نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۴۴-۱۳۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 136-144

استفاده از نمایه خشکی جهت بررسی تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل و پهنه بندی آن در ایران به‌منظور استفاده در برآورد نیاز آبی گیاهان

امین علیزاده[۱]، نسرین صالح نیا[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۱۶

چکیده

امروزه برآورد دقیق تبخیر و تعرق پتانسیل(ETo) برای مسائل اقتصادی و مدیریت آب بسیارحائز اهمیت است. روش فائو- پنمن-مانتیث که به طور گسترده‌ای در جهان استفاده می‌شود، به منظور برآورد دقیق ETo در اقلیم‌های مختلف به کار می‌رود. در این مطالعه تخمین ETo با استفاده از داده-های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و روش فائو- پنمن- مانتیث برای ۳۰ ایستگاه سینوپتیک ایران با اقلیم‌های متنوع از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۱۰ مورد محاسبه قرارگرفت. علاوه بر بررسی روند تغییرات ETo پهنه‌بندی این پارامتربه‌صورت ماهانه و سالانه در ایران انجام گرفت. نتایج نشان دادند که مقادیر حدی ETo در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش داشته است. در دوره ۵۰ ساله آماری ۱۲ ایستگاه اهواز، انزلی، بندرعباس، بیرجند، کرمان، کرمانشاه، مشهد، سبزوار، سنندج، تبریز، تهران و یزد با روند معنی دار ETo همراه بوده‌اند. در فصل تابستان اما بیش‌ترین مقدار ETo به ترتیب در دو دوره ۹۹۵ و ۱۱۱۲ میلی‌متر بوده است. در فصل بهار بیش‌ترین مقدار ETo دوره اول و دوم به ترتیب ۸۸۱ و ۸۵۱ میلی‌متر می‌باشد. در فصل پاییز بیشینه مقدارETo در دو دوره به ترتیب ۴۲۶ و ۴۶۹ میلی متر بوده است. در فصل زمستان در دوره اول و دوم بیشترین مقدار ETo به ترتیب ۶۲۰ و ۶۸۰ میلی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق مرجع، سند ملی آب کشور، پهنه بندی، فائو-پنمن-مانتیث، ایستگاه سینوپتیک.

مقدمه

با توجه به گزارشات مکرر IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changeپدیده تغییر اقلیم- به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرم شدن زمین- اثرات ناخوشایندی را بر زندگی بشری به‌وجود می‌آورد (IPCC، ۲۰۰۷). با تاکید بر این مفهوم می‌توان در نتیجه، انتظار افزایش تبخیر و تعرق را داشت. افزایش تبخیر و تعرق بر نیاز آبی گیاه مشکل به خصوصی در مناطق خشک و نیمه خشک است که در آن آب آبیاری از منابع طبیعی محدود انجام می‌گیرد. مطالعات و تحقیقات انجام شده در مورد تبخیر – تعرق در زمینه علوم کشاورزی- هیدرومتئورولوژی نقش کلیدی را ایفا می‌کنند. تبخیر و تعرق فرآیندی پیچیده است، چرا که به چند عامل آب و هوایی از قبیل دما، تابش، رطوبت، سرعت باد، نوع و مرحله رشد گیاه بستگی دارد.

با توجه به پیچیدگی تبخیر و تعرق به عنوان یک پدیده بیوفیزیکی، روش‌ها و معادلات متعددی برای حل آن توسعه داده شده‌اند.

می‌دانیم که به فرآیند از دست رفتن آب از سطح زمین، خاک و یا پوشش گیاهی به جو، تبخیر و به فرآیند تبخیر آب از یک گیاه و از دست دادن آب به صورت بخار از طریق روزنه برگ‌ها تعرق گویند (Zotarelli et al,2009) که این دو فرآیند به طور همزمان رخ می-دهند. تبخیر و تعرق پتانسیل(ETo) یک محصول به عنوان تبخیر خاک و تعرق گیاه تحت تأمین نامحدود آب خاک و شرایط واقعی هواشناسی تعریف شده است (Labedzki et al,2011). برآورد دقیق تبخیر و تعرق برای برنامه ریزی‌های کشاورزی- اقلیمی، طراحی و بهره برداری سیستم‌های آبیاری، تخمین عملکرد محصولات و مطالعات تغییر اقلیم ضروری است. در طول سال‌های گذشته معادلات نظری و عملی به منظور برآورد تبخیر و تعرق توسعه یافته‌اند. این معادلات براساس مقادیر تابش خورشید، دمای هوا، رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد تنظیم شده‌اند و بسته به شرایط مختلف از یک یا چند پارامتر اقلیمی استفاده می‌کنند (محمدیان و همکاران، ۱۳۸۴). دقتی که ETo با آن تخمین زده می‌شود به شدت به دقت پارامترهای آب و هوایی اندازه گیری شده و یا تخمین زده شده مرتبط است. ایده

۱. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲.دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی گروه مهندسی آب ، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: (Email: salehnia61@gmail.com

