

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۱۴۹-۱۳۵

# انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (مطالعه موردی: شبکه آبیاری جامیشان)

بهمن فرهادی بانسوله<sup>۱\*</sup>، شادی احمدی<sup>۲</sup>، حسین میرزایی تختگاهی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. دکتری، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۶

### چکیده

با توجه به تنوع سیستم‌های آبیاری تحت فشار، موضوع انتخاب مناسب‌ترین سیستم برای هر منطقه یکی از موضوعات مهم است. سیستم (های) مناسب را می‌توان با توجه به عوامل متعددی نظیر توپوگرافی، خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی، نوع محصول، کمیت و کیفیت منبع آب، کارگر مورد نیاز، مهارت کشاورزان، شرایط اقتصادی و زمینه‌های فرهنگی و اجتماعی در هر منطقه تعیین کرد. هدف از این تحقیق رتبه‌بندی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در سطح ۶۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه دینور واقع در شهرستان صحنه، استان کرمانشاه است. برای رتبه‌بندی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. فاکتورهای مؤثر بر انتخاب سیستم به دو دسته فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم و برای هر دسته، شاخص‌های مرتبط تعریف شد. امتیاز هر کدام از شاخص‌ها بین ۳- تا ۳+ مشخص شد. با توجه به تغییرات مکانی برخی عوامل، امتیاز هر شاخص برای هر بخش از منطقه و در محیط GIS تعیین شد. وزن شاخص‌ها بر اساس اهمیت آن و مطالعات پیشین تعیین شد. در نهایت، امتیاز کلی هر سیستم با مجموع وزنی شاخص‌ها تعیین گردید. تنها سیستم قابل استفاده برای مناطق با شیب بالای ۲۰ درصد، سیستم آبیاری موضعی است. برای مناطق با شیب کمتر از ۲۰ درصد سیستم کلاسیک نیمه‌متحرک بهترین سیستم و سیستم کلاسیک ثابت با آبیاز متحرک در اولویت دوم است.

**کلیدواژه‌ها:** آبیاری بارانی، آبیاری موضعی، تحلیل سلسله‌مراتبی، رتبه‌بندی، صحنه.

## مقدمه

کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب کشور است. متأسفانه، حجم وسیعی از آب مصرفی در این بخش در اثر شیوه‌های نادرست آبیاری هدر می‌رود (۱۱). با توجه به تنوع سیستم‌های آبیاری تحت فشار، انتخاب سیستم مناسب یکی از موضوعات مهم است. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار شرایط اقلیمی، توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی خاک، کمیت و کیفیت آب، نوع محصول، شرایط اقتصادی و اجتماعی منطقه و جزآن است. با توجه به تغییرات مکانی این پارامترها در سطح منطقه، ممکن است سیستم مناسب برای بخش‌های مختلف منطقه با هم متفاوت باشد. برای در نظر گرفتن این تغییرات می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> (GIS) کمک گرفت.

قره‌داغی و همکاران با استفاده از سامانه GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۲</sup> (AHP) سیستم مناسب آبیاری تحت فشار را در دشت باباخان استان کردستان، آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک تعیین کردند (۱۵). سیدان و قدمی فیروزآبادی با استفاده از برنامه‌ریزی توافقی بهترین سیستم آبیاری در شهرستان‌های بهار، نهاوند و همدان را کلاسیک ثابت و قطره‌ای، در شهرستان‌های رزن و کبودرآهنگ کلاسیک ثابت و آبغشان غلطان و در شهرستان‌های تویسرکان، اسدآباد و ملایر کلاسیک ثابت تعیین کردند (۹). نشاط و نیک‌پور (۱۳۹۰) طی پژوهشی در دشت کرمان، مناطق مستعد به‌منظور اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که از کل زمین‌های متناسب و قابل آبیاری دشت کرمان تنها حدود ۵ درصد برای آبیاری بارانی و ۲۵ درصد برای آبیاری قطره‌ای مناسب است (۱۸).

باربریز و مینلی اقدام به پهنه‌بندی مناسب برای هر دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای در منطقه شویانگ چین کردند. نتایج نشان داد که سطح مناسب برای اجرای سامانه آبیاری سطحی (۳۴ درصد) کمتر از سطح مورد استفاده برای سیستم قطره‌ای (۶۲ درصد) است (۲۱). حجازی جهرمی و همکاران با استفاده از مدل‌های زمین‌آمار در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، اقدام به پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی در دشت‌های جنوبی استان فارس کردند و روند تغییرات را با توجه به طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی و آبیاری مشخص کردند. نتایج نشان داد که دشت‌های لار، لامرد، خنج و مهر در شرایط بحرانی قرارداد و استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار در این مناطق به اعمال تدابیر مدیریتی نیاز دارد (۵).

قائم‌زاده و اخوان با استفاده از توابع تحلیلی سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان اجرای سامانه‌های تحت فشار (بارانی و قطره‌ای)، در دشت‌های استان همدان را، با توجه به کیفیت آب زیرزمینی، بررسی کردند و نتیجه گرفتند که از نظر کیفیت آب دشت‌های نهاوند و تویسرکان مناسب‌ترین شرایط را دارد و بیشترین محدودیت از نظر کیفیت آب در دشت‌های شمالی و مرکزی استان (دشت‌های کبودرآهنگ، رزن- قهاوند و همدان- بهار) است (۱۳).

صدیق‌کیا و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انواع سیستم‌های آبیاری در منطقه دورود را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که در حالت کشت زراعی از بین سیستم‌های آبیاری فارو (شیاری)، بارانی و قطره‌ای استفاده از سیستم بارانی در اولویت قرارداد. همچنین، در بین روش‌های آبیاری بارانی مرسوم استفاده از سیستم لنینر و ستیریوت به‌ترتیب در اولویت قرارداد (۱۰). بر اساس نتایج مطالعه میرزایی تختگاهی، حدود ۷۵ درصد از مناطق مرکزی استان کرمانشاه برای اجرای

1. Geographic Information System  
2. Analytical Hierarchy Process

سیستم‌های آبیاری تحت فشار بدون محدودیت، ۲۰ درصد با محدودیت متوسط و ۵ درصد غیرقابل استفاده است (۱۷). بر اساس نتایج این مطالعه بیشتر مناطق مرکزی منطقه دینور، شیب کمتر از ۲ درصد دارد و از نظر اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار محدودیتی ندارد. البته بخش‌هایی از شمال و جنوب منطقه شیب بیش از ۳۰ درصد دارد و برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار مناسب نیست.

