

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۴۴-۲۳

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های تغییرپذیری دبی جریان رودخانه در برخی از حوضه‌های آبخیز استان اردبیل

علی نصیری خیاوی^۱

رئوف مصطفی‌زاده^{۲*}

چکیده

هدف این پژوهش، ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی شاخص‌های تغییرپذیری دبی جریان رودخانه در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل است. مقادیر شاخص‌های تغییرپذیری دبی ماهانه رودخانه شامل شانون، بریلوین، سیمپسون، مک‌این‌تاش، برگر-پارکر، شاخص تغییرپذیری، شاخص ناهمسانی دبی و شاخص تغییرپذیری دبی محاسبه شدند. ضمن ارزیابی تغییرات مکانی، از نمودار سه متغیره برای تعیین ارتباط بین تغییرات دبی سالانه استفاده شد. براساس نتایج میزان تغییرپذیری شاخص‌ها در مناطق بالادست بیش‌تر است که با شرایط طبیعی جریان رودخانه و سرعت عکس‌العمل هیدرولوژیک در بالادست مرتبط است. نتایج نمودار سه‌متغیره نشان داد که میزان تغییرپذیری شاخص‌ها در دبی‌های پایین بیش‌تر است. همبستگی میان شاخص‌های تغییرپذیری دبی در نرم‌افزار R نشان داد که بین شاخص بریلوین و شاخص تغییرپذیری همبستگی (-۰/۴۲) وجود دارد و میان شاخص برگر-پارکر و شاخص تغییرپذیری همبستگی مستقیم (۰/۹۱) دارند. هم‌چنین بین شاخص ناهمسان دبی مثبت و شاخص ناهمسان دبی منفی همبستگی مستقیم معنی‌دار (۰/۶۲) وجود دارد و ارتباط بین شاخص ناهمسان دبی منفی و شاخص تغییرپذیری دبی همبستگی مستقیم معنی‌دار (۰/۶۴)

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل (نویسنده‌ی مسئول).

E-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

می‌باشد. به‌طور کلی شاخص شانون و سیمپسون، به‌ترتیب از دسته ابزارهای نظریه‌ی اطلاعات و چیرگی، نتایج متفاوتی با شاخص‌های دیگر ارائه داده است.

کلمات کلیدی: درون‌یابی، شاخص شانون، شاخص‌های تغییرپذیری دبی.

مقدمه

تغییرپذیری جزء ذاتی عوامل و عناصر محیطی به‌شمار می‌آید. امروزه مطالعه‌ی فرآیندهای هیدرولوژیک از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت منابع آب و خاک است. حال آن که مطالعه تغییرات زمانی و مکانی فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. تغییر زمانی و مکانی جریان رواناب و دبی از نظر آب قابل استفاده و بهره‌برداری از آن دارای آثار اقتصادی بسیاری است و این تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف علت اصلی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها به‌حساب می‌آید (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۶). جریان رودخانه، عنصر مهمی از چرخه‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. بررسی و مطالعه تغییرات جریان رودخانه برای تعیین روش‌های بهینه مدیریت منابع آب و نیز به‌دلیل این که تغییر در جریان رودخانه سبب پیامدهای منفی آب و هوایی در حوضه‌ی آبخیز می‌گردد، مهم می‌باشد (لی و مک‌گریگور^۱، ۲۰۱۶). هم‌چنین بررسی تغییرات زمانی و مکانی فرآیندهای هیدرولوژیکی، در سال‌های مختلف به منظور مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است (ات و آهلنبروک^۲، ۲۰۰۴: ۱؛ زه و سیواپالان^۳، ۲۰۰۹: ۱۲۷۴ و نوربیاتو و همکاران^۴، ۲۰۰۸: ۳۱۲). از طرفی فرآیند تبدیل بارندگی به رواناب در سطح یک حوضه‌ی آبخیز پیچیده بوده و دارای تغییرپذیری زمانی و مکانی است (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۰) و تغییر اندک در مقادیر دبی جریان رودخانه می‌تواند تأثیر قابل توجهی در توسعه‌ی منابع آبی داشته

1- Li & McGregor

2- Ott & Ohlenbrook

3- Zehe & Sivapalan

4- Norbiato et al.,

باشد (ابرار فایز و همکاران^۱، ۲۰۱۷). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رواناب به همراه تغییرات مکانی از تغییرات زمانی نیز اثر می‌پذیرد. البته بایستی اشاره گردد که تغییر در مقادیر و الگوی بارش و دما و نیز تغییر در ارتباط زمانی بین عوامل مذکور در کمیت و تغییرپذیری دبی و نیز الگوی زمانی آن بسیار مؤثر است. ارزیابی تغییرات دبی یکی از متغیرهای اصلی در مطالعات مربوط به منابع آب است (گوئره‌رو و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۹۰). همچنین، دبی یکی از ابزار مهمی است که در یک حوضه‌ی آبخیز، به منظور دستیابی به یک نمای کلی از پراکنش مکانی وجود آب در حوضه‌ی مورد نظر است (ویلمز و همکاران^۳، ۲۰۱۶: ۱۳۳). مطالعه بر روی تغییرپذیری جریان رودها و دبی رودخانه‌ها، اطلاعات مهمی برای درک درست از جریان رودها ارائه می‌دهد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۷). از طرفی رودخانه‌ها از اشکال پویای چشم‌اندازهای طبیعی هستند که در رابطه با تغییر در کنترل‌کننده‌های محیطی و دستکاری‌های انسانی در سیستم‌های طبیعی، در طی مقاطع زمانی و مکانی مختلف، تغییرات متفاوتی از خود نشان می‌دهند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۱۹۹). به طور کلی ابزارهای ارزیابی تغییرات در سری‌های زمانی هیدرو- اقلیمی، شامل ابزارهای نظریه اطلاعات^۴ و ابزارهای چیرگی^۵ (غالب) می‌باشند. شاخص‌های دسته‌ی اول شامل شاخص شانون^۶ و شاخص بریلوین^۷ است. در حالی که شاخص‌های ابزار چیرگی، شامل شاخص سیمپسون^۸، شاخص مک‌اینش^۹ و شاخص برگر-پارگر^{۱۰} می‌باشد (برونیکوفسکی و وب^{۱۱}، ۱۹۹۶: ۲۷؛ میسرا

