

مقاله پژوهشی

تعیین مناطق مستعد برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)

سیده فرزانه حجتی^۱، مهدی ذاکری‌نیا^{۲*} و حسین کاظمی^۳

چکیده

با وجود کمبود منابع آب در کشور، گسترش سامانه‌های آبیاری تحت فشار اجتناب‌ناپذیر است. هدف اصلی این پژوهش، انتخاب بهترین روش آبیاری تحت فشار در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان با مساحت ۵۲۹۳۴ هکتار است. شاخص‌های مؤثر در انتخاب سامانه‌های آبیاری تحت فشار ابتدا با کمک نرم‌افزار Arc GIS پهنه‌بندی و در ۷ کلاس از (۳-) تا (۳+) کلاس‌بندی شدند. پس از آن، وزن پارامترهایی که با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و در نرم‌افزار ExpertChoice به‌دست آمد، در لایه‌ها ضرب شد و در نهایت مناطق مناسب برای اجرای هر روش آبیاری به‌صورت یک نقشه تهیه شد. نتایج نشان داد برای اجرای سامانه آبیاری بارانی ۸/۱، ۲۳/۴ و ۵۹/۱ درصد از اراضی به‌ترتیب دارای محدودیت زیاد، کم تا متوسط و بدون محدودیت هستند. ۹/۴ درصد از اراضی منطقه نیز برای اجرای سامانه آبیاری بارانی مناسب نیست. سامانه آبیاری موضعی در تمام منطقه مورد مطالعه قابلیت اجرا داشته که در ۲۰/۳، ۴۹/۳ و ۳۰/۴ درصد از اراضی به‌ترتیب دارای محدودیت زیاد، کم تا متوسط و بدون محدودیت است. برای ۲۰/۹ درصد از اراضی سامانه آبیاری کم‌فشار غیرقابل اجرا بوده و ۳۲/۹، ۲۰/۷ و ۲۵/۵ درصد از اراضی به‌ترتیب دارای محدودیت زیاد، کم تا متوسط و بدون محدودیت است.

واژه‌های کلیدی: پرسشنامه، پتانسیل‌یابی، آبیاری بارانی، آبیاری موضعی، Expert Choice، AHP، GIS.

ارجاع: حجتی س. ف.، ذاکری‌نیا م. و کاظمی ح. ۱۴۰۳. تعیین مناطق مستعد برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). نشریه پژوهش آب ایران. ۵۴: ۳۰-۲۱. <https://dx.doi.org/10.22034/TWRJ.2024.14803.2609>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* نویسنده مسئول: mzakerinia@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

مقدمه

کمبود منابع آب در کشور، گسترش سامانه‌های آبیاری تحت فشار را امری اجتناب‌ناپذیر کرده‌است. از سویی، اجرای این سامانه‌ها هم برای دولت و هم برای بهره‌برداران دارای بار مالی است؛ بنابراین شناسایی مناطق مستعد اجرای هر یک از سامانه‌های آبیاری و طراحی دقیق و اصولی آن‌ها ضروری بوده و از اتلاف هزینه‌های سنگین جلوگیری می‌کند.

منظور از امکان‌سنجی^۱ برای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری، انجام بررسی‌های لازم در ارتباط با کمیت و کیفیت آب آبیاری، شرایط اقلیمی، خصوصیات مختلف خاک، وضعیت توپوگرافی اراضی، نیروی انسانی مورد نیاز، زمینه‌های فرهنگی و اجتماعی پذیرش روش‌های نوین آبیاری، نیازهای نگهداری سامانه و انجام بررسی‌های اقتصادی، در نتیجه بررسی امکان استفاده از سامانه‌های مزبور برای دستیابی به بالاترین راندمان در زمینه مصرف آب و تولید اقتصادی محصولات کشاورزی در سطح منطقه یا مکان مورد مطالعه است (Ahmadi et al., 2019). در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار به دلیل بالا بودن راندمان، استفاده از دبی‌های کم و اعمال پدیده کم‌آبیاری نسبت به آبیاری سطحی در اولویت قرار دارد. علاوه بر کمیت آب توجه به کیفیت آب آبیاری از دو جنبه فیزیکی و شیمیایی نیز حائز اهمیت است. از آنجا که عوامل و پارامترهای زیادی در انتخاب یک روش آبیاری تحت فشار متناسب با هر محل دخالت دارد، ابزاری که بتواند راحت‌تر این عوامل را دسته‌بندی کند و در نتیجه با سرعت بیشتر و جامع‌تر بهترین مکان مناسب برای نوع سامانه آبیاری را توصیه کند، بسیار حائز اهمیت است. یکی از این ابزارها، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

پتانسیل‌یابی اراضی در مناطق مختلف ایران، در وسعت‌های متفاوت و با توجه به پارامترهای گوناگون در راستای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری انجام شده است. (Poursamsam et al. 2021) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان اجرای سامانه‌های مختلف آبیاری (موضعی، کلاسیک ثابت، آبفشان غلطان، مکانیزه دوار، مکانیزه خطی، اراهه‌ای، کم‌فشار و سطحی) را در دشت دز در