ET مرجع (ETo) توسط دورن باس و پریتت (Doorenbos & Pruitt,1975) معرفی شد و توسط سازمان فائو مورد تایید قرار گرفت. ETo به عنوان میزان تبخیر و تعرق از یک سطح گسترده چمن سبز یکنواخت با طول ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر است که به طور فعال در حال رشد است و به طور کامل زمین را پوشانده باشد و با کم آبی مواجه نباشد (Temesgen et al,1999). پس از انتشار نشریه فائو ۵۶ این روش اساس کار بسیاری از تحقیقات قرارگرفت. آلن و همکاران از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی، واقع در منطقه فلات برونیو در جنوب آیداهو برای نشان دادن اثر مکان ایستگاه هواشناسی در برآورد به‌کار بردن آب مصرفی استفاده کردند. دو مورد از چهار ایستگاه در زمین خشک و شرایط بیابانی و دو مورد دیگر در شرایط آبیاری شده مستقر بودند. هنگامی که درجه حرارت هوا و نقطه شبنم سایت‌های خشک برای محاسبه ETo به‌کار رفتند، فرآبرآورد فصلی ۱۷٪ و ۲۱٪ در اوج ماه جولای رخ داد. پس می‌توان دریافت که تغییر در مقادیر اندازه گیری شده دمای حداقل و حداکثر و دمای نقطه شبنم (به علت خشکی ایستگاه هواشناسی) به طور قابل توجهی در برآورد ETo تأثیر گذار است. از این رو، ممکن است اصلاح مقادیر این داده‌ها برای ایستگاه هواشناسی مورد نظر قبل از محاسبه ETo مهم باشد، که از آن جمله می توان به تحقیقات آلن وبراکوی ۱۹۸۳ و برمن و همکاران ۱۹۷۵ (Allen & Brockway,1983) اشاره کرد. راسز و گروهش نیز در ایستگاه سینوپتیک دبرسن مجارستان با استفاده از ۱۰ روش مختلف به ارزیابی و محاسبه ETo پرداختند و میزان حساسیت هر یک از این روش‌ها را به پارامترهای وابسته هواشناسی برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش فائو-پنمن-مانتیث به تغییرات متغیرهای هواشناسی بسیار حساس است و می‌تواند با دقت بالایی میزان ETo را نشان دهد (Racz et al,2013).

روند تغییرات ET پتانسیل در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش فائو ۵۶ انجام گرفت. نتایج نشان داد ۱۲ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه روند مثبت معنی‌دار، ۲۶ درصد روند منفی و بقیه ایستگاه‌ها بدون روند بودند (شیرغلامی و همکاران، ۱۳۸۳). سبزی‌پرور و شادمانی (۱۳۹۰) نیز در کار مشابهی، از این روش برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک استفاده کردند و نتایج کار این محققین نشان داد که بیش‌ترین معنی‌داری روند ET مرجع ماهانه در ایستگاه بیرجند و در مقیاس سالانه ایستگاه مشهد بیش‌ترین روند افزایشی را شامل شده است. همچنین با روش مذکور برآورد مقدار Eto به‌منظور بررسی احتمال وقوع خشکسالی در طول فصل رشد با استفاده از داده‌های آب و هوا در دراز مدت برای لوبیا، عدس، بادام زمینی و سیب زمینی در شمال شرق ایران در چهار نقطه (بجنورد، مشهد، سبزوار و تربت حیدریه) انجام گرفت. نتایج این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین متوسط راندمان مصرف آب و حداکثر درجه حرارت متوسط در طول فصل رشد را نشان داد. به علاوه نویسندگان این مقاله نشان دادند که سبزوار و تربت برای تمام محصولات کشاورزی در معرض خطر خشکسالی قرار دارند (Lashkari & Bannayan,2010).

حسین زاده و همکاران، روند تغییرات فصلی و سالانه ETo را با روش فائو- پنمن- مانتیث در ایستگاه‌های سینوپتیک رامسر، زنجان، خرم آباد، شهرکرد، زابل، بم و ایرانشهر که در نقاط مختلف کشور با اقلیم های متفاوت واقع شده‌اند، برآورد کردند. نتایج بررسی این محققین در دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۶ انجام گرفت و نشان داد که روند افزایشی قابل توجهی از ETo سالانه در هفت ایستگاه مذکور بدست آمد، ایستگاه‌های واقع در جنوب شرق، شمال شرق، و گوشه شمال غربی ایران دارای بیش‌ترین تغییرات مثبت ETo سالانه بودند و تغییرات ETo فصلی در فصل زمستان، هم از نظر مقدار روند و هم از نظر تعداد ایستگاه‌ها با روند قابل توجهی روبرو بود (Hosseinzade et al,2013).

از آنجاکه به‌دست آوردن تغییرات زمانی ETo به عنوان یک پارامتر هواشناسی از اهمیت برخوردار است، بررسی میزان حساسیت این پارامتر به سایر عوامل هواشناسی نیز جالب توجه است. در این راستا مطالعه‌ای در چهار ایستگاه سینوپتیک اصلی اردبیل، تبریز، ارومیه و زنجان واقع در مرکز چهار استان شمال غرب ایران انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل حساسیت فصلی نشان داد که در تمام فصول سال، متغیر T_{max} بیشترین تأثیر را بر ETo به جز در فصل زمستان(که در آن رطوبت به بالاترین سطح خود می‌رسد) دارد، و پس از آن فشاربخارهوا متغیر اصلی بود. افزایش در T_{max} مؤثرتر از کاهش آن بود. سرعت باد و T_{min} در اولویت بعدی بود به‌طوری که طیف ۳۰ ± درصد از تغییرات T_{min} در پاییز تأثیر ناچیزی بر ETo داشت (Hosseini et al,2013).

