

مدل سازی الگوهای حاکم بر پراکندگی چاه‌های آب با استفاده از آمار فضایی

(مورد مطالعه: حوضه ماهیدشت، کرمانشاه)

فاطمه رستمی^۱، شاه‌بختی رستمی^{۲*}، احسان جبّاری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم

۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

۳. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳)

Applying Spatial Statistics to Model the Patterns Governing Distribution of Wells (Case Study: Mahidasht Watershed, Kermanshah)

Fatemeh Rostami¹, Shahbakhti Rostami^{2*}, Ehsan Jabbari³

1. M.Sc. Student of Water and Hydraulic Structures, Qom University

2. Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University

3. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Qom University

(Received: 02/Jul/2021

Accepted: 03/Jul/2022)

Abstract

Despite the many capabilities of spatial statistics in modeling and explaining various environmental features and identifying the patterns governing their distribution, the previous studies have considerably neglected these capabilities, especially in the field of water studies. The present study aims to model the patterns governing the distribution of water wells in the Mahidasht watershed in Kermanshah province using spatial statistics. The bases used to identify these patterns are the "Locations" and "Attributes" of the wells, which are performed using five common techniques in spatial statistics, including: Average Nearest neighbor, Getis-Ord General G, Spatial Autocorrelation (Moran I), Cluster and outlier analysis, and Hot spot analysis. Required data were obtained from the Kermanshah Regional Water Company. The results of the present study showed that the pattern governing the dispersion of agricultural wells and the pattern governing the dispersion of high values (high depth of wells) in the Mahidasht watershed do not confirm the null hypothesis and follow the cluster pattern. The general pattern of dispersion of wells in the study area since 1950s to 2000s has changed from a random pattern to the cluster one. Cluster and outlier analyses as well as hotspot analysis indicated that the northern and northeastern parts of the watershed are critical in terms of uncontrolled abstraction of groundwater resources.

Keywords: Spatial Statistics, Distribution Pattern, Mahidasht Watershed, Water Resources, Clustering.

چکیده

علی‌رغم قابلیت‌های فراوان آمار فضایی در مدل‌سازی و تبیین عوارض مختلف محیطی و شناسایی الگوهای حاکم بر پراکندگی آن‌ها، در مطالعات پیشین از این قابلیت‌ها استفاده‌ی چندانی به ویژه در حوزه‌ی مطالعات آب به عمل نیامده است. هدف مطالعه حاضر مدل‌سازی الگوهای حاکم بر پراکندگی چاه‌های آب در حوضه آبریز ماهیدشت در استان کرمانشاه با استفاده از آمار فضایی است. مبنای مورد استفاده برای شناسایی این الگوها «موقعیت» و «مقادیر» چاه‌ها است که برای انجام آن از پنج تکنیک رایج در آمار فضایی از جمله میانگین نزدیک‌ترین همسایه، آمار عمومی G^* ، شاخص موران I ، ترسیم خوشه و ناخوشه و تعیین کانون‌های داغ/سرد استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه اخذ شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوی حاکم بر پراکندگی چاه‌های کشاورزی و الگوی حاکم بر پراکندگی مقادیر زیاد (عمق زیاد چاه‌ها) در حوضه آبریز ماهیدشت از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کنند. الگوی کلی پراکندگی چاه‌های حوضه‌ی مورد بررسی از دهه ۱۳۳۰ تا دهه ۱۳۸۰ از تصادفی به خوشه‌ای تبدیل شده است. تحلیل‌های مربوط به خوشه و ناخوشه و کانون‌های داغ و سرد نیز نشان‌دهنده بحرانی بودن مناطق شمال و شمال شرقی حوضه به لحاظ برداشت بی‌رویه‌ی منابع آب زیرزمینی هستند.

واژه‌های کلیدی: آمار فضایی، الگوی پراکندگی، حوضه آبریز ماهیدشت، منابع آب، خوشه‌بندی.

*Corresponding Author: Shahbakhti Rostami

E-mail: sh_rostami@pnu.ac.ir

مقدمه

جغرافیدانان اغلب تمایل دارند الگوهای فضایی حاصل از عوامل طبیعی یا فرهنگی را بر روی سطح زمین مطالعه کنند (مک‌گرو^۱، ۲۰۱۴: ۲۱۰). آنان از الگوهای مختلف سکونتگاهی، کاربری اراضی، حمل و نقل، زهکشی، منابع آب و نظایر آن بحث می کنند. هر کدام از این الگوها نظم فضایی خاصی را نشان می دهد که پیامد یک فرآیند خاص است. از این رو، اندازه گیری و شناخت این الگوها بُن مایه بسیاری از مطالعات جغرافیدانان شده است (ایدن^۲، ۱۹۸۸: ۱۴۳). در مطالعات محیطی گاه مشاهداتی وجود دارند که مستقل از یکدیگر نیستند و نوعاً وابستگی آن ها ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه است. به دلیل وجود همبستگی فضایی بین آن ها، روش های معمول آمار برای تحلیل چنین داده هایی قابل استفاده نمی باشد و لازم است به نحوی ساختار همبستگی داده ها در تحلیل آن ها لحاظ شود (محمدزاده، ۱۳۸۵). این بدان معناست که در بررسی بسیاری از پدیده های جغرافیایی، آمار کلاسیک به تنهایی قادر به ترسیم وضعیت واقعی عوارض نیست. در مقابل، در آمار فضایی علاوه بر مقادیر توصیفی، موقعیت پدیده ها و روابط فضایی آن ها (مثل تراکم، تعداد، فاصله، فشردگی و پراکندگی) نیز مورد توجه قرار می گیرد. جغرافیدانان الگوهای موجود را به کمک آمار فضایی با الگوهای تئوریک (فرض صفر) مورد مقایسه قرار می دهند که معمولاً به سه شکل تصادفی^۳، پراکنده^۴ و خوشه ای^۵ ظاهر می شوند (میشل^۶، ۲۰۰۵).

علی رغم تأکید و توجه زیادی که در منابع خارجی نسبت به «آمار فضایی» و ارتباط آن با تحلیل های مختلف به عمل آمده (کادن^۷، ۱۹۹۳؛ سیرنزیس و همکاران^۸، ۱۹۹۶؛ شین و سالاس^۹، ۲۰۰۰؛ فرنزیسک^{۱۰} و چانگ^{۱۱}، ۲۰۰۸؛ گلاون^{۱۲}، ۲۰۱۰؛ عدنان^{۱۳} و اقبال^{۱۴}، ۲۰۱۴؛ آنیرو^{۱۵} و گیریدهار^{۱۶}،

۲۰۱۵؛ ماینالی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۹)، در منابع فارسی و داخلی اما کمتر به توانمندی های این حوزه پرداخته شده است. اگرچه در عنوان و متن بسیاری از مقاله های چاپ شده در نشریات مرتبط با علوم زمین از واژه های تحلیل فضایی و آمار فضایی فراوان نام برده شده اما غالب آن ها مربوط به حوزه مطالعات اقلیمی است (علیجانی و بابایی فینی، ۱۳۸۸؛ اعتمادیان و دوستان، ۱۳۹۶).

طی ده سال گذشته رویکرد بسیاری از مطالعات، از ترسیم نقشه صرف و اکتفا به نشان دادن پراکندگی مکانی پدیده های اقلیمی، به سمت تحلیل های عمیق تر مبتنی بر تکنیک های رایج در آمار فضایی نظیر شاخص خودهمبستگی فضایی موران، لکه های داغ/سرد، شاخص انسلین محلی موران و رگرسیون تغییر جهت داد. کارهای یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) راجع به تحلیل فضایی بارش ماهانه شمال غرب ایران، فلاح قاهری و همکاران (۱۳۹۴) در باره تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران و محمدپورزیدی و همکاران (۱۳۹۸) در زمینه تحلیل فضایی بارش استان مازندران، نمونه هایی از این نوع مطالعات محسوب می شوند. حجازی زاده و جوی زاده (۱۳۹۸) نیز در مقاله ای با موضوع تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران به بررسی و تحلیل فضایی این پدیده پرداخته و نشان دادند که داده های آن دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه ای هستند.

علاوه بر آمار فضایی، «منابع آب» نیز یکی دیگر از کلیدواژه های مطالعه حاضر است. نتایج مطالعه فرانکزیک و چانگ (۲۰۰۸) با عنوان تحلیل فضایی مصرف آب در ایالت اورگان آمریکا از ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ نشان داد که الگوهای مصرف آب به لحاظ مکانی و زمانی یکسان نیستند. آن ها به بررسی تفاوت روندهای فضایی مصرف آب شیرین ایالت اورگان پرداخته و بر اساس تحلیل LISA، نشان دادند که لکه های داغ مصرف زیاد با مناطق کشاورزی خشک در جنوب شرق ایالت و لکه های سرد مصرف کم با شهرستان های مرطوب در شمال غرب ایالت منطبق هستند. آن ها پیشنهاد داده اند که مدیران و برنامه ریزان منابع آب نباید اثرات فضایی و همسایگی را در مدیریت مؤثر منابع محدود طبیعی از نظر دور بدارند. مطالعات داخلی راجع به منابع آب را می توان به دو گروه

1. McGrew
2. Ebdon
3. Random
4. Dispersed
5. Clustered
6. Mitchell
7. Kaden
8. Tsihrinzis et al
9. Shin and Salas
10. Franczyk
11. Chang
12. Glavan
13. Adnan

14. Iqbal
15. Anirudh
16. Giridhar
17. Mainali

شده است. بررسی روند حفر چاه در این حوضه نشان از نوسانات و زیاده‌روی‌های فراوان دارد. تعداد چاه‌های حفر شده در این حوضه تا ابتدای دهه ۱۳۶۰ معادل ۶۸ حلقه بوده است. اما طی سه دهه بعد از آن، این رقم با افزایش سالانه ۷۵ درصدی به ۱۵۹۳ حلقه رسیده است. اگرچه ممکن است این رشد بی‌رویه تعداد چاه به حساب تلاش برای افزایش منابع غذایی موردنیاز جمعیت روز افزون منطقه گذاشته شود، اما این امر منجر به دخالت بیش از حد انسان در نظام طبیعی حاکم بر منطقه شده است که یکی از پیامدهای منفی آن به هم خوردن تعادل نظام فضایی و ایجاد محیطی ناپایدار به لحاظ برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی است.

یک مقایسه اجمالی بین برخی از ویژگی‌های چاه‌های کل استان کرمانشاه با چاه‌های حوضه آبریز ماهیدشت نشان دهنده وجود بحران استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دومی است. بر اساس داده‌های شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه مواردی چون میانگین عمق چاه، دی، کل ساعات کارکرد سالانه و کل تخلیه سالانه نشان از بالا بودن ارقام تمام این میانگین‌ها در حوضه ماهیدشت دارد (جدول ۱).

جدول ۱. مقایسه برخی ویژگی‌های چاه‌های استان کرمانشاه با چاه‌های حوضه ماهیدشت

ویژگی	استان کرمانشاه	حوضه ماهیدشت
میانگین عمق چاه	۳۹	۵۴
میانگین دی	۷	۹
میانگین کل ساعات کارکرد سالانه	۱۷۸۸	۲۲۸۳
میانگین تخلیه سالانه هر چاه (مترمکعب)	۶۲۶۰۰	۷۸۳۰۰

استخراج از داده‌های شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۸.

