

تحلیل حساسیت تبخیر- تعرق به تغییر در پارامترهای هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران

یعقوب دین پزوه^{۱*}، سعید جهانبخش اصل^۲ و معصومه فروغی^۳

(۱) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: dinpashoh@yahoo.com

(۲) استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(۳) دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

چکیده:

تحلیل حساسیت تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) در ایران در مدیریت بهتر آب بسیار ضروری است. زیرا به نظر می‌رسد که آب و هوا در همه جا تا حدودی تغییر کرده است. در این پژوهش، به منظور تحلیل حساسیت ET_0 به تغییرات هر یک از پارامترهای هواشناسی از داده‌های ماهانه هواشناسی ۳۶ ایستگاه هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران استفاده شد. اولویت‌بندی پارامترهای اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر ET_0 در ماه‌های مختلف برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص گردید، بدین منظور، ابتدا میزان ET_0 ماهانه با روش فائو- پنمن مانیتث برای یکایک ایستگاه‌ها برآورد گردید، سپس مقدار هر یک از دو پارامتر مهم ورودی به مدل رگرسیونی گام به گام (شامل میانگین حداکثر (T_{max})، میانگین حداقل (T_{min})، میانگین درجه حرارت هوا، میانگین سرعت باد، مجموع ساعات آفتابی، میانگین حداکثر و حداقل رطوبت نسبی) در دامنه ۲۰ درصد با گام‌های ۵ درصد، تغییر داده شدند و میزان تغییر در ET_0 محاسبه شد، در نهایت مقدار ضریب حساسیت برای اولین پارامتر مهم ورودی در هر یک از ایستگاه‌های منتخب به دست آمد. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه، بیشترین تأثیر در نوسانات ET_0 مربوط به T_{max} و T_{min} می‌باشد. با افزایش ۲۰ درصد برای T_{max} به شرط ثابت ماندن سایر پارامترها، مقدار ET_0 از حداقل ۶/۰۵ درصد (در مشکین‌شهر) تا حداکثر ۱۵/۵۴ درصد (در اردبیل) افزایش نشان داد، این رقم برای T_{min} بین ۰/۴۷- درصد (در سنندج) تا ۰/۹۱ درصد (در خلخال) بود.

کلید واژه‌ها: تبخیر- تعرق گیاه مرجع؛ تحلیل حساسیت؛ ضریب حساسیت؛ شمال غرب و غرب ایران

مقدمه

خورشید، دمای هوا، سرعت باد، میزان رطوبت هوا و ... است که هرگونه تغییر در آن به‌طور مستقیم مبین تغییر در نیاز آبی گیاه و گویای تغییر در سایر متغیرهای هواشناختی است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجایی که پارامترهای اقلیمی از محلی به محل دیگر و با گذشت زمان تغییر می‌یابند، ET_0 نیز دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشد (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸) لذا تخمین میزان دقیق ET_0 نه تنها در برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین

گرم شدن دمای هوای جو زمین ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند منجر به تغییرات شدید در توزیع زمانی و مکانی منابع آب شود (دین‌پزوه، ۱۳۹۰). یکی از پاسخ‌های طبیعت به گرمایش جهانی در هر ناحیه، تغییر در مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) می‌باشد. تبخیر- تعرق گیاه مرجع نمودی از ترکیب و اثرات تعاملی ۱۰ الی ۲۰ متغیر هواشناسی از قبیل: تابش خالص

تغییر دما از ۱ درجه سانتی‌گراد به ۵ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که درجه حرارت هوا تاثیر بیشتری در میزان ET_0 سالانه داشته و ساعات آفتابی، فشار بخار اشباع و سرعت باد به ترتیب در مراحل بعدی قرار دارند. ایشان همچنین مشاهده نمودند که افزایش ۲۵ درصدی هر یک از پارامترهای ذکر شده؛ موجب افزایش ET_0 سالانه به ترتیب به میزان ۱۸/۲۰، ۱۳/۸۰، ۷/۹۰ و ۵/۴۰ درصد می‌شود.

Zhao و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از ضرایب، به تحلیل حساسیت ET_0 در حوضه رودخانه چینگ‌های (۲۰۱۰-۱۹۶۱) پرداختند. نتایج نشان داد که ET_0 به ترتیب به پارامترهای رطوبت نسبی، دما، تابش با طول موج کوتاه و سرعت باد حساس می‌باشد. با توجه به گزارش ایشان روند کاهشی در ET_0 در شرق و جنوب حوضه به‌طور عمده به تغییرات سرعت باد و تابش موج کوتاه مربوط می‌باشد.

شریفی و دین‌پژوه (۲۰۱۴) حساسیت ET_0 نسبت به پارامترهای اقلیمی را در هشت ایستگاه انتخابی در ایران مورد مطالعه قرار دادند. ایشان برای برآورد ET_0 از روش FAO-56-PM استفاده نموده و حساسیت آن را به تغییرات میانگین دمای هوا (T_{mean})، فشار بخار واقعی (ea)، سرعت باد و تابش خورشیدی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که در ۶ ایستگاه ET_0 سالانه بیشتر به درجه حرارت هوا حساس می‌باشد، به‌طوریکه ۲۰ درصد افزایش در میانگین درجه حرارت هوا موجب افزایش زیادی در ET_0 ایستگاه چابهار می‌شود. در بیشتر ایستگاه‌ها کمترین حساسیت ET_0 به فشار بخار هوا (ea) نسبت داده شد. نتایج حاصل از سناریوهای مختلف نشان داد که در مقیاس زمانی سالانه؛ افزایش ۲۰ درصد در T_{mean} و سرعت باد از یک طرف و کاهش ۲۰ درصدی ea از طرف دیگر موجب افزایش ET_0 به میزان ۳۶/۴ درصد در چابهار می‌شود در حالیکه در مقیاس ماهانه افزایش ۱۰ درصد T_{mean} و سرعت باد و کاهش ۱۰ درصد در تابش

دوره آبیاری، بلکه در مطالعات مربوط به مدل‌بندی بیلان آب هر ناحیه از اهمیت فراوانی برخوردار است. (بابامیری و دین‌پژوه، ۱۳۹۵).

Moratiel و همکاران (۲۰۱۰) حساسیت ET_0 را نسبت به پارامترهای اقلیمی در اسپانیا مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای برآورد ET_0 از روش فائو- پنمن مانیتث ۵۶ (FAO-56-PM) استفاده کرده و حساسیت آن را نسبت به تغییرات درجه حرارت هوا و رطوبت نسبی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نامبردگان با توجه به مشاهدات T_{max} ، T_{min} ، RH_{min} و RH_{max} در دوره ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۲ و با استفاده از چهار سناریوی مختلف مقادیر ET_0 را برای سال‌های آتی برآورد کردند. نتایج نشان داد که در آینده افزایش دامنه درجه حرارت هوا مابین ۰/۳ و ۰/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. افزون بر این، در همه سناریوها، مقدار سالانه ET_0 افزایش خواهد یافت.

Huo و همکاران (۲۰۱۰) حساسیت ET_0 را نسبت به پارامترهای اقلیمی در طول فصل رشد در واحه اجینا (Ejina) واقع در شمال‌غرب چین محاسبه شده با روش پنمن- مانیتث ۵۶ (FAO-56-PM) تحلیل نمودند. ایشان برای این کار از پارامترهای اقلیمی نظیر میانگین دمای هوای روزانه، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی روزانه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در منطقه مذکور، در فصل رشد؛ ET_0 در مرحله اول به ساعات آفتابی و در مراحل بعد، به ترتیب به دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی حساس می‌باشد.

