

## بررسی نقش تغییر کاربری اراضی در کیفیت منابع آب زیرزمینی و ارتباط آن با توان اکولوژیکی با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی

سامان گالالی‌زاده\*<sup>۱</sup>، بهرام ملک‌محمدی<sup>۲</sup>، سعید گیوه‌چی<sup>۳</sup>

۱ کارشناس ارشد برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲ دانشیار گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳ استادیار گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۰۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵)

### چکیده

تغییر کاربری اراضی با تغییر در میزان تولید، نوع پسماندها و ضایعات، سبب تغییر در نوع، میزان آلودگی و در نتیجه تغییر در کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. در این مقاله، با دیدگاه نوینی به بررسی رابطه تغییر کاربری اراضی با تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی پرداخته می‌شود. در این راستا، با انتخاب آبخوان کرج به عنوان مطالعه موردی، اطلاعات کاربری اراضی و کیفیت آب زیرزمینی منطقه برای سه دوره سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵، با استفاده از روش‌های سنجش از دور و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی تغییرات بارزی را در مساحت کاربری اراضی نشان داد. به طوری که، کاربری مسکونی- صنعتی طی این سه دوره افزایش ۴/۵ برابری داشته است. در ادامه، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی منطقه تهیه و میزان توزیع کاربری‌های مختلف در پهنه‌های کیفی آب زیرزمینی مشخص شد. ایجاد روابط رگرسیونی بین کاربری‌ها و شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی، معنی‌دار بودن رابطه بین کاربری مسکونی- صنعتی با میزان کلراید و مجموع مواد جامد محلول (TDS) آب زیرزمینی منطقه را نشان داد. در مرحله بعد، به منظور بررسی انطباق یا عدم انطباق کاربری اراضی سال ۱۳۸۵ با توان بالقوه منطقه، توان اکولوژیکی محدوده مورد نظر ارزیابی قرار گرفت و نقشه توان بالقوه سرزمین تهیه شد. تطبیق نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵ و نقشه توان سرزمین مبین عدم انطباق توسعه کاربری‌ها با توان بالقوه سرزمین در بسیاری از نقاط است. بنابراین، می‌توان افزایش غلظت شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی را نتیجه عدم توجه به توان بالقوه سرزمین در توسعه کاربری‌های منطقه دانست.

**کلید واژه‌ها:** تغییرات کاربری اراضی، تغییرات کیفیت آب زیرزمینی، ارزیابی توان اکولوژیکی، آبخوان کرج

## سرآغاز

سبب تغییر در نوع و میزان آلودگی و در نتیجه تغییر در کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. همچنین، از لحاظ کمی بر سطح سفره‌های زیرزمینی تأثیر گذاشته که این امر به نوبه خود سبب تغییر غلظت آلودگی‌ها و در نتیجه تغییر در کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین، بررسی تغییر کاربری اراضی یک منطقه در تعیین پایداری منابع آب زیرزمینی آن منطقه نقش حایز اهمیتی دارد.

کیفیت آب زیرزمینی یکی از مشخصه‌های مهم پایداری منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. به طور کلی، استفاده و توسعه منابع آب زیرزمینی به صورتی که در آینده آسیب‌پذیری‌های غیر قابل قبول در کیفیت، کمیت و در اکوسیستم‌های وابسته را به همراه نداشته باشد، تحت عنوان پایداری منابع آب زیرزمینی تعریف می‌شود (Alley et al., 1999). بنابراین، تعیین پایداری منابع آب زیرزمینی نیازمند بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی است.

دیلان آهرن و همکاران (Ahearn et al., 2005)، در زمینه رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب در ایالت کالیفرنیا در آمریکا تحقیق نموده و به این نتیجه دست یافته است که کیفیت آب رودخانه‌های این ایالت تحت تأثیر توسعه صنعت، تغییر کاربری اراضی به ویژه توسعه کشاورزی و فعالیت‌های دامداری و دامپروری آلوده بوده، به طوری که این اقدام‌ها موجب کاهش کیفیت آب اکثر رودخانه‌ها در این ایالت شده است.

رن و همکاران (Ren et al., 2003)، با بررسی رابطه کیفیت آب با شهرنشینی و تغییر الگوی استفاده از اراضی در حوزه آبخیز رودخانه Huangpu واقع در کشور چین در ۸ دوره زمانی مختلف از سال ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۶، برای تعیین روابط بین کیفیت آب و نرخ شهرنشینی، به این نتیجه دست یافته‌اند که افزایش وسعت اراضی بر روی کیفیت آب تأثیر گذاشته و سبب کاهش شدید کیفیت آب تا حدی می‌شود که حتی امکان استفاده از آن برای کشاورزی نیز میسر نمی‌باشد.

برایان پیجانوسکی و همکاران (Pijanowski et al., 2005) پژوهشی بر روی سفره آب زیرزمینی Sumas-Blaine واقع در ایالت واشنگتن با استفاده از مدل LTM<sup>(۲)</sup>، انجام داده‌اند. در این پژوهش، رابطه بین تغییر کاربری اراضی با تغییر میزان غلظت نترات در دوره‌های زمانی مختلف بررسی شد.

میلر و همکاران (Miller et al., 2004)، در آمریکا در تحقیقی در زمینه رابطه استفاده از اراضی با کیفیت آب، با هدف دستیابی

در شهرهای رو به رشد بازار آشفته زمین و ضعف مدیریت شهری اغلب سبب تخریب اراضی و محیط‌زیست، نابودی منابع و فضاهای باز، انهدام اراضی کشاورزی حاصلخیز، تراکم زیاد و حاشیه‌نشینی شده است. این جوامع در روند رو به شتابان خود به سمت تکامل فضا- زمان، نظام‌هایی پیچیده و در هم ریخته را تجربه کرده‌اند که شواهد آن را می‌توان در تمامی اجزای سیستم‌های یاد شده مشاهده کرد (رضویان، ۱۳۸۱).

امروزه با پیشرفت فن‌آوری در جوامع بشری و ایجاد صنایع و کارخانجات متعدد و با محصولات بسیار متنوع، لزوم حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از تولید و پخش هر گونه آلودگی محیطی جدی‌تر می‌شود. یکی از مهم‌ترین آلودگی محیطی که انسان را با خطر جدی روبه‌رو می‌سازد، آلودگی آب می‌باشد. به‌طور معمول، آب‌های سطحی به علت در دسترس بودن، بیشتر از آب‌های زیرزمینی یا آلاینده‌ها در تماس هستند و سریع‌تر آلوده می‌شوند. اما، آب‌های زیرزمینی نیز از اختلاط با آلاینده‌ها محفوظ نیستند. مهم‌ترین آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی فاضلاب شهری، پساب صنایع مختلف و سموم و کودهای شیمیایی می‌باشد که در مزارع کشاورزی فراوان استفاده می‌شوند (Navin et al., 2006).

