

جغرافیا و توسعه شماره ۴۸ پاییز ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰

صفحات: ۹۵ - ۱۱۲

## تحلیل ارتباطات بین متغیرهای فضایی در دشت خان میرزا: مقایسه‌ی کارایی الگوی رگرسیون وزنی جغرافیایی و الگوی حداقل مربعات معمولی

مهندس سجاد شمشیری<sup>۱\*</sup>، دکتر حبیب شهبازی<sup>۲</sup>، شهاب الدین تقی‌پور جاوی<sup>۳</sup>

### چکیده

بطور متداول، برای درک ارتباطات فضایی بین متغیرها محققان علوم محیط‌زیست و جغرافیا از الگوهایی چون رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) بهره می‌گیرند که دارای کاستی‌های بسیاری در ارائه‌ی نتایج فضایی بویژه در مقیاس محلی است. محققان در سال‌های اخیر الگوی رگرسیونی وزنی جغرافیایی (GWR) به منظور درک روابط بین متغیرهای فضایی در سطح محلی پیشنهاد داده‌اند. در این تحقیق به منظور مقایسه‌ی کارایی این الگوها، میزان تغییرات کاربری اراضی (به عنوان متغیر وابسته) در رابطه با تغییرات افت و برداشت از منابع آب زیرزمینی (به عنوان متغیرهای مستقل) در دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ در دشت خان میرزا (استان چهارمحال و بختیاری) مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی کارایی الگوها از ضریب تغییرات باقیمانده‌های استاندارد شده، وابستگی‌های محلی فضایی، شاخص مورن، معیار اطلاعات اکائیک تصحیح‌شده و ضریب تبیین محلی بهره گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد بر اساس ضریب تغییرات استاندارد شده، الگوی GWR قابلیت انطباق داده‌ها را نسبت به OLS را دارا است. همچنین بر اساس نتایج ضریب تبیین بر روی متغیرهای تحقیق، الگوی GWR برازش محلی مطلوبی را بین نقاط رگرسیونی و نمونه‌ای برقرار می‌کند. بر اساس شاخص مورن، الگوی GWR کمترین شباهت مقداری و مکانی را در موقعیت‌های مجاور داده‌های نمونه‌ای نشان می‌دهد و کارامدی الگوی GWR در ارائه‌ی خروجی‌های فضایی در برابر الگوی OLS را اثبات می‌نماید. کلیدواژه‌ها: رگرسیون وزنی جغرافیایی، رگرسیون حداقل مربعات معمولی، تغییرات کاربری اراضی، تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی، دشت خان میرزا.

sajjadshamshiri@ut.ac.ir

hashahbazi@ut.ac.ir

Taghipour@ut.ac.ir

۱- مربی فضای سبز، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، همدان، ایران\*

۲- استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، همدان، ایران

۳- کارشناس ارشد مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

## مقدمه

داده‌های فضایی به عنوان مهم‌ترین و اساسی‌ترین نوع داده‌ها، توسط محققان علوم محیط‌زیست و جغرافیا در تحقیقاتشان استفاده می‌شود. به منظور ارتباط بین متغیرهای فضایی نیز از روش‌های رگرسیونی بهره گرفته می‌شود. در اکثر موارد به منظور درک ارتباطات بین متغیرهای مختلف فضایی از روش‌های تحلیل رگرسیونی جهانی همانند تحلیل‌های حداقل مربعات معمولی<sup>۱</sup> (OLS) بهره گرفته می‌شود و در بسیاری از مطالعات، اساس ارتباط بین متغیرهای پاسخ برای متغیر پیش‌بینی شونده است (Montgomery et al, 2001: 64-76).

مسئله‌ی مهمی که در داده‌های فضایی وجود دارد این است که الگوهای رگرسیونی معمولی برای دو متغیر مستقل و وابسته فضایی تنها متوسطی از داده‌های غیر فضایی را ارائه می‌دهد. بنابراین قادر نخواهند بود خود همبستگی‌های فضایی بین متغیرها را بیان کنند و اغلب در نشان دادن واقعیات ارتباطات مختلف فضایی ناتوان هستند و تنها برازشی از یک خط رگرسیونی کلی برای کل داده‌ها ارائه می‌دهد، از این رو برخی از واقعیات محلی در این زمینه پنهان می‌ماند و در نهایت نتیجه‌ی معقول و منطقی برای داده‌های فضایی ارائه نمی‌دهد. در این زمینه محققان زیادی به منظور رفع ابهامات الگوهای آماری جهانی همانند حداقل مربعات معمولی تلاش کردند و روش‌های محلی‌تری همانند رگرسیون قطعات خطی<sup>۲</sup> و رگرسیون لاوس<sup>۳</sup> را توسعه داده‌اند، این روش‌ها تصویری واقع‌بینانه‌تر از روش قبل در ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دادند، اما تکنیک‌هایی، غیر فضایی بودند و روش کارا برای ارائه‌ی واقعیات فضایی نیستند لذا در سال‌های (Fotheringham et al, 2002: 26-48)

اخیر روشی نوین، ساده و مؤثر و کارا برای بررسی ارتباطات مختلف فضایی، به نام رگرسیون وزنی جغرافیایی<sup>۴</sup> بسط داده شد (Gao et al, 2011: 292-294)

این روش اولین بار توسط براندسون و همکاران (۱۹۹۶) ارائه گردید که یک فن آماری محلی است که ارتباطات بین متغیرهای فضایی را در یک فضای غیر پایایی<sup>۵</sup> فرض و تحلیل می‌کند. الگوی رگرسیون وزنی جغرافیایی از روش‌های هموارسازی و رگرسیون محلی<sup>۶</sup> نشأت گرفته است که بر پایه قانون اول جغرافیا بنا شده است که طبق این قانون هر چیزی مرتبط با چیزهای دیگری است، اما در نزدیکی مشخصه‌های فضایی ارتباطات بیشتر و قوی‌تر است و با فاصله گرفتن از آن‌ها کمتر می‌شود، این قانون موسوم به اصل جغرافیایی توبلر<sup>۷</sup> شناخته می‌شود (Fotheringham et al, 1998: 1906) (Brunsdon et al, 1996: 282-287)

بطور کلی توانایی در نمایش فضایی پدیده‌ها در مطالعات محیط طبیعی بسیار با اهمیت است لذا نتایج الگوی GWR می‌تواند به صورت فضایی نمایش داده شوند و قابلیت ارائه‌ی تخمین‌ها، تشخیص و باقیمانده‌های استاندارد شده<sup>۸</sup> و بررسی عمیق تغییرات تغییرات محلی در ارتباط با فضای تحلیل حاصل از اجرای الگوی به صورت نقشه را به وجود آورد (Fotheringham and Brunsdon, 1999: 341-347)

مطالعات گسترده‌ی فضایی در سطح بین‌المللی با استفاده از الگوی GWR انجام شده است.

تیو (۲۰۱۱) ارتباط بین کاربری اراضی و کیفیت منابع آب را در بوستن آمریکا با استفاده از GWR بررسی و تحلیل کردند نتایج تحقیقات وی نشان داد

4-Geological Weighted Regression (GWR)

5-Spatial Non-Stationarity

6- Local Statistics &amp; local Technique

7-Tobler's Law of Geography

8-Standardized residuals

1-Ordinary Least Square (OLS)

2-Segments Regression

3-Lowess Regression

در بسیاری از حوزه‌های علوم و برنامه‌ریزی محیط زیست و جغرافیایی که به نوعی نیازمند نمایش خروجی‌ها به صورت فضایی هستند الگوی وزنی جغرافیایی توسط محققان مورد استقبال قرار گرفت که در مقابل پاره‌ای دیگر از کاربرد این روش بیان شد، در زمینه‌های مختلف علمی چون ارتباط بین تغییرات دما در سطح شهرها و جزایر گرمایی (Su et al, 2012: 361-362)، نیروهای محرکه پنهان در مطالعات جنگل‌زدایی (Pineda Jaimes, 2010: 576-577)، آثار مختلف توپوگرافی، پوشش گیاهی بر روی کیفیت منابع آب فصلی در مقیاس‌های مختلف (Pratt & Chang, 2012: 49-54) و یا ارتباط زیست توده سطحی زمین در جنگل‌های بارانی (Propastin 2012: 83-85) پژوهشگران نتایج تحقیقات خود را با استفاده از الگوی GWR به صورت فضایی نمایش داده‌اند. اما در تحقیقات داخلی برنامه‌ریزی محیط‌زیست و مطالعات فضایی مرتبط با محیط‌زیست از این روش استفاده نشده و محققان داخلی در بسط ارتباطات فضایی بین پدیده‌ها از الگوی رگرسیونی معمولی بهره می‌گیرند. در این مطالعه به منظور مقایسه‌ی الگوهای رگرسیونی ذکر شده، ارتباطات مختلف فضایی بین تغییرات کاربری اراضی و کمیت منابع آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ در منطقه‌ی خان میرزا در استان چهارمحال و بختیاری بررسی و تحلیل می‌گردد.