Priya و همکاران (۲۰۱۴) حساسیت ET_0 را نسبت به متغیرهای مختلف آب و هوایی با استفاده از داده‌های هواشناسی مشاهداتی طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۳ در بنارس هند مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نیز برای تخمین ET_0 از روش پنمن- مانیتث ۵۶ (PM56) استفاده نموده و حساسیت ET_0 نسبت به تغییرات دما، تابش خورشیدی، سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع مورد ارزیابی قرار دادند. از طرف دیگر، مقدار تغییر در غلظت گاز CO_2 با

در ایران نیز تحلیل حساسیت ET_0 نسبت به پارامترهای اقلیمی مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. به عنوان مثال:

سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی حساسیت مدل‌های مختلف ET_0 به سیگنال‌های تغییر اقلیم در اقلیم سرد نیمه-خشک همدان پرداختند و بدین منظور از مدل‌های FAO-56-PM، جنس-هیز، مک‌کینگ، هانسن، هارگریوز - سامانی و تورک استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که در شرایط اقلیمی همدان اغلب مدل‌های برآورد ET_0 ، بیشترین حساسیت به ترتیب، متعلق به تابش و دما می‌باشد. همچنین بر اساس مدل فائو ۵۶؛ در اقلیم‌های نیمه‌خشک، افزایش دمای هوا در طول دوره رشد، به طور متوسط موجب افزایش ۸/۵ درصد نیاز آبی گیاه مرجع در آینده خواهد شد.

طالبی و همکاران (۱۳۸۹) میزان حساسیت ET_0 نسبت به تغییر پارامترهای اقلیمی را در چند ایستگاه از استان یزد مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور ابتدا به تغییر مقادیر پارامترهای ورودی با مدل کراپ‌وات (*Crop-Wat*) به عنوان یکی از معتبرترین مدل‌های محاسبه ET_0 به روش FAO-56-PM پرداخته و سپس تأثیر تغییر این پارامترها را روی ET_0 در هر یک از ماه‌های سال تحلیل نمودند. بر این اساس، تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیشترین تأثیر را روی ET_0 ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است.

دین‌پژوه (۱۳۹۰) به تحلیل روند تغییرات زمانی ET_0 در ایستگاه همدان پرداخت و از دو روش برای برازش خط مستقیم بر سری زمانی و محاسبه شیب خط روند استفاده کرد. برای اینکار از روش‌های حداقل مربعات خطا و آزمون من-کندال (MK) و تخمین‌گر سن بهره گرفت. وی جهت تحلیل حساسیت ET_0 از رگرسیون چندگانه خطی گام به گام بهره برد. نتایج نشان داد که شیب خط روند ET_0 در تمام ماه‌های سال مثبت می‌باشد و نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان داد که در ماه‌های گرم

خورشیدی، افزایش ۳۰/۵ درصدی ET_0 را در ماه دسامبر در ایستگاه بندرانزلی به دنبال داشته است.

Attarod و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی حساسیت ET_0 نسبت به تغییرات پارامترهای هواشناسی در حاشیه دریای خزر در طول دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۶۱ پرداختند. در این پژوهش از روش FAO-56-PM برای تخمین ET_0 استفاده شد و حساسیت ET_0 از نظر تغییرات درجه حرارت هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار هوا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ۲۰ درصدی درجه حرارت هوا (معادل ۳/۳ درجه سانتی‌گراد)، میزان ET_0 حدود ۱۶ درصد افزایش پیدا می‌کند. بنا به گزارش ایشان، تغییر در فشار بخار هوا به میزان ۲۰ درصد؛ اثر معکوسی بر میزان ET_0 سالانه در سراسر منطقه خزر (۱۹٪ در آب و هوای مدیترانه‌ای و ۳۰٪ در آب و هوای مرطوب و بسیار مرطوب خزر) می‌گذارد و ۲۰٪ تغییر در سرعت باد در آب و هوای مدیترانه‌ای و بسیار مرطوب؛ افزایش ۲ تا ۵ درصدی ET_0 را در پی دارد.

Du و همکاران (۲۰۱۶) حساسیت ET_0 را نسبت به پارامترهای آب و هوایی در حوضه رودخانه هی‌ایهه (Heihe) طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه، بیشترین حساسیت ET_0 مربوط به رطوبت نسبی و کمترین مقدار آن مربوط به درجه‌حرارت هوا بوده است.

Nunez-Gonzalez (۲۰۱۷) با استفاده از FAO-56-PM به محاسبه ET_0 ایستگاه‌های مکزیکی پرداختند و در ادامه حساسیت ET_0 نسبت به پارامترهای هواشناسی را در بخش‌هایی از مکزیکی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد که ET_0 به ترتیب به افزایش درجه حرارت هوا و ساعات آفتابی و کاهش رطوبت نسبی بسیار حساس می‌باشد.

می‌باشد. منفی یا مثبت بودن ضریب حساسیت، به ترتیب نشان‌دهنده اثر معکوس و مستقیم پارامترهای هواشناسی روی ET_0 می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج رگرسیون گام به گام برای تشخیص متغیرهای مهم در هر ایستگاه در جدول ۱ نشان داده شده است. به طوریکه از جدول ۱ می‌توان فهمید پس از اجرای روش گام به گام برای ۳۶ ایستگاه منتخب، متغیر T_{max} با تعداد ۱۳ بار (۳۶/۱ درصد) به عنوان اولین متغیر مهم وارد مدل شده است، پس از آن T_{min} و Sun به ترتیب با ۱۰ و ۸ بار (۲۷/۸ درصد و ۲۵ درصد) به عنوان متغیرهای مهم بعدی تشخیص داده شدند. دومین متغیری که وارد مدل شده است در ۲۷ ایستگاه از کل ۳۶ ایستگاه (۷۵ درصد)، متغیر سرعت باد بوده است و سایر متغیرها در اولویت بعدی قرار گرفته‌اند. با توجه به جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت که در اکثر ایستگاه‌ها، روش FAO-56-PM بیشترین حساسیت را به T_{max} دارد، این نتیجه با یافته‌های مکاری و همکاران (۱۳۹۳) در ایستگاه بجنورد همخوانی نشان می‌دهد، ایشان در مطالعات خود نشان دادند که حساسیت مدل FAO-56-PM به دمای بیشینه نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی بیشتر است. همچنین نتایج سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷) نیز نشان داد که حساسیت الگوی FAO-56-PM به دمای هوا نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی بیشتر است. همچنین نتایج این پژوهش با یافته‌های طالبی و همکاران (۱۳۸۹) نیز مطابقت دارد. آن‌ها دریافتند که نقش دمای بیشینه و سرعت باد، مهم‌تر از سایر پارامترهای اقلیمی است و تأثیرگذاری بیشتری بر ET_0 دارد. با درک این نکته، می‌توان چنین استنباط کرد که چنانچه دمای هوا و یا سرعت باد در مقطع زمانی مشخصی تشدید شود، افزایش شدید در ET_0 و متعاقب آن افزایش نیاز آبی گیاهان در منطقه مطالعاتی امری حتمی خواهد بود (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹).

یک از پارامترها در مقیاس ماهانه در نظر گرفته شدند. سپس با تغییر دادن مقدار هر پارامتر هواشناسی به طور منفرد به اندازه ۲۰ درصد، مقدار تغییر در ET_0 محاسبه شد. اینکار برای همه پارامترها انجام گردید و در هر ایستگاه پارامتری که بیشترین تغییر در ET_0 را نشان می‌داد، مشخص شد. افزون بر این، تغییرات پارامترها (مانند افزایش دمای هوا به اندازه ۲۰ درصد میانگین و افزایش سرعت باد به صورت ۲۰ درصد میانگین و...) نیز مورد بررسی قرار گرفت و مقدار تغییر در ET_0 مشخص گردید.

