	---
	تهدیدها		نقاط ضعف
T1	کمبود عرصه جهت افزایش ظرفیت	W1	محدودیت در بازچرخانی پساب با باقی ماندن مقداری COD، OIL و کدورت در خروجی (گرچه کم و در محدوده قابل قبول)
T2	سهل انگاری در ریخت و پاش و ورود مواد شیمیایی و روغن	W2	ظرفیت پایین تصفیه و تاثیرگذاری بر عملکرد شیمیایی آن
T3	عدم نظارت کافی در تخلیه مخازن نفتی	W3	دستی بودن فرآیند و وابستگی به نیروی انسانی
T4	نامشخص بودن عوامل آلاینده آتی پساب در طرح توسعه پالایشگاه	W4	فرسوده بودن ادوات، سختی جایگزینی و عدم امکان آن در برخی موارد
T5	سختگیری قوانین و تغییرات احتمالی در استانداردهای زیست محیطی	W5	عدم توانایی ماهیتی در کاهش برخی آلایندگی ها مانند SO4
T6	افزایش قیمت مواد شیمیایی و انرژی	W6	بالا بودن هزینه بهره برداری
T7	محدودیت های واردات تجهیزات و مواد شیمیایی	W7	ناپایداری کیفیت پساب ورودی
T8	عدم کنترل مناسب در زمان بارندگی زیاد و سیل	W8	نیاز به کنترل مداوم و پایش آنلاین کیفیت آب خروجی
---	---	W9	نیاز به مدیریت کنترل‌شده لجن مازاد و جریان‌های دورریز حاصل از تصفیه‌خانه
---	---	W10	تزریق مواد شیمیایی و گندزدا در مراحل مختلف

همچنین در این مرحله و از طریق پرسشنامه‌ها، اطلاعات مربوط به اجرای تحلیل‌های مدل AHP جهت تعین اوزان معیارهای مدل ELECTRE-TRI نیز اخذ گردید. اعتبار محتوایی پرسشنامه نیز از طریق بازبینی تخصصی گزینه‌ها کنترل شد. عوامل داخلی و خارجی اولیه و معیارهای تصمیم در جلسات کارشناسی بررسی شدند و موارد تکراری، بسیار کلی، خارج از دامنه تصفیه‌خانه یا دارای ابهام مفهومی حذف یا اصلاح گردیدند. به این ترتیب، داده‌های نهایی مورد استفاده در AHP، ELECTRE TRI، IFEM/EFEM و QSPM بر پایه مجموعه‌ای پالایش‌شده از قضاوت‌های فنی و قابل ارتباط با شرایط واقعی تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه شکل گرفت.

۳-۲- تعیین اوزان معیارها به روش AHP

همانطور که قبلا گفته شد، وزن هر کدام از معیارهای مدل ELECTRE TRI در این تحقیق از روش AHP تعیین شده است. معیارهای پنج‌گانه شامل سهولت اجرا، سهولت بهره‌برداری، هزینه اجرا، هزینه بهره‌برداری و میزان اثربخشی می‌باشند. بنابراین ماتریس تجمیعی مقایسات زوجی معیارهای اصلی براساس تجمیع نظرات کارشناسان در جدول ۴ آورده شده است. همچنین جدول ۵ معیارهای خوشه‌بندی این موارد همراه با وزن هر معیار را نشان می‌دهد. ابتدا مقایسات زوجی معیارها بر پایه قضاوت

خبرگان انجام شد. سپس برای تجمیع دیدگاه‌ها و تشکیل ماتریس نهایی، از میانگین هندسی مقادیر مقایسات زوجی استفاده گردید. ماتریس تجمیعی حاصل مبنای محاسبه وزن معیارها قرار گرفت و وزن‌های نهایی برای معیارهای سهولت اجرا، سهولت بهره‌برداری، هزینه اجرا، هزینه بهره‌برداری و میزان اثربخشی به‌ترتیب برابر ۰/۱۳، ۰/۲۰، ۰/۲۳، ۰/۱۶ و ۰/۲۸ به دست آمد.

جدول ۴- ماتریس تجمیعی مقایسه‌های زوجی برای معیارهای تصمیم مدل ELECTRE TRI

معیارهای تصمیم	a-g1	b-g2	c-g3	d-g4	e-g5
a-g1	۱/۰۰۰	۰/۶۵۰	۰/۵۶۵	۰/۸۱۳	۰/۴۶۴
b-g2	۱/۵۳۹	۱/۰۰۰	۰/۸۷۰	۱/۲۵۰	۰/۷۱۴
c-g3	۱/۷۶۹	۱/۱۵۰	۱/۰۰۰	۱/۴۳۸	۰/۸۲۱
d-g4	۱/۲۳۱	۰/۸۰۰	۰/۶۹۶	۱/۰۰۰	۰/۵۷۱
e-g5	۲/۱۵۴	۱/۴۰۰	۱/۲۱۷	۱/۷۵۰	۱/۰۰۰

جدول ۵- معیارهای تصمیم و اوزان آنها در مدل ELECTRE TRI به دست آمده از مدل AHP

ردیف	نام معیار		نوع معیار	وزن
۱	a	g1	سهولت اجرا	۰/۱۳
۲	b	g2	سهولت بهره‌برداری	۰/۲۰
۳	c	g3	هزینه اجرا	۰/۲۳
۴	d	g4	هزینه بهره برداری	۰/۱۶
۵	e	g5	میزان اثربخشی	۰/۲۸
مجموع				۱/۰۰

برای کنترل سازگاری قضاوت‌ها، شاخص سازگاری AHP محاسبه شد. بر اساس ماتریس تجمیعی مقایسات زوجی، مقدار λ_{max} تقریباً برابر ۵/۰ به دست آمد. با توجه به تعداد پنج معیار، مقدار CR کمتر از حد قابل قبول ۰/۱ به دست آمد. بنابراین، ماتریس مقایسات زوجی از سازگاری قابل قبول برخوردار بوده و وزن‌های استخراج‌شده برای استفاده در مراحل بعدی تحلیل، معتبر تشخیص داده شدند.

