



Analyzing the drought and its consequences on the water zone of Anzali Lagoon

Keyvan Asadi ¹, Parviz Rezaei ^{2*} and Bahman Ramzanigorabi ³

¹ PhD student of Climatology, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

² Associate Professor, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

³ Professor, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

* Corresponding Author, rezaei@iaurasht.ac.ir

Receive Date: 02 March 2021

Accept Date: 12 May 2021

ABSTRACT

Introduction: Today, the phenomenon of drought as a national and transnational issue is important and is of interest to scientists and politicians.

Objectives: The purpose of this article is to investigate the phenomenon of drought. To this end, we used daily temperature and precipitation data related to three synoptic stations of Rasht, Anzali and Masuleh, four Evapotranspiration Monitoring Station of Rasht, Kasma, Chobar and Qalehroud Khan and nine hydrometric stations of precipitation and runoff parameters in a 30-year period (1988-2018).

Methodology: In this research, the method of data analysis and the change of climatic elements process and drought monitoring were carried out using Mann-Kendall, SPI and RDI methods using SPSS, EXCELL and DIP software.

Geographical Context: The area studied in this research is the Anzali Lagoon Basin in Gilan Province. As the first global wetland, this area is important from different aspects.

Results and Discussion: The results of the research showed that, although having no noticeable changes in the precipitation parameter, Rasht station generally shows a negative and downward trend. On the other hand, by 2050, the forecast indicates a decrease in precipitation and temperature by 48 Millimeters and 0.79 degrees Celsius. On the other hand, contrary to Rasht station, the results of Anzali station show short-term successive and irregular upsurges. Furthermore, the average annual and monthly rain in this period increases by 0.1% per year to 63 mm, and the annual average temperature also indicates an increase of 1.43 degrees Celsius more than the observed average. The RDI is more relevant method because it shows the actual climatic conditions of the region better regarding the temperature and potential evaporation and transpiration.

Conclusion: The severity of damages and the increasing trend of slow changes are crucial and requires more effective and fundamental measures to be taken. In particular, considering the importance of climate change in recent years in national assemblies and internationally, determining the vulnerability of the Anzali Lagoon. Therefore, appropriate management initiatives ought to be implemented to adapt to climate change.

KEYWORDS: Anzali Lagoon, drought index, atmospheric circulation.

واکاوی خشکسالی و پیامدهای آن بر پهنه آبی تالاب انزلی

کیوان اسدی^۱، پرویز رضایی^{۲*} و بهمن رضانی گورابی^۳

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

۲. دانشیار، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

۳. استاد، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: rezaei@iaurasht.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳ اسفند ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه: امروزه پدیده خشکسالی به عنوان مسئله‌ای ملی و فراملی حائز اهمیت و مورد توجه محافل علمی و حتی سیاسی است. **هدف:** هدف این مقاله بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از داده‌های دما و بارش روزانه مربوط به سه ایستگاه سینوپتیک رشت، انزلی و ماسوله و چهار ایستگاه تبخیرسنجی رشت، کسما، چوبر و قلعه‌رودخان و نه ایستگاه هیدرومتری پارامترهای بارش و رواناب در یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۸) پرداخته شده است. **روش شناسی:** در این تحقیق به روش تحلیل داده‌ها و روند تغییر عناصر اقلیمی و پایش خشکسالی با استفاده از روش من-کندال، SPI و RDI با استفاده از نرم افزار SPSS، EXCELL و DIP انجام گرفته است. **قلمرو جغرافیایی پژوهش:** محدوده مورد مطالعه در این تحقیق حوضه تالاب انزلی در استان گیلان است. این محدوده به عنوان اولین تالاب جهانی از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. **یافته‌ها و بحث:** نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در ایستگاه رشت اگرچه تغییرات محسوس در پارامتر بارش مشاهده نمی‌گردد اما بصورت کلی نشان‌دهنده روند منفی و نزولی در میزان آن می‌باشد. از طرفی پیش بینی حاکی از کاهش بارش و دما تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۴۸ میلیمتر و ۰/۷۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طرفی نتایج ایستگاه انزلی نشان از عکس وضعیت موجود در رشت می‌باشد با این تفاوت که تغییرات در آن ایستگاه با جهش‌های کوتاه مدت متوالی و نامنظم می‌باشد. و برخلاف ایستگاه رشت، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند صعودی تقریبی ۰/۱ درصد در سال به میزان ۶۳ میلیمتر افزایش می‌یابد و دمای میانگین سالانه آن نیز حاکی از افزایش ۱/۴۳ درجه سانتیگراد بیشتر از متوسط مشاهداتی است. بررسی خشکسالی‌ها نیز نشان دادند که روش RDI شرایط واقعی اقلیمی منطقه را با توجه به اینکه دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در مراحل محاسباتی این شاخص دخیل‌اند بهتر نشان می‌دهد. **نتیجه‌گیری:** شدت و حجم خسارت‌ها و روند فزاینده‌ی تغییرات بطئی عوامل تاثیرگذار به گونه‌ای است که ایجاب می‌کند تدابیر مؤثرتر و اساسی‌تری به خصوص جهت پیشگیری از آثار این وقایع به عمل آورد نهایت با توجه به اهمیت موضوع تغییر اقلیم در سال‌های اخیر در مجامع ملی و بین‌المللی، تعیین آسیب‌پذیری سیستم طبیعی تالاب انزلی به تغییر اقلیم گزینه‌های مناسب مدیریتی برای سازگاری با این پیامد شوم در راستای اهداف تخصصی این مطالعه ارائه گردید.

کلیدواژه‌ها: تالاب انزلی، شاخص خشکسالی، گردش عمومی جو.

مقدمه

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است که در دهه‌های اخیر، اثرات قابل توجهی را بر اقتصاد، کشاورزی، محیط زیست و اکوسیستم‌های مختلف بر جای گذاشته است (عبدی و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از مهمترین و حساسترین اکوسیستم‌ها به این پدیده، تالاب‌ها هستند که در سال‌های اخیر تحت تأثیر دخالت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی و به ویژه تحت تأثیر خشکسالی‌های اخیر، روند خشکیدگی آنها در بیشتر مناطق دنیا روند روبه رشدی داشته است (رحیمی بلوچی و همکاران، ۱۳۹۳).

افزایش روند خشکیدگی تالاب‌ها، افزایش تولید گردوغبار و تغییر شرایط پوشش گیاهی محدوده تالاب‌ها را به دنبال داشته است (بیات و همکاران، ۱۳۹۵). از اینرو ارزیابی آثار این پدیده و مدیریت خطر آن امری ضروری است. طی سال‌های اخیر، کشور ایران با خشکسالی‌های متعددی روبه رو بوده که خسارت‌هایی گاه جبران‌ناپذیر بر منابع آبی و به ویژه دریاچه‌ها و تالاب‌ها وارد کرده (یوشیکاوا و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین پایش مداوم بستر تالاب‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات این اکوسیستم‌های ارزشمند به منظور پیشگیری، کنترل و یا کاهش پیامدهای ناشی از اثر خشکسالی در آنها از اهمیت زیادی برخوردار است.

