محیط‌زیست و توسعه، سال ۱٤، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱٤۰۲، از صفحه ۱۷ تا ۳٤

ارائه مدل مناسب جهت مکانیابی احداث تصفیه‌خانه فاضلاب در استان مازندران با استفاده از روش‌های TOPSIS، ANP و AHP

سید محمود هادیان*[۱]، ناصر مهردادی[۲]، غلامرضا نبی بیدهندی[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱٤۰۲/۰۸/۱۰)

چکیده

مکانیابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها جهت انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص، مورد توجه و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به علت انتخاب نادرست و غیراصولی محل احداث، با مسائل و مشکلات جدی در مرحله بهره‌برداری مواجه می‌شوند. استان مازندران به دلیل افزایش جمعیت در سال‌های اخیر و عدم مدیریت فاضلاب، با مشکلات متعدد محیط‌زیست، بهداشت و نارضایتی‌های اجتماعی مواجه شده است و انتخاب مکان مناسب جهت احداث فاضلاب و مدیریت درست آن در جهت استفاده مجدد از فاضلاب از ملزومات می‌باشد. هدف از پژوهش موردنظر، ارائه مدل مناسب جهت مکانیابی احداث تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از روش‌های TOPSIS، ANP و AHP در استان مازندران با تاکید بر استفاده مجدد است. در این پژوهش ابتدا معیارهای ارتفاع، شیب، زمین شناسی، پوشش‌گیاهی، فاصله از شهر، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه تهیه شد سپس با استفاده از پرسشنامه نظر متخصصین و کارشناسان جهت امتیازدهی به پارامترها مورد استفاده قرار گرفت و وزن لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice و Super decision تهیه و در نهایت در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به پهنه‌بندی مکان مناسب جهت احداث تصفیه خانه فاضلاب پرداخته شد. نتایج نشان داد که مقدار توان بسیار بالای منطقه با استفاده از روش ANP، AHP، TOPSIS ANP و TOPSIS AHP به ترتیب برابر با ۲۶۳۰۲۶/۵ هکتار (۱۱/۰۳ درصد)، ۱۸۰۷۳۶/۲ هکتار (۷/۵۸ درصد)، ۲۴۷۲۵۷/۴هکتار (۱۰/۳۷درصد) و ۱۱۴۱۱۵۹ هکتار (۴۷/۸۷ درصد) است.

کلید واژه‌ها: تصفیه فاضلاب، TOPSIS، ANP، AHP، استان مازندران.

* نویسنده مسئول: Email: 2091168734m@gmail.com

DOI: 10.22034/eiat.2025.217690

سرآغاز

در گذشته بدلیل کم بودن جمعیت، نفوذپذیری لایه‌های زمین در بیشتر نقاط شهری و وجود مسیل‌ها یا آبراهه‌های طبیعی، مسأله جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب چندان مطرح نبود و فاضلاب شهرها، از طریق چاه‌های جاذب دفع می‌شدند. همچنین جهت اجتناب از آلودگی آب چاه‌ها و قنوات، تمهیداتی به منظور دور نگهداشتن چاه‌های فاضلاب از آن‌ها به کار برده می‌شد و فقدان سیستم فاضلاب به شکل حاد محسوس نبود. عواملی از جمله افزایش نرخ رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، دسترسی هر چه بیشتر به علوم و فنون، توسعه مراکز صنعتی و تجاری، سبب تولید انواع و اقسام مواد زائد شده که منجر به آلودگی محیط‌زیست و تهدید سلامت انسان‌ها گردیده است. در این میان طبیعتاً یکی از مشکلاتی که موجبات نگرانی را فراهم می‌آورد، آلودگی‌های گسترده تولید شده و مسأله حفاظت محیط‌زیست در برابر این آلودگی‌ها می‌باشد. فاضلاب تصفیه نشده و بد تصفیه شده می‌تواند به باکتری‌ها و ویروس‌های مضر آلوده شود که برای افرادی که در تماس با آب آلوده هستند، خطرات سلامتی ایجاد می‌کند. همچنین می‌تواند محیط آبی ما را آلوده کند و با کاهش سطح اکسیژن در آب و آزاد کردن مواد مغذی که منجر به رشد بیش از حد و ناخواسته جلبک‌ها و گیاهان آبزی می‌شود، به اکوسیستم‌های آبی آسیب برساند. ماهی‌ها و آبزیان به آب شیرین نیاز دارند. وقتی محیط آبی آن‌ها مملو از فاضلاب است، نمی‌توانند زنده بمانند. اگر مواد شیمیایی مانند نیتروژن و فسفات‌ها به مقدار بیش از حد وارد نهرها، رودخانه‌ها یا توده‌های بزرگ آبی شوند، باعث رشد بیش از حد گیاه می‌شود که باعث آزاد شدن سموم در آب می‌شود. بنابراین تصفیه فاضلاب برای تمیز و ایمن کردن آن برای حفاظت از محیط‌زیست و سلامت عمومی ما حیاتی و منجر به حفاظت از محیط‌زیست می‌شود (EPA, 2020).

سیستم فاضلاب شهری از جمله یکی از مهمترین این زیرساخت‌ها است که ارتباطی مستقیم با سلامتی و بهداشت جمعیت و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست دارد. به عبارت دیگر مدیریت صحیح منابع آب و فاضلاب در هر کشور یا منطقه‌ای از جمله شاخص‌ها و جنبه‌هایی است که منجر به ارتقاء سطح سلامتی جامعه می‌گردد (Cosgrove & Loucks, 2015). مکانیابی محل احداث تصفیه خانه فاضلاب در ارتباط با الزامات محیط‌زیستی، توپوگرافی، بهداشتی، اجتماعی (فاصله از مراکز سکونتی) و اقتصادی، (فاصله از جاده‌ها و خطوط ارتباطی) قرار دارند (Kaleeswari et al., 2018). ارزیابی تناسب زمین جداسازی طبیعت یا کیفیت زمین به اجزای تشکیل‌دهنده آن بر مبنای توانایی‌های زمین برای یک کاربری یا هدف خاص است (MacDonald & Aicp, 2007). انتخاب محل احداث تصفیه‌خانه فاضلاب به علت این که ترکیبی از پارامترهای اجتماعی، اقتصادی، محیطی و فنی می‌باشد، فرآیند بسیار پیچیده‌ای دارد (Deepa & Krishnaveni, 2012). فرآیند مکانیابی تصفیه‌خانه در پی کمک به انتخاب مکان‌هایی است که دارای کمترین خطر محیط‌زیستی و بهداشتی بوده و به لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد. یکی از مهم‌ترین مراحل تصفیه‌خانه فاضلاب که کمترین اثرات محیط‌زیستی را به همراه دارد، انتخاب محل مناسب است. بنابراین، بسیاری از کشورها و سازمان‌های علمی استانداردهای خود را برای طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صادر کرده‌اند (Zhao et al., 2009). ارزش بازار جهانی آب و فاضلاب در سال ۲۶۳/۰۷ میلیارد دلار برآورد شد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۸ به ۵۰۰ میلیارد دلار برسد (Statista, 2021).