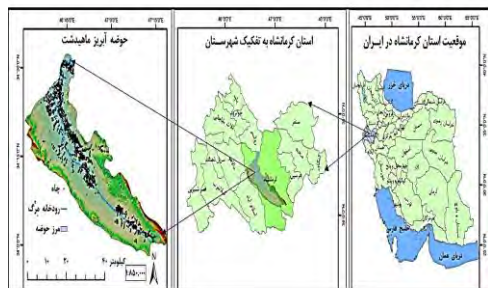
ارقام جدول ۱ با همه ارزشی که دارند اما قادر به نشان دادن تفاوت‌های مکانی- فضایی موارد ذکر شده در محدوده مورد مطالعه نیستند. از این‌رو، لازم است برای شناخت و تحلیل دقیق‌تر چاه‌های آب حوضه ماهیدشت از آمار فضایی کمک گرفته شود.

مزیت بزرگ آمار و اندازه‌گیری‌های فضایی، کمی کردن الگوها و روابط بین عوارض سطح زمین است. در پژوهش حاضر به منظور تبیین الگوی حاکم بر پراکندگی چاه‌های حوضه آبریز ماهیدشت به عنوان یکی از عوامل به هم خوردن

عمده تقسیم کرد. گروهی که در تحلیل‌های خود از لایه‌های رقومی و نرم‌افزارهای GIS استفاده کرده‌اند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱) و دیگر آن‌هایی که از دیدگاهی غیر از دیدگاه فضایی به موضوع منابع آب پرداخته و از زوایای مدیریتی و اقتصادی (خیابانی و همکاران، ۱۳۹۶) به موضوع نگریسته‌اند.

سه واژه تقریباً همسان «ماهیدشت»، «دشت ماهیدشت» و «حوضه ماهیدشت» کلیدواژه‌های مکانی و با اهمیت دیگری بودند که برای جستجوی مقاله‌ها و پژوهش‌های قبلی مورد استفاده قرار گرفتند. حاصل این جستجو هفت مقاله بود که به بررسی ارتباط نوسانات منابع آب زیرزمینی حوضه ماهیدشت با تکتونیک (رنجبرمنش و همکاران، ۱۳۹۲)، پتانسیل آلودگی آب- های زیرزمینی دشت ماهیدشت (گرگانی و همکاران، ۱۳۹۶)، ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی و امکان تغذیه دومی از اولی (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ملکی و همکاران، ۱۳۸۸)، برآورد مقدار فرسایش خاک حوضه ماهیدشت (کیانی و همکاران، ۱۳۹۷)، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و آمایش سرزمین این حوضه (بیات و همکاران، ۱۳۹۰) و بررسی شاخص فقر آبی کشاورزی در دشت ماهیدشت (زرافشانی و سعدوندی، ۲۰۱۷) پرداخته‌اند. جالب اینکه هیچکدام از این مطالعات در عنوان یا متن خود اسمی از تحلیل فضایی یا آمار فضایی نبرده و از روش‌ها و تکنیک‌های رایج در حوزه‌های تحلیل و آمار فضایی استفاده نکرده‌اند. اگرچه هر کدام از این مطالعات دارای ارزش- های ذاتی و علمی خاص خود هستند اما مطالعه حاضر تفاوت- هایی ماهوی، تکنیکی و روش‌شناسانه با آن‌ها دارد.

جمعیت شهرهای کرمانشاه و اسلام‌آباد به عنوان شهر اول و دوم استان از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۵ طی یک دوره ۵۰ ساله به ترتیب از ۱۸۷۹۳۰ و ۱۱۸۰۰۶ نفر به ۹۴۶۶۵۱ و ۹۰۵۵۹ نفر رسیده و مجموع جمعیت آن‌ها با رشد سالانه معادل ۸/۴ درصد، نسبت به سال ۱۳۵۵، ۵/۲ برابر شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۴۵ و ۱۳۹۵). یکی از پیامدهای این رشد بی‌رویه جمعیت، نیاز به منابع غذایی بیشتر است. با توجه به حاکمیت الگوی کشاورزی معیشتی و نیمه‌تجاری بر فعالیت‌های اقتصادی منطقه، یکی از راه‌حل‌های دستیابی به منابع و مواد غذایی بیشتر طی چهار دهه گذشته تبدیل بسیاری از زمین‌های دیم به آبی بوده که عمدتاً از طریق حفر چاه صورت گرفته است. طبق آمار ارائه شده از سوی شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تعداد چاه‌های مجاز موجود در این استان تا سال ۱۳۹۸ رقمی معادل ۱۵۱۵۲ حلقه بوده که بالغ بر ۱۵۹۳ حلقه آن‌ها (معادل ۱۰/۵ درصد) در حوضه آبریز ماهیدشت حفر



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه (منبع لایه ها: استانداری کرمانشاه، شرکت مدیریت منابع آب ایران، USGS)

داده ها: داده هایی که در این پژوهش به کار رفته اند شامل لایه های DEM، چاه، تقسیمات حوضه های آبریز، تقسیمات کشوری، سکونتگاه های شهری و روستایی است که به ترتیب از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS)، شرکت سهامی آب منطقه ای استان کرمانشاه، شرکت مدیریت منابع آب ایران و مرکز آمار ایران اخذ شده است. همچنین برای انجام تحلیل آمار فضایی از داده های شرکت سهامی آب منطقه ای استان کرمانشاه شامل: عمق، نوع مصرف و میزان تخلیه سالانه استفاده شده است.

تکنیک ها: اولین قدم در تحلیل فضایی-آماري پدیده ها، نشان دادن پراکندگی آن ها در پهنه مکان است. یکی از رایج ترین و ساده ترین راه های انجام این کار، تبدیل داده های مندرج در جداول Excel یا Access به لایه نقطه ای به شرط وجود دو ستون برای مختصات X و Y عوارض است. در مطالعه حاضر، جدولی که حاوی ویژگی های مختصاتی و توصیفی بالغ بر ۱۵۹۳ حلقه چاه حفر شده در حوضه ماهیدشت است با تکنیک Display XY Data در محیط ArcGIS تبدیل به لایه نقطه ای شد. این لایه ضمن نمایش پراکندگی چاه های منطقه، مبنای تحلیل های مورد نظر در این مطالعه قرار گرفت. سپس، تمام ویژگی های توصیفی چاه ها در یک پایگاه داده قرار داده شد تا برای تحلیل های مختلف موقعیتی و فاصله ای مورد استفاده قرار گیرند.

یکی از راه های نشان دادن الگوهای پراکندگی عوارض، ترسیم آن ها بر روی نقشه است. راه دیگر، استفاده از آمار است تا به وسیله آن الگوهای پراکنده، خوشه ای و یا تصادفی عوارض مشخص شود. معمولاً استفاده از آمار فضایی در شناسایی الگوها بدین صورت است که پراکندگی واقعی عوارض (پراکندگی مشاهده شده) با پراکندگی تصادفی فرضی آن ها (فرض صفر) در یک منطقه مشابه مقایسه می شود. به همان میزانی که این دو نوع پراکندگی با هم متفاوت باشند به همان

تعادل فضایی این حوضه، از پنج تکنیک که تناسب و ارتباط بیشتری با موضوع حاضر داشتند، استفاده شده است. این تکنیک ها عبارتند از: میانگین نزدیک ترین همسایه^۱، آمار عمومی جی^۲، شاخص موران آی^۳ و تحلیل خوشه و ناخوشه ها^۴ و کانون های داغ/سرد^۵. انتظار می رود نتایج این پژوهش علاوه بر نشان دادن تناسب و قابلیت های آمار فضایی در تحلیل الگوهای پراکندگی، بتواند نتایج و خروجی هایی را برای اتخاذ تصمیمات عقلایی تر مکانی در آینده به کارشناسان و برنامه ریزان محلی ارائه دهد.

داده ها و روش کار

در این بخش، به ترتیب به معرفی محدوده مورد مطالعه، داده ها و تکنیک های مورد استفاده در مطالعه حاضر پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه: حوضه آبریز ماهیدشت با مساحت ۱۵۰۶/۶۴ کیلومتر مربع و محیط ۲۳۹/۹ کیلومتر در شهرستان کرمانشاه واقع شده است (شکل ۱). حداکثر، حداقل و متوسط ارتفاع حوضه به ترتیب: ۲۷۲۶، ۱۲۹۵ و ۱۵۲۰ متر است. مهم ترین رودخانه های این حوضه عبارتند از: مرگ، هفت آشیان، کاشنبه و نهر شورآب. در این حوضه تعداد ۱۳۲ دهنه چشمه، ۱۴ رشته قنات و ۱۵۹۳ حلقه چاه وجود دارد. طبق داده های مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) در محدوده مورد مطالعه این تحقیق، تعداد ۲۳۱ سکونتگاه روستایی با حدود ۳۱۰۰۰ نفر و دو سکونتگاه شهری کم جمعیت (ماهیدشت، ۹۴۰ نفر و هلشی، ۷۶۹ نفر) وجود دارد.

از عمر اولین چاه عمیقی که در حوضه آبریز ماهیدشت حفر شده تاکنون بیش از ۷۰ سال می گذرد (شرکت سهامی آب منطقه ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۸). طی این مدت جمعیت منطقه به ویژه جمعیت حوزه های شهری همسایه به شدت افزایش یافته و چندین برابر شده است. افزایش جمعیت نیز به نوبه خود باعث فشار بر منابع زمینی از جمله آب شده و تعداد چاه های منطقه را از حدود ۷۰ حلقه طی یک دوره چهل ساله به بیش از ۱۵۹۳ حلقه رسانیده (رشدی معادل ۲۳ برابر) و منجر به مصارف بیش از حد و غیر کارشناسانه این منابع شده است.

1. Average Nearest Neighbor
2. General G Statistic
3. Moran's I Index
4. Clusters and Outliers Analysis
5. Hot Spot Analysis

در آمار روش‌های مختلفی برای سنجش سطح اطمینان از مشاهدات وجود دارد. معمولاً مشاهدات یا باورهای محقق در قالب فرضیه بیان می‌شود. فرض صفر یک فرضیه آماری است که ادعا می‌کند میان متغیرهای مورد آزمایش ارتباط یا اختلاف معناداری وجود ندارد و عوارض به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. در اینجا هدف پژوهش و آزمون‌ها رد یا تأیید فرض صفر است. به کمک آزمون‌های معناداری می‌توان فرضیه صفر را رد یا تأیید کرد (میشل، ۲۰۰۵؛ دادرس و رستمی، ۱۳۹۸). در تحقیق حاضر، از تکنیک «میانگین نزدیک‌ترین همسایه» برای رد فرض صفر و تأیید الگوی خوشه‌ای حاکم بر چاه‌های کشاورزی در حوضه ماهیدشت استفاده شده است.

