



گزارش فنی

رودخانه بابل رود می باشد. وقوع خشکسالی و ترسالی های رودخانه بابل رود بیشتر تحت تاثیر خشکسالی ها و ترسالی های ایستگاه قائمشهر می باشد، به طوری که این ارتباط با استفاده از آزمون آماری t جفتی در سطح معنی داری ($p < 0.05$) و ضریب همبستگی برابر 0.576 اثبات شد.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، خشکسالی آبخیزداری، زنجیره مارکوف، تئوری Run، جلگه بابل

شبیه سازی و تحلیل ارتباط خشکسالی های آبخیزداری و اقلیمی با استفاده از مدل های احتمالاتی (مطالعه موردی: جلگه بابل)

مقدمه

رودخانه ها به عنوان شریان های حیاتی اغلب دشت ها و جلگه های کشور محسوب می شوند. بسته به نوع اقلیم حاکم بر مناطق مختلف، این نوع منابع آبی واکنش های مختلفی در مقابل تنش های محیطی به ویژه خشکسالی نشان می دهند. یکی از تحلیل های آماری که امروزه در مورد خشکسالی ها به کار برده می شود، بر اساس تئوری RUN استوار است. در این روش با تقسیم دوره آماری به دو دوره بیشتر و کمتر از میانگین، دوره هایی که مقدار متغیر مورد نظر پایین تر از میانگین است، به عنوان خشکسالی در نظر گرفته می شوند [۱ و ۶]. زنجیره مارکوف یکی دیگر از مدل های تصادفی است که برای بسیاری از متغیرهای آبخیزداری استفاده می شود. زنجیره مارکوف در آبخیزداری برای مدلسازی بارندگی، جریان رودخانه، رطوبت خاک و ذخیره آب به کار می رود [۳ و ۹ و ۸]. مطالعات زیادی کاربرد مدل های استوکاستیک را در آبخیزداری بررسی کرده اند. سلطانی و مدرس [۲] وضعیت خشکسالی و روند آن را در استان زنجان بررسی و با استفاده از روش میانگین متحرک ۳ و ۵ ساله، دوره های خشکسالی در منطقه را تعیین کردند.

مرادی و عرفان زاده [۷] وضعیت خشکسالی و ترسالی را در حوزه رود هراز با استفاده از تحلیل منحنی های میانگین متحرک بررسی و اظهار کردند در ایستگاه پلور در اواخر دهه ۴۰ و اوایل دهه ۷۰ با ترسالی و در سالهای ۵۴-۵۳ تا ۷۲-۷۱ با خشکسالی مواجه بوده اند. در ایستگاه کره سنگ نیز ۳ دوره خشکسالی و ۳ دوره ترسالی مشاهده شده است. چن [۱۰] نیز با استفاده از بارندگی روزانه ۲۵ ساله صد ایستگاه ایالات متحده آمریکا، مدل مناسب زنجیره مارکوف را برای بارندگی روزانه جستجو کرد. تامپسون [۱۷] با ترکیب آزمون RUN، زنجیره مارکوف و نمایه پالمر، خشکسالی ایالت مرکزی آمریکا را از سال ۱۸۹۵ تا ۱۹۸۸ بررسی کرد. وی با استفاده از ماتریس ایستا، احتمال وقوع وضعیت های مختلف

حمیدرضا مرادی^۱، مجید طائی سمیرمی^۲، داود قاسمیان^۲، جواد چرگی^۲ و رضا بهاری^۳

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۴

چکیده

رودخانه ها به عنوان شریان های حیاتی اغلب دشت ها و جلگه های کشور محسوب می شوند. بسته به نوع اقلیم حاکم بر مناطق مختلف، این نوع منابع آبی واکنش های مختلفی در مقابل تنش های محیطی به ویژه خشکسالی نشان می دهند. رخداد خشکسالی های آبخیزداری نسبت به خشکسالی هواشناسی دارای تقدم و تاخر می باشند. بر این اساس ارتباط خشکسالی آبخیزداری رودخانه بابل رود واقع در جلگه بابل با خشکسالی هواشناسی ایستگاه های سینوپتیک تاثیرگذار بر روی دبی رودخانه بابل رود (قائمشهر و بابلسر) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش از مدل های استوکاستیک و احتمالاتی (زنجیره مارکوف)، تئوری Run، میانگین متحرک و نمایه SPI استفاده شد و وقوع خشکسالی ها و ترسالی های آبخیزداری و هواشناسی در طی ۱۰ سال آینده شبیه سازی شد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد خشکسالی را ایستگاه قائمشهر به خود اختصاص می دهد. با استفاده از زنجیره مارکوف مشخص شد بالاترین احتمال ایستا در حالت نرمال با مقدار 0.633 متعلق به