استان خوزستان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۳/۸ درصد از مساحت کل دشت دز برای آبیاری سطحی، ۳/۱۴ درصد برای آبیاری کم‌فشار، ۶/۱۴ درصد برای آبیاری موضعی و ۷۷/۶۲ درصد برای مجموع سامانه‌های آبیاری بارانی از امتیاز خیلی مستعد برخوردار است. همچنین در همه نقاط محدوده مورد مطالعه، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک در بین همه روش‌های آبیاری بالاترین امتیاز را کسب کرده است و در مجموع ۴/۱۵ درصد از کل دشت کاملاً مستعد برای اجرای آبیاری کلاسیک ثابت است. (AziziMobser 2020) پژوهشی در دشت اردبیل برای یافتن اراضی مستعد سامانه‌های نوین آبیاری انجام داد، در این پژوهش با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و در محیط نرم‌افزاری Expert Choice وزن‌دهی انجام گرفت و وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر پارامتر در محیط ArcGIS با روش توابع همپوشانی وزنی به نقشه تبدیل شدند. نتایج حاکی از آن است که از مساحت تقریبی ۱۲۱۰۰۰ هکتار حدود ۳۲/۵ درصد از اراضی دشت قابلیت اجرای سامانه آبیاری عقربه‌ای، ۴۵ درصد قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای، ۵۹ درصد مناسب برای آبیاری بارانی و ۷۲ درصد برای آبیاری سطحی مناسب است. (Ahmadi et al. 2019) پژوهشی درباره مکان‌یابی نواحی مستعد سامانه‌های نوین آبیاری در شهرستان اسفراین استان خراسان جنوبی انجام دادند. میزان تأثیر عوامل مختلف با استفاده از ارقام صحیح (+۳) تا (-۳) در هفت درجه امتیازگذاری شد. به‌منظور جلوگیری از اثرگذاری یکسان عوامل با درجه اهمیت متفاوت یا تأثیر بیشتر عوامل مهم‌تر، با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی ضربی به‌عنوان وزن هر عامل، لحاظ شد. با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی این وزن در لایه‌های اطلاعاتی وارد شده ضرب شده و از جمع امتیازات، امتیاز نهایی به‌دست آورده شد. با توجه به پژوهش انجام‌شده از ۷۷/۷۵ هکتار از اراضی محدوده مطالعاتی ۷۶/۵ درصد برای سامانه آبیاری کم‌فشار، ۲۲ درصد برای سامانه آبیاری موضعی و ۱/۵ درصد برای سامانه آبیاری بارانی مناسب است. در پژوهشی که (Azad Talatape et al. 2019) در دشت میاندوآب استان آذربایجان غربی انجام دادند، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی^۲ و با توجه به کمیت و

می‌توان از سامانه قطره‌ای استفاده کرد. Mallik et al. (2020) مناسب‌بودن کیفیت آب زیرزمینی را برای آشامیدن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر آگارتالا در هندوستان ارزیابی کردند. برای یافتن وزن پارامترهای مختلف از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. نتایج نشان داد تنها ۲۴/۲۴ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای آب زیرزمینی قابل‌شرب بوده و ۷۵/۷۶ درصد از مساحت آن برای آشامیدن قابل‌شرب نبوده و میزان آهن موجود در آن بالاتر از حد مجاز بوده است. Zi-long et al. (2013) برای انتخاب بهترین روش آبیاری با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره در منطقه اوردوز چین اعلام کردند که سامانه‌های آبیاری قرقره‌ای و آبیاری بارانی دوار مرکزی به‌ترتیب به‌عنوان بهترین روش برگزیده شدند. Anane et al. (2012) در تونس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتبی، سامانه آبیاری بارانی با استفاده از آب نامتعارف را ارزیابی کردند. نتایج حاکی از آن بود که تنها ۳۱ درصد از اراضی مناسب آبیاری بارانی با آب‌های نامتعارف است. Barberis and Minelli (2005) در منطقه شویانگ چین، پهنه‌بندی مناسب برای اجرای دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ۳۴ درصد از منطقه مورد مطالعه برای آبیاری سطحی و ۶۲ درصد برای آبیاری قطره‌ای مناسب است.

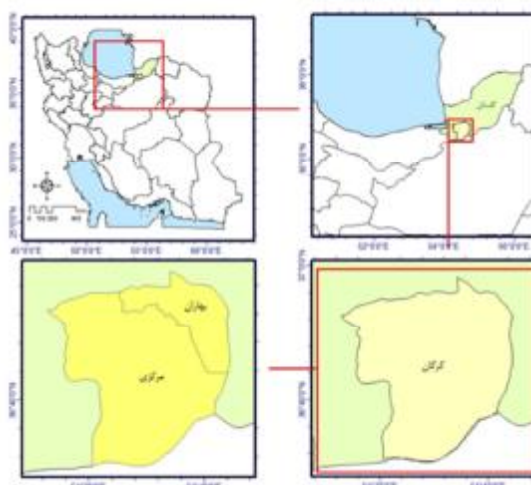
در این پژوهش با هدف انتخاب بهترین روش آبیاری تحت فشار در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. برای یافتن مناطق مناسب برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار، ابتدا شاخص‌های مؤثر بر انتخاب آن‌ها با بهره‌گیری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی و ارزیابی و سپس با کمک نرم‌افزار Arc GIS پهنه‌بندی و در ۷ کلاس از (۳-) تا (۳+) کلاس‌بندی شده است. پس از آن، وزن پارامترهایی که با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و در نرم‌افزار Expert Choice به‌دست آمده، در لایه‌ها ضرب شده و درنهایت مناطق مناسب برای اجرای سامانه‌های مذکور برای هر روش آبیاری به‌صورت یک نقشه تهیه شد.

