

## روندیابی و رده‌بندی عوامل موثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از تبدیلات موجک متقابل و ارتباطی؛ مطالعه موردی آبخوان دشت سیلاخور

مهدی کماسی<sup>۱</sup>، سروش شرقی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶

### چکیده

شناسایی عوامل تاثیرگذار در فرآیندهای هیدرولوژیکی نقش مهمی را در مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. در این پژوهش با به‌کارگیری تبدیل موجک متقابل و ارتباطی بر روی سری‌های زمانی بارش، دما و دبی خروجی میزان تاثیر تغییرات هر یک از این پارامترها بر روی نوسانات تراز آب زیرزمینی دشت سیلاخور اولویت‌بندی می‌گردد. تبدیل موجک متقابل و ارتباطی میزان تاثیر متقابل و تاخیر فاز دو سری زمانی را نسبت به هم برآورد می‌کند. این تبدیلات بیانگر آن است که دو سری زمانی در چه دوره و با چه تاخیر فازی با یکدیگر مرتبط هستند. برای این منظور سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی-دبی، تراز آب زیرزمینی-بارش و تراز آب زیرزمینی-دما به صورت زوجی وارد الگوریتم تبدیل موجک متقابل و ارتباطی شده و میزان تاثیر و ارتباط متقابل میان این سری‌های زمانی سنجیده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش بیانگر آن است که سری زمانی دبی که نماینده تاثیرات انسانی است با میانگین ضریب ارتباط موجکی ۰/۸۳ از سری‌های زمانی بارش و دما که نماینده تغییرات اقلیم هستند با میانگین ضریب ارتباط موجکی به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۸ تاثیر بیشتری را بر کاهش تراز سطح آبخوان دشت سیلاخور دارد. بنابراین عوامل انسانی از عوامل اقلیمی در کاهش تراز آب زیرزمینی این دشت تاثیرگذارتر است.

**واژه‌های کلیدی:** تراز آب زیرزمینی، تبدیل موجک متقابل، موجک ارتباطی، دشت سیلاخور، عوامل انسانی.

<sup>۱</sup>استادیار، دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت اله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران، تلفن: ۹۸۹۱۶۶۶۲۴۱۸۰، پست الکترونیکی: komasi@abru.ac.ir

<sup>۲</sup>دانشجو، کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت اله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران، تلفن: ۹۸۹۱۶۸۶۲۲۷۲۲، پست الکترونیکی: s.sharghi@abru.ac.ir

## مقدمه

افزایش اراضی دیمی، اراضی آبی، جنگل دست کاشت با افت سطح ایستابی وجود دارد.

امروزه اولویت‌بندی عوامل تاثیر گذار بر روی رفتارها و تغییرات مخرب هیدرولوژیکی و اقلیمی با استفاده از معیارها و روش‌های مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا پژوهش‌های متعددی برای بررسی تغییرات فرایندهای هیدرولوژیکی با استفاده از روش‌های مختلفی همچون آزمون‌های پارامتریک همانند تحلیل رگرسیون، آزمون‌های ناپارامتریک همانند آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن و آزمون مان-کندال مورد توجه قرار گرفته است (Kahya and Marques, 2015) Mann, 1945, Kalaycı, 2004, Agrawala et al. (2001) و Barlow et al. (2002) که روی خشک‌سالی مناطق مرکزی و جنوب غرب آسیا (کشورهای تاجیکستان، افغانستان، ایران، پاکستان، ازبکستان و ترکمنستان) انجام گرفت بیانگر آن است که شروع خشک‌سالی همراه با تغییرات بارش، دما و باد در اقیانوس‌های هند و آرام است. Clark and Webster (2003) با استفاده از آنالیز همبستگی نشان دادند که تغییرات بارش فصلی در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در امتداد سواحل کنیا و تانزانیا همبستگی زیادی با دمای سطح آب اقیانوس هند بین سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۵۰ دارد. از سوی نورانی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیار موجک-آنتروپی در دریاچه ارومیه پرداختند. آن‌ها با استفاده از این معیار، کاهش نوسانات سری زمانی دبی آب در حوضه دریاچه ارومیه را مهم‌ترین عامل کاهش تراز سطح آب این دریاچه معرفی نمودند. اساس پژوهش آن‌ها بررسی تغییرات سری‌های زمانی هیدرولوژیکی حوضه بود. از سوی Chou (2014) برای بررسی میزان پیچیدگی، روش آنتروپی چند مقیاسی را برای سری‌های زمانی بارش و رواناب به کار برد و مشاهده نمود که نتایج به دست آمده در مقیاس‌های زمانی

کاهش منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان ارزشمندترین منابع آب‌های شیرین، ناشی از عوامل مختلف اقلیمی و انسانی تاثیرات مخربی را از جمله کاهش تامین آب، کاهش مقاومت خاک، پدیده فرونشست زمین و... در یک منطقه برجای می‌گذارد. از سویی سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بلند مدت به گونه‌ای می‌تواند کاهش یابد که با بارش‌های بعدی قابلیت احیا را از دست بدهد. در نتیجه، رودخانه‌ها و تالاب‌ها خشک خواهند شد و پمپاژ این آب‌ها به سطح زمین امری غیرممکن می‌شود. این مسئله در نهایت به فجایع زیست محیطی و قحطی منجر خواهد شد. بنابراین یافتن عوامل موثر بر این پدیده و اولویت‌بندی آن‌ها در مدیریت این منابع ارزشمند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش‌های متعددی در راستای شناسایی علل افت سطح آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه اکبری و همکاران (۱۳۸۸) افت سطح آب‌های زیرزمینی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> در آبخوان دشت مشهد بررسی نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها گویای این موضوع بود که مهم‌ترین عوامل افت آب زیرزمینی در دشت مشهد پدیده خشک‌سالی، برداشت بی‌رویه، ازدیاد جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و تعداد زیاد چاه‌های برداشت می‌باشد. در این راستا طباطبایی (۱۳۸۸) به بررسی علل افت آب‌های زیرزمینی در منطقه شرق دریاچه ارومیه پرداخت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین دلایل افت تراز آب زیرزمینی در منطقه مذکور کمبود بارندگی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر می‌باشد. همچنین فرامرزی و همکاران (۱۳۹۳) اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی را در منطقه دشت دهلران استان ایلام مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که همبستگی مثبتی بین

