

بررسی روند تغییرات زمانی - مکانی شوری آب زیرزمینی با تحلیل‌های نقاط داغ و برون هشتگی در دشت میاندوآب

ساناز جوانمرد^{۱*}، بهزاد حصاری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹)

چکیده

آب‌های زیرزمینی به عنوان بخش مهمی از منابع آب در مناطق خشک متأثر از عوامل انسانی و اقلیمی است. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات ناحیه‌ای کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان آن را به صورت مؤثرتری مدیریت کرد. روش‌های سنتی تحلیل داده نقطه‌ای نمی‌توانند به‌تنهایی و با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرند، لذا استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل‌های زمین آماری و خوشه‌بندی راه‌حل مناسبی برای بررسی ناحیه‌ای پدیده‌های هیدروکلیمایی است. توزیع نرمال مکانی و نقاط برون هشته را می‌توان با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌های فضایی که داده‌ها را به گروه‌های همگن و نقاط داغ تقسیم می‌کند، ارزیابی کرد. این تحلیل‌ها تعیین می‌کند که در چه موقعیتی عوارض با ارزش خوشه‌بندی بالا یا پایین وجود دارند. در این مطالعه به بررسی نقاط داغ شوری آب زیرزمینی در دشت میاندوآب و شبکه زیرنه‌رود پرداخته شده است. برای رسیدن این هدف، از آمار شوری ۳۲ چاه واقع در شبکه زیرنه‌رود و در بازه زمانی سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ استفاده شده است. آزمون‌های G^* و Moran برای بررسی موقعیت مکانی نقاط با ارزش بالا و نقاط داغ خوشه‌ای و داده‌های برون هشته معنی‌دار (خارج از حد) استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نقاط داغ در قسمت‌های غرب و شمال غربی شبکه مورد مطالعه واقع شده‌اند. تغییرات مساحت خوشه‌های مستعد شوری با آزمون من کندال در طی زمان ارزیابی گردید و نتایج نشان داد سطح این اراضی در سال‌های اخیر روبه افزایش بوده است که می‌تواند هشدار در زمینه افزایش مقادیر آلاینده در طی سال‌های اخیر، خشک‌سالی‌ها و سیاست‌های انقباضی مدیریت آب‌های سطحی در حاشیه دریاچه ارومیه باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب مورانز، پراکنش نرمال مکانی، EC، دریاچه ارومیه

جوانمرد س، حصاری ب. ۱۴۰۱. بررسی روند تغییرات زمانی - مکانی شوری آب زیرزمینی با تحلیل‌های نقاط داغ و برون هشتگی در دشت میاندوآب. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۴. صفحه: ۱۰۶-۱۱۹.

۱- دانشجوی دکترای منابع آب گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: sanaz.javanmard_1988@yahoo.com

مقدمه

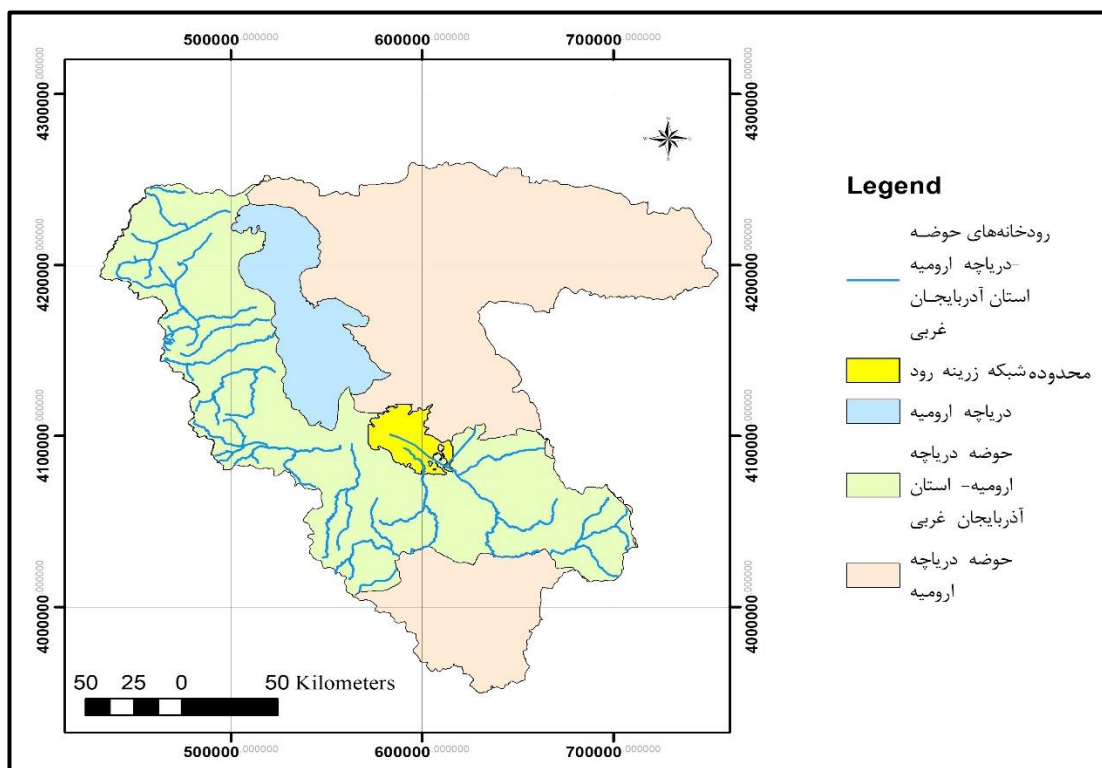
پراکنش مکانی را می‌توان با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌های فضایی که داده‌ها را به گروه‌های همگن تقسیم می‌کند، ارزیابی کرد. روش‌های خوشه‌بندی فضایی، با توجه به موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌ها و روابط فضایی آن‌ها، میزان همبستگی مکانی بین ویژگی‌ها را ارزیابی و اهمیت آماری خوشه‌های شناسایی شده را کمی می‌کنند (Peeters *et al.*, 2015). سلطانی محمدی و همکاران (Soltani Mohammadi *et al.*, 2018) کاربرد شاخص خود همبستگی فضایی موران را در تحلیل فضایی- زمانی آلاینده PM_{2.5} در مورد هوای شهر تهران و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند. در این تحقیق با تعیین لکه‌ها نشان داده شد که غلظت این آلاینده از شمال به جنوب تهران روند افزایشی دارد. همچنین لکه‌های داغ در دو فصل سرد بیشتر شناسایی شدند. علی‌آبادی و داداشی (AliAbadi & Dadashi, 2015) به بررسی تغییرات الگوهای خود همبستگی فضایی دمای بیشینه ایران پرداختند. بررسی‌های ساختار دمای ایران با استفاده از روش خوشه‌ها و نا خوشه‌ها نشان داد که در ماه‌های سرد همگنی دمای حداکثر کشور کاهش و در ماه‌های گرم همگنی دمای حداکثر کشور افزایش می‌یابد. بر اساس شاخص لکه‌های داغ، دمای حداکثر در کرانه‌های ساحلی دریای خزر، بخش‌های غرب و شمال غرب و شمال شرق کشور دارای خود همبستگی فضایی منفی و بخش‌هایی از نواحی مرکزی و همچنین بخش‌هایی از جنوب شرق کشور و نواحی مرکزی دارای خود همبستگی فضایی مثبت بوده است. کوراک و همکاران (Kurunk *et al.* 2011) در تحقیقی به شناسایی لکه‌های داغ نیترات شستگی در یک منطقه وسیع بر اساس بافت خاک و نوع محصول پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده شش لکه داغ شناسایی شد که عموماً دارای سطح ایستایی بالایی بودند و خاک مناطق شنی بود و تحت کشت گندم آبی و پنبه قرار داشتند. سابق بر این پهنه بندی آب‌های زیرزمینی مبتنی بر گراف‌ها و آستانه‌های معین برای تناسب مصرف‌کننده بوده است. مثلاً نمودار ویلکوکس^۱ چهار طبقه خوب، مناسب، قابل قبول و بد را برای بررسی شوری در مصرف

