



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

مدلسازی تاثیر الگوی کاربری اراضی بر شاخص‌های کیفیت منابع آب زیرزمینی (TDS، SAR) دشت قزوین

محمد پارسی مهر، عیسی سلگی*

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: دشت قزوین به عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی ایران، با چالش‌های مهم تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب از جمله تغییرات کاربری اراضی (LU) و افزایش برخی کاربری‌ها مانند کشاورزی و صنعت مواجه است. ارزیابی، مدلسازی و پیش‌بینی مقادیر کل جامدات محلول (TDS) و نسبت جذب سدیم (SAR) منابع آب زیرزمینی بعنوان مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در نوع کاربرد منابع آب در این منطقه می‌تواند نقش مهمی در مدیریت کیفیت منابع آب داشته باشد. روش بررسی: در این پژوهش برای بررسی و مدلسازی رابطه بین LU با کیفیت منابع آب زیرزمینی، پارامترهای TDS و SAR با استفاده از روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله (IDW) نقشه‌سازی شدند، سپس با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸ و روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال LU دشت قزوین تهیه گردید. در نهایت با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) اقدام به مدلسازی و بررسی رابطه بین الگوی توزیع LU در دشت قزوین با پارامترهای کیفیت منابع آب زیرزمینی شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

یافته‌ها: ضریب تعیین (R^2) برای رابطه بین پارامتر SAR و LU مقدار ۰/۷۴ و برای رابطه بین TDS و LU مقدار ۰/۸۱ بود، این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه LU بر کیفیت منابع آب زیرزمینی است.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، مدلسازی، آلودگی، ارزیابی، محیط زیست

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معناداری بین LU و پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد. همچنین بر اساس نتایج استفاده از GWR برای مدلسازی رابطه بین LU و پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که این روش می‌تواند به‌طور مؤثری تغییرات مکانی را در نظر بگیرد و ابزار دقیقی ارائه دهد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
e.solgi@yahoo.com

Please cite this article as: Parsi Mehr M, Solgi E. Modeling of the impact of land use patterns on groundwater quality indices (TDS, SAR) in Qazvin plain. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;17(4):775-88.

مقدمه

مدیریت منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم است. با افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی، تقاضا برای منابع آب شیرین به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این مسئله به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (۱). مدیریت صحیح منابع آب نه تنها برای تأمین نیازهای انسانی بلکه برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی نیز ضروری است (۲). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله بیشتر دشت‌های ایران با وجود محدودیت منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی عمده‌ترین منبع تأمین آب هستند (۳). در این مناطق، منابع آب زیرزمینی نقش بزرگی در اقتصاد منطقه دارند و منبعی حیاتی در مصارف کشاورزی، خانگی و صنعتی محسوب می‌شوند (۴). در حال حاضر علاوه بر مشکلات کمی آب در آبخوان‌ها، چالش‌های کیفی منابع آب نیز موجب محدودیت در مصرف آب زیرزمینی برای کاربری‌های مختلف شده است (۵). بنابراین شناخت ویژگی‌های کیفی منابع آب زیرزمینی و عوامل تاثیرگذار بر آن در دهه‌های اخیر به یک امر ضروری تبدیل شده است (۶).

کیفیت آب یکی از عوامل کلیدی در مدیریت منابع آب است. پارامترهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت آب وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به کل جامدات محلول (TDS) و نسبت جذب سدیم (SAR) اشاره کرد (۷). TDS نشان‌دهنده میزان مواد معدنی و نمک‌های محلول در آب است و SAR میزان سدیم موجود در آب را نسبت به کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری می‌کند (۸). این پارامترها تأثیر مستقیمی بر کیفیت آب و قابلیت استفاده از آن برای مصارف مختلف دارند (۹).

مدلسازی کیفیت آب به منظور پیش‌بینی و مدیریت بهتر منابع آب ضروری است. استفاده از مدل‌های مختلف می‌تواند به درک بهتر رفتار پارامترهای کیفیت آب در شرایط مختلف کمک کند (۱۰). یکی از روش‌های مدلسازی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR)

است (۱۱). این روش به دلیل توانایی در نظر گرفتن تغییرات مکانی پارامترها، به عنوان یک ابزار قدرتمند در مدلسازی کیفیت آب شناخته می‌شود (۱۲).

GWR یک روش آماری است که به تحلیل روابط مکانی بین متغیرها می‌پردازد (۱۳). این روش با استفاده از وزن‌دهی به داده‌ها بر اساس فاصله مکانی، امکان تحلیل دقیق‌تر و واقع بینانه‌تر روابط بین پارامترهای مختلف را فراهم می‌کند (۱۴). استفاده از GWR در مدلسازی کیفیت آب می‌تواند به شناسایی الگوهای مکانی و زمانی تغییرات کیفیت آب کمک کند و اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت بهتر منابع آب ارائه دهد (۱۵).