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علم و دریایی دانشگاه تربیت مدرس Morady5hr@Yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس Davodghasemian@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

در این رابطه P_N^* و P_W^* و احتمال ایستای آنها در دوره‌های نرمال و مرطوب می‌باشد و P_{WD} و P_{ND} احتمال انتقال از حالت مرطوب به خشکسالی و احتمال انتقال از حالت نرمال به خشکسالی را نشان می‌دهند [۴ و ۱۶]. برای محاسبه مدت دوام خشکسالی در طی دوره شبیه‌سازی شده (پیش‌بینی شرایط آینده) از رابطه (۳) استفاده شد.

$$E(L) = \frac{P_D^*}{P_D} \quad (3)$$

نتایج و بحث

با استفاده از تئوری RUN و در نظر گرفتن نمایه SPI سطح آستانه تعیین شده و بدین طریق نمودارهای تغییرات بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک قائمشهر و بابلسر و تغییرات دبی در ایستگاه آب سنجی بابل رود ترسیم گردید. شکل (۱) به عنوان نمونه سری زمانی نمایه SPI ایستگاه بابلسر را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج حاصله، شدیدترین خشکسالی در ایستگاه بابلسر در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹، در ایستگاه قائمشهر در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۱ و در ایستگاه آب سنجی بابل رود در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸ روی داده است. برای پیش‌بینی و ارزیابی وضعیت آشناختی رودخانه بابل رود، بارندگی ایستگاه‌های قائمشهر و بابلسر و ارتباط دبی رودخانه با بارندگی ایستگاه‌های مذکور از روش زنجیره مارکوف استفاده شد. برای این منظور، ماتریس احتمال انتقال برای ۳ ایستگاه مذکور محاسبه گردید. در این پژوهش جدول استاندارد نمایه SPI به سه کلاس طبقه‌بندی شد. بدین معنا که وضعیت ترسالی با علامت W، وضعیت خشکسالی با علامت D و حالت نرمال نیز با N نشان داده شد [۱۵]. ماتریس احتمال انتقال ایستگاه‌های مذکور در جدول (۱) آمده است. قطر ماتریس احتمال انتقال در هر یک از ایستگاه‌ها، معرف پایداری شرایط محیطی است. در ایستگاه بابل رود معادل ۰/۳۳ می‌باشد، بدین مفهوم که اگر دبی رودخانه بابل رود دچار وضعیت خشکسالی آشناختی گردد، با احتمال ۳۳٪ در این وضعیت باقی خواهد ماند. از ضرب n

خشکسالی را به دست آورد و با استفاده از این احتمالات، نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع خشکسالی در ایالت مرکزی آمریکا تهیه کرد. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های دوره‌های خشکسالی هواشناسی و آشناختی و ارتباط آنها با یکدیگر با استفاده از روش‌های آماری و تصادفی (زنجیره مارکوف و تئوری RUN) در جلگه بابل می‌باشد. همچنین وضعیت خشکسالی‌های آشناختی و هواشناسی در طی ۱۰ سال آینده با استفاده از روش‌های مذکور مورد مطالعه قرار گرفت.

روش پژوهش

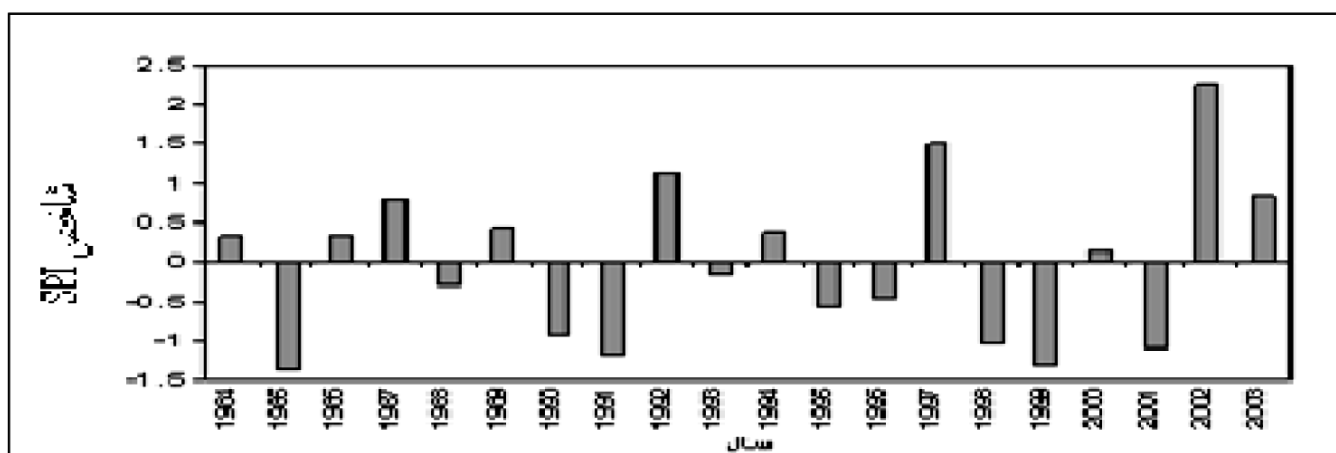
برای انجام این پژوهش از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر و قائمشهر و ایستگاه آب سنجی بابل رود استفاده گردید. برای مطالعه پدیده خشکسالی نمایه SPI به عنوان نمایه هواشناسی استفاده گردید. این نمایه بر اساس نمره Z محاسبه شد. جهت بررسی ارتباط خشکسالی آشناختی و هواشناسی در جلگه بابل با توجه به آمار موجود پایه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۱۹۸۴) انتخاب گردید و نمایه SPI سالانه برای بارش ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر و قائمشهر و دبی متوسط ایستگاه آب سنجی بابل رود محاسبه شد، تا یک سری زمانی کامل از روند سال‌های خشک و تر مشخص گردد. با استفاده از ترکیب روش‌های زنجیره مارکوف و تئوری RUN می‌توان شرایط آینده را از نظر خشکسالی و ترسالی شبیه‌سازی نمود [۵ و ۱۳ و ۱۴]. با توجه به تئوری RUN، امید ریاضی خشکسالی بر اساس رابطه (۱) بدست آمد.

