

پیش بینی خشکسالی تحت تاثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده به کمک مدل‌های چرخش عمومی (مطالعه موردی ایستگاه یزد)

محمد تقی دستورانی عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
سمانه پورمحمدی* کارشناس ارشد پژوهشی مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

علیرضا مساح بوانی عضو هیئت علمی پردیس ابوریحان

محمد حسن رحیمیان کارشناس مرکز ملی تحقیقات شوری

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۳۵۱۸۲۵۰۵۵۱، شماره: ۰۳۵۱۸۲۵۱۴۰۳، پست الکترونیکی:

s.poormohammadi@yahoo.com

چکیده

پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از مباحثی است که امروزه بیش از پیش بر تمامی ابعاد زندگی بشر تاثیر گذار بوده است. خشکسالی‌های پی در پی، سیلاب‌های بزرگ و پدیده‌های طوفانهای دریایی که امروزه گریبانگیر زندگی انسان شده است همه در سایه تغییرات تدریجی اقلیم در جهان می باشد. کشور ایران با قرار گرفتن در کمربند خشکی جهان از جمله کشورهایی است که منابع آب، کشاورزی و منابع طبیعی آن به تدریج رو به زوال و نابودی می باشد که این مسئله به دلایل مختلف از جمله تغییر اقلیم طبیعی و پیشرفت تکنولوژی می باشد. پدیده خشکسالی از جمله مشکلات روز کشور می باشد که منابع آب و کشاورزی ما را با خطر مواجه کرده است. هدف از تحقیق حاضر پیش بینی خشکسالی در دو دهه آینده به کمک خروجی مدل‌های چرخش عمومی جومی باشد. در این تحقیق مدل HadCM3 جهت پیش بینی خشکسالی در ایستگاه یزد انتخاب شد و جهت تعیین خشکسالی‌ها از دو سناریو A2 و B2 استفاده شد تا شاخص خشکسالی RDI و SPI را تا سال ۲۰۳۹ برآورد نماید. با توجه به نتایج تحقیق حاضر یعنی مقادیر پیش بینی شده خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها می توان جهت حفظ و برداشت بهینه منابع آب و امور کشاورزی برنامه ریزی‌های لازم را نمود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مدل چرخش عمومی، خشکسالی، ایستگاه یزد

۱- مقدمه

بنا به گفته اکثر محققان تغییر اقلیم تاثیرات زیادی بر چرخه هیدرولوژیکی آب در دهه‌های آتی خواهد گذاشت (۱ و ۲). این پدیده همچنین تاثیرات معنی داری بر فراهمی آب یا میزان در دسترس بودن آن، کیفیت و کمیت آن خواهد داشت. نکته حائز اهمیت در این زمینه این است که از میان پارامترهای مختلف اقلیمی نقش بارندگی (P) و تبخیر و تعرق (ET)

