نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۳۹-۱۰۳۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1031-1039

مقاله علمی-پژوهشی

انتخاب بهترین روش استفاده مجدد از پساب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نجمه گازر حبیب‌آبادی[۱]، کامران داوری[۲]، حسین بانژاد[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۸

چکیده

در حال حاضر اکثر نقاط جهان، با چالش جدی در تأمین آب مواجه بوده و دسترسی به منابع آب شیرین با کیفیت مطلوب، بسیار محدود می‌باشد. تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن می‌تواند علاوه بر کاستن خسارت‌های وارده از تخلیه فاضلاب خام در محیط‌زیست به تأمین بخشی از نیازهای آبی کمک نماید. استفاده از پساب برای مصارف مختلف اگرچه برای رفع کمبود آب مفید خواهد بود اما درصورتی‌که بدون برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد می‌تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاد و متعددی را در پی داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره به بررسی همه‌جانبه معیارهای تأثیرگذار در امکان استفاده از پساب برای مصارف گوناگون پرداخته شد. معیارهای در نظر گرفته‌شده شامل مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و زیر معیارهای ذخیره آب، کاهش میزان آلاینده‌های تخلیه‌شده در محیط، خطرات بهداشتی، همکاری نهادها و دولت، تأمین امنیت غذایی، پذیرش عمومی، کیفیت پساب، فرصت‌های سرمایه‌گذاری، درآمدزایی و قابلیت اجرا می‌باشد. این پژوهش با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مقایسه دو به دو و متکی بر قضاوت‌های متخصصان بهترین گزینه استفاده از پساب را از بین گزینه‌های پیش‌رو بررسی نموده و وزن هر کدام از گزینه‌ها مشخص و نتیجه نهایی به دست آمد. وزن گزینه مصارف صنعتی ۰/۱۷، مصارف زیست‌محیطی و شهری هر کدام ۰/۱۳، مصارف تفریحی ۰/۱۱، گزینه تغذیه آب‌های زیرزمینی برای مصارف غیرشرب ۰/۱۶ و استفاده غیرمستقیم برای شرب ۰/۱؛ به دست آمد؛ و در نهایت بخش کشاورزی با وزن ۰/۱۹ به‌عنوان بهترین گزینه‌ای که می‌توان از پساب در آن استفاده نمود انتخاب شد.

کلمات کلیدی: آب‌های نامتعارف، تصمیم‌گیری چند معیاره، خشک‌سالی، مدیریت منابع آب، معیار

مقدمه

از کل منابع آب روی زمین حدود ۲/۵ درصد آن آب شیرین بوده و کمتر از ۱ درصد منابع موجود، قابل‌استفاده است. از طرفی منابع آب شیرین قابل‌استفاده به‌طور یکسان در کره زمین توزیع نشده‌اند و در خیلی از بخش‌های زمین با توجه به نوع اقلیم، آب شیرین کمیاب است. با این شرایط تا سال ۲۰۲۵، تعداد ۱/۸ میلیارد نفر در زمین با کمبود مطلق آب روبرو خواهند بود (Liebe and Ardakanian, 2013). کمبود منابع آبی و افزایش تقاضا در بسیاری از مناطق جهان، تأمین آب را به چالشی ثابت تبدیل کرده است. این مشکل در مناطق خشک و نیمه‌خشک با جمعیت بالا شدیدتر است. در نتیجه استفاده بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق جهان سطح آن به میزان قابل‌توجهی کاهش‌یافته و تغییرات آب و هوایی و مسئله آلودگی منجر به کاهش بیش‌ازحد آب‌های سطحی در بسیاری از کشورها شده است. علاوه بر این، بروز درگیری‌های اجتماعی و سیاسی بر سر انتقال آب از یک منطقه به منطقه دیگر، اجرای آن را بسیار دشوار کرده است و همچنین ممکن برای انتقال آب از طریق خطوط لوله هزینه‌های زیادی ایجاد شود، به‌خصوص اگر آب از مسافت زیادی منتقل شود یا احداث سد لازم باشد (Akhoundi and Nazif, 2018)؛ بنابراین استفاده مجدد از پساب می‌تواند یک راه‌حل پایدار برای تأمین آب باشد. با استفاده مجدد از پساب در بخش‌های گوناگون می‌توان با کاهش برداشت آب، فشار وارد بر منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک را کاهش داده (Farhadkhani et al., 2018)؛ و از مزایایی همچون کاهش بار آلودگی وارده به محیط زیست با جلوگیری از تخلیه و رهاسازی فاضلاب تصفیه نشده به

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: banejad@um.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.4.2

محیط‌زیست، تقویت منابع آب به‌وسیله تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی با پساب و دسترسی به منابع آبی ارزان‌تر نیز بهره‌مند شد (Lahlou et al., 2021).