<sup>1</sup> GIS

ناگهانی، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها و... را مشخص کند (نورانی و همکاران، ۲۰۱۵). هدف اصلی تبدیل موجک پیوسته به دست آوردن یک نمایش کامل زمان-فرکانس از یک رخداد موضعی و موقتی در مقیاس‌های زمانی متفاوت می‌باشد. نمودارهای تبدیل موجک پیوسته برای تشخیص دوره‌هایی که مناطق با طیف موجک بالایی ارائه می‌دهند، بررسی می‌شوند. مطابق رابطه (۱) با هر موجک مادر دلخواه مثل موجک مادر مورلت (رابطه ۲)، می‌توان تبدیل موجک را برای سری‌های زمانی هر یک از داده‌های هیدرولوژیکی  $X(t)$ ، تخمین زد (Labat, 2010).

$$C_{\psi}^X(a,b) = \int x(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

(۲)

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\eta^2/2}$$

که  $\psi_0$  تابع موجک مادر،  $\omega_0$  تابع نمایی و  $\omega_0$  فرکانس بدون بعد و  $\eta$  زمان بدون بعد می‌باشد، همچنین علامت "\*" به مزدوج مختلط موجک مادر اشاره دارد. پارامتر "a" به‌عنوان فاکتور مقیاس بیان می‌شود که اگر  $a > 1$  باشد سری زمانی در طول محور زمان منبسط و اگر  $a < 1$  باشد سری زمانی در طول محور زمان منقبض می‌شود. همچنین پارامتر "b" به‌عنوان فاکتور موقعیت به کار گرفته می‌شود و امکان مطالعه و بررسی سری زمانی  $X(t)$  در اطراف زمان  $b$  را می‌دهد. می‌توان از مفهوم تبدیل موجک برای بررسی ارتباط بین دو سری زمانی مختلف مربوط به دو فرایند هیدرولوژیکی مجزا استفاده شود. برای این منظور طیف موجک  $W_X(a,b)$  از سری زمانی  $X(t)$  مشابه آنالیز فوریه و با قدر مطلق ضرایب موجک تعریف می‌شود:

(۳)

$$W_X(a,b) = C_{\psi}^X(a,b) C_{\psi}^{*X}(a,b) = |C_X(a,b)|^2$$

این طیف موجک می‌تواند در زمان نیز میانگین-گیری شود که به‌عنوان طیف قدرت موجک میانگین کلی<sup>۴</sup> تعریف می‌شود و اجازه تعیین مشخصات مقیاس

بالتر با نتایج به دست آمده در مقیاس‌های زمانی پایین متفاوت می‌باشد. همچنین Aghakouchak (2014) با استفاده از ترکیب الگوریتم کاپولا<sup>۱</sup> با معیار آنتروپی توانست کاربرد جامع این روش را در آنالیز و روندیابی داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی نشان دهد. همچنین Miao et al. (2012) سری زمانی بارش فصلی در حوضه‌ی پکن را مورد آنالیز رفتاری دراز مدت قرار دادند. در پژوهشی دیگر نورانی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تبدیل موجک گسسته و روش ناپارامتریک مان-کندال به آنالیز و بررسی رفتار و روند سری‌های زمانی بارش و رواناب حوضه تامپابای، آمریکا پرداخت. با جمع بندی پژوهش‌های یاد شده می‌توان گفت که هرچند روش‌های یاد شده توانایی رده‌بندی عوامل تاثیرگذار در پدیده‌های هیدرولوژیکی را دارند اما کمتر روند دراز مدت یک سری زمانی را مورد توجه قرار داده‌اند. همچنین از دیگر کاستی‌ها این روش‌ها رده‌بندی عوامل برپایه اعداد به صورت نسبی است بدین معنی که قابلیت بیان نتایج در قالب نمودار گرافیکی را ندارند از این روی در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با استفاده از روش نوین تبدیل موجک متقابل<sup>۲</sup> و ارتباطی<sup>۳</sup>، رابطه‌ی دقیق میان سری‌های زمانی دبی (به‌عنوان نماینده عوامل انسانی)، بارش و دما (به‌عنوان نماینده عوامل اقلیمی) با سری زمانی تراز سطح آبخوان دشت سیلاخور بررسی گردد و نهایتاً مشخص شود که کاهش سطح آب زیرزمین دشت سیلاخور بیشتر متأثر از کدامیک از عامل انسانی و اقلیمی بوده است.

## مواد و روش‌ها

### تبدیل موجک متقابل

آنالیز داده‌های و سری‌های زمانی توسط تبدیل موجک با سرعت و دقت بالا انجام شده و برخلاف دیگر روش‌های آنالیز سیگنال، می‌توان روند، تغییرات

<sup>1</sup> Copula

<sup>2</sup> Cross Wavelet Transform (XWT)

<sup>3</sup> Wavelet Transform Coherence (WTC)

<sup>4</sup> Global averaged Wavelet Power Spectrum

ارتباطی نیز می‌تواند مشابه ارتباط فوریه به صورت زیر تعریف شود (Labat, 2010):

(۷)

$$WC(a,b) = \frac{|SW_{XY}(a,b)|}{\sqrt{|SW_{XX}(a,b)| \cdot |SW_{YY}(a,b)|}}$$

ارتباط موجک مقداری بین ۰ و ۱ اختیار می‌کند و مقدار همبستگی و ارتباط فرکانسی بین سری زمانی دو فرایند مختلف را نشان می‌دهد.

### حوزه مطالعاتی

دشت سیلاخور با وسعتی به اندازه ۸۱۹ کیلومتر-مربع، بزرگ‌ترین زمین هموار استان لرستان در غرب ایران است (شکل ۱). این دشت وسیع که شامل مساحت شهرستان‌های بروجرد و دورود نیز می‌باشد از قطب‌های مهم کشاورزی و باغداری منطقه هم به شمار می‌رود. دشت سیلاخور در شمالی‌ترین قسمت حوزه آبریز کارون بزرگ قرار دارد. به علت ورود جریان‌های سطحی به این محدوده مطالعاتی و همچنین وجود بارندگی کافی و برف‌گیر بودن ارتفاعات این محدوده مسیل‌های واقع در آن دائمی بوده و زهکش اصلی این محدوده را رودخانه‌های سیلاخور، ماربره و تیره تشکیل می‌دهند. کمترین ارتفاع محدوده ۱۴۳۷ متر، مربوط به بخش‌های خروجی حوزه و بیشترین ارتفاع محدوده ۳۸۴۵ متر از سطح دریا، مربوط به جنوب شرقی محدوده می‌باشد.

