Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۸۵۷-۱۸۴۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1844-1857

امکان‌سنجی استفاده از آب‌های نامتعارف (پساب شهری) در کشاورزی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

پروین ذوالفقاری[۱]، مهدی ذاکری‌نیا*[۲] و حسین کاظمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۶

چکیده

استفاده‌ی مفید از منابع آب نامتعارف برای کشاورزی پایدار با در نظر گرفتن مجموعه‌ی اثرات زیست‌محیطی و بازده اقتصادی فرآیندی است چند معیاره که تصمیم‌گیری در مورد آن، بر اساس ارزش هریک از معیارها صورت می‌پذیرد. در این پژوهش پس از گردآوری منابع مرتبط و استخراج معیارهای تصمیم‌گیری در رابطه با استفاده از پساب در کشاورزی، ساختار سلسله مراتبی بر مبنای دو عامل فنی- اقتصادی و زیست‌محیطی تهیه و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار GIS، امکان‌سنجی استفاده از پساب برای کشت ۱۰ گیاه زراعی رایج در استان گلستان انجام شد. معیارهای فراهمی آب آبیاری، فاصله فنی- اقتصادی از خروجی تصفیه‌خانه و مطلوبیت اراضی برای کشت گونه از زیرمعیارهای فنی- اقتصادی و کیفیت آب آبیاری، خاک، گیاه و آسیب‌پذیری آبخوان از معیارهای زیست محیطی این ساختار هستند. همچنین پارامترهای شیب، توپوگرافی، کاربری اراضی، عمق خاک و فاصله‌ی مجاز فنی به عنوان عوامل محدودکننده در نظر گرفته شد. معیارهای تصمیم گیری و عوامل ایجاد محدودیت بر اساس مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از پساب در کشاورزی در نظر گرفته شده و بر اساس نظرات کارشناسان تعیین ارزش و آنالیز حساسیت گردید. نتایج این امکان‌سنجی که با استفاده از داده‌های مرتبط با تصفیه‌خانه فاضلاب کردکوی نشان داد، علی رغم پایین بودن میزان مطلوبیت کشت تمامی گیاهان به دلیل عدم مطلوبیت پارامترهایی چون نیترات، آلودگی میکروبی و آسیب پذیری آبخوان که دارای بالاترین میزان حساسیت و وزن نسبی بودند، دو گیاه پنبه و کلزا از بین ۱۰ گیاه رایج زراعی در منطقه، بالاترین مطلوبیت کشت با پساب را در منطقه‌ی تحت پوشش تصفیه‌خانه کسب کردند.

واژه‌های کلیدی: آب‌نامتعارف ، پساب، تحلیل سلسله مراتبی، GIS

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی و به دنبال آن تغییر الگوهای بارندگی و افزایش روزافزون جمعیت در دهه‌های اخیر، باعث شده است در بیشتر کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان، ازجمله ایران استفاده از آب‌های نامتعارف ازجمله آب‌های شور و لب‌شور، زهاب‌ها و پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یک منبع مطمئن، اجتناب‌ناپذیر باشد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد با توجه به روند رشد جمعیت جهان تا ۴۰ سال آینده، نیاز به مواد غذایی حداقل تا ۳ برابر افزایش می‌یابد که این خود تأکیدی بر اهمیت آب برای تولید بیشتر محصولات غذایی است (رضوانی‌مقدم و میرزایی، ۱۳۸۸). تمام این عوامل، دلایل مهمی است که توجه برنامه‌ریزان را بر جستجوی منابع جدید آبی متمرکز نماید، منابعی که ضمن توجیه اقتصادی برای تأمین کمبود منابع آب، در توسعه‌ی کشاورزی و تأمین مواد غذایی نیز مؤثر باشد. با توجه به اینکه آب‌های نامتعارف به‌طور ذاتی دارای املاح و مواد مغذی بالایی هستند، می‌توان گفت که این آب‌ها در تأمین و تولید غذا جایگاه ویژه‌ای دارند (Mojiri, 2001).

پساب شهری یکی از منابع آب نامتعارف است که به دلیل وجود املاح بالا و درعین‌حال شوری کم به‌عنوان منبع جایگزینی برای آبیاری در مناطق کم آب و دارای رقابت آبی بین مصارف مختلف معرفی شده است. محققین با بررسی استفاده از پساب شهری بر عملکرد گیاهان مختلف دریافتند که پساب حاصل از تصفیه فاضلاب شهری می‌تواند منبع مهم و جایگزینی مطلوب برای تأمین نیازهای آبی بخش کشاورزی باشد؛ زیرا میزان مواد مغذی موجود در پساب شهری سبب افزایش تولید محصول شده و می‌تواند از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جلوگیری کند (توسلی و همکاران، ۱۳۸۹؛

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: mzakerinia@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

پیرصاحب و همکاران، ۱۳۹۱). درواقع ازنظر عناصر غذایی پساب شامل سه عنصر ضروری نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و علاوه بر آن عناصر ریزمغذی لازم برای رشد گیاهان نیز اغلب در پساب وجود دارد. وجود این عناصر از مزایا و دلایل استفاده از پساب در کشاورزی تلقی می‌شود که منجر به صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای در مصرف کودهای شیمیایی می‌گردد (Alsalem.,1998; Asano and Lecine,1996).

مطالعات تقوایی‌ان و همکاران (۱۳۸۶) نشان داد، کاربرد لجن به‌عنوان کود طی چهار ماه، منجر به افزایش معنی‌دار شوری و کربن آلی و کاهش معنی‌دار اسیدیته، وزن مخصوص ظاهری، مقاومت در برابر نفوذ مکانیکی و هدایت هیدرولیکی خاک می‌گردد. روحانی شهرکی و همکاران (۱۳۸۴) طی پژوهشی بر خاکی که طی ۹ سال تحت آبیاری با پساب قرار داشت، نتیجه گرفتند که میزان وزن مخصوص ظاهری، نفوذپذیری نهایی، هدایت الکتریکی و نسبت سدیم جذبی خاک تحت آبیاری، کاهش و میزان درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی، نیتروژن و فسفر افزایش یافته است. لوی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که اثرات ترکیبی شوری و سدیمی در حضور مواد آلی موجود در فاضلاب تصفیه‌شده بر هدایت هیدرولیکی خاک پیچیده بوده و به کیفیت پساب تصفیه‌شده، خصوصیات خاک و شرایط موجود در خاک بستگی دارد. به‌طورکلی کاربرد پساب‌ها باعث افزایش ماده آلی خاک و بهبود وضعیت ساختمان خاک می‌گردد که این موضوع منجر به افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود.

استفاده پایدار از این منابع نیازمند کاربرد آب به‌صورت سودآورتر، بهره‌وری بالای آب و نتایج اقتصادی مثبت درزمینه‌ی بازده‌ی مصرفی است و برای دستیابی به آن، لازم است که مزایا و معایب روش‌های کاربردی به‌روشنی موردبررسی قرار گیرند (Pereira et al, 2009) . درواقع به حداکثر رساندن استفاده‌ی مفید، باید اولویتی باشد که با کنترل سلامت و اثرات زیست‌محیطی و بازده اقتصادی محدود شود (Pereira et al, 2009). بررسی این فرآیند چندبعدی پیچیده است و معیارها و زیر معیارهای متعددی مانند جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی را در ابعاد اثرگذاری بر منابع آب، خاک، انسان و محیط‌زیست شامل می‌شود. در نظر گرفتن مجموعه‌ی این اثرات و تصمیم‌گیری‌ها بر اساس ارزش هریک از این معیارها ما را در دستیابی به تصمیمات جامع‌تر یاری خواهد نمود (M.D. Go´mez-Lo´pez et al.,2009). در این راستا یوسفی و همکاران (۱۳۹۵) به‌منظور ارائه راهکاری برای کاهش و کنترل میزان نیترات ورودی به خاک و سفره‌های آب زیرزمینی، به توسعه و تدوین مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با بهره‌برداری تلفیقی کمی- کیفی از منابع زیرزمینی و پساب با در نظر گرفتن سه هدف حداکثر سازی سود کشاورز، کاهش آبشویی نیترات و بهبود تغذیه آبخوان پرداختند.

