



بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وقوع خشکسالی در حوزه رودخانه اعظم هرات در استان یزد

الهه گودرزی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد Elahe.goodarzi@gmail.com

محمد تقی دستورانی

دانشیار- عضو هیأت علمی دانشگاه یزد mdastorani@vazduni.ac.ir

علیرضا مساح بوانی

استادیار- عضو هیأت علمی دانشگاه تهران armassah@ut.ac.ir

چکیده

پیامدهای ناشی از پدیده تغییر اقلیم بویژه در اثر افزایش گازهای گلخانه ای طی سالهای اخیر مشکلات بسیاری را به همراه داشته که بخش های مختلف کشور را تحت تأثیر قرار داده است. یکی از مهمترین این پیامدها افزایش وقوع بلایای جوی - اقلیمی نظیر سیل، خشکسالی، توفان و گرد و غبار و... است. این تحقیق با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وقوع خشکسالی در دوره های آتی در یکی از مناطق یزد واقع در جنوب غربی این استان تحت مدل گردش عمومی جو و سناریوی انتشار A2 می پردازد. به این منظور از روش ریز مقیاس نمایی آماری (مدل LARS-WG) جهت ریزگردانی داده های مدل CGCM3-AR4 بهره گرفته شد. همچنین از شاخص های خشکسالی SPI و RDI جهت تعیین مقادیر خشکسالی در دوره حال و آینده استفاده شده است. نتایج نشان از تغییرات کمتر شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در دوره های آتی داد. همچنین نشان از تأثیر بالقوه نوسانات اقلیمی در وضعیت خشکسالی در دوره های آتی در منطقه مطالعاتی داد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی، *SPI&RDI*، *LARS-WG*، *CGCM3-AR4*

۱- مقدمه

آب و هوا یکی از مهمترین ارکان بنیادین زندگی بشر محسوب می شود که با پیشرفت و توسعه در جهان حفاظت از آن روز به روز اهمیت بیشتری یافته است. تغییر آب و هوا یکی از پیچیده ترین مشکلاتی است که بشر در حال حاضر و آینده با آن مواجه خواهد بود. تاکنون محققین بسیاری کوشیده اند تا در تحلیل های خود به تبیین دقیق تغییرات اقلیم در حوزه های مختلف بپردازند. در سالهای اخیر وقوع خشکسالی سبب ایجاد چالش های بسیاری در بخش های مختلف، بویژه منابع آب و کشاورزی شده است. با توجه به این نکته که آب یکی از منابعی است که در معرض خطرات ناشی از تغییر اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سالهای آینده می تواند راهگشای معضلاتی چون خشکسالی، سیلابهای ناگهانی و غیره باشد. در حال حاضر اغلب تحقیقات صورت گرفته در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر وقایع متوسط مانند رواناب می باشد که در بررسی آنها از خروجی مدل های گردش عمومی جو