خشکسالی را یک دوره گسترده (زمانی و مکانی) کمبود بارش در مقایسه با میانگین آماری چند ساله هر منطقه تعریف می‌کنند (مانیش کومار، شارما، ۲۰۱۶). خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در مقایسه با سایر مخاطرات از نقطه نظر میزان، شدت، مدت و گستره مکانی و همچنین تلفات جانی، مالی (اقتصادی)، اکولوژیک و اثرات بلندمدت آن از بیشترین درجه نسبت به سایر پدیده‌های اقلیمی برخوردار است. زیرا در مقایسه و رتبه‌بندی ویژگی‌های خشکسالی با سایر مخاطرات طبیعی، ویژگی مدت و گستره مکانی آن نسبت به سایرین از بالاترین رتبه برخوردار بوده و همین موضوع بر اهمیت این پدیده افزوده است (رستمی، ۱۳۹۴). علاوه بر موارد بالا، خزنده بوده این پدیده نیز از ویژگی‌های منحصر بفرد آن نسبت به سایر بلایای طبیعی است که اهمیت مسئله را دو چندان می‌کند.

یکی از مهمترین عناصری که در تعریف خشکسالی استفاده می‌گردد، بارش است. وجود نوسانات شدید در ریزش‌های جوی یکی از مشکلات عمده بارش کشور است و با توجه به همین نوسانات شدید، خشکسالی در شرایط نوسان منفی و به عبارت دیگر، کاهش بارش‌های جوی نسبت به میانگین درازمدت رخ می‌دهند (خسروی، ۱۳۹۱). در واقع خشکسالی در هر منطقه‌ای می‌تواند رخ بدهد و نوع اقلیم منطقه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع این پدیده مخرب ندارد. مناطق مرطوب نیز همواره در معرض این پدیده طبیعی قرار دارند و کاهش بارش در یک دوره بلند مدت می‌تواند این مناطق را در معرض خشکسالی قرار دهد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴).

روش شناسی

داده‌های مورد استفاده در تحقیق با توجه به اهداف و روشهای مورد استفاده شامل دما و بارش روزانه و ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه رشت، انزلی و ماسوله و چهار ایستگاه تبخیرسنجی رشت، کسما، چوبر، قلعه-رودخان است. دو ایستگاه فرودگاه رشت و انزلی که دارای بازه آماری طولانی مدت می‌باشند، سایر ایستگاه‌ها از سال ۱۳۶۳ فعال می‌باشند. داده‌های روزانه بارش و دما ایستگاه‌هایی که داخل و اطراف حوضه می‌باشند را برای تست همگنی داده‌های سالانه، از روش RUNS TEST استفاده گردید. جهت بررسی کفایت دوره مطالعاتی از نمایه هرست استفاده گردید. بر این اساس محاسبات برای دو ایستگاه رشت و بندر انزلی انجام گرفت که نتایج در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱

آزمون کفایت آماری هرست در ایستگاه‌های رشت و انزلی

پارامتر	دمای انزلی	بارش انزلی	دمای رشت	بارش رشت
میانگین داده‌ها	۱۶/۲۶	۱۷۵۰/۸۱	۱۶/۱۹	۱۲۹۲/۵۹
انحراف معیار داده‌ها	۰/۷۱	۳۳۹/۸۱	۰/۷۵	۲۵۹/۳۳
D	۳/۴۷	۱۵۶۱/۱۶	۳/۸۸	۹۵۸/۳۳
N	۶۳	۲۵	۵۸	۲۵
Hurnest ضریب	۰/۴۵	۰/۶	۰/۴۸	۰/۵۱

میزان نمایه هرست در پارامتر بارش هر دو ایستگاه از ۰/۵ بیش‌تر شده و نیاز به تطویل دوره اطلاعات ندارند. اما پیرامون داده‌های دما می‌بایست اشاره کرد با توجه به اینکه دوره آماره از سال ۱۹۷۰-۱۹۷۳ فاقد داده بودند که پس از تکمیل این داده‌ها، نمایه مذکور در ایستگاه رشت و انزلی به ترتیب برابر با ۰/۵۲ و ۰/۵ تغییر پیدا کردند. آزمون توالی داده‌ها، در سطح اعتماد ۵ درصد با استفاده از آزمون NONPARAMETRIC-RUNTEST انجام شد و نتایج آن در جدول ذیل می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار Sig نتایج بزرگتر از احتمال خطای نوع اول ۰/۰۵ است، دلیلی برای رد فرض صفر وجود ندارد. بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد فرض همگن بودن داده‌ها تایید و نیازی به حذف یا نرمال‌سازی داده‌های بارش و دما در این ایستگاه‌ها نیست. بنابراین نتایج نشانگر وضعیت همگنی داده‌های ایستگاه‌های مدنظر است.

جدول ۲

نتایج آزمون همگنی داده‌ها - ران تست

پارامتر	دمای انزلی	بارش انزلی	دمای رشت	بارش رشت
مقدار تست	۱۶	۱۸۱۱	۱۶	۱۳۰۳
کمتر از مد	۳۱	۱۲	۲۹	۱۲
بیشتر از مد	۳۲	۱۳	۲۹	۱۳
کل	۶۳	۲۵	۵۸	۲۵
Z	-۲	-۱	-۲	-۱
SIG	۰/۵	۰/۰۸	۰/۶	۰/۰۸

جهت بررسی روند تغییر عناصر اقلیمی و پایش خشکسالی از ۳ روش من-کندال و دو شاخص SPI و RDI استفاده شده است. در ادامه به توضیح این روش‌ها پرداخته خواهد شد.

آزمون من-کندال

فرایندهای هیدرولوژیکی عموماً فرایندهای ایستا شناخته می‌شوند. اما، مطالعات جدید نشان داده که بسیاری از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی روند و تغییرپذیری بلندمدت دارند که شاید ناشی از تأثیر عوامل انسانی یا ویژگی‌های طبیعی آب و هوای کره زمین باشد (ابراهیمی و کردوانی، ۱۳۹۳). روندها ممکن است در سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیم شناسی پیدا و به دو نوع تقسیم شوند، شکستگی‌های ناگهانی؛ روند یکنواخت و دارای جهت چنانچه سری زمانی داده‌های هیدرولوژی به صورت یکنواخت سیر صعودی یا نزولی داشته باشند، داده‌ها دارای برگردان‌اند (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲).

روش مورد استفاده در این تحقیق برای آشکارسازی روند تغییر دما و بارش آزمون آماری گرافیکی من-کندال و میانگین متحرک ۳ ساله است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها مورد استفاده قرار می‌-

گیرد. فرض صفر عدم وجود روند، آماره کندال (t) بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (میرفتاح و عطایی، ۱۳۹۸) که در آن:

$$T = 4p / (n(n-1) - 1) \quad (۱)$$

$$p = \sum_{i=1}^n \quad (۲)$$

$$T_t = \pm t g \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (۳)$$

T = آماره کندال

P = مجموع تعداد رتبه های بزرگتر از ردیف ni که بعد از آن قرار می گیرند

n = نیز تعداد کل سالهای آماری مورد استفاده یا $\sum xi$ است.