کیفیت آب زیرزمینی، امکان اجرای روش‌های مختلف آبیاری (سطحی، بارانی و قطره‌ای) بررسی شد. بدین‌منظور معیارهای کمی و کیفی تأثیرگذار در اجرای هریک از روش‌های آبیاری تعیین و توسط روش‌های زمین آماری پهنه‌بندی شدند. سپس با فازی‌کردن لایه‌های رستری معیارها و محاسبه وزن اهمیت نسبی آن‌ها با استفاده از روش AHP، لایه‌ها با هم ترکیب شده و لایه نهایی مناطق مستعد استحصال آب تهیه شد. نتایج بررسی نقشه‌ها نشان داد که در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای، به‌ترتیب ۳۲/۳۲، ۱۹/۰۲ و ۸۹/۵۱ درصد از محدوده دشت دارای محدودیت جدی و خیلی زیاد برای اجرای سامانه آبیاری مربوط هستند. Farhadi Bansouleh et al. (2018) در سطح ۶۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه دینور واقع در شهرستان صحنه، استان کرمانشاه با هدف رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری تحت فشار اعلام کردند که در همه اراضی محدوده مورد مطالعه می‌توان سامانه‌های آبیاری تحت فشار را اجرا کرد. روش آبیاری موضعی (قطره‌ای) در مناطق دارای شیب بالای ۲۰ درصد مناسب‌ترین روش و در سایر مناطق، روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک بالاترین امتیاز را کسب کرد. با توجه به اولویت‌بندی سامانه‌ها در منطقه مورد مطالعه، سامانه کلاسیک نیمه‌متحرک، سامانه لوله چرخدار، سامانه عقربه‌ای، سامانه خطی، سامانه کلاسیک ثابت، سامانه اراهه‌ای و سامانه آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفت. Ramzi et al. (2014) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و با هدف تعیین مناطق مستعد آبیاری قطره‌ای در استان خراسان جنوبی، پژوهشی انجام دادند. در این تحقیق با توجه به شرایط اقلیمی، کیفیت منابع آب زیرزمینی، مشخصات خاک مناطق مذکور و وضعیت توپوگرافی، امکان اجرای روش آبیاری قطره‌ای ارزیابی شده است. بدین‌منظور همه پارامترهای مؤثر بر آبیاری قطره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS پهنه‌بندی و کلاس‌بندی شده و توسط روش میانگین حسابی در AHP به یک نقشه تبدیل شدند که در واقع نقشه نهایی برای مکان‌یابی روش آبیاری قطره‌ای در استان بود. نتایج نشان داد که حدود ۵۰ درصد از اراضی استان خراسان جنوبی قابلیت اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای را دارد. در ۵۰ درصد باقیمانده نیز به استثنای ۹ دشت با اجرای تمهیداتی

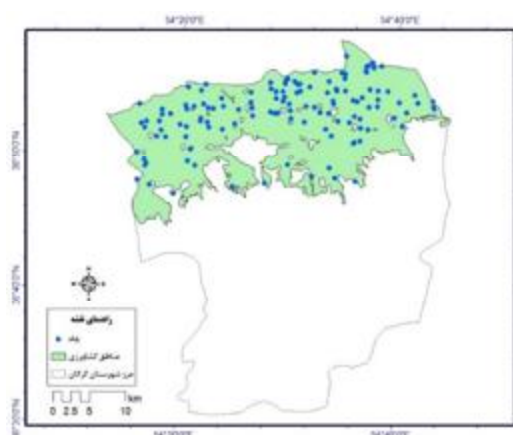
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

شهرستان گرگان در بخش جنوب غربی استان گلستان قرار دارد. این شهرستان با مساحت ۱۶۱۵/۲ کیلومتر مربع از شمال به شهرستان‌های آق‌قلا و ترکمن، از جنوب به استان سمنان، از شرق به شهرستان علی‌آباد و از غرب به شهرستان کردکوی محدود می‌شود. براساس آخرین تقسیمات اداری و کشوری این شهرستان دارای دو بخش (مرکزی و بهاران)، چهار شهر (گرگان، سرخنگلاته، جلین و قرق)، پنج دهستان و ۹۸ روستا است. شکل ۱ موقعیت شهرستان گرگان در ایران و استان گلستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت شهرستان گرگان



شکل ۲- بخش کشاورزی اراضی مورد مطالعه

تحلیل سلسله‌مراتبی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یا به اختصار AHP، یکی از روش‌های ارزیابی چندمعیاره و یکی از جامع‌ترین آن‌ها است (Jiajin, 1997). این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسه زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هریک از معیارها پرداخته می‌شود. این تکنیک برای وزن‌دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پس از تشکیل درخت سلسله‌مراتبی و طراحی پرسشنامه‌ها، معیارها و زیرمعیارها باید به صورت زوجی با همدیگر مقایسه شوند. در این روش کارشناسان خبره قضاوت‌های مقایسه زوجی ساده‌ای را از طریق سلسله‌مراتب ایجاد شده تا رسیدن به اولویت‌هایی برای همه گزینه‌ها انجام می‌دهند. مقایسه‌های زوجی در قالب