از پساب می‌توان برای مصارف شهری، کشاورزی، تفریحی، زیست‌محیطی، صنعتی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و سطحی استفاده نمود (United States Environmental Protection Agency, 2012). استفاده از پساب در هر یک از موارد ذکرشده اثرات زیست محیطی و اجتماعی متفاوتی دارد. تصمیم‌گیری در مورد بهترین گزینه برای استفاده مجدد از پساب یک فرآیند چندبعدی پیچیده است که شامل معیارها و ذینفعان متعدد می‌باشد. مناسب بودن کیفیت پساب برای مصارف گوناگون گامی اساسی و مهم جهت بهره‌برداری بهینه از این منبع آب جایگزین و تکمیل منابع آب موجود است. بنابراین شناخت ویژگی‌های پساب و محدودیت‌های استفاده از آن از یک‌سو و آگاهی از پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی از سویی دیگر فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که باید با جمع‌بندی آن‌ها برای تصمیم‌گیری به انتخابی درست دست‌یافت (Ofori et al., 2020).

ازآنجاکه تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی ناشی از استفاده مجدد از پساب یک فرآیند پیچیده و چندبعدی است که شامل معیارهای مختلف و ذینفعان متعدد است و برای تصمیم‌گیری در این زمینه مزایا و معایب گوناگونی را باید مدنظر گرفت استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM[1] و تحلیل سلسله مراتبی AHP[2] می‌تواند به بررسی هرچه بهتر تمامی فاکتورها و وزن دهی مناسب به هر فاکتور و در نهایت اتخاذ تصمیم درست منجر شود (Hadipour et al., 2016). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که توسط تصمیم‌گیرندگان و محققان مورداستفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت، ساختار سلسله مراتبی قادر به اندازه‌گیری و تلفیق عوامل مختلف یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده به‌صورت سلسله مراتبی بوده و تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد که ساختار پیچیده یک مسئله را به فرمتی ساده تبدیل کند. این فرآیند روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورداستفاده قرار می گیرد (De FSM Russo and Camanho., 2015). در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از روش AHP، بعد از تعیین سطوح سلسله مراتبی، شامل هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، مقایسه زوجی بین مجموعه‌ها برای وزن دهی انجام می‌شود. در عین وزن دهی به مجموعه‌ها، تجزیه‌وتحلیل، سازگاری و قضاوت‌ها صورت می گیرد که باید کمتر از ۰/۱ باشد. پس از وزن دهی تمام معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، مقایسه کلی گزینه‌ها نسبت به هدف انجام و نتیجه مقایسه به‌صورت نمودار ظاهر می‌شود. سه‌گام اصلی برای حل هر مسئله به کمک این روش شامل: ساختار سلسله مراتبی، محاسبه وزن ها و محاسبه نرخ ناسازگاری می‌باشد (Taherdoost., 2017). برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار، معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سه زیرمجموعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دسته‌بندی می‌شوند (Erol et al., 2011).

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در حوزه‌های گوناگونی در علوم مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده قابلیت بالای کاربرد این روش در حل مسائلی است که برای انتخاب گزینه موردنظر از بین گزینه‌های موجود به دلیل وجود معیارها و زیر معیارهای بسیار انتخاب بهترین گزینه کار پیچیده‌ای می‌باشد. در پژوهشی به‌منظور طراحی سیستم‌های استفاده مجدد از پساب با در نظر گرفتن معیارهای متعددی از جمله ذینفعان فنی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، حقوقی و... برای انتخاب معیارهای مهم و زیر معیارهای حاکم بر برنامه‌ریزی و اجرای سیستم‌های استفاده مجدد از آب با توجه به شرایط محلی و مصرف‌کنندگان نهایی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) با استفاده از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد؛ که در نهایت نتایج نشان داد که وزن معیارهای مختلف برای ذینفعان مختلف متفاوت است (Goyal and Kumar., 2020). همچنین در پژوهشی با هدف ارائه چارچوبی برای ارزیابی پایداری سیستم‌های پیشرفته برای تصفیه و استفاده مجدد از پساب صنعتی با در نظر گرفتن چهار معیار و هشت زیرمعیار به بررسی هشت گزینه پیش رو پرداخته شد و نتایج نشان داد در این بررسی معیارهای فنی و اقتصادی وزن بالاتری را به خود اختصاص دادند (Piadeh et al., 2018). به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه مدیریت آب با توجه به معیارهای چندگانه بر اساس پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت تقاضای آب در استانبول با روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) ارزیابی پنج گزینه مختلف تأمین آب با توجه به هفت معیار با استفاده از نظرات کارشناسان و ذینفعان از بخش‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده مجدد از آب خاکستری بهترین گزینه برای تأمین تقاضای رو به رشد آب در شهر است و همه کارشناسان نمک‌زدایی و انتقال آب بین حوضه را به‌عنوان کم امتیازترین راه‌حل‌ها عنوان کردند (Savun-Hekimoğlu et al., 2021). در پژوهش پیشرو هدف بررسی همه‌جانبه معیارها و زیر معیارهایی است که نیاز است برای استفاده از پساب به آن‌ها توجه شود تا علاوه بر دستیابی به دقیق‌ترین نتیجه بتوان با شناسایی معیارهایی که گزینه انتخاب‌شده در آن‌ها از امتیاز پایین‌تری برخوردار است نقاط ضعف موجود را بررسی و برطرف نمود؛ و در نهایت بتوان به بهترین عملکرد در اجرا دست یافت.