علاوه بر روش فائو-پنمن-مانتیث رایج‌ترین معادلات برای محاسبه تبخیر و تعرق عبارتند از هارگریوز- سامانی، بلانی-کریدل، پریستلی- تیلور، تورک، تورنت-وایت و ماکینک. در تحقیقی این معادلات بر روی ایستگاه سینوپتیک بجنورد محاسبه شد و با فائو-پنمن-مانتیث مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش فائو-پنمن-مانتیث به عنوان بهترین معادله برای تخمین تبخیر و تعرق در استان خراسان شمالی می‌باشد. نتایج نشان داد که تمام معادلات مورد استفاده در مطالعه مذکور، با وجود پیچیدگی و نیاز به داده‌ها در این روش‌ها عملکرد خوبی را نشان دادند. روش هارگریوز- سامانی کوچک‌ترین تفاوت را در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیث ارائه کرد و معادله ماکینک در رتبه دوم قرار گرفت. بلانی-کریدل ضعیف‌ترین نتایج را نشان داد (Sheikh & Mohhammadi,2013).

ETo به عنوان یک پارامتر اقلیمی می‌تواند از داده‌های هواشناسی (Allen et al,1998) محاسبه شود. شناسایی تغییرات تبخیر و تعرق می‌تواند در برنامه ریزی‌های آینده آب - محصول و مصرف بهینه آب کمک کند. این مطالعه با هدف تحلیل روند ETo با زمان‌بندی فصلی

و سالانه با داده‌های ۳۰ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ انجام شده است. با پهنه‌بندی مقادیر مختلف ETo طی دو دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱(سند ملی آب) و ۲۰۱۰-۱۹۸۱، با توجه به پهنه‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی روند تغییرات این پارامتر به منظور برآورد نیاز آبی گیاهان مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. در نهایت به این سوال پاسخ داده می‌شود که آیا در دوره مذکور تأثیر تغییراقلیم مشهود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از ۳۰ ایستگاه سینوپتیک ایران با داده‌های دمای حداقل و حداکثر (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر)، ساعت آفتابی (ساعت)، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی (درصد)، دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد) و میزان سرعت باد (نات) از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۱۰ استفاده شده است.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه ها و نوع اقلیم آن ها براساس روش دمارتن

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	ضریب دمارتن	نوع اقلیم
اراک	۴۹/۴۶	۳۴/۱	۱۷۰۸	۱۴/۳	نیمه خشک
ارومیه	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۲	۱۵/۹	نیمه خشک
اصفهان	۵۱/۸۶	۳۲/۶۶	۱۶۰۱	۴/۷	خشک
انزلی	۴۹/۴۶	۳۷/۴۶	-۲۶/۲	۷۱	بسیار مرطوب
اهواز	۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۲۲	۶/۰۵	خشک
آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۷	۴/۴	خشک
بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۲	-۲۱	۳۳/۱	مرطوب
بم	۵۸/۳۵	۲۹/۱	۱۰۶۷	۱/۹	خشک
بندرعباس	۵۶/۳۶	۲۷/۲۱	۱۰	۴/۹	خشک
بوشهر	۵۰/۸۳	۲۸/۹۳	۲۰	۸/۱	خشک
بیرجند	۵۹/۲	۳۲/۸۶	۱۴۹۱	۶/۴	خشک
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱	۱۲/۸	نیمه خشک
تهران	۵۱/۳۱	۳۵/۶۸	۱۱۹۱	۸/۵	خشک
خرم آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷	۱۸/۷	نیمه خشک
رامسر	۵۰/۶۶	۳۶/۹	-۲۰	۴۶/۸	بسیار مرطوب
رشت	۴۹/۶	۳۷/۲۵	-۷	۵۲/۵	بسیار مرطوب
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۱۳۷۰	۳/۲	خشک
زنجان	۴۸/۴۵	۳۶/۶۸	۱۶۶۳	۱۴/۹	نیمه خشک
سبزوار	۵۷/۷۱	۳۶/۳۳	۹۷۸	۶/۹	خشک
سنندج	۴۷	۳۵/۳۳	۱۳۷۳	۱۹/۶	نیمه خشک
شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۲	۱۳۴۵	۶/۳	خشک
شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۳۳	۲۰۶۱	۱۴/۷	نیمه خشک
شیراز	۵۲/۴	۲۹/۵۵	۱۴۸۸	۱۲/۵	نیمه خشک
قزوین	۵۰	۳۶/۲۸	۱۲۷۸	۱۳/۲	نیمه خشک
کرمانشاه	۴۷/۱۲	۳۴/۳۱	۱۳۲۲	۱۸/۳	نیمه خشک
کرمان	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	۱۷۵۴	۵/۹	خشک
گرگان	۵۴/۲۶	۳۶/۸۵	۱۳	۲۱/۶۲	مدیترانه ای
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۶	۹۹۰	۱۰/۵۹	نیمه خشک
همدان	۴۸/۷۱	۳۵/۲	۱۶۷۹	۱۴/۹۲	نیمه خشک
یزد	۵۴/۴	۳۱/۹	۱۲۳۰	۲/۱	خشک

