



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 4, Winter 2022

۱۰۱-۱۱۸

مقاله پژوهشی

به‌کارگیری تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی در تحلیل مکانی-زمانی مصرف آب

خانگی شهر قم در سطح خانوار

زهرا برخوردار فرد^۱، جلال کرمی^{۲*}، حجت‌اله محبوبی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱

چکیده

با توجه به کمبود منابع آبی، مسئله استفاده از این منابع و مدیریت بهینه آن اهمیت ویژه‌ای دارد. الگوی نامناسب مصرف آب در مناطق گوناگون شهری چه بسا از جمله مواردی باشد که کمبود آب در شهرها را با مشکلاتی مواجه کند. بنابراین، استفاده از روش‌هایی ضرورت دارد که الگوی مصرف را در مناطق گوناگون شهری، شناسایی کند. هدف از این تحقیق بررسی الگوی مکانی مصرف آب در سطح شهر قم، با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی است. بدین دلیل، ابتدا مصارف ۱۱۷ محله شهر قم، طی سال ۱۳۹۶ گردآوری و میانگین مصرف آب خانوار هریک از محله‌ها محاسبه شد. به منظور شناسایی نوع الگوی مصرف، از شاخص موران و با هدف توزیع مکانی الگوی حاکم، از شاخص موران محلی و نواحی گرم استفاده شد. نتایج خودهمبستگی مکانی نشان داد که بزرگ‌ترین الگوی خوشه‌ای مصرف آب در شهر قم، با مقدار شاخص موران ($I = 0.24$)، در فصل تابستان شکل گرفته و بیشترین معنی‌داری شاخص ($z = 7.02$) نیز در این فصل مشاهده شده است. در هر دو تحلیل موران محلی و نواحی گرم، مشاهده شد که مصارف بالا الگوی خوشه‌ای بالایی به نسبت مصارف پایین دارند. از نظر مکانی، خوشه‌های با مصرف بالا بیشتر در محله‌های مرکزی و غربی شهر و خوشه‌های با مصرف پایین نیز در محله‌های جنوبی، شرقی و شمالی شهر به صورت پراکنده ملاحظه شد. از نظر زمانی، خوشه‌های با مصرف بالا در محله‌های مرکزی و غربی، به ترتیب در فصل تابستان و زمستان و خوشه‌های با مصرف پایین نیز در فصل‌های سرد مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: مصرف آب خانوار، موران فراگیر، موران محلی، خودهمبستگی مکانی، نواحی گرم.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، تقاطع بزرگراه شهید چمران و جلال آل احمد (پل گیشا)، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه سنجش از دور و GIS. تلفن:

۰۹۱۲۵۲۴۲۹۷۶

۱- مقدمه

آب از لازمه‌های زندگی بشر است و به مدیریت بهینه، به‌ویژه در مناطق شهری نیاز دارد؛ جایی که در آن تولیدات و زیربنای باید نیازهای جمعیتی ناهمگون و در حال رشد را تأمین کند. فاکتورهایی همچون رشد جمعیت، شهرگرایی و تغییر الگوهای اقلیمی موجب شده‌اند آب به منبعی کمیاب تبدیل شود (Haque et al., 2014). با گسترش جمعیت در مناطق شهری، تأمین آب آشامیدنی طی بلندمدت نیز ضرورت پیدا می‌کند (Wafula & Nngigi, 2015). با توجه به کمبود آب و پیامدهای احتمالی آن، ضرورت توجه به مصرف پایدار آب بیش‌ازپیش مورد توجه قرار می‌گیرد. الگوی نامناسب مصرف آب در مناطق گوناگون هر شهر می‌تواند از مواردی باشد که کمبود آب در آن شهر را با مشکلاتی مواجه کند. تا کنون مطالعات بسیاری در زمینه بررسی الگوی مصرف آب در کشور انجام شده است ولی بیشتر آنها از طریق آمار توصیفی بوده و بررسی مکانی در این مورد به‌ندرت صورت گرفته است. داده‌هایی که در مطالعات مکانی، مطالعه می‌شوند اغلب مستقل از یکدیگر نیستند و وابستگی آنها ناشی از موقعیت و مکان شان در فضای مورد مطالعه است. برخلاف آمار سنتی، موقعیت مشاهدات اهمیت بسیاری دارد و مشاهدات گردآمده از موقعیت‌های نزدیک به هم وابستگی بیشتری نیز دارند و با افزایش فاصله بین آنها، این همبستگی کاهش می‌یابد (Cressie, 1993). الگوی مصرف آب به‌دلیل داشتن ساختار پیوسته در مکان و زمان، می‌تواند از طریق آمار فضایی بررسی کرد. به‌علت همبستگی مکانی بین این داده‌ها، مطالعات آنها نیز به روشی مناسب برای بررسی در بعد مکان نیاز دارد (Moller, 2008)؛ از این‌رو، ساختار همبستگی داده‌ها باید به‌نحوی در تحلیلشان در نظر گرفته شود (Kendall, 1998). بنابراین، می‌توان از آمار فضایی در تحلیل این داده‌ها استفاده کرد.

روش‌های متعددی به‌منظور خوشه‌بندی^۱ داده‌های همگن وجود دارد که از بین این روش‌ها، می‌توان به روش‌های مدل همبستگی موران^۲ (K_means) اشاره

کرد (Yuan et al., 2018). خودهمبستگی مکانی موران، براساس مکان پراکنش دو مقدار خودهمبستگی مکانی آنها را بررسی و ویژگی مورد نظر عارضه جغرافیایی را در آن مکان تحلیل می‌کند (Griffith, 1987). در صورتی که ویژگی‌های نقاط همسان مشابه یکدیگر باشد، این نقاط از لحاظ مکانی به یکدیگر وابسته‌اند و در یک خوشه قرار می‌گیرند (Fang et al., 2016). مدل‌های تحلیل مکانی از جمله مدل‌هایی‌اند که می‌توان آنها را در تحلیل الگوی مصرف آب در سطح شهر به‌کار برد.

در تحقیقات بسیاری، از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی^۳ برای بررسی الگوهای مکانی استفاده شده ولی در زمینه تحلیل فصلی الگوی مکانی آب، به‌ویژه در ایران، تحقیقی انجام نشده است. نادیان و همکاران (۱۳۹۷) از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی برای تحلیل داده‌های PM2.5 شهر تهران در سال ۱۳۹۵ استفاده کردند. در این تحقیق، شاخص‌های موران فراگیر^۴ و محلی^۵ و شاخص Getis-Ord-Gi به‌منظور بررسی وجود همبستگی مکانی به‌کار رفت. نتایج تحقیق نشان داد که غلظت این آلاینده، از سمت شمال به جنوب، روندی افزایشی دارد؛ به‌طوری که مناطق واقع در جنوب تهران از آلوده‌ترین مناطق شهر شمرده می‌شوند. همچنین، غلظت PM2.5 فصل‌های سرد بیشتر از فصل‌های گرم است.

فانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۶) از روش‌های خودهمبستگی مکانی برای بررسی غلظت PM2.5 در شهرهای چین بهره بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که یک خط شمالی-جنوبی و یک خط شرقی-غربی مناطق با غلظت پایین را از مناطق با غلظت بالا تفکیک کرده است. غلظت این آلاینده، در فصل‌های پاییز و زمستان، بیشتر از بهار و تابستان است و غلظت PM2.5 تراکم مکانی خاصی را نشان می‌دهد. این تراکم در شمال چین بیشتر از سایر بخش‌هاست. علیجانی و همکاران (۲۰۱۵)

1. Clustering
2. Moran
3. Spatial Autocorrelation
4. Global Moran
5. Local Moran
6. Fang

می‌شود، بررسی الگوی مصرف آب آن ضروری به نظر می‌رسد و با شناسایی الگوی مصرف این بخش، می‌توان تقاضای مصرف را در بخش‌های گوناگون شهر، بهتر مدیریت کرد. هدف از تحقیق حاضر این است که با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی، الگوی مصرف آب خانوار در شهر قم بررسی و نوسانات مصرف و تغییرات فصلی الگوی آن بیان شود؛ همچنین، پراکندگی الگوی مصرف آب در شهر، محله‌های دارای بیشترین و کمترین مصرف آب، و الگوی مصرف در محله‌های گوناگون شهر مورد بررسی قرار گیرد. نوآوری این تحقیق استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی مانند تحلیل موران فراگیر، محلی و نواحی گرم در تحلیل مکانی و زمانی مصرف آب خانگی در سطح شهر قم است و تا کنون تحقیقی، مشابه با آن، در کشور انجام نشده است. با توجه به کمبود منابع آبی در این شهر و نیاز به مدیریت بهینه منابع آب، این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

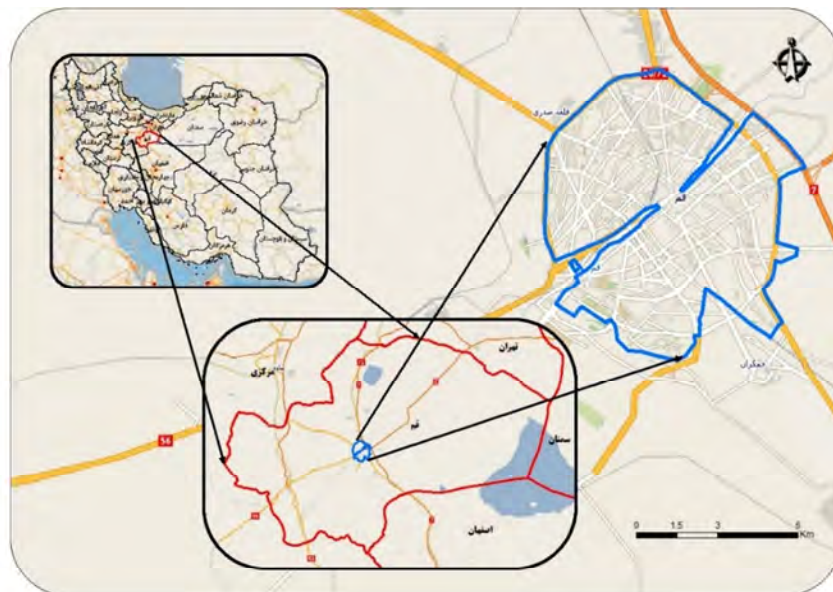
شهر قم، با جمعیتی بیش از ۱۲۰۰۰۰۰ نفر در سرشماری سال ۱۳۹۵ و با بارندگی حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال، از جمله شهرهای کشور است که مشکل کم‌آبی دارد. در میان مصارف متفاوت آب شهری، مصرف آب خانگی ۷۶٪ از مصرف کل این شهر را به خود اختصاص داده و در سال ۱۳۹۶، سرانه مصرف در این شهر ۱۵۵ لیتر، به ازای هر نفر در روز، بوده است. شرکت آب و فاضلاب شهر قم به سه منطقه تقسیم می‌شود و در این تحقیق، از محله‌های مناطق یک و دوی آبفا استفاده شده است. نقشه محلات و پراکنش جمعیتی آنها در شکل ۲ آمده است.