در تحقیق حاضر تغییرات کاربری‌های مختلف در ارتباط با دو متغیر تغییرات افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات برداشت آب زیرزمینی در دشت خان میرزا بررسی خواهد شد. هدف اصلی تحقیق مقایسه‌ی کارایی دو الگوی GWR و OLS در نشان دادن ارتباطات مختلف فضایی- زمانی است. نتایج تحقیق در مورد ارتباطات گوناگون کاربری‌ها و کمیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند در درک فضایی روابط بین

که ارتباطات مختلف فضایی بین کیفیت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری با در نظر گرفتن فاصله از شهر بوستون در ایالات متحده وجود دارد همچنین بر کارایی این الگو در نشان دادن همبستگی‌های فضایی تأکید کرد (Tu, 2011: 377-379).

به منظور بررسی مقیاس‌های مختلف در اثرگذاری دما و فاکتورهای محیط زیستی بر محیط شهری، لیبی و همکاران (۲۰۱۰) از مدل GWR بهره گرفتند و بررسی‌هایشان نشان داد که این مدل در تحلیل مذکور کارایی بالایی دارد (Li et al, 2010: 1790-1792). رابینسون و همکاران (۲۰۱۳) به منظور نقشه‌سازی دی‌اکسید نیتروژن در هوا از الگوی GWR بهره گرفتند و از روش‌های آماری متداول نیز استفاده کردند نتایج نقشه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های آن‌ها تأکید بر این نکته داشت که الگوی GWR کارایی مطلوبی نسبت به الگوهای آماری معمولی در ارائه‌ی خروجی‌های فضایی دارد (Robinson et al, 2011: 242-248).

سو و همکاران (۲۰۱۲) تحلیل‌های چند مقیاسی ارتباطات مختلف فضایی بین الگوهای اراضی کشاورزی و شهرسازی را با استفاده از الگوی GWR نشان دادند. آن‌ها دریافتند که این الگو ظرفیت بالایی در رفتارهای مختلف توسعه‌ی بخش کشاورزی و مناطق مختلف شهری دارا است (Su et al, 2012: 370-373).

برون و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی ارتباطات مختلف فضایی مرتبط بین تغییرات کاربری اراضی و منابع آب سطحی نشان دادند که روش‌های آماری سنتی همانند OLS اغلب در داده‌های مختلف فضایی قادر به بیان ارتباط‌های فضایی مختلف نیستند و در مقابل کارایی الگوهای GWR با معیارهایی همانند ضریب تبیین محلی و ضریب اطلاعات اکائیک مشخص شد که بهبود در بیان داده‌های فضایی را نشان می‌دهند (Brown et al, 2011: 249-252).

که در آن،  $u_j$  و  $v_j$  مختصات هر موقعیت برای  $j$ ،  $\beta_0(u_j, v_j)$  محل تقاطع برای موقعیت  $j$ ،  $\beta_i(u_j, v_j)$  یک ضریب محلی است که متغیر مستقل  $X_i$  را در موقعیت  $j$  تخمین می‌زند و  $\varepsilon_j$  نیز خطای تصادفی با فرض  $N(0, \sigma^2)$  (فرض نرمال بودن) می‌باشد (Tu et al, 2008: 359-361).

پس از بررسی دو الگوی OLS و GWR به واسنجی الگوها با استفاده از الگوی هسته تطابقی<sup>۱</sup> پرداخته می‌شود. براساس مطالعات گذشته نظیر تیو و همکاران (۲۰۰۸)، نتایج GWR نسبت به انتخاب عملکرد وزنی حساس می‌باشد یعنی به انتخاب عملکرد وزنی پهنای باند حساس است. چنانچه تعیین ارزش بهینه‌ای از پهنای باند در الگوی GWR لازم باشد، لذا در الگوی GWR پهنای باند، هموارسازی داده‌ها را ایجاد می‌شود. در الگوی هسته تطابقی، نقاط رگرسیونی محدود به فضا است، پهنای باند کمتر وقتی نقاط رگرسیونی در فضا زیاد باشد به کار گرفته می‌شوند. وزن  $k$  امین داده نقطه‌ای در  $\hat{I}$  امین نقطه رگرسیونی توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$w_{ik} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ik}}{h_i}\right)^2\right]^2 & \text{when } d_{ik} \leq h_i \\ 0 & \text{when } d_{ik} \geq h_i \end{cases} \quad (3)$$

نقطه رگرسیونی ( $d_{ik} = 0$ )، وزن‌دهی داده نقطه‌ای متناسباً صفر می‌شود وقتی که فاصله برابر پهنای باند گردد یعنی  $d_{ik} = h$  در انتخاب پهنای باند در الگوها از تکنیک معیار اطلاعات اکائیک تصحیح‌شده<sup>۲</sup> برای برازش نقاط رگرسیون استفاده شده است که رابطه‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

متغیرهای تحقیق برای محققان علوم جغرافیا و محیط‌زیست به منظور تحقیقات گسترده‌تر در مقیاس‌های مختلف به صورت مکانی-زمانی در تصمیم‌گیری و مدیریت منابع مورد استفاده قرارگیرند. درک صحیح نوع ارتباطات بین متغیرهای مختلف فضایی و ارائه‌ی خروجی‌های فضایی کمک زیادی به برنامه‌ریزان خواهد کرد.

### مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا به بررسی نظری روش‌های OLS و GWR در تحلیل متغیرهای فضایی پرداخته می‌شود. سپس ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و ارتباط متغیرهای فضایی این منطقه با الگوهای تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### الگوی نظری OLS و GWR

الگوی رگرسیون معمولی همانند OLS در واقع یک الگوی جهانی است که با فرض ارتباطات ثابت در فضا استوار است و متغیرها را بطور مشابه همانند دیگر مناطق مورد مطالعه تخمین می‌زند. رابطه عمومی الگوی OLS در زیر آمده است:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \varepsilon \quad (1)$$

که در آن،  $y$  متغیر وابسته،  $\beta_0$  عرض از مبدا،  $\beta_i$  ضرایب تخمینی برای متغیر مستقل  $x_i$  تعداد  $p$  متغیرهای مستقل و  $\varepsilon$  جزء خطا است. الگوی GWR به ضرایب محلی نسبت به جهانی اجازه می‌دهد که تخمین در هر موقعیت نمونه انجام شود و بدین ترتیب رابطه (۱) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$y_j = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^p \beta_i(u_j, v_j)x_{ij} + \varepsilon_j \quad (2)$$

1-Adoptive Spatial Kernels

2-Corrected Akaike Information Criterion (CAIC)