مشهودتر از سایر پارامترها بوده و این دو سهم زیادی را در چنین تغییراتی ایفا می کنند (۳). برخی محققان ادعان داشته اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع چشمگیر چرخه آب کمک نموده که خود منشاء بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (۵و۴). اما این بدان مفهوم نیست که افزایش بارشها الزاماً به پایداری منابع آب در یک منطقه خواهد انجامید، بلکه این افزایشها همراه با طولانی شدن دوره بازگشت و افزایش شدت و حجم بارشها در هر رخداد خواهد بود. در چنین شرایطی وقوع خشکسالیهای شدید و یا ترسالیها و سیلابهای مرگ آسا دور از انتظار نخواهد بود (۶). با این توضیحات می توان گفت که مطالعه پدیده خشکسالی و تاثیرات تغییر اقلیم بر آن در گرو مطالعه و کنکاش بر روی دو پارامتر اساسی بارندگی و تبخیر و تعرق در دوره های گذشته و آتی است. از طرفی دیگر نیز نمی توان نقش شاخصهای متنوع و متعدد خشکسالی^۱ را در چنین مطالعاتی نادیده گرفت. لذا در تحقیق حاضر سعی شده تا تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر آن دسته از شاخصهای خشکسالی که نقش تبخیر و تعرق و بارش در آنها بارزتر است بررسی گردد. شاخصهای RDI و SPI از آن دسته اند. شاخص خشکسالی RDI که در سال ۲۰۰۴ توسط سکریس و ارائه شده (۷) در ایران و جهان سابقه طولانی ندارد. این شاخص در تبریز برای سالهای ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۵ محاسبه شده است و نتیجه آن نشان می دهد که پارامتر اقلیمی دما با شاخص RDI هم خوانی دارد به طوری که دما در ایستگاه تبریز رو به افزایش بوده و شاخص RDI آن رو به منفی شدن می باشد (۹). در تحقیقی که توسط سکریس و همکاران (۸) انجام شد نشان داده شد که شاخص خشکسالی RDI می تواند بهتر از شاخص خشکسالی SPI رابطه اقلیم با خشکسالی را نشان دهد. در تحقیق دیگری که توسط پورمحمدی و همکارانش (۱۰) صورت گرفته است شاخص خشکسالی RDI برای شهر یزد (طی ۵۰ سال) و به طور مشابه برای شهرستان زابل (طی ۴۰ سال آماری) برآورد و تجزیه و تحلیل شده است. طی این تحقیقات مشخص گردیده است که شاخص خشکسالی RDI با شاخص خشکسالی SPI بیش از ۹۰٪ همبستگی دارند. در تحقیقی که توسط آذرانفر (۱۳۸۷) در حوضه زاینده رود انجام گرفته است، تغییرات بارش و دما در حوزه آبریز زاینده رود با استفاده از کوچک مقیاس کردن به روش آماری مورد بررسی قرار گرفته که در نتیجه انتظار افزایش دما بین ۲ تا ۵ درجه در دوره های آینده و همچنین افزایش بارش در ماههای دسامبر و ژانویه، وجود دارد. در تحقیقی که توسط دانش کار آراسته (۱۱) انجام گرفت با استفاده از تعداد زیادی تصویر همزمان بارش و دمای ماهانه در سطح ایران به بررسی مکانی و زمانی تغییر اقلیم در کشور پرداخته شد. تحقیق انجام شده تاثیرات ایجاد شده در منابع آب کشور در اثر تغییرات اقلیم را نشان می دهد. در تحقیقی که توسط خوشحال دستجردی و همکاران (۱۲) صورت گرفت با استفاده از مدل گودار به بررسی تغییر اقلیم شهر تبریز پرداخته شد و با توجه به مدل های آمبروتیک و هایتروگراف تغییر اقلیم تبریز با توجه به شرایط دو برابر شدن گاز CO₂ به صورت کاهش مدت و شدت دوره سرد و کاهش روزهای یخبندان و افزایش دما خود را نشان می دهد. در تحقیق دیگری که توسط عباسی و نوخندان (۱۳۸۷) در مورد تغییر اقلیم مناطق شمالشرقی کشور با استفاده از مدل MAGICC و scenngen انجام گرفت و از داده های خروجی مدل HADCM2 استفاده شد نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ بارش از ۲/۵ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. در مطالعه ای که در غرب کشور توسط نوریان (۱۳) در

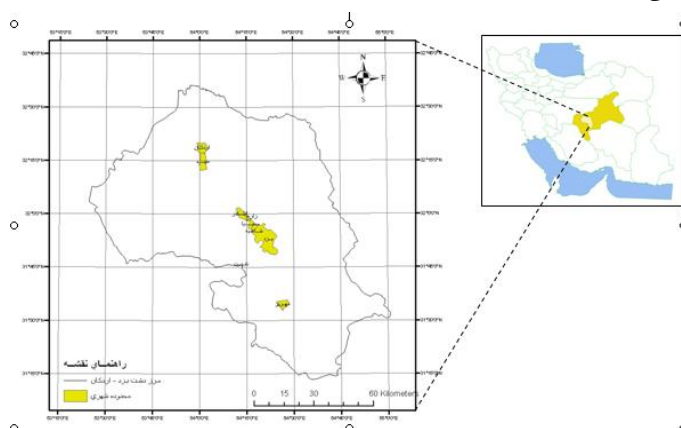
^۱ - Drought indices

^۲ - Tsakiris

مورد تغییر اقلیم و با استفاده از داده های سینوپتیکی سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ انجام گرفت این نتیجه حاصل شد که دما در حال افزایش و بارندگی در حال کاهش می باشد. در تحقیق دیگری که توسط بابائیان (۱۴) در مورد تغییر اقلیم در ایران انجام گرفت از مدل PRECIS در دوره اقلیمی ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ و با استفاده از داده های پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و تحت دو سناریوی A2 و B2 به این نتیجه رسیدند که دما بویژه در مرکز و شمال غربی کشور بین ۵ تا ۶ درجه افزایش خواهد یافت و بارندگی در زاگرس غربی و سواحل جنوب شرقی خزر بین ۴۵ تا ۶۰ میلی متر کاهش خواهد یافت.