استفاده روز افزون از منابع طبیعی و گسترش فعالیت‌های صنعتی از یک سو و افزایش بی‌رویه جمعیت سبب تغییر در کاربری اراضی جهت تأمین نیازهای انسان شده است. بدین معنی که تغییر کاربری اراضی تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله شرایط محیط زیستی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی قرار دارد. بنابراین، تغییرات کاربری اراضی در جهان را می‌توان در نتیجه توسعه در زمینه‌های مختلف فن‌آوری، اقتصادی- اجتماعی، سیاسی و تغییرات ایجاد شده در محیط‌زیست دانست. نوع و تأثیر این تغییرات قویاً به سیاست‌گذاری‌های حاکم وابسته است (Bouma et al., 1998).

تغییر کاربری اراضی نیز به صورت متقابل تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شرایط محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مردم در سطوح محلی و حتی منطقه‌ای دارد و از جمله منابعی که تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی قرار می‌گیرد، منابع آب زیرزمینی (از لحاظ کمی و کیفی) است (Bouma et al., 1998). تغییر کاربری اراضی با تغییر در میزان تولید و نوع پسماندها و ضایعات،

تشکیل می‌دادند. در حالی که، در سال ۲۰۰۵ این مقدار ۱۷٪ افزایش داشته است و سطح اراضی کشاورزی در طول این سال از ۳۶٪ کل حوزه در سال ۱۹۸۹ به ۲۲٪ کاهش یافته است (Thapa et al., 2007).

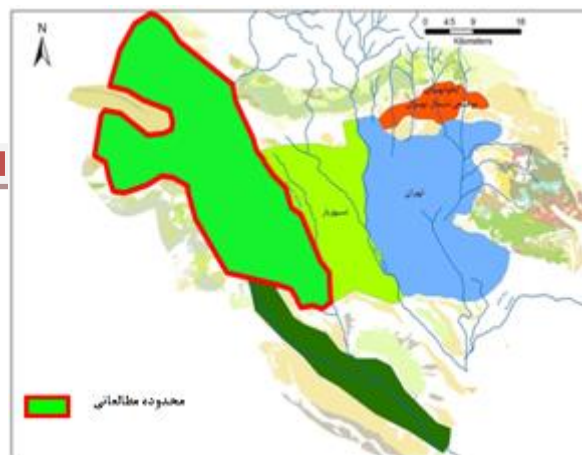
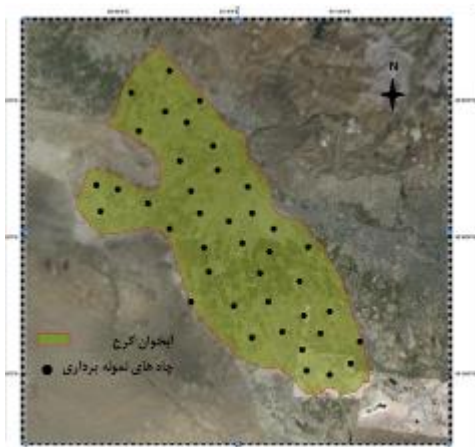
## مواد و روش ها

### معرفی منطقه

آبخوان دشت کرج بر اساس شکل (۱)، در بخش غربی دشت تهران- کرج، در غرب رودخانه کرج تا جنوب حسن‌آباد رباط کریم قرار دارد. عناصر تشکیل‌دهنده آبخوان به نسبت های متفاوت از عناصر تخریبی نظیر قلوه سنگ، شن و ماسه، سیلت و رس تشکیل یافته و از حاشیه شمالی (نواحی ورودی آب‌های زیرزمینی) به سمت بخش های میانی و خروجی دشت قطر ذرات به تدریج کاهش می یابد. این محدوده با مساحتی حدود صد هزار هکتار، اراضی بخش غربی دشت تهران- کرج را در بر می‌گیرد (شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۸۹).

به چگونگی برنامه‌ریزی جهت حفاظت از منابع طبیعی و آب به این نتیجه رسیده است که اثر منفی استفاده از اراضی منابع طبیعی بر کیفیت آب به شدت و نوع استفاده از اراضی بستگی دارد. به این معنا که اراضی کشاورزی و اراضی بکر بر اثر توسعه مناطق شهری و صنعتی به سرعت به سایر کاربری‌ها تبدیل می‌شوند. به طوری که، با توسعه مناطق صنعتی، تجاری و شهری و ایجاد سطوح نفوذ ناپذیر شامل جاده ها، پارکینگ، پیاده رو و ... از یک طرف حجم رواناب‌ها افزایش یافته و موجب افزایش سیلاب‌ها، رخداد شدید فرسایش خاک، تخریب فیزیکی محیط‌زیست و کاهش تنوع زیستی می‌شود و از طرف دیگر به خاطر از بین رفتن امکان خود پالایی آب و افزایش آلودگی آن زندگی آبریان به مخاطره می‌افتد.

راجش بهادر تاپا و همکاران، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۵ ضمن بررسی وضعیت تغییرات کاربری‌های مختلف در دره کاتماندو نپال، نشان داد که تغییرات در اراضی کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها بسیار زیاد بوده است. در سال ۱۹۸۹ مناطق مسکونی ۲۳٪ کل حوزه را



شکل (۱): موقعیت آبخوان کرج در دشت تهران- کرج

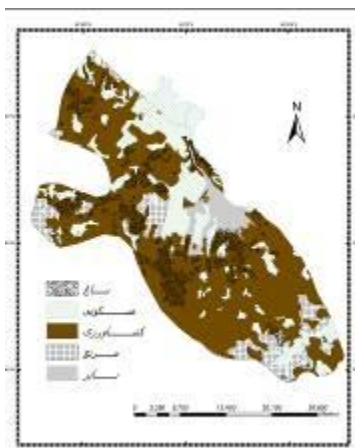
نزدیکی آبخوان کرج به شهر تهران، تمرکز مناطق صنعتی در داخل و اطراف آن، توسعه شهرک‌ها و کارگاه‌های صنعتی و متعاقب آن افزایش جمعیت و گسترش مناطق مسکونی در منطقه این پرسش را به‌وجود آورده است که این تغییرات چه اثری بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان گذاشته است. این تحقیق، در راستای پاسخ‌گویی به این پرسش انجام شده است.

آخرین آماربرداری از منابع آب زیرزمینی در سطح محدوده مطالعاتی آبخوان کرج مربوط به سال ۱۳۸۲ می‌باشد. نتایج این آماربرداری نشان می‌دهد آب زیرزمینی منطقه از طریق سه منبع چاه، قنات و چشمه تخلیه می‌شود. همچنین، ۷۴ درصد از حجم آب مصرفی در سطح منطقه از منابع آب زیرزمینی و مابقی از منابع آب سطحی تامین می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۸۶).

