بررسی تأثیر کیفیت آب آبخوان بر تعیین الگوی مکانی کشت گندم و یونجه (مطالعه موردی: دشت شهرکرد)

عاطفه مهدوی[۱]، سیدحسن طباطبائی[۲]، نگار نورمهناد*[۳] و حمید زارع‌ابیانه[۴]

۱- دانش‌آموخته دکترا، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: **Negar.nourmahnad@pnu.ac.ir***

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۸ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۲ نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

ارائه یک الگوی کشت متناسب با شرایط منطقه که سبب کاهش آلودگی منابع آب و خاک شود، یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی است. هدف از این مطالعه ترکیب هم‌زمان اطلاعات خاک، اقلیم، محصولات زراعی و تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان بود که بر اساس آن، مناطق مستعد کشت (کشت غالب گندم و یونجه) مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی اثر کیفیت آبخوان بر الگوی کشت، از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. عوامل اقلیمی، پارامترهای مربوط به خاک و ویژگی‌های توپوگرافی به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب شدند. مقدار نیترات در ۴۶ چاه دشت شهرکرد جمع‌آوری و نقشه غلظت نیترات به دست آمد و با نقشه آسیب‌پذیری تلفیق شده و حریم کیفی آبخوان بررسی شد. از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی استفاده شد و در نهایت، لایه‌ها با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) تلفیق شدند. نتایج نشان داد مناطق بدون خطر آلودگی و با پتانسیل آلودگی خیلی کم ۱۱ و ۵۱ درصد بود، مناطق با ریسک خطر آلودگی کم و کم تا متوسط به ترتیب با مساحت‌های حدود ۳ و ۴ درصد بود. حدود ۲۵ درصد از مساحت آبخوان در بازه آلودگی زیاد نیترات قرار دارند. در آبخوان دشت شهرکرد آلودگی بسیار زیاد (بیش‌تر از ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) برآورد نشده است. بر اساس نتایج این تحقیق از نظر حریم کیفی آبخوان قسمت عمده آبخوان حدود ۴۱ درصد، در محدوده بی‌خطر قرار دارد. ۳۳ درصد در گروه کم‌خطر و ۲۵ درصد هم در بازه خطرناک حریم‌بندی شد. در دشت شهرکرد در حال حاضر ۴۹۸۹ هکتار سطح زیر کشت گندم آبی می‌باشد که بر اساس نتایج، تا حدود ۲۲۶۰۰ هکتار قابل افزایش است. سطح زیر کشت فعلی یونجه ۳۸۰۶ هکتار مشاهده شده است که با توجه به نتایج، تا ۲۸۱۹۸ هکتار پتانسیل افزایش سطح زیر کشت را دارد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری آبخوان، آلودگی، ترکیب خطی وزن‌دار، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

پیشگفتار

مطالعه پتانسیل‌های موجود یا به عبارتی بررسی شایستگی و قابلیت اراضی و تطبیق الگوی کشت با توانمندی‌های منطقه در بسیاری از مناطق برای توسعه محصولات می‌تواند منجر به بهره‌وری مناسب‌تری چه از لحاظ منابع و چه از لحاظ اقتصادی شود (استیجر و همکاران، ۲۰۰۶). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به یک گام مهم در حفاظت موفقیت‌آمیز آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی تبدیل شده است (فوک و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش فعالیت‌ها در بخش کشاورزی و نداشتن الگویی مناسب در جهت نیل به اهداف توسعه پایدار، منجر به افزایش ورود آلودگی‌ها به منابع آب و خاک خواهد شد. مدیریت ضعیف آبیاری، استفاده از کودها، حجم بالای استحصال آب زیرزمینی و همچنین کاهش نزولات جوی همراه با شرایط هیدرودینامیک نامطلوب از مهم‌ترین عوامل در آلودگی آب‌های زیرزمینی در حوزه فعالیت‌های کشاورزی به حساب می‌آید، استفاده از کودهای نیتراته به‌خصوص در تابستان سبب افزایش غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی می‌شود (طباطبائی و همکاران، ۲۰۲۰). از سوی دیگر آب‌های زیرزمینی یک منبع با ارزش تأمین آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که بحث مدیریت آبخوان‌ها را بسیار ضروری می‌نماید. واضح است که محافظت از کیفیت آب زیرزمینی بسیار آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر از حذف آلودگی‌ها

می‌باشد. به‌همین منظور سیاست‌های مدیریتی مختلفی از جمله شناسایی عوامل مخرب در کیفیت آب، شناسایی نواحی مستعد آلودگی در آبخوان‌ها و مناطق آسیب‌پذیرتر در برابر آلاینده‌ها، جهت حفاظت منابع زیرزمینی در برابر آلاینده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. آسیب‌پذیری به‌عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی است که به میزان حساسیت سیستم به تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی و شرایط طبیعی وابسته می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۰). باتارسه و همکاران (۲۰۲۱)، بیان کردند که با کمک پارامترهای کیفیت آب آبیاری مانند نسبت جذب سدیم (SAR)، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت سدیم، غلظت کلراید و شاخص نفوذپذیری و به کمک توزیع مکانی نقشه شاخص کیفیت آب آبیاری (GIS)، تصویری واضح از کیفیت آب زیرزمینی را می‌توان ارائه داد و همراه با سایر پارامترهای کیفیت آب به عنوان ابزاری مفید برای شناسایی "مناطق قرمز" استفاده کرد و به عنوان یک راهنما برای مدیریت پایدار آب زیرزمینی در جهت اهداف کشاورزی و توصیه دامنه محصولات مناسب قابل کشت در منطقه مورد مطالعه بهره برد. سلاما و سبی (۲۰۲۰)، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب را در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در آبخوان حوضه Grombalia در شمال تونس با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش وزن‌دهی معکوس بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در شاخص‌های کیفیت آب در سفره وجود نداشت. به استثنا مناطق ساحلی، یک روند آهسته هیدروشیمیایی کیفیت آبخوان را حفظ می‌کند. عبدالله و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر فعالیت‌های کشاورزی را بر آسیب‌پذیری آبخوان با تلفیق لایه کاربری اراضی با مدل دراستیک، بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل اصلاح شده، همبستگی بیش‌تری با داده‌های غلظت نیترات در محدوده مورد مطالعه داشت. فوک و همکاران (۲۰۲۱)، تأثیر فعالیت‌های کشاورزی را بر آسیب‌پذیری آبخوان با تلفیق لایه کاربری اراضی با مدل دراستیک، بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد نیترات با خطر آلودگی همبستگی خوبی دارد و می‌توان از نیترات به عنوان شاخص تخریب سفره های زیرزمینی مربوط به فعالیت های استفاده از زمین استفاده کرد. لی و همکاران (۲۰۱۴)، تحقیقی در مورد اثر محیط‌های کشاورزی بر روی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی‌های نیترات در حوضه رود Elkhorn در آمریکا، انجام دادند. آن‌ها نقشه کاربری اراضی که شامل مناطق مختلف با کاربری‌های مختلف و هم‌چنین گیاهان مختلف تحت کشت بود را بر اساس میزان مصرف کود اوره امتیازدهی و وزن‌دهی کردند. با تلفیق این نقشه و سایر عوامل موثر مدل دراستیک، نتایج همبستگی خوبی با داده‌های نیترات نشان دادند. مهدوی و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳)، از پارامترهای شیب سطح زمین، میزان نفوذ خاک، ضخامت بخش غیراشباع آبرفت، هدایت الکتریکی آب‌های سطحی، کاربری زمین و شبکه جریان استفاده کردند و پس از تهیه نقشه‌های دیجیتالی، به کمک عملگرهای بولین و فازی طبقه‌بندی، وزن‌دهی و ادغام شدند و مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مشخص شدند. رامامورتی و همکاران (۲۰۲۰) از روش AHP[1] و GIS برای ارزیابی مناطق مناسب کشت ذرت (Zea mays L) در اکوسیستم نیمه‌خشک جنوب هند استفاده کردند. آن‌ها از پارامترهای عمق خاک، طول فصل رشد، شیب و عمق خاک، زهکشی خاک، pH و کربن آلی استفاده کردند. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که حدود ۲۹/۹ درصد سطح زمین بسیار مناسب، ۱۵/۳ درصد متوسط و ۱۸/۵ درصد سطح زیر کشت مناسب ذرت است. آن‌ها نتیجه گرفتند که رویکرد مبتنی بر AHP و GIS برای افزایش دقت مناسب است و ادغام مجموعه‌های فازی با AHP را برای تحقیقات آینده پیشنهاد کردند. مومنی و اکبرزاده (۱۴۰۱) و سروری‌نیا و همکاران (۱۳۹۹)، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین بهترین مکان دفن زباله‌های شهری استفاده کردند. ترکان و دریلی (۲۰۲۰) از همپوشانی وزنی، روش وزن‌دهی فاصله معکوس و رویکرد AHP در GIS برای تعیین مکان‌های اکولوژیکی کشت مرکبات در استان آنتالیای ترکیه استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که ۶/۲۲ درصد یعنی ۱۲۸۱/۱۹ km^2 از سطح منطقه برای کشت مرکبات مناسب است. این مناطق معمولاً در نزدیکی مناطق ساحلی استان آنتالیا هستند. آن‌ها این روش را برای سایر مناطق با شرایط مشابه پیشنهاد دادند.