ضریب حساسیت

در مطالعات مربوط به تحلیل حساسیت مدل‌های ET_0 می‌توان از ضریب حساسیت استفاده کرد. دانشمندان مختلف از جمله، Huo et al., 2010; Moratitel et al., 2010; Priya et al., 2014; Zhao et al., 2014، شریفی و دین‌پژوه (۲۰۱۴)، سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷) در زمینه تحلیل حساسیت مطالعاتی انجام داده‌اند. به نظر می‌رسد که در مطالعات انجام شده برای ایران از ضریب حساسیت استفاده نشده است. در مدل FAO-56-PM واضح است که متغیرهای متعدد هواشناسی دارای واحدهای مختلف و در نتیجه دامنه تغییرات متفاوت می‌باشند. بنابراین، مقایسه حساسیت مدل به پارامترها بدون در نظر گرفتن این واقعیت فوق گمراه‌کننده است. برای حل این مسأله، ضریب حساسیت (S_{vi}) برای اولین متغیر ورودی به مدل، به شرح زیر تعریف شد.

$$S_{vi} = \lim_{\Delta v_i \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta ET_{ref} / ET_{ref}}{\Delta v_i / v_i} \right) = \frac{\partial ET_{ref}}{\partial v_i} \cdot \frac{v_i}{ET_{ref}} \quad (1)$$

بنابراین، ضریب حساسیت S_{vi} برای چهار پارامتر مهم بدست آمده از آنالیز رگرسیون چندگانه گام به گام (میانگین حداکثر درجه حرارت هوا، میانگین حداقل درجه حرارت هوا، میانگین سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی) در هر ایستگاه محاسبه گردید. در معادله فوق S_{vi} ضریب حساسیت و v_i متغیر هواشناسی مشخص

جدول ۱. مشخصات مهم ترین پارامترهای ورودی به مدل رگرسیون خطی چندگانه با روش گام به گام در ایستگاه‌های منتخب

ردیف	ایستگاه	نام اولین پارامتر ورودی	نام ماه با بیشترین مقدار اولین پارامتر مهم	مقدار میانگین اولین پارامتر مهم	نام دومین پارامتر ورودی	نام ماه با بیشترین مقدار دومین پارامتر	مقدار میانگین دومین پارامتر مهم
۱	اردبیل	T _{max}	اوت	۲۵/۲۳	Wind	اوت	۱۵/۱۵
۲	اسلام‌آباد غرب	T _{max}	ژوئیه	۳۶/۶۲	Wind	ژوئیه	۴/۷۵
۳	ارومیه	Sun	ژوئیه	۳۶۹/۱۳	Wind	آوریل	۴/۵۸
۴	اهر	Sun	ژوئیه	۳۱۱/۵۷	Wind	آوریل	۶/۲۱
۵	بیجار	T _{max}	ژوئیه	۳۲/۱۲	Wind	آوریل	۹/۵۲
۶	پارس‌آباد	T _{max}	ژوئیه	۳۳/۹۱	Wind	ژوئیه	۵/۲۲
۷	پیرانشهر	Sun	ژوئیه	۳۶۱/۱۰	Wind	آوریل	۵/۹۹
۸	تبریز	T _{min}	ژوئیه	۲۰/۲۸	Wind	ژوئیه	۸/۸۸
۹	تکاب	T _{max}	ژوئیه	۳۱/۵۹	Wind	آوریل	۵/۴۶
۱۰	جلقا	Wind	ژوئیه	۱/۸۹	Tmax	اوت	۳۵/۱۷
۱۱	خلخال	T _{min}	ژوئیه	۱۳/۵۲	RHmax	اکتبر	۸۹/۱۲
۱۲	خدابنده	T _{max}	اوت	۳۱/۴۱	Wind	آوریل	۹/۱۸
۱۳	خرمدره	T _{min}	ژوئیه	۱۶/۳۶	Wind	ژوئیه	۷/۱۱
۱۴	خوی	T _{min}	ژوئیه	۱۷/۳۶	Wind	آوریل	۳/۳۵
۱۵	روانسر	T _{max}	ژوئیه	۳۶/۷۵	Wind	ژوئیه	۷/۷۲
۱۶	زرینه اباتو	Wind	ژوئن	۷/۴۳	Sun	ژوئیه	۳۵۹/۷۰
۱۷	زنجان	Sun	ژوئیه	۳۴۷/۴۱	Tmin	ژوئیه	۱۴/۷۸
۱۸	سراب	T _{min}	ژوئیه	۱۱/۸۳	Sun	ژوئیه	۳۵۸/۳۶
۱۹	سرارود کرمانشاه	Tmax	ژوئیه	۳۷/۹۳	Wind	آوریل	۵/۸۴
۲۰	سرپل ذهاب	T _{max}	ژوئیه	۴۲/۲۷	Wind	ژوئن	۴/۱۴
۲۱	سردشت	Sun	ژوئیه	۳۷۵/۳۸	Wind	ژوئیه	۷/۶۹
۲۲	سقز	Sun	ژوئیه	۳۵۹/۱	Wind	آوریل	۵/۵۰
۲۳	سنندج	T _{min}	ژوئیه	۱۷/۵۸	Sun	آوریل	۳۴۶/۳۰
۲۴	سهند	T _{max}	اوت	۳۱/۳۲	Wind	ژوئیه	۱۴/۰۶
۲۵	قروه	T _{max}	ژوئیه	۳۲/۷۸	Wind	آوریل	۷/۹۶
۲۶	کنگاور	Sun	ژوئن	۳۵۶/۱۸	Tmin	ژوئیه	۱۴/۴۷
۲۷	کرمانشاه	T _{max}	ژوئیه	۳۸/۴۲	Wind	آوریل	۵/۳۸
۲۸	ماکو	Wind	آوریل	۵/۶۴	Sun	ژوئیه	۳۲۳/۸۶
۲۹	مراغه	T _{min}	ژوئیه	۲۰/۱۸	Wind	ژوئیه	۸/۷۳
۳۰	مریوان	Sun	ژوئیه	۳۶۴/۶۷	Wind	آوریل	۴/۴۵
۳۱	مشکین شهر	T _{max}	اوت	۲۶/۷۳	Wind	آوریل	۶/۰۶
۳۲	ملایر	T _{min}	ژوئیه	۱۶/۶۵	Wind	آوریل	۶/۶۴
۳۳	مهاباد	Sun	ژوئیه	۳۶۷/۲۸	Wind	آوریل	۵/۳۱
۳۴	میانه	Wind	ژوئیه	۶/۸۳	Sun	ژوئیه	۳۵۹/۳۷
۳۵	نهادند	T _{min}	ژوئیه	۱۷/۱۹	Wind	آوریل	۵/۹۱
۳۶	همدان	T _{min}	ژوئیه	۱۴/۳۳	Wind	آوریل	۵/۳۳

توجه: در این جدول T_{max}، T_{min}، Wind، Sun و RH_{max} به ترتیب، نشان‌دهنده میانگین حداکثر دما (درجه سلسیوس)، میانگین حداقل دما (درجه سلسیوس)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، تعداد ساعات آفتابی (ساعت) و میانگین حداکثر رطوبت نسبی هوا (درصد) می‌باشد.

جدول ۲. مقدار تغییر در ET_0 (به درصد) به ازای مقادیر مختلف تغییر در اولین پارامتر مهم هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب.