## روش پژوهش

خاک استفاده شده است. عملیات پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سه مرحله پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش انجام شد. نقشه توان اکولوژیکی منطقه با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار ArcGis 9.3 تهیه شد.

در این پژوهش، ابتدا نقشه‌های کاربری منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ تهیه شد (شکل‌های ۲ الی ۴). سپس، داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی منطقه تکمیل و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در گام بعدی، به بررسی رابطه بین تغییر مساحت انواع کاربری اراضی با مشخصه‌های کیفی آب زیرزمینی پرداخته شد. در پایان، نقشه توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری مسکونی- صنعتی تهیه و با نقشه این کاربری در سال ۱۳۸۵ مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل (۴): نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵

## پردازش عکس‌های ماهواره‌ای

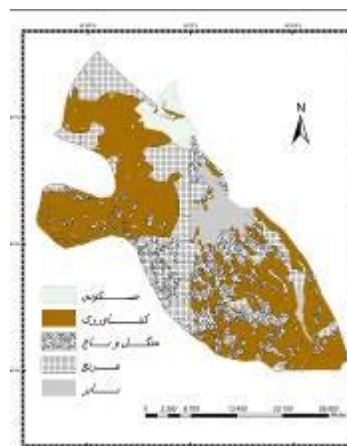
فرایند پردازش تصاویر با روش سنجنش از دور مبتنی بر مراحل زیر است:

## الف) مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای:

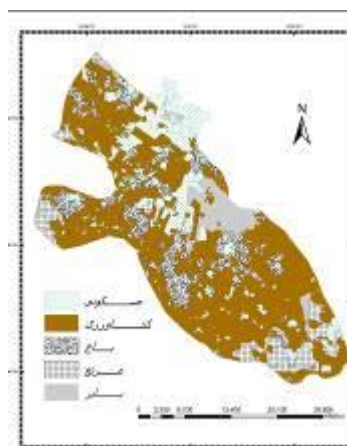
مرحله پیش‌پردازش در واقع تصحیح و بهینه‌سازی اطلاعات می‌باشد. در این مرحله سعی می‌شود. خطاهای سیستماتیک و غیرسیستماتیک موجود در تصاویر تصحیح شود (علوی‌پناه، ۱۳۸۴). در تحقیق حاضر، اقدام‌های انجام گرفته در این مرحله شامل تصحیحات هندسی می‌باشد. بر این اساس، در این تحقیق نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت و تصاویر زمین مرجع شدند. برای انجام تصحیح هندسی نقاط کنترل با پراکنش مناسب از سطح منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شده و در محیط نرم‌افزار Erdas بر سطح تصویر پیاده شد. در ادامه، برای نمونه‌گیری ارزش مجدد پیکسل‌ها از روش نزدیکترین همسایه استفاده و تصاویر با خطای ۰/۴۲، پیکسل زمین مرجع شدند.

## ب) طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس ارزش عددی پیکسل‌ها انجام می‌گیرد که در آن پدیده‌های دارای ارزش عددی یکسان،



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۶۵



شکل (۳): نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۵

برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از پنج دسته داده شامل تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM ماهواره لندست در سال‌های ۶۵، ۷۵ و ۸۵، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه تیپ گیاهی و نقشه

مسکونی، کشاورزی، مرتع، باغ و بایر به دست آمد.

### ج) ارزیابی صحت طبقه‌بندی

پس از اعمال الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال، اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شده و ماتریس خطای طبقه‌بندی استخراج شد. سپس، اقدام به محاسبه دقت کلی طبقه‌بندی شد که در تحقیق حاضر صحت کلی به دست آمده برای طبقه‌بندی با الگوریتم حداکثر احتمال براس سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۸۵/۵٪، ۸۷/۲٪ و ۸۵/۴٪ محاسبه شده است.

### د) مرحله پس پردازش

به کلیه عملیات پس از طبقه‌بندی به اصطلاح پس‌پردازش گفته می‌شود. در تحقیق حاضر، اقدام‌های انجام شده در مرحله پس‌پردازش شامل: ادغام کلاس‌ها، تطبیق با مدل رقومی ارتفاع، انتقال به محیط GIS و تشکیل پایگاه اطلاعات زمینی و ارایه نتایج است.

در این تحقیق پس از تبدیل فرمت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از رستر به وکتور، نتایج در قالب Shp ذخیره شد و در مرحله بعدی نرم افزار ArcGis 9.3 مورد استفاده قرار گرفت و پایگاه اطلاعات زمینی<sup>(۶)</sup> تشکیل شد.

مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی به شرح جدول (۱)، تعیین و در پایگاه اطلاعات زمینی ذخیره شد.

در یک گروه قرار می‌گیرند. این طبقه‌بندی که مبتنی بر ارزش عددی پیکسل‌ها می‌باشد، طبقه‌بندی پیکسل پایه<sup>(۳)</sup> نامیده می‌شود. (فیضی‌زاده و رحیمی، ۱۳۸۶) در این تحقیق، از روش نظارت شده به منظور طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده است. بنابراین، کلاس‌های مختلف براساس نمونه‌گیری<sup>(۴)</sup> تعیین شده‌اند.

پس از تعیین طبقات طیفی (تعیین کلاس‌های طیفی) لازم است که کاربر در مورد چگونگی اختصاص پیکسل‌ها به کلاس‌ها تصمیم‌گیری کند. در این پروژه، از الگوریتم حداکثر احتمال<sup>(۵)</sup> استفاده شد. این الگوریتم برای اختصاص پیکسل‌ها به هر کلاس نه تنها مرکز کلاستر (میانگین) را در نظر می‌گیرد، بلکه اندازه و جهت‌گیری کلاستر را نیز مدنظر قرار می‌دهد. در این الگوریتم، بر اساس میانگین و واریانس مجاز برای هر کلاس، مقادیر (DNpix) با حداکثر احتمال عضویت در یک کلاس را مشخص می‌کند. هر چه از مرکز این بیضی دور شویم، درجه عضویت این پیکسل‌ها در کلاس موردنظر کمتر می‌شود (Jafarian et al., 2006).