آب به عنوان یک منبع تجدیدشونده، همواره رکن اصلی توسعه بوده است. با ازدیاد جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز آب در بخش‌های کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و نهایتاً افزایش تولید و ایجاد پتانسیل‌های آلودگی، فشار زیادی به منابع آبی وارد می‌شود. در اغلب نقاط جهان، منابع آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی هستند. با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و افزایش نیاز آبی جوامع بشری، ذخیره این آب‌ها رو به کاهش است. از این رو نگهداری این منابع ضروری بوده و جلوگیری از آلودگی آن‌ها دارای اهمیت زیادی است (Pourkhabaz *et al.*, 2017). آب‌های زیرزمینی به عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید پذیر اکوسیستم به حساب می‌آیند و در مقایسه با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر هستند (Mohammadyari *et al.*, 2016). سابقه پهنه بندی تغییرات کیفیت آب در سامانه اطلاعات جغرافیایی به حدود ۳۰ سال برمی‌گردد. (Dhayachandhran & Jothilakshmi, 2020). با پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی و نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان نوع مصرف آن را مشخص نمود. کشور ایران از نظر وضعیت آب جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. یکی از خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان بالای نمک در خاک و آب مورد استفاده برای کشاورزی است. لذا علاوه بر تخمین کمیت، کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز پیش شرط مهمی در بهره‌برداری از این منابع است (Mohammadyari *et al.*, 2016). با توجه به افزایش حجم داده‌ها ماهیت رقومی آن‌ها و توسعه کاربردها و تحلیل‌های مورد نیاز روش‌های سنتی تحلیل داده مکانی، مانند روش‌های آماری، نمی‌توانند به تنهایی و با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرند. از این رو استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی راه‌حل مناسبی برای تحلیل اطلاعات مفید از داده‌های مکانی است (Nakhaei *et al.*, 2014).

زیرینه نام رودی است که در شمال غربی ایران و در جلگه جنوبی دریاچه ارومیه قرار دارد. این رود با طول ۲۴۰ کیلومتر و میانگین آب دهی ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون مترمکعب یکی از طول‌ترین و پرآب‌ترین رودهای شمال غرب ایران است که شاخه اصلی آن از کوه‌های منطقه خورخوره سقز و کوه‌های مرزی میان ایران و عراق و کوه‌های چهل چشمه کردستان پس از گذر از شهرستان سقز وارد رود زیرینه می‌شود. با سیراب کردن دشت زیرینه شهرستان شاهین‌دژ وارد شهرستان میاندوآب شده و در جنوب دریاچه ارومیه با تشکیل یک دلتای بزرگ در مراتع باتلاقی تالاب قره‌قشلاق به دریاچه ارومیه می‌ریزد. دشت میاندوآب دارای وسعتی برابر ۸۵۰۰۰ هکتار است. پتانسیل آب زیرزمینی این دشت ۴۰ میلیون مترمکعب است (۱). شکل ۱ موقعیت حوضه زیرینه‌رود را نشان می‌دهد.

آب آبیاری کشاورزی با آستانه ۲۵۰، ۷۵۰، ۱۲۵۰، ۲۵۰۰ دسی‌زیمنس بر متر ($\mu\text{s cm}^{-1}$) ارائه داده است. این مقاله سعی دارد مفهوم جدید توزیع نرمال مکانی داده‌ها بدون لحاظ آستانه کیفیت آب و همچنین اثر ارتباط نقاط مجاور در تشکیل خوشه‌های نقاط داغ در کیفیت آب را مورد بررسی قرار داده و همین‌طور روند ناحیه‌ای نقاط داغ^۱ با استفاده از روش‌های زمین‌آمار^۲ و مقایسه روند این سطوح داغ در طی سال‌های مختلف را بررسی کند. درنهایت به بررسی ارتباط این روند با مبحث بارش و زمان اعمال سیاست‌های انقباضی مصرف آب سطحی در شبکه می‌پردازد تا معنی‌دار بودن یا نبودن این سیاست‌ها را بر نرسیدن آب به انتهای شبکه و افزایش نقاط داغ بررسی کند.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه



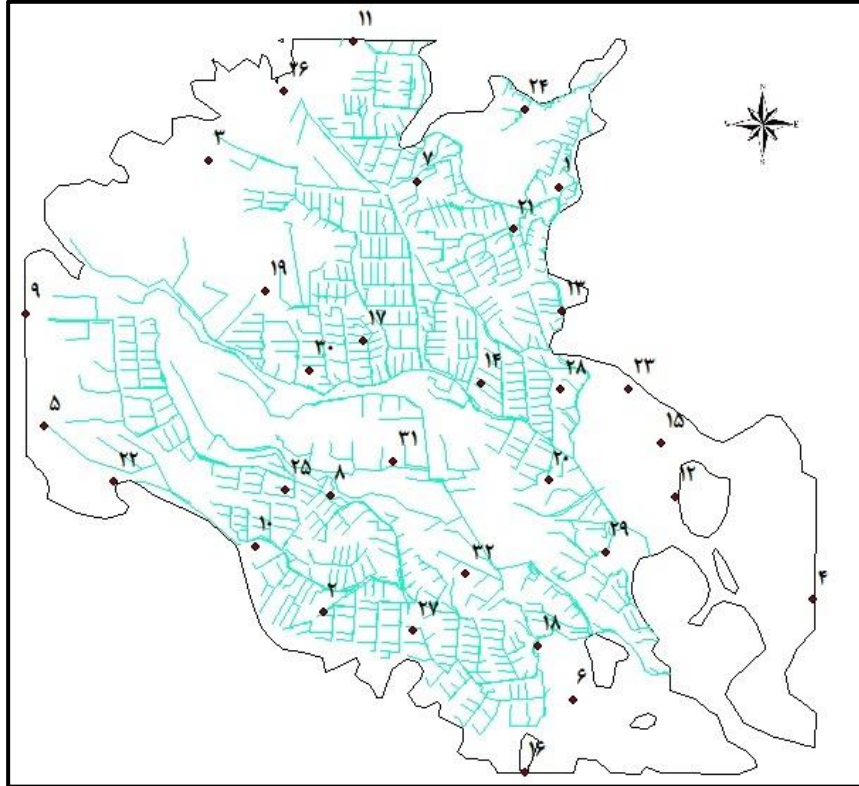
شکل ۱- موقعیت حوضه مورد مطالعه در داخل حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Figure 1. Location of the study basin inside the catchment area of Lake Urmia

داده‌های تحقیق

کل چاه‌ها در طی دوره آماری برابر ۱۸۸۰ ، مقدار حداقل ثبت شده ۱۱۰ و حداکثر ثبت شده برابر ۲۵۲۶۰ با انحراف معیار برابر $2156 \mu\text{scm}^{-1}$ و ضریب تغییرات ۱.۱۴ بوده است.