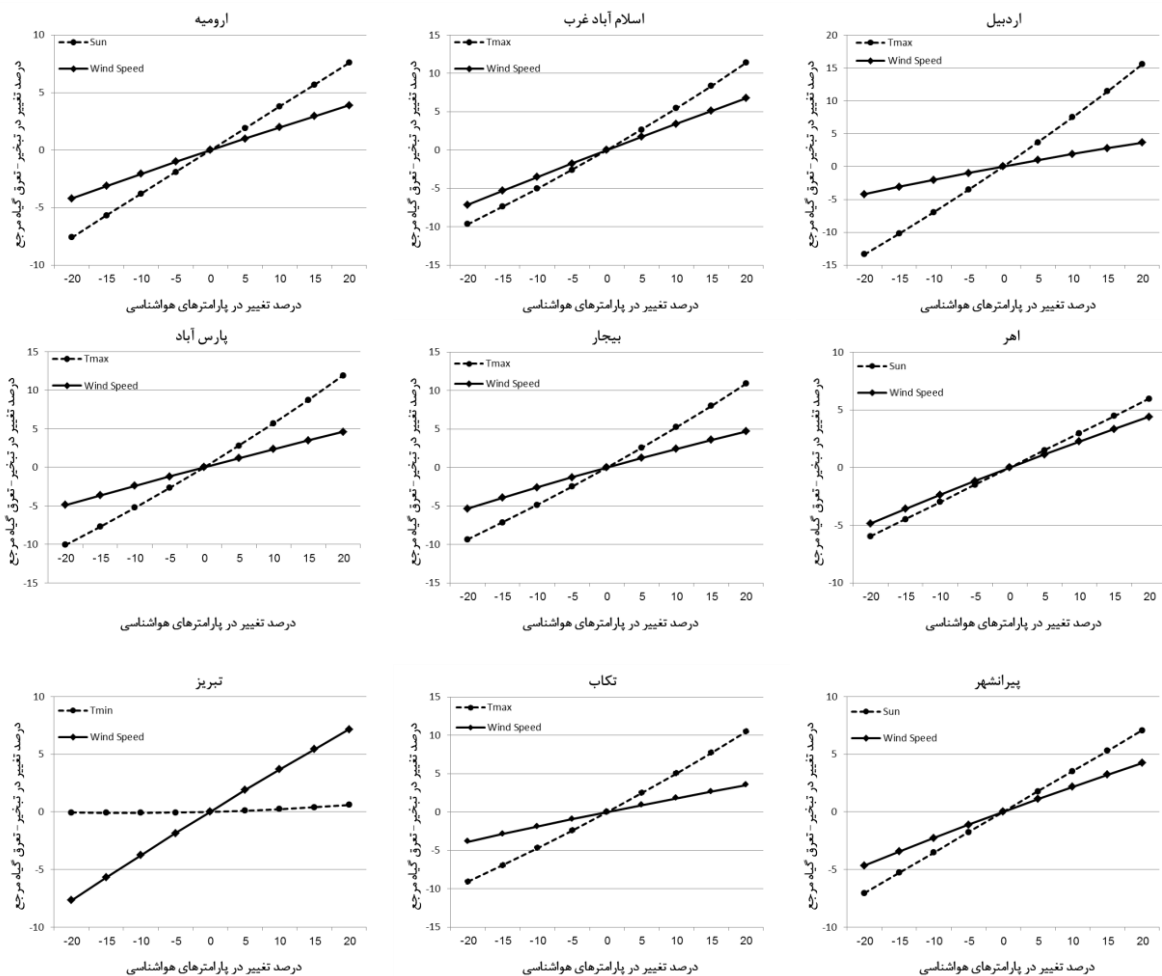
ردیف	ایستگاه	پارامترهای هواشناسی	-۲۰٪	-۱۵٪	-۱۰٪	-۵٪	۰	+۵٪	+۱۰٪	+۱۵٪	+۲۰٪
۱	اردبیل	T_{max}	-۱۳/۳۷	-۱۰/۲۲	-۶/۹۴	-۳/۵۴	۰/۰۰	۳/۶۷	۷/۴۹	۱۱/۴۴	۱۵/۵۴
۲	اسلام‌آباد غرب	T_{max}	-۹/۶۶	-۷/۳۹	-۵/۰۳	-۲/۵۷	۰/۰۰	۲/۶۷	۵/۴۶	۸/۳۶	۱۱/۳۹
۳	ارومیه	Sun	-۷/۵۸	-۵/۶۹	-۳/۷۹	-۱/۹۰	۰/۰۰	۱/۹۰	۳/۷۹	۵/۶۹	۷/۵۸
۴	اهر	Sun	-۵/۹۶	-۴/۴۷	-۲/۹۸	-۱/۴۹	۰/۰۰	۱/۴۹	۲/۹۸	۴/۴۷	۵/۹۶
۵	بیجار	T_{max}	-۹/۳۴	-۷/۱۴	-۴/۸۵	-۲/۴۷	۰/۰۰	۲/۵۷	۵/۲۴	۸/۰۲	۱۰/۹۰
۶	پارس‌آباد	T_{max}	-۱۰/۰۷	-۷/۷۱	-۵/۲۴	-۲/۶۸	۰/۰۰	۲/۷۹	۵/۷۰	۸/۷۳	۱۱/۸۹
۷	پیرانشهر	Sun	-۷/۰۶	-۵/۳۰	-۳/۵۳	-۱/۷۷	۰/۰۰	۱/۷۷	۳/۵۳	۵/۳۰	۷/۰۶
۸	تبریز	T_{min}	-۰/۰۶	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۵۹
۹	تکاب	T_{max}	-۹/۰۸	-۶/۹۳	-۴/۷۰	-۲/۳۹	۰/۰۰	۲/۴۸	۵/۰۵	۷/۷۲	۱۰/۴۸
۱۰	چلغا	Wind	-۸/۰۹	-۵/۹۹	-۳/۹۵	-۱/۹۵	۰/۰۰	۱/۹۱	۳/۷۷	۵/۵۹	۷/۳۷
۱۱	خلخال	T_{min}	-۰/۷۵	-۰/۵۸	-۰/۴۰	-۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۹۱
۱۲	خدابنده	T_{max}	-۹/۸۲	-۷/۵۲	-۵/۱۲	-۲/۶۲	۰/۰۰	۲/۷۳	۵/۵۷	۸/۵۴	۱۱/۶۲
۱۳	خرمدره	T_{min}	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۸
۱۴	خوی	T_{min}	-۰/۵۸	-۰/۴۶	-۰/۳۲	-۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۶۰	۰/۸۳
۱۵	روانسر	T_{max}	-۹/۸۳	-۷/۵۶	-۵/۱۷	-۲/۶۵	۰/۰۰	۲/۷۸	۵/۷۰	۸/۷۷	۱۱/۹۷
۱۶	زرینه اباتو	Wind	-۵/۴۰	-۴/۰۱	-۲/۶۴	-۱/۳۱	۰/۰۰	۱/۲۸	۲/۵۲	۳/۷۵	۴/۹۴
۱۷	زنجان	Sun	-۶/۱۱	-۴/۵۸	-۳/۰۶	-۱/۵۳	۰/۰۰	۱/۵۳	۳/۰۶	۴/۵۸	۶/۱۱
۱۸	سراب	T_{min}	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸
۱۹	سرارود کرمانشاه	T_{max}	-۱۰/۳۳	-۷/۹۲	-۵/۴۰	-۲/۷۶	۰/۰۰	۲/۸۹	۵/۹۱	۹/۰۶	۱۲/۳۵
۲۰	سرپل ذهاب	T_{max}	-۸/۶۲	-۶/۶۴	-۴/۵۴	-۲/۳۳	۰/۰۰	۲/۴۶	۵/۰۶	۷/۷۹	۱۰/۶۷
۲۱	سردشت	Sun	-۵/۱۲	-۳/۸۴	-۲/۵۶	-۱/۲۸	۰/۰۰	۱/۲۸	۲/۵۶	۳/۸۴	۵/۱۲
۲۲	سقز	Sun	-۶/۲۳	-۴/۶۸	-۳/۱۲	-۱/۵۶	۰/۰۰	۱/۵۶	۳/۱۲	۴/۶۸	۶/۲۳
۲۳	سنندج	T_{min}	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۲۸	-۰/۳۹	-۰/۴۷
۲۴	سهند	T_{max}	-۱۰/۷۹	-۸/۲۸	-۵/۶۵	-۲/۸۹	۰/۰۰	۳/۰۳	۶/۲۰	۹/۵۱	۱۲/۹۷
۲۵	قروه	T_{max}	-۸/۳۷	-۶/۴۰	-۴/۳۵	-۲/۲۲	۰/۰۰	۲/۳۱	۴/۷۱	۷/۲۱	۹/۸۱
۲۶	کنگاور	Sun	-۶/۶۱	-۴/۹۶	-۳/۳۰	-۱/۶۵	۰/۰۰	۱/۶۵	۳/۳۰	۴/۹۶	۶/۶۱
۲۷	کرمانشاه	T_{max}	-۹/۵۵	-۷/۳۳	-۵/۰۰	-۲/۵۶	۰/۰۰	۲/۶۷	۵/۴۷	۸/۳۹	۱۱/۴۴
۲۸	ماکو	Wind	-۴/۹۶	-۳/۶۷	-۲/۴۲	-۱/۲۰	۰/۰۰	۱/۱۷	۲/۳۱	۳/۴۳	۴/۵۲
۲۹	مراغه	T_{min}	-۰/۲۷	-۰/۲۴	-۰/۱۹	-۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۷۹
۳۰	مریوان	Sun	-۶/۴۳	-۴/۸۲	-۳/۲۲	-۱/۶۱	۰/۰۰	۱/۶۱	۳/۲۲	۴/۸۲	۶/۴۳
۳۱	مشکین شهر	T_{max}	-۵/۳۳	-۴/۰۵	-۲/۷۴	-۱/۳۹	۰/۰۰	۱/۴۴	۲/۹۲	۴/۴۶	۶/۰۵
۳۲	ملایر	T_{min}	۰/۵۸	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۱۰	-۰/۱۸	-۰/۲۵	-۰/۲۹
۳۳	مهاباد	Sun	-۷/۰۷	-۵/۳۰	-۳/۵۴	-۱/۷۷	۰/۰۰	۱/۷۷	۳/۵۴	۵/۳۰	۷/۰۷
۳۴	میانه	Wind	-۷/۲۷	-۵/۴۱	-۳/۵۸	-۱/۷۷	۰/۰۰	۱/۷۴	۳/۴۶	۵/۱۵	۶/۸۲
۳۵	نهایوند	T_{min}	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۰۸
۳۶	همدان	T_{min}	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۱۲	-۰/۱۴