پس از نمونه‌برداری و انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی کننده، طبقه‌بندی اصلی شروع می‌شود. یعنی پیکسل‌ها بر اساس ارزش‌هایشان به کلاس‌های از پیش تعیین شده اختصاص داده می‌شوند. برای از بین بردن آثار منفی پیکسل‌های نامربوط مقدار آستانه‌ای ۹ تعریف شد (Threshold=9). در پایان، این مرحله نقشه طبقه‌بندی نهایی کاربری اراضی منطقه شامل کاربری‌های

جدول (۱): مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ در محدوده مورد مطالعه و تغییرات آنها

نوع کاربری	مساحت کاربری‌ها (هکتار)			تغییرات کاربری اراضی		
	سال ۱۳۶۵	سال ۱۳۷۵	سال ۱۳۸۵	تغییرات در مقطع زمانی ۶۵-۷۵	وضعیت	تغییرات در مقطع زمانی ۶۵-۸۵
مسکونی	۴۶۴۶/۹	۱۵۱۶۹/۱۵	۲۰۸۱۴	افزایش	افزایش	افزایش
کشاورزی	۴۶۲۸۷	۶۱۱۹۲	۵۶۰۴۰	افزایش	کاهش	افزایش
باغ	۱۴۱۳۰	۱۲۶۸۵/۶	۱۲۲۹۸	کاهش	کاهش	کاهش
مرتع	۲۳۶۷۵/۷	۵۸۳۳	۶۷۹۱/۵	کاهش	افزایش	کاهش
بایر	۱۰۵۱۴	۵۳۰۶/۱۳	۴۶۱۶/۶	کاهش	کاهش	کاهش

ارایه شده است. اکثر منابع آبی نمونه برداری شده چاه عمیق و نیمه عمیق می‌باشند (شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۸۹). پس از دسته‌بندی داده‌های مربوط به شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کرج، نقشه‌های پهنه‌بندی برای شاخص‌های

### تغییرات وضعیت منابع آب زیرزمینی منطقه

در این بخش، به بررسی و تحلیل آماری داده‌های هیدروشیمیایی منطقه موردنظر پرداخته می‌شود. در جدول (۲)، غلظت شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف

مرکز پیکسل هستند، در برآورد نقاط نامعلوم تأثیر با وزن بیشتری دارند.

### تهیه نقشه توان اکولوژیکی منطقه

ارزیابی توان اکولوژیکی یکی از روش‌های تعیین کاربری‌های بهینه اراضی است و به‌عنوان هسته مطالعات محیط‌زیست و به‌عنوان پیشگیری و حتی درمان بحران محیط‌زیست به‌شمار می‌رود. از این‌رو، پیش از اجرای توسعه، تعیین توان اکولوژیکی سرزمین برای کاربری‌های مختلف ضروری است (فتاحی، ۱۳۸۵) (جدول ۳).

مختلف با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شد. برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از ابزار Interpolation to raster در نرم‌افزار GIS استفاده شده است. در شکل‌های (۵ الی ۱۰)، میزان غلظت کلراید و TDS در بخش‌های مختلف منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

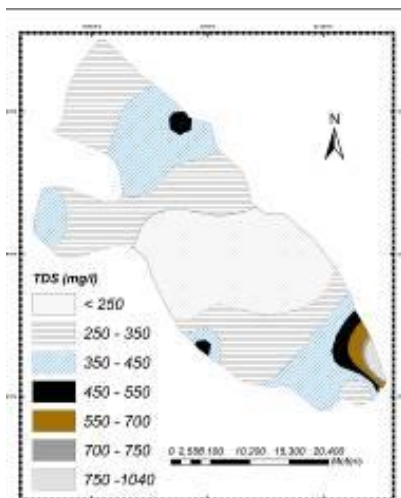
درون‌یابی یا Interpolation، فرایند به‌دست آوردن نقاط مجهول توسط نقاط معلوم تعریف می‌شود. در این تحقیق، از روش IDW<sup>(۴)</sup> استفاده شده است. در این روش، مقادیر پیکسل‌های مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم در نزدیکی هر پیکسل برآورد می‌شود و مقادیری که نزدیک‌تر به

جدول (۲): میزان تغییرات شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان کرج در سالهای مورد مطالعه

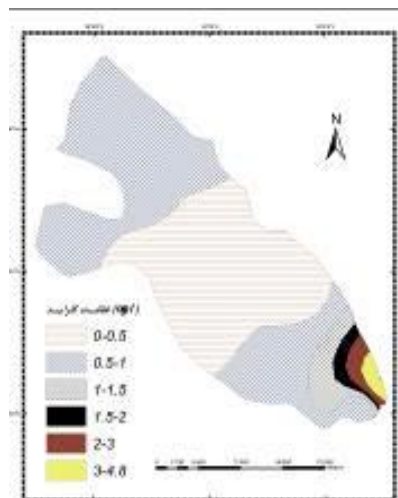
تغییرات غلظت شاخص‌های کیفی در دوره‌های زمانی						غلظت شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی			شاخص‌های کیفی
تغییرات در وضعیت	مقطع زمانی ۸۵-۶۵	وضعیت	تغییرات در مقطع زمانی ۸۵-۷۵	وضعیت	تغییرات در مقطع زمانی ۷۵-۶۵	سال ۸۵	سال ۷۵	سال ۶۵	
افزایش	برابر ۱/۴۳	افزایش	برابر ۱/۰۳	افزایش	برابر ۱/۳۹	۳/۴۵	۳/۳۳	۲/۴۱	بی‌کربنات (Meq/lit)
افزایش	برابر ۱/۷۷	افزایش	برابر ۱/۴۹	افزایش	برابر ۱/۱۸	۳/۸۹	۲/۶	۲/۱۹	سولفات (Meq/lit)
افزایش	برابر ۳/۴۷	افزایش	برابر ۱/۳۱	افزایش	برابر ۲/۶۳	۲/۵	۱/۹	۰/۷۲	کلراید (Meq/lit)
افزایش	برابر ۱/۹	افزایش	برابر ۱/۳۲	افزایش	برابر ۱/۴۳	۶۹۶	۵۲۳/۷۹	۳۶۵/۰۴	TDS (mg/lit)
افزایش	برابر ۱/۷۷	افزایش	برابر ۱/۳	افزایش	برابر ۱/۳۵	۹۴۳/۱۵	۷۲۱/۵۴	۵۳۰/۷۳	EC <sup>(۴)</sup> (میکروموس بر سانتی‌متر)
افزایش	برابر ۱/۰۳	افزایش	برابر ۱/۰۱	کاهش	برابر ۰/۹۵	۷/۸۴	۷/۷۲	۸/۱	PH
افزایش	برابر ۲/۵۷	افزایش	برابر ۱/۸۶	افزایش	برابر ۱/۳۸	۳/۸۶	۲/۰۷	۱/۵	SAR (Meq/lit)
افزایش	برابر ۱/۷۶	افزایش	برابر ۱/۰۶	افزایش	برابر ۱/۶۶	۳/۶۶	۳/۴۴	۲/۰۷	کلسیم (Meq/lit)
کاهش	برابر ۰/۷۷	افزایش	برابر ۱/۳۳	افزایش	برابر ۱/۰۲	۱/۷۸	۲/۳۸	۲/۳۲	منیزیم (Meq/lit)
افزایش	برابر ۱/۹۸	افزایش	برابر ۱/۳۹	افزایش	برابر ۱/۴۲	۴/۲۴	۳/۰۵	۲/۱۴	سدیم (Meq/lit)