بازیافت و استفاده مجدد برای پایداری بسیار مهم است. افزایش آلاینده‌ها در آب آشامیدنی و پتانسیل آن‌ها برای تغییر سلامت انسان یک موضوع نگران‌کننده در سراسر جهان است (Wise et al., 2003). به همین منظور مدیریت فاضلاب شهری شامل فعالیت‌ها و تلاش‌هایی است که با هدف جمع‌آوری، تصفیه و دفع فاضلاب برای حفظ سلامت و ایمنی عمومی، جلوگیری از آلودگی آب و حفاظت از محیط‌زیست انجام می‌شود. همه این فعالیت‌ها و تلاش‌ها خدمات مدیریت فاضلاب را تشکیل می‌دهند که دولت‌های محلی موظف به ارائه آن به همه شهروندان و نهادهای تولیدکننده فاضلاب در منطقه و یا شهر هستند (ASIAN DEVELOPMENT BANK, 2017). مطالعات مختلفی در خصوص مکانیابی تصفیه‌خانه فاضلاب در سطح ایران و جهان انجام شده است. در پژوهشی Sedaghati و Talebkhah، به بررسی مکانیابی تصفیه فاضلاب با روش AHP در بجنورد با ۸ پارامتر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شیب و ارتفاع بیشترین تاثیر را در مکان استقرار تصفیه‌خانه داشته‌اند (Sedaghati & Talebkhah, 2018). Shahmoradi

و Pouramraei، با روش تناسب اراضی به مکانیابی تصفیه‌خانه شهر کوهدشت با ۸ معیار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سه پهنه در جنوب شهر کوهدشت برای احداث تصفیه خانه فاضلاب شهری مناسب می‌باشد (Shahmoradi, & Pouramraei, 2021 ،Erfaninasab) و همکاران، به کمک ۷ پارامتر ژئوموفولوژیکی و روش AHP به مکانیابی تصفیه خانه شهرستان زرندیه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین اراضی شهرستان زرندیه جهت استقرار تصفیه خانه فاضلاب در نیمه شرقی منطقه است (Erfaninasab et al., 2021 ،Saeedi) و همکاران به مکانیابی تصفیه خانه فاضلاب در شهر فاروج با استفاده از روش AHP پرداختند و یک مکان را جهت احداث تصفیه خانه فاضلاب پیشنهاد دادند (سعیدی و همکاران، ۱۴۰۱). Şeker و Yucel با استفاده از ۸ معیار به مکانیابی تصفیه خانه فاضلاب در استان Kayseri با روش AHP پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ۳۳ هکتار از منطقه دارای پهنه‌های بسیار مناسب هستند (Şeker & Yucel, Sammy, 2017) با استفاده از ۱۰ پارامتر و روش AHP به مکانیابی تصفیه خانه فاضلاب در شهر Loitokitok پرداختند و ۰/۵ درصد از کل مساحت منطقه دارای پتانسیل تناسب بسیار بالا برای احداث تصفیه خانه فاضلاب می‌باشد (Sammy Kallas et al., 2018) به مکانیابی تصفیه خانه بیولوژیکی در لبنان به روش فازی و AHP به کمک ۵ پارامتر پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که ۱۶۲/۹۴ کیلومتر مربع در سراسر لبنان دارای مناطق مناسب برای احداث تصفیه‌خانه بیولوژیکی است (Kallas et al., 2022).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با مساحت ۵۵۵۸۸/۸۹ هکتار در محدوده طول جغرافیایی ۶۸ درجه و ۹۸ دقیقه و ۷۵ ثانیه تا ۷۱ درجه و ۶۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۸۱ دقیقه و ۸۸ ثانیه تا ۴۰ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۴ شمالی قرار دارد شکل (۱). استان مازندران از شمال به دریای خزر، از جنوب به استان‌های تهران (دارای مرز مشترک ۲۵۰ کیلومتری استو البرز، از غرب به استان گیلان (دارای مرز مشترک ۵۰ کیلمتری)، و از شرق به استان گلستان (دارای مرز مشترک ۶۰ کیلومتری است) و سمنان (دارای مرز مشترک ۱۵۰ کیلومتری) محدود می‌شود. سطح عمده استان مازندران جنگل‌های هیرکانی است. استان مازندران تمامی سرتاسر مرز شمالی خود را با ساحل دریای مازندران در ارتباط است و لبه‌ای کاملاً ساحلی و آبی دارد. این استان از شمال به جنوب، پهنه‌های مختلف و متفاوتی نظیر ساحل، جلگه و کوهستان را در خود جای داده است. لبه ساحلی دارای عمق بسیار ناچیزی بوده و جلگه‌های استان در غرب بسیار کم عمق ولی در شرق نسبتاً مناسب هستند از طرف دیگر کوهستان نیز سرتاسر نیمه جنوبی را به فراخور عمق استان در بر گرفته است. جنگل‌های استان که هم در جلگه و هم در کوهستان رخ نمون دارند، سیمای خاصی در ارتباط با آب و کوهستان بوجود آورده‌اند و از این حیث در دنیا از مناطق کمیاب می‌باشند.

روش کار

در این پژوهش ابتدا معیارهای ارتفاع، شیب، زمین شناسی، پوشش‌گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از شهر، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه تهیه شد.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

الف: نقشه‌های فیزیوگرافی

برای تولید نقشه‌های ارتفاع و شیب که به عنوان مشخصه‌های اصلی فیزیوگرافی شناخته می‌شوند، نقشه مدل رقومی ارتفاع (Dem) از سنجنده پانکروماتیک (PRISM) ماهواره Alos Palsar دانلود و سپس در نرم افزار Arc GIS 10.5 نقشه‌های شیب (Slope) و جهت شیب (Aspect) تهیه شد.