ملاحظات توسعه‌ی پایدار و حفظ منافع نسل آینده، تأمین نیازها و رفاه نسل کنونی و بهره‌برداری عقلایی از منابع، ایجاب می‌کند ابتدا با استفاده از ابزارهای پیشرفته و امکانات موجود ظرفیت و توان محیطی را به‌درستی شناسایی نموده و سپس با اتخاذ شیوه‌های صحیح بهره‌برداری به تعادل پایداری بین انسان و محیط‌زیست برسیم. در این راستا ابزارهایی چون سنجش از دور(RS)[1] و سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS)[2] قادرند توسعه‌ی آتی و مدیریت دستگاه‌های توسعه پایدار را با شناخت عمیق توزیع مکانی و تغییرات منطقه‌ای در طول زمان و ارزیابی تغییرات آن‌ها بهینه سازند (مخدوم، ۱۳۷۲). چنین بررسی‌هایی که دارای چندین عامل مؤثر هستند، نیازمند تصمیم‌گیری بر مبنای چندین شاخص می‌باشند.

عنان و همکاران با استفاده از ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره فازی – AHP[3] در محیط GIS به رتبه‌بندی مناطق مناسب با پساب در منطقه حمامت کشور تونس با در نظر گرفتن متغیرهای مرتبط با جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری، به ۵ معیار اصلی دست یافتند. این معیارها شامل مناسب بودن زمین، اندرکنش منابع، اثربخشی سرمایه‌گذاری، پذیرش اجتماعی و اثرات زیست‌محیطی بودند(Anan et al., 2012). در مطالعه دیگری نجی و ترکی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (برنامه‌ریزی سازش) به مکان‌یابی مبتنی بر GIS برای یافتن بهترین مناطق برای آبیاری با پساب پرداختند (Neji and Turki, 2015). در میان مطالعات بیشمار داخلی و خارجی صورت گرفته برای امکان‌سنجی استفاده از پساب شهری، مطالعات محدودی به صورت جامع و با استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره در رابطه با استفاده از پساب وجود دارند. در موارد محدودی که به صورت چندبعدی بر این موضوع پرداخته‌اند پارامترهای در نظر گرفته شده جامع نبوده و مدل جامعی در رابطه با استفاده از پساب در کشاورزی که اختصاصا به نوع گیاه و شرایط محیطی منطقه قابل استفاده و شرایط پساب مورد استفاده بپردازد وجود نداشت. لذا در این مطالعه، یک مدل مبتنی بر تکنیک AHP برای استفاده از فاضلاب شهری استفاده و سپس با در نظر گرفتن کمترین خسارت به کلیه‌ی محیط‌های پذیرنده‌ی اثرات استفاده از پساب در کشاورزی پرداخته شده است. از آنجا که این امکان‌سنجی بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی منطقه ممکن نبود، برای اجرای مدل از اطلاعات تصفیه‌خانه کردکوی و اطلاعات اراضی کشاورزی در غرب استان گلستان استفاده گردید.

استان گلستان از استان‌های شمالی کشور است که به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور مطرح می‌شود. بخشی از اراضی استان،

1- Remote Sensing
2- Geographic Information System
3- Analytic Hierarchy Process

www.SID.ir

Archive of SID

تحت عنوان اراضی ۲۸۰ هزار هکتاری، به دلایل متعدد ازجمله بالا بودن سطح ایستابی، شوری آب زیرزمینی، اختلاف ارتفاع ناچیز از ابتدا تا انتهای دشت و دارای مشکلاتی همچون آب‌گرفتگی، زه‌دار بودن اراضی و مسائل شور و سدیمی خاک می‌باشند و به دلیل دور بودن از منابع آب سطحی و پایین بودن کیفیت آب زیرزمینی با مشکل تأمین آب موردنیاز برای کشاورزی مواجه هستند(غلامی و همکاران، ۱۳۹۲). از طرفی افزایش جمعیت توأم با افزایش توقع، امکان تأمین آب بیشتر مناطق جنوبی این اراضی را با مشکل مواجه ساخته است، بروز مسائل متعددی درزمینه‌ی حفر چاه‌های عمیق و ضرورت حفاظت از منابع زیرزمینی، بررسی وضعیت کمی و کیفی آب‌های نامتعارف موجود در استان و امکان‌سنجی بهره‌برداری پایدار از آن‌ها برای توسعه‌ی آن را ضروری نشان داده است. در این راستا پژوهش حاضر پس از گرد آوری مطالعات مرتبط و دستورالعمل‌های ارایه شده در زمینه استفاده از پساب در کشاورزی، به استخراج پارامترهای اثرگذار در رابطه با امکان‌سنجی استفاده از پساب و ارزش‌گذاری اهمیت هر پارامتر بر اساس نظرات کارشناسان، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، به تعیین مناطق مستعد کشت برخی از گیاهان رایج در این استان می‌پردازد.

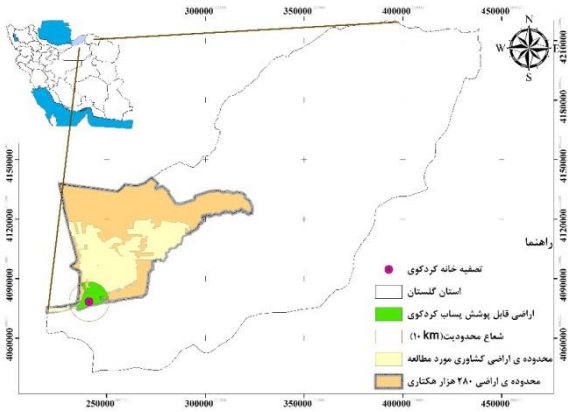
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

استان گلستان در محدوده‌ی عرض‌های جغرافیایی "۴۹/۰۴ '۷ °۳۸ تا "۷/۹۱ '۳۰ °۳۶ و طول‌های "۴۶/۶۹ '۱۹ °۵۶ تا "۱۰/۱۸ ' ۵۶ °۵۳ با مساحتی حدود ۲۱۵۰۰ کیلومترمربع در بخش شمالی کشور واقع‌شده است. آب‌وهوای استان را می‌توان با توجه به خصوصیات دما و بارش به سه نوع معتدل خزری مرطوب، کوهستانی (معتدل و سرد) و نیمه‌خشک (نیمه بیابانی) تقسیم کرد (فرهادیان، ۱۳۹۷). محدوده مورد بررسی اراضی قابل پوشش یکی از این منابع نامتعارف اراضی ۲۸۰ هزار هکتاری استان گلستان(تصفیه‌خانه کردکوی) برای کشاورزی است. محدوده‌ی امکان‌سنجی برای این تصفیه‌خانه با توجه به عوامل محدودکننده برابر ۱۲۵۷۵/۱ هکتار می‌باشد. این محدوده نه بر اساس دبی تصفیه‌خانه بلکه بر اساس حداکثر مساحت مجاز فنی و اقتصادی تعیین گردیده است. شکل ۱ محدوده‌ی موردبررسی را در میان اراضی کشاورزی قابل پوشش با آب‌های نامتعارف در کل منطقه نشان می‌دهد.

روند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که ابتدا توسط ساعتی[1] (۱۹۸۰) پیشنهاد شده است، یک روش محبوب، انعطاف‌پذیر و درعین‌حال ساختاریافته برای حل مشکلات تجزیه‌وتحلیل چند معیاره با استفاده از داده‌های کیفی است (Denge, 1999;Boroushaki and Malczewski, 2008). مقایسه دوگانه، روش اندازه‌گیری اولیه است که در روش AHP مورداستفاده قرار می‌گیرد. این مقایسه در فرآیند تصمیم‌گیری برای ایجاد یک ماتریس تصمیمی متقابل استفاده می‌شود (Denge, 1999). شرکت‌کنندگان با مقایسه در دو سطح در هر سطح سلسله مراتبی، می‌توانند وزن نسبی را برای تمایز اهمیت معیارها توسعه دهند(Boroushaki and Malczewski 2008 ؛ Hossain et al.). ساعتی یک مقیاس اندازه‌گیری مناسب از ۱ تا ۹ را برای مقایسه‌های دوگانه‌ای که در آن ۱ به معنای عدم تفاوت در اهمیت یک معیار در رابطه با عامل دیگری و ۹ معنی اهمیت بسیار بیشتر را برای مقایسات زوجی ارائه داده است که در جدول (۱)، مشاهده می‌نمایید.



