

## تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کمبود بارندگی در منطقه سمنان

ساناز جورابلو<sup>۱\*</sup>، خلیل اژدری<sup>۲</sup>، زهرا گنجی نوری<sup>۳</sup> و مهدی دلقندی<sup>۴</sup>

- <sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود  
sanaz\_j4@yahoo.com
- <sup>۲</sup> - دانشیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- <sup>۳</sup> - استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- <sup>۴</sup> - استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پذیرش: ۹۶/۱/۲۱

بازنگری: ۹۶/۱/۱۸

دریافت: ۹۵/۹/۲

### چکیده

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر بر اثر فعالیت‌های انسانی، منجر به گرم شدن زمین و تغییرات اقلیم گردیده است. پیش‌بینی می‌شود، افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم منجر به افزایش تبخیر و تعرق گردد. در این تحقیق، اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) و کمبود بارندگی (PD) در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ در منطقه سمنان بررسی گردید. بدین منظور، برای در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از ۱۴ مدل AOGCM تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (A1B، A2، B1) تولید شد. مقادیر  $ET_0$  و PD در سه سطح ریسک (۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵)، برای سه دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) محاسبه شد و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد، در دوره آبی سوم، بارش‌های بهاره کاهش و بارش‌های پاییزه و زمستانه افزایش خواهند یافت. همچنین مشخص شد که متوسط دما، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و کمبود بارندگی تا انتهای قرن روند افزایشی خواهند داشت، که افزایش این پارامترها، در طول ماه‌های گرم، در مقایسه با ماه‌های سرد، بیشتر خواهد بود. هم-چنین مشخص گردید، در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰، متوسط سالانه  $ET_0$  برای سناریوی A1B، A2، B1 به ترتیب حدود ۹/۲، ۸/۰ و ۵/۸ درصد افزایش می‌یابد.

**کلید واژه‌ها:** تغییر اقلیم، مدل‌های AOGCM، عدم قطعیت، تبخیر و تعرق گیاه مرجع، کمبود بارندگی.

### مقدمه

طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (Allen et al., 2013; Wang et al., 2012; Li et al., 2012). پارامترهای هیدرولوژیکی بسیار متأثر از اقلیم منطقه می‌باشند. لذا، شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی و تأثیر آن بر بخش کشاورزی، برای مدیریت منابع آبی و اتخاذ استراتژی‌های مناسب، بسیار ضروری است (Liu and Yang, 2010; Behmanesh et al, 2015). تبخیر و تعرق بعد از بارش، بزرگترین جزء برای حفظ تعادل چرخه‌ی هیدرولوژیکی شمرده می‌شود. برآورد دقیق آن، میزان آب مورد نیاز گیاه را مشخص می‌کند. هم‌چنین تعیین آن نقش کلیدی در طراحی و برنامه‌ریزی منابع آب، سیستم‌های آبیاری و زهکشی و مطالعه‌های زیست محیطی دارد (De la Casa and Ovando, 2014; Yaghoobzadeh et al, 2015; Kouhi and Sanaei, 2014; Nejad, 2014). تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، یک نمایه اقلیمی و بیانگر تقاضای تبخیر در اتمسفر است. بنابراین، بررسی تغییرات آن، تحت تأثیر تغییر اقلیم برای مناطق و فصل‌های مختلف می‌تواند درک درست و مناسبی در اختیار مدیران در سراسر جهان قرار دهد. در حال حاضر بیشترین مطالعه‌های در زمینه تغییرات آب و هوایی آینده، با استفاده از مدل‌های آب و هوایی صورت گرفته است. معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم، استفاده

با توجه به گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، روند گرم شدن کره زمین که عمدتاً توسط افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد می‌شود، در سال‌های آتی تداوم خواهد داشت (IPCC, 2014). طی دهه‌های اخیر، رشد صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل زدایی و تخریب محیط‌زیست از طرف دیگر، باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین، شده است. گازهای گلخانه‌ای به دلیل عبور نور خورشید و عدم عبور بازتابش آن توازن انرژی کره زمین را بر هم زده و باعث افزایش دمای اتمسفر گردیده است (IPCC, 2001a). از این پدیده به‌عنوان گرمایش زمین و یا به عبارتی دیگر تغییر اقلیم یاد می‌شود. تغییر اقلیم بر همه اکوسیستم‌هایی که به نوعی با اقلیم در ارتباط می‌باشند تأثیرگذار است (FAO, 2007). لذا در سال‌های اخیر یک توافق جمعی در ارتباط با موضوع گرمایش جهانی و تأیید تغییر در متغیرهای اقلیمی مختلف نظیر دما، بارش، رطوبت هوا، جریان آب زیرزمینی و تابش خورشیدی، بوجود آمده است (Babaeian and Kouhi, 2012). همراه با تشدید افزایش دما در سراسر جهان در طول قرن بیستم، متغیرهای اقلیمی مرتبط با دما مانند تبخیر- تعرق نیز به

قرار دادند. بیشترین میزان افزایش تبخیر و تعرق در ایستگاه سبزواری و کمترین آن در ایستگاه مشهد پیش‌بینی شد و عنوان نمودند تبخیر و تعرق در انتهای دوره نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

با توجه به مطالب ذکر شده و تحقیق‌های مختلف انجام شده در جهان و برخی از مناطق ایران در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، ملاحظه گردید تاکنون برای منطقه سمنان، مطالعه‌ای در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم، با در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت، صورت نگرفته است. لذا این تحقیق با هدف تحلیل و پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط استاندارد ( $ET_0$ ) در منطقه سمنان صورت گرفت. بدین منظور از خروجی ۱۴ مدل گردش عمومی جو (AOGCMs) بر مبنای سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، A2 و B1 برای سه دوره آتی استفاده گردید.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

برای این مطالعه، شهرستان سمنان انتخاب گردید. 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 (۲۰۰۹-۱۹۶۵) برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. ایستگاه سینوپتیک سمنان، 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 دراز مدت ۴۵ ساله، در ایستگاه مذکور میانگین دمای حداقل سالانه، ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر سالانه ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد و بارش بلندمدت سالانه ۱۴۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ماهانه ۴۵ سال آمار دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک سمنان در جدول (۱) ارائه شده است.

