

# بررسی روند تغییرات بارش و رواناب با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) در حوضه‌ی سد دوستی

مهسا پلرودی مقدم<sup>۱</sup>

مجید وظیفه دوست<sup>۳</sup>

سعید حمزه<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۸/۰۶

\*\*\*\*\*

## چکیده

امروزه با توجه به کاهش منابع آب و بحران آبی موجود توجه به مدیریت صحیح یکپارچه منابع آب بخصوص در مناطق مرزی امری مهم و ضروری می‌باشد. یکی از اقدامات اساسی در این زمینه آگاهی از میزان بارش و رواناب و روند تغییرات آن در محدوده حوضه‌های آبریز است. اما عدم دسترسی به داده‌های میدانی کافی در حوضه‌های مرزی این امر را با مشکل اساسی روبه رو می‌سازد. جهت فایق آمدن به این مشکل می‌توان از داده‌های سنجش از دور و مدل‌های جهانی استفاده نمود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند تغییرات بارش-رواناب در حوضه‌ی سد دوستی با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) می‌باشد. بدین منظور از داده‌های جهانی سطح زمین در ۷ پیکسل ۱/۵ در ۱/۵ درجه‌ای بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵-۳۶/۵ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۶۷-۵۹/۵ غربی استفاده شد. نوع تغییرات و روند داده‌های مدل از طریق شبیه‌سازی، ضریب همبستگی پیرسون، آزمون‌های من-کندال و من-کندال دنباله‌ای در طی ۱۰ سال از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ به صورت فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان داد که در شرق و جنوب شرقی حوضه‌ی مورد مطالعه همبستگی بین بارش و رواناب ضعیف‌تر از سایر نقاط است همچنین در سطح اطمینان ۹۵٪ برای داده‌های سالانه برای بارش تنها در ۷ پیکسل و برای رواناب در ۶ و ۷ پیکسل منفی هستند. در ارتباط با داده‌های فصلی، بارش تنها در فصل بهار در دو پیکسل ۵ و ۷ و رواناب در ۷ پیکسل در فصل‌های زمستان و تابستان روند منفی تشخیص داده شد. نتایج این مدل نشان می‌دهد که مدل GLDAS جهت مطالعه بارش-رواناب در نقاطی که دسترسی به داده‌های زمینی دشوار است، می‌تواند بسیار کاربردی و مفید باشد زیرا امکان بررسی مناطق وسیع با هزینه‌ی کم را دارد.

واژگان کلیدی: بارش، رواناب، مدل جهانی سطح زمین (GLDAS)، آزمون من کندال، سد دوستی

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه ملایر mahsa\_moghadam1990@yahoo.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) saeid.hamzeh@ut.ac.ir

۳- استادیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان majid.vazifiedoust@yahoo.com

## ۱- مقدمه

همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدل‌سازی فرایندهای پیچیده‌ی حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش‌های زیادی به منظور استفاده‌ی مناسب از این ابزارهای نوین جهت کاهش مشکلات موجود در این زمینه به عمل آمده است. GLDAS<sup>۱</sup> نمونه‌ای از پروژه‌های شاخصی است که مطالعه در خصوص آن جهت برآورد بیلان آب در مناطق مختلف کره‌ی زمین طی چند سال گذشته مورد توجه محققین قرار گرفته است. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه‌ی تغییرات آنها براساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است. بنابراین با توجه به اهمیت منابع آب و مسائل و مشکلات موجود در این زمینه در محدوده شهر مشهد و از آنجایی که قسمت اعظم آب مورد نیاز این شهر از طریق سد بین‌المللی دوستی تأمین می‌گردد، در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) به بررسی روند تغییرات بارش- رواناب در حوضه این سد مهم پرداخته شود. فرخ نیا و مرید ۱۳۹۳ از طریق GRACE و GLDAS به انجام برآوردهای اولیه‌ی سریع و کم‌هزینه در مورد تغییرات آب زمینی در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه پرداختند. بررسی تغییرات آب زمینی بدست آمده وجود روند یکسان بین GRACE و GLDAS را نشان می‌دهد، هرچند اختلاف زیادی بین مقادیر به دست آمده از داده‌های بارش کمتر از حد در مدل GLDAS که موجب بروز بیلان منفی در محاسبات می‌شود مربوط دانست. فرسادنیا، کامرانفرد و مقدم نیا ۱۳۹۱ در تحقیقی چگونگی روند تغییرات در مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارندگی را در یک دوره‌ی ۳۰ ساله در ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی در استان مازندران با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در صورت در نظر گرفتن استان مازندران

اکوسیستم‌های خشک همواره دارای مشکلات آبی بسیاری هستند. علت خشک و نیمه خشک بودن این مناطق گردش عمومی هوا در کره‌ی زمین است بدین صورت که هوای گرم و مرطوبی که از استوا به سمت قطب حرکت می‌کند به تدریج در اثر بارندگی رطوبت خود را از دست داده و در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه به مقدار زیادی خشک، سرد و سنگین می‌شود و به سمت پایین سقوط می‌کند. لذا امکان بارندگی تا حد زیادی از آن سلب می‌شود.

با توجه به اینکه ایران با داشتن متوسط بارندگی ۲۵۲ میلیمتر در سال که کمتر از یک سوم متوسط جهانی است در این کمربند اقلیمی واقع است لذا کمبود بارندگی در آن یک واقعیت ذاتی هیدرولوژیکی می‌باشد که نیازمند مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی درست در راستای بهره‌مندی از آب است (علیزاده، ۱۳۹۰).

در سال‌های اخیر، بحران آب و منابع آبی در سطح جهان مورد توجه بین مجامع بین‌المللی واقع شده و به مسأله‌ای کاملاً امنیتی تبدیل شده است، که می‌تواند حتی در تعیین وضعیت جنگ یا صلح میان کشورها تأثیرگذار باشد. لذا تحقیقات حول محور منابع آب بسیار اهمیت یافته است. دو استان خراسان رضوی و خراسان جنوبی در سال‌های اخیر به علت کمبود بارش سالانه و فشار بر منابع زیرزمینی به شدت از لحاظ منابع آبی دچار خسارت‌های سنگینی شده‌اند. خراسان رضوی با ۲۲۵ میلی‌متر و خراسان جنوبی با ۱۴۰ میلی‌متر بارندگی در سال دارای اقلیمی خشک بوده و لذا بیش از ۸۰ درصد بارش سالانه در سطح این استان‌ها به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شوند. برآورد مؤلفه‌های مختلف بیلان آب در مقیاس‌های مکانی بزرگ به دلیل واقع بودن بیشتر مساحت حوضه در کشورهای همسایه و عدم در اختیار بودن داده‌های مناسب، همواره با مشکلات فراوانی روبرو بوده است. در سال‌های اخیر با رشد فزاینده‌ی پایگاه‌های داده جهانی مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و

