

بررسی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل؛ مطالعه موردی شهرستان شاهرود

مهدی دلغندی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۱

چکیده

فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای اتمسفر شده است که این امر باعث گرم شدن زمین و تغییر اقلیم گردیده است. انتظار می‌رود افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم منجر به افزایش تبخیر و تعرق (که عامل کلیدی در تعیین نیاز آبی گیاهان می‌باشد) گردد. در این تحقیق به منظور آشکارسازی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0)، مقدار ET_0 با استفاده از روش فائو ۵۶ و بکارگیری نرم‌افزار Ref-ET برای دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و ۲ دوره آبی ۲۰۱۶-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای شهرستان شاهرود محاسبه گردید. برای این منظور، سناریوهای تغییر اقلیم توسط مدل AOGCM تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B1 تولید و با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس گردیدند و ET_0 محاسبه شده برای سناریوهای تغییر اقلیم و دوره پایه مقایسه گردید. نتایج نشان داد در دوره آبی اول (۲۰۱۶-۲۰۴۵)، تحت هر دو سناریوی انتشار، متوسط ET_0 حدود ۴/۵ درصد و در دوره آبی دوم حدود ۱۵ و ۸ درصد به ترتیب برای سناریوی A2 و B1 افزایش خواهد یافت. همچنین مشخص گردید که مقدار ET_0 در ماه‌های گرم در مقایسه با ماه‌های سرد سال بیشتر افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، عدم قطعیت.

^۱ استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. ۰۲۳۳۲۵۲۴۶۲۰ - delghandi@gmail.com (مسئول مکاتبه)

مقدمه

صنعتی شدن انسان موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای گردیده است و این افزایش، همچنان ادامه دارد. گازهای گلخانه‌ای به دلیل عبور دادن نورخورشید و عبور ندادن بازتابش آن (که به صورت طول موج بلند می‌باشد) توازن انرژی کره زمین را بر هم زده است و باعث افزایش دمای اتمسفر گردیده است (IPCC, 2001a and IPCC, 2001b). از این پدیده به عنوان 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 می‌باشد. (FAO, 2007). پارامترهای هیدرولوژیکی بسیار متأثر از اقلیم منطقه می‌باشند. بدون شک یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی که تحت تأثیر گرمایش زمین قرار می‌گیرد، تبخیر و تعرق گیاهان می‌باشد. در اهمیت پدیده تبخیر و تعرق همین بس که این پدیده یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد (Liu and Yang, 2010). از آنجائی که عامل اصلی مؤثر بر تبخیر و تعرق، درجه حرارت اتمسفر می‌باشد، انتظار می‌رود تغییر اقلیم باعث افزایش تبخیر و تعرق گردد. با افزایش مقدار تبخیر و تعرق، بارندگی نیز دستخوش تغییر خواهد گردید. در بخش کشاورزی، تبخیر و تعرق مشخص کننده نیاز آبی گیاهان می‌باشد. افزایش و یا کاهش تبخیر و تعرق میزان تقاضای آب بخش کشاورزی را تغییر خواهد داد (O'Hara, 2007). تغییرات تبخیر و تعرق، تحت تأثیر تغییر اقلیم برای مناطق و فصل‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بر این اساس مدیران و مسئولان برنامه ریزی منابع آب باید درک کاملی به فرآیند تبخیر و تعرق در مناطق مختلف داشته باشند (Hanson, 1991).

در حال حاضر معتبرترین و پیشرفته‌ترین ابزار جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو^۱ (AOGCM) می‌باشد (Wilby and Harris, 2006). مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین

فیزیکی استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. مدل‌های مذکور تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، پارامترهای اقلیمی را برای دوره‌های آتی (عمدتاً تا سال ۲۰۹۹) پیش‌بینی می‌کنند. با استفاده از این مدل‌ها و سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌توان اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاهان را مورد بررسی قرار داد. در مطالعات تغییر اقلیم به دلیل تنوع مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مبحث عدم قطعیت نیز مطرح می‌گردد (Ruiz-Ramos and Minguéz, 2010). بنابراین در بررسی اثرات تغییر اقلیم لازم است که عدم قطعیت‌های موجود نیز در نظر گرفته شود. در همین راستا، (Chaouche et al., 2010) میزان تبخیر و تعرق را تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه مدیترانه‌ای فرانسه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در سال‌های آتی، مقدار میانگین درجه حرارت سالانه و تبخیر و تعرق سالانه در قسمت غربی منطقه افزایش می‌یابد. (Calanca et al., 2006) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق را در سه حوضه آلپ در فصل تابستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در ارتفاعات پایین میزان تبخیر و تعرق کاهش و در ارتفاعات بالا این مقدار افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای شمال چین عنوان نمودند که در شرایط تغییر اقلیم، تبخیر و تعرق به دو پارامتر دمای حداقل و حداکثر نسبت به دیگر پارامترهای اقلیمی، وابستگی بیشتری دارد