الگوی پراکندگی عوارض تنها از طریق موقعیت و محل قرارگیری آن‌ها مشخص نمی‌شود. این الگو را از طریق مقادیر یا ویژگی‌های غیرمکانی آن‌هایی که در یک فاصله مشخص از هم‌دیگر قرار گرفته‌اند نیز می‌توان نشان داد. مهم‌ترین تکنیک برای ارائه چنین الگوهایی به آمار عمومی G^2 معروف است که از آن برای شناسایی مقادیر زیاد یا کم در سراسر محدوده مورد مطالعه استفاده می‌شود. در این روش وضعیت مقادیر کم یا زیاد در یک فاصله معین سنجیده شده و سپس آن را با وضعیت کم و زیاد مقادیر در تمام محدوده مورد مطالعه مقایسه می‌کنند. به کمک آمار G می‌توان دریافت که در منطقه مورد مطالعه چه نوع کانونی وجود دارد: کانون‌های داغ (با مقادیر زیاد^۳) یا کانون‌های سرد (با مقادیر کم^۴)؟ اگر میزان G مشاهده شده بزرگ‌تر از G مورد انتظار باشد نشانه تمرکز مقادیر زیاد است و اگر میزان G مشاهده شده کوچک‌تر از G مورد انتظار باشد نشانه تمرکز مقادیر کم است (میشل، ۲۰۰۵: ۱۰۴؛ اورد-گتیس^۵، ۱۹۹۵). از این تکنیک در پژوهش حاضر برای نشان دادن الگوی خوشه‌ای حاکم بر «مقادیر زیاد» عمق چاه‌های کشاورزی در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است.

شاخص موران آی تکنیکی است که برای سنجش روندهای فراگیر در جدایی‌گزینی‌های قومی و نژادی در طول زمان استفاده می‌شود تا مشخص گردد که جدایی‌گزینی افزایش یافته است؟ یا کاهش؟ از موران آی برای بررسی پخش یک ایده، بیماری یا هر روند دیگری در طول زمان و

نسبت هم‌الگوهای خوشه‌ای یا پراکنده این دو با هم متفاوت خواهد بود (دادرس و رستمی، ۱۳۹۸: ۷۵). در تحقیق حاضر، شناسایی الگوها بر سه اساس انجام شده است: الف) شناسایی الگوها بر مبنای موقعیت (میانگین نزدیک‌ترین همسایه)، ب) شناسایی الگوها بر مبنای مقادیر یا ویژگی‌ها (آمار عمومی G) و پ) شناسایی الگوها همزمان بر مبنای موقعیت و ویژگی‌ها (شاخص Moran I). علاوه بر موارد ذکر شده، تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌ها و تحلیل کانون‌های داغ و سرد نیز در این تحقیق انجام شده است.

اجرای تکنیک «میانگین نزدیک‌ترین همسایه» نشان می‌دهد که عوارض با درجه مشخصی از اطمینان، تابع الگوی تصادفی، خوشه‌ای یا پراکنده هستند. منظور از عوارض در تحقیق حاضر، چاه‌های حفر شده در حوضه آبریز ماهیدشت است. پراکندگی‌هایی که فواصل متوسط کوتاه‌تری نسبت به یک توزیع تصادفی داشته باشند از الگوی خوشه‌ای تبعیت خواهند کرد. حاصل اجرای این تکنیک، دو شاخص است: I و Z -score شاخص I برای نزدیک‌ترین همسایه به صورت زیر است:

$$I = \frac{D_r}{D_h}$$

در اینجا، D_r میانگین فاصله محاسبه شده برای داده‌های واقعی و D_h میانگین فاصله محاسبه شده برای داده‌های فرضی است. اگر I کوچکتر از یک باشد الگوی خوشه‌ای، اگر بزرگتر از یک باشد الگوی پراکنده و اگر مساوی یک باشد الگوی تصادفی حاکم است (باجلی^۱، ۲۰۱۸: ۲۵۳). شاخص Z -score برای رد یا پذیرش فرض صفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص مربوط به سطح یا درجه اطمینان است و به دلخواه محقق برای آزمون فرضیه به کار می‌رود.

جدول ۲. شاخص‌های Z -score و P -value و درجه اطمینان

Z-score (Standard Deviation)	P-value (probability)	درجه اطمینان
+۱/۶۵ تا -۱/۶۵	۰/۱۰	٪۹۰
+۱/۹۶ تا -۱/۹۶	۰/۰۵	٪۹۵
+۲/۵۸ تا -۲/۵۸	۰/۰۱	٪۹۹

مأخذ: Bajjali, 2018: 253

2. Getis-Ord General G.
3. High values
4. Low values
5. Ord_Getis

فاصله دورتر از هم قرار گرفته اند (توبلر^۴، ۱۹۷۰). بر اساس این قانون، تأثیر فاصله و موقعیت بر شکل گیری الگوهای پراکندگی غیرقابل انکار است. از مهمترین تکنیک های متداول برای سنجش این مشابهت ها، تکنیک «میانگین نزدیک ترین همسایه» است. در تحقیق حاضر از این تکنیک برای تعیین الگوی پراکندگی چاه های با مصارف کشاورزی در حوضه آبریز ماهیدشت استفاده شده و نتایج آن به شرح زیر است:

از مجموع ۱۵۹۳ حلقه چاه موجود در حوضه ماهیدشت، تعداد ۱۳۷۴ حلقه (اندکی بیش از ۸۶ درصد) دارای مصارف کشاورزی و بقیه دارای مصارف صنعتی، خدمات، گلخانه، آبریز پروری، شرب شهری و شرب روستایی هستند. چاه های کشاورزی، سالانه حدود ۱۱۴ میلیون مترمکعب از آب های زیرزمینی منطقه را تخلیه می کنند که رقمی بسیار زیاد و نشانه برداشت و مصرف بی رویه این منبع ارزشمند است. چنین برداشت بی رویه و حساب نشده ای باعث پایین تر رفتن سطح آب های زیرزمینی منطقه شده است. شاهد این مدعا هم میانگین عمق چاه های حوضه ماهیدشت است که نسبت به میانگین استان بالاتر است: ۳۹ متر در مقابل ۵۴ متر. همچنین افزایش میانگین عمق چاه در حوضه ماهیدشت در زمانی نسبتاً کوتاه به سرعت اتفاق افتاده است و از ۵۴ متر در سال های ۱۳۵۰ به ۶۷ متر در اواخر دهه ۱۳۸۰ رسیده است (جدول ۱).

تمام این موارد حاکی از برداشت بی رویه آب زیرزمینی در این حوضه است. حال، هدف این است که مشخص شود موقعیت چاه ها و فواصل بین آن ها چه نقشی در این بحران برداشت بی رویه و پایین تر رفتن سطح سفره های آب زیرزمینی داشته است؟ نزدیکی چاه ها به یکدیگر می تواند بر وسعت حوزه نفوذ هر کدام از آن ها مؤثر باشد. سنجش نزدیکی یا فواصل میان چاه ها می تواند به شناسایی الگوی پراکندگی حاکم بر آن ها کمک کند. پس سؤال بالا را می توان به این صورت مطرح کرد که آیا پراکندگی چاه های با مصارف کشاورزی از الگوی خاصی پیروی می کند؟ آیا این الگو پراکنده است یا خوشه ای؟ برای یافتن پاسخ این سوال، تکنیک میانگین نزدیکترین همسایه بر روی چاه های کشاورزی حوضه ماهیدشت اجرا شده و نتایج آن در شکل ۲ و جدول ۳ آمده است.

مکان استفاده می شود تا نشان دهند که آن ایده، بیماری یا روند منزوی و متمرکز باقی مانده؟ و یا گسترش بیشتری یافته است؟ (گتیس و آنسلین^۱، ۱۹۹۵؛ گریفیث^۲، ۱۹۸۷؛ گودچیلد^۳، ۱۹۸۶؛ گتیس و اورد^۴، ۱۹۹۲). در تحقیق حاضر، از این شاخص برای نشان دادن تغییر الگوی تصادفی حاکم بر پراکندگی چاه ها به الگوی خوشه ای طی پنج دهه، از دهه ۱۳۳۰ تا دهه ۱۳۸۰ استفاده شده است.

در تکنیک «تحلیل خوشه و ناخوشه»، به شناسایی خوشه های با مقادیر کم یا زیاد به همراه ناخوشه ها پرداخته می شود. در این تکنیک مقادیر Z و P برای سنجش معناداری آماری و رد یا پذیرش فرض صفر مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین، مقدار مثبت I نشان می دهد که یک عرضه (چاه) دارای همسایه هایی با مقادیر مشابه به خود است، خواه مقادیر زیاد باشند و خواه کم. مثلاً همسایه های یک چاه عمیق را چاه های عمیق دیگری تشکیل می دهند و همسایه های یک چاه کم - عمق همگی دارای عمق کم هستند. مقدار منفی I بیانگر این است که مقدار یک عرضه با مقادیر همسایگان شباهتی ندارد و به همین خاطر ناخوشه به حساب می آید، مثل چاه عمیقی که به وسیله چاه های کم عمق احاطه شده است و برعکس. از این تکنیک برای خوشه بندی چاه های محدوده مورد مطالعه بر اساس عمق آن ها استفاده شده است.

بالاخره، در پژوهش حاضر از تکنیک $Getis-Ord GI^*$ استفاده شده تا خوشه های فضایی کانون های داغ و سرد شناسایی شوند. برای محاسبه و ترسیم این کانون ها از شاخص میزان تخلیه سالانه چاه استفاده شده است.

شرح و تفسیر نتایج

هدف برخی از تحلیل های آماری شناسایی الگوها، روندها، و روابط میان عوارض در پهنه فضا است که بر مبنای موقعیت و ویژگی های عوارض انجام می گیرد.

شناسایی الگوها بر مبنای موقعیت

در جغرافیا اصلی پذیرفته شده به اسم «قانون اول» وجود دارد که منتسب به والدو توبلر است و طبق آن، عوارض نزدیک به هم دارای شباهت های بیشتری هستند تا آن هایی که در

1. Anselin
2. Griffith
3. Goodchild

4. Tobler

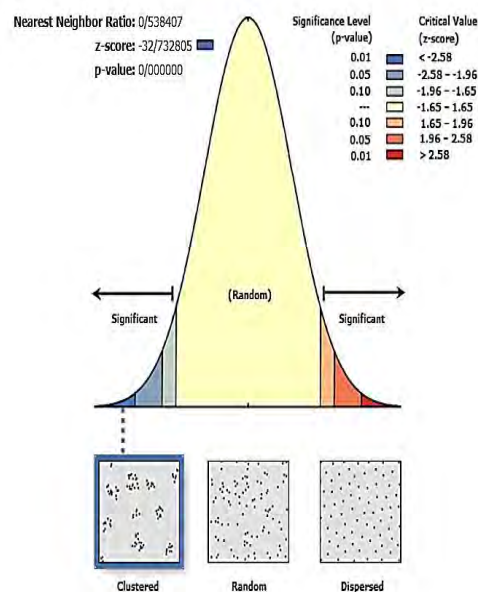
معیار (Z) معادل $-32/7$ باشد، احتمال اینکه الگوی حاکم بر پراکندگی چاه‌های کشاورزی حوضه آبریز ماهیدشت تصادفی باشد کمتر از ۱ درصد است. بنابراین، فرض صفر در اینجا رد شده و الگوی حاکم بر توزیع چاه‌های کشاورزی خوشه‌ای است.