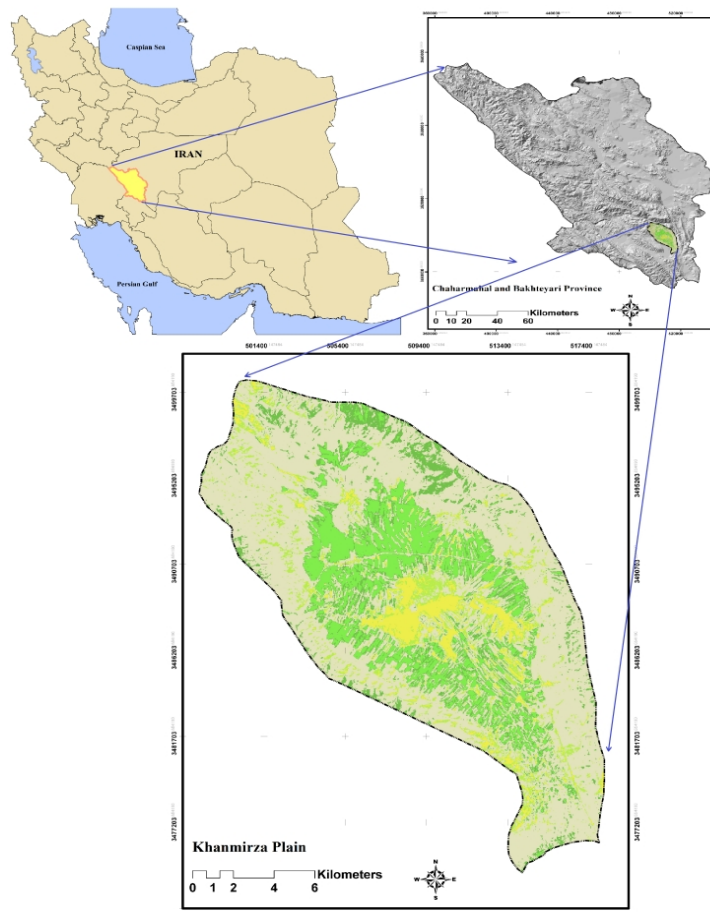
این نظر این دشت در حد میانی منطقه‌ی خشک مرکزی ایران و مناطق مرطوب زاگرس قرار می‌گیرد (Motiee et al 2015: 83-86) آب آبیاری اراضی کشاورزی و آشامیدنی آن با حدود ۷۰۰ حلقه چاه عمیق تأمین می‌گردد. از این رو مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده‌ی آب در حوضه‌ی مورد مطالعه‌ی چاه‌های کشاورزی می‌باشد (Taghipour Javi et al, 2015: 242). لازم به ذکر است با برداشتهای بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و افت شدید آن، شور شدن منابع آب زیرزمینی در این دشت رخ داده است که در طی سالیان گذشته توسعه‌ی کشاورزی و کاهش عرصه‌های منابع طبیعی، تقاضا برای استفاده از منابع آب زیرزمینی را بالا برده و طی چند سال اخیر چالش‌های مختلفی را در بخش‌های منابع طبیعی، منابع آب و کشاورزی رو به رو شده که با گذشت زمان و عدم توجه به مسائل اصلی و مسبب این چالش‌ها، وضعیت آن وخیم‌تر نیز خواهد شد به دلیل سوء مدیریت و برداشت بی‌رویه از منابع سفره‌ی آب زیرزمینی و خشکسالی‌های متوالی در حال حاضر تغییرات گسترده‌ای در کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه رخ داده است (Taghipour Javi et al, 2016: 3). همچنین تغییرات کاربری اراضی به واسطه کاهش شدید سطح آب زیرزمینی بطور گسترده در کل پهنه دشت اتفاق افتاده است (تقی پورجاوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۴-۲).

(۴)

$$AIC_C = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + \text{tr}(S)}{n - 2 - \text{tr}(S)} \right\}$$

که در آن،  $n$  اندازه نمونه،  $\sigma$  انحراف معیار تخمین زده شده در مورد خطا و  $\text{tr}(S)$  اندازه ماتریس برازشی<sup>۱</sup> (ماتریس وزنی بر مبنای فاصله نقاط نمونه و رگرسیون) است. با توجه به روش مختلفی که در محاسبه پهنای باند وجود دارد، حداقل معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده، بهترین پهنای باند را ارائه می‌دهد (Tu et al, 2008: 359-361).

منطقه‌ی مورد مطالعه: دشت خان میرزا در ارتفاع متوسط ۱۸۸۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه در شهرستان لردگان واقع در جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. وسعت این دشت حدود ۲۴ هزار هکتار است. این منطقه دارای ۳۷ روستا با جمعیتی بالغ بر ۳۰ هزار نفر به مرکزیت شهر آلونی با دو دهستان خان میرزا و جوانمردی می‌باشد که از جمله دشت‌های حاصلخیز و برتر استان از لحاظ ظرفیت‌های کشاورزی محسوب می‌شود (شکل ۱). بطور کلی حوزه‌ی آبخیز خان میرزا در قسمت زاگرس مرکزی واقع شده است و جبهه مهمی که بر روی این حوزه اثر می‌گذارد، اقیانوس اطلس می‌باشد. این جبهه که با جریان سرد و کم و بیش مرطوب همراه می‌باشد و عمدتاً در فصل سرد از دریای مدیترانه و سیاه به طرف غرب و جنوب غربی وارد ایران می‌شود. با توجه به جهت ورود این جبهه به ایران، بخش عمده رطوبت آن در ارتفاعات مقدم و بلندتر زاگرس ریزش نموده و به این ترتیب حوزه آبخیز خان میرزا که در پشت این ارتفاعات قرار گرفته است رطوبت و بارندگی کمتری را کسب می‌نماید و از



شکل ۱: موقعیت دشت خان میرزا در سطح استان و کشور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

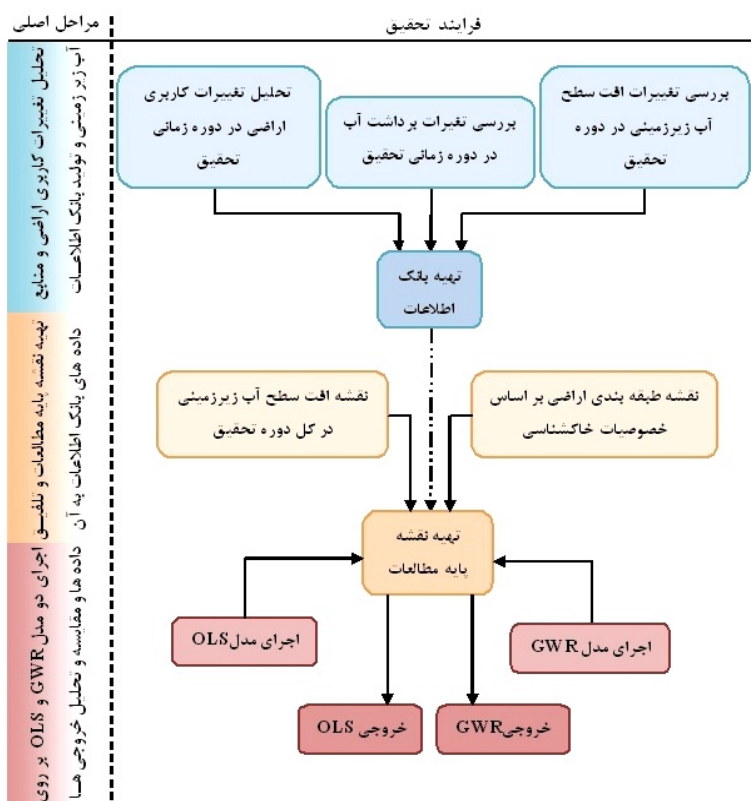
### فرآیند تحقیق

پیزومتریک موجود در منطقه که به صورت ماهانه توسط شرکت آب منطقه ای استان چهارمحال و بختیاری پایش می‌شود، مورد استفاده قرار گرفتند. متغیرهای مستقل در این مطالعه اشاره به دو متغیر افت سطح آب زیرزمینی و اختلاف برداشت منابع آب زیرزمینی در دوره زمانی ذکر شده دارد. در گام دوم نیز به منظور اجرای الگوها بر روی داده‌ها منطقه‌ای مورد مطالعه بر اساس واحدهای همگن تقسیم شده که این نقشه حاصل تلفیق نقشه‌های طبقه‌بندی خاک، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی است و تنها به منظور تهیه واحدهایی که در حکم داده‌های نمونه‌ای عمل می‌کنند بهره گرفته شد. در این تحقیق هریک از

فرآیند تحقیق در سه مرحله انجام می‌شود. در گام اول، تغییرات کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی به منظور تولید بانک اطلاعاتی مورد بررسی قرار گرفت. از این رو از نتایج تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM بر اساس تغییرات کاربری‌های دیم، آبی، مرغزار و بایر در منطقه‌ی مورد مطالعه برای سری‌های زمانی ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ استفاده شدند. تغییرات هر چهار نوع کاربری به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد. در تحلیل تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی از لحاظ برداشت و افت سطح آب، به ترتیب از داده‌های حدود ۶۳۰ حلقه چاه کشاورزی و ۱۴ چاه

اطلاعات توصیفی نقشه واحدهای همگن اضافه گردید. در گام سوم، الگوهای GWR و OLS بر روی نقشه پایه مطالعات که حاوی ۶۸ واحد همگن است، اجرا گردید. شکل (۲) خلاصه فرآیند تحقیق را نشان می‌دهد.