۲- مواد و روشها منطقه مطالعاتی

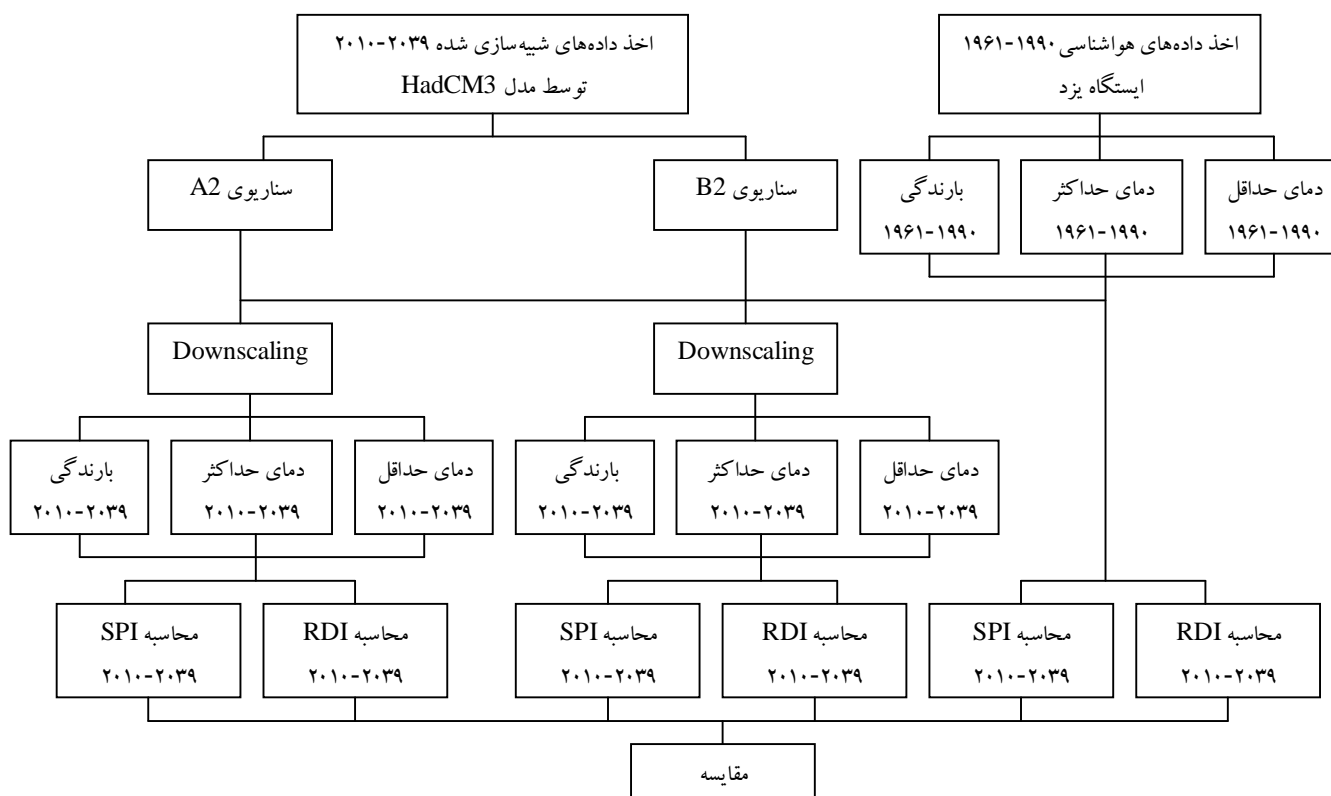
منطقه مطالعاتی این تحقیق ایستگاه سینوپتیک یزد واقع در دشت یزد - اردکان در استان یزد می باشد. این ایستگاه در طول جغرافیایی ۳۸ ۲۰ ۵۴ شرقی و عرض ۱۶ ۵۳ ۳۱ شمالی واقع شده است. در شکل شماره ۱ موقعیت شهر یزد نسبت به دشت یزد - اردکان و استان یزد مشاهده می گردد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی (ایستگاه یزد) واقع در دشت یزد - اردکان در استان یزد

روش تحقیق

پس از بررسی و مروری بر منابع موجود در زمینه خشکسالی و تغییر اقلیم، به جمع آوری داده های اقلیمی مورد نیاز پرداخته شد. به این منظور از داده های ایستگاه سینوپتیک یزد به صورت روزانه و ماهانه استفاده شد. بر این اساس داده های روزانه دما و بارش ایستگاه یزد بین سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ تهیه شد تا در نهایت با داده های خروجی از مدل های گردش عمومی جو (و مشخصاً مدل HadCM3) مقایسه گردد. علت استفاده از این مدل در تحقیق حاضر عملکرد بهتر HadCM3 نسبت به مدل های دیگر GCM در ایران است (مساح بوانی، ۱۳۸۵). سپس با استفاده از داده های ماهانه ایستگاه سینوپتیک یزد و به کمک دو شاخص RDI و SPI سالهای خشک و تر و شدت، مدت و آغاز خشکسالیها مشخص گردید. نمودار شماره ۲ نشان دهنده مراحل مختلف انجام این تحقیق است.