تغییرات الگوهای بارش ایران را در نیم قرن اخیر، با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی، بررسی کردند. آنها از شاخص موران فراگیر، محلی و نواحی گرم^۱ برای بررسی الگوهای بارش بهره گرفتند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات درون‌دهه‌ای بارش ایران الگوی خوشه‌ای بالا دارد و بارش در کرانه‌های ساحلی و بخش‌هایی از غرب و جنوب غرب کشور دارای خودهمبستگی مکانی مثبت و بخش‌هایی از نواحی مرکزی جنوب شرق کشور دارای خودهمبستگی مکانی منفی است. فو^۲ و همکاران (۲۰۱۴) از شاخص موران، زمین آمار و GIS برای مطالعه الگوی مکانی تراکم کربن جنگل در منطقه‌ای از چین استفاده کردند. تراکم بالای کربن جنگل در بخش غربی و شمال غرب استان شجیانگ دیده شد که دلیل آن اعمال سیاست بلندمدت حفاظت جنگل در این مناطق بود؛ در صورتی که در دشت هانگ جیا هو و حوضه جین کو و مناطق ساحلی، تراکم کربن جنگل کمتری مشاهده شد. از دلایل آن، می‌توان به پوشش جنگلی اندک و مدیریت دقیق جنگل‌های اقتصادی در این مناطق اشاره کرد. چانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۰) از GIS و مدل‌های آماری برای تحلیل مصرف آب خانگی تک‌خانوار در پورتلند استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که مناطق کم‌مصرف آب معمولاً در بخش‌های قدیمی و پرتراکم قرار دارند. فلاح و همکاران (۱۳۹۷) الگوهای دمایی ایران را براساس تحلیل خودهمبستگی مکانی بررسی کردند. شاخص موران فراگیر نشان داد که بزرگ‌ترین الگوی خوشه‌ای دما در ایران در ماه مه اتفاق می‌افتد و همگنی دما در فصل زمستان، کاهش و در ماه‌های گرم، افزایش می‌یابد. تحلیل نواحی گرم نیز نشان داد که الگوهای دمایی گرم در جنوب کشور غالب است.

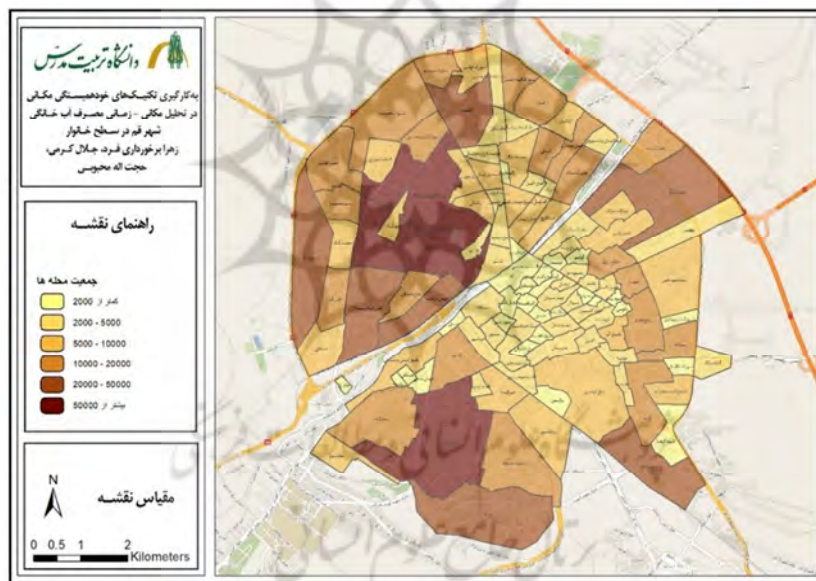
شهر قم، به دلیل واقع شدن در کویر مرکزی ایران و داشتن اقلیم خشک و میزان بارندگی اندک، با مشکل کم‌آبی روبه‌روست. با توجه به اینکه مصرف آب خانگی در این شهر بیش از ۷۰٪ مصارف آب شهری را شامل

1. Hot Spot
2. Fu
3. Chang

زهرا برخورداری فرد و همکاران



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه محلات و پراکنش جمعیتی آنها

قرائت‌های سالم در تحلیل اطلاعات مصرف به کار رفت. داده‌ها، به‌منظور تحلیل سالیانه و فصلی، به‌صورتی انتخاب شدند که پراکندگی مکانی و زمانی مناسبی داشته باشند. با توجه به اینکه قرائت کنتور مشترکین طی هفت دوره در سال انجام می‌شود؛ برای اطمینان، مصارف فصل‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که قرائت قبلی و بعدی آنها در بازه فصل مورد نظر باشد.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل مقدار مصرف آب مشترکین در سال ۱۳۹۶ می‌شود که به‌منظور تحلیل مکانی الگوی مصرف، داده‌های مصارف خانگی از آن استخراج شد. با استفاده از این آمار، مجموع مصرف هر محله به‌دست آمد و با تقسیم مجموع مصرف هر محله به تعداد واحدهای موجود در آن، میانگین مصرف هر خانوار حاصل شد. در پژوهش حاضر، برای برخورداری نتایج از دقت لازم، آمار

۲-۲- شاخص موران فراگیر

شاخص موران فراگیر که موران در سال ۱۹۴۸ مطرح کرد، یکی از معیارهای پرکاربرد در بررسی خودهمبستگی مکانی است. این شاخص الگوی داده‌ها را به صورت مکانی ارزیابی می‌کند و پراکندگی، خوشه‌ای یا تصادفی بودن آنها را براساس موقعیت و مقادیر عوارض، بیان می‌کند. برای اینکه صحت آماری شاخص ارزیابی شود، امتیاز z و مقدار p نیز، همراه با مقدار شاخص موران، محاسبه می‌شود. فرمول محاسبه این شاخص بدین صورت است (Cliff & Ord, 1981; Yang et al., 2018).

$$I = \frac{n \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n w_{x,y} Z_x Z_y}{S_0 \sum_{x=1}^n Z_x^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای عارضه X ، Z_x انحراف یک ویژگی را از میانگین آن نشان می‌دهد $(X_i - \bar{X})$ ، w_{xy} وزن مکانی عارضه X و Y است، I مجموع تعداد عوارض و S_0 مجموع همه وزن‌های مکانی است.

$$S_0 = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n w_{x,y} \quad \text{رابطه (۲)}$$

امتیاز Z_j طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$Z_x = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$E[I]$ و $V[I]$ به ترتیب از طریق روابط (۴) و (۵)

به دست می‌آیند.

$$E[I] = \frac{-1}{(n-1)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

دامنه شاخص موران بین +۱ و -۱ قرار دارد. مقدار I مساوی با +۱ نشان می‌دهد که الگوی مشاهده شده، از نظر مکانی، الگوی خوشه‌ای دارد و مقدار I برابر با -۱ نشان‌دهنده الگوی پراکنده است. مقدار I برابر با صفر

یا نزدیک به صفر فقدان همبستگی مکانی بین عوارض را می‌رساند. نتایج نهایی الگوی مشاهده شده پس از مشاهده امتیاز z و مقدار p مشخص می‌شود.

فرض اصلی آماره موران فراگیر این است که مقادیر داده‌ها، مستقل و به صورت تصادفی، در فضای جغرافیایی پخش شده است. زمانی که مقدار p به دست آمده بیشتر از ۰.۰۵ باشد، فرض اصلی پذیرفته می‌شود و دلالت بر این دارد که مقادیر داده‌ها به صورت تصادفی در فضا پخش شده است. هنگامی که مقدار p کمتر از ۰.۰۵ و مقدار z منفی باشد، فرض اصلی تصادفی بودن رد می‌شود و استنتاج می‌شود که مقادیر بالا و پایین داده‌ها در فضا به صورت پراکنده قرار گرفته است. به همین صورت، وقتی مقدار p کمتر از ۰.۰۵ و مقدار Z مثبت باشد، فرض تصادفی بودن بار دیگر رد می‌شود و نتیجه این خواهد بود که مقادیر داده‌های بالا یا پایین، در فضای جغرافیایی، به صورت مکانی خوشه‌بندی شده است (Yang et al., 2018).