هدف اصلی این تحقیق شناسایی عرصه‌های مساعد کشت و پرورش محصولات عمده مورد بهره‌برداری در منطقه بر

[1] Analytical hierarchy process (AHP)

اساس عوامل مؤثر بر عملکرد شامل نیازهای اقلیمی هر یک از گیاهان، خصوصیات خاک و ویژگی‌های توپوگرافی منطقه است. هدف دوم پژوهش، تعیین میزان آسیب‌پذیری و پتانسیل آلوده شدن نقاط مختلف آبخوان در اثر فعالیت‌های کشاورزی و کودهای شیمیایی می‌باشد و هدف سوم ایجاد پهنه‌های مناسب برای کاشت محصولات مختلف با توجه به نقاط حساس و آسیب‌پذیر آبخوان جهت حفظ سلامت و مدیریت کیفی آبخوان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، آبخوان دشت شهرکرد است که مساحت آن ۵۵۱ کیلومتر مربع و بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی واقع شده‌است. شکل ۱ موقعیت آبخوان دشت شهرکرد را در کل حوضه آبخیز نشان داده است. رودخانه اصلی آن رود جهان‌بین می‌باشد، که پس از دریافت آب مازاد چشمه‌ها و قنوات در نواحی جنوبی به رودخانه کیار متصل می‌گردد (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰). این محدوده دارای میانگین درجه حرارت سالانه ۱۲/۰۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. هم چنین متوسط بارندگی سالانه در کل حوضه آبریز، ۴۰۰ میلی‌متر است. طبق تقسیم‌بندی کوپن، شهرکرد دارای اقلیم معتدل سرد با تابستان گرم و خشک است (فتحی، ۱۳۹۰). دشت شهرکرد با بیلان منفی آب مواجه بوده و جزو دشت‌های ممنوعه به شمار می‌آید. اگرچه این دشت از حجم قابل‌توجهی از آب‌های سطحی برخوردار است ولی به علت مشکلاتی از قبیل اختلاف ارتفاع بین رودخانه‌ها و دشت‌های مجاور، استفاده از این آب‌ها در مصارف مختلف به‌آسانی میسر نیست. در نتیجه عمده مصارف آب دشت از طریق برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. فعالیت‌های شدید کشاورزی، کودپاشی و آبیاری بی‌رویه مهم‌ترین عوامل افزایش غلظت نیترات و فسفات در آبخوان شهرکرد معرفی شده‌اند. از طرف دیگر میزان بارندگی در شهرکرد و حومه در طی سال‌های اخیر کاهش و مصرف کودهای شیمیایی افزایش یافته است. برخی بر این عقیده هستند که این دو نیز به افزایش آلودگی کمک کرده است (لاله‌زاری و همکاران، ۱۳۸۸). طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، کل سطح زیر کشت محصولات زراعی کشاورزی در شهرستان شهرکرد ۲۳۶۳۷ هکتار است که گندم با ۴۲٪ و یونجه ۱۷/۸٪ بیش‌ترین سطح زیر کشت را دارند. از لحاظ استراتژیک در منطقه، کشت گندم آبی در مقابل کشت دیم از اهمیت بیش‌تری برخوردار است و یونجه هم به طور کامل به شکل آبی کشت می‌گردد.

شکل ۱. موقعیت دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری

پارامترهای مؤثر بر تعیین حریم کیفی آبخوان

به‌منظور مدل‌سازی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت شهرکرد از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. نرم‌افزار GIS در اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک لایه‌های اطلاعات دیجیتال را آماده کرده و آن‌ها را با دقت و سرعت مناسب ترکیب می‌کند (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰). جهت تهیه پایگاه داده، عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول

مورد ارزیابی قرار گرفتند. این عوامل شامل هشت پارامتر ورودی است که عبارتند از: عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر محیط غیراشباع، هدایت هیدرولیکی و غلظت نیترات در آب زیرزمینی.

پارامترهای مؤثر بر انتخاب مکان‌های مستعد کشت محصولات

الگوی کشت تابعی از عواملی همچون شرایط منطقه، نوع و میزان حاصل‌خیزی خاک، خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، بارندگی، سیلاب، هزینه تولید و... می‌باشد. با بررسی منابع علمی موجود و البته بر اساس شرایط منطقه مورد مطالعه، موجود بودن، کافی بودن و پیوسته بودن (نبود خلا آماری) اطلاعات و داده‌های موجود، عوامل اقلیمی (بارندگی، متوسط دمای روزانه، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و رطوبت نسبی)، پارامترهای مربوط به خاک (بافت خاک، اسیدیته خاک، شوری خاک و مقدار ماده آلی در خاک) و ویژگی‌های توپوگرافی (شیب سطح زمین و ارتفاع از سطح دریا) به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب شدند.

تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان

رایج‌ترین روش‌ها برای برآورد آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی، استفاده از مدل‌های وزن‌دهی از جمله مدل DRASTIC می‌باشد (برزگر و همکاران، ۱۳۹۴). پس از جمع‌آوری اطلاعات هیدروژئولوژیکی و رقومی نمودن آن‌ها، نقشه‌های مربوط به هر هفت پارامتر مدل دراستیک ایجاد شد. هر نقشه به بازه‌هایی با اثربخشی متفاوت بر روی پتانسیل آلودگی تقسیم شد و به هر یک از این بازه‌ها رتبه‌ای بین یک تا ده تعلق گرفت. عدد یک به معنای کمترین و عدد ده بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). پس از اینکه نقشه‌های رتبه‌بندی مربوط به هر پارامتر تهیه شد، یک وزن بین یک تا پنج که معرف اهمیت نسبی نقشه‌ها نسبت به یکدیگر است، به هر پارامتر اختصاص یافت. به‌طوری‌که به مهم‌ترین عامل وزن پنج و به کم‌اهمیت‌ترین عامل وزن یک نسبت داده شد. کلیه وزن‌ها و رتبه‌ها در مدل دراستیک براساس تکنیک دلفی (در این روش یک پرسشنامه تهیه و توسط گروهی از کارشناسان تکمیل می‌شود) توسط آلر و همکاران (۱۹۸۷) تهیه و ارائه شده‌اند. سپس نقشه‌های امتیازدهی و وزن‌دهی شده به روش دراستیک، براساس میانگین وزنی با یکدیگر ترکیب شدند.

تعیین حریم کیفی آبخوان

در اولین مرحله مدیریت کیفی آبخوان، بایستی کاربری عمده در منطقه مشخص شود. با دقت در نقشه کاربری اراضی دشت شهرکرد، کاربری کشاورزی با ۶۲ درصد عمده‌ترین کاربری در منطقه به شمار می‌آید. نیترات، عمده‌ترین و شایع‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی می‌باشد. پس از مشخص شدن کشاورزی به عنوان کاربری عمده در منطقه و مهم‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی در این بخش، نقشه غلظت نیترات به دست آمد. پس از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان و نقشه پهنه‌بندی شده غلظت نیترات، این دو نقشه با یکدیگر تلفیق شده و حالات مختلف از آلودگی و آسیب‌پذیری، برای تعیین حریم کیفی آبخوان بررسی شد.

انتخاب مکان‌های مستعد کشت محصولات

هر یک از عوامل موثر، بر اساس نیازهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی پایه در هر گیاه، بر اساس روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)[1] درجه‌بندی شد. در روش ترکیب خطی وزن‌دار علاوه بر اعمال وزن هر فاکتور منفرد نسبت به دیگر فاکتورها، به هر یک از کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود در فاکتور، بر اساس اهمیت نسبی و نظرات کارشناسی، امتیاز تعلق می‌گیرد. در واقع WLC یک جمع وزنی ساده میان فاکتورهایی با ماهیت پیوسته و استاندارد شده است. در همین راستا پنج کلاس تناسب کشت مطابق جدول ۱ مشخص شد. کلاس خیلی مناسب که امتیاز ۵ گرفته است، بازه‌ای است که محدودیتی از لحاظ پارامتر مورد بررسی ندارد و در صورت فراهم بودن سایر شرایط، عملکرد ۹۵ تا ۱۰۰ درصدی قابل انتظار است. در بازه مناسب با امتیاز ۴ و با محدودیت کم، در صورت خوب بودن دیگر شرایط، عملکرد نهایی محصول ۸۵ تا ۹۵ درصد خواهد بود. درصدهای عملکرد مورد نظر در هر کلاس تناسب، به شکل درصد تناسب مشخص شد. این

[1] Weighted Linear Combination (WLC)

کلاســـه‌بندی‌ها بر اســـاس نیازهای گیاه مورد نظر و با استفاده از مطالعات قبلی انجام شـده، تجربه کارشـناسـان جهاد کشـاورزی و نظر اسـاتید متخصـص انجام گرفت که در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. درجه‌بندی کلاس‌های مختلف در روش WLC

میزان تناسب	میزان محدودیت	درصد تناسب	امتیاز
نامناسب	محدودیت خیلی شدید	۰-۴۰	۱
ضعیف	محدودیت شدید	۴۰-۶۰	۲
متوسط	محدودیت متوسط	۶۰-۸۵	۳
مناسب	محدودیت کم	۸۵-۹۵	۴
خیلی مناسب	بدون محدودیت	۹۵-۱۰۰	۵

جدول ۲. بازه‌ها و کلاس‌های تناسب برای نیازهای اقلیمی و زمین در گیاه گندم آبی پاییزه در روش WLC

پارامتر	امتیاز				
	۱	۲	۳	۴	۵
متوسط دمای روزانه در فصل رشد (°c)	<۸ >۳۰	۸-۱۰ ۲۵-۳۰	۱۰-۱۲ ۲۳-۲۵	۱۲-۱۵ ۲۰-۲۳	۱۵-۲۰
متوسط دمای حداقل روزانه در فصل رشد (°c)	<۴	۴-۶	۶-۸	۸-۱۰	۱۰-۱۳
متوسط دمای حداکثر روزانه در فصل رشد (°c)	>۳۷	۳۵-۳۷	۳۰-۳۵	۲۵-۳۰	۲۵-۲۰
متوسط رطوبت نسبی در فصل رشد (٪)	---	<۴۰ >۸۰	۴۰-۵۵	۵۵-۶۵	۶۵-۸۰
ارتفاع از سطح دریا (m)	>۳۰۰۰	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۱۵۰۰-۲۵۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰-۱۰۰۰
شیب سطح زمین (٪)	>۱۶	۱۲-۱۶	۸-۱۲	۲-۸	۰-۲
EC خاک (dS/m)	>۱۶	۱۲-۱۶	۸-۱۲	۴-۸	۰-۴
pH خاک	<۵/۲ >۸/۵	۵/۵-۵/۲	۵/۵-۶ ۸/۲-۸/۵	۶-۷ ۷/۸-۸/۲	۷-۷/۸
مقدار مواد آلی در خاک (٪)	---	---	<۰/۴	۰/۶-۰/۴	>۰/۶
بافت خاک	S, C	LS	SL	SCL, L, SC, CL	SiCL, SiL, SiC, Si

جدول ۳. بازه‌ها و کلاس‌های تناسب برای نیازهای اقلیمی و زمین در گیاه یونجه پاییزه در روش WLC

پارامتر	امتیاز				
	۱	۲	۳	۴	۵
متوسط دمای روزانه در فصل رشد (°c)	<۱۰ >۴۰	۱۰-۱۵ ۳۲-۴۰	۱۵-۱۸ ۲۸-۳۲	۱۸-۲۰ ۲۶-۲۸	۲۰-۲۶
متوسط دمای حداقل روزانه در فصل رشد (°c)	<۵	۵-۷	۷-۹	۹-۱۲	۱۲-۱۵
متوسط دمای حداکثر روزانه در فصل رشد (°c)	>۴۵	۴۰-۴۵	۳۵-۴۰	۳۰-۳۵	۲۵-۳۰
متوسط رطوبت نسبی در فصل رشد (٪)	---	<۲۰ >۹۰	۲۰-۲۵ ۷۵-۹۰	۲۵-۳۰ ۵۰-۷۵	۳۰-۵۰
ارتفاع از سطح دریا (m)	>۳۰۰۰	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۱۵۰۰-۲۵۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰-۱۰۰۰
شیب سطح زمین (٪)	>۱۲	۸-۱۲	۴-۸	۲-۴	۰-۲
EC خاک (dS/m)	>۱۲	۹-۱۲	۵-۹	۳-۵	۰-۳
pH خاک	<۵/۲ >۸/۵	۵/۵-۵/۲	۵/۵-۶ ۸/۲-۸/۵	۶-۷ ۷/۸-۸/۲	۷-۷/۸
مقدار مواد آلی در خاک (٪)	---	<۰/۸	۰/۸-۱/۲	۲-۱/۲	>۲
بافت خاک	C	S	LS	SiC	SiCL, SiL, Si, SC, CL, SCL, L, SL