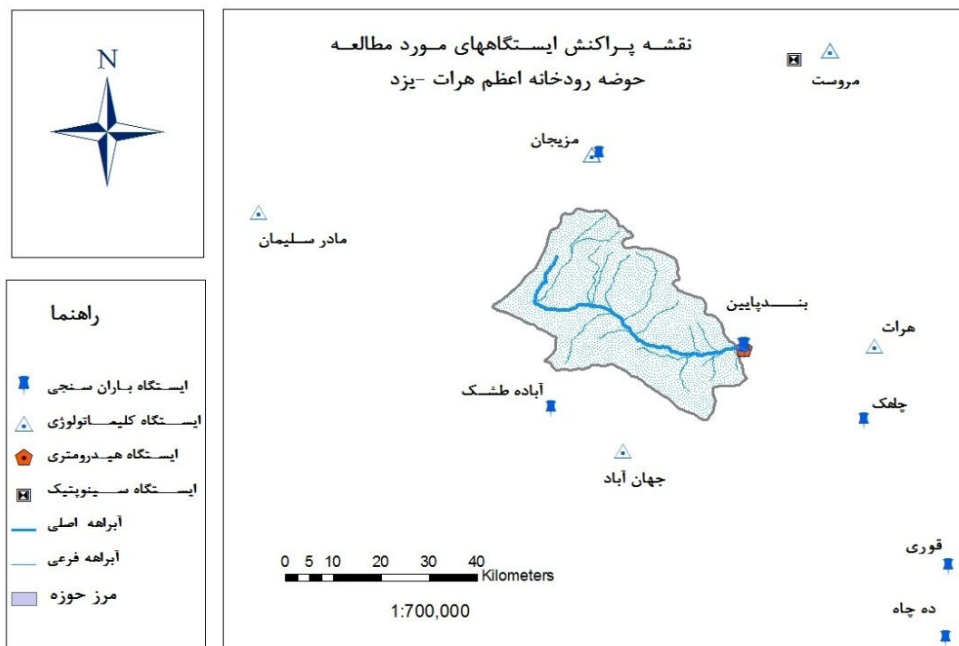


(AOGCM) استفاده شده است (Leander, ۲۰۰۷)، (Robera و همکاران ۲۰۰۵)، (Booji, ۲۰۰۵)، (Jiang, ۲۰۰۷)، (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۸). تا به حال تحقیقات اندکی در زمینه تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر وقایع حدی بخصوص خشکسالی در سطح دنیا انجام گرفته است (Zalud, ۲۰۰۵)، (Dubrovesky و همکاران ۲۰۰۷). دلیل این امر عدم اعتبار خروجی های مدل های گردش عمومی جو در مقیاس روزانه و از طرف دیگر دشواری کوچک مقیاس سازی خروجی این مدل ها برای وقایع حدی می باشد. بالتبع در صورت استفاده از روش مناسب ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش عمومی جو، این مدلها ابزارهای معتبری جهت پیش بینی وقایع حدی می باشند. اگرچه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی تحت یک مدل گردش عمومی جو می تواند نتایج قابل قبولی را منعکس کند ولی وجود نوسانات اقلیمی در دوره های آتی می تواند محدوده نتایج را تغییر دهد. بنابراین می بایست در مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر وقایع حدی نقش نوسانات اقلیمی را نیز در نظر گرفت (گل محمدی و مساح بوانی ۱۳۸۹). تحقیق حاضر بر روی حوزه رودخانه اعظم واقع در جنوب غربی استان یزد انجام گرفته است. به منظور مقایسه بین دو وضعیت متفاوت یعنی در نظر گرفتن نوسانات اقلیمی خروجی مدل گردش عمومی جو در دوره های آتی و چشم پوشی از این نوسانات از دو روش ریزمقیاس نمایی تناسبی و آماری (مدل LARS-WG) استفاده گردید. همچنین جهت برآورد مقادیر خشکسالی در دوره های زمانی از شاخص خشکسالی RDI و شاخص بارش استاندارد SPI بهره گرفته شد. سپس با توجه به نوسانات اقلیمی مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی انتشار A2 به بررسی وضعیت خشکسالی منطقه مورد مطالعه در دوره آینده نسبت به دوره پایه پرداخته شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوزه رودخانه اعظم یکی از زیر حوزه های حوزه آبخیز هرات و مروست واقع در جنوب غربی استان یزد می باشد. وسعت آن حدود ۱۰۱۷ کیلومترمربع بوده و دارای ارتفاع متوسط حدود ۲۳۰۰ متر و متوسط بارندگی سالانه ۲۹۱ میلیمتر می باشد. برای این تحقیق پس از بررسی همگنی و صحت سنجی داده ها از آمار بارش ۶ ایستگاه باران سنجی و ۳ ایستگاه کلیماتولوژی و آمار دمای ۵ ایستگاه کلیماتولوژی و یک ایستگاه سینوپتیک در اطراف حوزه جهت ایجاد گرادیان های ارتفاع-بارش و ارتفاع-دما استفاده گردید. در نهایت با انتقال این داده ها به مرکز ثقل حوزه از طریق نسبت رقوم هر ایستگاه به متوسط حوزه مورد مطالعه، داده های روزانه متغیرهای بارش و دما برای حوزه موردنظر محاسبه گردید. نام و موقعیت ایستگاههای مستقر در اطراف حوزه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند در شکل ۱ نشان داده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه پراکنش ایستگاههای مستقر در اطراف حوزه رودخانه اعظم هرات - یزد

۲-۲- مدل اقلیمی و ریزمقیاس نمایی خروجی حاصل از آن

مدل اقلیمی استفاده شده در این تحقیق CGCM3-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 می باشد. در این تحقیق جهت ریز مقیاس نمایی داده های خروجی این مدل از روش تناسبی و روش آماری (مدل LARS-WG) استفاده گردید. روش تناسبی بطور معمول از نسبت های ماهانه برای سری های تاریخی بدست می آید. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می شود. سپس برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم مقادیر اختلاف برای دما و نسبت برای بارندگی برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و دوره شبیه سازی شده پایه (۲۰۰۸-۱۹۸۲) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می گردد. در سناریوی ناشی از روش تناسبی، داده های روزانه در دوره آتی همان داده های مشاهداتی ولی تنها با یک گام افزایش نسبت به آنها هستند.

