

منطقه‌بندی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی

منوچهر چیت‌سازان، سیدیحیی میرزایی و *رحیم چینی‌پرداز

گروه زمین‌شناسی - دانشگاه شهید چمران اهواز

*گروه آمار - دانشگاه شهید چمران اهواز

پست الکترونیکی: chitsazan_m@scu.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از سری‌های زمانی دوگانه به صورت توابع همبستگی متقابل (CCF) و توابع چگالی طیفی متقابل به منطقه‌بندی آبخوان دشت شهرکرد پرداخته شد. در این راستا و برای منطقه‌بندی آبخوان از سری زمانی ماهانه نوسانات سطح آب زیرزمینی ۱۷ پیرومتر موجود در دشت استفاده شد. ابتدا خطوط هم‌پتانسیل آبخوان دشت شهرکرد ترسیم و جهت جریان آب زیرزمینی منطقه تعیین گردید سپس با توجه به جهت جریان و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان میزان همبستگی سری‌های زمانی پیرومترهای انتخابی، به صورت دو به دو به وسیله توابع همبستگی متقابل محاسبه گردید. برای بررسی دقیق‌تر از روش‌های تحلیل همبستگی در قلمرو فرکانس نیز استفاده شد. در این روش ابتدا با استفاده از تحلیل چگالی طیفی یگانه کلیه نوسانات موجود در سری زمانی داده‌های پیرومتری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج این بررسی در سری‌های زمانی پیرومترها دشت شهرکرد عامل روند، نوسانات فصلی دارای فرکانس $0/083$ و نوسانات سیکلی با دوره برگشت $4/5$ سال شناسایی شد. پس از حذف روند مهمترین نوسان باقی مانده در سری‌ها نوسانات فصلی بود لذا در تحلیل توابع چگالی طیفی دوگانه میزان همبستگی و تأخیر زمانی داده‌های جفت پیرومترها در فرکانس $0/083$ (نوسانات فصلی) تعیین گردید. سپس براساس نتایج تحلیل همبستگی متقابل، چگالی طیفی متقابل و مقدار همبستگی داده‌های پیرومتری و تأخیر فاز موجود بین نوسانات پیک سری‌ها زمانی، آبخوان دشت شهرکرد منطقه‌بندی شد. با توجه به این نتایج آبخوان شهرکرد به چهار منطقه شامل مناطقی با همبستگی بالا - تأخیر فاز پایین، همبستگی بالا - تأخیر فاز بالا، همبستگی بالا - تأخیر فاز متوسط و همبستگی پایین - تأخیر فاز بالا تقسیم شد.

واژه‌های کلیدی: منطقه‌بندی، سری زمانی دوگانه، توابع همبستگی متقابل، توابع چگالی طیفی، توابع فاز، توابع تطابق

مقدمه و هدف

در کلیه مطالعات آب‌های زیرزمینی درک شرایط هیدرولیکی حاکم و منطقه‌بندی وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه از روش‌های مختلفی همچون آزمون‌های پمپاژ، اکتشافات

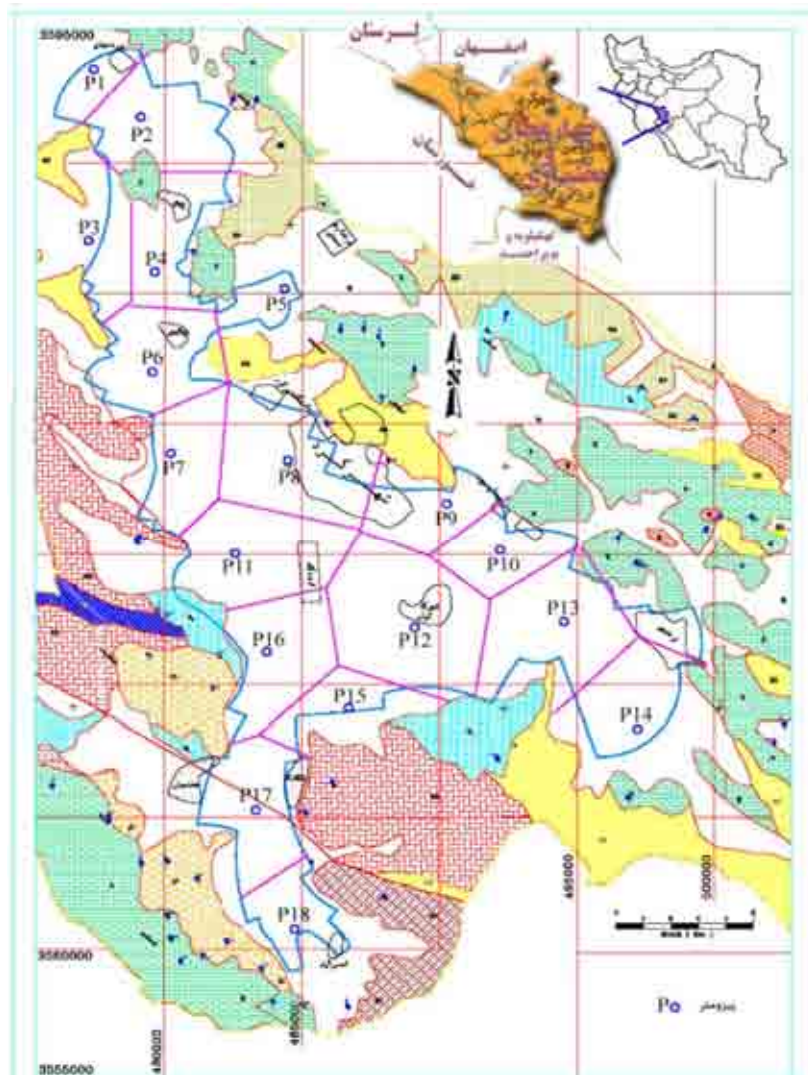
ژئوفیزیکی و آنالیزهای کیفی برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژی و منطقه‌بندی آبخوان‌ها استفاده می‌شود. عمده روش‌های ذکر شده به دلیل نیاز به ابزار و پیش‌نیازهای همچون چاه‌های مشاهداتی دارای هزینه بالا و عمدتاً وقت‌گیر می‌باشند. استفاده از تحلیل سری‌های

چشمه‌ها، نوسانات سطح ایستابی و تبخیر حوزه مهارلو پرداخت، [۴] در سال ۲۰۰۳ با استفاده از آنالیز طیفی سری‌های زمانی به بررسی وضعیت هدایت هیدرولیکی قائم آبخوان در ترازهای مختلف پرداختند. در این مقاله با توجه به توانایی‌های تکنیک سری‌های زمانی، از این تکنیک‌ها برای بررسی میزان همبستگی بین داده‌های پیزومتری و منطقه‌بندی آبخوان دشت شهرکرد استفاده شد. از نظر موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری واقع می‌باشد. این منطقه شامل دشت شهرکرد و قله مرتفعی چون کوه جهانبین می‌باشد. دشت شهرکرد با امتداد شمال غرب جنوب شرق در فاصله بین ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱).

زمانی از روش‌های دقیق و نسبتاً کم هزینه است که در صورت وجود داده‌های طویل مدتی همچون داده‌های نوسانات آب زیرزمینی، نوسانات دبی چشمه‌ها و رودخانه کمک بسیار شایان در درک خصوصیات هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان در اختیار محقق می‌گذارد. محققین زیادی از تحلیل سری‌های زمانی در مطالعات مختلف از جمله بررسی‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی استفاده کرده‌اند. [۱] در سال ۱۹۸۵ با استفاده از تکنیک سری‌های زمانی به بررسی نوسانات موجود در سطح ایستابی و ارتباط این عوامل با بارش پرداخت، [۲] در سال ۱۹۹۶ با استفاده از سری‌های زمانی نوسانات سطح ایستابی پیزومترها به بررسی هدایت هیدرولیکی پرداخت. [۳] در سال ۲۰۰۱ با استفاده از توابع خود همبستگی و چگالی طیفی به بررسی وضعیت آبخوان کارستی، دبی