دشت قزوین به عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی ایران، با چالش‌های مهم تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب از جمله تغییرات کاربری اراضی (LU: Land Use) و افزایش سطح برخی کاربری‌ها مانند کشاورزی و صنعت مواجه است. ارزیابی، مدلسازی و پیش‌بینی مقادیر TDS و SAR منابع آب زیرزمینی بعنوان مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در نوع کاربرد منابع آب در این منطقه با استفاده از نقشه LU و مدل GWR می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب و کاهش مشکلات ناشی از کیفیت پایین آب کمک کند (۱۶). این پژوهش با هدف ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت بهتر منابع آب در دشت قزوین انجام شده است و نتایج آن می‌تواند به عنوان یک الگوی موفق برای سایر مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی و مدلسازی رابطه بین LU با پارامترهای کیفیت منابع آب، ابتدا داده‌های TDS و SAR از شرکت آب منطقه‌ای قزوین تهیه شد. این پارامترها دوبار در سال از نمونه‌های حاصل از ۱۰۰ چاه نمونه برداری روی آبخوان قزوین توسط این شرکت سنجش می‌شوند. این داده‌ها با استفاده از روش درون یابی معکوس وزنی (IDW) نقشه سازی شد. سپس با استفاده از تصویر ماهواره لندست

مدلسازی و بررسی رابطه بین الگوی توزیع LU در دشت قزوین با پارامترهای کیفیت منابع آب زیرزمینی شد (شکل ۱).

و روش طبقه بندی نظارت شده حداکثر احتمال LU دشت قزوین تهیه گردید. در نهایت با استفاده از GWR اقدام به

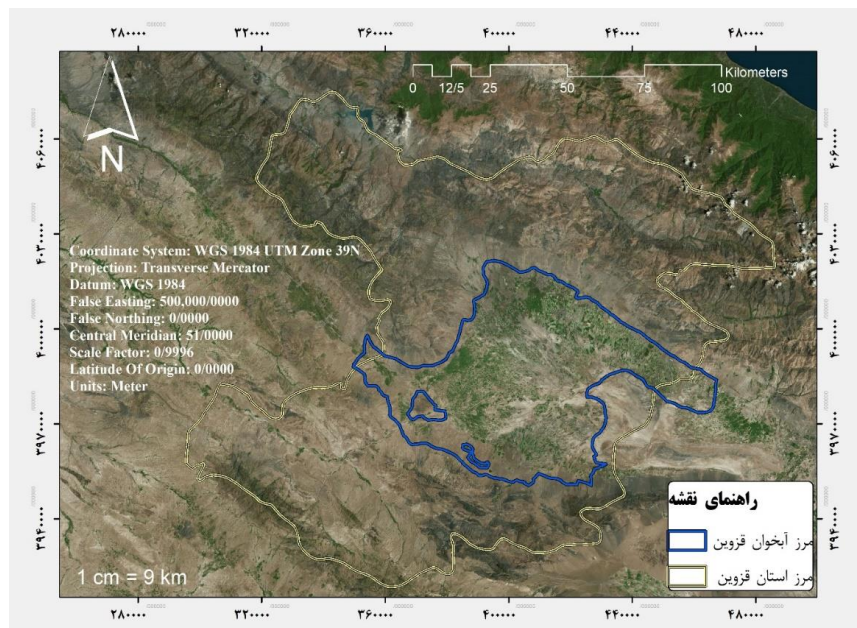


شکل ۱- فلوچارت روند پژوهش

محدوده مورد مطالعه

دشت قزوین، در مختصات $20^{\circ} 49'$ تا $34^{\circ} 50'$ شرقی و $38^{\circ} 35'$ تا $36^{\circ} 21'$ شمالی، در دامنه های جنوبی کوه های البرز و بخشی از حوضه دریاچه نمک واقع شده است. این دشت (شکل ۲) به عنوان بزرگترین سفره آب زیرزمینی در حوضه دریاچه نمک شناخته می شود و با مساحتی برابر با 4737 km^2 دارای میانگین بارندگی سالانه $256/6 \text{ mm}$

است (۱۷). حدود ۵ درصد از محصولات کشاورزی کشور در این دشت تولید می شوند و ۸۹ درصد از ذخایر آب زیرزمینی این دشت برای مصارف کشاورزی برداشت می شود. عمق بستر سفره آب زیرزمینی آزاد دشت قزوین بین 70 m تا 370 m متغیر است. عمق کمتر آن در بخش شرقی قرار دارد، در حالی که عمیق ترین بخش آن در نزدیکی مرکز دشت واقع شده است (۱۸).



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه

تصویر دانلود شده تحت تکنیک‌های پیش‌پردازش (Preprocessing)، از جمله تصحیحات هندسی و رادیومتری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۵ بهبود پیدا کرد. تصویر در سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) (زون ۳۹ شمالی) با سیستم ژئودتیک جهانی (WGS) ۱۹۸۴ به عنوان مبنا، زمین مرجع شد. برای طبقه‌بندی کاربری زمین، تصویر مورد پردازش قرار گرفت و با استفاده از نمونه‌های آموزشی تحت طبقه‌بندی نظارت شده کاربری‌ها از تصویر اولیه استخراج گردید. طبقه‌بندی حداکثر احتمال بر این اصل استوار است که آمار برای هر کلاس در هر نوار به صورت نرمال توزیع شده و احتمال اینکه یک پیکسل به یک کلاس خاص تعلق داشته باشد را محاسبه می‌کند. در این روش همه پیکسل‌ها طبقه‌بندی می‌شوند مگر اینکه از یک آستانه احتمال انتخابی وفق تنظیمات کاربر کمتر یا بیشتر باشند و بطور کلی پیکسل مجهول به کلاسی که بیشترین احتمال را داشته باشد اختصاص داده می‌شود (۲۱). بر اساس تجربیات میدانی نویسنده، هفت کلاس اصلی کاربری زمین شامل ۱- کشاورزی، ۲- زمین بایر، ۳- مناطق ساخته شده، ۴- آب، ۵- علفزار، ۶- درختزار و ۷-

تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب (SAR) و (TDS) تکنیک درون‌یابی IDW برای تولید نقشه‌های سطحی مکانی- زمانی برای پارامتر کیفیت آب (SAR و TDS) در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۵ استفاده شد. IDW یک الگوریتم رایج برای درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای در اصطلاحات مکانی است که امکان تخمین مقادیر نقاط نمونه‌برداری نشده را فراهم می‌کند. در این روش فرض بر این است که هر نقطه اندازه‌گیری دارای تأثیر محلی است که با فاصله کاهش می‌یابد و قوی‌ترین تأثیرات همیشه نزدیک به نقطه مشاهده شده هستند (۱۹). بنابراین در این روش نقاط نزدیک بیشترین و نقاط دور کمترین تأثیر را می‌پذیرند و هرچه فاصله از مبدا بیشتر باشد تأثیر آن پارامتر کمتر می‌شود (۲۰).

تغییرات LU

برای کمی‌سازی تغییرات الگوی LU در سال ۱۴۰۲، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ با وضوح مکانی ۳۰ m متعلق به تاریخ ۲۹ تیر ۱۴۰۲ مورد استفاده قرار گرفت (دانلود شده از وب سایت <http://www.earthexplorere.com>).

مرتع در نظر گرفته شد.

GWR

GWR یک روش آماری است که برای تحلیل و مدل سازی روابط مکانی بین متغیرها استفاده می شود. این روش به ویژه در مطالعات منابع آب زیرزمینی کاربرد دارد، زیرا می تواند تغییرات مکانی در روابط بین ویژگی های سطحی زمین و ویژگی های کمی و کیفی آب زیرزمینی را به خوبی مدل سازی کند (۲۲). مراحل اصلی استفاده از GWR در این پژوهش شامل جمع آوری داده ها از جمله داده های مکانی (مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی)، داده های ویژگی های سطحی زمین (نقشه LU) و داده های کیفی آب زیرزمینی شامل نقشه کل TDS و SAR بود.

مدل GWR به صورت محلی برای هر نقطه نمونه برداری اجرا می شود و وزن های متفاوتی به داده های اطراف هر نقطه اختصاص می دهد.

این مدل به صورت معادله شماره ۱ تعریف می شود:

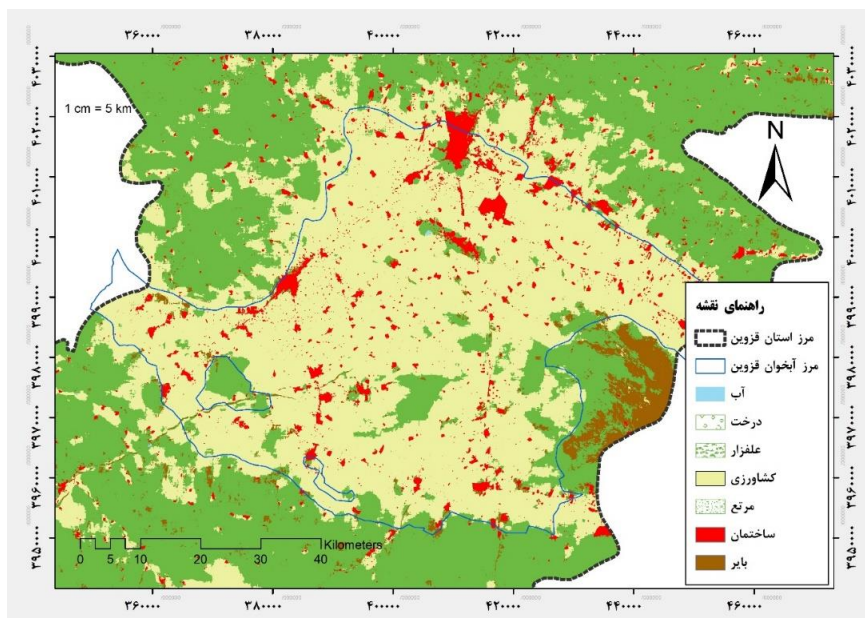
$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i)X_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

در این معادله (u_i, v_i) مختصات i مین نقطه در فضا و (u_i, v_i) β_k مقداری تحقق یافته از تابع (u, v) در نقطه i است (۲۳) مکانی بودن رگرسیون برای نمایش تغییرات، ضرایب و روابط بین متغیرها از مزایای این مدل محسوب می گردد (۲۴). از دیگر مزایای آن می توان به دقت بالا و انعطاف پذیری آن اشاره کرد. GWR می تواند تغییرات مکانی در روابط بین متغیرها را به خوبی مدل سازی کند و دقت پیش بینی ها را افزایش دهد (۲۳) و همچنین این روش می تواند به راحتی با داده های مکانی مختلف ترکیب شود و برای تحلیل های مختلف استفاده شود (۲۲) در این پژوهش برای اجرای مدل GWR از نرم افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۵ استفاده شد.