تغییرات کاربری‌ها در سری زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۹ به عنوان متغیر مستقل و دو متغیر اختلاف برداشت آب و تغییرات افت سطح آب زیرزمینی به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد و تمامی داده‌های متغیرهای تحقیق در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 به جدول



شکل ۲: فرایند تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

نشان دادن ارتباطات مختلف فضایی- زمانی ارائه می‌گردد.

### تغییرات کاربری اراضی

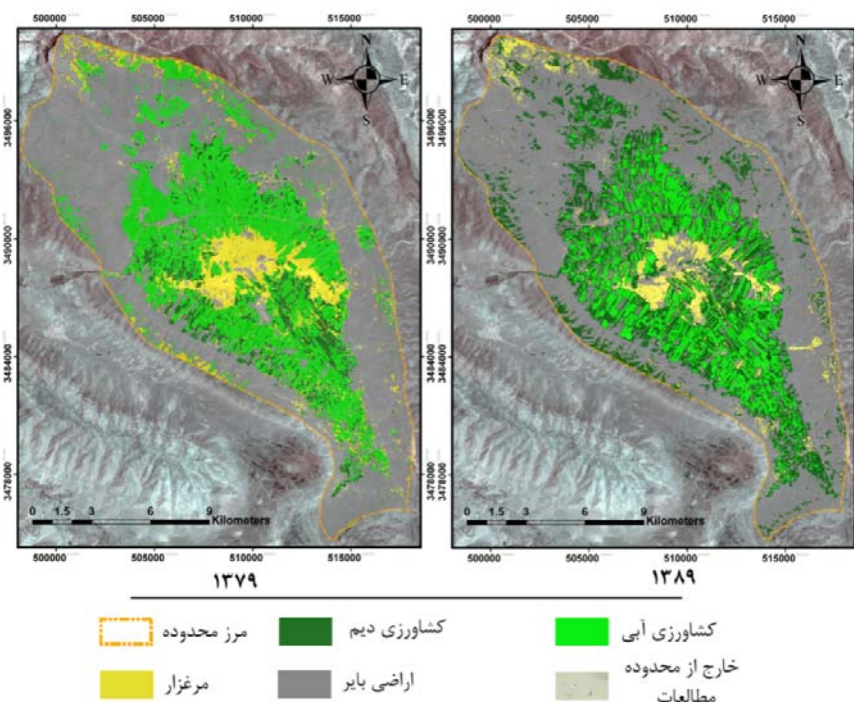
به منظور استخراج داده‌های تغییرات کاربری اراضی در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ از تصاویر طبقه‌بندی شده آن‌ها استفاده گردید

(Taghipour Javi et al, 2014: 3124-3125)

شکل (۳)، تصاویر TM طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ نشان می‌دهد.

### نتایج

در این بخش ارتباطات مختلف فضایی بین تغییرات کاربری اراضی و کمیت منابع آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ در منطقه‌ی خان میرزا در استان چهارمحال و بختیاری بررسی می‌شود. در این راستا ابتدا تغییرات کاربری‌های مختلف در ارتباط با دو متغیر تغییرات افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات برداشت آب زیرزمینی در دشت خان میرزا خواهد شد. سپس مقایسه‌ی کارایی دو الگوی GWR و OLS در



شکل ۳: تصاویر TM طبقه‌بندی شده منطقه‌ی مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹

تهیه و ترسیم: تقی پورجاوی و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۱۲۴-۳۱۲۵

درست در محدوده‌ی ارتفاعی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ متر، در کلاسه مرغزار طبقه‌بندی شد. سطح این کاربری در سال ۱۳۸۹ کاهش زیادی داشته است.

در نتیجه طبق نمودار شکل (۴) تغییرات خالص مثبت (افزایش سطح) در اراضی بایر و اراضی دیم به ترتیب به میزان حدود ۵۲۰ و ۲۹۸۵ هکتار در سال ۱۳۸۹ نسبت به ۱۳۷۹ اتفاق افتاده است. همچنین کاهش معنی‌دار اراضی آبی و مرغزار به نسبت‌های ۹۹۰ و ۲۴۹۵ هکتار در نمودار مذکور مشخص است. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود حدود ۴۰۰۰ هکتار از اراضی آبی، مرغزار و بایر به اراضی دیم تبدیل شد و تنها حدود ۱۰۰۰ هکتار از اراضی دیم به دیگر اراضی تبدیل گردید لذا تغییرات خالص حدود ۳۰۰۰ هکتاری، عددی چشمگیر در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

بر اساس تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۷۹ در شکل (۳) میزان توزیع اراضی آبی در قسمت مرکزی، جنوب و جنوب شرقی دشت مشهودتر است و قسمت اعظم اراضی دیم در قسمت‌های جنوب شرقی اراضی مرکزی دشت در میان اراضی آبی و در قسمت‌های خروجی حوزه‌ی آبخیز در حاشیه‌ی غربی پراکندگی عمده‌ای دارند. همچنین بیشترین سطح یکپارچگی اراضی آبی در قسمت شمال و شمال غربی دشت دیده می‌شود. جداافتادگی و پراکندگی اراضی کشاورزی آبی در کل دشت در تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۸۹ مشهود است که خود نشان از کاهش سطح اراضی آبی در منطقه است و نسبت به سال ۱۳۷۹ کاهش اراضی آبی در منطقه‌ی مورد مطالعه آشکار است. اساساً قسمت مرکزی دشت در طبقه مرغزار قرار دارد با این تفاوت که قسمت‌هایی از شمال غربی و غرب دشت،



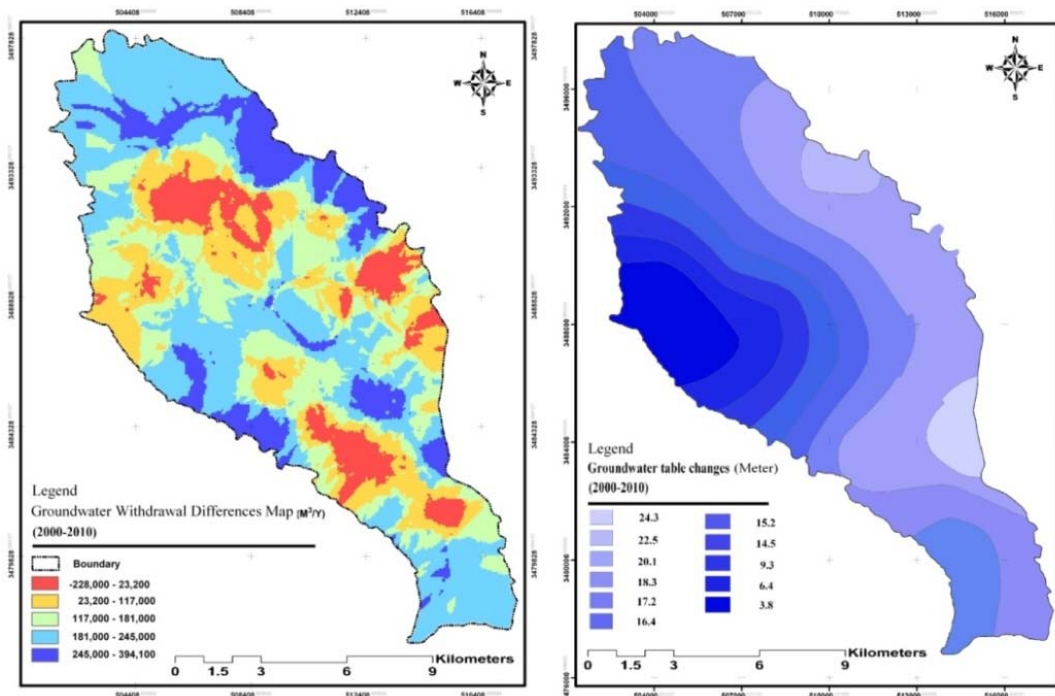


شکل ۴: میزان تغییرات کاربری‌ها در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۹

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

سال ۱۳۷۹ مقایسه گردید و نقشه دورن‌یابی شده برداشت منابع آب زیرزمینی بر اساس الگوی کریجینگ در این سری زمانی تهیه گردید (شکل ۵). طبق این نقشه مناطقی که با رنگ قرمز نشان داده شده، کاهش برداشت در دو زمان ۷۹ تا ۸۹ را نشان می‌دهند. بیشترین برداشت از منابع آب زیرزمینی بطور عمده در شمال و شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاد حدود ۲۴۵ تا ۳۹۴ هزار متر مکعب در سال (مناطق با رنگ آبی) تغییرات اندک برداشت و یا کاهش استحصال آب از منابع آب زیرزمینی با رنگ قرمز در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. بطور کلی برداشت از منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۹ با کاهش شدید حدود ۶۲ هزار مترمکعب در سال به ازای هر منبع چاه فعال کشاورزی محاسبه گردید.