برای انجام این مطالعه از آمار هدایت الکتریکی آب ۳۲ چاه واقع در شبکه زرينه‌رود و در بازه زمانی سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ استفاده شده است. شکل ۲ موقعیت چاه‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. میانگین شوری



شکل ۲- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Location of sampled wells in the study area

شناسایی نقاط داغ به روش تفسیر بصری، روش رسم در نقشه یا منحنی، روش همبستگی مکانی و روش تحلیل خوشه‌ای انجام می‌گیرد.

تحلیل خوشه‌بندی نقاط داغ و تحلیل برون هشتگی (نقاط خارج از حد^۲) به منظور ارائه مجموعه‌ای از ارزش عوارض مورد استفاده قرار می‌گیرد، بدین ترتیب که موقعیت‌هایی که در آن خوشه‌بندی فضایی، ارزش‌ها شدت و ضعف دارد و همچنین ویژگی‌هایی که ارزش آن‌ها بسیار متفاوت از سایر موقعیت‌هاست مشخص می‌گردد؛ و نهایتاً آن‌ها را به صورت خوشه‌های دارای ارزش بالا (نقاط داغ) و دارای ارزش پایین (نقاط سرد)

تحلیل نقطه داغ

آمار فضایی^۱ دارای آنالیزهای توزیع فضایی، الگوهای فضایی، فرایندهای فضایی و روابط فضایی است. اگرچه احتمالاً شباهت‌هایی در مفهوم و اهداف ما بین آمار فضایی و آمار کلاسیک وجود دارد ولی آمار فضایی مخصوص تحلیل داده‌های جغرافیایی بسط یافته است اصطلاح نقطه داغ برای بیان موقعیت مکانی نقاط دارای فراوانی و مقدار بالای وقوع عنصر مورد نظر، تعریف می‌شود. یک نقطه داغ ممکن است به تنهایی در یک موقعیت معین قرار داشته باشد و یا به صورت مجموعه‌ای وابسته به سایر نقاط قرار گیرد. آنالیز و

2. Outlier analysis

1. Spatial Statistics

دیگر رد می‌شود یا نه. رنگ آبی (نقاط سرد) و رنگ قرمز (نقاط داغ) بر اساس امتیاز Z تعیین می‌شود. مقدار P-value یک احتمال است که معنی‌داری خود همبستگی فضایی و قرارگیری در یک خوشه را نشان می‌دهد برای ابزار تحلیل الگو، آن احتمالی است که در الگوی فضایی مشاهدات، با فرایندهای تصادفی ایجاد می‌شود. وقتی p-value خیلی کوچک است الگوی فضایی مشاهدات نتیجه فرایندهای تصادفی است و فرض صفر می‌تواند رد بشود. امتیازات Z همان انحراف معیارها هستند. هم امتیازات Z و هم مقدار P با توزیع نرمال مرتبط هستند. مقدار مثبت I نشان می‌دهد که یک عارضه دارای همسایه با خصوصیات مشابه بالا یا پایین است که این عارضه قسمتی از یک خوشه است. مقدار منفی I نشانگر این است که یک عارضه دارای همسایه‌هایی با رفتار مشابه نیست و این عارضه یک مورد خارج از حد یا دهشت است هم‌زمان مقدار P عارضه بایست آن‌قدر کوچک باشد تا به‌طور معنی‌داری یک خوشه یا نقطه خارج از حد باشد. توجه شود شاخص موضعی I یک معیار نسبی بوده و می‌تواند در داخل امتیازات محاسباتی Z یا P-value تفسیر گردد (Hessari, 2015). برای انجام تحلیل Hot Spot از نرم‌افزار ArcGIS و روش G_i^* Getis-Ord استفاده شد. بعد از به دست آمدن نقاط داغ مربوط به آمار هر سال نسبت به کل داده‌های هر ایستگاه، مقادیر z-score مربوطه در ۹ گروه طبقه‌بندی و با استفاده از روش درون‌یابی IDW، مساحت مربوط به هر کدام برای هر سال آماری مورد مطالعه محاسبه گردید.

تحلیل روند

تحلیل روند برای بررسی تغییرات افزایشی یا کاهش‌ی پدیده‌های هیدروکلیمایی در طی زمان و به صورت آماری بکار گرفته می‌شود. آزمون نا پارامتری من‌کندال که توسط Mann (۱۹۴۵) مطرح و توسط Kendall (۱۹۷۵) تکمیل شده است، بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرهاست که

نمایش می‌دهد. این تحلیل بر اساس رابطه جی استار^۱ ۱ محاسبه می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} \bar{x} - \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (1)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (3)$$

که در آن: n تعداد کل عوارض، i عارضه یا نقاط اندازه‌گیری، x ویژگی عارضه (پارامتر کیفی)، S انحراف معیار \bar{x} میانگین ویژگی مورد نظر، $w_{i,j}$ وزن فضایی مابین ویژگی عارضه است. G_i^* یا G_{Bin} یک مقدار از امتیاز Z نرمال را ارائه می‌دهد و بزرگی آن، نقطه داغ معنی‌دار را نشان می‌دهد.

نتیجه به‌کارگیری مدل تحلیلی تعیین خوشه‌بندی نقاط داغ و برون هشتگی (خارج از حد)، مبین این خواهد بود که نواحی از نظر کیفیت به چند خوشه یعنی دارای ارزش بالا، دارای ارزش پایین و سایر نواحی قابل طبقه‌بندی است. نواحی دارای ارزش بالا به عنوان نواحی که تعداد بیش‌تری از آلاینده‌ها در آن‌ها واقع شده‌اند، شناخته می‌شوند. در این قسمت از شاخص آمار موضعی آی-مورانز^۲ برای خود همبستگی فضایی^۳، استفاده می‌شود (رابطه ۴).

(۴)

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X})$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}^2}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (5)$$

در روش آی-مورانز بدون در نظر گرفتن شاخص، استاندارد یا حد مجاز یک پارامتر و فقط از روی امتیازدهی نقاط مشاهده‌شده، تجمع و گروه‌بندی عارضه نشان داده می‌شود. این ابزار خوشه‌های مقادیر حداکثر Hot Spot و مقادیر حداقل Cold Spot را به‌طور آماری تعیین و سطوح معنی‌داری آن‌ها از نظر مقادیر آماری را به صورت امتیاز Z یعنی Z-score و مقادیر P یعنی P-value برای هر عارضه‌ای در اختیار می‌گذارد. امتیاز Z (خروجی G_i^*) و مقدار P-value (خروجی I مورانز) معیار سطح معنی‌داری آماری است که می‌گوید آیا فرض صفر از هر عارضه‌ای به عارضه

1. Getis-Ord G_i^*
2. Moran's I
3. Spatial Autocorrelation

ScatterPlot Matrix (نمودار پراکندگی شبکه‌ای یا ماتریسی) و در نرم‌افزار ArcMap بررسی شد. نمودار پراکندگی شبکه‌ای (ماتریسی) از نمودارهای پراکندگی است که برای تجسم روابط متغیر بین ترکیب متغیرها استفاده می‌شود. هر نمودار پراکندگی در ماتریس رابطه بین یک جفت متغیر را تجسم می‌بخشد و اجازه می‌دهد بسیاری از روابط در یک نمودار بررسی شود.