۲-۳- شاخص موران محلی

در این تحقیق، شاخص موران محلی در مورد شناسایی خوشه‌ها و ناخوشه‌های مصرف آب خانوار در محله‌های قم بررسی شده است. شاخص موران محلی طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$I_i = \frac{Z_i - \bar{Z}}{\sigma} \sum_{j=1, j \neq i}^n [w_{ij} (Z_j - \bar{Z})] \quad \text{رابطه (۶)}$$

I_i ضریب شاخص موران محلی را بیان می‌کند، Z_i مقدار متغیر را در موقعیت i نشان می‌دهد، \bar{Z} مقدار میانگین متغیر با I تعداد نمونه است، Z_j مقدار کل موقعیت‌های دیگر است (جایی که $j \neq i$)، σ^2 واریانس Z و w_{ij} وزن مکانی است که می‌توان آن را برپایه فاصله وزن‌دهی بین Z_j و Z_i بیان کرد (Zhang et al., 2008).

مقدار مثبت و بالای شاخص موران محلی بیان

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} X_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (7) \text{ رابطه}$$

در این رابطه، X_j مقدار ویژگی عارضه j ، $w_{i,j}$ وزن مکانی بین i و j و n تعداد کل عوارض است. برای محاسبه \bar{X} و S از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (8) \text{ رابطه}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (9) \text{ رابطه}$$

G_i^* خود نوعی امتیاز Z به حساب می‌آید؛ بنابراین، نیاز به محاسبات دیگری ندارد. شکل ۳ مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

جدول ۱ برخی آمارها را در مورد مصرف آب هر خانوار و فرد، در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که از مصرف یک سال مشترکین به دست آمده است. به دلیل حصول اطمینان از اینکه داده‌ها دقیقاً برگرفته از یک فصل خاص است، اشتراک‌هایی انتخاب شده که هم قرائت قبلی و هم قرائت بعدی آنها در بازه یک فصل باشد. برای تحلیل مصرف سالیانه، اشتراک‌هایی انتخاب شد که همه قرائت‌های آنها در طول یک سال سالم باشد و برای آنالیز مصرف فصل‌ها، اشتراک‌هایی در نظر گرفته شد که دارای یک دوره قرائت سالم در آن فصل است. برای اطمینان از ثبات در وضعیت اشتراک‌ها طی مدت مطالعه، مواردی که در دوره مورد مطالعه مصرف نداشتند و نیز دارای وضعیت تصحیح قرارداد، مانند تغییر کاربری، واحد شمار و تعویض کنتور نبودند از داده‌ها حذف شدند.

می‌کند که منطقه مورد مطالعه مقادیری شبیه به همسایه‌های خود دارد و وجود خوشه را نشان می‌دهد. مقدار منفی و بالای شاخص موران محلی نمایانگر این است که منطقه مورد مطالعه یک ناخوشه مکانی^۱ است. ناخوشه‌های مکانی مقادیری‌اند که مشخصاً از مقادیر مثبت شده در موقعیت‌های اطراف خود متفاوت‌اند (Zhang et al., 2008). شاخص موران محلی چهار نتیجه دارد: خوشه‌های بالا-بالا (HH) مقادیر بالا در همسایگی یک مقدار بالا؛ خوشه‌های پایین-پایین (LL) مقادیر پایین در همسایگی یک مقدار پایین؛ ناخوشه مکانی بالا-پایین (HL) یک مقدار بالا در همسایگی یک مقدار پایین؛ ناخوشه مکانی پایین-بالا (LH) یک مقدار پایین در همسایگی یک مقدار بالا.

۲-۴- تحلیل نواحی گرم

در تحلیل نواحی گرم، از آماره Getis-Ord-Gi برای هریک از عوارض یک مجموعه داده استفاده می‌شود. امتیاز Z و مقدار P نشان می‌دهند که عوارض دارای مقادیر بالا یا پایین، در چه مکان‌هایی، با هم تشکیل یک خوشه می‌دهند. این تحلیل هر عارضه را در ارتباط با عوارض همسایه می‌سنجد. اگر عارضه مقداری بالا داشته باشد؛ جالب توجه است اما امکان دارد، از لحاظ آماری، ناحیه گرم معنی‌داری نباشد. هر عارضه، برای اینکه از لحاظ آماری ناحیه گرم معنی‌داری باشد، باید مقدار بالا داشته باشد و با دیگر عوارض دارای مقدار بالا احاطه شود. مجموع محلی، در مورد هر عارضه و همسایه‌های آن، با مجموع همه عوارض مقایسه می‌شود. امتیاز Z زمانی از نظر آماری معنی‌دار است که مجموع محلی با مجموع محلی مورد انتظار تفاوت زیادی داشته باشد و این تفاوت خیلی بزرگ‌تر از نتیجه‌ای تصادفی باشد (Getis & Ord, 1992; Ord & Getis, 1995).

1. Spatial Outlier



شکل ۳. فلوچارت تحلیل توزیع مکانی الگوی مصرف آب در شهر قم

جدول ۱. آمار مصرف آب خانگی، به‌ازای هر خانوار و فرد، در محدوده و بازه زمانی مورد مطالعه

انحراف معیار	مصرف سرانه در روز (به لیتر)		انحراف معیار	مصرف خانوار در روز (به لیتر)	
	میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار
۷۸	۱۵۴	۲۵۹	۵۰۷	۲۵۹	سال
۸۷	۱۵۷	۲۸۷	۵۱۷	۲۸۷	بهار
۹۷	۱۷۲	۳۱۹	۵۶۷	۳۱۹	تابستان
۷۹	۱۴۲	۲۶۱	۴۶۹	۲۶۱	پاییز
۷۷	۱۳۸	۲۵۴	۴۵۵	۲۵۴	زمستان

به‌منظور تحلیل الگوی مکانی مصرف آب در شهر قم، میانگین مصرف آب خانوار هر محله محاسبه شد. برای اینکه داده‌ها پراکندگی مکانی و زمانی مناسبی داشته باشند، حداقل تعداد نمونه‌ها، برای هر محله در هر فصل، صد اشتراک در نظر گرفته شد. آمار میانگین مصرف محله‌ها در جدول ۲ آمده است. با توجه به این جدول، حداقل مصرف سالیانه به محله کاسه‌گرها و با میانگین

براساس جدول ۱، میانگین مصرف روزانه یک خانوار، در سال مورد مطالعه، برابر با ۵۰۷ لیتر است. میانگین مصرف خانوار در تابستان ۵۶۷ لیتر است که بیشترین مصرف را در بین فصل‌ها به خود اختصاص داده و انحراف معیاری بالاتر از دیگر فصل‌ها دارد. فصل بهار، از لحاظ مصرف، پس از تابستان قرار می‌گیرد که دارای میانگین ۵۱۷ و انحراف معیار ۲۸۷ است. فصل پاییز، با ۴۶۹ لیتر مصرف به‌ازای هر خانوار، رده سوم را به خود اختصاص می‌دهد که دارای پراکندگی کمتری به‌نسبت تابستان و بهار است. فصل زمستان، با میانگین ۴۵۵ لیتر به‌ازای هر خانوار، کمترین مصرف را در بین فصل‌ها داراست و انحراف معیار ۲۵۴ کمترین پراکندگی مصرف را در سال نشان می‌دهد که به این فصل از سال تعلق دارد. مطابق آمار، بیشترین مصرف و پراکندگی آن در فصل تابستان و کمترین آنها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد و این نشان می‌دهد که دمای هوا تأثیر بسیاری در مصرف و پراکندگی آن طی فصل‌های گوناگون سال دارد.

در فصل زمستان اتفاق می‌افتد و این مسئله ارتباط مصرف آب را با دمای هوا نشان می‌دهد. در این تحقیق، ابتدا از شاخص موران فراگیر برای تحلیل خودهمبستگی مکانی و خوشه‌ای بودن مصرف آب در محله‌های گوناگون شهر قم استفاده شد. به‌طور کلی، مقدار شاخص موران فراگیر عددی بین ۱ و -۱ است. هرچه مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد؛ یعنی داده‌ها خودهمبستگی مکانی و الگوی خوشه‌ای بالاتری دارند و این، درباره مسئله مورد مطالعه، تمرکز مصارف بالا یا پایین آب را در منطقه‌ای خاص نشان می‌دهد. اگر مقدار این شاخص به عدد -۱ نزدیک‌تر شود، نشان می‌دهد داده‌ها خودهمبستگی مکانی اندک و الگوی مکانی پراکنده‌ای دارند. در مورد مصرف آب نیز، ممکن است پراکنده‌گی مصارف بالا یا پایین آب را در منطقه‌ای خاص نشان دهد. مقدار صفر در این شاخص نیز حداکثر درجه تصادفی بودن توزیع مکانی داده‌ها را بیان می‌کند. خودهمبستگی مکانی ارتباط چشمگیری با مقدار Z دارد. در کل، Z زمانی معنی‌دار است که بیشتر از ۱.۹۶ باشد و هنگامی معنی‌داری بیشتری دارد که از ۲.۵۸ فراتر رود (Fang., 2016). نتایج شاخص موران فراگیر در جدول ۳ بیان شده است.