تغییرات برداشت و افت آب زیرزمینی: بر اساس داده‌های برداشت آب کسب شده از چاه‌های فعال کشاورزی منطقه‌ی مورد مطالعه، میزان کل برداشت آب از منابع آب زیرزمینی در دشت خان میرزا ۹/۰۸ متر مکعب در ثانیه برای سال ۱۳۷۹ بوده است. همچنین متوسط برداشت از هر حلقه چاه معادل ۱۵/۵۲ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. به دلیل اینکه دشت خان میرزا در سال ۱۳۸۳ از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری ممنوعه اعلام شد، در دوره‌ی زمانی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ تنها ۳۴ حلقه چاه جدید حفر گردید که طبق داده‌ها میزان برداشت منابع آب زیرزمینی در این دوره‌ی زمانی، متوسط برداشت آب زیرزمینی حدود ۶/۷۴ متر مکعب در ثانیه و در واقع حدود ۱۰/۸۹ لیتر بر ثانیه به ازای هر حلقه چاه محاسبه گردید. اختلاف دبی برداشت سالانه چاه‌های فعال سال ۱۳۸۹ با چاه‌های متناظر



شکل ۵: نقشه درونیایی میزان اختلاف برداشت آب و تغییرات افت آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۹ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

### مقایسه بین دو الگوی GWR و OLS

به منظور مقایسه‌ی کارایی دو الگوی GWR و OLS از چهار شاخص مهم آماری شامل، انحراف معیار باقیمانده استاندارد شده، معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده، خودهمبستگی فضایی باقیمانده‌ها و ضریب تبیین محلی بهره گرفته شد. این شاخص‌ها بطور کلی نشان‌دهنده‌ی تناسب الگوی با داده‌ها، دقت برازش الگو بر روی هر کدام از نمونه داده‌ها و همبستگی فضایی آن‌ها در تعیین تشابه‌های مکانی و مقداری بین واحدها است.

بطور معمول شرکت آب منطقه‌ای استان به صورت منظم، سطح آب زیرزمینی را در چاه‌های پایش به صورت ماهانه ثبت می‌کند. بالاترین سطح آب را در اسفند و یا اردیبهشت‌ماه هر سال و پایین‌ترین افت سطح آب زیرزمینی را در شهریور و یا مهرماه هر سال وجود دارد. تغییرات افت سطح آب زیرزمینی در سری زمانی تحقیق بسیار متغیر و چشم‌گیر بوده که طبق نقشه درونیایی شده بر اساس ۱۴ چاه پیزومتریک در منطقه‌ی مورد مطالعه بیشترین افت با مقدار ۲۴/۳ متر در قسمت‌هایی از شمال و شرق و کمترین حد کاهش سطح آب به مقدار ۳/۸ متر در قسمت غرب محدوده یعنی جایی که رودخانه فصلی خان‌میرزا از دشت خارج می‌شود رخ داده است.

### انحراف معیار باقیمانده استاندارد شده

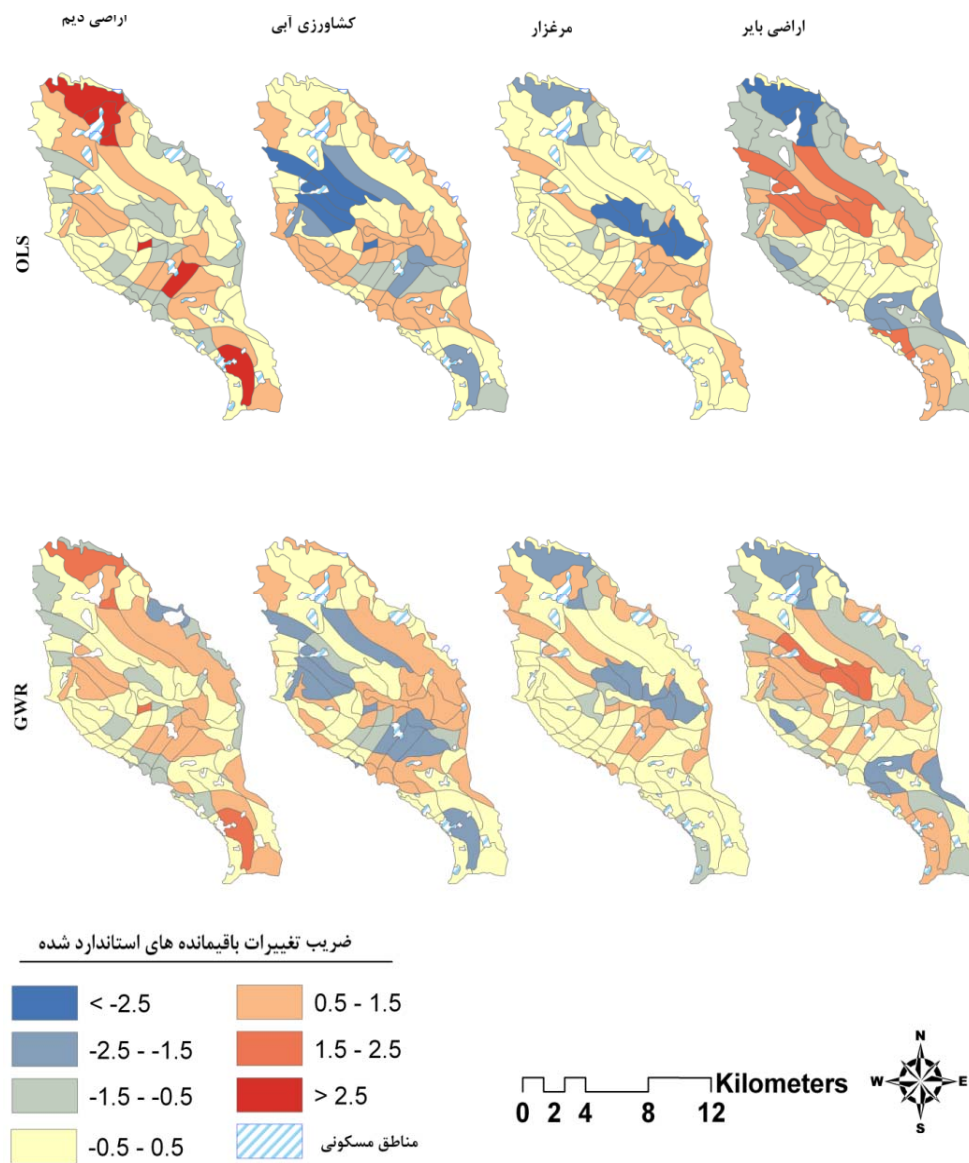
بطور کلی باقیمانده در الگوهای آماری در واقع تفاضل بین ارزش واقعی داده مشاهده شده با مقدار حاصل پیش‌بینی شده متغیر مستقل می‌باشد و صحت الگوی رگرسیونی محلی را تعیین می‌کند. همچنین این مقدار توسط تقسیم خطای استاندارد روی باقیمانده‌ها محاسبه می‌گردد. ارزش‌های ضریب تغییرات باقیمانده استاندارد شده فراتر از  $\pm 2/5$  غیر معمول بودن مشاهدات را نشان می‌دهد. بنابراین داده‌هایی که از دامنه مذکور خارج هستند نشان از عدم مطلوبیت الگوی در ارائه ارتباطات در آن نقطه یا نقاط است (Man, 2006: 73-84).