۳-۳- ماتریس‌های ارزش ELECTRE TRI و تعیین اوزان IFEM و EFEM

اکنون با توجه به معیارهای معین شده به همراه اوزان آنها در جدول ۴ و همچنین مرزها و دسته‌های جدول ۲، با اجرای مدل ELECTRE TRI می‌توان ابتدا دامنه وزن‌های تخصیصی عوامل داخلی و خارجی را تعیین کرد و سپس در محدوده دامنه اقدام به انتخاب اوزان مرتبط با هر گزینه برای تکمیل ماتریس‌های IFEM و EFEM نمود. بنابراین با توجه به داده های اخذ شده، تعداد ۴ ماتریس ارزش برای نقاط قوت (S)، نقاط ضعف (W)، فرصت‌ها (O) و تهدیدها (T) تشکیل گردید (جداول ۶ تا ۹). بنابراین خروجی مدل ELECTRE TRI شامل طبقه‌بندی عوامل داخلی و خارجی در کلاس‌های C1 تا C5 مبنای تشکیل ماتریس‌های IFEM و EFEM قرار گرفت. به این صورت که هر عامل پس از تخصیص به یک کلاس تصمیم، وزن متناظر همان کلاس را دریافت کرده و در ماتریس‌های ارزیابی داخلی و خارجی استفاده شد. بنابراین، امتیازات IFEM و EFEM نه به‌صورت مستقل، بلکه به‌عنوان نگاشت مستقیم نتایج ELECTRE TRI به مقادیر کمی در ساختار SWOT تعریف شده‌اند.

جدول ۶- ماتریس ارزش مدل ELECTRE TRI برای گزینه‌های نقاط قوت (S)

معیارهای تصمیم	g1	g2	g3	g4	g5	دسته	محدوده وزن	وزن پیشنهادی
S1	۶۱	۶۶	۵۸	۶۳	۷۷	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۰۸۶
S2	۴۷	۵۲	۴۹	۴۶	۶۱	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۴۷

S3	۵۱	۴۹	۵۳	۵۰	۶۴	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۵۲
S4	۳۴	۳۶	۳۱	۳۳	۳۹	C4	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۲۱
S5	۱۸	۱۶	۱۴	۱۵	۲۱	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۴
S6	۸۴	۸۸	۷۹	۸۲	۹۴	C1	≥ ۰/۲۰۰	۰/۲۰۰
S7	۳۸	۴۱	۳۶	۳۹	۴۵	C3	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۴۸

جدول ۷- ماتریس ارزش مدل ELECTRE TRI برای گزینه‌های نقاط ضعف (W)

معیارهای تصمیم	g1	g2	g3	g4	g5	دسته	محدوده وزن	وزن پیشنهادی
W1	۳۹	۴۳	۳۷	۴۱	۴۸	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۵۷
W2	۸۶	۹۱	۸۸	۸۴	۹۶	C1	≥ ۰/۲۰۰	۰/۲۳۰
W3	۳۱	۳۵	۲۹	۳۲	۳۸	C4	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۲۳
W4	۶۲	۶۸	۶۵	۵۹	۷۸	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۰۸۸
W5	۳۴	۳۸	۳۶	۳۳	۴۲	C4	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۳۳
W6	۴۹	۵۴	۵۱	۴۷	۶۰	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۵۰
W7	۱۷	۱۹	۱۵	۱۶	۲۲	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۶
W8	۵۴	۵۹	۵۷	۵۲	۶۷	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۷۲
W9	۲۰	۲۲	۱۸	۱۹	۲۵	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۱۱
W10	۱۶	۱۸	۱۴	۱۵	۲۱	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۹

جدول ۸- ماتریس ارزش مدل ELECTRE TRI برای گزینه‌های فرصت‌ها (O)

معیارهای تصمیم	g1	g2	g3	g4	g5	دسته	محدوده وزن	وزن پیشنهادی
O1	۸۹	۹۳	۸۶	۸۸	۹۷	C1	≥ ۰/۲۰۰	۱/۱۰۰
O2	۶۴	۶۹	۶۱	۶۶	۸۱	C1	≥ ۰/۲۰۰	۰/۳۹۶
O3	۳۶	۳۹	۳۴	۳۷	۴۴	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۴۸
O4	۵۱	۵۶	۴۹	۵۳	۶۳	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۱۲۶
O5	۳۳	۳۶	۳۱	۳۵	۴۲	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۶۲
O6	۶۲	۶۷	۶۰	۶۴	۷۹	C1	≥ ۰/۲۰۰	۰/۳۶۸
O7	۱۴	۱۷	۱۳	۱۵	۲۰	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۳
O8	۵۴	۵۸	۵۲	۵۵	۶۶	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۱۴۴
O9	۱۰	۱۲	۹	۱۱	۱۵	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۱
O10	۱۱	۱۳	۱۰	۱۲	۱۶	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۱

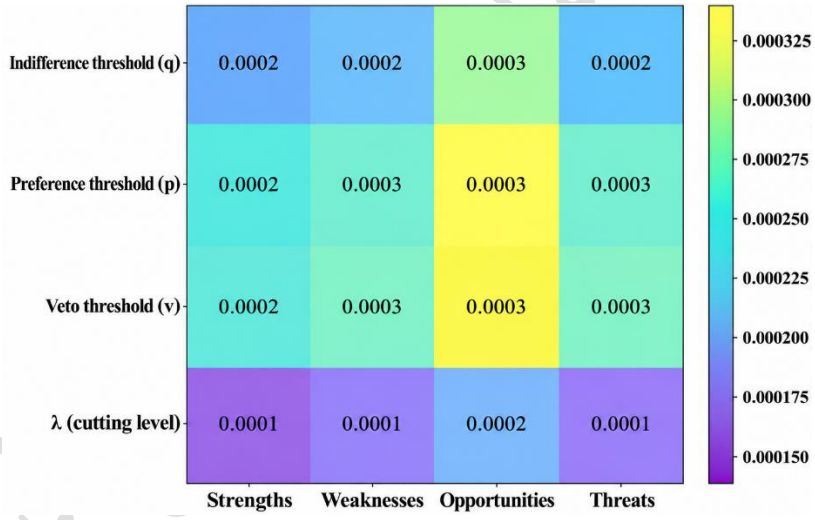
جدول ۹- ماتریس ارزش مدل ELECTRE TRI برای گزینه‌های تهدیدها (T)

