

زمانمندی رگرسیون وزندار مکانی به منظور استخراج ارتباط میان کاربری / پوشش زمین و میزان سختی آب

آرش مددی^{۱*}، فرید کریمی پور^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی-دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس
دانشکده های فنی- دانشگاه تهران
arashmadadi@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی- دانشگاه تهران
fkarimipr@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

چکیده

منابع آب‌های سطحی به لحاظ کیفی، متاثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی می‌باشد. از این رو، در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش آلودگی منابع آبی، مشخص کردن این تأثیرات اجتناب‌ناپذیر است. با این حال، به دلیل ماهیت پویای مکانی- زمانی ارتباط میان کاربری‌ها و پوشش زمین با آلاینده‌های آبی، در نظر گرفتن ابعاد مکان و زمان برای استخراج این روابط امری ضروری است. علاوه بر این، ورود بُعد مکان و مشخص کردن تأثیرات مذکور در یک بازه زمانی بلند مدت، درک ما را از ارتباطاتی که در فضا و زمان در حال تغییر می‌باشند، بهبود می‌بخشد. در این تحقیق، از رگرسیون وزندار مکانی- زمانی برای تعیین تأثیرات کاربری / پوشش‌های زمین بر میزان غلظت آلاینده فلزی استفاده شده است. مزیت استفاده از این نوع رگرسیون آن است که همبستگی مکانی و نایستایی مکانی ایستگاه‌های پایش کیفیت آب را در برآورد ضرایب لحاظ می‌نماید. علاوه بر این، با در نظر گرفتن بُعد زمان در انجام محاسبات، همبستگی زمانی غلظت آلاینده‌های مذکور نیز مد نظر قرار می‌گیرد. نتایج عملی فرایند فوق، برای یک نمونه عملی، ارائه شده و مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

واژگان کلیدی: خودهمبستگی مکانی / زمانی، نایستایی مکانی / زمانی، سختی آب، شاخص فصلی، رگرسیون وزندار مکانی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

همچنان در سال‌های اخیر ادامه داشته است [۱۲، ۱۳]. از میان تحقیقات داخلی نیز می‌توان به بررسی تاثیر آلودگی جمعیت و صنایع بر روی کیفیت آب رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی اشاره نمود که توسط فردی کریمی‌پور انجام شد [۱۴، ۱۵].

آنچه در این تحقیقات کمتر مورد توجه قرار گرفته است، خودهمبستگی مکانی موجود میان داده‌های کیفی آب است. از آنجا که اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها غالباً در ایستگاه‌هایی با موقعیت معین انجام می‌شود، ممکن است میان مشاهدات انجام شده در این ایستگاه‌ها، همبستگی وجود داشته باشد [۱۶]. لحاظ نکردن این همبستگی در برآورد ضرایب، سبب ورود انحرافات ناخواسته به نتایج و بنابراین کاهش اعتماد به اطلاعات بدست آمده می‌گردد. در راستای حل این مشکل، برخی از تحقیقات با حذف ایستگاه‌های اضافی که از رودخانه‌های یکسان نمونه‌برداری می‌کنند، تنها تعداد محدودی از آنها را در نظر گرفتند [۷]. اما کاهش تعداد ایستگاه‌ها، اغلب رسیدن به نتایج پایدار برای تمام ناحیه مطالعاتی را با دشواری روبرو می‌سازد [۱۷]. به همین منظور، استفاده از یک رگرسیون مکانی محلی با عنوان رگرسیون وزندار مکانی^۵، پیشنهاد شده است که علاوه بر وارد نمودن بعد مکان و خودهمبستگی مکانی در برآورد ضرایب رگرسیون و کاهش انحرافات، روابطی را استخراج می‌نماید که از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نماید [۱۸، ۱۹]. جزییات بیشتر در خصوص نحوه عمل این رگرسیون مکانی در [۲۰] آمده است.

روند معمول در تحقیقات انجام شده آن است که پس از تهیه داده‌های کیفی آب در یک بازه زمانی بلندمدت و میانگین‌گیری از کل بازه زمانی، نهایتاً فقط از اطلاعات کاربری یک سال مشخص استفاده شده است. به عبارت دیگر، در بررسی تاثیرات کاربری زمین بر روی کیفیت آب، تنها مولفه مکانی داده‌ها مدنظر قرار گرفته است. هر چند ورود خودهمبستگی مکانی داده‌ها به تحلیل‌ها، منجر به نتایجی مناسب‌تر در مقایسه با رگرسیون کمترین مربعات معمولی می‌گردد [۱]، ولی عدم توجه به تغییرات زمانی، همچنان به عنوان یک نقیصه باقی خواهد ماند. این در حالی است که پارامترهای معرف کیفیت آب و نیز کاربری‌ها و پوشش زمین، غالباً علاوه بر تغییرات مکانی، از نظر زمانی نیز متغیر هستند و بنابراین نمونه‌برداری از

تحقیق و بررسی پیرامون آلودگی آب‌های سطحی همچون رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نواحی ساحلی با در نظر گرفتن عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی، یک مسئله زیست محیطی پیچیده به شمار می‌آید. مطالعات انجام شده حاکی از تاثیرپذیری کیفیت این منابع از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی (با شدتی کمتر) است [۲]. از جمله فعالیت‌های انسانی می‌توان به شهرنشینی، حضور کارخانجات و صنایع، فعالیت‌های کشاورزی و در نتیجه گسترش در بهره‌برداری از منابع آبی [۳] و در مورد عوامل طبیعی می‌توان به خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبی، تغییرات جوی و بارش‌های فصلی [۴] اشاره نمود. به این ترتیب، یکی از اهداف تحقیق در مورد ارتباط کاربری زمین و کیفیت آب، توانایی در برآورد کیفیت منابع آبی است، به گونه‌ای که آگاهی از نحوه این ارتباطات، تصمیم‌گیرندگان را قادر سازد تا با درک روابط و تاثیرات موجود و برآورد وضعیت کیفی آب به صورت محلی و منطقه‌ای، در جهت کنترل کاربری‌ها به منظور حفظ و بهبود کیفیت منابع آبی گام بردارند [۵].

مطالعات زیادی در تحلیل تاثیر کاربری‌ها و توسعه زمین بر کیفیت منابع آبی و ارتباط میان آنها صورت پذیرفته است [۶-۸]. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعه موردی حوضه آبریز آپالاجین^۱ کشور آمریکا در سال ۱۹۹۸ اشاره نمود که در آن، سطح شهرنشینی به عنوان مرتبط‌ترین عامل در افت کیفیت آب این حوزه عنوان شد [۹]. همچنین در سال ۲۰۰۲، تانگ^۲ و چن^۳ و تلاش کردند تا با استفاده از یک روش جامع، اثرات هیدرولوژیکی کاربری زمین را در مقیاس‌های ناحیه‌ای و محلی، برای ایالت اوهایوی کشور آمریکا آزمایش کنند [۱۰]. در سال ۲۰۰۵ نیز تحقیقی توسط مهافی^۴ و همکاران در مطالعه موردی منابع آب شهر نیویورک، با استفاده از تحلیل رگرسیون گام به گام چندگانه انجام گرفت که ارتباط میان نواحی آبی، مناطق شهری، زمین عریان، جنگلی و کشاورزی را با ۳ پارامتر کیفی آب در سه بازه زمانی مورد بررسی قرار دادند [۱۱]. این تحقیقات