در این مطالعه، الگوها بر روی داده‌های مورد نظر اجرا شد و باقیمانده استاندارد شده به عنوان اولین نتیجه حاصل از اجرای الگوی در شکل (۶) به صورت فضایی در ۶۸ واحد نقشه مطالعات پایه نشان داده شد. شایان ذکر است الگوی مذکور به ترتیب بر روی اراضی دیم، آبی، مرغزار و بایر در دوره‌ی زمانی تحقیق اجرا گردید. بر اساس شکل (۶)، اجرای الگوی بر داده‌های اراضی دیم به عنوان متغیر وابسته در رابطه با تغییرات افت سطح آب و اختلاف برداشت آب زیرزمینی به عنوان دو متغیر مستقل در سری زمانی ۶۶ تا ۷۹، صحت خوبی الگوی GWR در برابر الگوی OLS را نشان می‌دهد. به نحوی که هیچ کدام از واحدهای نقشه پایه مطالعات انحرافی فراتر از  $\pm 2/5$  (قرمز یا آبی تیره) را ارائه نداده‌اند. طبق شکل (۶) برای اراضی دیم حاصل اجرای الگوها بر روی متغیرهای تحقیق نشان می‌دهد که در چندین واحد مقدار ضریب تغییرات باقیمانده‌ها در الگوی OLS فراتر از  $2/5$  رفته اما در تمامی واحدها این مقدار برای الگوی GWR در محدوده  $+1/5$  تا  $-1/5$  قرار دارد. همچنین برای متغیرهای وابسته؛ تغییرات

اراضی آبی، بایر و مرغزار نیز الگوی OLS دارای کاستی‌هایی در ارائه صحت اجرای آن بر روی داده‌های مذکور را دارد که در شکل (۶) به صورت فضایی با مقدارهای فراتر از محدود  $\pm 2/5$  نشان داده شده است. در هیچ یک از واحدهایی که الگوی GWR بر روی متغیرها اجرا شد مقدار ضریب باقیمانده استاندارد شده فراتر از  $\pm 2/5$  نرفت.

### خودهمبستگی فضایی باقیمانده‌ها

تشابه مقداری یا مکانی را وابستگی فضایی می‌گویند و وقتی مشاهدات با یک ترتیب دنباله‌ای طبیعی داشته‌باشند این همبستگی را تعبیر به خودهمبستگی می‌نامند. خودهمبستگی به این دلیل می‌تواند پیش آید که باقیمانده‌های مجاور به هم ممکن است در ابعاد فضایی و زمانی مشابه هم باشند و یا مشاهدات نمونه‌گیری شده از نقاط نمونه‌ای نزدیک به هم یا در نواحی مجاور، ارتباط همبسته‌ای داشته باشند زیرا آن‌ها ممکن است تحت تأثیر شرایط خارجی مشابه قرار داشته باشند (Chatterjee & Hadi., 2006: 206-208). از این رو عده‌ای از محققان به منظور رفع عیوب الگوی رگرسیون حداقل مربعات متداول، ترم جدیدی به نام خودهمبستگی فضایی یا وابستگی فضایی را برای داده‌های فضایی بسط دادند (Zhang et al, 2005: 154-155). همبستگی فضایی ممکن است مثبت یا منفی باشد. همبستگی فضایی مثبت هنگامی اتفاق می‌افتد که مقادیر کم و یا زیاد دو یا چند متغیر تصادفی مشابه تمایل به دسته‌بندی و جمع شدن در کنار هم در یک دسته را داشته باشند. در حالی که همبستگی منفی هنگامی است که نواحی جغرافیایی مجاور یا هم‌مرز شامل همسایگانی با مقادیر و ویژگی‌های متفاوت و غیرمشابه باشند (کسرایی، ۱۳۸۶: ۴۱-۴۶).



شکل ۶: ضریب تغییرات باقیمانده‌های استاندارد شده حاصل الگوهای OLS و GWR

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

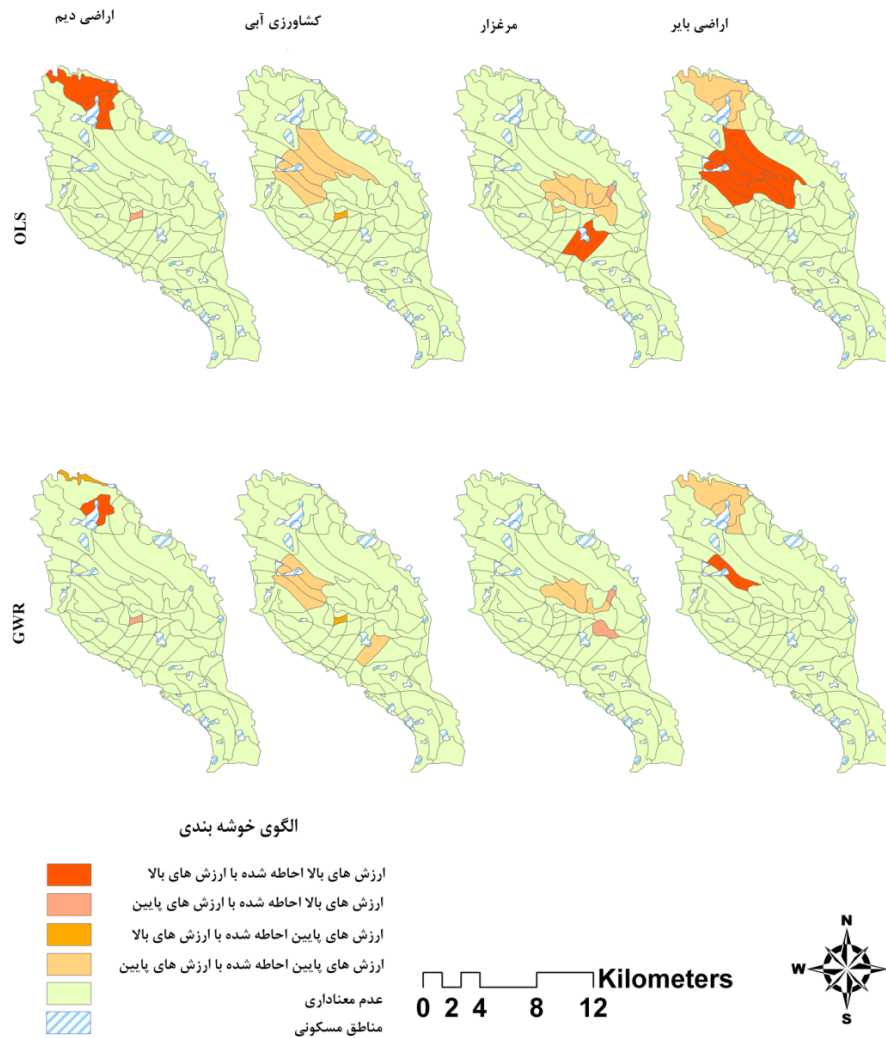
رگرسیون ممکن است کمتر از مقدار واقعی برآورد شود که در این صورت نتایج با دقت پایین ارائه می‌گردد (Chatterjee & Hadi, 2006: 206-208) با استفاده از تحلیل‌های محلی وابستگی‌های فضایی بر روی متغیرهای تحقیق، براساس شکل (۷) برای الگوی OLS، بیشترین خودهمبستگی فضایی به شکل الگوی خوشه‌ای با

بطور کلی همبستگی آثار زیادی روی تحلیل داده‌ها می‌گذارد، از مهم‌ترین آثار خودهمبستگی فضایی داده‌ها می‌توان به دقت پایین در برآوردهای کمترین مربعات ضرایب رگرسیون اشاره کرد که باعث کارایی پایین الگوی می‌شود زیرا دیگر دارای کمترین واریانس نمی‌باشند و در این حالت خطاهای معیار ضرایب

وقتی که ارزش مشاهده شده از متغیرها با یک فاصله معینی به صورت همسانی میل می‌کند، شاخص مورن مثبت خواهد شد. همچنین وقتی که گرایش ناهمسانی روی می‌دهد، ارزش این شاخص منفی خواهد شد و وقتی ارزش مشاهده شده به صفر میل می‌شود، الگو به صورت تصادفی است (Man, 2006: 63-71) از این رو شاخص مورن با نزدیک شدن به ارزش ۱+، نشان از جمع‌شدگی یا دسته‌ای بودن و با نزدیک شدن به ارزش ۱- نشان از پراکندگی عوارض دارد و با فرض صفر، عدم همبستگی فضایی بین عوارض وجود دارد، موقعی که ارزش عددی  $P^2$  کوچک باشد و ارزش مطلق مقدار  $Z^3$  بزرگ شود، نشان از پایین بودن این شاخص و خارج از درجه اطمینان مطلوب می‌باشد (Andy, 2005: 31-42).