مشخصات ایستگاه شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ایستگاه نیز برای انجام محاسبات جمع آوری شدند. باید خاطر نشان کرد که کلیه داده‌های هواشناسی به‌صورت میانگین ماهانه محاسبه شدند. نوع اقلیم هر منطقه توسط طبقه بندی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۶) برای هر ایستگاه محاسبه شد و در جدول۱ نشان داده شده است. در پهنه‌بندی نتایج خروجی از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و روش IDW مرتبه ۲ استفاده شده است. این مدل یکی از روش‌های محلی درون‌یابی است. پس از مشخص‌کردن مقادیر تبخیر وتعرق پتانسیل در هر یک از ایستگاه‌ها به‌طور متوسط ماهانه و سالانه برروی نقشه‌ها اعمال شد و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

روش پژوهش

همانطور که اشاره شد در این مطالعه برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل روش فائو- پنمن-مانتیث مورد استفاده قرار گرفت. برای رسیدن به میزان تغییرات ETo باید با استفاده از داده‌های هواشناسی گفته شده در قبل و توسط فرمول‌های موجود برای تک تک ایستگاه-ها محاسبات انجام شود (برای اطلاعات بیشتر به علیزاده و کمالی،۱۳۸۶ رجوع شود). محاسبه فرمول‌ها برای ۴۰ ایستگاه به‌طور مستقل، همچنین بررسی صحت آمار این ایستگاه‌ها امری زمان‌بر و مستعد خطاست. از اینرو محاسبات تحت برنامه‌ای بطور کامل و دقیق در محیط برنامه‌نویسی متلب[1] انجام شدند. از این برنامه کلیه ضرایب اصلاحی نیز قابل برداشت است. به علاوه این برنامه قادر است در صورت وجود داده‌های هواشناسی برای تمامی ایستگاه‌ها تا سال‌های بعد از ۲۰۱۰ نیز محاسبات را پردازش کند.

فرمول منتشر شده در نشریه فائو ۵۶ بصورت زیر است:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left[\frac{890}{T+273}\right]U_2 \times VPD}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

که در آن ETo تبخیر و تعرق تعرق مرجع (میلی‌متربرروز)، Rn تابش خالص در سطح محصول (مگاژول برمترمربع بر روز)، G شار گرما به داخل خاک (مگاژول برمترمربع بر روز)، T دمای متوسط هوا(درجه سانتی‌گراد)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر برثانیه)، VPD کمبود فشار بخار (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بردرجه سانتی‌گراد)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بردرجه سانتی‌گراد) می‌باشند. جزئیات کامل معادله فائو پنمن مانتیث در مقاله نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو (Allen et al,1998) منتشرشده‌است. در شرایطی که اندازه‌گیری سرعت باد امکان‌پذیر نباشد، روش فائو مقدار۲ متربرثانیه را پیشنهاد می‌کند (Allen & Brockway,1983).

با استفاده از آزمون من-کندال می‌توان دریافت که آیا داده‌ها در طول دوره‌ی آماری دارای روند هستند یا خیر. در این مطالعه معادله ۲ و ۳ برای این منظور به‌کار برده شدند.

$$\tau = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{N} n_i}{N \times (N-1)} - 1 \quad (۲)$$

$$\sigma^2 = \frac{(4 \times N + 10)}{9 \times N \times (N-1)} \quad (۳)$$

در دو معادله فوق n_i تعداد اعداد بزرگتر از i امین مقدار در سری داده‌هاست. N تعداد سال‌های مشاهداتی در دوره‌ی آماری مورد نظراست. نسبت τ به انحراف استاندارد (σ) نشان می‌دهد که داده‌ها روند دارند و یا بدون روند هستند. اگر مقدار این نسبت در محدوده ۱,۹۶ ± در سطح معنی دار ۵٪ باشد، در سری داده‌ها هیچ روندی نخواهیم داشت (Rakhecha & Singh,2009).

در نهایت مقادیر محاسبه شده برای ETo طی دو دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱ (سند ملی آب) و ۲۰۱۰-۱۹۸۱، به‌صورت مجموع ماهانه و سالانه پهنه‌بندی شدند و روند تغییرات این پارامتر در دوره‌های مذکور بررسی و مقایسه شد.

نتایج و بحث

بررسی نتایج آزمون من- کندال نشان داد که در ۵۰ سال ۲۰۱۰-۱۹۶۱ از بین ۳۰ ایستگاه مورد مطالعه تنها ۱۲ ایستگاه روند معنی-داری را در داده‌های تبخیر-تعرق سالانه تجربه کرده‌اند، که این ۱۲ ایستگاه عبارتند از اهواز، انزلی، بندرعباس، بیرجند، کرمان، کرمانشاه، مشهد، سبزوار، سنندج، تبریز، تهران و یزد، که این ایستگاه‌ها مطابق جدول۱ تمامی اقلیم‌های مختلف مطرح شده را شامل می‌شوند. نتایج آماری بر روی دو دوره در جدول ۲ ارائه شده است.