جدول (۳): طبقات منابع موجود در منطقه

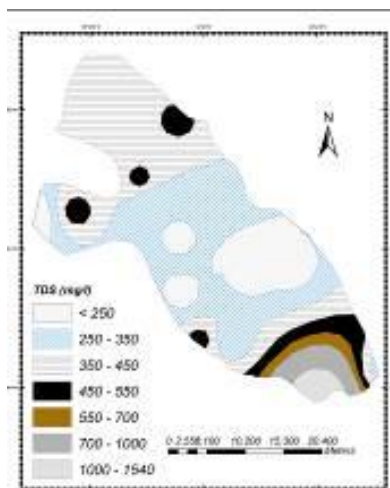
کد طبقه	شیب (%)	جهت	ارتفاع (متر)	پوشش گیاهی	خاک
۱	۰-۲	بدون جهت	۰-۱۰۰	Vegetation steppique, Artemisia, Astragalus	I
۲	۲-۵	شمالی	۱۰۰-۲۰۰	-	IIS
۳	۵-۸	شمالی شرقی	۲۰۰-۴۰۰	Tamarix articulata	IIAS
۴	۸-۱۲	شرقی	۴۰۰-۶۰۰	-	IIIS
۵	۱۲-۱۵	جنوبی شرقی	۶۰۰-۱۲۰۰	-	IIIW
۶	۱۵-۲۰	جنوبی	۱۲۰۰-۱۸۰۰	-	IIVA
۷	۲۰-۳۰	جنوبی غربی	-	-	VA
۸	۳۰-۶۵	غربی	-	-	-
۹	-	شمالی غربی	-	-	-



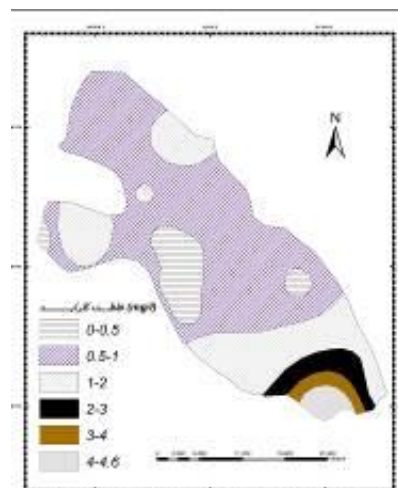
شکل (۸): نقشه پهنه‌بندی غلظت TDS در سال ۱۳۶۵



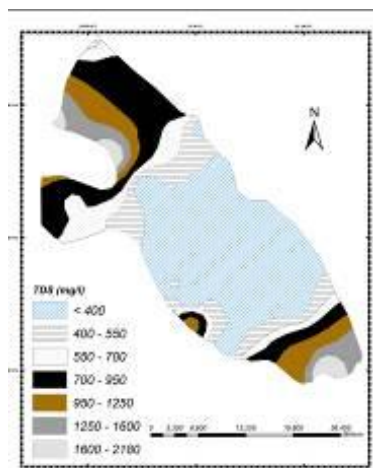
شکل (۵): نقشه پهنه‌بندی غلظت کلراید در سال ۱۳۶۵



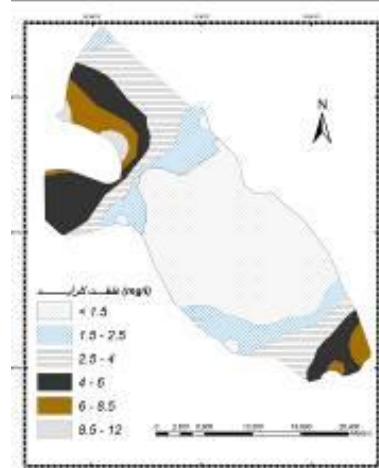
شکل (۹): نقشه پهنه‌بندی غلظت TDS در سال ۱۳۷۵



شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی غلظت کلراید در سال ۱۳۷۵



شکل (۱۰): نقشه پهنه‌بندی غلظت TDS در سال ۱۳۸۵



شکل (۷): نقشه پهنه‌بندی غلظت کلراید در سال ۱۳۸۵

شامل: منابع فیزیکی (نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع و خاک) و منابع بیولوژیکی (نقشه تیپ گیاهی) هستند. اطلاعات جمع‌آوری شده از این منابع به شرح جدول (۴)، طبقه‌بندی شده است. نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از روی نقشه توپوگرافی منطقه با کمک نرم‌افزار GIS تهیه شد. این نقشه‌ها همراه با نقشه خاک و پوشش گیاهی، با استفاده از ابزار spatial analysis و بر اساس طبقات ذکر شده در جدول (۴)، دوباره طبقه‌بندی شدند. سپس، تمامی نقشه با هم ادغام شده و نقشه نهایی شامل تمامی طبقات منابع مختلف موجود در محدوده مطالعاتی، تهیه شد.

روش به کار گرفته شده جهت ارزیابی در این تحقیق، از آخرین روش‌های معمول در این زمینه است که خود از روش‌های تجزیه و تحلیل سیستمی نشأت گرفته است. فرایند این روش شامل مراحل زیر است:

۱. شناسایی منابع
۲. تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی داده‌ها
۳. کدگذاری اکوسیستم‌ها
۴. ارزیابی توان محیط‌زیست

تمامی این مراحل در محیط نرم افزار GIS انجام شده است.

در این تحقیق، منابع مورد نیاز برای ارزیابی توان اکولوژیکی،

جدول (۴): سطح معناداری مابین شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی و کاربری‌های منطقه

شاخص‌های کیفی آب										نوع کاربری
Cl-	HCO <sub>3</sub> -	So <sub>4</sub> -	TDS	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na+	pH	EC	SAR	
۰/۰۱۱	۰/۱۵۶	۰/۲۹۵	۰/۰۳	۰/۲۵۲	۰/۱۳۲	۰/۱۵۹	۰/۴۲۳	۰/۱۷۳	۰/۲۹۴	مسکونی - صنعتی
۰/۰۹	۰/۱۵۴	۰/۸۲۶	۰/۰۶	۰/۷۴۶	۰/۲۷۱	۰/۱۶۱	۰/۴۲۱	۰/۱۴۰	۰/۲۹۷	کشاورزی
۰/۵۲	۰/۳۷۵	۰/۱۷	۰/۵۳۴	۰/۲۱۷	۰/۳۸۹	۰/۶۹	۰/۱۰۸	۰/۰۶۲	۰/۸۲۶	باغ
۰/۲۴۳	۰/۰۹۸	۰/۲۹۷	۰/۲۵۷	۰/۴۹۵	۰/۲۱۰	۰/۴۱۳	۰/۱۶۹	۰/۶۶۹	۰/۵۴۸	مرتع
۰/۰۸۶	۰/۲۳۱	۰/۲۲۰	۰/۰۷۲	۰/۸۲۴	۰/۱۴۵	۰/۰۸۴	۰/۴۹۸	۰/۳۹۱	۰/۲۲۰	بایر

وسعت اراضی مسکونی - صنعتی در سه مقطع زمانی مورد مطالعه وجود دارد.

### مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی با نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی

در این مرحله، برای شاخص‌های TDS و کلراید، نقشه پهنه‌بندی در سه دوره مزبور تهیه و با نقشه‌های کاربری اراضی دوره‌های مختلف مقایسه شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی کلراید و TDS مشخص شد در پهنه‌هایی که توسعه مسکونی - صنعتی صورت گرفته است، غلظت این دو شاخص از غلظت میانگین خود بیشتر بوده و بالاترین غلظت را دارند. برای مثال، براساس شکل (۱۱)، بررسی نقشه پهنه‌بندی کلراید در سال ۱۳۸۵ با نقشه کاربری در همان سال نشان می‌دهد: در مناطقی که توسعه مسکونی - صنعتی صورت گرفته غلظت کلر بیشتر از ۴ میلی‌اکی والان در لیتر می‌باشد و به عبارتی از غلظت میانگین خود (۲/۵ میلی‌اکی والان در لیتر) بیشتر است. همچنین، براساس شکل (۱۲)،

### یافته‌ها

#### بررسی رابطه بین تغییرات مساحت کاربری‌های اراضی با تغییر کیفیت آب

در این مرحله، همبستگی بین دو عامل تغییرات مساحت انواع کاربری‌های اراضی در مقاطع زمانی سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ و تغییرات شاخص‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب در سنوات مذکور مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل روابط رگرسیونی با به کارگیری نرم افزار SPSS صورت پذیرفت. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه‌های تطبیقی و تجزیه و تحلیل های همبستگی که در جدول (۴) آورده شده است، مشخص شد که بین مجموع مواد جامد محلول در آب (TDS) و کلراید منطقه مورد مطالعه (آبخوان کرج) با تغییر مساحت کاربری مسکونی - صنعتی رابطه معنی‌دار وجود دارد و بین سایر شاخص‌ها با این کاربری، همچنین بین سایر کاربری‌ها با شاخص‌های موجود، رابطه معنی‌دار وجود ندارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، مشخص شد که همبستگی مثبت خطی بین متوسط مقدار کلراید و مواد جامد محلول در آب با



### مقایسه نقشه کاربری مسکونی - صنعتی با نقشه توان اکولوژیکی منطقه

در این تحقیق، با توجه به وجود رابطه معنی دار بین شاخص‌های TDS و کلراید با کاربری مسکونی - صنعتی، تناسب و انطباق استقرار این کاربری با توان اکولوژیکی منطقه بررسی و مناطقی که دارای توان برای کاربری مزبور نیستند مشخص شد.

با مقایسه مدل ریاضی کاربری توسعه شهری، روستایی و صنعتی ایران، با طبقات منابع موجود در منطقه، توان اکولوژیکی برای کاربری‌های مزبور ارزیابی و نقشه‌بندی شد. در نتیجه ارزیابی توان اکولوژیکی، نقشه توان منطقه برای توسعه شهری و روستایی تهیه شد. بر این اساس، ابتدا در شکل (۱۳)، نقشه توان اکولوژیکی منطقه برای توسعه شهری و روستایی تهیه و ارایه شد.

از آن جا که نیازمندی‌های محیط‌زیستی برای برپایی مناطق شهری، خدماتی، بازرگانی و صنعتی تقریباً یکسان هستند، مدل اکولوژیکی ساخته شده برای توسعه شهری، روستایی و صنعتی یک جا ارایه می‌شود (مخدوم، ۱۳۸۵). توانایی منطقه برای توسعه شهری و روستایی در نقشه (۱۳)، نشان داده شده است. در نتیجه ارزیابی توان اکولوژیکی، ۳ طبقه توان در منطقه مطالعاتی برای توسعه شهری و روستایی وجود دارد. نواحی نامناسب برای توسعه شهری و روستایی در محدوده مطالعاتی موردنظر مساحتی معادل با ۳۶۴۲۴ هکتار را در بر می‌گیرد.

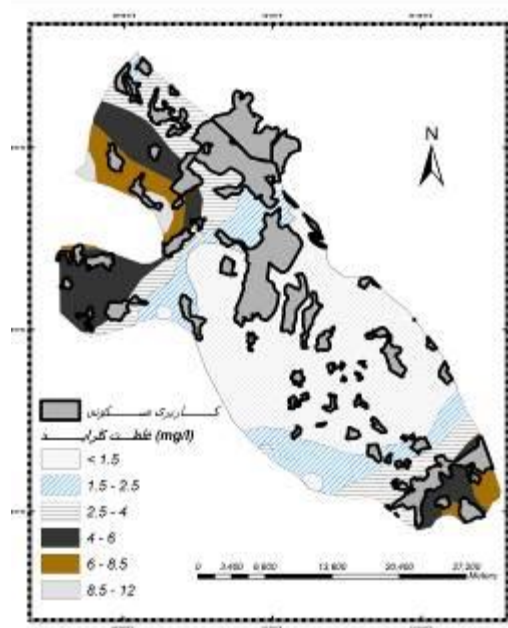
با بررسی نقشه‌های مربوط به توسعه مناطق مسکونی - صنعتی در سه دوره مزبور، میزان مساحتی از منطقه که با وجود فقدان توان اکولوژیکی به این کاربری اختصاص یافته است، مشخص شد (جدول ۵). توزیع مکانی این نواحی در شکل (۱۴) نمایش داده شده است.