مدل LARS-WG برای تولید بارش روزانه، تابش، ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده بکار می رود. در این مدل همچنین توزیع های نیمه تجربی برای مدلسازی طول دوره های تر و خشک، بارش روزانه و سری های تابش بکار می رود. این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده است؛ کالیبره کردن مدل، ارزیابی مدل، ایجاد داده های هواشناسی. ابتدا توانمندی این مدل با استفاده از داده های روزانه مشاهداتی حوزه (۱۹۸۲-۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفته و سپس ارزیابی مدل از طریق مقایسه پارامترهای آماری داده های مشاهداتی و داده های مصنوعی تولید شده توسط مدل انجام می گیرد. یکی از نیازهای اساسی مدل، ایجاد سناریو اقلیمی از خروجی مدل های GCM می باشد. لذا برای اجرای مدل LARS-WG و ریز مقیاس نمایی داده های GCM نیاز به ایجاد دو فایل اساسی مشخص کننده رفتار اقلیم در گذشته (WG) و سناریوی تغییر اقلیم (بنام Sce) وجود دارد. فایل اول از



داده های روزانه حوزه بدست می آید و فایل دوم از خروجی داده های GCM در گذشته و آینده . در این تحقیق یک فایل سناریو تغییر اقلیم جهت مدل LARS-WG تحت خروجی مدل CGCM3 در گذشته و آینده تهیه گردید و تغییرات اقلیم در دوره آتی برای حوزه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات نشان داده شده در سناریو تغییر اقلیم ناشی از تأثیر افزایش گازهای گلخانه ای تحت مدل CGCM3 در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره مشاهداتی(۲۰۰۸-۱۹۸۲) می باشد. در این سناریو تغییرات میانگین بارش ماهانه و تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در دوره آتی نسبت به مشاهداتی و همچنین تغییرات طول دوره های خشک و تر و همچنین نسبت انحراف معیار داده های دمای روزانه در دوره آتی به دوره مشاهداتی در نظر گرفته می شود.

شاخص بارش استاندارد (Standardized Percipitation Index) SPI

شاخص SPI توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۵) جهت پایش خشکسالی در منطقه کلرادو امریکا ارائه شد. این شاخص بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد و برای مقیاس های زمانی مختلف می تواند محاسبه شود و هشدار اولیه ای جهت خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. شاخص SPI از فرمول (۱) بدست می آید:

$$SPI = \left(\frac{P_i - \bar{P}}{SD} \right) \quad (1)$$

P_i : بارش در یک سال معین \bar{P} : میانگین بارش دوره معین

جدول ۱ طبقه بندی وضعیت خشکسالی براساس مقدار شاخص استاندارد را نشان می دهد.

جدول ۱: طبقه بندی وضعیت خشکسالی براساس شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

طبقه	مقادیر SPI
ترسالی خیلی شدید	>۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
ترسالی خفیف	۰/۵ تا ۰/۹۹
نرمال	-۰/۴۹ تا ۰/۴۹
خشکسالی خفیف	-۰/۹۹ تا -۰/۵
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی خیلی شدید	<-۲

شاخص خشکسالی احیایی (Reclamation Drought Index) RDI

شاخص خشکسالی احیایی RDI در سال (۱۹۹۶) توسط Weyhorst ارائه شد. این شاخص از دو پارامتر اقلیمی بارندگی و تبخیر و تعرق بطور همزمان استفاده می کند. برای محاسبه شاخص خشکسالی RDI، تبخیر و تعرق



پتانسیل به روش تورنوایت محاسبه شد. برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI ابتدا باید با استفاده از فرمول (۲) که برای هر ماه از دوره آماری مورد مطالعه محاسبه می شود. a_0 برای i امین سال در دوره آماری مورد مطالعه محاسبه می شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, i = N, j = 12 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در فرمول فوق P_{ij} و PET_{ij} بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل i امین ماه i امین سال هستند و N کل تعداد سال هایی است که آمار آن در دسترس است. تبخیر - تعرق بصورت سالانه محاسبه شده و در فرمول فوق جاگذاری شده است. عامل دوم شاخص RDI نرمالیزه شده نامیده می شود که با استفاده از معادله (۳) برای هر سال از دوره آماری مورد مطالعه محاسبه می شود:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{a} - 1 \quad \text{(۳)}$$