۳۴۲.۶ لیتر، به‌ازای هر خانوار، و حداکثر آن به محله عشقلی، با میانگین ۶۸۹.۳ لیتر متعلق است. میانگین مصرف سالیانه محله‌ها برابر با ۵۰۵.۷ و انحراف معیار آن ۴۹.۶ است. بیشتر میانگین مصرف محله‌ها، مطابق انتظار، به فصل تابستان و با ۵۷۲.۸ لیتر بازمی‌گردد که انحراف معیار بیشتری در مقایسه با فصل‌های دیگر دارد و این نکته پراکنده‌گی بالای مصرف را در این فصل نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر مصرف در این فصل، به‌نسبت دیگر فصل‌ها، عدد بیشتری را نشان می‌دهد. فصل بهار به‌لحاظ مصرف با میانگین ۵۱۷.۴، حداقل ۳۸۵.۱ و حداکثر ۶۷۸.۳ دومین فصل سال محسوب می‌شود. فصل پاییز، با میانگین ۴۶۵، پس از بهار قرار می‌گیرد. فصل زمستان نیز، با میانگین مصرف ۴۴۷ لیتر، کمترین میانگین مصرف را بین فصل‌ها داراست. کمینه مصرف در این فصل، به‌همراه فصل پاییز، پایین‌ترین کمینه میانگین مصرف سال را نشان می‌دهد. بیشینه مصرف نیز ۵۵۷.۹ لیتر مصرف خانوار طی هر روز است که در مقایسه با دیگر فصل‌ها، عدد پایین‌تری دارد. طبق آمار، بیشترین مصرف و پراکنده‌گی آن در فصل تابستان و کمترین آنها

جدول ۲. آمار میانگین مصرف خانوار در محله‌ها

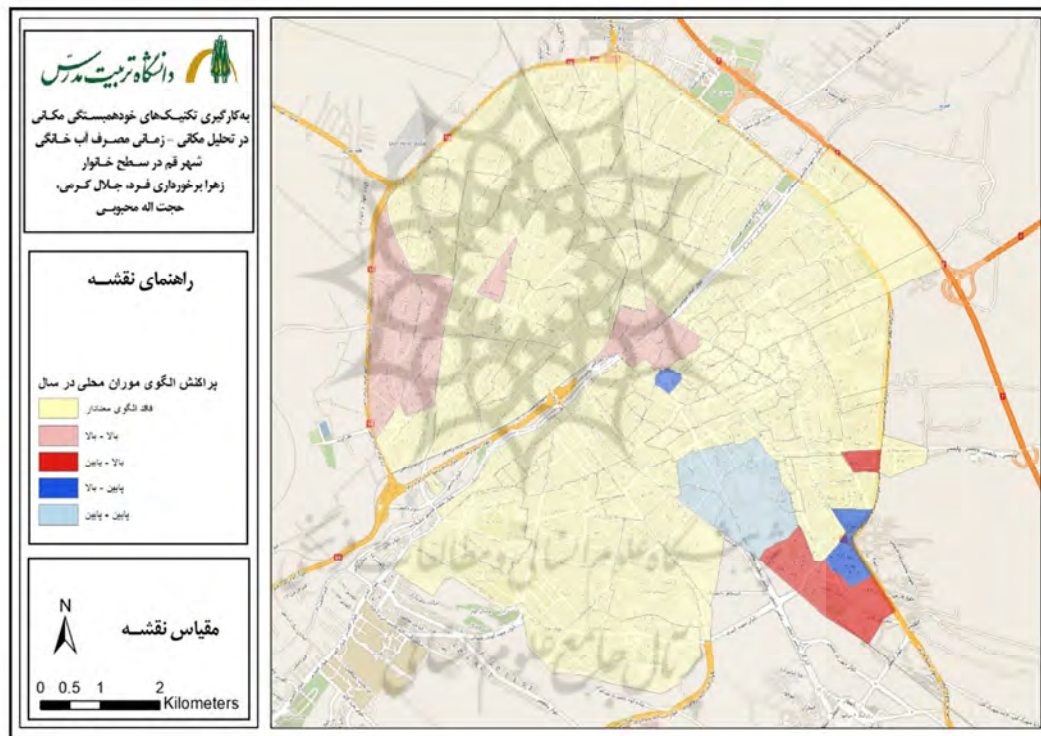
نوع آماره	سال	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین	۵۰۵.۷	۵۱۷.۴	۵۷۲.۸	۴۶۵	۴۴۷
انحراف معیار	۴۹.۶	۴۶.۳	۶۷	۴۵.۳	۳۸.۹
کمینه	۳۴۲.۶	۳۵۸.۱	۳۸۵.۷	۳۱۷.۵	۲۲۳.۲
بیشینه	۶۸۹.۳	۶۷۸.۳	۹۱۴.۵	۶۴۱.۷	۵۵۷.۹

جدول ۳. نتایج شاخص موران فراگیر

فصل	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	واریانس	Z-Score	P-Value
بهار	۰.۱۴۷	-۰.۰۰۸۷	۰.۰۰۱۳۴	۴.۲۶	۰.۰۰۰۰۲
تابستان	۰.۲۴۳	-۰.۰۰۸۷	۰.۰۰۱۲۹	۷.۰۲	۰
پاییز	۰.۱۲۷	-۰.۰۰۸۷	۰.۰۰۱۳۴	۳.۷۰	۰.۰۰۰۰۲
زمستان	۰.۰۸۳	-۰.۰۰۸۷	۰.۰۰۱۳۵	۲.۴۹	۰.۰۱۲۶
سالیانه	۰.۱۰۴	-۰.۰۰۸۷	۰.۰۰۱۳۴	۳.۰۸	۰.۰۰۲۱

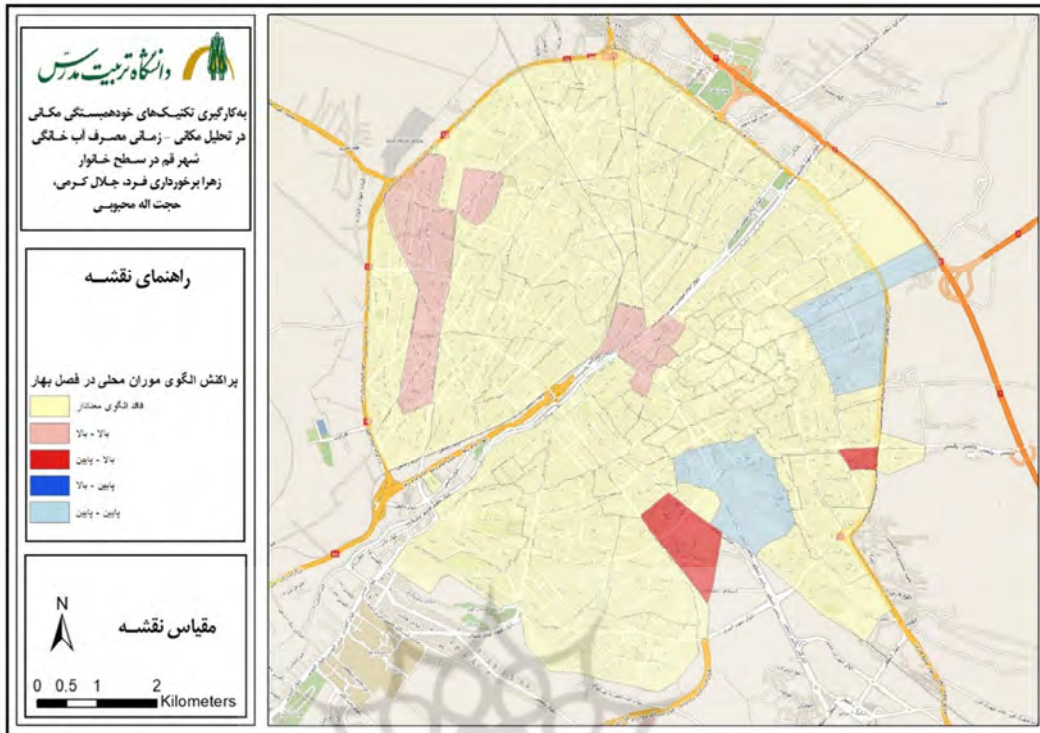
شباهتی با هم ندارند و در اصطلاح، به آنها ناخوشه گفته می‌شود. در این شاخص، HH نشان‌دهنده خوشه‌های دارای مقادیر بالا با ۹۹٪ اطمینان، LL نشان‌دهنده خوشه‌های دارای مقادیر پایین با ۹۹٪ اطمینان، HL بیانگر احاطه شدن منطقه دارای مقدار زیاد با مناطق دارای مقادیر کم است و LH نشان می‌دهد منطقه دارای مقدار کم با مناطق دارای مقادیر زیاد احاطه شده است. نتایج تحلیل سالیانه و فصلی موران محلی در شکل‌های ۴ تا ۸ و جدول ۴ نمایش داده شده است.

خودهمبستگی مکانی موران فراگیر فقط نوع الگو را نشان می‌دهد و برای نمایش توزیع مکانی الگوی مصرف خانوار در طول سال و فصل‌های آن، از شاخص موران محلی استفاده می‌شود. این شاخص با مقدار I سنجیده می‌شود. اگر مقدار I مثبت باشد؛ یعنی محله‌های دارای مصرف مشخص با محله‌های دارای مقادیر مصرف مشابه احاطه شده و با هم، یک خوشه را تشکیل داده‌اند. اگر این مقدار منفی باشد؛ یعنی محله مورد نظر در همسایگی محله‌هایی قرار دارد که از نظر مصرف،