ب: نقشه‌های فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از مناطق شهری و روستایی

برای تهیه نقشه‌های فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل، ابتدا نقشه‌های جاده‌های اصلی از وب‌سایت Open Street Map، فاصله از آبراهه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع و افزونه Archydro در نرم افزارArcGIS 10.5 ، و نقشه فاصله از گسل از طریق نقشه زمین شناسی منطقه تهیه شد و سپس با استفاده از فاصله اقلیدسی، فاصله نسبت به این پارامترها تهیه شد.

ت: نقشه پوشش گیاهی

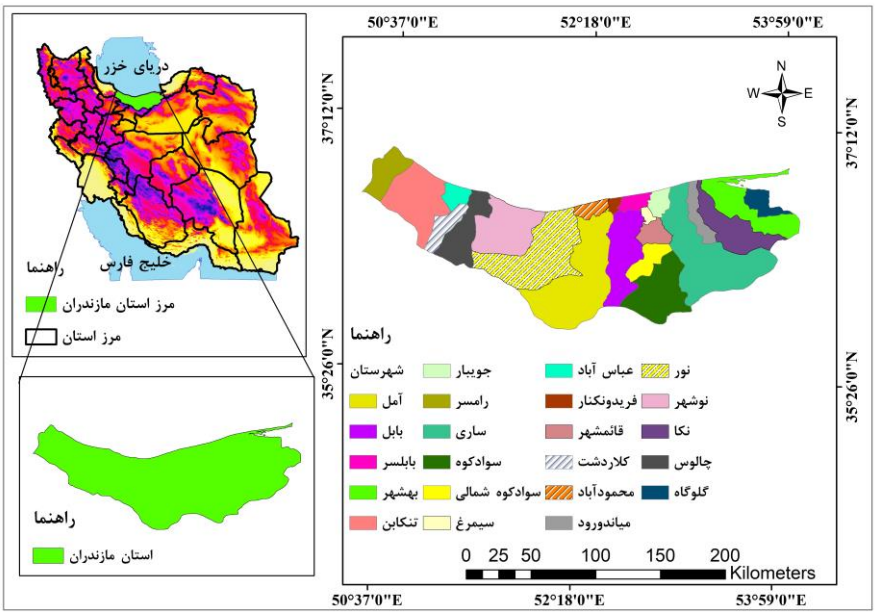
نقشه پوشش گیاهی منطقه از سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث بروز شد.

ج: نقشه زمین‌شناسی

به منظور تهیه نقشه زمین شناسی منطقه، این نقشه از سازمـان زمین‌شناسی کشور تهیه شد و سپس در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 آماده سازی شد.

چ: نقشه مناطق تحت حفاظت سازمان حفاظت محیط‌زیست

نقشه مناطق تحت حفاظت از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان مازندران تهیه شد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

پس از تهیه نقشه‌ها، در محیط ArcGIS 10.5 محدودیت‌های هر لایه بر اساس جدول (۱) و روش فازی اعمال شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و با استفاده از پرسشنامه نظر متخصصین و کارشناسان جهت امتیازدهی به پارامترها مورد استفاده قرار گرفت (لازم به ذکر است که متخصصینی که به پرسشنامه پاسخ دادند دارای گرایشات محیط‌زیست، مهندسی عمران، بهداشت محیط زیست، مهندسی آب و فاضلاب بوده‌اند. همچنین، افراد پاسخ‌دهنده از اساتید دانشگاه و کارمندان بودند و در زمینه مطالعات حاضر، صاحب نظر می‌باشند). همچنین نحوه وزن‌دهی به پارامترها به روش مقایسات زوجی بوده است. و وزن لایه‌ها با روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice (Saaty & Vargas, 2012) و تحلیل شبکه (ANP) با نرم‌افزار Super Decision Cheng & Li, 2004) تهیه و در نهایت در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به پهنه‌بندی مکان مناسب جهت احداث تصفیه‌خانه فاضلاب پرداخته شد. در این پژوهش روش‌های Fuzzy AHP، Fuzzy ANP، Fuzzy TOPSIS AHP، Fuzzy TOPSIS ANP (در روش TOPSIS (Srikrishna et al., 2014)، یک بار از وزن‌های به دست آمده از روش AHP و یک بار نیز از وزن‌های محاسبه شده از روش ANP استفاده شده است) استان مازندران با تاکید بر استفاده مجدد مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

نتایج حاصل از پرسشنامه AHP و ANP

وزن نهایی حاصل از پرسنامه AHP و ANP در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج حاصل از پرسشنامه AHP پرسشنامه نشان می‌دهد که عامل‌های شیب، ارتفاع و فاصله از جاده اصلی به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۰۵، ۰/۱۹۸ و ۰/۱۴۰ مهم‌ترین عوامل موثر در توان ایجاد تصفیه فاضلاب در این منطقه است. نتایج حاصل از پرسشنامه ANP نشان می‌دهد که عامل‌های ارتفاع،

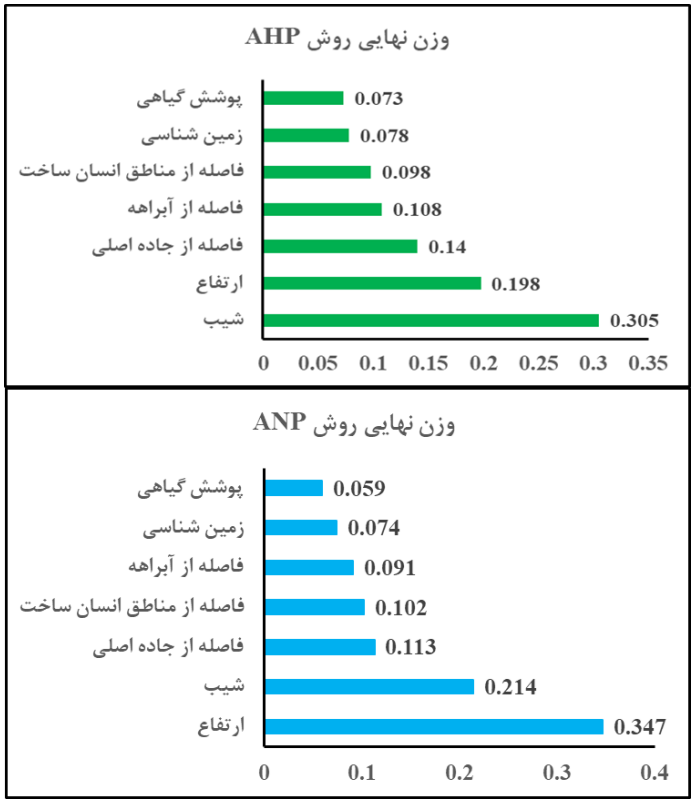
شیب و فاصله از جاده اصلی به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۴۷، ۰/۲۱۴ و ۰/۱۱۳ مهمترین عوامل موثر در توان ایجاد تصفیه فاضلاب در این منطقه است.