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده در تحلیل‌های سری زمانی

پیزومتر	تعداد سال آماری	دامنه	انحراف معیار	میانگین	ماکزیمم مطلق	مینیمم مطلق
P1	۱۴	۷/۱	۱/۶۲	۲۱۱۳/۸۴	۲۱۱۷/۱	۲۱۱۰
P2	۱۴	۲۰/۱۶	۴/۵	۲۱۳۰/۹۰	۲۱۴۱/۳۱	۲۱۲۱/۱۵
P3	۱۴	۷/۹۱	۱/۶۵	۲۰۹۲/۴۴	۲۰۹۴/۶۱	۲۰۸۶/۷۹
P4	۱۴	۳۳/۶۴	۸/۱۷	۲۱۱۴/۲۷	۲۱۳۱/۳۹	۲۰۹۷/۷۵
P5	۱۴	۲۳/۵	۵/۵۷	۲۰۷۵/۶۹	۲۰۸۴/۵۲	۲۰۶۱/۰۲
P6	۱۴	۱۴/۴۵	۲/۷۱	۲۰۷۲/۸۵	۲۰۷۹/۷۷	۲۰۶۵/۲۰
P7	۱۴	۱۸/۸۴	۳/۷	۲۰۵۲/۷۳	۲۰۴۱/۷	۲۰۶۰/۱۸
P8	۱۴	۱۴/۱۲	۳/۱۲	۲۰۴۶/۷۹	۲۰۵۰	۲۰۳۵/۸۱
P9	۱۴	۱۵/۷۶	۳/۲۳	۲۰۴۶/۸۴	۲۰۵۲/۳۶	۲۰۳۶/۶۰
P10	۱۴	۱۶/۳۳	۳/۴	۲۰۵۰/۱۲	۲۰۵۵/۷۳	۲۰۹۳/۴
P11	۱۴	۱۷/۵۹	۳/۶	۲۰۴۹/۳۲	۲۰۵۱/۲۷	۲۰۳۳/۷
P12	۱۴	۱۴/۵۲	۳/۰۱	۲۰۵۳/۳۱	۲۰۵۶/۶۲	۲۰۴۲/۱
P13	۱۴	۱۶/۶۳	۳/۴۷	۲۰۷۵/۱۳	۲۰۸۱/۶۱	۲۰۶۴/۹۸
P14	۱۴	۳۱/۴۹	۶/۳	۲۰۸۹/۷۱	۲۱۰۵/۳۴	۲۰۷۳/۸۵
P15	۱۴	۱۰/۴۷	۲/۲۱	۲۰۴۸/۴۰	۲۰۵۱/۷۸	۲۰۴۱
P17	۱۴	۴/۳۲	۰/۸	۲۰۳۵/۰۶	۲۰۳۶/۵۰	۲۰۳۲/۹
P18	۱۴	۴/۲۸	۰/۷۵۱	۲۰۳۱/۱۲	۲۰۳۱/۹۴	۲۰۲۷/۶۶



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکندگی پیزومترهای موجود در دشت شهرکرد

روش تحقیق

در این تحقیق برای منطقه بندی آبخوان دشت شهرکرد از دو روش سری‌های زمانی در قلمرو زمان و فرکانس برای تحلیل همبستگی و ارتباط داده‌های سطح ایستابی پیزومترهای منطقه استفاده شد.

در قلمرو زمان توابع مورد استفاده توابع همبستگی متقابل^۱ می‌باشد. رابطه (۱)، فرمول عمومی این تابع می‌باشد [۵]:

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{Cov(x_t, y_{t+\tau})}{[\text{Var}(x_t)\text{Var}(y_t)]^{1/2}} \quad (1)$$

در رابطه فوق $Cov(x_t, y_{t+\tau})$ کوریانس متقابل دو سری (x_t, y_t) در تأخیر (τ) است. $\text{Var}(x_t)$ و $\text{Var}(y_t)$ به ترتیب واریانس سری‌های (x_t, y_t) می‌باشد. از ترسیم مقدار تابع در مقابل تأخیرهای زمان نمودار همبستگی نگار حاصل می‌شود که از آن برای تعیین میزان همبستگی و میزان تأخیر دو سری استفاده می‌شود. اگر میزان همبستگی دو سری در تأخیر صفر ماکزیمم باشد

1- Cross Correlation Function

متقابل می‌باشند. مقدار تابع تطابق بین صفر و یک متغیر است ($0 \leq Ch_{xy}(\omega) \leq 1$). این تابع همبستگی خطی میان دو مؤلفه فرآیند دو متغیره در فرکانس (ω) را اندازه می‌گیرد و مشابه توان دوم ضریب همبستگی معمولی که در فرکانس‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود، می‌باشد. از رسم تطابق برحسب فرکانس (f) یا فرکانس زاویه‌ای (ω)، نمودار تطابق^۱ حاصل می‌شود که میزان همبستگی را در فرکانس‌های مختلف، به صورت نمودار نشان می‌دهد. مقدار این تابع هر چه به عدد یک نزدیکتر باشد، مبین این است که دو فرآیند در فرکانس مربوطه، ارتباط نزدیکتری با همدیگر دارند. به طوری که اگر مقدار تابع تطابق در یک فراوانی برابر و یا نزدیک به ۱ باشد، نشان می‌دهد که آن متغیر وابسته y_t ناشی از متغیر مستقل x_t بوده و همبستگی بالایی با آن دارد و مقدار صفر تابع تطابق بیانگر استقلال دو سری متغیر از همدیگر می‌باشد. برای تعیین میزان تأخیر دو سری در فرکانس‌های مختلف از توابع فاز استفاده می‌شود، رابطه (۴)، فرم عمومی تابع فاز می‌باشد:

$$\phi_{xy}(\omega) = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{-q_{xy}(\omega)}{C_{xy}(\omega)} \right] \quad (4)$$

تابع فوق بیانگر ارتباط فازی میان دو سری زمانی بوده و جهت تعیین تقدم و تأخر دو سری زمانی نسبت به هم و میزان این تقدم و تأخر به کار می‌آید. با ترسیم $\phi_{xy}(\omega)$ بر حسب ω یا f ، نمودار فازی^۲ حاصل می‌شود. اگر فاز مقدار منفی داشته باشد، یعنی سری x_t در تمام فرکانس‌ها مقدم بر سری y_t است. به عبارت دیگر مؤلفه فرکانس x_t ، ω ، مؤلفه فرکانس y_t ، ω را نتیجه می‌دهد. اگر فاز مقدار مثبت داشته باشد، مؤلفه فرکانس x_t ، ω نسبت به مؤلفه فرکانس y_t ، ω تأخیر دارد.

نشان‌دهنده همزمانی نوسانات پیک دو سری می‌باشد. در صورت عدم همزمانی پیک نوسانات دو سری، ماکزیمم همبستگی در یکی از تأخیرها مثبت یا منفی اتفاق می‌افتد که میزان آن نشان‌دهنده میزان تقدم و تاخر این پیک در دو سری می‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر میزان همبستگی سری زمانی نوسانات پیژومترهای دشت شهرکرد در قلمرو فرکانس از توابع چگالی طیفی متقابل استفاده شد. این توابع مبتنی بر سری‌های فوریه می‌باشد. تجزیه تحلیل سری‌های فوریه اساساً با تقریب زدن یک تابع با جملات سینوسی و کسینوسی در معادله سری زمانی انجام می‌گیرد، در این روش هارمونی‌های معنا دار مجزا و به صورت نوسانات در فرکانس‌های مختلف مشخص می‌شوند. از روش چگالی طیفی سری زمانی در قالب سری‌های زمانی دوگانه می‌توان برای بررسی ارتباط همچنین تقدم و تأخیر سری‌ها در فرکانس‌های مختلف استفاده کرد. رابطه (۲)، فرمول عمومی توابع طیف متقابل می‌باشد [۵]:

$$F_{xy}(\omega) = \frac{1}{\pi} \left[\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \gamma_{xy}(k) e^{-i\omega k} \right] \quad (2)$$

