

الله أكبر



دانشکده مهندسی کشاورزی
رشته مهندسی کشاورزی گرایش سازه‌های آبی
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی
در منطقه سمنان

نگارنده: ساناز جورابلو

اساتید راهنما

دکتر خلیل اژدری
دکتر زهرا گنجی نوروژی

استاد مشاور

دکتر مهدی دلقندی

شهریور ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه: آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم ساناز جورابلو به شماره دانشجویی: ۹۳۰۵۶۴۴

تحت عنوان: بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص های خشکسالی هواشناسی و

هیدرولوژیکی در منطقه سمنان

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر مهدی دلقندی		دکتر خلیل اژدری
			دکتر زهرا گنجی نوروژی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به

پدر زحمتش و مادر مهربانم

آن دو فرشته و اسطوره صبر و استقامت که

از خواسته‌هایشان گذشتند،

نختی‌ها را به جان خریدند و

خود را سپربلای مشکلات و ناملایمات کردند تا

من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

و تقدیم به خواهر نازنینم که هواره مشوق و یار صمیمی زندگیم بوده است.

مشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای متعال را که بندگانش را توفیق تلاش و مشگر عطا فرمود. حال چگونه مشگر او را کویم که منت را بر من تمام کرده و از سر رحمت خود، مراد زمره جویدگان علم و دانش قرار داده است.

در این رهگذر، بر رسم ادب خود را ملزم می‌دانم که با تواضع تمام و از صمیم قلب مشگر و سپاس خود را از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر خلیل اژدی و سرکار خانم دکتر زهرآگنجی نوروزی عرضه دارم. از مساعدت‌های بی‌شائبه استادگراقتدر جناب آقای دکتر مهدی ولقندی نیز در طی انجام این تحقیق، کمال مشگر و سپاس را دارم. همچنین از خانواده عزیزم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عضو کشیده و کریانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند نهایت سپاس‌گذاری را دارم.

سماز جورابلو

تابستان ۱۳۹۵

تعهد نامه

اینجانب ساناز جورابلو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه سمنان تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و دکتر زهرا گنجی نوروزی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
 - در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahroud University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

مقالات مستخرج از پایان‌نامه

"پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه‌های زمانی مختلف در

شهرستان سمنان". دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط زیست. تهران. ۵ و ۶

خرداد ۱۳۹۵.

"کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل AOGCMs جهت بررسی روند رخدادهای آبی

بارش (مطالعه موردی: منطقه سمنان)". دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط

زیست. تهران. ۵ و ۶ خرداد ۱۳۹۵.

چکیده

خشکسالی یک پدیده اقلیمی و طبیعی است که می‌تواند بر سیستم‌های طبیعی و انسانی اثرات شدید و طولانی مدتی داشته باشد. از این رو، بررسی اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی یک منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی منطقه سمنان در دوره‌های آتی می‌باشد. برای انجام این تحقیق، ۱۴ مدل AOGCM و سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2، A1B و B1)، برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم مبتنی بر بارش و دما برای دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و سه دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) انتخاب شد. این سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) تحت سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای دوره‌های آتی تولید شد. سپس وضعیت خشکسالی توسط دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه، ۳ ماهه، ۶ ماهه و سالانه برای دوره مینا و دوره‌های آتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه در منطقه سمنان تا سال ۲۱۰۰، حدود ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، و بارش در فصل زمستان کاهش و بارش‌های بهاره و بعضاً تابستانه افزایش خواهد یافت. همچنین بررسی وضعیت خشکسالی نشان داد که در مقیاس زمانی ۳ و ۶ ماهه، طبقه خشکسالی بسیار شدید بیشتری نسبت به سایر مقیاس‌ها خواهیم داشت. به طوریکه هر دو شاخص SPI و RDI در چهار مقیاس زمانی ماهانه، ۳ ماهه، ۶ ماهه و سالانه، برای دوره‌های خشک روند افزایشی و برای دوره‌های تر روند کاهشی را در دوره‌های آتی دوم و سوم پیش‌بینی کردند. در نهایت نتایج تجزیه و تحلیل شدت، مدت و مقدار رخداد خشکسالی نشان داد که هر سه مشخصه در دوره‌های آتی افزایش خواهند یافت. طبق نتایج بدست آمده مشخص گردید که تغییرات اقلیمی به میزان قابل قبولی بر وضعیت خشکسالی منطقه سمنان در آینده اثر دارد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های AOGCM، پایش خشکسالی، شاخص SPI، شاخص RDI.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- ضرورت و اهمیت موضوع
۴	۳-۱- اهداف تحقیق
۵	۴-۱- فرضیات تحقیق
۵	۵-۱- روند تدوین پایان نامه
۷	فصل دوم: کلیات و بررسی منابع پیشین
۸	۱-۲- موارد پایه و مفهومی تغییر اقلیم
۸	۲-۱-۱- سناریوهای اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای
۸	۲-۱-۲- سناریوهای غیر اقلیمی
۱۰	۳-۱-۲- سناریوهای اقلیمی
۱۳	۴-۱-۲- شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسط مدل‌های AOGCM
۱۳	۵-۱-۲- داده‌های قابل دسترس از مدل‌های AOGCM
۱۴	۶-۱-۲- ریز مقیاس کردن
۱۴	۷-۱-۲- عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم
۱۵	۲-۲- مفهوم خشکسالی و انواع آن
۱۶	۱-۲-۲- خشکسالی هواشناسی
۱۷	۲-۲-۲- خشکسالی کشاورزی
۱۷	۳-۲-۲- خشکسالی هیدرولوژیکی
۱۷	۴-۲-۲- خشکسالی اقتصادی-اجتماعی
۱۸	۳-۲- پایش خشکسالی
۱۸	۴-۲- شاخص‌های خشکسالی
۱۹	۵-۲- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)
۲۱	۶-۲- شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)
۲۳	۷-۲- برآورد تبخیر و تعرق
۲۳	۱-۷-۲- روش هارگریوز-سامانی (HS)
۲۴	۲-۷-۲- روش استاندارد پنمن-مانتیث (FPM)
۲۵	۳-۷-۲- روش فائو پنمن-مانتیث (FAO 56)
۲۶	۸-۲- پیشینه تحقیق
۲۶	۱-۸-۲- مقدمه
۲۷	۲-۸-۲- مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم

۳۲.....	۲-۸-۳- مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی.....
۳۹.....	۲-۸-۴- مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر تغییر اقلیم در پیش‌بینی خشکسالی.....
۴۹.....	فصل سوم: مواد و روش‌ها
۵۰.....	۳-۱- منطقه مورد مطالعه.....
۵۰.....	۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی.....
۵۰.....	۳-۱-۲- توپوگرافی.....
۵۱.....	۳-۱-۳- آب و هوا.....
۵۲.....	۳-۲- اطلاعات و داده‌های مورد نیاز.....
۵۲.....	۳-۳- تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه برای دوره‌های آتی.....
۵۵.....	۳-۴- ریزمقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش.....
۵۸.....	۳-۵- تهیه سناریوهای تغییر اقلیم دوره‌های آتی.....
۵۹.....	۳-۶- شاخص‌های خشکسالی.....
۵۹.....	۳-۷- شاخص بارش استاندارد شده (SPI).....
۶۰.....	۳-۸- شاخص شناسایی خشکسالی (RDI).....
۶۲.....	۳-۹- برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط استاندارد (ET_0).....
۶۳.....	۳-۱۰- صحت‌سنجی بهترین روش تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع.....
۶۵.....	فصل چهارم: نتایج و بحث
۶۶.....	۴-۱- مقدمه.....
۶۶.....	۴-۲- تولید سناریوهای تغییر اقلیم.....
۶۶.....	۴-۲-۱- تعیین مقادیر ΔT و ΔP
۶۸.....	۴-۲-۲- تعیین مقادیر ΔT و ΔP به صورت احتمالاتی.....
۷۲.....	۴-۲-۳- ریزمقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه تغییر اقلیم.....
۷۲.....	۴-۳- اثرات تغییر اقلیم بر روی تبخیر و تعرق پتانسیل.....
۷۶.....	۴-۴- اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد شاخص‌های خشکسالی.....
۷۶.....	۴-۴-۱- بررسی طبقات خشکسالی.....
۸۰.....	۴-۴-۲- بررسی تفاضل درصد طبقات خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته.....
۸۳.....	۴-۴-۳- مقایسه سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای در برآورد خشکسالی.....
۸۴.....	۴-۴-۴- مقایسه سه سطح ریسک در برآورد خشکسالی‌ها.....
۸۵.....	۴-۴-۵- انتخاب سناریوی وخیم.....
۸۶.....	۴-۴-۶- نمودار زمانی شاخص SPI و RDI در دوره ۲۰۹۹-۱۹۶۵.....
۹۰.....	۴-۴-۷- مقایسه تغییرات طبقات خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته.....
۹۸.....	۴-۴-۸- تغییرات دوره‌های خشک و تر در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته.....
۱۰۲.....	۴-۴-۹- تغییرات مقدار شاخص SPI و RDI در شرایط تغییر اقلیم نسبت به گذشته.....

۱۰۴تحلیل شدت، مدت و مقدار خشکسالی
۱۱۳ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۱۴ ۱-۵- نتیجه‌گیری
۱۱۷ ۲-۵- پیشنهادات
۱۱۹ پیوست‌ها
۱۳۱ منابع و مآخذ
۱۳۲ منابع داخلی
۱۳۴ منابع خارجی

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) وضعیت چهار خانواده سناریوهای SRES ۱۰
- شکل (۲-۲) تصویر شماتیک از مدل اتمسفر ۱۲
- شکل (۳-۲) سلول‌های سه بعدی مدل HADCM3 (یکی از مدل‌های AOGCM) ۱۲
- شکل (۱-۳) نمودار تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش در یک دوره آتی ۵۸
- شکل (۲-۳) نمودار مراحل محاسبه نرم افزار DrinC در دوره آتی سوم تحت یک سناریوی انتشار ۶۱
- شکل (۱-۴) نمودار مقایسه روش فائو ۵۶ و روش پنمن-مانتیت جهت محاسبه تبخیر و تعرق ۷۳
- شکل (۲-۴) نمودار مقایسه روش هارگریوز و پنمن-مانتیت جهت محاسبه تبخیر و تعرق ۷۴
- شکل (۳-۴) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI برای مقیاس سالانه ۸۶
- شکل (۴-۴) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI برای مقیاس شش‌ماهه اول (الف) و شش‌ماهه دوم (ب) ۸۷
- شکل (۵-۴) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI در مقیاس سه‌ماهه اول (الف)، سه‌ماهه دوم (ب)، سه‌ماهه سوم (ج) و سه‌ماهه چهارم (د) ۸۸
- شکل (۶-۴) نمودار زمانی شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس ماهانه ۸۹
- شکل (۷-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سالانه (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۰
- شکل (۸-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی شش‌ماهه اول (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۱
- شکل (۹-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی شش‌ماهه دوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۲
- شکل (۱۰-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه اول (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۳
- شکل (۱۱-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه دوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۴
- شکل (۱۲-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه سوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۵
- شکل (۱۳-۴) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه چهارم (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۶
- شکل (۱۴-۴) روند تغییرات دوره نرمال برای دوشاخص SPI و RDI برای مقیاس‌های زمانی مختلف (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۷
- شکل (۱۵-۴) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی سالانه (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۹
- شکل (۱۶-۴) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی شش‌ماهه (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۹۹
- شکل (۱۷-۴) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی سه‌ماهه (۱۹۶۵-۲۰۹۹) ۱۰۰

- شکل (۴-۱۸) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی ماهانه (۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۱
- شکل (۴-۱۹) نمودار تغییرات متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس زمانی سالانه (الف) و شش‌ماهه (ب):
(۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲۰) نمودار تغییرات متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس زمانی سه‌ماهه (الف) و ماهانه (ب):
(۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲۱) ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از تجزیه و تحلیل دنباله‌ها (Yevjevich, ۱۹۶۷)..... ۱۰۴
- شکل (۴-۲۲) نمودار ویژگی خشکسالی در مقیاس زمانی سه‌ماهه (۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۶
- شکل (۴-۲۳) نمودار روند مدت خشکسالی (D) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش‌ماهه (ب)، سه‌ماهه (ج) و ماهانه (د): (۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۷
- شکل (۴-۲۴) نمودار روند مقدار خشکسالی (M) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش‌ماهه (ب)، سه‌ماهه (ج) و ماهانه (د): (۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۰۹
- شکل (۴-۲۵) نمودار روند شدت خشکسالی (S) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش‌ماهه (ب)، سه‌ماهه (ج) و ماهانه (د): (۲۰۹۹-۱۹۶۵)..... ۱۱۰

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) طبقات شدت دوره خشک براساس مقادیر شاخص SPI و RDI ۲۳
- جدول (۱-۳) مقادیر دما (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) در ایستگاه سینوپتیک سمنان (۲۰۱۰-۱۹۶۵) .. ۵۲
- جدول (۲-۳) مشخصات مدل‌های AOGCM منتخب ۵۳
- جدول (۱-۴) مقادیر ΔT (درجه سانتی‌گراد) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹) ۶۷
- جدول (۲-۴) مقادیر میانگین ΔT (درجه سانتی‌گراد) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره‌های آتی ۶۸
- جدول (۳-۴) مقادیر میانگین ΔP (میلی‌متر در روز) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره‌های آتی ۶۸
- جدول (۴-۴) استخراج ΔP در سه سطح احتمالاتی، تحت سه سناریوی انتشار در دوره‌های آتی (mm/d) ۶۹
- جدول (۵-۴) استخراج ΔT در سه سطح احتمالاتی، تحت سه سناریوی انتشار در دوره‌های آتی ($^{\circ}C$) ۷۰
- جدول (۶-۴) نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق با مرجع قرار دادن روش FPM در دوره (۲۰۰۹-۱۹۶۵) ۷۳
- جدول (۷-۴) میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف با سطح احتمال ۰/۵۰ (mm/d) ۷۵
- جدول (۸-۴) تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم (mm/d) ۷۵
- جدول (۹-۴) درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته ۷۷
- جدول (۱۰-۴) درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته ۷۹
- جدول (۱۱-۴) تفاضل درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI حاصل از سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته ۸۱
- جدول (۱۲-۴) تفاضل درصد طبقات خشکسالی شاخص RDI حاصل از سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته ۸۲
- جدول (۱۳-۴) میانگین اعداد طبقات مختلف خشکسالی سالانه سه سطح ریسک در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (درصد) ۸۴
- جدول (۱۴-۴) میانگین درصد طبقات خشکسالی سالانه در سطوح مختلف ریسک ۸۵
- جدول (۱۵-۴) متوسط شاخص‌های SPI و RDI برای سه دوره آتی نسبت به دوره گذشته ۱۰۲
- جدول (۱۶-۴) متوسط طول دوره خشکسالی (D) برای شاخص‌های SPI و RDI ۱۰۶
- جدول (۱۷-۴) متوسط مقدار خشکسالی (M) برای شاخص‌های SPI و RDI ۱۰۸
- جدول (۱۸-۴) متوسط شدت خشکسالی (S) برای شاخص‌های SPI و RDI ۱۱۰
- جدول (پ-۱) مقادیر ΔT (C) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۳۹-۲۰۱۰) .. ۱۲۰
- جدول (پ-۲) مقادیر ΔT (C) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) ... ۱۲۰
- جدول (پ-۳) مقادیر ΔT (C) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) ۱۲۱

جدول (پ-۴) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۱
جدول (پ-۵) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۲
جدول (پ-۶) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۲
جدول (پ-۷) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	۱۲۳
جدول (پ-۸) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	۱۲۳
جدول (پ-۹) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	۱۲۴
جدول (پ-۱۰) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	۱۲۴
جدول (پ-۱۱) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	۱۲۵
جدول (پ-۱۲) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۵
جدول (پ-۱۳) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۶
جدول (پ-۱۴) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	۱۲۶
جدول (پ-۱۵) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	۱۲۷
جدول (پ-۱۶) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	۱۲۷
جدول (پ-۱۷) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	۱۲۸
جدول (پ-۱۸) مقادیر متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف تحت سناریوهای مختلف (mm/d)	۱۲۹

فصل اول

مقدمه

نگرانی‌های زیادی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف وجود دارد. طبق تعریف گزارش چهارم هیئت بین دول تغییر اقلیم^۱ (IPCC)، تغییر اقلیم به معنای تغییر در وضعیت اقلیم (تغییر در مقادیر میانگین و یا تغییرپذیری خصوصیات اقلیم)، که هرگونه تغییر در طول زمان، چه در اثر عوامل طبیعی و چه در اثر فعالیت‌های انسانی را شامل می‌گردد. در بین عوامل ایجاد تغییر اقلیم تنها عاملی که به صورت غیر طبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های انسانی می‌باشد (هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل عبور نورخورشید با طول موج کوتاه و عدم عبور بازتابش آن با طول موج بلند می‌باشد که این امر موجب گرم‌تر شدن جو کره زمین (اتمسفر) گردیده است (هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱). الف و ب). حساسیت اقلیم معیاری از پاسخ اقلیم به عوامل بوجود آورنده تغییر اقلیم است که به عنوان مقدار متوسط گرم شدن جهانی اتمسفر زمین در اثر افزایش دو برابری غلظت CO₂ تعریف می‌شود. در حساسیت اقلیم کره زمین، عدم قطعیت بالایی دیده می‌شود، به طوری‌که در حال حاضر حساسیت اقلیم بین ۲ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است و عنوان گردیده است که بهترین تخمین برای حساسیت اقلیم ۳ درجه سانتی‌گراد است و احتمال اینکه کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد باشد بسیار اندک است (هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

تغییر اقلیم بر همه اکوسیستم‌های مرتبط با اقلیم تأثیرگذار است. این اثرات به دو گروه کلی بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم بندی می‌شوند. اثرات بیوفیزیکی شامل افزایش سطح دریا، تغییر در شوری آب اقیانوس‌ها، افزایش دمای دریاها، تغییر در کیفیت و کمیت منابع آب و خاک، افزایش علف‌های هرز و آفات گیاهی و اثرات اجتماعی-اقتصادی شامل کاهش تولیدات زراعی،

¹ Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

نوسانات در قیمت‌های بازارهای جهانی، تغییرات در صنعت و اقتصاد، افزایش ریسک گرسنگی بشر، کاهش امنیت غذایی و در نهایت مهاجرت می‌باشد (فائو^۱، ۲۰۰۷؛ دلقندی، ۱۳۹۱).

با توجه به مطالب فوق الذکر، یکی از مظاهر بروز تغییر اقلیم، افزایش دما و بروز تغییرات زمانی و مکانی بارش‌ها است. اثر متقابل این دو پدیده، خشکسالی را در پی خواهد داشت. خشکسالی به عنوان یکی از بلاهای طبیعی نامحسوس، وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش درجه حرارت می‌باشد، که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی در اغلب موارد به عنوان پدیده‌ای خزنده، مستمر از اقلیم توصیف می‌شود، که همواره با خسارت‌های مالی و جانی فراوان همراه است. خشکسالی علاوه بر اثرات اجتماعی- اقتصادی تغییر اقلیم، بر دگرگونی محیط طبیعی تأثیر مستقیم و غیر مستقیم دارد.

اهمیت و خطرات تغییر اقلیم در جوامع مختلف جهانی از جمله نشست سران هشت کشور صنعتی دنیا (گروه G8) مورد توجه و تأکید قرار گرفته و راهکارهای مقابله با آن جهت حفاظت از منابع آب، کشاورزی و منابع زیست میحیطی مد نظر قرار گرفته است. با توجه به آن که آب یکی از منابعی است که در معرض خطرات ناشی از تغییر اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای معضلاتی چون خشکسالی، سیلاب ناگهانی، تبخیر زیاد و غیره باشد (گل محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰).

به طور کلی، با توجه به شرایط ویژه اقلیمی کشور ایران (خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی)، و خصوصیات پدیده خشکسالی موجب شده تا شناخت دقیقی از زمان شروع و خاتمه، تداوم و شدت رخداد آن در کشور وجود نداشته باشد. از این رو پایش و بررسی این پدیده با توجه به تغییر اقلیم در آینده اولین گام در شناخت و کاهش میزان خسارت زیان‌بار آن خواهد بود. هر چه این پایش

^۱FAO

و شناخت دقیق تر صورت پذیرد، مدیریت ابعاد بحران‌های ناشی از آن امکان‌پذیرتر شده و جبران خسارت آن‌ها ساده‌تر می‌گردد.

۱-۲- ضرورت و اهمیت موضوع

به دلیل قرار گیری کشور ایران در منطقه خاورمیانه و با توجه به کمبود بارش در منطقه می‌توان آن را جزء مناطق کم بارش به حساب آورد. پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم و ناپایداری شرایط اقلیمی (قرارگیری در منطقه خشک و نیمه خشک کره زمین)، علاوه بر کمبود ریزش‌های جوی، توزیع و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها در مناطق مختلف کشور طی سال‌های اخیر مشکلات زیادی همراه داشته که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بخش‌های مختلف جامعه را تحت تأثیر قرار داده است. یکی از مهمترین پارامترهای این پیامدها افزایش وقوع بلایای جوی اقلیمی است که از شایع‌ترین آن‌ها در ایران می‌توان به وقوع سیل و خشکسالی اشاره کرد. با توجه به خسارات جانی و مالی فراوان خشکسالی و شرایط ذکر شده، بررسی و تحلیل وضعیت عناصر اقلیمی بر رخداد خشکسالی‌ها جایگاه ویژه‌ای داشته، و کشف وجود تغییرات احتمالی در روند دما، بارش و خشکسالی در سال‌های آتی، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. نتایج بدست آمده از بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی می‌تواند اطلاعات و داده‌های با ارزشی را در اختیار برنامه‌ریزان و مسئولان قرار دهد تا آن‌ها را در اتخاذ تصمیمات راهبردی هدایت کند.

۱-۳- اهداف تحقیق

این تحقیق با اهداف زیر شکل گرفت:

۱. تولید سناریوهای متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مدل -

های AOGCM و سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای برای منطقه مورد مطالعه.

۲. پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی.

۳. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دوره‌های آتی با در نظر

گرفتن عدم قطعیت‌های مربوطه.

۱-۴- فرضیات تحقیق

۱. دما در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت.

۲. بارش در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت.

۳. شدت خشکسالی‌ها در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت.

۱-۵- روند تدوین پایان‌نامه

در فصل اول پایان‌نامه، مقدمه، ضرورت و اهمیت موضوع، اهداف و فرضیات تحقیق ذکر شده است. در فصل دوم ابتدا کلیاتی در باب تغییر اقلیم و خشکسالی و در انتها به مرور تحقیقات پیشین در زمینه مورد تحقیق اشاره شد. در فصل سوم، مواد و روش انجام تحقیق آورده شده، در فصل چهارم نتایج و بحث مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو (AOGCM)، تغییرات بارش و دما، پایش خشکسالی و تحلیل شدت، مدت و مقدار خشکسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی ارائه گردیده است. در آخر، در فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی در رابطه با موضوع تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

پیشین

۲-۱-۱- موارد پایه و مفهومی تغییر اقلیم

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن تغییر اقلیم^۱ اطلاق می‌شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴).

۲-۱-۱- سناریوهای اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزاء سیستم اقلیم کره زمین می‌گردد. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، لذا بصورت کاملا غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است (دلقندی، ۱۳۹۱). این سناریوها در دو بخش مجزای سناریوهای غیر اقلیمی (انتشار) و سناریوهای اقلیمی قابل تفکیک هستند که در ادامه شرح مختصری از آنها ارائه می‌شود.

۲-۱-۲- سناریوهای غیر اقلیمی^۲

بطور کلی یک سناریوی غیر اقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی- اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است که به آن سناریوی انتشار^۳ نیز گفته می‌شود.

هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) که در سال ۱۹۸۸ بوسیله سازمان هواسنجی جهان (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) تاسیس شد، وظیفه شناخت تمام جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم را عهده‌دار است و سری اولیه سناریوهای انتشار را در سال ۱۹۹۲ با نام IS92 (IPCC Scenario) (IS92a-IS92f) ارائه کرد. این سناریوها در گزارش‌های جدید IPCC با عبارت SRES ارائه می‌شوند.

¹ Climate Change

² Non-Climatic Scenario

³ Emission scenario

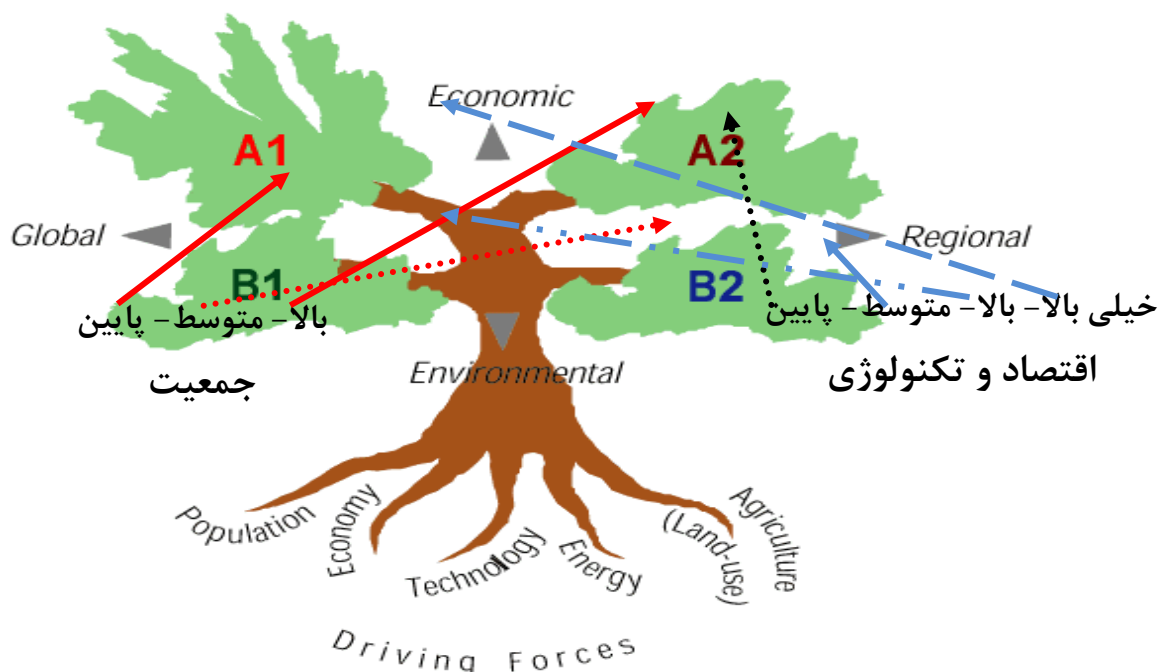
IPCC در سال ۲۰۰۱ گزارش ویژه‌ای که حدود چهل زیر سناریوی مختلف SRES که در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌بود را تدوین کرد. هر کدام از این زیر سناریوها مربوط به یکی از چهار خانواده A1، A2، B1 و B2 می‌باشد.

سناریوی A1، جهان آینده را با رشد سریع اقتصادی و جمعیت جهانی که در اواسط قرن به اوج، و سپس کاهش می‌یابد و همچنین ابداع فناوری‌های جدید و کارآمدتر توصیف می‌کند. این خانواده به سه سناریوی A1F (فناوری‌های جانشین سوخت فسیلی)، A1T (منابع غیر فسیلی در تولید انرژی) و A1B (تعادل بین کلیه منابع) تقسیم می‌شود. سناریوی A2 توصیفی از جهان بسیار ناهمگن است که در آن رشد سریع اقتصادی و فناوری‌های پاک کاهش، و جمعیت جهانی و منطقه‌ای به طور مدام افزایش می‌یابد. سناریوی B1 جهانی با جمعیتی مشابه سناریوی A1 را توصیف می‌کند، اما با این تفاوت که در این سناریو استفاده از سوخت‌های فسیلی کاهش یافته و در نتیجه بشر در آینده بیشتر از منابع و فناوری پاک استفاده خواهد نمود. در نهایت سناریوی B2 بر راه‌حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، با افزایش جمعیت به طور مداوم (کمتر از A2) و متوسط توسعه اقتصادی تأکید دارد (هومهر^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ رشید محمود^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ دلقندی، ۱۳۹۱). شکل (۱-۲) وضعیت چهار خانواده سناریوهای SRES را نشان می‌دهد.

¹Hoomehr

²Rashid Mahmood

SRES Scenarios



شکل (۱-۲) وضعیت چهار خانواده سناریوهای SRES

۲-۱-۳- سناریوهای اقلیمی^۱

با توجه به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن افزایش میانگین دمای سطح کره زمین در دوره‌های آتی، چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای بطور صریح مشخص نمی‌باشد. لذا به دلیل مشکل بودن پیش‌بینی وضعیت اقلیم منطقه‌ای تحت پدیده تغییر اقلیم، راه جایگزین، مشخص کردن وضعیت‌های ممکن اقلیم آینده بوده که "سناریوی اقلیمی" نامیده می‌شود (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم^۲، ۱۹۹۹).

^۱Climatic Scenario

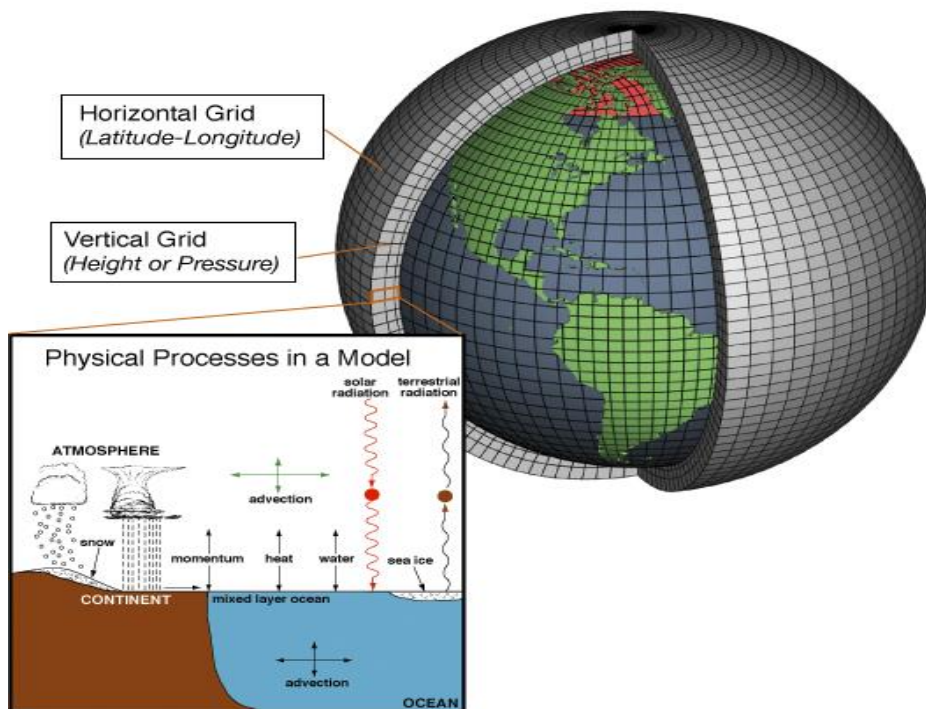
^۲ Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (IPCC-TGCI)

در حال حاضر معتبرترین و پیشرفته‌ترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و شبیه‌سازی سیستم اقلیم جهانی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو^۱ که بعد از این AOGCM اطلاق می‌گردد، می‌باشد (ویلیبی و هریس^۲، ۲۰۰۶).

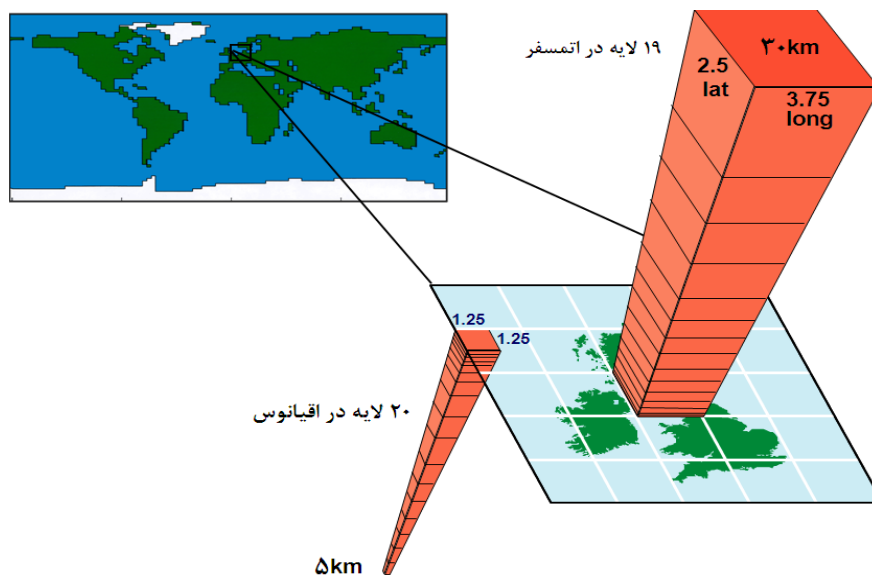
این مدل‌ها اقلیم را با شبکه سه بعدی در گستره جهان ترسیم می‌کنند که بیشتر آن‌ها دارای درجه تفکیک پذیری افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر، و تعداد لایه‌ها عمودی در اقیانوس بیشتر از تعداد آن‌ها در اتمسفر می‌باشد. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرایندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پوسته و زیست‌کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی می‌شوند. سپس تمام مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت شده و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر (AOGCM) را تشکیل می‌دهند (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۱۹۹۹). در شکل (۲-۲) تصویر شماتیک از مدل اتمسفر و در شکل (۳-۲) سلول‌های سه بعدی مدل HADCM3 را در اتمسفر و اقیانوس نمایش داده شده است (دلقندی، ۱۳۹۱).

¹ Atmosphere- Ocean General Circulation Model

² Wilby and Harris



شکل (۲-۲) تصویر شماتیک از مدل اتمسفر



شکل (۳-۲) سلول‌های سه بعدی مدل HADCM3 (یکی از مدل‌های AOGCM)

۲-۱-۴- شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسط مدل‌های

AOGCM

بمنظور بررسی وضعیت گذشته اقلیم کره زمین، مقادیر مشاهداتی گازهای گلخانه‌ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فواران‌های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰، بعنوان ورودی به مدل‌های AOGCM ارائه شده و متغیرهای اقلیمی در این دوره بصورت سری زمانی (عمدتاً ماهانه) شبیه‌سازی می‌گردند. پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های AOGCM، به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها می‌باشد بدین منظور از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌نمایند. نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد (دلقندی، ۱۳۹۱).

۲-۱-۵- داده‌های قابل دسترس از مدل‌های AOGCM

IPCC کمیته‌ای را با هدف جمع‌آوری خروجی مدل‌های AOGCM به منظور استفاده در تحقیقات با نام مرکز توزیع داده^۱ (DDC)، در سال ۱۹۹۸ تشکیل داد. در تمام این مدل‌ها هشت متغیر اقلیمی شامل میزان بارندگی، میانگین فشار سطح دریا، تابش خورشید، میانگین دمای هوا، دمای نقطه شبنم، حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا و سرعت باد، و متغیرهای محدوده تغییرات دمای روزانه، فشار بخار، واریانس دمای روزانه و بارندگی نیز تحت بعضی از مدل‌ها، تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف انتشار شبیه‌سازی شده‌اند. مجموعه کامل متغیرهای ماهانه ذکر شده از آرشیو داده‌های مدل-های AOGCM در مرکز توزیع داده (DDC) و از سایت IPCC قابل دسترس می‌باشد (مرکز توزیع داده هیئت بین دول تغییر اقلیم^۲، ۱۹۹۸).

^۱ Data Distribution Center

^۲ Intergovernmental Panel on Climate Change, Data Distribution Center (IPCC-DDC)

۲-۱-۶- ریز مقیاس کردن^۱

کلیه پیش‌بینی‌های اولیه‌ای مدل‌های AOGCM در ارزیابی تغییرات اقلیمی در مقیاس بزرگ جغرافیایی بوده و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم سطح محلی و منطقه‌ای را مورد توجه و ارزیابی قرار دهد. با توجه به این مشکل، با انجام اصلاحات روی مدل‌های AOGCM و نیز در نظر گرفتن شرایط محلی، مدل‌های کوچک مقیاس، به نام مدل‌های منطقه‌ای^۲ (RCM) ارائه گردیده است. این مدل‌ها علاوه بر پیروی از تمامی خصوصیات فیزیکی و ریاضی مدل‌های گردش عمومی جو، قابلیت تفکیک تا ۰/۱۲۵ درجه (۱۵ کیلومتر) را دارند. با توجه به این خصیصه، می‌توان تغییرات محلی یا منطقه‌ای ابر، بارش، رطوبت و دما را پیش‌بینی نمود. برای مناطقی مثل ایران تاکنون مدلی مانند مدل منطقه‌ای با خصوصیات مدل گردش عمومی جو ارائه نشده است. بنابراین برای مناطقی مانند ایران از روش‌های کوچک مقیاس نمودن داده‌های مدل‌های AOGCM استفاده می‌شود. در این روش خروجی مدل‌های AOGCM با داده‌های مشاهده‌ای تطبیق داده می‌شود. روش‌های ریز مقیاس کردن مکانی عبارتند از: روش استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی^۳، روش‌های آماری^۴، روش درونیابی اطلاعات سلول‌های مجاور^۵ و روش دینامیکی^۶ (دل‌قندی، ۱۳۹۵؛ معافی معدنی، ۱۳۹۱؛ مساح بوانی، ۱۳۸۵).

۲-۱-۷- عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم

عدم قطعیت^۷ در مطالعات تغییر اقلیم هنگامی مطرح می‌شود که از چندین مدل اقلیم یا مدل اثر^۸ استفاده گردد و یا در استفاده از این مدل‌ها فرضیه‌ها و روش‌های مختلفی به کار گرفته شود. به عبارت دیگر، در ارزیابی تغییر اقلیم، منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد که بر نتایج نهایی

¹ Downscaling

² Regional Circulation Models

³ Proportional Downscaling

⁴ Statistical Downscaling

⁵ Interpolating Neighbor Cells Information

⁶ Dynamic Downscaling

⁷ Uncertainty

⁸ Impact model

تأثیر می‌گذارد. این منابع، شامل تعریف سناریوهای اقلیم آینده، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های AOGCM مورد استفاده، روش‌های کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل‌های AOGCM و درجه تفکیک‌پذیری این مدل‌ها و عدم قطعیت مربوط به ارتباط بین مدل‌های تغییر اقلیم و مدل‌های اثر (در اینجا شاخص‌های خشکسالی) می‌باشد. همانگونه که مشخص است منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم بسیار متنوع می‌باشد که در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. با توجه به اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در مراحل مختلف ارزیابی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر خروجی نهائی سیستم، لازم است پس از شناخت منابع عدم قطعیت به تجزیه و تحلیل تأثیر آن‌ها بر سیستم مورد مطالعه پرداخته شود (روییز-راموس و مینگوئر^۱، ۲۰۱۰؛ حمیدیان-پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسینی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳؛ دلقدی، ۱۳۹۱؛ آشفته و مساح بوانی، ۱۳۹۱).

۲-۲- مفهوم خشکسالی و انواع آن

با توجه به اینکه خشکسالی همواره با توزیع زمانی و مکانی متفاوت در نقاط مختلف جهان روی می‌دهد، می‌توان گفت که، هم در کشورهای توسعه یافته و هم در حال توسعه، اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی منطقه‌ای متفاوتی به همراه دارد. لذا برای ارائه تعریف خشکسالی نظرات و پیشنهادات مختلفی وجود دارد. به طور کلی، تعاریف خشکسالی را می‌توان به دو دسته مفهومی و عملی (کاربردی) طبقه‌بندی کرد.

تعاریف مفهومی به صورت توصیفی و مفهومی ارائه شده که در لغت‌نامه‌ها موجود است. به عنوان مثال خشکسالی عبارت است از "یک دوره ممتد کمبود بارش که باعث صدمه به محصولات زراعی و کاهش عملکرد می‌شود". به طور کلی تعاریف مفهومی به دلیل عدم بیان زمان وقوع خشکسالی، نمی‌توانند راهنمای خوبی برای تعیین خشکسالی در پیش روی پژوهشگران قرار دهد. تعاریف عملی (کاربردی)،

¹ Ruiz-Ramos and Mínguez

علاوه بر تعاریف مفهومی، خشکسالی و اثرات آن را در طول یک دوره آماری بیان می‌کند. این تعاریف به پژوهشگران کمک می‌کند تا شروع، شدت و خاتمه خشکسالی را تشخیص داده و حتی در برخی از تعاریف اثرات بالقوه خشکسالی نیز در نظر گرفته می‌شود (<http://www.kashanmet.ir>).

به طور کلی برای ارائه یک تعریف مناسب از خشکسالی باید به سه نکته مهم توجه کرد:

۱- مقدار و شدت بارندگی و یا میزان کمبود آن مشخص شود.

۲- مدت زمان، یک ویژگی مهم در تشخیص خشکسالی است و بایستی برای تعیین میزان درجه خشکسالی و ارتباط بین مدت زمان و شدت مشخص شود.

۳- آستانه‌ای به عنوان یک نقطه مرجع برای تعیین زمان شروع خشکسالی تعیین شود.

طبق تعاریف ارائه شده توسط محققان، خشکسالی را می‌توان به انواع خشکسالی هواشناسی^۱، خشکسالی کشاورزی^۲، خشکسالی هیدرولوژیکی^۳ و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی^۴ طبقه‌بندی کرد (انگبینی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۲-۱- خشکسالی هواشناسی

خشکسالی هواشناسی در بسیاری از منابع با عنوان خشکسالی اقلیم شناسی از آن نام برده شده است، که معمولاً بر اساس درجه خشکی، طول دوره خشکسالی و میزان انحراف واقعی بارش نسبت به مقادیر متوسط ماهانه، فصلی و یا سالانه تعریف می‌شود. به طور کلی خشکسالی هواشناسی بیانگر کمبود و یا کاهش مقدار بارندگی در طی یک دوره زمانی بوده که منجر به خشکی منطقه می‌گردد.

¹ Aerology Drought

² Agricultural Drought

³ Hydrological Drought

⁴ Socioeconomic Drought

۲-۲-۲- خشکسالی کشاورزی

خشکسالی کشاورزی اثرات ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی را با عوامل کشاورزی مرتبط می‌سازد و بیشتر به کمبود بارش، کمبود رطوبت خاک و اختلاف بین میزان تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل تأکید دارد. این نوع از خشکسالی زمانی روی می‌دهد که رطوبت قابل دسترس خاک برای محصولات کشاورزی به سطحی برسد که باعث پژمردگی گیاه و اثرات زیان‌بار بر روی میزان تولید محصول گردد. خشکسالی کشاورزی معمولاً پس از خشکسالی هواشناسی و ماقبل خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و یا اقتصادی- اجتماعی واقع می‌شود.

۲-۲-۳- خشکسالی هیدرولوژیکی

در صورت تداوم طولانی مدت خشکسالی هواشناسی و کاهش حجم جریان آب رودخانه‌ها و یا سطح آب‌های زیرزمینی، خشکسالی هیدرولوژیکی رخ می‌دهد. این پدیده غالباً بر اثر کمبود و یا فقدان بارش زمستانی در عرض‌های میانی به وجود می‌آید. خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر بیشتری نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد، زیرا اثرات کمبود بارش در اجزاء سیستم هیدرولوژیکی نظیر رطوبت خاک، جریان رودخانه و سطح مخازن و آب‌های زیرزمینی دیرتر نمایان می‌شود.

۲-۲-۴- خشکسالی اقتصادی- اجتماعی

خشکسالی اجتماعی-اقتصادی معمولاً پس از یک دوره بسیار طولانی مدت پس از خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حادث می‌گردد، و موجب قحطی، شیوع بیماری، ناامنی، مرگ و میر، بیکاری و مهاجرت‌های گروهی و گسترده می‌شود. همچنین این نوع خشکسالی تأثیرات زیادی بر روی ابعاد مختلف اقتصادی و بویژه انواع خاصی از محصولات و کالاهای اقتصادی می‌گذارد. به طور کلی، تعریف خشکسالی اقتصادی-اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاهای اقتصادی با اجزاء خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است. خشکسالی اقتصادی- اجتماعی زمانی رخ

می‌دهد که تقاضا برای یک کالای اقتصادی به دلیل نقصان عرضه آب از حاصل کمبود بارش از میزان عرضه فزونی گیرد.

۲-۳- پایش خشکسالی^۱

برآورد اثرات و خسارت خشکسالی تا حد زیادی دشوار می‌باشد، زیرا بر خلاف سایر پدیده‌های مخاطره‌انگیز، تعیین دقیق زمان شروع و پایان خشکسالی دشوار است و اثرات آن به آرامی نمایان و به طور گسترده در ناحیه جغرافیائی وسیعی گسترش می‌یابد (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۴). این مسئله اهمیت انجام پایش گسترده و پایش آگاهی را در مناطق خشک و نیمه خشک (مساعد خشکسالی) نشان می‌دهد. شدت و تداوم دو ویژگی اولیه خشکسالی بوده که مستقیماً به مقادیر پارامتر مورد بررسی وابسته هستند. بر همین اساس در پایش خشکسالی که از ابزارهای مهم در مدیریت خشکسالی محسوب می‌گردد، برای بیان کمی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. هدف از تهیه و کاربرد هر شاخص خشکسالی، ارائه یک ارزیابی ساده و کمی سه خصوصیت شدت، تداوم و گستردگی مکانی خشکسالی است. (مرادی و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین شاخص‌ها اطلاعاتی راجع به اثرات خشکسالی بر اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به ما می‌دهند.