یافته ها

نقشه LU

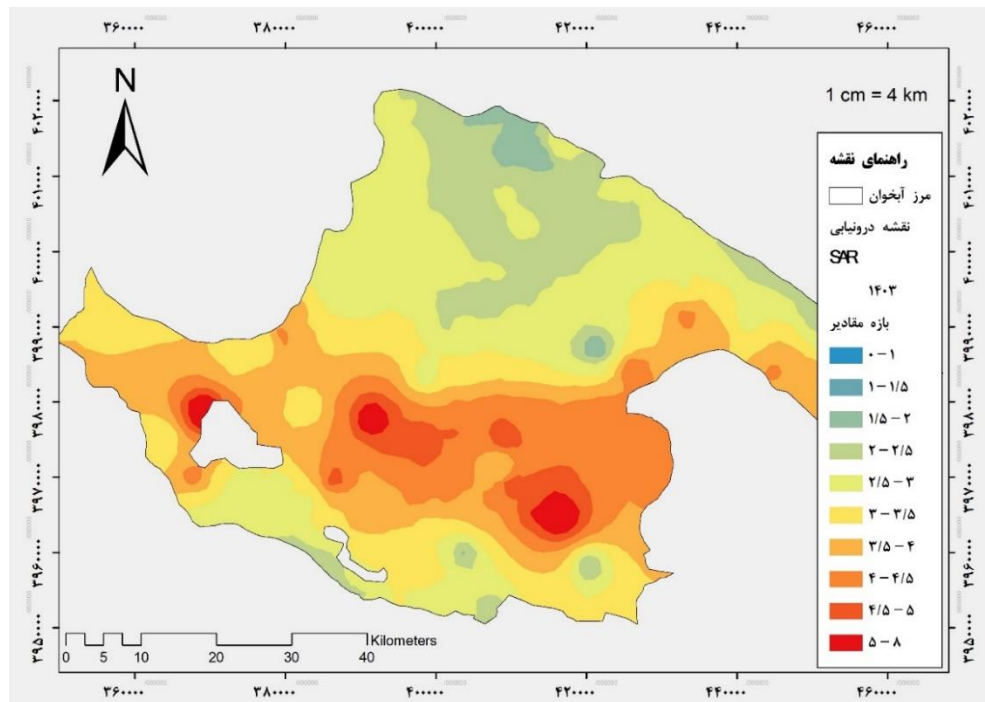
نقشه LU حاصل از طبقه بندی تصویر ماهواره لندست ۸ با روش حداکثر احتمال در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه LU

نقشه توزیع مکانی *SAR* و *TDS*
 نقشه نحوه توزیع مکانی پارامتر *SAR* حاصل از درون‌یابی
 مقادیر نمونه برداری و سنجش شده به روش *IDW* در آبخوان
 قزوین در شکل ۴ ارائه شده است.

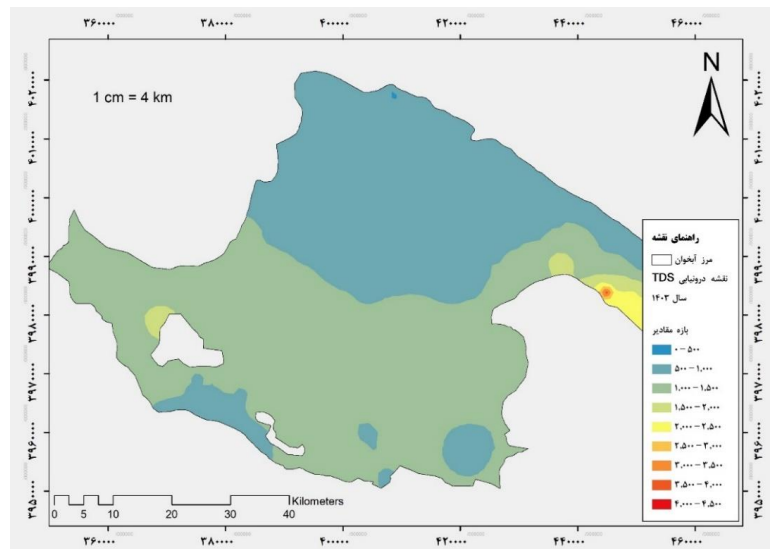
براساس نتایج حاصل کشاورزی بیشترین مساحت اراضی قرار
 گرفته روی آبخوان قزوین را به خود اختصاص داده است و سایر
 کاربری‌ها از جمله درختزار، علفزار، مرتع و ساختمان‌های
 مسکونی سایر کاربری‌های قابل توجه مستقر بر روی آبخوان
 قزوین هستند.



شکل ۴- نقشه درون‌یابی *SAR*

به سایر نواحی دارای مقادیر بالاتری بوده است. این موضوع
 می‌تواند علاوه بر تمرکز کشاورزی در این ناحیه ناشی از جریان
 های شور در این محدوده باشد.
 نقشه توزیع مکانی پارامتر *TDS* نیز که حاصل از درون‌یابی و
 شناسایی نقاط مجهول از مقادیر نمونه برداری و سنجش شده،
 به روش *IDW* در آبخوان قزوین است، در شکل ۵ ارائه شده
 است.

بر اساس نتایج حاصل، مقادیر پارامتر *SAR* در حالت حداکثر
 در طبقه ۵-۸ قرار گرفته است، با توجه به اینکه در استاندارد
 ملی ایران تا مقدار ۱۰ برای *SAR* بعنوان بی‌خطر برای
 کشاورزی تلقی شده است، بنابراین از این نظر دشت قزوین
 برای کشاورزی هنوز دچار محدودیت نشده است. الگوی توزیع
 این پارامتر در نواحی مرکزی دشت بصورت یک نوار از غرب به
 شرق در امتداد رودخانه خررود تا نواحی تالاب اله آباد نسبت



شکل ۵- نقشه درون‌یابی TDS

بر اساس نتایج حاصل توزیع TDS در دشت قزوین دارای الگوی یکنواختی است و در اکثر آبخوان در دو طبقه ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۱۵۰۰ قرار گرفته است لازم به ذکر است در محدوده تالاب اله آباد این پارامتر مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است که می‌تواند ناشی از نمک انباشته شده در آن ناحیه باشد.