رمزی و همکاران با استفاده از سامانه GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پتانسیل آبیاری قطره‌ای در استان خراسان جنوبی را بررسی کردند و دریافتند که حدود ۵۰ درصد از اراضی استان قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای را دارد (۷). در تحقیق دیگری، مأم‌پوش و تفنگ‌ساز مکان‌یابی مناطق مستعد جهت اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار را به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی در دشت برخوار اصفهان انجام دادند. بر اساس مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی انجام شده در این دشت، از وسعت ۳۶۲,۱۰۰ هکتار کل منطقه، وسعتی بالغ بر ۱۷۰,۰۰۰ هکتار قابل آبیاری تشخیص داده شده است (۱۶). لی از روش AHP در تحلیل تجربی خصوصی‌سازی در توسعه شهری بهره گرفت (۲۲). یانگ نیز با استفاده از روش AHP و سنجش از دور در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیستمی را برای مدیریت کاربری زمین در شهر چانگشای چین ارائه کرد (۲۷). در تحقیق دیگری زیلونگ و همکاران برای انتخاب سیستم آبیاری بهینه در منطقه اوردوز چین از روش ارزیابی چند معیاره استفاده کردند و برای منطقه مورد مطالعه سیستم‌های آبیاری قرقه‌ای و آبیاری بارانی دوار مرکزی را سیستم‌های دارای اولویت اول و دوم تعیین کردند (۲۸).

منتظر و بهبهانی (۲۰۰۷) با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره AHP بهترین سیستم آبیاری را برای سه منطقه

تحت کشت گندم، چغندر قند و انگور به ترتیب آبیاری میکرو، نواری و فارو به دست آوردند (۲۴). دفتر بهبود توسعه روش‌های آبیاری در تحقیقی با عنوان «مطالعات امکان‌سنجی توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار» در استان کرمانشاه، از روش ارزیابی چند معیاره AHP برای اولویت‌بندی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در استان کرمانشاه استفاده کردند. با توجه به نتایج این مطالعه، سیستم آبیاری موضعی اولویت اول و سیستم‌های آبیاری بارانی ثابت، جابه‌جایی دستی و آبفشان قرقه‌ای اولویت دوم را در واحد هیدرولوژیکی دینور کسب کرد (۲).

عدم گزینش صحیح سیستم آبیاری مناسب در شبکه‌های آبیاری، به‌خصوص در سیستم‌های آبیاری تحت فشار که به تجهیزات خاصی نیاز دارد، موجب اتلاف وقت و هزینه و چه‌بسا غیراقتصادی شدن طرح و در نتیجه عدم بهره‌برداری بهینه و اتلاف منابع آب و خاک منطقه خواهد شد (۱۹).

یکی از سدهای استان کرمانشاه، سد جامیشان واقع در شهرستان صحنه است. قرار است در این منطقه از سیستم‌های آبیاری تحت فشار استفاده شود. هدف از مطالعه کنونی اولویت‌بندی سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای این منطقه است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در دهستان دینور استان کرمانشاه با مختصات ۳۴ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد (۴). در این مطالعه از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. برای این منظور شاخص‌های انتخاب سیستم مناسب تعیین، سپس با توجه به اطلاعات موجود مقدار این شاخص‌ها برای هر قسمت منطقه برآورد شد. با توجه به اینکه این شاخص‌ها

## بر آورد مقادیر شاخص‌ها

### الف) عوامل فیزیکی مزرعہ

## ۱. مشخصات اقلیمی

اقليم منطقه و سرعت باد در ارتفاع دو متری شاخص‌های اقليمي در نظر گرفته شد. بر اساس گزارش‌های موجود، منطقه مورد مطالعه در طبقه‌بندی‌های مختلف اقليمي جزء مناطق نیمه‌مرطوب قرارمی‌گیرد. متوسط بارندگی سالانه ۶۹۶/۸ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط تبخیر و تعرق سالانه ۱۷۲۴/۷ میلی‌متر و متوسط سرعت سالانه باد غالب در ارتفاع دو متری ۷/۵ کیلومتر بر ساعت گزارش شده است (۲). با توجه به اینکه سطح منطقه مورد مطالعه وسعت چندانی ندارد و ایستگاه هواشناسی در نقاط مختلف منطقه وجود نداشت، اقليم کل منطقه یکسان در نظر گرفته شد.

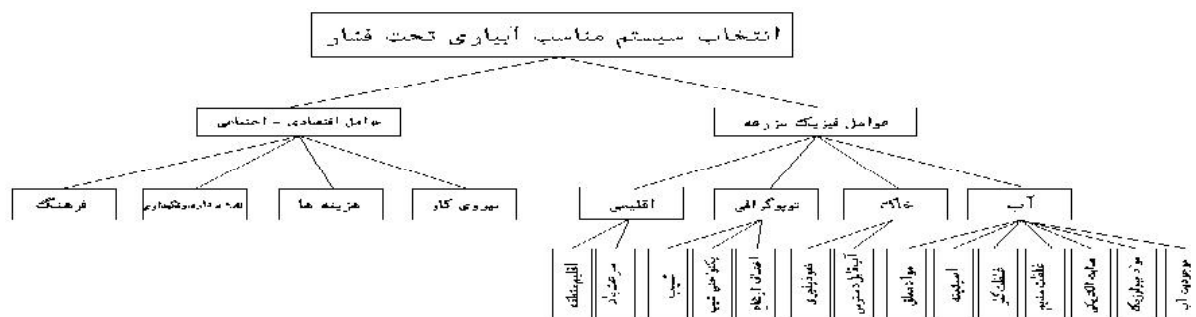
۲. آب

کیفیت آب یکی از شاخص های مؤثر در انتخاب نوع سیستم به خصوص در سیستم های آبیاری قطره ای است. به منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب نمونه ای از پایاب سد جامیشان در تابستان ۱۳۹۲ برداشت و آنالیز شد. خصوصیات شیمیایی آب در جدول ۱ ارائه شده است.

واحدهای مختلفی دارد، باید استاندارد (نرمالیزه) شود تا بتوان آن‌ها را با هم مقایسه کرد. مقادیر تمامی شاخص‌ها برای هر سیستم بعد از استانداردسازی عددی بین  $-3$  تا  $+3$  پیدا کرد. قدم بعدی، تعیین اهمیت یا وزن هر کدام از شاخص‌ها برای انتخاب سیستم آبیاری بود که با بررسی منابع و نظرخواهی از کارشناسان انجام گرفت. امتیاز نهایی هر سیستم، با در نظر گرفتن مقادیر استاندارد شده شاخص‌ها و وزن هر کدام از آن‌ها محاسبه شد. ترتیب اولویت سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای هر منطقه با توجه به امتیازات محاسبه شده برای هر سیستم در نظر گرفته شد.

## انتخاب شاخص‌ها

انتخاب مناسب سیستم‌های آبیاری تحت فشار وابسته به عوامل و پارامترهای متعددی است که نخست باید شاخص‌های مربوط به این عوامل ارائه شود. با توجه به اینکه در این مطالعه از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است، باید درخت تصمیم ارائه می‌شد (۶). با توجه به مطالعات قبلی (۱، ۶، ۷، ۸، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۱ و ۲۶)، درخت سلسله‌مراتبی انتخاب بهترین سیستم آبیاری تحت فشار مطابق شکل ۱ ارائه شده است. پارامترهای تأثیرگذار در این فرایند در دو دسته فیزیک مزرعه و اقتصادی-اجتماعی قرار می‌گیرد.