به منظور سنجش معنی دار بودن آماره T از معادله ۷ استفاده می شود. که در اینجا tg برابر با مقدار بحرانی نمره نرمال یا استاندارد Z با سطح احتمال آزمون است و با سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می باشد. در صورت اعمال این مقدار $t(T)$ معادل $\pm ۱/۹۶$ می شود. با توجه به این مقدار بحرانی به دست آمده برای $t(T)$ حالات مختلفی بدین شرح مشاهده خواهد شد:

اگر $t(T) > +0/27$ یا $T > +0/27$ باشد، روند مثبت در سری زمانی غالب خواهد بود. همچنین اگر $t(T) < -0/27$ یا $T < -0/27$ باشد، نشان دهنده روند منفی در سریها و در صورتیکه $T < (T)t$ یا $t < (T)t$ - (یا $0/27 < T < 0/27$ -) هیچگونه روند مهمی در سریها مشاهده نمی شود و سریها تصادفی هستند. (معروف نژاد و قاسمی، ۱۳۹۸).

پایش خشکسالی

شاخص SPI

شاخص استاندارد شده بارش (SPI) روشی است که برای اولین بار توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ معرفی گردید و در سال ۱۹۹۷، ادواردز و مک کی از این روش برای مطالعاتشان در ایالت کلرادو استفاده نمودند. روش SPI روشی است که اقلیم شناسان برای انجام مطالعات بر روی خشکسالی ها استفاده می کنند. شاخص بارش استاندارد شده دارای ویژگی های متعددی است که سادگی و انعطاف پذیری این روش استفاده از آن را نسبت به شاخص های دیگر ارجحیت میدهد (معدنچی و همکاران، ۹۸).

با محاسبه فاصله زمانی بین شروع و خاتمه خشکسالی در یک دوره آماری مدت آن مشخص می گردد به عبارت دیگر زمانی که SPI بطور پیوسته منفی باشد خشکسالی رخ داده و پایان آن زمانی است که SPI مثبت شود.

جهت محاسبه مقدار SPI از مقادیر واقعی بارش به شیوه زیر عمل می گردد:

از داده های بارش لگاریتم گرفته و به لوگ نرمال (Ln) تغییر می یابد و سپس میانگین این مقادیر محاسبه می گردد. ثابت U و همچنین مقادیر شکل و مقیاس از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\bar{x}_{Ln} = \sum_{i=1}^n Lnxi / N \quad (۴)$$

$$U = Ln(xi) - \bar{x}_{Ln} \quad (۵)$$

$$\beta = \frac{1}{4U} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}} \right] \quad (۶)$$

$$a = \frac{\bar{x}}{\beta} \quad (۷)$$

در ادامه به منظور آشکار نمودن مقادیر شکل و مقیاس از تابع گاما که جزء خلاصه شده‌ای از توزیع نمایی می‌باشد استفاده می‌گردد.

$$G(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \int_0^x X^{\beta-1} e^{-x/\alpha} dx \quad (۸)$$

در این فرمول مقادیر α و β مقادیر بیشتر از صفر را بدست می‌آورند ($\alpha, \beta > 0$) و داده‌ها (داده‌های بارش) باید دارای مقادیر بالای صفر باشند ($x > 0$) زیرا تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است. $\Gamma(\beta)$ نیز تابع گاما می‌باشد که بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{if: } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۹)$$

$$SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{if: } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (۱۰)$$

در همین راستا میانگین و واریانس از روابط زیر محاسبه می‌گردند (مارکوئدزا، ۲۰۰۳):

$$\Gamma(\beta) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\beta-1} dx \quad (۱۱)$$

با توجه به اینکه تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است احتمال تجمعی به صورت زیر می‌باشد:

$$H(x) = q + (1-q) G(x) \quad (۱۲)$$

در رابطه فوق $G(x)$ معادل تابع توزیع برآورد شده است به طوری که مقادیر تهی در آن دخیل نمی‌باشند و q نیز نسبت تعداد داده‌های صفر به تعداد کل داده‌های بارش می‌باشد به این ترتیب که اگر m تعداد داده‌های صفر باشد و n تعداد کل داده‌های بارش $q=m/n$ می‌باشد. $H(x)$ نیز احتمال تجمعی تابع گاما می‌باشد که باید به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ جابه‌جا گردد. متغیر جدید به دست آمده همان شاخص SPI می‌باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده بارش در ارتباط با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی، از طریق داده‌های بارندگی طی روابط ذکر شده در بالا مقادیر α و β محاسبه می‌گردد و سپس بعد از محاسبه احتمال توزیع تجمعی گاما با استفاده از تقریب آپراموتیزو- استوگان به توزیع نرمال مقادیر SPI جابه‌جا می‌گردد.

مراحل جابه‌جایی احتمال تجمعی گاما به توزیع نرمال به صورت زیر است:

برای مقادیر $H(x)$ که بین ۰ و ۰/۵ یا ۰/۵ تا ۱ باشند مقدار t برابر است با:

$$t = \sqrt{\ln[1/(1-H(x))^2]} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۱۳)$$

$$t = \sqrt{\ln[1/(H(x))^2]} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (۱۴)$$

خواهد بود. در نهایت با استفاده از t به دست آمده مقادیر SPI محاسبه می‌گردد به طوری که برای مقادیر مشخص شده ذیل توابع مختص آن استفاده می‌گردد.

مقادیر ثابت مورد استفاده در فرمول‌های بالا مربوط به محاسبه SPI به صورت زیر است:

$$c0 = 2/515517 \quad c1 = 0/802853 \quad c2 = 0/10328$$

$$d1 = 1/432788 \quad d2 = 0/189269 \quad d3 = 0/00130$$

شاخص RDI

اگر خشکسالی هواشناسی را به صورت یک نقصان در توازن بین ورودی و خروجی در نظر بگیریم، این فرض که کمبود آب (خشکسالی) را می توان تنها از طریق برآورد ورودی (بارندگی) تخمین زد، ممکن است نتایجی کم و بیش دور از واقعیت را در بر بگیرد. بنابراین مدلی در برآورد خشکسالی کارا می باشد که ورودی و خروجی را با هم در نظر بگیرد. روش RDI بارندگی (P) را به عنوان ورودی و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) را به عنوان خروجی در نظر می گیرد. در نهایت برای سهولت در انجام محاسبات، بارندگی ثبت شده در ایستگاهها و تبخیر و تعرق پتانسیل (ترجیحاً از فرمول تورنت وایت) را به ترتیب به عنوان ورودی و خروجی سیستم در نظر می گیریم. بنابراین در این مدل فقط به داده های دما (برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تورنت وایت) و بارندگی نیاز داریم که تقریباً همه جا در دسترس هستند (Tsakiris and Vangelis 2005).