محدوده مورد مطالعه بخش کشاورزی شهرستان گرگان است. به دلیل اینکه مناطق کشاورزی در جنوب شهرستان فاقد آزمایش‌های آب و خاک بود، برای افزایش دقت در انجام پژوهش و تحلیل‌ها، بخش جنوبی حذف شده و پژوهش حاضر در مناطق کشاورزی شمال شهرستان به مساحت ۵۲۹۳۴ هکتار انجام شد. در شکل ۲ بخش تحت مطالعه در شهرستان گرگان که از لایه کاربری اراضی استان تهیه شده، ارائه شده است.

جمع‌آوری داده‌ها

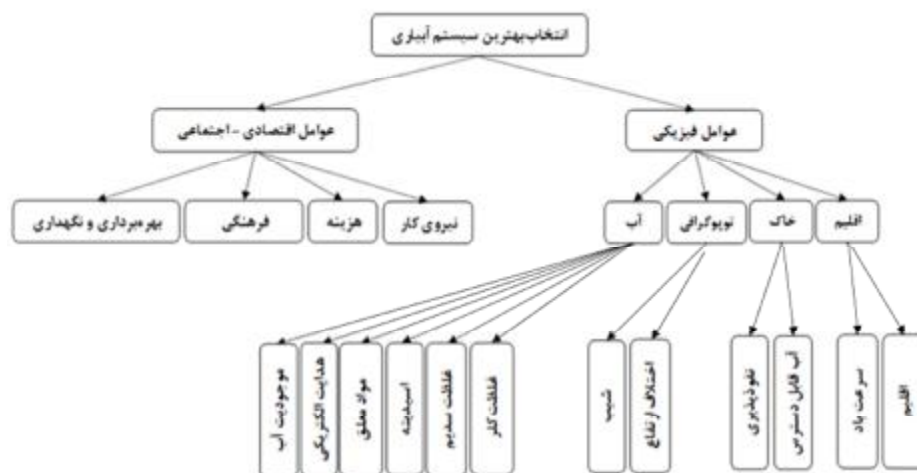
برای بررسی کیفیت آب و خاک، نتایج آزمایش‌های مربوط به ۱۳۰ نمونه از آب چاه و خاک مزارع شهرستان که از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان گرگان جمع‌آوری

یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین ضریب و اهمیت معیارها و زیرمعیارها است؛ اما برخلاف همهٔ کوشش‌ها و تلاش‌ها، غالباً احساسات مردم ناهماهنگ و متعدد بوده و احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد، پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داورها را نمایان سازد. راهکاری که Saaty (1980) برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبهٔ ضریبی به نام ضریب سازگاری است. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی با $0/1$ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و در غیر این صورت در مقایسه‌ها باید تجدیدنظر شود (Zebardast, 2002). برای تحلیل پرسشنامه‌ها و مقایسهٔ شاخص‌ها و درنهایت تعیین ضرایب و اهمیت معیارها در این پژوهش از نرم‌افزار Expert choice استفاده شده است. شکل ۳ درخت سلسله‌مراتبی در ارتباط با انتخاب بهترین سامانهٔ آبیاری را نشان می‌دهد.

ماتریس‌های مقایسه زوجی و براساس ۹ درجهٔ ساعتی صورت می‌گیرد (جدول ۱). در این پژوهش برای هر سامانهٔ آبیاری، پرسشنامهٔ به‌خصوص تهیه و توسط استادان دانشگاه و طراحان سامانه‌های آبیاری تحت فشار تکمیل شده است. پس از تحلیل پرسشنامه‌ها با بررسی ضریب ناسازگاری، پرسشنامه‌های غیرقابل قبول حذف و بقیهٔ پرسشنامه‌ها برای ادامه کار استفاده شد.

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسهٔ زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر 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
۸، ۶، ۴، ۲	ترجیحات بین فواصل فوق



شکل ۳- درخت سلسله‌مراتبی

مردودشناختن سامانهٔ آبیاری مربوط در پروژهٔ مورد بررسی است. دامنهٔ وسیعی از وضعیت تأثیر هر پارامتر در انتخاب روش‌های آبیاری مناسب (به‌خصوص سامانه‌های آبیاری بارانی) در نظر گرفته شده‌است و کارشناس طراح می‌تواند تا حد امکان درجهٔ دقت خود را بالا ببرد. به عبارت دیگر ارقام یا امتیازات مثبت و منفی که خنثی‌کنندهٔ یکدیگر هستند، دارای وزن بوده و در واقع شدت اثر هر پارامتر (مثبت یا منفی) در نظر گرفته شده است. برای مثال اراضی

انتخاب روش مناسب آبیاری تحت فشار براساس امتیازدهی هر کدام از عوامل بوده که در دامنهٔ $(+3)$ تا (-3) است. میزان تأثیر عوامل مختلف با استفاده از ارقام $(+3)$ تا (-3) به ترتیب نشان‌دهندهٔ اثر بسیار مطلوب، اثر خوب، اثر مثبت معمولی، عوامل غیرمؤثر در انتخاب سامانه، اثر منفی، اثر منفی در حد احتراز در انتخاب سامانه و اثر منفی شدید در حد عدم توصیهٔ سامانهٔ آبیاری است. علامت $(*)$ نیز به معنی اثر منفی در حد