1- Abrar Faiz et al.,

2- Guerrero et al.,

3- Willems

4- Information Theory Measures

5- Dominance Measures

6- Shannon Index

7- Brillouin Index

8- Simpson Index

9- McIntosh Index

10- Berger-Parker Index

11- Bronikowski & Webb

و همکاران^۱، ۲۰۰۹: ۱۴۱). مطالعات اندکی در ارتباط با تحلیل تغییرپذیری رواناب با استفاده از شاخص‌های تنوع انجام شده است. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی روند خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش (RAI)^۲ پرداختند که نتایج حاکی از این بود که فراوانی رخداد دوره‌های خشکسالی در کلیه‌ی ایستگاه‌ها بیش‌تر از ترسالی‌ها بوده است و این شاخص قابلیت مقایسه‌ی اقلیم‌های مختلف را از نظر شدت خشکسالی دارا می‌باشد. کوزه‌گران و همکاران (۱۳۹۲)، به پهنه‌بندی استان خراسان جنوبی از نظر خشکسالی با استفاده از شاخص RAI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که گسترش خشکسالی با شدت‌های مختلف به صورت میانگین، به‌ترتیب حدود ۳۴/۱، ۶ و ۱۷ درصد از استان تحت تأثیر خشکسالی‌های شدید، بسیار شدید و ملایم بوده است. قاسمی و موگویی (۲۰۱۴)، تغییرات زمانی دبی رودخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که در مقیاس فصلی و سالانه دبی در تمام ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی بوده است. برونیکوفسکی و وب (۱۹۹۶)، تغییرپذیری بارش را با هدف تعیین بهترین نوع شاخص ابزارهای نظریه‌ی اطلاعات و ابزارهای چیرگی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص شانون بهترین پراکنش را دارد و نیز این شاخص حساسیت‌پذیری بالایی در رژیم‌های مختلف بارش از خود نشان می‌دهد. دری و همکاران^۳ (۲۰۱۶) در شمال کانادا به بررسی تغییرپذیری دبی رودخانه و نیز روند مشاهده شده در آن در طول دوره‌ی آماری ۲۰۱۳-۱۹۶۴ پرداختند. نتایج حاکی از این بود که براساس آزمون من‌کندال هیچ روند معناداری در دوره‌ی آماری مورد مطالعه در رودخانه‌های شمال کانادا مشاهده نشد. در فصل زمستان به استثنای دهه‌ی اخیر مقدار دبی کاهش یافته است که دلیل آن ذخیره‌سازی رواناب برای تولید برق است. باستیا و

1- Mishra et al.,

2- Rainfall Anomaly Index (RAI)

3- Dery et al.,

اکونودین^۱ (۲۰۱۶) تغییر زمانی-مکانی دبی و رسوب را در رودخانه‌ی ماهانادی هند مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشان داد که دبی آب و بارش تغییر معناداری به‌جز در یک شاخه‌ی فرعی نداشته است و دبی رسوب از حوضه‌ی اصلی تا خلیج بنگال به‌دلیل افزایش تعداد سدها، کاهش داشته است. آلفرد و همکاران^۲ (۲۰۱۷) تغییرات رواناب در رودخانه‌ی پرا پایینی در کشور غنا را براساس اثرات انسانی و تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. ارزیابی رواناب ماهانه، فصلی و سالانه نشان از افزایش قابل توجه دبی در دوره‌های خشک بود. هم‌چنین تغییرات بارش و اقلیم به‌ترتیب ۱۷/۴ و ۸۲/۳ درصد تأثیرگذار بودند. کاستینو و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییرپذیری دبی رودخانه در جنوب‌شرقی رشته‌کوه‌های آند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دبی جریان در سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۴۰ روند افزایشی داشته است. پیشینه پژوهش‌های ارایه شده بر تنوع شرایط و عوامل اثرگذار بر رواناب و نیز ضرورت مطالعات تفصیلی و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در این خصوص دلالت دارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تغییرات زمانی و مکانی رواناب با استفاده از شاخص‌های تغییرپذیری دبی در برخی از حوضه‌های آبخیز استان اردبیل انجام شده است. هم‌چنین در خصوص نوآوری پژوهش حاضر، قابل ذکر است که استفاده از شاخص‌های تنوع و تغییرپذیری تغییرات دبی در تحقیقات داخل کشور محدود می‌باشد.

مواد و روش

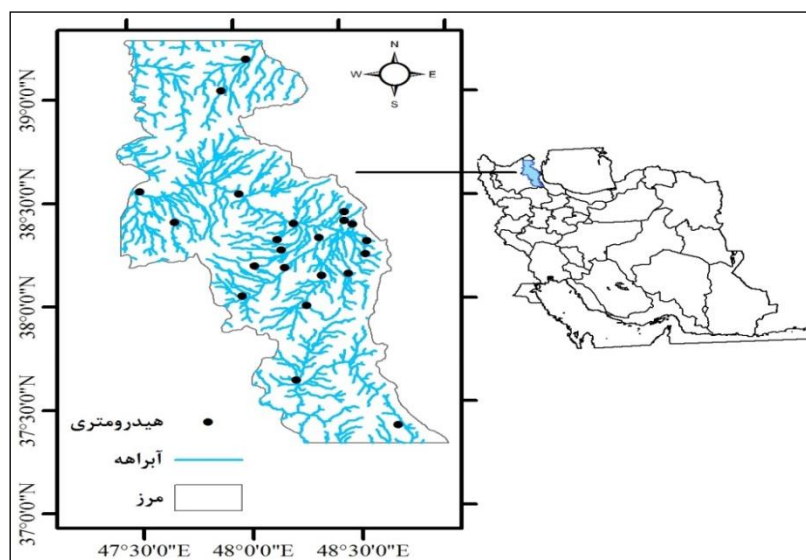
- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش، ۲۲ حوضه‌ی آبخیز واقع در استان اردبیل انتخاب گردید. استان اردبیل با مساحت ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع و در محدوده‌ی مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه

1- Bastia and Equeenuddin

2- Alfred et al.,

و ۵۵ دقیقه طول شرقی در شمال غرب کشور ایران قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه شده است. در این تحقیق از داده دبی ماهانه ۲۲ رودخانه‌های منتخب (در دوره‌ی آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۸)، که از رودخانه‌های مهم استان استفاده شد (شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل). رودخانه‌ها از رشته کوه‌های سبلان سرچشمه گرفته و به دریای خزر می‌ریزد.



شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل

- روش

در این تحقیق، برای محاسبه تغییرپذیری دبی ماهانه جریان از شاخص‌های تغییرپذیری رواناب استفاده شده است که در ادامه توضیحات مربوط به هریک از آنها ارائه شده است.

شاخص‌های تغییرپذیری رواناب

۱- شاخص شانون: این شاخص در دسته شاخص‌های ابزار چیرگی بوده و نسبت به دیگر

شاخص‌ها، توزیع و پراکندگی بهتری دارد. شاخص شانون به صورت رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (برونیکوفسکی و وب، ۱۹۹۶: ۲۷):

$$D = \frac{-\sum(d_i \ln d_i)}{\ln(S)} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در رابطه‌ی (۱)، d_i نسبت دبی ماهانه (از تقسیم مقادیر دبی ماهانه در هر ایستگاه هیدرومتری بر حاصل جمع مقادیر دبی در هر سال به دست می‌آید) و S تعداد ماه‌های سال را نشان می‌دهد.