با توجه به اینکه حداکثر مجاز مقادیر TDS برای کشاورزی بر اساس نتایج حاصل توزیع TDS در دشت قزوین دارای الگوی یکنواختی است و در اکثر آبخوان در دو طبقه ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۱۵۰۰ قرار گرفته است لازم به ذکر است در محدوده تالاب اله آباد این پارامتر مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است که می‌تواند ناشی از نمک انباشته شده در آن ناحیه باشد.

طبقات با غلظت بالاتر قرار گرفته است. برای بررسی رابطه بین LU با پارامترهای SAR و TDS در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج مدل GWR

ردیف	آماره	نتایج برای SAR	نتایج برای TDS
۱	پهنای باند	۸۶۹۳/۹۶	۸۶۹۳/۹۶
۲	مربع باقیمانده‌ها	۵۷۵/۲۹	۵۲۹۳۸۸۴۹/۲۴
۳	تعداد موثر	۵۶/۹	۵۶/۹
۴	سیگما	۰/۴	۱۲۱/۹۴
۵	AICc	۳۶۹۶/۸۸	۴۵۰۳۸/۳۹
۶	R ²	۰/۷۴	۰/۸۱
۷	R2Adjusted	۰/۷۳۵	۰/۸۰۶
۸	متغیر وابسته	SAR	TDS
۹	متغیر مستقل	LU	LU

حد برازش شود (Overfitting). سیگما نشان‌دهنده انحراف معیار خطاهای مدل است. مقدار کمتر به معنای مدل دقیق‌تر است. مقدار قابل قبول سیگما بستگی به مقیاس داده‌ها و دقت مورد انتظار دارد.

R^2 نشان‌دهنده میزان توضیح داده شده توسط مدل است. مقدار بالاتر به معنای مدل بهتر است. مقدار R^2 بین ۰ و ۱ است و مقدار بالاتر از ۰/۷ معمولاً به عنوان خوب در نظر گرفته می‌شود. R^2 تعدیل‌شده مشابه R^2 است، اما برای تعداد متغیرهای مدل تعدیل شده است. مقدار بالاتر به معنای مدل بهتر است. مقدار R^2 تعدیل‌شده نیز باید بالاتر از ۰/۷ باشد تا مدل به عنوان خوب در نظر گرفته شود.

به طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که مدل GWR رابطه بین LU با TDS و SAR را به خوبی توضیح می‌دهد. مقدار بالای R^2 و R^2 تعدیل‌شده نشان‌دهنده برازش خوب مدل است. همچنین، مقدار پایین AICc و سیگما نشان‌دهنده دقت بالای مدل است.

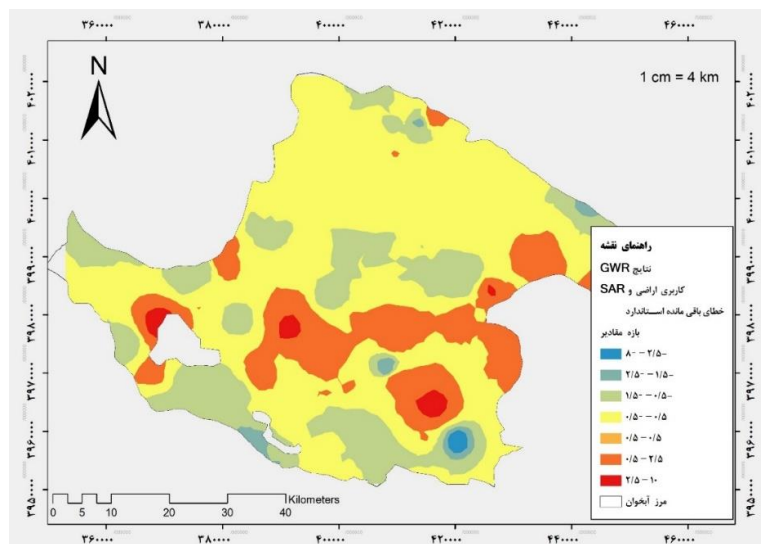
نقشه های توزیع خطای باقیمانده استاندارد

نقشه توزیع خطای باقیمانده استاندارد مدل GWR برای LU و SAR در شکل ۶ ارائه شده است.

پهنای باند در مدل GWR نشان‌دهنده میزان هموارسازی است. پهنای باند مناسب بستگی به داده‌ها و پیچیدگی مدل دارد. معمولاً پهنای باند باید به گونه‌ای انتخاب شود که مدل نه بیش از حد ساده و نه بیش از حد پیچیده باشد. مقدار دقیق پهنای باند قابل قبول به داده‌های مورد استفاده بستگی دارد، اما باید به گونه‌ای باشد که مدل را به خوبی داده‌ها را توضیح دهد.