و همکاری کامل تا ناسازگاری و جنگ را در بر می‌گیرد (زرقانی و لطفی ۱۳۹۰). تصمیم ایران و ترکمنستان در احداث سد دوستی روی رودخانه‌ی مرزی هریرود و تدوین نظام حقوقی بهره‌برداری مشترک، یکی از نمونه‌های خوب نقش مثبت منابع آبی در همکاری منطقه‌ای است. سد دوستی در مرز ایران و ترکمنستان بر روی رودخانه‌ی هریرود در ۷۵ کیلومتری شهرستان سرخس در شمال شرق خراسان احداث شده است. این سد از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی است که دارای ارتفاع از پی ۷۸ متر، عرض تاج ۱۵ متر، طول تاج ۶۵۵ متر می‌باشد. سد دوستی با حدود یک میلیارد و ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب، به‌طور متوسط ۶۵ درصد آب شهر مشهد را تأمین می‌کند و گاهی در زمان اوج مصرف، این میزان به ۷۶ درصد می‌رسد (کالوندی و همکاران ۱۳۸۹). این سد دارای سرریز می‌باشد، به طوری که در برخی سال‌ها تا چهار میلیارد مترمکعب رواناب داشته است. هریرود رودخانه‌ی مشترک ۳ کشور افغانستان، ایران و ترکمنستان است. رودی که از هندوکش، کوه‌های مرکزی افغانستان سرچشمه می‌گیرد و در شن‌زارهای ترکمنستان محو می‌شود. طول این رود در حدود ۱۱۲۰ کیلومتر است و دبی در حدود ۳۱/۴ متر مکعب بر ثانیه دارد. این سد با هزینه‌ی مشترک دو کشور ایران و ترکمنستان احداث شده است و آب آن به‌طور مساوی بین این دو کشور تقسیم خواهد شد. ۱۵۰ میلیون مترمکعب از آب سد دوستی برای مصارف شرب شهر مشهد به این شهر منتقل و ۲۵۰ میلیون مترمکعب دیگر نیز برای آبیاری اراضی دشت سرخس مصرف خواهد شد. مهمترین اهداف و منافع دو کشور از احداث سد دوستی عبارت است از:

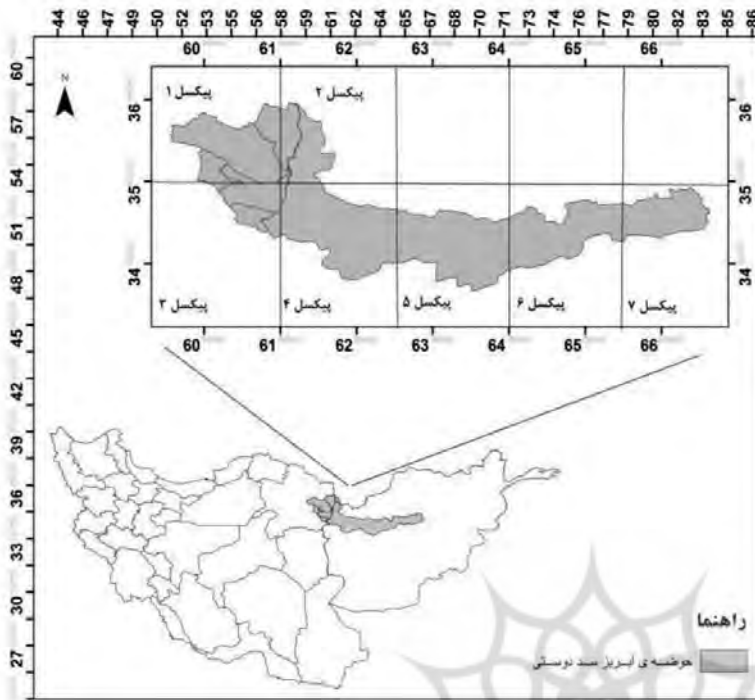
۱. ذخیره و تنظیم آب رودخانه‌ی فصلی هریرود و تبدیل آب غیر دائمی به جریانی تنظیم شده به منظور استفاده از آن در طول سال به میزان ۸۲۰ میلیون مترمکعب
۲. تأمین بخشی از آب شرب شهر مشهد به میزان ۱۵۰ میلیون مترمکعب در سال از ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب سهم ایران

به عنوان یک منطقه‌ی واحد هیچ روندی در سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سطح معنی‌داری ۵% مشاهده نمی‌شود و در صورت انجام بررسی نواحی هیدرولوژیکی این استان به صورت جداگانه از تحلیل خوشه‌ای فازی، در قسمت غربی روند معنی‌دار در سطح ۵% وجود دارد. همچنین در بررسی‌های وجود روند در سری زمانی میانگین بارش سالانه‌ی کل استان در سطح معنی‌داری ۱% روند صعودی مشاهده شد و بر کارایی روش من-کنندال تأکید و استفاده در مناطق دیگر توصیه شد.

در تحقیق دیگری که زارع ایبانه، بیات ورکشی و یزدانی ۱۳۹۰ انجام دادند تحلیل روند آماری عوامل اقلیمی بارش، دما و خشکسالی از روش من-کنندال در دو مقیاس فصلی و سالانه در ۱۵ ایستگاه از منطقه‌ی همدان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج برای هر ۳ عامل در فصل تابستان در تمام ایستگاه‌ها به جز دما در ایستگاه ورآینه دارای روند معنی‌دار بود. در بررسی سالانه، ۶۰% از ایستگاه‌ها دارای روند منفی معنی‌دار بارش، ۶۰% از ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار دما و ۶۷% از ایستگاه‌ها دارای روند مثبت خشکسالی بودند. بنابراین با توجه به اهمیت منابع آب و مسائل و مشکلات موجود در این زمینه در محدوده شهر مشهد و از آنجایی که قسمت اعظم آب مورد نیاز این شهر از طریق سد دوستی تأمین می‌گردد، در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) به بررسی روند تغییرات بارش - رواناب در حوضه این سد مهم پرداخته شود.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

رودهای بین‌المللی به راه‌های آبی گفته می‌شوند که از مرز بین دو یا چند کشور عبور کرده و نوار مرزی کشورها را مشخص می‌سازند یا رودهایی که در مسیر خود از قلمرو چند کشور عبور می‌کنند. تعداد ۲۶۱ رودخانه‌ی بین‌المللی در دنیا وجود دارد که بین دو یا چند کشور مشترک‌اند. اساساً وجود منابع آبی مشترک، طیف گسترده‌ای از سازگاری



نگاره ۱: منطقه ی مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش ها

#### ۳-۱- مدل جهانی سطح زمین (GLDAS)

هدف این مدل ترکیب محصولات داده های ماهواره ای و زمینی، استفاده از مدلسازی های پیشرفته ی سطح زمین و تکنیک های شبیه سازی به منظور رسیدن به حالت و جریان بهینه ی سطح زمین است. این مدل توسط کار چهار گروه دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا [NASA<sup>۱</sup>], مرکز پرواز فضایی گودار [GSFC<sup>۲</sup>], سازمان ملی اقیانوسی و جو [NOAA<sup>۳</sup>] و مراکز ملی پیش بینی محیط زیست [NCEP<sup>۴</sup>] ایجاد شده است. این مدل از نسل جدیدی از سیستم های پایش زمینی و فضایی بهره می گیرد که داده های مورد نیاز را برای محدود کردن دامنه ی متغیرهای حالت مورد مدل سازی فراهم می نماید. GLDAS یک بستر آزمون برای مدلسازی های نوآورانه و توانایی های شبیه سازی است. آرشیو GLDAS شامل مدل ها و مشاهدات جهانی، داده های هواشناسی سطحی، نقشه ها و خروجی است که در دسترس

۳. تثبیت مرز مشترک ایران و ترکمنستان

۴. تامین آب کشاورزی دشت سرخس در ایران و ترکمنستان هر کدام به میزان ۲۵ هزار هکتار

۵. مهار سیلاب و جلوگیری از خسارت سیل

۶. افزایش اشتغال و ارتقاء شاخص های توسعه در مناطق حاشیه ی دوسوی مرز

در نگاره ۱ موقعیت سد دوستی و محدوده حوضه آبریز آن و در جدول ۱ اطلاعات جغرافیایی مربوط به پیکسل ها ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات جغرافیایی مربوط به هر پیکسل

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	پیکسل
۵۹/۵-۶۱	۳۵-۳۶/۵	۱ پیکسل
۶۱-۶۲/۵	۳۵-۳۶/۵	۲ پیکسل
۵۹/۵-۶۱	۳۳/۵-۳۵	۳ پیکسل
۶۱-۶۲/۵	۳۳/۵-۳۵	۴ پیکسل
۶۲/۵-۶۴	۳۳/۵-۳۵	۵ پیکسل
۶۴-۶۵/۵	۳۳/۵-۳۵	۶ پیکسل
۶۵/۵-۶۷	۳۳/۵-۳۵	۷ پیکسل