۲- شاخص بریلوین: اساس کار این شاخص، تجزیه و تحلیل کامل بر طبق نمونه‌گیری غیرتصادفی است که این شاخص به صورت رابطه‌ی (۲) است (برونیکوفسکی و وب، ۱۹۹۶: ۲۷):

$$D = \frac{\ln(N!) - \sum \ln(n_i)}{N} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

که در رابطه‌ی (۳)، n_i دبی ماهانه و N مجموع دبی سالانه در هر ایستگاه هیدرومتری را نشان می‌دهد.

۳- شاخص سیمپسون: این شاخص یک ابزار ریاضی است که تنوع گونه‌ها را در یک جامعه توصیف می‌کند. رابطه‌ی مورد استفاده در محاسبه‌ی شاخص سیمپسون در زیر ارائه شده است که (رابطه‌ی ۳) d_i نشان‌دهنده‌ی دبی ماهانه است (برونیکوفسکی و وب، ۱۹۹۶: ۲۷):

$$D = 1 - \sum(d_i^2) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

۴- شاخص مک‌ایننتاش: این شاخص مستقل از تعداد اندازه کلاس‌های نمونه‌های مورد مطالعه است. شاخص مذکور به صورت رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود (برونیکوفسکی و وب، ۱۹۹۶: ۲۷):

$$D = \frac{N - (\sum_i^n n_i^2)^{0.5}}{N - N^{0.5}} \quad \text{رابطه ی (۴)}$$

که در آن، N مجموع دبی سالانه در هر ایستگاه هیدرومتری و n_i دبی هر ماه را نشان می‌دهد. توزیع شاخص مک‌این‌تاش وابسته به مقدار کل دبی است.

۵- شاخص برگر-پارکر: یک ابزار ارزیابی چیرگی است، که با رابطه ی (۵) محاسبه می‌شود (برونیکوفسکی و وب، ۱۹۹۶: ۲۷):

$$D = 1 - \left(\frac{n_{max}}{N} \right) \quad \text{رابطه ی (۵)}$$

۶- شاخص تغییرپذیری دبی (DVI): این شاخص در ارزیابی آب ورودی به حوضه و نیز درک وضعیت وجود تضاد در خصوص منابع آبی است. این شاخص براساس رابطه ی (۶) محاسبه می‌شود (آنباژاگان و جودیاسو^۱، ۲۰۱۶: ۱۶۲):

$$DVI = \frac{D - D}{Q} \quad \text{رابطه ی (۶)}$$

که در آن، D دبی در یک ایستگاه، D_m میانگین دبی سالانه و Q انحراف معیار سال‌های دوره ی آماری می‌باشد.

۷- شاخص تغییرپذیری: این شاخص تغییرات دبی از سالی به سال دیگر (رابطه ی ۷) را نشان می‌دهد (اداره ی هواشناسی استرالیا^۲):

$$\text{Index of Variability} = \frac{90D - 10D}{50D} \quad \text{رابطه ی (۷)}$$

که در آن، $90D$ همان ۹۰ درصد دبی در ۱۲ ماه، $10D$ ، ۱۰ درصد دبی در ۱۲ ماه و $50D$ ، ۵۰ درصد دبی در ۱۲ ماه از سال است.

۸- شاخص ناهنجاری دبی (DAI): این شاخص توسط ون روی (۱۹۶۵) توسعه داده شد

1- Anbazhagan & Jothibas

2- Australian Bureau of Meteorology

که نحوه‌ی محاسبه‌ی آن بر اساس روابط (۸) و (۹) است (کیساکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۵):

$$DAI = +3\left(\frac{RF - M_{RF}}{M_{H10} - M_{RF}}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

$$DAI = -3\left(\frac{RF - M_{RF}}{M_{L10} - M_{RF}}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

که در رابطه‌ی (۹)، M_{RF} متوسط کل دبی، M_{H10} میانگین ۱۰ مقدار بزرگ دبی در طول دوره‌ی آماری، M_{L10} میانگین ۱۰ مقدار کوچک دبی در طول دوره‌ی آماری و RF میانگین دبی سالانه است.

پس از محاسبه‌ی شاخص‌های مذکور، تغییرات مکانی آن‌ها در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه با روش وزن‌دهی عکس فاصله در محیط ArcGIS 10.1 درون‌یابی گردید. در ادامه‌ی همبستگی بین شاخص‌های تغییرپذیری دبی مورد مطالعه در تحقیق حاضر و پارامترهای مساحت، دبی روزانه، دبی پایه، مرتع ضعیف، متوسط و خوب، کاربری‌های جنگل و زراعت، تراکم زهکشی، طول آبراهه، ارتفاع از سطح دریا، بارش و شیب در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این راستا، نمودار سه متغیره جهت بررسی تغییرات زمانی شاخص‌های مذکور در ارتباط با تغییرات دبی جریان در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Surfer رسم گردید و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ادامه همبستگی میان شاخص‌های تغییرپذیری دبی و با استفاده از تحلیل همبستگی و استفاده از نرم‌افزار R مورد آزمون قرار گرفت.

در پژوهش حاضر زمینه‌ی تصادفی به‌وسیله‌ی نمودارهای پراکنش از دو متغیر زمان و دبی مشخص می‌شود و مقادیر به دست آمده مربوط به بزرگی و اهمیت مقادیر شاخص‌های تغییرپذیری دبی می‌باشد. در این روش با استفاده از دو متغیر مستقل، نمودار پراکنش رسم گردیده است و مقادیر سومین متغیر، به هر نقطه‌ی پراکنش متصل

می‌شود (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ صادقی و مصطفی‌زاده، ۲۰۱۶؛ آلتونکایناک و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۳۸ و سن^۱، ۲۰۰۸).

بحث و نتایج

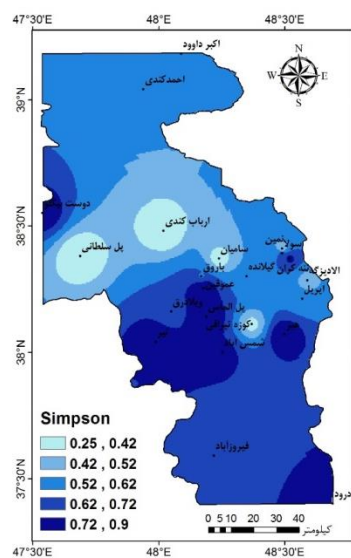
با استفاده از شاخص‌های سیمپسون، شانون، بریلوین، مک‌این‌تاش، برگر-پارکر، شاخص تغییرپذیری دبی، شاخص ناهمسانی دبی و شاخص تغییرپذیری سالانه دبی، تغییرات دبی در ۲۲ حوضه‌ی آبخیز استان اردبیل برآورد شد. جدول (۱) نشان‌دهنده‌ی مقادیر متوسط شاخص‌های تغییرپذیری دبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به جدول (۱)، بیش‌ترین مقدار شاخص‌های شانون، بریلوین، سیمپسون، مک‌این‌تاش، برگر-پارکر، DAI Positive، DAI Negative، Index of Variability و DVI، به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ایریل، اکبر داود، ویلادرق، گیلانده، نیرچای، اکبر داود، گیلانده، نیرچای و سولا می‌باشد. همچنین کم‌ترین مقدار شاخص‌ها به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های دوست‌بیگلو، دوست‌بیگلو، سامیان، احمدکندی، شمس‌آباد، ارباب‌کندی، ارباب‌کندی، کوزه‌تپراقی و عموقین می‌باشد. همچنین براساس نتایج همبستگی پیرسون می‌توان گفت که، بین شاخص ناهمسان دبی مثبت و ارتفاع متوسط با $\text{sig}=0.02$ همبستگی معنی‌دار وجود دارد. همچنین همبستگی بین شاخص ناهمسان دبی منفی و مرتع فقیر با $\text{sig}=0.03$ معنی‌دار است. شاخص برگر-پارکر با پارامترهای شاخص جریان پایه، مرتع فقیر و بارش با مقدار sig به ترتیب ۰.۰۵، ۰.۰۲ و ۰.۰۳ همبستگی معنی‌دار وجود دارد. همبستگی بین شاخص Index of Variability و مرتع فقیر با $\text{sig}=0.02$ معنی‌دار است.