شکل ۱. ساختار درخت سلسله مراتبی انتخاب بهترین سیستم آبیاری تحت فشار

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی آب سد جامیشان در سال ۱۳۹۲

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| طیفه بندی                               | C2-S1 |
| نسبت جذب سلیم                           | ۰/۵۵  |
| سدیم                                    | ۰/۸۷  |
| کلسیم + منیزیم                          | ۵/۱   |
| کلر                                     | ۰/۴۹  |
| بی کربنات                               | ۳/۹   |
| کربنات                                  | ۰/۷   |
| اسیدیته                                 | ۷/۸   |
| مواد معلق جامد<br>(میلی گرم بر لیتر)    | ۱۶۰   |
| مجموع املاح محلول<br>(میلی گرم بر لیتر) | ۲۳۶   |
| هدایت الکتریکی<br>(دسی زیمنس بر متر)    | ۰/۳۶۹ |

تحت فشار است. به منظور تهیه اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق، از نتایج آزمایش های خاک کشاورزان متقاضی سیستم های آبیاری تحت فشار در چند سال گذشته استفاده شد. اطلاعات ۲۲ مزرعه در ۲۲ روستا به عنوان نماینده از نقاط مختلف دشت و محدوده اطراف آن در دسترس محققان قرار گرفت و از آن استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده، میزان هدایت الکتریکی تمامی نمونه ها کمتر از ۱ میلی موس بر سانتی متر است. این خاک ها جزء خاک های غیر شور محسوب می شود. با توجه به این اطلاعات نقشه های نفوذ پذیری خاک و مقدار آب در دسترس برای کل منطقه با استفاده از روش های میان یابی در محیط GIS تهیه و سپس مطابق با راهنمای ارائه شده در منابع (۳) و (۴) طبقه بندی شد.

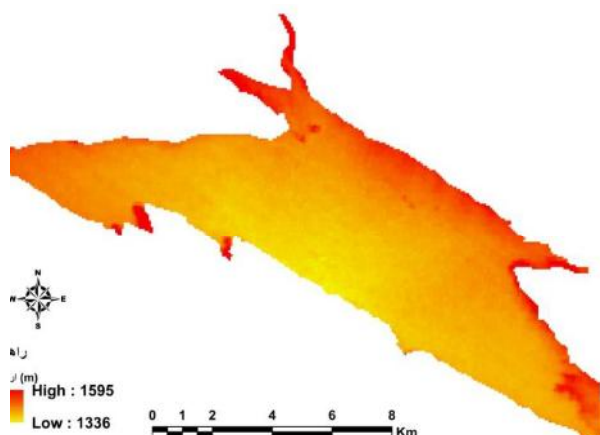
#### ۴. توپوگرافی

شیب، یکنواختی شیب و میزان اختلاف ارتفاع منبع آب تا سطح زمین شاخص های توپوگرافی تأثیر گذار در تعیین نوع سیستم در نظر گرفته شد. شیب منطقه با استفاده از نقشه رقوم ارتفاعی بر مبنای درصد تهیه شد. اکثر اراضی منطقه شیب کم (صفر تا ۲ درصد) دارد (۳) که از لحاظ یکنواختی شیب جزء شیب های کاملاً یکنواخت محسوب می شود. در شکل ۲ و ۳ نقشه شیب اراضی و نقشه رقوم ارتفاعی منطقه آورده شده است.

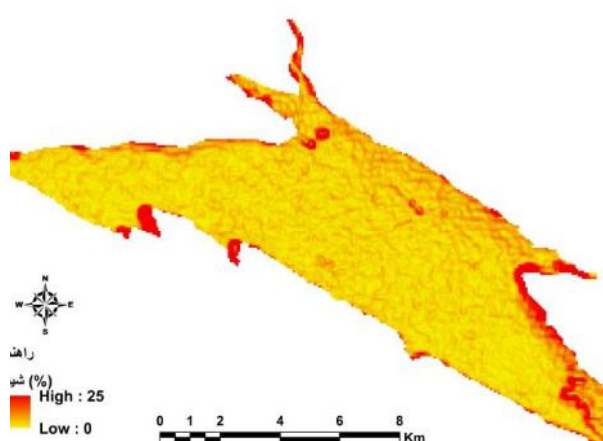
کیفیت آب از لحاظ مجموع املاح محلول، اسیدیته، سدیم و کلر فاقد محدودیت و از لحاظ مقدار بی کربنات دارای محدودیت کم تا متوسط است. با توجه به کیفیت آب خروجی از سد مخزنی، شوری در درازمدت از ۰/۵۹ تا ۱/۴۹ دسی زیمنس بر متر متغیر بود که بر اساس جدول تعیین کیفیت آب آبیاری در محدوده بدون محدودیت تا محدودیت کم تا متوسط ارزیابی می شود. همچنین، با توجه به نسبت جذب سدیم و کیفیت آب خروجی سد در دوره بهره برداری درازمدت (۰/۵۹ تا ۱/۴۹ دسی زیمنس بر متر) به لحاظ نفوذ پذیری فاقد محدودیت است (۴). با توجه به اینکه قرار است آب خروجی از سد تا ابتدای سیستم های آبیاری تحت فشار با کانال بتنی منتقل شود، کیفیت آب در کل منطقه یکسان و برابر با کیفیت آب خروجی از سد در نظر گرفته شد. همچنین، به دلیل عدم دسترسی به داده های بیولوژیکی، این پارامتر لحاظ نشد. در این مطالعه فرض شده است که از نظر کمیت آب، برای اجرای سیستم های آبیاری تحت فشار با هیدرومُدول تا ۱ لیتر در ثانیه در هکتار محدودیتی وجود ندارد. بنابراین، کمیت آب شاخص نبوده است.

#### ۳. خاک

خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل نفوذ پذیری و مقدار آب در دسترس از عوامل تأثیر گذار در انتخاب سیستم آبیاری



شکل ۳. نقشه رقومی ارتفاع (متر)



شکل ۲. شیب اراضی (درصد)

آن است. اگر فناوری سابقه قبلی داشته باشد، موفقیت آن بیشتر است. بر اساس آمارهای سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، از سال ۱۳۷۰ لغایت ۱۳۹۰ مساحت ۲۵۸۲ هکتار از اراضی شهرستان صحنه تحت پوشش سیستم‌های آبیاری تحت فشار قرار گرفته است که نشان‌دهنده وجود سابقه قبلی و زمینه‌های فرهنگی مساعد در منطقه است.

## ب) عوامل اقتصادی-اجتماعی

به دلیل دردسترس نبودن اطلاعات مکانی برای شاخص‌های مربوط به عوامل اقتصادی-اجتماعی و کوچک بودن منطقه مورد مطالعه، مقدار این شاخص‌ها برای کل منطقه یکسان در نظر گرفته شد.