^۱ Appalachian

^۲ Tong

^۳ Chen

^۴ Mehaffey

^۵ Geographically Weighted Regression

۲-۱- نایستایی مکانی

نایستایی مکانی، مفهومی مرتبط با خودهمبستگی مکانی است. چنانچه در مطالعه رفتار پدیده‌ای، خودهمبستگی مکانی موجود میان داده‌ها در ناحیه مورد مطالعه، از مکانی به مکان دیگر تغییر نماید، فرآیند مورد مطالعه را یک فرآیند نایستا^۳ یا ناهمگون^۴ می‌گویند. در سوی مقابل اگر همبستگی مکانی بدست آمده از مطالعه پدیده مورد نظر در تمام فضای مطالعه ثابت باشد، به آن پدیده، یک پدیده ایستا اطلاق می‌شود [۲۵]. به عبارتی، ایستایی مکانی، فرآیند یا مدلی را توصیف می‌نماید که پارامترهای آن در تمام ناحیه مورد مطالعه، سازگار می‌باشند. در غیر اینصورت، اگر پارامترهای مدل ناسازگار بوده و به صورت محلی تغییر نمایند، انتخاب یک مدل سراسری منجر به استنباط مکانی نادرستی از رفتار پدیده مورد مطالعه خواهد گردید [۲۶].

۲-۲- شاخص موران

به منظور سنجش خودهمبستگی مکانی و همچنین نایستایی مکانی، آماره‌های گوناگونی معرفی شده است که همگی برآوردی از درجه شباهت میان مشاهدات در مقادیر همسایگی یک ویژگی ارائه می‌دهند. از نمونه این آماره‌ها می‌توان به شاخص موران^۵، نسبت مجاورت گیری^۶، آزمون رویدادهای فزونی تنگو^۷ و آزمون رویدادهای فزونی افزایش یافته^۸ اشاره نمود. در این مقاله، به ارائه توضیحاتی در مورد شاخص موران، جهت ردیابی خودهمبستگی مکانی میان داده‌های مکانی می‌پردازیم. سایر آماره‌های خودهمبستگی مکانی به همراه جزئیات در [۲۷] آمده است.

۲-۱-۲- شاخص سراسری موران

ضریب خودهمبستگی مکانی شاخص موران، شباهت مشاهدات یک متغیر بدست آمده را در نواحی‌ای که از نظر مکانی مرتبط تعریف می‌شوند، به صورتی کمی بیان می‌نماید [۲۸]. این شاخص از معادله (۱) محاسبه می‌شود [۲۹].

$$I = \frac{n}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \frac{\sum_i \sum_j \delta_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i \sum_j \delta_{ij}} \quad (1)$$

^۳ Non-stationary

^۴ Heterogeneous

^۵ Moran's I

^۶ Geary's C

^۷ Tango's Excess Events Test

^۸ Maximized Excess Events Test

شاخص‌های کیفی آب در یک بازه زمانی کوتاه ممکن است نمایانگر رفتار واقعی پدیده نباشد [۲۱]. از جمله این تغییرات، می‌توان به تغییرات فصلی اشاره نمود که علاوه بر تأثیری که بر روی غلظت پارامترها می‌گذارند، می‌توانند منجر به تغییر کاربری‌ها و پوشش‌ها نیز شوند. همچنین تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه‌ها علاوه بر عوامل انسانی، بصورت گسترده‌ای با فرآیندهای طبیعی مانند نرخ ریزش باران و هوازدگی قابل تعیین می‌باشد [۲۲]. در نهایت، با وجود اینکه عموماً ورود پس‌آب‌های شهری و صنعتی، منشا ثابتی برای آلودگی به شمار می‌روند، با این حال روان‌آب‌های سطحی یک پدیده فصلی محسوب گردیده و به شدت تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی می‌باشند [۲۳]. بنابراین به دلیل ماهیت پویای روابط میان کاربری/پوشش زمین با پارامترهای کیفی آب، عدم توجه به تغییرات زمانی و فصلی و تأثیر آن بر روابط استخراج شده منجر به افت کارآمدی این اطلاعات می‌گردد [۲۴].

بخش دوم و سوم این مقاله به مفاهیم مربوط به خودهمبستگی مکانی و زمانی و مسایل ناشی از آن می‌پردازد. در بخش چهارم، راهکار پیشنهادی برای در نظر گرفتن خودهمبستگی مکانی و زمانی موجود در مشاهدات، ارائه می‌گردد. در بخش پنجم، این راهکار برای یک نمونه عملی، پیاده‌سازی شده و نتایج آن مورد بحث قرار خواهد گرفت. در پایان، در بخش ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات خواهد پرداخت.

۲- خودهمبستگی مکانی

در استفاده از روش‌های آماری مرسوم مانند رگرسیون کمترین مربعات معمولی، پیش‌فرض‌هایی همچون استقلال داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. اما چنین فرضیاتی در علوم مکانی، اغلب امکانپذیر نیست. یکی از دلایل مهم این امر، وجود خودهمبستگی مکانی^۱، به عنوان خصلت ذاتی داده‌های مکانی می‌باشد [۱۲]. مفهوم خودهمبستگی مکانی در اولین قانون علوم مکانی، موسوم به قانون تابلر^۲ به شرح زیر بیان می‌شود: برای یک موقعیت مشخص، مشاهدات انجام شده در فواصل نزدیک به هم، نسبت به مشاهداتی که در موقعیت‌های دورتری انجام شده باشند، ارتباط بیشتری با هم دارند [۱۶].

^۱ Spatial Autocorrelation

^۲ Tobler's First Law Geography

یک سری زمانی، رشته‌ای از مقادیر یا رویدادها است که بواسطه مشاهدات تکراری در بازه زمانی مشخص بدست آمده‌اند. این مشاهدات بر اساس رفتار پدیده و تحلیل‌هایی که قصد داریم انجام دهیم، ممکن است در کوتاه مدت یا بلند مدت انجام شوند. هر کدام از مقادیر، به زمانی مشخص (t_i) مربوط می‌شوند و از آنجایی چنین داده‌هایی به بررسی تغییرات یک پدیده در طول زمان می‌پردازند، می‌توان به کمک این داده‌ها رفتار آن پدیده را در طول زمان مورد تحلیل قرار داد. به همین دلیل، تحلیل و تفسیر داده‌های سری‌های زمانی از یک سو بینش ما را در مورد مکانیزم رفتاری یک پدیده گسترش می‌دهد و از سوی دیگر ما را در پیش‌بینی این رفتار برای آینده، یاری می‌رساند.

ماهیت چنین داده‌هایی در بسیاری از موارد، وجود ارتباطی است که یک مقدار با مقادیر مربوط به زمان‌های قبل از خود دارد. مشابه آنچه عموماً در مورد ارتباط میان دو متغیر وجود دارد، می‌توان برای مقادیر اندازه‌گیری شده از یک متغیر در یک دوره زمانی نیز همبستگی را مدنظر قرار داد. وجود همبستگی میان مقادیر یک متغیر در طول زمان، مفهومی مهم در تحلیل سری‌های زمانی و جنبه‌های استنتاجی مدلسازی رگرسیون به شمار می‌رود.

۳-۱- نایستایی زمانی

خودهمبستگی زمانی بازگو کننده ارتباط میان مشاهدات انجام شده از متغیری است که در واحدهای پیوسته‌ای از زمان جمع‌آوری شده باشد [۳۲]. بر اساس وجود یا عدم وجود خودهمبستگی زمانی در سری‌های زمانی، با دو مفهوم ایستایی زمانی و نایستایی زمانی روبرو هستیم. از نقطه نظر شهودی، یک سری زمانی را از لحاظ زمانی ایستا می‌گوییم اگر هیچ روندی در تغییرات میانگین و واریانس روی نداده باشد. از منظر آماری، ایستایی زمانی یک پدیده، حالتی است که توزیع توام سری‌های زمانی $y(t_1), \dots, y(t_n)$ و $y(t_1 + \tau), \dots, y(t_n + \tau)$ مشابه باشد و به عبارتی انتقال مبدا زمان به مقدار τ ، تاثیری بر توزیع‌های توام نداشته باشد [۳۳].