۲-۴- شاخص‌های خشکسالی^۲

شاخص‌های خشکسالی مقادیر قابل توجهی از اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی مانند درجه حرارت، بارندگی، برف، جریان رودخانه‌ها و سایر منابع آبی را به کار می‌گیرند تا تصویر جامعی از وضعیت خشکسالی را به طور منطقه‌ای، در قالب محدوده‌ای از اعداد بیان نماید. مقادیر شاخص خشکسالی یک عدد می‌باشد که به مراتب مفیدتر از داده‌های خام مرتبط با این پدیده عمل کرده و در تصمیم‌گیری-

¹ Drought Monitoring

² Drought Indices

های آتی برنامه‌ریزان اهمیت بسزایی دارد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۰). برای پایش وضعیت خشکسالی شاخص‌های متعددی وجود دارد که، هیچکدام ذاتاً نسبت به دیگری ارجحیت نداشته، اما بعضی آن‌ها در شرایط خاص بهتر عمل می‌کنند. این شاخص‌ها در ارزیابی خشکسالی، متناسب با اهداف و داده‌های موجود تعیین می‌شوند. برخی از این شاخص‌ها عبارتند از:

شاخص ذخیره آب سطحی^۱ (SWSI)، شاخص درصدی از نرمال^۲ (PN)، شاخص دهک‌ها^۳ (DI)، شاخص بارش استاندارد شده^۴ (SPI)، شاخص خشکسالی رطوبت خاک^۵ (SMDI)، شاخص شناسایی خشکسالی^۶ (RDI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر^۷ (PDSI). تعریف و شرح مختصر دو شاخص SPI و RDI به دلیل بررسی در این تحقیق، در ادامه ارائه شده است.

۲-۵- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این روش توسط مک‌کی^۸ و همکارانش (۱۹۹۳) ارائه شد. شاخص بارش استاندارد شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به کار برده می‌شود. به عبارت دیگر، با توجه به تغییرپذیری این شاخص می‌توان از آن در مقیاس کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس بلند مدت برای اهداف هیدرولوژی و بر اساس تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه استفاده کرد. همچنین شاخص بارش استاندارد شده رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش‌بینی می‌کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک کرده و نسبت به دیگر شاخص‌ها از پیچیدگی کمتری برخوردار می‌باشد. به علاوه بسیاری از برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان و طراحان خشکسالی چند منظوره بودن شاخص بارش

¹ Surface Water Supply Index

² Percent of Normal Index

³ Deciles Index

⁴ Standardized Precipitation Index

⁵ Soil Moisture Drought Index

⁶ Reclamation Drought Index

⁷ Palmer Drought Severity Index

⁸ Mckee

استاندارد را درک کرده و به اهمیت فوق‌العاده آن پی برده‌اند از سویی به این امر نیز آگاهی دارند که در این شاخص مقادیر و ارزش‌ها بر داده‌های اولیه‌ای که ممکن است تغییر کنند استوار می‌باشند و آن را یکی از نکات ضعف این شاخص در نظر دارند.

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هر منطقه بر اساس ثبت داده‌های بارش در بلند مدت برای یک دوره دلخواه استوار می‌باشد. این گزارشات (بارش) در بلند مدت با یک توزیع احتمال متناسب شده‌اند، بنابراین متوسط بارش استاندارد شده برای هر منطقه و برای هر دوره دلخواهی صفر و انحراف معیار آن یک می‌باشد (ادوارد و مک‌کی^۱، ۱۹۹۷). ارقام مثبت شاخص بارش استاندارد معرف بهتری نسبت به میانگین بارش می‌باشد در حالی که مقادیر منفی این شاخص معرف پایین‌تری نسبت به میانگین بارش می‌باشند. چون شاخص بارش استاندارد شده رقومی شده است یعنی به صورت عدد درآمده بنابراین می‌تواند به روش یکسانی معرف اقلیم‌های خشک و مرطوب باشد همچنین می‌توان دوره‌های مرطوب را نیز از طریق این شاخص نشان داد.

برآوردهای این شاخص می‌تواند ابتدا با استفاده از تابع توزیع احتمال‌های مختلف محاسبه و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل گردد به طوریکه میانگین SPI برای محل و دوره مورد نظر صفر شود (تی-کاس^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). این شاخص بر اساس توزیع گاما توسط تابع فرکانس و یا چگالی احتمال آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (۱۲-۳)$$

که در آن α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس توزیع، x مقدار بارش و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما بوده که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (۱۳-۳)$$

^۱ Edwards and McKee

^۲ Tigkas

با استفاده از تبدیل یاد شده مقدار SPI به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (14-3)$$

که در آن μ تخمین میانگین و σ انحراف معیار می‌باشد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) با توجه به ارزش حاصل از این شاخص و با توجه به خصوصیات شاخص و زمان وقوع آن در یک دوره آماری طولانی مدت شدت دوره‌های خشک را طبقه‌بندی کردند. در این طبقه‌بندی، یک خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد منفی تداوم داشته باشد و همچنین وقوع یک خشکسالی زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد ۱- یا کمتر باشد و در صورتیکه SPI مثبت شود رخداد خشکسالی به پایان خواهد رسید بنابراین هر رخداد خشکسالی یک دوره‌ای دارد که توسط شروع و پایانش و همچنین شدت هر ماهی که رخداد خشکسالی در آن تداوم داشته است تعیین می‌شود. مقادیر طبقات مختلف شدت خشکسالی شاخص SPI ارائه شده مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

۲-۶- شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) بر پایه مفاهیم شاخص بارش استاندارد (SPI) و نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) برای پایش خشکسالی در سال ۲۰۰۵ توسط ساکرپس و وان‌جلیس^۱ ارائه و پیشنهاد شد. فرض اولیه در شاخص شناسایی خشکسالی آن است که مقادیر نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل در بازه‌های زمانی دلخواه از تابع توزیع لوگ-نرمال پیروی می‌کند اما نتایج برخی از تحقیقات بیانگر آن است که تابع توزیع گاما می‌تواند در برخی از مناطق برازش بهتری بر این نسبت داشته باشد. برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. روش محاسبه بدین

¹ Tsakiris and Vangelis

شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان a_0 محاسبه می‌شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (15-3)$$

که در این رابطه، P و ET_0 به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در زامین ماه سال i هستند. مقادیر i تعداد سال‌های آماری موجود می‌باشد. شاخص شناسایی خشکسالی به سه صورت RDI_n ، RDI_s و RDI_n به ترتیب شاخص شناسایی اولیه، شاخص شناسایی نرمال و شاخص شناسایی استاندارد بیان می‌شود (ساکاریس و همکاران، ۲۰۰۷). شاخص شناسایی نرمال هر سال (یا RDI_n) از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1 \quad (16-3)$$

در رابطه فوق \bar{a}_0 میانگین حسابی می‌باشد. در این پژوهش به منظور مقایسه با شاخص SPI از RDI_s استفاده شده‌است. شاخص RDI_s (ساکاریس و وانجلیس، ۲۰۰۵) در هر سال به کمک رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\bar{\sigma}_{y_k}} \quad (17-3)$$

که در آن $y_k^{(i)}$ برابر است با $\ln(a_0^{(i)})$ ، همچنین \bar{y}_k و $\bar{\sigma}_{y_k}$ به ترتیب برابر با میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد می‌باشد. با توجه به اینکه مقادیر طبقات مختلف شدت خشکسالی شاخص RDI مشابه با کلاسه‌بندی ارائه شده مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای شاخص SPI می‌باشد، طبقات این شاخص نیز در جدول (۱-۲) ارائه شده‌است.

جدول (۱-۲) طبقات شدت دوره خشک براساس مقادیر شاخص RDI و SPI

مقدار شاخص	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید (EW ^۱)
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید (SW ^۲)
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط (MW ^۳)
۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نرمال (N ^۴)
۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط (MD ^۵)
۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید (SD ^۶)
۲- یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید (ED ^۷)

۷-۲- برآورد تبخیر و تعرق

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق ساده نمی‌باشد و برای تعیین آن تجهیزات خاص و اندازه‌گیری دقیق عوامل فیزیکی مورد نیاز است. لذا با توجه به دشواری اندازه‌گیری دقیق در مزرعه، تبخیر و تعرق، به طور معمول، با استفاده از داده‌های هواشناسی محاسبه می‌شود. معادلات تجربی و نیمه تجربی بسیاری برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های هواشناسی معرفی شده است. همچنین مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از روش‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق در سراسر جهان انجام شده- است. انتخاب روش مناسب بستگی به داده‌های موجود در ایستگاه‌های هواشناسی همچنین دقت مورد نیاز دارد (گویال^۸، ۲۰۰۴).

۷-۲-۱- روش هارگریوز - سامانی (HS)

هارگریوز و سامانی ابتدا در سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۸۲ روابطی را برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه نمودند. اما آن‌ها در سال ۱۹۸۵ برای ارتقاء و گسترش و کاربرد آن در سراسر جهان روابط قبلی را

¹ Extremely Wet

² Severe Wet

³ Moderately Wet

⁴ Normal

⁵ Moderately Drought

⁶ Severe Drought

⁷ Extremely Drought

⁸ Goyal

توسعه دادند. معادله هارگریوز- سامانی با داشتن حداکثر و حداقل درجه حرارت قادر است تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در دوره‌های ۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰ روزه و ماهانه محاسبه کند (هارگریوز و سامانی^۱، ۱۹۸۵). تبخیر و تعرق مرجع از رابطه دمائی هارگریوز- سامانی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$ET_o = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a \quad (۶-۳)$$

که در آن:

ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

T_{min} و T_{max} ، میانگین، حداکثر و حداقل درجه حرارت روزانه (°C)

R_a : میزان تابش خورشید به سطح زمین با توجه به عرض جغرافیایی (mm/day).

۲-۷-۲- روش استاندارد پنمن - مانتیث (FPM)

در سال ۱۹۴۸، پنمن رابطه موازنه انرژی را باروش انتقال جرم ترکیب و معادله‌ای برای محاسبه تبخیر از سطح آب آزاد با استفاده از داده‌های استاندارد هواشناسی شامل ساعات آفتابی، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد را ارائه کرد. این روش که به نام روش ترکیبی معروف است، توسط محققان بسیاری توسعه داده شد و با معرفی ضرایب مقاومت به سطوح کشت گیاهان تعمیم یافت (آلن و همکاران^۲، ۲۰۰۹). تبخیر و تعرق مرجع از رابطه پنمن- مونتیت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (۸-۳)$$

که در آن:

Δ : شیب منحنی فشار بخار آب نسبت به دما (KPa/°C)

R_n : تابش خالص خورشید (MJ/m²day)

¹ Hargraves and Samani

² Allen

G: شار گرمایی خاک ($\text{MJ/m}^2\text{day}$)

ρ_a : میانگین دانسیته هوا در فشار ثابت (kg/m^3)

c_p : گرمای ویژه در فشار ثابت ($\text{MJ/kg}^\circ\text{C}$)

$(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار هوا (KPa)

γ : ضریب ثابت سایکرومتری ($\text{KPa}/^\circ\text{C}$)

Γ_a و Γ_s : به ترتیب مقاومت سطحی (ظاهری) و آئروودینامیک (s/m).

۲-۷-۳- روش فائو پنمن - مانتیث (FAO 56)

در ماه مه سال ۱۹۹۰ میلادی، سازمان خواربار و کشاورزی (فائو) هیئت مشورتی از کارشناسان و محققان را با همکاری کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان جهانی هواشناسی^۱ تشکیل داد تا ضمن بازنگری روش‌های این سازمان در زمینه نیاز آبی گیاهان، روش‌ها را تجدید نظر و روزآمد کنند. در گردهمایی کارشناسان، بر استفاده از روش ترکیبی پنمن- مونتیت به عنوان یک روش استاندارد کارآمد برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع توافق و روش‌هایی نیز، برای محاسبه پارامترهای مختلف پیشنهاد شد. با تعریف گیاه مرجع به عنوان یک گیاه فرضی با ارتفاع ۰/۱۲ متر و مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتابش (آلبیدو) ۰/۲۳ که تبخیر آن شباهت بسیار به تبخیر از سطح وسیع چمن سبز با ارتفاع یکنواخت، رشد فعال و دسترسی به آب کافی دارد، روش پنمن- مونتیت فائو (FAO- 56) توسعه یافت. این روش کاستی‌های روش پیشین پنمن- مونتیت را رفع و مقادیر گیاهان را به داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح جهان نزدیکتر کرد (یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۷). تبخیر و تعرق مرجع با روش پنمن- مونتیت فائو به صورت ذیل برآورد می‌شود:

¹ World Meteorological Organization

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (9-3)$$

در رابطه فوق:

ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه (MJ/m²day)

G : شار گرمایی خاک (MJ/m²day)

T : متوسط دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲ متری (°C)

u_2 : متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)

e_s و e_a : به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار بخار آب در دمای واقعی (KPa)

$(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار (KPa)

Δ : شیب منحنی فشار بخار آب (KPa/°C)

و γ : ثابت سایکرومتری (KPa/°C) می‌باشند.

۲-۸- پیشینه تحقیق

۲-۸-۱- مقدمه

در چند دهه اخیر در سطح جهان شاهد پدیده‌هایی چون وقوع سیل‌هایی با شدت بالا، گرما و سرماهای بی‌موقع، بالا آمدن سطح آب دریاها، ازدیاد آفات و بیماری‌های گیاهی، کاهش ضخامت لایه ازن، گرم شدن جهانی آب و ذوب شدن یخ‌های دائمی بوده‌ایم، که چنین رویدادهایی به مطرح شدن مقوله "تغییر اقلیم و تشدید بلایای اقلیمی" منجر شده است. به عبارت دیگر موضوعات خشکسالی، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از چالش‌های مهم حال حاضر جهان به شمار می‌آیند که می‌توانند باعث وقوع نوسانات گسترده در شرایط آب و هوایی کره زمین شوند. این نوسانات موجب تغییرات وسیعی در الگوهای آب و هوایی (نظیر توزیع بارش و رخداد پدیده‌های حدی جوی) شده و در پی آن باعث

گسترش و تداوم خشکسالی، فرسایش خاک، بیابان‌زایی، وقوع ریزگرد و تخریب‌های زیست‌محیطی گردیده است. نوسانات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی می‌باشد که بر اثر آن ناهنجاری‌هایی در روند پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما می‌شود. خشکسالی‌ها نشانه روشنی از این نوسانات می‌باشند که بسیاری از مناطق به ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا منجمله کشور ایران را با شدت و دامنه گسترده‌تر نسبت به قبل با خسارت فراوان اقتصادی، اجتماعی، انسانی و زیست‌محیطی هر چند سال یکبار در بر می‌گیرند. در رویارویی با چنین چالش‌هایی انجام تحقیقات کاربردی، خصوصاً در زمینه بررسی اثرات و مدیریت ریسک بلایای جوی- اقلیمی، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

۲-۸-۲- مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم

پژوهشگران هوا و اقلیم‌شناسی در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی ناشی از گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کلی زمین و به دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین را مهمترین نگرانی موجود می‌شمارند. به طور کلی، امروزه، کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو در تصویرسازی اقلیم آتی بسیار گسترده شده است، در ادامه جدیدترین تحقیقات انجام شده در این زمینه ذکر گردیده است.

هومهر و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات بالقوه بارش‌های فرسایشی را تحت سناریوهای تغییر اقلیم (GCM) مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه از مدل RUSLE تحت سه سناریوی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه جدید شرق تنسی^۱ استفاده شده است. نتایج نشان از افزایش بارش‌های فرسایشی ماهانه در هر سه سناریوی انتشار A1، A1B و A1FI می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بارش‌های سالانه فرسایشی در سال ۲۰۹۹ در حدود همان چیزی است که در حال حاضر در مرکز آلاباما^۲ تجربه می‌شود.

^۱ Tennessee

^۲ Alabama

سرپا^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای اثرات تغییر اقلیم را بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش، بررسی کردند. در راستای این مطالعه، از دو حوضه متفاوت، یکی، حوضه خشک گوادالوپ^۲ و دیگری حوضه مرطوب ساو لورنسو^۳ و مدل SWAT و دو سناریوی تغییر اقلیم استفاده شده است. نتایج بیانگر کاهش بارش سالانه برای حوضه خشک و مرطوب به ترتیب به میزان ۰.۸٪ و ۱.۲٪ و افزایش در فصل زمستان است.

میشرا و لیلهار^۴ (۲۰۱۶)، حساسیت هیدرولوژیکی حوضه رودخانه را نسبت به تغییر اقلیم در شبه قاره هند مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از مدل SWAT و ریز مقیاس‌نمایی مدل GCM تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. پیش‌بینی‌ها نشان از افزایش دما به میزان ۰/۵-۰/۸، ۱/۰-۲/۰ و ۲/۵-۳/۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۹ و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در طول فصول باران‌های موسمی و افزایش ۳-۵ درجه سانتی‌گراد در فصول پس از باران‌های موسمی می‌باشد. و در نهایت نتایج نشان می‌دهد که رواناب سطحی و بارش‌های موسمی تحت تأثیر دما و تبخیر و تعرق می‌باشد.

باچچلت^۵ و همکاران (۲۰۱۶) اثرات تغییر اقلیم را در بیابان جنوب کالیفرنیا^۶، تجزیه و تحلیل کردند. در این مطالعه از یک مدل پوشش گیاهی تحت شرایط تغییر اقلیم برای نشان دادن تغییرات زمانی و مکانی در پوشش گیاهی و دما استفاده شد. نتایج نشان داد که جنوب کالیفرنیا در حال حاضر با توجه به تغییر اقلیم شاهد افزایش دما و تغییر در پوشش گیاهی بوده است. همچنین تمام پیش‌بینی‌های CMIP5 نشان داد که دما در حال افزایش و تغییرات و پراکندگی بارندگی به صورت فصلی متفاوت

¹ Serpa

² Guadalupe

³ São Lourenço

⁴ Mishra and Lillhare

⁵ Bachelet

⁶ California

است. به طور کلی نتایج حاصل اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی جهت احداث انرژی‌های تجدیدپذیر در منطقه ارائه داد.

یان^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی پاسخ هیدرولوژیکی بالادست حوضه رودخانه مروارید در جنوب چین را با توجه به تغییر اقلیم آینده مورد بحث و بررسی قرار دادند. به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر جریان و دبی فصلی رود مروارید^۲ از مدل متغییر ظرفیت نفوذ (VIC) و پنج مدل GCM تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. نتایج حاکی از کاهش دبی در فصول خشک و متوسط جریان (۶-۴۸٪) در سراسر حوضه رودخانه مروارید است.

محمود و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی اقلیم آینده در دو زیر حوضه از جهلم^۳ (TPPB و OPPB) پرداختند. در این تحقیق، از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 استفاده شده است. نتایج افزایش متوسط دمای سالانه در هر دو زیر حوضه، و متوسط بارش سالانه را تحت هر دو سناریو در حوضه TPPB افزایش و در حوضه OPPB همراه با کاهش نشان داده است. نتایج در مقیاس فصلی حاکی از افزایش ۱/۷-۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد در فصول بهار و پاییز به ترتیب در حوضه‌های TPPB و OPPB، افزایش ۹-۴ درصد بارش در فصول تابستان TPPB و پاییز OPPT و کاهش بارش در حدود ۱۱-۲ درصد در فصول زمستان و بهار به ترتیب در حوضه‌های TPPB و OPPB است. در نهایت، نتایج مکانی در سال ۲۰۲۰ در حدود نیم و در سال ۲۰۸۰ اکثر نقاط حوضه کاهش بارش را نشان داده است.

حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران را در دوره آماری ۲۰۹۹-۲۰۱۱ مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریو انتشار (A1B، A2 و B1) و مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG5.1 استفاده شده است. نتایج

¹ Yan
² Pearl
³ Jhelum

حاکمی از توانایی بهتر مدل ریزمقیاس نمایی در پیش‌بینی دما بوده، و افزایش دما بر اساس تمام مدل-سناریوها در دوره‌های آتی بوده است. نتایج تغییرات بارش نشان داد که مقدار بارش طی فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته، در حالی که بارش‌های بهاره روی ایستگاه‌های نواحی خشک نسبت به نواحی ساحلی افزایش بیشتری خواهد داشت.

بذرافشان دریاگیری و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات پهنه‌های اقلیمی استان گلستان را تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی کردند. در این پژوهش از داده‌های دما و بارش روزانه در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۲، خروجی مدل اقلیمی HADCM3 در سه دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰) تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1، و مدل ریزمقیاس نمایی LARS استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره آتی اول بارش و دما (۱/۰۸-۵/۳۷ درجه) افزایش می‌یابد، که بیشترین افزایش دما و بارش به ترتیب مربوط به سناریوی A2 و A1B می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در دوره آتی سوم با وجود افزایش بارش در استان، شاهد پیش‌روی اقلیم استان به سمت اقلیم خشک‌تر خواهیم بود که این می‌تواند به دلیل افزایش دما باشد.

حسینی‌خواه و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی را در سه ایستگاه کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب صحت‌سنجی کردند. در این مطالعه ۱۰ مدل گردش عمومی تحت سه سناریوی انتشار (A1B، A2 و B1)، آزمون نیکویی برازش و معیارهای ارزیابی خطا استفاده شد. نتایج آزمون مدل‌ها نشان داد که معنی‌داری مدل‌های متفاوت، بیانگر دقت یکسان آنها نیست. همچنین نتایج معیارهای ارزیابی و روش وزن‌دهی نشان داد که برای هر سه ایستگاه، مدل‌های ECHO-G و HADCM3 بهترین مدل برای شبیه‌سازی دما و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۲ و ۰/۱۵ بوده، و سناریوی A1B و A2 سناریوهای منتخب این دو مدل خواهند بود.

گودرزی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی پارامترهای هواشناسی را با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی کردند. در این تحقیق از داده‌های روزانه دما و بارش در حوضه قره‌سو و دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰

به عنوان داده ورودی مدل LARS-WG استفاده گردید. سپس با استفاده از آزمون t ، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تعیین (R^2) بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده کارایی مدل بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل LARS-WG کارایی لازم در این حوضه را جهت تولید پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی دارا می‌باشد. همچنین مقادیر مشاهداتی و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد و همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیشترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کمترین میزان همبستگی را داراست.

پورعلی حسین و مساح بوانی (۱۳۹۲) ریسک اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش در استان آذربایجان شرقی را تحلیل کردند. در این تحقیق، از داده‌های ماهانه دما و بارش از ۱۵ ایستگاه هواشناسی، ۱۶ مدل جفت شده گردش عمومی جو (AOGCM) تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، و ریز مقیاس نمایی به روش Bias Correction/Spatial Downscaling استفاده شد. نتایج نشان داد که در سطح ریسک ۱۰ درصد دما ۲/۹-۳/۱۵ درجه افزایش، و مقدار بارش ۷۵-۱۵۰ میلی‌متر کاهش، همچنین در سطح ۲۵ درصد دما ۲/۱-۲/۲۵ درجه افزایش، مقدار بارش در برخی نقاط کاهش و در برخی دیگر افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج مربوط به سطح ریسک ۵۰ درصد نشان داد که دما و بارش افزایشی تقریباً ۱/۲ درجه و ۵۲۵-۳۵۰ میلی‌متر خواهند داشت.

آشفته و مساح بوانی (۱۳۹۱) به بررسی اثرات عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه قرنقو پرداختند. در این تحقیق از مقادیر دما و بارش ماهانه هفت مدل AOGCM تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B2 برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تهیه و کوچک مقیاس شدند. نتایج نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره آتی برای سناریوی A2، بین ۰/۲ تا ۳ و برای B2 بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه

افزایش می‌یابد. همچنین محدوده تغییرات بارش برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و سناریوی A2، بین ۹۳- تا ۱۳۹٪ و برای B2 بین ۶۱- تا ۱۵۷٪ پیش‌بینی شده است. نتایج حاکی از وزن بالای مدل HadCM3 در شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش بوده و نتایج شبیه‌سازی رواناب با استفاده از IHACRES نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه در دوره آبی افزایش و ضریب تغییرات دبی کاهش خواهد یافت.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم می‌توان به اهمیت این موضوع در شبیه‌سازی مقادیر دما، بارش و بلایای طبیعی در دوره‌های آبی پی برد.

۲-۸-۳- مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی

خشکسالی و پایش آن پدیده‌ای است که از دیرباز توجه انسان را به خود جلب نموده است و تحقیقات فراوان در مورد خشکسالی، اثرات، مدیریت و پایش خشکسالی در اکثر کشورهای دنیا، منجمله کشور ایران به انجام رسیده است، از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته برخی محققان در ذیل اشاره کرد.

لی‌یو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی ویژگی‌های خشکسالی را هم از نظر زمانی و هم مکانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های هواشناسی ۵۴ ایستگاه هواشناسی لس فلات چین^۲ در بازه زمانی ۱۹۵۷-۲۰۱۲ مورد استفاده قرار گرفته، همچنین به منظور ارزیابی خشکسالی در سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، از سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شدت خشکی پالمر خود کالیبره شده (SC-PDSI) و شاخص استاندارد شده تعرق (SPEI) استفاده گردیده است. خشکسالی از نظر مکانی از جنوب شرق به شمال غرب کاهش، و از نظر زمانی افزایش را در

¹ Liu

² Loess Plateau of China

اواخر بهار، اوایل تابستان و اواسط زمستان نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشانگر قدرت شاخص SPEI در راستای تجزیه و تحلیل خشکسالی تحت سناریوهای جهانی تغییر اقلیم می‌باشد.

اسپینونی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی، به بحث و بررسی بزرگترین رویدادهای خشکسالی اروپا را در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۵۰ پرداختند. در این پژوهش، جهت محاسبه خشکسالی از سه شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI)، شاخص تعرق استاندارد شده بارش و شاخص شناسایی خشکی (RDI) و ادغام آن‌ها به یک شاخص ترکیبی در مقیاس ۳ ماهه و ۱۲ ماهه به ترتیب برای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده شده است. نتایج حاصل، بیشترین فراوانی خشکسالی، مدت و شدت را در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در شمال اروپا و روسیه، در سال ۱۹۷۰ در مرکز اروپا و جزایر بریتانیا و در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ در منطقه مدیترانه و جمهوری بالتیک^۲ نشان می‌دهد.

استاگه^۳ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی خشکسالی هواشناسی در اروپا پرداختند. در این تحقیق دو شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد (SPI) و شاخص بارش استاندارد-تعرق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در آن برای بررسی و کنترل اثرات فصلی و سالانه شاخص‌ها از رگرسیون لجستیک استفاده شده است. و در نهایت در چهار سطح کشاورزی، انرژی و صنعت، آب عمومی و آب شیرین این دو شاخص مقایسه و مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر دو شاخص با ضریب همبستگی مناسب، توانایی پیش‌بینی مناسبی در تعیین اثرات خشکسالی هواشناسی دارا هستند.

شاه^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به محاسبه خشکسالی در منطقه سورت (گجرات)^۵ پرداختند. در این پژوهش از شاخص بارش استاندارد شده که از نظر سادگی و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دیگر

¹ Spinoni

² Baltic Republics

³ H. Stagge

⁴ Shah

⁵ Surat District (Gujarat)

شاخص‌ها برخوردار است، استفاده شده است. همچنین از ۴۰ سال داده جهت محاسبه خشکسالی در منطقه مذکور استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که، روش SPI، با در نظر گرفتن تنها، داده‌های بارش نتایج دقیق و بهتری در وضعیت خشکسالی واقعی از خود نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان بیان کرد که این شاخص برای برنامه‌های کاربردی کشاورزی روشی ساده و موثر است.

جین^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به مقایسه چند شاخص خشکسالی در حوضه رودخانه کن^۲ پرداختند. در این مطالعه جهت ارزیابی خشکسالی و مناسب‌ترین شاخص، از شاخص‌های خشکسالی مختلفی همچون شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص مؤثر خشکسالی (EDI)، شاخص چینی (CZI)، خروجی بارش (RD) و دهک بارش بر اساس شاخص خشکی (RDDI) استفاده شده است. این شاخص‌ها بر اساس پنج گام زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه با یکدیگر مقایسه شدند. این مطالعه نشان می‌دهد که، بازه زمانی ۹ ماهه نسبت به چهار دوره دیگر بهترین نتیجه را نشان داده و شاخص‌های RD و RDDI نسبت به دیگر شاخص‌ها از نتایج قابل قبولی برخوردار بوده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که شاخص EDI با توجه به تفاوت گام زمانی این شاخص با دیگر شاخص‌ها، خشکسالی زودتری را نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد. و در نهایت این مطالعه بیان می‌کند که شاخص EDI، نتایج متفاوت‌تری در کشورهایی چون ایران، کره، ژاپن، استرالیا و ترکیه از خود نشان می‌دهد.

وانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی خشکسالی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های بارش و دمای ماهیانه (۱۹۶۰-۱۹۸۹)، و بکارگیری شاخص‌های استاندارد شده بارش تبخیر و تعرق (SPEI)، بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر خود کالیبره (SC-PDSI) به ارزیابی منطقه مورد مطالعه پرداخته است. نتایج، کاهش بارش در حدود ۳۰-۷۰ درصد و افزایش دما را نسبت به مقادیر متوسط ماهانه نشان می‌دهد. مقایسه نهایی

¹ Jain

² Ken

³ Wang

شاخص‌های مذکور، حاکی از دقت شاخص SPEI نسبت به SPI، و پیش‌بینی شدت خشکی‌های خفیف توسط SC-PDSI می‌باشد.

کین^۱ و همکاران (۲۰۱۵) خشکسالی را در حوضه‌های هه^۲ در شمال چین تا سال ۲۰۱۰ تجزیه و تحلیل کردند. در این راستا از دو شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص شدت خشکسالی رطوبت خاک (SMDS) و شاخص نرمال پوشش گیاهی (A-NDVI) استفاده شده است. نتایج بیانگر آن است که شاخص SMDS خشکسالی‌هایی با مدت زمان کوتاه‌تر اما شدیدتر از شاخص SPI از خود نشان می‌دهد به عنوان مثال، در ۵۱ سال گذشته، ۳۶ خشکسالی شدید برای شاخص SMDS و ۴۱ خشکسالی برای شاخص SPI نشان داده شده که بزرگترین آن در سال ۱۹۹۹ رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ارتباط همبستگی بین شاخص SMDS سالانه و شاخص A-NDVI بیش‌تر از شاخص SPI می‌باشد.

هاو و آقاچوک^۳ (۲۰۱۳) در پژوهشی به ارزیابی خشکسالی در کالیفرنیا و کارولینای شمالی^۴ با استفاده از یک شاخص چند پارامتری پرداختند. در این پژوهش از شاخص استاندارد خشکسالی چند متغیره (MSDI) که ترکیبی از دو شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص رطوبت خاک استاندارد (SSI) می‌باشد، استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص MSDI نتایجی نزدیک به شاخص SSI، هم از نظر زمانی و هم تداوم از خود نشان داده و می‌تواند در بهینه‌سازی خشکسالی راه‌گشا باشد.

بابایی فینی و علیخانی (۱۳۹۲) در تحقیقی به پایش و پهنه‌بندی خشکسالی بلند مدت ایران پرداختند. در این تحقیق از داده‌های آماری ۷۰ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ سال و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. نتایج شاخص SPI در بازه ۱۲ ماهه خشکسالی بسیار شدید بالای ۶

¹ Qin

² Haihe

³ Hao and AghaKouchak

⁴ North Carolina

درصد برای شرق و جنوب غرب کشور و بالای ۴/۶ درصد برای غرب، مرکز و شرق کشور و کمتر از ۴ درصد را بقیه مناطق کشور داشته‌اند. در بازه ۲۴ ماهه، درصد خشکسالی بسیار شدید همانند بازه ۱۲ ماهه یک درصد کاهش یافته، ولی دامنه پراکندگی آن در درصدهای بالای ۶ درصد افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، در مناطقی که در بازه ۱۲ ماهه دچار خشکسالی بسیار شدید بوده‌اند، در بازه ۲۴ ماهه نیز دارای خشکسالی شدید هستند. به طور کلی می‌توان گفت که غرب، شرق و جنوب شرق بیشترین خشکسالی شدید را داشته‌اند.

میرعباسی نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای خشکسالی ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از داده‌های دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱ و سه شاخص کمبود توأم (JDI)، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و شاخص اصلاح شده (SPI^{mod}) استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از شاخص SPI^{mod} تا حدود زیادی معایب SPI را برطرف می‌کند و این شاخص همانند شاخص SPI به مقیاس زمانی حساسیت نشان می‌دهد. همچنین نتایج شاخص JDI نشان می‌دهد که در دوره ۱۹۹۶-۲۰۱۱ ارومیه شاهد یک سلسله خشکسالی بلند مدت و شدید بوده، به طوری که در این دوره از ۱۹۲ ماه، ۱۰۱ ماه خشک بوده است. به طور کلی نتایج حاکی از شدت دوره‌های خشک نسبت به دوره‌های تر در ارومیه بوده‌اند.

اکرمی و همکاران (۱۳۹۲) اثرات خشکسالی‌های اقلیمی و آب شناختی را در دشت یزد- اردکان مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های آماری ۱۳۸۹-۱۳۴۰ و دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص منابع آب زیر زمینی (GRI) به ترتیب جهت بررسی خشکسالی اقلیمی و آب شناختی استفاده شده است. نتایج دو شاخص بیانگر افزایش ۱/۳ برابری خشکسالی اقلیمی نسبت به ترسالی اقلیمی، و روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی (متوسط افت سالانه سطح ایستایی در حدود ۰/۵ متر در سال) بوده است. همچنین بررسی رابطه بین شاخص SPI و GRI نشان می‌دهد که

بین وقوع خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه تأخیر زمانی وجود دارد و میزان تأخیر زمانی بین خشکسالی‌های اقلیمی و آب شناختی، حدود ۱ تا ۲ سال برآورد شد.

صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) احتمالات خشکسالی و ترسالی را در تهران برآورد کردند. در این پژوهش از داده‌های بارندگی ایستگاه مهرآباد در دوره ۲۰۰۶-۱۹۵۶، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و مدل زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده شد. با بررسی شدت خشکسالی مشخص شد که خشکسالی ملایم بیشترین سهم را نسبت به سایر خشکسالی‌ها به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۶۷ رخ داده و طولانی‌ترین آن مربوط به دوره ۱۹۶۸-۱۹۶۶ بوده است. همچنین نتایج حاکی از کاهش دوره‌های نرمال و افزایش دوره‌های خشک، کاهش تعداد متوسط خشکسالی و افزایش طول دوره‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی بلند مدت می‌باشد. به طور کلی نتایج افزایش احتمال وقوع پدیده خشکسالی در تهران را نشان داد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص سطح آب استاندارد (SWI)، داده‌های بارندگی یازده ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۵ و ۴۴ عدد چاه پیزومتری در دوره ۱۳۸۶-۱۳۶۴، در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه استفاده شده است. بررسی‌ها از نقطه نظر طولانی‌ترین تداوم خشکسالی آب‌های زیرزمینی و هواشناسی به ترتیب در غرب و بخش‌های شمال شرقی و شرق حوزه اتفاق افتاده است. همچنین نقشه‌های پهنه-بندی خشکسالی با استفاده از SPI و SWI بدست آمده در محیط GIS، نشان داد که خشکسالی هواشناسی از نظر مکانی دارای مشخصی نمی‌باشد، در حالی که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به صورت تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن‌ها در نقاط مشخصی از حوزه که دارای تنش‌های بارشی و انسانی می‌باشد، ایجاد شده است.

لشنی‌زند و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی تطابق خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پرداختند. در این تحقیق از داده‌های روزانه دبی و بارش طی یک دوره ۳۰ ساله در حوزه سراب صیدعلی استفاده شده است. بدین منظور برای داده‌های بارش و دبی ابتدا حداقل ماهانه بارش و دبی هر سال محاسبه شد، سپس با روش ویبول برازش و برای یک دوره صد ساله بسط داده شدند. سپس برای خشکسالی هیدرولوژیکی مقادیر متناطر با دوره بازگشت دو سال هر ماه به عنوان آستانه خشکسالی انتخاب، و برای خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که رابطه مستقیم و معناداری بین دبی و بارش به صورت روزانه، ماهانه و فصلی وجود دارد. به عبارت دیگر همبستگی بین داده‌های روزانه و ماهانه دبی و بارش به ترتیب سطح ۹۵ و ۹۹ درصدی معناداری را نشان داده‌اند. به طور کلی می‌توان گفت که در سه حالت روزانه، ماهانه و فصلی رابطه از سطح معناداری برخوردار بوده اما مقدار همبستگی در داده‌های بدون تأخیر نسبت به بقیه بیشتر می‌باشد.

صیف و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا پرداختند. در این مطالعه میزان آسیب‌پذیری خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷، و وضعیت خشکسالی آب و زمین‌شناسی طی سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۸۸ با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج روند کاهشی را برای شاخص GRI نشان داده، و خشکسالی آب و زمین‌شناسی با درجات بالا در منابع آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نشان داده است. همچنین با توجه به نتایج، شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص هدایت الکتریکی استاندارد شده (SECI) رابطه معنی‌داری را در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد، که تأثیرپذیری مستقیم کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در دشت فسا تأیید می‌کند.

ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) در پژوهشی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به ترتیب با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص سطح آب استاندارد (SWI) در حوضه چغلوندی در استان لرستان، و داده‌های ۱۸ ساله بارندگی ۸ ایستگاه باران‌سنجی، آمار دبی ۲ ایستگاه هیدرومتری و داده‌های سطح ایستایی چاه‌های پیژومتری استفاده شده است. نتایج بیانگر افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها (به ویژه خشکسالی هیدرولوژیک) بوده و بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) تأخیر زمانی متفاوتی وجود دارد. همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در مناطق جنوبی و مرکزی حوضه شدت بالای این دو خشکسالی را نشان داده‌اند.

با بررسی و دقت در مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های خشکسالی در مناطق مختلف نتایج متفاوتی نشان داده، که مستلزم بررسی شاخص‌های متنوع‌تر می‌باشد. همچنین می‌توان به اهمیت واقعه خشکسالی و اثرات آن در برنامه‌ریزی کلان‌ممل در مدیریت منابع آب پی برد.

۲-۸-۴- مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر تغییر اقلیم در پیش‌بینی خشکسالی

پدیده‌های حدی مانند سیل و خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند. از این رو بررسی این پدیده‌ها برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برخلاف تحقیقات بسیار در زمینه اثرات تغییر اقلیم روی رواناب و سیل، در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی مطالعات به مراتب کمتری انجام شده است.

ونكاترمن^۱ و همكاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی خشكسالی قرن ۲۱م بر اساس CMIP5 پرداختند. این پژوهش در بخش عمده تگزاس^۲ و در راستای مدیریت منابع آب صورت گرفته است. در این پژوهش از سه نماینده روند انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5، و دو شاخص خشكسالی بارش استاندارد شده تبخیر و تعرق (SPEI) و شاخص بارش استاندارد (SPI)، جهت ارزیابی خشكسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده استفاده شده است. نتایج حاصل، حاکی از شبیه‌سازی بهتر دما نسبت به بارش بوده به طوری‌که، در مناطق نیمه‌خشک مورد مطالعه، تحت RCP4.5 کاهش روند بارش نشان می‌دهد. همچنین عملکرد شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI بهتر بوده و خشكسالی با شدت کمتر را برای ایالات نیمه مرطوب شرقی پیش‌بینی شده است.

داسکالو^۳ و همكاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به بررسی متغیرهای خشكسالی تحت سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. در این مطالعه از مدل‌های منطقه‌ای و جهانی اقلیم تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 جهت ارزیابی خشكسالی از شاخص شدت خشكسالی پالمر استفاده شده است. نتایج در شرق رومانی تحت تغییرات اقلیم، PDSI کمتر و در نتیجه میل به خشکی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاکی از آن است که رابطه تورنت-ویت برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه تمایل به خشکی بیشتری نسبت به روش پنمن-مانتیت نشان می‌دهد. و در نهایت خشكسالی خفیف یا بیشتری در فصل تابستان در پایان قرن ۲۱ نسبت به پایان قرن ۲۰ رخ خواهد داد.

اسدی‌زارچ^۴ و همكاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای، ارزیابی خشكسالی را تحت گرمایش جهانی مورد بحث و بررسی قرار دادند. در این مطالعه از مدل‌های GCM و دو شاخص خشكسالی بارش استاندارد شده (SPI) مبتنی بر بارش و شاخص شناسایی خشکی (RDI) مبتنی بر بارش و PET استفاده شده است. در همین راستا، PET بعد از مقایسه نتایج چند رابطه از رابطه FAO56-PM محاسبه شده است.

¹ Venkataraman

² Texas

³ Dascălu

⁴ Asadi Zarch

همچنین داده‌های این مطالعه (۱۹۶۰-۲۰۰۹) از پایگاه CRU TS 3.1^۱ استخراج شده است. نتایج بیانگر آن است که در سال‌های قبل از ۱۹۹۸ شاخص SPI، بیشترین خشکی و در سال‌های پس از ۱۹۹۸ شاخص RDI خشکی بیشتری از نشان می‌دهد. بطور کلی، نتایج نشان می‌دهد که با توجه به تغییر اقلیم آینده پارامتر PET یکی از اجزاء مهم در مدل‌سازی خشکسالی محسوب می‌شود.

نام^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی، ریسک خشکسالی را در زمینه تغییرات اقلیم در کره جنوبی مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق، پارامترهای مشاهده‌ای ۵۴ ایستگاه هواشناسی (۱۹۸۱-۲۰۱۰) استخراج و سناریوهای پیش‌بینی شده تغییر اقلیم توسط مدل RCPs در دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ استفاده شده است. همچنین جهت ارزیابی خشکسالی از سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شدت خشکی پالمر خود کالیبراسیون (SC-PDSI) و شاخص استاندارد تبخیر و تعرق (SPEI) استفاده شده است. نتایج بیان می‌کند که شاخص SPEI نسبتاً خشکسالی‌های بیشتری از خود نشان داده و با توجه به افزایش قدرت، زمان و شدت خشکسالی‌ها در آینده باید در مدیریت ریسک خشکسالی آن را مد نظر قرار داد.

لنگ^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم در خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی پرداختند. در این مطالعه از سه شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص استاندارد شده رطوبت خاک (SSWI) و شاخص استاندارد شده رواناب (SRI) و پنج مدل گردش عمومی جو تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 استفاده شده است. نتایج نشان از خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی مدت‌تر در اکثر نقاط چین در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از افزایش ۶ تا ۲۶ ماه خشکسالی برای خشکسالی کشاورزی، افزایش ۳، ۲ و ۱/۵ برابری به ترتیب برای شدت خشکسالی هیدرولوژیکی، هواشناسی و خشکسالی کشاورزی نسبت به دوره پایه، و افزایش ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است.

^۱ Climate Research Unit, University of East Anglia

^۲ Nam

^۳ Leng

توما^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای ارزیابی چند مدل و چند شاخص از ویژگی‌های خشکسالی در قرن ۲۱ را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه از ۱۵ مدل جهانی آب و هوا و چهار شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، رواناب استاندارد شده (SRI)، بارش استاندارد-تعرق (SPEI) و عرضه و تقاضا شاخص خشکی (SSDI) استفاده شده است. همچنین در این مطالعه دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ به عنوان دوره پایه و دو دوره ۲۰۵۴-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۵۵ به عنوان دوره آتی در نظر گرفته شده است. نتایج ناشی از تغییرات اقلیم نشان از افزایش خشکسالی، هم در وقوع و هم مدت زمان، در مناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری می‌باشد. همچنین با توجه به اهمیت درجه حرارت در دو شاخص SPEI و SSDI نتایج دقیق‌تری نسبت به دو شاخص دیگر از خود نشان داده‌اند.

اسپینونی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای روند خشکسالی اروپا را بر اساس رویکرد اقلیمی آن مورد بررسی قرار دادند. بر این اساس از داده‌های ورودی دما و بارش EOBS در بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۵۰، و سه شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شناسایی خشکی (RDI) و شاخص بارش استاندارد شده تعرق (SPEI) استفاده شده است. نتایج نشانگر افزایش متغیرهای خشکسالی در کارپات^۲، جنوب غرب اروپا و مناطق مدیترانه در دوره ۲۰۱۲-۱۹۵۰ است. همچنین نتایج حاکی از کاهش بارش در اسکاندیناوی، بلاروس، اوکراین و روسیه و افزایش در اروپای مرکزی می‌باشد. و در نهایت می‌توان متغیرهای خشکسالی را تابعی از افزایش PET و کاهش بارش دانست.

ماندل و ماجومدر^۳ (۲۰۱۴) در تحقیقی، دوره بازگشت خشکسالی هیدرولوژیکی را تحت تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. داده‌های رودخانه منطقه مورد نظر مبتنی بر ظرفیت نفوذ در این تحقیق از سایت اندازه‌گیری غرب ایالات متحده آمریکا استخراج شده است. در این تحقیق از مدل CMIP3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 و برای ارزیابی خشکسالی از روابط آماری استفاده شده است. نتایج حاصل، خشکسالی زودرس در سطوح بالاتر از احتمال بیشتری رخ خواهد داد.

¹ Touma

² Carpathian

³ Mondal and Mujumdar

پارک^۱ و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی خشکسالی کره را تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند. این پژوهش در سطح کره و با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر روزانه (EDI) و استخراج داده‌های بارش توسط مدل اقلیم HADGM3-RA تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۴ به پیش‌بینی خشکسالی پرداخته شده است. نتایج بیانگر افزایش خشکسالی بسیار شدید در دوره ۸۷ ساله، و شدیدترین خشکسالی‌ها در شمال شرق کره با شدتی در حدود ۲/۸۵ در سال ۲۰۲۷ رخ خواهد داد.

وروچیدو^۲ و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی پرداختند. در این مطالعه از خروجی‌های دما و بارش سه مدل GCM تحت دو سناریوی A2 و B1 در یک دوره پایه و چهار دوره آبی استفاده شده است. همچنین جهت ارزیابی خشکسالی و متغیرهای هیدرولوژیکی از روش سطح آستانه استفاده شده است. نتایج حاکی از کاهش تمامی پارامترهای هیدرولوژیکی، و افزایش جریان، رطوبت خاک و آب‌های زیرزمینی در هر دو سناریوی انتشار می‌باشد. همچنین نتایج خشکسالی شدید و افزایش خشکسالی را به ترتیب در سناریوی A2 و B1 پیش‌بینی می‌کند.