در معادله فوق a میانگین حسابی مقادیر محاسبه شده برای هر کدام از سال های مورد مطالعه است. نهایتاً براساس معادله (۴) شاخص استاندارد شده RDI محاسبه می شود:

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \left(\frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\delta}_{y_k}} \right) \quad \text{(۴)}$$

در این معادله $y_k^{(i)} = \ln(a_0^{(i)})$ است و \bar{y}_k میانگین حسابی آن و $\hat{\delta}_{y_k}$ انحراف معیار استاندارد آن است. جدول ۲ طبقه بندی وضعیت خشکسالی را براساس مقادیر RDI نشان می دهد.
 جدول ۲: طبقه بندی وضعیت خشکسالی براساس شاخص خشکسالی احیایی (RDI)

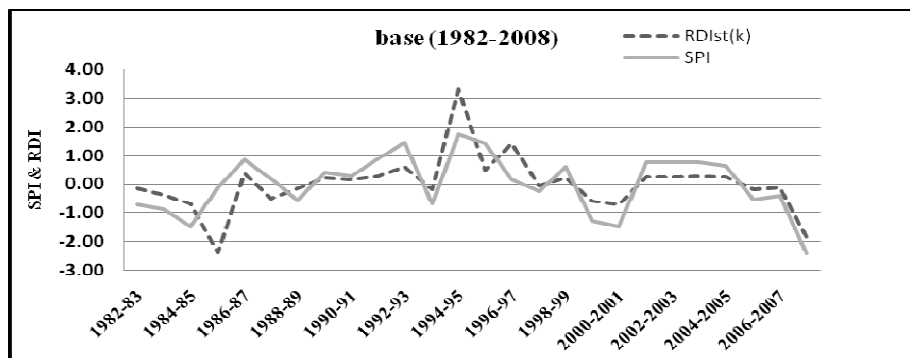
مقادیر RDI	طبقه
+۲	رطوبت شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نزدیک نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
-۲ و کمتر	خشکی شدید



۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تغییرات مقادیر SPI و RDI در دوره پایه ۲۰۰۸-۱۹۸۲

با توجه به شکل ۲ دو شاخص RDI و SPI در حوزه مورد مطالعه در دوره پایه ۲۰۰۸-۱۹۸۲ تغییرات تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. مقادیر SPI از ابتدا دوره های ترسالی و خشکسالی خفیف تا متوسط را پشت سر گذاشته تا اینکه در سال آبی ۱۹۹۴-۱۹۹۵ یک ترسالی شدید به وقوع پیوسته است. پس از یک دوره ۵ ساله نرمال و ترسالی، یک دوره خشکسالی متوسط در سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ محسوس می‌باشد. مقادیر SPI از سال ۲۰۰۲ به مدت ۶ سال نوسانات زیادی را نشان نداده و حالت نرمال را داشته است تا اینکه در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ حالت نرمال را به یک خشکسالی خیلی شدید تبدیل کرده است. نمودار RDI در دهه اول مقادیر نرمال را نشان می‌دهد بجز در سال ۱۹۸۶-۱۹۸۵ که یک خشکی شدید اتفاق افتاده است. تقریباً ده سال بعد از این واقعه در سال ۱۹۹۵-۱۹۹۴ یک ترسالی شدید به وقوع می‌پیوندد. روند نرمال در سالهای بعد حاکم می‌باشد تا اینکه در سال پایانی یک خشکی متوسط تحت این نمودار مشاهده می‌شود (شکل ۲).