تعیین اولویت محصولات از لحاظ مقدار مصرف کود و مصرف آب

با بررسی مقدار کود و آب مصرفی محصولات مورد نظر، اولویت کشت هر گیاه مشخص گردید. بنابراین آمار و اطلاعات مربوط به میزان کوددهی در محدوده مطالعاتی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۴ بیان شده است. مطابق این جدول و بررسی نیاز کودی محصولات مورد نظر، از بین گیاهان ذکر شده بیش‌ترین میزان کود مصرفی مربوط به گیاه ذرت، بعد از آن یونجه و در رتبه بعدی گندم و جو می‌باشد. از طرفی نیز روحانی (۱۳۸۲)، در پروژه‌ای با موضوع تعیین میزان بهره‌وری آب در بخش کشاورزی استان همدان، میزان آب مصرفی در محصولات مختلف در استان همدان را مشخص کرده است. طبق این گزارش به طور متوسط مقدار آب مصرفی در جو آبی حدود ۵۰۰۰، یونجه ۱۴۰۰۰ و ذرت ۳۸۰۰۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق ذرت پرمصرف‌ترین محصول از لحاظ مقدار کود ازته و آب آبیاری می‌باشد. بعد از آن گیاه یونجه با مصرف کود و آب متوسط و در آخر هم گندم و جو با مصرف مقدار کود و آب کمتر، طبقه‌بندی می‌شوند. از آن‌جایی‌که هر کدام از عوامل مؤثر دارای آثار متفاوتی بر رشد و عملکرد محصولات هستند، بنابراین می‌توان اثرات نسبی هر کدام از خصوصیات بر میزان محصول تولیدی را، به‌صورت معیار وزنی تعیین نمود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). هدف از وزن‌دهی معیارها، بیان اهمیت نسبی یک معیار در میان مجموعه معیارهای مورد نظر می‌باشد. در اینجا از وزن‌های حاصل از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی استفاده شد. در این روش هر یک از عوامل موثر نسبت به یکدیگر به صورت زوجی مقایسه می‌شوند. همچنین هر یک از پارامترهای موثر که خود شامل ویژگی‌های جزئی‌تر هستند نسبت به یکدیگر سنجیده و دو به دو مقایسه می‌شوند. این فرایند شامل ایجاد درخت سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن گزینه‌ها و اندازه‌گیری شاخص سازگاری است (نصراللهی و همکاران، ۱۳۹۴). مقایسات بر اساس پرسشنامه‌ها و نظرسنجی‌های گوناگون، مقالات و پژوهش‌های پیشین، انجام شد و وزن‌های نهایی گزینه‌های مرتبط با هر یک از محصولات، محاسبه و در جدول ۵ گزارش شده‌اند. بعد از امتیازدهی داخلی هر یک از عوامل موثر و تهیه نقشه‌های استاندارد شده به روش WLC، هر نقشه در وزن مربوطه ضرب و سپس با یکدیگر جمع جبری شدند.

جدول۴. میانگین میزان کود مصرفی توسط کشاورزان در یک سال زراعی

کود	محصول			
	گندم	جو	یونجه	ذرت
کود حیوانی و مرغی (ton/ha)	---	---	۲۰	۲۰-۱۵
کود شیمیایی اوره (kg/ha)	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۲۵۰

جدول ۵. وزن‌های نهایی به دست آمده از ماتریس‌های مقایسات زوجی با استفاده از روش AHP

پارامتر	وزن نهایی			
	گندم آبی		یونجه	
متوسط دمای روزانه در فصل رشد (°c)	۰/۰۶۷		۰/۲۲۳	
متوسط دمای مینیمم روزانه در فصل رشد (°c)	۰/۲۶۵		۰/۱۵۸	
متوسط دمای حداکثر روزانه در فصل رشد (°c)	۰/۰۴۲		۰/۱۰۰	
متوسط رطوبت نسبی در فصل رشد (٪)	۰/۱۶۵		۰/۰۵۸	
ارتفاع از سطح دریا (m)	۰/۰۵۴		۰/۰۸۲	
شیب سطح زمین (٪)	۰/۱۰۹		۰/۰۸۲	
EC خاک (dS/m)	۰/۱۷		۰/۰۹	
pH خاک	۰/۰۴		۰/۰۳۷	
مقدار مواد آلی در خاک (٪)	۰/۰۶۳		۰/۱۴۶	
بافت خاک	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱

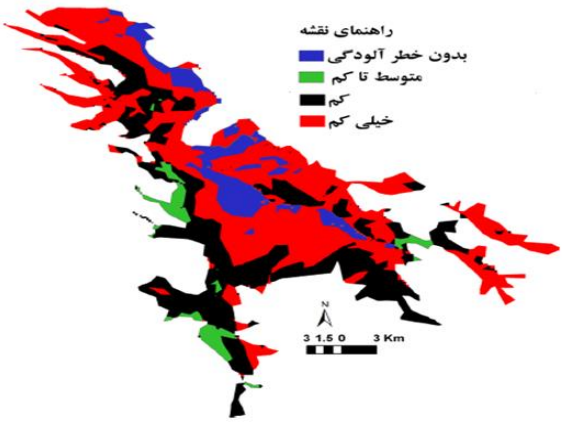
نتایج و بحث

نقشه پهنه‌بندی پتانسیل آلوده شدن: نقشه آسیب‌پذیری دشت شهرکرد به کمک مدل دراستیک در شکل ۲ نمایش داده شده است. مساحت‌های به دست آمده مربوط به هر کلاس در جدول ۶ ذکر شده است. شاخص دراستیک در نقشه خروجی برای دشت شهرکرد ۵۷ تا ۱۳۳ به‌دست آمد. که در چهار کلاس بدون خطر آلودگی، خطرپذیری خیلی کم، کم و کم تا متوسط تقسیم شد که در مدل دراستیک محدوده‌های بدون خطر آلودگی و با پتانسیل آلودگی خیلی کم ۱۱ و ۵۱ درصد بود. که این کلاس‌ها در حاشیه بالایی دشت از بالا تا پایین آن قرار گرفته اند و تا مرکز دشت ادامه می‌یابند و دلیل آن عمدتا به خاطر عمق زیاد سطح ایستابی در این نواحی است. همچنین مناطق با ریسک خطر آلودگی کم و کم تا متوسط به ترتیب با مساحت‌های حدود ۳ و ۴ درصد در حاشیه پایینی دشت از سمت بالا تا پایین کشیده شده‌اند.