$$E(D) = P_D \cdot t \quad (1)$$

که در آن:

$E(D)$ امید ریاضی خشکسالی و به عبارتی تعداد متوسط خشکسالی مورد انتظار در دوره زمانی شبیه‌سازی است و P_D احتمال رخداد خشکسالی می‌باشد که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$P_D = P_N^* \cdot P_{ND} + P_W^* \cdot P_{WD} \quad (2)$$



شکل ۱- سری زمانی نمایه SPI ایستگاه سینوپتیک بابلسر

بر اساس نتایج حاصل از ماتریس ایستای ایستگاه‌های مورد مطالعه، بالاترین احتمال ایستا در حالت نرمال با مقدار ۰/۶۳۳ متعلق به رودخانه بابل رود می‌باشد که حالت پایداری این نوع منابع آبی را در مقابل خشکسالی نشان می‌دهد. یعنی در طی ۱۰ سال آینده حدود ۶/۵ سال وضعیت در حالت نرمال می‌باشد که با نتایج مطالعات دراکاپ و همکاران [۱۱ و ۱۲] که در مناطق گرمسیری و پرباران استوایی انجام شده بود از تطابق خوبی برخوردار است. با توجه به موارد ذکر شده رودخانه بابل رود در زمان‌های خشکسالی منبع قابل اطمینانی به حساب می‌آید و بایستی در مواقع خشکسالی مدیریت بیشتری بر روی عوامل موثر بر تغییر کیفیت آن اعمال گردد. به علت نزدیکی مکانی و تحت تاثیر قرار گرفتن از جبهه‌های باران ساز مشترک، خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دو ایستگاه قائمشهر و بابلساز از تطابق خوبی برخوردار هستند، چنان که شدیدترین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به طور کامل منطبق بر هم می‌باشند و در دوره‌های زمانی یکسانی رخ می‌دهند. نتایج بررسی ارتباط خشکسالی‌ها و ترسالی‌های این دو ایستگاه با یکدیگر نشان داد که ضریب رگرسیون (R) آنها برابر با ۰/۸۶۱ می‌باشد. براساس نمایه SPI ارتباط خشکسالی‌های آبشناختی و ترسالی‌های رودخانه بابل رود با ایستگاه‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های رودخانه بابل رود بیشتر تحت تاثیر ایستگاه قائمشهر می‌باشد. ضریب معادله همبستگی (R) بین خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه قائمشهر با

بار ماتریس احتمال انتقال در خودش، ماتریس ایستا محاسبه شد. هر کدام از درایه‌های ماتریس ایستا معرف درصد دوره‌هایی است که منطقه در دراز مدت در آن باقی می‌ماند که به عنوان مثال برای رودخانه بابل رود در حالت نرمال معادل ۶۳٪ می‌باشد. بدین معنا که دبی در سال‌های آینده ۶۳٪ دوره‌ها را در وضعیت نرمال به سر خواهد برد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روش‌های مرسوم برای بررسی خشکسالی شامل روش میانگین متحرک، نمایه SPI، تئوری RUN، زنجیره مارکوف و همچنین ترکیب زنجیره مارکوف و تئوری RUN مورد استفاده قرار گرفت و وضعیت خشکسالی اقلیمی و آبشناختی برای ۱۰ سال آینده شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از این است که بیشترین تعداد خشکسالی در طی ۱۰ سال آینده مربوط به ایستگاه قائمشهر می‌باشد که دلیل آن کوتاه بودن مدت دوام خشکسالی در این ایستگاه است. ایستگاه بابلساز از حیث دوام خشکسالی با ۱/۲۵ سال بیشترین دوام را دارد. در این زمینه باید بالا بودن دامنه تغییرات و انحراف معیار داده‌های بارش را دخیل دانست. به علت این که خشکسالی‌های آبشناختی با شدت کمتر و تاخیر بیشتری نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی رخ می‌دهند، کمترین مدت متوسط خشکسالی شبیه‌سازی شده در ۱۰ سال آینده متعلق به رودخانه بابل رود می‌باشد.