1- The National Aeronautics and Space Administration

2- Goddard Space Flight Center

3- The National Oceanic and Atmospheric Administration

4- The National Center for Environmental Prediction

این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک، دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف- محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع  $sgn$  و استخراج پارامتر  $s$ :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (\text{معادله ی ۱})$$

که در آن  $n$  نشان دهنده‌ی تعداد جملات سری،  $x_j$  داده‌ی  $j$ ام سری و  $x_k$  داده‌ی  $k$ ام سری می‌باشند. همچنین داده  $sgn$  به شرح زیر معرفی می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{معادله ی ۲})$$

ب- محاسبه واریانس با استفاده از رابطه زیر که در آن  $n$  تعداد داده‌ها،  $m$  تعداد سری‌هایی که در آن یک داده‌ی تکراری وجود دارد و  $t$  فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (\text{معادله ی ۳})$$

ج- استخراج آماره  $Z$  به کمک یکی از روابط معادله‌ی ۴

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (\text{معادله ی ۴})$$

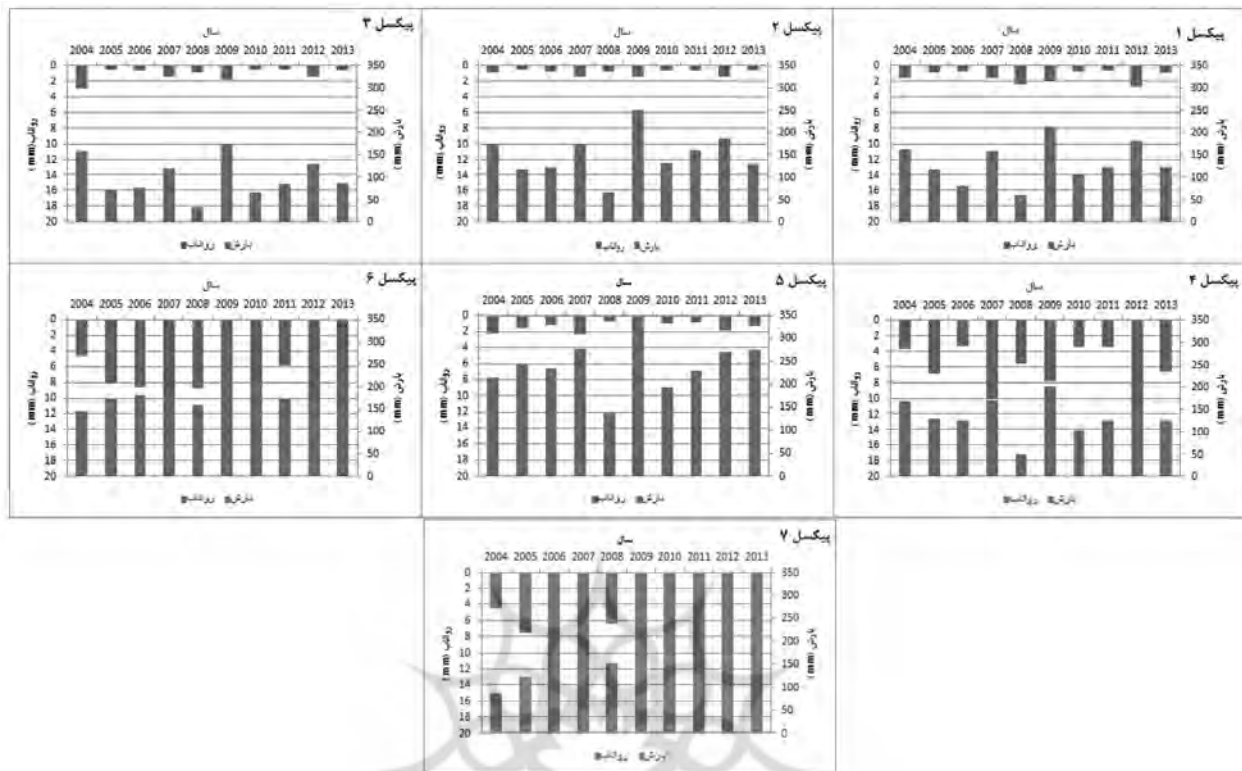
اگر  $|z| \leq \frac{z_\alpha}{2}$  برقرار باشد فرض صفر پذیرفته می‌شود. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.  $\alpha$  سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود

عموم قرار دارد. شبیه سازی‌ها توسط چهار مدل، MOSAIC، NOAH، CLM و VIC انجام می‌شود. جهانی بودن این مدل، قدرت تفکیک بالا و ترکیب مشاهدات زمینی و ماهواره‌ای برای تولید زمینه‌های بهینه از حالت‌ها و جریان‌های سطح زمین در زمانی نزدیک به واقعیت از ویژگی‌های منحصر به فرد این مدل می‌باشد. در مدل‌های فعلی GLDAS شبیه‌سازی مستقیم تغییرات آب زیرزمینی انجام نمی‌شود که این امر یک محدودیت جدی برای استفاده از نتایج، خصوصاً در مناطقی که برداشت قابل توجهی از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد، می‌باشد. داده‌هایی که به عنوان ورودی در GLDAS مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل دو دسته‌ی کلی می‌باشند. این داده‌ها شامل داده‌های هواشناختی و اطلاعات مربوط به فاکتورهای سطح زمین می‌باشد. این داده‌ها از طریق لینک <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov> قابل دسترس می‌باشند. مهمترین مؤلفه‌های خروجی GLDAS شامل متغیرهای حالت (نظیر رطوبت خاک، برف و دمای سطح زمین) و متغیرهای جریان (نظیر تبخیر و تعرق و جریان‌های سطحی) است.

### ۳-۲- آزمون من-کندال<sup>۳</sup>

آزمون من-کندال از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود. این آزمون ابتدا توسط من<sup>۴</sup> در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه گردیده است. از این روش برای آزمون فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در مقابل وجود روند استفاده می‌گردد (خلیلی و بدر افشان ۱۳۸۳، ۲۷). از نقاط قوت روش من-کندال می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز

- 1- Community Land Model
- 2- Variable Infiltration Capacity
- 3- Mann-Kendall
- 4- Mann
- 5- Kendall



نگاره ۲: مقادیر تجمعی بارش و رواناب در ۷ پیکسل مورد مطالعه

که معمولاً این آزمون برای سطوح معنی دار ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد.

**۳-۳- ضریب همبستگی پیرسون<sup>۱</sup>**  
 ضریب همبستگی پیرسون که به نام‌های ضریب همبستگی گشتاوری و یا ضریب همبستگی مرتبه‌ی صفر نیز نامیده می‌شود، توسط سرکارل پیرسون<sup>۲</sup> معرفی شده است. این ضریب به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه‌ی بین دو متغیر فاصله‌ای یا نسبی و یا یک متغیر فاصله‌ای و یک متغیر نسبی به کار برده می‌شود. صفر بودن ضریب همبستگی تنها عدم وجود رابطه‌ی خطی بین دو متغیر را نشان می‌دهد ولی نمی‌توان مستقل بودن دو متغیر را نیز نتیجه گرفت. هنگامی که ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر صفر باشد، این متغیرها تنها در صورتی مستقل از یکدیگرند که توزیع متغیرها نرمال باشد. همبستگی بین دو

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- بررسی مقادیر تجمعی بارش و رواناب در منطقه

به منظور ایجاد درک درستی از وضعیت میزان بارش و رواناب در منطقه، بارش و رواناب تجمعی در هر پیکسل و به صورت الگوی مکانی برای هر ۱۰ سال (۲۰۰۴-۲۰۱۳) محاسبه شد و نتایج آن در نگاره ۲ آورده شده است. در همه‌ی پیکسل‌ها به جز پیکسل ۷ بیشترین میزان بارش در سال ۲۰۰۹ رخ داده است، در پیکسل ۷ نیز بیشترین بارش با اختلاف ناچیز از سال ۲۰۰۹ در سال ۲۰۱۳ اتفاق افتاده