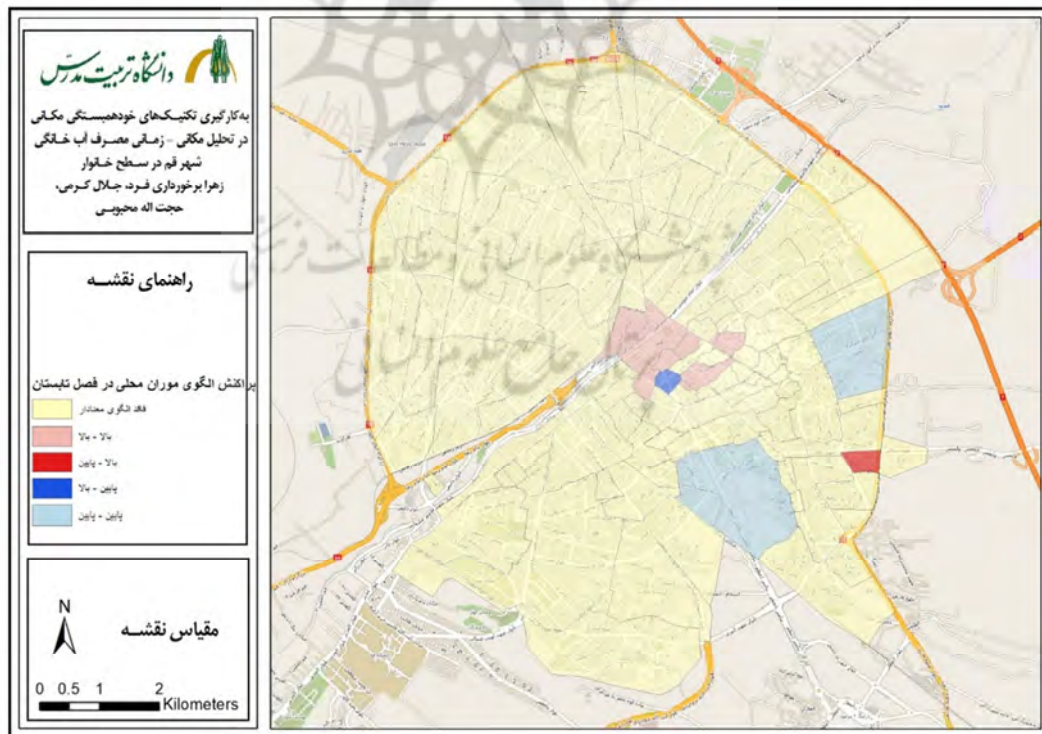


شکل ۴. پراکنش مصرف خانوار در طول سال، براساس الگوی موران محلی

زهرا برخوردار فرد و همکاران

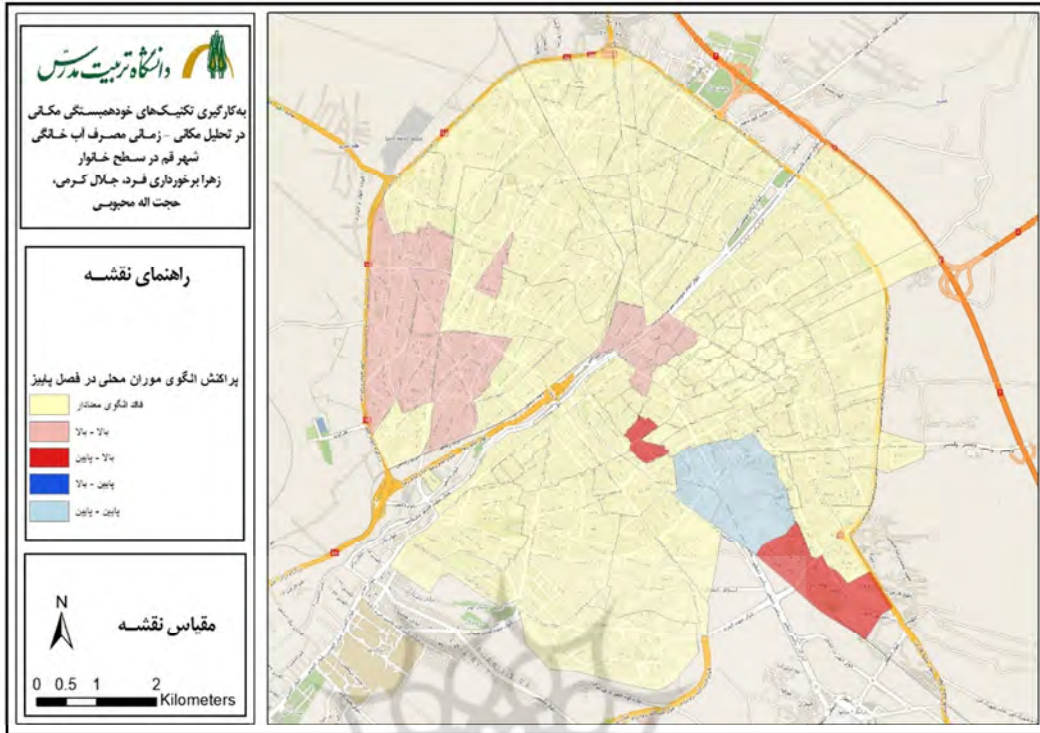


شکل ۵. پراکنش مصرف خانوار در فصل بهار، براساس الگوی موران محلی

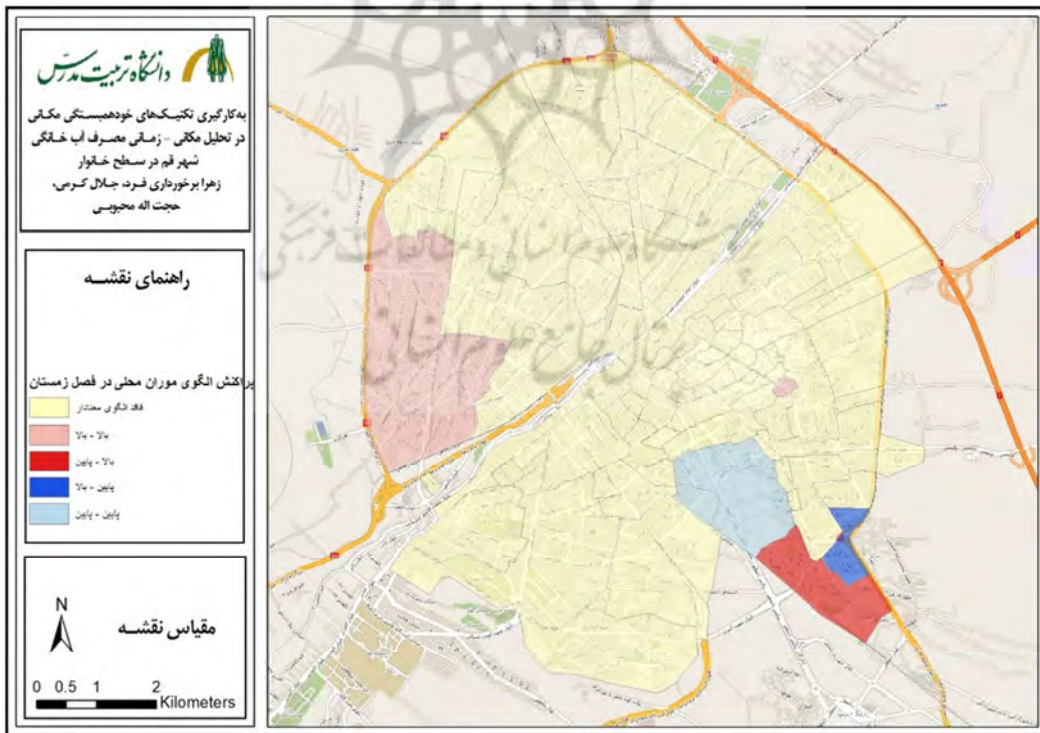


شکل ۶. پراکنش مصرف خانوار در فصل تابستان، براساس الگوی موران محلی

کارگیری تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی در تحلیل مکانی-زمانی مصرف آب خانگی ...



شکل ۷. پراکنش مصرف خانوار در فصل پاییز، براساس الگوی موران محلی



شکل ۸. پراکنش مصرف خانوار در فصل زمستان، براساس الگوی موران محلی

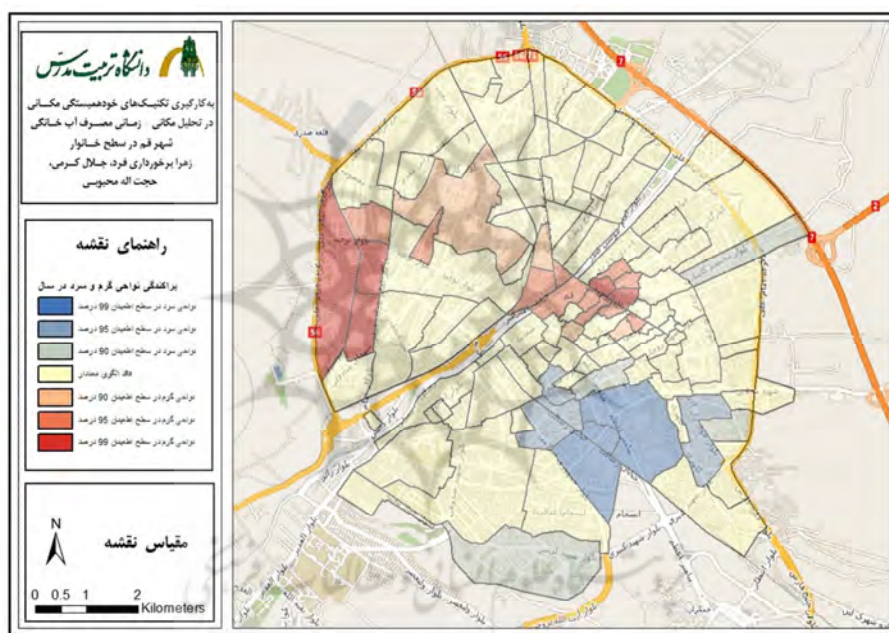
زهرا برخورداری فرد و همکاران

امتیاز Z است. در صورتی که امتیاز Z از نظر آماری مثبت و معنی دار باشد؛ امتیاز بالاتر آن نشان می‌دهد که مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده‌اند و به اصطلاح، ناحیه گرم شکل گرفته است. اگر امتیاز Z از نظر آماری منفی و معنی دار باشد، امتیاز پایین تر آن نشان می‌دهد که مقادیر پایین به میزان زیادی خوشه‌بندی شده‌اند و به اصطلاح، ناحیه سرد تشکیل شده است. پراکنش سالیانه و فصلی مصرف خانوار، با استفاده از شاخص ناحیه گرم، در شکل های ۹ تا ۱۳ و جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. تعداد محله‌های زیر پوشش الگوی موران محلی برای

مصرف خانوار					
	سال	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
HH	۹	۹	۸	۱۱	۷
LL	۲	۳	۳	۲	۲
HL	۲	۲	۱	۲	۱
LH	۲	۰	۱	۰	۱
فاقد الگو	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۲	۱۰۶