#### تولید سناریوهای اقلیمی دوره‌های آتی

به منظور تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه در شرایط تغییر اقلیم، از خروجی ۱۴ مدل گردش عمومی AOGCM (جدول ۲) تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1 (بحرانی‌ترین، حد متوسط و کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) مربوط به گزارش چهارم ارزیابی IPCC، (AR4) استفاده گردید.

از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM: Atmosphere- Ocean General Circulation Model) می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای اقلیمی را برای دوره طولانی مدت (عمدتاً تا سال ۲۰۹۹) با استفاده از سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی و مدلسازی نمایند. در مطالعه‌های تغییر اقلیم به دلیل تنوع مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مبحث عدم قطعیت نیز مطرح می‌گردد. بنابراین در بررسی اثرات تغییر اقلیم لازم است که عدم قطعیت‌های موجود نیز در نظر گرفته شود (Behmanesh et al, 2015; Ruiz-Ramos and Minguez, 2010; Wilby and Harris, 2006).

تاکنون در مطالعه‌های زیادی با استفاده از سناریوهای مختلف انتشار و مدل‌های گردش عمومی به بررسی اثرات مختلف تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش و تبخیر و تعرق پرداخته شده است. (Nam et al. (2015)، توزیع زمانی و مکانی تبخیر و تعرق کره جنوبی را تحت تأثیر تغییر اقلیم ارزیابی کردند. آن‌ها نشان دادند که تغییر اقلیم به معنی‌دار بودن تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در کره جنوبی از سال ۱۹۷۰ به بعد کمک کرده است. Tao et al. (2015) در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم را بر تبخیر و تعرق، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق در دوره مشاهداتی در حوضه XJRB، به ترتیب در بخش‌های شمال شرق و شمال غرب، رخ داده است. (Yaghoobzadeh et al. (2015) روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق را به کمک سنجش از راه دور مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که تبخیر و تعرق با افت دمای سطح زمین و افزایش تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. (Behmanesh et al. (2015) در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع را در ارومیه تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها بیان کردند که سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر، مقادیر بالاتری نشان می‌دهد. (Sheidaei et al. (2015) تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری را در دشت تجن بحث و بررسی کردند. تحقیق آن‌ها نشان داد که هر قدر به سال ۲۱۰۰ نزدیک شویم تبخیر و تعرق، افزایش بیشتری خواهد یافت. (Kouhi and Sanaei Nejad (2014) در مطالعه‌ای به بررسی سناریوهای تغییر اقلیم برای متغیر تبخیر و تعرق پرداختند. آن‌ها روند تبخیر و تعرق را در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نزولی عنوان نمودند. (Babaian and Kouhi (2012) در تحقیقی شاخص‌های اقلیم کشاورزی در خراسان رضوی را تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم مورد ارزیابی

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

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

جدول ۲- مشخصات مدل های AOGCM منتخب

نام مدل	کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریوهای انتشار
BCM 2.0	Norway	T63 (9/1° x 9/1°) L31	0.5°-5/1° x 5/1° L35	A2, A1B, B1
CGCM3T63	Canada	T63 (~9/1° x 9/1°) L31	0.9° x 4/1° L29	A2, A1B, B1
CSIROMK3.5	Australia	T63 (~9/1° x 9/1°) L18	0.8° x 9/1° L31	A2, A1B, B1
ECHO-G	Germany/ Korea	T30 (~9/3° x 9/3°) L19	0.5°-8/2° x 8/2° L20	A2, A1B, B1
ECHAM5OM	Germany	T63 (~9/1° x 9/1°) L31	1.5° x 5/1° L40	A2, A1B, B1
GFDL2.1	USA	2.0° x 5/2° L24	0.3°-0/1° x 0/1°	A2, A1B, B1
GISS-ER	USA	4° x 5° L20	4° x 5° L13	A2, A1B, B1
HADCM3	UK	2.5°x75/3° L19	1.25°x25/1°, L20	A2, A1B, B1
INMCM3.1	Russia	5° x 4° L21	2.5°x2°, L33	A2, A1B, B1
IPSLCM4	France	2.5° x 75/3° L19	2° x 2° L31	A2, A1B, B1
MIROC3.2 MEDRES	Japan	T106 (~1/1° x 1/1°) L56	0.2° x 3/0° L47	A2, A1B, B1
MRICGCM2.3.2 a	Japan	T42 (~8/2° x 8/2°) L30	0.5°-7/0° x 1/1° L40	A2, A1B, B1
NCARCCSM3	USA	T85 (4/1° x 4/1°) L26	0.3°-1° x 1° L40	A2, A1B, B1
NCARPCM	USA	T42 (4/1° x 4/1°) L26	0.3°-1° x 1° L40	A2, A1B, B1

میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه سازی 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 شبیه سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می باشد. ریز مقیاس کردن داده های اقلیمی یکی از منابع عدم قطعیت به شمار می آید. در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان پذیر نمی باشد ( Ruiz-Ramos and Minguéz, 2010). یکی از روش های ریزمقیاس کردن مکانی داده ها، روش تناسبی است. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات سلولی، منطقه مورد مطالعه استخراج می شود (رابطه ۳).