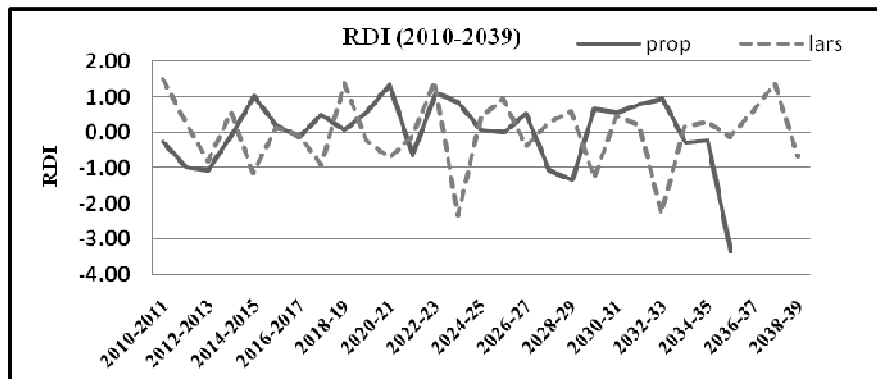
شکل ۲: روند تغییرات SPI و RDI در دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۸۲)

۳-۲- تغییرات RDI در دوره ۲۰۲۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی انتشار A2 و روش های ریز مقیاس نمایی تناسبی و آماری

شکل ۳ مقادیر RDI سالانه برآورد شده منطقه مورد مطالعه را در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی انتشار A2 نشان می‌دهد. براساس این شکل مقادیر RDI تحت هر دو روش ریزمقیاس نمایی تناسبی و آماری نوسانات زیادی را نشان می‌دهد. در نمودار RDI تحت روش تناسبی مقادیر نرمال در اکثر مقاطع زمانی دوره های آتی حکمفرما می‌باشد تا اینکه در سال ۲۰۳۶-۲۰۳۵ یک خشکسالی شدید پیش بینی شده است. البته در طول دوره تحت این روش ترسالی هایی در برخی از سالها نشان داده شده است. در نمودار RDI تحت روش آماری نیز نوسانات خشکسالی و ترسالی در دوره های آتی مشاهده خواهد شد. براساس این شکل شرایط ترسالی، خشکسالی و نرمال در دوره آماری به تناوب رخ خواهد داد. در دهه اول دوره های ترسالی، خشکسالی و نرمال به وقوع خواهد



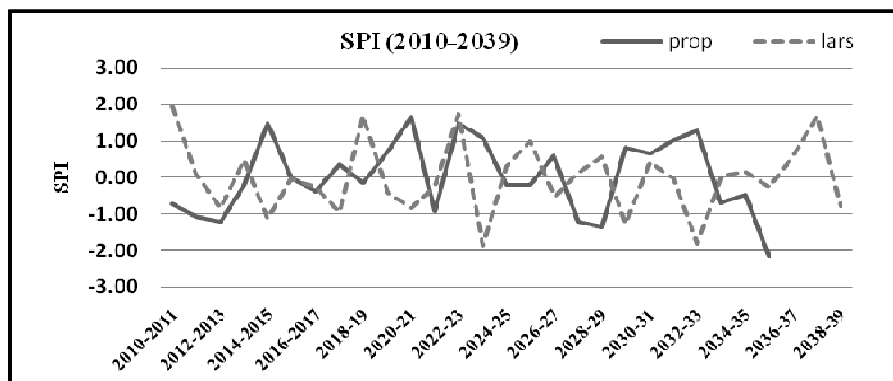
پیوست. در دهه دوم در سال ۲۰۲۴-۲۰۲۳ یک خشکی خیلی شدید پیش بینی شده است. پس از یک دوره ۸ ساله نرمال یک خشکی خیلی شدید دیگر در سال ۲۰۳۳-۲۰۳۲ حاکم خواهد بود. سپس تا انتهای دوره تغییرات شاخص بین حالت نرمال و نسبتا مرطوب متغیر خواهد بود (شکل ۳).



شکل ۳: روند تغییرات شاخص RDI در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی انتشار A2 و دو روش ریزمقیاس نمایی (روش تناسبی = prop، روش آماری = lars-wg)

۳-۳- تغییرات SPI در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی انتشار A2 و روش های ریزمقیاس نمایی و آماری

شکل ۴ مقادیر SPI سالانه برآورد شده منطقه مورد مطالعه را در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی انتشار A2 نشان می دهد. براساس این شکل مقادیر SPI تحت هر دو روش ریزمقیاس نمایی تناسبی و آماری نوسانات زیادی را نشان می دهد. در نمودار SPI تحت روش تناسبی دوره های متفاوت ترسالی، خشکسالی و نرمال مشاهده شده است. در ابتدای دوره پس از یک خشکی شدید و گذشت یک دوره ۶ ساله نرمال دوره های خشک و تر به تناوب رخ خواهد داد تا اینکه در سال ۲۰۳۸-۲۰۳۹ یک خشکی خیلی شدید تحت خروجی های این روش به وقوع خواهد پیوست. براساس این شکل در روش آماری، در ابتدای دوره آماری یک ترسالی شدید اتفاق افتاده که پس از گذشت یک دوره ۱۰ ساله خشک و تر خفیف و متوسط و نرمال در سال ۲۰۲۳-۲۰۲۲ دوباره تکرار خواهد شد. دو دوره یکساله خشکی شدید نیز به فاصله ۸ سال از یکدیگر به وقوع خواهد پیوست (شکل ۴).