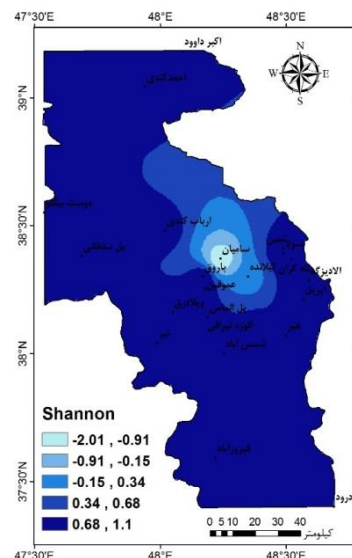
نقشه‌ی تغییرات مکانی شاخص‌های تغییرپذیری دبی مطابق شکل (۲) ارائه شده است و ۵ طبقه برای تهیه‌ی نقشه‌ی دامنه‌ی تغییرات مقادیر شاخص‌ها مشخص گردید.

جدول (۱) مقادیر متوسط شاخص‌های تغییرپذیری در ایستگاه‌های هیدرومتری

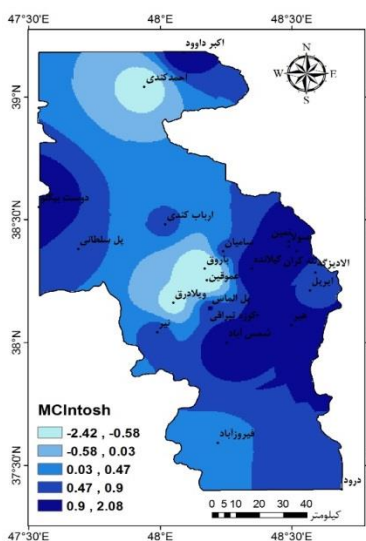
شاخص حوضه‌ی آبخیز	شانون	زیلوفین	سیمپسون	مک‌اینتاش	بزرگ-پارکر	DAI Positive	DAI Negative	Index of Variability	DVI
نیر چای	۰/۹۵	۰/۴۲	۰/۹	۰/۹۴	-۰/۸۶	-۳/۶	۰	-۱/۳۶	-۰/۲۶
دوست‌بیگللو	-۲/۰۱	-۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۷۲	-۱/۸۲	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	-۳/۱۵	-۰/۰۸
پل الماس	۰/۹۰	-۰/۱۹	۰/۸۷	۰/۸۱	-۱/۴۸	۸/۹۷	۹/۳۵	-۱/۹۷	-۰/۱۱
پل سلطانی	۰/۸۹	۱۱/۶۱	۰/۴۲	۰/۹۲	-۱/۷۲	-۱/۷۳	-۱/۸۴	-۲/۸۱	-۰/۳۱
درود	۰/۸۱	۵۳/۰۲	۰/۸۲	۱/۹۱	-۲/۵۷	۳/۲۳	۳/۶۳	-۶/۴۰	۰
سامیان	۰/۹۷	۲/۴۳	۰/۲۴	۰/۷	-۲/۴۳	۰/۲۰	۰/۲۳	-۴/۴۱	۰
شمس آباد	۰/۸۷	۲۱۷/۶۴	۰/۶۳	۰/۲۶	-۳/۶۵	۰/۰۴	۰/۰۵۱	-۷/۷۲	۰
کوزه تیراقی	۰/۸۳	۶۱۴/۷۶	۰/۳۷	۱/۱۶	-۳/۶۲	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۶	-۹/۱۸	-۰/۰۴
گیلانده	-۰/۰۶	۴۴/۸۵	۰/۵۴	۲/۰۹	-۲/۷۱	۰/۴۸	۰/۷۰	-۳/۵۱	۰
هیر	۰/۹۱	۱۳۵/۷۴	۰/۸۷	۱/۰۷	-۱/۵۳	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۲/۷۲	-۰/۰۸
سولا	۰/۸۷	۲۵۵/۸۲	۰/۶۴	-۱/۱۱	-۳/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۹۴	-۶/۶۴	۰/۱۸
احمدکندی	۱/۰۶	۳۵۳/۱۱	۰/۶۲	-۲/۴۳	-۲/۱۵	-۲/۷۸	-۱/۷۲	-۵/۳۲	-۰/۰۲
اریاب کندی	۱/۰۷	۰/۸۲	۰/۵۶	۰/۷۳	-۲/۵۰	-۱/۱۶	-۲۳	-۴/۷۰	-۰/۷۴
اکبر داود	۰/۹۷	۶۴۱/۹۳	۰/۷۵	۱/۰۲	-۲/۷۰	۸/۹۰	-۸/۹۰	-۴/۲۱	-۰/۴۷
الادیزگه	۰/۸۷	۱۵۹/۵۸	۰/۶۷	۱/۷۴	-۳/۰۹	-۲/۱۸	-۲/۱۶	-۶/۷۱	-۰/۵۲
ایریل	۱/۱۱	۱۱۱/۸۶	۰/۲۶	۰/۶۳	-۲/۸۰	-۰/۶۸	-۰/۹۸	-۵/۷۷	-۰/۳۲
باروق	۰/۸۴	۲۶۸/۹۹	۰/۶۲	-۱/۱۳	-۳/۱۶	-۱/۶۱	-۱/۷۶	-۷/۵۶	-۰/۳۸
عموقین	۰/۸۶	۱۲۸/۶۹	۰/۵۴	۱/۴۲	-۲/۶۷	-۵/۱۴	-۴/۷۳	-۶/۲۷	-۰/۱۸
ننه کران	۰/۸۰	۵۲۱	۰/۷۹	۰/۶۳	-۳/۰۱	-۲/۳۶	-۲/۳۰	-۸/۰۶	-۰/۴۸
فیروزآباد	۰/۷۷	۱/۴۰	۰/۴۷	۰/۷۲	-۲/۳	-۳/۳۱	-۲/۸۸	-۵/۸۲	-۰/۵۵
نمین	۰/۸۳	۴۵۵/۳۹	۰/۷۸	۱/۹۹	-۲/۸۵	-۰/۶۷	-۰/۹۲	-۷/۱۳	-۰/۳۱
ویلادرق	۰/۹۴	۴۸۳/۳۸	۰/۹۱	-۱/۵۹	-۰/۹۹	-۲/۲۸	-۲/۲۵	-۱/۵۰	-۰/۵۴
حداقل	-۲/۰۱	-۰/۴۲	۰/۲۶	-۲/۴۳	-۳/۶۵	-۱/۱۶	-۲۳	-۹/۱۸	-۰/۱۸
حداکثر	۱/۱۱	۶۴۱/۹۳	۰/۹۱	۲/۰۹	-۰/۸۶	۸/۹۷	۹/۳۵	-۱/۳۶	۰/۱۸
میانگین	۰/۷۳	۲۰۲/۸۱	۰/۶۲	۰/۶	-۲/۴۴	-۰/۷۴	-۱/۸	-۵/۱۳	-۰/۲۷
CV (%)	۸۷	۱۰۶	۳۲	۱۹۵	-۳۱	-۵۶۷	-۳۱۸	-۴۳	-۹۶