پهنه‌بندی غلظت نیترات در آبخوان: کیفیت آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف، متفاوت است. به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق آن، حصول شناخت دقیق از تغییرات مکانی کیفیت آب امری ضروری است. مقدار نیترات اندازه‌گیری شده در ۴۶ چاه موجود در دشت شهرکرد در ماه‌های مختلف و به مدت یک سال، از تیرماه سال ۱۳۸۶ تا خردادماه سال ۱۳۸۷ جمع‌آوری و با استفاده از روش کریجینگ میانگین گرفته شدند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۱). طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی و همچنین سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حداکثر مجاز غلظت نیترات در آب زیرزمینی جهت شرب، ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر (معادل ۱۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن نیتراتی) تعیین شده است (جلالی و کلاهچی، ۱۳۸۴). بر اساس جدول ۷ چهار پهنه برای نقشه غلظت نیترات مشخص شد و نقشه مقادیر غلظت نیترات میانیابی شده در دشت شهرکرد تولید شد که در شکل ۳ به همراه پراکندگی چاه‌های پیزومتری نشان داده شده است. میزان آلودگی ۲۵-۰ میلی‌گرم بر لیتر در ۴۲ درصد از آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد مشاهده شده است که در مناطق شمال غربی و جنوبی دشت قرار دارند. ۳۴ درصد از آبخوان نیز در بازه آلودگی متوسط تشخیص داده شد که مربوط به نواحی مرکزی دشت می‌باشد. حدود ۲۵ درصد از آب‌های آبخوان در بازه آلودگی زیاد قرار دارند و بیش‌ترین میزان غلظت آن ۵۵ میلی‌گرم بر لیتر است. در آبخوان دشت شهرکرد آلودگی بسیار زیاد (بیش‌تر از ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) برآورد نشد. میرزایی و همکاران (۱۳۹۱) مشخص کردند که آلودگی نیتراتی در شمال غربی آبخوان، کم و در بخش جنوب و جنوب شرقی به حداکثر می‌رسد، درحالی‌که اکثر فعالیت‌های کشاورزی در بخش جنوبی و جنوب شرقی واقع است. در نتایج پژوهش فتحی (۱۳۹۰)، مقادیر غلظت نیترات آب زیرزمینی بیش‌تر از استاندارد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر در مناطق جنوبی دشت گزارش شده اند. لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۸) نیز در تحقیق خود بیان کردند که قسمت جنوبی دشت واقع در روستای بهرام‌آباد، بالاترین غلظت نیترات را در تمام سال به خود اختصاص داده است. دلیل آن دفع فاضلاب خانگی و عدم وجود سیستم تصفیه و وجود زمین‌های کشاورزی است، به‌علاوه گرادیان هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی به دلیل شیب دشت نیز به این سمت می‌باشد.

نقشه حریم کیفی آبخوان: چهار حالت برای آسیب‌پذیری آبخوان و چهار حالت نیز برای غلظت نیترات آب زیرزمینی وجود دارد. بنابراین در مورد نقشه حریم کیفی آبخوان هم چهار حالت بی‌خطر، کم‌خطر، خطرناک و بحرانی تعریف شد (جدول ۸). مناطقی که از لحاظ آسیب‌پذیری در اولویت چهارم قرار دارند در نقشه حریم کیفی نیز در حالت چهارم یا بحرانی قرار می‌گیرند. در اولویت‌های آسیب‌پذیری زمانی که غلظت نیترات در حالت کم طبقه‌بندی شده، کیفیت آبخوان بر اساس اولویت آسیب‌پذیری، حریم‌بندی شد و سپس با بیش‌تر شدن میزان آلودگی نیترات، حریم کیفی آبخوان نیز پر خطرتر تقسیم‌بندی شد. به عنوان مثال زمانی که پتانسیل آسیب‌پذیری کم (اولویت اول) و از طرفی غلظت نیترات هم کم هست، حریم کیفی آبخوان در حالت بی‌خطر قرار می‌گیرد. زمانی که غلظت نیترات متوسط باشد، کیفیت آبخوان در حالت کم‌خطر تقسیم‌بندی می‌گردد. به همین ترتیب با زیادتر شدن نیترات، حریم آبخوان خطرناک و با غلظت نیترات خیلی زیاد، کیفیت آبخوان نیز در شرایط بحرانی گروه‌بندی می‌شود. با تلفیق و روی‌هم‌گذاری دو نقشه آسیب‌پذیری آبخوان و نقشه پهنه‌بندی شده غلظت نیترات در آب زیرزمینی نقشه حریم کیفی آبخوان حاصل شد که در شکل ۴ نمایش و مساحت‌های تحت پوشش

هر یک از حریم‌های تعیین شـده در جدول ۷ بیان شـده است. بر اساس اعداد جدول ۹ قسمت عمده آبخوان حدود ۴۱ درصـــد در محدوده بی‌خطر، ۳۳ درصـــد در گروه کم‌خطر و ۲۵ درصد هم در بازه خطرناک حریم‌بندی شد. نکته قابل ملاحظه اینکه قسـمت ناچیزی به عنوان منطقه بحرانی مشخص شده است.



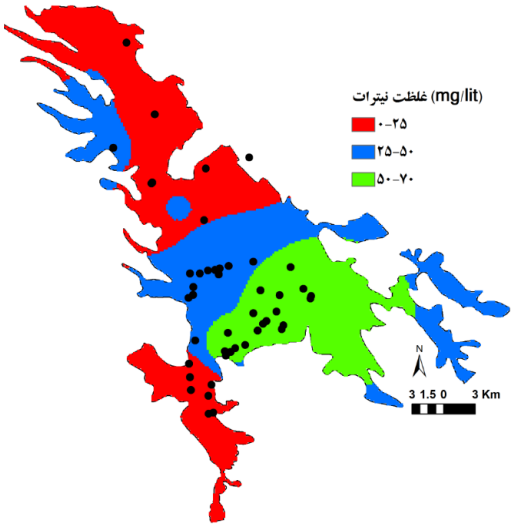
شکل ۲. پتانسیل آسیب پذیری آبخوان شهرکرد

جدول۶. پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد.

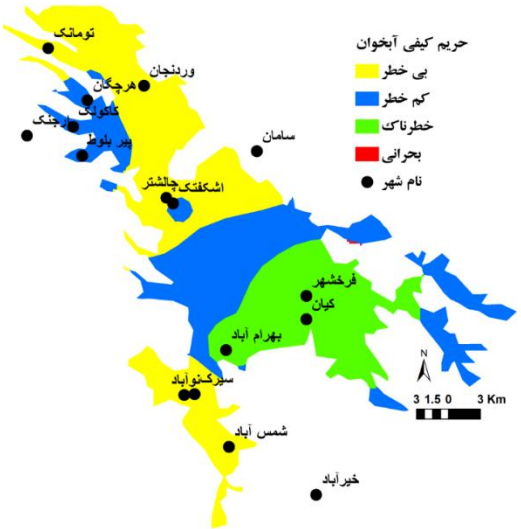
پتانسیل آسیب‌پذیری	مساحت (Km^2)	مساحت (٪)
بدون خطر	۵۹/۲۳	۱۰/۷۵
خیلی کم	۲۷۹/۳۲	۵۰/۶۹
کم	۱۸۸/۵۹	۳۴/۲۲
کم تا متوسط	۲۳/۸۶	۴/۳۳