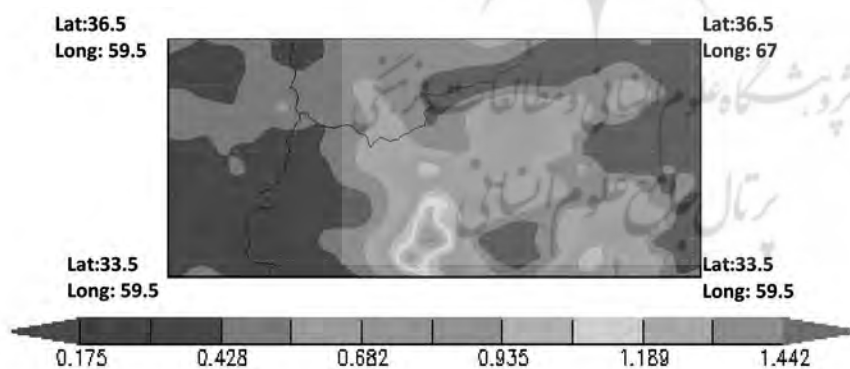
1- Pearson

2- Karl Pearson

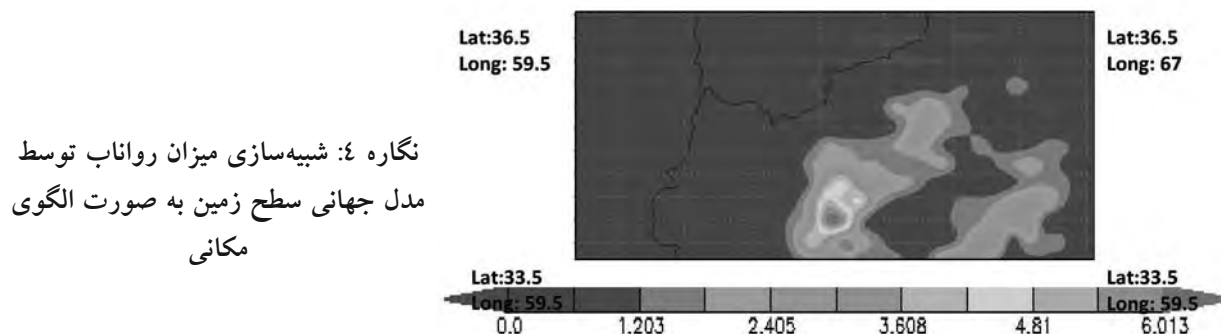
۴-۲- نتایج حاصل از همبستگی بین بارش و رواناب  
پس از تهیه داده‌ها توسط مدل جهانی سطح زمین برای ۱۰ سال، از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ و انجام پردازش‌های اولیه بر روی آن‌ها به منظور بررسی تغییرات در این حوضه، همبستگی بین دو پارامتر بارش و رواناب شبیه‌سازی شده توسط این مدل به صورت الگوی مکانی در نگاره ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در نگاره فوق‌الذکر مشاهده می‌شود شبیه‌سازی‌ها همبستگی کمتری را در پیکسل‌های شرقی و جنوب‌شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در واقع قسمتی از پیکسل ۵ و پیکسل‌های ۶ و ۷ می‌باشند. همچنین در نگاره ۶ سری زمانی تغییرات این دو پارامتر در ۷ پیکسل و طی ۱۰ سال در نمودارهایی رسم و میزان همبستگی آن‌ها نیز از طریق بهترین خط برازش رسم شد. به طوری که مشاهده می‌شود تغییرات بارش و رواناب از روند نسبتاً مناسبی در هر دو پیکسل برخوردار است به طوری که بیشترین اختلاف مربوط به پیکسل ۵ در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۰/۹۵۲ میلی‌متر در روز می‌باشد که بارشی با شدت ۰/۹۵۸ میلی‌متر در روز، روانابی با شدت ۰/۰۰۵

است. بنابراین می‌توان سال ۲۰۰۹ را به عنوان پرباران‌ترین سال در طول این ۱۰ سال معرفی نمود. همچنین بیشترین مقدار بارش حوضه مربوط به پیکسل ۵ با مقدار میانگین ۲۴۳/۳۵۳ میلی‌متر در طول ۱۰ سال می‌باشد که این پیکسل در کشور افغانستان واقع شده است.

نگاره‌های ۳ و ۴ به ترتیب شبیه‌سازی میانگینی از میزان بارش و رواناب توسط مدل جهانی سطح زمین به صورت الگوی مکانی برای کل منطقه در طول ۱۰ سال دوره‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهند که این بررسی‌ها براساس شدت بارش و رواناب و بر حسب واحد  $kg/m^2/s$  می‌باشد. این شبیه‌سازی بیشترین مقدار بارش‌ها را در کشور افغانستان و در مختصات جنوبی و بیشترین رواناب را نیز در همین کشور و در مختصات شرقی و جنوب شرقی نشان می‌دهد. رنگ‌های نارنجی تا قرمز نشان دهنده‌ی بیشترین مقادیر بارش و رواناب و رنگ بنفش نشان دهنده‌ی کمترین مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد. توسط این الگوی مکانی می‌توان به مقادیر بارش و رواناب کمتر کشور ایران نسبت دو کشور همسایه‌اش توجه نمود.

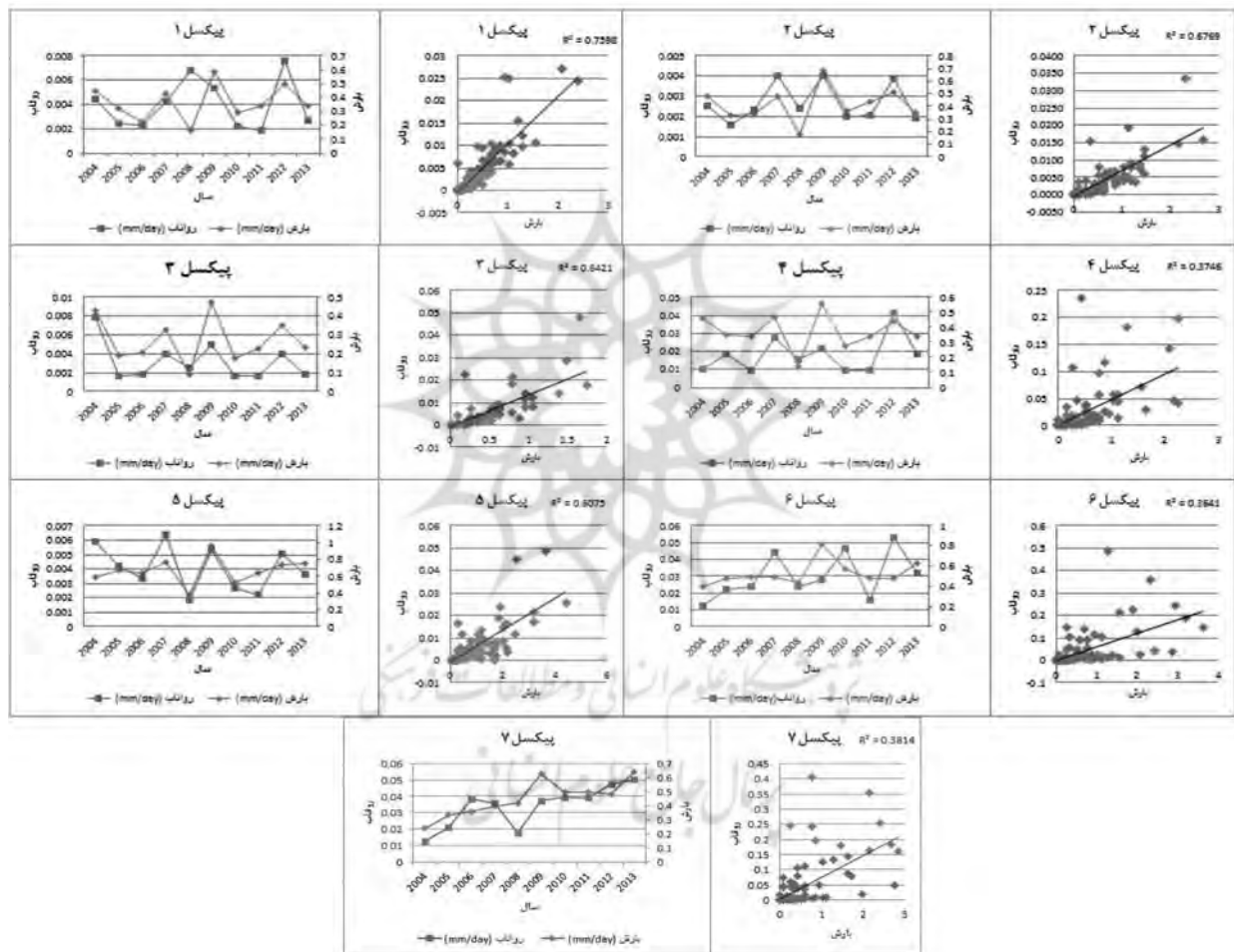
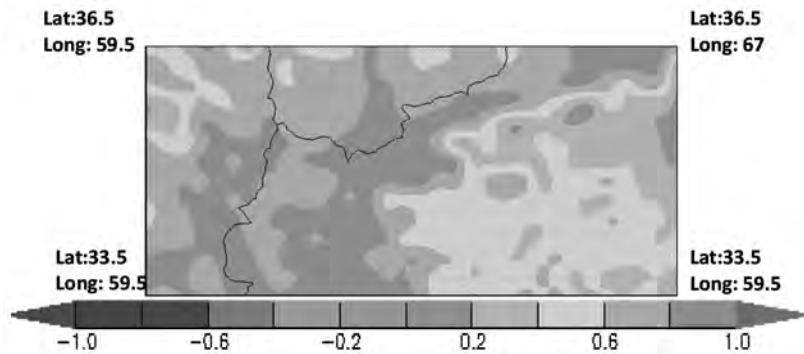