حسینی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی دشت دزفول- اندیمشک را تحلیل و بررسی کردند. در این مطالعه از خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو (AOGCM) تحت سناریوی انتشار A2، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۸۵ به عنوان دوره پایه و یک دوره آبی (۲۰۸۴-۲۰۶۰) استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که در دوره آبی ۲۰۸۴-۲۰۶۰ تحت هر چهار سناریوی اقلیمی، تداوم خشکسالی با شدت متوسط کاهش، و تداوم خشکسالی با شدت شدید و ضعیف افزایش خواهد یافت. به طور کلی نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در آینده با خشکسالی‌های هواشناسی قابل توجهی مواجه خواهد بود.

¹ Park

² Vrochidou

زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴)، خشکسالی منطقه همدان را تحت تأثیر تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق ریز مقیاس‌نمایی شرایط اقلیم آتی در ایستگاه سینوپتیک همدان با اجرای گروهی داده‌های ۵ مدل GCMs موجود در مدل LARS-WG5 بر مبنای سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰ انجام گردید. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی منطقه از تئوری ران و شاخص خشکسالی بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) استفاده گردید. نتایج حاکی از توانایی مدل LARS-WG5 برای شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی دما و بارش برای دهه‌های آتی می‌باشد. به طوریکه، نتایج افزایش مقادیر دمای حداقل و حداکثر را برای تمامی ماه‌های سال (افزایش دمای متوسط به میزان ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد) و کاهش و افزایش مقادیر میانگین ماهانه بارش را به ترتیب برای ماه‌های مارس، می، نوامبر و ماه‌های فوریه، آوریل و اکتبر (افزایش میانگین بارش به میزان ۲/۵ درصد) بر مبنای هر سناریوی انتشار نشان دادند. همچنین نتایج مقایسه دوره‌های خشک و مرطوب نشان می‌دهند که در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت ۱ و ۳ ماهه تعداد دوره‌های خشک افزایش و در مقیاس‌های زمانی بلند مدت ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه کاهش (افزایش طول و ماندگاری دوره‌های خشک) می‌یابد. این در صورتی است که تعداد دوره‌های مرطوب در تمامی مقیاس‌های زمانی افزایش می‌یابد.

امیری و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات اقلیمی را در بروز خشکسالی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص ناهنجاری بارش (RAI) و شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)، تحلیل روند سری زمانی و تعیین جهش‌ها در شاخص دما و بارش منطقه آق‌گل به کمک آزمون گرافیکی کندال در سه ایستگاه سینوپتیک منطقه تحلیل شده است. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعاتی حاشیه تالاب آق‌گل طی دوره ۳۰ ساله به لحاظ اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی وضعیت پایداری ندارد. همچنین نتایج روند افزایشی و معنی-

داری برای دما نشان دادند. به طور کلی خشک شدن این تالاب را مرتبط با تنش‌های خشکسالی و تغییرات اقلیمی دانست.

صالح‌پور و همکاران (۱۳۹۳) اثرات تغییر اقلیم را بر ویژگی‌های خشکسالی در شمال غربی ایران، بحث و بررسی کردند. در این تحقیق از مدل گردش عمومی جو (HadCM3) تحت سناریوی انتشار A2، مدل ریزمقیاس‌نمایی (SMDSM 4.2.9) و شاخص استاندارد شده بارش (SPI) استفاده گردید. همچنین از دوره ۱۳۵۶-۱۳۸۵ به عنوان دوره مشاهداتی و دوره‌های ۱۴۱۵-۱۳۸۶، ۱۴۴۵-۱۴۱۶ و ۱۴۷۵-۱۴۴۶ به عنوان سه دوره شبیه‌سازی شده آتی استفاده شد. نتایج نشان داد که بارش متوسط سالانه در دوره‌های آتی در سه ایستگاه اردبیل، خوی و ارومیه کاهش خواهد داشت، به طوریکه ایستگاه اردبیل با کاهش ۳۲ درصدی بیشترین کاهش را به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت و فراوانی بیشتر در دوره‌های آتی است، به گونه‌ای که ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه و ایستگاه اردبیل در مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه بیشترین دوره خشکی را مبتنی بر بیشینه شدت تجمعی به خود اختصاص داده‌اند.

سیاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی روند خشکسالی را در حوضه کشف‌رود تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دارند. در این تحقیق از خروجی مدل گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (HadCM3) تحت سناریوی A2 و B2 و مدل ASD جهت ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد. همچنین جهت پایش خشکسالی از سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص درصد از نرمال بارش (PNPI) و شاخص بارش کشاورزی (ARI) و دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و سه دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از افزایش فراوانی وقوع خشکسالی، میانگین بارش، حداکثر و حداقل دما تحت شرایط تغییر اقلیم برای هر دو سناریوی انتشار و تحت سه دوره می‌باشد. به طور جزئی‌تر نتایج (۱) افزایش میانگین بارش برای سناریوی A2 و B2 به ترتیب در حدود ۴/۴۲-۲/۲۲ و ۸/۶۳-۶/۸۲ درصد، (۲) افزایش حداکثر درجه

حرارت برای سناریوی A2 و B2 به ترتیب در حدود ۴/۶-۵/۶ و ۴/۶-۴/۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۳) افزایش حداقل درجه حرارت برای سناریوی A2 و B2 به ترتیب در حدود ۱/۵۶-۱/۹۸ و ۱-۲/۲۳ درجه سانتی‌گراد، را نشان دادند.

گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو را تحت تغییر اقلیم بحث و بررسی کردند. در این پژوهش از خروجی مدل HadCM3 تنها مدل گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی با در نظر گرفتن عدم قطعیت این مدل‌ها با استفاده از مدل SMDSM، دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه استفاده شده است. همچنین برای پایش خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و برای پایش شدت از شاخص شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه (AWCDS) استفاده گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده افزایش بارندگی و بهبود وضعیت انواع خشکسالی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ در حوضه قره‌سو می‌باشد. همچنین نتایج نشان دادند که با توجه به دوره بازگشت‌های مختلف، در مقیاس‌های کوتاه مدت تغییرات اندک در سطح آب‌سدها و کشاورزی دیم، کاهش احتمال وقوع خشکسالی هیدرولوژی در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، و در مقیاس ۲۴ ماهه، وقوع خشکسالی کشاورزی تا حدی مطلوب کاهش خواهد یافت.

صالح نیا و همکاران (۱۳۹۲) خشکسالی را در حوضه نیشابور با استفاده از شاخص PDSI تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بحث و بررسی قرار دادند. در این تحقیق از خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG، با در نظر گرفتن دو دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۰ و ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به ترتیب به عنوان دوره پایه و دوره آتی استفاده شده است. همچنین به منظور پایش خشکسالی از شاخص خشکسالی پالمر استفاده شد. ابتدا نتایج (۱) افزایشی در حدود ۱۲ و ۳۰ درصد در دهه اول و دوم و کاهش معادل ۵ درصد را در دهه سوم برای بارش، (۲) افزایش ۴ و ۶ درصدی برای دمای حداقل به ترتیب در دهه سوم و اول و دوم، و (۳) افزایش ۱ درصدی دمای حداکثر را برای هر سه دهه نشان دادند. و در نهایت نتایج حاکی از مناسب بودن شاخص PDSI در حوضه نیشابور بوده و کاهش

طبقات خشکسالی بسیار شدید، شدید و متوسط را در سه دهه آتی نسبت به دوره پایه کاهش نشان داده است.

با توجه به مطالب فوق الذکر و مطالعات انجام شده، علاوه بر مطالعات اندک صورت گرفته در ایران، مطالعه‌ای در زمینه اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی در منطقه سمنان، صورت نگرفته است. همچنین می‌توان بیان کرد که در برخی از مطالعات، تعداد و نوع شاخص‌های خشکسالی از تنوع کمی برخوردار بوده و در اکثر مطالعات صورت گرفته، ارزیابی شدت و مدت خشکسالی و منابع عدم قطعیت در نظر گرفته نشده است. بنابراین، در این تحقیق سعی شده است که با در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم، به بررسی نتایج شاخص‌های خشکسالی (یک و دو پارامتره) پرداخته شود، و شدت و مدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گیرد.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی

شهرستان سمنان دارای مساحتی برابر ۲۲۱۲۰ کیلومتر مربع بوده و از غرب به شهرستان گرمسار و بخش فیروزکوه، از شرق به شهرستان دامغان، از جنوب به کویر مرکزی و به شهرستان نائین (استان اصفهان) و از شمال به شهرستان ساری (استان مازندران) محدود می‌گردد.

۳-۱-۲- توپوگرافی

سمنان در مرکز نیمه شمالی کشور و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های مرتفع البرز قرار دارد و علی‌رغم این که بخش عظیمی از وسعت آن را کویر به خود اختصاص داده است، لیکن سراسر شمال غربی آن از کوه‌های مرتفع و قابل توجهی برخوردار بوده که به تدریج از شمال به جنوب از ارتفاع آنها کاسته شده و نهایتاً به دشت کویر منتهی می‌شود. رشته کوه‌های البرز با ارتفاع متوسط ۳۲۰۰ متر، همچون حصار شهرستان سمنان را از استان مازندران جدا می‌سازد. رشته‌های متعددی از سلسله اصلی جبال البرز جدا و با ارتفاع کمتری تا حدود ۶ کیلومتری شمال سمنان ادامه یافته و بتدریج به زمین‌های با ارتفاع ناچیز منتهی می‌گردد. همچنین یک رشته کوه از سلسله اصلی جبال البرز بین شهرستان سمنان و دامغان کشیده شده که خط الرأس آن حد طبیعی بین این دو شهرستان می‌باشد. بیشتر مراکز انسانی بزرگ این شهرستان در حوضه پایکوهی با ارتفاعات کم واقع شده‌اند. در این حوضه ارتفاع عمومی بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر بوده، به عنوان مثال می‌توان به ارتفاع ۱۱۰۰ متری سمنان اشاره کرد. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب حدود ۸ تا ۱۰ درصد می‌باشد (شجاع، ۱۳۸۹).

۳-۱-۳- آب و هوا

منطقه سمنان به علت همجواری با کویر مرکزی ایران و دامنه جنوبی البرز دارای تنوع آب و هوایی زیادی بوده به طوریکه با کاهش ارتفاع از شمال به جنوب در سطح منطقه دما افزایش و بارش کاهش می‌یابد. در این منطقه به دلیل مشاهده اثرات عامل گرما و بی‌نظمی‌های بارش، می‌توان اقلیم این ناحیه را خشک و نیمه‌خشک گرم دانست.

در بررسی اجمالی دمای منطقه، می‌توان به دو دوره کاملاً متفاوت و مجزای سرد و گرم پی برد، به طوریکه دوره سرد نسبتاً کوتاه، شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر، و دوره گرم، بقیه ماه‌های سال را شامل می‌شود. تغییرات درجه حرارت بین دو دوره شدید بوده و همراه با تغییر ناگهانی دما و شرایط اکولوژیکی نظیر خشکی شدید، انهدام پوشش گیاهی، کاهش ابرناکی و بارندگی، افزایش شدت باد و ... از اواسط بهار می‌باشد. عوامل محلی، موقعیت جغرافیایی، نفوذ و گسترش سیستم‌های مؤثر در منطقه و ارتفاع، نقش بسزایی در تغییرات درجه حرارت بخش‌های مختلف منطقه ایفاء می‌نمایند.

همچنین در مورد بارش در این منطقه می‌توان گفت که، بعلاوه عوامل مختلف نظیر سیطره پرفشار جنب حاره‌ای در فصل تابستان، دوری از دریا (عدم دسترسی به منابع رطوبت)، باد پناه بودن و عدم وجود عامل صعود، از بارش اندک برخوردار است. توده‌های هوای باران‌زا که از غرب و یا شمال غرب وارد کشور می‌شوند، در عبور از ارتفاعات زاگرس، آذربایجان و البرز، فرسایش رطوبتی شدیدی را متحمل می‌شوند و به تدریج که به مرکز و شرق کشور نزدیک می‌شوند، توان باران‌زائی آنها کاهش می‌یابد. به طور کلی رژیم بارش منطقه سمنان مانند اغلب استانهای کشور مدیترانه‌ای می‌باشد، به این مفهوم که فصل خشک و تقریباً فاقد بارش قابل توجه منطقه منطبق بر تابستان و ماه‌های گرم سال، و فصل بارش، منطبق بر زمستان و ایام سرد سال می‌باشد (شجاع، ۱۳۸۹).

۳-۲- اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، مقادیر ماهانه بارش، درجه حرارت کمینه، درجه حرارت بیشینه، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی و متوسط سرعت باد ایستگاه سینوپتیک سمنان در دوره آماری ۴۵ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۹) می‌باشد که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. ایستگاه سینوپتیک سمنان، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۱۲۷ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس آمار درازمدت ۴۵ ساله، در ایستگاه مذکور میانگین دمای حداقل، ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد و بارش بلندمدت سالانه ۱۴۰/۱۴ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ماهانه ۴۵ سال آماری دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک سمنان در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

جدول (۳-۱) مقادیر دما (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) در ایستگاه سینوپتیک سمنان (۱۹۶۵-۲۰۱۰)

پارامتر	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
میانگین حداقل دما	-۰/۶	۱/۲	۶	۱۲	۱۷/۳	۲۲/۷	۲۵/۵	۲۴/۲	۱۹/۹	۱۳/۶	۶/۷	۱/۴
میانگین حداکثر دما	۸/۴	۱۱/۳	۱۷	۲۴	۲۹/۶	۳۵/۳	۳۷/۸	۳۶/۸	۳۲/۶	۲۵/۴	۱۷/۳	۱۰/۶
میانگین دما	۳/۹	۶/۲	۱۱/۵	۱۸	۲۳/۴	۲۹	۳۱/۷	۳۰/۵	۲۶/۳	۱۹/۵	۱۲	۶
میانگین بارندگی	۱۹/۹	۲۰/۹	۲۵	۱۶/۵	۱۳	۴/۱	۳	۲/۶	۱/۵	۶/۲	۹/۵	۱۸/۵

۳-۳- تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه برای دوره‌های آتی

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشند. موسسه IPCC تاکنون پنج ارزیابی عمده FAR-1990، SAR-1995، TAR-2001، TAR-2007، TAR5-2015 ارائه داده است (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). در این تحقیق، از خروجی ۱۴ مدل AOGCM تحت سه سناریو انتشار A2، A1B و B1 مربوط به گزارش چهارم ارزیابی IPCC (AR4) استفاده گردید. مشخصات این مدل‌ها در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

جدول (۲-۳) مشخصات مدل‌های AOGCM منتخب

نام مدل	گروه مؤسس و کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریوهای انتشار
BCM 2.0	Bjerknes Centre for Climate Research/ Norway	T63 (9/1° x 9/1°) L31	0.5°-5/1° x 5/1° L35	A2, A1B, B1
CGCM3T63	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis / Canada	T63 (~9/1° x 9/1°) L31	0.9° x 4/1° L29	A2, A1B, B1
CSIROMK5/3	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation / Australia	T63 (~9/1° x 9/1°) L18	0.8° x 9/1° L31	A2, A1B, B1
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group. Germany/ Korea	T30 (~9/3° x 9/3°) L19	0.5°-8/2° x 8/2° L20	A2, A1B, B1
ECHAM5OM	Max-Planck-Institut for Meteorology / Germany	T63 (~9/1° x 9/1°) L31	1.5° x 5/1° L40	A2, A1B, B1
GFDLCM1/2	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory / USA	2.0° x 5/2° L24	0.3°-0/1° x 0/1°	A2, A1B, B1
GISS-ER	Goddard Institute for Space Studies / USA	4° x 5° L20	4° x 5° L13	A2, A1B, B1
HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met office./ UK	2.5°x75/3° L19	1.25°x25/1°, L20	A2, A1B, B1
INMCM0/3	Institute for Numerical Mathematics / Russia	5° x 4° L21	2.5°x2°, L33	A2, A1B, B1
IPSLCM4	Institut Pierre Simon Laplace / France	2.5° x 75/3° L19	2° x 2° L31	A2, A1B, B1
MIROC2/3 MEDRES	Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)/ Japan	T106 (~1/1° x 1/1°) L56	0.2° x 3/0° L47	A2, A1B, B1
MRICGCM3/2.2 a	Meteorological Research Institute, Japan	T42 (~8/2° x 8/2°) L30	0.5°-7/0° x 1/1° L40	A2, A1B, B1
NCARCCSM3	National Center for Atmospheric Research (NCAR), Community Climate System Model./ USA	T85 (4/1° x 4/1°) L26	0.3°-1° x 1° L40	A2, A1B, B1
NCARPCM	National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF (a primary sponsor), DOE (a primary sponsor), NASA, and NOAA, USA	T42 (4/1° x 4/1°) L26	0.3°-1° x 1° L40	A2, A1B, B1

همانگونه که از جدول فوق مشخص است هر ۱۴ مدل انتخابی تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2، A1B و B1 (بحرانی‌ترین، حد متوسط و کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) اقدام به شبیه‌سازی اقلیم در دوره‌های آتی می‌نمایند.

به دلیل بزرگی سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، در این مدل‌ها شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی (نوسانات روزانه یا ماهانه) همراه با اغتشاش می‌باشد. مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی نیز وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه را تأیید می‌کند. از طرفی مقایسه میانگین بلند مدت این متغیرها با داده‌های مشاهداتی حاکی از توانایی بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی میانگین بلند مدت متغیرهای اقلیمی است. لذا به منظور حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی این مدل‌ها در محاسبات و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، معمولاً بجای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای این داده‌ها استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که بهترین طول دوره آماری برای محاسبه سیگنال‌های تغییر اقلیم ۳۰ سال می‌باشد (دلقدی، ۱۳۹۱). سازمان جهانی هواشناسی به منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در مطالعات مختلف تغییر اقلیم، موجودیت داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه و امکان مقایسه آنها، دوره‌های سی‌ساله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱ را به عنوان دوره‌های پایه پیشنهاد داده است (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۱۹۹۹).

در همین راستا با توجه به موجودیت متغیرهای اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه و همچنین سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. این مجموعه داده‌ها از طریق مرکز توزیع داده که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته قابل دسترسی می‌باشد. جهت دسترسی به داده‌های مربوط به منطقه در دوره‌های ۳۰ ساله پایه و آینده، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز، سری‌های زمانی متغیر اقلیمی (دما و بارش) در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و دوره‌های آتی (۲۰۳۹-

۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) به صورت ماهانه به دست می‌آید (<http://www.ipcc-data.org>).

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۳-۱) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۳-۲) بین میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد (دلقندی، ۱۳۹۱).

$$\Delta T_i = (\bar{T}AOGCM, fut_i - \bar{T}AOGCM, base_i) \quad (۱-۳)$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}AOGCM, fut_i / \bar{P}AOGCM, base_i) \quad (۲-۳)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}AOGCM, fut_i$ و $\bar{P}AOGCM, fut_i$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $\bar{T}AOGCM, base_i$ و $\bar{P}AOGCM, base_i$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

۳-۴- ریز مقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش

روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به روش کوچک مقیاس کردن مشهور می‌باشند. در این تحقیق، به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌ها به لحاظ مکانی از روش تناسبی استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار دارد (رابطه ۳-۳ و ۳-۴).

$$T = T_{\text{base}} + \Delta T \quad (3-3)$$

$$P = P_{\text{base}} \times \Delta P \quad (4-3)$$

در رابطه (۳-۳)، T_{base} دمای ماهانه مشاهداتی در دوره پایه، T دمای تولیدی از پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آتی و ΔT بیانگر سناریوی تغییر اقلیم دمای کوچک مقیاس شده می‌باشند. برای بارندگی (P) نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

همانگونه که در قبل اشاره شد، ریز مقیاس کردن داده‌های اقلیمی یکی از منابع عدم قطعیت به شمار می‌آید. در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد (مینگوئر و روییز-راموس، ۲۰۱۰).

برای تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT و ΔP توسط روابط ۱-۳ و ۲-۳ برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوی انتشار A2، A1B و B1 و برای هر ماه و هر سه دوره آتی جداگانه محاسبه گردید به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه ۱۴ تا ΔT و ΔP محاسبه گردید (دلقندی، ۱۳۹۱).

با توجه به تعداد ΔT و ΔP (۱۴ تا برای هر ماه)، روش‌های معمول در برازش یک تابع احتمال کارایی خود را از دست می‌دهند زیرا نمی‌توان به آنها توزیع مناسبی برازش داد. بنابراین در این تحقیق با توجه به خصوصیات تابع توزیع بتا، روشی با استفاده از این توزیع ارائه می‌شود که با توجه به محدودیت‌های موجود بتواند تحلیل مناسب و قابل قبولی ارائه کند.

توزیع بتا، توسط دو پارامتر شکل و حد بالا و پایین داده‌ها تعریف می‌شود. این توزیع می‌تواند با تغییر دادن دو پارامتر شکل براساس چولگی داده‌ها تعیین شود. بنابراین با توجه به تعداد کم سناریوهای تغییر اقلیم می‌تواند توزیع مناسبی برای فرموله کردن عدم قطعیت‌ها به شمار رود. فرم عمومی برای تابع چگالی احتمال توزیع بتا، بصورت زیر می‌باشد:

$$f(x) = \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} \quad a \leq x \leq b; p, q > 0 \quad (5-3)$$

با توجه به رابطه فوق، p و q پارامترهای شکل، a و b به ترتیب حد پایین و بالای داده‌ها و $B(p,q)$ تابع بتا می‌باشند. با فرض اینکه مقدار میانگین سناریوهای تغییر اقلیم بیشترین وزن تأثیرگذاری را دارد، این توزیع به داده‌ها برازش داده می‌شوند. با تعیین دو پارامتر شکل، این توزیع به گونه‌ای برازش داده می‌شود که مقدار میانگین سناریوهای تغییر اقلیم بیشترین وزن را داشته باشد.

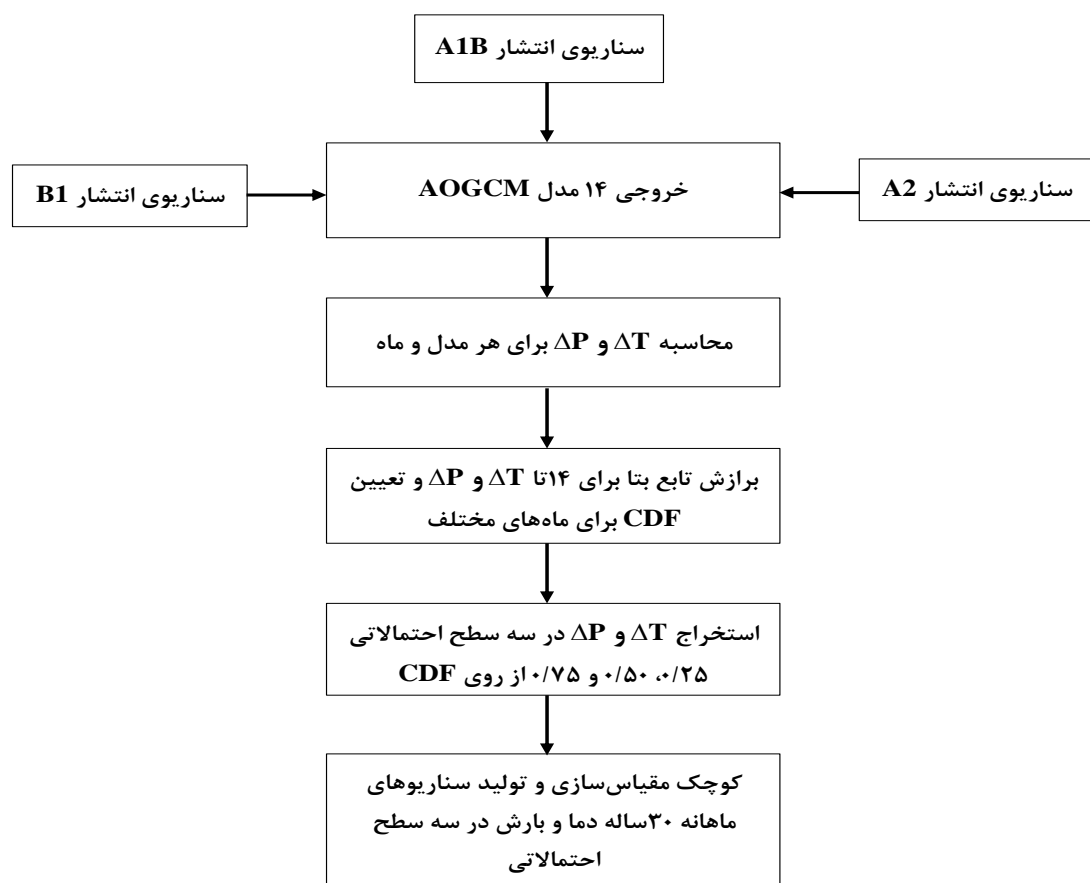
بنابراین با بکارگیری این روش، عدم قطعیت مربوط به استفاده از مدل‌های AOGCM مختلف بصورت احتمالاتی بیان خواهد شد. با استفاده از این روش توزیع بتایی به سناریوهای تغییر اقلیم بارش و دمای حداقل و حداکثر مربوط به هرماه برازش داده می‌شود. سپس با استفاده از این تابع در سطوح احتمالاتی (سطوح ریسک) مورد نظر سناریوهای تغییر اقلیم بارش و دما تعیین می‌شوند.

در نهایت، برای هر ماه یک تابع توزیع بتا برای ΔT ‌های همان ماه و یک تابع توزیع بتا برای ΔP ‌های همان ماه حاصل گردید. تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) ΔT و ΔP برای هر ماه، از تابع توزیع بتای مربوطه تعیین و سپس مقادیر ΔT و ΔP در سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ از CDF مربوطه استخراج گردیدند. این عمل برای همه ۱۲ ماه تکرار گردید. به صورت خلاصه می‌توان گفت که برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت هر سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1، برای هر ماه تعداد سه تا

ΔP و ΔT در سه سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ تعیین گردید. تمامی مراحل فوق برای دوره‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نیز تکرار گردید.

۳-۵- تهیه سناریوهای تغییر اقلیم دوره‌های آتی

برای ساخت سناریوهای تغییر اقلیم مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق و شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI لازم است که سناریوهای بارش و دما در سطوح مختلف احتمالاتی با هم ترکیب شوند. در بخش‌های آتی به طور کامل مراحل توضیح داده خواهد شد. همچنین مراحل تهیه و تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش برای یک دوره آتی و تحت سناریوهای انتشار در شکل (۳-۱) ارائه شده است. این روند برای هر سه دوره آتی و هر سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای تکرار گردید.



شکل (۳-۱) نمودار تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش در یک دوره آتی

۳-۶- شاخص‌های خشکسالی

طی دهه‌های گذشته محققان، شاخص‌های متعددی را به منظور پایش وضعیت خشکسالی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن ارائه داده‌اند. این شاخص‌ها بر اساس تعاریف خشکسالی و روش محاسباتی، که در آن از یک یا چند متغیر هواشناسی و در بعضی موارد همراه با متغیرهای آبشناسی استفاده شده، به دست می‌آیند. در تحقیق حاضر به منظور پایش دوره‌های خشک، شاخص‌های SPI و RDI انتخاب شدند. همچنین در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار آماری Easy fit 5.5، توابع توزیع نامنفی مختلفی بر مقادیر بارش و ET_0 (تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع) تولید شده از سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، جهت محاسبه شاخص‌های خشکسالی برازش داده شد و مناسب‌ترین تابع توزیع، تابع توزیع گاما (Gamma) انتخاب گردید.

۳-۷- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

در این تحقیق، شاخص SPI، با استفاده از نرم‌افزار DrinC تحت تابع توزیع گاما محاسبه گردید. DrinC، نرم‌افزاری جهت محاسبه شاخص‌های خشکسالی یک و چند پارامتره در مرکز ارزیابی مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی فعال و آزمایشگاه احیای آثار و مدیریت منابع آب از دانشگاه ملی فنی آتن تهیه و تولید شده است. همچنین این نرم‌افزار قابلیت اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با استفاده از سه رابطه دمائی هارگریوز، تورنت وایت^۱ و بلانی- کرایدل^۲ دارد.

همانطور که در بخش ۲-۵ گفته شد، برای محاسبه شاخص SPI تنها از داده‌های بارش استفاده می‌گردد. برای محاسبه مقادیر این شاخص تحت سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ در دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹)، لازم است از سناریوهای بارش تولید شده در شرایط تغییر اقلیم استفاده شود. به عنوان مثال، به منظور محاسبه شاخص SPI با سطح ریسک ۰/۲۵ در

^۱ Thornthwaite

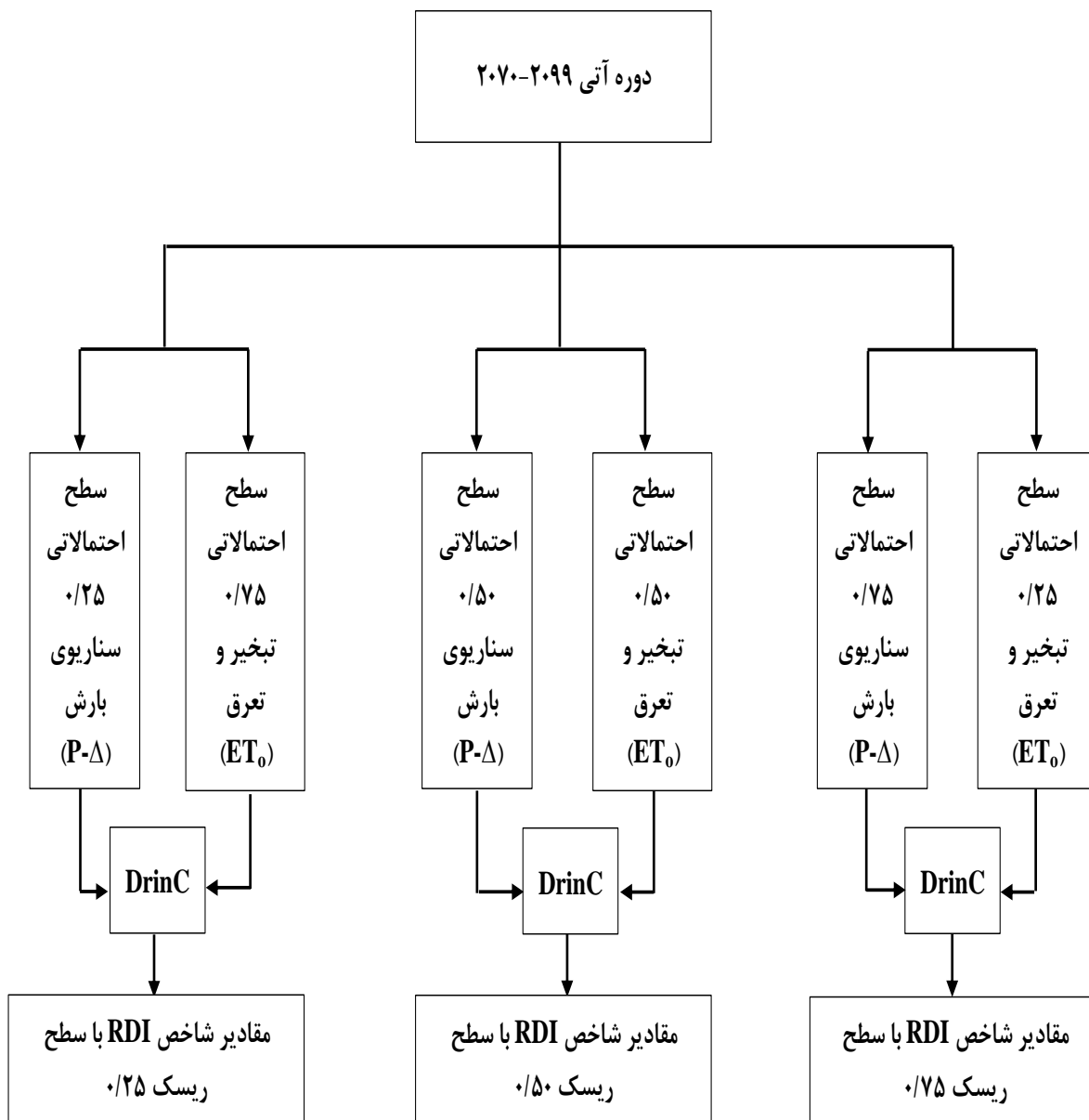
^۲ Blaney- Criddle

مقیاس زمانی سالانه در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2، از مقادیر بارش تولید شده در شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با سطح احتمال ۰/۲۵ تحت سناریو A2 به عنوان داده ورودی استفاده گردید.

۳-۸- شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

برای برآورد شاخص RDI نیز همانند شاخص SPI از نرم افزار DrinC استفاده گردید. برای محاسبه این شاخص بر خلاف شاخص SPI از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق به عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود. بدین منظور پس از تولید مقادیر بارش و ET_0 (تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع) در دوره‌های آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سه سناریو و سه سطح احتمال، با استفاده از نسبت این دو پارامتر مقادیر شاخص RDI، در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ در سه دوره آتی بدست می‌آید.

به عنوان نمونه، برای محاسبه شاخص RDI با سطح ریسک ۰/۲۵ در مقیاس سالانه در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2، از ترکیب $P-\Delta$ سناریوی بارش در دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) با سطح احتمال ۰/۲۵ تحت سناریو A2، و ET_0 در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2، با سطح احتمال ۰/۷۵ به عنوان داده ورودی استفاده شد. برای دو سطح ریسک دیگر، تحت سناریوهای انتشار و سه دوره آتی همانند بالا، داده‌های ورودی برای برآورد شاخص RDI تهیه گردید. مراحل محاسبه شاخص RDI توسط نرم افزار DrinC، با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم در شکل (۳-۲) ارائه شده است.



شکل (۲-۳) نمودار مراحل محاسبه نرم افزار DrinC در دوره آبی سوم تحت یک سناریوی انتشار

به طور کلی، مانند شکل (۲-۳) برای دو دوره آبی دیگر (۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹) نیز این عمل تکرار گردید. و در نهایت ۲۷ سناریوی تغییر اقلیم حاصل گردید که مقادیر شاخص‌های خشکسالی تحت هر کدام از این سناریوها با دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. همچنین با محاسبه مقادیر شاخص‌ها می‌توان روند خشکسالی را تحت هر یک از سناریوهای انتشار

پیش‌بینی نمود و در نهایت وخیم‌ترین سناریو، سطح ریسک و دوره را از نظر شدت و مدت خشکسالی تعیین کرد.

۳-۹- برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط استاندارد^۱ (ET_0)

در این تحقیق ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط استاندارد (ET_0) براساس سه روش رایج و پرکاربرد هارگریوز-سامانی^۲، پنمن-مونتهیث^۳ و پنمن-مونتهیث فائو^۴ (FAO-56) محاسبه و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردید و در نهایت براساس دقت نتایج بهترین روش انتخاب شد.

در این تحقیق از نرم‌افزار REF-ET جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شده‌است. الگوریتم استفاده شده در این نرم‌افزار برگرفته از دستورالعمل ASCE، گزارشات Jensen در سال ۱۹۹۰، نشریه FAO-56 و گزارشات کمیته ASCE روی تبخیر و تعرق در آبیاری و هیدرولوژی در طول سال ۲۰۰۰ می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). این نرم‌افزار قابلیت محاسبه تبخیر و تعرق برای چمن و یونجه را با استفاده از ۱۷ معادله، به صورت ماهانه، روزانه، ساعتی و کمتر دارد.

نرم‌افزار REF-ET طوری طراحی شده که توانایی خواندن هر نوع فایل (ASCLL(regular text) و دیتاهای لایسیمتری را دارد. فرمت فایل دیتاهای هواشناسی توسط فایل‌های definition مشخص می‌شود. این فایل‌ها حاوی اطلاعاتی شامل فرمت دیتاهای هواشناسی، دستور استفاده از دیتاهای خاص و نوع واحدهای اندازه‌گیری می‌باشد. فایل‌های definition همچنین شامل ارتفاع ایستگاه هواشناسی، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع بادسنج، ارتفاع دماسنج و ... و معادلات مورد نیاز برای برآورد تبخیر و تعرق انتخاب می‌شود.

¹ Reference evapotranspiration under standard conditions

² Hargreves- Samani

³ Penman- monteith

⁴ FAO- Penman- monteith (FAO-56)

برای تهیه دیتاهای حداکثر و حداقل دما در دوره‌های آتی مورد نیاز نرم‌افزار، لازم است تا سناریوهای تغییر اقلیم دما تحت سه سطح احتمال، سه سناریو و سه دوره آتی تولید شود. به عنوان مثال، سناریوی اقلیم دمای حداقل تحت سناریوی انتشار A2 در سه سطح احتمال ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ از رابطه (۳-۳) تولید گردید. این روند برای دو سناریوی انتشار A1B و B1 تحت سه سطح احتمال ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای دوره‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نیز تکرار شد.

۳-۱۰- صحت‌سنجی بهترین روش تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع

مقایسه داده‌های مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده، ارزیابی^۱ مدل را تشکیل می‌دهد. در این تحقیق دو روش دمائی هارگریوز- سامانی با روش فائو پنمن-مانتیت (برآورد با استفاده از داده‌های ناقص) بر اساس شاخص‌های آماری با مبنا و مرجع قرار دادن روش استاندارد پنمن-مانتیت (برآورد با استفاده از داده‌های کامل) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۹۴). دلیل اهمیت به کارگیری این دو روش برای تعیین تبخیر و تعرق آن است که در شرایط تغییر اقلیم، همراه با تشدید افزایش دما متغیرهای اقلیمی مرتبط با دما مانند تبخیر و تعرق به طور معنی‌داری متأثر خواهند شد. بنابراین لازم است از مدل‌های مبتنی بر دما برای تبخیر و تعرق استفاده گردد.

از آماره‌های لازم برای این منظور، میانگین ریشه دوم خطا^۲ (RMSE)، ضریب تعیین^۳ (R^2)، میانگین اربیبی خطا^۴ (MBE) و میانگین مطلق خطا^۵ (MAE) را می‌توان نام برد. علاوه بر این آماره‌ها می‌توان از نمودار یک به یک نیز استفاده نمود. آماره‌های فوق با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

¹ Evaluation

² Root Mean Square Error

³ Coefficient of determination

⁴ Mean Bias Error

⁵ Mean Absolute Error

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (7-3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (8-3)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \mu_p)(O_i - \mu_o)}{\sigma_{xp} \times \sigma_{xo}} \right]^2 \quad (9-3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (10-3)$$

در روابط بالا P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده، n تعداد داده‌ها، μ مقدار متوسط داده‌ها و σ برابر با انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. آماره R^2 نسبت پراکندگی¹ را بین روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. RMSE با نشان دادن مقدار خطا دقت روش را مورد بررسی قرار می‌دهد. حداقل مقدار RMSE صفر می‌باشد که نشان دهنده کارایی عالی و یا خوب روش در محاسبه متغیر مورد بررسی می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی برای MAE و MBE به ترتیب فراب‌آورد و کم‌برآورد از مقدار واقعی است. معیار MAE دقت روش و مقدار متوسط خطا است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. MBE، نشانگر میانگین اختلاف مقدار برآوردیاز مقدار مشاهده است، و هر چه کمتر باشد بهتر است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های RMSE، CRM، MBE و NRMSE برابر صفر می‌شود (دلقندی، ۱۳۹۱؛ زارع‌ابیان و همکاران، ۱۳۹۴؛ زارع‌ابیان و همکاران، ۱۳۸۹).

باتوجه به توانایی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، می‌توان پس از صحت‌سنجی و ارزیابی، با انتخاب بهترین روش به برآورد تبخیر و تعرق برای دوره‌های آبی و پایه پرداخت.

¹ Scatter ratio

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج به دست آمده از این تحقیق به همراه تحلیل مربوط به آن‌ها ارائه می‌گردد. نتایج را می‌توان در چند بخش زیر خلاصه نمود:

* تولید سناریوهای تغییر اقلیم حاصل از ۱۴ مدل AOGCM و سه سناریو انتشار در سه دوره ۳۰ ساله آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) برای ایستگاه سمنان با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار.

* بررسی اثر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر روی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از آماره‌های صحت‌سنجی.

* بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته.

* تحلیل شدت، مدت و مقدار خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم.

۴-۲- تولید سناریوهای تغییر اقلیم

در این تحقیق، سناریوهای تغییر اقلیم در سه دوره آتی، طی سه مرحله تهیه و تولید گردید. بر این اساس در مرحله اول مقادیر ماهیانه ΔT و ΔP را برای مدل‌های مختلف AOGCM برای سه دوره آتی محاسبه کرده، سپس در دو مرحله بعد مقادیر ماهانه دما و بارش در سه سطح احتمالاتی (سطح ریسک) تعیین و ریزمقیاس‌نمایی شده است.

۴-۲-۱- تعیین مقادیر ΔT و ΔP

در این تحقیق برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم در سه دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰، از ۱۴ مدل AOGCM در ترکیب با سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1 استفاده

شده است. برای این منظور مطابق آنچه که در بخش ۳-۳ ذکر شده، عمل گردید. ابتدا مقادیر ماهیانه دما و بارش برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و سه دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از سایت www.cccsn.ca اخذ گردید. مقادیر ΔT و ΔP ماهیانه توسط روابط (۱-۳) و (۲-۳) برای هر مدل AOGCM تحت هر سناریوی انتشار محاسبه شد. به عنوان نمونه، مقادیر ΔT ماهیانه برای مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 و دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در جدول (۱-۴) ارائه شده است. بقیه مقادیر ΔT و ΔP در جداول پیوست ارائه شده‌اند (جداول (پ-۱) تا (پ-۱۷)). برای مقادیر ΔP ماهیانه نیز همانند مقادیر ΔT ماهیانه عمل گردید.

جدول (۱-۴) مقادیر ΔT (درجه سانتی‌گراد) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۲/۲۴	۲/۹۸	۳/۰۰	۳/۸۵	۴/۷۶	۴/۳۲	۳/۲۴	۳/۳۶	۳/۴۲	۳/۴۱	۲/۹۶	۲/۹۰
CGCM3T63	۲/۶۳	۳/۵۱	۴/۲۰	۵/۳۸	۶/۲۲	۵/۹۷	۵/۸۱	۶/۳۰	۵/۷۶	۵/۸۱	۴/۰۵	۲/۵۹
CSIROMK3.5	۳/۷۹	۳/۱۲	۳/۲۱	۳/۰۷	۳/۴۴	۴/۱۹	۳/۹۴	۴/۷۹	۴/۲۴	۴/۵۹	۳/۸۶	۳/۲۰
ECHO-G	۳/۹۵	۴/۱۷	۴/۷۳	۵/۱۷	۶/۳۷	۶/۴۵	۵/۸۶	۵/۸۴	۵/۸۲	۵/۴۱	۵/۰۲	۴/۱۲
ECHAM5OM	۳/۴۱	۳/۵۱	۴/۱۹	۴/۰۶	۴/۲۲	۴/۶۲	۵/۲۱	۵/۱۰	۴/۷۰	۴/۶۳	۳/۵۷	۳/۹۰
GFDLCM2.1	۲/۶۹	۳/۶۵	۳/۴۳	۵/۱۹	۶/۳۵	۵/۶۱	۵/۱۲	۴/۷۷	۳/۶۴	۴/۸۵	۳/۵۱	۳/۲۳
GISS-ER	۲/۷۳	۲/۳۷	۴/۲۰	۶/۴۲	۸/۰۹	۷/۵۱	۵/۳۶	۵/۱۲	۴/۲۳	۴/۰۹	۲/۹۲	۲/۴۱
HADCM3	۳/۵۸	۳/۰۹	۴/۱۲	۴/۱۰	۵/۹۳	۵/۴۵	۶/۹۳	۶/۷۶	۵/۵۷	۴/۳۱	۴/۱۶	۳/۵۵
INMCM3.0	۲/۲۶	۱/۸۲	۲/۴۸	۲/۹۶	۴/۰۷	۳/۴۵	۵/۱۷	۴/۶۹	۴/۰۳	۴/۹۰	۴/۱۱	۳/۱۸
IPSLCM4	۳/۳۸	۳/۵۳	۲/۷۵	۳/۲۸	۴/۶۴	۵/۰۳	۴/۶۶	۴/۳۵	۴/۴۹	۳/۷۴	۲/۵۹	۲/۳۹
MIROC3.2 MEDRES	۳/۲۰	۲/۸۷	۲/۶۴	۳/۴۳	۴/۲۷	۴/۹۳	۵/۲۰	۵/۴۱	۴/۹۰	۴/۱۲	۳/۹۲	۳/۶۴
MRICGCM2.3.2a	۱/۵۵	۱/۹۰	۲/۲۲	۲/۹۶	۳/۲۶	۳/۵۵	۳/۲۹	۳/۶۴	۳/۷۷	۲/۵۵	۲/۶۷	۱/۷۷
NCARCCSM3	۲/۴۶	۲/۴۸	۳/۱۴	۴/۱۹	۴/۲۲	۴/۶۱	۵/۸۱	۵/۶۷	۴/۹۶	۴/۷۰	۴/۴۲	۳/۳۷
NCARPCM	۱/۴۲	۱/۳۱	۲/۱۰	۲/۸۹	۲/۸۱	۲/۹۲	۲/۶۶	۲/۹۸	۳/۴۰	۳/۷۴	۳/۰۳	۱/۷۷

برای تعیین تابع توزیع بتا لازم است که مقادیر حداقل و حداکثر و میانگین ΔT و ΔP حاصل از مدل‌های AOGCM تعیین شوند. این مقادیر از جدول (۱-۴) و جداول (پ-۱) تا (پ-۱۷) استخراج شده و مقادیر میانگین ΔT و ΔP به عنوان نمونه در جداول (۲-۴) و (۳-۴) نمایش داده شده‌اند.