را می‌دهد (Torrence and Compo, 1998). مشخصات دوره تناوب نوسانات با استفاده از طیف موجک کلی تعیین می‌شود. مشابه طیف متقابل فوریه طیف متقابل موجک  $W_{XY}(a,b)$  بین دو سری زمانی مختلف هیدرولوژیکی  $X(t)$  و  $Y(t)$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_{XY}(a,b) = C_{\psi}^X(a,b)C_{\psi}^{*Y}(a,b) \quad (۴)$$

که  $C_{\psi}^X(a,b)$  و  $C_{\psi}^{*Y}(a,b)$  به ترتیب ضرایب موجک سری زمانی پیوسته  $X(t)$  و مختلط، ضریب موجک  $Y(t)$  می‌باشند. تکنیک میانگین‌گیری طیف موجک، برای بیان کوواریانس متقابل سری‌های زمانی  $X(t)$  و  $Y(t)$  و توزیع آن در مقیاس‌های مختلف استفاده می‌شود.

### تبدیل موجک ارتباطی

طیف متقابل موجک برای بیان ارتباط متقابل بین دو فرایند نامناسب بوده از این‌رو، استفاده از تبدیل موجک ارتباطی در پردازش سری زمانی که در حقیقت یافتن نوعی معیار از همبستگی بین دو سری زمانی در فرکانس‌ها و زمان‌های مختلف می‌باشد مناسب‌تر است (نورانی و همکاران، ۲۰۱۶ و Maraun and Kurths, 2004). در این راستا (Webster (1999) پیشنهاد کردند ارتباط موجکی با استفاده از تخمین هموار<sup>۱</sup> طیف موجک تعیین شود. طیف موجک هموار  $SW_{XX}(a,b)$  و طیف متقابل موجک  $SW_{XY}(a,b)$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$SW_{XX}(a,b) = \int_{t-\delta/2}^{t+\delta/2} W_{XX}^*(a,b)W_{XX}(a,b)dadb \quad (۵)$$

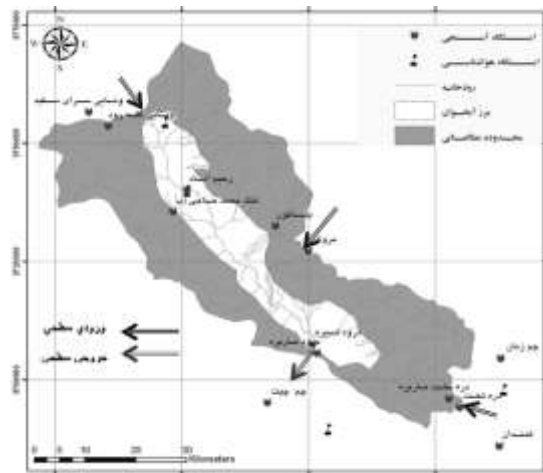
$$SW_{XY}(a,b) = \int_{t-\delta/2}^{t+\delta/2} W_{XX}^*(a,b)W_{YY}(a,b)dadb \quad (۶)$$

در این رابطه  $\delta$  بیان‌کننده اندازه فیلتر دوبعدی می‌باشد (Luterbacher et al., 2002). در نهایت معیار ارتباط موجکی یا رابطه‌ی تبدیل موجک

<sup>1</sup> Smooth estimate

سال هفتم • شماره بیست و هشتم • تابستان ۱۳۹۶

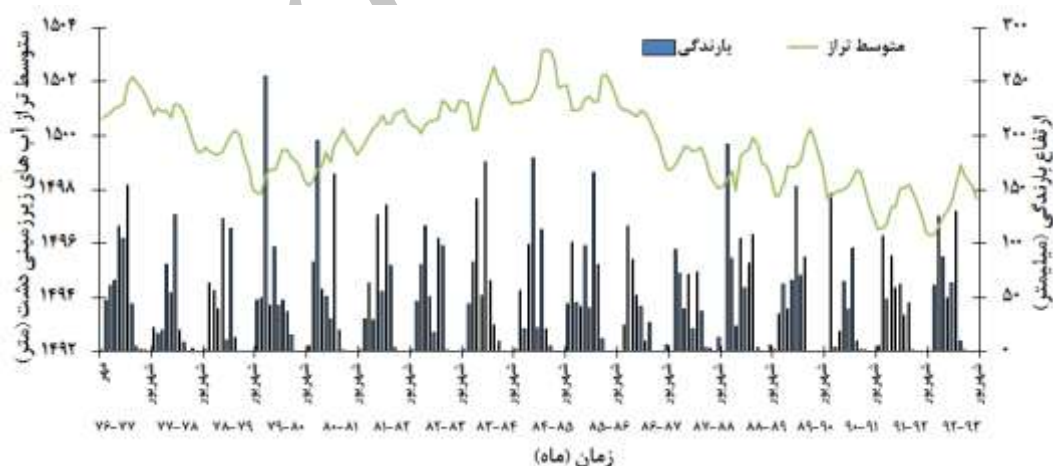
جدول ۱ ویژگی‌های آماری منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. شکل ۲ نمودار ۲۰۴ ماهه مقایسه بارندگی و تغییرات تراز متوسط آب زیرزمینی دشت سیلاخور از سال آبی (۱۳۷۷-۱۳۷۶) تا (۱۳۹۳-۱۳۹۲) نشان می‌دهد. شکل ۳ و ۴ نیز تغییرات دما و دبی آب خروجی را در بازه زمانی یاد شده نشان می‌دهد. همچنین آبخوان دشت سیلاخور از نوع آبخوان تحت فشار است بنابراین داده‌های میزان تراز آب زیرزمینی دشت سیلاخور در چاه‌های پیژومتری ۱۱ منطقه مختلف این دشت از جمله دره گرگ، قره سو، گلدشت، حاجی آباد و... از سازمان آب بروجرد تهیه شده است.