جهت تعیین خشکسالی با استفاده از RDI می بایست از آمار ماهانه و یا مجموع سالانه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده نمود بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان a_0 محاسبه می شود.

$$a_0(i) = \left(\sum_{j=1}^{12} P_{ij} \right) / \left(\sum_{j=1}^{12} ET_{ij} \right) \quad (15)$$

در این فرمول P بارندگی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل در زمین ماه سال i هستند. مقدار i از ۱ تا N (تعداد سالهای آمار موجود) متغیر است. در مرحله بعد از طریق رابطه زیر شاخصی تعیین می گردد که به عنوان شاخص RDI نرمال یا RDI(n) شناخته می شود.

$$RDI_n(i) = (a_0(i) / \bar{a}_0) - 1 \quad (16)$$

در این رابطه \bar{a}_0 میانگین حسابی اعداد a_0 هر سال می باشد. و همچنین شاخص استاندارد شده RDI یا (RDIs) نیز بدین گونه محاسبه می گردد که ابتدا از مقادیر a_0 لگاریتم گرفته سپس انحراف معیار استاندارد و میانگین آنها محاسبه می گردد. در نهایت شاخص استاندارد شده RDI از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$RDI_s^{(i)} = (y_k^{(i)} - \bar{y}_k) / \sigma_{y_k} \quad (17)$$

در محاسبه RDI نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) از اطلاعات بارش و دما می باشد که یکی از روشهای محاسبه آن روش ترنت وایت (Thorntwaite) است.

نظر به اینکه فرمول های تبخیر و تعرق واقعی معمولاً به نتایج مطلوبی منتهی نمی شود و استفاده از لایسی متر (دستگاه محاسبه تبخیر واقعی) نیز در تمام شرایط امکان پذیر نیست، در هیدرولوژی به جای تبخیر و تعرق واقعی توان تبخیر و تعرق منطقه را تخمین می زنند که به آن تبخیر و تعرق پتانسیل گفته می شود. تبخیر و تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تبخیر و تعرقی است که در یک وضعیت آب هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد از یک پوشش کامل گیاهی مانند چمن صورت می گیرد (علیزاده، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۱۳۸۵). در روش تورنت وایت تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه های سال محاسبه می شود. مراحل محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش ترنت وایت بدین ترتیب است:

ابتدا نمایه حرارتی i_m برای هر یک از ماه های سال از طریق رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$i_m = (T_m / 5)^{1.51} \quad (18)$$

در این معادله T_m متوسط دمای هوا به درجه سانتیگراد است. این کار برای تمام ماه‌های سال انجام گرفته و در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد i_m برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود. سپس نمایه حرارتی سال (I) از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه محاسبه می‌شود.

$$I = \left(\sum_{j=1}^{12} i_m \right) \quad (19)$$

در ادامه با استفاده از نمایه حرارتی سالانه (I) ضریب a از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$a = (6.75 \times (10)^{-7}) I^3 - (7.71 \times (10)^{-5}) I^2 + (1.792 \times (10)^{-2}) I + 0.492 \quad (20)$$

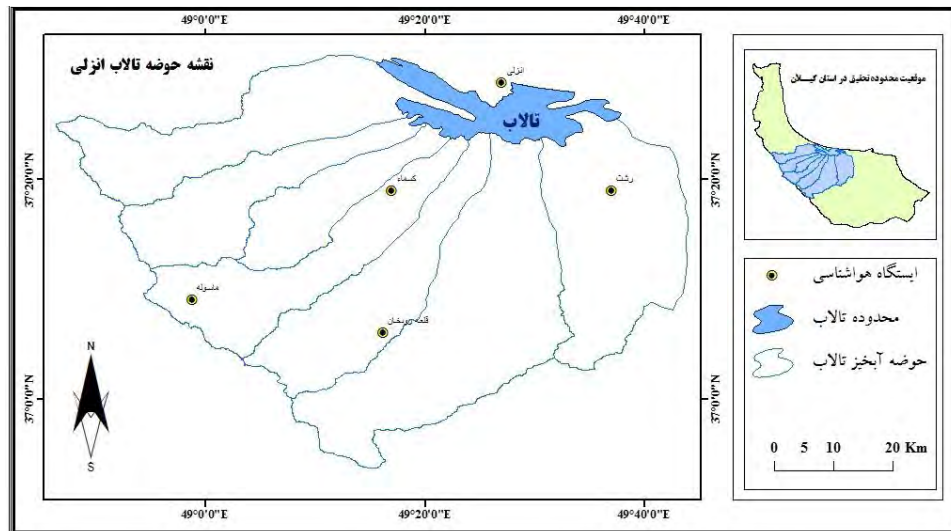
در نهایت تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) برای هر یک از ماه‌های سال بر حسب میلیمتر از فرمول زیر محاسبه می‌گردد. برای اینکه مقدار PET با توجه به عرض جغرافیایی مطابق با تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعات روشنایی اصلاح گردد ضریب N_m پس از استخراج از جدول ضرایب اصلاحی ترنت‌واپت، فرمول ذیل باید اعمال گردد.

$$PET = 16(10T_m/I)^a \quad (21)$$

$$PET = 16N_m(10T_m/I)^a \quad (22)$$

قلمرو جغرافیایی پژوهش

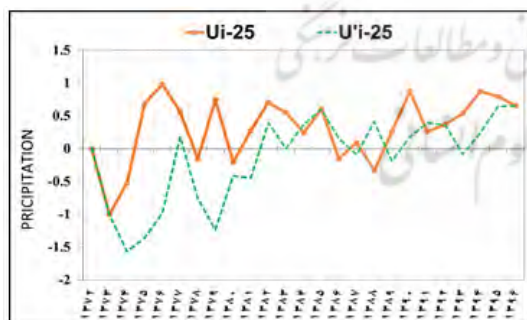
تالاب انزلی در جنوب غربی دریای خزر و در استان گیلان در طول جغرافیایی $49^{\circ}14'20''$ تا $49^{\circ}36'45''$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ}12'23''$ تا $37^{\circ}32'08''$ قرار گرفته و به عنوان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ایران و جهان بر اساس کنوانسیون رامسر است. این تالاب به عنوان یکی از ۲۴ تالاب بین‌المللی ایران است که در سال ۱۳۵۴ به همراه ۱۸ تالاب دیگر به دفتر کنوانسیون رامسر معرفی شدند (آشوری و عبدوس، ۲۰۱۳) و بعنوان شاهکار خلقت، گنجینه طبیعت، زیستگاه بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهان آبی بشمار می‌آید و نقش بسیار زیادی در زندگی ساکنان آن دارد. حدود ۲۰ رودخانه قبل از ورود به دریای خزر به تالاب منتهی میشوند که از این میان ۱۱ مورد از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد (نوابیان و همکاران، ۱۳۹۸). نه زیر حوضه رودخانه ای و یک زیر حوضه تالاب انزلی است که از کوه‌های ماسوله و تالش سرچشمه گرفته و هریک با توجه به اشتراک‌های فراوان جغرافیایی دارای تفاوت‌هایی از این نظر بوده که در مجموع بر اکوسیستم تالاب تاثیر گذار هستند.