تهیه نقشه نهایی توان منطقه

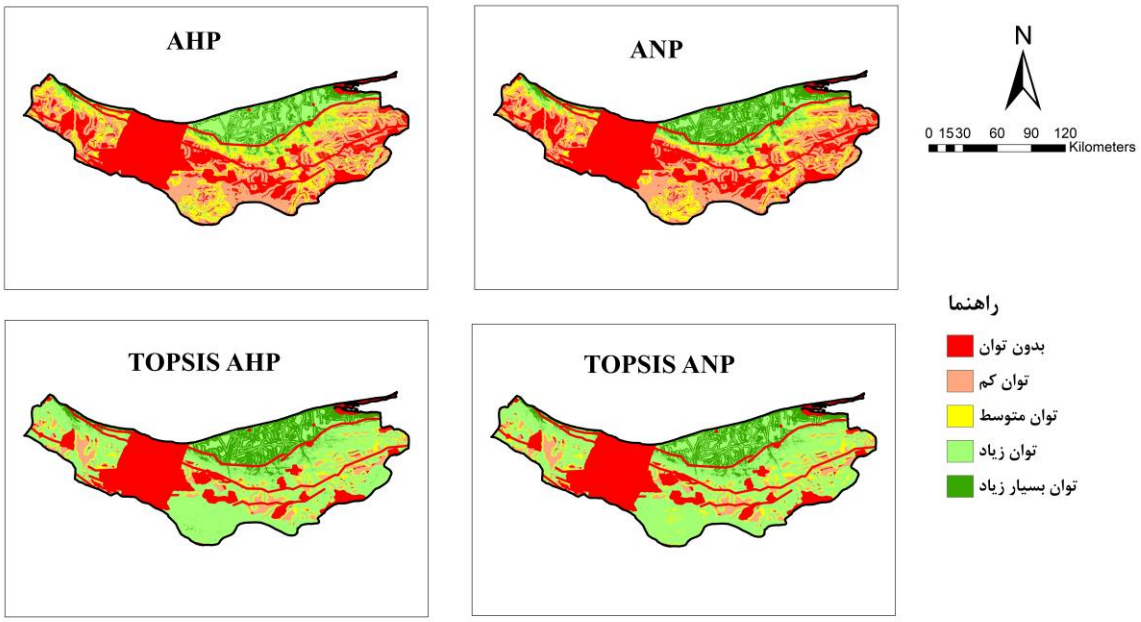
پس از اعمال محدودیت لایه‌ها و نرمال‌سازی، وزن‌های حاصل شده از طریق پرسشنامه AHP و ANP برای هر لایه محاسبه و سپس وزن‌های به‌دست آمده در لایه‌های موردنظر با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.5 با یکدیگر ادغام شدند و در نهایت با استفاده از روش شکست طبیعی، به ۵ طبقه بدون توان، توان کم، توان متوسط، توان بالا و توان بسیار زیاد تقسیم شدند شکل (۳).

جدول (۱): محدودیت‌ها و نوع توابع فازی

معیارها	فواصل برای فازی سازی	نوع تابع
ارتفاع	کمتر از ۲۰۰ متر برابر ۱، ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر بین ۱ و صفر، بیشتر از ۵۰۰ متر برابر صفر	خطی کاهشی
شیب	کمتر از ۷٪ برابر با ۱، ۱۴٪–۷٪ بین ۱ و صفر، بیش از ۱۴٪ برابر با صفر	خطی کاهشی
فاصله از جاده اصلی	حریم ۳۰۰ متر برابر صفر، ۵۰۰–۳۰۰ متر برابر ۱، ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ بین ۱ و صفر، بیش از ۲۰۰۰ متر برابر صفر	خطی کاهشی
فاصله از آبراهه	۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر برابر ۱، ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بین ۱ و صفر، بیش از ۳۰۰۰ متر برابر صفر	خطی کاهشی
فاصله از مناطق انسان ساخت	۵۰۰۰–۲۰۰۰ برابر ۱، ۸۰۰۰–۵۰۰۰ متر بین ۱ تا صفر، بیش از ۸۰۰۰ متر برابر صفر.	خطی کاهشی
پوشش گیاهی	اراضی کشاورزی دیم به همراه دیم‌زارهای خزری، مراتع مرغوب و استپی گاه با درخت‌های پراکنده، پوشش گیاهی ویژه دشت‌های شور و تپه‌های شنی و دشت‌های سیلابی برابر مناسب (۱)، اراضی کشاورزی آبی برابر نسبتا مناسب (۰/۸)، دریاچه‌ها و خلیج، جنگل راش و بلوط و پهن برگ خزری و جنگل بلوط و ارس و گاه پسته و بادام و گز و کهور برابر نامناسب (۰)	گسسته
زمین‌شناسی	مارن، شیل حاوی فسیل آمونیت و گاستروپدهای کوچک با با بین لایه‌های آهک، ماسه، کنگلومرا و ولکانیک برابر ۱، آهک رسی آرژلیتی با میان لایه شیل حاوی آمونیت، اکینوپد و اربیتولینای فراوان برابر ۰/۸، آهک هوازده زرد– قهوه‌ای، دولومیت، کنگلومرای قرمز برابر ۰/۶، تراس آبرفتی قدیم و جدید، رسوبات رودخانه‌ای قدیمی برابر ۰/۲	گسسته
حریم		
فاصله از جاده اصلی	۳۰۰–۰ متر برابر صفر	
فاصله از آبراهه	۴۰۰–۰ متر برابر صفر	
فاصله از گسل	۱۰۰۰–۰ متر برابر صفر	
فاصله از مناطق حفاظت شده	۱۰۰۰–۰ متر برابر صفر	
فاصله از مناطق انسان ساخت	۲۰۰۰–۰ متر برابر صفر	