(Wang et al., 2006). در تحقیقی دیگر، اثر تغییر اقلیم بر روی میزان تبخیر و تعرق و کاهش عملکرد نسبی محصول، در سه منطقه از امریکا مورد بررسی قرار گرفت و برای محاسبه تبخیر و تعرق از معادله پنمن مانتیث استفاده شد (Eric et al., 2009). خلیل در سال ۲۰۱۳ در بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی تبخیر و تعرق به این نتیجه رسید که میزان تبخیر و تعرق در ۲۰ ایستگاه هواشناسی مصر افزایش خواهد یافت. بیشترین تبخیر و تعرق برای سناریوی A2 در

1 - Atmosphere- Ocean General Circulation Model

گردید. روش‌های متعددی برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد که انتخاب روش مناسب بستگی به داده‌های موجود در ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین دقت مورد نیاز دارد (Goyal, 2004). از بین همه روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق، روش نشریه فائو ۵۶ به عنوان یک روش استاندارد و دقیق برای محاسبه تبخیر و تعرق بیان شده است که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Allen et al., 1998).

(۱)

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

که در آن: ET_o تبخیر و تعرق مرجع بر حسب $(mm \text{ day}^{-1})$ ، R_n میزان تشعشع خالص رسیده به سطح گیاه $(MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1})$ ، G شار گرمایی خاک $(MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1})$ ، T میانگین درجه حرارت روزانه در ارتفاع ۲ متری $(^{\circ}C)$ ، u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m/s) ، e_s فشار بخار آب اشباع (kPa) ، e_a فشار بخار آب در دمای واقعی (kPa) ، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار آب (kPa) ، Δ شیب منحنی فشار بخار آب $(kPa \text{ }^{\circ}C^{-1})$ ، γ ثابت سایکرومتری $(kPa \text{ }^{\circ}C^{-1})$.

مدل‌های AOGCM مورد مطالعه، همه پارامترهای لازم برای روش فائو ۵۶ را یا شبیه‌سازی نمی‌کنند و یا شبیه‌سازی آن‌ها از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین بهتر است در محاسبه پارامترهای مورد نیاز این روش مانند رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی از معادلات دمایی استفاده شود. معادلاتی مانند روش هارگریوز-سامانی نیز وجود دارد که میزان تبخیر و تعرق را تنها بر اساس میزان دما برآورد می‌کنند. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴) با معیار قراردادن روش فائو ۵۶، مقدار تبخیر و تعرق را با دو روش هارگریوز-سامانی و روش فائو ۵۶ با برآورد رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی از معادلات دمایی برای منطقه همدان بدست آوردند و نتیجه گرفتند که روش فائو ۵۶ با برآورد رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی از

سال ۲۱۰۰ و کمترین تبخیر و تعرق برای سناریوی B1 در سال ۲۰۴۰ تعیین گردید (Khalil et al., 2013). (Moratitel et al., 2010). تغییرات تبخیر و تعرق را برای اسپانیا تا انتهای قرن ۲۱ با استفاده از معادله پنمن مانیتیت بررسی نمودند. برای بدست آوردن تغییرات تبخیر و تعرق از ۴ سناریو تغییر اقلیم در ۳۳۸ ایستگاه هواشناسی استفاده گردید. میزان افزایش سالانه ET برای سناریوهای مختلف بین ۷ تا ۳۶ درصد تعیین گردید.

شهرستان شاهرود از پتانسیل بالایی برای کشاورزی برخوردار می‌باشد. میزان آب درخواستی بخش کشاورزی به مقدار تبخیر و تعرق گیاهان منطقه وابسته شدیدی دارد. لذا با توجه به بروز تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود که میزان تبخیر و تعرق در دوره‌های آبی و در نتیجه میزان آب درخواستی بخش کشاورزی دستخوش تغییر شود. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن در شرایط استاندارد (که در این مقاله از آن تبخیر و تعرق پتانسیل ET_o یاد می‌شود) در محدوده شهرستان شاهرود صورت گرفت. برای این منظور با توجه به اهمیت بررسی منابع عدم قطعیت، عدم قطعیت دو منبع اصلی، یعنی مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه حاضر از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان شاهرود با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی استفاده شد. متوسط دمای حداقل، حداکثر و میانگین سالانه این ایستگاه به ترتیب ۸/۶، ۲۰/۶ و ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. سردترین و گرمترین ماه‌های سال نیز به ترتیب دی ماه و تیرماه با متوسط دمای ۱/۵ و ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشند و طبق داده‌های ثبت شده در ایستگاه مورد نظر، میانگین بارش سالانه منطقه نیز ۱۶۳ میلی‌متر تعیین