#### جدول (۵): میزان توسعه مناطق مسکونی در نواحی فاقد توان اکولوژیکی مناسب

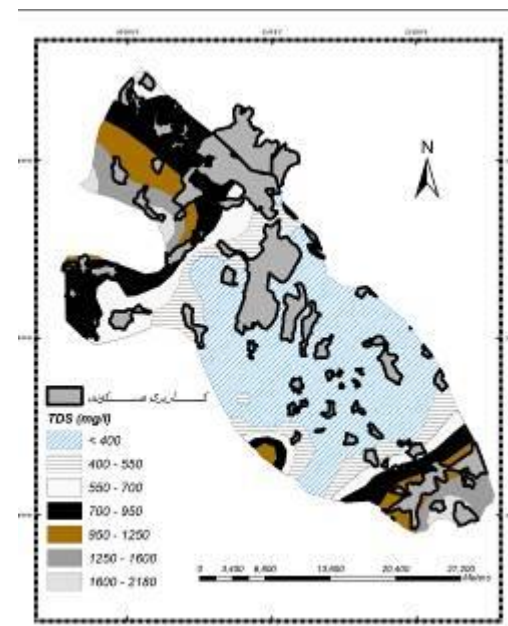
سال	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵
مساحت (هکتار)	۲۰۴۵	۴۶۳۹	۲۴۹۱۹

همان گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود: میزان گسترش مناطق مسکونی در نواحی نامناسب برای توسعه این کاربری با گذر زمان بیشتر و بیشتر شده است، به گونه‌ای که در سال ۸۵ حدود ۷۰٪ از نواحی که توان توسعه مسکونی - صنعتی را ندارند، توسط این کاربری در بر گرفته شده است.

مقایسه نقشه پهنه‌بندی TDS در سال ۱۳۸۵ با نقشه کاربری در همان سال نشان داد: در مناطقی که توسعه مسکونی - صنعتی صورت گرفته است، مقدار TDS بیشتر از ۹۰۰ میلی گرم در لیتر و به عبارتی بیشتر از غلظت میانگین خود (۷۰۰ میلی گرم در لیتر) می‌باشد.



شکل (۱۱): توزیع کاربری مسکونی - صنعتی نسبت به پهنه‌بندی غلظت کلراید در آبخوان کرج



شکل (۱۲): توزیع کاربری مسکونی - صنعتی نسبت به پهنه‌بندی غلظت TDS در آبخوان کرج

بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در سه دوره ذکر شده، تغییرات بارزی را در پوشش اراضی نشان داد این تغییرات عبارتند از:

۱. افزایش تصاعدی در مساحت کاربری مسکونی به گونه‌ای که مساحت این کاربری در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۶۵ معادل ۴/۵ برابر افزایش داشته است. از دلایل این افزایش می‌توان به نزدیکی منطقه موردنظر به شهر تهران و تمرکز صنعت در داخل و اطراف آن اشاره کرد که منطقه را به یک منطقه مهاجرپذیر مبدل نموده است.

۲. مساحت کاربری کشاورزی از سال ۶۵ تا سال ۷۵ افزایش چشمگیری داشته که به دلیل مساعد بودن منطقه برای زراعت، حفر چاه‌های متعدد و استفاده از سفره آب زیرزمینی بوده است. اما، در سال ۹۰ مساحت این کاربری نسبت به سال ۷۵ کاهش یافته است. دلیل این کاهش را می‌توان کاهش منابع آب زیرزمینی در نتیجه حفر بی‌رویه چاه‌های متعدد و همچنین توسعه بدون کنترل کاربری مسکونی و در نتیجه جایگزین شدن آن به جای کاربری کشاورزی دانست.

۳. کاهش تدریجی در مساحت مناطق بایر به دلیل توسعه کاربری مسکونی در زمین‌های بایر اطراف، مشاهده می‌شود.

۴. کاهش چشمگیر در مساحت مراتع بویژه بین سال‌های ۶۵ تا ۷۵ را نیز می‌توان به دلیل توسعه مناطق مسکونی، سیاست دولت جهت توسعه کشاورزی و مساعد بودن منطقه برای کشاورزی و در نتیجه، جایگزینی این کاربری در مراتع دانست.

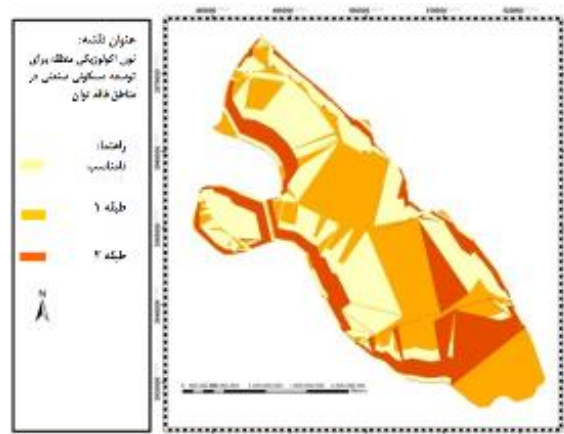
با بررسی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در دوره‌های مختلف، این نتیجه به دست آمد که تغییر غلظت یون کلراید و مقادیر TDS در مقایسه با سایر شاخص‌ها بیشتر بوده است و دامنه تغییرات بزرگتری دارند.

مقایسه نقشه‌های تغییر کاربری اراضی در سال‌های مورد مطالعه با نقشه‌های پهنه‌بندی کلراید و TDS در سال‌های مشابه نشان می‌دهد: در مناطقی که توسعه کاربری مسکونی - صنعتی صورت گرفته است، مقادیر این شاخص‌ها و میزان تغییرات آن‌ها بیشتر می‌باشد.

ایجاد روابط رگرسیونی بین شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی و کاربری‌های مختلف، معنی‌دار بودن رابطه مابین پارمترهای کلر و TDS را نشان می‌دهد. همچنین، بررسی تغییرات شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی در سال‌های مورد مطالعه، روندی نزولی در تغییر مشخصه‌های کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت کرج را



شکل (۱۴): گسترش مناطق مسکونی سال ۸۵ در نواحی فاقد توان اکولوژیکی



نقشه (۱۳): توان اکولوژیکی منطقه برای توسعه شهری و روستایی

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تبادل یونی که آب‌های زیرزمینی با رسوب‌های موجود در مسیر حرکت آب و در ارتباط با لایه‌های مختلف زمین انجام می‌دهند، میزان املاح محلول و کیفیت آب دست خوش تغییرات زیادی می‌شود. در نتیجه، بررسی صرف آب‌ها بدون در نظر گرفتن ریشه مکانی آن نمی‌تواند منطقی باشد (Smart et al., 2001).

در این تحقیق ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای استفاده و نقشه کاربری اراضی دشت کرج با اعمال طبقه‌بندی نظارت شده استخراج شد. نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بی‌مانندی برای استخراج کاربری‌های اراضی برخوردارند. همچنین، به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی، نقشه‌های کاربری استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۶۵، ۷۵ و ۹۰ با هم مقایسه شدند.

نشان می‌دهد.