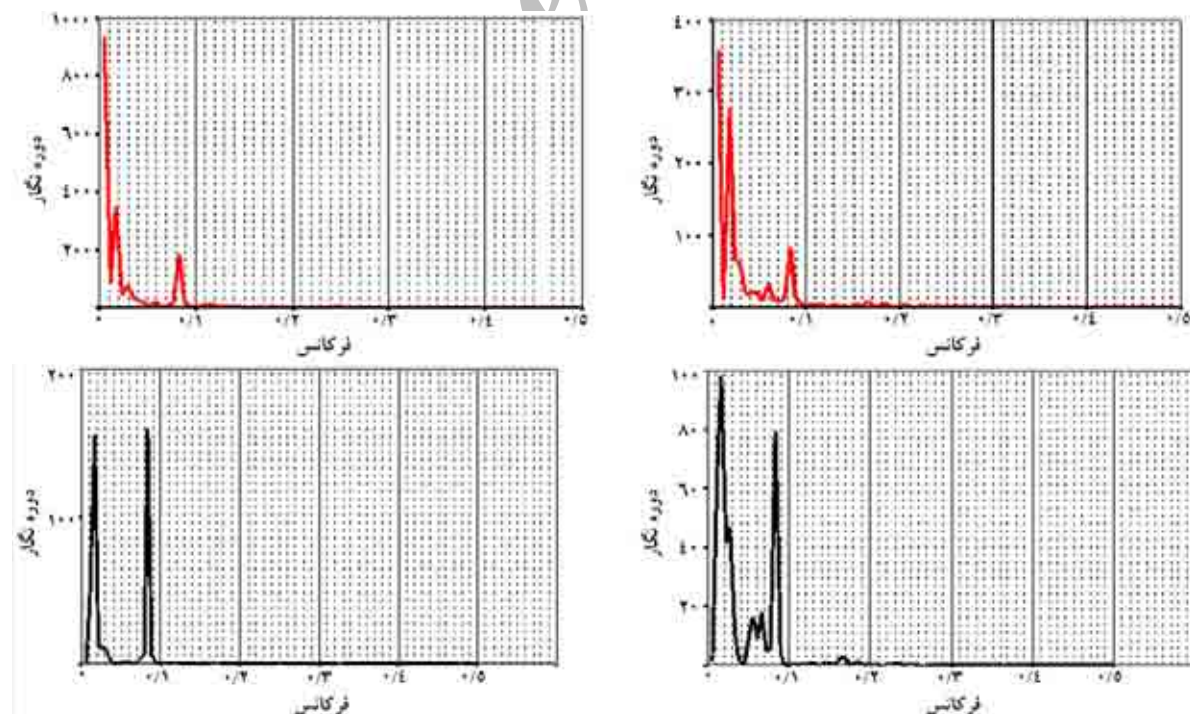
در این معادله $\gamma_{xy}(k)$ کوواریانس متقابل دو سری در تأخیر ω, k فرکانس زاویه‌ای می‌باشد. تابع مفیدی که از طیف متقابل به دست می‌آید، تابع تطابق است که در واقع تابع طیف متقابل استاندارد شده بوده و ارتباط دو سری زمانی را در فرکانس‌های مختلف می‌سنجد. این تابع $(Ch_{xy}(\omega))$ به شرح ذیل تعریف می‌شود:

$$Ch_{xy}(\omega) = \left[\frac{C_{xy}^{\downarrow}(\omega) + q_{xy}^{\downarrow}(\omega)}{f_x(\omega) f_y(\omega)} \right] \quad (3)$$

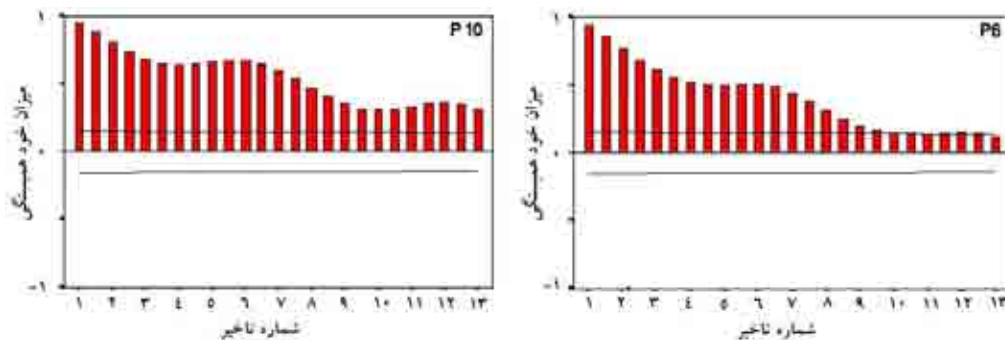
در این رابطه $f_x(\omega)$ و $f_y(\omega)$ به ترتیب طیف‌های توان زوج سری مورد بررسی (x_t, y_t) و $q_{xy}(\omega)$ و $C_{xy}(\omega)$ به ترتیب بخش موهومی و حقیقی تابع طیف

شناخت اجزای هر یک از سری‌های زمانی پیزومترها، از توابع همبستگی و توابع چگالی طیف یگانه استفاده شد. بر اساس نتایج این بررسی در سری‌های زمانی پیزومترهای دشت شهرکرد سه مؤلفه اصلی شناسایی شد. مؤلفه روند، این مؤلفه در تمامی سری‌ها زمانی پیزومترهای موجود در دشت شناسایی شد (اشکال ۳ و ۴). دومین مؤلفه موجود در سری‌های زمانی پیزومترهای دشت شهرکرد نوسانات فصلی در فرکانس ۰/۰۷۵-۰/۰۹ است که دوره برگشت این نوسانات ۱۱-۱۳ ماه می‌باشد. این مؤلفه پس از حذف روند از سری‌های زمانی نمود بهتری پیدا کرد (اشکال ۲، ۳ و ۴). سومین مؤلفه مشخص شده در سری‌های زمانی پیزومترها نوسانات با فرکانس ۰/۰۱۸ می‌باشند. دوره برگشت این نوسانات ۴/۵ ساله است و نشان‌دهنده نوسانات سیکلی در پیزومترهای دشت شهرکرد می‌باشد (شکل ۲).

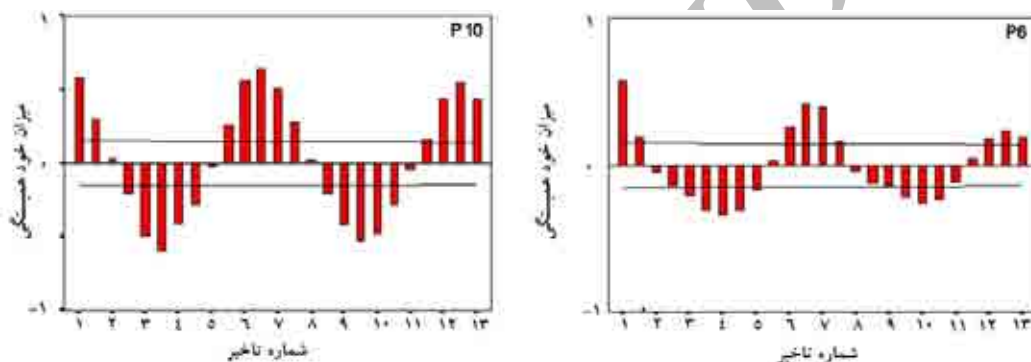
نمودار فازی نشان می‌دهد که در یک فراوانی مشخص، مؤلفه‌ها در یک سری زمانی نسبت به مؤلفه‌های مشابه در سری زمانی دیگر با تأخیر همراه است. برای محاسبه k (تأخیر) کافی است، فراوانی‌هایی که مقدار تابع تطابق آن‌ها یک و یا نزدیک به یک باشد، مشخص و مقدار فاز متناظر با آن فراوانی طبق فرمول فاز تقسیم بر فرکانس به تأخیر تبدیل شود. یکی از مسائل بسیار مهمی که در تحلیل چگالی طیفی همواره باید در نظر گرفته شود شناخت اجزای تشکیل دهنده سری زمانی است. توابع چگالی طیفی شدیداً تحت تأثیر مؤلفه‌های سری زمانی خصوصاً مؤلفه روند می‌باشد. به دلیل فرکانس بسیار پائین مؤلفه‌های روند، میزان چگالی طیف این مؤلفه مقدار زیادی برآورد می‌شود و این عامل باعث عدم نمود سایر نوسانات در فرکانس‌های بالاتر خواهد شد. لذا باید این عامل از سری‌های زمانی حذف گردد. در این بررسی برای



شکل ۲- نمودار چگالی طیفی یگانه پیزومتر P6 و P10 قبل و بعد از حذف روند (از بالا به پائین)