همانطور که درجدول۲ مشاهده می‌کنید حداکثر ضریب تغییرات دوره اول با مقدار۷۳ از دوره دوم با مقدار ۶۹ بیشتر است. اما دامنه تغییرات دوره آماری اول با مقدار ۳۷۱ کمتر از دوره دوم است. با توجه به مقدار آزمون شاپیرو ویلک هر دو دوره‌ی آماری دارای توزیع نرمال می‌باشند، چرا که سطح معناداری در هر دو دوره بیش‌تر از۰/۰۵ است.

تحلیل نتایج فصلی

بررسی نتایج بدست آمده از مقادیر فصلی در ۳۰ ایستگاه مورد مطالعه نشان دادند که در تابستان دوره اول و دوم آماری آبادان دارای بیش‌ترین مقدار ETo است. در زمستان دوره اول و دوم کرمانشاه دارای بیش‌ترین مقدار است.

با توجه به نتایج شکل ۲ در فصل زمستان در دوره اول

1 -MATLAB R2009a

ایستگاه‌های کرمان، زاهـدان و بنـدرعباس در طبقـه ۵۳۳-۴۴۶ قـرار دارند در حالی‌که در دوره دوم این مراکز در بازه ۲۷۰-۱۸۵ قرار مـی-گیرند، و این خود گویای کاهش میزان ETo در ۳۰ سـاله دوم اسـت. براساس پهنه‌های بدست آمده دشت سبزوار نیز در دوره اول نسبت به دوره دوم با کاهش این پارامتر روبرو بوده است. در سایر ایستگاه‌ها در زمستان تغییر چشم‌گیری را تجربه نکرده‌اند. باید ذکر کرد که در ایـن فصل در دوره اول و دوم بیش‌ترین مقدار ETo به ترتیب ۶۲۰ و ۶۸۰ میلی‌متر می‌باشد.

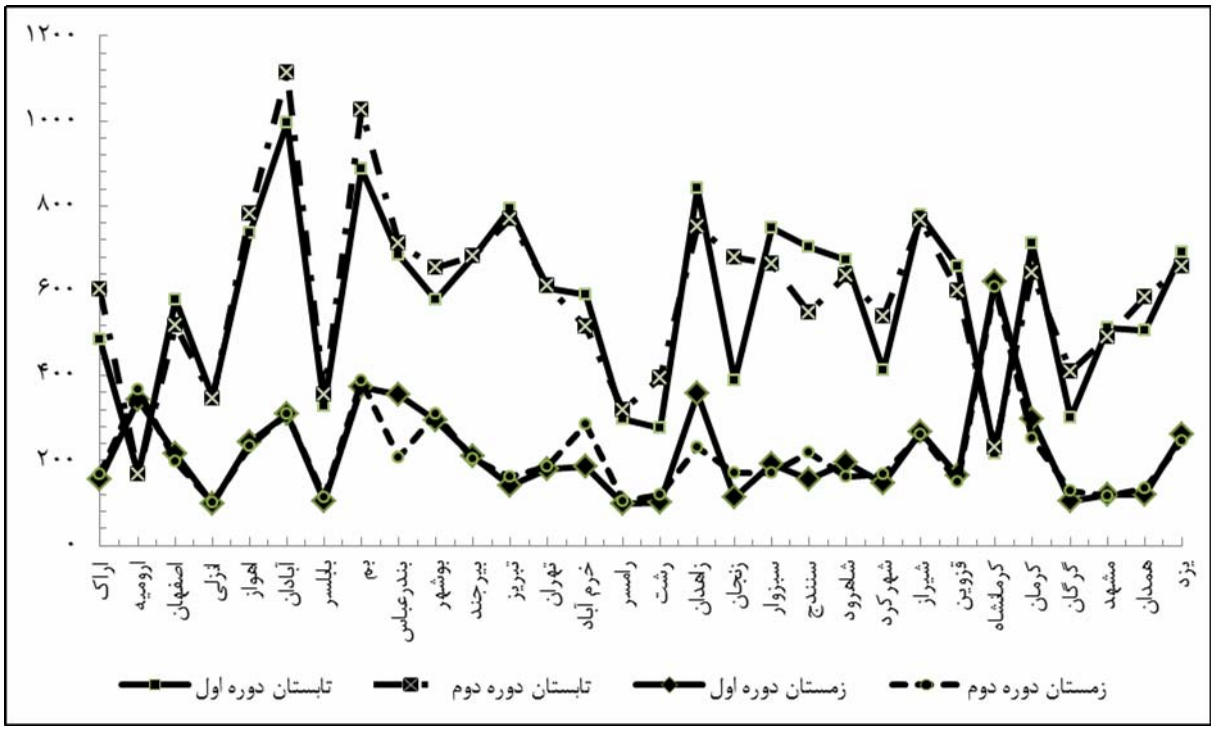
در فصل بهار بیش‌ترین مقـدار ETo دوره اول و دوم بـه ترتیـب ۸۸۱ و ۸۵۱ میلی‌متر می‌باشد. در این فصل نیمه شمالی، شمال شرقی و شمال غربی تغییرات چشم‌گیری ندارند. تنها دشت سبزوار نسبت بـه دوره اول با کاهش ETo همراه بـوده اسـت. بـیش‌تـرین تغییـرات در جنوب شرق کشور رخ داده است به‌طوریکـه زاهـدان بـا کـاهشETo روبرو شده است. در حالی‌که بم با افـزایش ETo در دوره دوم مواجـه بوده است.