در مقابل، نایستایی زمانی حالتی است که یک سری زمانی از یک روند مشخص در تغییر میانگین، واریانس یا هر دو حکایت می‌کند [۳۳]. در عمل اغلب با انواع مختلفی از نایستایی زمانی روبرو بوده و برای یک سری زمانی غیر

که در آن، x_i و x_j ، مشاهدات انجام شده در موقعیت-های i ام و j ام و \bar{x} میانگین مشاهدات صورت گرفته از ویژگی x می‌باشد. δ_{ij} وزن (اثر) مشاهده انجام شده در موقعیت j بر روی مشاهده انجام شده در موقعیت i است که در واقع عناصر تشکیل دهنده ماتریس وزن می‌باشند. شاخص سراسری موران، عددی در بازه -1 تا $+1$ است. هرچه مقدار شاخص موران به $+1$ نزدیک‌تر باشد، حاکی از وجود خودهمبستگی بالاتر میان داده‌های مکان‌مبنا است و هر چه این مقدار به -1 نزدیک‌تر باشد نشان می‌دهد که داده‌ها به صورت منظم در سراسر فضا گسترش یافته‌اند. مقدار صفر برای این شاخص بیانگر تصادفی بودن مقادیر مشاهده شده و عدم وجود همبستگی میان آنها است [۳۰].

۲-۲- شاخص محلی موران

در مقایسه با شاخص سراسری موران، شاخص محلی موران برای هر موقعیتی که در آن مشاهده انجام شده است، یک مقدار بدست می‌دهد و بر اساس شاخصی که برای هر نقطه بدست می‌آید می‌توان شباهت ایستگاه‌ها را از نظر آلودگی درک کرد. تفاوتی که میان این روش و روش‌های قبل وجود دارد در این است که ایستگاه‌هایی که با استفاده از این روش در یک خوشه قرار می‌گیرد، علاوه بر مؤلفه‌های غیرمکانی، موقعیت‌شان نیز در گروه‌بندی آنها نقش داشته است و بنابراین انحرافی که در نتیجه مد نظر قرار ندادن بُعد مکان در تحلیل حاصل می‌گردد، بهبود می‌یابد. شاخص موران بصورت محلی، از رابطه (۲) قابل محاسبه است [۲۵]:

$$I_i = Z_i - \sum_{j, j \neq i} \delta_{ij} Z_j \quad (2)$$

در این رابطه، Z_i و Z_j مشاهدات استاندارد شده در موقعیت i ام و j ام و δ_{ij} مشابه حالت قبل، وزن (اثر) مشاهده انجام شده در موقعیت j بر روی مشاهده انجام شده در موقعیت i است.

۳- خودهمبستگی زمانی

بطور کلی در یک پایگاه داده زمانی، با سه نوع داده زمانی روبرو هستیم؛ جریان داده‌ها، داده‌های متوالی و سری‌های زمانی [۳۱].

۴- راهکار پیشنهادی: زمانمندی سازی رگرسیون وزندار مکانی

با توجه به آنچه گفته شد، رگرسیون‌های مرسوم، توانایی مناسبی جهت لحاظ کردن خودهمبستگی مکانی و نالیستایی مکانی در برآورد نتایج ندارند. این مشکل، در نوعی از رگرسیون با عنوان رگرسیون وزندار مکانی تا حد زیادی مرتفع می‌گردد (۶). به بیان ساده، رگرسیون وزندار مکانی، از ماتریس وزنی استفاده می‌کند که بر اساس فاصله میان موقعیت مشاهدات حاصل شده و این توانایی را دارد تا انحراف ناشی از عدم دخالت دادن خودهمبستگی مکانی داده‌ها را رفع نماید.

از آنجا که این رگرسیون، یک رگرسیون محلی است، ضرایب رگرسیون را برای هر کدام از موقعیت‌ها بدست می‌آورد (رابطه (۷)) و به این ترتیب با استفاده از مشاهداتی که در موقعیت‌های همسایه آن موقعیت انجام شده‌اند، برآورد مناسب‌تری از ارتباطات را ارائه می‌نماید [۲۰].

با تعمیم معادلات رگرسیون کمترین مربعات معمولی به بُعد مکان بر اساس رابطه (۶)، می‌توان ضرایب را با حفظ چارچوب رگرسیون‌های مرسوم، بر اساس رابطه (۷) محاسبه نمود. β_0 و β_j ضرایب رگرسیون می‌باشند [۱].

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^k \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon(u_i, v_i) \quad (6)$$

که عناصر ماتریس وزن W در آن از طریق (۸) قابل محاسبه می‌باشد [۱]. با این حال در این الگوریتم، امکانی برای وارد نمودن زمان و رفع یا بهبود مساله خودهمبستگی زمانی داده‌ها وجود نداشته و تنها همبستگی مکانی داده‌ها بین ایستگاه‌های سنجش کیفیت آب بر اساس رابطه (۸) مدنظر است [۱].

$$\beta_i = (X^T W_i X)^{-1} (X^T W_i Y) \quad (7)$$

در موضوع مورد مطالعه این تحقیق، با توجه به تغییراتی که در غلظت آلاینده‌ها و همچنین تراکم کاربری/ پوشش زمین در بلندمدت رخ می‌دهد لازم است با زمانمندی سازی تحلیل‌ها، خودهمبستگی زمانی و نالیستایی زمانی را نیز در تحلیل‌ها لحاظ نماییم.

ایستا می‌توان سه مولفه را در نظر گرفت [۳۱]: روند و حرکات چرخه‌ای، تغییرات فصلی و تغییرات نامنظم.

۳-۱-۱-۳- روند و حرکات چرخه‌ای

روند، تغییرات بلند مدتی است که جهت کلی سری زمانی را در یک بازه زمانی طولانی مدت بیان می‌کند. این جهت را می‌توان با استفاده از خط یا منحنی روند تخمین زد. به تغییرات چرخه‌ای و نوسانات بلند مدت خط یا منحنی روند، حرکات گردشی گویند که ممکن است دوره‌ای باشد یا نباشد. به عبارت دیگر، ضرورتاً نیازی نیست که چرخه‌ها در بازه‌های زمانی یکسان دارای الگوی مشابهی باشند.

۳-۱-۲- تغییرات فصلی

تغییرات فصلی، حرکاتی سیستماتیک یا تقویمی را نشان می‌دهند که اگر بدون تغییر و مربوط به تاریخی معین باشد، آن الگو را فصلی گویند. برای بیان این تغییرات با کمک شاخص فصلی، ابتدا باید میانگین متحرک بر اساس رابطه (۳) و میانگین متحرک مرکزی بر اساس رابطه (۴) محاسبه شوند. برای این منظور، با در اختیار داشتن مشاهداتی که به چهار فصل متوالی تعلق دارند، خواهیم داشت:

$$MA_{t+.5} = \frac{y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + y_{t+2}}{4} \quad (3)$$

$$CMA_t = \frac{y_{t-.5} + y_{t+.5}}{4} \quad (4)$$

که y_t مشاهده انجام شده در فصل t ام است. شاخص فصلی مربوط به هر دوره با توجه به روابط (۳) و (۴)، از رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$SI = \frac{y_t}{CMA_t} \quad (5)$$

۳-۱-۳- تغییرات نامنظم

تغییرات نامنظم، تغییرات پراکنده، ناگهانی و گاه و بی‌گاه سری‌های زمانی هستند که به دلیل رویدادهای تصادفی رخ می‌دهد.