نگاره ۳: شبیه‌سازی میزان بارش توسط مدل جهانی سطح زمین به صورت الگوی مکانی



نگاره ۴: شبیه‌سازی میزان رواناب توسط مدل جهانی سطح زمین به صورت الگوی مکانی

نگاره ۵: شبیه سازی همبستگی بارش و رواناب توسط مدل جهانی سطح زمین

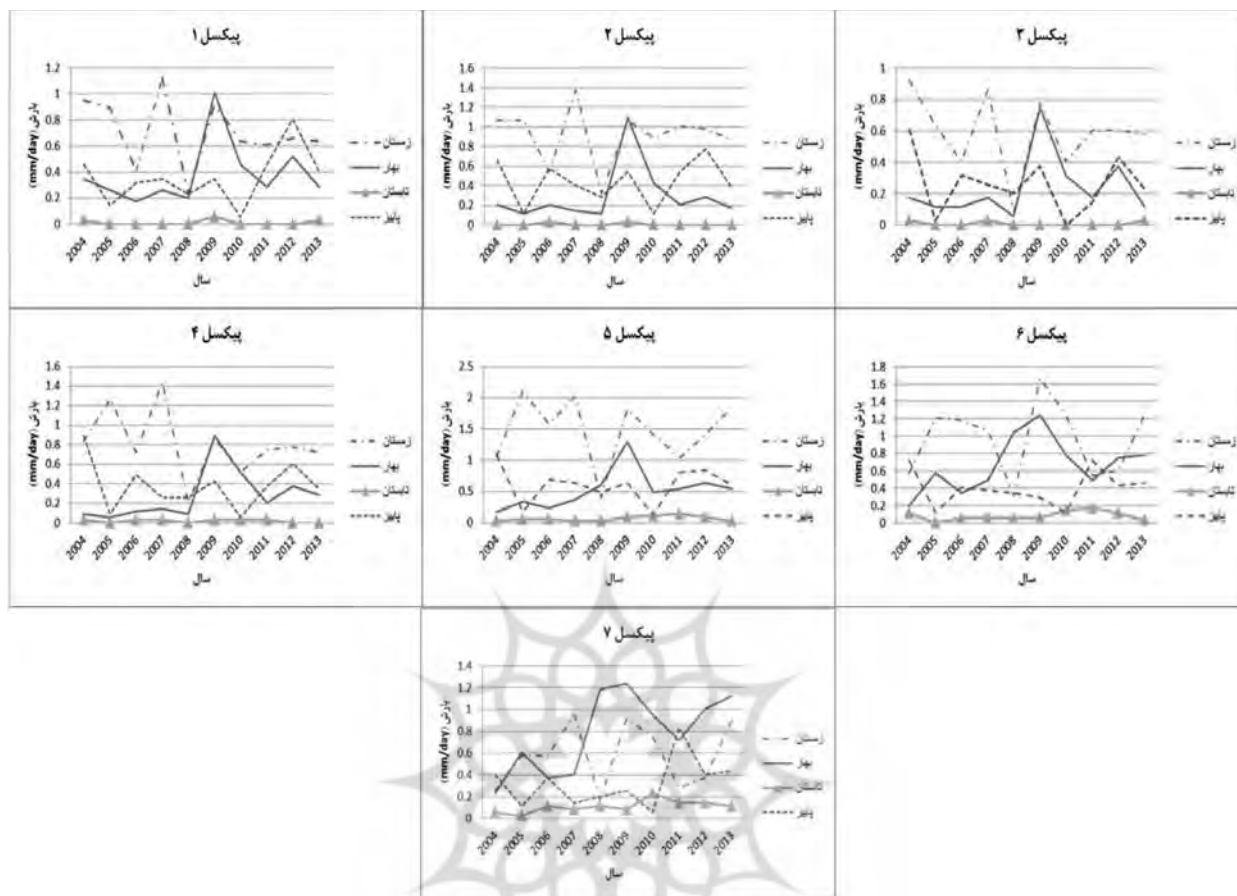


نگاره ۶: تغییرات بارش و رواناب و نمودار میزان همبستگی بارش و رواناب ماهیانه در طی ۱۰ سال برای ۷ پیکسل

بر داده‌ها در پیکسل ۱ با مقدار  $0.760$  و کمترین آن مربوط به پیکسل ۶ با مقدار  $0.364$  بدست آمد. هرچند نمودارها به خوبی می‌توانند یک ایده‌ی کلی از روابط بین متغیرها را نمایش دهند، اما نیاز به محاسبه‌ی یک مقدار کمی برای نمایش میزان ارتباط بین دو متغیر،

میلیمتر در روز را تولید کرده است و کمترین اختلاف مربوط به پیکسل ۳ در سال ۲۰۰۸ با مقدار  $0.084$  میلیمتر بر روز می‌باشد که بارشی با شدت  $0.0864$  میلیمتر بر روز، روانابی با شدت  $0.002$  میلیمتر بر روز را تولید کرده است. بیشترین میزان ضریب همبستگی از برازش بهترین خط





نگاره ۷: بررسی تغییرات فصلی بارش در پیکسل‌های ۱ تا ۷ در طول سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۴

همه‌ی پیکسل‌ها بیشتر می‌باشد این در حالی است که در فصل بهار سال ۲۰۰۹ نیز بارش‌ها افزایش چشمگیری داشته به طوری که در پیکسل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ با بارش زمستانی این سال برابری می‌کنند، حتی در پیکسل ۷ بارش‌های بهاره بیشتر از بارش‌های زمستان شبیه‌سازی شده است. کمترین تغییرات فصلی در تابستان دیده می‌شود زیرا کمترین ریزش‌های جوی مربوط به فصل تابستان است.