میزان حساسیت ET_0 نسبت به پارامتر مذکور بررسی شد، بطوریکه از جدول ذکر شده استنباط می‌شود به‌ازای ۲۰ درصد تغییر برای T_{max} (به‌شرط ثابت ماندن سایر پارامترها) مقدار ET_0 بین ۶/۰۵ درصد (در مشکین‌شهر) و ۱۵/۵۴ درصد (در اردبیل) تغییر می‌کند. Goyal (۲۰۰۴) برای ناحیه‌ی راجستان هند مقدار تغییر در ET_0 به ازای

جدول ۲ درصد تغییرات ET_0 به اولین پارامتر مهم هواشناسی و شکل ۲ نمودار تغییرات ET_0 را به اولین و دومین پارامترهای مهم در یکایک ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲ می‌توان فهمید که پارامتر T_{max} بیشترین تعداد دفعات ورود به مدل را به‌عنوان بار اول به خود اختصاص داده است، در ادامه،

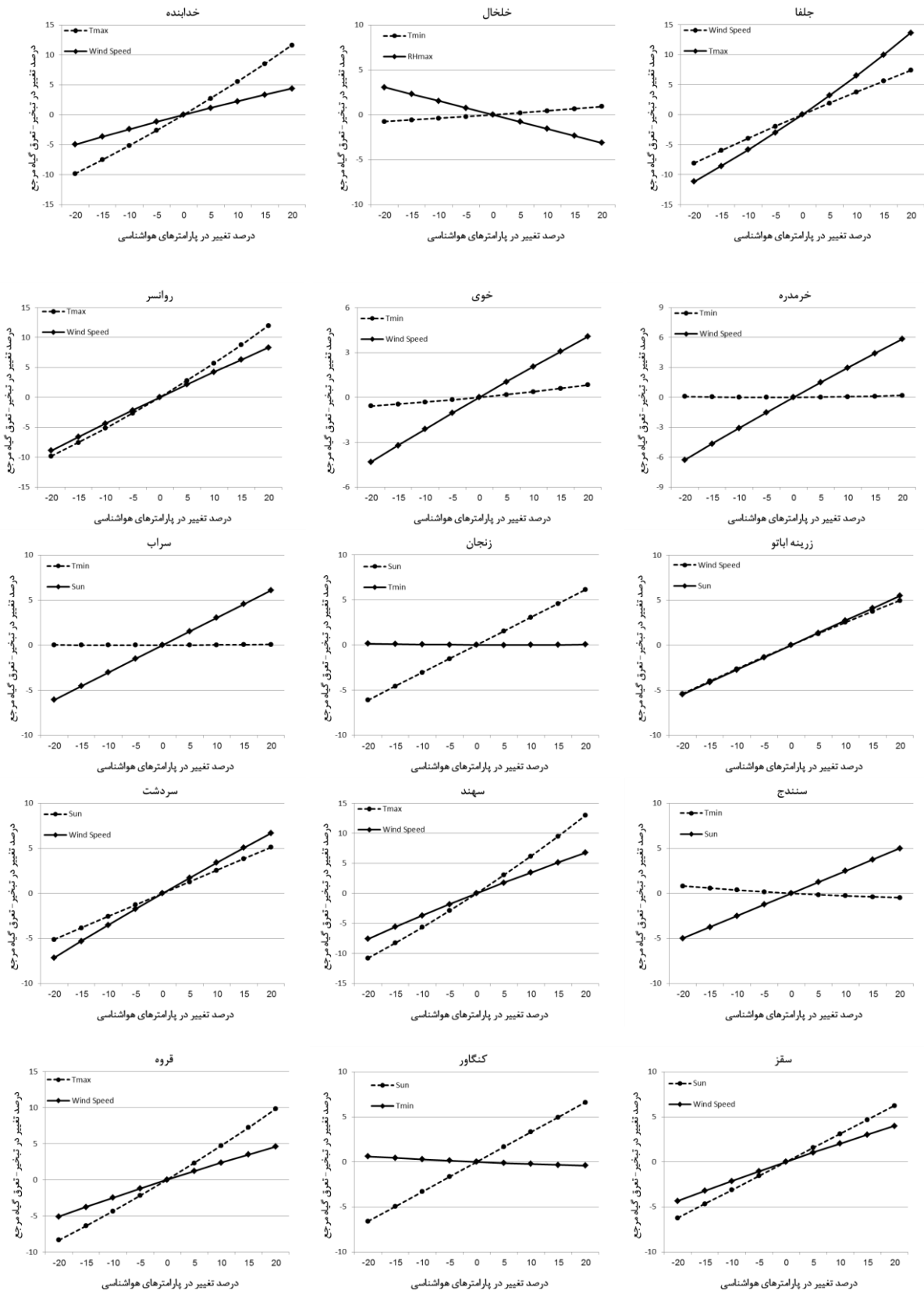
(جدول ۲) و با تغییر به اندازه‌ی ۲۰ درصد در ساعات آفتابی (به شرط ثابت ماندن سایر پارامترها) مقدار ET_0 از حداقل ۸/۵۶ درصد برای سردشت تا ۹/۷۹ درصد برای ارومیه تغییر می‌کند. این رقم برای راجستان هند ۱۰ درصد گزارش شده است (Goyal ۲۰۰۴) که تقریباً با نتایج این مطالعه برای شمال غرب و غرب ایران همخوانی دارد. چهارمین پارامتر مهم (پس از T_{max} , T_{min} و Sun) سرعت باد می‌باشد بطوریکه در چهار ایستگاه، به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر ورودی به مدل رگرسیونی شناخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش ۲۰ درصدی در سرعت باد مقدار ET_0 از حداقل ۵/۱۲ درصد (در سردشت) تا ۷/۵۸ درصد (در ارومیه) تغییر می‌کند.