که توزیع نرمال ندارند، از تابع لگاریتمی استفاده شده است. پس از آن داده‌ها به روش کریجینگ (گوسی) درون‌یابی شدند. پس از تهیه همه لایه‌ها به شکل رستری، از طریق ابزار Reclassify امتیازبندی لایه‌ها (جدول ۱ تا ۸) برای هریک از روش‌های آبیاری به‌صورت جداگانه انجام شد. درنهایت از طریق ابزار RasterCalculator با ضرب کردن وزن‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار ExpertChoice برای هر پارامتر در امتیازات هر زیرمعیار، امتیاز نهایی زیرمعیار محاسبه شده است. امتیاز کل برای هریک از روش‌های آبیاری به‌صورت جداگانه و از طریق جمع جبری امتیازات نهایی زیرمعیارها به‌دست آمد.

دارای نفوذپذیری خیلی زیاد برای آبیاری ثقلی بسیار نامناسب بوده و در چنین زمین‌هایی استفاده از سامانه‌های آبیاری قابل‌توجه و مورد تأکید است؛ علاوه‌براین، در مواردی نظیر نفوذپذیری کمتر از ۴ میلی‌متر در ساعت که کاربرد آبیاری بارانی عملی نبوده و قابل‌قبول نیست علامت (*) در جدول مربوط وارد شده و انتخاب سامانه آبیاری مربوط را مردود می‌کند. جدول ۲ شرایط حذف یک سامانه آبیاری و جدول ۳ تا ۸ امتیازات مربوط به هر پارامتر در ارتباط با روش‌های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد (Alizadeh, 2011).

بعد از فراخوانی داده‌ها در محیط ArcMap، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها بررسی شد. برای نرمال کردن داده‌هایی

جدول ۲- شرایط حذف یک سامانه آبیاری تحت فشار

ردیف	پارامتر	موضعی	بارانی	کم فشار
۱	شیب بیشتر از ۱۰ درصد (توپوگرافی)	-	-	*
۲	شیب بیشتر از ۳۰ درصد (توپوگرافی)	-	*	*
۳	آب قابل‌دسترس ۶۰ - ۳۰ میلی‌متر بر متر (خاک)	-	-	*
۴	EC بین ۴۰۰۰ - ۳۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر (آب)	*	-	-
۵	EC بیشتر از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر (آب)	*	*	-
۶	نبود نیروی ماهر و متخصص (وضعیت نیروی کار)	-	*	-
۷	منطقه دورافتاده و محروم (بهره‌برداری و نگهداری)	-	*	-
۸	نفوذپذیری ۵/۲ - ۱ میلی‌متر بر ساعت	-	*	*
۹	نفوذپذیری ۴ - ۵/۲ میلی‌متر بر ساعت	-	*	-
۱۰	نفوذپذیری بیشتر از ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت	-	-	*

جدول ۳- امتیازدهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با عوامل باد و دمای هوا

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم فشار
۱	سرعت باد بسیار زیاد (۳۲-۲۴ km/h)	-۱	-۳	-۲
۲	سرعت باد زیاد (۱۶-۲۴ km/h)	-۱	-۳	-۱
۳	سرعت باد ملایم (۶/۴-۱۶ km/h)	۰	-۲	۰
۴	سرعت کم (۶/۴-۰ km/h)	۰	۰	۰
۵	منطقه معتدل و سرد	۰	۰	۰
۶	منطقه گرمسیر	-۱	-۲	-۱

جدول ۴- امتیاز دهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با کیفیت و کمیت آب آبیاری

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم فشار
۱	غلظت مواد کمتر از ۵۰۰ ppm	۰	۰	۰
۲	غلظت مواد بین ۵۰۰-۱۰۰۰ ppm	-۱	۰	۰
۳	غلظت مواد بیشتر از ۱۰۰۰ ppm	-۲	-۱	۰
۴	PH کمتر از ۷	+۱	۰	-۱
۵	PH بین ۷-۸	-۱	۰	۰
۶	PH بیشتر از ۸	-۲	-۱	-۱

ادامه جدول ۵- امتیاز دهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با کیفیت و کمیت آب آبیاری