شکل (۲): اولویت معیارهای حاصل از پرسشنامه AHP و ANP

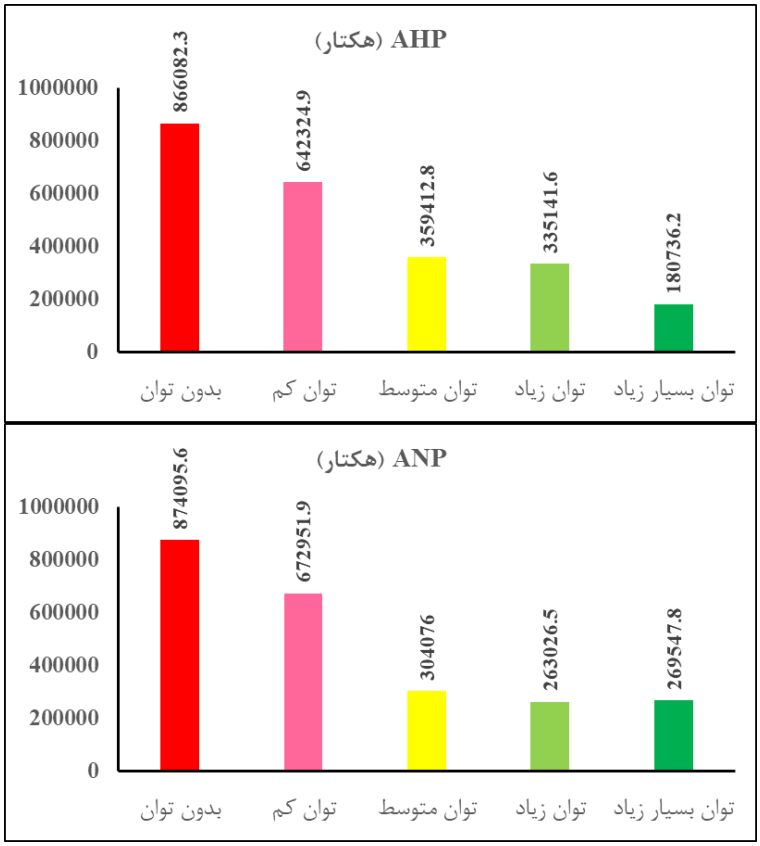


شکل (۳): نقشه توان استان مازندران برای احدث تصفیه خانه فاضلاب

طبقه‌بندی نقشه‌های حاصل از روش AHP و ANP

نتایج حاصل از طبقه‌بندی نقشه با استفاده از روش AHP برای ایجاد تصفیه فاضلاب در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۸۶۶۰۸۲/۳ هکتار (۳۶/۳۳ درصد) از منطقه بدون توان، ۶۴۲۳۲۴/۹ (۲۶/۹۵ درصد) هکتار دارای توان کم، ۳۵۹۴۱۲/۸ هکتار (۱۵/۰۷ درصد) دارای توان متوسط، ۳۳۵۱۴۱/۶ هکتار

(۱۴/۰۶ درصد) دارای توان زیاد و ۱۸۰۷۳۶/۲ هکتار (۷/۵۸ درصد) از منطقه دارای توان بسیار زیاد است شکل (۴). نتایج حاصل از روش ANP برای ایجاد تصفیه فاضلاب در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۸۷۴۰۹۵/۶ هکتار (۳۶/۶۷ درصد) از منطقه بدون توان، ۶۷۲۹۵۱/۹ هکتار (۲۸/۲۳ درصد) دارای توان کم، ۳۰۴۰۷۶ هکتار (۱۲/۷۶ درصد) دارای توان متوسط، ۲۶۳۰۲۶/۵ هکتار (۱۱/۰۳ درصد) دارای توان زیاد و ۲۶۹۵۴۷/۸ هکتار (۱۱/۳۰ درصد) از منطقه دارای توان بسیار زیاد است شکل (۴).



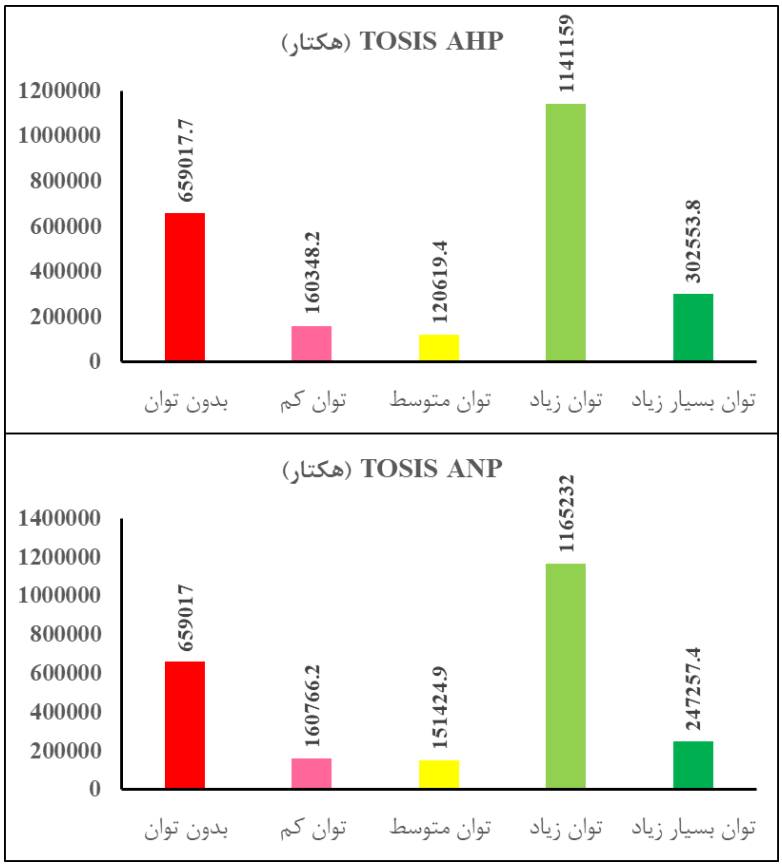
شکل (٤): درصد فراوانی توان منطقه مورد مطالعه برای ایجاد تصفیه فاضلاب