برای شناسایی دقیق تر توزیع مکانی خوشه‌ها، از شاخص ناحیه گرم^۱ استفاده شد. این شاخص براساس



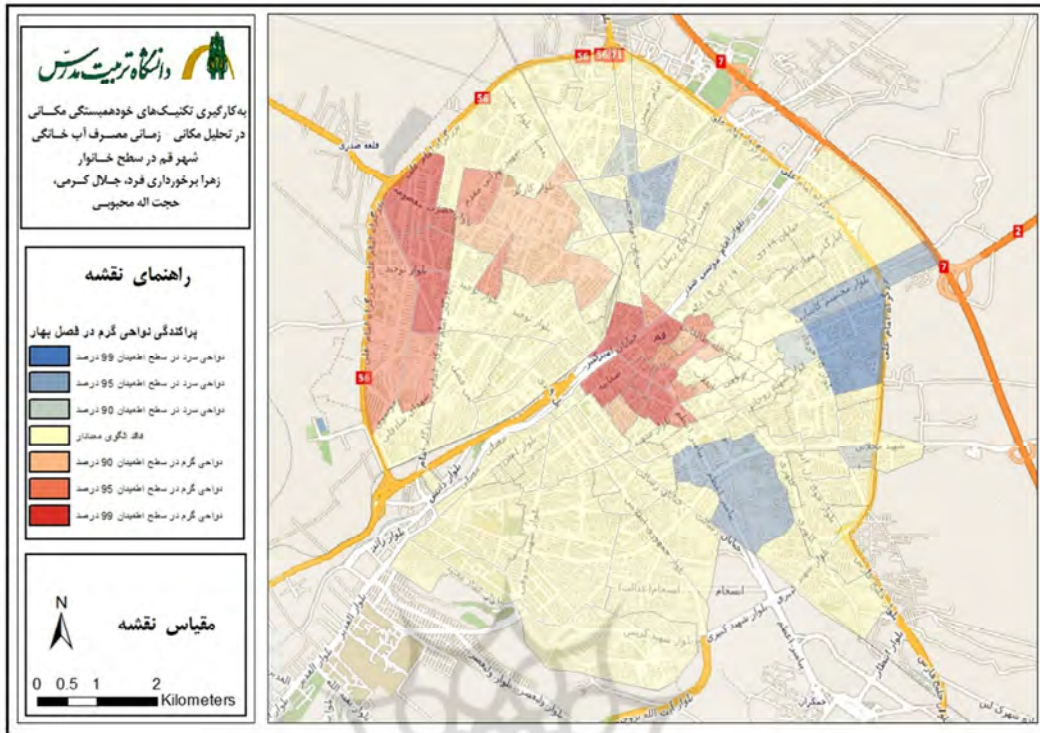
شکل ۹. پراکنش مصرف خانوار در طول سال، طبق تحلیل ناحیه گرم

جدول ۵. تعداد محله‌های زیر پوشش الگوی نواحی گرم و سرد برای مصرف خانوار

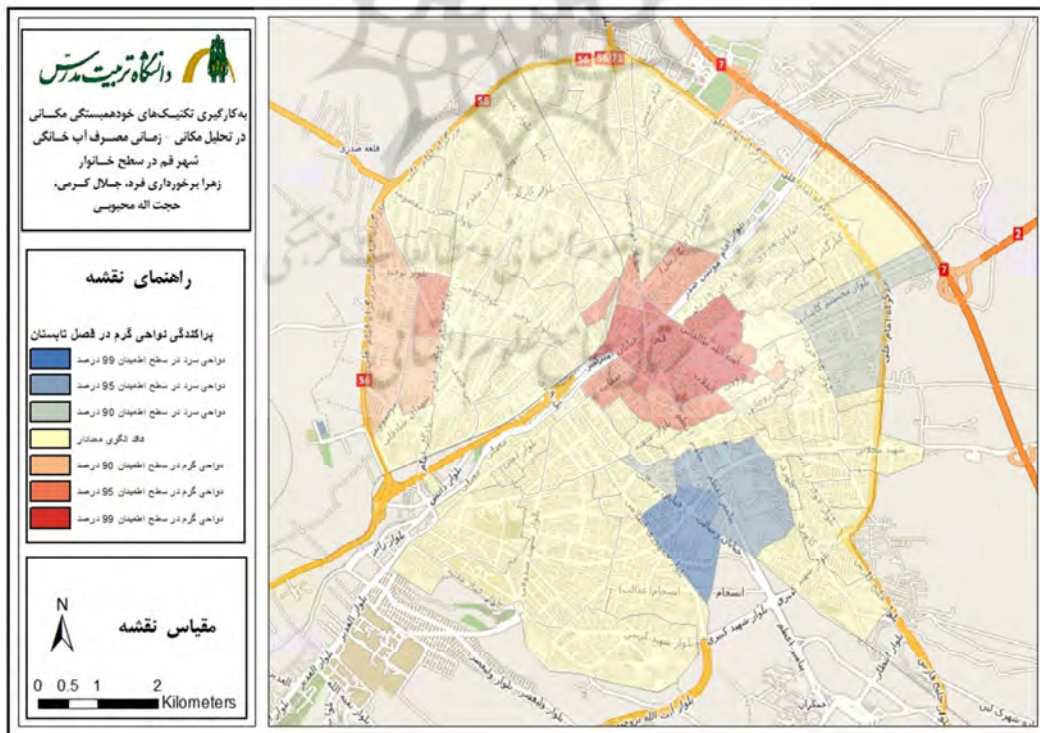
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سال	
۳	۳	۲	۱	۳	نواحی سرد در سطح اطمینان ۹۹٪
۴	۶	۱	۳	۴	نواحی سرد در سطح اطمینان ۹۵٪
۳	۲	۳	۵	۴	نواحی سرد در سطح اطمینان ۹۰٪
۹۶	۸۶	۷۸	۸۳	۸۶	فاقد الگوی معنی دار
۳	۷	۳	۵	۴	نواحی گرم در سطح اطمینان ۹۰٪
۴	۸	۱۲	۱۰	۱۱	نواحی گرم در سطح اطمینان ۹۵٪
۴	۵	۱۸	۱۰	۵	نواحی گرم در سطح اطمینان ۹۹٪

1. Hot Spot

کارگیری تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی در تحلیل مکانی-زمانی مصرف آب خانگی ...