شکل ۳- همبستگی نگار داده‌های خام پیزومتر P10 و P6



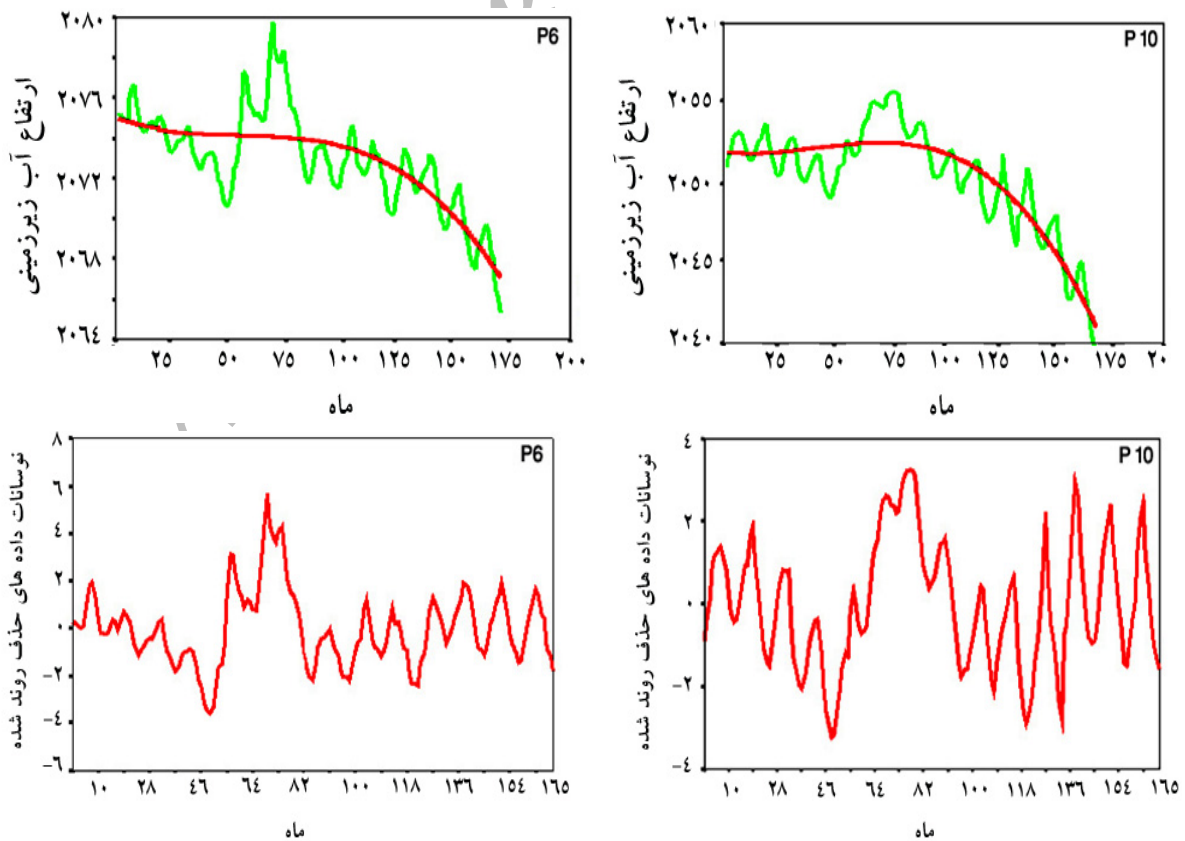
شکل ۴- همبستگی نگار داده‌های حذف روند شده پیزومتر P10 و P6

همان گونه که از این نقشه مشخص است در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی شامل پیزومترهای P10-13، P13-12، P13-15، P13-14، P12-15، P12-14 و P15-17 همچنین در بخش‌های شمالی پیزومترهای P1-2، P6-5، P4-6، P6-8 و در P6-7 میزان همبستگی در تأخیر صفر بالای ۰/۸۰ و در بخش‌های جنوب شرقی آبخوان دشت شهرکرد به ۰/۹۵ هم می‌رسد که نشان از همبستگی بسیار زیاد داده‌های پیزومتر و یکسانی عوامل ایجاد کننده سری‌ها زمانی می‌باشد. اعداد حاصل شده از توابع همبستگی متقابل برای پیزومترهای مرکزی نشان می‌دهد که میزان همبستگی این پیزومترها پائین بوده و گاهاً بیشینه همبستگی در یکی از تأخیرهای مثبت یا منفی رخ داده است. وجود همبستگی پائین بین پیزومترهای مرکزی مبین عدم همسانی پارامترهای محیطی ایجاد کننده داده‌های سری‌های زمانی پیزومترهای موجود در بخش مرکزی دشت شهرکرد می‌باشد.

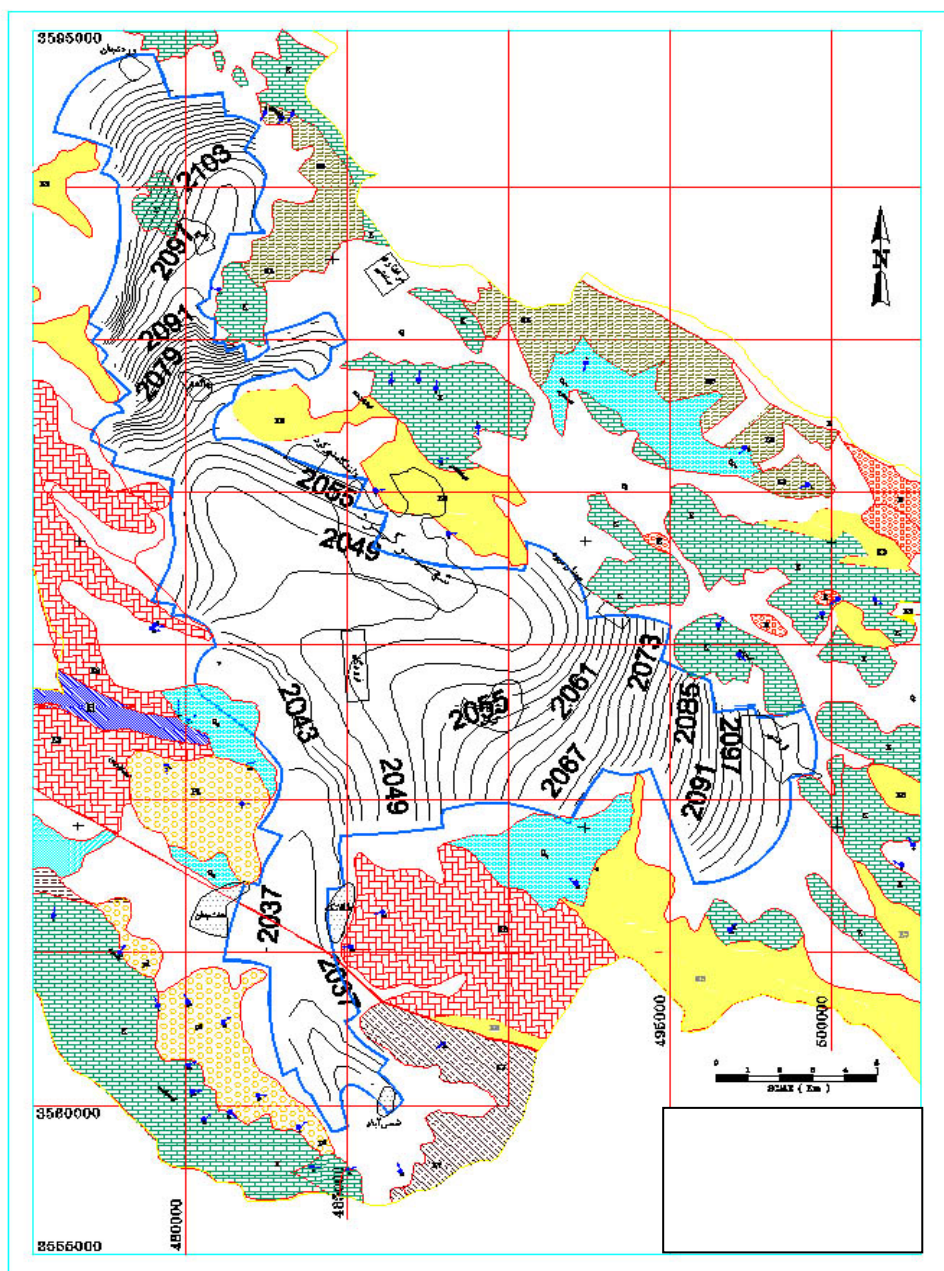
با توجه به نتایج، مهمترین عامل عدم ایستایی در داده‌های سری زمانی پیزومترهای دشت شهرکرد، عامل روند می‌باشد. برای حذف این عامل از سری‌های زمانی با استفاده از روش‌های رگرسیونی یک معادله چند جمله‌ای از داده‌های هر سری عبور داده شد و با تفاضل مقادیر معادله از داده‌های سری در هر نقطه، باقی‌مانده‌های سری محاسبه گردید. جدول ۲ مقادیر b_0 ، b_1 ، b_2 و b_3 و ضرایب معادلات روند برازش شده در هر سری را نشان می‌دهد (شکل ۵). پس از حذف روند و آماده‌سازی داده‌ها، برای تحلیل‌های سری زمانی دوگانه ابتدا برای درک بهتر وضعیت آبخوان خطوط هم‌پتانسیل میانگین آبخوان دشت شهرکرد ترسیم شد و جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه تعیین گردید (شکل ۶). سپس بر اساس وضعیت هیدرولیکی و هیدروژئولوژی حاکم بر آبخوان همچنین فواصل پیزومترها، در بین ۱۷ پیزومتر موجود در دشت، ۲۶ زوج سری برای بررسی میزان همبستگی انتخاب گردید.