مربع باقیمانده‌ها نشان‌دهنده خطای مدل است. مقدار کمتر به معنای مدل دقیق‌تر است. در مدل‌های خوب، این مقدار باید تا حد امکان کم باشد. مقایسه این مقدار با مدل‌های مشابه یا با استفاده از معیارهای دیگر مانند معیار اطلاعاتی آکائیکه تصحیح شده (AICc یا Akaike Information Criterion correction) می‌تواند به ارزیابی دقت مدل کمک کند. AICc معیاری برای ارزیابی مدل است که پیچیدگی مدل و برازش آن را در نظر می‌گیرد. مقدار کمتر به معنای مدل بهتر است. به طور کلی AICc باید با مدل‌های دیگر مقایسه شود تا بهترین مدل انتخاب شود.

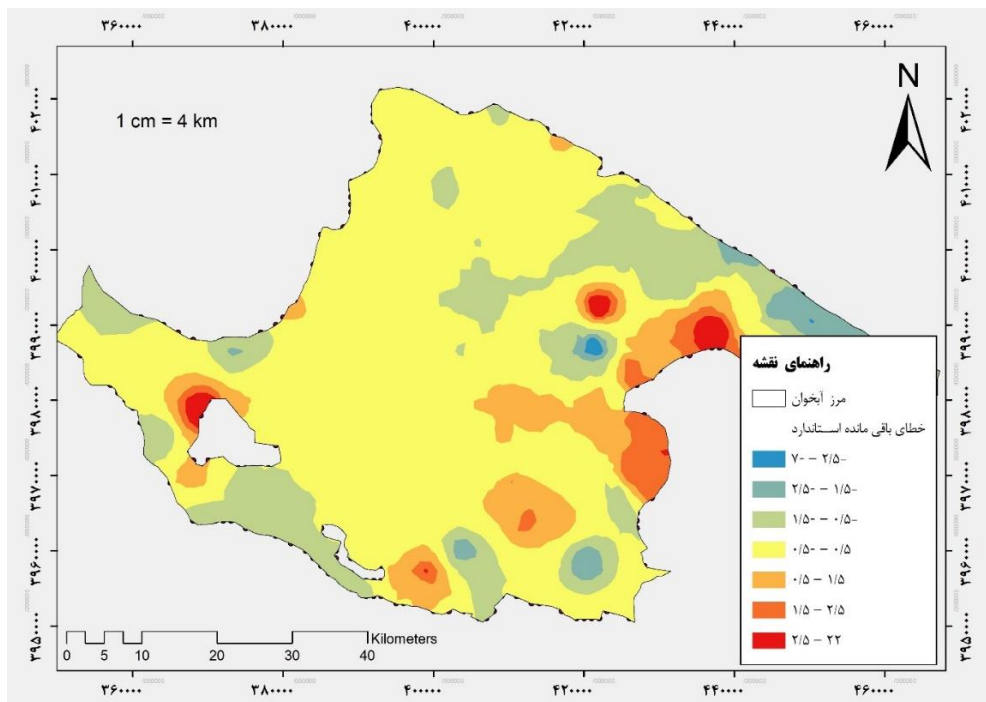
تعداد موثر نشان‌دهنده تعداد پارامترهای موثر در مدل است. این مقدار باید به گونه‌ای باشد که مدل به اندازه کافی پیچیده باشد تا داده‌ها را توضیح دهد، اما نه آنقدر پیچیده که بیش از



شکل ۶- نقشه توزیع خطای باقیمانده استاندارد GWR برای LU و SAR

پیش‌بینی کرده است. با توجه به نتایج ارائه شده در نقشه اکثر پهنه‌ها توزیع خطای باقیمانده استاندارد به شکل یکنواخت و در حد قابل قبول با خطای کم طبقه بندی شده است. فقط در قسمت مرکزی دشت یک نوار در محدوده رودخانه خررود تا تالاب اله آباد در حوضه رودشور دارای مقادیر بالاتر وجود دارد که می‌تواند ناشی از جریانات شور این محدوده باشد. نقشه توزیع خطای باقیمانده استاندارد GWR برای LU و TDS در شکل ۷ ارائه شده است.

نقشه خطای باقیمانده استاندارد کمک می‌کند تا باقیمانده‌ها به صورت مقیاس‌بندی شده مورد بررسی قرار گیرد. این مقادیر می‌توانند مثبت یا منفی باشند و هر کدام نشان‌دهنده اطلاعات خاصی هستند؛ اعداد منفی نشان‌دهنده این است که مقدار مشاهده‌شده کمتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل است. به عبارت دیگر، مدل مقدار بیشتری را نسبت به مقدار واقعی پیش‌بینی کرده است. اعداد مثبت نشان‌دهنده این است که مقدار مشاهده‌شده بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل است. به عبارت دیگر، مدل مقدار کمتری را نسبت به مقدار واقعی



شکل ۷- نقشه توزیع خطای باقیمانده استاندارد GWR برای LU و TDS

ناشی از رسوبات نمک انباشته شده در گذشته باشد.