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

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

در رابطه (۳)،  $T_{base}$  دمای ماهانه مشاهداتی دوره پایه،  $T$  دمای تولیدی از پدیده تغییر اقلیم در دوره های آتی و  $\Delta T$  بیانگر سناریوی تغییر اقلیم دمای کوچک مقیاس شده می باشند. به همین ترتیب مقادیر بکاررفته در رابطه (۴)، عبارتند از بارش ماهانه مشاهداتی در دوره پایه  $P_{base}$ ، بارش حاصل از تغییر اقلیم در دوره های آتی  $P$  و بارش کوچک مقیاس شده  $\Delta P$  هستند.

#### عدم قطعیت های مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار

تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه دما با در نظر گرفتن عدم قطعیت، از طریق مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  (روابط ۱ و ۲) برای هر مدل AOGCM، تحت هر یک از سه سناریوی انتشار 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،

مدل های مزبور، توانایی شبیه سازی متغیرهای اقلیمی را برای یک دوره بلندمدت دارند. نقاط ضعف عمده این مدل ها قدرت تفکیک مکانی کم آن ها و وجود اغتشاش این مدل ها در شبیه سازی نوسانات اقلیمی است. به منظور حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی این مدل ها در محاسبات و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره ای این داده ها استفاده می شود. تحقیقات نشان می دهد که بهترین طول دوره آماری برای محاسبه سیگنال های تغییر اقلیم، ۳۰ سال می باشد (IPCC-TGCI, 1999; Behmanesh et al, 2015). در همین راستا با توجه به موجودیت متغیرهای اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰، به عنوان دوره پایه و همچنین سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به عنوان دوره های آتی انتخاب گردیدند.

#### ریز مقیاس نمایی و تولید سناریوهای تغییر اقلیم

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM، مقادیر اختلاف دما رابطه (۱) و "نسبت" برای بارندگی رابطه (۲) بین میانگین دمای ۳۰ ساله در دوره های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) و دوره شبیه سازی شده پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی، محاسبه می شود.

$$\Delta T_i = (\bar{T}AOGCM, fut_i - \bar{T}AOGCM, base_i) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}AOGCM, fut_i / \bar{P}AOGCM, base_i) \quad (2)$$

در روابط بالا  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه (۱ ≤ i ≤ ۱۲)،  $\bar{T}AOGCM, fut_i$  و  $\bar{P}AOGCM, fut_i$

$$ET_0 = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a \quad (5)$$

که در آن،  $ET_0$  تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $mm/day$ )،  $R_a$  میزان تابش خورشید به سطح زمین با توجه به عرض جغرافیایی  $T_{max}$ ،  $T_{min}$  و  $T_{mean}$  (به ترتیب میانگین، حداکثر و حداقل درجه حرارت روزانه  $^{\circ}C$ ) می‌باشد.

#### معادله فائو پنمن - مانتیث (FAO 56md)

این روش کاستی‌های روش پیشین پنمن - مونتیت را رفع و مقادیر گیاهان را به داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح جهان نزدیکتر نمود (Yaghoobzadeh et al, 2015). تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با روش پنمن - مونتیت فائو به صورت زیر برآورد می‌شود (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (6)$$

که در آن،  $ET_0$  تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $mm/day$ )،  $R_n$  تابش خالص ورودی به سطح گیاه ( $MJ/m^2/day$ )،  $G$  شار گرمایی خاک ( $MJ/m^2/day$ )،  $T$  متوسط دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲ متری ( $^{\circ}C$ )،  $u_2$  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 ( $KPa$ )،  $(KPa)$ ،  $(KPa)$  کمبود فشار بخار  $\Delta$ ، شیب منحنی فشار بخار آب ( $KPa/^{\circ}C$ ) و  $\gamma$  ثابت سایبرومتری ( $KPa/^{\circ}C$ ) می‌باشند.

#### صحت سنجی

به منظور ارزیابی روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود. از آماره‌های لازم برای این منظور، جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میانگین خطا (ME) را می‌توان نام برد. آماره‌های فوق با استفاده از روابط ۷ تا ۹، محاسبه می‌شوند:

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

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

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

برای هر ماه، ۱۴ تا  $\Delta T$  و  $\Delta P$  محاسبه گردید. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Easy Fit، بهترین تابع توزیع، انتخاب گردید. در ادامه برای هر ماه، یک تابع توزیع بتا برای  $\Delta T$  و  $\Delta P$ ‌های همان ماه حاصل گردید. سپس تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF)  $\Delta T$  و  $\Delta P$ ‌ها برای هر ماه، از تابع توزیع بتای مربوطه تعیین و در نهایت از CDF مربوطه، مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ استخراج گردید. مراحل مزبور برای ۱۲ ماه سال تکرار گردید. برای تهیه داده‌های بارش، حداکثر و حداقل دما در دوره‌های آبی مورد نیاز برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کمبود بارندگی، سناریوهای اقلیمی دما و بارش تحت سه سطح ریسک، سه سناریو و سه دوره آبی تولید گردید. به عنوان نمونه، سناریوی اقلیمی دمای حداقل، تحت سناریوی انتشار A2، در سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ در دوره آبی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ از رابطه (۳) تولید گردید. این روند برای دو سناریوی انتشار A1B و B1 تحت سه سطح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای دوره‌های آبی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نیز تکرار گردید.

#### محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع

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. هم-چنین مطالعه‌های 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 (Goyal, 2004). با توجه به اینکه در این تحقیق از پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق در دوره‌های آبی تنها دما موجود می‌باشد، محاسبه تبخیر و تعرق از روش‌هایی که تنها وابسته به دما هستند، استفاده گردید. در همین راستا دو روش دمائی هارگریوز - سامانی (Hargreaves-Samani) و فائو پنمن - مونتیت (برآورد بر اساس داده‌های ناقص هواشناسی: FAO56<sub>md</sub> FAO- Penman- monteith missing data) برای دوره پایه با مبنای قراردادن روش پنمن - مانتیث فائو (برآورد براساس داده‌های کامل هواشناسی) محاسبه و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. در نهایت براساس دقت نتایج، بهترین روش برای دوره‌های آبی انتخاب شد.

#### معادله هارگریوز - سامانی (HS)

معادله هارگریوز - سامانی با داشتن حداکثر و حداقل درجه حرارت، قادر به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره‌های ۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰ روزه و ماهانه می‌باشد (Hargreaves and Samani, 1985). تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از رابطه دمائی هارگریوز - سامانی به صورت زیر بدست می‌آید:

همچنین شکل (۱-ج) مقایسه متوسط بارندگی ماهانه برای دوره پایه و سه دوره آتی تحت سناریو A2 و سطح ریسک ۰/۲۵ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱)، در دوره آتی اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰) در تمامی ماه‌های سال به جزء ماه آوریل بارش‌ها نسبت به دوره مشاهداتی افزایش یافته‌است. در دوره آتی سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) بارش‌های بهار کاهش و بارش‌های پاییزه و زمستانه افزایش می‌یابد. در صورتی‌که بارش‌های تابستانه تغییر چندانی را نسبت به دوره مشاهداتی نشان نمی‌دهد. در همین راستا بیشترین افزایش بارش‌ها، مربوط به ماه دسامبر، به میزان ۸/۲ میلی‌متر بوده و بیشترین کاهش، نیز مربوط به ماه آوریل، به میزان ۴/۸ میلی‌متر در دوره آتی سوم می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که بیشینه بارندگی در دوره مشاهداتی و دوره‌های آتی، مربوط به ماه دسامبر (اواخر پاییز و اوایل زمستان) و مارس (اواخر زمستان و اوایل بهار) می‌باشد. همچنین در دوره آتی دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و دوره آتی اول در سطح ریسک ۰/۲۵، سناریوی A1B، نسبت به سناریوی A2 و B1، اعداد کمتری را برای تغییرات بارش نشان می‌دهد. در صورتیکه در سطح ریسک ۰/۷۵، سناریوی A2 اعداد بالاتری را نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد.

در روابط بالا  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر مشاهده شده،  $n$  تعداد داده‌ها،  $\mu$  مقدار متوسط داده‌ها و  $\sigma$  نشان‌دهنده انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. آماره  $R^2$ ، RMSE به ترتیب نسبت پراکندگی و مقدار خطا می‌باشند که دقت روش را مورد بررسی قرار می‌دهند. حداقل مقدار RMSE صفر می‌باشد (Zare et al., 2015).

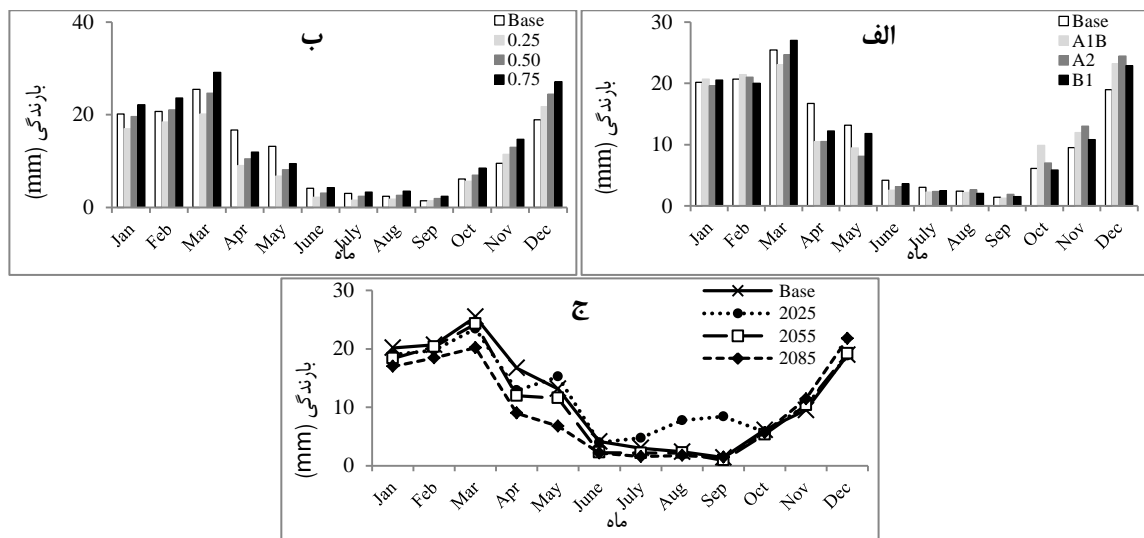
### کمبود بارندگی (PD)

اختلاف بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع کمبود بارندگی نامیده می‌شود که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Harmsen et al., 2009).