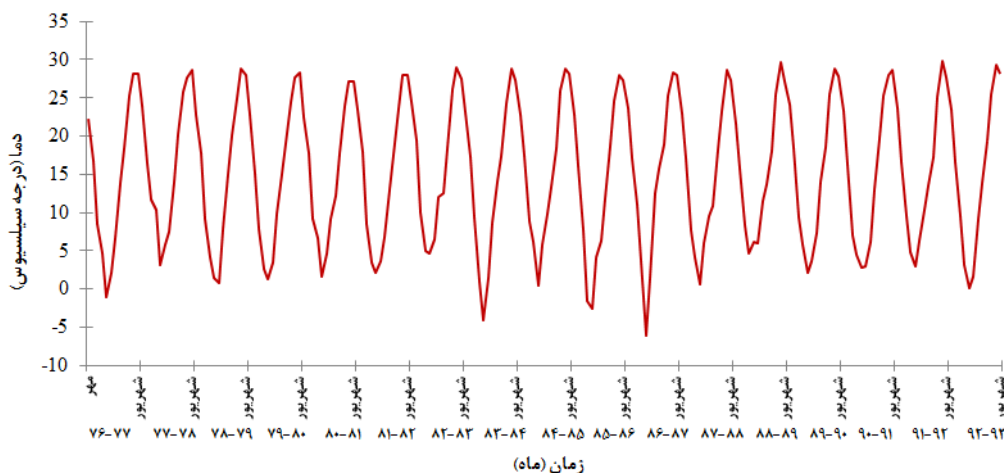
شکل (۱): محدوده مطالعاتی دشت سیلاخور (دورود- بروجرد)

جدول (۱): ویژگی‌ها آماری سری زمانی دشت سیلاخور

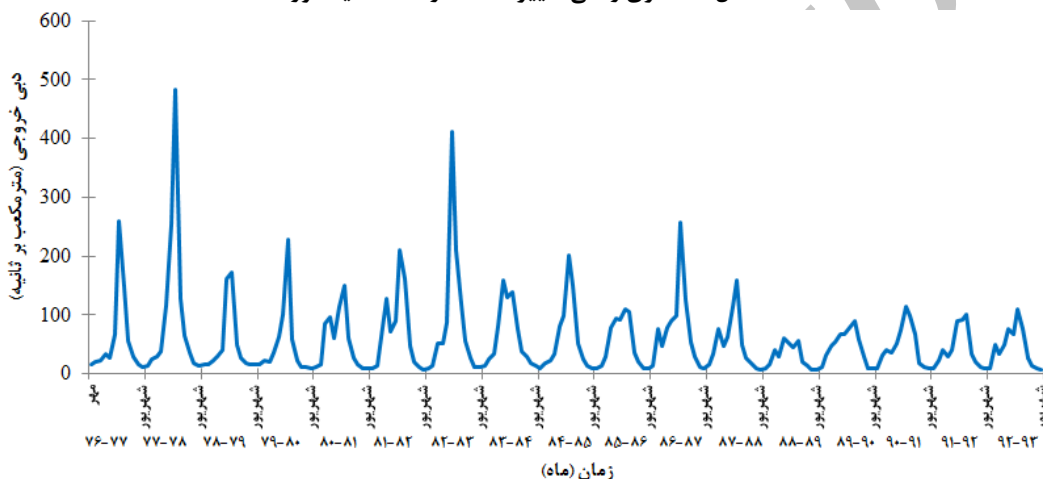
میانگین	کمینه	بیشینه	سری زمانی ماهانه (۲۰۴ ماه)
۱۴۹۹/۷۴	۱۴۹۶/۲۹	۱۵۰۳/۲۰	تراز متوسط آب زیرزمینی (متر)
۴۲/۷۶	۰	۲۵۵/۲۵	بارش (میلی‌متر)
۱۵/۰۵	-۶	۲۹/۹۰	دما (درجه سلسیوس)
۵۷/۳۹	۶/۳۷	۴۸۳/۱۶	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۴۶/۰۶	۱۹/۳۶	۷۲/۸۰	رطوبت نسبی (درصد)
۸۸/۵۲	۶۵/۶۹	۱۱۱/۳۰	تبخیر (میلی‌متر در ماه)



شکل (۲): مقایسه‌ی سری زمانی تغییرات بارش و تراز متوسط آب زیرزمینی در دشت سیلاخور



شکل (۳): سری زمانی تغییرات دما در دشت سیلاخور



شکل (۴): سری زمانی تغییرات دبی آب خروجی از دشت سیلاخور

## نتایج مدلسازی و بحث

تاثیر انواع عوامل انسانی و اقلیمی به همراه مدیریت نادرست منابع آب نهایتاً موجب کاهش سطح آبخوان‌ها در یک منطقه می‌شود و این مهم برای منطقه دشت سیلاخور به‌وضوح در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل پیداست سری زمانی تغییرات تراز متوسط آب‌های زیرزمینی دشت سیلاخور در ابتدای سال ۱۳۷۶ در ارتفاع ۱۵۰۰/۶۴ متر بوده و نهایتاً پس از گذشت ۲۰۴ ماه یعنی در پایان سال ۱۳۹۳ به تراز ارتفاعی ۱۴۹۷/۶۳ متر رسیده است. بنابراین سطح آب زیرزمینی در این منطقه وسیع، تحت تاثیر عوامل متعددی، در حدود سه متر کاهش یافته است. شایان ذکر است که سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی نایستا بوده و دربردارنده‌ی

مشخصه‌های متعددی است به این معنی که سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی گستره‌ی وسیعی از مقیاس‌های زمانی همانند سال و ماه تا روز و ساعت را دربر می‌گیرند. بنابراین با توجه به پیچیدگی سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی جهت دست‌یابی به نتایج و اهدافی دقیق و صحیح برای مدیریت این منابع نیاز به به‌کارگیری شاخص‌ها و آنالیزهای مناسب است که بتوانند ارتباط میان این سری‌های زمانی پیچیده را به‌طور صریح بیان کنند.

بدین منظور با استفاده از معیار نوین تبدیل موجک متقابل و ارتباطی رابطه‌ی میان سری زمانی تغییرات متوسط تراز آب زیرزمینی دشت سیلاخور و سری‌های زمانی رواناب، بارش و دما روشن خواهد شد و نقش هرکدام از عوامل تبیین می‌شود که الگوریتم و

زیرزمینی، دبی رواناب خروجی از دشت، بارش و دما در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۳ استفاده شده است.