معیارهای تصمیم	g1	g2	g3	g4	g5	دسته	محدوده وزن	وزن پیشنهادی
T1	۶۳	۶۸	۶۶	۶۱	۸۲	C1	≥ ۰/۲۰۰	۰/۲۲۰
T2	۱۵	۱۸	۱۴	۱۶	۲۲	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۰۹۹
T3	۴۸	۵۲	۵۰	۴۶	۵۹	C4	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۲۴
T4	۵۹	۶۴	۶۲	۵۸	۷۶	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۴۲
T5	۳۳	۳۷	۳۵	۳۲	۴۱	C4	۰/۰۲۰ – ۰/۰۴۰	۰/۰۳۱
T6	۵۳	۵۷	۵۵	۵۱	۶۶	C2	۰/۰۸۰ – ۰/۲۰۰	۰/۰۹۲
T7	۱۲	۱۵	۱۱	۱۳	۱۸	C5	۰/۰۰۱ – ۰/۰۲۰	۰/۰۰۳
T8	۳۵	۳۹	۳۷	۳۴	۴۴	C3	۰/۰۴۰ – ۰/۰۸۰	۰/۰۴۸

۳-۴- تحلیل حساسیت نتایج ELECTRE TRI

به‌منظور بررسی پایداری و قابلیت اطمینان نتایج مدل ELECTRE TRI و ارزیابی اثر تغییر پارامترهای تنظیمی بر خروجی‌های مدل، یک تحلیل حساسیت بر اساس پارامترهای کلیدی شامل آستانه بی‌تفاوتی (q)، آستانه ترجیح (p)، آستانه وتو (v) و سطح برش (λ) انجام شد. مقادیر پایه این پارامترها به‌ترتیب برابر با ۵، ۱۰، ۳۰ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد و تحلیل حساسیت با اعمال تغییرات کنترل‌شده در اطراف این مقادیر و با روش آزمون و خطا انجام گردید.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که تغییرات در پارامترهای مذکور تأثیر محدودی بر ساختار نهایی وزن‌دهی عوامل در ماتریس‌های IFEM و EFEM داشته است. به‌طور مشخص، حتی با اعمال تغییر در مقادیر q، p، v و λ ، الگوی کلی اولویت‌بندی عوامل مربوط به نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها تغییرات محسوسی نشان نداده و ساختار رتبه‌بندی پایدار باقی مانده است. این موضوع بیانگر آن است که طبقه‌بندی عوامل در مدل ELECTRE TRI نسبت به تغییرات معقول در پارامترهای آستانه‌ای از ثبات قابل قبولی برخوردار است. برای نمایش بهتر این پایداری، نتایج تحلیل حساسیت در قالب نقشه حرارتی ارائه شده است که تغییرات میانگین قدرمطلق اوزان تولیدی در هر یک از گروه‌های عوامل داخلی و خارجی را تحت سناریوهای مختلف پارامتری نشان می‌دهد (شکل ۶). همان‌طور که در شکل مربوطه مشاهده می‌شود، میزان تغییرات در تمامی حالت‌ها در محدوده بسیار کوچک قرار دارد و اختلافات ایجادشده در مقایسه با مقدار پایه ناچیز است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب مقادیر q=5 ، p=10، v=30 و λ=0.75 برای این مطالعه مناسب بوده و نتایج مدل از نظر پایداری و عدم حساسیت شدید به تغییر پارامترها قابل اطمینان است.



شکل ۶- تحلیل حساسیت پارامترهای بر روی اوزان خروجی (به کاررفته در ماتریس‌های IFEM و EFEM)

۳-۵- تشکیل ماتریس‌های IFEM و EFEM در مدل SWOT

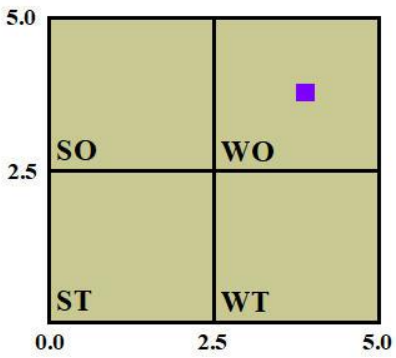
حال می‌توان ماتریس‌های IFEM وEFEM را تشکیل داد و در انتهای مدل SWOT، نوع استراتژی برتر را تعیین نمود. ماتریس‌های IFEM و EFEM در جدول ۱۰ ارائه شده اند.

جدول ۱۰- ماتریس‌های IFEM و EFEM برای ارزیابی عوامل داخلی و خارجی

تحلیل IFEM	فاکتور کلیدی	کلاس MCDM	وزن	امتیاز	امتیاز وزن‌دهی شده	تحلیل EFEM	فاکتور کلیدی	کلاس MCDM	وزن	امتیاز	امتیاز وزن‌دهی شده
	نقاط قوت						فرصت ها				
	S1	C2	۰/۰۸۶	۴	۰/۳۴۴		O1	C1	۰/۲۲	۵	۱/۱