بحث

این پژوهش نشان‌دهنده تاثیر قابل‌توجه الگوی LU بر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین است. نتایج

با توجه به نتایج ارائه شده در نقشه اکثر پهنه‌ها توزیع خطای باقیمانده استاندارد به شکل یکنواخت و در حد قابل قبول با خطای کم طبقه بندی شده است (طبقه ۰/۵- تا ۰/۵). فقط در قسمت شرق دشت یک لکه در محدوده تالاب اله آباد در حوضه رودشور دارای مقادیر بالاتر وجود دارد که می‌تواند

ماهواره‌ای سنتینل ۲ و شاخص‌های کیفیت منابع آب مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج گزارش شده پهنه‌های کشاورزی تاثیر منفی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی در این ناحیه داشته است (۲۷). این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که تاثیر LU بر کیفیت منابع آب زیرزمینی یک مسئله جهانی است و نیاز به رویکردهای مدیریتی جامع برای حفاظت از این منابع حیاتی احساس می‌شود. بررسی‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که تغییرات LU به طور مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند کیفیت منابع آب را تحت تاثیر قرار دهد و به مرور زمان باعث افزایش آلودگی شود. بنابراین، نیاز به تدوین سیاست‌ها و راهکارهای مدیریتی مناسب برای کاهش تاثیرات منفی تغییرات LU بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین و سایر مناطق مشابه وجود دارد.

نتیجه‌گیری

تحلیل‌های انجام شده با استفاده از GWR نشان داد که رابطه معناداری بین LU و پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد. R^2 برای رابطه بین پارامتر SAR و LU مقدار ۰/۷۴ و برای رابطه بین TDS و LU مقدار ۰/۸۱ بود. این نتایج نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه LU بر کیفیت منابع آب زیرزمینی است. به ویژه، افزایش مناطق کشاورزی منجر به افزایش مقادیر SAR و TDS در آب‌های زیرزمینی شده است.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های GIS مانند روش حداکثر احتمال و IDW، ابزارهای قدرتمندی را برای تحلیل و مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی، عوامل تاثیرگذار و تحلیل‌های مختلف فراهم می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

این مطالعه بیانگر این است که فعالیت‌های کشاورزی منجر به افزایش مقادیر TDS و SAR شده و این موضوع می‌تواند به مرور زمان منابع آب را برای مصارف مختلف محدود کند. این یافته‌ها اهمیت مدیریت هوشمندانه LU را برای حفاظت از کیفیت منابع آب برجسته می‌کنند. به خصوص با بررسی سابقه تاریخی الگوی کاربری‌های کشاورزی، صنعت و شهری در این دشت (۲۵)، تغییرات کاربری‌ها و تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی قابل مشاهده است. تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در نتیجه توسعه ناپایدار کاربری‌ها و وارد شدن فشار بیش از ظرفیت برد (Carry Capacity) به این منابع، می‌تواند خود بعنوان عاملی برای تغییرات ثانویه LU در محدوده مورد نظر عمل کند. این موضوع بخصوص در نواحی جنوبی و مرکزی دشت قابل مشاهده است. در این نواحی با حفر چاه‌های جدید در دهه‌های گذشته کشاورزی توسعه قابل توجهی داشته است، سپس با محدود شدن شرایط کیفی منابع آب، الگوی کشت به سمت گونه‌های سازگار با شوری مانند پسته سوق پیدا کرده است.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند دشت قزوین، آب زیرزمینی نقش حیاتی در تامین منابع آبی دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات LU می‌تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیر بگذارد. این موضوع در مطالعات مشابه نیز گزارش شده است. Elbeih و همکاران، ۲۰۱۸ در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تحلیل‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان سوهانگ مصر تاثیر شاخص‌های کاربری-پوشش اراضی را کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج کیفیت منابع آب زیرزمینی همبستگی قابل توجهی با اراضی تحت پوشش کشاورزی و مسکونی داشت و در این پژوهش این کاربری‌ها عامل آلودگی منابع آب زیرزمینی تشخیص داده شد (۲۶). Lqbal و همکاران، ۲۰۲۳ در پژوهشی رابطه کاربری و پوشش اراضی با کیفیت منابع آب را در شهر کویته پاکستان با استفاده از تصاویر

تشکر و قدردانی

۱۷۹۳۱۱۸ است که با حمایت دانشگاه ملایر اجرا شده است. نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای قزوین جهت در اختیار قرار دادن داده‌های لازم تقدیر و تشکر می‌نمایند.

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان "ارزیابی و مدلسازی تاثیر عوامل طبیعی و انسانی بر ویژگی‌های هیدروشیمیایی منابع آب دشت قزوین"، در مقطع دکترا در سال ۱۴۰۳ با کد

References

1. Gleick PH. Water use. Annual review of environment and resources. 2003;28(1):275–314.
2. Postel S, Richter B. Rivers for Life: Managing Water For People And Nature: Island press; 2012.
3. Rezvani Ghalhari M, Ajami B, Ghordouei Milan E, Khalooei M, Mahvi AH. Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Kashan using water quality indicators. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;14(4):615-28 (in Persian).
4. Jafari K, Hafezi Moghaddas N, Mazloumi A, Ghazi A. Determination of vulnerability of aquifer Ardebil using DRASTIC method in GIS. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(3):461-76 (in Persian).
5. Gholizadeh M, Zibaei M. Hydrochemical assessment of Chehelchai river water, Golestan province for drinking and agricultural purposes. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(2):283-98 (in Persian).
6. Pourkhosravani M, Jamshidi Gohari F, Sayari N. Evaluation of spatial changes of arsenic in underground water resources of Sirjan basin. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(2):287-302 (in Persian).
7. Hem JD. Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd ed: Department of the Interior, US Geological Survey; 1985.
8. Richards LA. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils: US Government Printing Office; 1954.
9. Ayers RS, Westcot DW. Water Quality for Agriculture: Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome; 1985.
10. Singh VP, Woolhiser DA. Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of Hydrologic Engineering. 2002;7(4):270–92.
11. McMillen DP. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. 2004.
12. Brunson C, Fotheringham AS, Charlton ME. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. Geographical Analysis. 1996;28(4):281–98.
13. Fotheringham AS, Oshan TM. Geographically weighted regression and multicollinearity: dispelling the myth. Journal of Geographical Systems 2016;18:303–29.