شکل ۱- اراضی قابل پوشش پساب تصفیه‌خانه کردکوی

برای حل ماتریس متقابل برای تعیین اهمیت معیارها و کارایی هر یک از روش‌ها، روش خاصی استفاده می‌شود (Saaty, 1980). به‌منظور اندازه‌گیری عدم انطباق با ماتریس مقایسه دوگانه، شاخص ثبات (CI) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود: (Hadipour et al, 2015)

$$CI=(l_{max} - n)/(n-1) \quad (۱)$$

که l_{max} بزرگ‌ترین مقدار اختصاصی است که می‌توان آن را پس از شناخته شدن اختصاصی خاص خود و n تعداد ستون‌های ماتریس A. علاوه بر این، نسبت سازگاری(CR) که به شرح زیر تعریف می‌شود، می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$CR=CI / RI \quad (۲)$$

که RI یک شاخص تصادفی است، به‌عنوان‌مثال CI از یک ماتریس مقایسه مرتب‌سازی شده به‌صورت تصادفی تولیدشده است. RI بستگی به تعداد عناصر در مقایسه دارد اگر مقدار CR کمتر از ۰/۱ باشد، نشان‌دهنده یک سطح منطقی سازگاری در مقایسه دوطرفه

1- Saaty

www.SID.ir

Archive of SID

است؛ و اگر CR بزرگ‌تر از ۰/۱ باشد، ناسازگاری وجود دارد و روش AHP ممکن است نتیجه معنی‌داری نداشته باشد (Saaty, 1980) استفاده از روش‌های AHP در محیط نرم‌افزار GIS شامل مراحل ضروری زیر می‌باشد:

انتخاب معیارها، زیر معیارها و محدودیت‌ها

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی (قدسی پور، ۱۳۹۱)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

ساخت یک ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری و تعیین وزن هر معیار

استخراج لایه‌های جغرافیایی مربوط به هر زیرمجموعه و محدودیت‌ها با استفاده ازGIS

استاندارد کردن هر زیرمجموعه به‌منظور امکان ترکیب آن‌ها و سپس محاسبه ارزش تصمیم مرکب (CDV[1])

استخراج مناسب‌ترین مکان‌ها بر اساس CDV خود و سطح زمین موردنیاز(Anane et al. 2012)

در این پژوهش، یک مدل مبتنی بر تکنیک AHP برای استفاده از فاضلاب شهری استفاده و سپس با در نظر گرفتن تعدادی از گیاهان رایج استان، مناطق مستعد کشت هر گیاه در محیط نرم‌افزار GIS تعیین شده است. این مطالعه به شرح زیر است: اول، توضیح روش‌شناسی شامل رو AHP ، انتخاب معیارها و گزینه‌ها و ساختار سلسله مراتبی در بخش مواد و روش توضیح داده‌شده است. سپس، تعیین مناطق مستعد کشت برای هر گیاه به تفکیک ارائه و در نهایت نتیجه‌گیری‌ها بیان می‌شود.

شناسایی معیارها

مطالعات صورت گرفته در رابطه با استفاده از آب‌های نامتعارف نشان داده است که مسئله‌ی محیط‌زیست پذیرنده‌ی آب مصرفی از طرفی و مسائل اقتصادی و فنی مرتبط با ایجاد سازوکار لازم برای مصرف دو عامل مهم و اثرگذار در این تصمیم هستند. در این پژوهش مهم‌ترین معیارهای استفاده از یکی از منابع آب نامتعارف موجود در استان (پساب شهری) به‌عنوان آب آبیاری بر اساس مطالعات پیشین(کمیته ملی آبیاری و زهکشی، a، ۱۳۸۲؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Abedi-Koupai et al.، ۲۰۰۶؛ معاونت نظارت راهبردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Bouwer and Chaney، ۱۹۷۴، یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ عنان و همکاران، ۲۰۱۲، نجی و ترکی، ۲۰۱۵؛ بوژداق، ۲۰۱۵ و غیره) در رابطه با اثرات استفاده از این آب‌ها بر روی گیاه، خاک، منابع آبی و به‌طورکلی محیط‌زیست و سایر مطالعات مشاوران و متخصصان درزمینه‌ی مسائل اقتصادی و فنی برای بهره‌برداری و بازچرخانی انتخاب شده است.

معیارهای فنی و اقتصادی (شامل فراهمی آب آبیاری، فاصله‌ی اقتصادی و استعداد اراضی)

معیارهای زیست‌محیطی (شامل کیفیت منبع آبی نامتعارف، خاک، آسیب‌پذیری آبخوان و حساسیت گیاه)

در ادامه زیر برخی از معیارها و زیر معیارهای آن به تفضیل ارائه‌شده است. از آنجا که برخی از معیارهای تحلیل گیاهی هستند، ۱۰ مورد از گیاهان رایج در محدوده‌ی اراضی موردمطالعه انتخاب و کلیه‌ی مراحل برای هر یک از گیاهان انجام گردید. این گیاهان عبارتند از: شبدر برسیم، جو، یونجه، گندم، کلزا، پنبه، لوبیا، سویا، برنج و ذرت. در ادامه به معرفی معیارهای در نظر گرفته و نحوه‌ی تهیه لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها پرداخته‌شده است.

فراهمی آب آبیاری

درصورتی‌که پساب تصفیه‌شده فاقد مشکل شوری باشد، می‌تواند منبع مناسبی برای تأمین آب آبیاری در مناطق کم آب باشد؛ بنابراین برای این معیار اراضی که فاقد دسترسی به منابع آبی هستند یا به دلیل دسترسی کم و رقابت سایر مصارف، دچار کمبود آب برای کشاورزی می‌باشند، از مطلوبیت کامل برخوردار هستند. به نسبتی که فراهمی منابع آبی بیشتر در منطقه بیشتر باشد میزان مطلوبیت استفاده از پساب در آن منطقه کمتر خواهد بود. لایه فراهمی آب آبیاری بر اساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به میزان برداشت مجاز از منابع سطحی و زیرزمینی در مناطق حاصل‌شده است.

1- Combine Decision Value

www.SID.ir

Archive of SID

فاصله‌ی اقتصادی

این معیار از بررسی میزان نسبت هزینه به فایده استفاده از پساب در مناطق را در صورت نیاز به خطوط انتقال یا احداث خط لوله برای انتقال پساب به اراضی کشاورزی برای هر گیاه بر اساس تجزیه‌وتحلیل اقتصادی کلیه هزینه‌های سالانه (هزینه کشت، طول خط انتقال کم‌فشار وغیره) به درآمد کشت به‌صورت جداگانه برای فواصل مختلف از ایستگاه به‌دست‌آمده است. فاصله‌ای که در آن مقدار این نسبت به یک برسد نامطلوب تلقی می‌گردد.

استعداد اراضی

پهنه‌بندی زراعی– بوم‌شناختی تلفیقی از لایه‌های اطلاعات محیطی است که در آن منابع اقلیم، آب، پستی‌وبلندی و شرایط خاک به‌صورت یک مجموعه همگن زیست‌محیطی در ارتباط با سامانه‌های زراعی مشخص، کاربری اراضی و تنوع زیستی بررسی می‌گردد (فرهادیان، ۱۳۹۷). در این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از پساب برای الگوی کشت بهینه توصیه‌شده در اراضی بر اساس مطالعات زراعی–اقلیمی انجام‌شده توسط کاظمی و همکاران (۱۳۹۵) استخراج گردیده است که در آن ضمن مطالعه شرایط زراعی و اقلیمی اراضی کشاورزی استان گلستان، آن‌ها را بر اساس استعداد کشت هر گیاه به کلاس‌های کاملاً مستعد، مستعد، متوسط، غیر مستعد، کاملاً غیر مستعد طبقه‌بندی نموده است.