شناسایی الگوها بر مبنای مقادیر

در مبحث مربوط به میانگین نزدیکترین همسایه، مشخص شد که الگوی حاکم بر توزیع چاه‌های کشاورزی در حوضه ماهیدشت خوشه‌ای است. اکنون به این نکته پرداخته خواهد شد که عامل «وزن» چه تأثیری بر وضعیت خوشه‌ای چاه‌های کشاورزی دارد و اینکه در چه فاصله‌ای خوشه‌ها شکل می‌گیرند. منظور از وزن در اینجا می‌تواند عمق چاه، میزان تخلیه سالانه یا کل ساعات کارکرد سالانه باشد.

در اینجا از آماره عمومی G برای رد یا پذیرش فرضیه صفر راجع به پراکندگی چاه‌های کشاورزی حوضه ماهیدشت بر اساس عمق استفاده شده است. فرض صفر در اینجا این است که چاه‌های کشاورزی دارای عمق بیشتر به صورت تصادفی در سطح حوضه توزیع شده‌اند. در اینجا تأکید اصلی بر پراکندگی یکی از ویژگی‌های عوارض است تا موقعیت آن‌ها. مثلاً در اینجا ویژگی «عمق چاه» دارای اهمیت است و لازم است دانسته شود آیا چاه‌هایی که دارای ویژگی «عمق بیشتر» هستند به لحاظ فضایی توزیع خوشه‌ای دارند یا تصادفی؟ پس، در اینجا منظور پراکندگی چاه‌ها بر اساس وزنی است که به عمق آن‌ها تعلق می‌گیرد.

برای محاسبه آماره عمومی G بر روی چاه‌های کشاورزی حوضه ماهیدشت ابتدا ابزار «Calculate Distance Band from Neighbor Count» اجرا شد تا فاصله هر چاه را نسبت به همسایه آن بسنجد که حاصل آن چنین شد: کمترین فاصله: ۱۳۵ متر، میانگین فاصله: ۷۰۰ متر و بیشترین فاصله ۸۸۰۰ متر. سپس با استفاده از ابزار High/Low Clustering (Getis-Ord General G) و بر اساس عمق چاه، آماره عمومی G ابتدا برای فاصله میانگین (۷۰۰ متر) و بعد برای دو باند کمتر از میانگین (یعنی فواصل ۵۰۰ متر و ۳۰۰ متر) و برای دو باند بیشتر از میانگین (یعنی فواصل ۹۰۰ متر و ۱۱۰۰ متر) محاسبه شد. نتایج در جدول ۴ آمده است.



شکل ۲. میانگین نزدیکترین همسایه برای چاه‌های با مصارف کشاورزی حوضه ماهیدشت

جدول ۳. نتایج اجرای ابزار میانگین نزدیکترین همسایه برای چاه‌های با مصارف کشاورزی حوضه ماهیدشت

نتایج	شاخص‌های تکنیک میانگین نزدیکترین همسایه
۲۸۱/۹	میانگین فاصله مشاهده شده (متر) (Observed Mean Distance)
۵۲۳/۶	میانگین فاصله موردانتظار (متر) (Expected Mean Distance)
۰/۵۴	ضریب نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbor Ratio)
-۳۲/۷	انحراف معیار (z-score)
۰	ضریب خطا (p-value)
چاه‌های کشاورزی	لایه ورودی
اقلیدسی	روش محاسبه فاصله
۱۵۰۶۶۴۱۴۹۸/۲	مساحت حوضه (مترمربع)

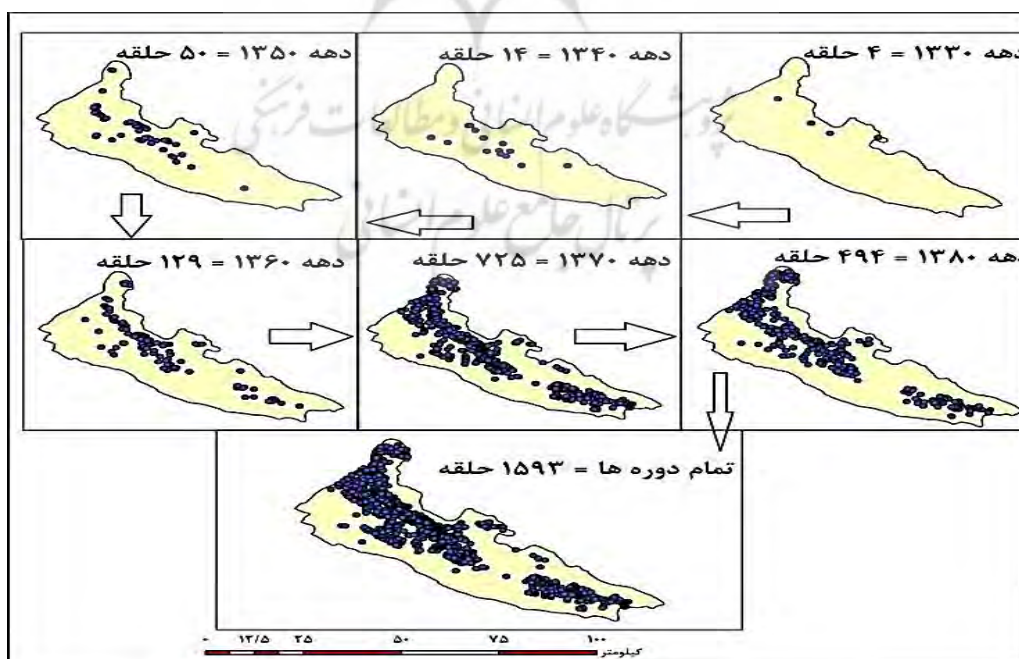
شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهند که وقتی ضریب نزدیکترین همسایه (I) کمتر از ۱ (در اینجا ۰/۵۴) و انحراف

جدول ۴. نتایج اجرای ابزار آمار عمومی G در فواصل مختلف برای چاه های کشاورزی عمیق حوضه ماهیدشت

فاصله (متر)	مقدار G مشاهده شده	G مورد انتظار	واریانس	انحراف معیار (Z-Score)	احتمال خطا (P-Value)	تعداد چاه های بدون همسایه
۳۰۰	۰/۰۰۱۳۹۷	۰/۰۰۱۱۵۲	۰۰/۰۰	۲/۳۴	۰/۰۱۸۹۱۲	۴۸۰
۵۰۰	۰/۰۰۳۰۱۵	۰/۰۰۲۹۴۵	۰۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۵۲۹۲۸۱	۱۱۲
۷۰۰	۰/۰۰۵۵۰۸	۰/۰۰۵۲۷۱	۰۰/۰۰	۱/۵۳	۰/۱۲۵۰۰۱	۴۱
۹۰۰	۰/۰۰۸۵۲۰	۰/۰۰۷۹۷۵	۰۰/۰۰	۲/۶۳	۰/۰۰۸۵۴۶	۱۸
۱۱۰۰	۰/۰۱۲۱۳۶	۰/۰۱۱۰۹۲	۰۰/۰۰	۳/۹۳	۰/۰۰۰۰۸۶	۱۳

شناسایی الگوها بر مبنای موقعیت و مقادیر مهمترین تکنیک برای شناسایی همزمان الگوها بر مبنای موقعیت و مقادیر به خودهمبستگی فضایی معروف است، که با شاخص موران I سنجیده می شود. این روش با یافتن فاصله ای که قوی ترین همبستگی فضایی در آن اتفاق می افتد، امکان تجزیه و تحلیل های مکانی را در فواصل مناسب همسایگی فراهم می کند. شکل ۳، تعداد و پراکندگی چاه های حوضه ماهیدشت طی دهه های ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ را نشان می دهد. اگرچه به ظاهر روند افزایش چاه ها در طول زمان بر روی نقشه ها به راحتی قابل مشاهده است و می توان آن ها را تفسیر چشمی کرد اما برای ارائه نتایج علمی و قابل اطمینان از این روند لازم است از شاخص موران استفاده شود.

طبق جدول ۴ فاصله ۱۱۰۰ متری دارای بالاترین مقدار Z-Score است، لذا این فاصله مناسب ترین فاصله برای محاسبه G بر اساس ویژگی عمق چاه در حوضه ماهیدشت تعیین شد. اگر مقدار Z مثبت باشد، نشان می دهد که الگوی خوشه ای بر «مقادیر زیاد» حاکم است. هر چه میزان Z بیشتر باشد به معنای شدت و تمرکز بیشتر خوشه است. در اینجا منظور از مقادیر زیاد، مقادیر زیاد عمق چاه ها است. این بدان معنی است که چاه های با عمق بیشتر از الگوی خوشه ای پیروی می کنند. بدین ترتیب با Z-Score معادل ۳/۹۳، احتمال تصادفی بودن پراکندگی مقادیر زیاد (عمق زیاد) در حوضه ماهیدشت کمتر از ۱ درصد است. بنابراین، فرض صفر رد می شود. رد شدن فرض صفر در اینجا بدین معنی است که الگوی خوشه ای بر مقادیر زیاد عمق چاه های کشاورزی حاکم است.



شکل ۳. روند افزایش تعداد چاه در حوضه ماهیدشت از دهه ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰

Autocorrelation (Moran's I) بر اساس «فاصله معکوس» و «فاصله اقلیدسی» بر روی لایه نقطه‌ای چاه‌ها و یکی از ویژگی‌های آن‌ها (عمق) عمل شده است. به زبان ساده و با استناد به قانون اول جغرافیا منتسب به توبلر، هر چه فاصله کمتر باشد تأثیر بیشتر و هر چه فاصله بیشتر باشد تأثیر کمتر است. نتایج اجرای این ابزار در جدول ۵ دیده می‌شود.

در اینجا برای نشان دادن الگوی پراکندگی چاه‌های حوضه ماهیدشت بر مبنای موقعیت و یکی از ویژگی‌های آن‌ها (عمق چاه) طی دهه‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ از شاخص Moran's I استفاده شده است تا نشان داده شود که چگونه در طی زمان، الگوی پراکنده یا تصادفی حاکم بر چاه‌های این حوزه به سمت خوشه‌ای حرکت کرده است. برای این کار از ابزار Spatial

جدول ۵. نتایج اجرای ابزار Moran's I در دوره‌های مختلف برای چاه‌های حوضه ماهیدشت

تاریخ	شاخص موران	شاخص موراندانظار	وارپانس	Z-Score	P-Value	آستانه فاصله (متر)	تعداد چاه
دهه ۱۳۳۰	-۰/۰۷۱	-۰/۳۳۳	۰/۱۹۷۴	۰/۵۹	۰/۵۵۵۳۹۶	۱۲۹۱۰	۴
دهه ۱۳۴۰	-۰/۰۹۳	-۰/۰۷۷	۰/۰۱۶۰	-۰/۱۲	۰/۹۰۰۸۲۵	۱۲۰۹۹	۱۴
دهه ۱۳۵۰	۰/۲۶۱	-۰/۰۲۰	۰/۰۰۵۰	۳/۹۷	۰/۰۰۰۰۷۲	۱۶۰۳۲	۵۰
دهه ۱۳۶۰	۰/۲۶۸	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۷	۶/۵۳	۰/۰۰۰۰۰۰	۵۸۶۳	۱۲۹
دهه ۱۳۷۰	۰/۳۴۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۶۷	۴/۲۳	۰/۰۰۰۰۲۳	۴۴۳۳	۷۲۵
دهه ۱۳۸۰	۰/۴۷۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴۰	۷/۴۲	۰/۰۰۰۰۰۰	۴۰۳۵	۴۹۴
تمام دوره‌ها*	۰/۴۱۸	۰/۰۰۰۶۲۸	۰/۰۰۰۷	۱۵/۵۲	۰/۰۰۰۰۰۰	۴۴۳۳	۱۵۹۳

* با احتساب چاه‌های بدون تاریخ حفر

حاکم ناشی از شانس و تصادف باشد کمتر از ۱ درصد است. پس می‌توان با اطمینان ۹۹ درصد الگوی حاکم در دهه ۱۳۸۰ را خوشه‌ای دانست.