در فصل تابستان تغییرات عمده‌ای در شمال شرق و جنوب شـرق کشور حادث شده است. در دوره دوم نسبت به دوره اول منـاطق ذکـر شده با کاهش ETo همراه بوده‌انـد. امـا بـیش‌تـرین مقـدار ETo بـه ترتیب در دو دوره ۹۹۵ و ۱۱۱۲ میلی‌متر بوده است. واضح اسـت کـه مقدار کلی ETo در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش داشته اسـت و میزان نهایی بیشینه طبقه پهنه‌بندی در این دوره نسبت به دوره اول با ۱۱۷ واحد افزایش همراه بوده است.

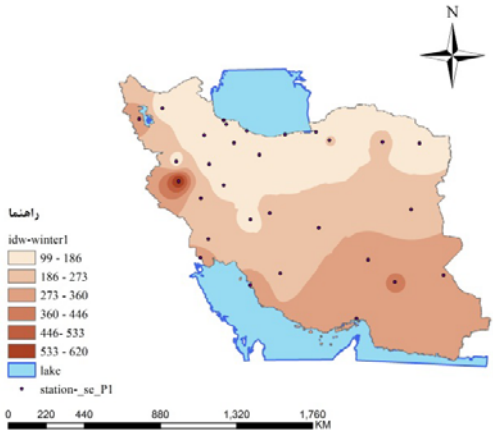
در فصل پاییز بیـشینه مقـدارETo در دو دوره بـه ترتیـب ۴۲۶ و ۴۶۹ میلی‌متر بوده است. جنوب غربی و جنوب شرقی کشور دوره دوم نسبت به دوره اول با کاهش مقدار ETo همراه بوده اسـت. در شـمال شرق کشور در دوره دوم به‌جز سبزوار که با کاهش شدید ETo همراه بوده است، سایر مراکز تغییر چشم‌گیری را نشان نمی‌دهند.

جدول۲- نتایج تحلیل‌های آماری دو دوره

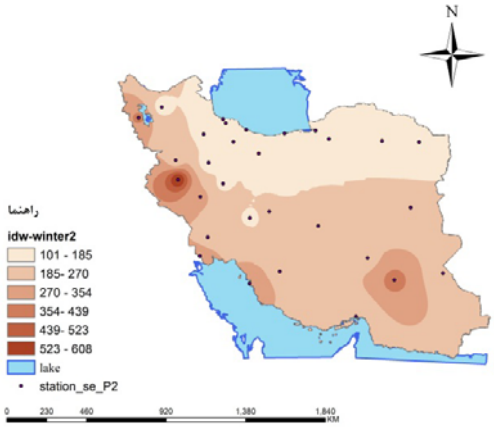
سال	آزمون شاپیرو ویلک	حداکثرانحراف معیار	حداقل داده	حداکثر داده	حداکثردامنه تغییرات	حداکثرضریب تغییرات
۱۹۸۰-۱۹۶۱	۰,۲۸	۱۱۵	۲۰	۳۹۲	۳۷۱	۷۳
۲۰۱۰-۱۹۸۱	۰,۰۶	۱۳۲	۲۲	۴۳۶	۴۱۴	۶۹



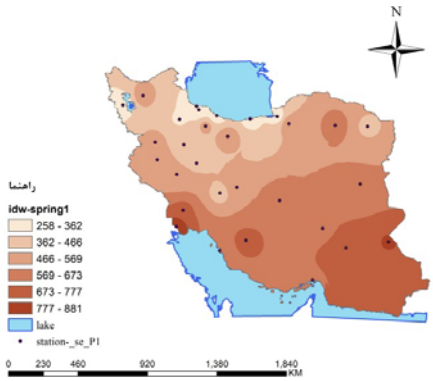
شکل ۱- تغییرات فصل های زمستان و تابستان در دوره اول(۱۹۸۰-۱۹۶۱) و دوره دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱)