14. Fotheringham AS, Charlton M. Geographically Weighted Regression White Paper. Kildare: National University of Ireland Maynooth. 2009:1-4.
15. Harris P, Brunson C. Exploring spatial variation and spatial relationships in a freshwater acidification critical load data set for Great Britain using geographically weighted summary statistics. *Computers & Geosciences*. 2010;36(1):54–70.
16. Chen Q, Mei K, Dahlgren RA, Wang T, Gong J, Zhang M. Impacts of land use and population density on seasonal surface water quality using a modified geographically weighted regression. *The Science of The Total Environment*. 2016;572:450–66.
17. Barahimi M, Shahverdi K. Updating and reviewing of the document of national water in Ghazvin and Fomanat plains. *Journal of Water and Soil Science*. 2018;22(2):199-209 (in Persian).
18. Dastjerdi SZ, Sharifi E, Rahbar R, Saghafian B. Downscaling WGHM-based groundwater storage using random forest method: A regional study over Qazvin Plain, Iran. *Hydrology*. 2022;9(10):179.
19. Babae S, Mousavi Z, Masoumi Z, Malekshah AH, Roostaei M, Aflaki M. Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran. *International Journal of Remote Sensing*. 2020;41(12):4780–98.
20. Dadban Shahamat Y, Mohammadi H, Sangbari N, Roshandel G, Ghahrchi M. Investigation of Pb and Cd concentrations in drinking water samples of Gorgan water supply network: preparation of zoning maps by geographic information system. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022;15(1):181-92 (in Persian).
21. Ahmad W, Iqbal J, Nasir MJ, Ahmad B, Khan MT, Khan SN, et al. Impact of land use/land cover changes on water quality and human health in district Peshawar Pakistan. *Scientific Reports*. 2021;11(1):16526.
22. Badetiya Y, Barale M. Modeling groundwater level using geographically weighted regression. *Arabian Journal of Geosciences*. 2024;17(9):251.
23. Yeh HF, Chang JC, Huang CC, Chen HY. Spatial correlation of groundwater level with natural factors using geographically weighted regression model in the Choushui River Alluvial Fan, Taiwan. *Frontiers in Earth Science*. 2022;10:977611.
24. Yu H, Gong H, Chen B, Liu K, Gao M. Analysis of the influence of groundwater on land subsidence in Beijing based on the geographical weighted regression (GWR) model. *The Science of The Total Environment*. 2020;738:139405.
25. Rezaee R, Qodusi J, Hasani A, Arjmandi R, Vafaeinejad A. Classification and Assessment of the land use changes using Landsat satellite imagery (Case Study: Qazvin plan's Aquifer). *Geographical Space*. 2021;20(72):185-204 (in Persian).
26. Elbeih SF, El Zeiny AM. Qualitative assessment of groundwater quality based on land use spectral retrieved indices: Case study Sohag Governorate, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2018;10:82–92.
27. Iqbal J, Amin G, Su C, Haroon E, Baloch MYJ. Assessment of landcover impacts on the groundwater quality using hydrogeochemical and

geospatial techniques. Environmental Science and
Pollution Research. 2024;31(28):40303–23.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Modeling of the impact of land use patterns on groundwater quality indices (TDS, SAR) in Qazvin plain

Mohamad Parsi Mehr, Eisa Solgi*

Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 October 2024

Revised: 06 January 2025

Accepted: 12 January 2025

Published: 08 March 2025

Keywords: Land use, Modeling, Pollution, Assessment, Environment

***Corresponding Author:**

e.solgi@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: The Qazvin Plain, one of the key agricultural regions in Iran, faces significant challenges affecting the quality of its water resources. These challenges include changes in land use (LU) and the expansion of activities such as agriculture and industry. Assessing, modeling, and predicting total dissolved solids (TDS) and the sodium absorption ratio (SAR) in groundwater—two critical parameters influencing water resource usability—can play a pivotal role in managing water quality in the region.

Materials and Methods: This study aimed to investigate and model the relationship between LU and water quality parameters. TDS and SAR values were first mapped using the inverse distance weighting (IDW) interpolation method. Land use in the Qazvin Plain was then classified using Landsat 8 satellite imagery and the supervised maximum likelihood classification method. Finally, geographic weighted regression (GWR) was employed to model and examine the spatial relationship between the LU distribution patterns in the Qazvin Plain and the groundwater quality parameters.

Results: The coefficient of determination (R^2) for the relationship between SAR and LU was 0.74, while for TDS and LU, it was 0.81. These findings highlight a significant influence of LU changes on groundwater quality parameters in the study area.

Conclusion: The results demonstrate a strong correlation between LU and groundwater quality parameters. Moreover, the application of GWR proved effective in capturing spatial variations and providing accurate tools for analyzing these relationships. This approach can be instrumental in the sustainable management of water resources in the Qazvin Plain.

Please cite this article as: Parsi Mehr M, Solgi E. Modeling of the impact of land use patterns on groundwater quality indices (TDS, SAR) in Qazvin plain. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2025;17(4):775-88.