تهیه نقشه خوشه‌ها

در این بخش به شناسایی الگوهای حاصل از پراکندگی مقادیر مربوط به چاه‌های حوضه ماهیدشت پرداخته شده و از دو تکنیک Anselin Local Moran I و Getis-Ord GI* برای تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌های ناشی از مقادیر عوارض (عمق چاه) و تعیین نقاط یا کانون‌های داغ و سرد^۱ (میزان تخلیه سالانه) استفاده شده است.

تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌ها (Anselin Local Moran I)

در بحث «تحلیل خوشه» نیز همانند شاخص موران مجموعه‌ای از عوارض (مثل چاه) به همراه یکی از مقادیر یا ویژگی‌های آن‌ها (مثل عمق یا میزان مصرف) مورد بررسی قرار می‌گیرد، با

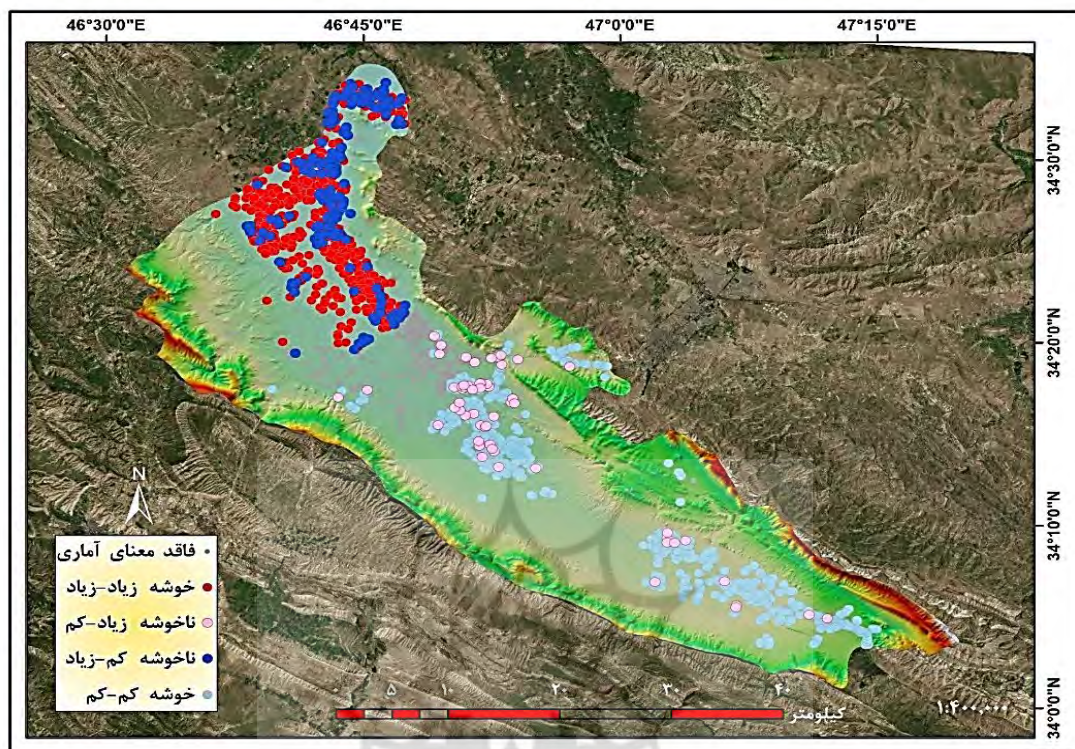
همان‌طور که گفته شد، اگر شاخص موران نزدیک به صفر باشد نشانگر الگوی تصادفی، اگر نزدیک به ۱ باشد نشانگر الگوی خوشه‌ای و اگر نزدیک به -۱ باشد نشانگر الگوی پراکنده است. همچنین اگر میزان Z برای موران I مثبت باشد به معنی توزیع خوشه‌ای و اگر منفی باشد به معنی توزیع پراکنده است. در جدول ۵ بررسی ستون‌های شاخص موران و Z-Score نشان می‌دهد که با گذشت زمان و با عبور از دهه ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ میزان هر دو شاخص افزایش یافته است. این افزایش نشانگر تغییر الگوی حاکم بر چاه‌های حوضه ماهیدشت و میزان عمق آن‌ها از حالت پراکنده به خوشه‌ای است.

همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، در دهه ۱۳۳۰ به علت تعداد کم چاه‌ها رقم شاخص موران و Z-Score به ترتیب ۰/۰۷۱ و ۰/۵۹ بوده‌اند که توزیع تصادفی را نشان می‌دهد. این بدان معناست که هیچ الگویی حاکم نیست و پراکندگی تصادفی است. اما در دهه ۱۳۸۰ به علت افزایش بی‌رویه چاه‌ها، رقم شاخص موران و Z-Score به ترتیب به ۰/۴۲ و ۱۵/۵۲ رسیده‌اند که توزیع خوشه‌ای شدید را نشان می‌دهد. این بدان معناست که احتمال اینکه الگوی خوشه‌ای

1. Hot spots/Cold spots

مقادیر کم و زیاد عمق چاه در حوضه ماهیدشت در باند ثابت فاصله ای ۴۴۳۳ متر و به روش فاصله اقلیدسی، در شکل ۴ نشان داده شده است.

این تفاوت که خروجی کار به صورت لایه (کلاس عارضه ای) خواهد بود که خوشه ها را بر روی نقشه نشان می دهد. حاصل به کارگیری این ابزار برای نشان دادن خوشه ها و ناخوشه های



شکل ۴. خوشه ها و ناخوشه های مقادیر کم و زیاد عمق چاه در حوضه ماهیدشت

حوضه و در کنار خوشه های کم-کم پراکنده هستند. ناخوشه کم-زیاد (LH) نیز شامل ۱۲ درصد کل چاه های حوضه یا ۱۹۰ حلقه چاه کم عمقی است که توسط چاه های عمیق احاطه شده و غالباً در همسایگی خوشه های زیاد-زیاد و در قسمت شمال حوضه پخش شده اند. ضمناً چاه هایی که ویژگی عمق آنها در مقایسه با همسایگان خود از نظر آماری معنادار نبوده معادل ۲۶۰ حلقه یا ۱۷ درصد است که در سراسر حوضه، به ویژه در قسمت های میانی آن پراکنده اند. تحلیل های خوشه/ناخوشه می تواند کارشناسان و برنامه ریزان امور آب را در شناسایی هرچه دقیق تر محدوده های بحرانی و اتخاذ تدابیر و تصمیمات درست کمک کند.

تحلیل کانون های داغ/کانون های سرد (Getis-Ord GI*)

در این مطالعه برای شناسایی خوشه های معنادار فضایی چاه های پرمصرف (hot spots) یا کم مصرف (cold spots)

بر اساس شکل ۴، تعداد ۴۵۲ چاه (معادل ۲۸ درصد کل چاه های حوضه) در خوشه زیاد-زیاد (HH) قرار می گیرند که نشان دهنده احاطه چاه های با عمق زیاد توسط چاه های با عمق مشابه خود است. عمق چاه های عمیق در اینجا از ۵۰ متر به بالا (۵۰ تا ۱۸۰ متر) در نظر گرفته شده است. این خوشه ها عمدتاً در بخش های شمالی حوضه واقع شده و عموماً با پهنه های بحرانی برداشت بی رویه آب منطبق هستند.

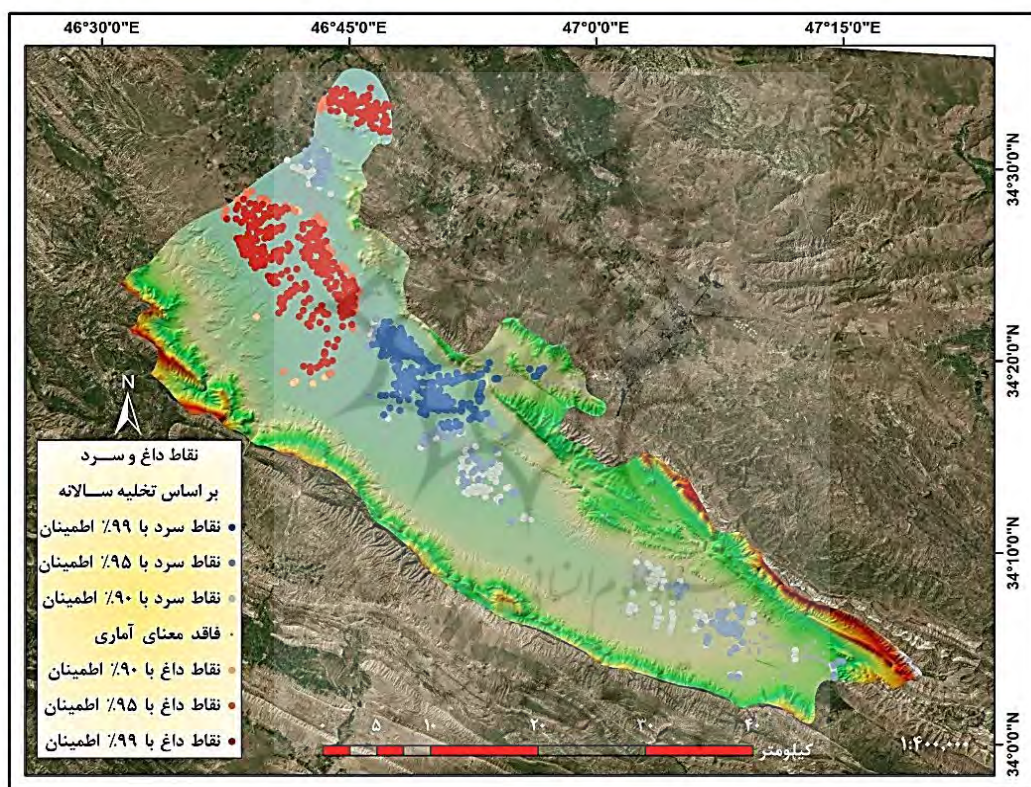
تعداد ۶۳۴ چاه (۴۰ درصد) نیز در خوشه کم-کم (LL) قرار دارند که نشان دهنده احاطه چاه های با عمق کم توسط چاه های با عمق مشابه خود است. منظور از چاه کم عمق در اینجا، چاه های کمتر از ۵۰ متر است. این چاه ها عموماً در قسمت های میانی و جنوبی حوضه، در قلمروهایی بیشتر از سایر خوشه ها قرار دارند.