خاک

در رابطه با استفاده از آب آبیاری خاک عامل مهمی است. کلاس شوری- سدیمی خاک بر اساس تأثیر نمک بر عصاره اشباع همچنین وضعیت بافت خاک در این تصمیم‌گیری موردبررسی قرارگرفته‌اند، جدول ۲ این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۵).

جدول ۲- حدود طبقه‌بندی زیر معیارهای مرتبط با خاک

عامل	کاملا مطلوب	مطلوب	متوسط	نامطلوب	کاملا نامطلوب
بافت خاک	لوم	لوم رس لوم شنی	سیلت رس لومی و شن لومی	رس (خیلی سنگین)	شن (خیلی سبک)
کلاس خاک	$EC_e<4$ $SAR_e<8$	$EC_e<4$ $SAR_e<13$	$^{*}EC_e>4$ $SAR_e<13$	$EC_e<4$ $^{**}SAR_e>13$	$EC_e>4$ $^{**}SAR_e>13$

*خاک شور ** خاک سدیمی *** خاک شور و سدیمی

کیفیت آب

بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته در رابطه با اثرات استفاده از پساب، زیر معیارهای زیر برای معیار کیفیت آب عبارتند از:

شوری قابل‌تحمل برای گیاه، نسبت جذب سدیمی، نیترات و وضعیت میکروبی (شامل کلیفرم مدفوعی و نماتد روده ای)

حدود شوری توصیه شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست(۱۳۹۵) برای کاربرد در آبیاری برابر ۳ دسی زمنس بر متر می‌باشد. در پژوهش حاضر مقادیر شوری باتوجه به نوع گیاه در نظر گرفته شده است. حدود تحمل به شوری در گیاهان مختلف و ضریب افت عملکرد محصول برای هر گیاه در جدول(۳) ارایه شده است.

جدول ۳- حدود مقاومت به سمیت یون های سدیم و بر

Eciw	پتانسیل عملکرد				
	٪۱۰۰	٪۹۰	٪۷۵	٪۵۰	max
برنج	۲	۲/۶	۳/۴	۴/۸	۸
پنبه	۵/۱	۶/۴	۸/۴	۱۲	۱۴/۵
جو	۵/۳	۶/۷	۸/۷	۱۲	۱۴/۷
ذرت	۱/۱	۱/۷	۲/۵	۳/۹	۱۰/۵
سویا	۳/۳	۳/۷	۴/۲	۵	۱۲/۷
شبدر	۱	۲/۱	۳/۹	۶/۸	۱۰/۴
کلزا	۴/۶	۵/۶	۵/۹	۷/۱۵	۱۴
گندم	۴	۴/۹	۶/۴	۸/۷	۱۳/۳
لوبیا	۰/۷	۱	۱/۵	۲/۴	۴/۶
یونجه	۱/۳	۲/۲	۳/۶	۵/۹	۱۰/۷

در رابطه با اثر گذاری نسبت سدیم جذبی بر نفوذپذیری خاک، مقادیر توصیه شده توسط آیرز و وستکات (۱۹۸۵) در نشریه ۲۹ سازمان FAO به عنوان استاندارد در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- حدود توصیه شده SAR با توجه به میزان شوری آب آبیاری برای پیشگیری از کاهش نفوذپذیری خاک

SAR	ECiW		
	بدون خطر	دارای ریسک متوسط	خطرناک
۰-۳	> ۰/۷	۰/۲-/۷	< ۰/۲
۳-۶	> ۱/۲	۰/۳-۱/۲	< ۰/۳
۶-۱۲	> ۱/۹	۰/۵-۱/۹	< ۰/۵
۱۲-۲۰	> ۲/۹	۱/۳-۲/۹	< ۱/۳
۲۰-۴۰	> ۵/۰	۲/۹-۵/۰	< ۲/۹

جدول ٥- حدود مجاز کیفیت باکتریولوژیک آب برای کاربری کشاورزی

گروه	نوع محصولات	نماتدهای روده‌ای[1] (میانگین حسابی تعداد در لیتر)[2]	کلیفرم مدفوعی (میانگین هندسی تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)[2]
الف	محصولاتی که خام مصرف می‌شوند، زمین‌های ورزشی، پارک‌های عمومی	کمتر یا مساوی یک	کمتر یا مساوی ۱۰۰۰
ب	غلات، محصولات صنعتی، علوفه، چراگاه‌ها و درختان	کمتر یا مساوی یک	محدودیتی تعیین نشده‌است.
ج	محصولات گروه "ب" در صورت عدم مواجهه کارگران و عموم	محدودیتی تعیین نشده‌است.	محدودیتی تعیین نشده‌است.

(۱) گونه‌های Ascaris و Trichuris و hookworms.

(۲) در طی دوره آبیاری

جدول ٦- حدود طبقه‌بندی زیر معیارهای مرتبط باکیفیت آب نامتعارف (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵؛ علیزاده، ۱۳۸۵)

عامل	کاملا مطلوب	مطلوب	متوسط	نامطلوب	کاملا نامطلوب
شوری قابل‌تحمل	(EC100%) /2	EC100%*	EC90%	EC75%	EC50%
SAR	بدون خطر	یک سوم انتهای بازه متوسط	یک سوم میانی بازه متوسط	یک سوم ابتدای بازه متوسط	خطرناک
نیترات	L/3	2L/3	L***	4L/3	5L/3
E-Coly	L/3	2L/3	L	4L/3	5L/3

* بالاترین حد مجاز اعلام‌شده شوری قابل‌تحمل برای گیاه توسط فائو که در آن هیچ افت عملکردی مشاهده نمی‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۵)

** طبقه‌بندی نسبت سدیم جذبی برای استفاده آب در کشاورزی (Ayers and Westcot, 1984) ***بالاترین حد مجاز اعلام‌شده توسط سازمان استاندارد ایران (۱۳۹۵)

تجمع مواد مغذی(نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در زه آب های کشاورزی و راهیابی این مواد به منابع آب سطحی و زیر زمینی، معضلات محیط زیستی فراوانی را به همراه خواهد داشت. مواد مغذی به ویژه فسفر موجود در زه آب می تواند منجر به تسریع یوتروفیکاسیون[1] و تشدید آلودگی منابع آب گردد. علاوه بر این نیترات در غلظت بالاتر از ۵۰ میلیگرم بر لیتر برای سلامتی انسان زیان آور می باشد(کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۹). حدود غلظت ارایه شده برای فسفرکل کمتر از ۲میلیگرم بر لیتر و برای نیترات کمتر از ۱۰ میلیگرم بر لیتر گزارش شده است (Ayers and Westcot, 1985). سازمان حفاظت محیط زیست برای استفاده از پساب ها دستورالعملی ارایه نموده است. جدول(۵) مقادیر ارایه شده در رابطه با محدودیت استفاده از پساب برای کاربرد در کشاورزی را نشان می دهد.

1- Eutrophication

حدود طبقه بندی معیارها بر اساس مقادیر استاندارد در ۵ رده مطلوبیت انجام گرفته است. جدول (۶) چگونگی این طبقه بندی را نشان می دهد.