S2	C3	۰/۰۴۷	۳	۰/۱۴۱	O2	C2	۰/۰۹۹	۴	۰/۳۹۶
S3	C3	۰/۰۵۲	۳	۰/۱۵۶	O3	C4	۰/۰۲۴	۲	۰/۰۴۸
S4	C4	۰/۰۲۱	۲	۰/۰۴۲	O4	C3	۰/۰۴۲	۳	۰/۱۲۶
S5	C5	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۴	O5	C4	۰/۰۳۱	۲	۰/۰۶۲
S6	C1	۰/۲	۵	۱	O6	C2	۰/۰۹۲	۴	۰/۳۶۸
S7	C3	۰/۰۴۸	۲	۰/۰۹۶	O7	C5	۰/۰۰۳	۱	۰/۰۰۳
---	---	---	---	---	O8	C3	۰/۰۴۸	۳	۰/۱۴۴
---	---	---	---	---	O9	C5	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱
---	---	---	---	---	O10	C5	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱
مجموع				۱/۷۸۳	مجموع				۲/۲۴۹
نقاط ضعف					تهدیدها				
W1	C4	۰/۰۵۷	۲	۰/۱۱۴	T1	C2	۰/۰۸۸	۴	۰/۳۵۲
W2	C1	۰/۴۳	۵	۱/۱۵	T2	C5	۰/۰۱۹	۱	۰/۰۱۹
W3	C4	۰/۰۲۳	۲	۰/۰۴۶	T3	C3	۰/۰۴۷	۳	۰/۱۴۱
W4	C2	۰/۰۸۸	۳	۰/۲۶۴	T4	C2	۰/۰۸۶	۴	۰/۳۴۴
W5	C4	۰/۰۳۳	۲	۰/۰۶۶	T5	C4	۰/۰۲۶	۲	۰/۰۵۲
W6	C3	۰/۰۵	۳	۰/۱۵	T6	C3	۰/۰۸۹	۳	۰/۲۶۷
W7	C5	۰/۰۰۶	۱	۰/۰۰۶	T7	C5	۰/۰۱۴	۱	۰/۰۱۴
W8	C3	۰/۰۷۲	۳	۰/۲۱۶	T8	C4	۰/۰۳۷	۲	۰/۰۷۴
W9	C5	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	---	---	---	---	---
W10	C5	۰/۰۰۹	۱	۰/۰۰۹	---	---	---	---	---
مجموع				۲/۰۳۲	مجموع				۱/۲۶۳

تجزیه و تحلیل کمی صورت‌گرفته در چارچوب ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFEM) و ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFEM) منجر به کسب نمرات وزنی ۳/۸۱۵ و ۳/۵۱۲ به ترتیب برای حوزه‌های داخلی و خارجی گردید. این مقادیر محاسباتی، مبنای عینی و کمّی لازم برای تعیین جایگاه و موقعیت استراتژیک را فراهم ساخته است. متعاقباً، و با اتکا به این یافته‌ها، راهبردهای ترکیبی [۱۲]«WO» که در طبقه‌بندی ماتریس SWOT ذیل راهبردهای رقابتی قرار می‌گیرند، به عنوان راهکارهای ارجح تعیین می‌گردند. ماهیت این استراتژی‌ها، که در شکل ۶ ترسیم شده است، بر اتکا به فرصت‌های محیطی برای پوشش و ترمیم نقاط ضعف داخلی استوار می‌باشد.



شکل ۶- شناخت استراتژی برتر بر اساس نمرات IFEM-EFEM

با توجه به محاسبات صورت گرفته در ماتریس‌های ارزیابی عوامل داخلی و خارجی و بر مبنای ستون نمره وزنی‌شده، از میان راهبردهای WO، گزینه‌هایی که موفق به کسب بالاترین امتیاز شده‌اند، به عنوان استراتژی‌های برتر مدل SWOT انتخاب می‌شوند (جدول ۱۱). این گزینه‌ها از دو منظر، واجد اولویت تشخیص داده شده‌اند: نخست، قابلیت اجرایی بالاتر آن‌ها و دوم، انطباق بیشتر با دیدگاه‌های جمعی کارشناسان. در گام نهایی، این راهبردهای برگزیده به مدل کمی برنامه‌ریزی استراتژیک QSPM منتقل می‌شوند تا در آنجا و با اتکا به ارزیابی‌های کمی کارشناسان و مدیران، نهایی‌ترین و برترین استراتژی به منظور ارتقای تصفیه خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه و بازچرخانی پساب، تعیین گردد.

جدول ۱۱- استراتژی های برتر ماتریس SWOT

WO1	W1-O2	افزایش راندمان با طرح تصفیه تکمیلی و بازچرخانی پساب به منظور افزایش ظرفیت تصفیه خانه و بهبود عملکرد تصفیه شیمیایی آن
WO2	W1-O1	کاهش تولید پساب ورودی با مدیریت منابع و مصرف، به منظور افزایش راندمان مصرف و بازچرخانی آب پالایشگاه

۳-۶- تعیین استراتژی برتر توسط مدل QSPM

جدول ۱۲، ماتریس کمی برنامه‌ریزی استراتژیک QSPM را برای ارزیابی فاکتورهای کلیدی داخلی و خارجی مؤثر بر جایگاه رودخانه قره‌سو در تأمین آب مورد نیاز پالایشگاه نفت کرمانشاه نمایش می‌دهد. در این ماتریس، ابتدا وزن هر یک از فاکتورهای کلیدی که از پیش در مراحل تحلیلی قبل تعیین شده بود، لحاظ گردیده است. در گام بعدی، میزان جذابیت (AS) هر فاکتور به ازای هر یک از استراتژی‌های پیش‌رو، به طور جداگانه و بر اساس نظر جمعی کارشناسان و متخصصان، تعیین و ثبت شده است. این امتیاز در واقع نشان‌دهنده میزان اثربخشی و تناسب هر استراتژی در مواجهه با یک فاکتور کلیدی خاص است. در ماتریس QSPM، امتیاز جذابیت (AS) برای هر عامل یا راهبرد بر اساس مقیاس استاندارد صفر تا ۴ و با استفاده از قضاوت ساختاریافته خبرگان تعیین شد. این قضاوت‌ها بر مبنای میزان اثرگذاری هر عامل بر تحقق هر راهبرد و با مقایسه زوجی اثرات در جلسات کارشناسی پالایشگاه انجام گرفت. در صورت عدم تأثیر، مقدار صفر و در صورت تأثیر بسیار زیاد مقدار ۴ اختصاص داده شد. سپس، با انجام حاصلضرب میزان جذابیت (AS) در وزن (Weight) هر فاکتور معیاری کمّی تحت عنوان میزان جذابیت کل (TAS) را برای آن فاکتور و در ارتباط با استراتژی مورد نظر ایجاد می‌نماید. این عدد، اهمیت نسبی و تأثیرگذاری هر فاکتور را در انتخاب یک استراتژی خاص، به صورت عددی و مقایسه‌پذیر منعکس می‌کند.