تعداد ۵۷ چاه (معادل ۳/۵ درصد) در ناخوشه زیاد-کم (HL) قرار گرفته اند که به معنای احاطه چاه با عمق زیاد توسط چاه های با عمق کم است. این ناخوشه عمدتاً در قسمت میانی

بر این اساس، شکل ۵ نشان‌دهنده وضعیت نقاط داغ و سرد چاه‌های حوضه ماهیدشت بر مبنای میزان تخلیه سالانه آن‌ها (مترمکعب) است. نقاط داغ در اینجا چاه‌های عمیق/چاه‌های با میزان تخلیه زیاد و نقاط سرد چاه‌های کم‌عمق/چاه‌های با میزان تخلیه کمتر هستند. مطابق شکل ۵، اگر محدوده مورد مطالعه به لحاظ میزان تخلیه سالانه چاه‌ها به سه قسمت تقسیم شود، بیشترین نقاط داغ در قسمت شمالی، نقاط فاقد معنای آماری به صورت پراکنده در سراسر حوضه و بیشترین نقاط سرد در قسمت‌های میانی و جنوبی حوضه پراکنده شده‌اند.

از روش $Getis-Ord\ GI^*$ استفاده شده است. با توجه به وسعت منطقه و تعداد چاه‌های حوضه مورد مطالعه (۱۵۹۳ حلقه چاه) و بر اساس شاخص خودهمبستگی موران آی، آستانه فاصله مناسب برای بررسی الگوی پراکندگی چاه‌های حوضه ماهیدشت ۴۴۳۳ متر در نظر گرفته شد. بدین معنا که شناسایی نقاط داغ و سرد بر اساس تعداد چاه‌هایی صورت گرفته که در فاصله ۴۴۳۳ متری هر چاه قرار گرفته‌اند. این فاصله را نرم‌افزار بر اساس وسعت محدوده و تعداد عوارض (چاه‌های) موجود در آن برآورد می‌کند.

در حوضه ماهیدشت کمترین تعداد همسایه برای هر چاه در فاصله مذکور، ۱ و بیشترین تعداد، ۲۲۳ همسایه بوده است.



شکل ۵. پراکندگی فضایی نقاط داغ و سرد چاه‌ها در حوضه ماهیدشت بر اساس میزان تخلیه سالانه

عموماً در بخش‌های میانی و جنوبی حوضه واقع هستند. تعداد ۴۹۸ حلقه چاه با میانگین تخلیه سالانه حدود ۷۱۰۰۰ مترمکعب به لحاظ تشکیل نقاط داغ/سرد فاقد معنای آماری هستند که عموماً در سراسر حوضه پراکنده‌اند. همچنین، تعداد ۴۲۸ حلقه چاه با میزان تخلیه متوسط سالانه ۱۱۳۰۰۰ مترمکعب و میانگین‌های Z مثبت در گروه نقاط داغ قرار

طبق جدول ۶، تعداد ۶۶۷ حلقه چاه با میزان تخلیه متوسط سالانه حدود ۶۱۰۰۰ مترمکعب و میانگین‌های Z منفی در گروه نقاط سرد قرار می‌گیرند. از این تعداد، ۲۸۹ حلقه چاه در گروه نقاط سرد با درجه اطمینان ۹۹ درصد، ۱۸۱ حلقه چاه در گروه سرد با درجه اطمینان ۹۵ درصد و ۱۹۷ حلقه چاه در گروه نقاط سرد با درجه اطمینان ۹۰ درصد قرار گرفته‌اند که

۹۰ درصد قرار گرفته‌اند که عموماً در بخش‌های شمالی حوضه واقع هستند.

می‌گیرند. از این تعداد، ۳۷۴ حلقه چاه در گروه نقاط داغ با درجه اطمینان درصد، ۴۶ حلقه چاه در گروه داغ با درجه اطمینان ۹۵ درصد و ۸ حلقه چاه در گروه نقاط داغ با درجه اطمینان

جدول ۶. برخی از ویژگی‌های نقاط داغ و سرد بر اساس متوسط تخلیه سالانه

نوع کانون	درجه اطمینان	چاه	متوسط تخلیه سالانه (مترمکعب)	میانگین Z
سرد	%۹۹	۲۸۹	۵۳۱۴۴	-۴/۲۱
سرد	%۹۵	۱۸۱	۶۷۴۶۶	-۲/۱۸
سرد	%۹۰	۱۹۷	۶۳۰۸۱	-۱/۷۹
فاقد معنای آماری	فاقد معنای آماری	۴۹۸	۷۱۱۸۳	-۰/۷۱
داغ	%۹۰	۸	۱۴۶۳۵۶	۱/۸
داغ	%۹۵	۴۶	۷۲۸۷۴	۲/۲۹
داغ	%۹۹	۳۷۴	۱۱۹۷۵۱	۵/۶۵

بحث و نتیجه‌گیری

مستلزم صرف منابع بیشتر در پهنه‌های گسترده‌تر است. در چنین مواردی، الگوی پراکنده به عنوان الگویی نامطلوب تلقی شده و برنامه‌ریزان حوزه مربوطه آرزو خواهند کرد که توزیع بیماری به صورت مجتمع و خوشه‌ای باشد تا بهتر بتوانند به مقابله و مهار آن برخیزند. برعکس، با توجه به ماهیت منابع آب زیرزمینی و نحوه برداشت از آن‌ها، اگر عمق زیاد چاه و میزان تخلیه فراوان آن‌ها از الگوی پراکنده تبعیت کند می‌توان چنین تعبیر کرد که چاه‌های عمیق دارای فاصله کافی از همدیگر هستند و به صورتی متعادل در فضا پخش شده‌اند و برداشت از آب‌های زیرزمینی هم می‌تواند منطقی و معتدل باشد. اما با حاکمیت الگوی خوشه‌ای چنین تعبیر می‌شود که در فضاهای محدود و مشخصی تعداد فراوانی چاه عمیق با فواصل بسیار کم از همدیگر قرار دارند که به صورت پیوسته در حال تخلیه منابع آبخوان‌ها هستند و به لحاظ فضایی چنین الگویی، نامطلوب محسوب می‌شود.

در بررسی پیشینه تحقیق مشخص شد که تحلیل‌های آمار فضایی در مطالعات داخلی عمدتاً محدود به مطالعات راجع به بارش، رطوبت و خشکسالی بوده و کمتر مطالعه‌ای به ویژه در زمینه چاه به شیوه‌ای که در مقاله حاضر موردنظر است، به موضوع پرداخته است. با این همه، نتایج این پژوهش با مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۸۸) و رنجبرمنش و همکاران (۱۳۹۲) در زمینه انطباق مناطق بحرانی حوضه ماهیدشت از نظر افت سطح آب زیرزمینی هم‌جهت و منطبق است. در مقایسه با مطالعات خارجی نیز، نتایج پژوهش حاضر با مطالعه فرانکزیک

رشد سریع جمعیت در حوزه‌های شهری مجاور با حوضه آبریز ماهیدشت و نیاز روزافزون آن به مواد غذایی به همراه تغییرات اقلیمی سالیان اخیر باعث حفر بی‌رویه چاه و برداشت غیراصولی سالانه بیش از ۱۱۰ میلیون مترمکعب (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۸) از آب‌های زیرزمینی این حوضه شده است. در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی و تحلیل مکانی- فضایی الگوهای پراکندگی حاکم بر موقعیت و مقادیر این پدیده از برخی از تکنیک‌های آمار فضایی بهره گرفته شد. بکارگیری پنج تکنیک مختلف آمار فضایی نشان‌دهنده تغییر الگوی حاکم بر چاه‌های حوضه ماهیدشت و میزان عمق آن‌ها از حالت پراکنده به خوشه‌ای طی یک دوره پنجاه ساله است. نتایج مربوط به تحلیل خوشه و ناخوشه بر اساس عمق چاه، حاکی از بروز خوشه‌های زیاد-زیاد در بخش‌های شمالی حوضه منطبق با پهنه‌های بحرانی برداشت بی‌رویه آب، خوشه‌های کم-کم در مناطق میانی و جنوبی و ناخوشه کم-زیاد در قسمت شمالی حوضه است. تحلیل کانون‌های داغ و سرد بر اساس میزان تخلیه سالانه آب نیز نشان داد که کانون‌های داغ برداشت بی‌رویه در شمال و منتهی‌الیه شمال شرقی و کانون-های سرد در میانه حوضه واقع شده‌اند.

الگوی خوشه‌ای یا پراکنده حاکم بر پدیده‌ها می‌تواند بنا به ماهیت آن‌ها مثبت یا منفی تلقی شود. مثلاً اگر یک بیماری خاص از الگوی پراکنده پیروی کند به معنای پخش و گسترش آن در فضاها و عرصه‌های وسیع‌تری است که مقابله با آن

پژوهشی دارای اهمیت فراوان است، اما روندها و الگوهای فضایی موجود در داده‌ها به خودی خود قابل مشاهده و ردگیری نبودند. آشکارسازی این روندها و الگوها مستلزم استفاده از آمار فضایی بود که پژوهش حاضر تلاش خود را برای ترسیم، تجسم و مدل‌سازی آن‌ها به عمل آورده است. با اینحال، هم به لحاظ فضایی و هم توصیفی ایراداتی به داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر وارد است که بهتر است پژوهشگران آتی بدانها توجه لازم داشته باشند. مثلاً مختصات تعدادی از چاه‌ها فاقد دقت و صحت لازم بودند. در پژوهش حاضر، تعدادی از آن‌ها به کمک تصاویر ماهواره‌ای Bing و گوگل‌ارتث اصلاح شدند اما برای حصول اطمینان بیشتر لازم است دقت بیشتری اعمال شود. همچنین، تعدادی از ستون‌های جدول ویژگی‌های لایه چاه‌ها ناقص یا فاقد مقادیر مربوطه بودند. پژوهشگران آتی می‌توانند با توجه به این موارد بر میزان دقت و صحت کارهای خود بیفزایند و علاوه بر موارد مورد توجه در این تحقیق، به تجزیه و تحلیل سایر داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه بپردازند و یا کارهای میدانی مناسب انجام دهند.

با این همه، نوع داده‌ها، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر می‌تواند برای مدل‌سازی الگوهای حاکم بر پراکنندگی چاه‌های آب در سایر حوضه‌های استان کرمانشاه و سایر مکان‌ها توصیه شود و نتایج این پژوهش می‌تواند کارشناسان و برنامه‌ریزان امور آب استان کرمانشاه را در اتخاذ تصمیمات مناسبی که منجر به کاهش تخریب محیط و افزایش تعادل فضایی منطقه گردد، کمک کند.