نوع گیاه

استفاده از پساب برای آبیاری برخی گیاهان به دلیل مسائل بهداشتی و یا حساسیت به عناصر خاص محدود می‌گردد. حساسیت گیاهان زراعی به سدیم برحسب سدیم قابل‌تبادل در عصاره‌ی اشباع خاک سنجیده می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵). ازآنجاکه وضعیت شیمیایی عصاره‌ی اشباع خاک بعد از آبیاری تحت تأثیر آب آبیاری قرار می‌گیرد، اثر سدیم در این بخش بر اساس محاسبه‌ی سدیم قابل‌تبادل بعد از آبیاری طبقه‌بندی شده است مقادیر استاندارد برای این پارامتر ها در جدول (۷) ارایه شده است (علیزاده، ۱۳۸۸؛ Ayers and Westcot, 1985).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- حدود مقاومت به سمیت یون های سدیم و بر

گیاه	مقاومت به سدیم(بر حسب ESP خاک)		مقاومت به بر در آب آبیاری(ppm)	
	حدود مجاز	رده	حدود مجاز	رده
برنج	۴۰-۲۰	نیمه مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
پنبه	۶۰-۴۰	مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
جو	۶۰-۴۰	مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
ذرت دانه ای	۲۰-۱۰	حساس	۲-۱	نیمه مقاوم
سویا	۲۰-۱۰	حساس	۲-۱	نیمه مقاوم
شبدر برسیم	۴۰-۲۰	نیمه مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
کلزا	۶۰-۴۰	مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
گندم	۶۰-۴۰	مقاوم	۲-۱	نیمه مقاوم
لوبیا	۲۰-۱۰	حساس	۱-۰/۵	حساس
یونجه	۶۰-۴۰	مقاوم	۴-۲	مقاوم

از منظر بهداشت عمومی، در کاربرد فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی، با در نظر گرفتن طیفی از اقدامات ضروری به‌منظور حفظ سلامت جامعه می‌توان محصولات کشاورزی را در سه گروه طبقه‌بندی نمود. در مورد گیاهان غیرخوراکی و حبوباتی که به‌صورت کنسرو به بازار ارائه می‌شوند حفاظت کارگران کفایت می‌کند. این در حالی است که در رابطه با چراگاه‌ها علوفه‌های سبز، همچنین محصولات درختی و میوه‌جاتی که قبل از خوردن پوست‌کنده یا پخته می‌شوند، اقدامات حفاظتی بیشتری نیاز است؛ اما در رابطه با سبزی‌ها و گیاهانی که به‌صورت بارانی (پاششی) آبیاری می‌شوند و یا پارک‌ها و میدان‌هایی که مورد تردد عموم مردم هستند رعایت کلیه‌ی استانداردهای تصفیه آب ضروری است (کمیته ملی آبیاری و زهکشی). در جدول (۸)، حدود طبقه بندی زیر معیار های وابسته به نوع گیاه را نشان می دهد.

جدول ۸- حدود طبقه‌بندی زیر معیارهای مرتبط با نوع گیاه

عامل	کاملا مطلوب	مطلوب	متوسط	نامطلوب	کاملا نامطلوب
*محدودیت کشت با پساب	گیاه غیرخوراکی و صنعتی	علوفه با حداقل دسترسی کارگران	غلات	علوفه و غلات با دسترسی بیشتر کارگران (برنج)	سبزی‌ها و محصولاتی که به‌صورت خام مصرف می‌شوند.
Br	L/3	2L/3	L**	4L/3	5L/3
Na***	L/3	2L/3	L	4L/3	5L/3

* استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (۱۳۹۵)

** بالاترین حد مجاز اعلام‌شده توسط فائو علیزاده، (۱۳۸۵)

*** میزان حساسیت به سدیم بر اساس مقدار ESP محاسبه و تعیین می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۵).

آسیب‌پذیری آبخوان

برخی از نقاط آب زیرزمینی به علت ویژگی‌های فیزیکی مربوط به آبخوان بیشتر در معرض آلودگی نسبت به دیگر نقاط قرار دارند. مقدار در معرض قرار گرفتن، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان را تعیین می‌کند. روش‌های مختلفی برای شناسایی و جانمایی چنین آسیب‌پذیری وجود دارد (Leone et al, 2009; Uricchio et al, 2004). بیشترین روش مورداستفادهDRASTIC بوده است (Secunda et al, 1998; Fritch et al, 2000). از مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان گرگان حاصل از مطالعات نیک قوجق و کابلی (۱۳۸۹) اشاره کرد. این مطالعات که به روش دراستیک و بر پایه مفاهیم محیط‌های هیدرولوژیکی استوار است، آبخوان گرگان را به سه منطقه‌ی به‌شدت آسیب‌پذیر، دارای آسیب‌پذیری متوسط و کم طبقه‌بندی نموده است. در پژوهش حاضر لایه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مطالعات مذکور تهیه شده است.

شناسایی محدودیت‌ها

محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده در این مطالعه و شرایط حذف آن در جدول ۵ ارائه شده‌اند. اطلاعات مرتبط با کد ارتفاعی و شیب از طریق DEM منطقه (با دقت ۳۰ متر) استخراج گردید. همچنین اطلاعات مرتبط با عمق خاک بر اساس اطلاعات دریافتی از مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

قبلی (آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۸۸) طبقه‌بندی گردید. اطلاعات مربوط به کاربری اراضی از نقشه‌ی کاربری اراضی استان گلستان برداشت و فاصله‌ی ۱۰ کیلومتر به‌عنوان بیشترین فاصله‌ی فنی ممکن برای انتقال پساب با نظر متخصصین در نظر گرفته شد.

جدول ۹- محدودیت‌ها و شرایط حذف آن مربوط به مناسب بودن آبیاری فاضلاب

شرایط نامناسب	محدودیت
ارتفاع پایین‌تر از ارتفاع خروجی تصفیه‌خانه	ارتفاع از سطح دریا
<۲۵۰cm	عمق خاک
>٪۱۵	شیب
۱۰ کیلومتر>	فاصله‌ی مجاز فنی
اراضی غیر از کاربری کشاورزی	کاربری اراضی

تحلیل داده‌ها

ساختار مدل برای تعیین امکان‌سنجی استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی بر اساس ساختار سلسله مراتبی ساخته شده است. شکل ۲ ساختار سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش برای تعیین ارزش هر معیار و زیر معیار از پرسشنامه استفاده گردید. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها بر طبق نظر ۲۰ نفر از متخصصان و مشاوران تکمیل، استفاده از نرم‌افزار ExpertChoise ساختار سلسله مراتبی تهیه و اطلاعات گردآوری شده توسط پرسشنامه‌ها در آن وارد گردید، پس از ترکیب، وزن نسبی هر گزینه محاسبه شد.

اطلاعات مرتبط با هریک از معیارها و زیر معیارها بر اساس داده‌های دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای و نقشه‌ها و مطالعات پیشین در محیط نرم افزار GIS، تهیه و بر اساس محدودیت‌ها برای ایستگاه موردنظر برش زده شد و بر اساس مقادیری که در قسمت‌های قبل ارائه شد، در ۵ رده‌ی کاملا مطلوب، مطلوب، متوسط، نامطلوب و کاملا نامطلوب طبقه‌بندی گردید. پس طبقه‌بندی تمام لایه‌ها از حالت بردار به رستر تبدیل شدند. ابزار raster calculator نرم‌افزار GIS، امکان عملیات جبری را در محیط نرم‌افزار بین لایه‌های رستری مختلف فراهم می‌کند از این ابزار برای تلفیق وزنی لایه‌ها استفاده شد. نقشه نهایی همپوشانی شده وزنی منطقه موردمطالعه با محاسبه مقدار تصمیم مرکب (Ri) برای هر پیکسل (i) به شرح زیر است:

$$R_i=\sum W_K . r_{ik} \quad (۳)$$

شکل ۲- ساختار تصمیم سلسله مراتبی

که در آن W_k نتیجه ضرب وزن کلیه سطوح سلسله مراتبی است (جدول ۶) و مقدار استانداردشده پیکسل i در نقشه معیار زیر k را تحمل می‌کند. پس از تهیه نقشه‌ی نهایی و طبقه‌بندی کردن آن، درصد مساحت مربوط به هر طبقه برای گیاهان مختلف تهیه شد.

نتایج و بحث

طبقه بندی لایه‌ها

هنگام تحلیل برای گیاهان مختلف اثر پارامترهای فراهمی آب آبیاری، نسبت سدیم جذبی، آلودگی میکروبی، نیترات، کلاس و بافت خاک و آسیب‌پذیری آبخوان به دلیل منطقه‌ای بودن و عدم وابستگی

www.SID.ir

Archive of SID

به نوع گیاه در کل محدوده ی تعیین شده یکسان است. بررسی ها نشان داد آسیب پذیری آبخوان در بیش از ۷۸ درصد منطقه به دلیل بالا بودن سطح آب زیر زمینی در رده ی "کاملا نامطلوب" قرار می گیرد، همچنین نتایج طبقه بندی کیفی پساب تصفیه خانه کردکوی در جدول(۱۰) ارایه شده است.