1- Multiple Criteria Decision Making
2- Analytical Hierarchy process

مواد و روش‌ها

به‌منظور گردآوری اطلاعات برای این پژوهش از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی استفاده گردیده است. در بخش کتابخانه‌ای و نظری اطلاعات با مطالعه و بررسی مقالات گوناگون، مجلات معتبر و دستورالعمل‌های داخلی و جهانی استفاده از پساب به‌دست‌آمده است. گزینه‌های مختلف استفاده از پساب مصارف شهری، کشاورزی، تفریحی، زیست‌محیطی، صنعتی، تغذیه آب‌های زیرزمینی-برای مصارف غیر شرب و استفاده غیرمستقیم برای شرب در نظر گرفته شد. برای تعیین معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب بهترین روش استفاده با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار، معیارهای اصلی تصمیم‌گیری در سه زیرمجموعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دسته‌بندی شدند؛ و زیرمعیارهای این تحلیل شامل ذخیره آب، کاهش میزان آلاینده‌های ورودی به محیط‌زیست، کیفیت پساب، فرصت‌های سرمایه‌گذاری، درآمدزایی، قابلیت اجرا، خطرات بهداشتی، همکاری نهادها و دولت، تأمین امنیت غذایی و پذیرش عمومی در نظر گرفته شد. همچنین برای زیرمعیار قابلیت اجرا سه زیرمعیار هزینه تعمیر و نگهداری، تأمین سرمایه موردنیاز و تهیه فناوری مناسب بررسی شد. گزینه‌های پیش رو و معیارهای انتخاب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. در نهایت با تعیین معیارهای تصمیم‌گیری پرسشنامه مقایسات زوجی میان معیارها و گزینه‌ها طراحی‌شده و به‌منظور تعیین میزان اهمیت و اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌های موردنظر به گردآوری نظر خبرگان پرداخته و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با کمک نرم‌افزار Superdecision اوزان نسبی و میزان اهمیت نسبی معیارها و گزینه ها مشخص شد.

در این پژوهش برای تعیین وزن معیارها برای تصمیم‌گیری از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) که اولین بار توسط Saaty پیشنهاد شد استفاده شده است (Saaty, 2000) که روشی برای اندازه‌گیری از طریق مقایسه دو به دو بوده و برای استخراج مقیاس-های اولویت‌دار به قضاوت‌های متخصصان متکی است (De FSM Russo and Camanho, 2015). این تحلیل به برنامه‌ریز کمک می کند تا یکی از مناسب‌ترین گزینه‌های پیش رو را انتخاب نماید (Saaty., 2008). فرد خبره ارزش‌گذاری مقایسات زوجی را طبق جدول ۳ انجام می‌دهد.

سپس هر جفت از معیارهای i و j مقایسه شده و ارزیابی آن‌ها طبق قوانین زیر که در ماتریس Saaty نوشته شده است انجام می-گیرد:

$$S=\begin{bmatrix} 1 & S_{12} & \dots & S_{1k} \\ 1/S_{12} & 1 & \dots & S_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/S_{1k} & 1/S_{2k} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

جدول ۱- گزینه‌های مختلف استفاده از پساب (United States Environmental Protection Agency., 2012)