جدول (۲-۴) مقادیر میانگین ΔT (درجه سانتیگراد) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره‌های آتی

دوره	سناریوی انتشار	ماه											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
دوره آتی اول	A2	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۹۲	۱/۱۵	۱/۳۹	۱/۴۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۲۹	۱/۴۹	۱/۰۱	۰/۸۵
	A1B	۰/۸۸	۰/۹۰	۱/۰۲	۱/۲۵	۱/۵۳	۱/۴۷	۱/۵۸	۱/۶۱	۱/۳۴	۱/۳۵	۰/۹۱	۱/۰۲
	B1	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۸۹	۱/۰۷	۱/۲۳	۱/۳۵	۱/۴۴	۱/۵۵	۱/۳۵	۱/۲۸	۰/۸۹	۰/۷۹
دوره آتی دوم	A2	۱/۶۴	۱/۷۴	۱/۹۳	۲/۳۰	۲/۶۹	۲/۹۴	۲/۸۹	۲/۸۴	۲/۶۵	۲/۴۶	۲/۱۱	۱/۷۶
	A1B	۱/۷۴	۱/۸۲	۲/۱۱	۲/۵۸	۳/۰۵	۳/۱۰	۱/۹۹	۳/۱۵	۲/۷۶	۲/۶۸	۲/۱۷	۱/۹۱
	B1	۱/۱۸	۱/۲۴	۱/۴۹	۱/۸۰	۲/۱۳	۲/۲۱	۲/۱۸	۲/۲۶	۲/۰۹	۲/۰۲	۱/۴۷	۱/۲۴
دوره آتی سوم	A2	۲/۸۱	۲/۸۸	۳/۳۱	۴/۰۷	۴/۹۰	۴/۹۰	۴/۸۸	۴/۹۱	۴/۵۰	۴/۳۵	۳/۶۳	۳/۰۰
	A1B	۲/۴۳	۲/۵۴	۳/۰۰	۳/۵۰	۴/۳۳	۴/۲۶	۴/۲۰	۴/۲۵	۳/۹۶	۳/۸۸	۳/۲۴	۲/۷۴
	B1	۱/۵۹	۱/۸۹	۲/۰۳	۲/۳۴	۲/۹۸	۲/۹۸	۲/۹۵	۳/۰۳	۲/۷۹	۲/۵۶	۲/۰۸	۱/۷۷

جدول (۳-۴) مقادیر میانگین ΔP (میلی‌متر در روز) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره‌های آتی

دوره	سناریوی انتشار	ماه											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
دوره آتی اول	A2	۱/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۱۱	۱/۲۸	۱/۵۷	۳/۹۷	۶/۶۰	۱/۱۵	۱/۰۷	۱/۰۵
	A1B	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۵	۱/۰۳	۱/۲۶	۱/۳۴	۲/۶۶	۸/۲۶	۱/۲۷	۱/۰۵	۱/۰۴
	B1	۱/۰۳	۰/۹۴	۰/۹۱	۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۳۲	۱/۵۸	۳/۳۳	۶/۶۷	۱/۱۶	۱/۱۰	۱/۰۳
دوره آتی دوم	A2	۱/۰۳	۱/۰۱	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۱۰	۱/۰۸
	A1B	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۹۲	۰/۸۸	۱/۰۱	۰/۹۹
	B1	۱/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۸۹	۱/۱۳	۰/۹۸	۱/۰۷	۱/۰۷
دوره آتی سوم	A2	۱/۰۲	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۶۰	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۷۸	۱/۳۵	۱/۱۷	۱/۱۸	۱/۱۶
	A1B	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۹۴	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲
	B1	۱/۰۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۶۸	۱/۱۱	۱/۰۰	۱/۰۶	۱/۱۱

۲-۲-۴- تعیین مقادیر ΔT و ΔP به صورت احتمالاتی

با استفاده از تابع توزیع بنای مربوط به ΔT و ΔP ها، تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) متناظر با آن‌ها برای ماه‌های مختلف به صورت جداگانه تعیین گردید. سپس از روی CDF، مقادیر ΔT و ΔP در

سه سطح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ استخراج گردید. نتایج حاصل در جداول (۴-۴) و (۴-۵)

ارائه شده است.

جدول (۴-۴) استخراج ΔP در سه سطح احتمالاتی، تحت سه سناریوی انتشار در دوره های آبی (mm/d)

دوره	سناریو	سطح احتمال	ماه												M.P
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
دوره آبی اول	A2	۰/۲۵	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۹۱	۱/۰۱	۱/۲۲	۱/۶۴	۲/۷۳	۶/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۰۳
		۰/۵۰	۱/۰۵	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۰۰	۱/۲۱	۱/۵۲	۲/۳۲	۴/۱۸	۱۰/۸۰	۱/۲۷	۱/۰۹	۱/۰۳	۱/۲۱
		۰/۷۵	۱/۱۲	۱/۰۸	۰/۹۸	۱/۰۹	۱/۴۵	۱/۹۰	۳/۱۵	۶/۰۲	۱۵/۶۶	۱/۵۵	۱/۱۹	۱/۱۱	۱/۴۱
	A1B	۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۹۹	۱/۱۱	۱/۱۹	۱/۶۷	۶/۹۳	۱/۲۵	۱/۰۲	۰/۹۲	۰/۹۷
		۰/۵۰	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۲۱	۱/۴۲	۱/۶۵	۲/۵۳	۱۱/۴۳	۱/۶۱	۱/۱۳	۱/۰۲	۱/۱۵
		۰/۷۵	۱/۰۲	۱/۰۴	۰/۹۶	۱/۰۲	۱/۴۸	۱/۷۹	۲/۲۱	۳/۶۸	۱۷/۴۲	۲/۰۴	۱/۲۶	۱/۱۲	۱/۳۶
	B1	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۰۹	۱/۵۰	۳/۳۴	۶/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۳	۱/۰۲
		۰/۵۰	۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۹۰	۱/۰۲	۱/۱۶	۱/۵۵	۲/۰۸	۵/۰۰	۹/۲۸	۱/۳۳	۱/۱۰	۱/۰۷	۱/۲۰
		۰/۷۵	۱/۱۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۱۰	۱/۳۸	۲/۰۸	۲/۷۸	۷/۱۰	۱۳/۴۰	۱/۷۲	۱/۲۱	۱/۲۰	۱/۴۰
دوره آبی دوم	A2	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۸۸
		۰/۵۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۴	۰/۹۷
		۰/۷۵	۱/۰۷	۱/۰۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۲۱	۱/۲۶	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۱۱	۱/۰۶
	A1B	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۷۸
		۰/۵۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۸۶	۱/۰۷	۰/۹۶	۰/۸۸
		۰/۷۵	۱/۰۶	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۸۳	۱/۳۱	۰/۸۶	۰/۸۷	۱/۱۴	۰/۹۷	۱/۲۰	۱/۰۱	۰/۹۹
	B1	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۹۳	۰/۸۹	۱/۰۶	۱/۰۰	۰/۸۹
		۰/۵۰	۱/۰۲	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۸۹	۱/۰۸	۰/۸۵	۰/۸۹	۱/۱۳	۱/۰۰	۱/۱۳	۱/۰۵	۰/۹۸
		۰/۷۵	۱/۰۹	۱/۰۴	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۰۱	۱/۳۲	۰/۹۷	۱/۰۸	۱/۳۴	۱/۱۱	۱/۲۱	۱/۱۱	۱/۰۶
دوره آبی سوم	A2	۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۶۳	۱/۲۰	۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۰/۸۰
		۰/۵۰	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۸۲	۰/۹۱	۱/۵۷	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۲۳	۰/۹۵
		۰/۷۵	۱/۱۳	۱/۰۸	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۶۲	۱/۳۰	۱/۱۴	۱/۲۳	۱/۹۹	۱/۵۰	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۱۰
	A1B	۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۸۰	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۵	۰/۸۱
		۰/۵۰	۱/۰۶	۰/۹۸	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۸	۱/۰۲	۱/۱۸	۱/۱۵	۱/۱۷	۰/۹۵
		۰/۷۵	۱/۱۸	۱/۰۹	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۳	۱/۰۲	۰/۹۸	۱/۰۲	۱/۲۶	۱/۳۴	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۰۵
	B1	۰/۲۵	۰/۹۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۰	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۵۷	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۳	۱/۰۶	۰/۸۶
		۰/۵۰	۱/۰۵	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۷۸	۱/۱۰	۰/۸۵	۰/۷۲	۱/۲۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۱۵	۰/۹۶
		۰/۷۵	۱/۱۳	۰/۹۸	۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۹۰	۱/۴۷	۱/۰۳	۰/۸۷	۱/۶۳	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۲۶	۱/۰۷

M.P: میانگین تغییرات بارش.

جدول (۴-۵) استخراج ΔT در سه سطح احتمالاتی، تحت سه سناریوی انتشار در دوره‌های آتی ($^{\circ}C$)

دوره	سناریو	سطح احتمال	ماه												M.T
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
دوره آتی اول	A2	۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۰۰	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۷۰
		۰/۵۰	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۹۴	۰/۷۶	۱/۲۶	۱/۲۸	۱/۵۰	۱/۴۷	۱/۲۳	۱/۴۰	۱/۰۷	۰/۷۹	۱/۱۰
		۰/۷۵	۱/۰۸	۱/۱۶	۱/۲۹	۱/۲۰	۱/۸۴	۱/۹۰	۱/۸۹	۱/۹۰	۱/۶۸	۱/۹۳	۱/۵۱	۱/۱۵	۱/۵۴
	A1B	۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۱۲	۰/۷۹	۱/۰۵	۱/۰۹	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۸۲
		۰/۵۰	۰/۹۶	۰/۹۲	۱/۰۰	۱/۱۷	۱/۵۳	۱/۱۹	۱/۴۸	۱/۵۷	۱/۳۷	۰/۹۶	۰/۹۲	۱/۰۴	۱/۱۸
		۰/۷۵	۱/۱۵	۱/۲۴	۱/۲۸	۱/۶۰	۱/۹۵	۱/۷۳	۱/۹۷	۲/۱۰	۱/۷۰	۱/۲۹	۱/۲۳	۱/۴۲	۱/۵۶
	B1	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۴۳	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۹۰	۰/۷۹	۰/۹۶	۱/۰۸	۱/۰۵	۰/۹۱	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۷۲
		۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۹۱	۰/۹۶	۱/۲۶	۱/۳۰	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۲۶	۰/۹۱	۱/۰۷	۰/۸۱	۱/۰۸
		۰/۷۵	۱/۰۳	۱/۰۶	۱/۲۱	۱/۴۱	۱/۵۸	۱/۸۷	۱/۹۵	۱/۹۸	۱/۵۲	۰/۹۲	۱/۳۲	۱/۱۱	۱/۴۱
دوره آتی دوم	A2	۰/۲۵	۱/۱۸	۱/۳۹	۱/۳۷	۱/۶۸	۲/۰۳	۲/۱۲	۲/۲۳	۲/۳۱	۲/۱۸	۱/۹۴	۱/۶۰	۱/۳۳	۱/۷۸
		۰/۵۰	۱/۶۱	۱/۸۳	۱/۸۱	۲/۰۷	۲/۶۱	۲/۸۷	۳/۰۹	۲/۹۳	۲/۶۹	۲/۴۴	۲/۱۴	۱/۷۳	۲/۳۲
		۰/۷۵	۲/۰۹	۲/۱۶	۲/۴۳	۲/۸۴	۳/۳۱	۳/۷۱	۳/۶۳	۳/۴۳	۳/۱۵	۲/۹۸	۲/۶۴	۲/۱۷	۲/۸۸
	A1B	۰/۲۵	۱/۶۳	۱/۳۵	۱/۵۴	۲/۰۰	۲/۱۶	۲/۱۸	۲/۴۰	۲/۵۵	۲/۲۰	۲/۰۲	۱/۷۱	۱/۵۰	۱/۹۴
		۰/۵۰	۲/۱۷	۱/۹۰	۲/۰۶	۲/۴۱	۳/۰۱	۲/۹۲	۳/۳۲	۳/۱۳	۲/۸۰	۲/۲۸	۲/۳۱	۱/۹۲	۲/۵۲
		۰/۷۵	۲/۴۷	۲/۳۴	۲/۶۴	۳/۰۹	۳/۹۳	۳/۹۰	۳/۶۴	۳/۷۴	۳/۳۲	۲/۸۱	۲/۸۴	۲/۳۳	۳/۰۹
	B1	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۷۷	۱/۰۹	۱/۲۰	۱/۳۹	۱/۱۴	۱/۷۷	۱/۷۱	۲/۰۰	۱/۴۸	۱/۱۸	۰/۷۷	۱/۲۴
		۰/۵۰	۰/۴۹	۱/۰۰	۱/۵۲	۱/۷۰	۲/۰۱	۱/۷۷	۲/۳۸	۲/۲۸	۲/۳۰	۱/۸۲	۱/۶۵	۱/۲۳	۱/۶۸
		۰/۷۵	۱/۰۶	۱/۳۵	۱/۹۰	۲/۳۴	۲/۶۷	۲/۶۴	۲/۶۷	۲/۸۲	۲/۵۲	۲/۲۶	۲/۰۳	۱/۷۰	۲/۱۶
دوره آتی سوم	A2	۰/۲۵	۲/۱۱	۲/۲۰	۲/۵۲	۳/۰۶	۳/۵۹	۳/۶۵	۴/۲۱	۴/۰۸	۳/۶۹	۲/۷۱	۲/۹۶	۲/۳۵	۳/۰۹
		۰/۵۰	۲/۸۷	۲/۹۳	۳/۲۶	۳/۷۳	۴/۷۰	۴/۵۱	۴/۳۱	۵/۰۶	۴/۴۱	۳/۲۸	۳/۵۳	۳/۰۳	۳/۸۸
		۰/۷۵	۳/۵۳	۳/۵۹	۴/۰۸	۴/۹۳	۶/۰۹	۵/۵۸	۶/۲۲	۵/۹۷	۵/۲۸	۴/۳۱	۴/۲۲	۳/۶۷	۴/۷۹
	A1B	۰/۲۵	۱/۷۴	۲/۲۰	۲/۳۷	۲/۷۸	۳/۰۶	۳/۲۰	۳/۳۳	۳/۱۶	۳/۳۲	۴/۰۷	۲/۶۵	۲/۰۷	۲/۸۳
		۰/۵۰	۲/۳۸	۲/۹۱	۳/۰۰	۳/۳۸	۳/۷۵	۴/۱۶	۴/۲۶	۳/۹۲	۳/۸۶	۴/۱۴	۳/۱۴	۲/۷۵	۳/۴۷
		۰/۷۵	۳/۰۹	۳/۴۵	۳/۶۳	۴/۱۴	۴/۶۶	۵/۲۶	۵/۱۲	۴/۸۴	۴/۵۲	۴/۲۱	۳/۷۷	۳/۴۱	۴/۱۷
	B1	۰/۲۵	۰/۹۳	۱/۴۳	۱/۴۲	۱/۸۳	۲/۲۴	۱/۷۰	۲/۳۸	۲/۵۱	۲/۲۹	۲/۱۵	۱/۵۷	۱/۲۸	۱/۸۱
		۰/۵۰	۱/۴۷	۱/۹۴	۲/۰۷	۲/۴۱	۳/۰۳	۲/۴۴	۳/۱۶	۳/۳۳	۲/۷۹	۲/۵۱	۲/۱۰	۱/۶۸	۲/۴۱
		۰/۷۵	۲/۲۴	۲/۳۹	۲/۶۶	۲/۸۸	۳/۷۴	۳/۴۳	۳/۶۲	۳/۹۸	۳/۲۹	۲/۹۶	۲/۶۰	۲/۲۰	۳/۰۰

M.T: میانگین دمای سالانه.

در مورد تغییرات بارش در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه، با توجه به جداول (۴-۴) در

دوره آتی اول، می‌توان گفت که مقدار میانگین تغییرات بارش برای سناریوهای انتشار A2، A1B و B1

به ترتیب از ۱/۰۳، ۰/۹۷ و ۱/۰۲ برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۴۱، ۱/۳۶ و ۱/۴۰ برای سطح

احتمالاتی ۰/۷۵ متغیر است. همچنین با توجه به دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹) نسبت به دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، می‌توان گفت که، مقادیر ΔP کاهش بیشتری یافته است. به عبارتی دیگر میزان بارش‌ها در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول، کاهش چشم‌گیرتری خواهد یافت. دلیل این امر را می‌توان اختلاف زمانی بیشتر دوره آتی دوم با دوره پایه نیز دانست. در ادامه، در دوره آتی سوم نیز این روند کاهشی بارش‌ها با شیب کمتری ادامه خواهد یافت. در دوره آتی دوم نیز مشابه دوره آتی اول در سطح احتمالاتی ۰/۲۵، سناریوی A1B نسبت به سناریوی A2 و B1 اعداد کمتری را برای ΔP نشان می‌دهد. در صورتیکه در سطح احتمالاتی ۰/۷۵، سناریوی A2 اعداد بالاتری را نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد.

از جداول (۴-۵) مشخص می‌شود که در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A1B، مقدار متوسط دمای سالانه از ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد برای احتمالاتی ۰/۷۵ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ افزایش خواهد یافت. این مقادیر برای سناریوی A2 و B1 اندکی کمتر می‌باشد به طوریکه تحت این سناریوها مقدار متوسط دمای سالانه به ترتیب از ۰/۷۰ و ۰/۷۲ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۵۴ و ۱/۴۱ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

با توجه به جداول تغییرات دما در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ افزایش دما برای دو سناریوی A1B و A2 محسوس‌تر خواهد بود. به طوریکه میانگین دمای سالانه برای این دو سناریو به ترتیب ۱/۹۴ و ۱/۷۸ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۳/۰۹ تا ۲/۸۸ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ افزایش خواهد یافت.

با دقت در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ شاهد افزایش دمای بیشتری خواهیم بود. برای سناریوی A2 بر خلاف دو دوره آتی قبل افزایش دمای بیشتری شاهد خواهیم بود، به طوریکه میانگین دمای سالانه از ۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۴/۷۹ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی

۰/۷۵ افزایش خواهد یافت. همچنین برای سناریوی B1 همانند دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ افزایش دما خیلی کمتر خواهد بود. مقدار میانگین دمای سالانه تحت این سناریو از ۱/۸۱ تا ۳/۰۰ درجه سانتی-گراد به ترتیب برای سطوح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

به طور کلی با توجه به جداول (۴-۴) و (۵-۴)، با در نظر گرفتن سطح احتمال ۰/۵۰ می‌توان گفت که مقدار بارش در زمستان و بهار کاهش و بارش‌های بهاره و بعضاً تابستانه افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان بیان کرد که میزان بارش سالانه در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره گذشته افزایش و دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ کاهش یافته است.

در مورد تغییرات دما نسبت به دوره پایه نیز می‌توان گفت که مقدار دما در زمستان از افزایش پایین‌تر و ماه‌های پایانی بهار و تابستان افزایش بیشتری خواهد داشت. همچنین دمای متوسط سالانه حدوداً ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش را به همراه خواهد داشت.

۴-۲-۳- ریزمقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه تغییر اقلیم

با استفاده از مقادیر ΔT و ΔP مربوط به هر سطح احتمال و هر سناریوی انتشار (ΔT و ΔP مندرج در جداول (۴-۴) و (۵-۴)) و داده‌های مشاهداتی ماهانه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰، سناریوهای ماهانه تغییر اقلیم (سناریوهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل) در سطوح مختلف احتمالاتی برای هر سه دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) و تحت هر سه سناریوی انتشار (A1B، A2، و B1) تولید گردید.

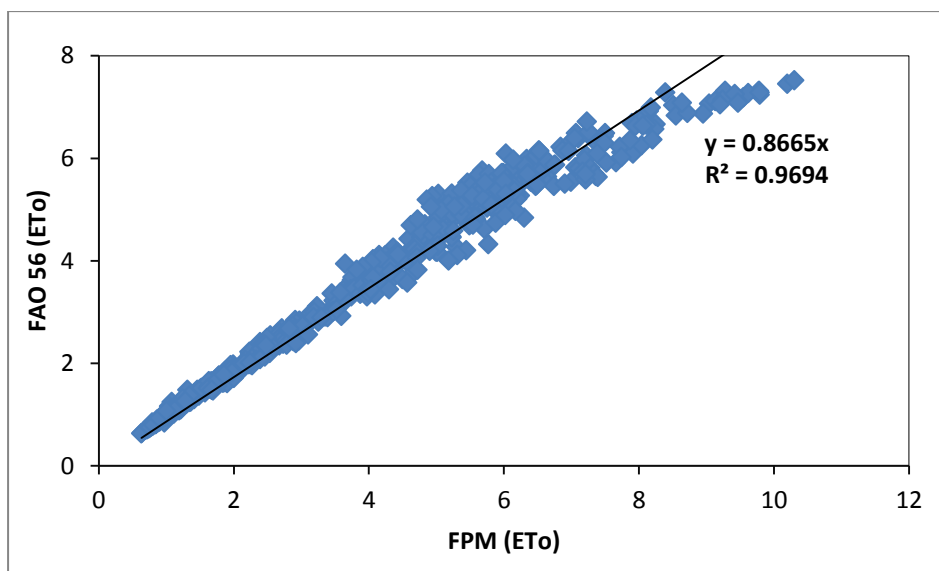
۴-۳- اثرات تغییر اقلیم بر روی تبخیر و تعرق

برای محاسبه مقادیر شاخص RDI علاوه بر مقادیر بارش نیاز به مقادیر تبخیر و تعرق می‌باشد. مقادیر تبخیر و تعرق می‌تواند از پنج روش تورنت-وایت، بلانی-کرایدل، هارگریوز، پمن مانیتیت دمائی و فائو

پنمن مانیتیت برآورد شود. بدین منظور برای دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) تمامی ماههایی که در آنها پارامترهای مورد نیاز روش استاندارد پنمن-مانیتیت (FPM) به طور کامل موجود بودند تعیین و مقادیر تبخیر و تعرق با استفاده از روشهای استاندارد پنمن-مانیتیت (FPM)، هارگریوز-سامانی (HS) و فائو پنمن-مانیتیت (FAO 56) محاسبه گردید. سپس با استفاده از آماره‌های سنجش خطا شامل ضریب تعیین^۱ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و میانگین انحراف خطا^۳ (MBE) معادلات HS و FAO 56 با استفاده از روش مبنا FPM ارزیابی گردید. نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق برای دوره گذشته در جدول (۴-۶) و شکل (۴-۱) و (۴-۲) ارائه شده است.

جدول (۴-۶) نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق با مرجع قرار دادن روش FPM در دوره (۲۰۰۹-۱۹۶۵)

معادلات	آماره‌های ارزیابی خطا			
	R^2	RMSE (mm/d)	MBE (mm/d)	MAE (mm/d)
HS	۰/۸۶	۰/۹۰	-۰/۲۲	۰/۵۹
FAO 56	۰/۹۷	۰/۷۱	-۰/۴۴	۰/۴۶

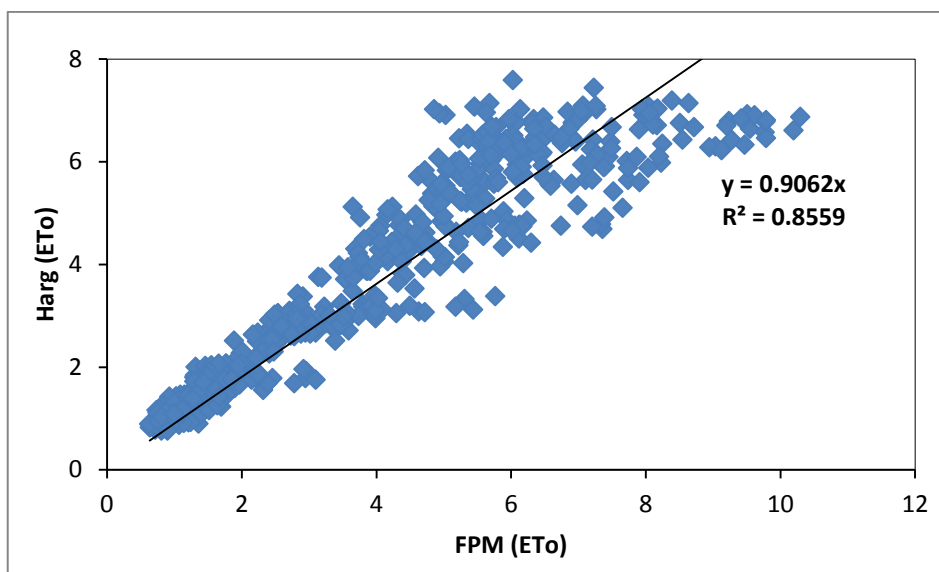


شکل (۴-۱) نمودار مقایسه روش فائو ۵۶ و روش پنمن-مانیتیت جهت محاسبه تبخیر و تعرق

^۱ Coefficient of Determination

^۲ Root Mean of Square Error

^۳ Mean of Bias Error



شکل (۴-۲) نمودار مقایسه روش هارگریوز و روش پنمن-مانتیث جهت محاسبه تبخیر و تعرق

بر اساس نتایج جدول (۴-۶)، روش فائو پنمن-مانتیث (FAO 56) به دلیل همبستگی و دقت بالا به عنوان بهترین روش محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در ایستگاه سینوپتیک سمنان انتخاب گردید. در این مطالعه مقدار تبخیر و تعرق متوسط ماهانه با احتمال وقوع ۸۰ درصد (ریسک ۲۰ درصد) برای دوره‌های آبی و گذشته محاسبه گردید و نتایج آن در جدول (پ-۱۸) ارائه گردید.

با توجه به نتایج مذکور در جدول (پ-۱۸) مشخص می‌گردد، میزان تبخیر و تعرق در سه سطح احتمالاتی تفاوت چندانی ندارند. به بیان دیگر سطوح مختلف ریسک در تولید سناریوهای اقلیمی تأثیر خاصی بر میزان تبخیر و تعرق ندارد. بنابراین به منظور مقایسه بهتر، تبخیر و تعرق حاصل از سطح احتمال ۰/۵۰، به عنوان میانگین سطوح مختلف احتمالاتی انتخاب (جدول ۴-۷) و با تبخیر و تعرق دوره گذشته مقایسه گردید. نتایج مربوط به تغییرات تبخیر و تعرق در سه دوره آبی تحت سه سناریو انتشار نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) در جدول (۴-۸) ارائه گردید.

جدول (۷-۴) میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف با احتمال ۰/۵۰ (mm/d)

دوره	سناریو (۰/۵۰)	ماه												میانگین	مجموع سالانه
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
دوره آتی اول	A2	۱/۱۱	۱/۶۶	۲/۴	۳/۷۶	۴/۸	۵/۹۷	۵/۵۱	۵/۱۲	۴/۲۹	۲/۵۷	۱/۵۴	۱/۱۴	۳/۳۲	۱۲۰۹
	A1B	۱/۱۱	۱/۶۷	۲/۴۱	۳/۷۹	۴/۸۴	۵/۹۷	۵/۵۱	۵/۱۳	۴/۳۱	۲/۵۶	۱/۵۳	۱/۱۴	۳/۳۳	۱۲۱۱
	B1	۱/۱	۱/۶۶	۲/۴	۳/۷۷	۴/۸۱	۵/۹۷	۵/۵۲	۵/۱۳	۴/۳	۲/۵۶	۱/۵۳	۱/۱۴	۳/۳۲	۱۲۰۱
دوره آتی دوم	A2	۱/۱۴	۱/۷۱	۲/۴۷	۳/۸۷	۴/۹۴	۶/۱۶	۵/۶۸	۵/۲۸	۴/۴۳	۲/۶۵	۱/۵۹	۱/۱۸	۳/۴۳	۱۲۴۶
	A1B	۱/۱۵	۱/۷۳	۲/۴۸	۳/۹	۴/۹۸	۶/۱۸	۵/۷	۵/۳	۴/۴۵	۲/۶۵	۱/۵۹	۱/۱۹	۳/۴۴	۱۲۵۱
	B1	۱/۱۱	۱/۶۶	۲/۴۳	۳/۸۴	۴/۸۹	۶/۰۴	۵/۵۹	۵/۲۱	۴/۳۹	۲/۶۲	۱/۵۶	۱/۱۶	۳/۳۸	۱۲۲۸
دوره آتی سوم	A2	۱/۱۹	۱/۷۸	۲/۵۶	۴/۰۲	۵/۱۵	۶/۳۸	۵/۹۱	۵/۵۲	۴/۶۲	۲/۷۴	۱/۶۳	۱/۲۴	۳/۵۶	۱۲۹۴
	A1B	۱/۱۷	۱/۷۶	۲/۵۵	۳/۹۹	۵/۰۷	۶/۳۱	۵/۸۲	۵/۴	۴/۵۴	۲/۷۴	۱/۶۶	۱/۲۲	۳/۵۲	۱۲۷۹
	B1	۱/۱۴	۱/۷۱	۲/۴۸	۳/۹	۴/۹۸	۶/۱۴	۵/۶۷	۵/۳۱	۴/۴۶	۲/۶۶	۱/۵۹	۱/۱۸	۳/۴۴	۱۲۴۹
دوره پایه		۱/۰۸	۱/۶۱	۲/۳۵	۳/۶۹	۴/۶۹	۵/۸۱	۵/۳۶	۴/۹۸	۴/۱۷	۲/۴۹	۱/۴۹	۱/۱	۳/۲۴	۱۱۷۶

جدول (۸-۴) تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم (mm/d)

دوره	سناریو (۰/۵۰)	ماه												میانگین روزانه	مجموع سالانه (mm)	درصد تغییرات
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
دوره آتی اول	A2	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۹	۳۳	۲/۷۳
	A1B	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۰	۳۵	۲/۸۹	
	B1	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۹	۲۵	۲/۰۸	
دوره آتی دوم	A2	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۹	۷۰	۵/۶۲
	A1B	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۲۱	۷۵	۶/۰۰
	B1	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۴	۵۲	۴/۲۳
دوره آتی سوم	A2	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۳۳	۱۱۸	۹/۱۲
	A1B	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۲۸	۱۰۳	۸/۰۵
	B1	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۲۰	۷۳	۵/۸۴

با توجه به جدول (۷-۴) مشخص می‌شود که میزان تبخیر تعرق سالانه در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)

۱۱۷۶ میلیمتر و میانگین تبخیر و تعرق ماهانه ۳/۲۴ میلی‌متر محاسبه شده است. همان‌گونه که از

این جدول مشخص است در دوره آتی اول و دوم سناریوی A1B تغییرات تبخیر و تعرق بیشتر را از

خود نشان می‌دهد، در صورتیکه که سناریوی B1 در هر سه دوره آتی کمترین میزان تغییرات را بیان

می‌کند. به بیان دیگر در دوره آتی اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت دو سناریوی A2 و A1B، تبخیر و تعرق افزایشی در حدود ۲/۷٪ را پیش‌بینی کرده است. و در دوره آتی سوم تغییرات تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به دو دوره آتی اول و دوم شاهد خواهیم بود. در این دوره بیشترین مقدار میانگین تبخیر و تعرق ماهانه مربوط به سناریوی A2 به میزان ۰/۳۳ میلی‌متر (۹٪) و کمترین مقدار آن مربوط به سناریوی B1 با مقدار ۰/۲۰ میلی‌متر (حدود ۶٪) می‌باشد.

به طور کلی می‌توان گفت که در هر سه دوره آتی بیشترین افزایش و میزان ET_0 در هر سه سناریو در ماه ژوئن (اواخر بهار) رخ می‌دهد، به طوری که مقدار آن در دوره آتی سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) و تحت سناریوی A2، A1B و B1 به ترتیب برابر ۰/۵۷، ۰/۵۰ و ۰/۳۳ میلی‌متر می‌باشد. همچنین می‌توان بیان کرد که در دوره‌های آتی افزایش تبخیر و تعرق در اواخر بهار و اوایل تابستان (که اوج نیاز آبیاری اکثر گیاهان می‌باشد) رخ خواهد داد.

۴-۴- اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های خشکسالی

با توجه به هدف تحقیق، پس از محاسبه و بررسی نتایج حاصل از تهیه و تولید سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش، نیاز به محاسبه و بررسی شاخص‌های خشکسالی در دوره‌های آتی می‌باشد.

۴-۴-۱- بررسی طبقات خشکسالی در دوره‌های مختلف

به منظور بررسی طبقات خشکسالی شاخص SPI برای سه دوره آتی، ابتدا مقادیر شاخص در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ و سه سناریوی A2، A1B و B1 با استفاده از نرم افزار DrinC برای چهار مقیاس زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه محاسبه گردید. به همین ترتیب برای دوره گذشته نیز شاخص SPI با استفاده از نرم افزار DrinC محاسبه شد.

بعد از محاسبه مقادیر شاخص خشکسالی برای سه دوره آتی و گذشته، با توجه به کلاسه‌بندی طبقات خشکسالی شاخص SPI، تعداد هر یک از طبقات را بدست آورده، سپس درصد مربوط به هر طبقه، محاسبه گردید. نتایج مربوط به شاخص SPI در سه دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و دوره گذشته ۱۹۶۵-۲۰۰۹ در مقیاس سالانه در جدول (۹-۴) ارائه گردیده است.

جدول (۹-۴) درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته

دوره	سناریو	سطح ریسک	طبقات خشکسالی						
			ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
دوره گذشته (۱۹۶۵-۲۰۰۹)			۰	۷	۱۳	۶۰	۱۳	۵	۲
دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	A1B	۰/۲۵	۳	۷	۳	۶۷	۱۷	۳	۰
		۰/۵۰	۰	۶	۳	۶۷	۷	۱۷	۰
		۰/۷۵	۰	۳	۱۰	۶۴	۱۰	۱۳	۰
	A2	۰/۲۵	۳	۷	۳	۶۷	۱۳	۷	۰
		۰/۵۰	۰	۷	۳	۷۰	۷	۱۰	۳
		۰/۷۵	۰	۳	۷	۶۰	۱۷	۱۰	۳
	B1	۰/۲۵	۰	۱۰	۴	۷۰	۱۰	۳	۳
		۰/۵۰	۰	۷	۳	۷۰	۱۰	۷	۳
		۰/۷۵	۰	۳	۷	۵۷	۲۰	۱۰	۳
دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	A1B	۰/۲۵	۳	۱۰	۷	۷۳	۷	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۷	۷۰	۱۰	۳	۰
		۰/۷۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
	A2	۰/۲۵	۰	۱۴	۳	۷۰	۱۰	۳	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۳	۷۷	۳	۷	۰
		۰/۷۵	۰	۳	۱۰	۷۰	۷	۷	۳
	B1	۰/۲۵	۰	۱۴	۳	۷۰	۱۰	۳	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۳	۷۳	۷	۷	۰
		۰/۷۵	۰	۶	۷	۶۷	۱۰	۷	۳
دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	A1B	۰/۲۵	۰	۱۳	۱۰	۶۷	۱۰	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۳	۷۳	۷	۷	۰
		۰/۷۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
	A2	۰/۲۵	۳	۱۰	۱۰	۷۰	۷	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۴	۷۳	۱۰	۳	۰
		۰/۷۵	۰	۳	۱۰	۷۰	۷	۱۰	۰
	B1	۰/۲۵	۰	۱۴	۳	۷۰	۱۰	۳	۰
		۰/۵۰	۰	۱۰	۷	۷۰	۳	۱۰	۰
		۰/۷۵	۰	۴	۱۰	۷۰	۳	۱۰	۳

با توجه به جدول (۴-۹) می‌توان بیان کرد که شاخص SPI در دوره آتی اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰) نسبت به دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) تحت دو سناریوی A2 و A1B با سطح ریسک ۰/۲۵، طبقه ترسالی بسیار شدید سهم خود را به خشکسالی بسیار شدید داده است. در صورتیکه در دوره آتی دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰)، تنها سناریو A1B تحت سطح ریسک ۰/۲۵ (سطح احتمالاتی ۰/۷۵) خشکسالی بسیار شدید پیش‌بینی شده‌است. در حالیکه سناریوی A2 و B1 سهم خشکسالی بسیار شدید خود را به خشکسالی شدید داده است.

در دوره آتی سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) مطابق جدول فوق سناریوی A2 تحت سطح ریسک پایین خشکسالی بسیار شدید، شدید و متوسط بیشتری را پیش‌بینی کرده است. در صورتیکه ترسالی بسیار شدید و شدید، سهم خود را به طبقه نرمال داده‌اند.

برای محاسبه شاخص RDI نیز همانند شاخص SPI عمل نموده و مقادیر این شاخص را برای سه دوره آتی و گذشته با استفاده از نرم‌افزار DrinC و مطابق بخش ۳-۱۰ محاسبه می‌گردد. پس از محاسبه مقادیر شاخص RDI، درصد مربوط به هر طبقه از این شاخص، محاسبه می‌گردد. نتایج درصد محاسباتی شاخص RDI در سه دوره آتی و گذشته برای مقیاس زمانی سالانه در جدول (۴-۱۰) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۰) درصد طبقات خشکسالی شاخص RDI در دوره‌های آبی نسبت به دوره گذشته

دوره	سناریو	سطح ریسک	طبقات خشکسالی						
			ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
دوره آبی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	A1B	دوره گذشته (۱۹۶۵-۲۰۰۹)	۰	۹	۱۳	۶۲	۱۱	۰	۵
		۰/۲۵	۳	۳	۱۳	۶۷	۷	۷	۰
		۰/۵۰	۰	۳	۱۰	۶۴	۱۰	۱۳	۰
	A2	۰/۷۵	۰	۳	۷	۵۷	۱۳	۱۳	۷
		۰/۲۵	۰	۳	۱۷	۶۷	۳	۱۰	۰
		۰/۵۰	۰	۳	۱۰	۶۴	۱۳	۷	۳
	B1	۰/۷۵	۰	۳	۷	۵۰	۲۷	۱۰	۳
		۰/۲۵	۰	۱۰	۱۰	۶۳	۷	۷	۳
		۰/۵۰	۰	۳	۱۰	۶۷	۱۰	۷	۳
دوره آبی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	A1B	۰/۷۵	۰	۳	۳	۶۴	۱۷	۱۰	۳
		۰/۲۵	۰	۱۰	۱۳	۷۰	۷	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
	A2	۰/۷۵	۰	۳	۱۷	۶۳	۱۰	۷	۰
		۰/۲۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
		۰/۵۰	۰	۳	۲۰	۶۰	۱۰	۷	۰
	B1	۰/۷۵	۰	۳	۱۳	۶۷	۷	۷	۳
		۰/۲۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
		۰/۵۰	۰	۴	۲۰	۶۰	۱۰	۳	۳
دوره آبی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	A1B	۰/۷۵	۰	۴	۱۰	۷۰	۱۰	۳	۳
		۰/۲۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۱۰	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۶	۱۷	۶۷	۳	۷	۰
	A2	۰/۷۵	۰	۶	۱۰	۶۷	۷	۱۰	۰
		۰/۲۵	۳	۷	۱۳	۷۰	۷	۰	۰
		۰/۵۰	۰	۷	۱۷	۶۳	۱۰	۳	۰
	B1	۰/۷۵	۰	۳	۱۰	۶۷	۱۰	۱۰	۰
		۰/۲۵	۰	۶	۱۷	۶۷	۷	۳	۰
		۰/۵۰	۰	۳	۲۰	۶۳	۷	۷	۰
۰/۷۵	۰	۳	۱۰	۶۷	۱۰	۷	۳		

با توجه به جدول (۴-۱۰) درصد طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص RDI مشخص می‌کند که در دوره آبی اول نسبت به دوره گذشته در هر سه سناریو و سطح ریسک (به جزء سطح ریسک ۰/۲۵ و سناریوی B1) خشکسالی شدید کاهش یافته است. خشکسالی متوسط نیز به جز سطح ریسک ۰/۲۵

و تحت سناریو A2 در بقیه حالات کاهش را نشان داده‌اند. همچنین ترسالی بسیار شدید کاهش و ترسالی شدید تحت هر سه سناریو و سطح ریسک نشان افزایش یافته است. اما در مورد ترسالی متوسط باید گفت تحت سطح ریسک ۰/۲۵ و ۰/۷۵ و سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب کاهش و افزایش داشته است.

همچنین با توجه به جدول فوق مشخص می‌شود که دو دوره آتی دوم و سوم تحت هر سه سناریو و سطح ریسک ۰/۲۵، طبقه خشکسالی شدید کاهش و خشکسالی متوسط و نرمال افزایش یافته است. اما در مورد طبقات ترسالی می‌توان گفت که ترسالی بسیار شدید جای خود را به ترسالی شدید داده و ترسالی متوسط نسبتاً کاهش یافته است.

۴-۴-۲- بررسی تفاضل درصد طبقات خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره

گذشته

به منظور بررسی تغییرات طبقات خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم (مقیاس سالانه) بعد از محاسبه مقادیر شاخص‌های SPI و RDI، به محاسبه درصد طبقات خشکسالی در هر سه دوره آتی و دوره گذشته پرداخته شد. در همین راستا، پس از محاسبه درصد طبقات خشکسالی، تفاضل درصد هر طبقه گذشته را با سه دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ محاسبه گردید. نتایج تغییرات تفاضل درصد طبقات خشکسالی در جدول (۴-۱۱) و (۴-۱۲) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۱) تفاضل درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI حاصل از سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته

دوره	سناریو	سطح ریسک	طبقات خشکسالی						
			ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	A1B	۰/۲۵	۳	۰	-۱۰	۷	۴	-۲	-۲
		۰/۵۰	۰	-۱	-۱۰	۷	-۶	۱۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۴	-۳	۴	-۳	۸	-۲
	A2	۰/۲۵	۳	۰	-۱۰	۷	۰	۲	-۲
		۰/۵۰	۰	۰	-۱۰	۱۰	-۶	۵	۱
		۰/۷۵	۰	-۴	-۶	۰	۴	۵	۱
	B1	۰/۲۵	۰	۳	-۹	۱۰	-۳	-۲	۱
		۰/۵۰	۰	۰	-۱۰	۱۰	-۳	۲	۱
		۰/۷۵	۰	-۴	-۶	-۳	۷	۵	۱
دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	A1B	۰/۲۵	۳	۳	-۶	۱۳	-۶	-۵	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۶	۱۰	-۳	-۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۱	۴	۷	-۱۰	۲	-۲
	A2	۰/۲۵	۰	۷	-۱۰	۱۰	-۳	-۲	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۱۰	۱۷	-۱۰	۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۴	-۳	۱۰	-۶	۲	۱
	B1	۰/۲۵	۰	۷	-۱۰	۱۰	-۳	-۲	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۱۰	۱۳	-۶	۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۱	-۶	۷	-۳	۲	۱
دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	A1B	۰/۲۵	۰	۶	-۳	۷	-۳	-۵	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۱۰	۱۳	-۶	۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۱	۴	۷	-۱۰	۲	-۲
	A2	۰/۲۵	۳	۳	-۳	۱۰	-۶	-۵	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۹	۱۳	-۳	-۲	-۲
		۰/۷۵	۰	-۴	-۳	۱۰	-۶	۵	-۲
	B1	۰/۲۵	۰	۷	-۱۰	۱۰	-۳	-۲	-۲
		۰/۵۰	۰	۳	-۶	۱۰	-۱۰	۵	-۲
		۰/۷۵	۰	-۳	-۳	۱۰	-۱۰	۵	۱

جدول (۴-۱۲) تفاضل درصد طبقات خشکسالی شاخص RDI حاصل از سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته

دوره	سناریو	سطح احتمال	طبقات خشکسالی						
			ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)	A1B	۰/۲۵	۳	-۶	۰	۵	-۴	۷	-۵
		۰/۵۰	۰	-۶	-۳	۲	-۱	۱۳	-۵
		۰/۷۵	۰	-۶	-۶	-۵	۲	۱۳	۲
	A2	۰/۲۵	۰	-۶	۴	۵	-۸	۱۰	-۵
		۰/۵۰	۰	-۶	-۳	۲	۲	۷	-۲
		۰/۷۵	۰	-۶	-۶	-۱۲	۱۶	۱۰	-۲
	B1	۰/۲۵	۰	۱	-۳	۱	-۴	۷	-۲
		۰/۵۰	۰	-۶	-۳	۵	-۱	۷	-۲
		۰/۷۵	۰	-۶	-۱۰	۲	۶	۱۰	-۲
دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)	A1B	۰/۲۵	۰	۱	۰	۸	-۴	۰	-۲
		۰/۵۰	۰	-۳	۴	۵	-۸	۷	-۵
		۰/۷۵	۰	-۶	۴	۱	-۱	۷	-۵
	A2	۰/۲۵	۰	-۳	۴	۵	-۸	۷	-۵
		۰/۵۰	۰	-۶	۷	-۲	-۱	۷	-۵
		۰/۷۵	۰	-۶	۰	۵	-۴	۷	-۲
	B1	۰/۲۵	۰	-۳	۴	۵	-۸	۷	-۵
		۰/۵۰	۰	-۵	۷	-۲	-۱	۳	-۲
		۰/۷۵	۰	-۵	-۳	۸	-۱	۳	-۲
دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹)	A1B	۰/۲۵	۰	-۳	۴	۵	-۱	۰	-۵
		۰/۵۰	۰	-۳	۴	۵	-۸	۷	-۵
		۰/۷۵	۰	-۳	-۳	۵	-۴	۱۰	-۵
	A2	۰/۲۵	۳	-۲	۰	۸	-۴	۰	-۵
		۰/۵۰	۰	-۲	۴	۱	-۱	۳	-۵
		۰/۷۵	۰	-۶	-۳	۵	-۱	۱۰	-۵
	B1	۰/۲۵	۰	-۳	۴	۵	-۴	۳	-۵
		۰/۵۰	۰	-۶	۷	۱	-۴	۷	-۵
		۰/۷۵	۰	-۶	-۳	۵	-۱	۷	-۲

با توجه به جدول (۴-۱۱)، شاخص SPI نشان می‌دهد که در هر سه دوره آتی تحت هر سه سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2، A1B و B1) و سه سطح ریسک (۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵)، طبقات نرمال و خشکسالی بسیار شدید افزایش و طبقه خشکسالی متوسط کاهش داشته است. در مورد طبقه خشکسالی شدید می‌توان گفت که در دوره آتی اول در هر سه سطح ریسک و تحت هر سه سناریو افزایش را نشان داده است. اما این

طبقه خشکسالی در دوره آتی دوم و سوم متفاوت بوده به طوریکه در دو سطح ریسک ۰/۲۵ و ۰/۵۰ تحت هر سناریو افزایش و در سطح ریسک ۰/۷۵ کاهش داشته‌است.

این شاخص در دوره آتی اول تنها در سناریوی A1B تحت هر سه سطح ریسک کاهش طبقه ترسالی بسیار شدید را نشان داده است. در حالیکه طبقه ترسالی شدید افزایش داشته، ترسالی متوسط هم افزایش و هم کاهش را نشان داده است. اما این شاخص در دو دوره آتی دوم و سوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) کاهش طبقات ترسالی بسیار شدید، شدید و متوسط را در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ تحت هر سه سناریوی انتشار نشان داده است.