روندنمای آن در شکل ۵ نشان داده شده است. در این پژوهش از سری زمانی ۲۰۴ ماهه تراز متوسط آب

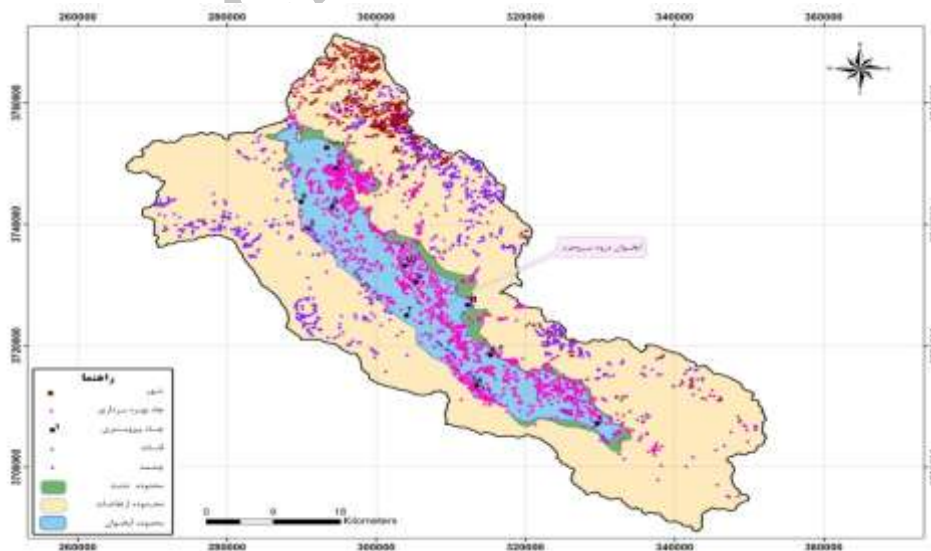


شکل (۵): روند تعیین میزان تاثیر سری‌های زمانی رواناب، بارش و دما بر روی تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت

شکل ۶ گواه نتایج این بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمین با حفر تعداد قابل توجه چاه‌ها در دشت سیلاخور است. از سویی با توجه به ثبات تقریبی متوسط بارندگی منطقه موردنظر (شکل ۲-خط نقطه‌چین) و سری زمانی دما (شکل ۳) می‌توان گفت که تغییرات و نوسانات سری‌های زمانی بارندگی و دما بسیار ناچیز بوده و این موضوع نقش کم‌رنگ تاثیر تغییرات پارامترهای اقلیمی را در کاهش اخیر سطح آبخوان دشت سیلاخور نشان می‌دهد.

### بررسی تاثیر مستقیم عوامل انسانی بر کاهش تراز سطح آبخوان

عواملی که در سال‌های اخیر موجب ایجاد نیاز بیش از حد به بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه دشت سیلاخور شده است عبارت است از برداشت بی‌رویه از آب‌های جاری، تغییر الگوی کشت و در نتیجه کاشت محصولات هم‌مانند برنج که متناسب با شرایط آبی منطقه نبوده و آب زیادی مصرف می‌کنند و گسترش صنعت. بنابراین بهره‌برداری از منابع آب-های زیرزمینی با حفر چاه‌های متعدد به‌طور مستقیم بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی تاثیر گذاشته است.



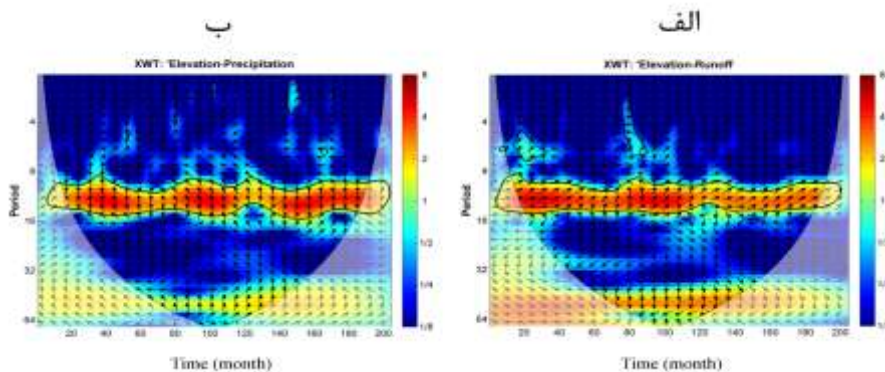
شکل (۶): چاه‌های حفر شده در منطقه دشت سیلاخور

## بررسی میزان تاثیر غیرمستقیم عوامل انسانی و

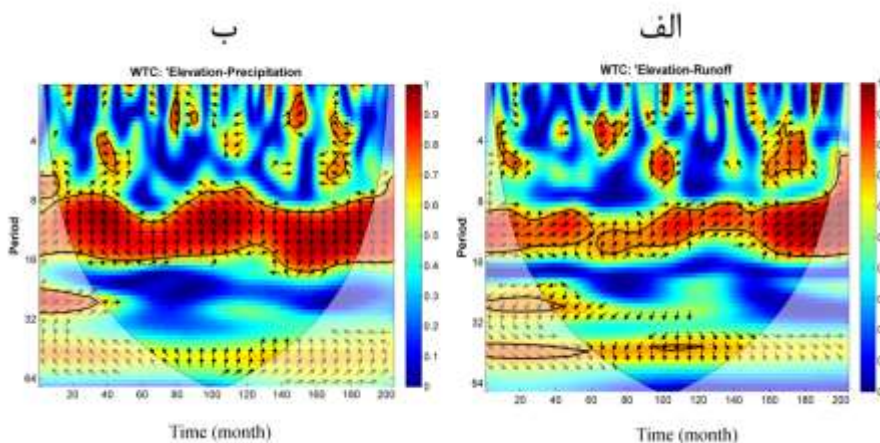
## اقلیمی بر کاهش تراز سطح آبخوان

فارغ از تاثیرات مستقیم و مشهود عوامل مختلف انسانی بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی یک منطقه، سری زمانی دبی آب خروجی دشت سیلاخور به عنوان معیاری برای بررسی تاثیر غیرمستقیم عوامل انسانی بر کاهش سطح آبخوان دشت در نظر گرفته می‌شود چراکه بخش مهمی از تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی مربوط به نفوذ آب‌های جاری در آبخوان‌ها است. همچنین سری‌های زمانی بارش و دما به‌عنوان نمایندگان تغییرات اقلیم دشت سیلاخور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این راستا سری زمانی تراز متوسط