طبقه‌بندی توان به روش TOPSIS AHP و TOPSIS ANP

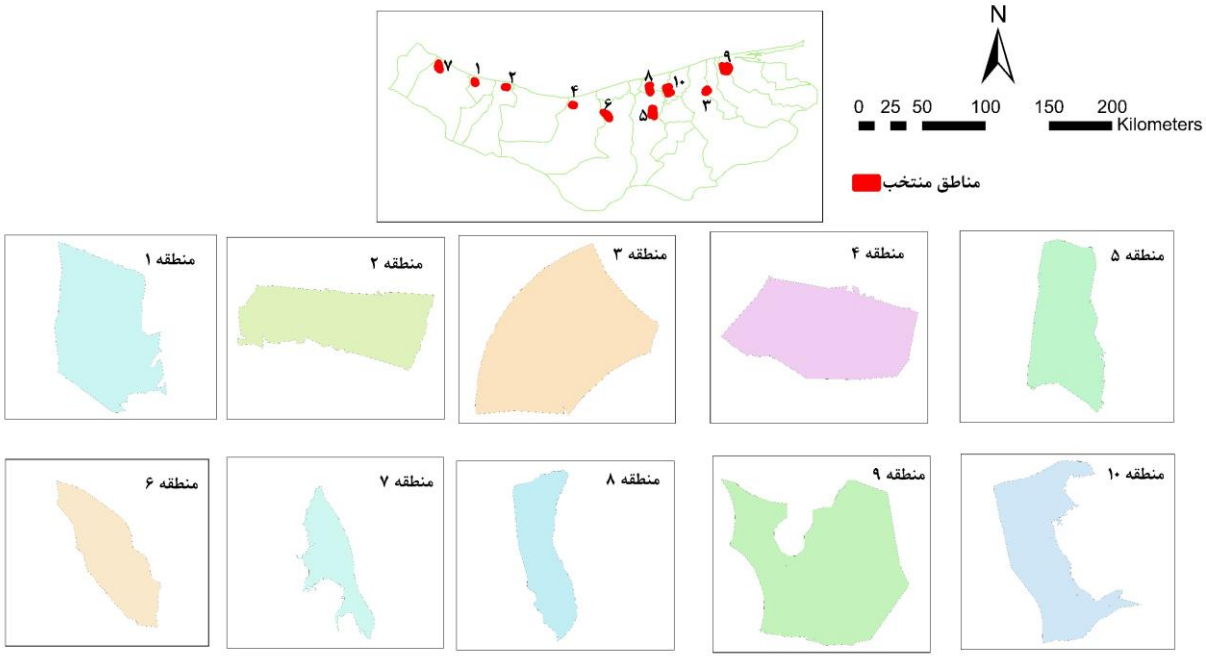
نتایج حاصل از طبقه‌بندی توان به روش TOPSIS AHP نشان می‌دهد که ۶۵۹۰۱۷/۷ هکتار (۲۷/۶۴درصد) از منطقه بدون توان، ۱۶۰۳۴۸/۲ هکتار (۶/۷۳ درصد) دارای توان کم، ۱۲۰۶۱۹/۴ هکتار (۵/۰۶ درصد) دارای توان متوسط، ۱۱۴۱۱۵۹ هکتار (۴۷/۸۷ درصد) دارای توان زیاد و ۳۰۲۵۵۳/۸ هکتار (۱۲/۶۹درصد) از منطقه دارای توان بسیار زیاد است شکل (۵). نتایج حاصل از طبقه‌بندی توان به روش TOPSIS ANP نشان می‌دهد که ۶۵۹۰۱۷/۷ هکتار (۲۷/۶۴ درصد) از منطقه بدون توان، ۱۶۰۳۴۸/۲ هکتار (۶/۷۴ درصد) دارای توان کم، ۱۵۱۴۲۴/۹ هکتار (۶/۳۵ درصد) دارای توان متوسط، ۱۱۶۵۲۳۲ هکتار (۴۸/۸۸درصد) دارای توان زیاد و ۲۴۷۲۵۷/۴ هکتار (۱۰/۳۷درصد) از منطقه دارای توان بسیار زیاد است شکل (۵).

مناطق منتخب حاصل از روش‌های مورد بررسی

با توجه به اینکه برای ایجاد تصفیه فاضلاب متمرکز حداقل مساحت مورد نیاز است، در این پژوهش از طبقه توان بسیار زیاد، ده منطقه‌ای که دارای بیشترین ارزش بودند، و در تمامی روش‌های مورد استفاده مشترک بودند و به عنوان مناطق با توان بسیار بالا در نظر گرفته شدند، به عنوان بهترین مکان برای احداث تصفیه فاضلاب انتخاب شدند شکل (۶). اطلاعات کلی مناطق انتخاب شده در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل (٥): درصد فراوانی توان منطقه مورد مطالعه برای ایجاد تصفیه فاضلاب حاصل از روش TOPSIS AHP



شکل (٦): مناطق منتخب حاصل از توان استان مازندارن برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب

جدول (۲): مشخصات مناطق منتخب حاصل از روش‌ها

مناطق منتخب روش‌ها	شهرستان	بخش	میانگین ارتفاع (متر)	میانگین شیب (شیب)	کمترین فاصله نسبت به جاده اصلی (متر)	کمترین فاصله نسبت به فاصله از آبراهه (متر)
منطقه ۱	عباس آباد	مرکزی عباس آباد	۲۳	۳/۶۱	۳۲۰	۷۰۰
منطقه ۲	چالوس	مرکزی چالوس	۵۰	۵/۶۵	۷۴۰	۴۷۰
منطقه ۳	ساری	مرکزی ساری	۲	۲/۱۴	۱۸۰۰	۸۶۰
منطقه ۴	نور	مرکزی نور	۳۴	۵/۵۵	۱۷۰۰	۲۸۰۰
منطقه ۵	بابل	مرکزی بابل	۱۱	۳/۲۶	۳۳۰	۴۳۰
منطقه ۶	آمل	مرکزی آمل	۹۳	۳/۷۲	۳۳۰	۵۲۰
منطقه ۷	تنکابن	مرکزی تنکابن	۵۰	۴/۱۸	۳۴۰	۴۵۰
منطقه ۸	بابلسر	رودبست	-۲۰	۲/۵۵	۳۲۰	۴۸۰
منطقه ۹	بهشهر	مرکزی بهشهر	-۲۷	۱/۷۵	۳۱۰	۴۲۰
منطقه ۱۰	سیمرغ	مرکزی سیمرغ	-۲۰	۲/۶۶	۳۲۰	۴۳۰

نتیجه‌گیری

جهت بررسی تناسب اراضی استان مازندران برای مکانیابی تصفیه‌خانه فاضلاب، ۷ معیار شامل ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده اصلی و فاصله از مناطق انسان‌ساخت مورد سنجش قرار گرفتند. یافته‌های این پژوهش نشان داد:

۱. محدوده استان مازندران براساس تناسب ارضی به‌منظور احداث تصفیه‌خانه فاضلاب به پهنه‌های بدون توان، توان کم، توان متوسط، توان زیاد و توان بسیار زیاد مناسب تقسیم شده است. با بررسی تمامی روش‌های مورد بررسی و مکان‌هایی که از نظر تمامی روش‌ها دارای اشتراک بوده و مساحت لازم برای پیاده‌سازی تصفیه خانه فاضلاب مناسب بودند، ۱۰ مکان در سطح استان مازندران انتخاب شدند.