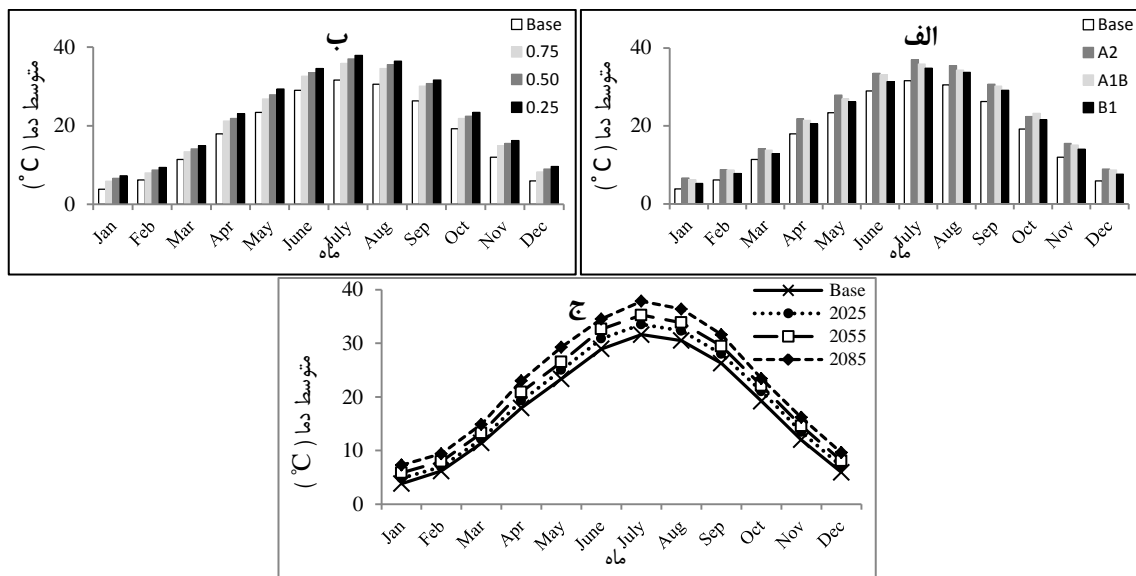
$$PD = P - ET_0 \quad (10)$$

### نتایج و بحث

متوسط بارندگی ماهانه برای سه سطح ریسک تحت سناریو A2 در شکل (۱-الف) و متوسط بارندگی ماهانه تحت سطح ریسک ۰/۵۰ برای سه سناریو انتشار در شکل (۱-ب) برای دوره آتی سوم (به دلیل نزدیکی به انتهای قرن) و پایه ارائه شده است.



شکل ۱- متوسط بارندگی ماهانه دوره پایه و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سطح ریسک ۰/۵۰ در سه سناریو (الف)، متوسط بارندگی ماهانه دوره پایه و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سطح ریسک (ب) و متوسط بارندگی ماهانه دوره پایه و سه دوره آتی بر اساس ریسک ۰/۲۵ و سناریو A2 (ج).



شکل ۲- متوسط دما ماهانه دوره پایه و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سطح ریسک ۰/۵۰ در سه سناریو (الف)، متوسط دما ماهانه دوره پایه و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سطح ریسک (ب) و متوسط دما ماهانه دوره پایه و سه دوره آبی بر اساس ریسک ۰/۲۵ و سناریو A2 (ج).

جدول ۳- نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با مرجع قرار دادن روش FAO 56 در دوره (۱۹۶۵-۲۰۰۹)

معادلات		آماره‌های ارزیابی خطا			معادلات
MAE (mm/d)	R <sup>2</sup>	RMSE (mm/d)	ME (mm/d)		
۰/۵۹	۰/۸۶	۰/۹۰	-۰/۲۲		HS
۰/۴۶	۰/۹۷	۰/۷۱	-۰/۴۴		FAO 56 <sub>md</sub>

(2015) در منطقه همدان، (Delghandi (2016) در منطقه شاهرود، (Mishra and Lilhare (2016) در شبه قاره هند و (Mahmood et. al. (2015) در حوضه Jhelum را گزارش کرده‌اند.

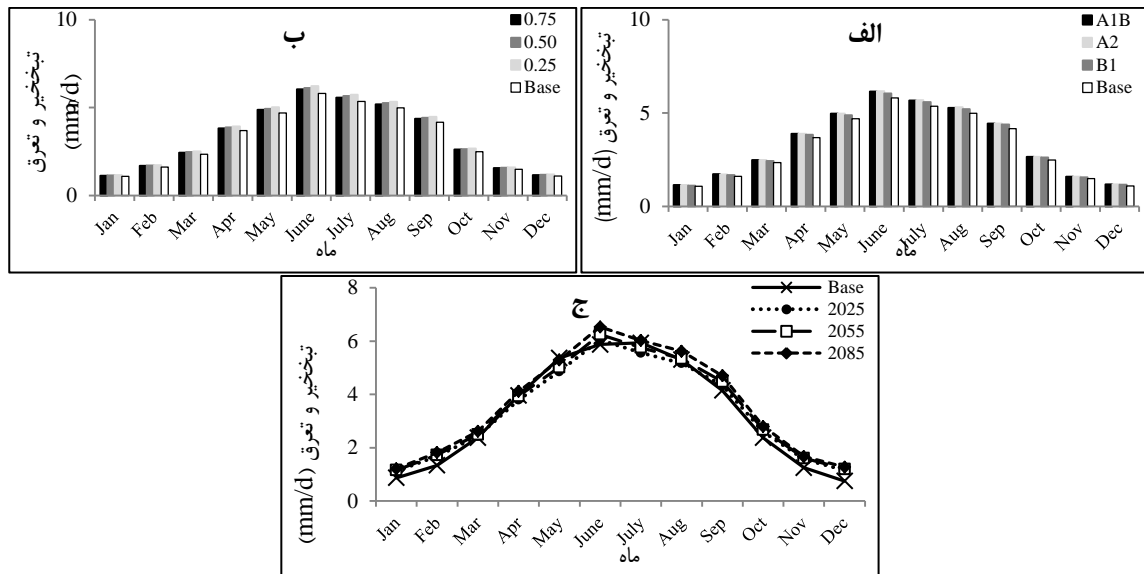
**نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق**

نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر تعرق برای دوره مشاهداتی در جدول (۳) و شکل (۳- الف و ب) ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۳)، روش فائو پنمن-مانتیت با داده های ناقص (FAO 56<sub>md</sub>) به دلیل همبستگی و دقت بالا به عنوان روش برتر در مقایسه با روش هارگریوز-سامانی جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ماهانه در ایستگاه سینوپتیک سمنان انتخاب گردید. به طوریکه روش فائو پنمن-مانتیت با داده‌های ناقص و هارگریوز-سامانی به ترتیب ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۷ و ۰/۸۶ برآورد نمودند در مطالعه حاضر طبق توصیه (Geerts et. al. (2010) تبخیر و تعرق متوسط ماهانه با احتمال وقوع ۰/۸۰ (ریسک ۰/۲۰) برای دوره‌های آبی و مشاهداتی محاسبه گردید.

میانگین ماهانه متوسط دما برای دوره آبی ۲۰۷۰-۲۰۹۹، برآورد و به صورت مقایسه‌ای نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۹-۱۹۶۵)، بر مبنای سه سناریوی انتشار و سه سطح ریسک، در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. بر اساس نتایج شکل (۲- الف و ب)، متوسط دمای شبیه‌سازی شده در دوره آبی ۲۰۷۰-۲۰۹۹، در مقایسه با دوره مشاهداتی، بر اساس هر سه سناریو انتشار، برای تمام ماه‌ها افزایش یافته‌است. هر قدر، سطح ریسک کاهش می‌یابد (احتمال وقوع افزایش می‌یابد)، میزان افزایش دمای متوسط نیز بیشتر می‌شود. هم‌چنین با توجه به شکل (۲- الف)، مشخص می‌شود که سناریوی A2 (وخیم‌ترین سناریوی انتشار)، نسبت به دو سناریوی دیگر، افزایش دمای متوسط بیشتری را پیش‌بینی کرده است. به طور کلی، متوسط دمای ماهانه در ماه‌های گرم نسبت به ماه‌های سرد سال، از افزایش بیشتری تحت هر سه سناریو برخوردار بوده است. به عبارت دیگر، بیشترین افزایش برای فصل تابستان و سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب برابر ۶/۲ و ۵/۲ درجه سانتی‌گراد تحت سطح ریسک ۰/۲۵ برآورد شده است.

مشابه نتایج تحقیق حاضر و پیش‌بینی افزایش دما را (Behmanesh et al. (2015) در ارومیه، Zare Abyaneh et al.





شکل ۳- متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه ماه‌های مختلف برای دوره پایه و دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سطح ریسک ۰/۵۰ در سه سناریو (الف)، متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه ماه‌های مختلف برای دوره پایه و با دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سطح ریسک (ب) و متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه ماه‌های مختلف برای دوره پایه و با سه دوره آبی بر اساس ریسک ۰/۲۵ و سناریو A2 (ج).

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

دوره	سناریو (۰/۵۰)	ماه												میانگین روزانه	مجموع سالانه (mm)	درصد تغییرات سالانه
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
دوره 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	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۲۵	۲/۰۸	
دوره 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 سوم	A2	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۳۲	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	۰/۳۱	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	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۲۰	۷۳	۵/۸۴

به منظور مقایسه بهتر، تبخیر و تعرق حاصل از سطح ریسک ۰/۵۰، به عنوان میانگین سطوح مختلف ریسک انتخاب 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) ارایه گردید. تبخیر و تعرق سالانه دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، ۱۱۷۶ میلی‌متر و میانگین تبخیر و تعرق روزانه، ۳/۲۴ میلی‌متر محاسبه گردید. همان‌گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد، در دوره آبی اول و دوم، سناریوی A1B و A2، افزایش تبخیر و تعرق سالانه تقریباً مشابهی (حدود ۲/۸٪)، را نشان می‌دهند. در صورتی که سناریوی B1، در هر سه دوره آبی، کمترین میزان تغییرات را بیان می‌کند.