جدول ۲- ضرایب معادلات روند برازش شده بر داده‌های پیزومتر

پیزومتر	b_0	b_1	b_2	b_3
P1	۲۱۱۵/۱۵	-۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۰۲
P2	۲۱۳۴/۱۲	۰/۰۱۸۴	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۰۲
P3	۲۰۹۴/۴۰	-۰/۰۰۶۳۶	۰/۰۰۱۰	-۰/۰۰۰۰۰۵
P4	۲۱۲۲/۱۴	-۰/۱۳۵۹	۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۰۰۰۱
P5	۲۰۷۹/۹۹	-۰/۰۴۵۳	۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۰۰۰۸
P6	۲۰۷۴/۹۹	-۰/۰۴۱۷	۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۰۰۰۴
P7	۲۰۵۵/۸۹	-۰/۰۷۸۰	۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۰۰۸
P8	۲۰۴۹/۸۷	-۰/۰۹۶۳	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۰۰۰۱
P9	۲۰۴۸/۵۱	۰/۰۴۲۸	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۰۰۰۸
P10	۲۰۵۱/۹۶	-۰/۰۱۷۱	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۰۰۶
P11	۲۰۴۷/۰۳	-۰/۰۴۱۰	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۰۰۰۸
P12	۲۰۵۵/۶۰	-۰/۰۶۳۴	۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۰۰۰۸
P13	۲۰۷۷/۰۹	-۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۰۰۵
P14	۲۰۹۴/۴۶	-۰/۰۴۰۲	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۰۰۷
P15	۲۰۵۰/۰۶	-۰/۰۳۴۶	۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۰۰۰۴
P17	۳۰۳۶/۲۹	-۰/۰۲۵۴	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۰۰۰۲
P18	۲۰۳۱/۶۴	-۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۰۰۲



شکل ۵- نمودار داده‌های پیزومترهای P6 و P10 قبل و بعد از حذف روند (از بالا به پایین)



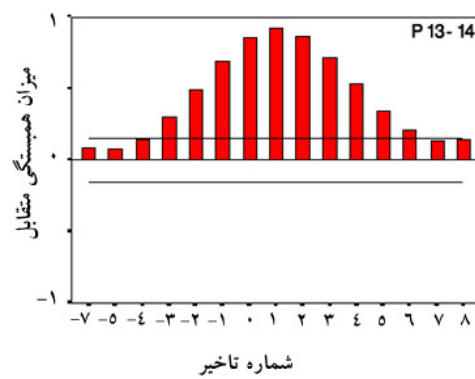
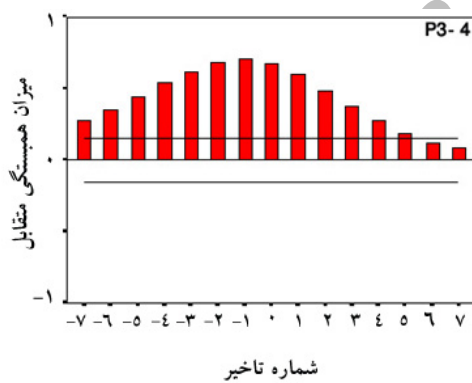
شکل ۶- نقشه هم پتانسیل میانگین ابخوان دشت شهرکرد

است. برای مشخص شدن مکانی میزان همبستگی، بدون در نظر گرفتن تقدم و تأخر سری‌های ورودی و خروجی، مقادیر همبستگی هر زوج سری بر روی نقشه موقعیت پیژومترها مشخص گردید (شکل ۹).

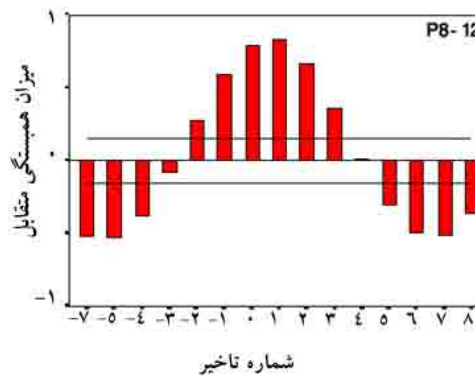
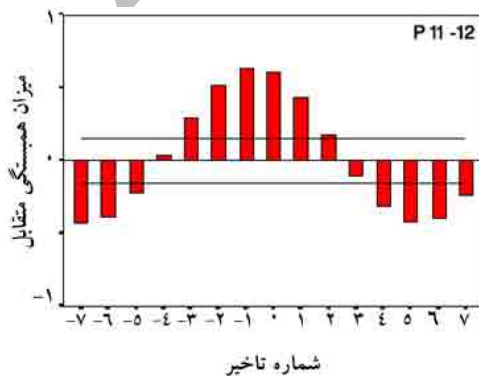
برای بررسی میزان همبستگی سری‌های زمانی جفت پیژومترها، در قلمرو زمان با استفاده از توابع همبستگی متقابل، همبستگی ۲۶ زوج سری محاسبه گردید (شکل ۷ و ۸) و در جدول ۳ مقادیر همبستگی ماکزیمم و تأخیر هر یک از زوج سری‌ها نشان داده شده

جدول ۳- میزان نتایج توابع همبستگی متقابل بین زوج‌های پیزومتر

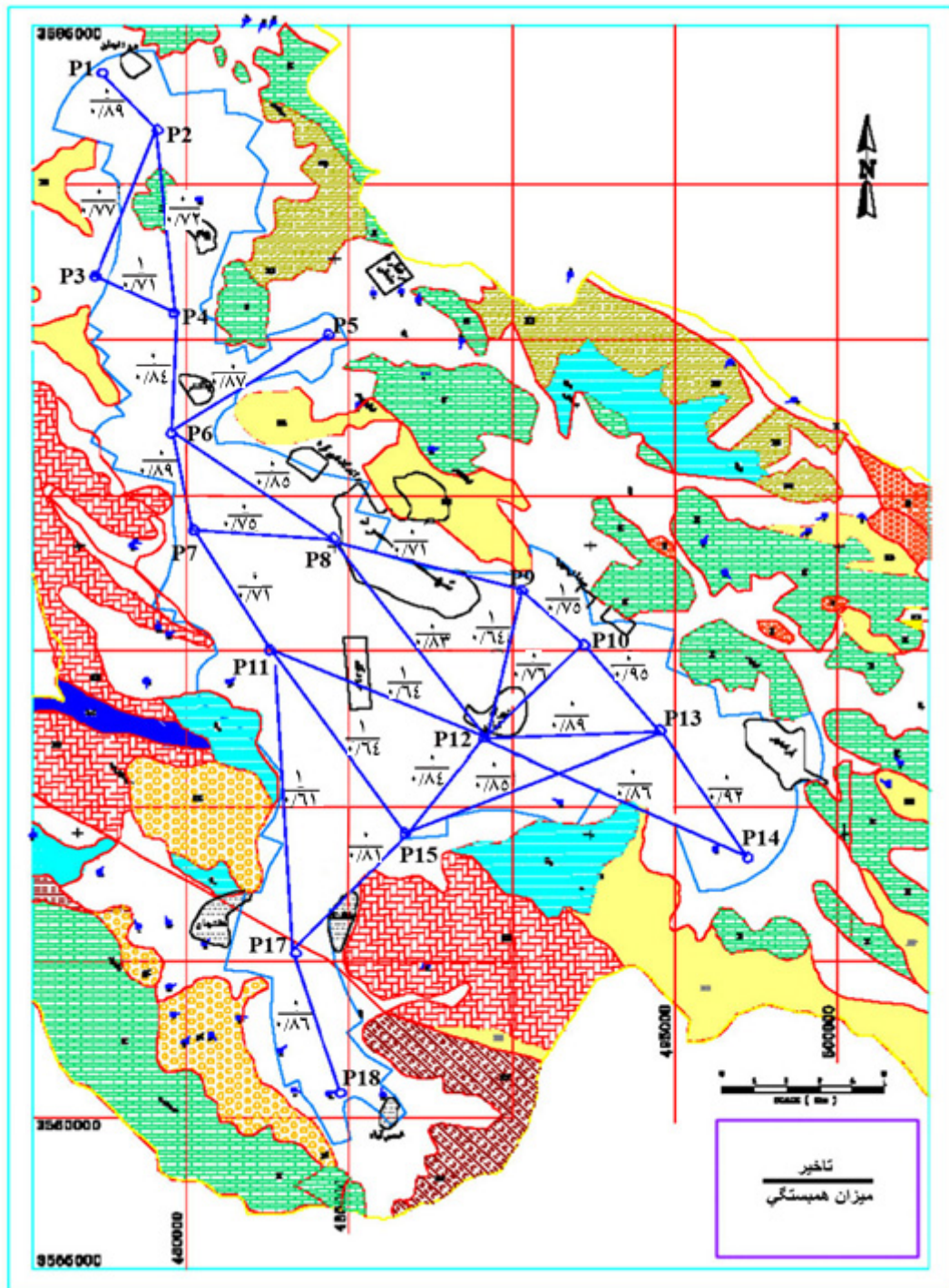
پیزومتر	میزان همبستگی	تأخیر (ماه)	پیزومتر	میزان همبستگی	تأخیر (ماه)
P9-12	۰/۶۴	-۱	P1-2	۰/۸۹	۰
P10-12	۰/۷۶	۰	P2-3	۰/۷۷	۰
P10-13	۰/۹۵	۰	P2-4	۰/۷۲	۰
P11-12	۰/۶۴	-۱	P3-4	۰/۷۱	-۱
P11-15	۰/۶۴	-۱	P4-6	۰/۸۴	۰
P11-17	۰/۶۱	-۱	P5-6	۰/۸۷	۰
P12-14	۰/۸۶	۰	P6-7	۰/۸۹	۰
P12-15	۰/۸۴	۰	P6-8	۰/۸۵	۰
P13-12	۰/۸۹	۰	P7-8	۰/۷۵	-۱
P13-14	۰/۹۲	۰	P7-11	۰/۷۱	۰
P13-15	۰/۸۵	۰	P9-8	۰/۷۱	-۱
P15-17	۰/۸۱	۰	P8-12	۰/۸۳	۰
P17-18	۰/۸۶	۰	P9-10	۰/۷۲	-۱