جدول ۷. مساحت هر یک از پهنه‌های کیفی غلظت نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد

آلودگی آبخوان	غلظت نیترات (میلی گرم بر لیتر)	مساحت	
		کیلومتر مربع	درصد
کم	۰-۲۵	۲۲۶/۱	۴۱/۶۱
متوسط	۲۵-۵۰	۱۸۲/۶	۳۳/۶
زیاد	۵۰-۷۵	۱۳۴/۷	۲۴/۸
بسیار زیاد	>۷۵	---	---



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی غلظت نیترات در دشت شهرکرد به همراه موقعیت نقاط اندازه‌گیری



شکل ۴. نقشه حریم کیفی آبخوان شهرکرد

جدول ۸. ترکیب حالات مختلف آسیب‌پذیری و آلودگی نیترات در آبخوان

آسیب‌پذیری آبخوان	آلودگی آبخوان به نیترات	حریم کیفی آبخوان
کم	کم	بی‌خطر
	متوسط	کم‌خطر
	زیاد	خطرناک
	بسیار زیاد	بحرانی
متوسط	کم	کم‌خطر
	متوسط	خطرناک
	زیاد	بحرانی
	بسیار زیاد	بحرانی
زیاد	کم	بحرانی
	متوسط	بحرانی
	زیاد	بحرانی
	بسیار زیاد	بحرانی
خیلی زیاد	کم	بحرانی
	متوسط	بحرانی
	زیاد	بحرانی
	بسیار زیاد	بحرانی

جدول ۹. حریم‌بندی کیفی آبخوان شهرکرد

حریم کیفی آبخوان	مساحت	
	کیلومتر مربع	درصد
بی‌خطر	۲۲۵/۷۳	۴۱/۵
کم‌خطر	۱۸۱/۴	۳۳/۳۱
خطرناک	۱۳۶/۰۷	۲۵/۰۷
بحرانی	۰/۲۲	۰/۰۴

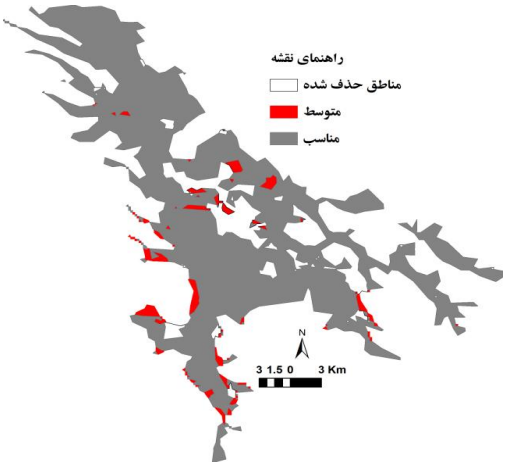
بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت محصولات

در نقشه‌های خروجی امتیازات نهایی به دست آمده، به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که در شکل‌های ۵ و ۶ و آمار مربوط به مساحت‌های تحت پوشش هر یک از کلاس‌های تناسب، در هر یک از محصولات در جدول ۱۰ آورده شده‌اند. نقشه نهایی به‌دست آمده برای گندم دارای امتیازاتی بین ۳/۱۲۵ تا ۴/۲۲۸ بود که عمده آن در محدوده مناسب طبقه‌بندی شد. مناطق با تناسب متوسط عمدتاً در قسمت جنوبی دشت واقع شده‌اند، که شهرهای بهرام‌آباد، نوآباد و شمس‌آباد را شامل می‌شود. امتیازات به دست آمده برای زراعت یونجه از ۳/۱۸ تا ۴/۱۴ می‌باشد. بعد از طبقه‌بندی این امتیازات، تقریبا بیش‌تر مساحت دشت در کلاس مناسب قرار گرفت. این موضوع بیانگر شرایط اقلیمی و خاکی مناسب برای کشت این محصولات است. این موضوع با نتایج سایر پژوهش‌هایی که در منطقه انجام شده مطابقت داشت. نتایج مطالعه اعتدالی و گیوی (۱۳۹۳) که بر روی ارزیابی اراضی منطقه شهرکرد و با استفاده از روش محدودیت ساده انجام شده بود، نشان داد که کلاس کیفی تناسب، در همه واحدهای اراضی مورد مطالعه برای کشت فاریاب ذرت علوفه‌ای، گندم و جو، کلاس مناسب بود که کاملا منطبق با نتایج به دست آمده می‌باشد. همچنین غفاری موفق (۱۳۸۶) در ارزیابی که برای اراضی دانشگاه شهرکرد انجام داده بود، میزان تناسب این زمین‌ها را برای کشت گندم، عمدتا کلاس مناسب برآورد نمود.

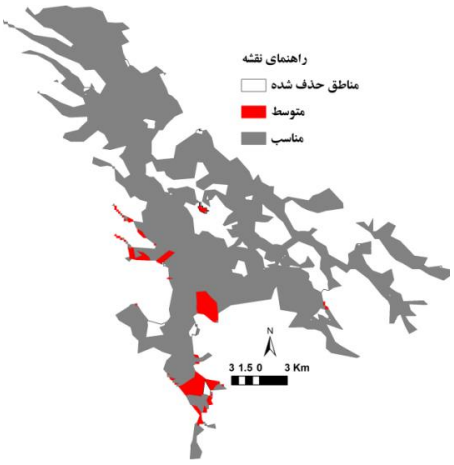
مناطق مستعد کشت محصولات مبتنی بر مدیریت کیفی آبخوان

با داشتن نقشه حریم کیفی آبخوان و پهنه‌های مناسب برای کشت هر محصول از لحاظ شرایط اقلیمی، خاک و توپوگرافی، در نهایت مناطق مستعد کشت هر محصول با در نظر گرفتن مدیریت کیفی آبخوان معرفی گردید. جهت اعمال مدیریت کیفی در آبخوان و با توجه به حریم‌بندی