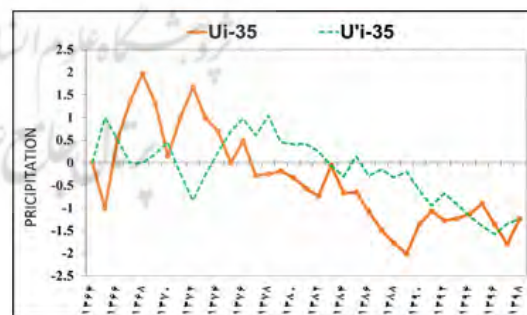
شکل ۱. موقعیت حوزه تالاب انزلی

یافته ها و بحث

در این آزمون سری های زمانی هواشناسی (دما و بارش) و ایستگاه رشت و انزلی در مقیاس سالانه مورد تحلیل قرار گرفته است. لذا برای تمامی عناصر مورد بررسی به روش من کندال ابتدا مولفه U_i و U_i' ترسیم شد. سپس با توجه به خصوصیات آزمون مذکور نوع و زمان تغییر مشخص شد که در اشکال زیر ارائه می گردد. در بررسی نمودار بارش در ایستگاه رشت نشان می دهد که به صورت کلی روند نزولی را طی می کند اما با توجه به اینکه اختلاف دو خط از ۱/۹۶ تجاوز نمی کند تغییرات محسوس مشاهده نمی گردد، اما جهش تغییرات در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ رخ داده است و هر دو مورد حاکمیت روند منفی را نشان می دهد. نتایج ایستگاه انزلی نشان از عکس وضعیت موجود در رشت می باشد. چراکه در اکثر مواقع خط هاشور از خط U پایین تر است و این به معنای روند مثبت در داده های بارش است و اگرچه تغییرات آن به مرور زمان به سمت جهش-های کوتاه مدت متوالی و نامنظم می رود.



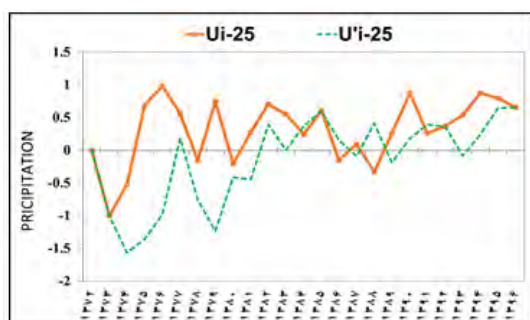
شکل ۲. نمودار تغییرات مولفه های بارندگی سالانه ایستگاه انزلی



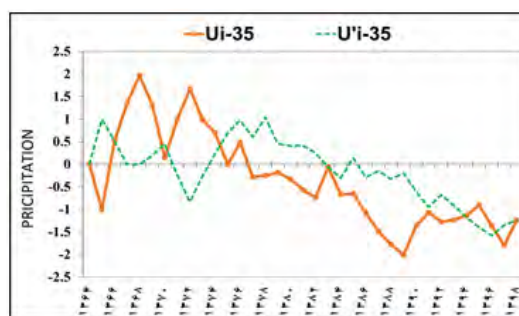
شکل ۱. نمودار تغییرات مولفه های بارندگی سالانه ایستگاه رشت

نتایج آزمون من کندال پیرامون دمای ایستگاه رشت کمی نگران کننده نشان می دهد. چرا که جهش اتفاق افتاده در سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۲ در یک بازه طولانی مدت روند روبه رشد داشته است. این بدان معنا است که تغییرات دما اگر چه کم اما روبه افزایش می باشد.

با بررسی های انجام شده در مورد دماهای ایستگاه انزلی نشان می دهد که میانگین دما سالانه از روند منظم و بدون جهشی برخوردار است، اما لازم به ذکر است اگر چه جهش اقلیمی را نشان نمی دهد اما شکل نمودار حاکی از روند افزایش دما می باشد.



شکل ۴. نمودار تغییرات مولفه های دما سالانه ایستگاه انزلی



شکل ۳. نمودار تغییرات مولفه های دما سالانه ایستگاه رشت

نتایج پیش بینی دما و بارش

بطور کلی تنها روش واسنجی موجود در مدل SDSM روش مبتنی بر سعی و خطا می باشد. بطوری که با انتخاب پارامترها موثر بر شبیه سازی در نرم افزار، می بایست بهترین آنها را برای تطبیق و پیش بینی داده با استفاده از روابط رگرسیونی انجام داده شد (جدول ۳).

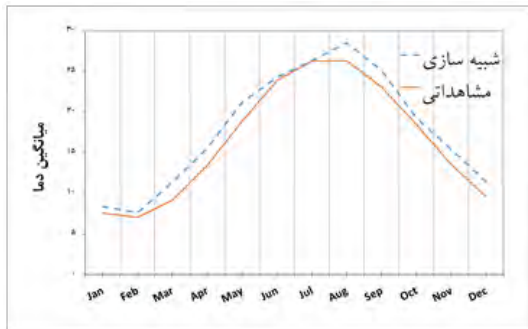
جدول ۳

نتایج کالیبراسیون داده های اقلیمی

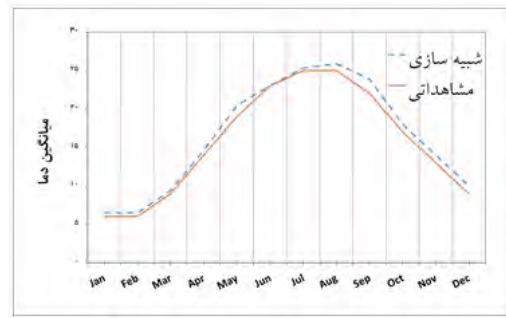
ایستگاه	پارامتر	RMSE	R2	بهترین پارامتر کالیبره
رشت	دما	۰/۳۷	۰/۹۹	nceptmpgl
رشت	بارش	۲/۲	۰/۹۸	ncept8_ugl
انزلی	دما	۰/۷	۰/۹۸۵	nce500gl
انزلی	بارش	۴/۹	۹۸	nceptmslpgl

تغییرات دما در دوره های آتی

تغییرات دمای متوسط سالانه رشت در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶، نشان می دهد که دمای هوا را بیشتر از دمای متوسط سالانه مشاهداتی پیش بینی کرده اند. دمای متوسط سالانه در دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵، ۱۵/۶۷ درجه سانتیگراد و دمای متوسط سالانه برای سناریو تغییر اقلیم، ۱۶/۴۵ درجه سانتیگراد تخمین زده شد. با این توضیح، سناریو تغییر دما تا سال ۲۰۵۰ برای این ایستگاه نشان از افزایش دما تا ۰/۷۹ درجه سانتیگراد می باشد. اگرچه اعداد محاسباتی در ماه های می و سپتامبر بیش از یک درجه تا دو درجه نیز پیش بینی شده است. تغییرات دمای متوسط سالانه انزلی در دوره ۲۰۰۶-۲۰۵۰، نیز مانند ایستگاه رشت نشان می دهد که دمای هوا افزایش ۱/۴۳ درجه سانتیگراد بیشتر از متوسط مشاهداتی پیش بینی کرده است.