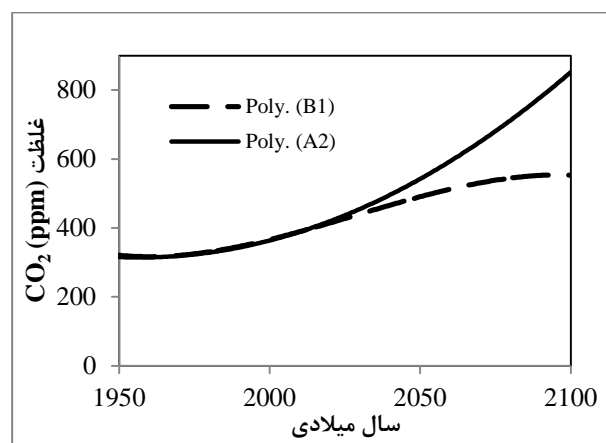
به چهارمین گزارش ارزیابی IPCC، استفاده شد. اهمیت این دو سناریو از این نظر است که سناریوی A2 در برگیرنده بحرانی‌ترین و سناریوی B1 در برگیرنده کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند (IPCC-TGICA, 2007). در شکل (۱) روند تغییرات غلظت CO₂ برای هر دو سناریو ارائه شده است.

معادلات دمایی از دقت بالاتری برخوردار می باشد. بنابراین در این تحقیق نیز برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل از این روش استفاده گردید.

تولید سناریوهای اقلیمی دما برای دوره های آتی
برای تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه در شرایط تغییر اقلیم، از خروجی ۱۳ مدل AOGCM (جدول ۱) تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 مربوط

جدول (۱): مشخصات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در این تحقیق (Randall, 2007)

نام مدل	کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریوهای انتشار
HadCm3	انگلستان	2.5°×3.75°, L19	1.25°×1.25°	A2,B1,A1B
ECHAM5/MPI-OM	آلمان	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	1.5° × 1.5°	A2,B1,A1B
CSIRO-MK3.5	استرالیا	T63 (~1.9° x 1.9°) L18	0.8° × 1.9°	A2,B1,A1B
GFDL-CM2.0	امریکا	2.0° x 2.5° L24	0.3°–1.0° × 1.0°	A2,B1,A1B
CNRM-CM3	فرانسه	T63 (~1.9° x 1.9°) L45	0.5°–2° × 2°	A2,B1,A1B
CGCM3 (T63)	کانادا	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	0.9° × 1.4°	A2,B1,A1B
GISS-ER	امریکا	4° x 5° L20	4° × 5°	A2,B1,A1B
MRI-CGM2.3.2a	ژاپن	T42 (~2.8° x 2.8°) L30	0.5°–0.7°× 1.1°	A2,B1,A1B
IPSL-CM4	فرانسه	2.5° x 3.75° L19	2° × 2°	A1B B1, A2,
CCSM3	امریکا	T85 (1.4° x 1.4°) L26	1° -0.3°–1°	A2,B1,A1B
ECHO-G	آلمان-کره	T30 (~3.9° x 3.9°) L19	0.5°–2.8° × 2.8°	A2,B1,A1B
BCCR-BCM2.0, 2005	نروژ	T63 (1.9° x 1.9°) L31	0.5°–1.5° × 1.5°	A2,B1,A1B
MIROC3.2 medres	ژاپن	T106 (~1.1° x 1.1°) L56	0.2° × 0.3° L47	A2,B1,A1B



شکل (۱): روند تغییرات غلظت CO₂ برای دو سناریو انتشار A2 و B1 (IPCC, 2007)

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM، مقادیر اختلاف دما (رابطه ۱) بین میانگین دمای ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶ یا ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۰) توسط همان مدل، محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_i = T_{fut_i} - T_{base_i} \quad (2)$$

که ΔT_i بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، T_{fut_i} میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، T_{base_i} میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

برای تولید سناریوهای اقلیمی دمای روزانه به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT (معادله ۱) برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوی انتشار A2 و B1 و برای هر ماه و هر دو دوره آتی جداگانه محاسبه گردید. به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه ۱۳ تا ΔT محاسبه گردید. با توجه به تعداد محدود ΔT و ΔP (۱۳ تا برای هر ماه)، توسط مدل آماری SimLab، برای هر ماه یک تابع توزیع بتا برای ΔT های همان ماه حاصل گردید و تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) ΔT برای هر ماه، از تابع توزیع بتای مربوطه تعیین و سپس مقادیر ΔT در سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ از CDF مربوطه استخراج گردیدند. این عمل برای همه ۱۲ ماه تکرار گردید.