مطابق جدول (۴-۱۲)، شاخص RDI در هر سه دوره آتی، در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ و تحت سناریوهای A2، A1B و B1، طبقه ترسالی شدید افزایش و طبقات ترسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید کاهش را نشان می‌دهد. طبقه خشکسالی بسیار شدید تنها در سطح ریسک ۰/۲۵ افزایش را تحت سناریو A1B در دوره آتی اول و تحت سناریو A2 در دوره آتی دوم نشان می‌دهد. در دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹) طبقه خشکسالی متوسط تحت هر سه سناریو و سه سطح ریسک کاهش را نشان می‌دهد در حالیکه در دو دوره آتی دوم و سوم این تغییرات کاملاً برعکس می‌شود.

همچنین می‌توان گفت که در دوره آتی اول ترسالی متوسط تنها در سطح ریسک ۰/۲۵ تحت هر سه سناریو کاهش را نشان داده، در صورتیکه در دوره آتی دوم و سوم این طبقه کاملاً کاهش داشته است. در مورد طبقه نرمال نیز شاخص RDI فقط در دوره آتی اول با سطح ریسک ۰/۷۵ و تحت سناریوهای A2 و A1B و در دوره آتی دوم و سوم با سطح ریسک ۰/۵۰ و تحت سناریوهای A2 و B1 کاهش داشته است.

۴-۳-۴- مقایسه سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای در برآورد خشکسالی

به منظور مقایسه سناریوهای انتشار و انتخاب سناریوی حساس‌تر، از اعداد ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (به دلیل تغییرات بیشتر دما و بارش در این دوره) و هر کدام از سناریوهای انتشار

میانگین گیری شد. به عنوان مثال، برای سناریوی A1B، از اعداد سه سطح ریسک دوره آتی سوم میانگین-گیری شده است، به همین ترتیب برای دو سناریوی دیگر نیز این عمل تکرار گردید. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۴-۱۳) برای دو شاخص SPI و RDI در بازه زمانی سالانه ارائه شده است.

جدول (۴-۱۳) میانگین اعداد طبقات مختلف خشکسالی سالانه سه سطح ریسک در دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (درصد)

شاخص	سناریو	طبقات خشکسالی						
		ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
SPI	A1B	۰	۹/۶۷	۱۰	۶۹	۶/۶۷	۴/۶۷	۰
	A2	۱	۷/۶۷	۸	۷۱	۸	۴/۳۳	۰
	B1	۰	۹/۳۳	۶/۶۷	۷۰	۵/۳۳	۷/۶۷	۱
RDI	A1B	۰	۶	۱۴/۶۷	۶۷	۶/۶۷	۵/۶۷	۰
	A2	۱	۵/۶۷	۱۳/۳۳	۶۶/۶۷	۹	۴/۳۳	۰
	B1	۰	۴	۱۵/۶۷	۶۵/۶۷	۸	۵/۶۷	۱

با توجه به جدول فوق و نتایج حاصل از دو شاخص SPI و RDI مشخص می‌گردد که بین سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1، تنها سناریوی A2 طبقه خشکسالی بسیار شدید را پیش‌بینی کرده که این نشان از حساسیت بالای این سناریو دارد. این امر نیز، دلالت بر تأیید جهان ناهمگن و شرایط نامناسب در تعریف این سناریوی انتشار دارد. به همین منظور در محاسبات مقیاس‌های زمانی دیگر در دوره‌های آتی از این سناریو استفاده شد.

۴-۴-۴- مقایسه سه سطح ریسک در برآورد خشکسالی‌ها

در راستای مقایسه سطوح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵، از همه اعداد مربوط به سطوح ریسک مختلف با سه سناریوی انتشار و در سه دوره آتی با هم میانگین‌گیری کرده، سپس نتایج حاصل از سه سطح ریسک با یکدیگر مقایسه شد. به عنوان نمونه، از همه اعداد مربوط به سطح ریسک ۰/۲۵ در هر سه سناریوی A2، A1B و B1، در سه دوره آتی با یکدیگر میانگین‌گیری شد. به همین ترتیب برای دو سطح ریسک دیگر این مراحل را تکرار و نتایج جمع‌آوری گردید. نتایج میانگین‌گیری سطوح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای دو شاخص SPI و RDI در جدول (۴-۱۴) ارائه گردیده است.

جدول (۴-۱۴) میانگین درصد طبقات خشکسالی سالانه در سطوح مختلف ریسک

شاخص	سطح ریسک	طبقات خشکسالی						
		ED	SD	MD	N	MW	SW	EW
SPI	۰/۲۵	۱/۳	۱۱	۵/۱	۶۹/۳	۱۰/۴	۲/۴	۰/۳
	۰/۵۰	۰	۹	۴	۷۱/۴	۷/۱	۸	۰/۷
	۰/۷۵	۰	۴/۱	۱۰/۶	۶۵/۸	۹	۹	۱/۷
RDI	۰/۲۵	۰/۷	۶/۳	۱۵	۶۷/۲	۶	۵	۰/۳
	۰/۵۰	۰	۴/۲	۱۵/۷	۶۴	۸/۴	۷	۱
	۰/۷۵	۰	۳/۴	۱۰	۶۴	۱۲/۳	۹	۲/۴

با توجه به جدول (۴-۱۴) و دقت در نتایج سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ مشخص می‌شود که تنها در سطح ریسک ۰/۲۵ (سطح احتمال ۰/۷۵) هر دو شاخص SPI و RDI طبقه خشکسالی بسیار شدید را پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین از مجموع سه طبقه خشکسالی در می‌یابیم که سطح ریسک ۰/۲۵ در هر دو شاخص درصد تغییرات بیشتری نسبت به دو سطح ریسک از خود نشان می‌دهد. اما در مورد مجموع طبقات ترسالی نتایج کمی متفاوت می‌باشد، به طوری که سطح ریسک ۰/۲۵ تغییرات کمتر و سطح ریسک ۰/۷۵ (سطح احتمال ۰/۲۵) تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که سطح ریسک ۰/۲۵ (سطح احتمال ۰/۷۵) در هر دو شاخص SPI و RDI نسبت به دو سطح ریسک ۰/۵۰ و ۰/۷۵ از حساسیت بالاتری برخوردار می‌باشد. دلیل این امر نیز مشخصاً به دلیل قبول ریسک کمتر و در نظر گرفتن احتمال وقوع دماهای بالاتر و بارندگی کمتر نسبت به دو سطح دیگر می‌باشد. در همین راستا برای محاسبات در مقیاس یک‌ماهه، سه‌ماهه و شش‌ماهه از سطح ریسک ۰/۲۵ در دوره‌های آتی استفاده گردید.

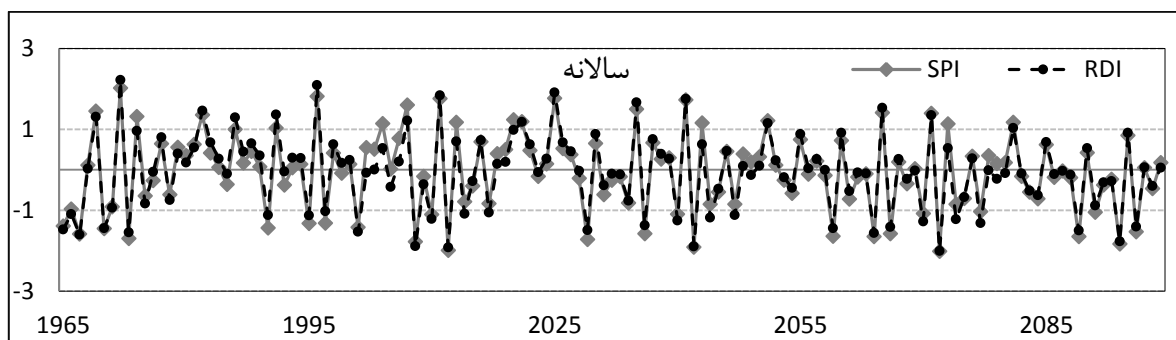
۴-۴-۵- انتخاب سناریوی وخیم

همانطور که نتایج مربوط به مقایسه سناریوهای انتشار (۴-۴-۳) نشان می‌دهد، سناریوی A2 با توجه به تعریف آن (وخیم‌ترین سناریوی انتشار) نسبت به دو سناریوی A1B و B1 از حساسیت بالاتری در دوره‌های آتی برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ حاکی از حساسیت بالای ریسک ۰/۲۵ (قبول ریسک کمتر و احتمال وقوع بیشتر) نسبت به دو سطح ریسک دیگر

می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالب و نتایج فوق‌الذکر برای محاسبات و نتایج بعدی مربوط به مقیاس‌های زمانی یک‌ماهه، سه‌ماهه و شش‌ماهه خشکسالی از سناریوی A2 و سطح ریسک ۰/۲۵ برای دوره‌های آتی استفاده می‌گردد.

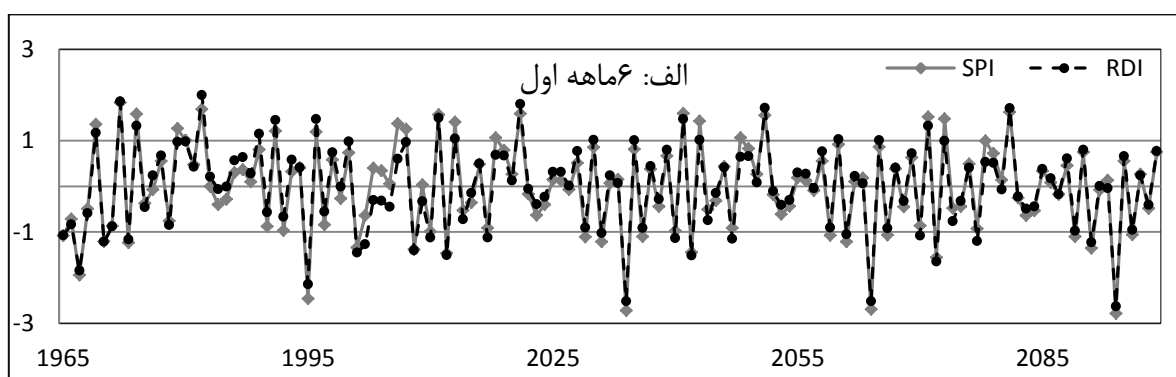
۴-۴-۶- نمودار زمانی شاخص SPI و RDI در دوره ۱۹۶۵-۲۰۹۹

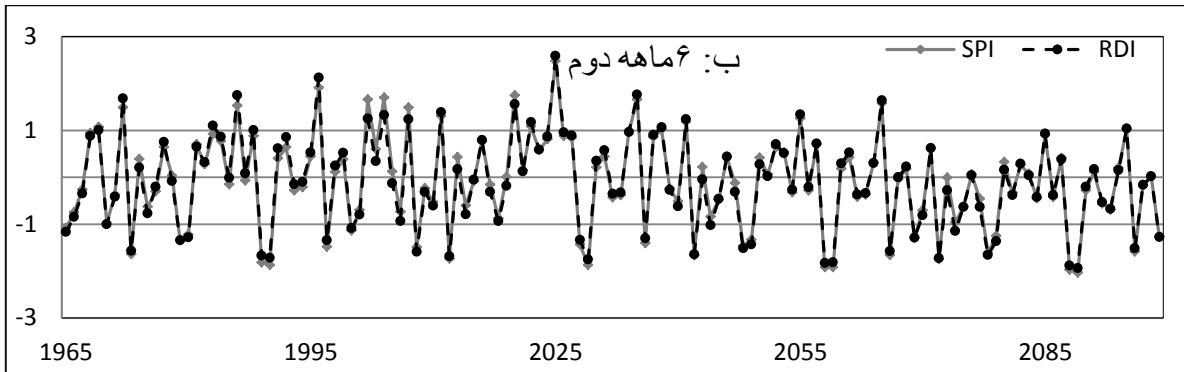
نتایج حاصل از نمودار زمانی شاخص SPI و RDI در چهار مقیاس ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه در اشکال (۳-۴) تا (۶-۴) ارائه شده‌است.



شکل (۳-۴) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI برای مقیاس سالانه

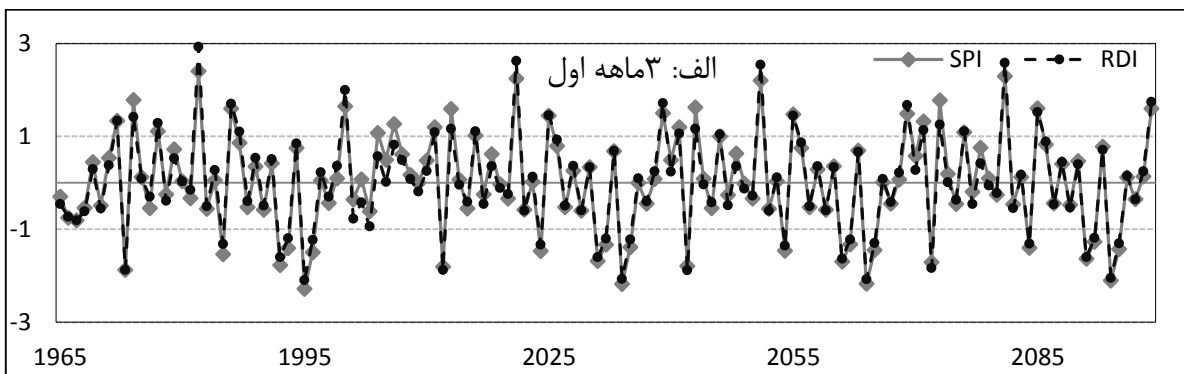
با توجه به شکل (۳-۴) و مقایسه دو شاخص SPI و RDI در بازه زمانی ۱۹۶۵-۲۰۹۹ مشخص می‌شود که در مقیاس زمانی سالانه، شاخص SPI، ۲ رخداد خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۷۲ و ۱۲ رخداد خشکسالی شدید را پیش‌بینی کرده است. شاخص RDI نیز ۱ رخداد خشکسالی بسیار شدید در سال ۲۰۹۲ و ۹ رخداد خشکسالی شدید پیش‌بینی کرده است.

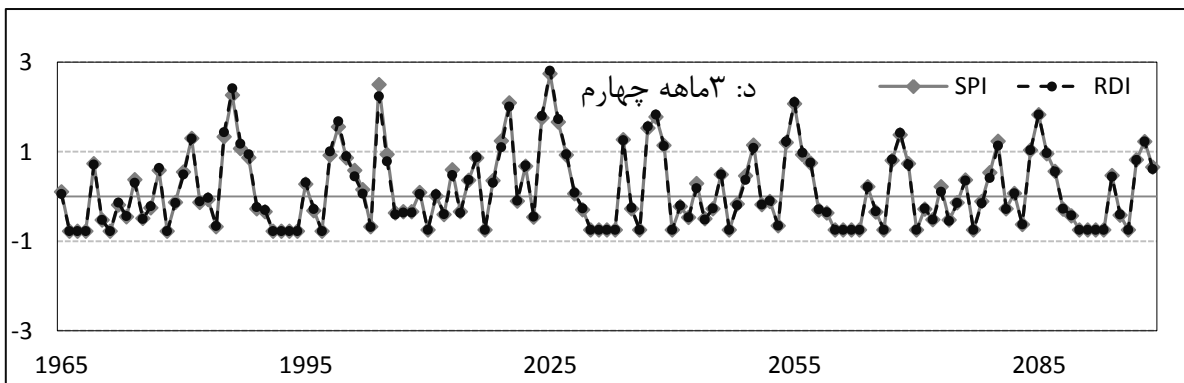
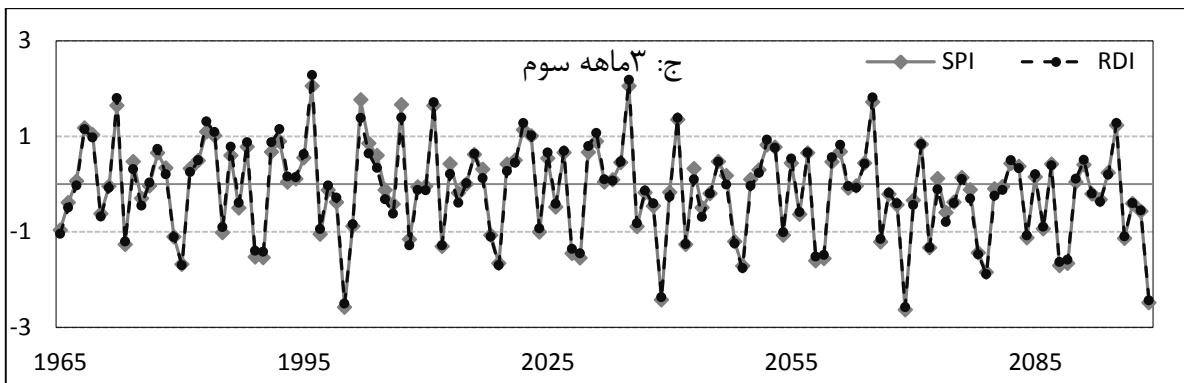
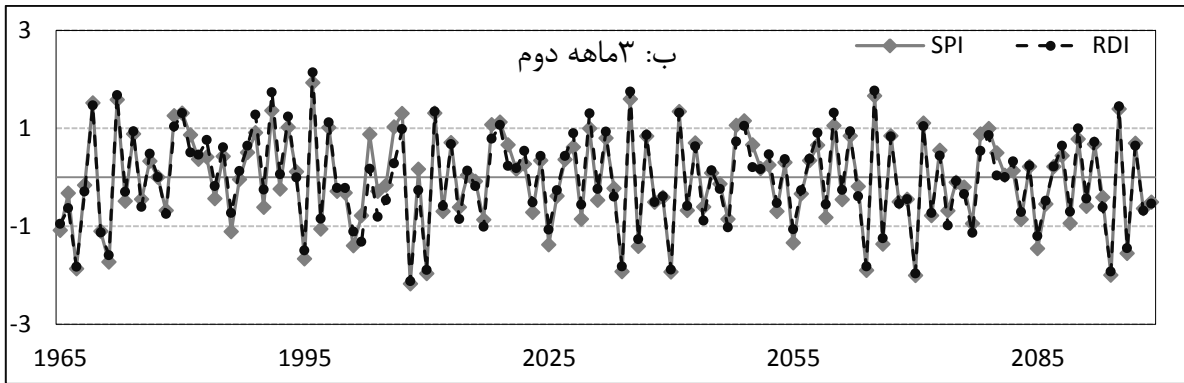




شکل (۴-۴) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI برای مقیاس شش ماهه اول (الف) و شش ماهه دوم (ب)

با توجه به شکل فوق، نتایج دو شاخص SPI و RDI در مقیاس شش ماهه در بازه زمانی ۱۹۶۵-۲۰۹۹ بیانگر آن است که در شش ماهه اول هر دو شاخص ۴ رخداد خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۳۴، ۲۰۶۴ و ۲۰۹۴ پیش‌بینی کرده‌اند. این موضوع در حالی است که در شش ماهه دوم، شاخص RDI رخداد خشکسالی بسیار شدید را پیش‌بینی نکرده و شاخص SPI تنها ۱ رخداد در سال ۲۰۸۹ پیش‌بینی کرده است. شاخص SPI در شش ماهه اول ۲ و شاخص RDI، ۴ رخداد خشکسالی شدید را پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین در شش ماهه دوم، شاخص SPI و RDI به ترتیب ۱۳ و ۱۵ رخداد خشکسالی شدید پیش‌بینی کرده است.

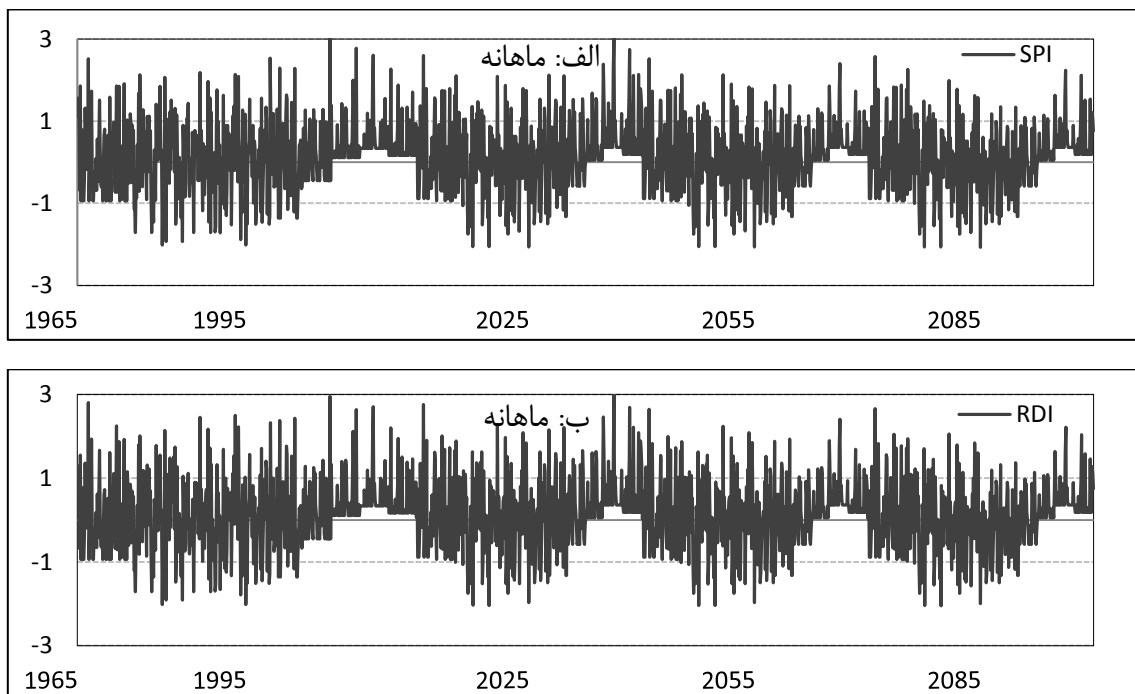




شکل (۴-۵) نمودار زمانی شاخص SPI و RDI در مقیاس سه‌ماهه اول (الف)، سه‌ماهه دوم (ب)، سه‌ماهه سوم (ج) و سه‌ماهه چهارم (د)

با توجه به شکل (۴-۵) در مقیاس زمانی سه‌ماهه می‌توان گفت که در سه‌ماهه اول هر دو شاخص SPI و RDI، ۴ خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۴۴، ۲۰۶۴ و ۲۰۹۴ پیش‌بینی کرده‌اند. اما شاخص SPI در همین دوره ۱۱ رخداد و شاخص RDI، ۶ رخداد خشکسالی شدید را پیش‌بینی کرده است. در سه‌ماهه دوم، شاخص SPI و RDI، هر دو ۸ رخداد خشکسالی شدید را پیش‌بینی کرده است. در حالیکه در این دوره شاخص RDI، یک رخداد در سال ۲۰۰۸ و شاخص SPI، ۳ رخداد خشکسالی بسیار شدید در سال‌های

۲۰۰۸، ۲۰۷۰ و ۲۰۹۴ پیش‌بینی کرده است. در مقیاس زمانی سه‌ماهه سوم، شاخص‌های SPI و RDI همانند سه‌ماهه اول، ۴ رخداد خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۳۹، ۲۰۶۹ و ۲۰۹۹ پیش‌بینی کرده‌است. اما پیش‌بینی این دو شاخص در مورد طبقه خشکسالی شدید متفاوت می‌باشد به طوری‌که شاخص RDI، ۷ رخداد و شاخص SPI، ۳ رخداد را پیش‌بینی کرده است. در مورد سه‌ماهه چهارم هم باید بیان کرد که در این دوره هیچ رخداد خشکسالی توسط هیچ‌کدام از شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI پیش‌بینی نشده است.



شکل (۴-۶) نمودار زمانی شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس ماهانه

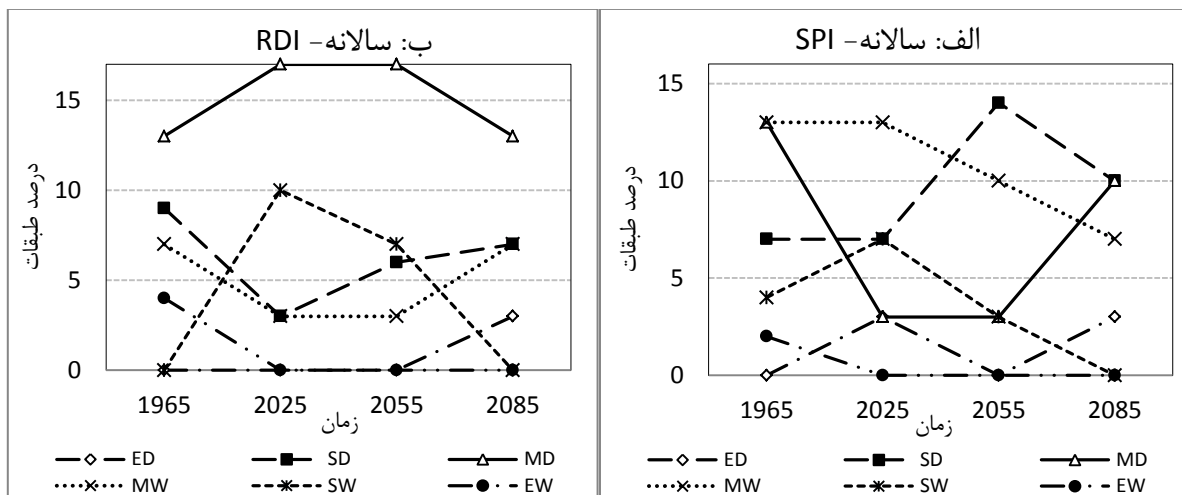
با توجه به مقیاس ماهانه و شکل (۴-۶) می‌توان گفت که شاخص SPI، ۳ رخداد خشکسالی بسیار شدید بیشتر از شاخص RDI پیش‌بینی کرده‌است. به بیان دیگر شاخص SPI و RDI به ترتیب ۱۱ و ۸ رخداد خشکسالی بسیار شدید در بازه زمانی ۱۹۶۵-۲۰۹۹ پیش‌بینی کرده است.

به طور کلی، با توجه به نتایج شاخص‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو شاخص SPI و RDI، در مقیاس‌های زمانی سه و شش‌ماهه، بیشترین طبقه خشکسالی بسیار شدید را

نسبت به سایر مقیاس‌ها پیش‌بینی نموده‌اند. در همین راستا می‌توان اذعان داشت که به دلیل تغییرپذیری، این دو شاخص هم در مقیاس کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و هم در مقیاس بلند مدت برای بررسی عناصر هیدرولوژیکی مناسب می‌باشد، که این امر دلالت بر حساسیت و اهمیت بالای این دو مقیاس زمانی در مدیریت منابع آب خواهد داشت.

۴-۴-۷- مقایسه تغییرات طبقات خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته

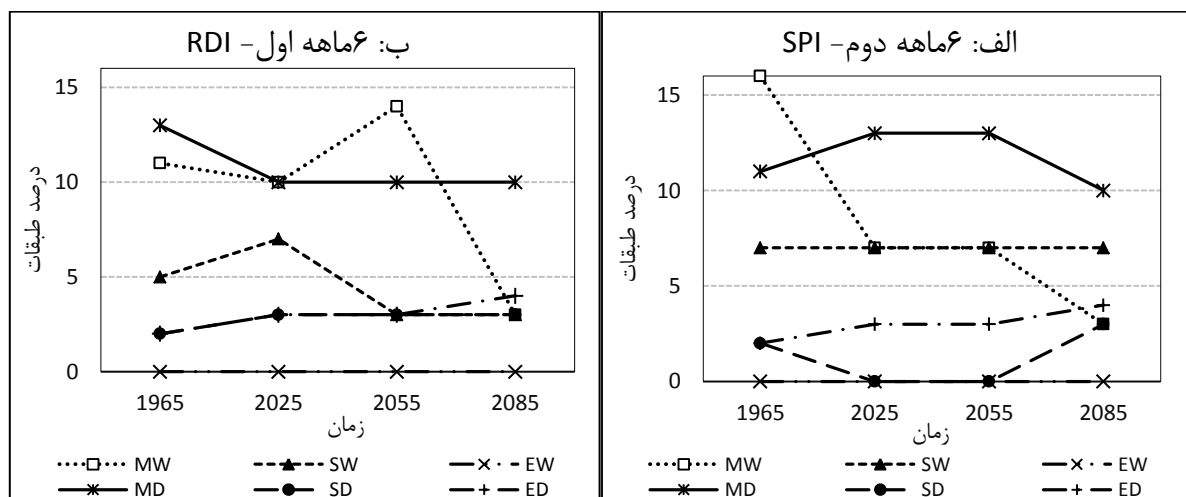
به منظور بررسی و مقایسه روند طبقات خشکسالی در سه دوره آتی نسبت به دوره گذشته، با توجه به انتخاب سطح ریسک ۰/۲۵ و سناریوی A2 به عنوان سناریوی وخیم برای سه دوره آتی، ابتدا تعداد طبقات در هر دوره را مشخص کرده، سپس درصد طبقات را برای چهار دوره آتی و گذشته محاسبه گردید. در نهایت نمودار مربوط به هر طبقه، برای سه دوره آتی و دوره گذشته رسم شد. نمودار نتایج روند تغییرات درصد طبقات خشکسالی برای سه مقیاس زمانی سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه در شکل (۴-۷) تا (۴-۱۴) ارائه شده است.



شکل (۴-۷) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سالانه (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با توجه به شکل (۴-۷) مشخص می‌شود که در مقیاس سالانه، ترسالی بسیار شدید برای هر دو شاخص SPI و RDI ابتدا برای دوره آتی اول کاهش و از این دوره به بعد روند ثابت صفر نشان داده شده است. همچنین

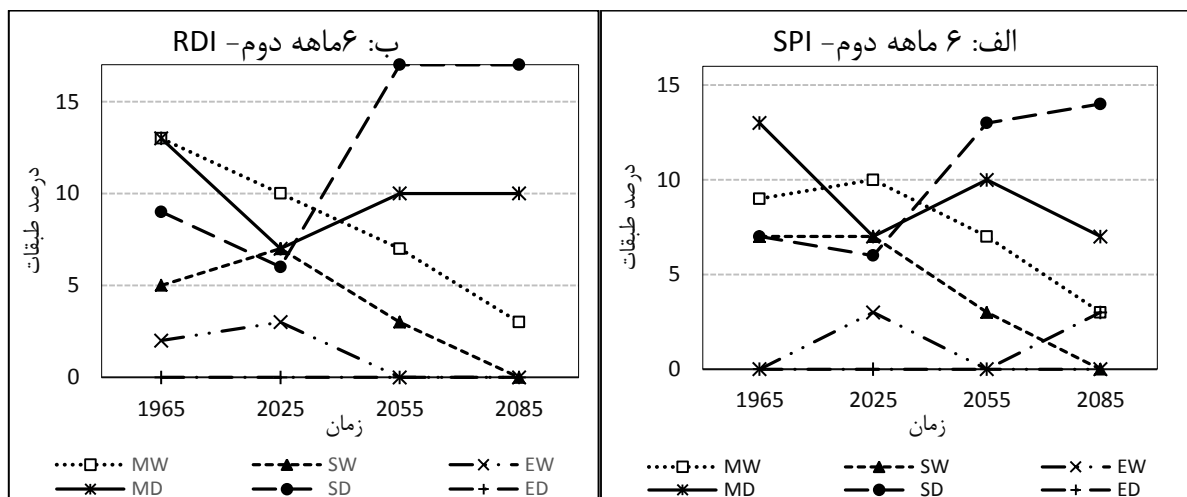
برای طبقه ترسالی شدید نیز برای دوره آتی اول افزایش و برای دوره آتی دوم و سوم روند کاهش را نشان داده به طوریکه این تغییر در دوره آتی سوم به صفر درصد می‌رسد. طبقه ترسالی متوسط برای شاخص SPI بعد از یک افزایش با شیب تند در دوره آتی دوم و سوم، کاهش پیدا خواهد کرد اما شاخص RDI برای دوره آتی اول کاهش با شیب ملایم، برای دوره آتی دوم روند ثابت و افزایش را برای دوره آتی سوم نشان می‌دهد. شاخص SPI و RDI برای طبقه خشکسالی متوسط نتایج متفاوتی نشان می‌دهند، به طوریکه شاخص SPI ابتدا کاهش، سپس یک دوره روند ثابت، برای دوره آتی سوم افزایش را نشان می‌دهد. در صورتیکه شاخص RDI ابتدا افزایش پیدا کرده و بعد از روند ثابت برای دوره آتی دوم، کاهش را برای دوره آتی سوم نشان می‌دهد. طبقه خشکسالی شدید برای شاخص SPI، روند افزایش را تا دوره آتی دوم طی خواهد کرد اما در دوره آتی سوم کاهش را نسبت به دوره آتی دوم از خود نشان می‌دهد. برای شاخص RDI این طبقه ابتدا کاهشی جزئی داشته، سپس در دوره آتی دوم و سوم افزایش خواهد داشت. و اما برای طبقه خشکسالی بسیار شدید، هر دو شاخص SPI و RDI در دوره آتی سوم افزایش را نسبت به سه دوره ما قبل خود پیش‌بینی می‌کنند.



شکل (۴-۸) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی شش‌ماهه اول (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با دقت در شش‌ماهه اول و شکل (۴-۸) مشخص می‌شود که هر دو شاخص SPI و RDI برای طبقه ترسالی بسیار شدید، روندی ثابت را نشان می‌دهند. برای طبقه ترسالی شدید شاخص SPI روندی ثابت را نشان داده

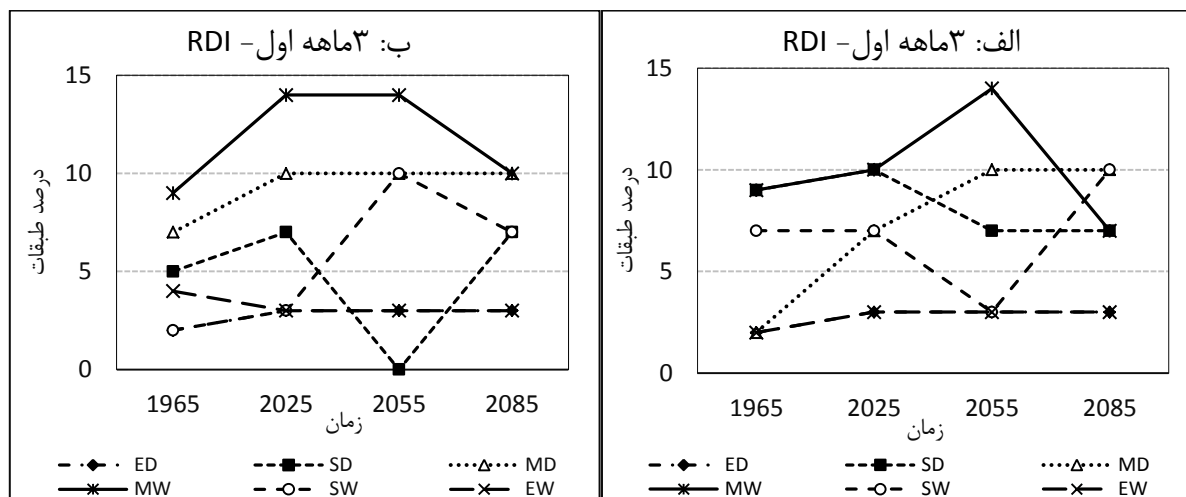
است، در حالیکه شاخص RDI برای این طبقه ابتدا افزایش، سپس کاهش و در دوره آتی سوم روند ثابتی را نشان می‌دهد. شاخص SPI برای طبقه خشکسالی متوسط ابتدا روند افزایشی سپس روند ثابت و در نهایت روند کاهشی را نشان می‌دهد. در صورتیکه شاخص RDI برای این طبقه بعد از یک کاهش در دوره آتی اول به روندی ثابت می‌رسد. همچنین در مورد طبقه خشکسالی شدید می‌توان گفت که شاخص SPI ابتدا کاهش، سپس روند ثابت و در نهایت افزایش را نشان می‌دهد. اما شاخص RDI برای این طبقه از خشکسالی، ابتدا افزایش و در نهایت روندی ثابت را در دوره آتی بعد نشان می‌دهد. و در نهایت می‌توان بیان کرد که هر دو شاخص SPI و RDI برای طبقه خشکسالی بسیار شدید ابتدا افزایش و سپس روند ثابتی را برای دوره آتی دوم و سوم نشان می‌دهد.



شکل (۴-۹) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی شش‌ماهه دوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

همچنین با توجه به شکل (۴-۹) و برای شش‌ماهه دوم مشخص می‌گردد که برای طبقه ترسالی بسیار شدید، هر دو شاخص SPI و RDI برای دوره آتی اول افزایش و برای دوره آتی دوم و سوم روند کاهشی را نشان می‌دهند، به طوری‌که در دوره آتی سوم این تغییرات به صفر می‌رسد. همچنین می‌توان گفت که این شاخص برای طبقه ترسالی شدید ابتدا برای دوره آتی اول افزایش، برای دوره آتی دوم کاهش و برای دوره آتی سوم روند ثابت را نشان می‌دهد. برای طبقه ترسالی متوسط، شاخص SPI افزایشی جزئی در دوره آتی اول و برای

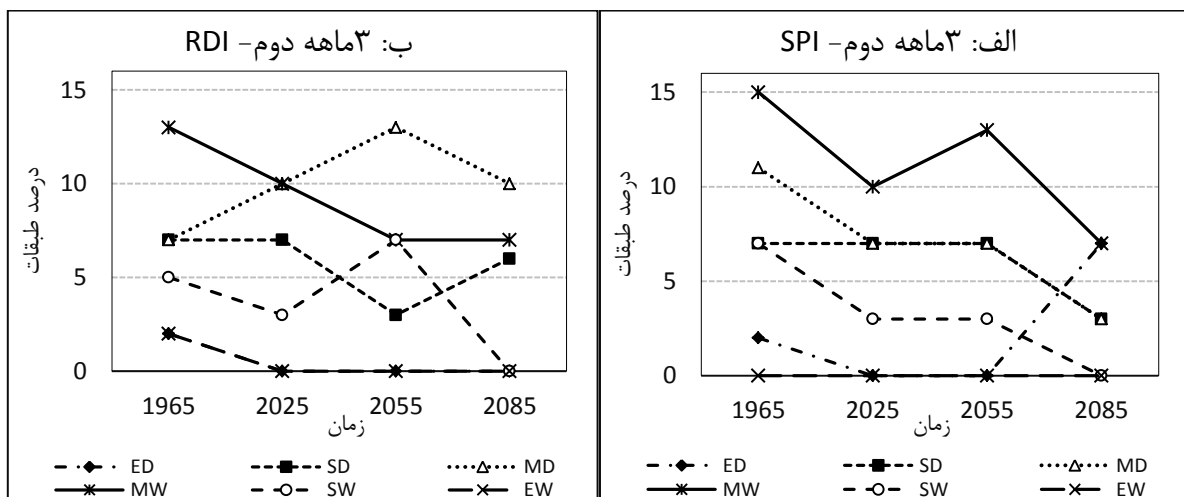
دو دوره آتی بعد روند کاهشی را نشان می‌دهد. اما شاخص RDI برای هر سه دوره آتی در این طبقه روند کاهشی را نشان می‌دهد. شاخص SPI و RDI برای طبقه خشکسالی متوسط نتایج کاملاً عکس هم نشان می‌دهند، به گونه‌ای که شاخص SPI برای دوره آتی اول روند ثابت، برای دوره آتی دوم افزایش و برای دوره آتی سوم کاهش را نشان می‌دهد. اما شاخص RDI ابتدا کاهش، سپس افزایش و برای دوره آتی سوم روند ثابت را نشان می‌دهد. برای طبقه خشکسالی شدید هر دو شاخص SPI و RDI برای دوره آتی اول و دوم به ترتیب روند کاهشی و افزایشی را نشان می‌دهند. اما برای دوره آتی سوم شاخص SPI افزایش و شاخص RDI روند ثابت را نشان می‌دهند. همچنین می‌توان گفت که این دو شاخص برای طبقه خشکسالی بسیار شدید روند ثابت و بدون تغییر را نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۰) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه اول (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با توجه به شکل (۴-۱۰) در می‌یابیم که هر دو شاخص SPI و RDI برای طبقات ترسالی و خشکسالی بسیار شدید در دو دوره آتی دوم و سوم روندی ثابت را نشان داده اما برای دوره آتی اول شاخص SPI و RDI به ترتیب افزایش و کاهش را نشان می‌دهند. این دو شاخص برای طبقه ترسالی شدید نتایج متفاوتی نشان داده‌اند، به طوریکه شاخص SPI ابتدا برای دوره آتی اول روند ثابت، برای دوره آتی دوم کاهش و در نهایت برای دوره آتی سوم افزایش را نشان داده است. اما شاخص RDI برای دوره آتی اول افزایش را نشان داده و

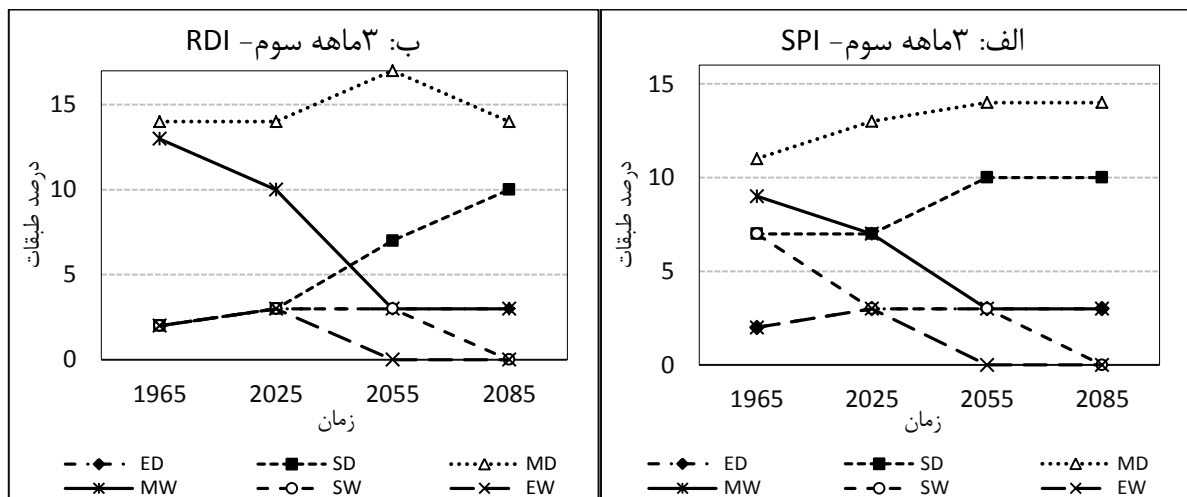
در دو دوره آتی بعد روند کاهشی خواهد داشت. برای طبقه ترسالی متوسط هر دو شاخص SPI و RDI برای دو دوره آتی اول و سوم به ترتیب افزایش و کاهش را نشان داده‌اند. و تنها در دوره آتی دوم نتایج متفاوت می‌باشد، به طوریکه شاخص SPI و RDI در این دوره به ترتیب افزایش و روند ثابت را نشان می‌دهند. برای طبقه خشکسالی متوسط نیز همانند طبقه ترسالی متوسط این دو شاخص برای دو دوره آتی اول و سوم نتایج مشابه افزایش و ثابت را داده، در صورتیکه در دوره آتی دوم شاخص SPI افزایش و شاخص RDI روندی ثابت را نشان داده‌اند. در مورد طبقه خشکسالی شدید در سه‌ماهه اول باید گفت که هر دو شاخص در دوره آتی اول و دوم به ترتیب افزایش و کاهش داشته‌اند. و تنها در دوره آتی سوم شاخص RDI افزایش داشته در صورتیکه شاخص SPI به روند ثابتی رسیده است.