مکانی و زمانی و α^S و α^T پهناهای باند مکانی و زمانی می‌باشند. برای انتخاب پهناهای باند مناسب، از فرآیند اعتبارسنجی ضربدری بر طبق رابطه (۱۲) استفاده می‌گردد [۲۰].

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i \neq j})^2 \rightarrow \min \quad (12)$$

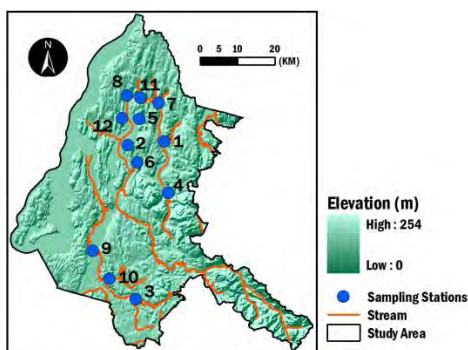
Y_i در رابطه (۱۲)، مقدار مشاهده شده برای ویژگی i ام و $\hat{Y}_{i \neq j}$ مقدار برآورد شده برای ویژگی i ام، بدون در نظر گرفتن مشاهده موقعیت i ام و تنها با استفاده از مشاهدات همسایه‌اش می‌باشد.

۵- استفاده از رگرسیون وزندار مکانی- زمانی برای استخراج ارتباط پارامترهای کیفی آب با کاربری و پوشش زمین

در این بخش، به عنوان یک نمونه عملی، با زمانمندسازی رگرسیون وزندار مکانی، تحلیل تاثیر کاربری/ پوشش زمین بر میزان سختی آب، با در نظر گرفتن همبستگی زمانی هر یک از آلاینده‌های فلزی در کنار همبستگی مکانی انجام می‌شود؛ و به این ترتیب نتایج مناسب‌تر و قابل اعتمادتری به دست خواهد آمد.

۵-۱- داده‌ها

داده‌های مورد استفاده مربوط به ۱۲ ایستگاه سنجش کیفیت آب در شهر سیاتل آمریکا در یک بازه زمانی ۹ ساله (از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶) می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- وضعیت ۱۲ ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مورد مطالعه

داده‌های کیفی آب شامل میزان غلظت فلز آرسنیک می‌باشند که در مدت زمان ۹ سال از "برنامه نظارت رودخانه‌های استان کینگ (KCSMP)" تهیه شده و با

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{d_{ij}^S}{\alpha^S} \right)^2 \right\} \quad (8)$$

به همین منظور در این تحقیق با وارد نمودن بُعد زمان به رگرسیون وزندار مکانی، روابطی را استخراج نمودیم که علاوه بر مکان، در طول زمان نیز در تغییر می‌باشند. مدل پیشنهادی برای استخراج روابط مذکور در رابطه (۹) قابل مشاهده است [۳۴]:

$$Y(u_i, v_i, t_i) = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{j=1}^k \beta_j(u_i, v_i, t_i) x_{ij} + \varepsilon(u_i, v_i, t_i) \quad (9)$$

که در آن، سه‌گانه (u, v, t) موقعیت و زمان هر مشاهده را نشان می‌دهد. Y_i و x_{ij} متغیرهای پاسخ و پیش‌بین مساله و ε_i باقیمانده یا خطای مدل می‌باشد. β_0 و β_j به ترتیب عرض از مبدا و شیب خط رگرسیون می‌باشند. ضرایب رگرسیون با کمک روش کمترین مربعات، از رابطه (۱۰) بدست می‌آیند.

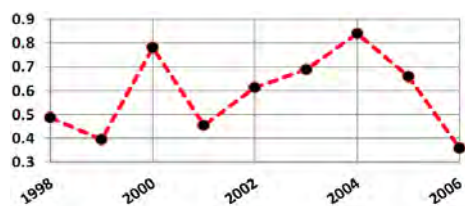
$$\beta_i = (X^T W_i X)^{-1} (X^T W_i Y) \quad (10)$$

X و Y در رابطه (۱۰) به ترتیب دربرگیرنده مشاهدات مربوط متغیرهای پیش‌بین و پاسخ و W ، ماتریس وزن مکانی- زمانی می‌باشند. به این ترتیب برای هر کدام از روابط، در هر موقعیت و هر سال، ضرایب رگرسیون با احتساب ایستگاه‌های همسایه و سال‌های قبل و بعد همان سال برآورد می‌شوند و از این حیث، این رگرسیون یک رگرسیون مکانی- زمانی وزندار به حساب می‌آید. همچنین به دلیل اینکه رگرسیون پیشنهاد شده، چارچوبی مشابه رگرسیون کمترین مربعات معمولی را دنبال می‌نماید، از محاسبات ساده‌ای برخوردار است.

$$w_{ij} = \exp \left\{ - \left(\frac{d_{ij}^S}{\alpha^S} \right)^2 \right\} \times \exp \left\{ - \left(\frac{d_{ij}^T}{\alpha^T} \right)^2 \right\} \quad (11)$$

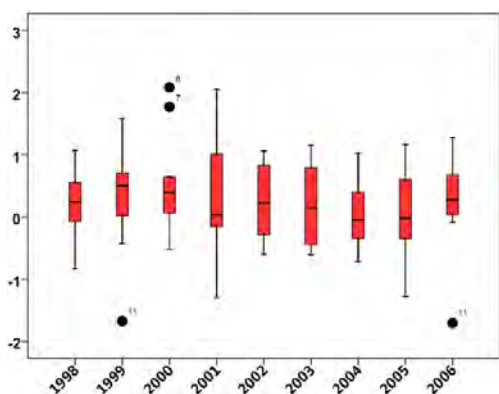
به علاوه با لحاظ شدن خودهمبستگی مکانی و زمانی آلاینده‌های آبی، علاوه بر درک بهتر تغییر روابط، با ایجاد تمهیدات لازم در مورد رفتار سری‌های زمانی، نتایج مناسب‌تری در مقایسه با رگرسیون وزندار مکانی ارایه می‌کند. بر اساس رابطه (۱۱)، عناصر ماتریس وزن از حاصل ضرب دو جز مجزای مکانی و زمانی بدست می‌آید [۳۴]. d_{ij}^T و d_{ij}^S در این رابطه، فواصل

بنابراین به طور کلی برای بازه زمانی ۹ سال می توان تصدیق نمود که خودهمبستگی مکانی مقدار قابل توجهی است.



شکل ۳- خودهمبستگی مکانی برای اندازه گیری آرسنیک بر اساس شاخص سراسری موران

علاوه بر این، برای آزمایش وجود نایستایی مکانی در ناحیه مطالعاتی، شاخص محلی موران بکار گرفته شد که نتایج این بررسی برای هر سال با استفاده از نمودار جعبه ای مطابق شکل ۴ ارایه گردیده است. بر طبق نتایج حاصل، به استثنای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ که نایستایی در فضای مورد مطالعه، میزان نسبتاً کمتری می باشد، در سایر سال های بازه زمانی، این تغییرات قابل توجه بوده و بیشترین میزان نایستایی مکانی برای سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ دیده می شود (شکل ۴). بدین ترتیب، می توان نایستایی مکانی را در محدوده مطالعاتی، برای دوره ۹ ساله بر اساس تغییرات شاخص های محلی موران مورد تایید قرار داد.