در ادامه برای تولید داده‌های روزانه و ریز مقیاس شده اقلیمی، از مولد آب و هوای تصادفی LARS-WG استفاده گردید. توانایی و کارایی این مدل در تحقیقاتی که صورت گرفته، به اثبات رسیده است (Semenov and Stratonovitch 2010). این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر،

استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی مدل‌های AOGCM به دلیل قدرت تفکیک مکانی کم امکان‌پذیر نمی‌باشد و بایستی خروجی این مدل‌ها برای منطقه مورد مطالعه ریزمقیاس گردند. ریز مقیاس کردن داده‌های اقلیمی یکی از منابع عدم قطعیت به شمار می‌آید. در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد (Ruiz-Ramos and Minguez 2010). از طرفی مطالعاتی که در زمینه اثرات تغییر اقلیم صورت گرفته است، نشان از اهمیت بیشتر دو منبع عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Lobell and Ortiz-Manasterio, 2006). بنابراین در این تحقیق نظر به اهمیت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، عدم قطعیت این دو منبع، مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM در این مدل‌ها، شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی (نوسانات روزانه یا ماهانه) این متغیرها همراه با اغتشاش می‌باشد. 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. (مساح بوانی، ۱۳۸۵). تحقیقات نشان می‌دهد که بهترین طول دوره آماری برای محاسبه سیگنال‌های تغییر اقلیم ۳۰ سال می‌باشد. سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد کرده است که به منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در مطالعات مختلف تغییر اقلیم و امکان مقایسه آن‌ها، دوره پایه دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ در نظر گرفته شود. از طرف دیگر به توصیه همین سازمان، در مواردی که داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه برای این دوره موجود نباشد، دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ جایگزین شود (IPCC, 1999). لذا با توجه به موجودیت آمار ایستگاه مورد مطالعه دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند.

بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور با استفاده از داده‌های مشاهداتی دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (مربوط به ایستگاه سینوپتیک شاهرود) و سطوح مختلف احتمالاتی ΔT (سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵) سناریوهای اقلیمی روزانه دمای حداقل و دمای حداکثر برای دو دوره ۳۰ ساله آبی تولید گردید.

بدین ترتیب برای هر دوره آبی و تحت هر کدام از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، سه سناریوی اقلیمی روزانه ۳۰ ساله (در سه سطح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵) تولید گردید. بنابراین با احتساب ۲ دوره آبی و ۲ سناریوی انتشار و سه سطح احتمالاتی، در مجموع، ۱۲ سناریوی تغییر اقلیم روزانه ۳۰ ساله محاسبه گردید. برای سهولت اقدام به نامگذاری سناریوهای تغییر اقلیم با یک حرف و دو عدد به صورت XN_1-N_2 گردید که حرف X نشان دهنده نوع سناریوی انتشار (حرف A نشان دهنده سناریوی انتشار A2 و B نشان دهنده سناریوی انتشار B1)، N_1 نشان دهنده دوره آبی (عدد ۱ نشان دهنده دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ و عدد ۲ نشان دهنده دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و N_2 نشان دهنده سطح احتمال می‌باشد که با یکی از اعداد ۲۵، ۵۰ و ۷۵ نشان داده می‌شوند که این اعداد به ترتیب معرف سطح احتمال ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ می‌باشند به عنوان مثال سناریوی "A1-25" نشان دهنده سناریوی مربوط به سناریوی انتشار A2 و دوره آبی اول یعنی ۲۰۴۵-۲۰۱۶ در سطح احتمال ۰/۲۵ می‌باشد و سناریوی "B2-50" نشان دهنده سناریوی مربوط به سناریوی انتشار B1 و دوره آبی دوم یعنی ۲۱۰۰-۲۰۷۰ در سطح احتمال ۰/۵۰ می‌باشد.