تغییر در ماکزیمم دما را به اندازه‌ی ۲۰+ و ۲۰- درصد ۱۴ درصد گزارش کرده است که نسبت به منطقه‌ی مورد مطالعه حدود ۱/۵۴ درصد کمتر می‌باشد. به‌طوریکه از جدول ۲ برمی‌آید، دومین متغیر مهم بعد از T_{max} مربوط به پارامتر T_{min} می‌باشد. در ۱۰ ایستگاه، پارامتر T_{min} اولین متغیر ورودی در مدل رگرسیونی بود. بر اساس نتایج حاصله با تغییر به اندازه‌ی ۲۰+ و ۲۰- درصد برای T_{min} منجر به تغییر در مقدار ET_0 از ۰/۴۷- درصد (در سنندج) تا ۰/۹۱ درصد (در خلخال) می‌گردد. با توجه به تحلیل رگرسیون گام به گام معلوم شد که متغیر ساعات آفتابی (Sun) به‌عنوان سومین متغیر مهم وارد مدل شده است. زیرا در ۸ ایستگاه، متغیر ساعات آفتابی اولین متغیر مهم ورودی به مدل رگرسیون بود

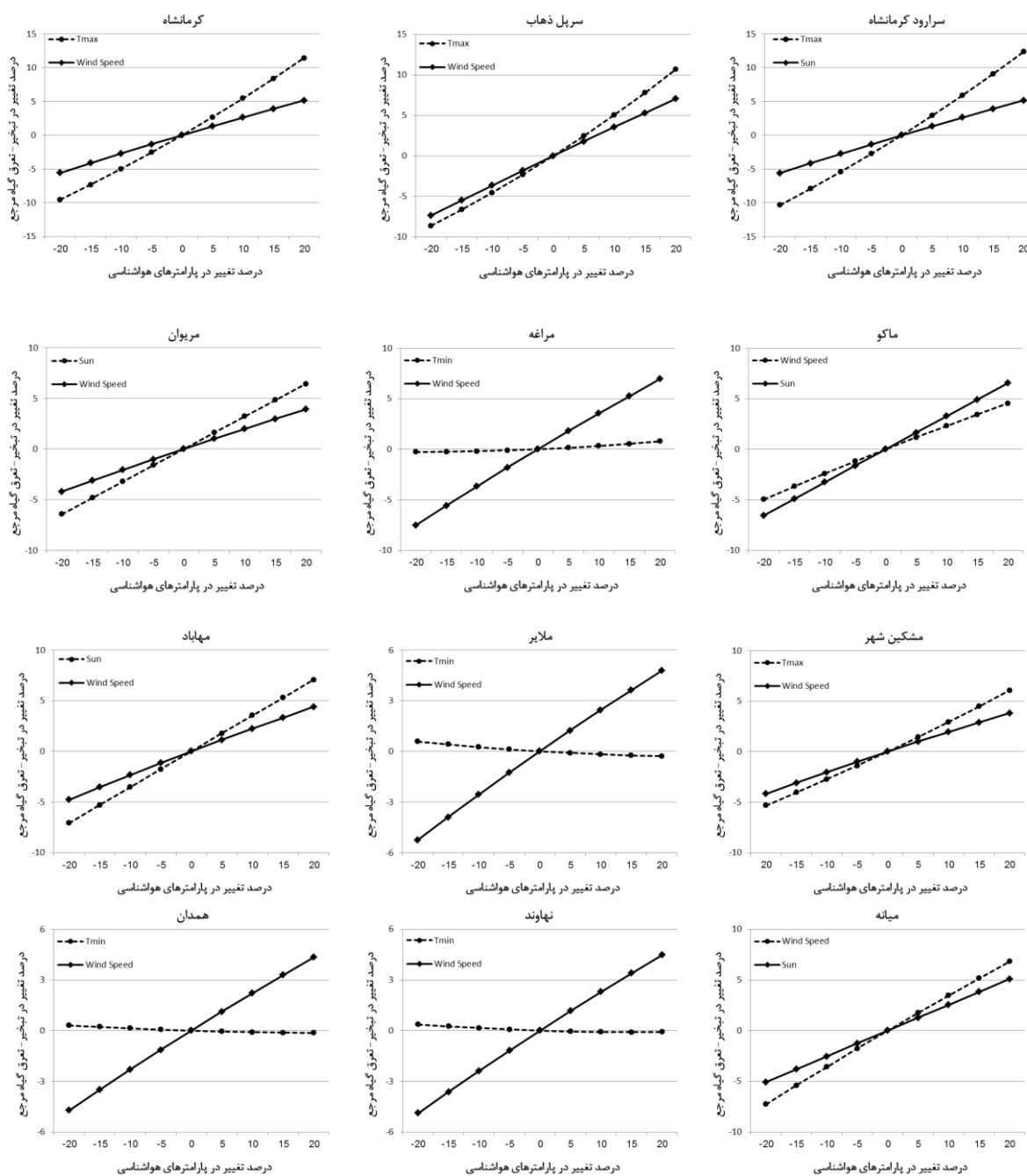


شکل ۲. تحلیل حساسیت دو پارامتر مهم هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

تحلیل حساسیت تبخیر - تعرق به تغییر در پارامترهای هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران ۹



ادامه شکل ۲. تحلیل حساسیت دو پارامتر مهم هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه.



شکل ۲. تحلیل حساسیت دو پارامتر مهم هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

میزان ET_0 با تغییر پارامترهای هواشناسی، تغییر می‌کند (Liang et al., 2008). بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که T_{max} از ضریب حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار بوده است. بالا بودن ضریب حساسیت در مورد T_{max} می‌تواند به این خاطر باشد که این متغیر برای برآورد متغیرهای مهمی نظیر تابش خالص، فشار بخار اشباع و شیب فشار بخار اشباع