شکل ۲- مراحل مختلف انجام تحقیق

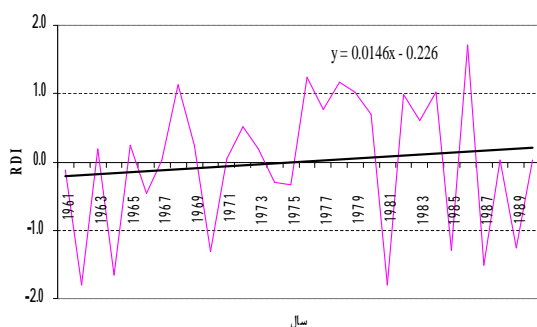
بنابراین سه مجموعه متفاوت از داده‌های اقلیمی در این تحقیق مورد استفاده قرار خواهند گرفت: ۱- داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک یزد به عنوان داده‌های مشاهداتی این تحقیق (از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰) ۲- داده‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 که به دو دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (گذشته) و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (آینده) تفکیک می‌شوند. ۳- داده‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 که به دو دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (گذشته) و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (آینده) تفکیک می‌شوند. هر یک از این سه مجموعه مشتمل بر سه پارامتر دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی می‌باشند که همگی به صورت روزانه خواهند بود. این پارامترها جهت محاسبه شاخصهای خشکسالی (SPI و RDI) ضروری هستند. در نهایت با در اختیار داشتن این سه مجموعه، امکان محاسبه سه مجموعه متفاوت از شاخصهای RDI و SPI (مربوط به دوره‌های گذشته و آینده) و مقایسه آنها با یکدیگر بوجود خواهد آمد.

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

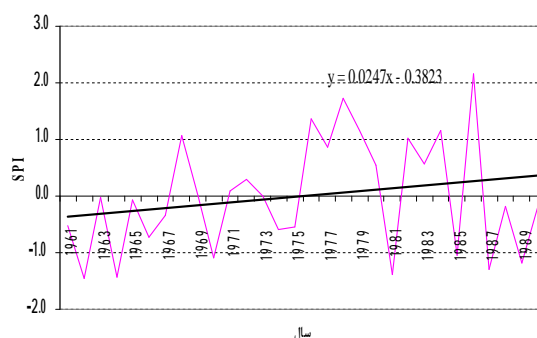
محاسبه شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI ایستگاه یزد در دوره مشاهداتی (۱۹۶۱-۱۹۹۰)

شکل ۳ الف تغییرات SPI ایستگاه یزد در دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ را نشان می‌دهد. مقادیر SPI در ابتدا رو به خشکسالی بوده است که این وضعیت از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۷ ادامه داشته است. در سال ۱۹۶۸ ترسالی رخ داده و بلافاصله در سال ۱۹۶۹ خشکسالی به وقوع پیوسته است و تا سال ۱۹۷۵ نوسانات محسوس خشکسالی در محدوده نرمال بوده است. پس از

آن یک دوره ۵ ساله نرمال و ترسالی رخ داده تا اینکه در سال ۱۹۸۱ خشکسالی به وقوع پیوسته است. پس از یک دوره تر سال دیگر که به مدت ۴ سال دوام داشته است در سال ۱۹۸۵ خشکسالی رخ داده و سپس ۵ سال انتهایی حالت نرمال را به خشکسالی تبدیل کرده است. در مجموع روند شاخص SPI سالانه ایستگاه یزد در دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مثبت بوده و خشکسالی در سالهای آتی این دوره رو به کاهش بوده است. در مجموع نمودار مذکور نوسانات زیادی نداشته و مرطوبترین سال آن، سال ۱۹۸۶ است که مقدار SPI بالای ۲ بوده که در محدوده به شدت مرطوب قرار می گیرد. همچنین سال ۱۹۶۲ خشک ترین سال با مقدار SPI بین -۱ و -۲ در محدوده نسبتاً خشک قرار گرفته است.