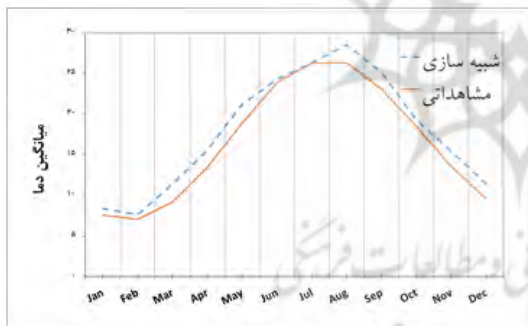
شکل ۶. پیش‌بینی دمای متوسط ماهانه انزلی در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶



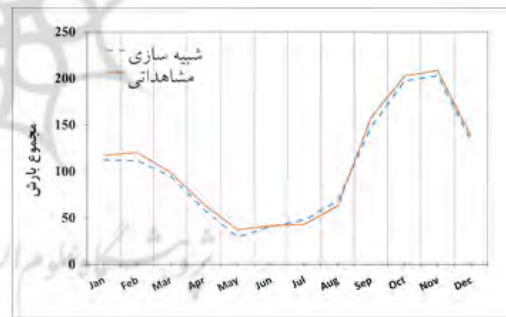
شکل ۵. پیش‌بینی دمای متوسط ماهانه رشت در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶

– تغییرات بارش در دوره‌های آتی

نتایج پیش‌بینی بارش در ایستگاه رشت جز در (ماه‌های ژوئیه، آگوست) فصل تابستان، سایر ماه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶ پیش‌بینی کردند. اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند کاهشی را دارد. در نتیجه میزان کاهش بارش در این دوره، ۴۸ میلیمتر و با روند نزولی تقریبی ۰/۱ درصد در سال است. نتایج پیش‌بینی بارش در ایستگاه انزلی برای ماه‌های (مارس، آوریل و می) در فصل بهار، و ماه‌های دسامبر در فصل زمستان حاکی از کاهش بارش است، اما در سایر ماه‌ها افزایش بارندگی را برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶ پیش‌بینی کردند. اما در مجموع، برخلاف ایستگاه رشت بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند صعودی تقریبی ۰/۱ درصد در سال به میزان ۶۳ میلیمتر افزایش می‌یابد. با بررسی‌های انجام شده نشان داده که نرخ تغییرات با ایستگاه رشت تقریباً برابر می‌باشد.



شکل ۱. تغییرات بارش ماهانه انزلی در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶



شکل ۷. تغییرات بارش ماهانه رشت در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۶

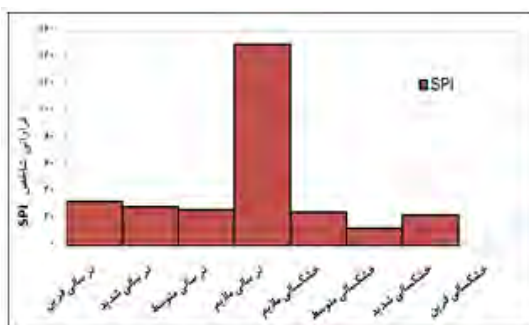
– پایش خشکسالی

شاخص SPI

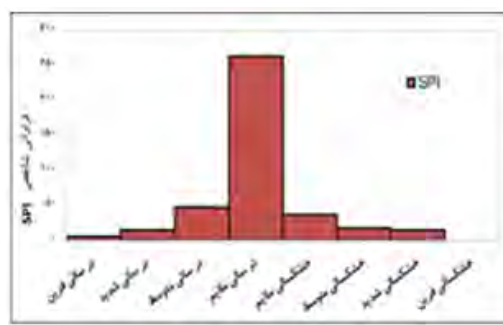
مقایسه سری‌های زمانی بارش در دو ایستگاه رشت و انزلی با متوسط آن حاکی از آن است که ایستگاه‌های مذکور به طور مکرر دچار تغییرات در بارش شده‌اند.

اما آنچه در بیان فراوانی خشکسالی‌ها آنچه مورد توجه قرار گرفته به این ترتیب می‌باشد که فراوانی ترسالی‌ها و خشکسالی‌های رخ داده هر دو ایستگاه در طی آماری ۳۲ ساله (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶) که در مجموع شامل ۳۹۶ ماه می‌باشد از طریق شمارش ماه‌هایی که شاخص محاسبه شده SPI برای آن ماه زیر صفر یا بالای صفر قرار داشتند به

ترتیب معرف خشکسالی ها و ترسالی ها محاسبه گردید. در جدول زیر پارامترهای محاسبه شده که مورد نیاز جهت برآورد شاخص خشکسالی SPI می باشند، آورده شده است.



شکل ۱۰. فراوانی وقوع خشکسالی شاخص SPI در ایستگاه انزلی



شکل ۹. فراوانی وقوع خشکسالی شاخص SPI در ایستگاه رشت

جدول ۴

جدول ضرایب تابع توزیع گاما جهت محاسبه شاخص SPI

ایستگاه	U	α	β
رشت	۰/۵	۸۵/۲	۱/۲
انزلی	۰/۳	۶۸/۶	۱/۶

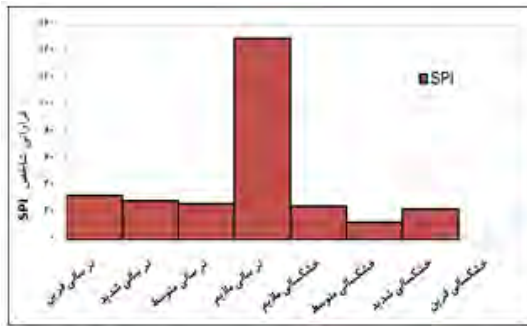
شاخص RDI

جهت محاسبه شاخص RDI از داده های بارش و دمای هر ایستگاه مطابق با داده های بارش استفاده شده به منظور محاسبات شاخص SPI و منطبق با همان دوره آماری (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶) استفاده گردید. براساس جزئیات ذکر شده روش فوق در بخش داده ها و روش ها تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق روش تورنت وایت محاسبه و در نهایت شاخص RDI برای هر ایستگاه و برای تمامی ماهها محاسبه گردید.

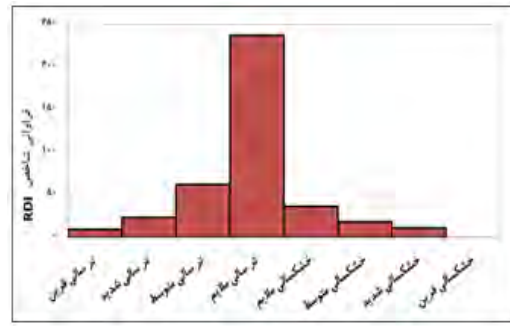
در این روش نیز مقادیر مثبت RDI نشان دهنده ترسالی ها و مقادیر منفی RDI نشان دهنده خشکسالی ها می باشد. سیستم طبقه بندی در این روش نیز مشابه سیستم طبقه بندی روش SPI می باشد. در جدول زیر ارقام مربوط به احتمال وقوع مشاهده شده خشکسالی بر اساس شاخص RDI و همچنین نمودار مقایسه منحنی احتمال وقوع مشاهده شده با احتمال نرمال آورده شده است.

از ارقام مندرج در جدول و همچنین اشکال زیر مشخص می گردد، هرچه ایستگاهها در مناطق با دماهای بالاتر قرار گیرند مجموع احتمال وقوع خشکسالیها بیشتر می گردد و این بدان دلیل است که در روش RDI علاوه بر فاکتور بارش عامل دما نیز در نظر گرفته می شود.

با توجه به روش محاسبه RDI که در قسمت داده ها و روشها آمده است هرچه مقدار دما افزایش پیدا کند مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل نیز افزایش می یابد. طبیعی است میزان خشکی در هر جا که تبخیر و تعرق بالاتری داشته باشد نسبت به جای دیگر با همان میزان بارش ولی با تبخیر و تعرق کمتر با شدت بیشتری تظاهر می نماید. بنابر این یافته ها به نظر می رسد جهت استفاده از شاخص RDI باید موقعیت جغرافیایی منطقه و شرایط آب و هوایی آن در نظر گرفت شود.