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم فشار
۷	EC کمتر از ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	+۳	+۳	+۳
۸	EC بین ۱۰۰۰-۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	+۲	+۲	+۲
۹	EC بین ۲۰۰۰-۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	-۳	-۲	+۱
۱۰	EC بین ۳۰۰۰-۳۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	-۳	-۲	-۱
۱۱	EC بین ۳۵۰۰-۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	-۳	-۳	-۲
۱۲	EC بیشتر از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر	*	*	-۳
۱۳	غلظت سدیم کمتر از ۳ میلی اکوی والان بر لیتر	.	.	.
۱۴	غلظت سدیم بیشتر از ۳ میلی اکوی والان بر لیتر	-۲	-۲	-۱
۱۵	غلظت کلرور کمتر از ۳ میلی اکوی والان بر لیتر	.	.	.
۱۶	غلظت کلرور بیشتر از ۳ میلی اکوی والان بر لیتر	-۲	-۲	-۱
۱۷	مواد بیولوژیک و باکتری‌ها کمتر از ۱۰۰۰۰ عدد در میلی‌لیتر	-۱	.	.
۱۸	مواد بیولوژیک و باکتری‌ها بین ۱۰۰۰۰-۵۰۰۰۰ عدد در میلی‌لیتر	-۲	-۱	+۱
۱۹	مواد بیولوژیک و باکتری‌ها بیشتر از ۵۰۰۰۰ عدد در میلی‌لیتر	-۳	-۲	+۲
۲۰	وسعت اراضی قابل آبیاری در محدوده طرح کمتر از وسعت اراضی بر مبنای هیدرومدول ۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار	.	.	.
۲۱	وسعت اراضی قابل آبیاری در محدوده طرح مساوی وسعت اراضی بر مبنای هیدرومدول ۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار	.	.	.
۲۲	وسعت اراضی قابل آبیاری در محدوده طرح بیشتر از وسعت اراضی بر مبنای هیدرومدول ۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار	+۳	+۲	-۲

جدول ۶- امتیاز دهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با هزینه آن‌ها و وضعیت نیروی انسانی

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم فشار
۱	امتیاز دهی از نظر هزینه (ثابت و جاری)	-۳	-۲	.
۲	نیروی ماهر و متخصص در منطقه وجود ندارد	-۳	*	-۱
۳	نیروی ماهر و متخصص در منطقه وجود دارد یا تأمین می‌شود	+۳	+۳	+۳
۴	نیروی نیمه‌ماهر و کارگری در منطقه وجود ندارد	-۲	-۳	-۱
۵	نیروی نیمه‌ماهر و کارگری در منطقه وجود دارد	+۳	+۲	+۳

جدول ۷- امتیاز به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با امکانات بهره‌برداری و نگهداری و عوامل فرهنگی

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم فشار
۱	منطقه مورد نظر دور افتاده و محروم است	-۳	*	.
۲	منطقه طرح قابل دسترسی و دارای امکانات است	+۳	+۳	+۳
۳	خدمات تعمیرات و لوازم یدکی قابل تأمین است	+۲	+۲	+۳
۴	خدمات تعمیرات و لوازم یدکی محدودیت دارد	-۲	-۳	.
۵	سابقه آبیاری تحت فشار و زمینه‌های فرهنگی مساعد وجود ندارد	-۳	*	+۲
۶	سابقه آبیاری تحت فشار وجود ندارد، اما زمینه‌های فرهنگی مساعد است	-۱	-۱	+۲
۷	سابقه آبیاری تحت فشار وجود دارد و زمینه‌های فرهنگی نیز مساعد است	+۲	+۱	+۲
۸	در حال حاضر در منطقه، آبیاری تحت فشار وجود دارد	+۳	+۲	.

جدول ۸- امتیازدهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با عوامل مربوط به خاک

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم‌فشار
۱	نفوذپذیری ۱-۲/۵ میلی‌متر بر ساعت	-۳	*	*
۲	نفوذپذیری ۲/۵-۴۰ میلی‌متر بر ساعت	-۱	*	+۱
۳	نفوذپذیری ۴۰-۵۰ میلی‌متر بر ساعت	+۲	+۲	+۲
۴	نفوذپذیری ۵۰-۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت	+۲	+۲	-۲
۵	نفوذپذیری بیشتر از ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت	+۳	+۲	*
۶	آب قابل‌دسترس ۳۰-۶۰ میلی‌متر بر متر	+۳	+۲	*
۷	آب قابل‌دسترس ۶۰-۱۰۰ میلی‌متر بر متر	+۳	+۳	-۲
۸	آب قابل‌دسترس ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر بر متر	+۲	+۲	+۱
۹	آب قابل‌دسترس ۱۵۰-۲۱۰ میلی‌متر بر متر	+۲	+۲	-۲

جدول ۹- امتیازدهی به روش‌های مختلف آبیاری در ارتباط با شیب و ناهمواری

ردیف	پارامتر جزئی	موضعی	بارانی	کم‌فشار
۱	شیب کمتر از ۲ درصد	+۳	+۳	+۲
۲	شیب ۲-۴ درصد	+۲	+۲	+۱
۳	شیب ۴-۱۰ درصد	+۱	+۱	-۳
۴	شیب ۱۰-۲۰ درصد	-۳	-۳	*
۵	شیب بیشتر از ۲۰ درصد	-۳	*	*
۶	ناهمواری کمتر از ۵ متر	+۱	۰	+۱
۷	ناهمواری بین ۵-۲۰ متر	+۳	+۱	+۳
۸	ناهمواری بین ۲۰-۴۰ متر	+۱	+۲	۰
۹	ناهمواری بین ۴۰-۶۰ متر	-۱	+۳	۰
۱۰	ناهمواری بیشتر از ۶۰ متر	-۲	+۲	۰