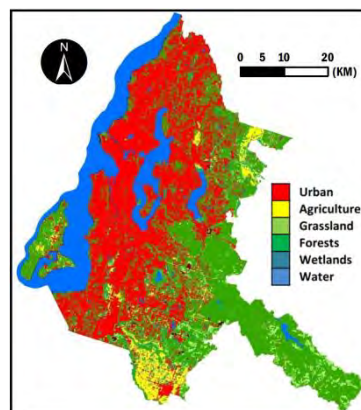


شکل ۴- نایستایی مکانی آرسنیک بر اساس تغییرات شاخص محلی موران

۳-۵- تحلیل زمانی

علاوه بر انجام تحلیل مکانی با هدف بررسی خودهمبستگی و نایستایی مکانی آلاینده های مذکور، نایستایی زمانی داده های سری زمانی با تحلیل روند و نیز بررسی تغییر شاخص های فصلی هر ایستگاه در دوره ۹ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۵ و شکل ۶). از آنجاییکه تغییرات فصلی همچون بارش های جوی و تغییرات دمایی می توانند نقش ویژه ای در غلظت آلاینده های درون آب داشته باشند، در ابتدا با توجه به این اطلاعات بارش های جوی

توجه به میزان بارش ماهیانه در شهر سیاتل و به منظور انجام تحلیل های زمانی، به چهار دوره زمانی تقسیم شدند. اطلاعات کاربری و پوشش زمین در منطقه، از تصاویر ماهواره ای NOAA با قدرت تفکیک ۳۰ متر، در ۲۵ طبقه کاربری/ پوشش زمین و برای سال های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ بدست آمدند و در بسیاری از تحقیقات از این قدر تفکیک استفاده شده است [۱۸]. سپس با طبقه بندی مجدد، این تعداد به ۵ طبقه کاربری های شهری، کشاورزی، پوشش های چمنزار، جنگلی و زمین های مرطوب کاهش یافت (شکل ۲). سپس درصد تراکم کاربری ها و پوشش ها برای هر کدام از ایستگاه های سنجش کیفیت آب در یک ناحیه حایل دایره ای به شعاع سه کیلومتر تعیین شدند. نهایتاً با انجام درونبایی خطی ساده و بدست آوردن اطلاعات کاربری سال های میانی، از آنها در کنار داده های کیفی آب برای تحلیل ارتباطات استفاده گردید.

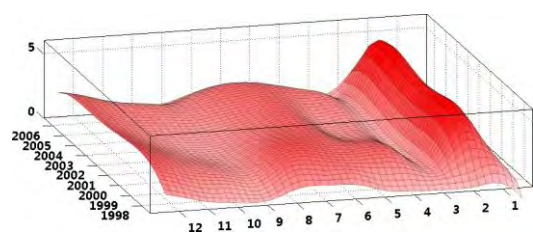


شکل ۲- طبقات کاربری منطقه مطالعاتی در تصاویر ماهواره ای NOAA (سال ۲۰۰۶)

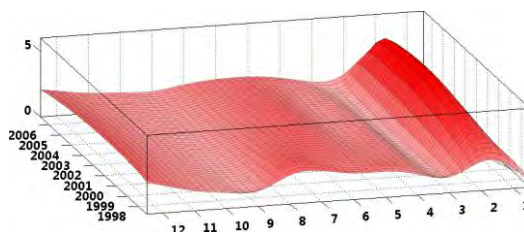
۲-۵- تحلیل مکانی

برای برآوردی بهینه از ضرایب رگرسیون در حضور خودهمبستگی و نایستایی مکانی در بین اندازه گیری های انجام شده برای سختی آب (غلظت فلز آرسنیک)، امکان وجود یا عدم وجود خودهمبستگی مکانی با استفاده از شاخص سراسری موران (رابطه (۱)) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی تا شعاع ۶ کیلومتری از هر ایستگاه در شکل ۳ ارایه شده است. بر اساس این نتایج، به استثنای سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۶ با شاخص موران ۰/۳۹ و ۰/۳۶، در سایر سال ها می توان مقدار قابل ملاحظه ای را برای شاخص سراسری موران مشاهده نمود؛ به گونه ای که در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ بیشترین میزان خودهمبستگی مکانی برای آرسنیک دیده می شود.

و ۱۰ دارای یک روند صعودی در سختی آب بوده و این تغییرات در مورد ایستگاه‌های ۱، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۲ یک سیر نزولی را دنبال می‌کند. در مورد ایستگاه شماره ۱۱، تغییر روند ناچیزی وجود دارد (شکل ۵، الف). علاوه بر این، اگر دوره زمانی را به به ۵ قسمت تقسیم نماییم، تغییرات چرخه‌ای را می‌توان با افزایش میزان سختی آب در قسمت دوم و چهارم بازه مطالعاتی و کاهش آن در قسمت‌های اول، سوم و پنجم این بازه، برای تمام ایستگاه‌ها مشاهده کرد (شکل ۵، ب).

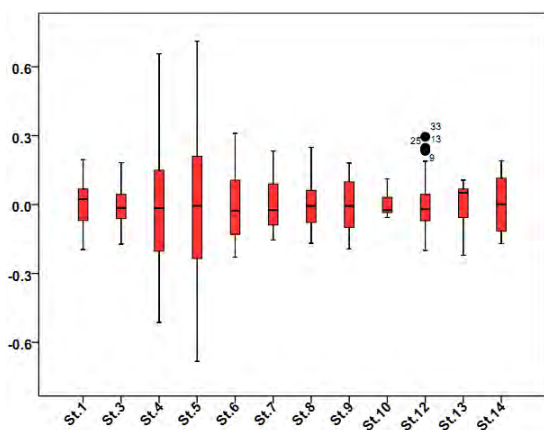


(ب)



(الف)

شکل ۵- تحلیل زمانی سختی آب در بازه زمانی ۹ سال؛ (الف) روند تغییرات و (ب) حرکات گردشی



شکل ۶- تغییرات فصلی بر مبنای شاخص فصلی فلز آرسنیک

۵-۴- استخراج ارتباطات

تأثیرات ناشی از کاربری‌های شهری و کشاورزی و همچنین چمن‌زارها، جنگل‌ها و زمین‌های مرطوب بر سختی آب، بر اساس مدل آرایه شده در بخش ۴ تعیین گردید. از آنجا که مدلسازی رگرسیون همانند بسیاری از تکنیک‌های کشف الگو، از معیار فاصله بین داده‌های غیرمکانی استفاده می‌نماید، به منظور کاهش اثر مشاهداتی با مقدار بزرگ و جلوگیری از غالب شدن آنها بر سایر مشاهدات در تعیین فاصله غیر مکانی، از تکنیک نرمال‌سازی امتیاز z استفاده شد [۳۵].

از نقطه نظر زمانی، بمنظور درک بهتر تأثیر تغییرات زمانی و بارش‌های فصلی بر روابط استخراج شده، داده‌های کیفی آب در

که از یک ایستگاه هواشناسی در مرکز شهر سیاتل تهیه شدند، داده‌های سری زمانی به چهار فصل تقسیم گردید.

سپس تحلیل داده‌های فوق موسوم به تحلیل سری‌های زمانی برای استخراج مولفه‌های زمانی انجام گرفت. به این ترتیب، الگوی تغییر روند و حرکت چرخه‌ای داده‌های آرسنیک به همراه نحوه تغییرات فصلی هر یک ایستگاه‌ها استخراج شدند.