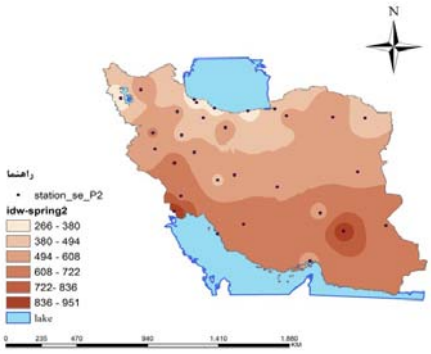
الف- ETo فصل زمستان دوره اول



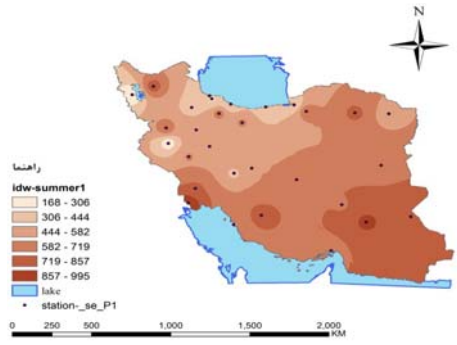
ب- ETo فصل زمستان دوره دوم



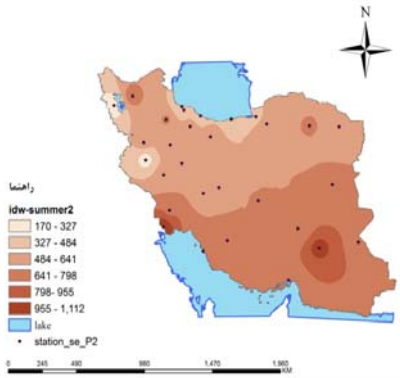
پ- ETo فصل بهار دوره اول



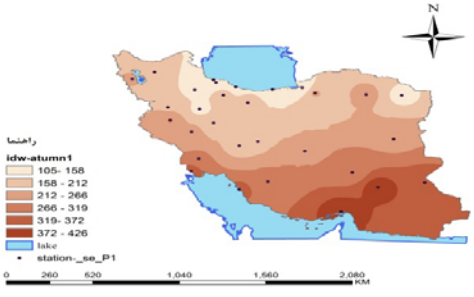
ت- ETo فصل بهار دوره دوم



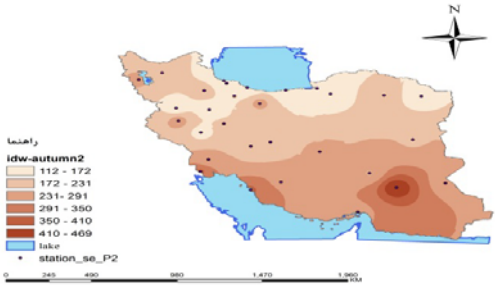
ث-ETo فصل تابستان دوره اول



ج- ETo فصل تابستان دوره دوم

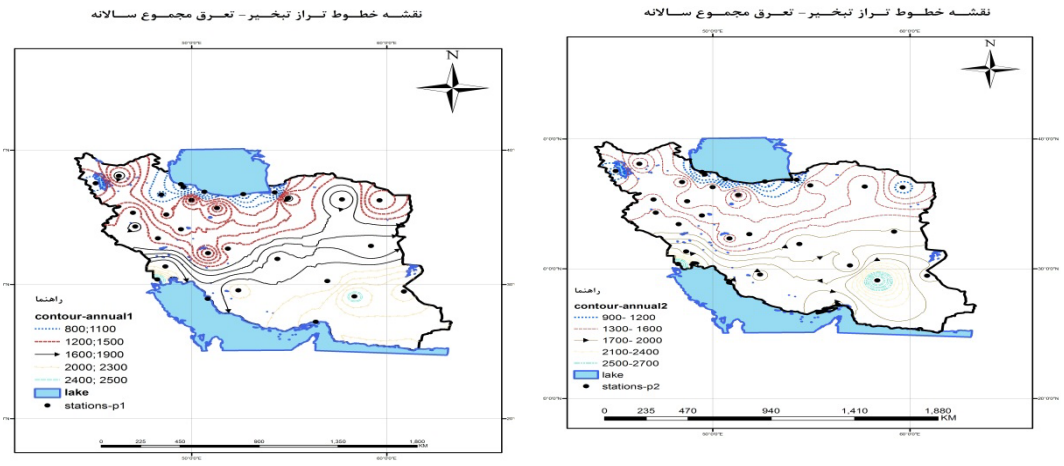


چ- ETo فصل پاییز دوره اول



ح- ETo فصل پاییز دوره دوم

شکل ۲- تغییرات فصلی ETO در دوره اول(۱۹۸۰-۱۹۶۱) و دوره دوم(۲۰۱۰-۱۹۸۱)



الف- نقشه خطوط تراز ETo سالانه در دوره اول

ب- نقشه خطوط تراز ETo سالانه در دوره دوم

شکل ۳- نقشه های خطوط تراز مجموع سالانه ETo در دوره اول(۱۹۸۰-۱۹۶۱) و دوره دوم(۲۰۱۰-۱۹۸۱)

تحلیل نتایج سالانه

در شکل ۳ مجموع مقادیر سالانه به‌صورت خطوط تراز ETo در دو دوره آماری نشان داده شده است. میزان بیشینه ETo در دوره دوم ۲۷۰۰ میلی‌متر ودر دوره اول ۲۵۰۰ میلی‌متر ثبت شده است، اما میزان تغییرات در دوره بسیار متغیر است. مشهد و سبزوار در شمال شرق کشور به‌طور کلی دردوره دوم نسبت به دوره اول آماری با کاهش ETo همراه بوده‌اند. قسمت‌های جنوب شرق و مرکزی کشور اعم از زاهدان، بم و شیراز با افزایش میزان سالانه ETo روبه رو شده‌اند. نواحی شمال غرب کشور به جز سنندج (با کاهش چشم-گیر میزان سالانه ETo) تغییرات چشم‌گیری نداشته‌اند.

نتیجه‌گیری

با توجه به پدیده تغییراقلیم و گزارشات IPCC در سال‌های اخیر (دوره دوم مطالعه) پس از بررسی و تحلیل نتایج مطالعه مذکور می-توان این چنین نتیجه‌گیری کرد که، در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ نسبت به دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱ مقادیر حدی ETo با تغییر چشم‌گیری همراه بوده است. مناطق جنوب و جنوب غربی با افزایش مقدار بیشینه این پارامتر در دوره ۵۰ ساله آماری روبرو بوده‌اند و قسمت شمال شرق کشور نیز با افزایش سالانه ETo همراه بوده است و به‌طور کلی مقدار مجموع سالانه ۳۰ ایستگاه مورد بررسی در دوره دوم نسبت به دوره اول با افزایش همراه بوده است.