مطالعه نقشه، رابطه بین چگونگی پراکنش کلر با کاربری اراضی در گذشته نشان‌دهنده نقش قابل توجه خاک شناسی منطقه و نیز عامل فاصله از سفره‌های آب زیرزمینی بوده است. سطح زیر کشت باغات و زمین‌های کشاورزی نیز از عوامل مؤثر در پراکنندگی این فاکتور بوده‌اند. همچنین، اثر فاصله از مناطق مسکونی و تراکم جمعیت در زمان حال افزایش یافته است که این نتایج با یافته‌های مبنی بر نقش جمعیت و پراکنش سکونت‌گاه‌های انسانی در کیفیت آب مطابقت دارد (Sherestha et al., 2007). این امر، به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری، فاضلاب اماکن عمومی مانند: بیمارستان‌ها و فاضلاب کارگاه‌های صنعتی اطراف، رهاسازی زباله‌های شهری در محیط، استفاده از کلراید در تصفیه فاضلاب‌های شهری و متعاقب آن رهاسازی در آب رودخانه و محیط و کاربرد مواد ضدعفونی کننده حاوی کلراید در مرغداری‌ها و گاوداری‌ها می‌باشد.

اصولا مواد جامد محلول از نمک‌های معدنی (به‌ویژه کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، بی‌کربنات، کلریدها و سولفات‌ها) و مقادیر جزئی مواد آلی محلول در آب ناشی می‌شوند. میزان بالای این فاکتور در منطقه ممکن است با عواملی از جمله نفوذ فاضلاب‌های خانگی و صنعتی منطقه و ضایعات و پسماندهای کشاورزی مرتبط باشد.

در نهایت، مطالعه چگونگی تغییر پارامترهای کیفیت آب طی سال‌های مطالعه، نشان‌دهنده روند افزایشی در مقادیر آنهاست. همچنین، جنس سنگ‌ها و رسوب‌هایی که در مسیر جریان آب زیرزمینی قرار دارند، می‌تواند آثار زیادی بر کیفیت آب ایفا نماید. سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و میزان کود و سموم مصرفی در چگونگی پراکنش پارامترهای کیفیت شیمیایی آب نقش مؤثری داشته‌اند. توسعه شهری و افزایش جمعیت در محدوده‌های کوچک و در نتیجه آن، افزایش پساب فعالیت‌های

صنعتی و مصارف ساکنان نواحی شهری از عوامل قابل توجه در تغییر کیفیت آب محسوب می‌شوند.

در پایان، برای دستیابی به این که کاربری‌های بالفعل منطقه با توان بالقوه آن تا چه میزانی هم‌خوانی دارد، نقشه‌های به‌دست آمده برای سه دوره مزبور با نقشه ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه (نقشه توان توسعه مسکونی- صنعتی) مقایسه شد و مناطقی که دارای توان برای کاربری مزبور نیستند مشخص شد.

با بررسی نقشه‌های مربوط به توسعه مناطق مسکونی در سه دوره ذکر شده، میزان مساحتی از منطقه که با وجود فقدان توان اکولوژیکی به کاربری شهری و روستایی اختصاص یافته است، مشخص شد. میزان گسترش مناطق مسکونی در نواحی نامناسب برای توسعه این کاربری با گذر زمان بیشتر و بیشتر شده است، به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۰ حدود ۷۰٪ از نواحی که توان توسعه شهری روستایی را ندارند، توسط کاربری مسکونی به اشغال درآمده است. بنابراین، می‌توان عدم توجه به توان بالقوه منطقه برای توسعه مسکونی- صنعتی و در نتیجه گسترش مناطق مسکونی و صنعتی در مناطق فاقد توان را یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرات قابل توجه در کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت کرج دانست.

#### یادداشت‌ها

1. Total Dissolved Solid (TDS)
2. Land Transformation Model (LTM)
3. Pixel based
4. Training process
5. Maximum likelihood
6. Geodatabase
7. Inverse Distance Weighted
8. Electric Conductivity

#### فهرست منابع

رضویان، م. ۱۳۸۱. برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات منشی.

علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۴. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

فتاحی، م. ۱۳۸۵. مقایسه روش ارزیابی توان اکولوژیکی با وضعیت موجود استفاده از سرزمین، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قم.

- فیضی‌زاده، ب و رحیمی، م. ۱۳۸۶. کاربرد داده‌های سنجش از دور در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، دانشکده انسانی دانشگاه تبریز. شرکت آب منطقه‌ای تهران. ۱۳۸۶. گزارش منابع آب زیرزمینی موجود دشت تهران-کرج.
- شرکت آب منطقه‌ای تهران. ۱۳۸۹. گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدود مطالعاتی تهران-کرج. مخدوم، م. ۱۳۸۵. شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران.

Ahearn D. S; Sheibley, R. W; Dahlgern R. A; Anerson A; Johnson, J. & Tate, K. W. 2005. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology* 313, 234–247.

Alley, W. M.; Reilly, T. E. & Frank, O.L. 1999. Sustainability of groundwater resources. US Geological Survey Circular 1186, 1p.

Bouma, J.; Varallyay, G. & Batjes, N. H. 1998. Principal land use changes anticipated in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67–1998.103–119.

ITC, Faculty of GeoInformation Science and Earth Observation, Erdas 9.1. 2009.

Jafarian, J.Z.; Garaei P. & Kelarestaghi, A. 2006. Landuse changes detection and spatial distribution with using GIS techniques, case study Lajim Rood Drainage Basin, Iran. Map Asia 2006 conference.

Miller, C.; Baldyga, T.J.; Maina- Gichaba, S.N. & Shivoga, W.A. 2004. Land cover change detection in the River Njoro watershed: a landscape in transition. Poster presented at the Society for Range Management 57th Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, and January 20-24, 2004.

Navin K.C.; Twarakavi, J. & Kaluarachchi, J. 2006. Sustainability of ground water quality considering land use changes and public health risks. *Journal of Environmental Management* 81 (2006) 405–419.

Pijanowski, B.C.; Engel, B.A.; Tang, Z. & Lim, K.J. 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*. 76, 35–45.

Ren, W.W.; Zhong, Y.; Meligrana, J.; Anderson, B.; Watt, W.E.; Chen, J.K. & Leung, H. 2003. Urbanization landuse and water quality in Shanghai 1947 e 1996. *Environment International* 29, 649e659.

Sherestha. S.; Kazama, F. & Newham, L. T. H. 2007. A Framework for Estimating Pollutant Eexport Coefficients from long- term in-stream Water Quality Monitoring data. *Environmental Modeling and Software*. Vol. 23(2): 182-194

Smart, R.; White, C. C.; Townend, J. & Cresser, M. S. 2001. A Model Predicting Chloride Concentration in River Water in a Relatively Unpolluted Catchment in North-East Scotland, *The Science of total Environment*. 265(1-3): 131-141.

Thapa, R. B.; Murayama, Y. & Bajimaya, M. 2007. Monitoring land cover change in Kathmandu city using spatial metrics and remote sensing techniques. *Nepalese Journal on Geoinformatics*. 6, 76-84.