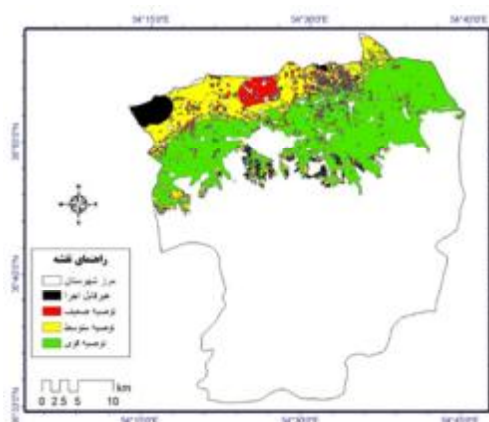
نتایج و بحث

نواحی مناسب اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش، سطوح و درصد مناطق مناسب هریک از سامانه‌های آبیاری در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- سطوح قابل‌اجرا سامانه‌های آبیاری تحت فشار

روش آبیاری	مساحت قابل‌اجرا	درصد از اراضی کشاورزی
بارانی	۴۷۹۲۶/۵	۹۰/۶
موضعی	۵۲۹۳۴	۱۰۰
کم‌فشار	۴۱۸۵۲/۱	۷۹/۱



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی اراضی مناسب برای اجرای آبیاری بارانی در شهرستان گرگان

جزئیات پهنه‌بندی این روش در جدول ۱۰ بیان می‌کند که بیشترین پهنه به میزان ۳۱۲۸۲ هکتار و معادل ۵۹/۱ درصد از اراضی مربوط به توصیه قوی است. ۴۲۸۹ هکتار معادل ۸/۱ درصد از اراضی به‌دلیل اینکه در شاخص‌های

شکل ۴ مناطق مستعد اجرای سامانه آبیاری بارانی را نشان می‌دهد. شیب بیشتر از ۲۰ درصد و نفوذپذیری کمتر از ۴ میلی‌متر بر ساعت عواملی هستند که باعث حذف ۵۰۰۷ هکتار معادل ۹/۴ درصد از پهنه این روش آبیاری شدند.

جدول ۱۱- جزئیات پهنه‌بندی روش آبیاری موضعی

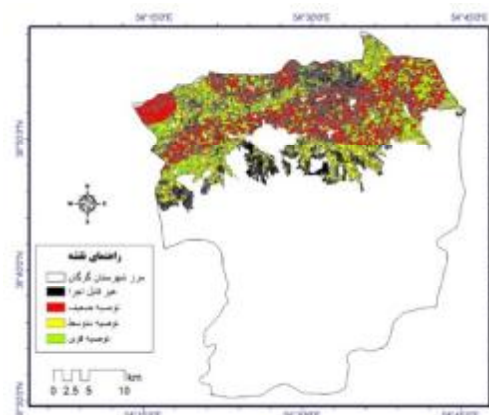
پهنه	مساحت (هکتار)	درصد از اراضی کشاورزی
توصیه ضعیف	۱۰۷۶۲	۲۰/۳
توصیه متوسط	۲۶۰۶۰	۴۹/۳
توصیه قوی	۱۶۱۱۰/۵	۳۰/۴

هدایت الکتریکی، سدیم، کلر، شیب و اقلیم دارای محدودیت‌های متوسط تا شدید است، نشان‌دهنده توصیه ضعیف، ۱۲۳۵۶ هکتار معادل ۲۳/۴ درصد نشان‌دهنده توصیه متوسط است.

جدول ۱۰- جزئیات پهنه‌بندی روش آبیاری بارانی

پهنه	مساحت (هکتار)	درصد از اراضی کشاورزی
غیرقابل اجرا	۵۰۰۷/۴	۹/۴
توصیه ضعیف	۴۲۸۸/۸	۸/۱
توصیه متوسط	۱۲۳۵۵/۵	۲۳/۴
توصیه قوی	۳۱۲۸۲/۲	۵۹/۱

شکل ۵ مناطق مستعد اجرای سامانه آبیاری موضعی را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، هیچ منطقه‌ای وجود ندارد که نتوان سیستم آبیاری موضعی را در آن اجرا کرد.



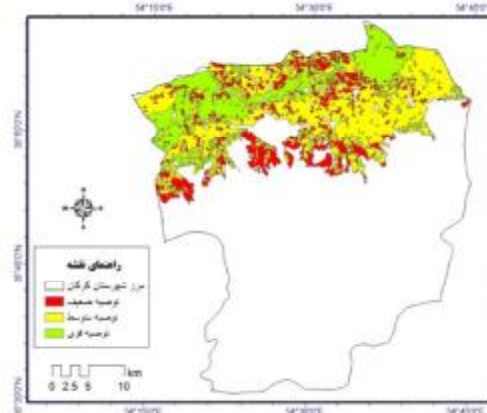
شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی اراضی مناسب برای اجرای سامانه آبیاری کم‌فشار در شهرستان گرگان

در نهایت، جزئیات پهنه‌بندی این روش به گونه ای است که، مناطق غیرقابل اجرا، ۱۱۰۷۷ هکتار (۲۰/۹ درصد از اراضی کشاورزی)، مناطق با توصیه ضعیف با بیشترین پهنه معادل ۱۷۴۱۸ هکتار (۳۲/۹ درصد اراضی کشاورزی)، مناطق با توصیه متوسط برابر ۱۰۹۱۱ هکتار (۲۰/۷ درصد اراضی) و مناطق با توسعه قوی، ۱۳۵۲۳ هکتار (۲۵/۵ درصد از اراضی کشاورزی) را شامل می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که از مجموع مناطق کشاورزی مورد مطالعه در شهرستان گرگان، ۹۰/۶ درصد از اراضی معادل ۴۷۹۲۶ هکتار، قابلیت اجرای سامانه آبیاری بارانی را دارد. همچنین محدودیتی برای اجرای سامانه آبیاری موضعی وجود نداشته و همه اراضی تحت مطالعه معادل ۵۲۹۳۴ هکتار برای اجرای سامانه آبیاری موضعی مناسب است و درنهایت ۷۹/۱ درصد از اراضی معادل ۴۱۸۵۲ هکتار برای اجرای سامانه آبیاری کم‌فشار مناسب است.