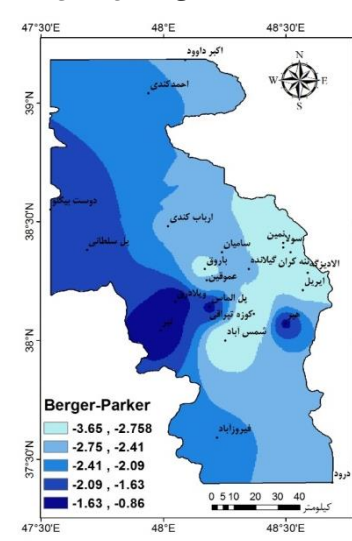
(ب) تغییرات مکانی شاخص سیمپسون



(الف) تغییرات مکانی شاخص شانون

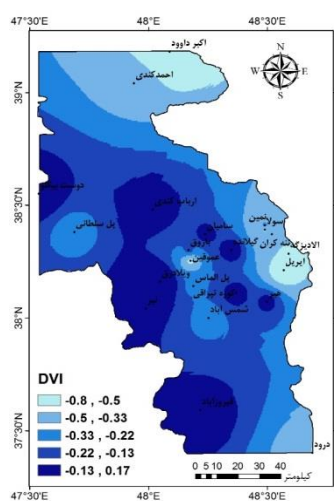


(د) تغییرات مکانی شاخص مک‌آنتاش

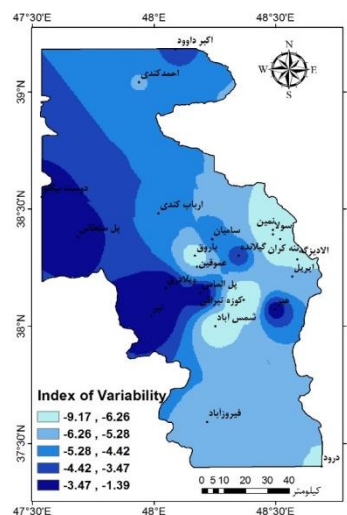


(ج) تغییرات مکانی شاخص برگر-پارکر

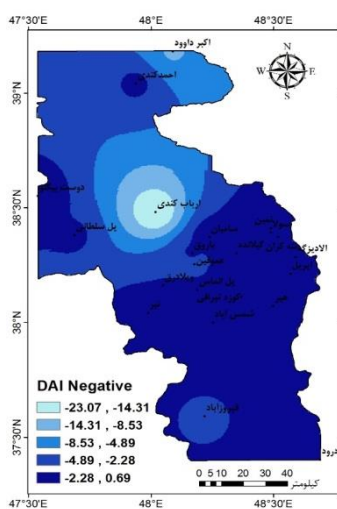
شکل (۲) شاخص‌های تغییرات مکانی



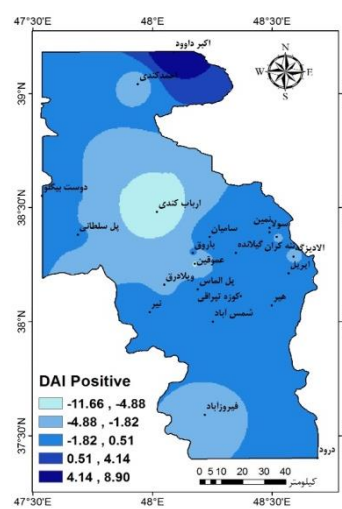
و) تغییرات مکانی شاخص DVI



ه) تغییرات مکانی Ri Index of Vaability



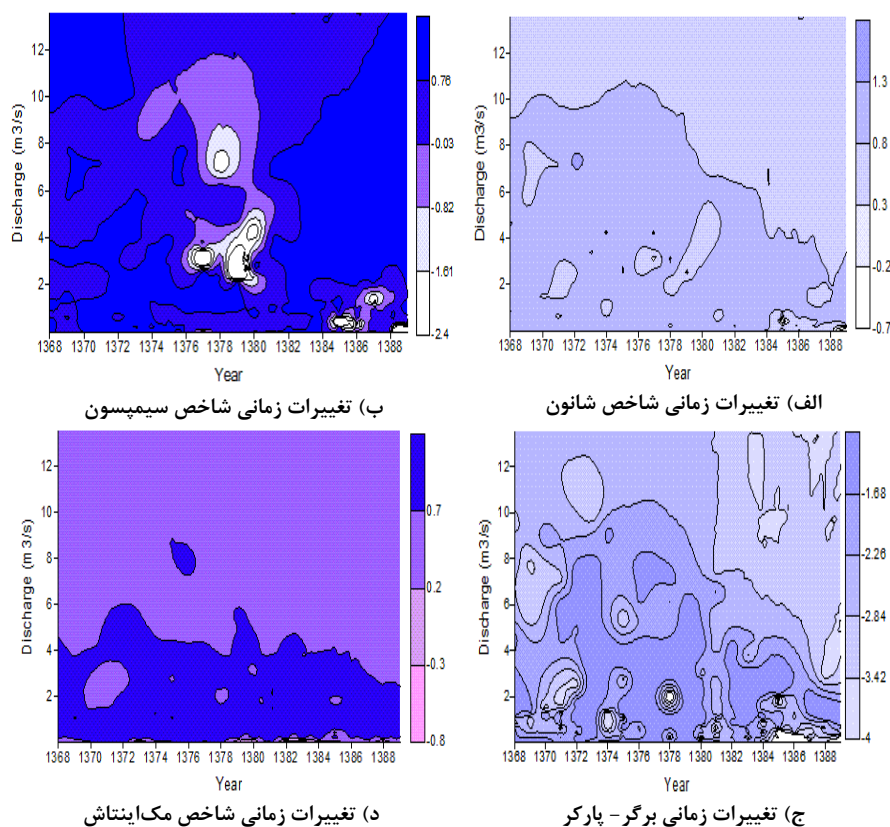
ج) تغییرات مکانی شاخص DAI Negative



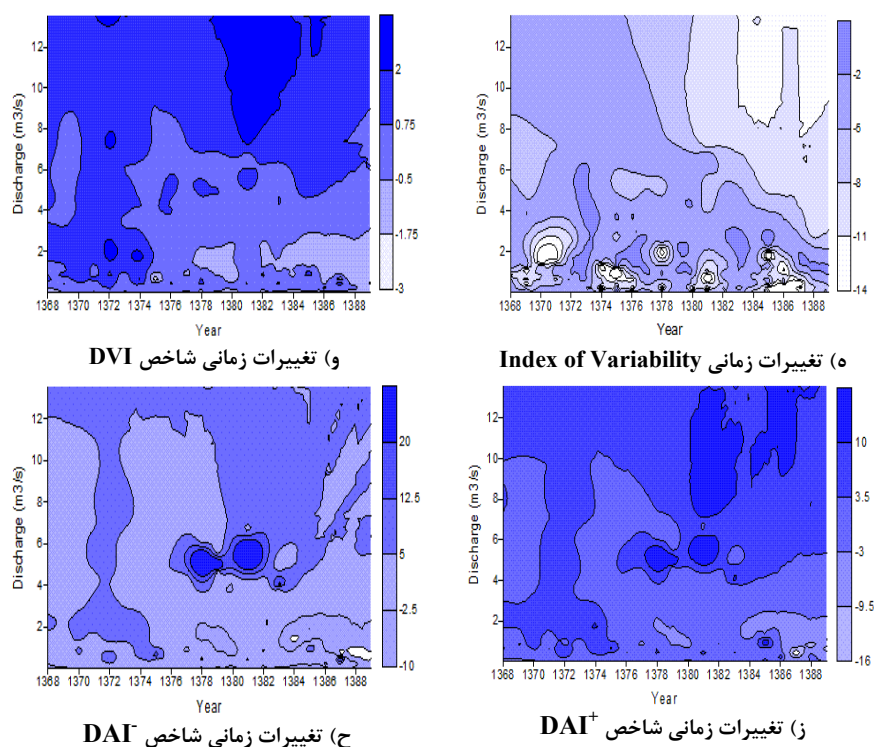
ز) تغییرات مکانی شاخص DAI Positive

ادامه‌ی شکل (۲)

با توجه به شکل (۲)، شاخص‌های مختلف، ارزیابی متفاوتی از تغییرپذیری دبی ارائه می‌دهند، که به ماهیت متفاوت شاخص‌ها مربوط می‌شود. شاخص‌های برگر-پارکر، Index of Variability و DVI، مناطق مشابهی را تحت عنوان مناطق تغییرپذیر از نظر دبی مشخص کرده‌اند. در