در نهایت، با جمع جبری تمامی مقادیر جذابیت کل مربوط به فاکتورهای کلیدی برای هر استراتژی، یک نمره نهایی و جامع برای آن استراتژی حاصل می‌گردد. این مجموع نهایی، که به عنوان درجه یا اولویت استراتژیک (Strategic Priority) شناخته می‌شود، معیار اصلی رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های پیش‌رو است. بر این اساس، استراتژی‌هایی که موفق به کسب بالاترین مجموع جذابیت کل شده‌اند، از اولویت و ارجحیت بیشتری برخوردار بوده و به عنوان گزینه‌های برتر برای اجرا و تخصیص منابع معرفی می‌شوند. این فرآیند، انتخاب نهایی را از قضاوت ذهنی به یک تصمیم‌گیری عینی و مبتنی بر داده‌های کمّی تبدیل می‌کند.

نتایج حاصل از ماتریس QSPM نشان داد که استراتژی WO1 با کسب بالاترین امتیاز جذابیت کل (STAS = 4.048) در مقایسه با سایر راهبردها به‌ویژهWO2 به‌عنوان راهبرد برتر جهت بهبود عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه انتخاب می‌شود. این راهبرد بر محور به‌کارگیری سیستم‌های نظارتی و پایش مستمر کیفیت پساب و کنترل دقیق فرآیندها استوار است. رویکردی که به‌صورت مستقیم ضعف‌های کلیدی شناسایی‌شده در تحلیلSWOT ، از جمله ضعف در نظام پایش خروجی(W8) ، ناپایداری کیفیت ورودی (W7) و محدودیت ظرفیت کنترل فرآیندهای شیمیایی (W2) را هدف قرار می‌دهد. هم‌زمان، WO1 از فرصت‌های محیطی موجود به‌خصوص O2 کاهش تولید پساب ورودی با مدیریت منابع و O6 کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی بیشترین بهره را می‌گیرد.

انتخاب WO1 نشان می‌دهد که جهت‌گیری استراتژیک مناسب برای پالایشگاه، نه صرفاً توسعه سخت‌افزاری و افزایش ظرفیت، بلکه تمرکز بر ارتقای هوشمندی عملیاتی و پایداری فرآیند است. اجرای این استراتژی نه‌تنها موجب افزایش راندمان واقعی فرآیندهای موجود می‌شود، بلکه زمینه را برای افزایش نرخ بازیافت داخلی، کاهش نوسانات عملکردی، و رفع گلوگاه‌های بهره‌برداری فراهم می‌کند. علاوه بر این، ارزیابی امتیازات QSPM نشان می‌دهد که WO1 در مواجهه با تهدیدهای مهمی نظیر T5 استانداردهای سخت‌گیرانه محیط‌زیستی و T6 هزینه بالای مواد شیمیایی و انرژی نیز نسبت به سایر راهبردها اثربخشی بالاتری دارد، زیرا با کاهش مصرف مواد شیمیایی، مدیریت هوشمند تزریق، و جلوگیری از تولید پساب با کیفیت نامناسب، هزینه‌های عملیاتی و ریسک‌های نظارتی در سطوح قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

بر این اساس، استراتژی WO1 به‌عنوان راهکار برتر و اولویت‌دار در این پژوهش معرفی می‌شود. این راهبرد، از طریق ارتقای سیستم‌های پایش و کنترل با طرح تصفیه تکمیلی، زمینه را برای بهبود پایدار کیفیت پساب خروجی، افزایش ظرفیت مؤثر تصفیه‌خانه، کاهش وابستگی به آب خام، و فراهم‌سازی شرایط مناسب برای توسعه بازچرخانی داخلی مهیا می‌کند. در مجموع، WO1 مسیری عملی، کم‌هزینه‌تر و سازگار با الزامات زیست‌محیطی را برای ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه فراهم می‌آورد.