۲. در محدوده استان مازندران مناطق مناسبی که دارای تناسب اراضی برای احداث تصفیه خانه فاضلاب میباشند، منطبق بر اراضی کم شیب (۰-۶٪) و کم ارتفاع (< ۱۰۰ متر) در قسمت شمالی استان مازندران بود.

۳. با توجه به این که مناطق جنوبی استان مازندران دارای کاربری جنگلی و مناطق کوهستانی بوده و دارای ارزش بالای اکولوژیکی بوده است، مناطق منتخب جهت احداث تصفیه‌خانه فاضلاب دارای بیشترین تناسب اراضی بوده و برای هدف این پژوهش مناسب می‌باشد.

بحث

مدیریت فاضلاب یکی از دشوارترین چالش‌های پیش رو در استان مازندران است، در حالی که حفظ اکوسیستم منطقه به ویژه اکوسیستم‌های ساحلی مازندران از اولویت‌های بالایی برخوردار است. این اکوسیستم‌ها تحت فشار شدیدی هستند که آلودگی‌های انسانی نیز دخیل است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یکی از پرکاربردترین تاسیسات برای پیشگیری و کنترل آلودگی آب هستند. این مطالعه به اهمیت فناوری‌های مدرن برای استفاده از آن برای حل مشکلات محیطزیستی تصفیه‌خانه فاضلاب در پیشرفت حفاظت از محیطزیست اشاره کرد. این مطالعه اهمیت تصفیه‌خانه فاضلاب را در پیشرفت تمدن و حفاظت از محیطزیست مورد بحث قرار داد. روش اتخاذ شده در این مطالعه تکنیک‌های سنجش از دور و GIS را برای آسان‌تر کردن مطالعه و به دست آوردن اطلاعات ارزشمند در مورد منطقه مورد مطالعه ترکیب می‌کند. همچنین، GIS ما را قادر می‌سازد تا لایه‌های مختلف را ادغام کرده و پایگاه داده بزرگ را مدیریت کنیم. در مقایسه با روش‌های معمولی نتایج دقیق‌تری به‌دست می‌دهد. از این‌رو، GIS به عنوان یک ابزار قدرتمند در مدیریت داده‌های مکانی و غیر مکانی در ارزیابی مناسب بودن ثابت شده است. این مطالعه ادغام روش‌های AHP، ANP، TOPSIS AHP و TOPSIS ANP به همراه روش فازی برای بهترین مکان برای ایجاد تصفیه‌خانه را پیشنهاد می‌کند. بررسی مکان‌های منتخب نشان می‌دهد که مکان‌های انتخاب شده به وزن‌دهی معیارها بستگی دارد. معیارهای ارتفاع، شیب،

زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، فاصله از شهر، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه در این پژوهش با استفاده از روش AHP و ANP وزن‌دهی شد. در این پژوهش مهمترین معیارهای موثر بر توان استان مازندران بر اساس روش AHP و ANP، ارتفاع و شیب است. پژوهش Mansouri (۲۰۱۱)، Fallah و همکاران (۲۰۱۳)، Ziaian-Firoozabadi و همکاران (۲۰۱۶)، Sedaghati و Talebkhah (۲۰۱۸)، Rezaali و Karimi (۲۰۱۹)، Shahmoradi و Pouramraei (۲۰۲۱)، Awawdeh و همکاران (۲۰۲۳) نیز نتایج مشابه با این پژوهش داشتند. نتایج پژوهش نشان داد که مقدار توان بسیار بالای منطقه با استفاده از روش ANP، AHP، TOPSIS ANP و TOPSIS AHP به ترتیب برابر است با ۲۶۳۰۲۶/۵ هکتار (۱۱/۰۳ درصد)، ۱۸۰۷۳۶/۲ هکتار (۷/۵۸ درصد)، ۲۴۷۲۵۷/۴ هکتار (۱۰/۳۷درصد) و ۱۱۴۱۱۵۹ هکتار (۴۷/۸۷ درصد) است.

در انتها ۱۰ مکان به‌عنوان بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب در استان مازندران پیشنهاد شد. نتایج حاصل از مکانیابی تصفیه خانه فاضلاب به روش AHP توسط Saeedi و همکاران، (۱۴۰۱)، Sammy (۲۰۱۸) و Kallas و همکاران (۲۰۲۲)، به روش TOPSIS توسط Fallah و همکاران (۱۳۹۲)، Wondim و Dzwairo (۲۰۱۸) نیز نشان می‌دهد که ترکیب GIS و مدل‌های مورد استفاده جهت مکانیابی بسیار کارآمد بوده و نتایج حاصل از پژوهش می‌تواند مورد استفاده ذینعان قرار گیرد. نتایج نشان داد که تلفیق روش‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌تواند نتایج بسیار مطلوبی را ارائه دهد و مکان‌های پیشنهادی تصفیه‌خانه فاضلاب نگرانی‌های عمومی در مورد اثرات بهداشتی و محیطزیستی را به حداقل می‌رساند و از نظر اقتصادی مناسب خواهد بود.

منابع

Asian Development Bank. (2017). Urban wastewater management in Indonesia Key Principles and Issues in Drafting Local Regulations.

Awawdeh, M., Al-Rousan, Z., & Alkaraki, K. (2023). Wastewater treatment plant site selection using GIS and multicriteria decision analysis. Arab Gulf Journal of Scientific Research.

Cheng, E. W., & Li, H. (2004). Contractor selection using the analytic network process. Construction management and Economics, 22(10), 1021-1032.

Cosgrove, W. J. & Loucks, D. P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. Water Resour. Res., 51, 4823– 4839.

Deepa, K. & Krishnaveni, M. (2012). Suitable site selection of decentralised treatment plants using multicriteria approach in GIS. J. Geogra. Inform. Syst., 4, 254-260.