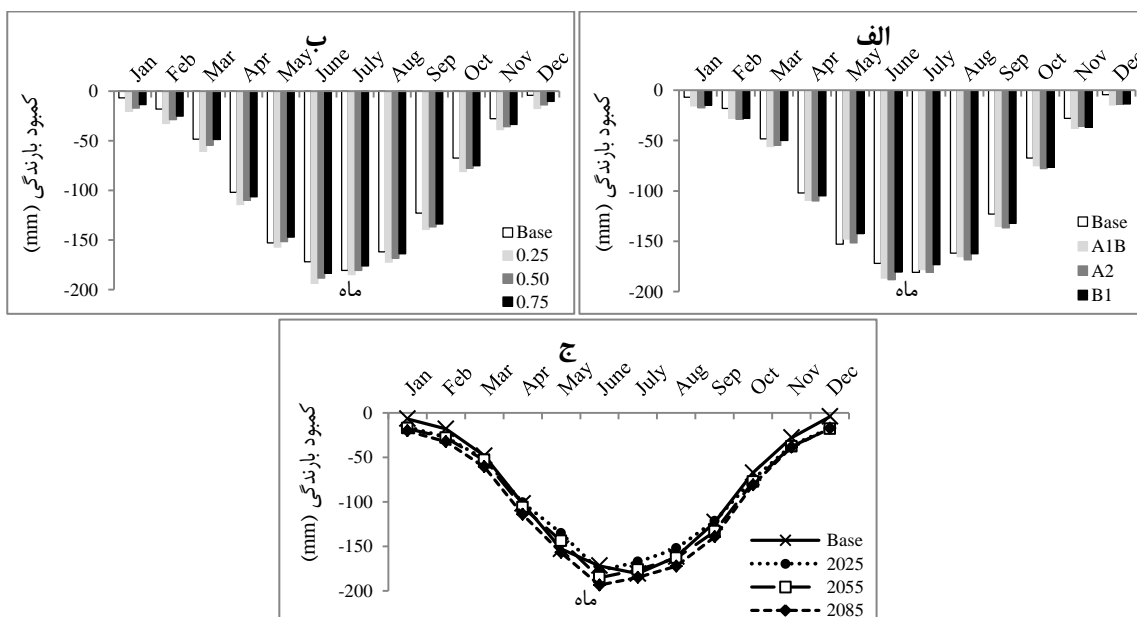
نتایج مربوط به بررسی سطوح مختلف و سناریوهای انتشار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره‌های شبیه‌سازی شده نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) در شکل (۳- الف و ب) نشان داده شده است. میزان تبخیر و تعرق در سه سطح ریسک تفاوت چندانی ندارند. به بیان دیگر سطوح مختلف ریسک در تولید سناریوهای اقلیمی تأثیر خاصی بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ندارد. همچنین مقایسه میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع تحت سه سناریو انتشار با دوره پایه (شکل ۳- الف) بیانگر آن است که سناریوهای A2 و A1B تقریباً نتایج نزدیک به یکدیگر پیش‌بینی نموده‌اند.

بیشتری دارد. بطوری که با افزایش نیاز آبی گیاهان چند ساله و باغات، تقاضای آب برای بخش کشاورزی افزایش خواهد یافت.

**نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر کمبود بارندگی**

در نهایت بعد از بررسی نتایج بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، با توجه به شکل (۴) به بررسی کمبود بارندگی در سناریوها، سطوح ریسک و دوره‌های مختلف پرداخته شد. شکل (۴- الف) نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌ها، سناریو A2 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش کمبود بارندگی بیشتری را نشان می‌دهد. بررسی شکل (۴- ج) مشخص می‌کند که در هر سه دوره آبی نسبت به دوره گذشته کمبود بارندگی روند افزایشی داشته، به گونه‌ای که این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد بود. بیشترین افزایش کمبود بارندگی تا انتهای قرن مربوط به ماه ژوئن و به میزان ۲۱/۸ میلی‌متر می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که کمبود بارندگی در تمامی ماه‌ها تحت هر سه سناریو و سه سطح ریسک در هر سه دوره آبی منفی می‌باشد. این امر نشان دهنده آن است که تا سال ۲۰۹۹ در هیچ ماه سال مازاد بارندگی وجود نداشته و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از بارندگی بیشتر خواهد بود.

در دوره آبی سوم، تغییرات تبخیر و تعرق بیشتری، نسبت به دو دوره آبی اول و دوم وجود دارد. در این دوره بیشترین مقدار میانگین تبخیر و تعرق سالانه مربوط به سناریوی A2، به میزان ۱۱۸ میلی‌متر (۹٪) و کمترین مقدار آن مربوط به سناریوی B1، با مقدار ۷۳ میلی‌متر (حدود ۶٪)، می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که در هر سه دوره آبی بیشترین افزایش میزان  $ET_0$  در هر سه سناریو در ماه ژوئن (اواخر بهار) رخ می‌دهد. به طوری که در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹، متوسط سالانه  $ET_0$  حدود ۹/۲، ۸/۰ و ۵/۸ درصد به ترتیب برای سناریوی A2، A1B و B1 افزایش یافته است. همچنین می‌توان بیان کرد که در دوره‌های آبی بیشترین افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در اواخر بهار و اوایل تابستان (که اوج نیاز آبیاری اکثر گیاهان می‌باشد) رخ خواهد داد. بنابراین برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب برای آینده، بدون توجه به تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل خالی از اشکال نمی‌باشد. ناگفته نماند که افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم طول دوره رشد گیاهان را کاهش می‌دهد. لذا، این امکان وجود دارد که در شرایط تغییر اقلیم، تبخیر و تعرق روزانه افزایش یابد. ولی با کاهش طول دوره رشد گیاه، نیاز آبی کل گیاه تغییر نکند (Delghandi, 2016). لذا تغییر اقلیم در مورد نیاز آبی گیاهان چند ساله و باغات تأثیر



شکل ۴- متوسط کمبود بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سطح ریسک ۰/۵۰ در سه سناریو (الف)، متوسط کمبود بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سطح ریسک (ب) و متوسط کمبود بارندگی ماهانه دوره پایه با سه دوره آبی بر اساس ریسک ۰/۲۵ و سناریو A2 (ج).