(ب)



(الف)

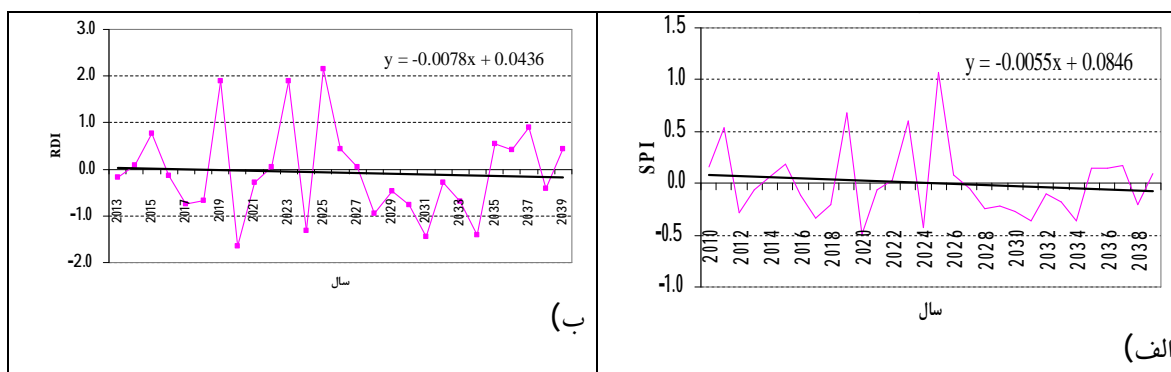
شکل ۳- تغییرات SPI و RDI ایستگاه یزد در دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰

در شکل ۳ ب تغییرات RDI استان یزد در دوره مشاهداتی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مشاهده می شود. همانطور که مشاهده می شود نوسانات این شاخص از شاخص SPI در این دوره بیشتر می باشد به طوری که از ۱/۷ در سال ۱۹۸۶ که جز محدوده خیلی مرطوب قرار می گیرد تا عدد ۱/۸- در سال ۱۹۶۲ که در محدوده خشک است متغیر می باشد. در دهه اول به صورت تقریباً یک در میان سالهای خشک و نرمال مشاهده می شود. البته سال ۱۹۶۸ سال نسبتاً مرطوب می باشد. در دهه دوم بیشتر حالت ترسالی و نرمال دیده می شود. هر چند شروع آن یعنی سال ۱۹۷۰ در وضعیت نسبتاً خشک قرار دارد. در دهه انتهایی تغییرات شدید تر و خشک مشاهده می شود به طوری که در سال ۱۹۸۱ سال خشکی زیاد و سال ۱۹۸۶ را به صورت خیلی مرطوب شاهد هستیم. در ۴ ساله انتهایی نیز یک در میان خشکسالی و حالت نرمال وجود دارد. در کل روند سالانه شاخص RDI مثبت و رو به ترسالی شدن در سالهای پایانی را نشان می دهد.

- تغییرات SPI و RDI ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A2

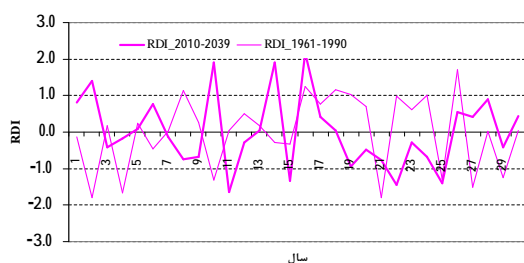
در شکل شماره ۴ قسمت الف مقادیر SPI سالانه تخمین زده شده ایستگاه یزد تحت سناریوی A2 در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، تا سال ۲۰۱۸ وضعیت خشکسالی نرمال بوده و با کمی نوسانات جزئی این شاخص بین ۰/۹ تا -۰/۹ تغییر می کند. پس از آن به صورت تقریباً یک در میان دارای وضعیت ترسالی و نرمال می شود به طوری که سال ۲۰۲۵ تر سالترین سال استنتاج شده است. در انتهای دوره نیز شاخص SPI وضعیت ایستگاه را نرمال با نوسانات جزئی نشان می دهد. از طرف دیگر شیب خط روند تغییرات سالانه SPI منفی بوده که نشاندهنده افزایش خشکسالی در سالهای بعد از آن خواهد بود. نکته قابل توجه در این نمودار این است که نوسانات خشکسالی و ترسالی در طول ۳۰ ساله آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

زیاد نبوده به طوری که سالهای کاملاً ترسال و یا سالهای با خشکسالی خیلی شدید وجود نداشته و تغییرات این شاخص بین حالت نرمال و نسبتاً مرطوب متغیر خواهد بود.