### ۱) نیروی کار

بر اساس آمار مرکز آمار ایران، در سال ۱۳۹۰ از بین ۴۳,۹۴۵ نفر جمعیت بالای ۱۵ سال نقاط روستایی شهرستان صحنه، تعداد ۲۹,۸۴۰ نفر باسواد بودند. همچنین، از بین ۱۲۰,۰۰۰ نفر جمعیت بالای ۱۵ سال شهرستان صحنه، تعداد ۹۰,۳۰۲ نفر باسواد وجود دارد که ۳۶۰۱ نفر دانش‌آموخته دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی بودند. از این تعداد ۱۵۷ نفر دانش‌آموخته در رشته‌های مهندسی، تولید و ساخت و ۱۴۵ نفر دانش‌آموخته در رشته‌های کشاورزی و دامپزشکی بودند که این نشان‌دهنده وجود نیروی متخصص و ماهر در منطقه است.

### ۲) فرهنگ

فناوری‌های جدید نیازمند به فرهنگ‌سازی جهت استفاده از

### ۳) امکانات بهره‌برداری و نگهداری

بر اساس بازدید صورت گرفته از محل در سال ۱۳۹۲، منطقه مورد مطالعه دردسترس و دارای امکانات لازم جهت بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌ها بود و جزء مناطق دورافتاده و محروم نیست.

### ۴) هزینه‌ها

هزینه اولیه و هزینه‌های دوران بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های آبیاری از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در انتخاب سیستم آبیاری است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در روش آبیاری قطره‌ای بیش از روش‌های آبیاری بارانی است. در بین روش‌های آبیاری بارانی نیز روش آبیاری کلاسیک ثابت دارای بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری است. در این

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

مطالعه، به علت در دسترس نبودن اطلاعات محلی در مقایسه سیستم های آبیاری از نظر هزینه ای از منبع (۱۲) استفاده شد.

ممکن است سیستم آبیاری مورد نظر را از گزینش خارج کند. در مرحله امتیازدهی، امتیاز ۱۰۰۰- برای این پارامترها در نظر گرفته شده است.

### استاندارد کردن مقادیر شاخص ها

برای مقایسه این شاخص ها نیاز به استاندارد سازی است. برای این منظور از روش امتیازدهی استفاده شده است. نحوه امتیازدهی به پارامترهای تأثیرگذار بر اساس جداول علیراده است (۱۲). با توجه به این روش، محدوده های تأثیرگذار هر یک از عوامل بر سیستم های آبیاری مشخص و سپس تقسیم بندی هایی صورت گرفت. در نهایت، به هر دسته و هر کدام از سیستم های آبیاری امتیازی داده شد. میزان تأثیر عوامل مختلف با استفاده از ارقام صحیح ۳+ تا ۳- در هفت درجه امتیازگذاری شد. عدد صحیح ۳+ بیانگر اثر بسیار مطلوب و اعداد ۲+ و ۱+ به ترتیب نشان دهنده اثر خوب و اثر مثبت است. عدد صفر بیانگر غیر مؤثر بودن آن عامل است. اعداد صحیح ۱- و ۲- و ۳- به ترتیب نشان دهنده آثار منفی آن پارامتر در انتخاب سیستم آبیاری در حد مختصر، در حد احتراز و در حد عدم توصیه است. سیستم های آبیاری در شرایط و محدوده خاصی امکان اجرا دارد و در صورتی که شرایط طرح خارج از محدوده برخی از پارامترهای تعیین کننده قرارگیرد، آن عامل به تنهایی

### تعیین ضریب اهمیت معیار و زیرمعیارها

اهمیت تمام شاخص ها در انتخاب سیستم آبیاری به یک اندازه نیست. فرایند تحلیل سلسله مراتبی رویکردی مؤثر در تعیین وزن و اهمیت نسبی معیارهاست (۱۴). نوروزی به نقل از منتظر و بهبهانی (۲۰۰۷)، برای هر یک از پارامترهای مؤثر در انتخاب یک گزینه برای سیستم آبیاری، وزنی را در نظر گرفت. وی سپس از مجموع وزن های به دست آمده برای رتبه بندی گزینه های مختلف برای سیستم آبیاری استفاده کرد (۲۴). در این مرحله برای تعیین اهمیت معیارها و زیرمعیارها مقایسه هایی را انجام داد تا امتیاز آن ها نسبت به یکدیگر تعیین شود. مبنای قضاوت در این امر مقایسه ای، جدول نه کمیته ساعتی است (۲۵) که براساس آن و با توجه به هدف بررسی، شدت برتری معیار  $i$  نسبت به معیار  $j$ ،  $aij$  تعیین می شود. روش AHP را در سال ۱۹۸۰ ساعتی مطرح کرد و ساعتی و واگر در سال ۲۰۰۱ آن را توسعه دادند (۱). جدول ۲ نشان دهنده مقیاس نه کمیته ساعتی است.

جدول ۲. مقیاس نه کمیته ساعتی برای مقایسه زوجی معیارها (۱۴ و ۱۵)

| ردیف | ترجیحات (قضاوت شفاهی) | امتیاز     |
|------|-----------------------|------------|
| ۱    | اهمیت مساوی           | ۱          |
| ۲    | اهمیت اندکی بیشتر     | ۳          |
| ۳    | اهمیت بیشتر           | ۵          |
| ۴    | اهمیت خیلی بیشتر      | ۷          |
| ۵    | اهمیت مطلق            | ۹          |
| ۶    | ترجیحات بین فواصل فوق | ۲، ۴، ۶، ۸ |

### مدیریت آب و آبیاری

## بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده در تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. به عبارت دیگر، در تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها، چقدر سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است؟ وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد (۲۳)؛ یعنی، اگر  $A_i$  از  $A_j$  و  $A_j$  از  $A_k$  مهم‌تر باشد، قاعدتاً باید  $A_i$  از  $A_k$  مهم‌تر باشد. سازوکار که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب سازگاری است (۲۵) (معادله ۱).

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (1)$$

در این معادله،  $C.R$  ضریب سازگاری،  $C.I$  شاخص سازگاری و  $R.I$  شاخص تصادفی بودن است. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (۲۵). به عبارت دیگر، ماتریس مقایسه زوجی معیارها باید مجدداً تشکیل شود (معادله ۲).

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

در این معادله،  $\lambda_{\max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه و  $n$  تعداد معیارهاست. شاخص تصادفی بودن با توجه به  $n$  از جدول ۳ قابل استخراج است.

برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها چهار روش عمده مطرح است: ۱. حداقل مربعات، ۲. حداقل مربعات لگاریتمی، ۳. بردار ویژه، و ۴. روش‌های تقریبی (۲۵). روش بردار ویژه بیشتر استفاده می‌شود، اما اگر ماتریس مقایسه‌ها ابعاد بزرگ‌تری داشته باشد، محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه طولانی خواهد بود، مگر اینکه از نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای حل آن کمک گرفته شود. به همین دلیل، مقیاس ساعتی چهار روش تقریبی ارائه کرده است: ۱. مجموع سطری، ۲. مجموع ستونی، ۳. میانگین حسابی، و ۴. میانگین هندسی.