نتایج و بحث

شکل ۳ پراکنش زمانی آمار مورد استفاده را نشان می‌دهد. بر اساس شکل وجود روند در سال‌های انتهایی دوره آماری مورد مطالعه مشهود است چرا که در سال‌های انتهایی نقاط واقع در نمودار از حالت پراکنده خارج شده و به صورت خط درآمدند.

ارتباط فضایی و مکانی هر چاه با همدیگر در طی سال‌های آماری داده برداری شده با استفاده از ضریب همبستگی و معنی‌داری آماری بررسی گردید. شکل ۴ پراکنش مکانی آمار مورد استفاده را، مابین شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده که مطابق با شماره‌گذاری ارائه شده در شکل ۲ بوده و درواقع محل هر چاه است، با استفاده از مقادیر ضریب پیرسون نمایش می‌دهد. نمودار حاکی از عدم وجود ارتباط در چاه‌های دور و وجود ارتباط معکوس بین چاه‌های ابتدا و انتهای شبکه است به‌عنوان مثال چاه شماره ۲۰ با چاه شماره ۱۳ در سطح ۵٪ و چاه‌های شماره ۱۱ و ۱۶ در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. اگرچه در بیشتر موارد این ارتباط غیر معنی‌دار است.

تحلیل نقطه داغ برای هر سال از دوره مورد مطالعه انجام شد. در شکل ۵ نتیجه انجام این تحلیل برای سال ۱۳۹۵ به عنوان نمونه ارائه شده است. این شکل کلاس‌بندی منطقه مورد مطالعه به نقاط داغ و نقاط سرد بر اساس نمایه Gi_Bin و z-score حاصل از تحلیل نقطه داغ را نشان می‌دهد. مطابق این شکل

کلاس ۹ این طبقه‌بندی در ناحیه نقاط داغ واقع گردیده است. این اتفاق برای سایر کلاس‌های طبقه‌بندی نه‌گانه تقریباً یکسان است.

به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است. روابط ۶ تا ۹ مراحل محاسبه آماره این آزمون را نشان می‌دهند

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (6)$$

$$(7)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) =$$

$$\begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

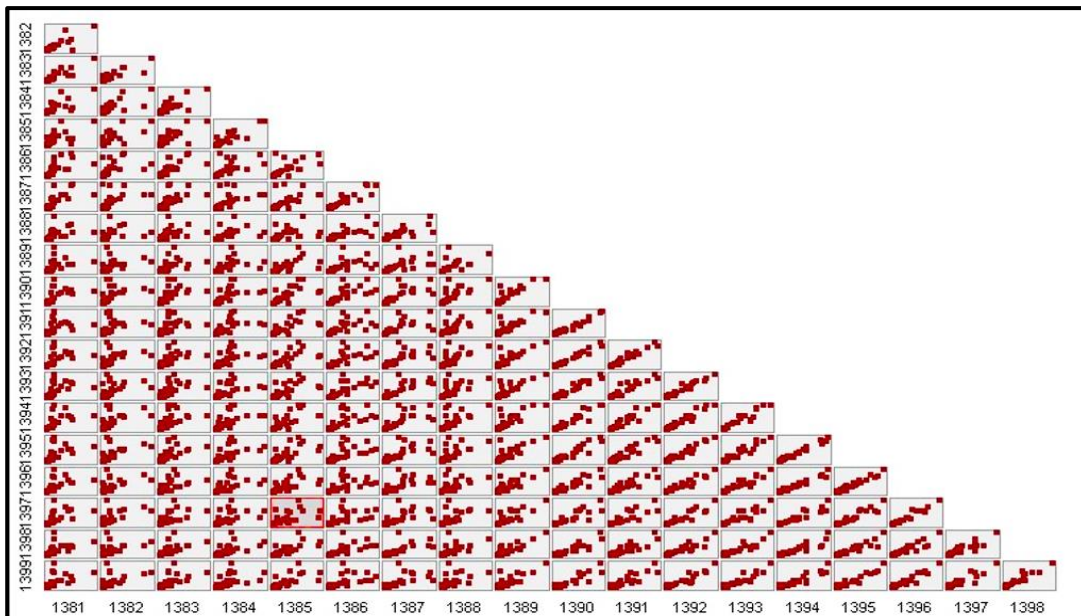
$$(8)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

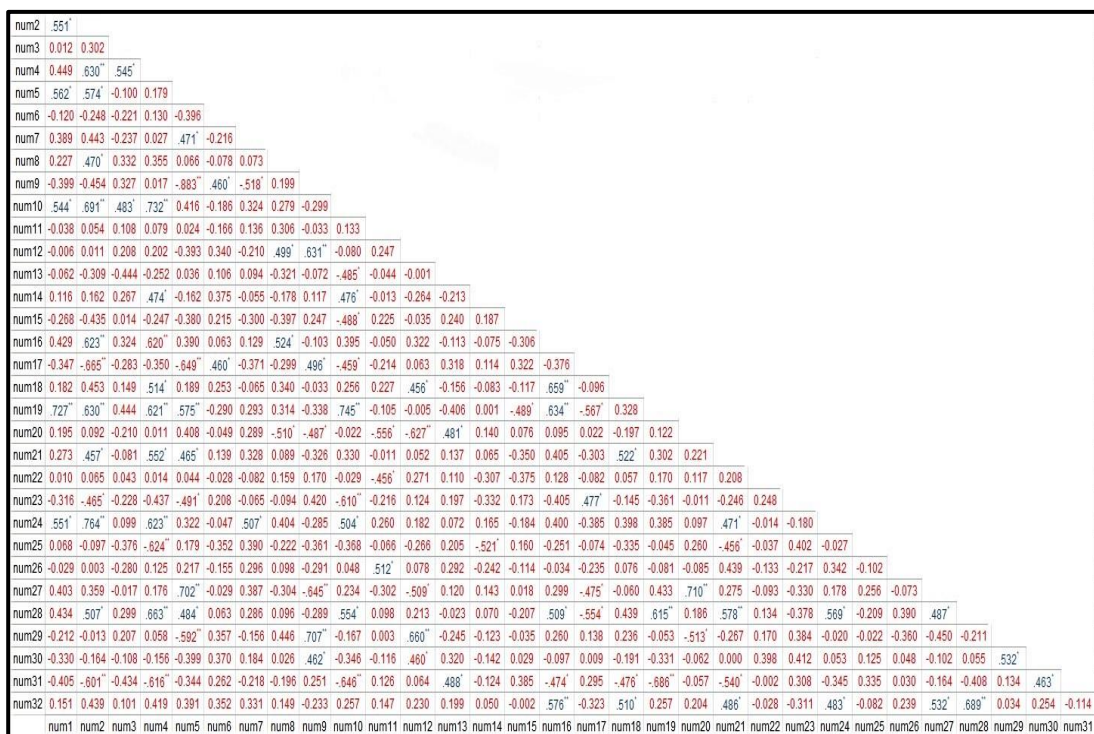
که در آن، x_i و x_j به ترتیب داده‌های متوالی در سال i و j ، N طول دوره آماری، $\text{sgn}(x_j - x_i)$ تابع علامت، $\text{Var}(S)$ واریانس آماره S که دارای میانگین صفر بوده و به ازای $n \geq 8$ دارای توزیع نرمال است، t_i تعداد داده یکسان در دسته i ام، m تعداد سری‌هایی که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و Z آماره آزمون است. مقدار منفی Z بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، اگر $|Z| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار است (Hessari & Zeynalzadeh, 2020).