ادامه نمودارهای سه متغیره برای ارتباط مقادیر تغییرات زمانی شاخص‌های تغییرپذیری دبی از سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۸۹ تهیه شد.



شکل (۳) تغییرات زمانی شاخص‌ها



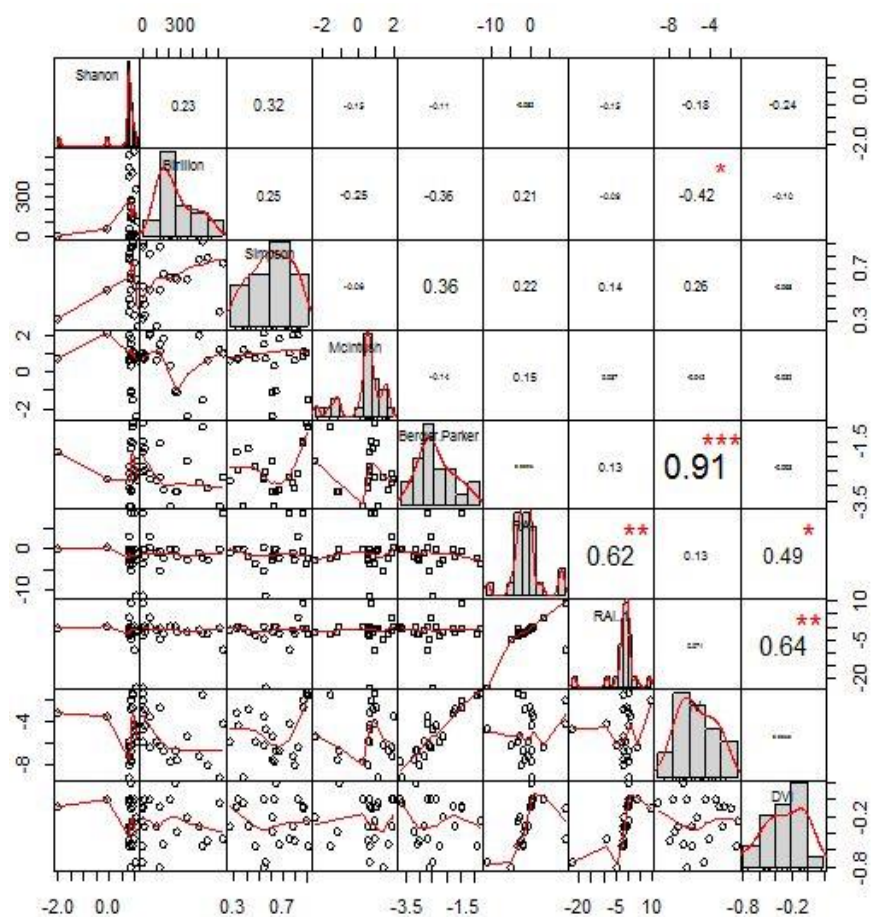
ادامه‌ی شکل (۳)

با توجه به نتایج نمودارهای شکل (۳) می‌توان گفت که در شاخص‌های شانون، سیمپسون، برگر-پارکر، مک‌اینش و DVI، در دبی‌های پایین میزان تغییرپذیری شاخص‌ها بیش‌تر است ولی در دبی‌های بالاتر این میزان تغییرپذیری کم‌تر می‌باشد. در شاخص Index of Variability، روند تغییرپذیری در دبی‌های مختلف به‌صورت متناوب است. همچنین در شاخص‌های DAI⁺ و DAI⁻ در دبی‌های پایین میزان تغییرپذیری بیش‌تر است. در مجموع در تعدادی از شاخص‌ها مقادیر تغییرپذیری جریان کاهش پیدا کرده است، که می‌توان اثر آن را با حذف نوسانات طبیعی رودخانه‌ها در اثر احداث سدها و نیز بهره‌برداری‌های انسانی مرتبط دانست. بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل (۴)،