در مرحله بعدی مقدار تبخیر و تعرق روزانه برای هر ۱۲ سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از روش فائو ۵۶ محاسبه گردید. از آنجائیکه توصیه شده است که سیستم‌های آبیاری با احتمال ۸۰ درصد نیازآبی طراحی شود (Geerts et Al., 2010) در این تحقیق نیز مقدار تبخیر و تعرق متوسط روزانه هر ماه با احتمال وقوع ۸۰ درصد (ریسک ۲۰ درصد) محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در جدول (۱)، نتایج مربوط به تغییرات دما در دو دوره آبی، تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B1 در سه سطح احتمالاتی آرایه شده است. منظور از سطح احتمالاتی این است که مثلاً در دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۱۶ و تحت سناریوی A2 و سطح احتمال ۰/۷۵، افزایش دمای متوسط ژانویه در ۷۵ درصد سال‌ها، ۱/۴ سانتی‌گراد یا کمتر از این مقدار می‌باشد. با توجه به جدول (۲) مشخص می‌گردد در دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۱۶ در هر دو سناریوی A2 و B1 دما تقریباً به یک اندازه افزایش می‌یابد و هر چه سطح احتمالاتی افزایش می‌یابد (به عبارتی سطح ریسک کاهش می‌یابد) مقدار افزایش دما بیشتر می‌شود. همچنین مشخص می‌گردد که میزان افزایش دما در ماه‌های سرد سال نسبت به ماه‌های گرم سال کمتر می‌باشد و علاوه بر آن سناریوی A2، میزان افزایش دما را نسبت به سناریوی B1 بیشتر پیش بینی می‌کند (تقریباً ۲ برابر). تحت سناریوی A2، بیشترین افزایش دما در ماه تابستان و تحت احتمال ۰/۷۵ اتفاق می‌افتد. (۶/۸ درجه سانتی‌گراد). اما در سناریوی B1 بیشترین افزایش دما حدود ۳/۷ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.

جدول (۲): تغییرات دما در سناریو و سطوح مختلف احتمالاتی

دوره آبی	سناریوی انتشار	سطح احتمال	jan	feb	mar	apr	may	june	july	aug	sep	oct	nov	dec
-۲۰۱۶	A2	۰/۲۵	۰/۹	۰/۴	۱/۰	۱/۳	۱/۸	۱/۸	۱/۶	۱/۷	۱/۵	۱/۴	۰/۹	۰/۸
	A2	۰/۵۰	۱/۲	۰/۷	۱/۲	۱/۸	۲/۳	۲/۱	۱/۹	۲/۰	۱/۸	۱/۶	۱/۲	۱/۰
	A2	۰/۷۵	۱/۴	۱/۱	۱/۴	۲/۳	۲/۸	۲/۶	۲/۲	۲/۳	۲/۰	۱/۹	۱/۶	۱/۳
۲۰۴۵	B1	۰/۲۵	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۱/۲	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۷	۱/۳	۱/۲	۰/۷	۰/۸
	B1	۰/۵	۱/۰	۰/۹	۱/۱	۱/۶	۲/۱	۱/۹	۱/۹	۲/۰	۱/۶	۱/۴	۱/۱	۱/۰
	B1	۰/۷۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۹	۲/۵	۲/۳	۲/۲	۲/۳	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳
-۲۰۷۰	A2	۰/۲۵	۳/۶	۳/۴	۴/۱	۵/۰	۶/۰	۵/۸	۶/۱	۶/۰	۵/۳	۴/۹	۴/۶	۳/۷
	A2	۰/۵	۳/۸	۳/۶	۴/۳	۵/۲	۶/۴	۵/۹	۶/۴	۶/۲	۵/۵	۵/۲	۴/۸	۳/۹
	A2	۰/۷۵	۳/۹	۳/۷	۴/۵	۵/۴	۶/۸	۶/۱	۶/۷	۶/۵	۵/۷	۵/۵	۵/۱	۴/۱
۲۰۹۹	B1	۰/۲۵	۱/۵	۱/۵	۱/۹	۲/۵	۳/۱	۳/۱	۲/۸	۳/۰	۲/۶	۲/۴	۱/۷	۱/۶
	B1	۰/۵	۱/۸	۱/۸	۲/۲	۲/۸	۳/۶	۳/۴	۳/۱	۳/۳	۳/۰	۲/۷	۲/۲	۱/۹
	B1	۰/۷۵	۲/۱	۲/۱	۲/۶	۳/۱	۱/۴	۳/۷	۳/۵	۳/۶	۳/۳	۳/۰	۲/۶	۲/۲

توجه به این جدول مشخص می‌گردد، میزان تبخیر و تعرق در سه سطح احتمالاتی تفاوت خیلی اندکی دارند. به عبارت دیگر لحاظ نمودن سطوح مختلف ریسک در تولید سناریوهای اقلیمی تأثیر خاصی بر میزان تبخیر و تعرق ندارد. بنابراین تبخیر و تعرق حاصل از سطح احتمال ۰/۵۰، به عنوان نماینده سطوح مختلف احتمالاتی انتخاب (جدول ۴) و با تبخیر و تعرق دوره گذشته مقایسه گردید. و نتایج مربوط به تغییرات تبخیر و تعرق در این چهار سناریو نسبت به دوره گذشته در جدول (۵) ارائه گردید.