برای بررسی روند سری زمانی مربوط به سطوح نقاط داغ در این مطالعه از آزمون من کندال و نرم‌افزار SPSS و با استفاده از ضریب Kendall'tau_b استفاده شد. پراکنش زمانی و مکانی داده‌های موجود با استفاده از نمودار



شکل ۳- نمودار ScatterPlot Matrix برای نشان دادن پراکنش زمانی آمار مورد مطالعه

Figure 3. ScatterPlot Matrix diagram to show the time distribution of the studied statistics



شکل ۴- مقادیر ضریب پیرسون برای نشان دادن پراکنش مکانی آمار مورد مطالعه (بر اساس شماره نقاط شکل ۲)

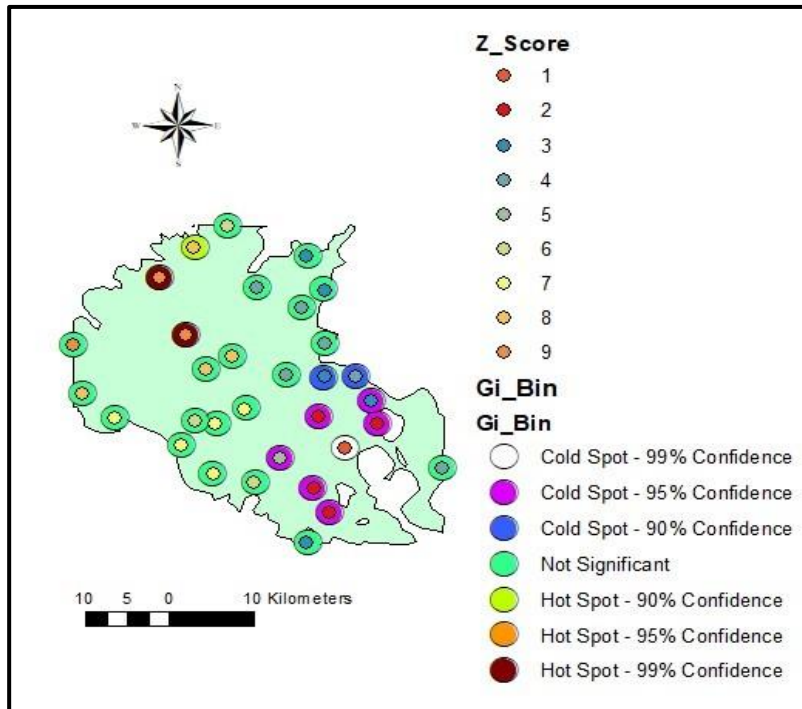
معنی دار در ۵٪ و ** معنی دار در ۱٪ سطح دو دنباله آماری آزمون فیشر

Figure 4. Pearson coefficient values to show the spatial distribution of the studied statistics (based on the number of points in Figure 2)

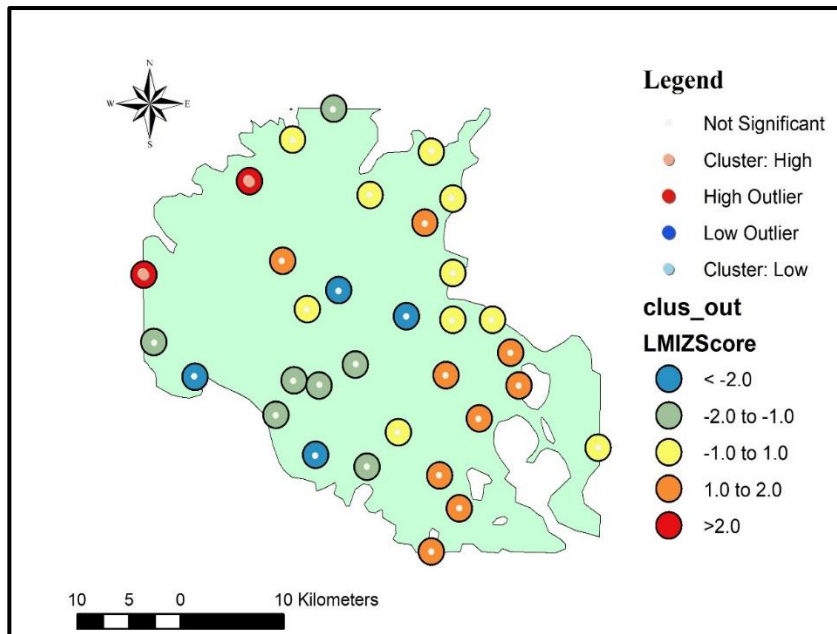
Significant in 5% and ** Significant in 1% level of the two tails Fisher test .*

نمونه نشان داده شده است. بر اساس این شکل نقاط داغ در کلاس Cluster: High یعنی دارای ارزش بالا که در واقع تعداد بیشتری آلاینده در آنها تجمع دارند، قرار گرفته است.

تحلیل برون هشتگی نیز برای تک تک سال های مورد مطالعه انجام گرفت. در شکل ۶ کلاس بندی منطقه مورد مطالعه به نقاط داغ و نقاط سرد بر اساس ضریب مورانز تحلیل برون هشتگی برای سال ۱۳۹۵ به عنوان



شکل ۵- کلاس‌بندی منطقه مورد مطالعه به نقاط داغ و سرد بر اساس نمایه $G_i\text{-Bin}$ و $z\text{-score}$ حاصل از تحلیل نقطه داغ
 Figure 5. Classification of study area into hot and cold points based on $G_i\text{-Bin}$ index and $z\text{-score}$ obtained from hot spot analysis