Environmental Protection Agency. (2020). Urban Waste Water Treatment in 2020.

Erfaninasab, Y., Hassanbeigi, J., Abbasi, H., Kamalzadeh, M., Abolhasani, M., & Abolhasani, H. (2021). Locating a wastewater treatment plant using geomorphological parameters and the AHP model (case study: Zarandieh County), 6th International Conference on Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, Tehran.

Fallah, M, Farajzadeh asl, M, Vagharfard, H, & Nik kheslat, A. (2013). Site selection of waste water treatment plant usig GIS and TOPSIS (Case study: Qeshm island). Geograohical journsl of territory, 10(37), 109-126.

Kaleeswari, K., Johnson, T., & Vijayalakshmi, C. (2018). Application of fuzzy AHP in water treatment plant location. J. Adv. Res. Dynamic. Control Syst, 10(1), 335-342.

Kallas, G., Palacios-Rodríguez, G., & Kattar, S. (2022). Land Suitability for Biological Wastewater Treatment in Lebanon and the Litani River Basin Using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process. Forests, 13(2), 139.

MacDonald, J. A. & Aicp. (2007). A Decisionsupport model of land suitability analysis for the Ohio Lake Erie balanced growth program. EcoCity, 1-50.

Mansouri, Z. (2011). Locating the wastewater treatment plant in Falavarjan city in Isfahan province with a special view on the environment of the region. Master's thesis. Faculty of Earth Sciences. Shahrood University of Technology.

Nigusse, A. G., Adhaneom, U. G., Kahsay, G. H., Abrha, A. M., Gebre, D. N., & Weldearegay, A. G. (2020). GIS application for urban domestic wastewater treatment site selection in the Northern Ethiopia, Tigray Regional State: a case study in Mekelle City. Arabian Journal of Geosciences, 13(8), 1-13.

Rezaali, M., & Karimi, A. (2019). Decentralized Wastewater Treatment Plants Site Selection of Qom Province by Using Fuzzy Logic and AHP. Iran-Water Resources Research, 15(1), 76-91.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process (Vol. 175). Springer Science & Business Media.

Saeedi, S. A., Khamchinmoghadam, F., & Bashi Azghadi, S. N. (2023). Using Multi-Criteria Decision Making Methods in Selecting the Appropriate Location of a Wastewater Treatment Plant, Case Study: Farouj City Wastewater Treatment Plant, Journal of Water & Wastewater Science and Engineering, 7(3), 5-15.

Sammy, D. N. (2018). Use of geospatial technologies in the selection of suitable sites for a Wastewater Treatment Plant Case Study: Loitokitok town (Doctoral dissertation, University of Nairobi).

Sedaghati, A, & Talebkhah, H. (2018). Evaluation the wastewater treatment location of Bojnord city and selecting the right location. Geograohical journsl of territory, 15(59), 51-70.

Şeker, D., & Yucel, U. (2017). Gis Based Multi-Criteria Decision Analysis for Site Selection of a Wastewater Treatment Plant.

Shahmoradi, B., & Pouramraei, R. (2021). Site Location of Municipal Wastewater Treatment Plant Using Land Suitability Model (Case Study: Kouhdasht City). Environment and Water Engineering, 7(2), 232-242.

Srikrishna, S., Sreenivasulu, R. A., & Vani, S. (2014). A new car selection in the market using TOPSIS technique. International Journal of Engineering Research and General Science, 2(4), 177-181.

Statista. (2021). Water and Wastewater Treatment Market Size Worldwide in 2020. with a forecast to 2028.

Wise, A., O'Brien, K., & Woodruff, T. (2011). Are oral contraceptives a significant contributor to the estrogenicity of drinking water. Environmental science & technology, 45(1), 51-60.

Wondim, T. T., & Dzwairo, B. (2018). A scenario-based multiple attribute decision-making approach for site selection of a wastewater treatment plant: Bahir Dar City (Ethiopia) case study. Water SA, 44(4), 782-794.

Zhao, Y. W., Qin, Y., Chen, B., Zhao, X., Li, Y., Yin, X. A., & Chen, G. Q. (2009). GIS-based optimization for the locations of sewage treatment plants and sewage outfalls–A case study of Nansha District in Guangzhou City, China. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 14(4), 1746-1757.

Ziaian-Firoozabadi, P., Pourahmad, M., & Pourahmad, N. (2016). Locating the construction of the wastewater treatment plant in Al-Ashtar city using the analytic hierarchy process, the first annual scientific-specialized conference on civil engineering, architecture, urban planning, and geographical sciences in ancient and contemporary Iran.

Providing a Suitable Model for Locating the Construction of a Wastewater Treatment Plant in Mazandaran Province Using TOPSIS, ANP, and AHP Methods

Seyed Mahmoud Hadian[*1], Naser Mehrdadi[2], Gholam Reza Nabi Bidhendi[3]

1. PhD Student Department of Environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Professor Department of Environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Professor Department of Environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Received: 2024/03/15 Accepted: 2023/11/01)

Abstract

Site selection is a specialized field that analyzes the capabilities and potential of a region to determine suitable and sufficient land for various land uses. Incorrect site selection for sewage treatment plants can lead to significant operational challenges. With Mazandaran Province experiencing rapid population growth and inadequate wastewater management, it faces numerous environmental, health, and social issues. Therefore, selecting an optimal site for a wastewater treatment plant, along with effective management to enable wastewater reuse, is essential. The objective of this study is to develop a model for identifying the most suitable areas for constructing a wastewater treatment plant in Mazandaran Province, using the TOPSIS, ANP, and AHP methods, with an emphasis on reuse. The study first identified key criteria, including elevation, slope, geology, vegetation, proximity to cities, roads, faults, and waterways. These criteria were scored based on expert opinions collected via questionnaires. The weights of the layers were calculated using Expert Choice and Super Decisions software. Finally, the optimal location for the plant was zoned using ArcGIS 10.5 software. The results indicate that the areas with extremely high capability, as identified using ANP, AHP, TOPSIS ANP, and TOPSIS AHP methods, were 263,026.5 hectares (11.03%), 180,736.2 hectares (7.58%), 247,257 hectares (10.37%), and 1,141,159 hectares (47.87%), respectively.

Keywords: Wastewater treatment, TOPSIS, ANP, AHP, Mazandaran province.

* Corresponding author: Email: 2091168734m@gmail.com
DOI: 10.22034/eiat.2025.217690