در بین ایستگاه‌های موجود، ایستگاه شماره ۲ دارای بیشترین میزان سختی آب می‌باشد. بر اساس نتایج تحلیل روند برای بازه زمانی مورد مطالعه، ایستگاه‌های ۲، ۳، ۶، ۹

از سوی دیگر، تحلیل تغییرات فصلی در غلظت آرسنیک به منظور بررسی نحوه تغییرات فصلی در هر ایستگاه با استفاده از نمودار جعبه‌ای و بر اساس شاخص فصلی بدست آمده از رابطه (۵) صورت گرفت. شکل ۶ تغییرات فصلی را در هر یک از ۱۲ ایستگاه سنجش کیفیت نمایش می‌دهد.

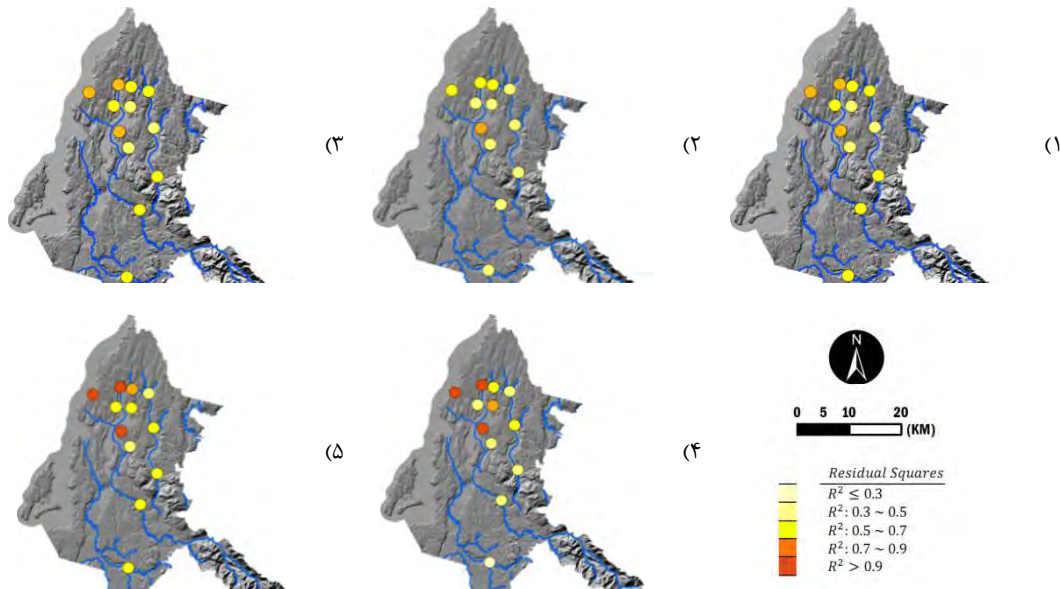
با توجه به دنباله‌های ترسیم شده در نمودار جعبه‌ای، در بین ایستگاه‌های موجود، تغییرات فصلی ایستگاه‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۲ میزان بالاتری است که در این میان بیشترین میزان تغییرات فصلی به ایستگاه‌های شماره ۴ و ۵ اختصاص دارد و این به معنی آنست که مشاهدات انجام شده در این دو ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها، بیشترین تأثیر را از تغییرات فصلی متحمل می‌شوند.

با توجه به نتایج به دست آمده از نتایج تحلیل‌های مکانی (شکل ۳ و شکل ۴) و زمانی (شکل ۵ و شکل ۶)، به کارگیری روشی به منظور استخراج روابط میان کاربری/پوشش‌ها و سختی آب که به صورت همزمان تغییرات مکان و زمانی را لحاظ نماید، ضروری به نظر می‌رسد.

به همین دلیل در این تحقیق با زمانمندی رگرسیون وزندار جغرافیایی، علاوه بر وارد نمودن خودهمبستگی مکانی و نایستایی مکانی، تغییر غلظت آلاینده‌ها در طول زمان نیز لحاظ گردید.

ماه‌های پر بارش سال (تحت عنوان دوره مرطوب) و داده‌های کیفی آب در ماه‌های کم بارش سال (تحت عنوان دوره خشک) بصورت جداگانه وارد تحلیل‌ها شد.

نتایج حاصل از این تحقیق که با در نظر گرفتن تغییرات درصد کاربری‌ها و غلظت آرسنیک در زمان، تنها برای سال‌ها ۲۰۰۶ ارائه شده است، بر اساس طبقه‌بندی مقدار R^2 و به تفکیک دوره‌های مرطوب (شکل ۷) و خشک (شکل ۸) می‌باشد.

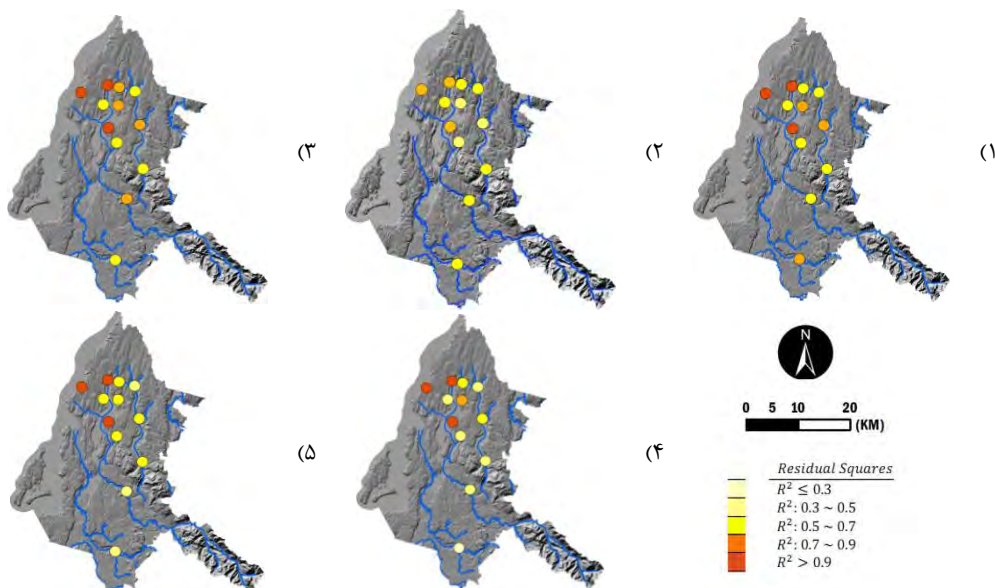


شکل ۷- توانایی الگوریتم در مدل نمودن ارتباط کاربری‌ها و پوشش‌ها با میزان سختی آب در دوره مرطوب (۱. شهری، ۲. کشاورزی، ۳. علفزار، ۴. جنگل، ۵. زمین‌های مرطوب)

علاوه بر این، پس از استخراج روابط فوق، میزان معنادار بودن این ارتباطات بر اساس نتایج آزمون آماری t -student در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد که نتایج، با توجه به آماره آزمون یعنی t -stat ارائه گردید. به استثنای درصد کاربری کشاورزی، درصد کاربری شهری و نیز علفزارها، مشاهده می‌شود که جنگل‌ها و زمین‌های مرطوب توانسته‌اند تغییرات مکانی در ارتباطات موجود را به خوبی نشان دهند که این

مطلب را می‌توان با توجه به تغییرات محلی معیار R^2 بررسی نمود. به دلیل تاثیر تغییرات فصلی بر نوع بافت کاربری‌ها، علاوه بر غلظت آلاینده‌ها، این ارتباطات برای دوره خشک هم تعیین شده‌اند (شکل ۸).