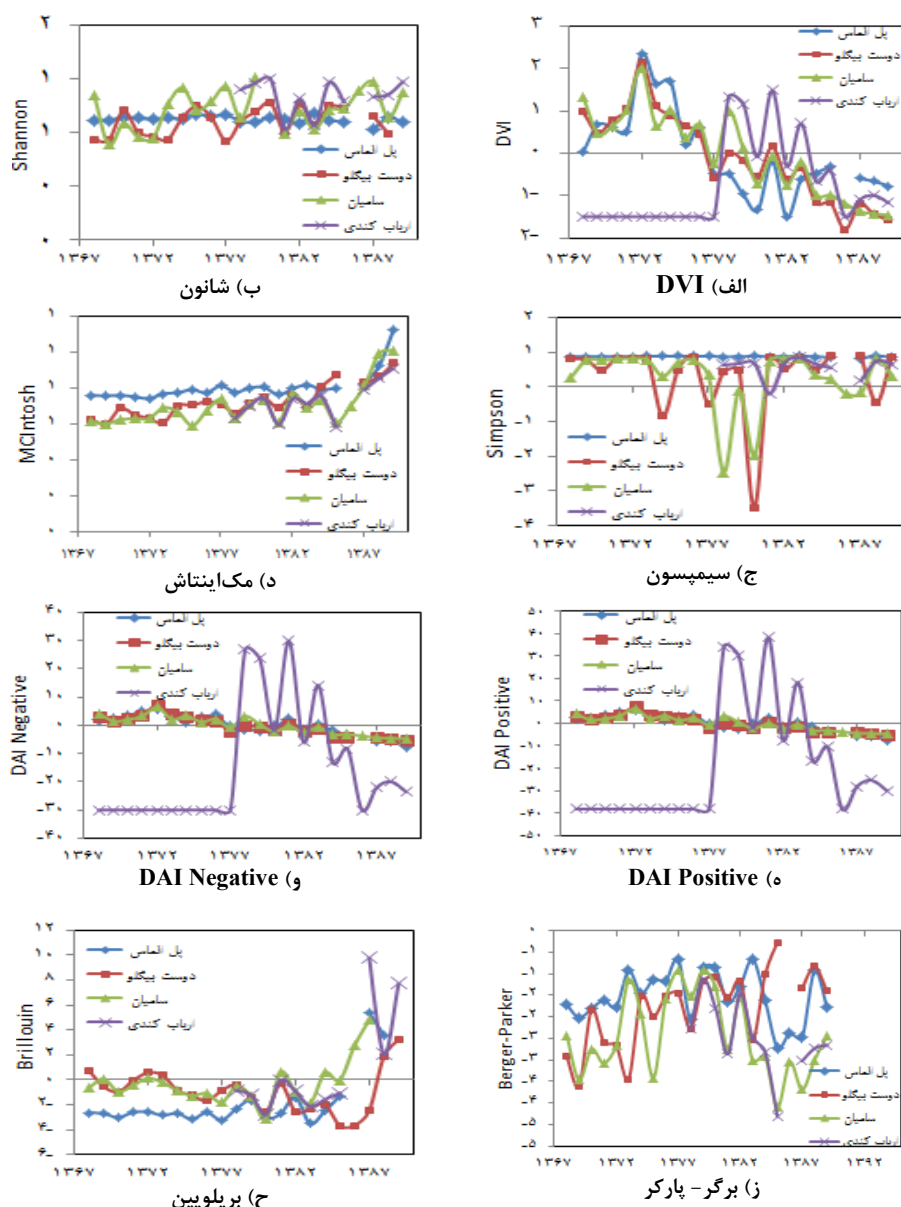
نمودار پراکندگی نقاط به همراه هیستوگرام فراوانی مقادیر شاخص‌ها، ضریب همبستگی و سطوح معنی‌داری بین مقادیر شاخص‌ها ارائه شده است.

با توجه به شکل (۴) بین شاخص بریلوین و Index of Variability همبستگی معکوس وجود دارد، به این معنی که با افزایش یک شاخص، شاخص دوم کاهش می‌یابد. مقادیر شاخص برگ-پارکر و Index of Variability همبستگی مستقیم دارند. همچنین بین شاخص‌های DAI Positive و DAI Negative هم همبستگی مستقیم وجود دارد و ارتباط بین DAI Negative و DVI همبستگی مستقیم می‌باشد. همچنین شکل (۵) نشان‌دهنده تأثیر احداث سدهای یامچی و سبلان در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۶۸) و بعد از احداث سد (۱۳۸۹-۱۳۸۴) می‌باشد.

براساس نتایج شکل ۵ (الف-ح) می‌توان گفت که، مقدار شاخص تغییرپذیری دبی در سه ایستگاه هیدرومتری پل الماس، سامیان و دوست‌بیگلو در دوره‌ی بعد از احداث سد نسبت به دوره‌ی قبل از احداث سد روند کاهشی داشته است. همچنین مقادیر شاخص سیمپسون در ایستگاه‌های دوست‌بیگلو و سامیان نسبت به دو ایستگاه دیگر روند کاهشی داشته است و بیش‌تر به سمت منفی سوق پیدا می‌کند ولی شاخص مک‌این‌تاش نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد، به‌طوری‌که تقریباً در هر چهار ایستگاه تحت تأثیر سد مقدار این شاخص حالت صعودی را نشان می‌دهد. شاخص‌های DAI و DAI Positive Negative الگویی مشابه را در ایستگاه‌ها ارائه می‌دهند و تقریباً نتایج آن‌ها در راستای شاخص تغییرپذیری دبی (DVI) می‌باشد که مؤید نتایج همبستگی مربوط به شاخص‌ها در شکل (۴) می‌باشد. شاخص برگ-پارکر نیز به‌مانند شاخص شانون دارای الگوی خاصی نبوده و مقادیر آن در دوره‌های زمانی مختلف دارای نوسانات بیش‌تری است و در نهایت شاخص بریلوین نیز مانند شاخص مک‌این‌تاش نتایج متفاوتی را نسبت به شاخص‌های دیگر ارائه می‌دهد که نشان از افزایش مقادیر این شاخص در دوره‌های بعد از احداث سد می‌باشد.