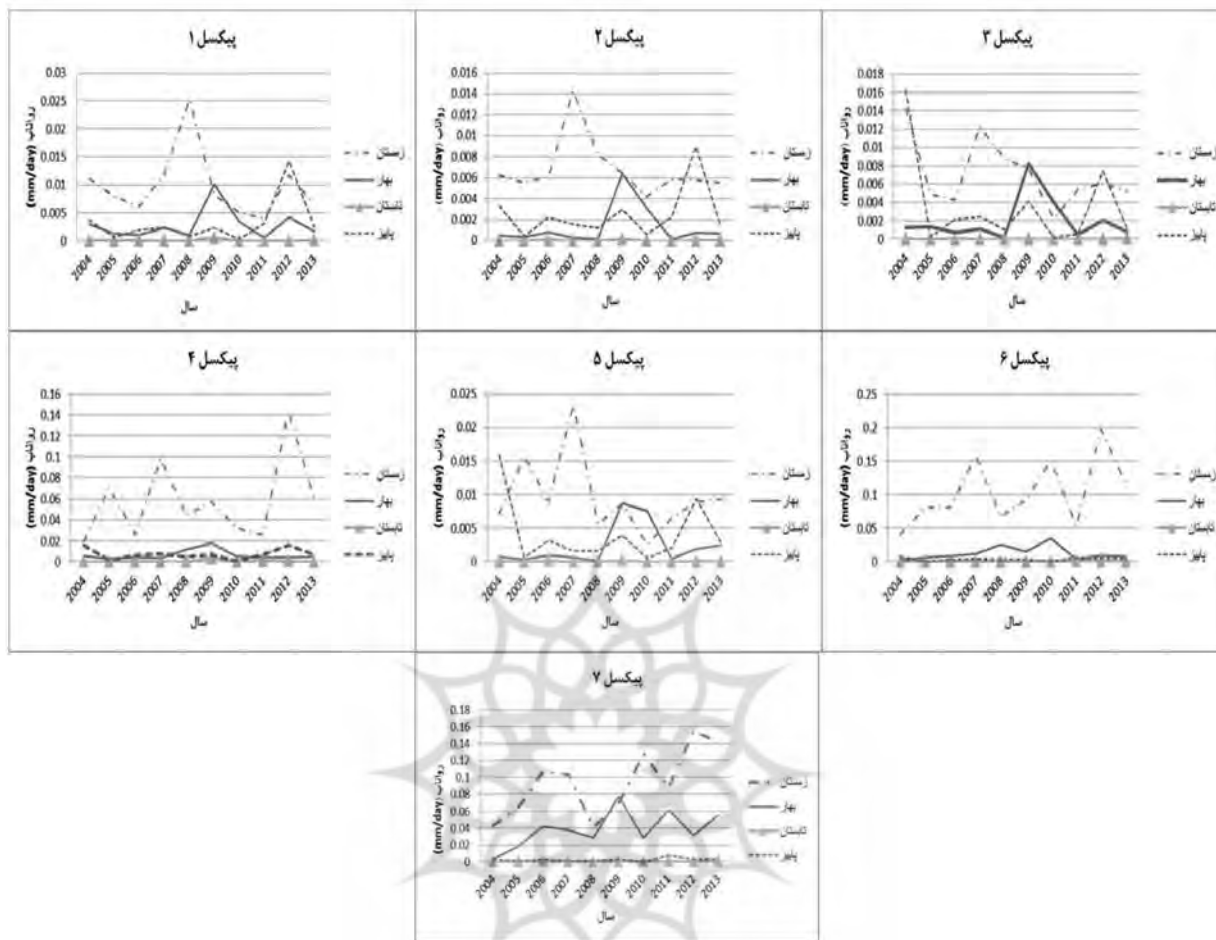
با توجه به ماهیت داده‌ها برای تشخیص وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها از روش اصلاح شده‌ی ناپارامتریک من-کندال و برای تعیین معناداری و سنجش میزان شدت روند از روش من کندال دنباله‌ای استفاده شد.

نتایج در سطح ۵% و به صورت سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت، که به دلیل حجم زیاد نمودارها امکان ترسیم همه‌ی آن‌ها وجود نداشت و فقط نمودارهای سالیانه

نظیر بارش و رواناب غالباً سبب می‌شود که معیاری همچون ضریب همبستگی نیز محاسبه شود. پس از انجام آزمون پیرسون به کمک نرم افزار SPSS و بررسی نتایج آن ارتباط بین بارش و رواناب برای هر ۷ پیکسل در طول ۱۰ سال معنادار تشخیص داده شد ولی سطوح معناداری در پیکسل‌های مختلف متفاوت بود.

#### ۴-۳- بررسی تغییرات فصلی بارش و رواناب

به منظور بررسی رواناب و بارش در مقیاس فصلی نمودارهای تغییرات فصلی در هر یک از فصل‌ها در طول ۱۰ سال برای ۷ پیکسل در نگاره‌های ۷ و ۸ رسم شد و مشاهده شد که بین فصول سال، فصل زمستان دارای بیشترین رواناب و فصل تابستان دارای کمترین رواناب می‌باشد. همچنین بارش در زمستان از سایر فصل‌ها در



نگاره ۸: بررسی تغییرات فصلی رواناب در پیکسل‌های ۱ تا ۷ در طول سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۱۳

جدول ۲: Z-های به دست آمده توسط آزمون من-کندال سالیانه به منظور تشخیص روند

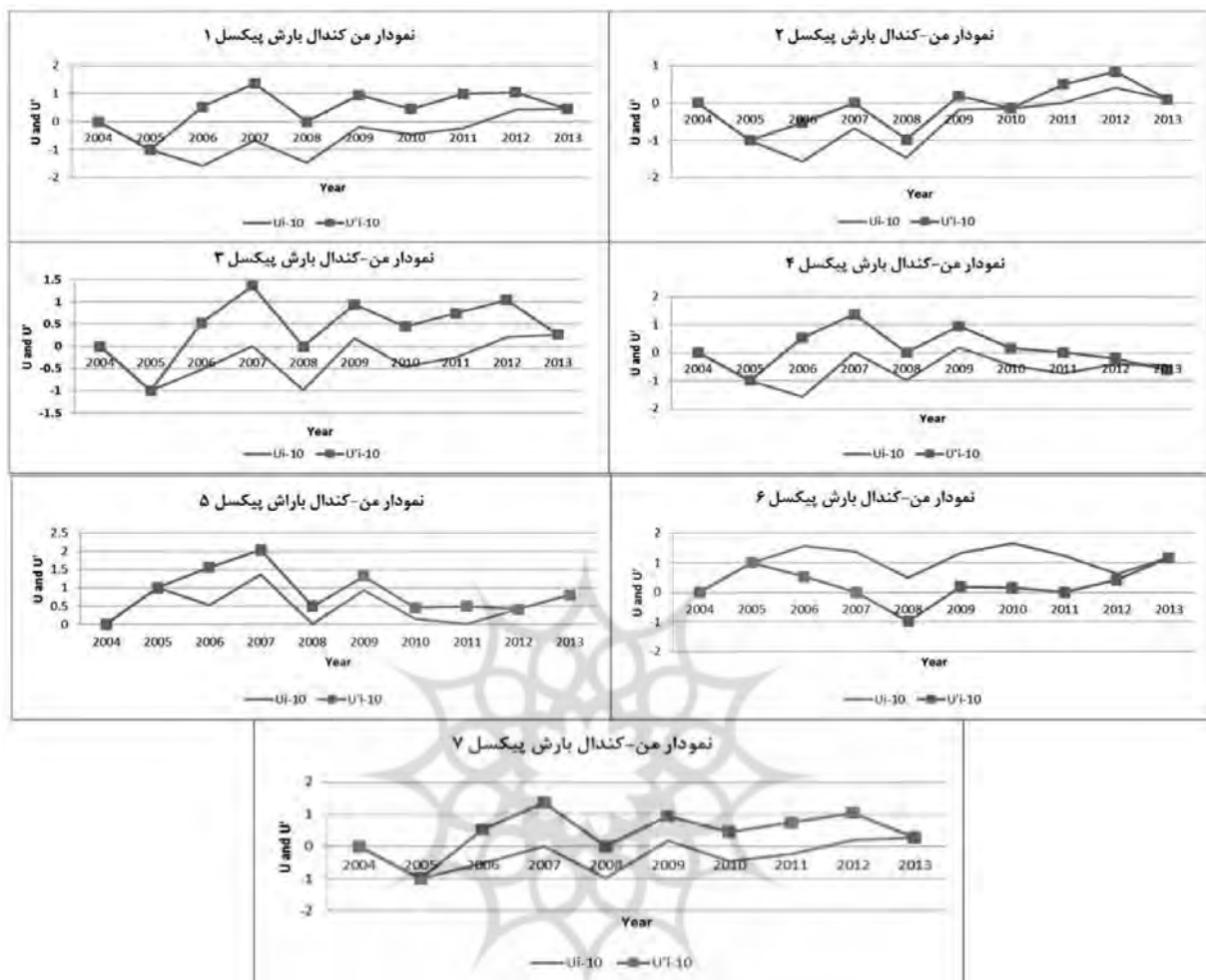
	پیکسل ۱	پیکسل ۲	پیکسل ۳	پیکسل ۴	پیکسل ۵	پیکسل ۶	پیکسل ۷
بارش	-۰/۲۷	-۰/۴۵	-۰/۱۸	۰/۴۵	-۰/۷۲	-۱/۲۵	*-۲/۹۵
رواناب	۰	۰/۳۶	۰/۷۵	-۰/۳۶	۰/۸۹	*-۱/۹۷	*-۲/۸۶

\* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪

جدول ۳: Z-های به دست آمده توسط آزمون من-کندال فصلی بارش به منظور تشخیص روند

	پیکسل ۱	پیکسل ۲	پیکسل ۳	پیکسل ۴	پیکسل ۵	پیکسل ۶	پیکسل ۷
بارش							
زمستان	۰/۸	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۸	۰/۲۷	-۰/۲۷	۰/۴۵
بهار	-۰/۸۹	۰/۵۴	-۰/۵۴	-۱/۸۸	-۲/۲۴*	-۱/۴۳	-۱/۹۷*
تابستان	۰	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۶۳	-۱/۰۷	-۱/۶۳	-۱/۸۸
پاییز	-۰/۸۹	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۰۹	-۰/۱۸	-۰/۹۸

\* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪



نگاره ۹: بررسی روند رواناب با استفاده از نمودار من-کندال دنباله‌ای

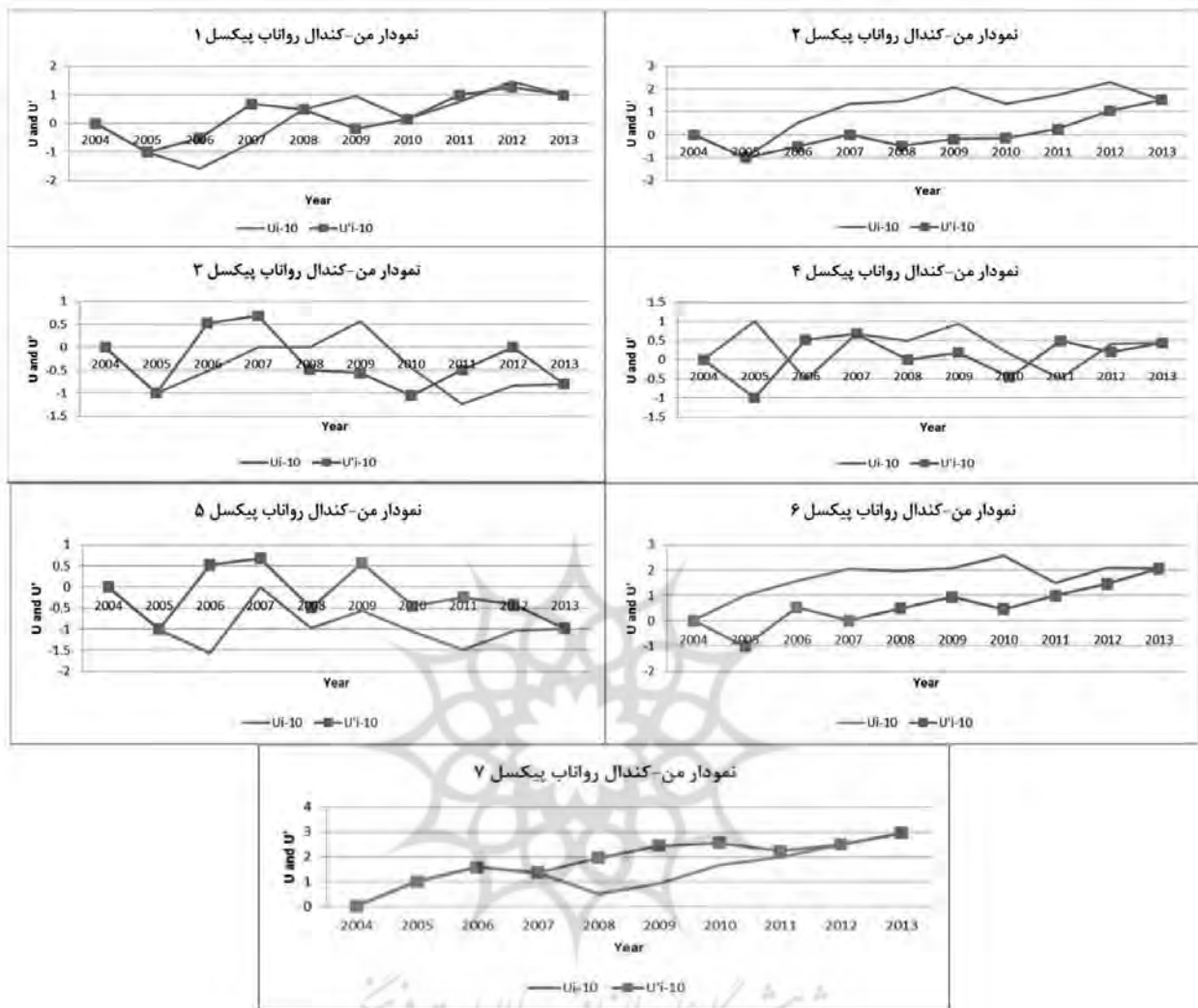
جدول ۴: Zهای به دست آمده توسط آزمون من-کندال فصلی رواناب به منظور تشخیص روند

رواناب	پیکسل ۱	پیکسل ۲	پیکسل ۳	پیکسل ۴	پیکسل ۵	پیکسل ۶	پیکسل ۷
زمستان	۰/۲۷	۱/۰۷	۱/۰۷	-۰/۷۲	۰/۱۸	-۱/۲۵	-۱/۹۷*
بهار	۰	۰	۰	-۰/۵۴	-۰/۸۹	-۰/۸۹	۱/۴۳
تابستان	-۰/۲۷	-۰/۶۳	۰/۲۷	-۰/۰۹	۰/۵۴	-۰/۸۹	-۱/۹۷*
پاییز	-۰/۵۴	۰	۰/۱۸	۰	۰	۰	-۰/۸۹

\* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪

معنی داری ۵٪ تصادفی و فاقد روند تشخیص داده شد. نتایج آزمون من-کندال بارش و رواناب به صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است. روند تغییرات در طول فصول مختلف متفاوت است، در بررسی سری‌های فصلی بارش تنها در فصل بهار پیکسل‌های

به عنوان نمونه آورده شد. در بررسی سری‌های سالانه‌ی بارش از روش من-کندال تنها پیکسل ۷ دارای روند نزولی بود و سایر پیکسل‌ها تصادفی و فاقد روند تشخیص داده شد. همچنین در بررسی سری داده‌های سالانه‌ی رواناب دو پیکسل ۶ و ۷ دارای روند منفی و سایر پیکسل‌ها در سطح