نتایج تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع

با استفاده از مقادیر ΔT مندرج در جدول (۲) و داده های مشاهداتی دوره ۱۹۷۰-۲۰۰۰ و استفاده از مدل LARS- WG سناریوهای دما در دوره های آبی تولید گردید و با استفاده از رابطه فائو۵۶ مقدار تبخیر و تعرق روزانه برای دوره مشاهداتی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (سناریوی Base) و ۱۲ سناریوی دوره های آبی محاسبه گردید و تبخیر تعرق روزانه ماه های مختلف با احتمال ۰/۸۰ محاسبه و نتایج آن در جدول (۳) ارائه گردید. با

جدول (۳): مقادیر متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف (mm/d)

	jan	feb	mar	apr	may	june	july	aug	sep	oct	nov	dec
Base	۱/۱۷	۱/۶۶	۲/۷۳	۴/۱۹	۵/۳۴	۶/۵۹	۶/۸۴	۶/۴۸	۵/۲۴	۳/۳۵	۲/۰۲	۱/۲۹
A1-25	۱/۲۱	۱/۶۹	۲/۸۱	۴/۳۵	۵/۵۸	۶/۸۶	۷/۰۹	۶/۷۲	۵/۴۵	۳/۴۹	۲/۰۹	۱/۳۳
A1-50	۱/۲۲	۱/۷۱	۲/۸۳	۴/۴۰	۵/۶۵	۶/۹۲	۷/۱۴	۶/۷۷	۵/۴۸	۳/۵۱	۲/۱۱	۱/۳۴
A1-75	۱/۲۳	۱/۷۶	۲/۸۶	۴/۴۵	۵/۷۲	۶/۹۹	۶/۱۷	۶/۸۱	۵/۵۱	۳/۵۳	۲/۱۴	۱/۳۶
B1-25	۱/۲۰	۱/۷۱	۲/۸۱	۴/۳۴	۵/۵۶	۶/۸۳	۷/۰۷	۶/۷۲	۵/۴۳	۳/۴۷	۲/۰۸	۱/۳۲
B1-50	۱/۲۱	۱/۷۲	۲/۸۳	۴/۳۸	۵/۶۲	۶/۸۸	۷/۱۳	۶/۷۷	۵/۴۶	۳/۴۹	۲/۱۰	۱/۳۴
B1-75	۱/۲۲	۱/۷۳	۲/۸۵	۴/۴۲	۵/۶۸	۶/۹۴	۷/۱۸	۶/۸۲	۵/۵۰	۳/۵۲	۲/۱۲	۱/۳۵
A2-25	۱/۳۱	۱/۸۷	۳/۰۷	۴/۷۷	۶/۱	۷/۳۵	۷/۶۷	۷/۳۶	۵/۹۶	۳/۸۳	۲/۳۴	۱/۴۹
A2-50	۱/۳۴	۱/۸۸	۳/۱۴	۴/۸۴	۶/۲۱	۷/۵۱	۷/۸۰	۷/۴۰	۵/۹۹	۳/۸۶	۲/۳۶	۱/۵۰
A2-75	۱/۳۴	۱/۸۹	۳/۱۶	۴/۸۷	۶/۲۶	۷/۵۵	۷/۸۴	۷/۴۴	۶/۰۲	۳/۸۸	۲/۳۸	۱/۵۱
B2-25	۱/۲۳	۱/۷۵	۲/۹۰	۴/۵۱	۵/۷۷	۷/۰۶	۷/۲۷	۶/۹۱	۵/۶۰	۳/۵۹	۲/۱۵	۱/۳۷
B2-50	۱/۲۵	۱/۷۷	۲/۹۴	۴/۵۵	۵/۸۳	۷/۱۲	۷/۳۳	۶/۹۶	۵/۶۴	۳/۶۲	۲/۱۸	۱/۳۹
B2-75	۱/۲۶	۱/۷۹	۲/۹۷	۴/۵۹	۵/۸۹	۷/۱۷	۷/۳۸	۷/۰۰	۵/۶۸	۳/۶۵	۲/۲۱	۱/۴۰