نوع مصرف پساب	توضیحات گزینه‌ها
مصارف شهری	آبیاری پارک‌های عمومی و مراکز تفریحی، میادین ورزشی، بزرگراه‌ها و... کاربردهای تجاری مانند تجهیزات شستشوی خودرو مصارف ساختمان‌سازی و تولید بتون در پروژه‌های عمرانی اطفای حریق و آتش‌نشانی فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی در ساختمان‌های تجاری و صنعتی و برج‌های مسکونی
مصارف کشاورزی	آبیاری محصولات غذایی به‌صورت سطحی اعم از محصولاتی که برای مصرف انسان بوده و به‌صورت خام یا فرآوری شده استفاده می‌شود. آبیاری محصولات صنعتی، علوفه‌ای و... که توسط انسان مصرف نمی‌شود،ازجمله علوفه، فیبر و بذر محصولات، یا آبیاری زمین های مرتعی
مصارف تفریحی	استفاده برای فعالیت‌های تفریحی ازجمله ایجاد دریاچه‌های مصنوعی
مصارف زیست‌محیطی	ایجاد، تقویت، حفظ و یا افزایش آب، ازجمله تالاب، زیستگاه‌های آبزی و یا جریان رودخانه‌ها
مصارف صنعتی	استفاده جهت مصارف خنک‌سازی
تغذیه آب‌های زیرزمینی-برای مصارف غیر شرب	تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی که منبعی برای مصارف غیر شرب هستند.
استفاده غیرمستقیم برای شرب	تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی قابل شرب افزایش مخازن ذخیره آب سطحی

جدول ۲- معیارهای تصمیم‌گیری بهترین روش استفاده از پساب

معیار	توضیحات	منابع
زیست‌محیطی		
ذخیره آب	استفاده از پساب در هر گزینه چه میزان به ذخیره‌سازی منابع آب شیرین کمک می‌نماید.	(Farhadkhani et al., 2018) (United States Environmental Protection Agency., 2012) (Garcia and Pargament., 2015) (Hadipour et al., 2016) (Hanjra et al., 2012)
کاهش میزان آلاینده‌های تخلیه‌شده در محیط	استفاده از پساب در گزینه موردنظر چقدر می‌تواند به کاهش حجم پساب تولیدشده کمک نماید و آسیب‌های ناشی از آلاینده‌های موجود در پساب را کاهش دهد. به‌عنوان‌مثال استفاده از پساب در بخش کشاورزی به دلیل دارا بودن مواد مغذی و استفاده محصول از این مواد منجر به کاهش استفاده از کود و در نتیجه کاهش ورود این مواد به محیط‌زیست می‌شود.	(Garcia and Pargament., 2015) (Hanjra et al., 2012) (Cusimano et al., 2015)
اجتماعی		
خطرات بهداشتی	کدام گزینه می‌تواند خطرات ناشی از مواد جامد محلول، فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، پاتوژن‌ها و... موجود در پساب را کاهش دهد.	(Ofori et al., 2020) (United States Environmental Protection Agency., 2012) (Garcia and Pargament., 2015) (Hadipour et al., 2016) (Pedrero et al., 2010)
همکاری نهادها و دولت	عدم مغایرت استفاده از پساب در گزینه موردنظر باسیاست‌های دولت	(Hadipour et al., 2016) (Ofori et al., 2020)
تأمین امنیت غذایی	ایجاد امنیت غذایی ازلحاظ کمیت تولید و همچنین ازلحاظ وابسته نبودن کشور برای تأمین غذا به سایر کشورها.	(Hanjra et al., 2012) (Pedrero et al., 2010)
پذیرش عمومی	استفاده از پساب در کدام گزینه از نظر مردم بیشتر قابل‌قبول است.	(Akhoundi and Nazif., 2018) (Friedler and Pisanty., 2006) (Garcia and Pargament., 2015) (Hadipour et al., 2016) (Cusimano et al., 2015)
اقتصادی		
کیفیت پساب	امکان تصفیه فاضلاب در حد استاندارد و مطلوب برای استفاده‌ی پساب در گزینه موردنظر از لحاظ اقتصادی.	(Akhoundi and Nazif., 2018) (Hadipour et al., 2016)
فرصت‌های سرمایه‌گذاری	ایجاد فرصت سرمایه‌گذاری در کنار اجرای طرح‌های استفاده مجدد از پساب از طریق راه‌اندازی فعالیت‌های جانبی به‌عنوان‌مثال سرمایه‌گذاری برای جذب گردشگران در کنار مصارف تفریحی پساب.	(Hadipour et al., 2016) (Saliba et al., 2018)
درآمدزایی	درآمدزایی شامل میزان سودی که از اجرای طرح استفاده مجدد ایجاد می‌شود و همچنین شامل جلوگیری از هزینه‌هایی که با اجرا نشدن پروژه استفاده مجدد از پساب ایجاد خواهد شد. برای مثال با مهار نکردن فاضلاب و رهاسازی آن در محیط هزینه‌هایی ازجمله افزایش آلودگی محیط و شیوع بیماری‌های عفونی و... ایجاد خواهد شد که میزان جلوگیری از ایجاد هرکدام از این هزینه‌ها در هر گزینه استفاده از پساب می‌تواند جزء درآمد حاصل از اجرای آن طرح محسوب شود.	(Garcia and Pargament., 2015) (Hadipour et al., 2016) (Hanjra et al., 2012) (Cusimano et al., 2015)
قابلیت اجرا	هزینه تعمیر و نگهداری: هزینه‌های جاری هر پروژه استفاده مجدد از پساب تأمین میزان سرمایه موردنیاز: سرمایه اولیه موردنیاز برای اجرای پروژه استفاده مجدد از پساب شامل زمین، تأسیسات، مکان موردنیاز برای ذخیره‌سازی پساب در صورت مازاد بودن و... تهیه فناوری مناسب: در دسترس بودن تجهیزات و امکانات لازم و نیروی انسانی متخصص و... برای تصفیه مناسب پساب. امکان اجرایی شدن کاربرد پساب در گزینه مورد و...	(Akhoundi and Nazif., 2018) (Friedler and Pisanty., 2006) (Garcia and Pargament., 2015) (Hadipour et al., 2016) (United States Environmental Protection Agency., 2012) (Molinos-Senante et al., 2011)