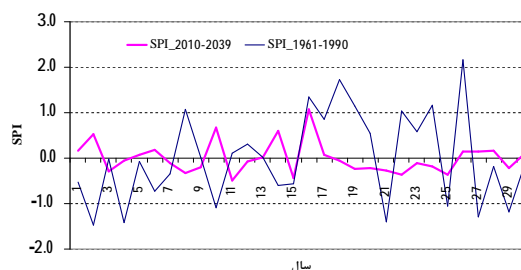


شکل ۴- تغییرات SPI و RDI ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A2

در شکل شماره ۴ قسمت ب شاخص خشکسالی RDI شبیه سازی شده در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A2 مشاهده می شود. دامنه تغییرات این شاخص نسبت به شاخص SPI بیشتر بوده به طوری که در این نمودار سال خیلی مرطوب و سال با خشکی خیلی شدید نیز دیده می شود. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ این نمودار اعداد نرمالی را برای خشکسالی نشان می دهد که بین ۰/۹ تا -۰/۹ متغیر می باشد. ولی از سال ۲۰۱۹ روند تقریباً یک در میان تر سالی و خشکسالی آغاز می شود. به طوری که سال ۲۰۲۰ خشکترین سال و سال ۲۰۲۵ مرطوبترین سال می باشند. از سال ۲۰۲۷ تا ۲۰۳۴ نیز وضعیت به سمت سالهای نرمال رو به خشکسالی و خیلی خشک میل می کند. به عبارتی دیگر بعد از سال ۲۰۲۶ که سال خیلی مرطوبی بوده است، خشکسالی ها آغاز می شود. از سال ۲۰۳۵ تا ۲۰۳۹ نیز وضعیت تقریباً نرمال بوده و دارای نوسانات کمی خواهد بود. در کل روند سالانه این شاخص خشکسالی منفی و رو به افزایش شدت خشکسالی است. در شکل شماره ۵ قسمت ب تغییرات سالانه شاخص SPI در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تحت سناریوی A2 نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که محدوده نوسانات و تغییرات شاخص خشکسالی SPI مربوط به دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ بیشتر از دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ است. شاخص SPI در دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ از سالهای خشک شدید تا بسیار مرطوب برخوردار بوده و نیز در پایان این دوره ۳۰ ساله نوسانات SPI شدید تر هم شده است. در حالیکه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نوسانات شاخص مذکور کم بوده به طوری که اکثر سالها در محدوده نرمال قرار دارند.



(ب)



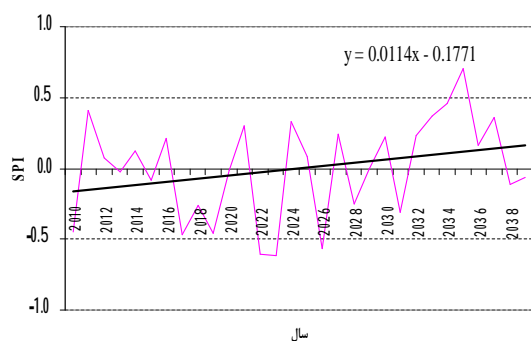
(الف)

شکل ۵- مقایسه مقادیر RDI و SPI در دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A2

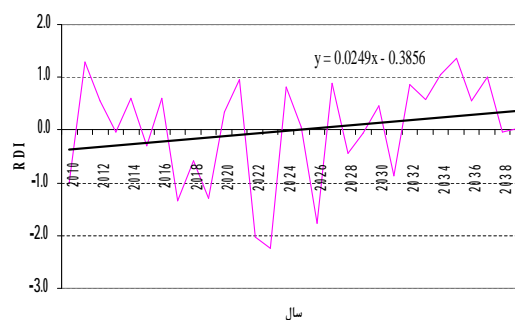
در شکل ۵ قسمت ب همین مقایسه بین RDI مربوط به دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با RDI شبیه‌سازی شده در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 صورت گرفته است. بر اساس این شاخص نوسانات خشکسالی و ترسالی در هر دو دوره شدید و تقریباً مشابه هم است. همانگونه که مشاهده می‌شود بر خلاف SPI، RDI مربوط به دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹) دارای نوسانات شدیدتری نسبت به دوره گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۰) خواهد بود.

تغییرات SPI و RDI ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی B2

در شکل ۶ قسمت الف مقادیر RDI شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی B2 نمایش داده شده است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد سال ۲۰۱۰ همراه با خشکسالی آغاز شده و بلافاصله سال ۲۰۱۱ ترسالی بوده و تا سال ۲۰۱۶ حالت نرمال و رو به ترسالی را نشان می‌دهد. خشک‌ترین سال این دوره سال ۲۰۲۳ با وضعیت خشکی شدید است و ترسالی‌ترین آن سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۳۵ است که در کلاس نسبتاً مرطوب قرار می‌گیرند. در سالهای انتهایی این دوره نیز سالهای نرمال و ترسالی مشاهده می‌شوند. روند سالانه این شاخص مثبت و رو به افزایش ترسالی و کاهش خشکسالی می‌باشد که بر خلاف وضعیت پیش‌بینی شده در سناریوی A2 است.