شکل (۴) نتایج همبستگی شاخص‌های تغییرپذیری دبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل (۵) تأثیر احداث سد بر شاخص‌های تغییرپذیری جریان

نتیجه‌گیری

در مناطق بالادست میزان تغییرپذیری جریان رودخانه‌ها نسبت به مناطق پایین‌دست بیش‌تر است که با شرایط طبیعی جریان رودخانه و سرعت عکس‌العمل هیدرولوژیک در مناطق بالادست مرتبط است، در حالی که در بخش‌های پایین‌دست، در اثر بهره‌برداری و نیز احداث سدهای یامچی و سبلان، رژیم رودخانه و ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه اصلی (ایستگاه‌های سامیان و ارباب‌کندی) از حالت طبیعی خارج شده و تغییرات آن توسط اثر تنظیمی سد تعدیل شده است، به‌طوری‌که براساس نتایج مربوط به بررسی تغییرات زمانی شاخص‌ها در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد می‌توان گفت که مقادیر شاخص‌های تغییرپذیری دبی (DVI)، سیمپسون، DAI Positive و DAI Negative، در دوره‌های بعد از احداث سد نسبت به دوره‌ی قبل از احداث سد حالت کاهشی دارد که با نتایج باستیا و اکونودین (۲۰۱۶) در یک راستا است. از طرفی براساس نتایج به‌دست آمده از درون‌یابی‌های شاخص‌های تغییرپذیری دبی می‌توان گفت که، شاخص شانون در دسته‌ی ابزار نظریه‌ی اطلاعات نتایج متفاوتی با شاخص‌های دسته چیرگی ارائه داده است که با مطالعه برونیکوفسکی و وب (۱۹۹۶) در یک راستا بوده و هم‌چنین بیش‌تر شاخص‌ها نشان دادند که میزان تغییرپذیری در دبی‌های پایین نسبت به دبی‌های بالا بیش‌تر است. علاوه بر این، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که در دوره‌های زمانی اخیر میزان تغییرپذیری جریان بر اساس اکثر شاخص‌ها کاهش پیدا کرده است، البته تعیین علت کاهش تغییرپذیری ناشی از تغییرات اقلیمی و یا فعالیت‌های انسانی نیازمند مطالعات بیش‌تری است. در مجموع، بر اساس تغییرات در رژیم بارش و نیز ایجاد آشفتگی در جریان رودخانه‌ها توسط عوامل انسانی، انتظار می‌رفت که تغییرپذیری‌ها نیز افزایش یابد، در حالی که نتایج بیانگر کاهش تغییرپذیری بوده است. در این راستا می‌توان گفت که رفتار جریان در رودخانه‌ها به شدت توسط فعالیت‌های انسانی تغییر پیدا کرده و این تغییرات در جهت حذف تغییرات رژیم جریان بوده است. ارزیابی تغییرپذیری جریان

رودخانه‌ای، امکان تعیین و مقایسه‌ی درجه‌ی آشفستگی جریان رودخانه و مقایسه‌ی خصوصیات رژیم جریان رودخانه‌های متفاوت را فراهم می‌نماید. عدم وجود شاخص‌هایی با امکان در نظر گرفتن همه‌ی عوامل موثر بر تغییرپذیری جریان به صورت جامع از محدودیت‌های تحقیق حاضر است که می‌تواند در تحقیقات آتی با لحاظ پارامترهای موثر بر تغییرات زمانی و مکانی مدنظر قرار گیرد. با توجه به اینکه تغییرات دبی بیش‌تر متأثر از تغییر بارش و دما و یا تغییر در کاربری اراضی، بهره‌برداری‌های انسانی است، لذا پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آتی تغییرات زمانی و مکانی دبی جریان براساس تغییرات پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۷)، بررسی نحوه‌ی تأثیر سد سهند بر تغییر مورفولوژی بستر جریان رودخانه قرنقو، بر ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌زایی آن مطالعه‌ی موردی، حوضه‌ی قرنقوچای، دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (شمال غرب ایران)، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱۱، صص ۱۹۹-۲۲۰.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ شفیعی، زلیخا و سعید جوی‌زاده (۱۳۸۸)، روند خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش (RAI)، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، صص ۱۷-۱.
- قاسمی، احمدرضا؛ موگویی، مرتضی (۱۳۹۴)، بررسی تغییرات دبی رودخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری، اطلاعات جغرافیایی، شماره‌ی ۱۰۲، صص ۱۷۳-۱۶۳.
- کوزه‌گران، سعید؛ لطفی، سمیه؛ برهانی، رضا؛ طحان، محمدرضا؛ عابدینی، الهام و فاطمه زارعی (۱۳۹۲)، پایش، تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش RAI (مطالعه موردی: خراسان جنوبی)، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، کرمان، صص ۱۳-۱.
- یوسفی، یداله؛ رورده، همت‌اله و سیدمحمود رضوی (۱۳۹۰)، تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودهای استان مازندران، جغرافیا و آمایش سرزمین، سال ۱، شماره‌ی ۲، صص ۱۴-۱.
- Altunkaynak, A., Ozger, M., and Z. Sen., (2003), **Triple diagram model of level fluctuation in Lake Van, Turkey**, Hydrology and Earth System Sciences, No.7(2), PP. 235-244.
- Anbazhagan, S. and A. Jothibas.,(2016),**Groundwater Sustainability Indicators in Parts of Tiruppur and Coimbatore Districts, Tamil Nadu**, Journal Geological Society of India, No.87, PP. 161-168.
- Bastia, F and Equeenuddin, Md., (2016), **Spatio-temporal variation of water flow and sediment discharge in the Mahanadi River, India**, Global and Planetary Change, No.144, PP. 51-66.

-
- Bronikowski, A. and C. Webb., (1996), **A critical examination of rainfall variability measures used in behavioral ecology studies**, Behavioral Ecology and Sociobiology, No.39, PP. 27-30.
- Guerrero, J.L., I.K. Westerberg., S. Halldin., C.Y. Xu. and L.C. Lundin., (2012), **Temporal variability in stage–discharge relationships**, Journal of Hydrology, No.446-447, PP. 90-102.
- Li, N., G.R. McGregor., (2016), **Linking Interannual river flow river variability across New Zealand to the Southern Annular Mode, 1979- 2011**, Hydrological Processes, PP. 1-16.
- Mishra, A.K., M. Ozger., P. Vijay and P. Singh., (2009), **An entropy-based investigation into the variability of precipitation**, Journal of Hydrology, No. 370, PP. 139-154.
- Norbiato, D., M. Borga., R. Merz., G. Blöschl and A. Carton., (2008), **A control on event runoff coefficients in the Eastern Italian Alps**, Journal of Hydrology, No. 375, PP. 312-325.
- Ott, B. and S. Uhlenbrook., (2004), **Quantifying the impact of land-use changes at the event and seasonal time scale using a process-oriented catchment model**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 8, No. 1, PP. 62-78.
- Sadeghi, S.H.R and Mostafazadeh, R., (2016), **Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales**, Environmental Earth Sciences, Vol. 75, No. 9, PP. 1-12.
- Willems, W., G. Kasper., P. Klotz., K. Stricker and A. Zimmermann., (2016), **Mean Daily Discharge and Discharge Variability**, Regional Assessment of Global Change Impacts, PP. 133-137.
- Zehe, E and M. Sivapalan., (2009), **Threshold behavior in hydrological systems at (human) geo-ecosystems: manifestations, controls, implications**, Hydrology and Earth System Sciences, No. 13, PP. 1273-1297.