شکل ۱۲. فراوانی وقوع خشکسالی شاخص RDI در ایستگاه انزلی



شکل ۱۱. فراوانی وقوع خشکسالی شاخص RDI در ایستگاه رشت

جدول ۵

احتمال و فراوانی وقوع شاخص خشکسالی RDI

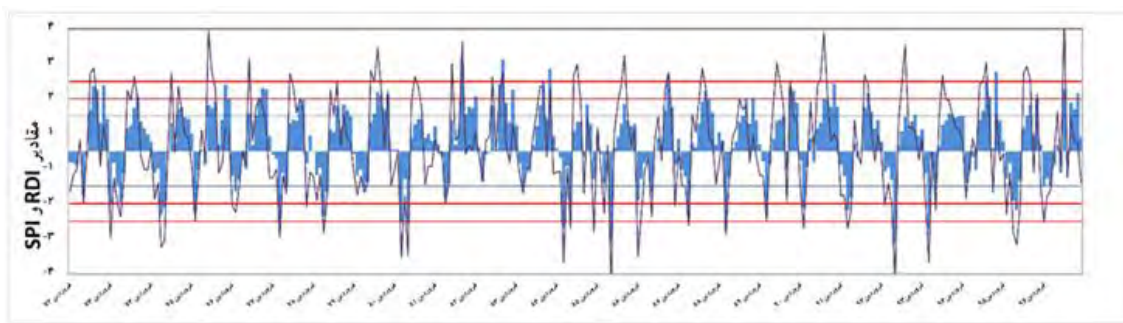
طبقه	ایستگاه انزلی		ایستگاه رشت	
	احتمال	فراوانی	احتمال	فراوانی
ترسالی فرین	۰/۷۶	۳	۲/۲۷	۹
ترسالی شدید	۶/۵۷	۲۶	۵/۸۱	۲۳
ترسالی متوسط	۱۲/۸۸	۵۱	۱۵/۶۶	۶۲
ترسالی ملایم	۴۶/۲۱	۱۸۳	۵۹/۸۵	۲۳۷
خشکسالی ملایم	۴/۰۴	۱۶	۹/۰۹	۳۶
خشکسالی متوسط	۲/۷۸	۱۱	۴/۵۵	۱۸
خشکسالی شدید	۲/۰۲	۸	۲/۷۸	۱۱
خشکسالی فرین	۰/۵۱	۲	۰	۰

مقایسه SPI و RDI

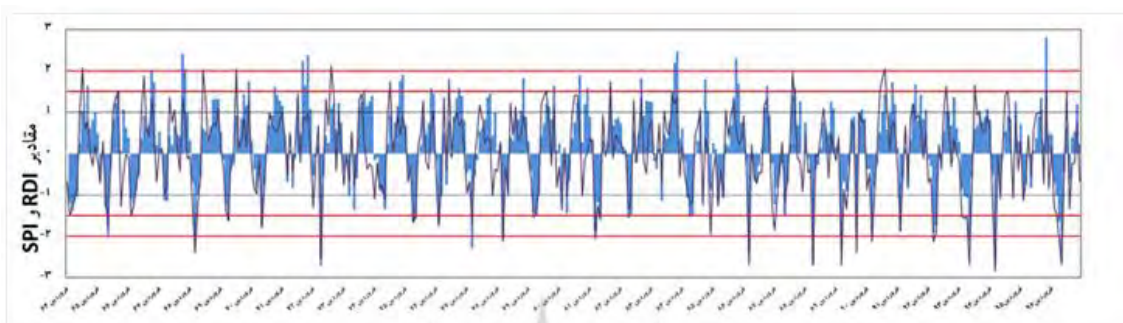
در اشکال زیرروند توالی و تواتر ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در هر دو ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از دو روش SPI خط مشکی و RDI ستون آبی رنگ آورده شده است.

از این نمودارها می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که مقادیر حاصل از دو روش SPI و RDI از دو جنبه قابل قیاسند. یکی میزان انطباق دو نمودار است، یعنی جایی که نمودارها بیشتر روهم قرار بگیرند و فاصله‌شان از هم کمتر باشد، بیشترین انطباق رخ داده است و دیگری میزان تشابه نمودارها از لحاظ روند تغییرات بدون توجه به فاصله دو نمودار از یکدیگر، به عبارت دیگر میزان موازی بودن دو نمودار است.

با توجه به این دو معیار در ایستگاه‌های مختلف و با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی آنها به این گونه است که در ماه‌هایی که در فصول گرم قرار می‌گیرند فاصله دو نمودار از یکدیگر افزایش می‌یابد به طوری که مقادیر بدست آمده توسط شاخص RDI نسبت به مقادیر به دست آمده توسط شاخص SPI خشکسالی را با شدت کمتری نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. نمودار توالی خشکسالی و ترسالی در ایستگاه رشت



شکل ۱۴. نمودار توالی خشکسالی و ترسالی در ایستگاه انزلی

نتیجه گیری

نتایج تحلیل روند تغییرات بارش دما در ایستگاه‌های مورد بررسی منطقه نشان‌دهنده این است که روند تغییرات بارش از لحاظ مکانی، تغییرات مشخصی طی دوره پیش‌بینی‌داشته است و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به پارامترهای دیگر در منطقه دشوار است. پژوهش‌های بررسی روند بارش در کشور در بیشتر موارد نشان داده است که روند تغییرات بارش از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند (مرتضایی و همکاران، ۱۳۹۹) که مطابق نتایج این پژوهش است. بنابراین، با در نظر گرفتن نتایج حاکی از یک روند افزایشی در منطقه تحت یک شیب افزایشی ثابت می‌باشد و بیشتر تحت تاثیر زمان بوده است.

به طور کلی در رابطه با شاخص پایش خشکسالی می‌توان گفت که عملکرد دو شاخص ذکر شده در ایستگاه‌های مختلف نسبت به یکدیگر متفاوت است به این ترتیب که در ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی مرطوب تر میزان انطباق دو شاخص بیشتر می‌گردد و در ماه‌های با شرایط اقلیمی گرم تر مقادیر RDI خشکی خفیف تری را نسبت به شاخص SPI نشان می‌دهد. به عبارت دیگر شاخص RDI شرایط واقعی اقلیمی منطقه را با توجه به اینکه دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در مراحل محاسباتی این شاخص دخیل‌ند بهتر نشان می‌دهد.

نمودارهای وابسته مرتبط با میانگین متحرک دبی در ایستگاه‌ها اگر چه نشان از تغییرات و ترسالی‌های متوالی دارد اما به صورت صد درصد نمی‌توان در ارتباط با بارش دانست چرا که تحت تاثیر عوامل مختلفی می‌باشد. لذا اینگونه می‌توان به نتیجه رسید که در استان گیلان با توجه به رشد جمعیت و توسعه روزافزون جامعه شهری، نیاز به مصرف آب در همه بخش‌ها را بیشتر کرده و بالا رفتن سطح رفاه عمومی، بهداشت و گسترش صنعت و... همگی از عواملی هستند که موجب افزایش مصرف آب شده است. ولی به دلیل ضعف نادرست در مدیریت این مشکل روز به روز افزایش یافته است.