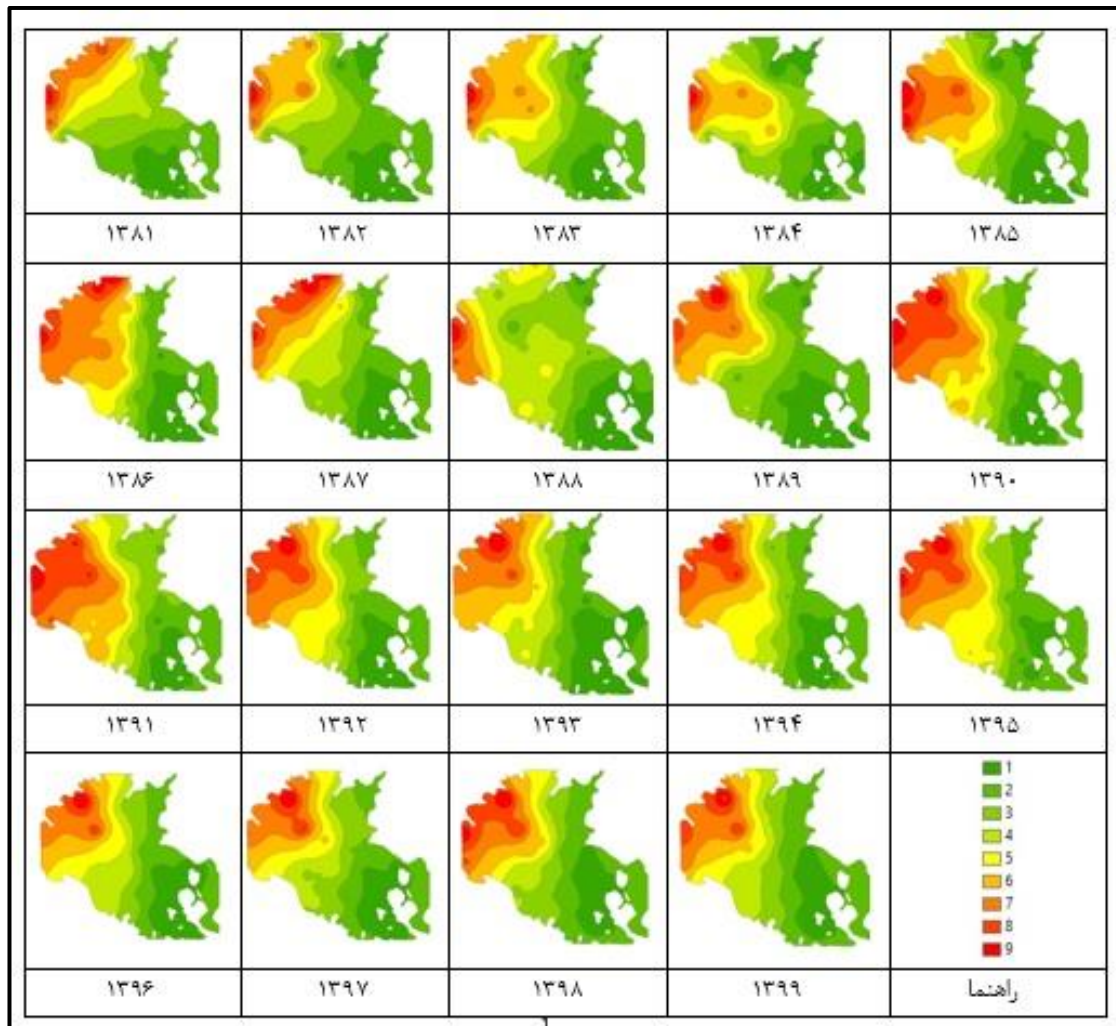
شکل ۶- کلاس‌بندی منطقه مورد مطالعه به نقاط سرد و نقاط داغ بر اساس ضریب مورانز تحلیل برون هشتگی
 Figure 6. Classification of the study area into hot spots and cold spots based on Moran's coefficient of extraterrestrial analysis

شمال غربی دشت و آبخوان میان‌دوآب است که با توجه به اینکه این مناطق در انتهای شبکه زرينه‌رود واقع شده‌اند طبیعی می‌نماید. چون هم به دریاچه نزدیک‌ترند و هم آب کشاورزی تخصیص داده شده به

شکل ۷ طبقه‌بندی کلاس‌های نرمال شوری را بر اساس $z\text{-score}$ حاصل از تحلیل نقطه داغ برای سال‌های آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۷ به دست می‌آید تجمع نقاط داغ در قسمت‌های غرب و

کلاس‌های ۸، ۷ و ۶ به ترتیب اختلاف ناچیزی با مقدار z-score کلاس ۹ دارند می‌توان عنوان کرد که این مناطق جز مناطق مستعد تبدیل شدن به نقاط داغ هستند که می‌تواند هشدار در زمینه پیشروی مقادیر شوری و متأثر نمودن نقاط هم‌جوار از این آلاینده‌گی در طی سال‌های اخیر باشد.

کشاورزان از نظر کمی به این مناطق نمی‌رسد و همین طور محل قرارگیری خروجی زهکش اصلی شبکه نیز هستند. مطابق شکل ۷ مساحت مربوط به نقاط داغ در طی سال‌ها روند خاصی را دنبال نکرده ولی در هر صورت در سال‌های انتهایی دوره مورد مطالعه مساحت بیشتری را نسبت به سال‌های ابتدایی به خود اختصاص داده است همین طور با توجه به اینکه مقادیر z-score



شکل ۷- طبقه‌بندی آمار مور استفاده بر اساس z-score به تفکیک سال (کلاس ۹، نقطه داغ- کلاس‌های ۶، ۷ و ۸ مستعد تبدیل شدن به نقطه داغ- کلاس ۵، بی‌معنی- کلاس‌های ۴ تا ۱ نقاط سرد)

Figure 7. Classify used data based on z-score by year (class 9, hot point- class 6, 7 and 8 talented to be hot points- class 5, not significant- class 4 to 1 cold points)

از سال ۱۳۹۴ به بعد ستاد احیای دریاچه ارومیه مقادیر آب ورودی به دشت را ۴۰ درصد کاهش داده (۸ درصد در هر سال از سال ۹۴) و لزوماً آب کمتری به انتهای دشت وارد شده است. انتظار می‌رود با کاهش حجم آب سطحی ورودی به شبکه و جبران کمبود آب مورد نیاز

جهت بررسی روند سری زمانی همبستگی مساحت کلاس‌های ۶ تا ۹ طبقه‌بندی شده (نواحی داغ) بر اساس مقادیر z-score با سال‌های آماری قبل و بعد از سال ۱۳۹۴ به تفکیک بررسی شد. نتایج این بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

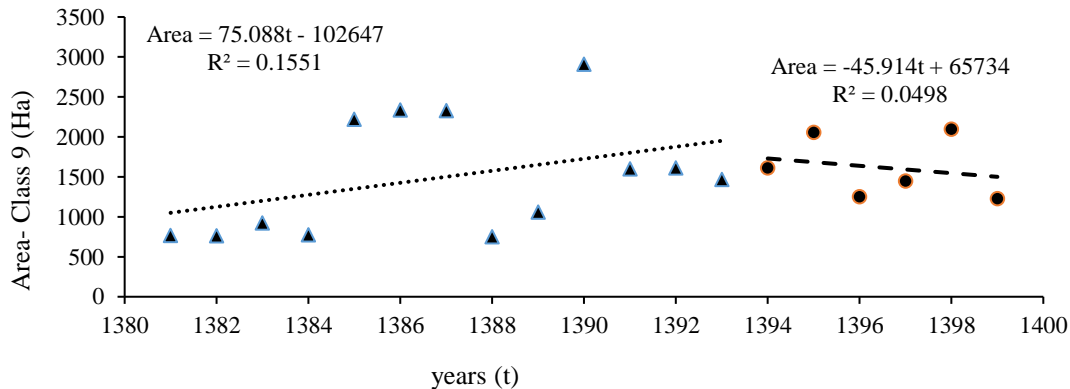
معنی‌دار است. علیرغم اینکه انتظار می‌رفت با کاهش حجم آب سطحی ورودی به شبکه و جبران کمبود آب مورد نیاز کشاورزی از طریق اضافه برداشت از آب زیرزمینی، مقادیر شوری در سطح دشت افزایش یابد. شکل ۸ مساحت مربوط به کلاس ۹ و نمودار برازش داده شده آن را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر R^2 روابط این شکل نیز نتایج جدول فوق تأیید می‌گردد.