توانایی مدل در نمایش تغییرات مکانی برای ارتباطات استخراج شده در دوره خشک همانند دوره مرطوب برای کاربری کشاورزی، کمتر از چهار طبقه دیگر است.

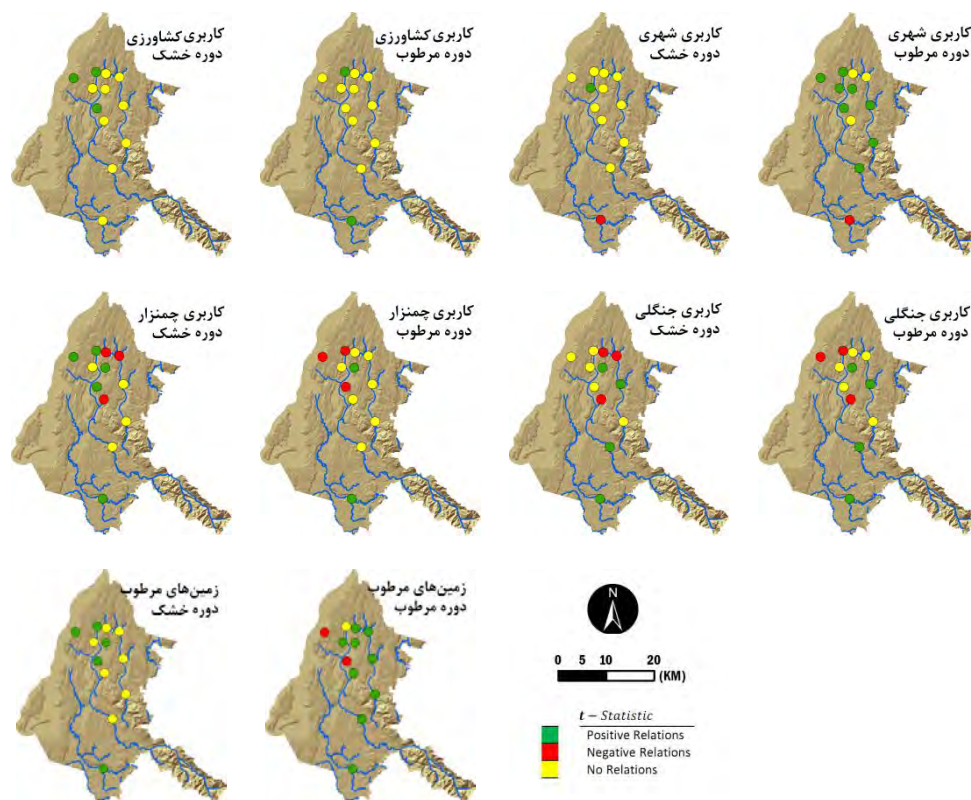


شکل ۸- توانایی الگوریتم در مدل‌سازی ارتباط کاربری‌ها و پوشش‌ها با میزان سختی آب در دوره خشک (۱. شهری، ۲. کشاورزی، ۳. علفزار، ۴. جنگل، ۵. زمین‌های مرطوب)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این تحقیق، نحوه تاثیر ۵ طبقه کاربری/ پوشش زمین شامل مناطق شهری، کشاورزی، چمنزار، جنگلی و زمین‌های مرطوب بر روی غلظت آلاینده فلزی آرسنیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق که در یک بازه زمانی ۹ ساله و با در نظر گرفتن خودهمبستگی مکانی و زمانی ارایه گردیده است، منجر به ارایه روشی گردید که علاوه بر استخراج روابط متغیر در فضا، قادر است تغییرات زمانی را نیز در نظر گرفته و از این رو نتایج بهتری را ارایه نماید. برای نمونه، با مقایسه نتایج در حالت مکانی- زمانمند برای سال ۲۰۰۶ با نتایج رگرسیون وزندار مکانی در همین سال، بر اساس وریانس و ضریب تشخیص می‌توان این بهبود را نشان داد.

با این حال، با بررسی توانایی مدل در برآورد ارتباطات برای دوره مرطوب نسبت به دوره خشک و با مقایسه مقدار باقیمانده‌های محلی می‌توان دریافت که این قابلیت برای دوره مرطوب بیشتر بوده و به عبارت دیگر، تاثیر تغییرات فصلی بر روی توانایی مدل در استخراج ارتباطات فوق دیده می‌شود. بعلاوه به منظور نمایش نحوه ارتباطات فوق از آزمون آماری t در سطح اطمینان ۹۵٪ بهره گرفته شد. با مطالعه نتایج این بررسی که در شکل ۹ آمده است، می‌توان به نقش تغییرات فصلی بر روی الگوی ارتباطات پی برد. برای نمونه در مورد ارتباط کاربری شهری با میزان سختی آب، هرچند در فصول مرطوب ارتباط معنادار منفی در بیشتر ایستگاه‌ها وجود دارد ولی در فصول خشک، غالب ایستگاه‌ها ارتباط معناداری با سختی آب ندارند.



شکل ۹- نمایش نحوه ارتباطات استخراج شده میان کاربری/ پوشش‌ها با میزان سختی آب بر اساس آماره t در سطح اطمینان ۹۵٪ به تفکیک فصول مرطوب و خشک

به دلیل حساسیت ضرایب برآورد شده مدل به پهنای باند انتخاب شده، تعیین پهنای باند بعنوان بخشی از کالیبراسیون تابع وزن مدل، امری ضروری بشمار می‌رود [۲۰].

بر اساس نتایج بدست آمده از روند کار اعتبارسنجی ضربدردی که در جدول ۱ آمده است، مدل پیشنهادی این

یکی از مراحل محاسباتی در الگوریتم‌های رگرسیون وزندار مکانی و رگرسیون مکانی زمانمند، تعیین پهنای باند هسته الگوریتم در ماتریس وزن می‌باشد که برای این منظور بر طبق رابطه (۱۲)، از فرایند اعتبارسنجی ضربدردی بهره گرفته شد [۳۶].

جمله توپوگرافی و شیب زمین، جنس خاک و نیز تاثیرات هوازدگی را می‌توان به عنوان معیارهای تاثیرگذار، در برآورد نتایج، دخالت داد و به این ترتیب به بهبود نتایج کمک کرد.

جدول ۱- مقایسه امتیازات اعتبارسنجی ضربدری مدل‌های رگرسیون وزندار مکانی (GWR) و رگرسیون مکانی-زمانی وزندار (STWR)

STWR	GWR	
۹/۸۱۳	۸/۴۵۲	کاربری شهری
۱۴/۸۷۷	۱۳/۰۳۱	کاربری کشاورزی
۱۱/۶۳۳	۱۰/۱۱۰	پوشش جنگلی
۱۱/۰۸۵	۱۰/۱۴۷	پوشش چمنزار
۱۹/۹۴۰	۱۷/۵۴۶	زمین‌های مرطوب

تحقیق، در مقایسه با رگرسیون وزندار مکانی، پهنای باند را در امتیازات اعتبارسنجی ضربدری کوچکتری بدست می‌آورد که بر اساس [۳۷]، کارایی مناسب‌تر مدل پیشنهادی این تحقیق را در مقایسه با مدل رگرسیون وزندار مکانی نشان می‌دهد.

نهایتاً آنچه از نتایج جدول ۱ بدست می‌آید، حاکی از بهبود پهنای باند تابع ماتریس وزن و در نتیجه بهبود ضرایب برآورد شده در مقایسه با مدل رگرسیون وزندار مکانی است.