جدول ۳- ارزش‌گذاری معیارها نسبت به هم (S_{ij})

ارزش	وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	معیار i و j از اهمیت یکسانی برخوردارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	معیار i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	معیار i نسبت به j مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	معیار i نسبت به j خیلی مهم‌تر است.
۹	کاملاً مهم	معیار i مطلقاً مهم‌تر از j است.
۲ و ۴ و ۶ و ۸	–	ارزشی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد. مثلاً ۸ بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و کمتر از ۹ برای i نسبت به j است.

این روش شامل پنج مرحله است که شامل محاسبه وزنه‌ای v_i با استفاده از میانگین هندسی نرمال خطوط در ماتریس Saaty است.

۱. ابتدا قطر اصلی ماتریس Saaty مقدار ۱ می‌گیرد ($S_{ij} = 1$) و اگر معیار i به معیار j ترجیح داده شود، باید مقدار مناسب s_{ij} از جدول ۳ انتخاب شود. اگر معیار j به معیار i ترجیح داده شود، مقادیر معکوس باید نوشته شود:

$$S_{ji}=\frac{1}{S_{ij}} \quad (۲)$$

۲. برای هر i مقدار $S_i = \prod_{j=1}^{k} S_{ij}$ محاسبه می‌شود.

۳. برای هر i مقدار $R_i = \sqrt[k]{S_i}$ محاسبه می‌شود. (R: میانگین هندسی و K: تعداد کل معیارها)

۴. در مرحله بعدی مقدار $\sum_{i=1}^{k} R_i$ محاسبه می‌شود.

۵. در آخرین مرحله وزن معیارها با توجه به فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$v_i=\frac{R_i}{\sum_{i=1}^{k} R_i} \quad (۳)$$

سپس میانگین‌های هندسی حاصل از هر ردیف ماتریس را با تقسیم بر مجموع میانگین‌های هندسی استاندارد می‌کنیم. این روش وزن‌های تخمینی هر معیار را ارائه می‌دهد که می‌تواند به‌صورت بردار وزن نوشته شود (Hruška er al., 2014).

$$v=(v_1, v_2, \dots v_k) \quad (۴)$$

نتایج و بحث

در این پژوهش جهت انتخاب بهترین روش استفاده از پساب با معیارهای اصلی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و زیرمعیارهای کاهش میزان آلاینده‌های تخلیه‌شده در محیط، ذخیره آب، کیفیت پساب، درآمدزایی، خطرات بهداشتی، قابلیت اجرا، تأمین امنیت غذایی، فرصت‌های سرمایه‌گذاری، پذیرش عمومی، همکاری نهادها و دولت، تأمین میزان سرمایه موردنیاز، تهیه فناوری مناسب و هزینه تعمیر و نگهداری گزینه‌های استفاده مجدد از پساب به جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات جهت تصمیم‌گیری سلسله مراتبی پرداخته شد. جامعه آماری کارشناسان و خبرگان برگزیده‌ای هستند که شامل گروهی از مهندسین و کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای مشهد و شیراز و شرکت آب و فاضلاب مشهد و همچنین تعدادی از اعضای هیئت‌علمی گروه عمران-محیط زیست دانشکده مهندسی، گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی و گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و تعداد ۱۶ پرسشنامه توسط خبرگان موردنظر پاسخ داده شده است.