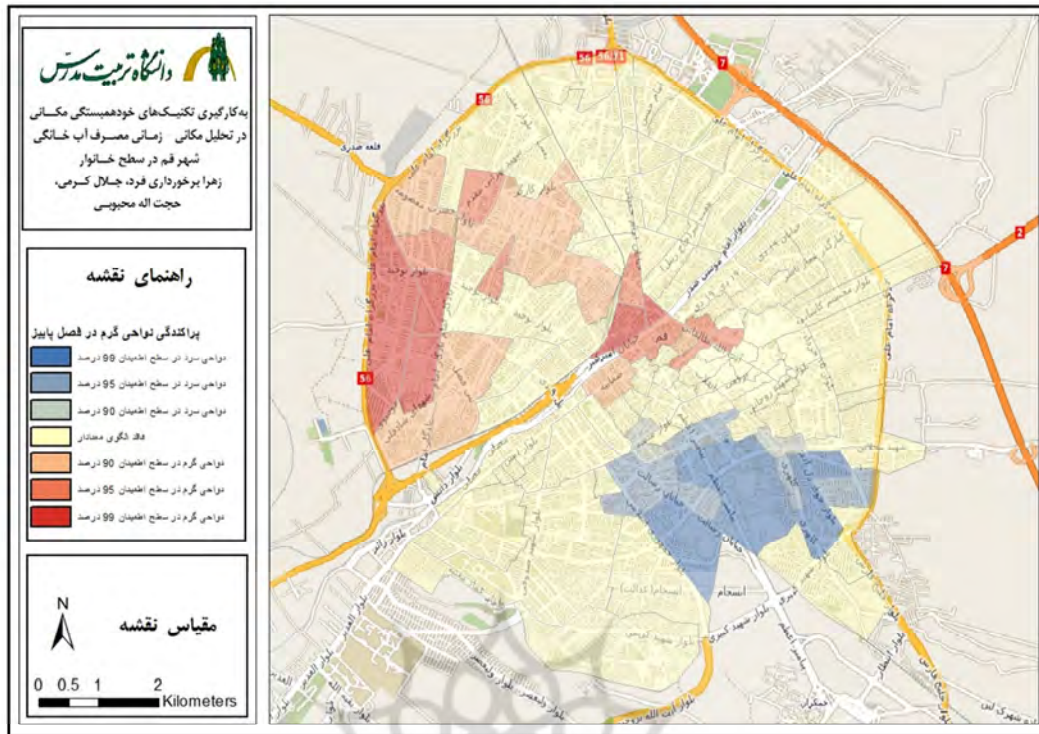


شکل ۱۰. پراکنش مصرف خانوار در فصل بهار، براساس تحلیل ناحیه گرم

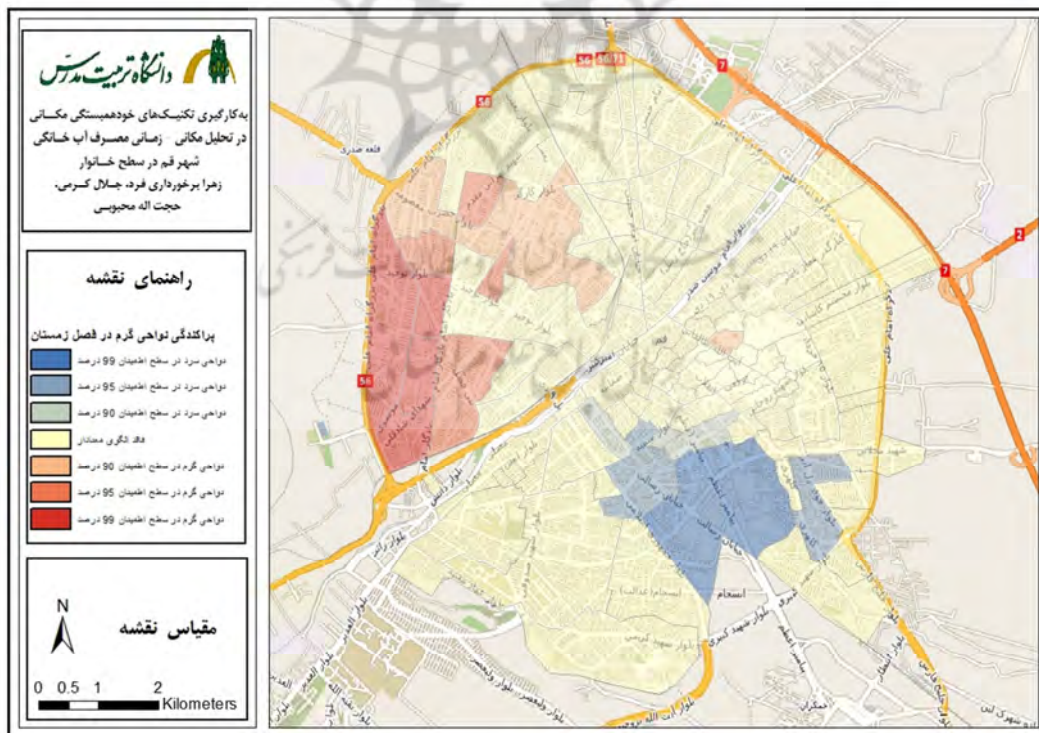


شکل ۱۱. پراکنش مصرف خانوار در فصل تابستان، برپایه تحلیل ناحیه گرم

زهرا برخورداری فرد و همکاران



شکل ۱۲. پراکنش مصرف خانوار در فصل پاییز، بر پایه تحلیل ناحیه گرم



شکل ۱۳. پراکنش مصرف خانوار در فصل زمستان، براساس تحلیل ناحیه گرم

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، به‌منظور بررسی وجود یا فقدان الگوهای مکانی در مصرف آب خانوار در شهر قم، از تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی استفاده شد. شاخص موران فراگیر، موران محلی و نواحی گرم از جمله تکنیک‌هایی بودند که با استفاده از آنها، الگوی مصرف بررسی شد. به‌منظور تحلیل مکانی مصرف آب قم، از میانگین مصرف خانوار ۱۱۷ محله شهر قم استفاده شد. در مورد این محله‌ها، که در مناطق یک و دوی آبفا قرار دارند، محاسبات در زمینه مصارف فصلی نیز انجام شد. مقدار شاخص موران فراگیر برای کل سال و فصل‌های آن مثبت است که وجود همبستگی مکانی و الگوی خوشه‌ای در این بازه‌های زمانی را می‌رساند. این نکته با نتایج آهنگرکانی و همکاران (۱۳۹۸) تطابق دارد. مقدار Z نیز، در همه فصل‌ها به‌جز زمستان، از ۲.۵۸ فراتر می‌رود و این نشان می‌دهد که همبستگی مکانی مثبت و معنی‌داری از الگوی مصرف در شهر قم وجود دارد. فصل زمستان، با شاخص موران ۰.۰۰۸ کمترین همبستگی را بین فصل‌ها دارد و با امتیاز Z کمتر از ۲.۵۸ و بیشتر از ۱.۹۶، معنی‌داری کمتری به‌نسبت دیگر فصل‌ها نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص موران و Z در فصل تابستان و پس از آن، در فصل بهار اتفاق افتاده است و این بیان می‌کند که در فصل‌های گرم سال، توزیع مکانی داده‌های مصرف به خوشه‌ای بودن گرایش دارد. به‌دلیل نزدیک شدن شاخص موران به صفر در فصل زمستان، نتیجه می‌گیریم توزیع مکانی داده‌های مصرف، در این فصل، به تصادفی بودن میل پیدا می‌کند. نتایج تحلیل مدل موران محلی و نواحی گرم در سال و فصل‌های متفاوت بیان می‌شود.

سالیانه

در هر دو تحلیل، تمرکز مصارف بالا در دو محدوده مرکزی و غربی شهر دیده می‌شود. حرم و محله‌های اطراف آن در محدوده مرکزی شهر و شیخ‌آباد و محله‌های اطراف آن در تحلیل موران محلی، مجموعاً

با نه محله و در تحلیل نواحی گرم، مجموعاً با بیست محله، خوشه‌های پرمصرف را در نقشه سالیانه تشکیل داده‌اند. محله‌های اطراف حرم، به‌دلیل داشتن مسافرخانه‌ها که کاربری مسکونی دارند و محله‌های اطراف شیخ‌آباد، به‌علت بعد خانوار بالا در مقایسه با سایر نقاط خوشه‌های پرمصرف را در بخش غربی شهر نشان می‌دهند. الگوهای کم‌مصرف در محله‌های جنوبی شهر دیده می‌شود.

فصلی

در تحلیل فصلی شاخص موران محلی، الگوی مصرف در فصل پاییز بیشترین شباهت را به الگوی مصرف سالیانه دارد. محله‌های اطراف حرم، در همه فصل‌ها به‌جز زمستان، خوشه پرمصرف تشکیل داده‌اند و تشکیل نشدن خوشه در فصل زمستان ممکن است به‌دلیل کاهش تعداد زائران در مقایسه با دیگر فصل‌ها باشد. محله باغ کرباسی، در همه فصل‌ها، الگوی مصرف پایین را نشان می‌دهد. محله‌های غربی شهر، در تمامی فصل‌ها به‌جز تابستان، تشکیل خوشه داده‌اند و الگوی مصرف بالا را نشان می‌دهند. تشکیل نشدن خوشه در تابستان، در محله‌های غربی شهر، چه بسا به‌دلیل افزایش مصرف آب در همه محله‌های شهر باشد.

بهار: در این فصل، الگوی پرمصرف در محله‌های مرکزی و غربی شهر دیده می‌شود. نواحی گرم در هر سه سطح اطمینان در نواحی مرکزی بیشتر از نواحی غربی است. محله‌های شیرازی، قلعه کامکار، سید معصوم، محمدآباد و علی‌آباد در بخش غربی شهر و ارم، قم‌نو، عشقعلی و یخچال قاضی در بخش مرکزی شهر، مجموعاً با نه محله الگوی پرمصرف را در این فصل از سال به خود اختصاص داده‌اند. علت این وضعیت شاید آغاز فصل گرم و افزایش مسافرت زائران به قم باشد. الگوهای کم‌مصرف در جنوب و شرق شهر به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شود. هشت محله الگوی سرد دارد که تعداد آنها بسیار کمتر از الگوهای گرم است.

مرکز شهر به‌طور کلی از بین رفته است. الگوی کم‌مصرف محله‌های جنوب شهر نیز، با اندکی تغییر در تعداد، تقریباً الگوی پاییز را حفظ کرده است. براساس نتایج تحلیل نواحی گرم، این فصل تنها فصلی است که الگوهای گرم و سرد در آن، از نظر تعداد، تقریباً با هم برابری می‌کنند. الگوهای گرم به پایین‌ترین حد خود در سال رسیده و دلیل آن کاهش دما و کاهش مصرف آب در سردترین فصل سال است.

نتیجه تحلیل خوشه‌ای، به‌روش تحلیل نواحی گرم، مؤید تفاوت مکانی مصرف آب در مناطق گوناگون شهر است که با نتایج پژوهش بختیاری و همکاران (۱۳۹۹) انطباق دارد. این تحقیق نشان داد که تکنیک‌های خودهمبستگی مکانی را می‌توان ابزاری مؤثر در کشف وجود یا فقدان الگوی مکانی مصرف آب در نظر گرفت. در تحقیق حاضر، سعی بر این بوده است که الگوهای مکانی مصرف آب، در محله‌های گوناگون شهر قم، بررسی شود. پیشنهاد می‌شود عوامل مؤثر در پراکندگی و خوشه‌ای‌بودن الگوها، در تحقیقات آتی، بررسی شود.

۵- منابع

آهنگرکانی، م.، خواسته، س.ح.، ۱۳۹۸، **تحلیل مصرف آب شهری (خانگی) شهرستان بابل با استفاده از روش‌های داده‌کاوی**، اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره بیست‌وهشتم، شماره ۱۱۱، صص. ۶۹-۵۳.

بختیاری، ن.، زنگنه، ی.، تقوایی، م.، زنگنه، م.، ۱۳۹۹، **بررسی الگوی فضایی مصرف آب خانگی اصفهان و تحلیل عوامل اجتماعی و فرهنگی مؤثر بر آن**، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره پنجاه‌ودوم، شماره ۲، صص. ۵۳۱-۵۱۵.

علیجانی، ب.، دوستکامیان، م.، اشرفی، س.، شاکری، ف.، ۱۳۹۴، **بررسی تغییرات الگوی خودهمبستگی مکانی درون‌دهه‌ای بارش ایران طی نیم قرن اخیر**، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، شماره ۸، صص. ۷۱-۸۸.

تابستان: در فصل تابستان، الگوی پرمصرف در مرکز شهر و اطراف حرم مشاهده می‌شود. در تحلیل نواحی گرم، از تمرکز آنها در محله‌های غربی شهر کاسته شده است و طبق موران محلی، اثری از مصرف بالای نواحی غربی شهر نیست. بر مبنای نتایج تحلیل موران محلی، هشت محله در کنار هم الگوی پرمصرف این فصل را در مرکز شهر تشکیل داده‌اند و نتایج تحلیل نواحی گرم تعداد محله‌های دارای الگوی گرم را به مراتب بیشتر از فصل‌های دیگر نشان می‌دهد. دلیل تمرکز الگوی پرمصرف در مرکز شهر نیز ممکن است افزایش تعداد زائران در این فصل از سال باشد. تفاوت عمده این فصل با بهار این است که الگوی پرمصرف غربی شهر بسیار کم‌رنگ می‌شود و احتمالاً علت آن افزایش مصرف آب در همه محله‌های اطراف آن باشد. الگوی کم‌مصرف، مانند فصل بهار و با اندک تغییری در محله‌ها، در جنوب و غرب شهر دیده می‌شود.