همچنین نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و نفوذپذیری کمتر از ۴ میلی‌متر بر ساعت برای آبیاری بارانی و شیب بیشتر از ۱۰ درصد برای



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی اراضی مناسب برای اجرای سامانه آبیاری موضعی در شهرستان گرگان

جزئیات پهنه‌بندی این روش در جدول ۱۱ بیان می‌کند که بیشترین پهنه معادل ۴۹/۳ درصد مربوط به توصیه متوسط است. ۱۰۷۵۷ هکتار معادل ۲۰/۳ درصد از اراضی، نشان‌دهنده توصیه ضعیف، ۲۶۰۵۵ هکتار معادل ۴۹/۳ درصد نشان‌دهنده توصیه متوسط و ۱۶۱۰۶ هکتار معادل ۳۰/۴ درصد از اراضی نشان‌دهنده توصیه قوی می‌باشد.

شکل ۶ مناطق مستعد اجرای سامانه آبیاری کم‌فشار را نشان می‌دهد. شیب بیشتر از ۱۰ درصد، عاملی است که به‌تنهایی باعث حذف ۲۰/۹ درصد از اراضی معادل ۱۱۰۷۷ هکتار از پهنه این روش آبیاری شد.

Assessment of spatial variations in groundwater quality of Agartala, Tripura for drinking employing GIS and MCDA techniques. Applications of Geomatics in Civil Engineering, 33: 273-288.

10. Poursamsam H. Akbari E. Akhond A. and boroomand nasab S. 2021. Locating Suitable Areas for Surface and Pressurized Irrigation Systems Using Hierarchical Analysis in Dez Plain. Iran Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences), 35(1): 47-59. (In Persian)
11. Ramzi R. Khashei-Siuki A. and Shahidi A. 2014. Determination of Suitable Zone of Drip Irrigation using Analytical Hierarchy Process Method in South Khorasan Province. JWSS-Isfahan University of Technology, 18(69): 227-236. (In Persian).
12. Saaty T. L. 1980. The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority, Resource Allocation, USA. RWS Publications, Pittsburgh.
13. Zebardast E. 2002. Application of Analytical Hierarchy process in urban and regional planning. Journal of Fine Arts, 10: 13-21. (In Persian).
14. Zi-long L. Yin-hui, L. Yong-fu W. and Zhong-xiao G. 2013. The optimal selection of irrigation systems based on the evidence theory. Applied Mechanics.

آبیاری کم‌فشار مهم‌ترین عواملی هستند که باعث می‌شود در برخی از مناطق سامانه‌های مذکور غیرقابل اجرا باشند. به دلیل اهمیت استفاده بهینه و حداکثری از منابع آبی محدود استان، حتی در مناطقی با پهنه‌بندی ضعیف می‌توان با انجام عملیات اصلاحی مانند آیشویی، اصلاح الگوی کشت، استفاده از سیستم تصفیه‌آب، استفاده از حوضچه رسوب‌گیر و... از سامانه‌های آبیاری استفاده کرد.

منابع

1. Ahmadi A. Hezarjaribi A. Ghorbani Kh. and Hesam M. 2019. Locating susceptible regions or implementation new irrigation systems (Localized irrigation, Sprinkler irrigation, Low pressure irrigation) by using Analytical Hierarchy Process (AHP) in GIS (Case study: North Khorasan province, Esfarayen). J. of Water and Soil Conservation, 25(5): 69-87. (In Persian).
2. Alizadeh A. 2011. Irrigation system design, Pressurized irrigation system design Vol (2). Imam Reza University press. (In Persian)
3. 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.
4. Azad Talatpe N., Rezaei Abagelu E. and Behmanesh J. 2019. Locating the Potential Areas for executing Surface and Pressurized Irrigation Systems Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method in Myandoab Plain. Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 41(4): 119-132. (In Persian).
5. Azizi Mobaser J. 2020. Exploring Land Suitability for Irrigation Systems in Ardabil Plain. Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 2(43): 107-121. (In Persian).
6. Barberis A. and Minelli S. 2005. Land evaluation in the Shauiyang county, Shanxi province, China. 25th Course Professional Master. Nov. 8-Jun. 23, IAO, Florence, Italy.
7. Farhadi Bansouleh B. Ahmadi S. and Mirzaei Takhtgahi H. 2018. Selection of the appropriate pressurized irrigation system using multi criteria evaluation (Case study: Jamishan irrigation network). Water and Irrigation Management, 7(1): 135-150. (In Persian).
8. Jiajin Y. H. 1997. An AHP decision model for facility location selection. Journal of the Facilities, 15: 32-41.
9. Mallik S. Soni Sh. and Mishra U. 2020.