جدول ۱- ماتریس احتمال انتقال ایستگاه‌های قائمشهر، بابلساز و بابل رود

	وضعیت	D	N	W
قائم‌شهر	D	۰	۰/۷۵	۰/۲۵
	N	۰/۲۷۵	۰/۴۵	۰/۲۷۵
	W	۰/۲۵	۰/۷۵	.
بابلساز	وضعیت	D	N	W
	D	۰/۲	۰/۴	۰/۴
	N	۰/۲۷	۰/۶۴	۰/۰۹
	W	۰/۳۳	۰/۶۷	۰
بابل رود	وضعیت	D	N	W
	D	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
	N	۰/۱۹	۰/۷۵	۰/۰۸۳
	W	۰	۰/۵	۰/۵

خشکسالی ها و ترسالی های رودخانه بابل رود با استفاده از آزمون t جفتی محاسبه گردید و در سطح معنی داری ۵ درصد و ضریب معادله همبستگی (R) برابر ۰/۵۷۶ شد.

منابع

- ۱- رضیعی، ط. شکوهی، ع. و ثقفیان، ب. ۱۳۸۲. پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش های احتمالاتی و سری های زمانی، مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان، بیابان، ۸(۲): ۳۱۰-۲۹۲
- ۲- سلطانی، س. و مدرس، ر. ۱۳۸۵. تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی هواشناسی استان اصفهان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹(۱): ۲۶-۱۵
- ۳- سمیعی، م. ثقفیان، ب. و مهدوی، م. ۱۳۸۵. آنالیز منطقه ای شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه های آبخیز استان تهران، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹(۱): ۳۹-۲۷
- ۴- عزیزی، ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین، پژوهش های جغرافیایی، (۴۶): ۱۴۳-۱۳۱
- ۵- عزیززاده، ا. ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۸۱۶ ص.
- ۶- قویدل رحیمی، ی. ۱۳۸۴. آزمون مدل های ارزیابی خشکسالی و ترسالی برای ایستگاه های استان آذربایجان شرقی، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸(۳): ۵۳۰-۵۱۷
- ۷- مرادی، ح. ر. و عرفان زاده، ر. ۱۳۸۰. بررسی روند خشکسالی ها و ترسالی ها در حوضه رود هراز مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، ۱: ۲۸۳-۲۹۳
- ۸- یمانی، م. حسین زاده، م. و نوحه گر، ا. ۱۳۸۵. هیدرودینامیک رودخانه های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و

تغییر مشخصات هندسی آنها، پژوهش های جغرافیایی، (۵۵): ۱۵-۳۳

۹- یوسفی، ن. و حجام، س. ۱۳۸۶. برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال، مطالعه موردی: استان قزوین، پژوهش های جغرافیایی، (۶۰): ۱۲۸-۱۲۱

10. Chin, S. and Edwin, H. 1977. Modeling daily precipitation occurrence process with markov chain, *Water Resour. Res.*, 13(4) : 949-956.

11. Dracup, J. A., Lee, K.S., Paulson, E. G. Jr. 1980a. On the statistical characteristics of drought events, *Water Resource. Res.*, 16(2): 289-296.

12. Dracup, J. A., Lee, K.S., Paulson, E. G. Jr. 1980b. on the definition of droughts, *Water Resour. Res.*, 16(2): 297-302.

13. Haan, C. T, Alen, D.M. and street, J. 1976. Markov chain model of daily rainfall, *Water Resource. Res.*, 12 (2): 443-449.

14. Jackson, Barbra, B. 1975. Markov mixture models for drought lengths, *Water Resour. Res.*, 11(1): 64-75.

15. Pandey, R.P., Mishra, S.K., Singh, Ranvir and Ramasastri, K.S. 2007. Stream flow drought severity analysis of betwa river system (India), water resource management, online at Springer science + Business Media B. V.

16. Smaktin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review, *Journal of Hydrology*, No. 240: 147-186.

17. Thampson, S. 1999. Hydrology for water management, Prentice Hall Inc.