شکل ۴: روند تغییرات شاخص SPI در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی انتشار A2 و دو روش ریزمقیاس نمایی (روش تناسبی = prop، روش آماری = lars-wg)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق وضعیت خشکسالی حوزه رودخانه اعظم واقع در جنوب غربی استان یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت تأثیر تغییر اقلیم و با استفاده از دو شاخص RDI و SPI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، ایجاد تغییرات در نوسانات دوره های خشک و تر منطقه در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی را تحت هر دو روش ریزمقیاس نمایی نشان داد. البته رفتار هر یک از شاخص ها تحت سناریو های مختلف تغییر اقلیم متفاوت بوده است. بطوری که شاخص RDI نوسان کمتری را برای وضعیت خشکسالی منطقه نسبت به شاخص SPI تحت سناریو های مختلف تغییر اقلیم نشان داد. همانطور که از مشاهده نمودارها و تغییرات شاخص ها در دوره های آتی بر می آید، وجود نوسانات اقلیمی در دوره های آتی می تواند نتایج تحقیق را تغییر دهد. گرچه محاسبات لازم برای ریزمقیاس نمایی تناسبی به سهولت قابل انجام است ولی بدلیل آن که در این روش مقادیر نوسانات مربوط به متغیرهای اقلیمی در دوره های آتی همسان با دوره پایه در نظر گرفته می شود، لذا مقادیر خشکسالی محاسبه شده توسط شاخص ها تحت این روش نمی تواند معرف واقعی وضعیت خشکسالی در دوره آتی منطقه مطالعاتی باشد. این در حالیست که در روش آماری این نوسانات بخوبی مدل می شود. همچنین باید نوسانات کوتاه مدت متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر افزایش گازهای گلخانه ای در دوره های آتی را مدنظر قرار داد. بطور کلی با توجه به نتایج بدست آمده از روش آماری تحت مدل LARS-WG، در نظر گرفتن تغییرات توأم نوسانات متغیرهای اقلیمی و مقادیر متوسط آنها درپیش بینی وضعیت خشکسالی در دوره های آتی نتایج متفاوتی را نسبت به عدم در نظر گرفتن این نوسانات ارائه خواهد داد.

فهرست منابع

۱. صمدی، ز و مساح بوانی، ع. ۱۳۸۸. انتخاب پیش بینی کننده به منظور کوچک مقیاس کردن آماری داده های دما و بارندگی در حوزه آبریز کرخه. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، گرگان.



۲. گل محمدی، م و مساح بوانی، ع.ر. ۱۳۸۹. استفاده از شاخص SPI در پایش خشکسالی حوضه قره سو تحت تأثیر تغییر اقلیم. چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. اداره کل هواشناسی کشور، پژوهشگاه وزارت نیرو.
3. Booij, M.J. 2005. "Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions". *Journal of hydrology* 303.
 4. Dubrovsky M., Svoboda M., Trnka M., Hayes M., Wilhite D. and Zalud Z., 2007. Multi-GCM Projections of Global Conditions With Use of the Palmer Drought Indices, American Geophysical Union Annual Meetings, San Francisco, CA. December.
 5. Leander R, Buishand TA, 2007. Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *Journal of Hydrology*.
 6. Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1995. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8 Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, PP.170-184.
 7. Rohera, N., Hardenberg, J.V., Provenzale, A., 2005. Rainfall downscaling and flood forecasting: a case study in the Mediterranean area. *journal of natural hazards and earth system sciences*. 6:611-619.
 8. Zalud Z., Trnka M., Dubrovsky M., Svoboda M., Hayes M., Mozny M., Semeradova D. and Hlavinka P., 2005. Methodology for assessment of drought episodes under present and expected climate conditions, In: "Bioklimatologie současnosti a budoucnosti", 12-14.9.2005, Krtiny, Czech Republic.