با استخراج نظرات خبرگان از پرسشنامه‌ها و تحلیل آن‌ها با استفاده از روش AHP نتایج نهایی مقایسه معیارهای اصلی مؤثر بر انتخاب بهترین روش استفاده مجدد از پساب مطابق جدول ۴ به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد نرخ ناسازگاری در این ماتریس برابر ۰/۰۰۱ می‌باشد، ازآنجاکه این مقدار کمتر از ۰/۱ است نتایج قابل‌قبول هستند. در این مقایسه از نظر خبره‌ها معیار زیست‌محیطی دارای بالاترین درجه اهمیت در انتخاب بهترین روش استفاده از پساب بوده و پس از آن معیار اقتصادی در جایگاه دوم قرار دارد.

شکل ۱ ضریب اهمیت هر یک از زیرمعیارها را در تصمیم‌گیری بهترین روش استفاده از پساب نشان می‌دهد.

در نهایت نتایج اولویت‌بندی گزینه‌های استفاده مجدد از پساب با تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Superdecision در شکل ۲ آمده است:

جدول ٤- ماتریس میانگین هندسی مقایسات زوجی و وزن معیارهای اصلی مؤثر بر انتخاب بهترین روش استفاده از پساب (نرخ ناسازگاری ۰/۰۰۱ است).

معیارهای اصلی	اجتماعی	زیست‌محیطی	اقتصادی	وزن
اجتماعی	۱	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۲۵
زیست‌محیطی	۱/۵۹	۱	۱/۲۶	۰/۴۱
اقتصادی	۱/۴۴	۰/۷۹	۱	۰/۳۴

شکل ۱- ضریب اهمیت هر یک از زیرمعیارها در تصمیم‌گیری بهترین روش استفاده از پساب

شکل ۲- اولویت‌بندی گزینه‌های استفاده از پساب

با توجه به نظرات افراد خبره در این پژوهش حفظ محیط‌زیست مهم‌ترین معیار برای انتخاب بهترین روش استفاده از پساب بوده و از اهمیت بیشتری نسبت به معیارهای اجتماعی و اقتصادی برخوردار است. برای انتخاب بهترین روش استفاده از پساب با توجه به اولویت بندی‌ها، زیرمعیارهای کاهش آلاینده‌های تخلیه‌شده در محیط، ذخیره آب، کیفیت پساب و درآمدزایی به ترتیب از اهمیت بیشتری نسبت به سایر زیرمعیارها برخوردار هستند.

طبق نظر کارشناسان، مصرف پساب در بخش کشاورزی در تأمین امنیت غذایی و ذخیره‌سازی منابع آب شیرین، نسبت به سایر مصارف مؤثرتر می‌باشد. از سوی دیگر استفاده از پساب در این بخش نسبت به سایر گزینه‌ها، قابلیت اجرایی بیشتری به لحاظ پایین بودن هزینه تعمیر و نگهداری، امکان تأمین سرمایه موردنیاز، تهیه فناوری مناسب، در دسترس بودن تجهیزات لازم و نیروی انسانی متخصص را دارا می‌باشد. هم‌چنین به لحاظ اقتصادی امکان بیشتری برای تصفیه فاضلاب در حد استاندارد و مطلوب برای استفاده از پساب در این بخش در ایران فراهم می‌باشد و فرصت‌های سرمایه‌گذاری و درآمدزایی زیادی نیز در این بخش پیش‌بینی می‌شود.

پس از گزینه کشاورزی، گزینه مصارف صنعتی و تغذیه آب‌های زیرزمینی برای مصارف غیرشرب به ترتیب به‌عنوان اولویت‌های دوم و سوم انتخاب شدند. مدیران اجرایی می‌توانند برای استفاده از پساب با در نظر گرفتن شرایط مربوط به هر منطقه و میزان نیاز آبی در هر بخش تصمیم به استفاده از پساب در هریک از این گزینه‌ها گرفته و یا درصد تخصیص پساب به هر گزینه را تعیین نمایند. در نظر گرفتن اولویت‌بندی زیرمعیارهای موردنظر در هر یک از این بخش‌ها نیز می-