شکل ۷- نمودار همبستگی نگار متقابل بین پیزومترهای P3-4 و P13-14



شکل ۸- نمودار همبستگی نگار متقابل بین پیزومترهای P8-12 و P11-12



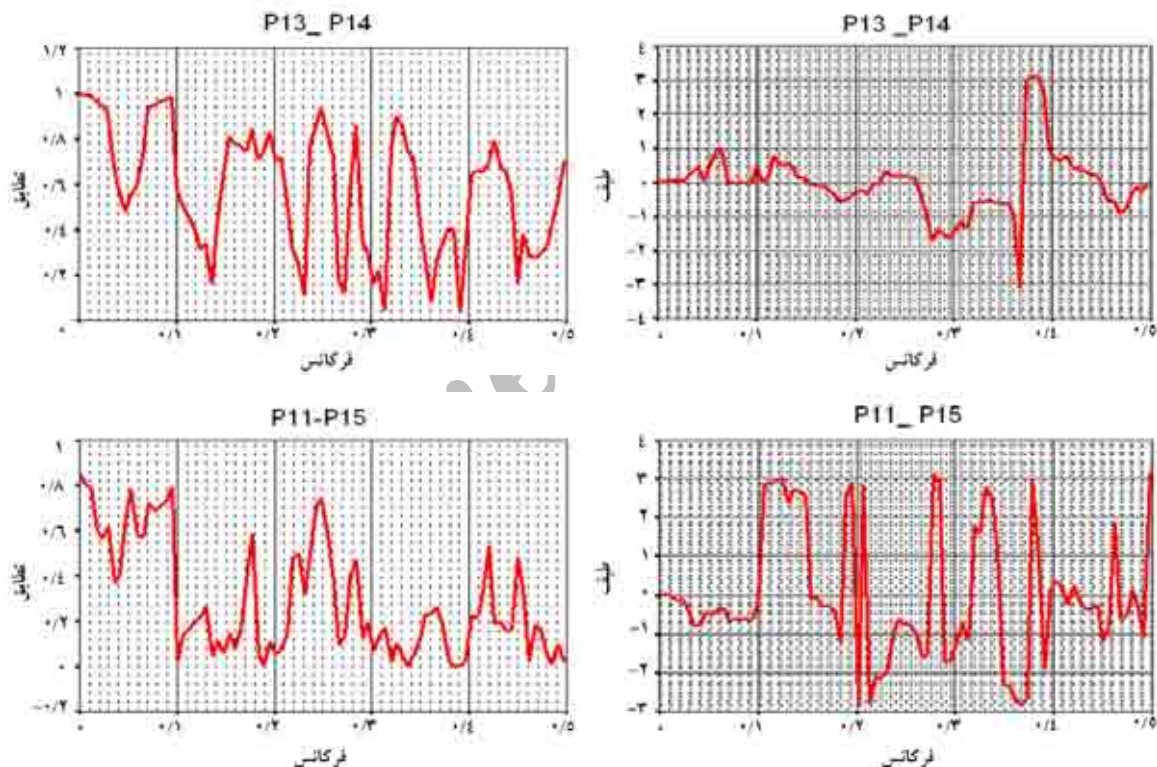
شکل ۹- پیاده‌سازی مکانی نتایج توابع همبستگی متقابل بر روی نقشه موقعیت پیزومترها

نقطه ضعف این روش عدم توانایی آن در بررسی میزان همبستگی دو سری در دوره برگشت‌های مشخص

توابع همبستگی متقابل اطلاعات مفیدی از میزان همبستگی سری‌های زمانی در اختیار ما قرار می‌دهد ولی

با استفاده از توابع فاز تقدم و تاخر همچنین تأخیر زمانی دو سری را در آن فرکانس، مشخص کرد. در این تحقیق برای بررسی دقیق تر میزان همبستگی داده‌های پیژومتری آبخوان دشت شهرکرد از تحلیل‌های چگالی طیفی متقابل نیز استفاده شد. در ابتدا با استفاده از توابع تطابق میزان تطابق برای تمامی ۲۶ زوج سری زمانی حذف روند شده، در فرکانس‌های ۰ تا ۰/۵ محاسبه شد و نمودار میزان تطابق در مقابل فرکانس ترسیم گردید (شکل ۱۰).

می‌باشد. میزان همبستگی حاصل شده در توابع همبستگی متقابل متأثر از تمامی نوسانات موجود در یک سری زمانی می‌باشد. توابع همبستگی در قلمرو فرکانس توانایی تعیین همبستگی دو سری در دوره برگشت‌های مختلف را دارند. بر اساس تئوری روش‌های تحلیل چگالی طیفی متقابل اگر میزان تطابق دو سری زمانی در یک فرکانس مشخص نزدیک به یک باشد این موضوع دلالت بر همبستگی دو سری زمانی در آن فرکانس بوده لذا می‌توان



شکل ۱۰- نمودار تطابق و فاز پیژومترهای P13-14 و P11-15

در فرکانس ۰/۰۸ مورد توجه و بررسی قرار گرفت و میزان تطابق در این فرکانس برای تمامی زوج سری‌ها محاسبه گردید. برای تعیین میزان تأخیر، میزان فاز نیز برای تمامی زوج سری‌ها محاسبه و با توجه به نتایج حاصل از تابع تطابق و مقدار بیشینه این تابع (در فرکانس ۰/۰۸) زمان تأخیر موجود بین این نوسان با استفاده از تابع فاز محاسبه گردید. جدول ۴ میزان تابع تطابق، فاز و میزان

همان گونه در بحث قبل گفته شد نتایج حاصل از تحلیل چگالی طیفی یگانه نشان داد که یکی از مؤلفه‌های اصلی موجود در سری‌های زمانی داده‌های پیژومتری نوسانات فصلی در محدوده فرکانس ۰/۰۷-۰/۰۹ می‌باشند. نتایج حاصل از نمودار تطابق نیز نشان داد که یکی از بیشینه‌های همبستگی در بین زوج سری‌ها در نوسانات فصلی اتفاق افتاده لذا میزان تطابق زوج سری‌ها

مناسبتی برخوردار هستند که نشان از وجود همبستگی مناسب این سری‌ها در نوسان با فرکانس ۰/۰۸۳ (دوره برگشت ۱۲ ماه) می‌باشد ولی پیژومترهای بخش مرکزی و برخی از پیژومترهای بخش‌های شمالی دشت شهرکرد دارای تطابق پائین‌تر می‌باشد