کشاورزی از طریق اضافه برداشت از آب زیرزمینی مقادیر شوری در سطح دشت افزایش یابد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ در سال‌های قبل از سال ۱۳۹۴ فقط مساحت کلاس ۸ با ضریب همبستگی ۰/۴۶۲ در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. در سال‌های بعد از سال ۱۳۹۴ نیز فقط کلاس ۶ با ضریب همبستگی ۰/۷۳۳ در سطح ۰/۰۵ و البته معکوس

جدول ۱- نتایج بررسی سری زمانی مقادیر مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی با استفاده از ضریب Kendall'tau_b برای قبل و بعد سال ۱۳۹۴

Table 1. Results of time series study of classifying area values using Kendall'tau_b coefficient for before and after 2015

Year	Before 2015		After 2015	
	Correlation coefficient	Sig. (2-tailed)	Correlation coefficient	Sig. (2-tailed)
Year	1	-	1	-
Area- Class 9	0.308	0.143	-0.2	0.573
Area-Class 8	0.462*	0.028	-0.67	0.851
Area-Class 7	0.41	0.051	0.2	0.573
Area-Class 6	0.026	0.903	-0.733*	0.039



شکل ۸- مساحت کلاس ۹ طبقه‌بندی شده بر اساس z-score به تفکیک سال و نمودار برازش داده شده
Figure 8. Class 9 area classified according to z-score by year and fitted chart

جدول ۳ روند سری زمانی مربوط به مقادیر شوری در طول دوره آماری برای سال‌های بعد از سال ۱۳۹۴ را بررسی می‌کند. بر اساس این جدول ضریب همبستگی مقادیر شوری ۷ چاه با زمان معنی‌دار است که واقع شدن همه این چاه‌ها، به جز چاه شماره ۱۷، در حاشیه شبکه مورد مطالعه نتیجه جدول ۲ را تقویت می‌کند.

روند سری زمانی مربوط به مقادیر شوری در طول دوره آماری برای سال‌های قبل و بعد از سال ۱۳۹۴ نیز بررسی شد. جدول ۲ نتایج این بررسی را برای سال‌های قبل از سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. بر اساس این جدول ضریب همبستگی مقادیر شوری ۱۰ چاه با زمان معنی‌دار است که با توجه به واقع شدن تمام این چاه‌ها (به جز چاه‌های شماره ۱۷ و ۳۱) در حاشیه شبکه مورد مطالعه کاملاً قابل پیش‌بینی است.

جدول ۲: نتایج بررسی سری زمانی مقادیر شوری با استفاده از ضریب Kendall'tau_b برای قبل از سال ۱۳۹۴

Table 2. Results of time series of salinity values using Kendall'tau_b coefficient for before 2015

Before 2015					
Sig. (2-tailed)	Correlation coefficient	Well num.	Sig. (2-tailed)	Correlation coefficient	Well num.
0.024	0.477*	17	0.088	0.395	1
0.327	0.208	18	0.000	0.744**	2
0.02	0.487*	19	0.393	0.179	3
0.143	0.308	20	0.855	0.039	4
0.329	0.205	21	0.010	0.538*	5
0.160	0.297	22	0.010	-0.538*	6
0.393	-0.179	23	0.032	0.452*	7
0.246	0.245	24	0.0498	-0.146	8
0.067	0.385.	25	0.000	-0.744**	9
0.464	0.154	26	0.002	0.641**	10
0.038	0.436*	27	0.582	-0.116	11
0.540	0.130	28	0.009	-0.555**	12
0.222	-0.256	29	1.000	0.000	13
0.222	-0.256	30	0.807	0.051	14
0.038	-0.436*	31	0.472	-0.168	15
0.462	0.156	32	0.143	0.308	16

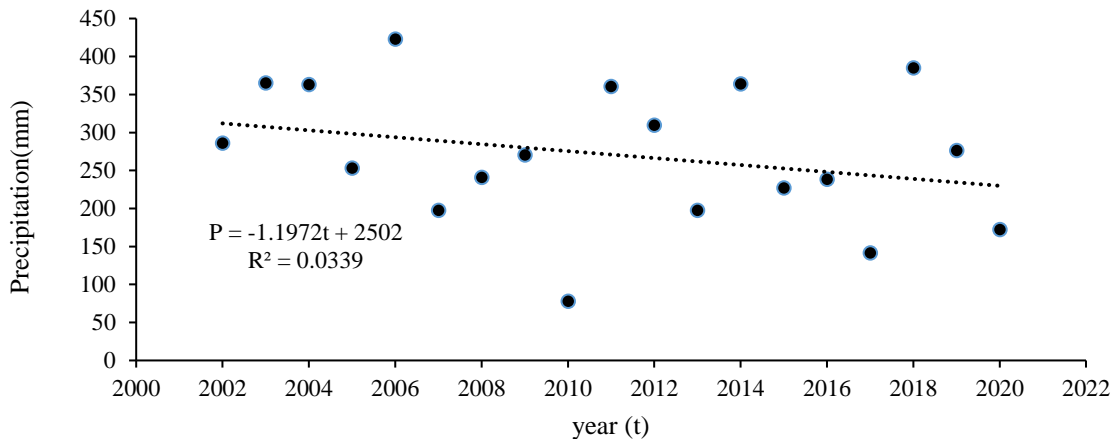
جدول ۳: نتایج بررسی سری زمانی مقادیر شوری با استفاده از ضریب Kendall'tau_b برای بعد از سال ۱۳۹۴

Table 3. Results of time series of salinity values using Kendall'tau_b coefficient for after 2015

After 2015					
Sig. (2-tailed)	Correlation coefficient	Well num.	Sig. (2-tailed)	Correlation coefficient	Well num.
0.039	0.733*	17	0.348	0.333	1
0.039	0.733*	18	0.573	-0.200	2
0.039	0.733*	19	0.851	0.067	3
0.348	-0.333	20	0.347	0.333	4
0.039	0.733*	21	0.702	0.138	5
	1.000**	22		1.000**	6
0.091	0.600	23	1.00	0.000	7
0.573	0.200	24	0.348	0.333	8
0.573	0.200	25	0.015	0.867*	9
0.573	0.200	26	0.573	-0.200	10
0.056	-0.690	27	0.188	0.467	11
0.091	0.600	28	0.091	0.600	12
0.188	0.467	29	0.573	0.200	13
0.348	-0.333	30	0.851	-0.067	14
0.091	-0.600	31	0.348	0.333	15
0.091	0.600	32	0.188	0.467	16