شکل (۴-۱۱) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه دوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با توجه به شکل (۴-۱۱) و دقت در مقیاس زمانی سه‌ماهه دوم مشخص می‌شود که شاخص RDI برای طبقات ترسالی و خشکسالی بسیار شدید برای دوره آتی اول کاهش و برای دوره‌های آتی بعد روند ثابت را نشان می‌دهد. این در حالی است که شاخص SPI برای طبقه ترسالی بسیار شدید روند ثابت صفر و برای طبقه خشکسالی بسیار شدید بعد از روند کاهشی برای دوره آتی دوم و سوم روند ثابت را نشان می‌دهد. همچنین این دو شاخص برای طبقه ترسالی شدید برای دوره آتی اول و سوم کاهش را نشان داده، اما برای

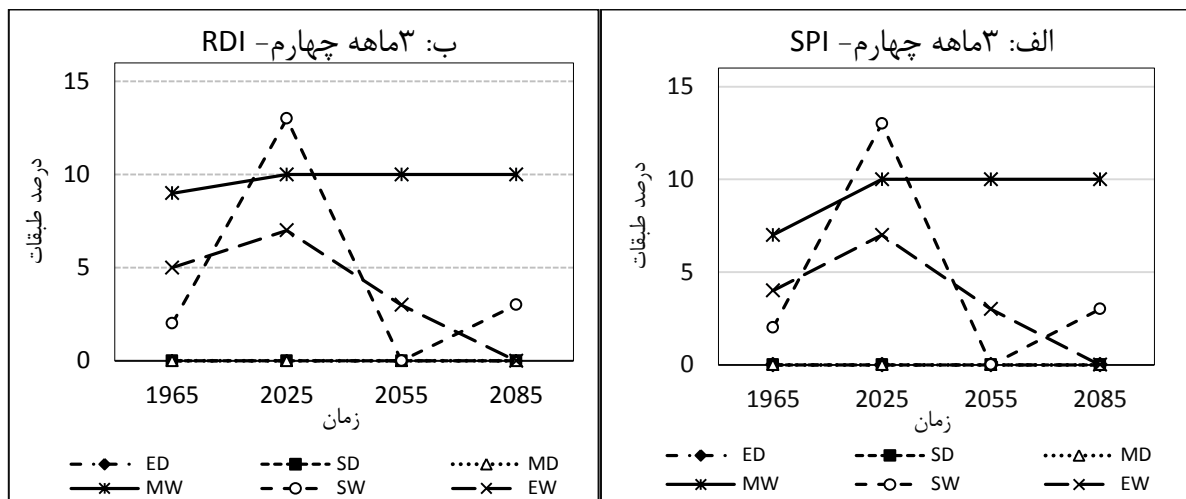
دوره آتی دوم، شاخص SPI، روند ثابت و شاخص RDI افزایش را نشان می‌دهد. برای طبقه خشکسالی متوسط می‌توان گفت که شاخص SPI برای دوره آتی اول و سوم کاهش و برای دوره آتی دوم روند ثابت را نشان می‌دهد. و شاخص RDI برای دو دوره آتی اول و دوم افزایش و برای دوره آتی سوم روند کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین برای طبقه خشکسالی شدید برای مقیاس زمانی سه‌ماهه دوم می‌توان بیان کرد که شاخص SPI برای دو دوره آتی اول و دوم روند ثابت و برای دوره آتی سوم روند کاهشی را نشان می‌دهد. در حالیکه شاخص RDI برای دوره آتی اول روند ثابت، دوره آتی دوم کاهش و برای دوره آتی سوم افزایش را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۲) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه سوم (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

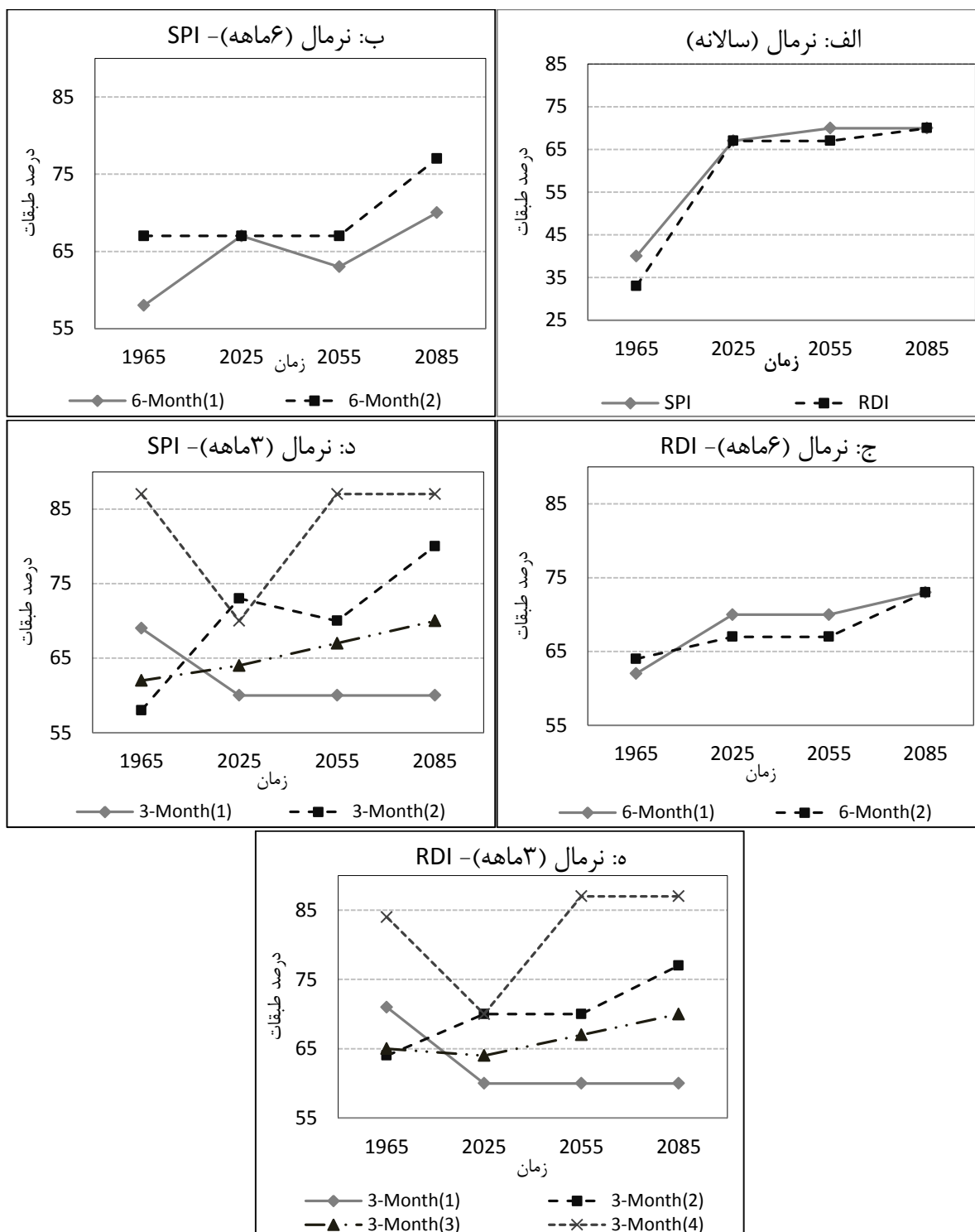
همانگونه که از شکل (۴-۱۲) و مقیاس زمانی سه‌ماهه سوم مشخص است، هر دو شاخص SPI و RDI برای طبقه ترسالی بسیار شدید برای دوره آتی اول افزایش، دوره آتی دوم کاهش و برای دوره آتی سوم روند ثابت صفر را نشان می‌دهند. همچنین این دو شاخص برای طبقه خشکسالی بسیار شدید بعد از روند افزایشی دوره آتی اول به روند ثابتی در دوره آتی دوم و سوم می‌رسد در حالیکه این دو شاخص برای طبقه ترسالی متوسط بعد از دو دوره روند کاهشی در دوره آتی سوم روند ثابتی را نشان می‌دهند. برای طبقه ترسالی شدید هر دو شاخص SPI و RDI برای دوره آتی دوم و سوم به ترتیب روند ثابت و کاهشی را نشان می‌دهند، اما در دوره

آتی اول برای این طبقه، شاخص SPI کاهش و شاخص RDI افزایش را نشان می‌دهد. شاخص SPI و RDI برای طبقه خشکسالی متوسط نتایج متفاوتی نشان می‌دهند، زیرا شاخص SPI برای دوره آتی اول و دوم افزایش و برای دوره آتی سوم روند ثابت را نشان می‌دهد. اما شاخص RDI برای دوره آتی اول روند ثابت، دوره آتی دوم افزایش و برای دوره آتی سوم روند کاهش را نشان می‌دهد. همچنین در مورد طبقه خشکسالی شدید نیز می‌توان گفت که شاخص RDI در هر سه دوره آتی روند افزایشی را نشان می‌دهد، در حالیکه شاخص SPI برای دوره آتی اول و سوم روند ثابت و برای دوره آتی دوم روند افزایشی را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۳) روند تغییرات خشکسالی برای دو شاخص SPI (الف) و RDI (ب) برای مقیاس زمانی سه‌ماهه چهارم (۲۰۹۹-۱۹۶۵)

با توجه به شکل (۴-۱۳) و مقیاس زمانی سه‌ماهه چهارم متوجه می‌شویم که هر دو شاخص SPI و RDI برای همه طبقات نتایج تقریباً مشابهی نشان داده‌اند. به طوریکه این دو شاخص برای سه طبقه خشکسالی بسیار شدید، شدید و متوسط روند ثابت و بدون تغییر را نشان داده‌اند. همچنین برای طبقه ترسالی بسیار شدید هر دو شاخص برای دوره آتی اول افزایش و برای دو دوره آتی بعد روند کاهشی را نشان داده‌اند. دو شاخص SPI و RDI برای طبقه ترسالی شدید برای دوره آتی اول و سوم افزایش و برای دوره آتی دوم روند کاهشی را نشان می‌دهند. و برای ترسالی متوسط این دو شاخص بعد از افزایش برای دوره آتی اول، روند ثابتی را برای دوره آتی دوم و سوم نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۴) روند تغییرات دوره نرمال برای دوشاخه SPI و RDI برای مقیاس‌های زمانی مختلف (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

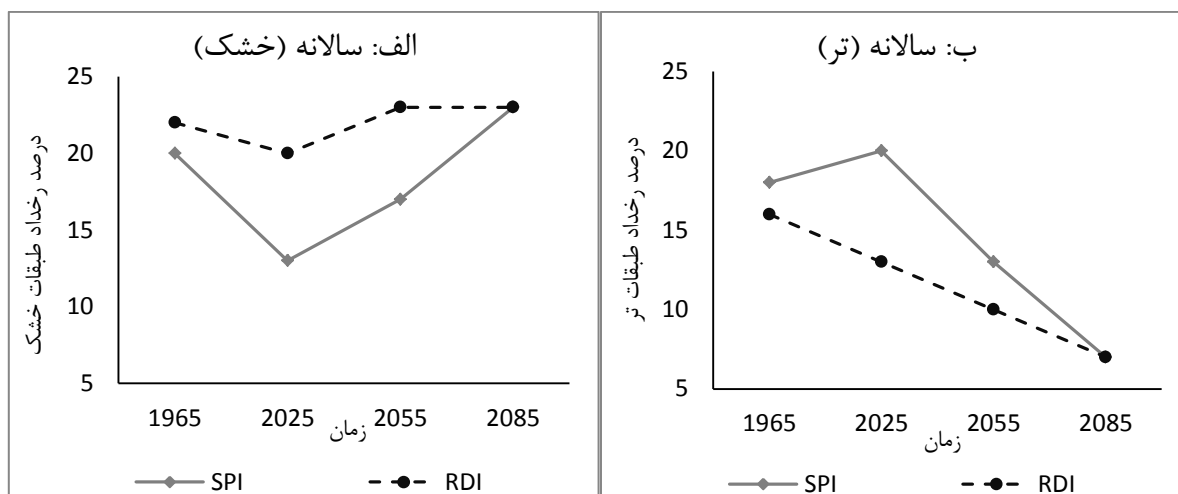
با توجه به شکل (۴-۱۴) و تغییرات دوره نرمال در سه مقیاس زمانی سالانه، شش‌ماهه و سه‌ماهه می‌توان گفت که هر دو شاخص SPI و RDI برای طبقه نرمال برای دوره آتی اول و دوم افزایش و برای دوره آتی

سوم روند ثابتی را نشان می‌دهند. به طور کلی برای مقیاس زمانی شش‌ماهه می‌توان بیان کرد که هر دو شاخص SPI و RDI روند افزایشی در دوره آتی سوم نسبت به دوره گذشته، از خود نشان می‌دهند. در مورد مقیاس زمانی سه‌ماهه می‌توان نتیجه گرفت که هر دو شاخص SPI و RDI در سه‌ماهه دوم، سوم و چهارم روند افزایشی را نسبت به دوره گذشته نشان می‌دهند. اما در مورد سه‌ماهه اول نتایج متفاوت بوده، به طوریکه بعد از کاهش در دوره آتی اول، برای دوره‌های آتی دوم و سوم روند ثابتی را نشان می‌دهد.

به طور کلی و با بررسی روند طبقات خشکسالی در می‌یابیم که در مقیاس‌های زمانی سالانه، شش‌ماهه و سه‌ماهه اول (فصل بهار)، طبقه خشکسالی بسیار شدید روند افزایشی را در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته طی خواهد کرد. همچنین می‌توان بیان کرد که طبقه ترسالی بسیار شدید در مقیاس‌های زمانی سالانه، شش‌ماهه دوم، سه‌ماهه سوم و چهارم (فصل پاییز و زمستان) روند کاهشی را نشان داده‌اند. به عبارت دیگر، افزایش طبقه خشکسالی بسیار شدید و کاهش طبقه ترسالی بسیار شدید، تأییدکننده افزایش دما و کاهش بارش‌ها در دوره‌های آتی (۲-۲-۴) می‌باشد، زیرا هر دو شاخص خشکسالی SPI و RDI متأثر از متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش می‌باشند.

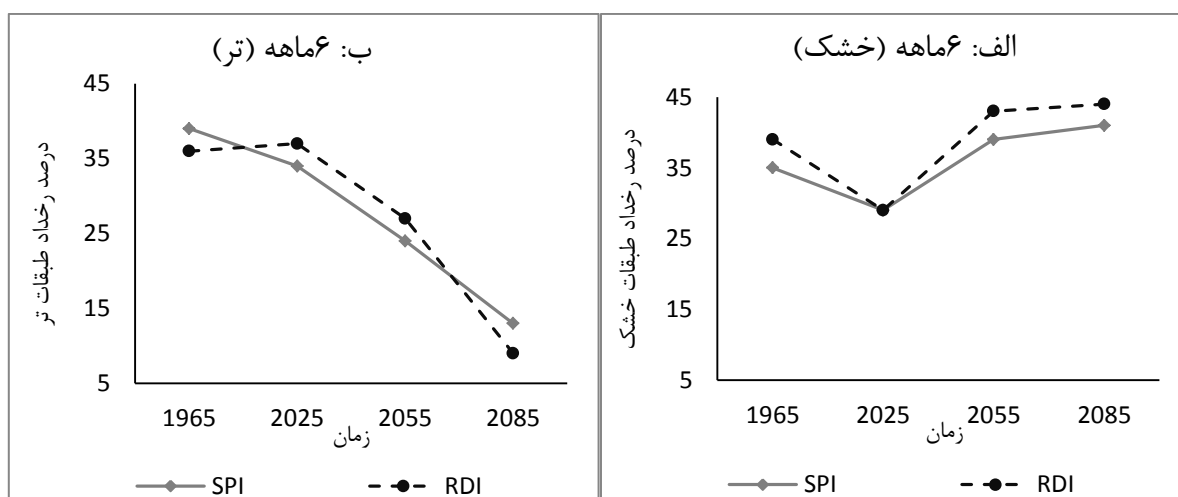
۴-۴-۸- تغییرات دوره‌های خشک و تر در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته

به منظور بررسی دقیق‌تر دوره‌های خشک و تر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته و تعیین روند دوره‌های خشک در آینده، لازم است که مجموع درصدهای سه طبقه خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید محاسبه گردد. همچنین برای روندیابی تغییرات دوره‌های تر نیز درصد طبقات ترسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در هر دوره با یکدیگر جمع شد. نتایج حاصل از مجموع درصد تغییرات دوره‌های تر و خشک در شکل‌های (۴-۱۵) تا (۴-۱۸) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۵) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی سالانه (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

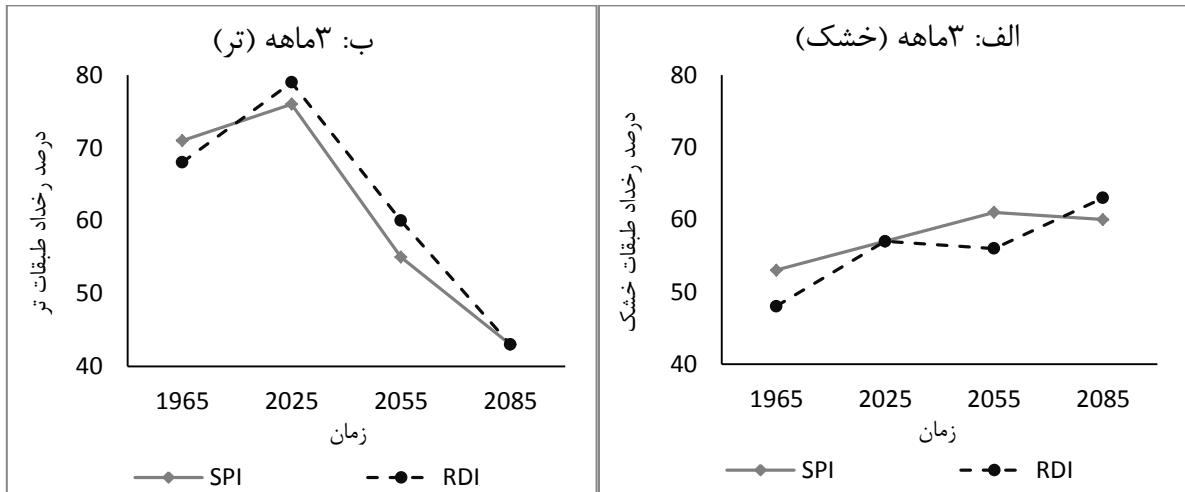
با توجه به شکل (۴-۱۵) در می‌یابیم که هر دو شاخص SPI و RDI نتایج مشابهی در روند دوره‌های خشک و تر از خود نشان می‌دهند. در مقیاس سالانه هر دو شاخص برای دوره خشک روند افزایشی را برای سه دوره آتی و دوره گذشته نشان داده‌اند. اما در مورد دوره‌های تر می‌توان گفت که هر دو شاخص در دوره آتی اول افزایش و در دوره آتی دوم و سوم روند کاهشی داشته‌اند.



شکل (۴-۱۶) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی شش‌ماهه (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

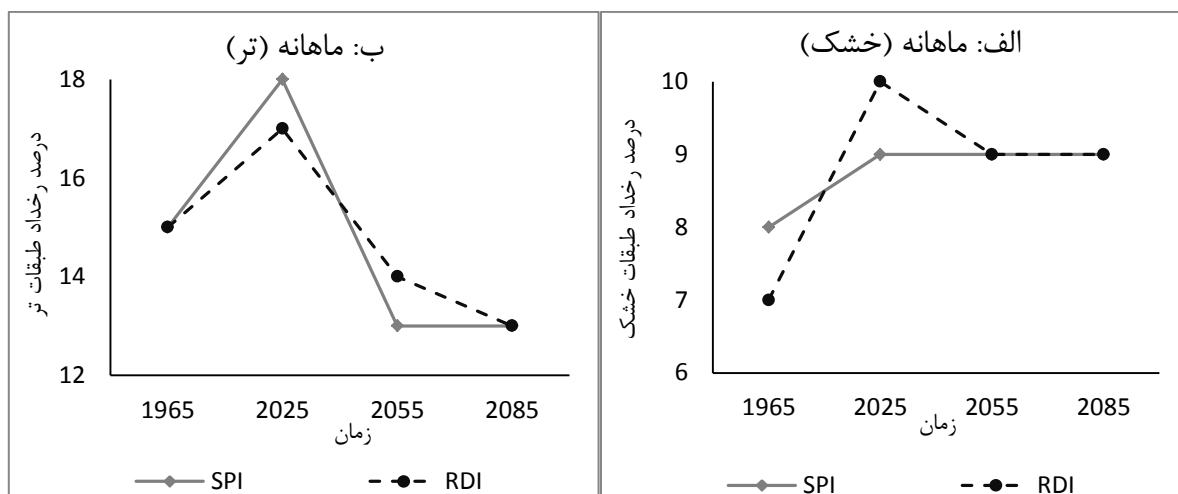
همانطور که از شکل (۴-۱۶) می‌توان برداشت کرد، در مقیاس زمانی شش‌ماهه، شاخص SPI و RDI هر دو برای دوره خشک در دوره آتی اول کاهش داشته و در دوره آتی دوم و سوم افزایش را نشان داده‌اند. اما برای

دوره تر، شاخص SPI در هر سه دوره آتی روند کاهشی را نشان می‌دهد، در حالیکه شاخص RDI ابتدا در دوره آتی اول افزایش جزئی داشته و سپس در دوره آتی دوم و سوم روند کاهشی را نشان داده است.



شکل (۴-۱۷) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی سه‌ماهه (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با توجه به مقیاس زمانی سه‌ماهه و شکل (۴-۱۷) مشخص می‌گردد که برای دوره خشک شاخص SPI ابتدا در دوره آتی اول و دوم افزایش و در دوره آتی سوم کاهش داشته است. به طور کلی روند افزایشی نسبت به دوره گذشته نشان می‌دهد. اما شاخص RDI کمی متفاوت عمل کرده، به گونه‌ای که برای دوره آتی اول و سوم افزایش و برای دوره آتی دوم کاهش را نشان داده است. در مورد دوره‌های تر در مقیاس سه‌ماهه، هر دو شاخص SPI و RDI نتایج نزدیک، مشابه و کاهشی را در دوره آتی دوم و سوم، نشان داده‌اند.



شکل (۴-۱۸) نمودار روند تغییرات دوره خشک (الف) و تر (ب) در مقیاس زمانی ماهانه (۲۰۹۹-۱۹۶۵)

با توجه به شکل (۴-۱۸) و بررسی دوره‌های خشک در مقیاس زمانی ماهانه مشخص می‌شود که هر دو شاخص نتایج مشابهی نشان داده‌اند. تنها تفاوت این دو شاخص در این دوره شیب روند تغییرات می‌باشد. به عبارت دیگر هر دو شاخص SPI و RDI برای دوره‌های خشک، افزایش در دوره آتی اول، کاهش در دوره آتی دوم و روند ثابت برای دوره آتی سوم نشان داده‌اند. این دو شاخص برای دوره‌های تر نیز افزایش را برای دوره آتی اول و کاهش را برای دوره آتی دوم نشان داده‌اند. اما شاخص SPI برای دوره آتی سوم روند ثابت و شاخص RDI کاهش را نشان داده است.

بر اساس شکل‌های (۴-۱۵) تا (۴-۱۸)، می‌توان گفت که در هر چهار مقیاس زمانی سالانه، شش‌ماهه، سه-ماهه و ماهانه، هر دو شاخص SPI و RDI افزایش و رشد دوره‌های خشک را برای دوره آتی دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نشان داده‌اند. همچنین این دو شاخص برای دوره‌های تر، در دوره آتی دوم و سوم روند کاهشی را نشان داده‌اند. به عبارت دیگر، روند تغییرات دوره‌های خشک توسط دو شاخص SPI و RDI نشان می‌دهد که شاخص RDI با در نظر گرفتن دو پارامتر اقلیمی درجه حرارت (عنصر اصلی تبخیر و تعرق) و بارندگی رخداد بیشتری نسبت به شاخص SPI پیش‌بینی کرده است. همچنین بررسی روند دوره‌های تر توسط دو شاخص نشان می‌دهد که شاخص تک پارامتره SPI، تنها با در نظر گرفتن بارندگی تقریباً

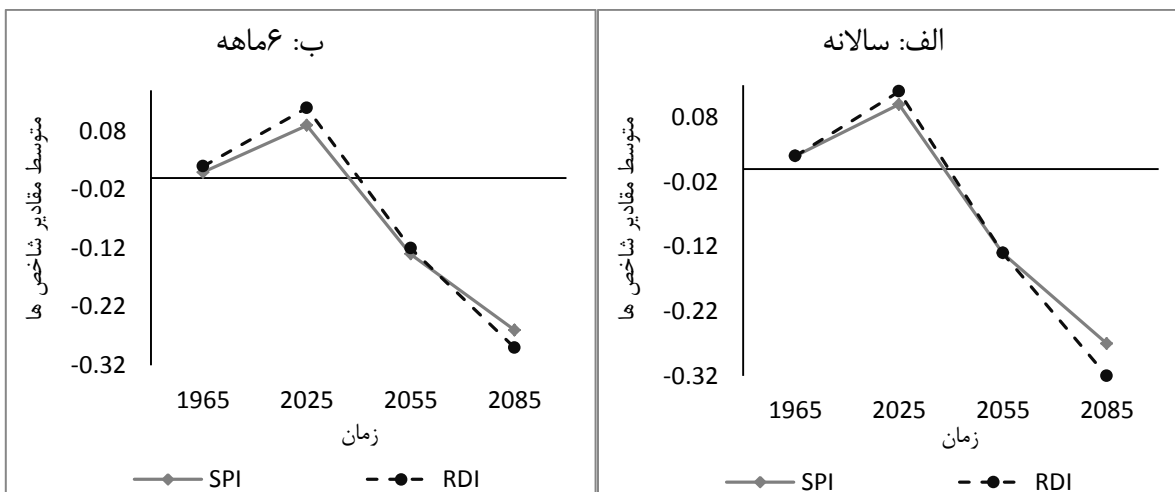
رخداد بیشتری نسبت به شاخص RDI پیش‌بینی نموده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص دو پارامتره RDI (تبخیر- تعرق و بارندگی) از حساسیت بالاتری نسبت به شاخص تک پارامتره SPI (بارندگی) در دوره‌های آبی برخوردار است.

۴-۴-۹- تغییرات مقدار شاخص SPI و RDI در شرایط تغییر اقلیم نسبت به گذشته

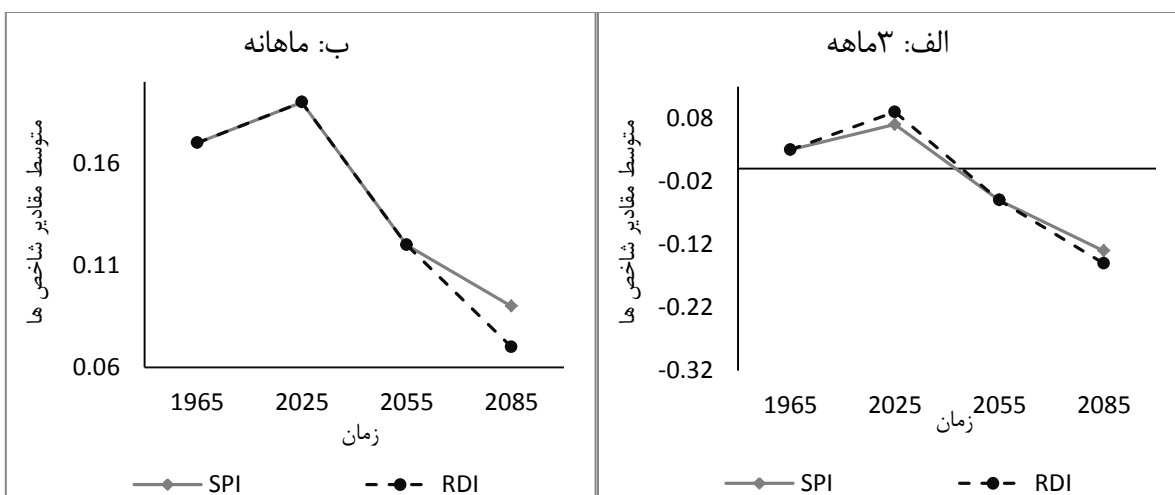
برای مقایسه تغییرات مقادیر شاخص‌های SPI و RDI در چهار مقیاس زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه در سه دوره آبی با دوره گذشته از میانگین‌گیری تمامی مقادیر شاخص‌ها استفاده شده است. به عنوان نمونه، از مقادیر شاخص SPI تحت سناریوی A2 و سطح ریسک ۰/۲۵ در بازه زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و مقیاس زمانی ماهانه میانگین‌گیری صورت گرفت. نتایج مربوط به متوسط شاخص‌های SPI و RDI برای سه دوره آبی نسبت به گذشته و چهار مقیاس زمانی در جدول (۴-۱۵) و شکل‌های (۴-۱۹) و (۴-۲۰) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۵) متوسط شاخص‌های SPI و RDI برای سه دوره آبی نسبت به دوره گذشته

مقیاس زمانی	شاخص	دوره			
		۱۹۶۵-۲۰۰۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۷۰-۲۰۹۹
ماهانه	SPI	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۹
	RDI	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۷
سه ماهه	SPI	۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۱۳
	RDI	۰/۰۳	۰/۰۹	-۰/۰۵	-۰/۱۵
شش ماهه	SPI	۰/۰۱	۰/۰۹	-۰/۱۳	-۰/۲۶
	RDI	۰/۰۲	۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۲۹
سالانه	SPI	۰/۰۲	۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۲۷
	RDI	۰/۰۲	۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۳۲



شکل (۴-۱۹) نمودار تغییرات متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس زمانی سالانه (الف) و شش‌ماهه (ب) (۱۹۶۵-۲۰۹۹)



شکل (۴-۲۰) نمودار تغییرات متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس زمانی سه‌ماهه (الف) و ماهانه (ب) (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

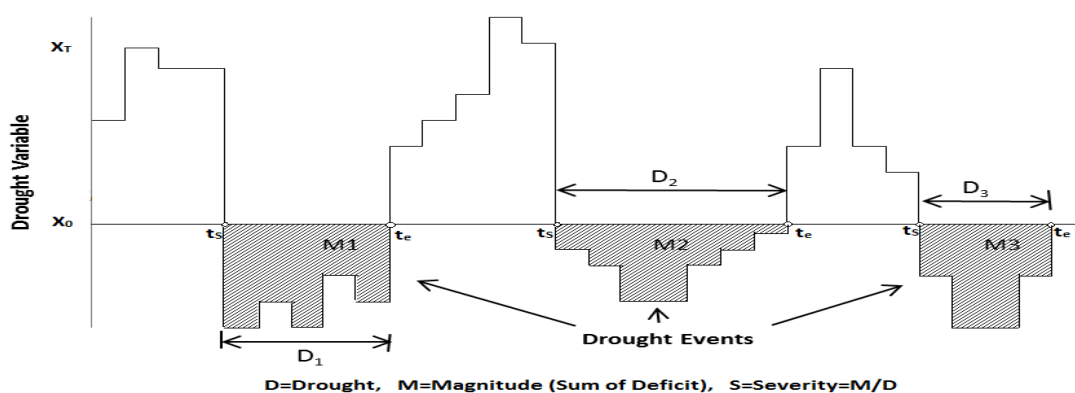
با توجه به جدول (۴-۱۵) و اشکال (۴-۱۹) و (۴-۲۰) مشخص می‌گردد که متوسط هر دو شاخص SPI و RDI نتایج کاملاً مشابهی برای سه دوره آتی و دوره گذشته از خود نشان داده‌اند. به عبارت دیگر شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI برای دوره آتی اول افزایش و کاهش را برای دوره آتی دو و سوم نشان می‌دهند. به طور کلی می‌توان گفت که متوسط این دو شاخص روند کاهشی برای دوره آتی دوم و سوم نسبت به دوره گذشته داشته است. دلیل این روند را می‌توان در ابتدا افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی دانست که این امر به تبع افزایش مقادیر خشکی و کاهش دوران ترسالی به همراه خواهد داشت.

۴-۴-۱۰- تحلیل شدت، مدت و مقدار خشکسالی

اگرچه شاخص‌های خشکسالی می‌توانند اطلاعاتی در مورد احتمال بازگشت به شرایط عادی را بر اساس کمبود بارش و شرایط اقلیمی به ما بدهند، اما درک فراوانی و شدت خشکسالی به منظور احتمال وقوع آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

اغلب، خشکسالی به طور کمی، به صورت یک سطح آستانه تعریف می‌شود. به طور کلی، سطح آستانه به مطالعه در زیر یا بالای یک آستانه اطلاق می‌شود. سطح آستانه خشکسالی را می‌توان بر اساس مقادیر مختلف آستانه به طور دلخواه دسته‌بندی کرد. این سطح آستانه توسط استاندارد خشکسالی بین خشکسالی و ترسالی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، مقدار -0.50 برای شاخص SPI یا SPEI و مقدار -1.0 برای شاخص PDSI در نظر گرفته می‌شود.

Yevjevich در سال ۱۹۶۷ نظریه‌ای به نام تئوری ران^۱، را برای شناسایی سه مشخصه مدت (طول دوره خشکسالی)، مقدار (حاصل جمع مدت خشکسالی) و شدت خشکسالی (نسبت مقدار به مدت خشکسالی) بر اساس روش سطح آستانه ارائه کرده است که در آن خشکسالی به عنوان دوره‌ای در زیر سطح آستانه قرار دارد، تعریف می‌شود. شکل (۴-۲۱) قسمتی از یک متغیر خشکسالی برای یک سری متوالی (پی در پی) را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۲۱) ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از تجزیه و تحلیل دنباله‌ها (Yevjevich, ۱۹۶۷)

¹ Run Theory

در شکل (۴-۲۱)، ران X_t ، بخشی از سری‌های زمانی متغیر خشکسالی و X_0 به عنوان سطح آستانه در نظر گرفته شده‌است.

با توجه به تئوری ران، مدت زمان خشکسالی دوره زمانی بین شروع و خاتمه یک خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. همچنین مقدار خشکسالی، به صورت کمبود تجمعی مقادیر خشکسالی در زیر سطح آستانه تعریف شده و شدت خشکسالی از تقسیم مقدار بر مدت خشکسالی به عنوان نسبت حجم کسری به دست می‌آید.

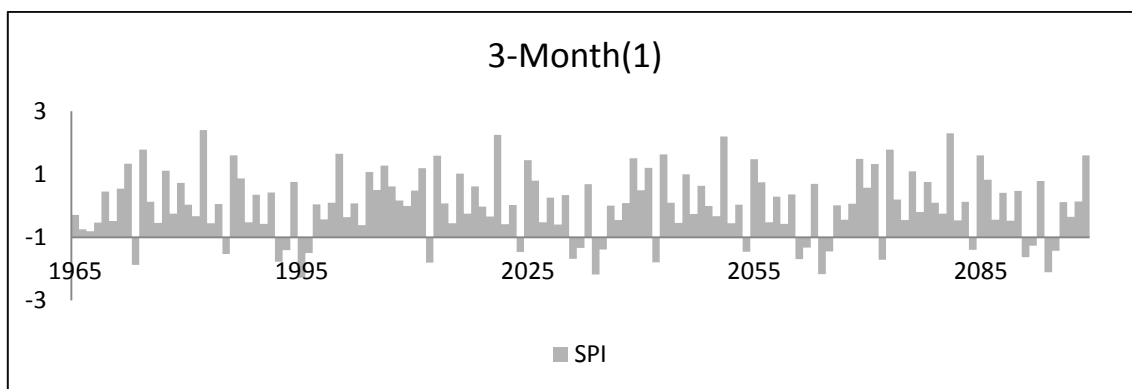
در این مطالعه، مقادیر مدت زمان (D)، مقدار (M) و شدت (S) خشکسالی وابسته به مقادیر شاخص‌های خشکسالی از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید:

$$M = \sum_{t=1}^D [DI_0 - DI_t] \quad (1)$$

$$S = \frac{M}{D} \quad (2)$$

در این روابط، DI_t ، مقادیر شاخص SPI و RDI در زیر سطح آستانه و DI_0 ، سطح آستانه بوده که در این مطالعه به دلیل گستردگی مدت دوره زمانی، ۱- در نظر گرفته شده‌است.

حال برای مقایسه و بررسی مدت، مقدار و شدت خشکسالی‌های سه دوره آتی نسبت به دوره گذشته، ابتدا مقادیر D ، M و S را محاسبه نموده، سپس متوسط مقادیر آن‌ها را بدست می‌آوریم. نمودار (۴-۲۲) برای تعیین مقادیر D ، M و S برای دوره سه‌ماهه شاخص SPI به عنوان نمونه ارائه شده‌است.

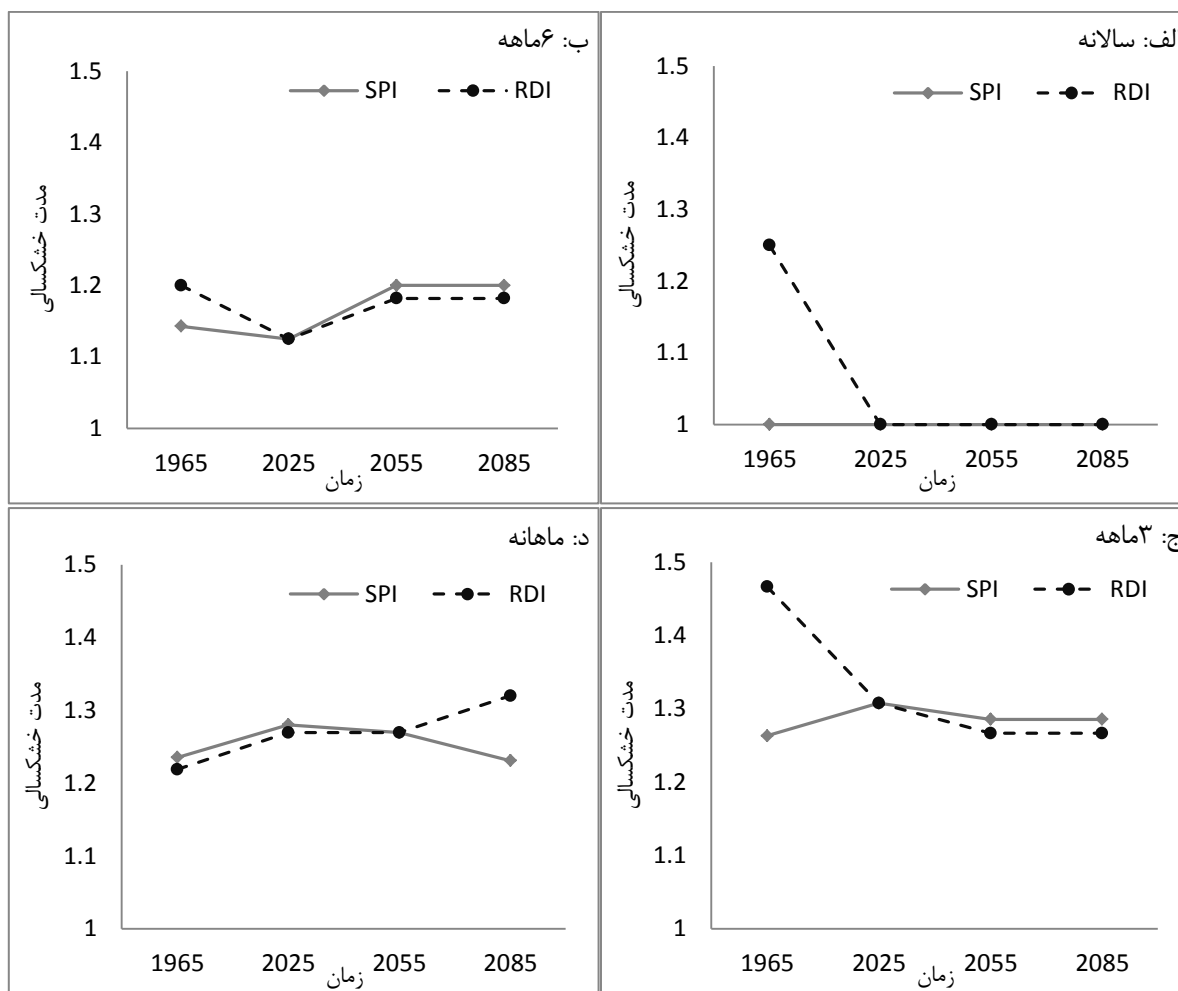


شکل (۴-۲۲) نمودار ویژگی خشکسالی در مقیاس زمانی سه ماهه (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

نتایج حاصل از محاسبه مقادیر مدت، مقدار و شدت خشکسالی در جداول (۴-۱۶) تا (۴-۱۸) و اشکال (۴-۲۳) تا (۴-۲۵) برای چهار مقیاس زمانی ماهانه، سه ماهه، شش ماهه و سالانه ارائه گردیده است.

جدول (۴-۱۶) متوسط طول دوره خشکسالی (D) برای شاخص‌های SPI و RDI

مقیاس زمانی	شاخص	دوره			
		۱۹۶۵-۲۰۰۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۷۰-۲۰۹۹
ماهانه	SPI	۱/۲۴	۱/۲۸	۱/۲۷	۱/۲۳
	RDI	۱/۲۲	۱/۲۷	۱/۲۷	۱/۳۲
سه ماهه	SPI	۱/۲۶	۱/۳۱	۱/۲۹	۱/۲۹
	RDI	۱/۴۷	۱/۳۱	۱/۲۶	۱/۲۶
شش ماهه	SPI	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۲	۱/۲
	RDI	۱/۲	۱/۱۳	۱/۱۸	۱/۱۸
سالانه	SPI	۱	۱	۱	۱
	RDI	۱/۲۵	۱	۱	۱



شکل (۴-۲۳) نمودار روند مدت خشکسالی (D) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش‌ماهه (ب)، سه‌ماهه (ج) و ماهانه (د): (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

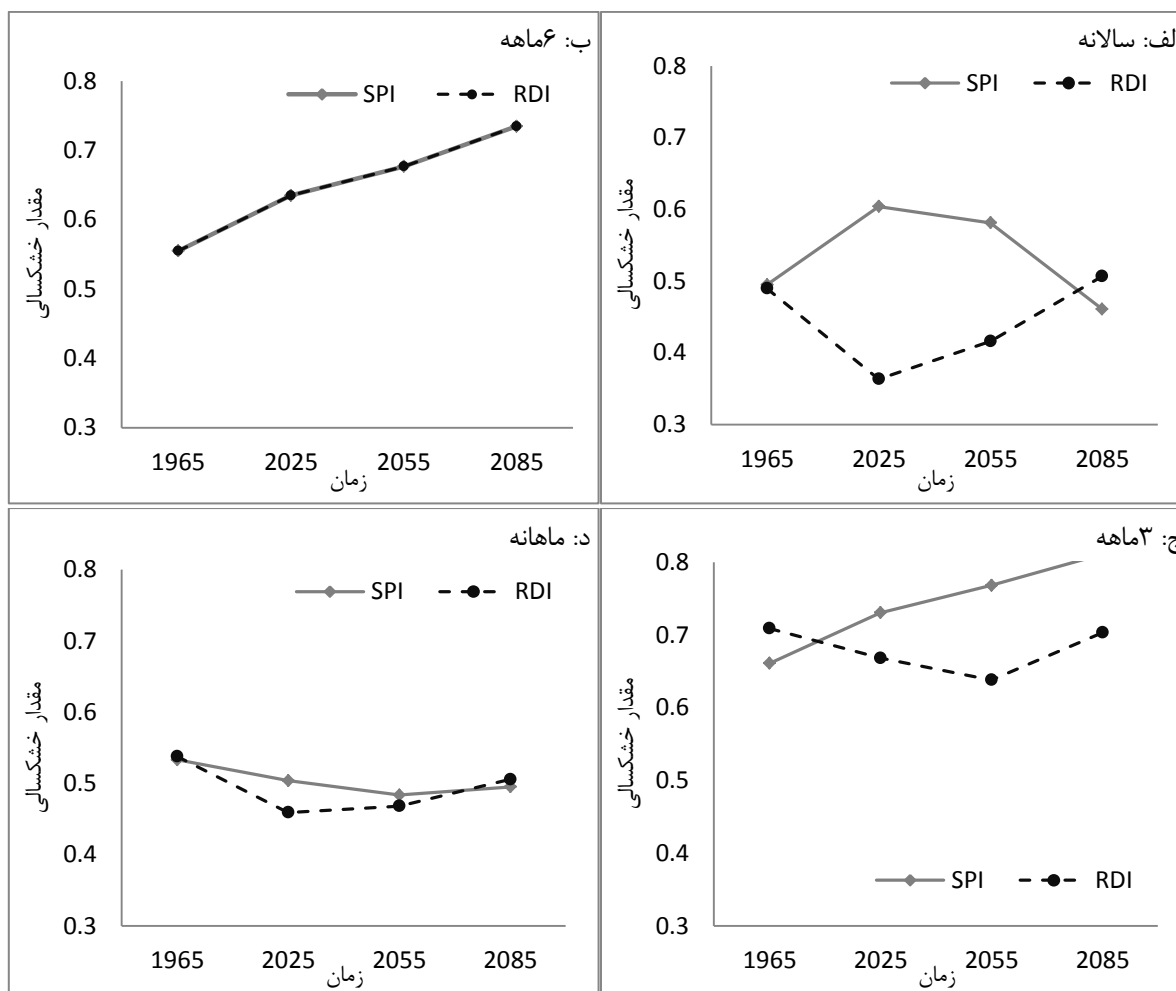
مقادیر در هر دوره زمانی در جدول (۴-۱۶) منعکس‌کننده همان دوره زمانی است. به عنوان مثال عدد یک در مقیاس سالانه برای شاخص SPI نشان دهنده آن است که متوسط مدت زمان خشکسالی در آن دوره یک ساله می‌باشد. همانگونه که از جدول (۴-۱۶) و شکل (۴-۲۳) مشاهده می‌شود، در مقیاس زمانی سالانه، شاخص SPI مدت خشکسالی را با متوسط یک سال برای هر چهار دوره نشان می‌دهد. در صورتیکه شاخص RDI ابتدا متوسط دوره ۱/۲ را برای دوره گذشته نشان داده، سپس به متوسط مدت خشکسالی یک ساله در سه دوره آتی می‌رسد. برای مقیاس زمانی شش‌ماهه، هر دو شاخص کاهش متوسط مدت خشکسالی در دوره آتی اول، افزایش در دوره آتی دوم و روند ثابت را در دوره آتی سوم نشان می‌دهند. به عبارت دیگر شاخص SPI و RDI به ترتیب با متوسط مدت ۱/۱ و ۱/۲ به متوسط ۱/۲ در دوره آتی دوم و سوم رسیده‌اند. برای

مقیاس زمانی سه‌ماهه که طولانی‌ترین دوره خشکسالی در این مقیاس زمانی رخ داده، می‌توان گفت که هر دو شاخص SPI و RDI در دوره آتی دوم کاهش و برای دوره آتی سوم روند ثابت با متوسط $1/3$ را نشان می‌دهند. این در حالی است که شاخص SPI برای دوره آتی اول افزایش و شاخص RDI برای این دوره را کاهش نشان داده‌است. و در مورد مقیاس ماهانه می‌توان گفت که شاخص SPI برای دوره آتی اول افزایش و کاهش را برای دوره آتی دوم و سوم نشان داده‌است. اما شاخص RDI برای این مقیاس زمانی برای دوره آتی اول و سوم افزایش و برای دوره آتی دوم روند ثابت را نشان داده‌است.

به طور کلی می‌توان بیان کرد که تعداد خشکسالی پیش‌بینی شده توسط شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (سه ماهه) و بلندمدت (شش ماهه) برای دوره‌های آتی بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی موجب بروز خشکی هوا و اقلیم و به تبع آن افزایش نیاز آبی گیاهان در دوره‌های آتی را به همراه خواهد داشت. در همین راستا می‌توان اذعان داشت که شاخص RDI به دلیل در نظر گرفتن دو پارامتر اقلیمی (بارندگی و تبخیر و تعرق) در پیش‌بینی تعداد و تداوم خشکسالی از حساسیت و اهمیت بیشتری در برنامه‌ریزی مدیریت کشاورزی و منابع آب در دوره‌های آتی برخوردار خواهد بود.