در این تحقیق، با توجه به پیشنهاد اکزل و ساعتی، روش میانگین هندسی، به دلیل دقت بیشتر آن، استفاده شده است (۲۰). در این روش، برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها، نخست میانگین هندسی ردیف‌های ماتریس مقایسه‌ها به دست آید. سپس، نرمالیزه می‌شود. ضریب اهمیت معیارها از نرمالیزه کردن این اعداد، یعنی از تقسیم هر عدد به سرجمع آن، به دست می‌آید. در این مطالعه، اهمیت معیارها با توجه به مطالعه‌های قبلی و نظرخواهی از کارشناسان سیستم‌های آبیاری تعیین شده است. پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس هر معیار مقایسه می‌شود. بعد از اینکه مقایسه‌ها انجام شد، داده‌ها را به ماتریسی به نام ماتریس مقایسه زوجی منتقل می‌کنند.

جدول ۳. شاخص تصادفی بودن  $R.I$

| $n$   | ۲ | ۳    | ۴   | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   | ۱۱   | ۱۲   | ۱۳   | ۱۴   |
|-------|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $R.I$ | ۰ | ۰/۵۸ | ۰/۹ | ۱/۱۲ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۹ | ۱/۵۱ | ۱/۵۳ | ۱/۵۶ | ۱/۵۷ |



انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (مطالعه موردی: شبکه آبیاری جامیشان)

جدول ۴. کلاس بندی امتیازات نهایی

| امتیاز   | شرایط     |
|----------|-----------|
| < -۳     | حذف سیستم |
| -۳ تا -۱ | نامناسب   |
| -۱ تا +۱ | متوسط     |
| +۱ تا +۳ | مناسب     |

### نتایج و بحث

در این بخش، نخست نقشه های کلاس بندی شده نفوذپذیری خاک، آب در دسترس، شیب و اختلاف ارتفاع برای محدوده آورده شده است. سپس، این نقشه ها را برای هر کدام از سیستم ها امتیاز بندی و در آخر با ضرب کردن وزن های هر سیستم در امتیازات کسب شده هر زیرمعیار، امتیاز نهایی زیرمعیار محاسبه شده است. با جمع جبری امتیازات نهایی زیرمعیارها، امتیاز کل برای محدوده در رابطه با هر یک از سیستم های آبیاری به صورت جداگانه به دست آمد. تمام این فرایند در سامانه GIS انجام شده و نتایج خروجی به صورت نقشه نشان داده شده است. در نهایت، با مقایسه امتیازات به دست آمده برای هر یک از سیستم های آبیاری تحت فشار، بهترین سیستم تعیین شد.

### الف) نتایج مربوط به مقادیر شاخص ها

بر اساس شکل ۴، نفوذپذیری خاک های منطقه در کلاس ۴ تا ۵۰ میلی متر در ساعت قرار دارد و از لحاظ نفوذپذیری نیز محدودیتی در منطقه برای سیستم های آبیاری تحت فشار وجود ندارد. همچنین، با توجه به شکل ۵، آب در دسترس خاک منطقه مورد مطالعه در دو کلاس ۱۰۰ تا ۱۵۰ و ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر بر متر قرار گرفته است که قسمت اعظم منطقه در کلاس ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر بر متر قرار دارد. از نظر میزان آب در دسترس، خاک منطقه مشکلی برای اجرای سیستم های آبیاری تحت فشار ندارد.

در روش میانگین هندسی که روشی تقریبی است، به جای محاسبه  $\lambda_{max}$  از  $L$  به شرح معادله (۳) استفاده می شود.

$$L = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{AW_i}{W_i} \right) \right] \quad (3)$$

در این معادله،  $AW_i$  برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها در بردار  $W_i$  (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می آید. بررسی سازگاری قضاوت ها در ماتریس زوجی معیارها حاکی از آن است که سازگاری در قضاوت ها رعایت شده است (۸).

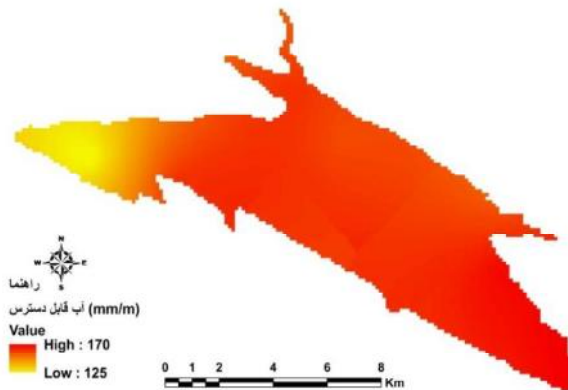
### تعیین امتیاز نهایی

در این مرحله با تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه GIS، امتیاز نهایی برای هر یک از سیستم های آبیاری تحت فشار محاسبه می شود. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی با در نظر گرفتن همه قضاوت ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی استفاده می شود (معادله ۴).

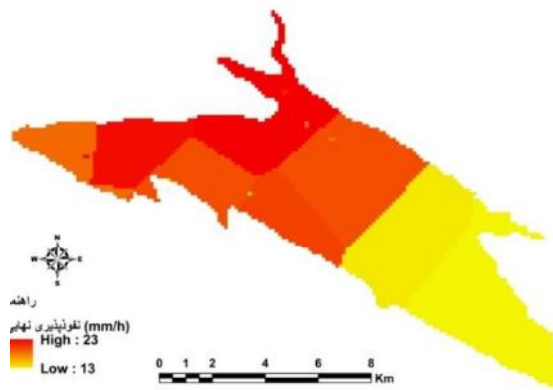
$$\text{امتیاز} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij}) \quad (4)$$

نهایی (اولویت) شاخص  $j$

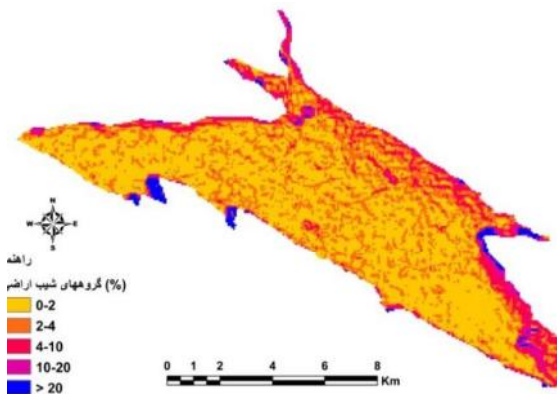
در این معادله  $W_k$  ضریب اهمیت معیار  $k$ ،  $W_i$  ضریب اهمیت زیرمعیار  $i$  و  $g_{ij}$  امتیاز شاخص  $j$  در ارتباط با زیرمعیار  $i$  است (۸). وزن نهایی به دست آمده برای هر یک از پارامترها در لایه های اطلاعاتی وارد شده به سامانه GIS، با استفاده از دستور Map Algebra ضرب و امتیاز نهایی برای هر یک از سیستم های آبیاری محاسبه می شود. در نهایت، امتیازات نهایی سیستم ها در چهار کلاس تقسیم بندی می شود. طبقات امتیازی و شرایط منطقه برای هر طبقه امتیازی در جدول ۴ آمده است. لازم به ذکر است که محققان در بررسی منابع، مرجعی برای کلاس بندی امتیازات نهایی پیدا نکردند و کلاس بندی ارائه شده در جدول ۴ بر اساس نظر محققان این مطالعه است.