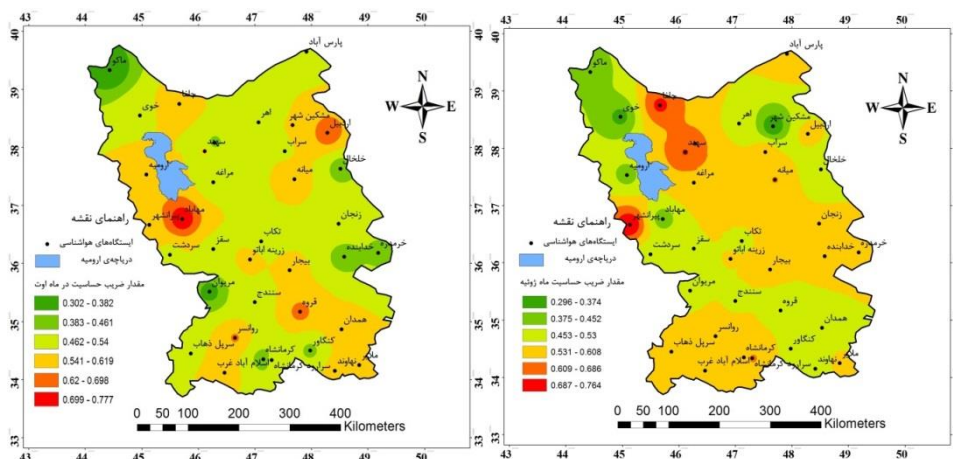
جدول ۳ مقادیر ضریب حساسیت ET_0 محاسبه شده برای مهم‌ترین پارامتر هواشناسی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور، مشخص می‌شود که بیشترین ضریب حساسیت مربوط به T_{max} در ایستگاه‌های اردبیل و پیرانشهر هر دو معادل ۰/۷۷۷ و کمترین آن مربوط به T_{min} در ایستگاه سنندج معادل ۰/۰۲۴- می‌باشد. منفی یا مثبت بودن ضریب حساسیت نشان دهنده این است که

شکل ۳ پهنه‌بندی مقدار ضریب حساسیت ET_0 به ازای افزایش ۲۰ درصد T_{max} را در ماه‌های ژوئیه و اوت نشان می‌دهد. بیشترین میزان ضریب حساسیت ET_0 در اکثر ایستگاه‌ها، در این ماه‌ها اتفاق افتاده است. همانگونه از شکل‌ها مشخص است با افزایش ۲۰ درصد در میانگین حداکثر درجه حرارت هوا در ماه ژوئیه میزان ضریب حساسیت از ۰/۲۹۶ (در ایستگاه مشکین شهر) تا ۰/۷۶۴ (در ایستگاه پیرانشهر) تغییر می‌کند. در ماه اوت بیشترین میزان ضریب حساسیت در ایستگاه مشکین شهر به میزان ۰/۷۷۷ و حداقل آن در ایستگاه اردبیل به میزان ۰/۳۰۲ می‌باشد. با توجه به نقشه‌های استخراج شده، مشخص می‌شود که ماه اوت بیشترین میزان ضریب حساسیت ET_0 را نسبت به ۲۰ درصد افزایش در میزان T_{max} ، شاهد بوده است

به کار می‌رود (Irmak et al., 2010). بعد از T_{max} ساعات آفتابی و میانگین سرعت باد از ضریب حساسیت بالاتری برخوردار می‌باشند و از ۴ پارامتر مهم بررسی شده میانگین حداقل درجه حرارت هوا از ضریب حساسیت پایین‌تری برخوردار می‌باشد. نتیجه این تحقیق با یافته‌های Patle and Singh (۲۰۱۵) همخوانی دارد. زیرا در پژوهش نامبردگان نیز T_{max} و ساعات آفتابی از ضریب حساسیت بالاتری در طول سال برخوردار بوده است. در تحقیق ایشان با محاسبه ضریب حساسیت مشخص شد که میزان ET_0 با T_{max} ، T_{min} و باد و ساعات آفتابی رابطه مستقیم و با رطوبت نسبی، نسبت معکوس دارد. در تحقیق حاضر میزان ET_0 با T_{max} ، باد و ساعات آفتابی رابطه مستقیم دارد در حالیکه با T_{min} در برخی ایستگاه‌ها رابطه مستقیم و در برخی دیگر رابطه معکوس نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر ضریب حساسیت ET_0 نسبت به مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰+ درصد).

ردیف	ایستگاه	پارامترهای هواشناسی (اولین پارامتر ورودی)	مقدار ضریب حساسیت (S_{ij})	ردیف	ایستگاه	پارامترهای هواشناسی (اولین پارامتر ورودی)	مقدار ضریب حساسیت (S_{ij})
۱	اردبیل	T_{max}	۰/۷۷۷	۱۹	سرارود کرمانشاه	T_{max}	۰/۶۱۸
۲	اسلام‌آباد غرب	T_{max}	۰/۵۶۹	۲۰	سرپل ذهاب	T_{max}	۰/۵۳۴
۳	ارومیه	Sun	۰/۳۷۹	۲۱	سردشت	Sun	۰/۲۵۶
۴	اهر	Sun	۰/۲۹۸	۲۲	سقز	Sun	۰/۳۱۲
۵	بیجار	T_{max}	۰/۵۴۵	۲۳	سنندج	T_{min}	-۰/۰۲۴
۶	پارس‌آباد	T_{max}	۰/۵۹۵	۲۴	سهند	T_{max}	۰/۶۴۸
۷	پیرانشهر	Sun	۰/۷۷۷	۲۵	قروه	T_{max}	۰/۴۹۰
۸	نیریز	T_{min}	۰/۰۳۰	۲۶	کنگاور	Sun	۰/۳۳۰
۹	تکاب	T_{max}	۰/۵۲۴	۲۷	کرمانشاه	T_{max}	۰/۵۷۲
۱۰	جلفا	Wind	۰/۳۶۹	۲۸	ماکو	Wind	۰/۲۲۶
۱۱	خلخال	T_{min}	۰/۰۴۶	۲۹	مراغه	T_{min}	۰/۰۴۰
۱۲	خدابنده	T_{max}	۰/۵۸۱	۳۰	مریوان	Sun	۰/۳۲۲
۱۳	خرمدره	T_{min}	۰/۰۰۹	۳۱	مشکین شهر	T_{max}	۰/۳۰۲
۱۴	خوی	T_{min}	۰/۰۴۱	۳۲	ملایر	T_{min}	-۰/۰۱۴
۱۵	روانسر	T_{max}	۰/۵۹۹	۳۳	مهایاد	Sun	۰/۳۵۴
۱۶	زرینه اباتو	Wind	۰/۲۴۷	۳۴	میانه	Wind	۰/۳۴۱
۱۷	زنجان	Sun	۰/۳۰۶	۳۵	نهادند	T_{min}	-۰/۰۰۴
۱۸	سراب	T_{min}	۰/۰۰۴	۳۶	همدان	T_{min}	-۰/۰۰۷



شکل ۳. پهنه‌بندی مقدار ضریب حساسیت ET_0 به ازای افزایش ۲۰ درصد T_{max} در ماه‌های ژوئیه و اوت.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، حساسیت مدل فائو-پنمن ماتیت در تخمین ET_0 نسبت به پارامترهای هواشناسی در ۳۶ ایستگاه منتخب در شمال‌غرب و غرب کشور در دو مقیاس ماهانه و سالانه بررسی شد. مقدار ET_0 در ماه‌های مختلف بر اساس روش فائو-پنمن ماتیت بدست آمد. حساسیت ET_0 به تغییر هر یک از پارامترهای هواشناسی با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها در میزان نرمال بودن دوره آماری بررسی شد و مقادیر ضریب حساسیت اولین پارامتر مهم ورودی به مدل رگرسیون چندگانه بدست آمد. نتایج نشان داد که از کل ۳۶ ایستگاه مورد مطالعه، در ۳۶/۱ درصد ایستگاه‌ها، ET_0 نسبت به میانگین حداکثر درجه حرارت هوا حساسیت بیشتری (در مقایسه با دیگر پارامترها) دارد. پس از آن، T_{min} و Sun به ترتیب با ۲۷/۸

و ۲۵ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. با افزایش ۲۰ درصد برای T_{max} به شرط ثابت ماندن سایر پارامترها، مقدار ET_0 از حداقل ۶/۰۵ درصد (در مشکین‌شهر) تا حداکثر ۱۵/۵۴ درصد (در ایستگاه اردبیل) افزایش نشان داد. این رقم برای T_{min} بین ۰/۴۷- درصد (در ایستگاه سنندج) تا ۰/۹۱ درصد (در ایستگاه خلخال) است. مقادیر ضریب حساسیت نشان داد که بیشترین مقدار آن مربوط به پارامتر ساعات آفتابی در ایستگاه پیرانشهر معادل ۰/۷۷۷ و کمترین مقدار آن مربوط به پارامتر T_{min} در ایستگاه سنندج معادل ۰/۰۲۴- است. می‌توان اظهار داشت که یافته‌های این مطالعه برای تصمیم‌گیران صنعت آب مفید واقع شود.