از این رو معنی‌داری خوشه‌بندی بالا و یا پایین باقیمانده‌ها در حداقل یک متغیر مستقل می‌تواند بطور مؤثری کارایی فضایی متغیر وابسته را در الگوی کاهش دهد (Gao & Li, 2011: 292-294). همه محاسبات دو نمایه ارزش‌های P و Z محاسبه شده بر روی متغیرهای کاربری‌ها به عنوان متغیر وابسته در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 از طریق ابزار Hot Spots Analysis سنجیده شدند (جدول ۱).

ارزش‌های بالا، احاطه شده توسط مقادیر بالا در سری زمانی ۷۹ تا ۸۹ مربوط اراضی دیم در شمال غربی منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد و الگوی خوشه‌بندی عوارض برای اراضی آبی به صورت تجمعی در مرکز دشت که ارزش‌های پایین توسط مقادیر پایین احاطه شده دیده می‌شود و همچنین وابستگی‌های فضایی محلی برای دو متغیر مرغزارها و اراضی بایر در ارتباط با متغیرهای مستقل نیز در مرکز دشت به صورت الگوی تجمعی ملاحظه می‌شود. در مقابل وابستگی‌های فضایی برای هر چهار کاربری در الگوی GWR به مراتب خفیف‌تر وجود دارد و اکثر واحدهای مطالعاتی عدم معنی‌داری وابستگی‌های فضایی محلی را نشان می‌دهند. از آنجایی که خودهمبستگی‌های فضایی تأثیر بسیاری بر روی کارایی الگوهای فضایی دارد لذا به منظور درک دقیق‌تر خود همبستگی‌های فضایی بین واحدهای نقشه پایه مطالعات -به عنوان داده‌های نمونه‌ای در تحلیل‌ها- نیاز به شاخصی است تا میزان همبستگی فضایی و در نتیجه تشابه مقداری یا مکانی را ملموس‌تر نشان دهد. در این رابطه شاخص مورن<sup>۱</sup> یکی از معتبرترین سنجه‌ها در مورد خودهمبستگی فضایی است (Man, 2006: 63-71). این ابزار، خودهمبستگی فضایی را بر پایه موقعیت عوارض و ارزش عوارض به صورت همزمان اندازه می‌گیرد و الگوی جمع‌شدگی، پراکنده و یا تصادفی بودن عوارض را ارزیابی می‌کند (Andy, 2005: 31-42).



شکل ۷: مقایسه وابستگی‌های فضایی واحدها در دو الگوی OLS و GWR

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۱: مقایسه نتایج بین دو الگوی OLS و GWR بر اساس شاخص مورن و الگوی پراکنش

الگوی پراکنش		شاخص مورن		مقدار P		نمره Z		پارامترها	دوره زمانی
OLS	GWR	OLS	GWR	OLS	GWR	OLS	GWR	الگوی کاربری	
خوشه‌ای**	تصادفی	۰/۱۶	۰/۰۴	۰	۰/۳۷	۲/۷۴	۰/۸۹	دیم	۱۳۷۹ - ۱۳۸۹
خوشه‌ای**	تصادفی	۰/۱۹	۰/۰۹	۰	۰/۱۱	۳/۰۳	۱/۵۶	آبی	
خوشه‌ای**	خوشه‌ای*	۰/۲۴	۰/۱۲	۰	۰/۰۳	۳/۵۸	۲/۱۱	مرتع	
خوشه‌ای**	خوشه‌ای**	۰/۲۸	۰/۱۷	۰	۰	۴/۱۹	۲/۷۲	بایر	

\*\*، \*\* معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۵

کل مقدار معیار اطلاعات اکائیک مربوط به چهار کاربری اراضی آبی، دیم، مرغزار و بایر در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ در الگوی GWR کمتر از الگوی OLS می‌باشد. این به معنی آن است که الگوی GWR در برابر الگوی OLS داده‌های مربوط به متغیرهای وابسته (انواع کاربری‌ها) را با حداقل کردن پهنای باند بهتر برازش می‌کند و از این رو بهینه‌تر عمل خواهد کرد. همچنین ارزش‌های ضریب تبیین محلی نشان می‌دهند که چطور الگو بر روی داده‌های محلی اجرا می‌شود، و چطور می‌تواند منطبق با داده مشاهده شده در اطراف نقاط رگرسیونی عمل کنند. اندازه‌های آماری این ضریب نشان می‌دهد که چطور الگویی در نقطه‌ی رگرسیونی  $\hat{I}$  کالیبره شده و می‌تواند در اطراف نقطه  $\hat{I}$  مطابقت داشته باشد. هر قدر مقدار  $R^2$  محلی به عدد یک نزدیکتر شود برازش بهتر الگو در نقاط رگرسیونی را نشان می‌دهد. ضریب تبیین تصحیح شده نیز ضریب تبیین را توسط نرمال کردن صورت کسر و مخرج آن از طریق درجه آزادی‌هایشان تناسب واقعی الگو را ارائه می‌دهد و همیشه این مقدار کوچکتر از ارزش ضریب تبیین می‌شود. از این رو ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده نیز در کلیه کاربری‌ها مربوط به الگوی GWR، بیشتر از موارد هم تراز خود در الگوی OLS بوده است. بر این اساس در این تحقیق نیز برازش بهتر و انطباق الگو با داده‌های محلی فضایی در الگوی GWR نسبت به الگوی OLS نشان داده شد و نیز مقدارهای بالای ضریب تبیین تصحیح شده در الگوی GWR نشان می‌دهد که الگوی رگرسیونی مذکور می‌تواند واریانس بیشتری از داده‌های فضایی را نسبت به الگوی OLS بیان کند و تناسب واقعی الگوی GWR بر روی داده‌های تحقیق نسبت به الگوی حداقل مربعات معمول بیشتر می‌باشد.

جدول (۱) مقدار ارزش شاخص مورن و الگوی کلی پراکنش هر یک از متغیرها را در دوره‌ی تحقیق نشان می‌دهد.

بر اساس اطلاعات ارائه شده الگوی همبستگی کلی عوارض (خوشه‌ای، تصادفی و پراکنده) در الگوی GWR برای اراضی دیم و آبی به صورت تصادفی است. برای تمامی متغیرها الگوی کلی همبستگی در الگوی OLS الگوی همبستگی کلی به صورت خوشه‌ای و در سطح معنی‌داری یک درصد بوده است تنها در متغیر اراضی بایر برای الگوی GWR الگوی فضایی محلی وابستگی‌ها به صورت خوشه‌ای در سطح یک درصد توزیع شده است. بر اساس مقدار شاخص مورن، خودهمبستگی فضایی در الگوی GWR نسبت به الگوی OLS کمتر و در نتیجه تحلیل‌های آن بر روی داده‌های فضایی تحقیق دقیق‌تر خواهد بود و الگوی GWR دارای کارایی بیشتر در کاهش خودهمبستگی‌های فضایی باقیمانده‌ها است.