پاییز: در این فصل، مانند بهار، الگوی پرمصرف در محله‌های مرکزی و غربی شهر دیده می‌شود. تعداد محله‌های پرمصرف در مرکز شهر کمتر از فصل‌های گرم سال شده است ولی تعداد محله‌های پرمصرف غربی شهر که در تابستان وجود نداشت، در این فصل و با تغییراتی به نسبت بهار، ظاهر شده است. در این فصل، الگوی مصرف بالا را محله‌های سید معصوم، علی‌آباد، محمدآباد شیخ‌آباد، علی‌آباد سعدگان و مهرآباد و الگوی کم‌مصرف را باغ کرباسی و براسون نشان می‌دهند. محله‌های گرم (پرمصرف)، در این فصل، به مراتب کمتر از تابستان شده است؛ در عوض، الگوی سرد تراکم بیشتری در جنوب شهر دارد و تعداد آن افزایش پیدا کرده است. دلیل کاهش محله‌های دارای الگوی مصرف بالا، در مرکز شهر، ممکن است آغاز فصل سرد و کاهش مسافرت زائران به این شهر باشد.

زمستان: در زمستان، الگوی پرمصرف محله‌های مرکزی و غربی شهر برعکس فصل تابستان می‌شود و محله‌های مرکز شهر، در این فصل، دیگر الگوی پرمصرف را نشان نمی‌دهند. محله‌های غربی شهر الگوی فصل پاییز را حفظ کرده‌اند اما الگوی پرمصرف

- Statistics, Geographical Analysis, 24(3), PP. 189-206.
- Ghalhari, F.G. & Roudbari, A.D., 2018, **An Investigation on Thermal Patterns in Iran Based on Spatial Autocorrelation**, Theoretical and Applied Climatology, 131, PP. 865- 876.
- Griffith, D., 1987, **Spatial Autocorrelation: A Primer**, Resource Publication in Geography, Association of American Geographers.
- Haque, M.M., Rahman, A., Hagare, D. & Kibria, G., 2014, **Probabilistic Water Demand Forecasting Using Projected Climatic Data for Blue Mountains Water Supply System in Australia**, Water Resources Management, 28(7), PP. 1959-1971.
- Kendall, W.S., 1998, **Perfect Simulation for the Area-Interaction Point Process**, In L. Accardi and C.C. Heyde, editors, Probability Towards 2000, Springer Lecture Notes in Statistics, 128, PP. 218-234.
- Kumari, M., Kiranmay, S. & Sharma, R., 2019, **Using Moran's I and GIS to Study the Spatial Pattern of Land Surface Temperature in Relation to Land Use/ Cover around a Thermal Power Plant in Singrauli District, Madhya Pradesh, India**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 15, P. 100239.
- Li, Y., 2013, **Analysis of Urban Water Use and Urban Consumptive Water Use in Nebraska-Case Study in the City of Lincoln, Grand Island and Sidney**, Master's thesis, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA.
- Moller, J., 2008, **Handbook of Spatial Statistics**, John Wiley and Sons, Chichester.
- Ord, J.K. & Getis, A., 1995, **Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application**, Geographical Analysis, 27(4). PP. 287-306.
- Ouyang, Y., 2013, **Relationship between Single-Family Residential Water Use and Its Determinants: A Spatio-Temporal Study of Phoenix, Arizona**, A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy.
- فلاح قالهری، غ.، و اسدی، م. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی-مکانی ساعات آفتابی در ایران. جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۲(۶۴)، ۲۲۹-۲۴۶. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=528541>
- نادیان، م.، میرزائی، ر.، سلطانی محمدی، س.، ۱۳۹۷، کاربرد شاخص خودهمبستگی مکانی موران در تحلیل فضایی-زمانی آلاینده PM2.5 (مطالعه موردی: تهران)، مهندسی بهداشت محیط، سال پنجم، شماره ۳، صص. ۱۹۷-۲۱۳.
- Abulibdeh, A., 2021, **Spatiotemporal Analysis of Water-Electricity Consumption in the Context of the COVID-19 Pandemic Across Six Socioeconomic Sectors in Doha City, Qatar**, Applied Energy, 304, P. 117864.
- Anselin, L., 1995, **Local Indicators of Spatial Association: LISA**, Geographical Analysis, 27(2), PP. 93-115.
- Anselin, L., Syabri, I. & Kho, Y., 2010, **GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis**, In M.M. Fischer & A. Getis (Eds.), Handbook of applied spatial analysis. Springe: Berlin Heidelberg. PP. 73-89.
- Chang, H., Parandvash, G.H. & Shandas, V., 2010, **Spatial Variations of Single-Family Residential Water Consumption in Portland, Oregon**, Urban Geography, PP. 953- 972.
- Cliff, A.D. & Ord, J.K., 1981, **Spatial Processes: Models & Applications**, Taylor & Francis.
- Cressie, N., 1993, **Statistics for Spatial Data**, New York, John Wiley & Sons.
- Fang, C., Wang, Z. & Xu, G., 2016, **Spatial-Temporal Characteristics of PM2. 5 in China: A City-Level Perspective Analysis**, Journal of Geographical Sciences, 26(11), PP. 1519-32.
- Fu, J.W., Jiang, P.K., Zhou, G.M. & Zhao, K.L., 2014, **Using Moran's I and GIS to Study the Spatial Pattern of Forest Litter Carbon Density in a Subtropical Region of Southeastern China**, Biogeosciences, 11, PP. 2401-2409.
- Getis, A. & Ord, J.K., 1992, **The Analysis of Spatial Association by Use of Distance**

- Rogerson, P.A., 2006, **Statistics Methods for Geographers: Students Guide**, SAGE Publications, Los Angeles, California.
- Shi, L., 2018, **A Review of Applying Spatial Modelling and GIS in Residential Water Use**, Material Science and Engineering, 392, P. 062106.
- Tepanosyan, G., Sahakyan, L., Zhang, Ch. & Saghatelyan, A., 2019, **The Application of Local Moran's I to Identify Spatial Clusters and Hot Spots of Pb, Mo and Ti in Urban Soils of Yerevan**, Applied Geochemistry, 104, PP. 116-123.
- Wafula, P.N. & Ngigi, T.G., 2015, **GIS Based Analysis of Supply and Forecasting Piped Water Demand in Nairobi**, International Journal of Engineering Science Invention, 4(2), PP. 1- 11.
- Wang, Z.B. & Fang, C.L., 2016, **Spatial-Temporal Characteristics and Determinants of PM 2.5 in the Bohai Rim Urban Agglomeration**, Chemosphere, 148, PP. 148-62.
- Yang, Q., Zhang, H., Bai, W. & Liu, W., 2018, **County-Scale Migration Attractivity and Factors Analysis**, 26th International Conference on Geoinformatics IEEE, PP. 1-7.
- Yuan, Y., Cave, M. & Zhang, Ch., 2018, **Using Local Moran's I to identify Contamination Hotspots of Rare Earth Elements in Urban Soils of London**, Applied Geochemistry, 88, PP. 167- 178.
- Zhang, Ch., Luo, L., Xu, Weilin & Ledwith, V., 2008, **Use of Local Moran's I and GIS to Identify Pollution Hotspots of Pb in Urban Soils of Galway, Ireland**, Science of the total Environment, 398, PP. 212-221.



مجله علمی پژوهشی

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 4, Winter 2022

101-118

Application of Spatial Autocorrelation Techniques in Spatial-Temporal Analysis of Domestic Water Consumption in the City of Qom at the Household Level

Barkhordari Fard Z.¹, Karami J.^{2*}, Mahboobi H.³

1. M.Sc. Student of Remote Sensing & GIS Dep., Tarbiat Modarres University
2. Associate Prof. of Remote Sensing & GIS Dep., Tarbiat Modarres University
3. Ph.D. Student of Remote Sensing & GIS Research Center, Shahid Beheshti University

Abstract

Due to the scarcity and crisis of water resources, the issue of optimal use and management of it is of particular importance. Improper pattern of water consumption in different areas of a city can be one of the cases that cause water crisis in a city. Therefore, there is necessary to apply methods in order to identify consumption patterns in different areas of the city. The purpose of this study is to investigate the spatial pattern of water consumption in Qom city using spatial autocorrelation techniques. For this reason, the consumption of 117 neighborhoods of Qom city during 2017 was collected and the average household water consumption for each neighborhood was calculated. Moran index was used to identify the type of consumption pattern and local Moran index and hot spot technique were used for spatial distribution of the consumption pattern. The results of spatial autocorrelation showed that the largest cluster pattern of water consumption in Qom city occurred in summer with the value of Moran index ($I = 0.24$). Also, the highest significance of the index ($z = 7.02$) was observed in this season. In both local and hot spot analysis, it was observed that high consumption has a high cluster pattern compared to low consumption. Spatially, high consumption clusters were observed in the central and western neighborhoods of the city and low consumption clusters were observed in the southern, eastern and northern neighborhoods of the city. Temporally, high consumption clusters were observed in central and western neighborhoods in summer and winter, respectively and low consumption clusters were observed in cold seasons.

Keywords: Household water consumption, Global Moran, Local Moran, Spatial Autocorrelation, Hot spot.

* Correspondence Address: Remote Sensing & GIS Dep., Tarbiat Modarres University, Tehran. Tel: (+98) 9125242976, +982182885028.
Email: JI.karami@modares.ac.ir