جدول ۱۲- استراتژی های برتر ماتریس SWOT

گزینه‌ها	فاکتورهای کلیدی	وزن	WO1		WO2	
			AS	TAS	AS	TAS
در محدوده طراحی قرار داشتن اکثر پارامترهای فاضلاب ورودی	S1	۰/۰۸۶	۳	۰/۲۵۸	۲	۰/۱۷۲
قابل کنترل بودن شوک های وارده از فاضلاب ورودی	S2	۰/۰۴۷	۳	۰/۱۴۱	۱	۰/۰۴۷
فرآیند تحت کنترل، پایدار و قابل اطمینان	S3	۰/۰۵۲	۳	۰/۱۵۶	۲	۰/۱۰۴
دسترسی آسان در داخل پالایشگاه	S4	۰/۰۲۱	۳	۰/۰۶۳	۳	۰/۰۶۳
کاهش هزینه های دفع و جلوگیری از جریمه های قانونی	S5	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۴
توانایی تصفیه پساب های متنوع پالایشگاهی (نفتی، شیمیایی، انسانی و ...)	S6	۰/۲۰۰	۳	۰/۶۰۰	۰	۰/۰۰۰
جدا نمودن فاضلاب بهداشتی از فاضلاب صنعتی	S7	۰/۰۴۸	۴	۰/۱۹۲	۰	۰/۰۰۰
باقی ماندن مقداری COD، OIL و کدورت در خروجی (گرچه کم و در محدوده قابل قبول)	W1	۰/۰۵۷	۱	۰/۰۵۷	۳	۰/۱۷۱
ظرفیت پایین تصفیه و تاثیرگذاری بر عملکرد تصفیه شیمیایی آن	W2	۰/۲۳۰	۴	۰/۹۲۰	۲	۰/۴۶۰
دستی بودن فرآیند و وابستگی به نیروی انسانی	W3	۰/۰۲۳	۲	۰/۰۴۶	۱	۰/۰۲۳
فرسوده بودن ادوات، سختی جایگزینی و عدم امکان آن در برخی موارد	W4	۰/۰۸۸	۳	۰/۲۶۴	۲	۰/۱۷۶
محدودیت فرایند متعارف تصفیه‌خانه در حذف یون‌های محلول مانند سولفات	W5	۰/۰۳۳	۱	۰/۰۳۳	۲	۰/۰۶۶
بالا بودن هزینه بهره برداری	W6	۰/۰۵۰	۱	۰/۰۵۰	۲	۰/۱۰۰
ناپایداری کیفیت پساب ورودی	W7	۰/۰۰۶	۲	۰/۰۱۲	۱	۰/۰۰۶
نیاز به کنترل مداوم و پایش آنلاین کیفیت آب خروجی	W8	۰/۰۷۲	۱	۰/۰۷۲	۳	۰/۲۱۶
وجود ضوابط زیست محیطی در جمع آوری و امحاء پسماند نهایی (لجن)	W9	۰/۰۱۱	۲	۰/۰۲۲	۲	۰/۰۲۲
وابستگی سیستم به تزریق مستمر مواد شیمیایی و گندزدا برای حفظ پایداری بهره‌برداری	W10	۰/۰۰۹	۳	۰/۰۲۷	۱	۰/۰۰۹
امکان افزایش راندمان با طرح تصفیه تکمیلی و بازچرخانی پساب	O1	۰/۲۲۰	۳	۰/۶۶۰	۱	۰/۲۲۰
کاهش فاضلاب ورودی با مدیریت منابع و مصرف به منظور افزایش راندمان	O2	۰/۰۹۹	۰	۰/۰۰۰	۴	۰/۳۹۶
پیشرفت فناوری و امکان سرمایه گذاری تغییر و بازطراحی (سیستم های RO، UF و ...)	O3	۰/۰۲۴	۲	۰/۰۴۸	۲	۰/۰۴۸
امکان استفاده از تصفیه خانه برای آب های سطحی و باران	O4	۰/۰۴۲	۳	۰/۱۲۶	۰	۰/۰۰۰
حمایت های قانونی، بالا بردن جایگاه زیست محیطی پالایشگاه و اخذ مشوق ها	O5	۰/۰۳۱	۳	۰/۰۹۳	۳	۰/۰۹۳
کاهش وابستگی به آب های زیرزمینی در صورت بهبود عملکرد	O6	۰/۰۹۲	۲	۰/۱۸۴	۲	۰/۱۸۴

امکان فروش پساب تصفیه شده و لجن خشک به دیگر صنایع	O7	۰/۰۰۳	۳	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۰۰
امکان افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی	O8	۰/۰۴۸	۱	۰/۰۴۸	۳	۰/۱۴۴
امکان احراز شرکت به عنوان شرکت سبز محیط زیستی	O9	۰/۰۰۱	۳	۰/۰۰۳	۲	۰/۰۰۲
لوله کشی و اتصال پساب تصفیه شده به واحدهای پالایشگاه	O10	۰/۰۰۱	۳	۰/۰۰۳	۲	۰/۰۰۲
کمبود عرصه جهت افزایش ظرفیت	T1	۰/۰۸۸	۱	۰/۰۸۸	۴	۰/۳۵۲
سهل انگاری در ریخت و پاش و ورود مواد شیمیایی و روغن	T2	۰/۰۱۹	۴	۰/۰۷۶	۱	۰/۰۱۹
عدم نظارت کافی در تخلیه مخازن نفتی	T3	۰/۰۴۷	۱	۰/۰۴۷	۲	۰/۰۹۴
نامشخص بودن عوامل آلاینده آتی پساب در طرح توسعه پالایشگاه	T4	۰/۰۸۶	۲	۰/۱۷۲	۱	۰/۰۸۶
سختگیری قوانین و تغییرات احتمالی در استانداردهای زیست محیطی	T5	۰/۰۲۶	۲	۰/۰۵۲	۱	۰/۰۲۶
افزایش قیمت مواد شیمیایی و انرژی	T6	۰/۰۸۹	۱	۰/۰۸۹	۴	۰/۳۵۶
محدودیت های واردات تجهیزات و مواد شیمیایی	T7	۰/۰۱۴	۱	۰/۰۱۴	۳	۰/۰۴۲
عدم کنترل مناسب در زمان بارندگی زیاد و سیل	T8	۰/۰۳۷	۱	۰/۰۳۷	۳	۰/۱۱۱
	STAS			۴/۰۴۸		۳/۴۲۸
	اولویت استراتژیک			۱		۲