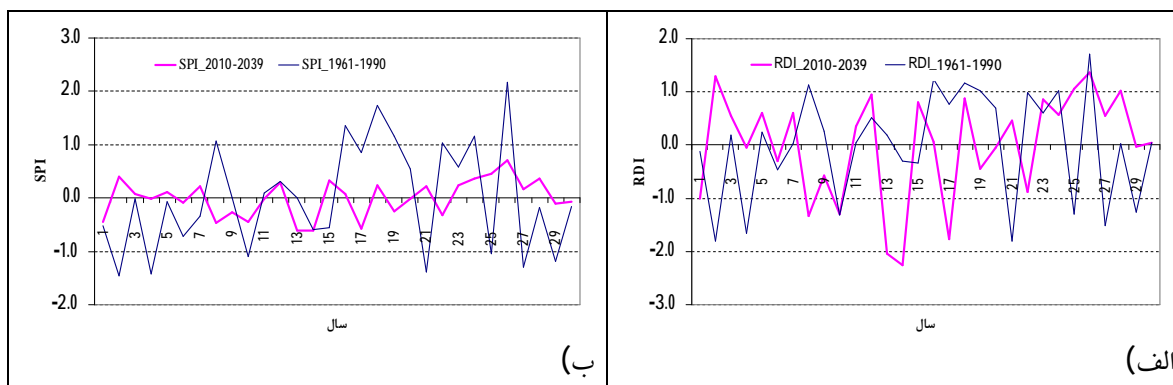
(ب)



(الف)

شکل ۶- تغییرات RDI و SPI ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی B2

در شکل ۶ قسمت ب مقادیر SPI شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی B2 نمایش داده شده است. نکته قابل توجه در این نمودار قرار داشتن تمامی سالها در محدوده نرمال بوده بطوریکه خشکسالی یا ترسالی در آنها به چشم نمی خورد. هر چند نوسانات زیادی در این دوره مشاهده می شود و لیکن مقادیر SPI این دوره بین اعداد ۰/۸ تا ۰/۶- متغیر می باشد. در واقع بعضی از سالها رو به خشکسالی و بعضی رو به تر سال شدن می باشد. در کل روند سالانه این شاخص مثبت بوده و کاهش سالهای خشک و افزایش سالهای تر را در آینده تخمین می زند. در شکل ۷ الف مقایسه‌ای بین RDI مربوط به دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با RDI شبیه‌سازی شده در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی B2 صورت گرفته است. همانطوری که ملاحظه می گردد شاخص RDI در هر دو دوره مذکور دارای نوسانات جزئی بوده و در کل انطباق خاصی بین شاخص خشکسالی RDI این دو دوره مشاهده نمی شود. خشک ترین سال دوره مربوط به سال ۲۰۲۳ در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و ترسال ترین این سالها مربوط به سال ۱۹۸۴ در دوره گذشته (۱۹۹۰-۱۹۶۱) است.



شکل ۷- مقایسه مقادیر RDI و SPI در دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در ایستگاه یزد تحت سناریوی B2 شکل ۷ ب نیز مقایسه SPI مربوط به دو دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ایستگاه یزد تحت سناریوی B2 را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود نوسانات SPI مربوط به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ بسیار شدید تر از دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ می باشد. همانطور که قبلا نیز توضیح داده شد نمودار SPI مربوط به دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ عمدتاً در محدوده نرمال قرار دارد. در حالیکه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ سالهای بسیار خشک و نیز با ترسالی شدید مشاهده می شود.

نتیجه گیری: در این تحقیق وضعیت خشکسالی ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی تحت تاثیر تغییر اقلیم با استفاده از دو شاخص SPI و RDI مورد بررسی قرار گرفت. برای اینکار از پارامترهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 استفاده گردید. در ابتدا داده‌های این مدل تحت دو سناریوی انتشار مختلف A2 و B2 برای منطقه یزد تهیه شد و در ادامه این داده‌ها برای ایستگاه یزد، کوچک مقیاس سازی گردید. با محاسبه شاخص‌های خشکسالی سالانه SPI و RDI برای ایستگاه یزد در دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوهای A2 و B2، وضعیت خشکسالی این ایستگاه در دوره آتی مشخص گردید. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که دمای کمینه و بیشینه ایستگاه یزد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. این در حالیست که تغییرات بارش منطقه تحت دو سناریوی مورد مطالعه یکسان

نبوده بطوریکه سناریوی A2 برای تمامی ماه‌های سال بارش بیشتری را نسبت به دوره مشاهداتی برای این ایستگاه تخمین می‌زند. از طرف دیگر سناریوی B2 فقط بارش ماه‌های مارس، می و اکتبر را بیش از دوره مشاهداتی تخمین زده و برای بقیه ماه‌ها بارش کمتری را نسبت به دوره پایه شبیه‌سازی کرده است.