سطح آبخوان همراه با سری‌های زمانی دبی خروجی، بارش و دما دشت سیلاخور به‌صورت دوه‌دو به‌عنوان ورودی‌های اولیه‌ی وارد الگوریتم تبدیل موجک متقابل و ارتباطی که در قالب برنامه‌نویسی MATLAB نوشته شده است می‌شوند و ارتباط تغییرات هر کدام از سری‌های زمانی دبی خروجی، بارش و دما با سری زمانی تراز متوسط سطح آبخوان تعیین می‌گردد. نتایج حاصل از تبدیل موجک متقابل برای دو سری زمانی تراز - دبی و تراز - بارش در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج تبدیل موجک ارتباطی برای این سری‌های زمانی در قالب شکل ۸ نیز به نمایش گذاشته شده است.



شکل (۷): نتایج تبدیل موجک متقابل برای مقایسه‌ی سری‌های زمانی (الف) تراز - دبی و (ب) تراز - بارش

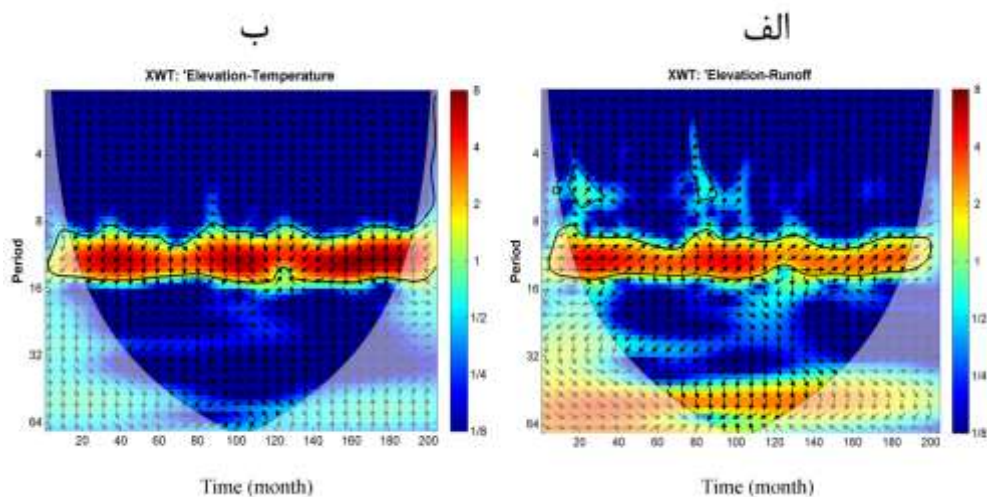


شکل (۸): نتایج تبدیل موجک ارتباطی برای مقایسه‌ی سری‌های زمانی (الف) تراز - دبی و (ب) تراز - بارش

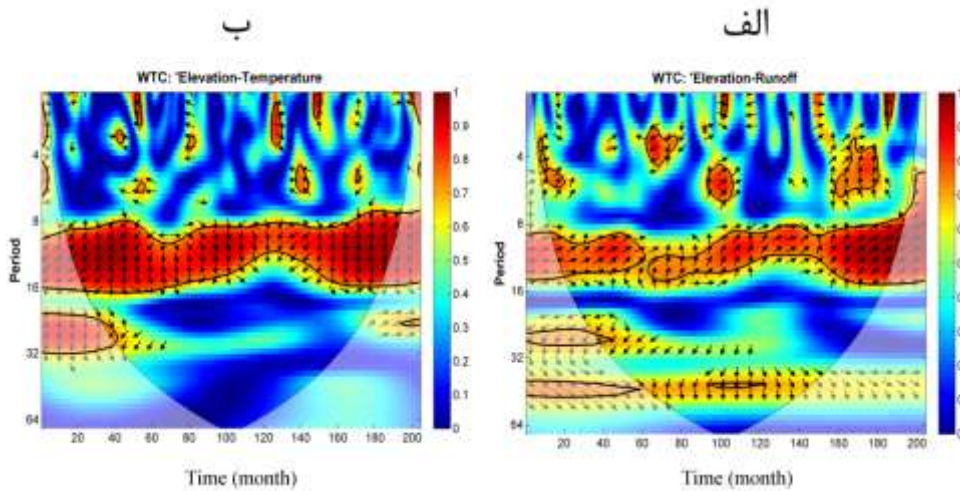


نشان می‌دهد. از سویی میانگین ضریب ارتباط موجکی بدست آمده از این تبدیل  $0/83$  می‌باشد. درحالی‌که تبدیل موجک متقابل دو سری زمانی تراز-بارش با محدوده باند ارتباط موجکی بین ۱۰ تا ۱۵ ماه داری ضریب ارتباط موجکی  $0/52$  است. همچنین اختلاف فاز دو سری زمانی تراز-بارش با توجه به جهت پیکان‌ها که عموماً قائم هستند  $90$  درجه می‌باشد. بر پایه‌ی این تفسیر می‌توان گفت که تاثیر نسبی سری زمانی دبی نسبت به سری زمانی بارش بر تغییرات و در نتیجه کاهش تراز آبخوان دشت سیلاخور بیشتر است. همچنین هم‌راستا بودن پیکان‌ها در بازه‌های زمانی طولانی‌تر در تبدیل موجک متقابل و ارتباطی دو سری زمانی تراز-دبی گواه دیگری بر این مدعاست. در ادامه هدف تعیین میزان ارتباط و تاثیر موضعی متقابل دو سری زمانی تراز-دما و مقایسه آن با موجک ارتباطی تراز-روناب می‌باشد. نتایج تبدیل موجک متقابل و ارتباطی برای همین سری‌های زمانی در قالب شکل ۹ و ۱۰ نیز به نمایش گذاشته شده است.