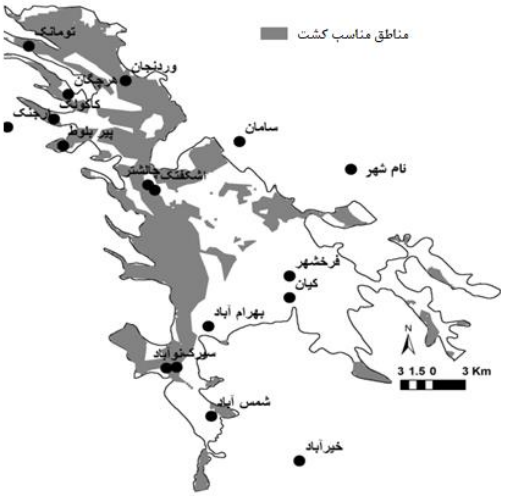
به دست آمده برای آبخوان، در مناطق بحرانی هیچ گونه کشتی نباید انجام شود. در مناطق خطرناک فقط گیاهانی که مصرف کود کمتری دارند مانند گندم می‌توانند کشت شوند. در مناطق کم‌خطر باید گیاهان با کود مصرفی کم (گندم) و متوسط (یونجه) کشت شوند. در مناطق بی‌خطر همه گیاهان با کود مصرفی کم (گندم)، متوسط (یونجه) و زیاد (مانند ذرت) را می‌توان کشت کرد. محصولات با کود مصرفی کم نظیر گندم و جو را در مناطق با حریم‌های خطرناک، کم‌خطر و بی‌خطر می‌توان کاشت. گیاهی با مقدار کود مصرفی متوسط نظیر یونجه را فقط می‌توان در مناطق کم‌خطر و بی‌خطر کشت کرد. محصولاتی که مصرف کود بیش‌تری دارند مانند سیب‌زمینی، بایستی فقط در محدوده بی‌خطر کشت شوند. مناطق مناسب برای کشت دو محصول مبتنی بر مدیریت کیفی آبخوان در شکل‌های ۷و ۸ مشخص شدند. با قرار دادن نام شهرهای واقع در دشت شهرکرد بر روی این نقشه‌ها، مناطق نهایی کشت هر محصول قابل شناسایی هستند. در جدول ۱۱ سطح زیر کشت هر محصول در حال حاضر در محدوده شهرکرد و همچنین سطح زیر کشت به دست آمده برای آن‌ها ذکر شده است. در دشت شهرکرد در حال حاضر ۴۹۸۹ هکتار سطح زیر کشت گندم آبی می‌باشد که بر اساس نتایج به دست آمده، تا حدود ۲۲۶۰۰ هکتار قابل افزایش است. سطح زیر کشت فعلی یونجه ۳۸۰۶ هکتار مشاهده شده است که با توجه به نتایج، محدوده مطالعاتی تا ۲۸۱۹۸ هکتار پتانسیل افزایش سطح زیر کشت را دارد.



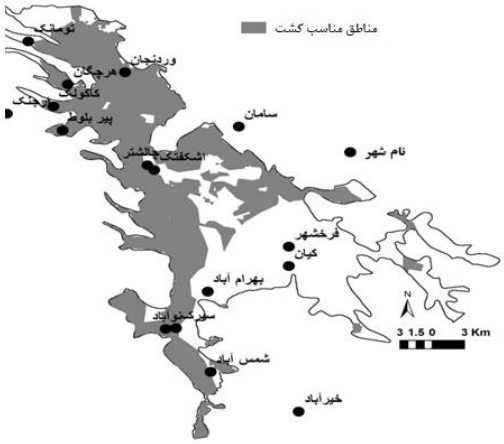
شکل ۵. مناطق مستعد کشت گندم آبی در دشت شهرکرد



شکل ۶. مناطق مستعد کشت یونجه در دشت شهرکرد



شکل ۷. مستعدترین مناطق کشت گندم آبی مبتنی بر مدیریت کیفی آبخوان شهرکرد



شکل ۸. مستعدترین مناطق کشت یونجه مبتنی بر مدیریت کیفی آبخوان شهرکرد

جدول ۱۰. مساحت‌های تحت پوشش هر یک از طبقات تناسب محصولات در دشت شهرکرد

میزان تناسب	گندم آبی		یونجه	
	Km^2	%	Km^2	%
نامناسب	---	---	---	---
ضعیف	---	---	---	---
متوسط	۲۱/۴۶	۳/۹۵	۱۸/۴۴	۳/۳۹
مناسب	۴۶۰/۳۴	۸۴/۷۱	۴۶۳/۳۵	۸۵/۲۷
خیلی مناسب	---	---	---	---

جدول ۱۱. سطح زیر کشت مشاهده شده (واقعی) و محاسبه شده برای هریک از محصولات در دشت شهرکرد

سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	
	گندم آبی	یونجه
مشاهده شده	۴۹۸۹	۳۸۰۶
محاسبه شده	۲۲۶۷۳	۲۸۱۹۸

نتیجه‌گیری

بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در زمینه تعیین مناطق مستعد کشت محصولات کشاورزی با هدف بیشینه کردن سود خالص و یا کمینه کردن هزینه‌های تولید و بر اساس پارامترهای مربوط به خاک و شرایط آب و هوایی و مدیریتی انجام شده‌اند و مسائل مربوط به آبخوان و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی دخالت داده نشده‌اند. از سوی دیگر در تحقیقات مربوط به تعیین میزان خطرپذیری آبخوان معمولاً پارامترهای مربوط به آبخوان شرکت داده می‌شوند و پارامتر مهم و مؤثر الگوی کشت موجود در بالای سطح زمین و میزان کود مصرفی آن‌ها، تاثیر داده نمی‌شوند. لذا در این تحقیق علاوه بر پارامترهای موثر در بالای سطح زمین، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به زیر سطح زمین با هدف افزایش کیفیت منابع آب زیرزمینی نیز تلفیق شد. از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی استفاده شد و در نهایت، لایه‌ها با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) تلفیق شدند. نتایج نشان داد مناطق بدون خطر آلودگی و با پتانسیل آلودگی خیلی کم ۱۱ و ۵۱ درصد بود، مناطق با ریسک خطر آلودگی کم و کم تا متوسط نیز به ترتیب مساحت حدود ۳ و ۴ درصد داشت. همچنین ۴۱ درصد از آبخوان در محدوده بی‌خطر، ۳۳ درصد کم‌خطر و ۲۵ درصد هم در بازه خطرناک قرار دارد. از نظر مساعد بودن زمین کشت ۸۴/۷۱ درصد مناسب کشت گندم آبی و ۸۵/۲۷ درصد نیز مناسب یونجه بود و منطقه نامناسب، ضعیف و نیز خیلی مناسب برای کشت این محصولات مشاهده نشد. بنابراین می‌توان گفت کلاس کیفی تناسب، در همه واحدهای اراضی مورد مطالعه برای کشت گندم و یونجه کلاس مناسب بود.

منابع

اعتدالی، س.، و گیوی، ج (۱۳۹۳) ارزیابی کیفی و اقتصادی تناسب اراضی برای نباتات زراعی مهم در منطقه شهرکرد با استفاده از برنامه ALES. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره ۱، ص ۱۰-۲۱.

برزگر، ر.، اصغری‌مقدم، ا.، ندیری، ع.، و فیجانی، ا (۱۳۹۴) استفاده از روش‌های مختلف فازی برای بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، مطالعه موردی: آبخوان دشت تبریز، نشریه علوم‌زمین، جلد ۲۴، شماره ۹۵، ص ۲۱۱-۲۲۲.

جلالی، م.، و کلاهچی، ز (۱۳۸۴) غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه بهار همدان. نشریه علوم خاک و آب. جلد ۱۹، شماره ۲، ص ۱۹۴-۲۰۲.

روحانی، س (۱۳۸۲) محاسبه بهره‌وری آب در دو نظام بهره‌برداری تعاونی‌های تولید روستایی و زارعین خرده پا در استان همدان. گزارش نهایی کمیسیون کشاورزی، شورای پژوهش‌های علمی کشور.

سروری‌نیا، س.، فرقانی‌تهرانی،گ.، باقری، ر.، و گنجی نوروزی، ز (۱۳۹۹) مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری به روش GIS و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در شهر کنگاور، استان کرمانشاه، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۷، ص ۱۰۰-۱۱۱.