است روند بارش در منطقه نزولی بوده ولی بین مقدار بارش و سال‌های مورد مطالعه رابطه معنی‌داری وجود ندارد. کاهش مقادیر بارش در طول زمان می‌تواند یکی از دلایل افزایش مقادیر شوری باشد که طی بررسی جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. اثر تجمعی این عوامل نیاز به تحقیق عمیق و بیشتری دارد

مقدار بارش سالانه در ایستگاه میان‌دوآب به عنوان یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در مقدار شوری آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۹ مقادیر بارش سالانه ایستگاه میان‌دوآب را نشان می‌دهد. مقدار ضریب من کندال $0.205 -$ و در حد 22% درصد معنی‌دار است. همان‌طور که از مقدار ضریب من کندال مشخص



شکل ۹: مقادیر بارش ایستگاه میان‌دوآب به تفکیک سال و نمودار برازش داده شده

Figure 9. The precipitation values of Miandoab station are fitted by year and graph

بعد از سال ۱۳۹۴ نشان داد با اینکه کاهش سالانه ۸ درصدی آب ورودی به دشت توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه انجام شده بود ولی ارتباط معنی‌داری بین مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده و زمان وجود ندارد و روند شوری از گذشته آغاز شده است. همچنین روند معنی‌داری بین مقدار بارش و سال‌های مورد مطالعه وجود ندارد ولی کاهش مقادیر بارش در منطقه می‌تواند یکی از دلایل افزایش مقادیر شوری باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود فرض می‌دانند از معاونت مطالعات پایه منابع آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی خصوصاً جناب آقای مهندس نصیری برای تأمین داده‌ها و جناب آقای مهندس احسان جوادی برای آماده‌سازی اولیه داده‌ها نهایت تشکر را بنمایند.

نتیجه‌گیری کلی

تحلیل نقطه داغ بر اساس نمایه Gi_Bin داده‌های شوری ۳۲ چاه از آبخوان میان‌دوآب در بین سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ نشان داد نقاط داغ کیفیت شوری چاه‌ها، در کلاس ۹ طبقه‌بندی قرار گرفتند. با رسم طبقات z -score برای هر ۱۸ سال آماری، تجمع نقاط داغ در قسمت‌های غرب و شمال غربی دشت و آبخوان میان‌دوآب دیده شد. نقاط داغ و سرد کیفی بر اساس ضریب مورانز برای تحلیل برون هشتگی نیز انجام گردید که نتایج نشان داد مناطق مربوط به خوشه‌های نقاط داغ در قسمت‌های غرب و شمال غربی آبخوان میان‌دوآب تجمع یافته‌اند که به دلیل نزدیکی به دریاچه و واقع شدن در انتهای شبکه زرینه‌رود و آب حداقل دریافتی، قابل توجه هستند. اگرچه بررسی روند سری زمانی شوری بازمان در بعضی چاه‌های حاشیه شبکه معنی‌دار هست ولی مساحت سطح داغ شبکه در سال‌های قبل و

References

- Ahmadaali J, and Rezayi R.2010. Investigating the reasons for the lack of acceptance of Miandoab plain farmers in the field of creating water users' organizations. *Iran Irrigation and Drainage*; (In Persian)
- AliAbadi K, and Dadashi RA.2015. Investigation of changes in spatial autocorrelation patterns of Iran maximum temperature. *Arid Regions Geographic Studies*; 6(21): 86-104. (In Persian)
- Dhayachandhran KS. and Jothilakshmi M.2020. Quality assessment of ground water along the banks of Adyar river using GIS. *Materials today: Proceedings*.
- Hessari B.2015. Quality monitoring of water resources in the East of Urmia lake. volume2-Zonning and modeling (technical Report). Teifsazeh-sabz *Consulting Engineers*.356p. (In Persian)
- Hessari B, and Zeynalzadeh K.2020. Investigating the effects of human activities on the trend of water resources in Miandoab plain. *Watershed Engineering and Management*. 12(2): 415-427. (In Persian)
- Kurunc A, Ersahin S, Yetgin UZ B, Sonmez NK, Uz I, and Kaman H.,2011. Identification of nitrate leaching hot spots in a large area with contrasting soil texture and management. *Agriculture Water Management*. 98(6): 1013-1019
- Mohammadyari F, Tavakkoli M, and Aghdar H. 2016.Assessment and zoning of groundwater quality in agricultural areas of Mehran and Dehloran with geostatistical methods. *Irrigation Sciences and Engineering*. 1395; 4:71- 83. (In Persian)
- Nakhaei M, Vadiati M, and EsmailiFlak M.2014. Groundwater qualitative zoning of Varamin plain for agricultural applications using analytical Hierarchy process method in GIS. *Iran Water Resources Research*. 9(3): 94-98. (In Persian)
- Peeters A. Zude M, Kathner J, Unlu M, Kanber R, and Hetzroni A.2015. Getis–Ord’s hot-and cold-spot statistics as a basis for multivariate spatial clustering of orchard tree data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 111:140-150
- Pourkhabaz H, Aghdar H, Mohammadyari, F. 2017.Groundwater quality zoning in terms of agriculture based on Wilcox classification (Case Study: Qazvin Plain). *Geographical Space*. 1396; 17(58): 111-129. (In Persian)
- Soltani Mohammadi S, Mirzayi R. and Nadyan M. 2018. Application of Moran spatial autocorrelation index in M_{2.5} pollutants spatio-temporal analysis. *Environmental Health Engineering*. 1397; 5(3): 197-213. (In Persian)

Study of Temporal-Spatial Trend of Groundwater Salinity by Hotspot and Outlier Analysis in Miandoab plain

Sanaz Javanmard^{1*}, Behzad Hessari²

(Received: April 2021 Accepted: May 2017)

Abstract

Groundwater as an important part of water resources in arid areas is under influence of human and climatic factors. By illustrating the trend and fluctuation of regional water quality temporarily and spatially, it can be managed more effectively. Traditional methods of point data analysis cannot be used alone with high reliability, therefore the use of GIS, Geostatistical methods, and clustering analysis are suitable ways to analyze regional hydro-climatological phenomena. Normal spatial variability and outlier points can be assessed using the analysis of spatial clusters that divide the data into homogeneous groups and hotspots. These analyses determine in what situations there are valuable high or low clustering effects. In this study, the hot spots of the groundwater salinity of Minadoab plain and the Zarrinehrood network have been investigated. For this purpose, the salinity(Ec) of 32 observation wells located in Zarrinehrood network in the period of 1381 to 1399 has been used. The G* and Moran tests were used to investigate the location of high-value points, hot spot clusters, and significant outlier values. Based on the results obtained from both analyzes, hotspots in the western and northwestern parts of the network have been located. The trend of salinity hot spot areas through time was surveyed by the Man-Kendal test and the results indicate that these areas are increasing in recent years which can be a warning about increasing pollutant levels, drought, and contractile policies for surface water management on the shores of Lake Urmia.

Keywords: Moran's coefficient, Normal Spatial Distribution, EC, Urmia Lake

Javanmard S., and Hessari B. 2023. Study of temporal-spatial trend of groundwater salinity by Hotspot and Outlier analysis in Miandoab plain. *Applied Soil Research*, 10(4): 106-119.

1. PhD Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University

2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University

* Corresponding Author Email: sanaz.javanmard_1988@yahoo.com