جدول (۴): مقادیر متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماه‌های مختلف با سطح احتمال ۵۰٪ (mm/d)

	jan	feb	mar	apr	may	june	july	aug	sep	oct	nov	dec	متوسط روزانه	مجموع سالانه
Base	۱/۱۷	۱/۶۶	۲/۷۳	۴/۱۹	۵/۳۴	۶/۵۹	۶/۸۴	۶/۴۸	۵/۲۴	۳/۳۵	۲/۰۲	۱/۲۹	۳/۹	۱۴۲۷
A1-50	۱/۲۲	۱/۷۱	۲/۸۳	۴/۴۰	۵/۶۵	۶/۹۲	۷/۱۴	۶/۷۷	۵/۴۸	۳/۵۱	۲/۱۱	۱/۳۴	۴/۱	۱/۲۲
B1-50	۱/۲۱	۱/۷۲	۲/۸۳	۴/۳۸	۵/۶۲	۶/۸۸	۷/۱۳	۶/۷۷	۵/۴۶	۳/۴۹	۲/۱۰	۱/۳۴	۴/۱	۱۴۸۸
A2-50	۱/۳۴	۱/۸۸	۳/۱۴	۴/۸۴	۶/۲۱	۷/۵۱	۷/۸۰	۷/۴۰	۵/۹۹	۳/۸۶	۲/۳۶	۱/۵۰	۴/۵	۱۶۳۷
B2-50	۱/۲۵	۱/۷۷	۲/۹۴	۴/۵۵	۵/۸۳	۷/۱۲	۷/۳۳	۶/۹۶	۵/۶۴	۳/۶۲	۲/۱۸	۱/۳۹	۴/۲	۱۵۳۸

جدول (۵): تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم (mm/d)

سناریو	jan	feb	mar	apr	may	june	july	aug	sep	oct	nov	dec	میانگین	مجموع سالانه (mm)	درصد تغییرات
A1-50	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۲۰	۶۶	۴/۷
B1-50	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۲۰	۶۲	۴/۳
A2-50	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۶۰	۲۱۱	۱۴/۸
B2-50	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۳۰	۱۱۲	۷/۹

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل شهرستان شاهرود در دو دوره ۳۰ ساله آتی (۲۰۹۹-۲۰۷۰ و ۲۰۴۵-۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، از خروجی ۱۳ مدل AOGCM، تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B1 استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره آتی اول، هر دو سناریوی انتشار A2 و B1، افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق یکسانی (۰/۲ میلی‌متر معادل ۴/۵ درصد) پیش‌بینی می‌کنند. اما از آنجایی که در دوره آتی دوم، افزایش دما، تحت سناریوی A2 بیشتر از سناریوی B1 می‌باشد، تبخیر و تعرق نیز تحت این سناریو افزایش بیشتری نشان می‌دهد. مقدار افزایش متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در این دوره تحت سناریوی A2، حدود ۱۵ درصد و تحت سناریوی B1 حدود ۸ درصد می‌باشد. نکته دیگر اینکه در ماه‌های گرم سال که نیاز به آب در بخش کشاورزی بیشتر است، افزایش تبخیر و تعرق نیز از ارقام مذکور بیشتر می‌باشد. بنابراین از آنجایی که بخش کشاورزی پرمصرف‌ترین بخش کشور در مصرف آب محسوب می‌شود، افزایش ۱۵ درصدی تبخیر و تعرق (به تبع آن افزایش نیاز آبی خالص گیاهان) و پایین بودن راندمان سیستم‌های آبیاری، باعث می‌گردد که افزایش تقاضای آب بخش کشاورزی، قابل ملاحظه گردد. این امر و همچنین وجود بحران آب در منطقه مورد مطالعه، لزوم توجه ویژه به پدیده تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و همچنین مدیریت زراعی در دوره‌های آتی را طلب می‌کند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گردیده است. لذا بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود تشکر می‌گردد.

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است مقدار تبخیر تعرق سالانه در دوره گذشته ۱۴۲۷ میلی‌متر و میانگین تبخیر و تعرق روزانه ۳/۹ میلی‌متر به دست آمده است و در دوره آتی اول تحت هر دو سناریوی A2 و B1، مقدار تبخیر و تعرق روزانه ۰/۲ میلی‌متر (حدود ۴/۵٪) افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق روزانه در ماه‌های گرم سال که تقاضای آب بیشتر می‌باشد حدود ۰/۳ (حدود ۸٪) میلی‌متر افزایش یافته است.