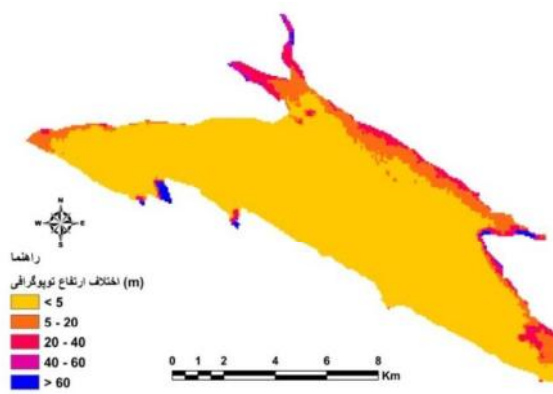
شکل ۵. آب در دسترس خاک (میلی متر بر متر)



شکل ۴. نفوذپذیری خاک (میلی متر در ساعت)



شکل ۷. گروه‌های شیب اراضی (درصد)



شکل ۶. اختلاف ارتفاع توپوگرافی (متر)

### ج) نتایج مربوط به امتیازات نهایی

نتایج امتیازات نهایی در سیستم‌های مختلف آبیاری در قالب نقشه‌های GIS در شکل ۸ آمده است. به دلیل محدودیت، فقط سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک بررسی شد. برای این سیستم، نفوذپذیری خاک منطقه و آب در دسترس به ترتیب دارای امتیاز ۲+ و ۳+ برای تمام محدوده مورد مطالعه است. همچنین، مناطق دارای شیب کمتر از ۲ درصد امتیاز ۳+، شیب بین ۲ تا ۴ درصد امتیاز ۲+، شیب بین ۴ تا ۱۰ درصد امتیاز ۱+، شیب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد امتیاز ۲- و شیب بالای ۲۰ درصد امتیاز ۱۰۰۰- دارد.

شکل ۶ و ۷ به ترتیب اختلاف ارتفاع و شیب اراضی را نشان می‌دهد. هر نقشه در پنج کلاس تقسیم‌بندی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشتر اختلاف ارتفاع و شیب منطقه به ترتیب در کلاس کمتر از ۵ متر و ۲ درصد قرار دارد.

### ب) ماتریس مقایسه و وزن زیرمعیارها بر اساس نظر محققان این مطالعه

علی‌رغم اینکه وزن شاخص‌ها برای تمامی سیستم‌های مورد مطالعه تعیین شده است، به دلیل محدودیت در تعداد صفحه‌ها، فقط وزن‌های تعیین‌شده برای سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در جدول ۵ ارائه شده است.

### مدیریت آب و آبیاری

انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (مطالعه موردی: شبکه آبیاری جামیشان)

جدول ۵. وزن معیارهای اصلی (سطح ۱)، زیرمعیارها (سطح ۲)، شاخص‌ها (سطح ۳) و وزن نهایی هر شاخص

| سطح ۱       |     | سطح ۲                 |        | سطح ۳          |         | وزن نهایی |
|-------------|-----|-----------------------|--------|----------------|---------|-----------|
| معیار اصلی  | وزن | زیر معیار             | وزن    | شاخص           | وزن     |           |
| فیزیک مزرعه | ۰/۵ | اقلیمی                | ۰/۵۴۴۷ | سرعت باد       | ۰/۷۵    | ۰/۲۰۴۲    |
|             |     |                       |        | اقلیم منطقه    | ۰/۲۵    | ۰/۰۶۸     |
|             |     |                       |        | شیب            | ۰/۷۲۰۶  | ۰/۰۷۰۵    |
|             |     |                       |        | یکنواختی شیب   | ۰/۱۸۸۴  | ۰/۰۱۸۱    |
|             |     | توپوگرافی             | ۰/۱۹۳۳ | اختلاف ارتفاع  | ۰/۰۸۱   | ۰/۰۰۷۸    |
|             |     |                       |        | نفوذپذیری      | ۰/۵     | ۰/۰۴۸۳    |
|             |     |                       |        | آب در دسترس    | ۰/۵     | ۰/۰۴۸۳    |
|             |     |                       |        | مواد معلق      | ۲۱/۰/۰۷ | ۴۹/۰/۰    |
|             |     | آب                    | ۰/۰۶۸۶ | اسیدیت         | ۲۱۴۴/۰  | ۱۴۷۰/۰    |
|             |     |                       |        | هدایت الکتریکی | ۲۱۴۴/۰  | ۱۴۷۰/۰    |
|             |     |                       |        | غلظت سدیم      | ۲۱۴۴/۰  | ۱۴۷۰/۰    |
|             |     |                       |        | غلظت کلر       | ۲۱۴۴/۰  | ۱۴۷۰/۰    |
|             |     |                       |        | موجودیت آب     | ۲۱/۰/۰۷ | ۴۹/۰/۰    |
|             |     | نیروی کار             | ۰/۲۵   | .....          | .....   | ۰/۱۲۵     |
|             |     | فرهنگی                | ۰/۲۵   | .....          | .....   | ۰/۱۲۵     |
|             |     | نگهداری و بهره‌برداری | ۰/۲۵   | .....          | .....   | ۰/۱۲۵     |
|             |     | هزینه                 | ۰/۲۵   | .....          | .....   | ۰/۱۲۵     |

### ج) نتایج مربوط به امتیازات نهایی

نتایج امتیازات نهایی در سیستم‌های مختلف آبیاری در قالب نقشه‌های GIS در شکل ۸ آمده است. به دلیل محدودیت، فقط سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک بررسی شد. برای این سیستم، نفوذپذیری خاک منطقه و آب در دسترس به ترتیب دارای امتیاز ۲+ و ۳+ برای تمام محدوده مورد مطالعه است. همچنین، مناطق دارای شیب کمتر از ۲ درصد امتیاز ۳+، شیب بین ۲ تا ۴ درصد امتیاز ۲+، شیب بین ۴ تا ۱۰ درصد امتیاز ۱+، شیب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد امتیاز ۲- و شیب بالای ۲۰ درصد امتیاز ۱۰۰۰- را دارد.

مناطق دارای اختلاف ارتفاع کمتر از ۵ متر دارای امتیاز صفر، اختلاف ارتفاع بین ۵ تا ۲۰ متر امتیاز ۱+، اختلاف ارتفاع بین ۲۰ تا ۴۰ متر امتیاز ۲+، اختلاف ارتفاع بین ۴۰ تا ۶۰ متر امتیاز ۳+ و اختلاف ارتفاع بیشتر از ۶۰ متر امتیاز ۴+ دارد. قسمت‌هایی از اراضی محدوده و دارای شیب بالای ۲۰ درصد مناسب سیستم آبیاری بارانی نیست و سیستم آبیاری موضعی تنها سیستم مناسب برای این مناطق است، اما بقیه اراضی برای تمامی سیستم‌های آبیاری تحت فشار مناسب است. به کمک سامانه GIS این سیستم‌ها اولویت‌بندی شد. سامانه GIS بالاترین امتیاز در

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

هر محدوده توسط هر یک از سیستم‌ها را تعیین و بهترین سیستم را معرفی کرده است.

سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سیستم کلاسیک نیمه‌متحرک (دستی) از لحاظ امتیازی در وضعیت تقریباً مشابهی قرار دارد. اما، با توجه به امتیاز بالاتر سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و کارایی مناسب در شرایط مختلف اقلیمی، توپوگرافی و سهولت در استفاده و نگهداری، این سیستم بهترین سیستم معرفی می‌شود. سیستم کلاسیک نیمه‌متحرک در اولویت دوم و سیستم لوله چرخدار در اولویت سوم قرار می‌گیرد. سیستم عقربه‌ای و خطی نیز از لحاظ امتیازی در وضعیت تقریباً مشابهی است، اما سیستم عقربه‌ای با توجه به داشتن امتیاز بالاتر و کارکرد در شرایط توپوگرافی ناهموار و سهولت در تأمین آب، در اولویت چهارم و سیستم آبیاری خطی در اولویت پنجم قرار می‌گیرد. همچنین، سیستم کلاسیک ثابت و سیستم ارابه‌ای نیز از لحاظ امتیازی در وضعیت تقریباً مشابهی قرار دارد، ولی به دلیل خصوصیات سیستم ارابه‌ای مبنی بر شدت پخش بالا و اندازه درشت قطرات و بافت خاک که از نفوذپذیری بالایی ندارد، سیستم کلاسیک ثابت در اولویت ششم، سیستم ارابه‌ای در اولویت هفتم و سیستم آبیاری قطره‌ای در اولویت هشتم قرار می‌گیرد.

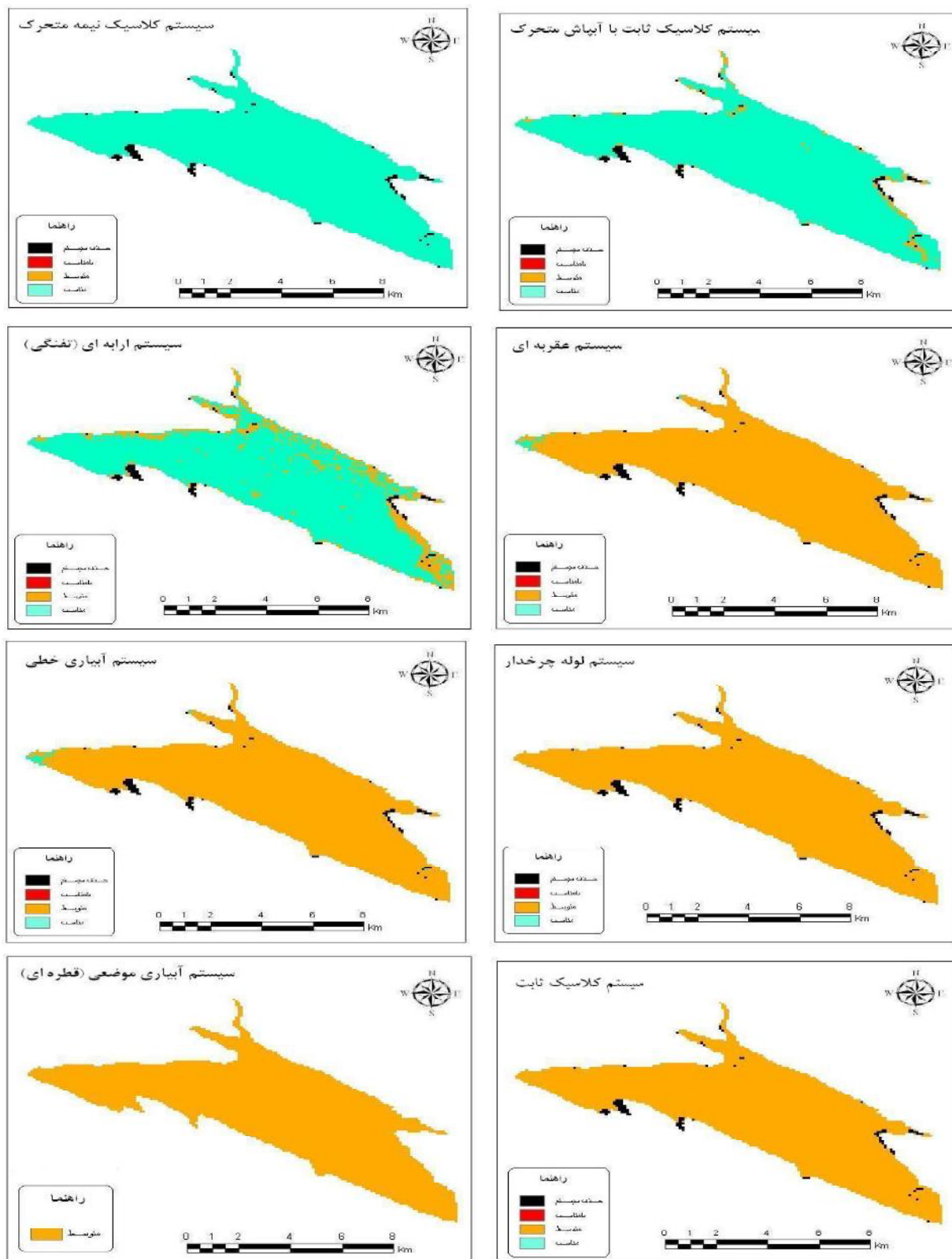
طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، منطقه‌ای وجود ندارد که نتوان در آن هیچ‌گونه سیستم آبیاری تحت فشاری را اجرا کرد؛ هر چند میرزایی تختگاهی بیان کرده بود که در بخش‌هایی از مناطق شمالی و جنوبی منطقه و دارای شیب بالای ۳۰ درصد، امکان استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار وجود ندارد (۱۷). در مطالعات امکان‌سنجی توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در استان کرمانشاه که توسط دفتر بهبود و توسعه در سال ۱۳۸۵ انجام گرفت، سیستم آبیاری موضعی اولویت اول و سیستم‌های آبیاری

بارانی ثابت، جابه‌جایی دستی و آبفشان قرقره‌ای اولویت دوم را در واحد هیدرولوژیکی دینور کسب کرد (۲)، اما طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک و سیستم کلاسیک نیمه‌متحرک در اولویت قرار دارد. با توجه به اینکه در مطالعه کنونی، این منطقه به چندین زیر واحد تقسیم شده و به‌طور جزئی‌تر نسبت به مطالعات قبلی (۲ و ۱۷) بررسی شده است، به‌نظر می‌رسد که نتایج مطالعه کنونی دقیق‌تر باشد. بازدیدهای میدانی منطقه نیز بیانگر این است که سیستم کلاسیک ثابت آبپاش متحرک سیستم مطلوب اهالی منطقه است که در بخش‌هایی از اراضی منطقه اجرا شده است.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این تحقیق، در تمامی اراضی محدوده مورد مطالعه می‌توان سیستم‌های آبیاری تحت فشار را اجرا کرد. نتایج حاصل از وزن‌دهی اولیه نشان می‌دهد که سیستم آبیاری موضعی (قطره‌ای) در مناطق دارای شیب بالای ۲۰ درصد مناسب‌ترین سیستم و در سایر مناطق، سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک بالاترین امتیاز را کسب کرد و مناسب‌ترین سیستم انتخاب شد. با توجه به اولویت‌بندی سیستم‌ها می‌توان گفت که در این منطقه سیستم کلاسیک نیمه‌متحرک، سیستم لوله چرخدار، سیستم عقربه‌ای، سیستم خطی، سیستم کلاسیک ثابت، سیستم ارابه‌ای و سیستم آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفت. سیستم‌های عقربه‌ای و خطی در صورتی در اولویت‌بندی قرار می‌گیرد که مساحت اراضی بالای ۵۰ هکتار باشد. در غیر این صورت باید از فهرست سیستم‌های مناسب برای منطقه حذف شود.

انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (مطالعه موردی: شبکه آبیاری جامیشان)



شکل ۸. درجه تناسب اراضی در سیستم آبیاری

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

## منابع

۱. اعمی ازغلدی ع.، خراسانی ر.، مکرم م. و معزی ع. (۱۳۸۹) ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم با استفاده از تکنیک فازی AHP و GIS. آب و خاک. ۲۴(۵): ۹۷۳-۹۸۴.
۲. بی‌نام (۱۳۸۵) مطالعات امکان‌سنجی توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در استان کرمانشاه، جلد دوم، انتخاب سیستم‌های مناسب در پهنه‌های مستعد. دفتر بهبود و توسعه آبیاری تحت فشار، وزارت جهاد کشاورزی.
۳. بی‌نام (۱۳۸۳a) مطالعات مرحله اول، طرح شبکه آبیاری و زهکشی جامیشان، جلد چهارم، طرح توسعه آبیاری و زهکشی. مهندسین مشاور آبدان فراز.
۴. بی‌نام (۱۳۸۳b) مطالعات مرحله دوم سد مخزنی جامیشان. سیمای طرح، مهندسین مشاور آبدان فراز.
۵. حجازی جهرمی ک.، پیرمادیان ن.، شمس‌نیا ا. و آهنگان م. (۱۳۹۰) بررسی کیفی پتانسیل منابع آب زیرزمینی برای استفاده سیستم‌های آبیاری تحت فشار به کمک مدل‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت‌های جنوبی استان فارس). پنجمین همایش مهندسی محیط زیست، تهران.
۶. دلبری س. ع. و داودی س. ع. (۱۳۹۱) کاربرد تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی جاذبه‌های توریستی. تحقیق در عملیات و کاربردهای آن. ۹(۲): ۵۷-۷۹.
۷. رمزی م.، خاشعی سیوکی ع. و شهیدی ع. (۱۳۹۳) تعیین مناطق مستعد آبیاری قطره‌ای با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در استان خراسان جنوبی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۸(۶۹): ۲۲۷-۲۳۵.
۸. زبردست ا. (۱۳۸۰) کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. هنرهای زیبا. ۱۰: ۱۳-۲۱.
۹. سیدان س. م. و قدمی فیروزآبادی ع. (۱۳۸۵) انتخاب مناسب‌ترین سیستم‌های آبیاری با استفاده از برنامه‌ریزی توافقی، مطالعه موردی در استان همدان. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۱۹(۴): ۱۷۷-۱۸۳.
۱۰. صدیق کیا م.، ناطقی م. ب.، کاویانی کوثرخیزی ش. و نقی‌پور ن. (۱۳۹۳) ارزیابی و جانمایی انواع روش‌های آبیاری با الگوی تحلیل سلسله‌مراتبی در اراضی سازمان اتکا در منطقه دورود. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۴): ۷۴۹-۷۵۸.
۱۱. صدیقی ح. و فرزندوحی ج. (۱۳۸۳) بررسی نگرش کشاورزان نسبت به به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری تحت فشار در استان کرمانشاه. علوم کشاورزی ایران. ۳۵(۳): ۶۷۹-۶۸۸.
۱۲. علیزاده ا. (۱۳۸۵) طراحی سیستم‌های آبیاری. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۶۷ صفحه.
۱۳. قائمی‌زاده ف. و اخوان س. (۱۳۹۳) امکان‌سنجی اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر اساس کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت‌های استان همدان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۱): ۶۵-۸۳.
۱۴. قدیری معصوم م.، کریم‌زاده س. و صحنه ب. (۱۳۸۷) مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری به‌روش تحلیل فضایی معیارهای چند متغیره. فصلنامه سپهر. ۱۷(۶۷): ۳۵-۴۶.

22. Lee Y. (2006) An empirical analysis of privatization in urban developments. 42nd ISOCarp Congress, pp. 1-10.
23. Lu L., Zhi-Hua Sh., Wei Y., Dun Z., Sai Leung N.G., Chong-Fa C. and A-Lin L. (2009) A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the Danjiangkou reservoir area. China, Ecological Odelling. 220: 3439-3447.
24. Montazar A. and Behbahani S.M. (2007) Development of an optimized irrigation system selection model using analytical hierarchy process. Biosystems Engineering. 98: 155-165.
25. Saaty T.L. (1980) The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, Inc. New York. USA.
26. Saaty T.L. (1990) Decision making for leaders. RWS Publications. USA.
27. Yang F. (2008) Spatial analyzing system for urban land use management based on GIS and multicriteria assessment modeling. Progress in Natural Sci.,18(10): 1279-1284.
- 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 and Materials. 405-408: 2194-2200.
۱۵. قره‌داغی م.م.، معروف‌پور ع.، بابایی خ. و منصوری ف. (۱۳۹۲) پتانسیل‌یابی مناطق مستعد جهت اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از سامانه GIS - منطقه مورد مطالعه شبکه آبیاری و زهکشی باباخان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶): ۱۱۱۱-۱۱۲۲.
۱۶. مامن‌پوش ع. و تفنگ‌ساز ر. (۱۳۸۶) مکان‌یابی مناطق مستعد جهت اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار به کمک سامانه GIS (مطالعه موردی: دشت برخور اصفهان). مجموعه مقالات اولین سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار. ۱: ۹-۱۸.
۱۷. میرزائی تختگاهی ح. (۱۳۸۴) پتانسیل‌یابی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مناطق مرکزی استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۱۸. نشاط ع. و نیک‌پور ن. (۱۳۹۰) مکان‌یابی مناطق مستعد برای اجرای آبیاری تحت فشار با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS (مطالعه موردی: دشت کرمان). مهندسی منابع آب. ۴(۸): ۷۷-۸۳.
۱۹. هادی‌زاده ع. (۱۳۸۵) ارائه روشی در گزینش سیستم آبیاری مناسب. مجموعه مقالات همایش مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
20. Aczel J. and Saaty T.L. (1983) Procedures for synthesizing ratio judgments. Mathematical Psychology. 27.1: 93-102.
21. Barberis A. and Minelli S. (2005) Land evaluation in the Shouyang county, Shanxi province, China. 25th Course Professional Master. Nov. 8-Jun. 23, IAO, Florence, Italy.