محاسبه وضعیت خشکسالی منطقه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی تحت دو سناریوی A2 و B2 و مقایسه آن با وضعیت خشکسالی منطقه در دوره مشاهداتی نشان از ایجاد تغییرات در نوسانات سال‌های خشک و تر منطقه دارد. البته رفتار هر کدام از شاخص‌ها تحت دو سناریوی انتشار متفاوت بوده است. بطوری که شاخص SPI نوسانات کمتری را برای خشکسالی منطقه در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B2 تخمین می‌زند. این در حالیست که شاخص RDI نوسانات دوره آتی را بیش از دوره مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است. نکته حائز اهمیت دیگر تفاوت کم بین وضعیت خشکسالی ایستگاه یزد تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 است. بعبارت دیگر چگونگی انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تاثیر چندانی بر وضعیت خشکسالی ایستگاه یزد نخواهد داشت.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که با افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های انتهایی قرن ۲۱ احتمال تاثیرگذاری بر وضعیت خشکسالی ایستگاه یزد بیشتر شده که این امر می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین نتایج این تحقیق حاصل استفاده تنها از یک مدل AOGCM می‌باشد. بعبارت دیگر بدلیل وجود عدم قطعیت در این مدل‌ها می‌بایست از خروجی چندین مدل AOGCM استفاده کرد. که این مطلب نیز می‌تواند بعنوان ادامه این تحقیق مد نظر قرار گیرد.

۴- مراجع

- [1] Gedney N., P. M. Cox, R. A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford, and P. A. Stott, 2006, Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records, *Nature*, 439, pp. 835-838
- [۲] Milly P. C. D., K. A. Dunne, and A. V. Vecchia, 2005, Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate, *Nature*, 438, pp. 347-350
- [۳] Piao S., P. Friedlingstein, P. Ciais, N. de Noblet-Ducoudre, D. Labat, and S. Zaehle, 2006, Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.104, No.39, pp. 15242-15247.
- [۴] Betts R. A., O. Boucher, M. Collins, P.M. Cox, P.D. Falloon, N. Gedney, D. L. Hemming, C. Huntingford, C. D. Jones, D. M. H. Sexton, and M. J. Webb, 2007, Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide, *Nature*, Vol.448, pp. 1037-1041.
- [۵] Andreadis K. M. and D. P. Lettenmaier, 2006, Trends in 20th century drought over the continental United States, *Geophysical Research Letters*, Vol.33, L10403

[۶] Tsakiris G, 2004, Meteorological Drought Assessment. Paper prepared for the needs of the European Research Program MEDROPLAN (Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning), Zaragoza, Spain

[۷] Tsakiris G., H. Vangelis, 2005, establishing a drought index incorporating evapotranspiration, *European water* 9/10: 3-11.

[۸] پورمحمدی سمانه، رحیمیان محمد حسن، ۱۳۸۸، پهنه بندی خشکسالی و تعیین مناطق خطر خیز استان یزد با استفاده از شاخصهای RDI و SPI، دومین همایش ملی خشکسالی و راههای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

[۹] آذرانفر آرش، احمد ابریشم چی، مسعود تجریشی، ۱۳۸۷، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوزه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی های مدل چرخش عمومی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

- [۱۰] بابائیان ایمان، راهله مدیریان، مریم کریمیان، ۱۳۸۷، ارزیابی تغییرات اقلیمی ایران در دوره اقلیمی ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ با استفاده از مدل PRECIS، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- [۱۱] دانش کار آراسته پیمان، علیرضا شکوهی، ۱۳۸۷، در جستجوی تغییرات اقلیم بر شرایط آب و هوایی و آبهای سطحی ایران، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- [۱۲] خوشحال دستجردی جواد، یوسف قویدل، ۱۳۸۷، پیش بینی تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل موسسه مطالعاتی فضایی گودار، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- [۱۳] مساح بوانی ع.ر.و مرید س.ر.، ۱۳۸۴، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی (حوضه زاینده رود)، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال یکم، شماره ۱، ص ۴۷
- [۱۴] نوریان علی محمد، ۱۳۸۷، گرمایش در کشور و تبعات آن بر دیگر پارامترهای اقلیمی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- [۱۵] نوخندان حبیبی مجید، فاطمه عباسی، ایمان بابائیان، ۱۳۸۷، مطالعه تغییر اقلیم در دهه‌های آینده با استفاده از مدل MAGIC SCENGEN، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.