۳-۷- کاربردهای اجرایی راهبرد برتر

با توجه به نتایج مدل QSPM و انتخاب راهبرد WO1 به‌عنوان گزینه برتر، مجموعه‌ای از اقدامات اجرایی قابل‌پیاده‌سازی برای ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه قابل تعریف است. نخست، استقرار سیستم‌های نظارتی برخط (RTU) در نقاط کلیدی ورودی و خروجی واحدهای تصفیه، امکان پایش لحظه‌ای پارامترهای کیفی و شناسایی سریع نوسانات را فراهم می‌سازد. این اقدام، کنترل شوک‌های آلودگی و تنظیم بهینه دوز مواد شیمیایی را ممکن کرده و در نهایت موجب کاهش مصرف مواد، ارتقای راندمان و افزایش پایداری عملکردی می‌شود. دوم، اجرای این راهبرد زمینه را برای یکپارچه‌سازی داده‌های بهره‌برداری با سیستم مدیریت انرژی و آب پالایشگاه فراهم می‌کند؛ به‌گونه‌ای که الگوی جریان ورودی، کیفیت پساب و بارگذاری واحدهای شیمیایی با دقت بیشتری تحلیل شده و امکان پیش‌بینی شرایط بحرانی فراهم شود. سوم، با اتکا بر ارتقای دقت پایش، می‌توان برنامه‌های نگهداشت پیش‌بینانه را برای واحدهای هوادهی، انعقاد، لجن‌گیری و فیلتراسیون تدوین کرد؛ موضوعی که تعداد توقف‌های ناگهانی و هزینه‌های تعمیراتی را کاهش می‌دهد. سوم، استقرار نظام نظارتی پیشرفته بستر لازم برای افزایش سهم بازچرخانی داخلی را فراهم می‌کند؛ زیرا پایداری کیفیت پساب تصفیه‌شده و کاهش نوسانات، امکان استفاده از جریان خروجی در واحدهای کم‌ریسک نظیر برج‌های خنک‌کننده یا شست‌وشوی تجهیزات را افزایش می‌دهد. به‌این‌ترتیب، اجرای راهبرد WO1 نه‌تنها موجب بهبود ملموس عملکرد تصفیه‌خانه می‌شود، بلکه در سطح کلان، کاهش وابستگی پالایشگاه به منابع آب خام و ارتقای تاب‌آوری سامانه تولید را نیز به‌دنبال خواهد داشت. نهایتا هم اجرای طرح تکمیلی تصفیه خانه پالایشگاه نفت که قبلا و طی مطالعه‌ای تخصصی آماده گردیده است.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با تمرکز بر بهبود عملکرد تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه و افزایش بازچرخانی پساب، رویکردی ترکیبی مبتنی بر مدل‌های چندمعیاره SWOT–QSPM–ELECTRE TRI را به کار گرفت تا ضمن تحلیل دقیق وضعیت موجود، مسیرهای بهینه برای ارتقای کارآمدی سیستم تصفیه و کاهش وابستگی پالایشگاه به منابع آب خام تعیین شود. تعداد حدود ۲۵۰ نظر فنی از مدیران و کارشناسان اخذ گردید. یافته‌های استخراج‌شده از داده‌های واقعی بهره‌برداری پالایشگاه نشان داد که ساختار موجود تصفیه‌خانه، اگرچه دارای ظرفیت‌های پایه مناسب است، اما با چالش‌هایی همچون نوسانات کیفی پساب، محدودیت در کنترل فرآیندها، بار آلودگی بالا در بخشی از جریان‌های ورودی، و نبود سامانه‌های پایش بلادرنگ مواجه است. چالش‌هایی که لزوم بازنگری در فناوری، مدیریت و راهبردهای بهره‌برداری را برجسته می‌کنند. تحلیل عوامل داخلی و خارجی IFEM و

EFEM نشان داد که پتانسیل‌های جدی برای توسعه بازچرخانی در پالایشگاه وجود دارد. کاربرد مدل ELECTRE TRI در دسته‌بندی گزینه‌ها، امکان تشخیص دقیق اولویت‌های راهبردی را فراهم کرد و مدل QSPM با سنجش جذابیت کمی راهبردها نشان داد که استراتژی WO1 مبتنی بر اجرای طرح تکمیلی تصفیه خانه پالایشگاه بالاترین اولویت اجرایی را دارد. انتخاب WO1 بیانگر آن است که ارتقای هوشمندی عملیاتی و افزایش دقت کنترل فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی، اثرگذارترین مسیر برای دستیابی به پایداری کیفی پساب و افزایش نرخ بازچرخانی خواهد بود. در مجموع، این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال مدیریت استراتژیک بر تصفیه خانه پالایشگاه نفت کرمانشاه با اجرای طرح تکمیلی تصفیه خانه بر پایه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل داده‌های واقعی بهره‌برداری می‌تواند به‌طور هم‌زمان راندمان تصفیه، پایداری زیست‌محیطی، و بهره‌وری مصرف آب را ارتقا دهد. پیاده‌سازی راهبرد برتر پیشنهادی، ضمن کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی، پالایشگاه را در مسیر دستیابی به استانداردهای نوین محیط‌زیستی و الزامات توسعه پایدار قرار خواهد داد.

همچنین این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست آنکه بخشی از داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی، مبتنی بر قضاوت‌های کارشناسی است. دوم، به دلیل تمرکز مطالعه بر سطح تصمیم‌گیری مدیریتی، داده‌های آزمایشگاهی مانند COD ، BOD، TSS و سایر شاخص‌های کیفی پساب به‌صورت مستقیم در فرآیند تحلیل وارد نشده‌اند. سوم، نتایج حاصل از مدل‌های ELECTRE TRI ، IFEM/EFEM و QSPM بیانگر اولویت‌های نسبی راهبردها هستند و نه پیش‌بینی کمی عملکرد سیستم. بنابراین، نتایج این پژوهش باید در چارچوب عدم‌قطعیت‌های موجود و به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم در سطح مدیریت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه تفسیر شوند.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه رازی و شرکت پالایش نفت کرمانشاه که امکان انجام تحقیق حاضر را فراهم نموده‌اند، اعلام می‌نمایند.

۶- اظهارنامه

در هیچ یک از مراحل تهیه و نگارش این مقاله از ابزار هوش مصنوعی استفاده نشده است.

۷- پی‌نوشت

1- Multi-Criteria Decision Making - MCDM
2- Strength-Weakness-Opportunity-Treats
3- Quantitative Strategic Planning Matrix
4- Analytic Hierarchy Process
5- Internal Factor Evaluation Matrix
6- External Factor Evaluation Matrix
7- Concordance
8- Discordance
9- Credibility Index
10- Attractiveness Score
11- Total Attractiveness Score
12- Weaknesses-Opportunities

۸- مراجع

باقری، ح.، هنرور، ب.، اسفندیاری، ن. و عرب‌ابوسعیدی، ز.، (۱۴۰۳)، "بهینه‌سازی و مدلسازی چند متغیری تصفیه پساب روغنی پالایشگاه گاز با استفاده از کربن فعال به‌عنوان یک جاذب با توان عملیاتی بالا"، مهندسی منابع آب، ۱۷(۶۳)، ۲۱–۴۰. http//doi.org/10.30495/wej.2024.30810.2364

صادقی، ا.، دریس، ح.، حاتمی، ر. و مجدم، س.، (۱۴۰۳)، "مدیریت و بازیافت پسماندهای حاصل از صنعت نفت و بررسی راهکارهای کاهش آلودگی"، پنجمین کنفرانس بین‌المللی دوسالانه نفت، گاز و پتروشیمی. https://civilica.com/doc/2248044