با این وجود، از آنجاکه نوع بافت کاربری/پوشش زمین در اطراف هر ایستگاه بر اساس مقیاس انتخاب شده متفاوت است، استفاده از مقیاس مناسب بر اساس کاربرد و نظر کارشناس، مناسب‌تر خواهد بود. برای نمونه می‌توان به مقیاس زیر حوضه آبی و ناحیه حایل حاشیه‌ای اشاره نمود. از سوی دیگر، دخالت دادن عوامل محیطی دیگر از

مراجع

- [1] A. Madadi, F. Karimipour, "Using Geographically Weighted Regression to Examine Relationships between Environmental Factors and Water Quality Parameters," 20th National Geomatics Conference Proceedings of, 2013.
- [2] S. Tortajada, V. David, A. Brahmia, C. Dupuy, T. Lanieste, B. Parinet, F. Pouget, F. Rousseau, B. Simon-Bouhet, and F.-X. Robin, "Variability of fresh- and salt-water marshes characteristics on the west coast of France: A spatio-temporal assessment," *Water Research*, vol. 45, pp. 4152-4168, 2011.
- [3] Y.-H. Yang, F. Zhou, H.-C. Guo, H. Sheng, H. Liu, X. Dao, and C.-J. He, "Analysis of spatial and temporal water pollution patterns in Lake Dianchi using multivariate statistical methods," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 170, pp. 407-416, 2010/11/01 2010.
- [4] D. V. Chapman, *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring*: E & Fn Spon, 1996.
- [5] D. Abler, J. Shortle, J. Carmichael, and R. Horan, "Climate Change, Agriculture, and Water Quality in the Chesapeake Bay Region," *Climatic Change*, vol. 55, pp. 339-359, 2002/11/01 2002.
- [6] S. Li, S. Gu, W. Liu, H. Han, and Q. Zhang, "Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin, China," *CATENA*, vol. 75, pp. 216-222, 2008.
- [7] P. Maillard and N. A. Pinheiro Santos, "A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed – Brazil," *Journal of Environmental Management*, vol. 86, pp. 158-170, 2008.
- [8] J. Schoonover, B. G. Lockaby, and S. Pan, "Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in western Georgia," *Urban Ecosystems*, vol. 8, pp. 107-124, 2005/03/01 2005.
- [9] D. N. Wear, M. G. Turner, and R. J. Naiman, "LAND COVER ALONG AN URBAN-RURAL GRADIENT: IMPLICATIONS FOR WATER QUALITY," *Ecological Applications*, vol. 8, pp. 619-630, 1998/08/01 1998.
- [10] S. T. Y. Tong and W. Chen, "Modeling the relationship between land use and surface water quality," *Journal of Environmental Management*, vol. 66, pp. 377-393, 2002.
- [11] M. H. Mehaffey, M. S. Nash, T. G. Wade, D. W. Ebert, K. B. Jones, and A. Rager, "Linking Land Cover and Water Quality in New York City's Water Supply Watersheds," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 107, pp. 29-44, 2005/08/01 2005.
- [12] L. Monteagudo, J. L. Moreno, and F. Picazo, "River eutrophication: Irrigated vs. non-irrigated agriculture through different spatial scales," *Water Research*, vol. 46, pp. 2759-2771, 2012.

- [13] R. O. Carey, K. W. Migliaccio, Y. Li, B. Schaffer, G. A. Kiker, and M. T. Brown, "Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida," *Ecological Indicators*, vol. 11, pp. 1093-1104, 2011.
- [14] F. Karimipour, M. Delavar, and H. Rezayan, "Neighborhood analysis in water pollution estimation," *Environmental Informatics Archives*, vol. 3, pp. 232-238, 2005.
- [15] F. Karimipour, M. R. Delavar, and M. Kinaie, "Water quality management using GIS data mining," *Journal of Environmental informatics*, vol. 5, pp. 61-71, 2005.
- [16] W. R. Tobler, "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region," *Economic geography*, vol. 46, pp. 234-240, 1970.
- [17] H. Chang, "Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea," *Water Research*, vol. 42, pp. 3285-3304, 2008.
- [18] J. Tu, "Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression," *Applied Geography*, vol. 31, pp. 376-392, 2011.
- [19] B. Pratt and H. Chang, "Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales," *Journal of hazardous materials*, 2012.
- [20] A. S. Fotheringham, C. Brunson, and M. Charlton, *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships* vol. 13: Wiley Chichester, 2002.
- [21] S. J. Halliday, A. J. Wade, R. A. Skeffington, C. Neal, B. Reynolds, P. Rowland, M. Neal, and D. Norris, "An analysis of long-term trends, seasonality and short-term dynamics in water quality data from Plynlimon, Wales," *Science of The Total Environment*, vol. 434, pp. 186-200, 2012.
- [22] H. P. Jarvie, P. M. Haygarth, C. Neal, P. Butler, B. Smith, P. S. Naden, A. Joynes, M. Neal, H. Wickham, L. Armstrong, S. Harman, and E. J. Palmer-Felgate, "Stream water chemistry and quality along an upland-lowland rural land-use continuum, south west England," *Journal of Hydrology*, vol. 350, pp. 215-231, 2008.
- [23] M. A. Massoud, M. El-Fadel, M. D. Scrimshaw, and J. N. Lester, "Factors influencing development of management strategies for the Abou Ali River in Lebanon: I: Spatial variation and land use," *Science of The Total Environment*, vol. 362, pp. 15-30, 2006.
- [24] W. Dixon and B. Chiswell, "Review of aquatic monitoring program design," *Water Research*, vol. 30, pp. 1935-1948, 1996.
- [25] D. Pfeiffer, T. Robinson, M. Stevenson, K. B. Stevens, D. J. Rogers, and A. C. A. Clements, *Spatial analysis in epidemiology*: Oxford University Press New York, 2008.
- [26] J. A. Miller, "Species distribution models Spatial autocorrelation and non-stationarity," *Progress in Physical Geography*, vol. 36, pp. 681-692, 2012.
- [27] A. D. Cliff and J. K. Ord, *Spatial processes: models & applications* vol. 44: Pion London, 1981.
- [28] P. A. P. Moran, "Notes on continuous stochastic phenomena," *Biometrika*, pp. 17-23, 1950.
- [29] B. D. Ripley, *Spatial statistics* vol. 575: Wiley-Interscience, 2005.
- [30] D. Pfeiffer, T. Robinson, M. Stevenson, K. B. Stevens, D. J. Rogers, and A. C. Clements, *Spatial analysis in epidemiology*: Oxford University Press New York, 2008.
- [31] S. Sundaray, U. Panda, B. Nayak, and D. Bhatta, "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi river-estuarine system (India) – a case study," *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 28, pp. 317-330, 2006/08/01 2006.
- [32] J. E. Burt, G. M. Barber, and D. L. Rigby, *Elementary statistics for geographers*: The Guilford Press, 2009.
- [33] C. Chatfield, *The analysis of time series: an introduction* vol. 59: Chapman and Hall/CRC, 2003.
- [34] B. Huang, B. Wu, and M. Barry, "Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 24, pp. 383-401, 2010/03/15 2010.
- [35] J. G. Ramcrez, "Data Analysis: Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers," *Technometrics*, vol. 42, pp. 312-312, 2000.
- [36] C. Brunson, A. S. Fotheringham, and M. E. Charlton, "Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity," *Geographical Analysis*, vol. 28, pp. 281-298, 1996.
- [37] A. S. Fotheringham, C. Brunson, and M. Charlton, *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*: Wiley, 2003.