جدول ۱۰- کیفیت فاضلاب کردکوی و طبقه بندی آن

پارامتر	شوری	نسبت سدیم جذبی	نیترات	فسفات	کلیفرم مدفوعی
مقادیر اندازه گیری شده	۱/۹۵	۱/۴۸	۶۴/۵	۲/۹۱	۱۱۰۰
طبقه بندی	-	کاملا مطلوب	کاملا نامطلوب	کاملا نامطلوب	نامطلوب

این پارامترها در عین اینکه بر روی نتیجه‌ی کلی اثر یکسانی دارند، اما در بحث ارجحیت کشت یک‌گونه نسبت به دیگری مؤثر نیستند و درواقع پارامترهای متأثر از نوع گیاه شامل فاصله‌ی اقتصادی، مناسب بودن زمین برای کشت گونه، شوری قابل‌تحمل و محدودیت کشت و حساسیت به سدیم و بُر عواملی هستند که باعث تمایز میزان مطلوبیت کشت برای یک‌گونه می‌شوند. طبقه بندی لایه ها بر اساس مطالعات پیشین که در قسمت مواد و روش به هر کدام اشاره شده است، برای هر گیاه به شرح زیر می باشد:

یونجه: از گیاهان علوفه‌ای می باشد که از نظر محدودیت کشت با پساب، به دلیل تعدد چین و دسترسی بالای کارگران، طبق آنچه در قسمت مواد و روش‌ها ارایه شد، در رده‌ی "متوسط" قرار می‌گیرد، کشت یونجه بر اساس آنالیز اقتصادی دارای بالاترین مطلوبیت می‌باشد. بررسی استعداد اراضی برای کشت این گیاه در ۳۱/۴ درصد از اراضی مطلوب و در مابقی قسمت‌ها عدم مطلوبیت مناسب را نشان می‌دهد. شوری آب آبیاری برابر ۱/۹ دسی زیمنس بر متر می‌باشد که برای این گیاه بر اساس طبقه‌بندی که در قسمت مواد و روش‌ها ارایه شد در قسمت مطلوبیت "متوسط" قرار می‌گیرد.

جو: از خانواده‌ی غلات است که دارای محدودیت متوسط کشت با پساب می‌باشد. استعداد اراضی برای کشت جو را در این منطقه دارای مطلوبیت کافی نیست. نتایج آنالیز اقتصادی کشت جو با پساب در منطقه با توجه نسبت درآمد به هزینه، تا شعاع ۵ کیلومتر از تصفیه‌خانه دارای مطلوبیت مناسبی است، برای فواصل دورتر از آن، به دلیل هزینه‌های انتقال و ... از میزان مطلوبیت آن کاسته و در رده‌های متوسط و نامطلوب قرار می‌گیرد. شوری قابل‌تحمل آب آبیاری توسط این گیاه ds/m ۵/۳ می‌باشد که با توجه به شوری پساب دارای بالاترین مطلوبیت می‌باشد.

سویا: ازلحاظ کشت با پساب محدودیت چندانی ندارد و برای کشت آن ۳۱ درصد از اراضی کاملا مستعد می‌باشند. به لحاظ اقتصادی تا شعاع ۸/۸ کیلومتری از تصفیه‌خانه کشت این گیاه دارای مطلوبیت می‌باشد و در فواصل دورتر میزان مطلوبیت آن کاهش می‌یابد و در رده‌ی متوسط قرار می‌گیرد. همچنین پارمترهای شوری قابل‌تحمل مناسبی قرار دارند.

کلزا: از گیاهان غیرخوراکی و صنعتی است که محدودیت بهداشتی برای کشت با پساب ندارد و ۳۱ درصد اراضی قابل پوشش تصفیه‌خانه دارای مطلوبیت کشت بالایی برای این گیاه هستند. ازلحاظ اقتصادی تا شعاع ۷/۲ کیلومتر از تصفیه‌خانه، کشت کلزا دارای مطلوبیت و در فواصل دورتر، در رده ی متوسط قرار می‌گیرد. . همچنین پارمترهای شوری قابل‌تحمل در حد مناسبی قرار دارد.

شبدر برسیم: از گیاهان علوفه‌ای می‌باشد که از نظر محدودیت کشت با پساب، به دلیل تعدد چین و دسترسی بالای کارگران، در رده‌ی "متوسط" قرار می‌گیرد. ۶۸ درصد از اراضی مستعد کشت شبدر هستند. کشت از لحاظ اقتصادی "کاملا مطلوب" می‌باشد. شوری قابل‌تحمل برای این گیاه ds/m ۱ هست که با توجه به کیفیت پساب تصفیه‌خانه، میزان مطلوبیت این معیار برای شبدر در رده ی متوسط قرار می‌گیرد.

ذرت: مطلوبیت کشت این گیاه در مورد محدودیت‌های بهداشتی در رده‌ی "مطلوب" در نظر گرفته‌شده است. ۶۸ درصد از اراضی مستعد کشت ذرت هستند و کشت این گیاه تا فاصله‌ی ۶/۶ کیلومتر از تصفیه‌خانه دارای مطلوبیت و پس از آن در رده‌ی "متوسط" قرار می‌گیرد. شوری قابل‌تحمل آب آبیاری برای این گیاه ds/m ۱/۱ می‌باشد که با توجه به کیفیت پساب این معیار برای ذرت در رده‌ی "متوسط" قرار می‌گیرد.

پنبه: از گیاهان غیرخوراکی و صنعتی است که محدودیت بهداشتی برای کشت با پساب ندارد. ۳۸ درصد از اراضی مستعد کشت پنبه هستند، همچنین کشت این گیاه تا فاصله‌ی ۸/۲ کیلومتری از تصفیه‌خانه دارای مطلوبیت "مناسب" و پس از آن دارای مطلوبیت "متوسط" می‌باشد. شوری قابل‌تحمل آب آبیاری برای پنبه در حد مناسبی قرار دارد.

گندم: از خانواده‌ی غلات است که دارای محدودیت متوسط کشت با پساب می‌باشد. استعداد اراضی برای کشت جو را در این منطقه دارای مطلوبیت کافی نیست و کشت آن تا فاصله‌ی ۷/۶ کیلومتری از تصفیه‌خانه دارای مطلوبیت اقتصادی است و در فواصل دورتر دارای مطلوبیت "متوسط" می‌باشد. شوری قابل‌تحمل آب آبیاری برای گندم قرار دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

برنج: ازجمله گیاهانی است که به دلیل دسترسی زیاد کارگران به لحاظ کشت با پساب دارای محدودیت می‌باشد. آنالیز اقتصادی کشت برنج را دارای بالاترین مطلوبیت نشان می‌دهد، ۶۸/۶ درصد از اراضی برای کشت برنج کاملا مستعد و مابقی غیر مستعد می‌باشند. شوری قابل‌تحمل بدون افت عملکرد برای این گیاه ds/m ۲ است و کشت گیاه ازاین‌جهت در رده‌ی "مطلوب" قرار دارد.

لوبیا: از گیاهانی است که در رده‌ی متوسط به لحاظ محدودیت بهداشتی کشت قرار می‌گیرد. اراضی محدوده ی قابل پوشش تصفیه‌خانه برای کشت این گیاه غیر مستعد هستند و نتایج آنالیز اقتصادی نشان می‌دهد کشت در فواصل دورتر از ۴/۶ کیلومتر از تصفیه‌خانه مطلوبیت اقتصادی مناسبی ندارد. لوبیا حساس به شوری بوده و از نظر معیار تحمل به شوری آب آبیاری در رده ی "کاملا نامطلوب"قرار دارد.

همچنین میزان عناصر سدیم و بُر در پساب برای کلیه‌ی گیاهان فاقد محدودیت است.