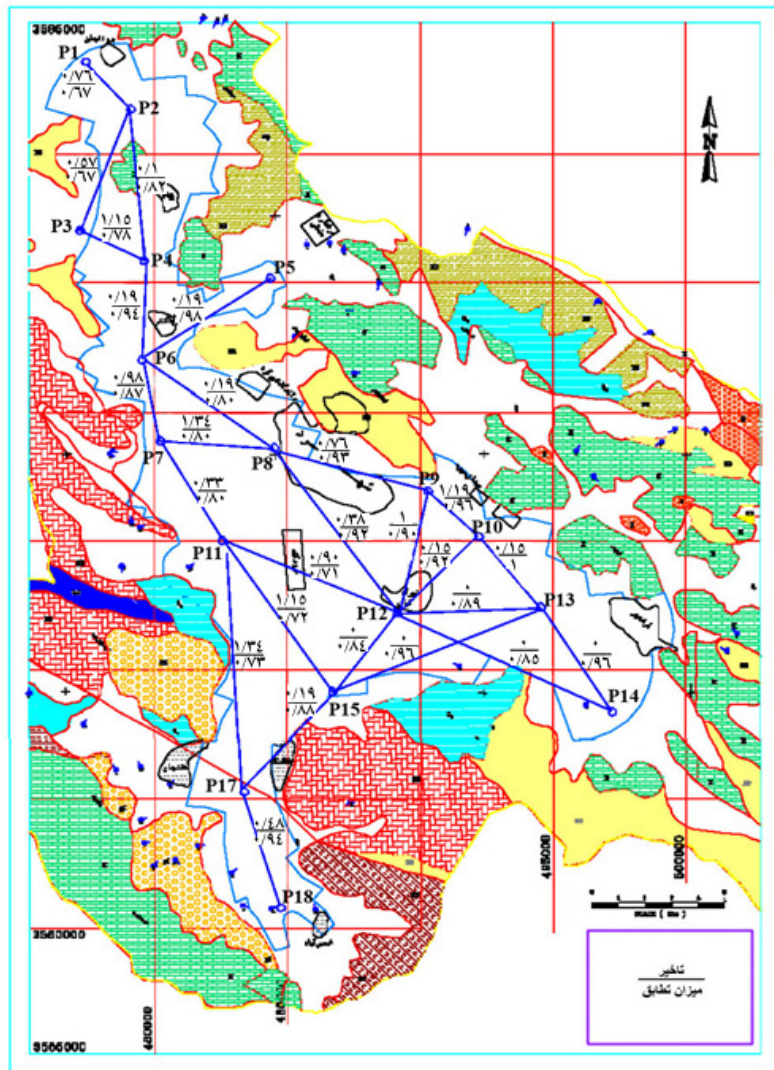
برای بررسی دقیق‌تر، نتایج حاصل تابع فاز نیز مورد بررسی قرار گرفت و پس از پیاده‌سازی مکانی آن‌ها بر روی نقشه موقعیت پیژومترها، مشخص شد که در بخش‌هایی از آبخوان دشت شهرکرد تأخیر فاز صفر یا میزان بسیار پائینی می‌باشد. این مناطق شامل بخش‌های جنوب شرقی دشت و برخی مناطق شمالی دشت شهرکرد، حوالی پیژومترهای P12-13، P12-10، P10-13، P12-15، P12-13، P12-14 و P6-5، P6-4، P15-17، P13-15، P13-14 می‌باشد. حداکثر میزان تأخیر فاز عمدتاً مربوط به پیژومترهای مرکزی دشت شهرکرد، با تأخیر فاز ۱/۴ می‌باشد. با مقایسه نتایج توابع تطابق و فاز با نتایج حاصل از توابع همبستگی متقابل مشخص شد که تقریباً میزان بیشینه همبستگی حاصل شده از توابع همبستگی متقابل در بیشتر نقاط با نتایج حاصل از توابع تطابق همسان می‌باشد. همچنین میزان تأخیر فاز نیز با تأخیرهای حاصل از توابع همبستگی متقابل مشابهت دارد. لذا برای منطقه‌بندی آبخوان دشت شهرکرد از تمامی نتایج بررسی‌های ذکر شده استفاده گردید و بر این اساس آبخوان دشت شهرکرد به چهار منطقه شامل: مناطقی با همبستگی بالا- تأخیر پائین (مناطق شماره ۱)، همبستگی بالا- تأخیر بالا (منطقه ۲)، همبستگی بالا- تأخیر متوسط (منطقه ۳) و همبستگی پائین- تأخیر بالا (مناطق شماره ۴) تقسیم‌بندی گردید و مزرهای این مناطق نیز به صورت حدودی بر روی نقشه موقعیت پیژومترها پیاده گردید (شکل ۱۲).

تأخیر برآورد شده را نشان می‌دهد. برای مشخص شدن مکانی میزان تطابق و تأخیر، بدون در نظر گرفتن تقدم و تاخر سری‌های ورودی و خروجی، مقادیر آن‌ها بر روی نقشه موقعیت پیژومترها مشخص گردید (شکل ۱۱).

جدول ۴- نتایج حاصل از توابع طیفی متقابل برای جفت پیژومترهای دشت شهرکرد

پیژومتر	تطابق	فرکانس	دوره برگشت (ماه)	تأخیر زمانی	فاز
P1-2	۰/۶۷	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۷۶	-۰/۴
P2-3	۰/۶۷	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۵۷	۰/۳
P2-4	۰/۸۲	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۱	-۰/۰۵
P3-4	۰/۷۸	۰/۰۸۳	۱۲	-۱/۱۵	-۰/۶
P4-6	۰/۹۴	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۱۹	-۰/۱
P5-6	۰/۹۸	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۱۹	۰/۱
P6-7	۰/۸۷	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۹۸	۰/۵۱
P6-8	۰/۸۰	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۱۹	-۰/۱
P7-8	۰/۸۰	۰/۰۸۳	۱۲	-۱/۳۴	-۰/۷
P7-11	۰/۸۰	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۳۳	-۰/۲۲
P9-8	۰/۹۳	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۷۶	-۰/۴
P8-12	۰/۹۲	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۳۸	-۰/۲
P9-10	۰/۹۶	۰/۰۸۳	۱۲	-۱/۱۹	-۰/۶۲
P9-12	۰/۹۰	۰/۰۸۳	۱۲	-۱	-۰/۵۲
P10-12	۰/۹۲	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۱۵	۰/۰۸
P10-13	۱	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۱۵	۰/۰۸
P11-12	۰/۷۱	۰/۰۸۳	۱۲	-۰/۹۰	-۰/۴۱
P11-15	۰/۷۲	۰/۰۸۳	۱۲	-۱/۱۵	-۰/۶
P11-17	۰/۷۳	۰/۰۸۳	۱۲	-۱/۳۴	-۰/۷
P12-14	۰/۸۵	۰/۰۸۳	۱۲	۰	۰
P12-15	۰/۸۴	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۰۵	۰/۰۳
P13-12	۰/۸۹	۰/۰۸۳	۱۲	۰	۰
P13-14	۰/۹۶	۰/۰۸۳	۱۲	۰	۰
P13-15	۰/۹۶	۰/۰۸۳	۱۲	۰	۰/۰۱
P15-17	۰/۸۸	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۱۹	۰/۱
P17-18	۰/۹۴	۰/۰۸۳	۱۲	۰/۴۸	۰/۲۵

نتایج تابع تطابق نشان می‌دهد که پیژومترها موجود در بخش‌های جنوبی دشت همچنین پیژومترهای P10-13، P13-14، P13-15، P15-17، P6-5، P6-4 و P12-15، P12-14، P12-13 و P12-10 از تطابق