تشکر و قدردانی

هزینه‌های اعتبار این پژوهش از محل طرح شماره مصوب کد ۲/۲۲۵۱۲ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

سبزی‌پرور،ع و شادمانی،م. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. ۱۳۹۰. آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره۴، ص ۸۳۴-۸۲۳.

شیرغلامی،ه.، قهرمان،ب.، علیزاده،الف و بداق جمالی،ج. ۱۳۸۳. بررسی روند تبخیر تعرق گیاه مرجع در ایران، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال دوم، شماره سوم، ص ۲۷-۱۱.

علیزاده، الف. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، چاپ اول. ص ۲۹۰-۲۶۵.

علیزاده، الف و کمالی،غ. ۱۳۸۶. نیازآبی گیاهان در ایران. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ اول. ص ۴۵-۲۰.

محمدیان،الف.، علیزاده، الف و جوانمردی،س. ۱۳۸۴. محاسبه میزان فرآبراورد تبخیر تعرق مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع در ایران. تحقیقات مهندسی کشاورزی. ج ۶(۲۲): ص۴۶-۲۹.

Allen,R.G and Brockway,C. E.1983. Estimating consumptive use on a state wide basis. Proc., ASCE Specialty Conf. on Irrig. And Drain., ASCE, Reston, Va.

Allen, R.G.,Pereira, L.S. , Raes, D. and Smith, M. 1998,Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No .56. FAO, Rome.

Doorenbos,J and Pruitt,W.O. 1975. Guidelines for

Vol. 109 No.1-2.

Racz,C., Nagy,J and Dobos,A. 2013. Comparison of Several Methods for Calculation of Reference Evapotranspiration. Acta Silv. Lign. Hung., Vol. 9 9–24. DOI: 10.2478/aslh-2013-0001.

Rakhecha,P and Singh,V. 2009. Applied hydrometeorology, Copublished by Springer, ISBN 978-1-4020-9843-7 (HB), pp 284-286.

Sheikh,V. and Mohammadi,M. 2013 Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations in Semi-arid Regions of Northeast of Iran.International Journal of Agriculture and Crop Sciences..ISSN 2227-670X . IJACS Journal.pp 450-456.

Temesgen,B., Allen,R.G and Jensen,D.T. 1999. Adjusting tempreture parameters to reflect well-watered conditions. Journal of irrigation and drainage engineering. Vol. 125, No. 1. pp 26-33.

Zhang,X., Ren,Y., Yin,Z., Lin,Z and Zheng,D. 2009. Spatial and temporal variation patterns of refrence evapotranspiration across Qinghati- Tibetan. J. of Geophysical Research, 114, D15105, doi:10.10292009JD011753.

Zotarelli,L., Dukes,M., Romero,C., Migliaccio,K and Morgan,K. 2009. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method), University of Florida IFAS(Institute of Food and Agricultural Sciences), AE459.

predicting crop water requirements. Irrig. And Drain. Paper 24, FAO, United Nation, Rome, Italy.

Hosseini,H., Jafari,J and Ghorbani,M.A. 2013. Sensivity of the FAO PENMAN-MONTEITH reference evapotranspiration equation to change in climatic variables in the north-western Iran. Research in Civil and Environmental Engineering. 1. 01: 28-40.

Hosseinzadeh Talaee,P., Shifteh,S,B and Ardakani,S. 2013. Time trend and change point of reference evapotranspiration over Iran, Theor Appl Climatol,DOI 10.1007/s00704-013-0978-x, Springer-Verlag Wien.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report of the Fourth Assessment Report. IPCC.

Labedzki,L., Kanecka,E., Bak,B and Slowinska,S. 2011. Poland Estimation of Reference Evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith Method for Climatic Conditions of Poland, Institute of Technology and Life Sciences. ISBN 978-953-307-251-7, pp 275-294.

Lashkari,A and Bannayan,M. Agrometeorological study of crop drought vulnerability and avoidance in northeast of Iran.. Springer-Verlag. Theoretical and Applied Climatology ISSN 0177-798X.Theor Appl Climatol. DOI 10.1007/s00704-012-0769-9.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 136-144

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۴۴-۱۳۶

Application of Aridity Index in Determination of Potential Evapotranspiration for Estimating Crop Water Use in Iran

A. Alizadeh[1], **N. Salehnia** [2*]

Received: Nov.3,2013 Accepted: Apr.5,2014

Abstarc

Reliable estimation of ETo is very important in managing water resources. FPM is widely used for this purpose in different climatic conditions. In this study by considering aridity index of 30 meteorological stations ETo was estimated by FPM method. Time base was from 1961 to 2010. ETo for the period of 1961-1980 was compared with ETo of the period of 1981-2010. Also ETo mapping for Iran Plato was presented for monthly and yearly basis. The results showed that in 12 stations resent aridity have changed ETo significantly. Average ETo in the last 15 years was 1112 mm/yr compared to the previous 30 years average which was 995 mm/yr. Variation in summer periods were more significant than winter periods.

Keywords: Reference Evapotranspiration, national water document of country, Interpolation, Fao-Penman-Mantieth, synoptic station

1 -Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Ph.D Student of Agricultural Meteorology, Departmant of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: salehnia61@gmail.com)