ضیائی، ش. و خازینی، ل.، (۱۴۰۱)، "مطالعه تجربی ترکیبات آلی فرار منتشره از حوضچه‌های تصفیه پساب پالایشگاه‌های نفتی"، آب و فاضلاب، ۳۳(۲)، ۴۹–۶۱. http//doi.org/10.22093/wwj.2022.315569.3200

علی‌پوری‌پرویزیان، م. و اقدسی‌نیا، ح.، (۱۴۰۴)، "حذف روغن (مواد نفتی) از پساب واحد بازیافت پالایشگاه تبریز به وسیله کک اصلاح شده به عنوان جایگزین کربن فعال"، پژوهش نفت، ۳۵(۲)، ۷۱–۸۵. http//doi.org/10.22078/pr.2024.5287.3344

فاضلی‌فارسانی، م.، (۱۴۰۳)، "بررسی فناوری های تصفیه پساب های پالایشگاه نفت"، سومین همایش بین المللی مهندسی نفت، صنایع گاز، زمین شناسی و پتروشیمی، https://civilica.com/doc/205239

کازرانی‌نژاد، م.، اعظم، ا. و دلالی، ن.، (۱۳۹۶)، "حذف ترکیبات آلی آروماتیک فنول و فورفورال موجود در پساب پالایشگاه نفت با استفاده از باریکه ی الکترونی"، علوم و فنون هسته‌ای. ۳۸(۸۰):۳۵-۴۳.

گلفام، پ.، (۱۴۰۴)، "تحلیل اثرگذاری رویکردهای ذهنی و عینی در وزندهی معیارها در چارچوب تصمیم گیری چندمعیاره"، منابع آب و تغییر اقلیم. ۱(۳):۶۳-۷۵. http//doi.org/10.22091/wrcc.2025.13737.1020

محمدیان، م.م. و حسینی، س.ج.، (۱۳۹۴)، "فرآیندهای تصفیه پساب های صنعتی در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست و استفاده بهینه از این پساب ها"، اولین همایش بین‌المللی و سومین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار. https://civilica.com/doc/440590

Florides, F., Giannakoudi, M., Ioannou, G., Lazaridou, D., Lamprinidou, E., Loukoutos, N., Spyridou, M., Tosounidis, E., Xanthopoulou, M., and Katsoyiannis, I.A., (2024), "Water Reuse: A Comprehensive Review", *Environments*, 11(4):81, https://doi.org/10.3390/environments11040081

Guo, H., Qin, Q., Hu, M., Chang, J.S., and Lee, D.J., (2024), "reatment of refinery wastewater: Current status and prospects", Journal of Environmental Chemical Engineering, 12(2):112508, https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112508

Gürel, E. and Tat, M., (2017), "SWOT Analysis: A Theoretical Review", *Journal of International Social Research*, 10(51):994–1006, https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832

Hajkowicz, S. and Collins, K., (2007), "A review of multiple criteria analysis for water resources planning and management." Water Resources Management, 21, 1553–1566, https://doi.org/10.1007/s11269-006-9124-7

Karkou, E., Teo, C.J., Savvakis, N., Poinapen, J., and Arampatzis, G., (2024), "Industrial circular water use practices through the application of a conceptual water efficiency framework in the process industry", *Journal of Environmental Management*, 370:122596, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122596

Karkou, E., Papadaki, A., Angelis-Dimakis, A., Arnaldos, A. N., and Arampatzis, G., (2025), "Water efficiency solutions for the oil refinery industry", *Journal of Environmental Management*, 391:126343, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126343

Kato, S. and Kansha, Y., (2024), "Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques", *Environmental Science and Pollution Research*, 31:51064-51097, https://doi.org/10.1007/s11356-024-34584-0

Khudayr, A.B.M., Sultani, H.K.H.A., Mohammed, Z.A.A.M., and Kareem, N.N.A., (2025), "Emerging Contaminants in Environmental Pollution: Innovative Approaches to Monitoring and Mitigation Strategies." *American Journal of Biology and Natural Sciences*, 2(3):303–326. https://doi.org/10.51699/ajbns.v2i3.820

Lawan, M.S., Kumar, R., Rashid, J., and Barakat, M.A.E.F., (2023), "Recent Advancements in the Treatment of Petroleum Refinery Wastewater", *Water*, *15*(20):3676, https://doi.org/10.3390/w15203676

Mohammadi, K., (2023), "Improved strategy management for WDNs: Integrated prioritization SWOT QSPM (IPSQ) method – Application to passive defense", Socio-Economic Planning Sciences, 88-101663, https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101663.

Mousseau, V., Slowinski, R., and Zielniewicz, P., (2000), "A User-Oriented Implementation of the ELECTRE-TRI Method Integrating Preference Elicitation Support", *Computers & Operations Research*, 27(7–8):757–777, https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00117-3

Pickton, D.W. and Wright, S., (1998), "What's SWOT in Strategic Analysis?", *Strategic Change*, 7(2):101–109, https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1697(199803/04)7:2<101::AID-JSC332>3.0.CO;2-6

Roy, B., (1991), "The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods", *Theory and Decision*, 31(1):49–73, https://doi.org/10.1007/BF00134132

Shamshad, J. and Rehman, R., (2025), "Innovative approaches to sustainable wastewater treatment: a comprehensive exploration of conventional and emerging technologies", *Environmental Science Advances*, 4(2):189-222. https://doi.org/10.1039/d4va00136b

Wang, D., Chen, Zh., Sahu, R. K., Kahil, T., Tang, T., Shan, Y., Zhang, W., Ye, W., Wu, G., Li, H., and Hubacek, K., (2025), "Impacts of water conservation, wastewater treatment, and reuse on water quantity and quality stress mitigation in China", *Journal of Industrial Ecology*, 29(3):777-793, https://doi.org/10.1111/jiec.70006

Yu, W., (1992), "ELECTRE Tri: Aspects methodologiques et manual d'utilisation", *Document de LAMSADE*, No. 74, Universite Paris-Dauphine, 80p, April.

ویرایش شده