جدول (۴-۱۷) متوسط مقدار خشکسالی (M) برای شاخص‌های SPI و RDI

مقیاس زمانی	شاخص	دوره			
		۱۹۶۵-۲۰۰۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۷۰-۲۰۹۹
ماهانه	SPI	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۵۰
	RDI	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۵۱
سه ماهه	SPI	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸۱
	RDI	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۷۰
شش ماهه	SPI	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۷۳
	RDI	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۷
سالانه	SPI	۰/۴۹	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۴۶
	RDI	۰/۴۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۵۱



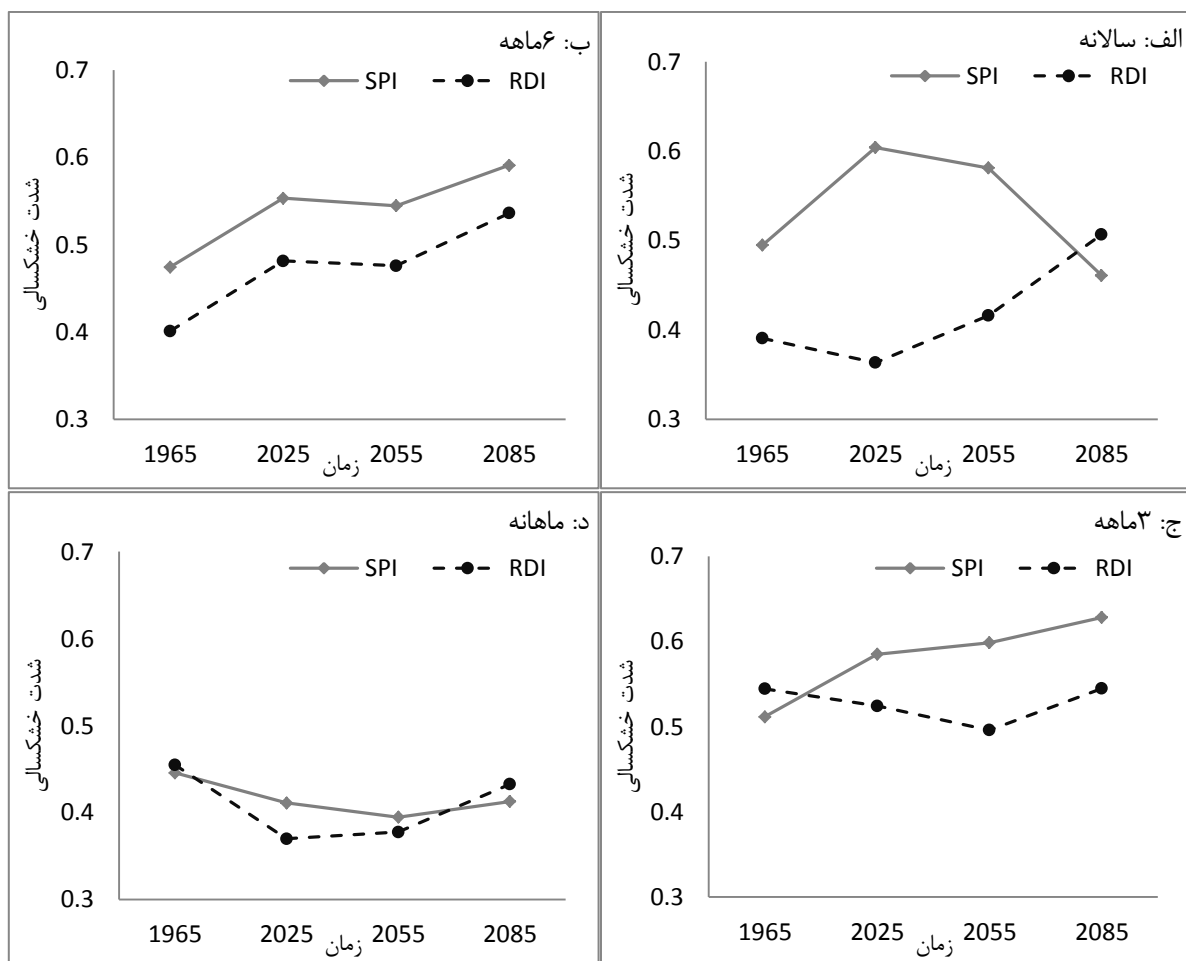
شکل (۴-۲۴) نمودار روند مقدار خشکسالی (MI) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش‌ماهه (ب)، سه‌ماهه (ج) و ماهانه (د): (۲۰۹۹-۱۹۶۵)

با توجه به جدول (۴-۱۷) و شکل (۴-۲۴) مشخص می‌شود که در مقیاس زمانی شش‌ماهه دو شاخص SPI و RDI نتایج یکسان و روند افزایشی را نشان می‌دهند. اما در سه مقیاس زمانی دیگر این دو شاخص نتایج متفاوتی نشان داده‌اند، به عبارت دیگر می‌توان گفت که شاخص SPI در مقیاس زمانی سالانه ابتدا برای دوره آتی اول افزایش و برای دوره آتی دوم و سوم روند کاهشی را نشان می‌دهد. این در حالی است که شاخص RDI نتایجی عکس SPI نشان می‌دهد. به طوریکه ابتدا برای دوره آتی اول کاهش و برای دوره آتی دوم و سوم افزایش را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی سه‌ماهه شاخص SPI در هر سه دوره آتی روند افزایشی را نشان داده، در صورتیکه شاخص RDI تنها در دوره آتی سوم روند افزایشی داشته‌است. و اما در مقیاس زمانی ماهانه شاخص SPI برای دوره آتی اول و دوم کاهش متوسط مقدار خشکسالی و برای دوره آتی سوم افزایش

را نشان داده‌است. اما شاخص RDI بعد از کاهش در دوره آتی اول، برای دوره آتی دوم و سوم افزایش متوسط مقدار خشکسالی را نشان داده‌است.

جدول (۴-۱۸) متوسط شدت خشکسالی (S) برای شاخص‌های SPI و RDI

مقیاس زمانی	شاخص	دوره			
		۱۹۶۵-۲۰۰۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۷۰-۲۰۹۹
ماهانه	SPI	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۴۱
	RDI	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۴۳
سه ماهه	SPI	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۶۳
	RDI	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۴
شش ماهه	SPI	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۹
	RDI	۰/۴۰	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۴
سالانه	SPI	۰/۴۹	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۴۶
	RDI	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۵۱



شکل (۴-۲۵) نمودار روند شدت خشکسالی (S) برای مقیاس‌های زمانی سالانه (الف)، شش ماهه (ب)، سه ماهه (ج) و ماهانه (د): (۱۹۶۵-۲۰۹۹)

با توجه به شکل (۴-۲۵) و جدول (۴-۱۸) در می‌یابیم که شدت خشکسالی نیز به تبع، نتایج مشابهی با مقدار خشکسالی ارائه دهد. زیرا شدت و مقدار خشکسالی ($\frac{M}{D}$) رابطه مستقیم دارند. همانطور که مشخص است روند شدت خشکسالی مشابه روند مقدار خشکسالی بوده و تنها در مقیاس زمانی شش‌ماهه و در دوره آتی دوم هر دو شاخص روند کاهشی را نشان داده‌اند. بر اساس بررسی روند شدت خشکسالی توسط دو شاخص SPI و RDI می‌توان بیان کرد هر دو شاخص در مقیاس‌های زمانی سه‌ماهه (کوتاه مدت) و شش‌ماهه (بلند مدت)، نتایج قابل قبول‌تری نشان داده‌اند. به طوریکه متوسط شدت خشکسالی بیشتری را در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته پیش‌بینی نموده‌اند.

به طور کلی با توجه به مطالب فوق‌الذکر و تحلیل و بررسی متوسط مدت، مقدار و شدت خشکسالی می‌توان گفت که برای مدت خشکسالی، شاخص SPI و RDI به ترتیب تنها در مقیاس زمانی شش‌ماهه و ماهانه افزایش را در دوره سوم نسبت به دوره گذشته نشان می‌دهند. همچنین برای مقدار و شدت خشکسالی می‌توان بیان کرد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه کاهش داشته است. اما شاخص RDI برای مقدار و شدت خشکسالی به ترتیب در مقیاس‌های ماهانه و سه‌ماهه، تنها در مقیاس زمانی ماهانه روند کاهشی را در دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، شاخص دو پارامتره RDI در دو مقیاس کوتاه مدت و بلند مدت سه‌ماهه و شش‌ماهه در پیش‌بینی و تعیین روند تداوم و شدت خشکسالی در منطقه سمنان نتایج حساس‌تری را ارائه نموده است.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

پدیده تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم مدیریت منابع آب در قرن حاضر می‌باشد. در همین راستا، خشکسالی قبل از وقوع آن لزوم پیش‌بینی دوره‌های آبی طی روش‌های مختلف امری ضروری است. در این تحقیق وضعیت خشکسالی منطقه سمنان در سه دوره آبی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت تأثیر تغییر اقلیم و با لحاظ عدم قطعیت‌های مربوط به مدل‌های مختلف AOGCM مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا از خروجی ۱۴ مدل AOGCM تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 در سه دوره آبی به منظور برآورد مقادیر ماهانه دما و بارش بکار گرفته شد. در ادامه با استفاده از مقادیر بارش و تبخیر و تعرق به محاسبه و برآورد شاخص‌های SPI و RDI برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه در دوره مشاهداتی و سه دوره آبی پرداخته شد. به طور کلی نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به بخش‌های زیر خلاصه و طبقه‌بندی نمود:

۱. آنالیز سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش از داده‌های مدل‌های AOGCM نشان می‌دهد که دمای منطقه مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ برای سناریو A2 بین ۰/۷ تا ۴/۸، برای سناریوی A1B بین ۰/۸ تا ۴/۲ و برای سناریوی B1 بین ۰/۷ تا ۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این در حالی است که منطقه در دوره آبی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ نسبت به دوره گذشته شاهد افزایش و در دوره‌های ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ شاهد کاهش بارندگی خواهیم بود. همچنین محدوده تغییرات بارش در دوره آبی دوم و سوم برای سناریوی A2 بین ۹۷ تا ۹۵ درصد، برای سناریوی A1B بین ۸۸ تا ۹۵ درصد و برای سناریوی B1 بین ۹۸ تا ۹۶ درصد خواهد بود.

۲. نتایج بررسی رفتار متغیرهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آبی پیش‌بینی می‌کند که مقدار دما در فصل زمستان از افزایش پایین‌تر و ماه‌های پایانی فصل بهار و تابستان افزایش بیشتری برخوردار خواهد بود. به طوریکه که دمای متوسط سالانه افزایشی در حدود ۲/۵، ۲/۴ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد

را به ترتیب برای سناریوهای A2، A1B و B1 نشان می‌دهد. همچنین در مورد مقادیر بارش می‌توان گفت که در فصل زمستان کاهش و بارش‌های بهاره و بعضاً تابستانه افزایش خواهد یافت.

۳. بررسی نتایج تبخیر و تعرق تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد که سطوح مختلف ریسک در تولید سناریوهای اقلیمی و میزان تبخیر و تعرق تأثیر خاصی ندارد. به عبارت دیگر، تبخیر و تعرق در دوره آبی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت دو سناریوی A2 و A1B، افزایش در حدود ۲/۷ درصد پیش‌بینی نموده است. همچنین در دوره آبی ۲۰۹۹-۲۰۷۰، سناریوی A2 و B1 با تبخیر و تعرقی به میزان ۰/۳۳ (۰/۹٪) و ۰/۲ میلی‌متر (حدود ۰/۶٪) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده‌اند.

۴. با بررسی رفتاری میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) در دوره‌های آبی می‌توان نتیجه گرفت که در اواخر بهار و اوایل تابستان به دلیل افزایش دما در این برهه زمانی شاهد افزایش ET_0 خواهیم بود.

۵. با بررسی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و سطوح ریسک مختلف در دوره‌های آبی، سناریوی A2 به عنوان وخیم‌ترین سناریوی انتشار (حساسیت بالا در دوره‌های آبی) و سطح ریسک ۲۵٪ نیز به عنوان سطح ریسک حساس‌تر معرفی و پیشنهاد شد.

۶. ارزیابی انواع خشکسالی‌ها نشان می‌دهد که هر دو شاخص SPI و RDI، در مقیاس زمانی سه‌ماهه (خشکسالی کشاورزی) و شش‌ماهه (خشکسالی هیدرولوژیکی)، طبقه خشکسالی بسیار شدید بیشتری نسبت به سایر مقیاس‌ها پیش‌بینی نموده‌اند.

۷. بررسی نمودارهای سری زمانی نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت برای شاخص‌های SPI و RDI به ترتیب در دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۷ و ۲۰۰۹-۲۰۰۵ خشکسالی-های مداومی را با شدت‌های متغیر از کم تا بسیار شدید را تجربه کرده است. به عبارت دیگر، چنین خشکسالی در تاریخ این منطقه هم از نظر شدت و هم از نظر مدت بی‌سابقه بوده است.

۸. تحلیل روند طبقات خشکسالی نشان داد که در مقیاس‌های زمانی سالانه، شش ماهه و سه‌ماهه اول (فصل بهار)، طبقه خشکسالی بسیار شدید روند افزایشی را در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته طی خواهد کرد. همچنین طبقه ترسالی بسیار شدید در مقیاس‌های زمانی سالانه، شش‌ماهه دوم، سه‌ماهه سوم و چهارم (فصل پاییز و زمستان) روند کاهشی را نشان داده است.

۹. بررسی روند دوره‌های خشک و تر تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم نشان می‌دهد که هر دو شاخص SPI و RDI در چهار مقیاس زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه، افزایش و رشد برای دوره‌های خشک و روند کاهشی را برای دوره‌های تر در دوره‌های آتی دوم و سوم پیش‌بینی کرده‌اند.

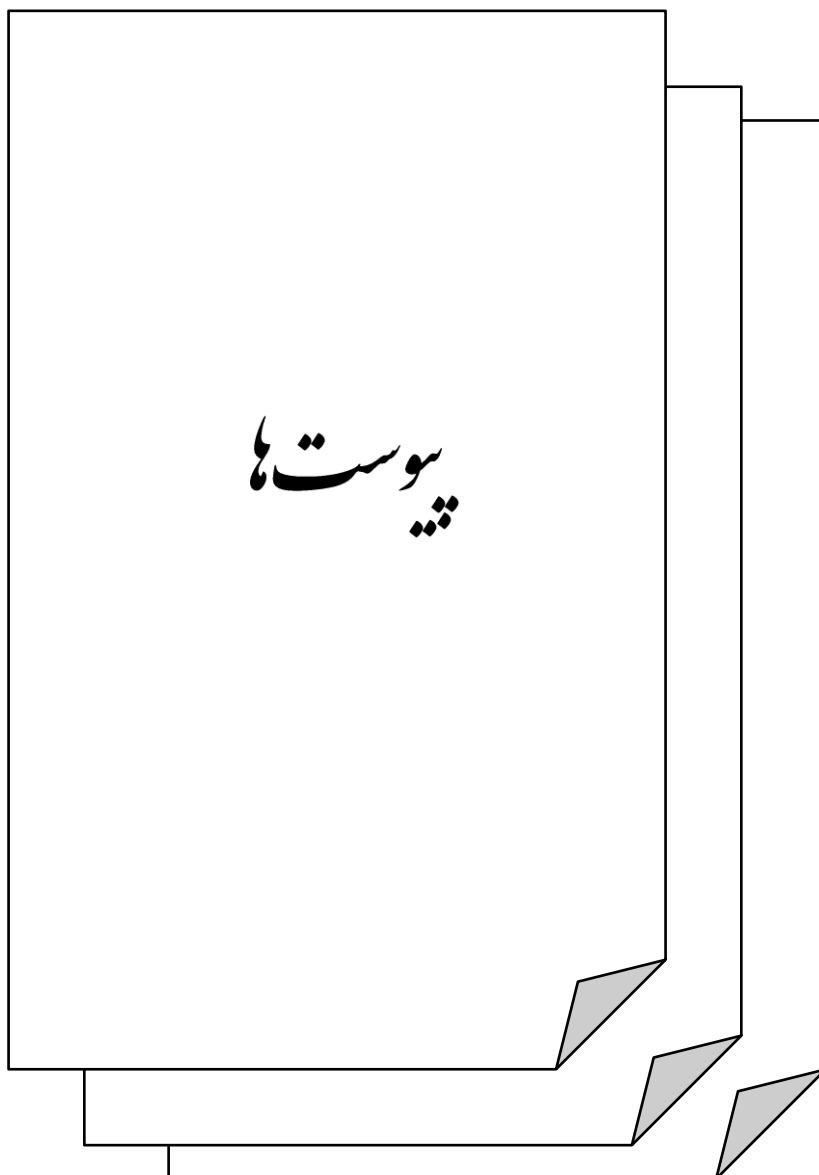
۱۰. نتایج متوسط مقادیر هر دو شاخص SPI و RDI نتایج کاملاً مشابهی برای سه دوره آتی و دوره گذشته از خود نشان داده‌اند. به عبارت دیگر متوسط این دو شاخص روند کاهشی برای دوره آتی دوم و سوم نسبت به دوره گذشته داشته، که دلیل این امر افزایش مقادیر خشکی و کاهش دوران ترسالی دانست.

۱۱. تجزیه و تحلیل شدت، مدت و مقدار رخداد خشکسالی نشان از افزایش هر سه مشخصه در دوره‌های آتی دارد. به طور جزئی‌تر، نتایج مدت خشکسالی نشان می‌دهد که شاخص SPI و RDI به ترتیب تنها در مقیاس زمانی شش‌ماهه و ماهانه افزایش را در دوره سوم نسبت به دوره گذشته خواهند داشت. همچنین برای مقدار و شدت خشکسالی نتایج نشان داد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه کاهش داشته است. اما شاخص RDI برای مقدار و شدت خشکسالی به ترتیب در مقیاس‌های ماهانه و سه‌ماهه، تنها در مقیاس زمانی ماهانه روند کاهشی را در دوره آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) خواهد داشت.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و تحلیل و بررسی‌های صورت گرفته، پیشنهادات زیر مد نظر قرار گرفته است:

۱. به منظور کاهش هرچه بیشتر عدم قطعیت، به بررسی مدل‌های AOGCM بیشتر و تحت سناریوهای انتشار مختلف و به روزتر در منطقه و کشور پرداخته شود.
۲. در راستای بررسی دقیق‌تر خشکسالی در دوره‌های آتی، از شاخص‌های متفاوتی مانند شاخص‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (یک یا چند پارامتره) استفاده گردد.
۳. از تلفیق چند شاخص خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده شود، تا نتایج دقیق‌تری در تعیین مشخصه و دوره‌های خشکسالی حاصل شود.



جدول (پ-۱) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۵۶	۱/۱۸	۲/۰۱	۱/۵۲	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۵۰	۰/۳۶
CGCM3T63	۱/۰۶	۰/۸۳	۱/۲۷	۱/۲۹	۱/۶۲	۱/۴۳	۱/۶۰	۱/۷۴	۱/۴۵	۲/۰۸	۰/۵۶	۱/۰۷
CSIROMK3.5	۰/۸۹	۱/۳۲	۰/۹۹	۰/۷۲	۱/۱۶	۱/۷۵	۱/۴۰	۱/۱۸	۰/۶۲	۱/۵۳	۰/۸۱	۱/۱۶
ECHO-G	۱/۱۹	۱/۳۰	۱/۰۲	۱/۲۴	۱/۶۷	۱/۷۱	۱/۶۹	۱/۳۶	۱/۲۷	۱/۰۶	۱/۲۴	۱/۱۸
ECHAM5OM	۰/۹۶	۰/۷۹	۱/۱۲	۱/۲۹	۱/۱۲	۱/۳۴	۱/۵۰	۱/۲۰	۱/۰۳	۱/۲۵	۰/۷۴	۱/۳۳
GFGLCM2.1	۰/۶۱	۱/۰۴	۱/۶۱	۲/۲۴	۲/۳۰	۱/۸۰	۱/۷۰	۲/۷۹	۱/۶۵	۱/۰۴	۰/۸۷	۱/۶۰
GISS-ER	۰/۹۲	۰/۵۸	۰/۹۵	۱/۹۷	۲/۱۵	۲/۷۵	۱/۸۳	۱/۶۲	۰/۹۱	۱/۴۱	۱/۵۲	۱/۳۱
HADCM3	۱/۱۷	۰/۴۸	۰/۹۰	۱/۲۴	۱/۷۰	۱/۶۰	۲/۲۱	۱/۸۹	۱/۸۲	۱/۳۳	۰/۶۴	۰/۱۷
INMCM3.0	۰/۵۷	۱/۱۰	۰/۹۰	۰/۹۲	۱/۹۰	۰/۶۴	۲/۶۰	۲/۴۷	۱/۳۷	۲/۳۲	۱/۱۴	۱/۷۶
IPSLCM4	۱/۲۴	۱/۴۱	۱/۲۱	۰/۸۵	۱/۱۰	۰/۵۴	۱/۵۱	۱/۱۳	۱/۳۲	۱/۴۱	۰/۲۰	۰/۸۹
MIROC3.2 MEDRES	۱/۰۰	۱/۱۶	۰/۷۶	۱/۰۸	۱/۵۱	۱/۷۴	۱/۶۴	۲/۰۵	۱/۶۷	۱/۲۵	۱/۱۴	۰/۹۵
MRICGCM2.3.2a	۰/۰۶	۰/۳۷	۰/۹۰	۱/۰۸	۰/۹۳	۱/۳۶	۱/۰۴	۱/۳۲	۱/۶۷	۰/۸۱	۱/۰۰	۰/۶۰
NCARCCSM3	۰/۸۲	۱/۰۲	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۵۴	۱/۴۹	۲/۰۲	۲/۰۸	۱/۹۲	۱/۶۳	۱/۴۶	۱/۳۱
NCARPCM	۰/۹۶	۰/۳۴	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۹۸	۰/۷۳	۱/۰۴	۱/۲۵	۱/۱۹	۰/۸۹	۰/۵۵

جدول (پ-۲) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۴۰	۰/۸۳	۱/۱۳	۱/۱۵	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۸۶	۱/۱۲	8/۷۸	۰/۵۸
CGCM3T63	۰/۶۲	۰/۱۱	۰/۸۳	۱/۵۱	۲/۹۹	۰/۷۹	۱/۷۵	۱/۹۳	۱/۶۰	۲/۶۱	۱/۴۸	۰/۳۷
CSIROMK3.5	۱/۰۹	۱/۷۰	۱/۰۲	۰/۸۲	۰/۹۲	۱/۰۷	۱/۰۳	۱/۳۰	۰/۷۹	۱/۲۵	۰/۹۳	۰/۶۷
ECHO-G	۱/۳۳	۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۴۹	۱/۴۸	۱/۸۴	۱/۶۱	۱/۴۳	۱/۴۸	۱/۱۷	۱/۱۵	۱/۰۶
ECHAM5OM	۰/۹۶	۰/۲۰	۱/۰۱	۰/۸۴	۰/۸۸	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۰۰	۱/۰۹	۱/۲۴	۰/۷۱	۰/۹۹
GFGLCM2.1	۰/۳۱	۰/۵۸	۱/۲۹	۱/۵۲	۱/۸۶	۱/۷۴	۱/۷۱	۲/۲۱	۱/۸۷	۱/۴۲	۰/۹۰	۱/۰۷
GISS-ER	۰/۶۷	۰/۷۴	۱/۱۱	۲/۲۸	۲/۱۷	۳/۲۱	۱/۶۳	۱/۸۴	۱/۱۰	۱/۴۷	۰/۵۴	۰/۹۹
HADCM3	۰/۸۹	۰/۸۶	۱/۳۹	۱/۱۰	۱/۳۶	۱/۵۸	۱/۷۸	۱/۳۷	۱/۹۲	۱/۸۱	۱/۴۵	۱/۰۵
INMCM3.0	۰/۷۳	۰/۱۹	۱/۱۴	۰/۹۵	۱/۳۸	۰/۷۷	۲/۰۳	۱/۴۶	۰/۸۳	۲/۶۹	۱/۶۶	۱/۸۲
IPSLCM4	۱/۱۲	۰/۸۰	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۷۳	۱/۵۱	۱/۳۳	۰/۸۱	۱/۲۵	۰/۱۰	۰/۲۹
MIROC3.2 MEDRES	۱/۰۷	۱/۲۶	۰/۷۳	۱/۱۶	۱/۲۷	۱/۶۷	۱/۵۵	۱/۸۱	۱/۴۴	۱/۲۶	۱/۱۴	۰/۹۷
MRICGCM2.3.2a	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۸۴	۱/۱۸	۱/۱۲	۰/۸۰	۱/۱۸	۱/۳۵	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۵۸
NCARCCSM3	۰/۶۹	۱/۲۰	۱/۴۲	۱/۶۱	۱/۵۰	۱/۷۲	۱/۹۹	۲/۱۴	۱/۷۷	۱/۶۵	۱/۷۶	۰/۹۹
NCARPCM	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۴۶	۰/۶۲	۱/۱۲	۱/۱۳	۰/۸۹	۰/۵۰

جدول (پ-۳) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۰/۶۸	۱/۰۲	۰/۶۱	۰/۶۲	۱/۲۴	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۷۸	۱/۱۶	۱/۰۷	۰/۸۰	۰/۱۵
CGCM3T63	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۷۳	۱/۳۵	۱/۲۵	۱/۸۴	۱/۹۳	۲/۰۴	۱/۴۲	۱/۸۹	۱/۳۶	۰/۸۱
CSIROMK3.5	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۴۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۲۵	۱/۰۵	۱/۲۳	۰/۹۱	۰/۸۱
ECHO-G	۱/۲۳	۱/۳۰	۱/۲۶	۰/۹۵	۱/۱۹	۱/۴۶	۱/۳۳	۱/۲۴	۱/۳۶	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۰۸
ECHAM5OM	۱/۲۲	۰/۵۱	۱/۱۱	۱/۰۳	۰/۹۴	۱/۳۰	۱/۵۲	۱/۴۶	۱/۰۹	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۸۵
GFDLGM2.1	۰/۵۸	۱/۱۸	۱/۴۴	۲/۱۴	۱/۸۶	۲/۲۱	۱/۸۸	۲/۵۸	۱/۵۱	۱/۲۰	۱/۲۶	۱/۰۸
GISS-ER	۰/۴۷	۰/۹۸	۰/۴۹	۱/۷۸	۱/۸۴	۲/۵۶	۱/۷۴	۱/۶۸	۱/۲۷	۱/۳۰	۱/۲۰	۱/۳۱
HADCM3	۰/۸۷	۰/۸۰	۱/۲۹	۰/۶۲	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۹۲	۲/۳۰	۱/۹۹	۱/۴۴	-۰/۰۶	۰/۴۱
INMCM3.0	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۵۷	۰/۵۵	۱/۶۷	۰/۸۱	۲/۱۰	۱/۶۵	۰/۸۹	۱/۵۶	۰/۷۵	۱/۳۵
IPSLCM4	۱/۱۹	۰/۵۳	۱/۱۱	۱/۱۷	۱/۲۶	۱/۳۱	۱/۴۹	۱/۱۸	۱/۵۲	۱/۱۲	-۰/۱۲	۰/۵۶
MIROC3.2 MEDRES	۰/۸۶	۱/۰۵	۰/۸۰	۰/۸۱	۱/۲۰	۱/۷۶	۱/۵۷	۱/۶۲	۱/۴۰	۱/۲۲	۱/۳۲	۰/۷۷
MRICGCM2.3.2a	-۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۷۹	۱/۱۲	۱/۰۴	۱/۱۸	۰/۹۱	۱/۲۳	۱/۳۷	۱/۱۱	۱/۰۰	۰/۳۳
NCARCCSM3	۰/۶۲	۰/۸۶	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۴۷	۱/۲۱	۱/۸۵	۱/۸۴	۱/۷۹	۱/۵۴	۱/۳۵	۰/۹۹
NCARPCM	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۹۲	۰/۵۱	۰/۸۰	۱/۱۰	۱/۲۹	۰/۷۰	۰/۶۳

جدول (پ-۴) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۳۵	۱/۶۶	۱/۵۱	۲/۳۳	۳/۳۲	۲/۳۳	۱/۶۶	۲/۱۱	۲/۰۴	۲/۱۳	۲/۱۰	۱/۷۳
CGCM3T63	۱/۸۶	۲/۱۲	۲/۶۳	۲/۹۷	۴/۰۵	۳/۴۰	۳/۵۳	۳/۶۳	۳/۳۱	۳/۶۹	۲/۴۰	۲/۰۳
CSIROMK3.5	۲/۰۸	۲/۲۳	۲/۳۸	۱/۸۶	۱/۷۳	۲/۵۳	۲/۴۴	۲/۵۹	۲/۰۸	۲/۲۵	۲/۴۰	۲/۱۶
ECHO-G	۲/۵۶	۲/۶۶	۲/۷۳	۲/۸۸	۳/۳۵	۳/۸۷	۳/۶۷	۳/۳۱	۳/۲۵	۲/۸۶	۲/۷۶	۲/۳۴
ECHAM5OM	۲/۲۷	۱/۸۱	۲/۳۹	۲/۱۷	۲/۵۵	۲/۶۸	۳/۱۰	۳/۱۹	۲/۷۲	۲/۵۷	۲/۱۶	۲/۶۹
GFDLGM2.1	۱/۶۴	۲/۶۲	۳/۳۴	۳/۹۴	۴/۵۲	۴/۶۴	۳/۵۵	۴/۱۸	۳/۰۶	۳/۳۳	۳/۲۸	۲/۲۹
GISS-ER	۱/۹۲	۲/۱۱	۲/۱۷	۳/۵۷	۴/۴۶	۵/۵۲	۳/۲۱	۳/۱۶	۲/۲۴	۲/۸۰	۲/۱۴	۱/۳۵
HADCM3	۱/۹۷	۱/۸۳	۲/۶۰	۳/۰۰	۳/۹۷	۲/۸۶	۳/۶۴	۴/۲۹	۳/۴۲	۲/۲۸	۱/۹۱	۲/۱۳
INMCM3.0	۱/۳۴	۰/۸۲	۱/۷۴	۲/۰۷	۲/۵۲	۲/۰۶	۳/۲۸	۳/۱۷	۲/۴۰	۳/۴۶	۱/۳۶	۱/۹۳
IPSLCM4	۱/۷۰	۱/۹۴	۱/۲۱	۲/۴۲	۲/۸۳	۳/۱۶	۳/۱۶	۲/۶۰	۳/۰۳	۲/۳۸	۰/۹۵	۱/۳۴
MIROC3.2 MEDRES	۲/۱۷	۱/۹۷	۱/۸۷	۲/۴۳	۲/۹۸	۳/۵۷	۳/۴۷	۳/۵۸	۳/۴۰	۲/۶۴	۲/۷۷	۲/۲۰
MRICGCM2.3.2a	۱/۲۱	۱/۴۳	۱/۵۴	۱/۸۷	۲/۱۵	۲/۳۰	۲/۲۲	۲/۷۷	۲/۵۰	۱/۹۶	۱/۷۵	۱/۰۹
NCARCCSM3	۱/۵۶	۱/۷۴	۲/۲۶	۲/۷۵	۲/۵۷	۲/۷۶	۳/۴۵	۳/۴۳	۳/۱۵	۲/۷۵	۲/۶۷	۲/۱۶
NCARPCM	۰/۷۴	۰/۵۹	۱/۱۱	۱/۹۰	۱/۷۰	۱/۶۸	۱/۵۱	۲/۱۵	۲/۰۷	۲/۴۳	۱/۷۵	۱/۳۳

جدول (پ-۵) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۰۲	۱/۷۰	۱/۵۷	۱/۷۹	۲/۷۷	۲/۵۵	۱/۶۸	۱/۵۶	۱/۶۵	۱/۷۶	۱/۵۷	۱/۶۶
CGCM3T63	۱/۶۸	۲/۱۱	۲/۸۰	۳/۳۶	۴/۰۹	۳/۸۶	۳/۷۲	۳/۴۸	۳/۳۷	۳/۰۶	۳/۰۵	۲/۰۷
CSIROMK3.5	۱/۵۳	۱/۹۵	۱/۶۲	۱/۸۳	۱/۶۶	۲/۴۵	۲/۵۷	۲/۸۱	۲/۳۵	۲/۶۹	۲/۳۵	۲/۱۹
ECHO-G	۲/۶۴	۲/۳۸	۲/۸۱	۲/۷۹	۳/۲۳	۳/۶۵	۳/۴۶	۳/۳۵	۳/۴۷	۳/۱۰	۲/۷۲	۲/۶۰
ECHAM5OM	۱/۹۵	۱/۸۵	۱/۵۴	۲/۰۸	۲/۰۴	۲/۴۸	۲/۸۲	۲/۷۳	۲/۵۷	۲/۲۶	۱/۷۱	۲/۱۹
GFDLCM2.1	۱/۶۰	۲/۲۷	۳/۲۱	۳/۷۴	۳/۷۶	۴/۰۹	۳/۱۰	۳/۲۰	۲/۱۵	۲/۹۲	۲/۲۶	۱/۸۱
GISS-ER	۱/۵۷	۱/۴۴	۱/۶۲	۳/۰۲	۳/۴۱	۴/۷۰	۳/۵۵	۳/۱۱	۲/۲۸	۱/۹۸	۱/۶۴	۱/۳۱
HADCM3	۲/۴۴	۱/۹۰	۱/۹۳	۲/۲۰	۲/۶۸	۳/۳۵	۳/۸۱	۳/۷۳	۳/۳۸	۳/۳۷	۱/۹۱	۱/۷۳
INMCM3.0	۱/۶۸	۱/۳۳	۱/۹۹	۱/۹۴	۲/۷۸	۱/۵۴	۳/۳۳	۳/۰۷	۲/۴۶	۲/۷۷	۲/۲۸	۱/۸۵
IPSLCM4	۱/۹۵	۱/۷۶	۱/۵۴	۱/۷۲	۲/۱۰	۲/۰۸	۲/۵۵	۲/۳۶	۲/۳۸	۱/۶۹	۱/۰۷	۱/۰۷
MIROC3.2 MEDRES	۱/۸۵	۲/۰۴	۱/۴۶	۱/۷۲	۲/۵۴	۳/۱۹	۳/۰۸	۲/۹۴	۲/۸۳	۲/۴۶	۲/۵۴	۱/۹۹
MRICGCM2.3.2a	۰/۸۶	۱/۲۹	۱/۵۰	۱/۸۸	۲/۱۹	۲/۲۸	۱/۹۲	۲/۲۹	۲/۶۸	۱/۶۵	۱/۷۷	۱/۱۰
NCARCCSM3	۱/۴۲	۱/۸۴	۲/۲۶	۲/۵۳	۲/۷۳	۳/۱۱	۳/۵۶	۳/۳۹	۳/۳۰	۲/۵۹	۳/۰۴	۲/۰۰
NCARPCM	۰/۸۰	۰/۴۷	۱/۱۵	۱/۵۹	۱/۷۶	۱/۸۴	۱/۲۷	۱/۷۷	۲/۲۵	۲/۱۹	۱/۶۹	۱/۰۸

جدول (پ-۶) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۰/۴۷	۱/۱۳	۰/۷۳	۱/۴۲	۲/۰۴	۱/۵۱	۱/۲۶	۱/۳۲	۱/۹۵	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۰۲
CGCM3T63	۰/۸۶	۱/۲۶	۱/۸۵	۲/۰۴	۲/۰۲	۲/۴۵	۲/۵۸	۲/۸۷	۲/۱۷	۲/۹۵	۱/۷۰	۱/۲۹
CSIROMK3.5	۱/۵۲	۱/۵۰	۱/۷۶	۱/۱۳	۱/۴۸	۲/۱۲	۱/۹۲	۱/۹۹	۱/۹۴	۲/۳۶	۱/۶۷	۱/۸۶
ECHO-G	۲/۳۵	۲/۳۰	۲/۱۶	۲/۳۵	۲/۷۶	۳/۰۱	۲/۷۴	۲/۶۳	۲/۷۰	۲/۲۵	۲/۳۳	۱/۹۷
ECHAM5OM	۱/۶۳	۰/۶۱	۱/۶۱	۲/۱۰	۱/۷۷	۲/۱۴	۲/۳۳	۲/۲۳	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۰۶	۱/۷۱
GFDLCM2.1	۱/۷۷	۱/۰۹	۱/۳۲	۲/۶۰	۲/۹۶	۲/۷۲	۲/۱۷	۳/۰۳	۲/۳۹	۲/۱۵	۱/۷۵	۱/۲۶
GISS-ER	۱/۰۹	۱/۱۷	۱/۸۴	۳/۰۹	۳/۳۹	۴/۷۶	۲/۷۲	۲/۵۰	۱/۶۰	۱/۶۲	۱/۱۴	۰/۵۵
HADCM3	۱/۵۷	۱/۲۹	۱/۸۹	۲/۲۳	۲/۹۳	۲/۳۱	۲/۶۴	۲/۵۴	۲/۱۲	۲/۴۵	۲/۱۲	۱/۲۷
INMCM3.0	۰/۵۴	۱/۲۹	۱/۲۳	۰/۹۴	۲/۰۶	۱/۰۲	۲/۲۲	۲/۲۷	۲/۱۴	۲/۴۹	۱/۴۴	۱/۱۰
IPSLCM4	۱/۱۴	۱/۳۶	۱/۷۴	۰/۹۰	۱/۶۳	۱/۶۰	۲/۲۵	۱/۴۴	۱/۹۴	۱/۸۴	۰/۴۴	۰/۵۰
MIROC3.2 MEDRES	۱/۷۷	۱/۶۱	۱/۲۹	۲/۰۸	۲/۵۵	۲/۷۱	۲/۶۸	۳/۱۹	۲/۶۵	۲/۱۶	۲/۱۴	۱/۷۶
MRICGCM2.3.2a	۰/۳۱	۰/۹۵	۱/۰۳	۱/۴۵	۱/۶۰	۱/۹۱	۱/۸۳	۲/۰۶	۲/۱۶	۲/۱۶	۱/۳۹	۰/۷۲
NCARCCSM3	۱/۰۵	۱/۱۳	۱/۷۱	۱/۴۸	۱/۷۴	۱/۹۶	۲/۲۹	۲/۳۳	۲/۲۶	۱/۹۹	۱/۹۵	۱/۵۵
NCARPCM	۰/۴۷	۰/۶۷	۰/۶۶	۱/۴۳	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۸۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۴	۱/۰۹	۰/۷۲

جدول (پ-۷) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو AIB (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۲/۳۰	۲/۳۴	۲/۵۲	۳/۱۷	۴/۵۱	۳/۴۷	۲/۴۱	۲/۷۹	۲/۹۴	۳/۱۲	۲/۵۸	۲/۷۵
CGCM3T63	۲/۲۹	۲/۹۷	۳/۳۹	۳/۹۵	۴/۵۱	۴/۷۵	۴/۶۶	۴/۷۸	۴/۰۲	۴/۶۵	۳/۲۷	۲/۱۰
CSIROMK3.5	۳/۳۶	۳/۳۳	۳/۲۸	۳/۰۹	۳/۵۶	۳/۶۸	۳/۶۹	۳/۵۷	۳/۴۰	۴/۰۴	۳/۰۷	۳/۶۰
ECHO-G	۳/۸۲	۳/۸۱	۳/۷۴	۴/۳۵	۵/۵۹	۶/۰۳	۵/۴۰	۵/۱۷	۵/۴۸	۵/۱۷	۴/۴۷	۳/۷۸
ECHAM5OM	۲/۷۶	۳/۲۱	۴/۰۷	۳/۸۷	۳/۸۳	۴/۳۵	۴/۹۱	۴/۸۵	۴/۴۷	۴/۴۰	۳/۶۹	۳/۷۲
GFDLCM2.1	۳/۰۷	۳/۱۳	۳/۰۳	۴/۲۹	۵/۳۰	۵/۲۱	۴/۸۴	۴/۲۹	۳/۸۵	۴/۲۰	۳/۷۶	۳/۲۳
GISS-ER	۲/۱۴	۲/۱۹	۳/۰۷	۵/۴۸	۷/۰۴	۶/۶۹	۴/۲۵	۴/۱۹	۳/۵۲	۳/۷۴	۳/۱۷	۲/۲۹
HADCM3	۳/۰۱	۲/۲۳	۴/۰۰	۳/۶۱	۵/۱۱	۳/۹۵	۵/۹۰	۶/۳۲	۴/۴۸	۳/۹۲	۲/۴۰	۲/۹۱
INMCM3.0	۱/۳۱	۱/۴۴	۱/۹۹	۲/۳۳	۳/۳۴	۲/۵۸	۳/۹۸	۴/۰۷	۳/۲۱	۴/۱۶	۳/۵۲	۲/۴۸
IPSLCM4	۲/۴۸	۳/۰۱	۳/۱۴	۳/۰۸	۴/۰۸	۴/۴۲	۴/۳۲	۳/۹۷	۴/۴۹	۳/۷۲	۲/۴۸	۲/۰۹
MIROC3.2 MEDRES	۲/۸۲	۲/۷۷	۲/۷۸	۳/۱۹	۴/۳۶	۴/۹۹	۴/۸۴	۵/۰۷	۴/۷۰	۳/۸۱	۴/۰۴	۳/۱۱
MRICGCM2.3.2a	۱/۵۵	۱/۹۰	۲/۲۲	۲/۹۶	۳/۲۶	۳/۵۵	۳/۲۹	۳/۶۴	۳/۷۷	۲/۵۵	۲/۶۷	۱/۷۷
NCARCCSM3	۱/۸۵	۲/۱۱	۲/۸۶	۳/۲۰	۳/۵۷	۳/۵۹	۴/۱۶	۴/۲۳	۳/۹۸	۳/۶۱	۳/۵۱	۲/۸۶
NCARPCM	۱/۳۳	۱/۰۹	۱/۹۳	۲/۴۹	۲/۵۲	۲/۳۹	۲/۱۸	۲/۵۲	۳/۰۸	۳/۲۰	۲/۶۸	۱/۶۸

جدول (پ-۸) مقادیر ΔT ($^{\circ}C$) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۰/۸۱	۱/۸۶	۱/۵۱	۱/۹۴	۳/۴۷	۲/۷۳	۱/۷۴	۱/۸۴	۱/۹۸	۲/۱۸	۱/۷۳	۱/۱۳
CGCM3T63	۱/۱۵	۱/۸۸	۲/۹۶	۳/۰۷	۳/۴۸	۳/۷۷	۳/۳۴	۳/۲۸	۳/۱۴	۳/۰۳	۲/۷۴	۱/۵۸
CSIROMK3.5	۲/۱۲	۲/۳۹	۲/۳۰	۲/۳۱	۲/۲۸	۲/۵۶	۲/۴۷	۲/۹۷	۲/۵۷	۲/۶۵	۲/۵۴	۲/۲۵
ECHO-G	۲/۶۳	۲/۷۷	۲/۸۹	۳/۱۳	۳/۹۲	۴/۲۸	۳/۷۷	۳/۵۲	۳/۶۹	۳/۱۷	۲/۷۴	۲/۳۹
ECHAM5OM	۲/۲۲	۲/۳۵	۲/۸۶	۲/۷۲	۲/۷۱	۲/۹۷	۳/۵۳	۳/۴۲	۳/۱۰	۳/۰۲	۲/۵۳	۲/۹۱
GFDLCM2.1	۱/۰۹	۱/۹۴	۱/۵۶	۳/۰۲	۴/۰۵	۳/۳۷	۳/۴۰	۳/۵۳	۲/۷۰	۲/۷۹	۲/۲۳	۱/۸۱
GISS-ER	۱/۳۹	۱/۵۳	۲/۱۴	۳/۱۰	۴/۱۰	۴/۶۳	۲/۹۷	۲/۷۲	۲/۰۳	۲/۳۱	۱/۲۴	۱/۲۲
HADCM3	۱/۲۹	۲/۲۰	۲/۷۲	۲/۱۲	۳/۳۳	۳/۰۹	۳/۵۷	۴/۳۳	۳/۴۰	۲/۲۱	۱/۶۶	۱/۷۲
INMCM3.0	۱/۳۱	۱/۴۹	۱/۵۶	۱/۳۲	۳/۴۰	۱/۵۷	۳/۵۸	۳/۰۷	۲/۸۵	۲/۶۶	۱/۷۳	۲/۰۰
IPSLCM4	۲/۴۴	۲/۴۸	۱/۳۸	۲/۲۷	۲/۸۱	۳/۱۳	۳/۰۹	۳/۰۱	۲/۸۶	۲/۲۹	۱/۴۸	۱/۳۴
MIROC3.2 MEDRES	۱/۹۸	۲/۲۳	۲/۳۰	۲/۲۵	۳/۱۳	۳/۵۳	۳/۴۱	۳/۸۶	۳/۴۵	۳/۰۷	۲/۸۸	۲/۲۵
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۱	۱/۱۸	۱/۴۳	۱/۸۵	۱/۹۹	۲/۴۲	۲/۴۵	۲/۶۵	۲/۸۳	۲/۰۴	۱/۹۱	۱/۴۲
NCARCCSM3	۱/۰۰	۱/۴۶	۱/۸۶	۱/۹۱	۲/۰۱	۲/۳۶	۲/۶۵	۲/۷۷	۲/۵۹	۲/۲۴	۲/۲۸	۱/۶۹
NCARPCM	۰/۸۱	۰/۶۸	۱/۰۰	۱/۸۱	۱/۷۰	۱/۳۲	۱/۲۹	۱/۵۲	۱/۸۹	۲/۰۹	۱/۵۱	۱/۰۵

جدول (پ-۹) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۱۴	۰/۸۱	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۷۴	۱/۰۵	۰/۷۳	۱/۷۴	۱/۱۶	۱/۳۸	۰/۹۸	۱/۱۵
CGCM3T63	۰/۹۶	۱/۲۹	۱/۰۹	۱/۰۱	۰/۹۲	۱/۱۸	۰/۹۹	۱/۳۵	۱/۲۲	۱/۰۹	۱/۵۹	۱/۰۶
CSIROMK3.5	۱/۰۴	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۷۸	۲/۸۵	۰/۹۴	۱/۰۷	۰/۶۶	۱/۳۷	۰/۸۳	۰/۹۳
ECHO-G	۰/۹۱	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۸۰	۱/۱۸	۱/۰۸	۰/۹۱	۱/۰۰
ECHAM5OM	۰/۸۹	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۹۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۱/۰۰	۱/۰۸
GFDLGM2.1	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۷۱	۱/۳۳	۰/۴۸	۴/۰۸	۰/۶۵	۱/۰۳	۰/۸۵
GISS-ER	۰/۸۵	۱/۱۱	۰/۹۴	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۶۱	۱/۱۷	۱/۶۲	۰/۵۴	۱/۰۴	۰/۸۳	۱/۰۸
HADCM3	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۰۲	۱/۰۷	۰/۹۲	۱/۰۱	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۸۰	۰/۹۳	۱/۱۵	۱/۱۶
INMCM3.0	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۹۱	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۲۲	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۹۸	۱/۲۰	۱/۳۹
IPSLCM4	۱/۱۵	۰/۹۹	۱/۰۷	۱/۱۱	۱/۰۳	۱/۲۵	۰/۲۹	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۸۰	۱/۰۵	۱/۰۰
MIROC3.2 MEDRES	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۷۶	۱/۲۱	۱/۱۶	۱/۷۳	۱/۵۷	۱/۱۴	۱/۰۳
MRICGCM2.3.2a	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۶۰	۱/۱۹	۳/۲۴	۴/۱۵	۶/۹۱	۲۴/۰۶	۱۰۰/۰۵	۴/۴۰	۰/۸۱	۰/۶۲
NCARCCSM3	۱/۰۹	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۹۶	۱/۱۰
NCARPCM	۱/۰۷	۱/۰۱	۰/۸۹	۱/۰۳	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۹۷	۰/۷۶	۱/۰۵	۰/۶۷	۱/۲۳	۱/۱۱