محاسبه‌ی وزن مرکب

وزن محاسبه‌شده برای هر معیار در جدول(۱۱) ارایه شده است. همچنین آنالیز حساسیت برای تعیین اهمیت هر معیار انجام گرفته است، آنالیز حساسیت پارامترها نشان می‌دهد بیشترین حساسیت مربوط به معیار آسیب‌پذیری آبخوان و پایین‌ترین آن به حساسیت گیاهی (Br) تعلق دارد. همچنین ضریب ناسازگاری محاسبه‌شده برابر ۰/۰۱۴ هست که نشان‌دهنده‌ی سازگاری مطلوب بین معیارهاست. پس از محاسبه‌ی وزن مرکب، لایه‌های نهایی به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی میزان مطلوبیت کشت در هر نقطه است.

جدول ۱۱- وزن‌های سلسله مراتبی برای استفاده از پساب در کشاورزی

معیار اصلی	زیر معیار ۱	زیر معیار ۲	وزن	ضریب حساسیت (درصد)
اقتصادی	فراهمی آب آبیاری		۰/۰۸۷	۶/۲
	فاصله اقتصادی		۰/۰۴۱	۲/۹
	حاصلخیزی (مناسب بودن)		۰/۰۵۸	۴/۱
زیست‌محیطی	کیفیت آب نامتعارف	EC_{th}	۰/۱۱۶	۷/۳
		SAR	۰/۰۸۸	۵/۵
		آلودگی میکروبی	۰/۱۴۲	۹/۰
		نیترات	۰/۱۰۹	۶/۹
		فسفات	۰/۰۸۱	۵/۱
	خاک	کلاس خاک	۰/۰۳۶	۶/۹
		بافت	۰/۰۴۴	۸/۴
	آسیب‌پذیری آبخوان		۰/۱۱۲	۲۱/۵
	گیاه	نوع گیاه	۰/۰۴۳	۸/۲
		حساسیت Na	۰/۰۲۹	۵/۵
		حساسیت Br	۰/۰۱۴	۲/۶

طبقه بندی مکانی میزان مطلوبیت کشت

پس از انجام تحلیل سلسله مراتبی، نقشه های خروجی در رده های مختلف مطلوبیت کشت طبقه بندی شدند و درصد مساحت اختصاص یافته به هر رده از کل محدوده تحت محدوده ایستگاه موردنظر (هکتار ۱/ ۱۲۵۷۵) برای هر کشت محاسبه گردید. جدول (۱۲) این مقادیر را نمایش می دهد. چنانچه مشاهده می شود بالاترین میزان مساحت مطلوب به گیاه کلزا تعلق دارد.

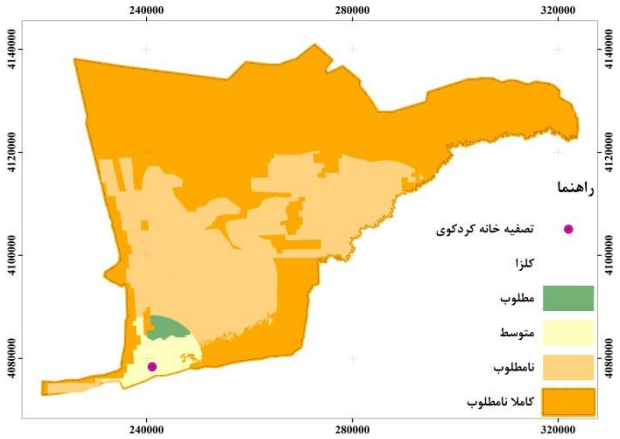
جدول (۷) به‌وضوح پایین بودن میزان مقادیر مرکب در کل منطقه را نشان می‌دهد. این به دلیل نامناسب بودن برخی از پارامترهای محیطی و دارای وزن نسبی بالا در منطقه هست. به‌طور مثال پارامتر آسیب‌پذیری آبخوان با بالاترین ضریب حساسیت، به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از منطقه دارای مطلوبیت پایینی هست. آلودگی میکروبی، فسفات و نیترات نیز از وزن نسبی قابل‌توجهی برخوردار هستند. وجود محدودیت میکروبی و نیترات در پساب خروجی به دلیل بالاتر بودن پارامترهای مذکور از حد مجاز اعلام‌شده توسط سازمان استاندارد اثر منفی قابل‌توجهی بر نتیجه‌ی کلی تحلیل داشته است و بنابراین چنانچه مشاهده می‌شود کشت اکثر گونه‌ها دارای مطلوبیت متوسط می‌باشد و دو گیاه پنبه و کلزا، آن‌هم تنها در بخش‌هایی که عامل آسیب‌پذیری آبخوان از وضعیت بهتری برخوردار است، برای کشت مناسب تشخیص داده‌شده‌اند. مطالعات کاظمی و همکاران(۱۳۹۱) بر روی امکان‌سنجی کشت کلزا در استان گلستان، از نظر مکانی با منطقه‌ی دارای مطلوبیت کشت کلزا در این پژوهش مطابقت دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲- درصد مساحت هر طبقه از مطلوبیت برای کشت گیاهان زراعی در محدوده تحت پوشش تصفیه خانه کردکوی

گیاه	میزان مطلوبیت (درصد)	لوبیا	کلزا	برسیم	سویا	پنبه	برنج	ذرت	گندم	یونجه	جو
میزان مطلوبیت	کاملا نامطلوب	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	نامطلوب	۹۵/۲	–	۲/۸	–	–	–	۴/۷۶	–	۲/۲	–
	متوسط	۴/۸	۷۹/۱	۹۷/۲	۱۰۰	۸۵/۶	۱۰۰	۹۵/۲	۱۰۰	۹۷/۸	۱۰۰
	مطلوب	–	۲۰/۹	–	–	۱۴/۴	–	–	–	–	–
	کاملا مطلوب	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–



شکل۳- نتایج امکان سنجی کشت کلزا با استفاده از پساب تصفیه خانه کرد کوی

همچنین لوبیا بالاترین درصد مساحت نامطلوب را در میان سایر گیاهان داراست، حساسیت به شوری گیاه و عدم مطلوبیت زراعی برای کشت(حاصلخیزی) در منطقه، کوچک بودن محدوده‌ی اقتصادی کشت و متوسط بودن میزان مطلوبیت سایر پارامترهای وابسته به گیاه را می توان از عوامل نزول ارزش مرکب این گیاه از متوسط به سمت نامطلوب دانست.

نتیجه‌گیری:

تجزیه‌وتحلیل محدودیت‌ها نشان می‌دهد که سازگارترین گیاهان برای کشت با پساب در این بخش و با توجه به کلیه‌ی محدودیت هایی که در منطقه وجود دارد، کلزا و پنبه هستند که به ترتیب ۲۱/۶ و ۱۴/۴٪ از منطقه قابل آبیاری با پساب تصفیه‌خانه کردکوی را پوشش می‌دهند. با توجه به بالابودن سطح آب زیرزمینی در این مناطق و محدودیت‌هایی که برای کشت ایجاد می‌کند، وجود محدودیت نیترات و میکروبی و وزن نسبی بالایی که هر سه این عوامل دارند کشت در اراضی مشخص‌شده به‌طورکلی از مطلوبیت کمتری برخوردار است. علاوه بر آن گیاهانی که شرایط بوم شناختی- زراعی مناسبی برای کشت آن‌ها در اراضی فراهم نیست و یا حساسیت بالاتری نسبت به شوری آب آبیاری دارند، درصد مساحت نامطلوب بیشتری به خود اختصاص داده اند. توجه به این پارامترها و تلاش در راستای رفع آن‌ها امکان استفاده از منابع نامتعارف را به‌صورت پایدار با حداقل خسارت زیست‌محیطی و حد مطلوبی از سود اقتصادی برای کشاورز در منطقه ممکن می‌سازد. تصفیه ی با کیفیت بالاتر جهت حذف نیترات، استفاده از روش های هوادهی و لجن فعال برای کاهش آلودگی میکروبی و زهکشی اراضی جهت کاهش سطح ایستابی و در نتیجه کاهش میزان آسیب پذیری آبخوان، از پیشنهاداتی است که می تواند منجر به بهبود قابلیت کشت در منطقه گردد.

منابع

آب منطقه‌ای استان گلستان. ۱۳۸۸. مطالعات اراضی شمال گرگان رود و قره‌سو.