تواند در تصمیم‌گیری نهایی به مدیران کمک نماید. هم‌چنین می‌توان با توجه به نوع تصفیه صورت گرفته بر روی فاضلاب در منطقه موردنظر و تأثیر آن بر کیفیت پساب به‌دست‌آمده در مورد گزینه مورداستفاده از پساب تصمیم نهایی را اتخاذ نمود. همان‌طور که در پژوهشی با ارزیابی کاربردهای استفاده مجدد از پساب و فناوری‌های تصفیه موردنیاز در تصفیه‌خانه فاضلاب واقع در جنوب تهران با توجه به مسائل توسعه پایدار، در یک سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره با روش AHP با توجه به جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، فناوری و جامعه‌شناختی – فرهنگی استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی و کاربردهای صنعتی به‌عنوان اصلی‌ترین گزینه‌های استفاده مجدد از پساب بررسی‌شده و در نهایت استفاده از پساب در این منطقه با توجه به میزان آب موردنیاز در هر بخش و با توجه به نوع تصفیه موردنیاز برای هر بخش به‌صورت تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، استفاده در صنعت و سپس استفاده در بخش کشاورزی اولویت‌بندی شد (Akhoundi and Nazif, 2018). همچنین از مدل MCDM برای یافتن بهترین گزینه برای استفاده مجدد از پساب در منطقه مرکزی ایران با آب و هوای خشک بر اساس معیارهای فنی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی استفاده شد و از نظر خبرگان در شرایط موجود در این منطقه و بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده تغذیه مجدد آب‌های زیرزمینی اولویت اول استفاده از پساب نسبت به گزینه‌های دیگر، از جمله گزینه‌های مصارف زیست‌محیطی و صنعتی شد؛ و ازآنجاکه امتیاز نهایی گزینه‌ها تقریباً به هم نزدیک بود پیشنهاد شد برای تصمیم‌گیری نهایی معیارهای سیاسی در نظر گرفته شود (Hadipour et al., 2016)؛ بنابراین که در مناطق مختلف با در نظر گرفتن شرایط بومی منطقه و تأثیر آن روی معیارها و زیرمعیارهای در نظر گرفته شده اولویت‌بندی می‌تواند نسبت به شرایط کلی اندکی متفاوت باشد.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن معیارها و زیرمعیارهای مختلف و نگاه همه‌جانبه به استفاده از پساب، بخش کشاورزی به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد؛ اما ازآنجاکه این پژوهش نشان می‌دهد گزینه کشاورزی در معیارهایی مانند کاهش میزان آلاینده‌های تخلیه‌شده در محیط و کنترل خطرات بهداشتی و پذیرش عمومی، از اولویت بالایی برخوردار نمی‌باشد بنابراین باید برای تحقق کامل اهداف استفاده از پساب در بخش کشاورزی با بررسی دقیق‌تر این موضوع به رفع مشکلات و موانع احتمالی و سوء مدیریت‌های موجود در این زمینه پرداخته‌شود. به همین منظور نیاز است دغدغه‌های مردم و موانع اقبال آن‌ها در مورداستفاده از پساب در کشاورزی ریشه‌یابی شده و با فرهنگ‌سازی و آگاهی‌بخشی به مردم، افکار عمومی در مورد این موضوع توجیه شود. به‌علاوه دقت در انتخاب محصولات برای آبیاری با پساب و همچنین پایش وضعیت آلودگی محصولات زراعی تولیدی، اجرای قوانین سخت‌گیرانه و دقیق تصفیه پساب با رعایت استانداردهای موجود و استفاده از روش آبیاری مناسب و اندیشیدن تمهیدات بهداشتی جهت سلامتی کارگران شاغل در مزرعه می‌تواند باعث اطمینان‌بخشی به مردم برای حفظ هرچه بیشتر سلامت آن‌ها و کاهش خطرات بهداشتی شود. از سوی دیگر برای کاهش آسیب‌پذیری محیط‌زیست، مخصوصاً خاک‌های زراعی و آب‌های پذیرنده‌ی زهاب کشاورزی باید پایش مستمر کیفیت خاک زراعی و منابع آب سطحی و زیرزمینی موردتوجه قرار گیرد. رعایت موارد ذکرشده تا حد زیادی می‌تواند نقاط ضعف و نگرانی‌های موجود در این زمینه را برطرف نماید.

منابع

Akhoundi, A. and Nazif, S., 2018. Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. Journal of cleaner production. 195:1350-1376.

Cusimano, J., McLain, J.E., Eden, S. and Rock, C.M., 2015. Agricultural Use of Recycled Water for Crop Production in Arizona.

Saaty, T.L., 2000. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process (Vol. 6). RWS publications.

De FSM Russo, R. and Camanho, R., 2015. Criteria in AHP: a systematic review of literature. Procedia Computer Science, 55:1123-1132.

Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z. and Rahmani, H.R., 2018. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. Water research. 144:356-364.