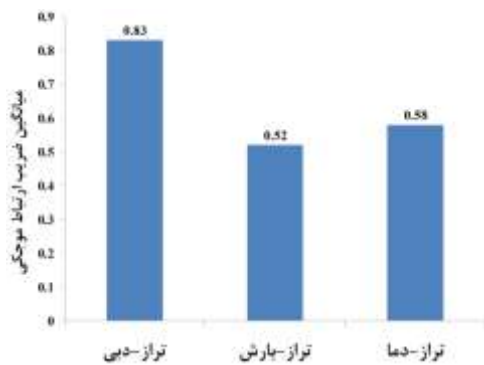
در شکل ۷ و ۸ مناطقی که با خطوط پررنگ و پیکان‌های متراکم مشخص شده‌اند نواحی هستند که تبدیل موجک متقابل و ارتباطی رفتار موضعی از خود نشان داده است. این مفهوم به این معنا است که ارتباطی قابل توجهی میان نوسانات متناظر دو سری زمانی در دوره تناوب معین (باند ارتباطی) وجود دارد (Holman et al., 2011). بنابراین در این نواحی سری زمانی روناب و یا بارش بر تغییرات سری زمانی تراز متوسط سطح آبخوان دشت سیلاخور تاثیر گذار است. همچنین تاخیر فاز نسبی بین سری‌های زمانی با استفاده از پیکان‌های فازی نشان داده شده در اشکال ۷ و ۸ بررسی می‌شوند. پیکان‌های به سمت راست نشان دهنده هم‌فاز بودن دو سری زمانی و پیکان‌های به سمت چپ بیانگر غیرهم‌فاز بودن آن‌ها می‌باشد و پیکان‌های به سمت بالا یا پایین نیز یعنی یک سری زمانی با زاویه  $90$  درجه به دیگری منجر می‌شود. در شکل ۷ تبدیل موجک متقابل دو سری زمانی تراز-دبی، باند ارتباطی حدوداً ۸ تا ۱۶ ماه را



شکل (۹): نتایج به‌دست آمده از تبدیل موجک متقابل در مقایسه‌ی سری‌های زمانی (الف) تراز- دبی و (ب) تراز- دما



شکل (۱۰): نتایج به دست آمده از تبدیل موجک ارتباطی در مقایسه‌ی سری‌های زمانی (الف) تراز-دبی و (ب) تراز-دما



شکل (۱۱): میانگین ضرایب ارتباط موجکی بین سری‌های زمانی

تقدم عوامل انسانی بر عوامل اقلیمی در پژوهشی که توسط نورانی و همکاران (۱۳۹۵) صورت گرفته نیز بررسی شده است بطوریکه با استفاده از معیار موجک ارتباطی این نتیجه حاصل شده است که سری زمانی رواناب دارای بیشترین تاثیر روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد و تاثیر سری‌های زمانی دما و بارش روی نوسانات سطح آب در اولویت‌های بعدی نسبت به رواناب قرار دارد. شایان ذکر است که مهمترین پارامتری که بر روی دقت شناخت نوسانات سری‌های زمانی توسط این دو معیار تاثیر گذار است پیوستگی داده‌ها می‌باشد. پیوستگی داده‌ها به این

همانطور که در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است سری‌های زمانی تراز-رواناب در مقایسه با سری‌های زمانی تراز-دما با توجه به جهت پیکان‌ها از همبستگی فازی بیشتری برخوردار است. همچنین ضریب ارتباط موجکی برآورد شده برای سری‌های زمانی تراز-دما ۰/۵۸ می‌باشد. بنابراین تاثیر سری زمانی دبی خروجی از دشت سیلاخور بر تغییرات تراز سطح آبخوان منطقه نسبت به تاثیرات دما در کل بازه زمانی بیشتر است. در جدول ۲ و شکل ۱۱ خلاصه این نتایج بدست آمده نشان داده شده است. بنابراین چون تغییرات دبی مهم‌ترین مصداق عامل تاثیرات انسانی در این منطقه است و این کاهش ناشی از عدم مدیریت در استفاده از منابع آب‌های جاری، ایجاد سد و بهره‌برداری غلط و سنتی از این آب‌ها، افزایش جمعیت، تغییر کاربری زمین‌ها و تغییر الگوی کشت می‌باشد، در نتیجه عامل انسانی بر عامل تغییر اقلیم (با توجه به معیارهای بارش و دما) در افت سطح آب زیرزمینی دشت سیلاخور مقدم می‌باشد.

جدول (۲): میانگین ضرایب ارتباط موجکی بین سری‌های زمانی

	تراز-دبی	تراز-بارش	تراز-دما
میانگین ضرایب ارتباط موجکی	۰/۸۳	۰/۵۲	۰/۵۸

دشت سیلاخور مشخص گردند. برای این منظور میزان تاثیر و ارتباط متقابل میان جفت سری‌های زمانی تراز-دبی، تراز-بارش و تراز-دما توسط تبدیل موجک متقابل و ارتباطی تعیین شد. طبق نتایج به دست آمده، تبدیل موجک متقابل دو سری زمانی تراز-دبی دارای باند ارتباطی بین ۸ تا ۱۶ ماه بود. همچنین میانگین ضریب ارتباط موجکی برای این تبدیل ۰/۸۳ برآورد شد. در حالیکه تبدیل موجک متقابل سری‌های زمانی تراز-بارش و تراز-دما با ضریب ارتباط موجکی به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۸ اختلاف‌فاز بیشتری را نشان دادند. این مهم گویای تاثیر نسبی بیشتر سری زمانی دبی بر تغییرات و در نتیجه کاهش تراز آبخوان دشت سیلاخور است و این موضوع تقدم عوامل انسانی بر عوامل اقلیمی در کاهش سطح آب زیرزمین دشت سیلاخور را نشان می‌دهد. استفاده از معیارها و روش‌های دیگر آنالیز و تحلیل روند سری‌های زمانی همچون معیار موجک-آنتروپی و آزمون من-کندال و همچنین استفاده از سری‌های زمانی متعدد همچون تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت و... در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند پیشنهاد‌های مناسبی به منظور بررسی عوامل موثر بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی منطقه برای پژوهش‌های آینده باشد.

معنا است که در روند تغییرات سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی، گسستگی وجود نداشته باشد بطوریکه داده‌ای ثبت نشده در طول نوسانات سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی وجود نداشته باشد و تمام داده‌ها در طول زمان ثبت شده باشند تا پیوستگی در طول سری زمانی حفظ شود. از سویی معیار موجک متقابل و ارتباطی فقط با سری‌های زمانی سروکار دارند بنابراین پارامترهای فیزیکی حوضه همچون ضرایب نفوذپذیری خاک، نوع پوشش گیاهی حوضه، شماره منحنی حوضه، توپوگرافی حوضه و ... هیچگونه تاثیری بر روی نتایج این دو معیار نخواهند گذاشت.