پیر صاحب، م.ف شرفی، ک. و دوگوهر، ک. ۱۳۹۱. مقایسه کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد و آب چاه برای آبیاری. مجله آب و فاضلاب، ۴: ۱۱۶-۱۲۴.

www.SID.ir

Archive of SID

تقوایان، ص.، علیزاده، ا. و دانش، ش. ۱۳۸۶. تأثیر کاربرد فاضلاب در آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱ .۱ :۴۹-۶۱.

توسلی، ا. و همکاران. ۱۳۸۹. اثر فاضلاب تصفیه‌شده همراه با مقادیر مختلف کودهای دامی و شیمیایی بر غلظت عناصر و عملکرد ذرت. مجله آب و فاضلاب. ۳: ۳۷-۴۵.

روحانی شهرکی، ف.، مهدوی، ر. و رضایی، م. ۱۳۸۴. اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. نشریه آب و فاضلاب. ۱. ۱۶ : ۲۳-۲۹.

رضوانی مقدم، پ. و میرزایی، م. ۱۳۸۸. تأثیر نسبت‌های مختلف آب چاه با فاضلاب تصفیه‌شده بر خصوصیات مرفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۶۳-۷۷.

سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۱۳۹۵. استاندارد کیفیت آب‌های ایران.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سامانه‌های آبیاری (جلد اول). مشهد: دانشگاه امام رضا (ع).

غلامی، م.۱۳۹۳. تحقیق پیرامون آب‌های نامتعارف و تبدیل آن با استفاده از تکنولوژی‌های نو به آب‌های باکیفیت جهت مصرف شرب و غیره به لحاظ زیست‌محیطی. طرح تحقیقات کاربردی سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان.

فرهادیان عزیزی، ش.، کاظمی، ح. و سلطانی، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی زراعی–بوم شناختی اراضی شهرستان گنبدکاووس جهت کشت گندم دیم با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS. مجله تولید گیاهان زراعی, ۲ ، ۱۱:۱۱-۱۷.

قدسی پور، ح. ۱۳۹۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

کاظمی، ح.، طهماسبی سروستانی، ز.ا.، کامکار، ب.، شتایی، ش. و صادقی، س. ۱۳۹۱. پهنه بندی زراعی – بوم شناختی استان گلستان جهت کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP). مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۵(۱): ۱۲۳-۱۳۹.

کاظمی، ح.، طهماسبی سروستانی، ز.ا.، کامکار، ب.، شتایی، ش. و صادقی، س. ۱۳۹۵.تدوین الگوی کشت بهینه برای استان گلستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). پژوهش‌های آبخیزداری. ۱۱۰: ۸۸-۱۰۶.

کمیته ملی آبیاری و زهکشی(a). مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب‌ها برای آبیاری.

کمیته ملی آبیاری و زهکشی.۱۳۸۲. مهار آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی.

معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، با همکاری وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا .۱۳۹۴. ضوابط زیست محیطی استفاده از پساب و آب های برگشتی. تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

نیک قوجق، ی. و کابلی، ع.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت گرگان بروش DRASTIC. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیطزیست. تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، https://www.civilica.com/Paper-CEE04-CEE04_162.html

یاسوری، م. ۱۳۸۵. مبانی، کاربرد و نرم‌افزارهای GIS. مشهد: آستان قدس رضوی.

یوسفی، م.، سلطانی، ج.، بنی حبیب، م.ا.، خوب، ع.ر.، روزبهانی، ع و سلطانی، ا.۱۳۹۵. توسعه مدل بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری تلفیقی پساب و آب زیرزمینی در شبکه آبیاری ورامین. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰. ۴ : ۵۵۵-۵۶۷.

Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M. and Bagheri, M.R. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil and Environment. 52(8): 335.

Al.Salem, S. 1998. Environmental consideration for wastewater reuse in agriculture. Water Science Tachnology. 33: 345-355.

Anane, M., Bouziri, L., Limam, A. and Jellali, S. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources, Conservation and Recycling. 65:36-46.

Asano,T and Lecine, A.D. 1996. Wastewater reclamation and reuse. Post, present and future. Water Science and Technology. 33: 1-14.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. 29. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Boroushaki, S. and Malczewski, J. 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Computers & Geosciences. 34.4: 399-410.

Bouwer, H. and Chaney, R.L., 1974. Land treatment of wastewater. In Advances in agronomy. 26: 133-176. Academic Press.

Bozdağ, A.. 2015. Combining AHP with GIS for assessment of irrigation water quality in Çumra

www.SID.ir

Archive of SID

Soil Environment and Crops. 1st Edition. Wiley-Blackwell, Inc. ISBN 978-1-4051-4862-7.

Mojiri, A. 2001. Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. Journal of Biology, Environment. Science. 14: 71-76.

Neji, H.B.B. and Turki, S.Y., 2015. GIS–based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. Agricultural Water Management. 162:78-86.

Pereira, L.S., Cordery, l., lacovides, l., 2009. Coping with water scarcity. Addressing the Challenges. Dordrecht: Springer. 382.

Pereira, L.S., Duarte, E. and Fragoso, R. 2014. Water use: recycling and desalination for agriculture.

Saaty, TL .1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw- Hill

Secunda, S., Collin, M.L. and Melloul, A.J., 1998. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. Journal of environmental management. 54. 1:39-57.

Uricchio, V.F., Giordano, R. and Lopez, N. 2004. A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation. Journal of environmental management. 73. 3:189-197.

Wilcox, L.V. 1948. The quality of water for irrigation use.

irrigation district (Konya), Central Anatolia, Turkey. Environmental earth sciences. 73(12):8217-8236.

Deng, H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. International journal of approximate reasoning. 21.3: 215-231.

Fritch, T.G., McKnight, C.L., Yelderman Jr, J.C. and Arnold, J.G. 2000. An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. Environmental management. 25.3:337-345.

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.

Hadipour, A., Vafaie, F. and Hadipour, V. 2015. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. Aquaculture international. *23*.1: 329-343.

Hossain, M.S. and Das, N.G. 2010. GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (Macrobrachium rosenbergii) farming in Companigonj Upazila of Noakhali, Bangladesh. Computers and electronics in agriculture. 70.1:172-186.

Leone, A., Ripa, M.N., Uricchio, V., Deák, J. and Vargay, Z. 2009. Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary's main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models. Journal of Environmental Management. 90. 10.2969-2978

Levy, G.J., Fine, P. and Bar-tal, A. 2011. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1844-1857

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۸۵۷-۱۸۴۴

Feasibility of Unconventional Water (municipal wastewater) Consumption in Agriculture Using Analytical Hierarchy Process (AHP)

P. Zolfaghari[1], M. Zakirinia[2*] and H. Kazemi[3]

Recived: May.21, 2019 Accepted: Aug.07, 2019

Abstract

The beneficial use of unconventional water resources for sustainable agriculture, taking into account the environmental impacts and economic returns, is a multi-criteria decision-making process based on the value of each criterion. In this research, after collecting resources and extracting decision making criteria regarding the use of wastewater in agriculture, a hierarchical structure based on two technical-economical and environmental factors is prepared and using a hierarchical analysis in the GIS software environment, the feasibility of using wastewater for cultivation of 10 common crops was carried out in Golestan province. The irrigation water fairness, the techno-economical distance from the outlet of the treatment plant and the suitability of the land for cultivating are from the technical-economical sub-criteria And the quality of irrigation water, soil, plant and aquifer vulnerability are the environmental criteria of this structure. Also, some parameters such as slope, topography, land use, depth of soil and technical permissible distance were considered as limiting factors. The results of this feasibility study, which was carried out using data from Kurdokoy wastewater treatment plant, Despite the low utilization rate of all plants due to lack of utility parameters such as nitrate, microbial contamination and aquifer vulnerability, which had the highest sensitivity and relative weight, cotton and canola have the highest desirable yield of 10 common crops In the area covered by the wastewater plant.

Keywords: Unconventional Water, Wastewater, Analytical Hierarchy, GIS

1- M.Sc. Student, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2-Associate Professor, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Associate Professor, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(* - Corresponding Author Email: mzakerinia@gmail.com)

www.SID.ir