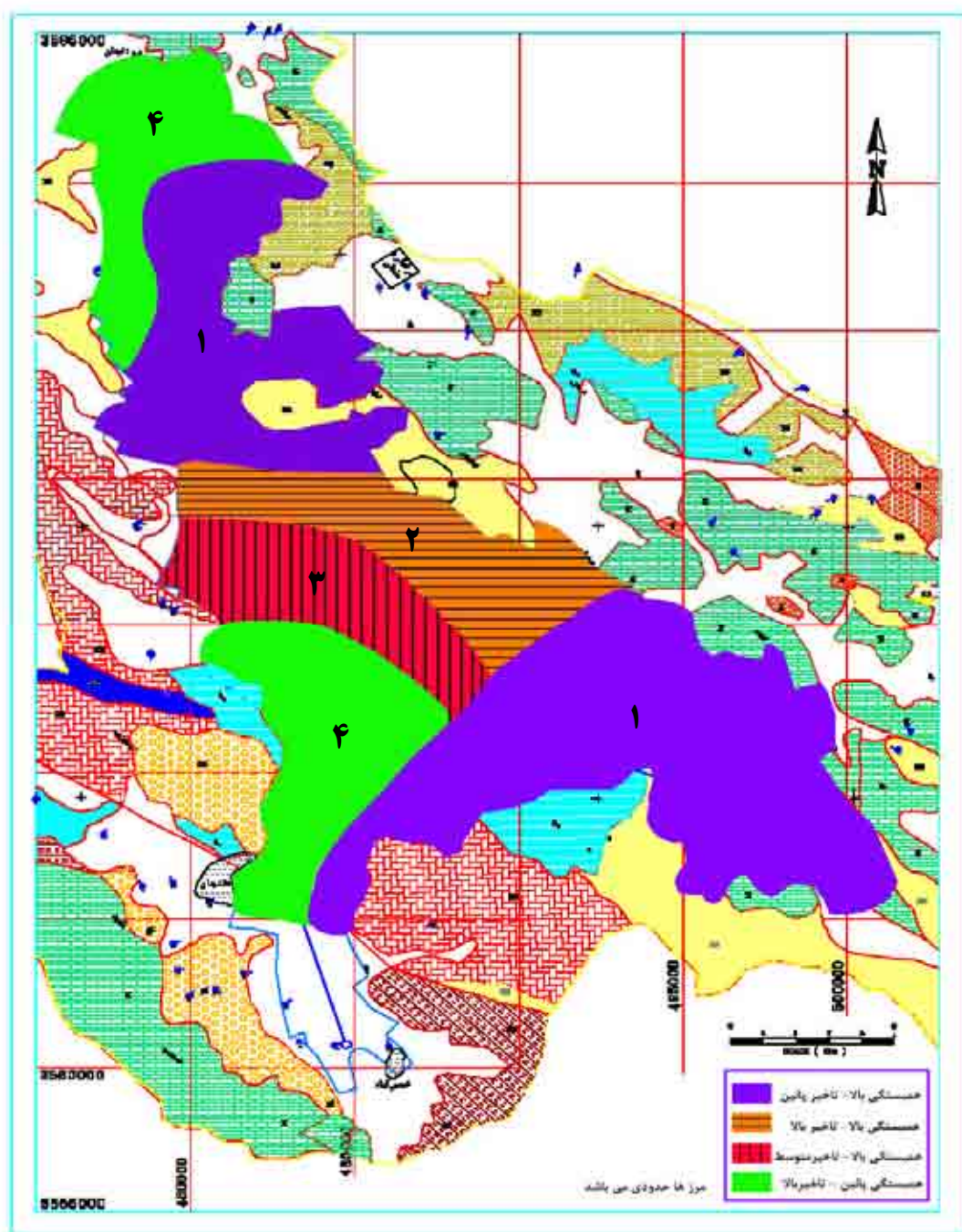


شکل ۱۱- پیاده‌سازی مکانی نتایج توابع طیفی متقابل بر روی نقشه موقعیت پیزومترها

۲ و ۳ نشان‌دهنده همسانی عوامل محیطی حاکم بوده ولی تأثیر این عوامل محیطی (بارش، جریان‌های زیر سطحی و غیره) با تأخیر همراه بوده است.

میزان تطابق (همبستگی) پائین و میزان تأخیر فاز در مناطق شماره ۴ نشان‌دهنده متفاوت بودن عوامل محیطی تأثیرگذار بر آبخوان همچون وجود جریان‌های تغذیه‌کننده کارستی، وجود آبرفت‌های با هدایت هیدرولیکی پائین و عوامل دیگر در بخش‌های مختلف این منطقه می‌باشد.

وجود تطابق (همبستگی) بالا همچنین تأخیر فاز پائین بین زوج پیزومترها ذکر شده در مناطق شماره ۱ نشان‌دهنده همسانی عوامل محیطی تولیدکننده این سری‌ها می‌باشد که این عوامل محیطی شامل تمامی عوامل تأثیرگذار در ایجاد این دو سری می‌باشد. لذا بر اساس این فرض می‌توان گفت در این دو منطقه از آبخوان دشت شهرکرد شرایط محیطی یکسانی بر تولید سری‌های زمانی داده‌های پیزومتری حاکم بوده است. وجود تطابق (همبستگی) بالا و میزان تأخیر فاز بالا و متوسط در مناطق



شکل ۱۲- منطقه‌بندی آبخوان دشت شهرکرد بر اساس میزان همبستگی و تأخیر فاز بین داده‌های پیزومتری

آبخوان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پرهزینه بودن روش‌های مختلفی همچون آزمون‌های پمپاژ، اکتشافات ژئوفیزیکی و آنالیزهای کیفی برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژی و منطقه‌بندی آبخوان‌ها باعث شده است تا

بحث و نتیجه‌گیری

۱- در کلیه مطالعات آب‌های زیرزمینی درک شرایط هیدرولیکی حاکم و منطقه‌بندی وضعیت هیدروژئولوژیکی

سری‌های زمانی داده‌های پیژومتری حاکم بوده و آبخوان دارای شرایط مناسبی می‌باشد.

۵- بر اساس نتایج حاصل شده در این تحقیق در مناطق شماره ۴ آبخوان دشت شهرکرد، شبکه پیژومتری باید تکمیل و بهینه شده و پیژومترهایی در سازندهای آهکی اطراف این بخش آبخوان حفر گردد تا ارتباط این دو آبخوان مشخص گردد. در مناطق شماره ۱ خصوصاً در بخش جنوب شرقی آبخوان دشت شهرکرد، پراکندگی پیژومترها مناسب و شبکه پیژومتری کامل می‌باشد.

مراجع

- [1] Biddiscombe, E.F., Response of groundwater level to rainfall and leaf growth of farm plantain near salt seeps Journal of Hydrology. 78 (1985) 19-34.
- [2] Vangeer, F.C., An extension of Box Jenkins transfer noise molds for spatial interpolation of ground water head series: Journal of Hydrology, 192 (1996) 65-80.
- [3] Samani, N., Response of karst aquifers to rainfall and evaporation, Maharlu basin, Iran, Journal of cave and karst studies, 63, 1 (2001) 33-40.
- [4] Brightite, E.J. and Hendry, M.J., Application of Harmonic Analysis of water levels to determine vertical hydraulic conductivities Ground Water, 41, 40 (2003) 514-522.
- [5] Chatfield, C., The analysis of time series: An introduction, Chapman and Hall, London, (1989).

تحلیل سری‌های زمانی به عنوان یکی از روش‌های دقیق و نسبتاً کم هزینه کمک بسیار شایانی در درک خصوصیات هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان در اختیار محقق قرار دهد.

۲- با توجه به نتایج تحلیل چگالی طیفی یگانه سری زمانی داده‌های پیژومتری، در داده‌های سری‌های زمانی آب‌های زیرزمینی شهرکرد در یک دوره ۱۴ ساله، سه مؤلفه شامل مؤلفه روند، مؤلفه نوسانات فصلی با فرکانس ۰/۰۷-۰/۰۹ همچنین نوسانات سیکلی با فرکانس ۰/۰۱۸ و با دوره برگشت ۴/۵ سال مشاهده شد. و مهم‌ترین عامل عدم ایستایی در سری داده‌های پیژومتری مؤلفه روند تشخیص داده شد.

۳- با توجه به نتایج حاصل از تحلیل همبستگی در قلمرو زمان و فرکانس، آبخوان دشت شهرکرد به چهار منطقه شامل:

- مناطقی با همبستگی بالا - تأخیر پائین (مناطق ۱)
- همبستگی بالا - تأخیر بالا (منطقه ۲)
- همبستگی بالا - تأخیر متوسط (منطقه ۳)
- همبستگی پائین - تأخیر بالا (مناطق ۴)

تقسیم‌بندی شده که مزرهای این مناطق به صورت حدودی بر روی نقشه موقعیت پیژومترها پیاده گردید (شکل ۱۳).

۴- وجود تطابق (همبستگی) بالا همچنین تأخیر فاز پائین در دو منطقه از آبخوان دشت شهرکرد شامل مناطق شماره ۱ نشان‌دهنده همسانی عوامل محیطی تولید کننده این سری‌ها می‌باشد که این عوامل محیطی شامل تمامی عوامل تأثیرگذار در ایجاد این دوسری می‌باشد، لذا بر اساس این فرض می‌توان گفت در این دو منطقه از آبخوان دشت شهرکرد شرایط محیطی یکسانی بر تولید