بحران آب و محدودیت منابع آب در حال حاضر برای بسیاری از کشورها و در آینده ای نزدیک برای کلیه کشورهای جهان به صورت یک معضل جدی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد چرا که این محدودیت رشد و تعالی کشورها را می

تواند تحت الشعاع قرار دهد. از این رو می بایست به دنبال مدیریت آب برای دوره های خشکسالی بود، نه مدیریت آب در دوره های خشکسالی. امیدست که در برنامه ریزی آتی منابع آبی کشور عملکرد جامع و همه جانبه همچنان خالی نباشد.

سپاسگزاری

در نهایت برخورد لازم می‌دانیم از اداره مهندسی و مطالعات اداره کل منابع طبیعی آبخیزداری استان گیلان که با در اختیار گذاشتن اطلاعات منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ما را یاری نمودند کمال سپاسگزاری خود را اعلام نماییم.

منابع

- بیات؛ رضا، جعفری؛ سمیه. قرمزچشمه؛ باقر و چرخایی؛ امیرحسین (۱۳۹۵). مطالعه تأثیر ریزگردها بر تغییرات پوشش گیاهی (مطالعه موردی: تالاب شادگان، خوزستان). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و منابع طبیعی، ص ۳۲-۱۷
- جهانگیر؛ محمد حسین، بابایی؛ سحر، (۱۳۹۸). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان کرمانشاه با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، اردیبهشت ۹۸، ص ۱۹۰-۲۰۲.
- حسینی؛ سیدمجتبی، روستا؛ کوروش، زمانپور؛ اسدالله، و تیموری؛ مصطفی، (۱۳۹۱). ادراک کشاورزان نسبت به پیامدهای خشکسالی با رویکرد پدیدارشناسی ماستان خراسان جنوبی، (فصلنامه پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، شماره ۴ صفحات ۷۰-۵۹.
- رحیمی بلوچی؛ لیلا، زرع کار؛ آزاده، و ملک محمدی؛ بهرام، (۱۳۹۳). بررسی تغییرات محیطی با استفاده از سنجش‌ازدور و شاخص کیفیت آب: مطالعه موردی تالاب نیب المللی شادگان. (نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و منابع طبیعی،
- علی قلی نیا؛ توحید، رسولی مجد؛ نگار، هزارجریبی؛ ابوطالب، (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه شاخص های خشکسالی در آذربایجان غربی، علوم و مهندسی آبیاری، بهار ۹۸، شماره ۱، ۱۷۵-۱۷۸.
- علیزده؛ امین. (۱۳۸۷). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- فیروز؛ فاطمه، طاووسی؛ تقی، محمودی؛ پیمان، (۱۳۹۷). بررسی خشکسالی ها و ترسالی ها در مناطق خشک و نیمه خشک، مطالعه موردی: دشت سیستان. نشریه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. شماره ۱۱۰، تابستان ۹۸، صفحات ۱۷۹-۱۶۳.
- قایناتی؛ شبنم، فضالوی؛ رامین، مسعودیان؛ محسن، نادی؛ مهدی، (۱۳۹۸). استفاده از دو شاخص SPImod و SDImod به منظور بررسی تطبیقی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن. نشریه علمی-پژوهشی آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۳، شماره ۳ صفحات ۶۲۶-۶۱۳.
- مرتضایی؛ قاسم، لطفی مغانجوقی؛ جعفر، خلیقی سیگارودی؛ شهرام، محسنی ساروی؛ محسن، (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی شاخص های خشکسالی هیدرولوژیکی استان کردستان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۱۲.
- Abhishek, A. , P. Channaveerappa and B. M. Dodamani. 2016. Comparison of two hydrological drought indices. Perspectives in Science, 8(2016): 626-628.
- Van Loon, A. F. and G. Laaha. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526: 3-14. Ashoori A ,
- Ashutosh Sharma, Manish Kumar Goyal. 2020. Assessment of the changes in precipitation and temperature in Teesta River. Atmospheric Research 231 (2020) 104670.
- Ashutosh Sharma, Manish Kumar Goyal. 2020. Assessment of the changes in precipitation and temperature in Teesta River. Atmospheric Research 231 (2020) 104670.
- Cao. C. X, Zhao. J, Gong. P, Ma. G. R, Bao. D. M, Tian. K, Tian. R, Niu. Z. G, Zhang. H, Xu. M, Gao. S, Zheng. S, Chen. W, He. Q. S and Li. X. W, 2012, Wetland changes and droughts in southwestern China, Natural Hazards and Risk, Vol. 3, No. 1, PP: 79-95.
- IPCC, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. [Houghton, J. T. , G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.
- IPCC, 1994: IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. Prepared by Working Group II [Carter, T. R. , M. L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka (eds.)]

- and WMO/UNEP. CGER-IO15-'94. University College -London, UK and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, 59 pp.
- IPCC, 2001a: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T. , Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 881 pp.
- Jung, II. W. and Chang, H. (2010). Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Hydrological processes*. 25: 258-277.
- Kazemi A, Jafari H, Torabian A, Matkan A (2015) Estimating eutrophication of inland waters using field spectrometry data (Case study: Anzali wetland). *Environmental Science Journal* 12(2):87-98 (In Persian).
- Kingston, D. G. , Thompson, J. R. and Kite, G. (2010). Uncertainty in climate change projections of discharge for the Mekong River Basin. *Hydrol. Earth. Syst. Sci. Discuss.* , 7, 5991-6024.
- Khosravi, H. , E. Haidari, Gh. Zehtabian and J. Bazrafshan. 2016. Analysis of spatial and temporal trends of Groundwater Resource Index (GRI), case study: Ardakan Yazd. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(4): 21-32 (in Persian).
- Lei. Y and Duan. A, 2011, Prolonged dry episodes and drought over China, *International journal of climatology*, 31: 1831-1840, DOI: 10. 1002/joc. 2197.
- Muhammad Jehanzaib, Tae-Woong Kim. 2020. Exploring the influence of climate change-induced drought propagation on wetlands. *Ecological Engineering*. 149 (2020) 105799.
- Racsko, P. , Szeidl, L. and Semenov, M. A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling* 57: 27-41.
- Vahid Nourani, Nazak Rouzegari, Amir Molajou, Aida Hosseini Baghanam. 2020. An integrated simulation-optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 587 (2020) 125018.
- Wheeler D. (2011). Quantifying vulnerability to climate change: Implications for Adaptation Assistance. *CGD Working paper 240*. Washington, D. C. Center for Global Development.
- Yoshikawa S, Pokhrel Y, Kanae S. 2018. A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1): 789-817.

How to Cite:

Asadi., K, Rezaei., P & Ramzanigorabi, B. (2022). Analyzing the drought and its consequences on the water zone of Anzali Lagoon. *Geographical Engineering of Territory*, 6(3), 247-259.

ارجاع به این مقاله:

اسدی، کیوان، رضایی، پرویز و رمضان‌گورابی، بهمن. (۱۴۰۱). واکاوی خشکسالی و پیامدهای آن بر پهنه آبی تالاب انزلی. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۶(۳)، ۵۸۵-۵۹۸.