Friedler, E. and Pisanty, E., 2006. Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. Water research. 40(20):3751-3758.

Erol, I., Sencer, S. and Sari, R., 2011. A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. Ecological Economics. 70(6):1088-1100.

Gómez-López, M.D., Bayo, J., García-Cascales, M.S. and Angosto, J.M., 2009. Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse. Journal of Cleaner Production. 17(16):1504-1511.

2020. Treated Wastewater Reuse for Irrigation: Pros and Cons. Science of The Total Environment, 144026.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P. and Asano, T., 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management. 97(9):1233-1241.

Piadeh, F., Alavi-Moghaddam, M.R. and Mardan, S., 2018. Assessment of sustainability of a hybrid of advanced treatment technologies for recycling industrial wastewater in developing countries: Case study of Iranian industrial parks. Journal of Cleaner Production. 170:1136-1150.

Saaty, L.T., 2008. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making:Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors"-The Analytic Hierarchy/Network Process. 102:251-318.

Saliba, R., Callieris, R., D'Agostino, D., Roma, R. and Scardigno, A., 2018. Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. Agricultural Water Management. 204:60-68.

Savun-Hekimoğlu, B., Erbay, B., Hekimoğlu, M. and Burak, S., 2021. Evaluation of water supply alternatives for Istanbul using forecasting and multi-criteria decision making methods. Journal of Cleaner Production. 287:125080.

Taherdoost, H., 2017. Decision making using the analytic hierarchy process (AHP); A step by step approach. International Journal of Economics and Management Systems, 2.

United States Environmental Protection Agency, 2012. Guidelines for water reuse. Report No. EPA/600/R-12/618 September 2012 Washington DC, 607.

Goyal, K. and Kumar, A., 2020. Multi-criteria analysis to identify the factors affecting water reuse scheme in India. Water and Environment Journal.

Garcia, X. and Pargament, D., 2015. Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. Resources, Conservation and Recycling. 101:154-166.

Hadipour, A., Rajaee, T., Hadipour, V. and Seidirad, S., 2016. Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran. Desalination and Water Treatment. 57(30):13857-13864.

Hanjra, M.A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F. and Jackson, T.M., 2012. Wastewater irrigation and environmental health: implications for water governance and public policy. International journal of hygiene and environmental health. 215(3):255-269.

Hruška, R., Průša, P. and Babić, D., 2014. The use of AHP method for selection of supplier. Transport. 29(2):195-203.

Lahlou, F.Z., Mackey, H.R. and Al-Ansari, T., 2021. Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. Journal of Cleaner Production, 126331.

Liebe, J., and Ardakanian, R., 2013. Safe Use of Wastewater in Agriculture. Proceedings of the UN-Water project on the Safe Use of Wastewater in Agriculture. Germany: UNW-DPC, Bonn.

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F. and Sala-Garrido, R., 2011. Cost–benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: a case study for Spanish wastewater treatment plants. Journal of Environmental Management. 92(12):3091-3097.

Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I. and Wanner, J.,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1031-1039

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۳۹-۱۰۳۱

Selecting the Best Wastewater Reuse Method by Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

N.Gazor Habibabadi[1], K.Davary[2], H.Banejad[3]*

Recived: May. 27, 2021 Accepted: Jun. 18, 2021

Abstract

Currently, most parts of the world face a serious water supply challenge, with limited access to freshwater resources of good quality. In addition to reducing the damage caused by the discharge of raw wastewater in the environment, wastewater treatment and re-use can help in providing one part of the water need. The use of wastewater for various purposes can have many social, economic, and environmental impacts if not managed properly, even though it is a tool against water shortage. using a multi-criteria decision-making process this research offers a comprehensive study of the effective criteria for the possibility of using wastewater for various purposes. Criteria include environmental, social, economic and sub-criteria including water storage, reduction of pollutants discharged into the environment, health risks, cooperation between institutions and government, food security, public acceptance, wastewater quality, investment opportunities, revenue generation, feasibility. employing the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique and relying on pairwise comparisons and the experts judgment this study indicates the following results. The weight of as follow: industrial usage 0.17, environmental and urban usage, each .0.13, entertainment usage, 0.11, usage for ground water recharge for non-drinking water, 0.16, and indirect usage for drinking water, 0.1.Eventually, the agricultural sector with a coeffecient of imprtance of %19 was selected as the best alternative in which waste water can be used. Eventually, the agricultural sector with a weight of imprtance of %19 was selected as the best alternative in which waste water can be used.

Key words: Criteria, Drought, Multiple criteria decision making, Unusual water, Water resource management

1- M.Sc. Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: banejad@um.ac.ir)