تفاوت‌های آماری پدیده‌ها را می‌توان در قالب جداولی شامل مجموع، میانگین، میانه، انحراف معیار و سایر ویژگی‌های آن‌ها نشان داد. در تحقیق حاضر معلوم شد که میانگین‌های مربوط به عمق، دبی، کل ساعات کارکرد و تخلیه سالانه چاه‌ها در حوضه آبریز ماهیدشت بالاتر از میانگین‌های مربوط به کل استان کرمانشاه است. این آمارها با همه ارزشی که دارند قادر به نشان دادن تفاوت‌های ناشی از خودهمبستگی فضایی میان چاه‌ها نیستند. چنان تفاوت‌هایی را تنها به کمک آمار فضایی می‌توان آشکار ساخت. علی‌رغم جایگاه و قابلیت‌های فراوان آمار فضایی در مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل منابع آب زیرزمینی و برتری‌های محسوس آن در مقایسه با آمار کلاسیک، در مطالعات جغرافیایی ایران توجه ناچیزی به این حوزه شده است. تحقیق حاضر تلاش کرده تا ضمن اشاره به تعدادی از مطالعات خارجی مرتبط، جای خالی چنین پژوهش‌هایی را در مطالعات

و چانگ (۲۰۰۸) در زمینه تناسب و بکارگیری ابزارها و تکنیک‌های متداول در آمار فضایی برای شناسایی مناطق منطبق با کانون‌های داغ و سرد مصرف آب دارای شباهت‌های فراوان است.

هدف اولیه مطالعه حاضر به صورتی ساده اما فراگیر این بود تا به معرفی و کاربرد تحلیل فضایی-آماری در مطالعه منابع آب به منظور شناسایی مکان‌های مسأله‌دار در حوضه‌های آبریز بپردازد تا به سهم خود نشان دهد که به شرط دسترسی به داده‌های مورد نیاز می‌توان با صرف هزینه و زمان کم به نتایج قابل قبولی در مطالعات و تحلیل‌های فضایی منابع آب رسید. نتایج این پژوهش با کارهای کادن (کادن، ۱۹۹۳) و (سیرنتریز و همکاران ۱۹۹۶) که استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را یک فناوری مناسب، کم‌هزینه و دقیق برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی منابع آب در طول زمان می‌دانند، هم‌جهت است. با این حال، در این مطالعه برای انجام این مهم تنها از تعداد معدودی از ابزارها و تکنیک‌های رایج در آمار فضایی استفاده شد. قطعاً پژوهشگران بعدی می‌توانند با طرح مسائلی دیگر و بکارگیری ابزارهایی بیشتر به انجام پژوهش‌هایی متفاوت در باره منابع آب بپردازند. اگرچه مطالعه ماینالی و همکاران (ماینالی و همکاران ۲۰۱۹) عموماً به بررسی نگرش‌های آمار فضایی در رابطه با کیفیت آب پرداخته، اما برخی از نتایج پژوهش حاضر از جمله تأثیر وزن دهی (بر اساس عمق چاه یا میزان تخلیه سالانه) در جابجایی خوشه‌های فضایی با پژوهش نامبردگان منطبق است. در رابطه با ابزارهای مورد استفاده نیز، پژوهش حاضر بر خلاف مطالعه عدنان و اقبال (۲۰۱۴) که برای تحلیل فضایی کیفیت آب تنها به چهار ابزار مرکز میانگین، مرکز میانه، فاصله استاندارد و بیضی انحراف معیار اکتفا کرده‌اند، فراتر رفته و برای مدل‌سازی فضایی از تکنیک‌های پیشرفته‌تری استفاده کرده است.

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل یک جدول اکسل تهیه شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، حاوی ۱۵۹۳ ردیف برای چاه‌های حوضه ماهیدشت و ۱۳۲ ستون برای مقادیر مربوط به آن‌ها بود. اگرچه بیشتر این ویژگی‌های توصیفی مربوط به حوزه اداری و سازمانی هستند اما حاوی مواردی هم بودند که می‌توانست برای تحلیل‌های فضایی-آماری مورد استفاده باشند، از جمله: عمق چاه، سال حفر چاه، میزان دبی، میزان تخلیه سالانه، تعداد ساعات کارکرد سالانه، میزان PH و غیره، که در این پژوهش تعدادی از آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. این جدول اگرچه به لحاظ فنی و

داخلی نشان دهد.

در این مطالعه همچنین تلاش شد تا با استفاده از داده‌های فضایی و توصیفی مربوط به چاه‌های حوضه آبریز ماهیدشت در استان کرمانشاه به تبیین و مدل‌سازی الگوهای حاکم بر پراکندگی آن‌ها بر اساس پنج تکنیک کلیدی رایج در آمار فضایی پرداخته شود. این تکنیک‌ها عبارت بودند از: میانگین نزدیک‌ترین همسایه، آمار عمومی جی، شاخص موران آی، ترسیم خوشه و ناخوشه و تبیین کانون‌های داغ/سرد. حاصل بکارگیری هر کدام از این تکنیک‌ها گامی در جهت مدل‌سازی الگوهای حاکم بر پراکندگی چاه‌ها بر مبنای پاره‌ای از ویژگی‌های آن‌ها از جمله عمق و میزان تخلیه سالانه است.

نتایج بکارگیری تکنیک میانگین نزدیک‌ترین همسایه در مطالعه حاضر نشان داد که الگوی حاکم بر پراکندگی چاه‌های کشاورزی در حوضه ماهیدشت به لحاظ موقعیت از نوع خوشه-ای است. نتایج همچنین نشان دادند که همزمان با افزایش تعداد چاه در طول زمان، عمق آن‌ها نیز بیشتر شده و با استناد به این ویژگی، شاخص موران نشان می‌دهد که هم الگوی حاکم بر موقعیت چاه‌ها و هم الگوی حاکم بر ویژگی‌های آن‌ها (عمق) در طول زمان از پراکنده و تصادفی به سمت خوشه‌ای تغییر کرده است.

با احتساب عمق چاه به عنوان «وزن» اقدام به شناسایی الگوهای مبتنی بر مقادیر مربوط به چاه‌های کشاورزی با استفاده از آماره عمومی G شد. این تکنیک بر مبنای آستانه فاصله‌ای ۱۱۰۰ متر (متناسب با وسعت حوضه و تعداد چاه‌های حفر شده در آن) اجرا و نتایج آن ضمن رد فرض صفر، نشان داد که الگوی خوشه‌ای بر «مقادیر زیاد» حاکم است. همچنین برای نشان دادن الگوی پراکندگی چاه‌های حوضه ماهیدشت بر مبنای موقعیت و یکی از ویژگی‌های آن‌ها (عمق چاه) طی دهه‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ از شاخص موران آی استفاده شد و مشخص شد که در طی زمان، از الگوی پراکنده یا تصادفی حاکم بر چاه‌های این حوضه به خوشه‌ای تغییر کرده است.

در ترسیم نقشه خوشه و ناخوشه‌ها نیز این نتیجه حاصل شد که تعداد ۴۵۲ چاه (معادل ۲۸ درصد کل چاه‌های حوضه) در خوشه زیاد-زیاد (HH) قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده احاطه چاه‌های با عمق زیاد توسط چاه‌های با عمق مشابه خود است. این خوشه‌ها عموماً با پهنه‌های بحرانی برداشت بی‌رویه آب منطبق هستند. تعداد ۶۳۴ چاه (۴۰ درصد) نیز در خوشه کم-کم (LL) قرار دارند که نشان‌دهنده احاطه چاه‌های با عمق کم

توسط چاه‌های با عمق مشابه خود است.

بالاخره نتایج مربوط به مدل‌های نقاط داغ و سرد نشان داد که اگرچه عمیق‌ترین چاه‌ها در قسمت‌های شمالی‌تر حوضه قرار گرفته‌اند، اما بیشترین تخلیه مربوط و منطبق با مناطقی است که کمی پایین‌تر از محدوده چاه‌های با عمق زیاد قرار دارند. این بدان معناست که اگرچه برداشت بی‌رویه در قسمت‌های شمالی‌تر باعث عمیق‌تر شدن چاه‌ها شده است، تخلیه بیشتر از طریق چاه‌هایی انجام می‌گیرد که بر روی قسمت اصلی آبخوان قرار گرفته‌اند. این نشان می‌دهد که فرض بحرانی شدن محدوده به علت توالی زنجیره‌ای که شامل ازدیاد تعداد جمعیت منطقه و به تبع آن افزایش تعداد چاه در طول زمان، پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، نیاز به عمیق‌تر کردن چاه‌ها و در نتیجه برداشت بی‌رویه بیشتر درست به نظر می‌رسد. یکی از راه‌های مناسب برای مدل‌سازی چنین زنجیره‌ای بکارگیری تکنیک‌های آمار فضایی است که پژوهش حاضر تلاشی هر چند اندک در این زمینه بود.

سپاسگزاری

بی‌شک اگر همکاری‌های شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه بویژه جناب آقای والی عنایتی و همکاران محترم ایشان در تهیه و ارائه داده‌های موردنیاز نبود، این پژوهش به سرانجام نمی‌رسید. بدین وسیله از همکاری‌های صمیمانه ایشان سپاسگزاریم.

منابع

- استاندارداری کرمانشاه (۱۳۹۶). گزارش طرح آمایش سرزمین: تحلیل نظام سکونتگاهی استان کرمانشاه و ساختار فضایی آن، مجلد ۱. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه.
- اعتمادیان، الهه و دوستان، رضا (۱۳۹۶). تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴ (۱)، ۱۷-۳۲.
- بیات، باقر، متکان، علی‌اکبر، رحمانی، بیژن و عربی، بهناز (۱۳۹۰). برنامه‌ریزی جامع کاربری اراضی و آمایش سرزمین در حوضه‌های آبریز شهری با استفاده از GIS مطالعه موردی: حوضه آبریز ماهیدشت. فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، ۱۳، ۱۱۹-۱۳۵.
- حجازی‌زاده، زهرا و جوی‌زاده، سعید (۱۳۹۸). تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم

- خرم‌آباد، ۱۹ (۵۳)، ۲۵۱-۲۷۷.
- خرسروی، خه‌بات، صفری، عطا، حبیب‌نژادروشن، محمود، کریمی، سعید و فرهودی، محمدحسن (۱۳۹۱). کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات منابع آب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بنادک سادات، استان یزد). مجموعه مقالات سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک، شهریور ۹۱، ۱۲۲-۱۲۸.
- خیابانی، ناصر، باقری، سروش و بشیری‌پور، امیر (۱۳۹۶). الزامات اقتصادی مدیریت منابع آب. آب و فاضلاب، ۱، ۴۲-۵۶.
- دادرش، بیژن و رستمی، شاه‌بختی (۱۳۹۸). مقدمه‌ای بر کاربرد آمار فضایی و GIS در برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه پیام‌نور. جزوه درسی دوره کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. قابل دسترس در آدرس: <http://pnu.ac.ir/sp108/portal/home/?738539/%D8%AC%D8%B2%D9%88%D9%87-%D9%87%D8%A7>
- رنجبرمنش، نسرين، انتظاری، مژگان و رامشت، محمدحسین (۱۳۹۲). بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکنیکی در دشت ماهیدشت. دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱ (۲)، ۱-۱۸.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه (۱۳۹۸). آمار چاه‌های استان کرمانشاه. فایل اکسل ۱۳۹۸.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۸). سامانه ارائه آمار و گزارش‌های مطالعات پایه منابع آب. آمار و اطلاعات. قابل دسترس از: <http://www.wrm.ir>
- علیجان، بهلول و بابایی، ام‌السلمه (۱۳۸۸). تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای. پیش‌شماره پاییز و زمستان ۱۳۸۸، ۱۰۹-۱۲۱.
- فلاح قالهری، غلام‌عباس، اسدی، مهدی و داداشی‌رودباری، عباسعلی (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷ (۴)، ۶۳۷-۶۵۰.
- Alijani, B., & Babaie, O. (2009). Spatial analysis of short-term droughts in Iran. *Geography and Regional Planning I(1)*: 109-121 (In Persian)
- Anirudh, R. & Giridhar, M. V. S. S. (2015). Spatial Analysis of Surface Water Bodies Quality using
- کریمی، زینب، پرهمت، جهانگیر، حیدری‌زاده، مجید و عبده-کلاه‌چی، عبدالنبی (۱۳۹۱). بررسی تاثیر آب‌های سطحی بر روی سطح آب زیرزمینی ماهیدشت. فصلنامه زمین، ۷ (۲۳)، ۶۳-۷۸.
- کیانی، طیبه، صفاکیش، فریده و لطفی، منیره (۱۳۹۷). ارزیابی پتانسیل‌های فرسایشی حوضه ماهیدشت با استفاده از مدل اسلما. فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۹ (۲)، ۵۴-۶۸.
- گرگانی، شهرام، بافکار، علی و فاطمی، سید احسان (۱۳۹۶). پیش‌بینی استعداد آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص دراستیک و تحلیل سری‌های زمانی سالانه (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت کرمانشاه). فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۱۰ (۳)، ۳۱۷-۳۲۸.
- محمدپورزیدی، علی، علیجان، بهلول، سلیقه، محمد و گرامی، محمدصالح (۱۳۹۸). تحلیل فضایی بارش استان مازندران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۲۵)، ۱-۲۰.
- محمدزاده، محسن (۱۳۸۵). آشنایی با آمار فضایی. نشریه دانشجویی آمار (ندا)، ۴ (۲)، ۱-۱۲.
- مرکز آمار ایران (۱۳۴۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن. تهران: مرکز آمار ایران.
- مرکز آمار ایران (۱۳۵۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن. تهران: مرکز آمار ایران.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن. تهران: مرکز آمار ایران.
- ملکی، امجد، حصادی، همایون و نادریان، پروین (۱۳۸۸). مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان حوضه آبریز مرگ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۹۲ (۹۲)، ۵۳-۷۸.
- یاراحمدی، داریوش، حلیمی، منصور و زارعی‌چقابلکی، زهرا (۱۳۹۴). تحلیل فضایی بارش ماهانه شمال غرب ایران با استفاده از آماره خودهم‌بستگی فضایی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷ (۳)، ۴۵۱-۴۶۴.
- Adnan, S. & Iqbal, J. (2014). Spatial analysis of the groundwater quality in the Peshawar district, Pakistan. *12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013. ScienceDirect. Procedia Engineering. 70.* 14-22.

- GIS.HYDRO 2015 International IIT, 20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering. Roorkee, India, 17-19 December, 2015.
- Anselin, Luc. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA, *Geographical Analysis* 27(2), 93–115.
- Azizpour, F., & Shamsi, R. (2014). The role of environmental factors in the spatial organization of rural settlements Case study: Lavasan Kouchak village. *Sepeh Journal*, 23(89), 106-112. (In Persian)
- Bajjali, W. (2018). *ArcGIS for Environmental and Water Issues*. Springer International Publishing.
- Bayat, B., Matkan, A., Rahmani, B., & Arabi, B. (2011). Comprehensive land use planning and landscaping in urban catchments using GIS, Case study: Mahidasht watershed. *Geographical Quarterly Journal of Environmental Management*, 3, 119-135 (In Persian)
- Dadras, B., & Rostami, Sh. (2019). *Introduction to the application of spatial statistics and GIS in urban planning*. PUU. Textbook of Master's degree in geography and urban planning. Available from the site; <http://pnu.ac.ir/sp108/portal/home/?738539/%D8%AC%D8%B2%D9%88%D9%87-%D9%87%D8%A7>
- Ebdon, David. *Statistics in Geography*. Blackwell, 1985.
- Etemadian, E., & Doostan, R. (2017). Spatial analysis of Iranian heat waves. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 1(4), 17-32. (In Persian)
- Falah Ghalhari, Gh., Asadi, M., & Dadashi Roudbari, A. (2015). Spatial analysis of moisture distribution in Iran. *Natural Geographical Research*, 4(47), 637-650. (In Persian)
- Franczyk, J., & Chang, H. (2008). Spatial Analysis of Water Use in Oregon. *Springer Water Resour Manage*, 23, 755-774.
- Getis, Arthur., and J. K. Ord. "The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics." *Geographical Analysis* 24, no. 3. 1992.
- Glavan, M., Cvejic, R., Tratnik, M., & Pintar, M. (2010). Geospatial Analysis of Water Resources for Sustainable Agricultural Water Use in Slovenia. (*Book Chapter*), available from: <http://dx.doi.org/10.5772/53528>
- Goodchild, Michael F. (1986). *Spatial Autocorrelation*. Catmog 47, Geo Books.
- Gorgani, Sh., Bafkar, A., & Fatemi, S. E. (2017). Prediction of groundwater pollution potential using the DRASTIC index and annual time series analysis (Case study: Plain of Mahidasht Kermanshah). *Iranian Journal of Health and Environment*. 10(3): 317-28 (In Persian)
- Griffith, Daniel. (1987). *Spatial Autocorrelation: A Primer*. Resource Publications in Geography, Association of American Geographers.
- Hejazizadeh, Z., & Javizadeh, S. (2019). Spatial statistics analysis of drought in Iran. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 53(19), 251-277. (In Persian)
- Iran Water Resources Management Company (2019) GIS layer of watersheds. Available from: <http://www.wrm.ir/>
- Kaden, O. S. (1993). GIS in water-related environmental planning and management: problems and solutions. *HydroGIS 93: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources (Proceedings of the Vienna Conference, April 1993)*. IAHS Publ. 211, 385-397.
- Karimi, Z., Porhemat, J., Heydarizadeh, M., & Abdeh-Kolahchi, A. (2012).

- Interaction of groundwater and surface water in Mahidasht aquifer. *The Earth Quarterly*, 23(7), 63-78. (In Persian)
- Kermanshah Governor's Office (2019) Digital format of different layers. Spatial Planning Office. received by formal request from Qom University.
- Khiabani, N., Bagheri, S., & Bashirpour, A. (2016). Economic requirements for water resources management. *Journal of Water and Wastewater*, (1), 42-56.
- Khosravi, Kh., Safari, A., Habibnezhad Roshan, M., Karimi, S., & Farhoudi, M. (2012). Application of geographic information system (GIS) in water resources studies (Case study: Banadak Sadat watershed, Yazd province). In: Proc. of *Third National Conference against Desertification and Sustainable Development of Iranian Desert Wetlands* (2012), 16-17 September, Arak, Iran, 122-128 (In Persian)
- Kiani, T., Safakish, F., & Lotfi, M. (2018). Evaluation of erosion potentials of Mahidasht catchment using Aslamsa model. *Quarterly Journal of Geography and Environmental planning*, 29(2), 54-68.
- Mainali, J. Chang H. & Chun, Y. (2019). A review of spatial statistical approaches to modeling water quality. First Published June 26, 2019 *Research Article*. <https://doi.org/10.1177/0309133319852003>
- Maleki, A., Hesadi, H., & Naderian, P. (2009). Location of artificial feeding of Merregg watershed. *Journal of Geographic Research*, 53-78.
- McGrew, C., Lembo, A., & Monroe, C. (2014). *An introduction to statistical problem solving in geography (3rd ed)*, Waveland Press, Inc.
- Mitchell, Andy. *The ESRI Guide to GIS Analysis*, Volume 2. ESRI Press, 2005.
- MohammadPour Zeydi, A., Alijani, B., Saligheh, M., & Gerami, M. S. (2019). Spatial analysis of precipitation in Mazandaran province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 19(52), 1-20. (In Persian)
- Mohammadzadeh, M. (2006). Getting to know Spatial statistics. *Students journal of statistics(Neda)*. 4(2), 1-12.
- Noori, S. H. (2000). Spatial analysis in agricultural geography. *Geographical research*, 39, 110. (In Persian)
- Ord, J.K., & Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application" in *Geographical Analysis* 27(4).
- Ranjbarmanesh, N., Entezari, M., & Ramesht, M. (2013). Crisis caused by groundwater drop due to tectonic activity in Mahidasht plain. *Two Quarterly Journal of Practical Geomorphology in Iran*, 2(1), 1-18. (In Persian)
- Roustaei, Sh., Naimi, K., & Mahmoudi, S. (2016). Spatial analysis of educational inequalities and its role in urban social sustainability with spatial statistics methods (Case study: Saez city). *Quarterly Journal of Welfare and Social Development Planning*, 26(7), 61-99. (In Persian)
- Shin, HS., Salas, J.D. (2000). Spatial Analysis of Hydrologic and Environmental Data Based on Artificial Neural Networks. In: Govindaraju R.S., Rao A.R. (eds) *Artificial Neural Networks in Hydrology*. Water Science and Technology Library, vol 36. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9341-0_14.
- Soleimani, A., Afrakhteh, H., Azizpour, F., & Tahmasebi, A. (2016). Spatial analysis of the adaptive capacity of rural settlements in Ravansar county in the face of drought. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(3), 65-78. (In Persian)

- Statistical Center of Iran. (1976). General Census of Population and Housing. Available from: <https://www.amar.org.ir/english>
- Statistical Center of Iran. (2016). General Census of Population and Housing. Available from: <https://www.amar.org.ir/english>
- Tobler, W.R., (1970), A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, Vol. 46, PP. 234–240.
- Tsihrintzis, V.A., Hamid, R. & Fuentes, H.R. (1996). Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: A review. *Water Resour Manage* 10, 251–277. <https://doi.org/10.1007/BF00508896>
- United States Geological Survey, (USGS). (2019). Digital Elevation Model. Available from: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- West Water Company of Kermanshah Province, (2019). Data of wells, springs, Qanats and rivers of Mahidasht watershed. In Excel format, received by formal request from Qom University.
- Yarahmadi, D., Halimi, M., & Zarei Choghabaleki, Z. (2015). Spatial analysis of rainfall in northwestern Iran using spatial self-correlation statistics. *Natural Geography Research*, 3(47), 451-464. (In Persian)
- Zangi Abadi, A., & Rahimi Nader, H. (2010). Spatial analysis of crime in Karaj (Using GIS), *Journal of law Faculty of Law and Political Science*, 40(2), 179-198. (In Persian)
- Zarafshani, K., & Saadvandi, M. (2017). Determining Agricultural Water Poverty Index in Kermanshah Province: The Case of Mahidasht Basin, Iran. *J. Agr. Sci. Tech*, 19, 541-552.