جدول (پ-۱۰) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۱۸	۱/۰۸	۱/۰۲	۰/۸۹	۰/۹۶	۱/۰۹	۰/۸۵	۱/۷۱	۰/۴۷	۰/۹۸	۰/۸۱	۱/۲۰
CGCM3T63	۱/۰۸	۱/۲۷	۱/۰۸	۰/۸۴	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۵۷	۱/۱۵	۰/۰۹	۱/۸۸	۱/۴۴	۱/۰۰
CSIROMK3.5	۱/۲۶	۰/۹۰	۰/۹۰	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۹۸	۰/۷۲	۱/۰۰	۱/۲۴	۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۰۳
ECHO-G	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۱/۰۵	۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۹۹	۱/۱۷	۰/۵۰	۰/۹۹	۱/۰۷	۰/۹۵
ECHAM5OM	۰/۹۴	۱/۰۸	۰/۹۱	۱/۰۵	۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۸۰	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۹۲	۱/۱۳	۱/۱۴
GFDLGM2.1	۱/۱۱	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۹۹	۱/۳۲	۰/۵۸	۱۳/۲۷	۱/۵۱	۰/۶۷	۰/۹۳	۰/۹۷
GISS-ER	۰/۷۰	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۷۷	۳/۵۰	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۸۲	۱/۰۵	۱/۱۷
HADCM3	۱/۲۰	۰/۷۷	۱/۰۴	۱/۱۸	۰/۹۷	۱/۰۲	۰/۶۲	۱/۱۴	۰/۷۸	۰/۵۹	۱/۲۳	۱/۰۱
INMCM3.0	۱/۰۶	۱/۰۶	۰/۸۲	۰/۷۸	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۶	۰/۹۰	۰/۸۰	۱/۱۵	۱/۱۸	۱/۲۳
IPSLCM4	۱/۱۶	۱/۱۸	۱/۱۴	۱/۲۸	۱/۱۷	۰/۶۹	۰/۴۰	۰/۳۲	۰/۸۱	۰/۷۱	۱/۲۰	۱/۰۸
MIROC3.2 MEDRES	۱/۰۴	۱/۰۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۵۷	۱/۴۸	۱/۳۹	۱/۱۷	۱/۰۶	۰/۹۹
MRICGCM2.3.2a	۰/۷۹	۰/۷۰	۰/۵۹	۱/۱۷	۳/۳۳	۵/۲۶	۸/۹۳	۳۰/۶۰	۸۰/۴۰	۲/۳۰	۰/۷۵	۰/۵۹
NCARCCSM3	۱/۰۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۷۳	۰/۸۸	۱/۱۳	۱/۰۹	۰/۸۸	۱/۱۱
NCARPCM	۱/۰۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۰۸	۰/۷۴	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۰	۱/۲۱	۱/۲۷

جدول (پ-۱۱) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۳۹-۲۰۱۰)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۲۲	۱/۰۲	۰/۹۲	۱/۰۵	۰/۸۶	۲/۱۳	۱/۳۰	۱/۴۵	۱/۵۴	۰/۹۱	۱/۰۴	۱/۱۵
CGCM3T63	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۰۰	۱/۰۵	۰/۹۸	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۹۵	۱/۶۵	۱/۵۶	۱/۰۹
CSIROMK3.5	۱/۰۸	۱/۰۴	۰/۹۱	۰/۶۲	۱/۲۸	۱/۵۸	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۷۹	۱/۱۷	۰/۹۷	۰/۸۷
ECHO-G	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۴	۱/۱۴	۰/۸۹	۰/۸۲	۱/۱۶	۰/۸۵	۰/۷۱	۱/۱۰	۰/۹۲	۱/۰۴
ECHAM5OM	۰/۸۷	۱/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۶۲	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۱	۱/۰۶
GFDL2.1	۱/۰۲	۰/۸۴	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۱۴	۲/۱۳	۰/۶۶	۲/۸۵	۰/۳۰	۱/۰۵	۰/۷۶
GISS-ER	۱/۰۸	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۸۷	۱/۱۲	۰/۲۳	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۹۹
HADCM3	۱/۰۹	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۱۸	۱/۲۱	۱/۴۳	۰/۶۷	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۷۰	۱/۴۶	۱/۲۲
INMCM3.0	۱/۰۱	۰/۸۲	۰/۷۷	۱/۰۱	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۰۵	۰/۷۱	۰/۶۳	۰/۹۵	۱/۴۳	۱/۵۱
IPSLCM4	۱/۱۳	۱/۱۰	۰/۸۹	۰/۹۷	۱/۰۴	۰/۹۴	۱/۳۵	۰/۴۵	۱/۲۵	۰/۹۰	۱/۲۸	۱/۱۷
MIROC3.2 MEDRES	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۸۸	۱/۰۷	۱/۴۹	۱/۷۱	۱/۳۸	۱/۲۳	۱/۰۷	۰/۹۵
MRICGCM2.3.2a	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۶۰	۱/۲۵	۳/۰۱	۵/۸۵	۸/۵۱	۳۵/۴۹	۷۹/۶۶	۳/۴۶	۰/۷۶	۰/۵۷
NCARCCSM3	۱/۰۴	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۰	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۰۷
NCARPCM	۱/۰۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۰۷	۱/۱۹	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۹۳	۱/۰۵	۱/۰۳

جدول (پ-۱۲) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۶۹-۲۰۴۰)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۰۷	۱/۱۵	۰/۹۲	۰/۹۳	۱/۲۱	۱/۱۶	۱/۰۲	۰/۸۰	۱/۹۳	۰/۸۹	۱/۰۹	۱/۰۸
CGCM3T63	۰/۹۶	۱/۲۹	۱/۰۹	۱/۰۱	۰/۹۲	۱/۱۸	۰/۹۹	۱/۳۵	۱/۲۲	۱/۰۹	۱/۵۹	۱/۰۶
CSIROMK3.5	۱/۰۴	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۷۸	۲/۸۵	۰/۹۴	۱/۰۷	۰/۶۶	۱/۳۷	۰/۸۳	۰/۹۳
ECHO-G	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۴۳
ECHAM5OM	۰/۸۹	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۹۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۱/۰۰	۱/۰۸
GFDL2.1	۰/۹۵	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۴۹	۰/۹۵	۰/۸۷
GISS-ER	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۲۰	۰/۷۹	۰/۹۰	۱/۰۴
HADCM3	۱/۲۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۸۶	۰/۷۹	۱/۱۴	۱/۰۳
INMCM3.0	۰/۹۷	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۷	۱/۲۱	۰/۷۸	۱/۰۰
IPSLCM4	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۳۱	۰/۹۳	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/۵۹	۱/۰۲	۱/۴۹	۱/۰۳
MIROC3.2 MEDRES	۰/۹۵	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۵۷	۱/۴۸	۱/۵۷	۱/۵۸	۱/۰۵	۱/۱۰	۱/۰۸
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۷	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۵۳	۱/۳۸	۰/۶۹	۰/۹۷	۰/۹۹
NCARCCSM3	۱/۰۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۷۷	۰/۸۹	۱/۰۸	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۰۶	۰/۹۶	۰/۸۶	۱/۰۹
NCARPCM	۱/۱۰	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۴۵	۰/۷۳	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۰۸

جدول (پ-۱۳) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۱۸	۱/۰۸	۱/۰۲	-۰/۸۹	-۰/۹۶	۱/۰۹	-۰/۸۵	۱/۷۱	-۰/۴۷	-۰/۹۸	-۰/۸۱	۱/۲۰
CGCM3T63	۱/۰۸	۱/۲۷	۱/۰۸	-۰/۸۴	-۰/۶۵	-۰/۸۰	-۰/۵۷	۱/۱۵	۱/۰۹	۱/۸۸	۱/۴۴	۱/۰۰
CSIROMK3.5	۱/۲۶	-۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۹۸	-۰/۷۲	۱/۰۰	۱/۲۴	-۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۰۳
ECHO-G	-۰/۹۱	-۰/۹۶	-۰/۹۹	۱/۰۵	-۰/۸۸	-۰/۷۵	-۰/۹۹	۱/۱۷	-۰/۵۰	-۰/۹۹	۱/۰۷	-۰/۹۵
ECHAM5OM	-۰/۹۴	۱/۰۸	-۰/۹۱	۱/۰۵	-۰/۸۴	-۰/۶۸	-۰/۸۰	-۰/۸۶	-۰/۸۴	-۰/۹۲	۱/۱۳	۱/۱۴
GFDLCM2.1	-۰/۷۷	-۰/۷۲	-۰/۶۷	-۰/۵۶	-۰/۵۲	-۰/۰۷	-۰/۴۱	۲/۰۱	۱/۶۲	-۰/۶۱	۱/۰۴	-۰/۷۵
GISS-ER	-۰/۸۵	۱/۲۹	-۰/۸۶	-۰/۷۵	-۰/۵۸	-۰/۷۳	۱/۴۴	-۰/۱۷	-۰/۱۹	۱/۰۹	-۰/۹۵	۱/۱۹
HADCM3	۱/۱۲	-۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۱۲	-۰/۸۸	-۰/۵۵	-۰/۶۴	-۰/۵۴	-۰/۸۶	-۰/۶۵	۱/۱۶	۱/۱۱
INMCM3.0	-۰/۹۳	-۰/۸۶	-۰/۷۱	-۰/۷۷	-۰/۹۸	-۰/۸۲	-۰/۸۷	-۰/۷۰	-۰/۵۵	۱/۰۶	۱/۲۴	-۰/۹۲
IPSLCM4	۱/۰۵	۱/۱۹	۱/۱۳	۱/۱۳	۱/۲۴	-۰/۷۰	-۰/۴۸	-۰/۲۰	۱/۲۴	۱/۱۳	-۰/۹۸	۱/۲۸
MIROC3.2 MEDRES	-۰/۹۷	-۰/۹۵	-۰/۷۵	-۰/۹۷	-۰/۸۸	۱/۰۱	۲/۲۷	۱/۹۷	۲/۶۶	۱/۱۲	۱/۳۱	۱/۱۸
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۵	-۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۸۵	-۰/۶۲	-۰/۴۶	-۰/۷۸	-۰/۷۸	-۰/۹۱	۱/۰۶	-۰/۹۸
NCARCCSM3	۱/۰۸	-۰/۹۳	-۰/۹۱	-۰/۸۰	-۰/۷۶	۱/۰۷	۱/۰۰	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۲	-۰/۸۹	۱/۱۹
NCARPCM	۱/۲۱	-۰/۹۴	-۰/۸۲	-۰/۹۳	۱/۰۸	-۰/۷۰	-۰/۳۸	-۰/۶۵	-۰/۸۰	-۰/۹۵	۱/۳۱	۱/۲۳

جدول (پ-۱۴) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۲۲	۱/۰۲	-۰/۹۲	۱/۰۵	-۰/۸۶	۲/۱۳	۱/۳۰	۱/۴۵	۱/۵۴	-۰/۹۱	۱/۰۴	۱/۱۵
CGCM3T63	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۰۰	۱/۰۵	-۰/۹۸	-۰/۵۱	-۰/۴۱	-۰/۳۲	-۰/۹۵	۱/۶۵	۱/۵۶	۱/۰۹
CSIROMK3.5	۱/۰۸	۱/۰۴	-۰/۹۱	-۰/۶۲	۱/۲۸	۱/۵۸	-۰/۹۱	-۰/۸۲	-۰/۷۹	۱/۱۷	-۰/۹۷	-۰/۸۷
ECHO-G	-۰/۹۸	-۰/۹۸	۱/۰۴	۱/۱۴	-۰/۸۹	-۰/۸۲	۱/۱۶	-۰/۸۵	-۰/۷۱	۱/۱۰	-۰/۹۲	۱/۰۴
ECHAM5OM	-۰/۸۷	-۰/۹۷	-۰/۹۷	-۰/۹۹	-۰/۸۵	-۰/۶۲	-۰/۵۷	-۰/۵۸	-۰/۸۸	-۰/۹۵	-۰/۹۱	۱/۰۶
GFDLCM2.1	-۰/۹۳	۱/۰۳	-۰/۸۶	-۰/۶۳	-۰/۷۸	-۰/۷۵	-۰/۴۱	-۰/۹۳	۲/۰۳	-۰/۷۶	۱/۰۹	-۰/۸۶
GISS-ER	-۰/۷۲	-۰/۸۸	-۰/۶۵	-۰/۶۱	-۰/۵۶	-۰/۴۶	-۰/۹۴	-۰/۲۴	-۰/۴۶	۱/۰۱	۱/۰۸	۱/۱۶
HADCM3	۱/۰۹	-۰/۸۴	۱/۰۶	-۰/۸۶	-۰/۶۹	-۰/۸۸	-۰/۵۸	۱/۱۱	-۰/۸۲	-۰/۶۳	۱/۳۵	۱/۲۱
INMCM3.0	-۰/۹۱	-۰/۷۷	-۰/۷۴	-۰/۹۱	-۰/۸۷	۱/۰۰	-۰/۸۹	-۰/۷۴	-۰/۸۴	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۱۳
IPSLCM4	۱/۲۲	۱/۲۰	۱/۲۱	۱/۱۱	-۰/۹۲	-۰/۵۷	-۰/۵۳	۱/۹۲	-۰/۳۷	-۰/۹۵	۱/۲۵	۱/۳۷
MIROC3.2 MEDRES	۱/۰۴	-۰/۹۷	-۰/۷۹	-۰/۸۸	-۰/۸۹	-۰/۹۹	۱/۳۵	۱/۰۸	۱/۵۵	-۰/۹۶	-۰/۸۶	-۰/۹۱
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۲	-۰/۹۵	-۰/۹۲	-۰/۹۸	-۰/۸۷	-۰/۷۳	-۰/۴۶	-۰/۵۲	۱/۹۵	-۰/۷۸	-۰/۹۲	۱/۰۲
NCARCCSM3	۱/۰۹	-۰/۹۵	-۰/۹۲	۱/۰۰	-۰/۹۳	۱/۱۷	۱/۰۹	۱/۰۵	-۰/۹۷	۱/۰۱	-۰/۹۵	۱/۰۸
NCARPCM	۱/۰۷	۱/۱۵	-۰/۹۲	-۰/۹۳	۱/۲۱	۱/۱۶	۱/۰۲	-۰/۸۰	۱/۹۳	-۰/۸۹	۱/۰۹	۱/۰۸

جدول (پ-۱۵) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A1B (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۴۱	۱/۴۰	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۶۴	۱/۱۷	۰/۵۵	۰/۵۷	۱/۶۳	۱/۰۱	۰/۹۰	۲/۰۴
CGCM3T63	۱/۰۳	۱/۳۶	۱/۱۱	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۲۰	۱/۱۷	۲/۵۶	۱/۷۱	۱/۱۹
CSIROMK3.5	۰/۹۵	۰/۷۴	۰/۸۷	۰/۶۴	۰/۹۳	۱/۹۱	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۵۳	۱/۵۷	۰/۷۳	۰/۸۱
ECHO-G	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۸۱	۰/۵۴	۰/۲۶	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۷۴	۱/۲۰	۱/۰۶	۰/۹۴
ECHAM5OM	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۲۳	۰/۶۸	۱/۰۰	۱/۲۷	۱/۱۲
GFDLCM2.1	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۵۹	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۲۰	۲/۱۵	۰/۳۰	۰/۹۴	۰/۷۰	۰/۷۶
GISS-ER	۰/۷۰	۰/۸۹	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۴۲	۱/۲۶	۰/۳۹	۰/۹۱	۰/۸۱	۰/۸۵	۱/۰۶
HADCM3	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۹۵	۰/۷۰	۱/۷۹	۱/۳۱
INMCM3.0	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۱/۱۷	۰/۹۰	۰/۶۷	۱/۱۶	۱/۲۹	۱/۰۴
IPSLCM4	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۸۸	۱/۳۹	۱/۱۷
MIROC3.2 MEDRES	۰/۹۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۵۹	۱/۶۷	۱/۶۲	۲/۴۹	۱/۳۶	۱/۱۸	۰/۹۵
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۹	۱/۰۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۷۲	۰/۷۱	۱/۰۱	۰/۹۵
NCARCCSM3	۱/۱۱	۱/۰۱	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۸۵	۱/۱۰	۱/۱۶	۱/۰۰	۱/۰۵	۰/۸۶	۱/۱۸
NCARPCM	۱/۲۵	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۷۰	۰/۹۳	۱/۱۵

جدول (پ-۱۶) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۳۸	۱/۰۸	۰/۸۸	۱/۰۲	۰/۶۵	۱/۲۳	۰/۶۷	۲/۰۷	۱/۲۵	۱/۴۴	۰/۹۷	۱/۵۷
CGCM3T63	۱/۳۷	۱/۳۰	۱/۰۹	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۳۵	۰/۹۵	۱/۰۶	۱/۶۸	۲/۸۱	۲/۲۷	۱/۷۱
CSIROMK3.5	۰/۷۷	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۶۵	۳/۳۴	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۳۹	۱/۸۷	۱/۰۳	۱/۰۵
ECHO-G	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۹۲	۰/۹۳	۱/۰۸	۱/۰۰
ECHAM5OM	۱/۰۱	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۶۳	۰/۴۶	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۴۱	۱/۰۰	۱/۱۱	۱/۲۲
GFDLCM2.1	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۵۹	۰/۳۰	۰/۴۸	۰/۶۰	۰/۱۵	۴/۱۱	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۷۵
GISS-ER	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۲۴	۰/۸۰	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۸۷
HADCM3	۱/۳۰	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۷۸	۰/۶۹	۰/۴۵	۰/۱۲	۱/۴۷	۰/۹۳	۰/۴۹	۱/۳۸	۱/۰۱
INMCM3.0	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۸۴	۰/۷۰	۱/۴۷	۱/۳۱	۱/۱۳
IPSLCM4	۱/۰۴	۱/۱۴	۱/۳۵	۰/۹۲	۰/۷۰	۰/۵۳	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۶۷	۱/۲۲	۱/۱۷
MIROC3.2 MEDRES	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۲	۲/۴۷	۲/۸۳	۳/۲۹	۱/۵۱	۱/۲۲	۱/۱۴
MRICGCM2.3.2a	۱/۰۷	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۵۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۳۶	۱/۶۹	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۰۲
NCARCCSM3	۱/۲۷	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۹۷	۱/۵۰	۱/۱۹	۱/۰۲	۰/۹۴	۱/۲۹
NCARPCM	۱/۱۹	۱/۰۳	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۳۷	۱/۰۵	۰/۶۱	۱/۲۴	۱/۳۴

جدول (پ-۱۷) مقادیر ΔP (mm/d) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو B1 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

مدل‌های AOGCM	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	may	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
BCM2.0	۱/۰۲	-۰/۷۴	-۰/۸۸	-۰/۸۹	-۰/۷۸	-۰/۷۸	۱/۵۳	-۰/۸۴	-۰/۷۹	-۰/۹۵	-۰/۹۳	۱/۵۹
CGCM3T63	۱/۱۹	۱/۱۴	-۰/۸۸	-۰/۶۸	-۰/۹۴	-۰/۴۴	-۰/۶۶	-۰/۹۴	۱/۲۵	۱/۵۷	۱/۴۲	۱/۱۹
CSIROMK3.5	۱/۳۸	-۰/۹۷	-۰/۸۳	-۰/۸۷	۱/۰۳	۳/۸۹	-۰/۹۵	-۰/۶۶	-۰/۵۸	۱/۷۳	-۰/۶۹	-۰/۹۳
ECHO-G	-۰/۸۸	-۰/۹۴	-۰/۹۹	-۰/۹۰	-۰/۷۱	-۰/۳۲	-۰/۷۹	-۰/۳۹	-۰/۴۴	-۰/۹۵	-۰/۹۷	-۰/۹۲
ECHAM5OM	-۰/۹۴	-۰/۸۶	-۰/۸۰	-۰/۷۲	-۰/۶۲	-۰/۴۲	-۰/۳۴	-۰/۲۸	-۰/۶۵	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۳
GFDLCM2.1	۱/۰۸	-۰/۷۱	-۰/۸۶	-۰/۷۸	-۰/۳۷	-۰/۳۹	-۰/۵۵	-۰/۴۵	۳/۶۹	-۰/۵۴	-۰/۸۴	-۰/۹۲
GISS-ER	-۰/۸۴	۱/۱۱	-۰/۶۷	-۰/۸۴	-۰/۴۲	-۰/۵۷	-۰/۸۱	-۰/۲۸	-۰/۳۰	-۰/۹۳	۱/۰۲	۱/۲۴
HADCM3	۱/۰۲	-۰/۸۷	-۰/۹۳	۱/۰۷	-۰/۹۷	-۰/۹۶	-۰/۴۱	-۰/۵۱	-۰/۸۹	-۰/۶۴	۱/۴۸	۱/۴۰
INMCM3.0	-۰/۹۰	-۰/۷۷	-۰/۷۲	-۰/۷۴	-۰/۹۳	-۰/۷۶	۱/۱۲	۱/۰۸	-۰/۷۰	-۰/۸۳	۱/۱۴	۱/۱۱
IPSLCM4	۱/۰۵	۱/۰۸	۱/۳۶	-۰/۸۰	-۰/۹۲	-۰/۴۴	-۰/۷۰	-۰/۳۲	-۰/۸۳	-۰/۹۷	۱/۱۸	۱/۱۷
MIROC3.2 MEDRES	-۰/۸۸	-۰/۷۶	-۰/۷۰	-۰/۹۵	-۰/۹۳	-۰/۷۸	۱/۱۵	۱/۴۳	۱/۹۱	۱/۱۹	۱/۱۴	-۰/۹۰
MRICGCM2.3.2a	۱/۱۳	-۰/۹۳	-۰/۹۹	-۰/۹۴	-۰/۸۳	-۰/۵۹	-۰/۳۲	-۰/۵۲	۱/۴۱	-۰/۶۴	۱/۰۰	۱/۰۲
NCARCCSM3	۱/۱۲	-۰/۹۱	-۰/۹۵	-۰/۹۵	۱/۱۰	-۰/۹۸	۱/۰۵	۱/۱۸	-۰/۹۹	-۰/۹۲	-۰/۹۲	۱/۰۹
NCARPCM	۱/۱۲	-۰/۸۸	-۰/۹۸	-۰/۸۳	-۰/۸۴	-۰/۵۷	۱/۰۹	-۰/۶۷	۱/۱۱	۱/۱۰	۱/۰۴	۱/۰۹

جدول (پ-۱۸) مقادیر متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف تحت سناریوهای مختلف (mm/d)

دوره	سناریو	سطح احتمال	ماه												
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
دوره آبی اول	دوره پایه	۰/۸۷	۱/۳۴	۲/۳۸	۳/۹۶	۵/۳۶	۵/۸۷	۵/۹۳	۵/۳	۴/۱۵	۲/۳۷	۱/۲۵	۰/۷۵		
		۰/۲۵	۱/۰۹	۱/۶۴	۲/۳۸	۳/۷۳	۴/۷۶	۵/۹۲	۵/۴۶	۵/۰۷	۴/۲۶	۲/۵۵	۱/۵۲	۱/۱۲	
		۰/۵۰	۱/۱۱	۱/۶۶	۲/۴	۳/۷۶	۴/۸	۵/۹۷	۵/۵۱	۵/۱۲	۴/۲۹	۲/۵۷	۱/۵۴	۱/۱۴	
	A2	۰/۷۵	۱/۱۲	۱/۶۸	۲/۴۳	۳/۸	۴/۸۶	۶/۰۴	۵/۵۶	۵/۱۷	۴/۳۴	۲/۶	۱/۵۷	۱/۱۶	
		۰/۲۵	۱/۱	۱/۶۵	۲/۳۹	۳/۷۶	۴/۸	۵/۹۲	۵/۴۶	۵/۰۸	۴/۲۷	۲/۵۴	۱/۵۲	۱/۱۳	
		۰/۵۰	۱/۱۱	۱/۶۷	۲/۴۱	۳/۷۹	۴/۸۴	۵/۹۷	۵/۵۱	۵/۱۳	۴/۳۱	۲/۵۶	۱/۵۳	۱/۱۴	
		۰/۷۵	۱/۱۳	۱/۶۸	۲/۴۳	۳/۸۲	۴/۸۸	۶/۰۳	۵/۵۶	۵/۱۸	۴/۳۵	۲/۵۸	۱/۵۴	۱/۱۶	
		B1	۰/۲۵	۱/۰۹	۱/۶۳	۲/۳۸	۳/۷۵	۴/۷۷	۵/۹۱	۵/۴۶	۵/۰۸	۴/۲۷	۲/۵۵	۱/۵۲	۱/۱۲
			۰/۵۰	۱/۱	۱/۶۶	۲/۴	۳/۷۷	۴/۸۱	۵/۹۷	۵/۵۲	۵/۱۳	۴/۳	۲/۵۶	۱/۵۳	۱/۱۴
	۰/۷۵		۱/۱۲	۱/۶۷	۲/۴۳	۳/۸۱	۴/۸۵	۶/۰۳	۵/۵۷	۵/۱۷	۴/۳۳	۲/۵۷	۱/۵۳	۱/۱۵	
	دوره آبی دوم	A2	۰/۲۵	۱/۱۲	۱/۶۹	۲/۴۴	۳/۸۳	۴/۸۹	۶/۰۷	۵/۶	۵/۲۱	۴/۳۸	۲/۶۲	۱/۵۷	۱/۱۶
			۰/۵۰	۱/۱۴	۱/۷۱	۲/۴۷	۳/۸۷	۴/۹۴	۶/۱۶	۵/۶۸	۵/۲۸	۴/۴۳	۲/۶۵	۱/۵۹	۱/۱۸
			۰/۷۵	۱/۱۶	۱/۷۳	۲/۵	۳/۹۴	۵/۰۲	۶/۲۵	۵/۷۶	۵/۳۴	۴/۴۸	۲/۶۸	۱/۶۱	۱/۲
		A1B	۰/۲۵	۱/۱۳	۱/۷	۲/۴۵	۳/۸۶	۴/۹۱	۶/۰۸	۵/۶۱	۵/۲۳	۴/۳۹	۲/۶۲	۱/۵۷	۱/۱۷
			۰/۵۰	۱/۱۵	۱/۷۳	۲/۴۸	۳/۹	۴/۹۸	۶/۱۸	۵/۷	۵/۳	۴/۴۵	۲/۶۵	۱/۵۹	۱/۱۹
۰/۷۵			۱/۱۶	۱/۷۵	۲/۵۲	۳/۹۶	۵/۰۷	۶/۳	۵/۷۷	۵/۳۶	۴/۵	۲/۶۹	۱/۶۱	۱/۲۱	
B1			۰/۲۵	۱/۱	۱/۶۵	۲/۴۱	۳/۷۹	۴/۸۳	۵/۹۶	۵/۵۲	۵/۱۵	۴/۳۵	۲/۶	۱/۵۵	۱/۱۴
		۰/۵۰	۱/۱۱	۱/۶۶	۲/۴۳	۳/۸۴	۴/۸۹	۶/۰۴	۵/۵۹	۵/۲۱	۴/۳۹	۲/۶۲	۱/۵۶	۱/۱۶	
		۰/۷۵	۱/۱۳	۱/۶۸	۲/۴۶	۳/۸۹	۴/۹۶	۶/۱۴	۵/۶۵	۵/۲۶	۴/۴۲	۲/۶۴	۱/۵۸	۱/۱۸	
دوره آبی سوم		A2	۰/۲۵	۱/۱۶	۱/۷۴	۲/۵۱	۳/۹۵	۵/۰۵	۶/۲۶	۵/۷۹	۵/۴	۴/۵۴	۲/۷	۱/۶۱	۱/۲۱
			۰/۵۰	۱/۱۹	۱/۷۸	۲/۵۶	۴/۰۲	۵/۱۵	۶/۳۸	۵/۹۱	۵/۵۲	۴/۶۲	۲/۷۴	۱/۶۳	۱/۲۴
			۰/۷۵	۱/۲۱	۱/۸۲	۲/۶۱	۴/۱۱	۵/۲۹	۶/۵۳	۶/۰۲	۵/۶۲	۴/۷	۲/۸	۱/۶۷	۱/۲۷
	A1B	۰/۲۵	۱/۱۵	۱/۷۳	۲/۵	۳/۹۳	۵	۶/۲	۵/۷۱	۵/۳۱	۴/۴۸	۲/۷۲	۱/۶۵	۱/۲	
		۰/۵۰	۱/۱۷	۱/۷۶	۲/۵۵	۳/۹۹	۵/۰۷	۶/۳۱	۵/۸۲	۵/۴	۴/۵۴	۲/۷۴	۱/۶۶	۱/۲۲	
		۰/۷۵	۱/۲	۱/۸	۲/۵۹	۴/۰۵	۵/۱۶	۶/۴۴	۵/۹۳	۵/۴۹	۴/۶۲	۲/۷۷	۱/۶۷	۱/۲۵	
		B1	۰/۲۵	۱/۱۲	۱/۶۸	۲/۴۴	۳/۸۴	۴/۹۱	۶/۰۴	۵/۵۹	۵/۲۲	۴/۴	۲/۶۳	۱/۵۷	۱/۱۶
	۰/۵۰		۱/۱۴	۱/۷۱	۲/۴۸	۳/۹	۴/۹۸	۶/۱۴	۵/۶۷	۵/۳۱	۴/۴۶	۲/۶۶	۱/۵۹	۱/۱۸	
	۰/۷۵		۱/۱۶	۱/۷۴	۲/۵۲	۳/۹۵	۵/۰۵	۶/۲۵	۵/۷۴	۵/۳۷	۴/۵۱	۲/۶۹	۱/۶۱	۱/۲	

منابع و مآخذ

منابع داخلی

آشفته پ.، و مساح بوانی ع.، (۱۳۹۱) "بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوضه قرنقو، آذربایجان شرقی" تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۲: صص ۳۶-۴۷.

اکرمی م.، ملکی نژاد ح.، و اختصاصی م. ر.، (۱۳۹۲) "بررسی تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی و آب شناختی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان)" نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال هفتم، شماره ۲۰: صص ۴۷-۵۴.

امیری م. ج.، کرباسی ع.، ذوقی م.، و سادات م.، (۱۳۹۴) "آشکارسازی تغییرات اقلیمی با تحلیل آزمون گرافیکی کندال و شاخص‌های خشکسالی (مطالعه موردی: حاشیه تالاب آق‌گل همدان)" محیط شناسی، شماره ۳، دوره ۴۱: صص ۵۴۵-۵۶۱.

انگبینی س.، عابدی ا.، و زمانیان م.، (۱۳۸۸) "بررسی شاخص استاندارد شده بارش در برخی از ایستگاه‌های چهارمحال و بختیاری"، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، گرگان.

بابایی فینی ا.، و علیجانی ب.، (۱۳۹۲) "تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران" پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۳، صص ۱-۱۲.

بذرافشان دریاسری م.، مفتاح‌هلقی م.، قربانی خ.، و قهرمان ن.، (۱۳۹۴) "مطالعه تطبیقی پهنه‌های استان گلستان تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم" نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و دوم، شماره پنجم: صص ۱۸۷-۲۰۲.

پورعلی حسین س. ش.، و مساح بوانی ع.، (۱۳۹۲) "تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲" مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۴، دوره ۲۹: صص ۲۰۸-۱۹۱.

حسینی‌خواه م.، زینی‌وند ح.، حقی‌زاده ع.، و طهماسبی‌پور ن.، (۱۳۹۳) "صحت‌سنجی مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب" اکوهیدرولوژی، شماره ۳، دوره ۱: صص ۱۹۵-۲۰۶.

حسینی‌زاده ع.، سید کابلی ح.، زارعی ح.، و آخوند علی ع. م.، (۱۳۹۵) "تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: دشت دزفول- اندیمشک)" علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی-پژوهشی)، جلد ۳۹، شماره ۱: صص ۳۳-۴۳.

حمیدیان پور م.، باعقیده م.، و عباس نیا م.، (۱۳۹۵) "ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱" پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، دوره ۴۸: صص ۱۰۷-۱۲۳.

دلقدی م.، (۱۳۹۱)، رساله دکتری: "ارزیابی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن (مطالعه موردی: جنوب دشت خوزستان)"، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دلقدی م.، (۱۳۹۵) "بررسی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: شهرستان شاهرود)"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره بیست و سه: صص ۱۶۷-۱۵۶.

زارع ابیانه ح.، قبایی سوق م.، و مساعدی ا.، (۱۳۹۴) "پایش خشکسالی بر مبنای شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده" نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۲: صص ۳۹۲-۳۷۴.

زارع ابیانه ح.، مقدم نیا ع.، بیات‌ورکشی م.، قاسمی ع. و شادمانی م.، (۱۳۸۹) "تغییرات مکانی تبخیر و تعرق از تشت و مقایسه آن با مدل‌های برآورد تبخیر در ایران" مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰/۱، شماره ۴: صص ۱۲۸-۱۱۳.

سیاری ن.، علیزاده ا.، بنایان اول م.، حسینی ع. ف.، و حسامی کرمانی م. ر.، (۱۳۹۰) "بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف‌رود (ایستگاه مشهد) در دوره‌های آتی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریوی انتشار A2 و B2" نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال دوم، شماره ۷ و ۸: صص ۳۹-۲۱.

شجاع ف.، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "مدیریت شهری یکپارچه در بهسازی و نوسازی بافت فرسوده و نقش جایگاه هریک از آنها (مطالعه موردی شهر سمنان)"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان.

صادقی نیا ع.، حجازی‌زاده ز.، حمیدیان پور م.، و پورسربندان ر.، (۱۳۹۲) "برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی: تهران" فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۳۳: صص ۸۱-۶۵.

صالح پور ا.، محسنی‌ساروی م.، بذرافشان ج.، و خلیقی‌سیگارودی ش.، (۱۳۹۳) "بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آتی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: شمال غربی ایران)" مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴، دوره ۶۷: صص ۵۴۸-۵۳۷.

صالح نیا ن.، موسوی‌بایگی م.، و انصاری ح.، (۱۳۹۲) "پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های LARS-WG و HadCM3 (مطالعه موردی: حوضه نیشابور)" نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۷، شماره ۱: صص ۱۰۳-۹۳.

صیف م.، محمدزاده ح.، و مساعدی ا.، (۱۳۹۱) "ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده" **مجله‌ی مهندسی منابع آب**، سال پنجم: صص ۴۵-۵۹.

عابدی کوپایی ج.، اسلامیان س. س.، و امیری م. ج.، (۱۳۸۷) "مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکروولایسیمتری در منطقه اصفهان"، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز. گل محمدی م.، و مساح بوانی ع.، (۱۳۹۰) "بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم" **نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، جلد ۲۵، شماره ۲: صص ۳۲۶-۳۱۵.

گودرزی م.، خسروانیان ج.، و حجازی س. ا.، (۱۳۹۴) "کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو" **فصلنامه‌ی علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی**، سال پانزدهم، شماره ۵۹: صص ۲۶۳-۲۷۹.

لشنی‌زند م.، پروانه ب.، پیامنی ک.، و سپهوند ع.، (۱۳۹۱) "بررسی تطابقی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه سراب صیدعلی" **فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب**، سال سوم، شماره نهم: صص ۱۱-۱.

محمدی م.، مرادی ح. ر.، و وفاخواه م.، (۱۳۹۱) "توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک" **فصل‌نامه جغرافیای طبیعی**، سال پنجم، شماره ۱۵: صص ۷۷-۸۴.

مرادی ح. ر.، سپهوند ع. ر.، و خزایی م.، (۱۳۸۸) "ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرو لوژیک با استفاده از شاخص SPI اصلاح شده و SDI (مطالعه موردی: حوضه شهر خرم‌آباد)" **پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)**، گرگان.

مساح بوانی، ع.، (۱۳۸۵)، گزارش نهایی رساله دکتری: "ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب (مطالعه موردی حوضه زاینده‌رود اصفهان)"، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

معافی‌معدنی س. ف.، موسوی بایگانی م.، و انصاری ح.، (۱۳۹۱) "پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG" **جغرافیا و مخاطرات طبیعی**، شماره سوم: صص ۲۱-۳۷.

ملکی‌نژاد ح.، و سلیمانی‌مطلق م.، (۱۳۹۰) "بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی" **مجله پژوهش آب ایران**، سال پنجم، شماره نهم: صص ۶۱-۷۲.

میرعباسی نجف‌آبادی ر.، فاخری‌فرد ا.، دین‌پژوه ی.، و اسلامیان س. س.، (۱۳۹۲) "پایش بلندمدت خشکسالی‌های ارومیه با استفاده از شاخص کمبود توأم" **نشریه دانش آب و خاک**، جلد ۳۳، شماره ۴: صص ۸۷-۱۰۳.

یعقوب زاده م.، برومندنسب س.، ایزدپناه ز.، و سیدکابلی ح.، (۱۳۹۴) "بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق به کمک سنجش از دور در مناطق نیمه خشک" نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۲: صص ۲۲۱-۲۳۳.

منابع خارجی

Allen R.G., Pereira S.L., Raes D., and Smith M., (1998) "Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements" **Irrigation and drainage**, pp 56, Rome.

Allen R.G., Pereira S.L., Raes D., and Smith M., (2009) "**Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)**, **FAO Irrigation and Drainage Paper No.56.**" (1998), Food and Agriculture Organization of the United Nations, USA, pp 15-110.

Asadi Zarch M.A., Sivakumar B., and Sharma A., (2015) "Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI)" **Journal of Hydrology**, 526: pp 183-195.

Bachelet D., Ferschweiler K., Sheehan T., and Strittholt J., (2016) "Climate change effects on southern California deserts" **Journal of Arid Environmebts**, 127: pp 17-29.

Dascălu S. L., Gothard M., Bojariu R., Birsan M-V., Cică R., Vintilă R., Adler M-J., Chendeş V., and Mic R-P., (2016) "Drought-related variables over the Bârlad basin (Eastern Romania) under climate change scenarios" **Catena**, 141: pp 92-99.

Edward D.C., and Mckee T.B., (1997) "**characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales**" *Climatology Report 2_97* , Dept of Atmospheric Science , Clorado State university Collins, Co, pp 155.

FAO, (2007), *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*. Interdepartmental Working Group On Climate Change. Rome. Available on: <http://www.fao.org>.

Goyal R.K., (2004) "Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India)" **Agricultural Water Management**, 69: pp 1-11.

H.Stagge J., Kohn I., M.Tallaksen L., and Stahl K., (2015) "Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe" **Journal of Hydrology**, 530: 37-50.

Hao Z., and AghaKouchak A., (2013) "Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model" **Advances in Water Resources**, 57: pp 12-18.

Hargraves George H., and Samani Zohrab a., (1985) "**Reference Crop Evapotranspiration From Temperature**" For presentation at the 1985 Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers, International Irrigation Center Logan, UT USA, pp 1-12.

Hoomehr S., S.Schwartz J., and C.Yoder D., (2016) "Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA" *CATENA*, 136: 141-151.

<http://drought.iranhydrology.net/index.htm>.

http://www.kashanmet.ir/ShowPage.aspx?page_=form&order=show&lang=1&sub=13&PageId=1283&codeV=1&tempname=KashanNewSkin.

<http://www.ippc.data.org>

IPCC-DDC (1998), <http://ipcc-ddc.cru.uea.uk>.

IPCC, 2001a: Technical summary. In: *Climate change 2001: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific–technical analyses*, eds. Watson, R. T., Zinyowera M. C. and Moss R. H., contribution of working group to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, pp. 1–53. Cambridge university press, Cambridge.

IPCC, 2001b: *Climate change. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Eds. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A. and Maskell K., 572 pp. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC- TGICA. 2007: General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.

IPCC- TGICIA. (1999): "Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment". eds. Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version 1, 69pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.

Jain V. k., Pandey R. P., Jain M. K., and Byun H., (2015), "Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin" **Weather and Climate Extremes**, 8; 1-11.

Leng G., Tang Q., and Rayburg S., (2015) "Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China" **Global and Planetary Change**, 126: 23-34.

Liu Z., Wang Y., Shao M., Jia X., and Li X., (2016) "Spatiotemporal analysis of multiscale drought characteristics across the Loess Plateau of China" **Journal of Hydrology**, 534: 281-299.

Mahmood R., Babel M., and JIA SH., (2015) "Assessment of temporal and spatial changes of future climate in the Jhelum river basin, Pakistan and India" **Weather and Climate Extremes**, 10: 40-55.

Mckee T.B., Doseken N.J., and Kleist J., (1993) "**The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales**" Proc, 8th Conf. On Applied Climatology, American Meteorological Society, Massachusetts, pp 179-184.

Mishra v., and Lihare R., (2016) "Hydrologic sensitivity of Indian sub-continental river basins to climate change" **Global and Planetary Change**, 139: 78-96.

Mondal A., and Mujumdar P.P., (2014) "Return levels of hydrologic droughts under climate change" **Advances in Water Resources**, pp 1-50.

Nam W-H., J.Hayes M., D.Svoboda M., Tadesse T., and A.Wilhite D., (2015) "Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea" **Agricultural Water Management**, 160: pp 106-117.

Park Ch-K., Byun H-R., Deo R., and Lee B-R., (2014) "Drought prediction till 2100 under RCP 8.5 climate change scenarios for Korea" **Journal of Hydrology**, 526: 221-230.

Qin Y., Yang D., Lei H., and Xu X., (2015) "Comparative analysis of drought based on precipitation and soil moisture indices in Haihe basin of North China during the period of 1960–2010" **Journal of Hydrology**, 526:pp 55-67.

Ruiz-Ramos M., and Minguez MI., (2010) "Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula" **Climate Research**, 44, pp 69-82.

Serpa D., P. Nunes J., Santos J., Sampaio E., Jacinto R., Veiga S., C. Lima J., Moreira M., Corte-Real J., J. Keizer J., and Abrantes N., (2016) "Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments" **Science of The Total Environment**, 538: 64-77.

Shah R., Bharadiya N., and Vivek M., (2015), "Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method For Surat District, Gujarat" **Aquatic Procedia**, 4: 1243-1249.

Spinoni J., Naumann G., V.Vogt J., and Barbosa P., (2015) "The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012" **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 3: pp 509-524.

Spinoni J., Naumann G., Voget J., and Barbosa P., (2015) "European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach" **Global and Planetary Change**, 127: 50-57.

Tsakiris G., and Vangelis H., (2005) "Establishing a drought index incorporating evapotranspiration" **European Water**, 9/10: 3-11.

Tsakiris G., Pangelou D., and Vangelis H., (2007) "Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)" **Water Resour Manage**, 21: 821-833.

Tigkas D., Vangelis H., and Tsakiris G., (2013) "The RDI as a composite climatic index" **European Water**, 41: pp 17-22.

Touma D., Ashfaq M., A.Nayak M., Kao Sh-Ch. and S.Diffenbaugh N., (2015) "A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century" **Journal of Hydrology**, 526: pp 196-207.

Venkataraman K., Tummuri S., Medina A., and Perry J., (2016) "21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management" **Journal of Hydrology**, 534: pp 300-316.

Vrochidou A-E. K., Tsanis. I.k., Grillakis M.G., and Koutroulis A.G., (2013) "The impact of climate changes on hydrometeorological droughts at a basin scale" **Journal of Hydrology**, 476: pp 290-301.

Wang K-Y., Li Q-F., Yang Y., Zeng M., Li P-Ch., And Zhang J-X., (2015) "Analysis of spatio-temporal evolution of droughts in Luanhe River Basin using different drought indices" **Water Science and Engineering**, 8,4: pp 282-290.

Wilby R.L., and Harris I., (2006) "A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK" **Water Resources Research**, 42, W02419.

Yan D., E. Werners S., Ludwig F., and Qing Huang H., (2015) "Hydrological response to climate change: the Pearl River, China under different RCP" **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 4: 228-245.

Assessment of climate change impact on meteorological and hydrological drought indices in Semnan region

Abstract

Drought is a natural and climate event that can have severe and long-lasting impacts on natural and human systems. Since, the study of climate changes negative effects on drought severity and duration in a region has got significant importance. The purpose of this research is assessment of climate change impacts on drought in Semnan region in future periods. In order to perform this research, 14 GCM models and three greenhouse gases emission (GHG) scenarios (A2, A1B and B1) were selected to generate climate change scenarios based on precipitation and temperature for baseline (1971 to 2000) and three future (2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099) periods. These scenarios were generated using cumulative probability distribution function (CDF) under three risk levels, 0.25, 0.50 and 0.75, for the future periods. Then the drought condition was evaluated by Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI) for different time scales, (1, 3, 6 and 12-months) for baseline and coming periods. The results indicated that mean annual temperature of Semnan region increases about 2.2°C by 2100, and it also showed a decrease in winter precipitation, and increased precipitation in the spring and partially summer. Also analyzing the drought conditions showed that we will have much more extreme drought class, on 3 and 6-months scales, compared to other scales. Increasing of dry periods and reduction of wet periods are predicted by both the SPI and RDI in four timescale 1, 3, 6 and 12-months, in the future second and third periods. And finally, analyzing severity, duration and magnitude of occurrence drought showed that we will have increases in all three specifications in future periods. According to the results, it has been found that climate change has a considerable impact on drought conditions in Semnan region in the future.

Keywords: Climate Change, AOGCM models, Drought Monitoring, SPI, RDI.



Shahrood University of Technology

Faculty of Agricultural Engineering

MSc Thesis in Water Structures Engineering

Assessment of climate change impact on meteorological and hydrological drought indices in Semnan region

By: Sanaz Joorabloo

Supervisors:

Dr. Khalil Azhdary
Dr. Zahra Ganji Noroozi

Advisor:

Dr. Mahdi Delghandi

September 2016