منابع مورد استفاده

بابامیری، ا. و دین‌پژوه، ی. ۱۳۹۵. مقایسه و ارزیابی بیست روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع مبتنی بر سه دسته‌ی کلی دمای هوا، تابش خورشید و انتقال جرم در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه. نشریه‌ی علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۳(۷۷): ۱۴۵-۱۶۱.
 بختیاری، ب.، لیاقت، ع.، خلیلی، ع. و خانجانی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی دو مدل ترکیبی برآورد تبخیر-تعرق مرجع چمن در بازه‌ی زمانی ساعتی (مطالعه‌ی موردی اقلیم کرمان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳(۵): ۱۳-۲۶.

جهانبخش اصل، س.، خورشیددوست، ع.، میرهاشمی، ح.، خرمی، ه. و تدینی، م. ۱۳۹۳. روندیابی تغییرات نیازآبی گیاه مرجع و متغیرهای هواشناختی مرتبط با آن در آذربایجان شرقی. نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۲۵): ۲۹۶-۳۰۶.

دین‌پژوه، ی. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع؛ مطالعه موردی: ایستگاه همدان. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، ۱۱(۳۴): ۲۶۰-۲۸۶.

دین‌پژوه، ی. و شریفی، ع. ۱۳۹۲. حساسیت تبخیر- تعرق گیاه مرجع به تغییر در پارامترهای هواشناسی (مطالعه موردی: سنندج و سبزوار). نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۳): ۲۵-۴۲.

سبزی‌پرور، ع.، تفضلی، ف.، زارع‌ایبانه، ح.، باقرنژاد، ح.، غفوری، م.، موسوی‌بایگانی، م. و مریانجی، ز. ۱۳۸۷. ارزیابی حساسیت مدل‌های مختلف تبخیر- تعرق مرجع به سیگنال‌های تغییر اقلیم در اقلیم سر نیمه خشک همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۲(۴۶): ۵۸۱-۵۹۲.

طالبی، ع.، پورمحمدی، س. و رحیمیان، م. ۱۳۸۹. بررسی عوامل موثر در تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو- پنمن- مانتیث؛ مطالعه موردی: ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۲(۷۳): ۹۷-۱۱۰.

مکاری، م.، قهرمان، ب. و ثنائی‌نژاد، ح. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق مرجع پنج الگوی رایج با روش مونت- کارلو مطالعه موردی ایستگاه همدید بجنورد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۶): ۱۱۲۶-۱۱۳۶.

Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, Sh. and Sadeghi, S.M. 2015. Sensitivity of Reference Evapotranspiration to Global Warming in the Caspian Region, North of Iran. *J. Agr. Sci. Tech.* 17: 869-883.

Du, Ch., Yu, J., Wang, P. and Zhang, Y. 2016. Reference Evapotranspiration Changes: Sensitivities to and Contributions of Meteorological Factors in the Heihe River Basin of Northwestern China (1961–2014). *Advances in Meteorology*, 17pages. doi.org/10.1155/2016/4143580.

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.

Huo, Z., Dai, X., Feng, Sh., Kang, Sh. and Huang, G. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*, 492: 24 – 34.

Irmak, S., Payero, J., Martin, D.L., Irmak, A. and Howell, T.A. 2006 Sensitivity analysis and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. *American Society of Civil Engineers*, 132(6): 564-578.

Jiang, Ch., Nie, Zh., Mu, X., Wang, F. and Liu, W. 2016. Potential evapotranspiration change and its attribution in the Qinling Mountains and surrounding area, China, during 1960–2012. *Journal of Water and Climate Change*, 526: 3-7.

Liang, L., Li, L., Zhang, L., Li, J. and Li, B. 2008. Sensitivity of PenmanMonteith reference crop evapotranspiration in Taoer River Basin of northeastern China. *Chinese Geogr. Sci.* 18(4) 340–347.

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

Nunez-Gonzalez. G. 2017. Analysis of Reference Evapotranspiration under Climate Change Conditions in The Lerma-Chapala Basin, Mexico. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(3): 197-201.

Patle, G.T. and Singh, D.K. 2015. Sensitivity of annual and seasonal reference crop evapotranspiration to principal climatic variables. *Earth Syst. Sci.* 124(4): 819–828.

Pettitt, A.N. 1979 A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society*, 28(2): 126-135.

Priya, A., Nema, A.K. and Islam, A. 2014. Effect of climate change and elevated CO2 on reference evapotranspiration in Varanasi, India - A case study. *Journal of Agrometeorology*, 16(1): 44-51.

Sharifi, A. and Dinpashoh, Y. 2014. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith reference Crop Evapotranspiration to Climatic Variables in Iran. *Water Resour Manage*, 28: 5465–5476.

Zhao, L., Xia, J., Sobkowiak, L. and Li, Z. 2014. Climatic Characteristics of Reference Evapotranspiration in the Hai River Basin and Their Attribution. *Water*, 6: 1482-1499.



Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration to change in meteorological parameters in north-west and west of Iran

Yagob Dinpashoh^{1*}, Saeed Jahanbakhsh Asl² and Masoumeh Foroughi³

1) Associate Prof., Water Eng. Department. Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran..

* Corresponding author: dinpashoh@yahoo.com,

2*) Professor of Geography Faculty, Department. of Geography and planning, Faculty of Geography, University of Tabriz, Iran..

3) PhD Candidate of Climatology (Climate Change), Department. of Geography and planning, Faculty of Geography, University of Tabriz, Iran.

Received: 15-01-2018

Accepted: 14-01-2019

Abstract

Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration (ET_0) is crucial for improving water management in the arid and semi-arid country as like Iran. However, it is important to analyze the sensitivity of ET_0 to meteorological parameters, since the climate globally has been changed to some extent. In this study, sensitivity of ET_0 by varying the climatic parameters at 36 selected stations in the West and Northwest of Iran was investigated. The priority and effect of the climatic parameters in different months at the selected stations were found by sensitivity analysis. The ET_0 is calculated based on the most recommended form of the FAO-56 Penman-Monteith method. To analysis the sensitivity, variations of ET_0 depends on the changes in minimum temperature (T_{min}), maximum temperature (T_{max}), wind speed (u_2), minimum relative humidity (RH_{min}) and maximum relative humidity (RH_{max}), in the range of $\pm 20\%$ with the step of 5% was calculated. Finally, the parameter with higher importance for each station was obtained. Results showed that ET_0 was more sensitive to the variation of T_{max} at the 13 stations (36.11%) in annual time scale. The maximum change of ET_0 by increasing of T_{max} with +20% was found at Ardebil (15.54%) and the minimum change in the same situation was found to be 6.05 % at Meshkinshahr. The range of the changes by varying T_{min} was between -47 % (in Sanandaj) to 0.91 % (in Khalkhal).

Keywords: Reference Crop Evapotranspiration; Sensitivity Analysis; Sensitivity Coefficient; West and North-West of Iran