### نتیجه گیری

این تحقیق با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل برای گیاه مرجع و کمبود بارندگی در منطقه سمنان شکل گرفت. بدین منظور، از خروجی ۱۴ مدل AOGCM، تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2، A1B و B1، و سه سطح ریسک (۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵) در سه دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) استفاده شد. نتایج نشان داد که متوسط دما تا انتهای قرن، روند افزایشی خواهد داشت. متوسط دما در ماه‌های گرم، نسبت به ماه‌های سرد سال، از افزایش بیشتری، تحت هر سه سناریو برخوردار خواهد بود. به عبارت دیگر، بیشترین افزایش دما برای فصل تابستان و سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب برابر ۶/۲، ۵/۲ و ۳/۶ درجه سانتی‌گراد در دوره آتی سوم، تحت سطح ریسک ۰/۲۵ برآورد شده است. بررسی نتایج بارش نشان داد 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 دوره آتی سوم، بارش‌های بهاره، کاهش و

بارش‌های پاییزه و زمستانه، افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، در هر سه دوره آتی و سه سناریو در ماه ژوئن (اواخر بهار) رخ می‌دهد. به طوری که در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹، متوسط سالانه ETo حدود ۹/۲، ۸/۰ و ۵/۸ درصد به ترتیب برای سناریوی A2، A1B و B1 افزایش یافته است. در همین راستا در دوره‌های آتی افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در اواخر بهار و اوایل تابستان (که اوج نیاز آبیاری اکثر گیاهان می‌باشد) رخ خواهد داد. کمبود بارندگی نیز همانند دما روند افزایشی را انتهای قرن خواهد داشت. این افزایش، در ماه‌های گرم نسبت به ماه‌های سرد سال، بیشتر خواهد شد. افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش و افزایش کمبود بارندگی در انتهای قرن، موجب کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، خواهد شد. لذا توصیه می‌شود، مسئولان و مدیران طرح‌های منابع آب، کشاورزی و محیط‌زیست، به منظور کاهش خسارات، تصمیمات خود را در راستای سازگاری با شرایط اقلیمی آینده اتخاذ نمایند.

### منابع

- 1- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome*.
- 2- Allan, C., Xia, J. and Pahl-Wostl, C., 2013. Climate change and water security: challenges for adaptive water management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), pp.625-632.
- 3- Babaeian, I and Kouhi, M. 2012. Agroclimatic Indices Assessment over Some Selected Weather Stations of Khorasan Razavi Province Under Climate Change Scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26 (4), pp.953-967. (In Persian).
- 4- Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H. and Khalili, K. 2015. Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia. *Water and Soil Science*, 25 (2), pp.79-91. (In Persian).
- 5- De la Casa, A.C., Ovando, G.G. 2014. Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195-196, pp.1-11.
- 6- Delghandi, M. 2016. Assessment of Climate Change Risk Impacts on Potential Evapotranspiration; Case Study Shahrood Region. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6 (23), pp.156-167. (In Persian).
- 7- 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>.
- 8- Geerts, S., D. Raes and M. Garcia. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural Water Management*, 98, pp.213-216.
- 9- 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.

- 10-Hargraves G, 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.
- 11-Harmsen, E, Miller, N, Schlegel, N. and Gonzalez, JE. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*, 96, pp.1085-1095.
- 12-IPCC- TG CIA. 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.
- 13-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.
- 14-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.
- 15-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.
- 16-Kouhi, M. and Sanaei Nejad, H. 2014. Evaluation of Climate Change Scenarios based on Two Statistical Downscaling Methods for Reference Evapotranspiration in Urmia Region, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 4(7), pp.559-574. (In Persian).
- 17-Li, Z., Zhengb, F. and Liub, W. 2012. Spatiotemporal Characteristics of Reference Evapotranspiration During 1961–2009 and its Projected Changes During 2011–2099 on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155, pp.147– 155.
- 18-Liu, Q. and Yang, Zh. 2010. Quantitative estimation of the impact of climate change on actual evapotranspiration in the Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 395, pp.226-234.
- 19-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, pp.40-55.
- 20-Mishra, v. and Lilhare, R. 2016. Hydrologic sensitivity of Indian sub-continental river basins to climate change. *Global and Planetary Change*, 139, pp.78-96.
- 21-Nam, W-H. Hong, E. and Choi, J. 2015. Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea? *Agricultural Water Management*, 150, pp129-138.
- 22-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.

- 23-Sheidaeian, M. Ziatabar Ahmadi, M.Kh. and Fazloul, R. 2015. Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain). *Journal of Water and Soil*, 28 (6), pp.1284-1297. (In Persian).
- 24-Tao, X., Chen, H., Xu, Ch., Hou, Y. and Jie, M. 2015. Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin, China. *Water Science and Engineering*. 8(4), pp. 273-281.
- 25-Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Xing, W., Yang, T., Luo, Y., Yong, B. and Xu, J., 2012. Reference evapotranspiration change and the causes across the Yellow River Basin during 1957–2008 and their spatial and seasonal differences. *Water Resources Research*, 48(5).
- 26-Yaghoobzadeh, M. Broomandnasab, S. Izadpanah, Z. and Kaboli, H. 2015. Assessment of Trends of spatial and temporal changes evapotranspiration Using a GIS in semi-arid regions. *Journal of Water Research in Agriculture*. 29 (2) pp.221-233. (In Persian).
- 27-Zare Abyaneh, H., Ghabaei Sough, M. and Mosaedi, A. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change: *Journal of Water and Soil*, 29 (2), pp.384-392. (In Persian).
- 28-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.