در راستای اجرای الگوی GWR بر روی متغیرها، سه شاخص معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده، ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده مقایسه جامع و گویاتری از کارایی دو الگو را ارائه می‌دهند. از این رو در جدول (۲) مقایسه بین الگوها بر حسب سه شاخص ذکر شده برای متغیرهای تحقیق محاسبه شده است. در اینجا معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده با حداقل کردن پهنای باند، الگو را بهینه خواهد کرد که این مهم با حداقل معیار اطلاعات اکائیک میسر خواهد بود (Tu et al, 2008: 259-361). لذا این معیار برای مقایسه تفاوت الگوهای رگرسیونی بسیار مفید است و هر الگویی که ارزش متوسط اطلاعات اکائیک آن کمتر باشد، داده‌های مشاهده شده را بهتر برازش می‌کند (Gao & Li., 2011: 292-294). بر اساس جدول (۲)

جدول ۲: مقایسه بین دو الگوی OLS و GWR بر اساس مهم‌ترین شاخص‌ها

ضریب تبیین تصحیح شده		ضریب تبیین		معیار اطلاعات اکائیک		شاخص	
OLS	GWR	OLS	GWR	OLS	GWR	الگو کاربری	دوره زمانی
۰/۴۰	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۵۸	۷۰۱/۲۰	۶۹۴/۵۴	دیم	۶۷۸۱ - ۱۳۸۱
۰/۶۵	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۸۵	۶۹۶/۲۰	۶۵۸/۰۱	آبی	
-۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۲۳	۶۱۰/۴۶	۶۰۹/۵۶	مرتع	
۰/۳۲	۰/۵۶	۰/۳۴	۰/۶۳	۶۶۰/۴۵	۶۳۷/۳۵	بایر	

مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۱۳۹۵

## نتیجه

به منظور درک کارایی الگوهای OLS و GWR به عنوان الگوهای آماری که در تحقیقات جغرافیایی و محیط‌زیستی به کار گرفته می‌شوند. ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و کمیت منابع آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ در دشت خان‌میرزا، استان چهارمحال و بختیاری بررسی شدند. از این رو الگوهای مذکور بر روی متغیرهای کاربری اراضی دیم، آبی، مرغزار و بایر به عنوان متغیرهای وابسته در برابر متغیرهای تغییرات برداشت آب زیرزمینی و افت سطح آب به عنوان متغیرهای مستقل برحسب واحدهای نقشه پایه مطالعات اجرا شدند.

شاخص‌های، باقیمانده‌های استاندارد شده، میزان خود همبستگی فضایی، معیار اطلاعات اکائیک، ضریب تبیین محلی و ضریب تبیین تصحیح شده به دلیل تشخیص انطباق الگوی با داده‌ها، تعیین نکویی برازش در نقاط رگرسیونی و درک نوع الگوی پراکنش به منظور کارایی بین الگوها بهره گرفته شدند. بر پایه‌ی تحلیل‌های شاخص‌های مقایسه‌ای بین دو الگو، مشخص شد که همبستگی‌های فضایی در فضای محلی برای هر چهار نوع متغیر وابسته برای الگوی OLS نسبت به الگوی GWR الگوی تجمعی دارد. همچنین بر اساس ارزش‌های شاخص خودهمبستگی

مورن، الگوی GWR دارای ارزش‌های کمتر و در نتیجه بطور کلی الگوی توزیع تصادفی را نسبت به الگوی OLS دارا است. معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده نیز برای کلیه‌ی متغیرهای تحقیق برای الگوی GWR کمتر از الگوی OLS بوده که خود نشان از برازش بهتر الگوی برای داده‌های مشاهده‌ای است. ارزش‌های بالای مقدار ضریب تبیین برای کلیه‌ی متغیرهای تحقیق در الگوی GWR، نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای الگو در ارائه‌ی روابط بین متغیرهای فضایی است. البته مقدار ضریب تبیین برای هر یک از متغیرها در واقع نشان‌دهنده‌ی این نکته است که تغییرات کمیت منابع آب زیرزمینی در مکان‌های گوناگون بر روی توسعه و کاهش سطح کاربری اراضی بویژه در مناطق کشاورزی آبی و دیم و همچنین مرغزارها و اراضی بایر تأثیر می‌گذارد و واکنش هر کدام از کاربری‌ها تغییرات متفاوتی در مقابل با تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی از خود نشان خواهند داد. بطور کلی تحقیق کنونی به محققانی که به نوعی از داده‌های فضایی در تحقیقاتشان بهره می‌برند کمک خواهد کرد که در تحلیل روابط مختلف زمانی- مکانی از الگوی GWR در برابر الگوهای رگرسیونی معمولی بهره گیرند تا نتایج واقع‌بینانه تری از ارتباطات بین متغیرها را ارائه دهند.



- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2001). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Vol. 3). John Wiley & Sons.
  - Motiee, H., Ghadri, M., Nasiri, H., & Taghipour Javi, S. (2015). Spatial and temporal variability analysis of groundwater quantity to land use/land cover change in the Khanmirza agricultural plain, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(10), 8385-8397.
  - Pineda Jaimes, N. B., Bosque, J., Gómez Delgado, M., & Franco Plata, R. (2010). Exploring the driving forces behind deforestation in the state of Mexico (Mexico) using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 30(4), 576-591.
  - Pratt, B., & Chang, H. (2012). Effects of Land Cover, Topography, and Built Structure on Seasonal Water Quality at Multiple Spatial Scales. *Journal of hazardous materials*, 48-58.
  - Propastin, P. (2012). Modifying geographically weighted regression for estimating aboveground biomass in tropical rainforests by multispectral remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 82-90.
  - Robinson, D. P., Lloyd, C. D., & McKinley, J. M. (2013). Increasing the accuracy of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution mapping using geographically weighted regression (GWR) and geostatistics. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 374-383.
  - Su, S., Xiao, R., & Xiao, Y. (2012). Multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 32(3), 360-375.
  - Taghipour Javi, S., Mokhtari, H., Rashidi, A. A., & Taghipour Javi, H. (2015). Analysis of spatiotemporal relationships between irrigation water quality and geo-environmental variables in the Khanmirza agricultural plain, Iran. *Journal of Biodiversity & Environmental Sciences*, 6, 240-252.
  - Taghipour Javi, S., Fazeli, A., & Kazemi, B. (2016). A case study of desertification hazard mapping using the MEDALUS(ESAs) methodology in southwest Iran. *Journal of Natural Resources and Development*, 6, 1-8.
- منابع**
- تقی‌پورجاوی، شهاب‌الدین؛ بهرام ملک‌محمدی؛ سجاد شمشیری (۱۳۹۲). آثار و عوامل محیط‌زیستی تغییرات کاربری اراضی و برداشت منابع آب زیرزمینی دشت خانمیرزا، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست.
  - کسرایی، اسرافیل (۱۳۸۶). نظریه‌ی همگرایی، وابستگی فضائی و رشد منطقه‌ای (شواهدی از کشورهای عضو سازمان کنفرانس اسلامی به منظور کاربرد)، تحقیقات اقتصادی. شماره ۷۷. صفحات ۵۵-۴۵.
  - Andy, M. (2005). *The ESRI Guide to GIS Analysis* (Vol. 2). ESRI Press.
  - Brown, S., Versace, V. L., Laurerson, L., Fawcett, J & Salzman, S (1996). Geographically weighted regression: A Method for Exploring Spatial Non-Stationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), 281-298.
  - Chatterjee, S & Hadi, A. S. (2006). *Regression Analysis By Example* (Vol.4). John Wiley & Sons.
  - Fotheringham, S. A., Brunson, C & Charlton, M. (2002). Geographically Weighted Regression the analysis of spatially varying relationships. John Wiley & Sons.
  - Fotheringham, S. A., & Brunson, C. (1999). Local forms of spatial analysis. *Geographical Analysis*, 31, 340-358.
  - Fotheringham, S. A., Charlton, M., & Brunson, C. (1998). Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environmental Planning*, 30(11), 1905-1927.
  - Gao, J., & Li, S. (2011). Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography*, 31, 292-302.
  - Man, P. S. (2006). Comparison of Ordinary Least Square Regression, Spatial Autoregression, and Geographically Weighted Regression for Modeling Forest Structural Attributes Using a Geographical Information System(GIS)/Remote Sensing(RS) Approach. University of Calgary, Department of Geography. Calgary, Alberta: Msc Thesis.

- 
- Taghipour Javi, S., Malekmohammedi, B., & Mokhtari, H (2014). Application of geographically weighted regression model to analysis of spatiotemporal varying relationships between groundwater quantity and land use changes (case study: Khanmirza plain, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 3123-3138.
  - Tu, J. (2011). Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Applied Geography*, 31(1), 376-392.
  - Tu, J., & Xia, Z (2008). Examining Spatially Varying Relationships Between Land Use And Water Quality Using Geographically Weighted Regression I: Model Design And Evaluation. *Science of The Total Environment*, 407(1), 358-378.
  - Zhang, L., Gove, J. H., & Heath, L. S. (2005). Spatial residual analysis of six modeling techniques. *Forest Ecology and Management*, 189, 317-329.