#### نگاره ۱۰: بررسی روند رواناب با استفاده از نمودار من-کندال دنباله‌ای

و ۷ روند منفی به دست آمد و سایر فصل‌ها در ۷ پیکسل و رواناب از روش من-کندال دنباله‌ای استفاده شد که نمودارهای آن در نگاره‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. توضیح اینکه در صورت وجود روند، آزمون من-کندال دنباله‌ای در تعیین نقاط تغییر سری و جهش به کار برده می‌شود بدین مفهوم که اگر خطوط  $U$  و  $U'$  در داخل محدوده‌ی بحرانی یکدیگر را قطع نموده و تقریباً به صورت موازی حرکت کرده‌اند یعنی اگر  $U$  بین مثبت و منفی  $1/96$  قرار داشت، نشان دهنده‌ی تغییرات ناگهانی حول میانگین در این سری است، سری تصادفی خوانده می‌شود و روند خاصی را نمی‌توان برای آن تصور نمود این در حالی است که

۷ و ۵ روند منفی به دست آمد و سایر فصل‌ها در ۷ پیکسل فاقد روند تشخیص داده شد. همچنین در بررسی سری‌های فصلی رواناب تنها دو فصل زمستان و تابستان پیکسل ۷ دارای روند منفی بودند.

به منظور ارائه‌ی گزارش و درک بهتر، جدول  $Z$ های من-کندال برای بارش و رواناب فصلی در هر ۷ پیکسل به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

بنابراین به طور کلی می‌توان گفت در تغییرات بارش و رواناب در شمال شرقی منطقه روند منفی مشاهده گردیده است. در ادامه برای مشاهده‌ی شدت تغییرات بارش

### منابع و مآخذ

۱. رحیم زاده، فاطمه. (۱۳۹۰). روش های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم شناسی. چاپ. تهران: سید باقر حسینی.
۲. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۳)، تحلیل روند بارندگی های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته بیان جلد ۹ شماره ۱ سال ۱۳۸۳.
۳. زارع ایبانه، حمید و دیگران تحلیل روند تغییرات سالانه و فصلی دما، بارش و خشکسالی های استان همدان فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰.
۴. زرقانی و لطفی؛ سیدهادی و امین. نقش رودهای مرزی در همکاری و همگرایی منطقه مطالعه موردی هریرود و سد دوستی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱ شانزدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۰.
۵. سبزی پرور و شادمانی. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران نشریه ی آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، مهر- آبان ۱۳۹۰.
۶. شریفی، محمد علی. (۱۳۹۳). پایش خشکسالی در ایران با استفاده از داده های ماهواره ی ثقل سنجی GRACE و مدل هیدرولوژی GLDAS مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
۷. عبقری و دیگران (۱۳۹۱)، نگرش تحلیلی بر تغییرات بارندگی های ماهانه و سالانه در حوضه های شرقی دریاچه ارومیه سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۸. علیزاده، امین (۱۳۹۰). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ سی و دوم.
۹. فرخ نیا و مرید، اشکان و سعید. بررسی قابلیت داده های ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیمی و خروجی مدل های سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی برای برآورد بیان آب در مقیاس های مکانی بزرگ (مطالعه موردی حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، سال دهم، شماره ۱، بهار و

$U > +1/96$  نشان دهنده ی روند مثبت و  $U < -1/96$  نشان دهنده ی روند منفی می باشد.

### ۵- نتیجه گیری

با استفاده از نتایج شبیه سازی مدل GLDAS و انجام تحلیل هایی از قبیل میزان همبستگی به صورت الگوی مکانی و زمانی، میزان تغییرات و روند آماری عوامل اقلیمی بارش و رواناب داده های این شبیه سازی در منطقه ی مرزی سد دوستی، که در مرز بین دو کشور ایران و ترکمنستان قرار دارد و اهمیت آن از نظر تأمین آب شرب شهر مشهد می باشد در ۷ پیکسل  $1/5$  در  $1/5$  درجه ای مورد بررسی قرار گرفت.

نتیجه ی حاصل شده را می توان به طور کلی توجه به مقادیر کم بارش و رواناب در مناطق داخلی ایران، همبستگی بهتر نقاط مرزی سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه، عدم وجود روندی مشخص در اکثر پیکسل ها به جز پیکسل ۷ بارش و پیکسل های ۶ و ۷ رواناب داده های سالبانه، همچنین پیکسل های ۵ و ۷ داده های بارش فصل بهار و پیکسل ۷ فصل های زمستان و تابستان رواناب اشاره کرد که همگی دارای روندی نزولی با شدت های متفاوت در منطقه بودند. از علل ایجاد خطا در این مدل جهانی سطح زمین می توان به عدم در دسترس قرار داشتن داده های زمینی مربوط به برخی از مناطق مانند ایران به منظور بهبود بخشیدن به نتایج شبیه سازی، کوتاه بودن دوره ی آماری مورد بررسی به علت محدودیت مدل در دسترسی به داده های قدیمی تر اشاره نمود. در کل می توان در مورد این مدل اینطور نتیجه گرفت که GLDAS برای نقاطی که دسترسی به داده های زمینی دشوار است، می تواند بسیار کاربردی و مفید می باشد زیرا امکان بررسی مناطق وسیع و غیر قابل دسترس با هزینه ی کم را دارد. همچنین با مشاهده ی روند منفی در منطقه و میزان بارش های کم به خصوص در ایران اهمیت استفاده ی درست از منابع آب بارزتر خواهد بود.

American Meteorological Society.

20. Wang, F., L. Wang, T. Koike, H. Zhou, K. Yang, A. Wang and W. Li. 2011. Evaluation and application of a fine resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model. *Journal of geophysical research* Vol. 116.

21. Wei Qi, Chi Zhang, Guangtao Fu, Huicheng Zhou (2015). Global Land Data Assimilation System data assement using a distributed biosphere hydrological model. *Journal of Hydrology* 528 (2015) 652-667.

تابستان ۱۳۹۳.

۱۰. فرسادنیا، رستمی کامرود و مقدم‌نیا؛ فرهاد، محسن و علیرضا. تحلیل روند بارندگی در استان مازندران با استفاده از روش من کندال منطقه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران. سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۹۱.

۱۱. کالوندی، خدائشناس، قهرمان، طهماسبی؛ سید محمد، سیدرضا، بیژن و رمضان. آنالیز روش‌های مختلف منحنی سنج در برآورد رسوب ورودی به سدها مطالعه‌ی موردی سد دوستی، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۲. کتیرایی بروجردی، پ. (۱۳۹۲). مقایسه‌ی داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی در ایران. *مجله‌ی ژئوفیزیک ایران*، جلد ۷، شماره ۴، ۱۳۹۲، صفحه ۱۴۹-۱۶۰.

۱۳. معروفی و طبری، آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۰، شماره پیاپی ۱۰۱.

14. Fang, et al 2009. Global Land Assimilation System (GLDAS) products, services and application from NASA hydrology data and services center.

15. Hongliang Fang, Hiroko K. Beaudoin, Matthew Rodell, William L. Teng, Bruce E. Vollmer Global

16. Land Data Assimilation System (GLDAS) products, services and application from NASA hydrology data and information services center (HDIS). ASPRS 2009 Annual Conference.

17. Juana Paul Moiwo, Wenxi Lu and Fulu Tao 2012. GRACE, GLDAS and measured groundwater dataproducts show water storage loss in Western Jilin, China. *Water science & Technology*.

18. J.L. Awange, M gebremichael, E. Forootan, G. wakbulcho, R. Anyah, V.G. Ferrira, T. Alemayehu 2014. Characterization of Ethiopian mega hydrogeological regimes using GRACE, TRMM and GLDAS datasets. *Advance in Water Resources* 74 (2014) 64-78.

19. Rodel et al. The Global Data Assimilation System.