فتحی، ا (۱۳۹۰) اعتباریابی مدل‌های دراستیک و سینتکس به منظور تعیین آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد با استفاده از تغییرات فصلی غلظت‌های نیترات و فسفات. پایان‌نامه

کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

غفاری موفق، ف (۱۳۸۶) ارزیابی کیفی تناسب اراضی دانشگاه شهرکرد با روش GIS، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد.

لاله‌زاری، ر.، طباطبائی، س. ح.، و یارعلی، ن. ا (۱۳۸۸) بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد و پهنه‌بندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله پژوهش آب ایران، جلد ۳، شماره ۴، ص ۹-۱۷.

مهدوی، ع.، نوری امام‌زاده‌ای، م. ر.، میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، و طباطبائی س. ح (۱۳۹۰) مکانیابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. مجله علوم آب و خاک. جلد ۱۵، شماره ۵۶، ص۶۳-۷۸.

محمدی، ج.، و گیوی، ج (۱۳۸۰) ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان)، با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، جلد ۵، شماره ۱، ص۱۰۱-۱۱۶.

مومنی، ع.، و جعفری‌زاده، ج (۱۴۰۱) مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری در شهرستان اسفراین، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. دوره ۱۶، شماره ۳۱. doi: 10.22084/nfag.2021.23565.1447

میرزایی، س.، نادری خوراسگانی، م.، بیگی، ح.، و محمدی، ج (۱۳۹۱) ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل DRASTIC. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۶، شماره ۱۱، ص۱۴۳-۵۱.

نصراللهی، ن.، کاظمی، ح.، و کامکار، ب (۱۳۹۴) امکان‌سنجی کشت یونجه یکساله (Medicago scutellata) در شهرستان آق‌قلا (استان گلستان) با استفاده از GIS. بوم شناسی کشاورزی. جلد ۷، شماره ۳، ص ۳۹۷-۴۱۱.

Abdullah, T., Salahalddin, A., and Al-Ansari, N (2015) Effect of agricultural activities on groundwater vulnerability: Case study of Halabja Saidsadiq Basin, Iraq. J. of Environmental Hydrology, 23(10): 741-760.

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R., and Hackett, G (1987) DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro-geological setting. Environmental Protection Agency, 600/2–87–035:622.

Batarseh, M., Imreizeeq, E., Tilev, S., Al Alaween, M., Suleiman, W., Al Remeithi, A. M., and Al Alawneh, M (2021) Assessment of groundwater quality for irrigation in the arid regions using irrigation water quality index (IWQI) and GIS-zoning maps: case study from Abu Dhabi Emirate, UAE. Groundwater for Sustainable Development, 100611.

Li, R., Merchant, J. W., and Chen, X. H (2014) A geospatial approach for assessing groundwater vulnerability to nitrate contamination in agricultural settings. Water, Air, & Soil Pollution, 225 (12): 1-17.

Mahdavi, A., Tabatabaei, S. H., Nouri, M., and Mahdavi, R (2010) Identification of groundwater artificial recharge sites using Fuzzy logic: A case study of Shahrekord plain, Iran. In Proceeding of 5th edition international congress geotunis (Vol. 29). Tunisia.

Mahdavi, A., Tabatabaei, S. H., Mahdavi, R., and Nouri Emamzadei, M. R (2013) Application of digital techniques to identify aquifer artificial recharge sites in GIS environment. Digital Earth 6 (6): 589-609. doi.org/10.1080/17538947.2011.638937.

Mohammadi, K., Niknam, R., and Majd Vahid, J (2009) Aquifer vulnerability assessment using GIS and fuzzy system: a case study in Tehran-Karaj aquifer, Iran. Enviroment Geology, 58: 437-446.

Phok, R., Wasantha, N. K. D., Bandara, W. S., Amarasooriya, P. H. M. T. G., and Arachchilage, D. H (2021) Using intrinsic vulnerability and anthropogenic impacts to evaluate and compare groundwater risk potential at northwestern and western coastal aquifers of Sri Lanka through coupling DRASTIC and GIS approach. Applied Water Science, 11(7): 1-18

Ramamurthy, V., Reddy, G. O., and Kumar, N (2020) Assessment of land suitability for maize (Zea mays L) in semi-arid ecosystem of southern India using integrated AHP and GIS approach. Computers and Electronics in Agriculture, 179: 105806. doi.org/10.1016/j.compag.2020.105806.

Slama, T., and Sebei, A (2020) Spatial and temporal analysis of shallow groundwater quality using GIS, Grombalia aquifer, Northern Tunisia, J. of African Earth Sciences, 170. 103915.

Stigter, T., Ribeiro, L., and Dill, A (2006) Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. Hydrogeology, 14 (1-2): 79-99.

Tabatabaei, S. H., Lalezari, R., Nourmahnad, N., and Khazaei, M (2010) Groundwater quality and land use change (a case study: Shahrekord aquifer, Iran). J. of Research in Agricultural science, 6 (10): 37-46.

Tercan, E., and Dereli, M. A (2020) Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey.

Ecological Indicators, 117: 106549. doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106549.

Wen, X., Wu, J., and Si, J (2009) A GIS-based DRASTIC model for assessing shallow groundwater vulnerability in the Zhangye Basin, northwestern China. Enviromental Geology, 57: 1435–1442.

Determination of spatial pattern of wheat and alfalfa using groundwater quality (Case study: Shahrekord plain)

A. Mahdavi[1], S. H. Tabatabaei[2], N. Nourmahnad[3*] and H. Zareabyaneh[4]

1- Ph. D. (graduated), Dept., of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3- Assist. Prof., Dept., of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
4- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

* **Negar.nourmahnad@pnu.ac.ir**

Recieved: 2021/12/29 Accepted: 2022/4/11

Abstract

A cultivation pattern in accordance with environmental conditions that reduces pollution of water and soil resources is one of the most important management strategies. This study aimed to simultaneously combine information related to soil, climate, crops and determine the potential of vulnerability and contamination of the aquifer, based on which susceptible cultivated areas (main cultivation -wheat and alfalfa) were evaluated. ArcGIS 10.3 software was used to investigate the effect of aquifer quality on cropping patterns. Climatic factors, soil parameters, and topographic characteristics were selected as effective parameters in selecting suitable cultivation sites. Nitrate content was collected in 46 wells in Shahrekord plain and averaged by kriging method, and a nitrate concentration map was obtained and combined with vulnerability map and aquifer quality area was investigated. Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to weight and finally, the layers were combined using the weighted linear combination (WLC) method. The results showed that areas without risk of contamination and with very low potential for contamination were 11 and 51%. Areas with low and medium to high risk of ontamination were 3 and 4%, respectively. About 25% of the aquifer area is in the high nitrate contamination range and its maximum nitrate concentration is 55 mg/l. Very high pollution (more than 75 mg/l) has not been estimated in Shahrekord plain aquifer. According to the results of this study, in terms of aquifer quality, the main part of the aquifer, about 41%, is in the safe range. 33% were classified in the low-risk group and 25% in the dangerous range. In Shahrekord plain, currently 4989 hectares are the area under irrigated wheat cultivation, which according to the results, can be increased to about 22,600 hectares. The current area under alfalfa is 3806 hectares, which according to the results, has the potential to increase the area under 28198 hectares.

Keywords: Aquifer vulnerability, Analytical hierarchy process, Pollution, Weighted linear combination