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

بهره‌گیری از روش و معیارهای مختلف جهت تعیین اولویت‌بندی عوامل موثر بر کاهش سطح آبخوان‌ها گامی ارزشمند در راستای مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در یک منطقه محسوب می‌شود. در این راستا در پژوهش حاضر با استفاده از تبدیل نوین موجک متقابل و ارتباطی سعی شده تا ارتباط میان پارامتر تاثیرات انسانی یعنی سری زمانی دبی خروجی و پارامترهای تاثیرات اقلیمی یعنی سری‌های زمانی بارش و دما بر روی کاهش تراز سطح آب زیرزمینی

### منابع

- اکبری، م.، م. جرگه و ح. مدنی سادات. ۱۳۸۸. بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۶، شماره ۴، ص ۶۳-۷۸.
- طباطبایی، ا. ۱۳۸۸. بررسی علل افت آبهای زیرزمینی در منطقه شرق دریاچه ارومیه. اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- فرامرزی، م.، ث. یعقوبی و ک. کریمی. ۱۳۹۳. اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت دهلران، استان ایلام). فصلنامه مدیریت آب در مناطق خشک، دوره ۱، شماره ۲، ص ۵۵-۶۴.

نورانی، و.، س. رنجبر و ف. توتونچیان. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیاره موجک-آنتروپی (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، دوره ۴۵، شماره ۸۰، ص ۷۵-۸۶.

نورانی، و.، م. قاسم زاده و ن. آزاد. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی روی سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از معیار ارتباط موجکی. دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

Aghakouchak, A. 2014. Entropy-Copula in Hydrology and Climatology. *Journal of Hydrometeorology*, 15:2176-2189.

Agrawala S., M. Barlow, H. Cullen and B. Lyon. 2001. The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: A climate perspective. *International Research Institute for climate change and society (IRI)*:20 pages.

Barlow M., H. Cullen and B. Lyon. 2002. Drought in central and south west Asia: Lanina, the warm pool, and Indian Ocean precipitation. *Journal of Climate*., 15:697-700.

Chou, M. 2014. Complexity Analysis of Rainfall and Runoff Time Series Based on Sample Entropy in Different Temporal Scales. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28:1401-1408.

Clark C. B. and P. J. Webster. 2003. Interdecadal Variability of Relationship between the Indian Ocean Zonal Mode and East African Coastal Rainfall Anomalies. *Journal of Climate*, 16:548-554

Holman, I. P., M. Rivas-Casado, J. J. Gurdak, and J. P. Bloomfield. 2011. Identifying non-stationary groundwater level response to North Atlantic ocean-atmosphere teleconnection patterns using wavelet coherence. *Journal of Hydrology*, 19:1269-1278.

Kahya, E. and S. Kalaycı . 2004. Trend analysis of stream flow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289:128-144.

Kendall, M. G. 1975. Rank correlation methods . Charles Griffin, London.

Labat, D. 2010. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology*, 385:269-278.

Luterbacher, J., E. Xoplaki, D. Dietrich, P.D. Jones, T.D. Davies, D. Portis, J.F. Gonzalez-Rouco, H. von Storch, D. Gyalistras, C. Casty and H. Wanner. 2001. Extending North Atlantic Oscillation reconstruction back to 1500. *Atmospheric Science Letters*, 2:114-124.

Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259.

Maraun, D. and J. Kurths. 2004. Cross wavelet analysis, significance testing and pitfalls. *Nonlin. Processes Geophys*, 11:505-514.

Marques da Silva, R., SantosEmail, C., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V. and Medeiros, I. 2015. Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*, 77: 1205-1221.

Miao, L., X. Jun and M. Dejuan. 2012. Long-term Trend Analysis of Seasonal Precipitation for Beijing, China, *Journal of Resources and Ecology*, 3:(1)64-72.

Nourani, V., M.T. Alami and F. Daneshvar Vousoughi. 2016. The hybrid of SOM clustering method and wavelet-ANFIS approach to model and infill missing groundwater level data. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1643-5584.

Nourani, V., N. Nezamdoost, M. Samadi and F. Daneshvar Vousoughi. 2015. Wavelet based trend analysis of hydrological processes at different timescales. *Journal of Water and Climate Change*, 6:414-435.

Torrence, C. and G.P. Compo. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79:61-78.

Torrence, C. and P. Webster. 1999. Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System. *Journal of Climate*, 12:2679-2690.

Archive of SID

## Outing and Classification of Effective Factors in the Groundwater Level Decline Using Cross and Coherence Wavelet Transforms: Case Study Silakhor Plain Aquifer

Mehdi Komasi<sup>1</sup>, Soroush Sharghi<sup>2</sup>

### Abstract

Identification of factors affecting hydrological processes plays an important role in water resources management. In this study, the effects of hydrological parameter variations such as rainfall, temperature and runoff time series are prioritized on the groundwater level fluctuations for the Silakhor plain using cross and coherence wavelet transforms. Cross wavelet transform and coherence wavelet transform estimate the interaction and time lag between two time series relatively. These transformations indicate that two time series have depended on period and phase lag. For this purpose, the time series of groundwater level- runoff, groundwater level-rainfall and groundwater level-temperature have entered into the cross wavelet transform and coherence wavelet transform algorithm mutually to determine the effects and interaction between these time series. The results show that runoff time series as the human activity factors with the mean wavelet correlation coefficient estimated as 0.83 is more effective than rainfall and temperature time series whereas the climate change factors are with the mean wavelet correlation coefficients of 0.52 and 0.58, respectively concerning groundwater level decline of the Silakhor plain. Thus, the human activity factors are more effective than the climate factors in declining the groundwater level in this plain.

**Keywords:** Groundwater level, Cross wavelet transform, Wavelet transform coherence, Silakhor plain, Human factors.

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran, Tel: +989166624180, komasi@abru.ac.ir, corresponding author

<sup>2</sup> MS Student, Hydraulic Structures, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran, Tel: +989168622722, s.sharghi@abru.ac.ir