در دوره آتی دوم تغییرات تبخیر و تعرق بیشتر از دوره آتی اول می‌باشد. میزان افزایش تبخیر و تعرق متوسط روزانه در سناریوی بحرانی A2 حدود ۰/۶ میلی‌متر (۱۵٪) و در سناریوی خوش بینانه B1 حدود ۰/۳ میلی‌متر (حدود ۸٪) می‌باشد در سناریوی A2 بیشترین افزایش ET_0 در ماه هفتم میلادی (اوایل تابستان) و به میزان حدود ۱ میلی‌متر رخ می‌دهد که این مقدار برای سناریوی B1 حدود ۰/۵ میلی‌متر باز هم در تابستان رخ می‌دهد و مقدار افزایش مجموع ET_0 سالانه در این دوره تحت سناریوی A2، ۲۱۱ میلی‌متر و تحت سناریوی B1، ۱۱۲ میلی‌متر می‌باشد، که اکثر این افزایش در ماه‌های گرم سال که با کمبود و تقاضای بالای آب مواجه هستیم رخ می‌دهد. 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. بنابراین 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 (دلقندی و همکاران، ۱۳۹۳). لذا تغییر اقلیم در مورد نیاز آبی گیاهان چند ساله و باغات تأثیر بیشتری دارد و با افزایش نیاز آبی گیاهان چند ساله و باغات تقاضای آب برای بخش کشاورزی افزایش خواهد یافت.

منابع

- زارع ابیانه، ح.، م. قبایی سوق، و ا. مساعدی. ۱۳۹۴. پایش خشکسالی بر مبنای شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۹، شماره ۲، ص ۳۹۲-۳۷۴.
- دلقندی، م.، ع. ر. مساح بوانی، س. برومند نسب و ب. اندرزیان. ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۴، شماره ۲، ص ۱۷۵-۱۶۱.
- مساح بوانی، ع. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب (مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان). گزارش نهایی رساله دکتری. پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- Allen, R.G., S. L. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage, paper 56, Rome.
- Calanca, P., A. Roesch, K. Jasper and M. Wild. 2006. Global warming and the summertime evapotranspiration regime of the Alpine region. *Climatic Change*, 79: 65-78.
- Chaouche, K., L. Neppel, C. Dieulin, N. Pujol, B. Ladouche, E. Martin, D. Salas and Y. Caballero. 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Geoscience*, 342: 234-243.
- Eric W. H., L. M. Norman, J. S. Nicole and J. E. Gonzalez. 2009. Downscaled climate change impacts on reference evapotranspiration and rainfall deficits in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*. 96: 1085-1095.
- 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>.
- Geerts, S., D. Raes and M. Garcia. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural Water Management*, 98: 213-216.
- Goyal, R. K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69: 1-11.
- Hanson, R. L. 1991. Evapotranspiration and Droughts. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 99-104.
- 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.
- 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-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, 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.

Khalil A. A. Effect of climate change on evapotranspiration in Egypt. *Researcher* 2013;5(1):7-12.

Liu Q, Yang Zh. 2010. Quantitative estimation of the impact of climate change on actual evapotranspiration in the Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology*. 2010; 395: 226-234.

O'Hara J. K. 2007. Water resources planning under climate change and variability. Doctor of philosophy dissertation. University of California, San Diego.

Moratiel, R., J. M. Durán and R. L. Snyder. 2010. Responses of reference evapotranspiration to changes in atmospheric humidity and air temperature in Spain. *Climate research Clim Res*, 44: 27-40.

Randall, D. A., R. A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R. J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor. 2007. Climate Models and Their valuation. 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.

Ruiz-Ramos, M. and M. I. Minguez .2010. Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 44: 69-82.

Semenov, M. A. and P. Stratonovitch .2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.

Wang, H., X. Shiguo, S. Leshi. 2006. Effects of Climatic Change on Evapotranspiration in Zhalong Wetland, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 16(3): 265-269.

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

Assessment of Climate Change Risk Impacts on Potential Evapotranspiration; Case Study Shahrood Region

Mahdi Delghandi¹

Abstract

In recent years human activities induced increases in atmospheric carbon dioxide (CO₂) which caused global warming and climate change. Temperature increasing resulting from climate change lead to increase the evapotranspiration which play key role in determination of crop water requirement. Potential evapotranspiration (ET_o) was calculated using Ref-ET model and FAO56 formula to assess the climate change impacts on ET_o for the baseline (1971-2000) and future (2016-2045 and 2070-2099) periods in Shahrood city. Hence, climate change scenarios were generated from 13 coupled atmosphere-ocean general circulation models (AOGCM) under two greenhouse gases emission (GHG) scenarios (A2 and B1) and then was downscaled using LARS-WG model. The calculated ET_o for different climate change scenarios were compared with those of baseline period. Result showed that in first future period (2016-2045), mean of ET_o is increased about 4.5 percent for both A2 and B1 scenarios. In 2070-2099 period, mean of ET_o is increased about 15 and 8 percent for A2 and B1 scenarios, respectively. It was also found that ET_o is increased more in warmer months in comparison with cold months.

Keywords: Climate Change, Greenhouse Gases, Uncertainty, Potential Evapotranspiration.

¹ -Soil And Water Department, Agricultrul Faculty, Shahrood University Of Technology (delghandi@gmail.com)