

بررسی مناسب‌ترین ضریب تصحیح روش هارگریوز- سامانی برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه

مرجع

(مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

بیژن قهرمان^۱، حسین شریفان^۲، کامران داوری^۳، ایمان کریمی راد^۴

چکیده

تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET) یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه‌ی آب در طبیعت است که با استفاده از لایسیمتر برآورد می‌شود یا با استفاده از معادلات تجربی محاسبه می‌گردد. یکی از روش‌های ساده‌ی تجربی که تنها به داده‌های دما (حداقل و حداکثر روزانه) نیاز دارد، روش هارگریوز-سامانی (H-S) می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، به‌دست آوردن مناسب‌ترین ضریب اصلاحی جهت تصحیح مقادیر ET به‌دست آمده از روش هارگریوز-سامانی برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی بود تا بتوان مقادیر ET بهتری را برای ایستگاه‌هایی که فاقد داده‌های هواشناسی کامل هستند برآورد نمود. تمامی منابع موجود نشان می‌دهد که چنین ضریبی را تنها به‌صورت عددی ثابت در نظر می‌گیرند. در این تحقیق این ضریب تصحیح را به‌صورت تابعی از عوامل هواشناسی که در ایستگاه‌های تبخیرسنجی برداشت می‌شوند در نظر گرفته و معادلات رگرسیونی برای برآورد آن ارایه گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که پارامترهای ثابت این معادلات ثابت نمی‌باشد که تاییدی بر ثابت نبودن ضریب اصلاحی قلمداد می‌شود. معادلات مختلف بر مبنای ۷ معیار ارزیابی اولویت‌بندی شده و بهترین معادله برای هر ایستگاه سینوپتیک به‌دست آمد. محدوده‌ی تاثیر هر ایستگاه سینوپتیک مشخص شده و ایستگاه‌های تبخیرسنجی در هر کدام از محدوده‌ها گزارش شد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم خشک و نیمه خشک، ایستگاه تبخیرسنجی، ایستگاه سینوپتیک، مدل‌سازی

مقدمه

تبخیر-تعرق یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه‌ی آب در طبیعت است و تعیین دقیق آن برای مطالعات توازن آبی، آبیاری و مدیریت منابع آب ضروری است. تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET) یا به‌طور مستقیم و با استفاده از لایسیمتر تعیین می‌شود یا به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از معادلات تجربی برآورد می‌گردد. سابقه‌ی مطالعات علمی در زمینه‌ی تبخیر-تعرق به بیش از ۲۵۰ سال می‌رسد و شاید واژه‌هایی نظیر نیاز آبی و آب مصرفی قدمتی ۱۰۰ ساله داشته باشد. در این مدت و در طی سال‌های گذشته همواره محققین در صدد مدل کردن این پدیده برآمده‌اند، به‌گونه‌ای که در پنج دهه‌ی

اخیر عمده مطالعات بر روی توسعه‌ی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق و بهبود بخشیدن به عملکرد روش‌های موجود متمرکز شده است. لذا در این خصوص روش‌های زیادی مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای شرایط مختلف جغرافیایی و اقلیمی برای محاسبه ET ارایه شده است (کوچک زاده و بهمنی، ۱۳۸۴).

در حال حاضر چندین روش روش برای برآورد ETo وجود دارد. بیش‌تر این روش‌ها تحت واسنجی محلی به‌دست آمده و اعتبار جهانی محدودی دارند (Allen و Pruitt، ۱۹۹۱). گرچه پایه‌ی نظری این روش‌ها با هم متفاوت است، تعداد عوامل هواشناسی مورد نیاز در این روش‌ها هم یکسان نمی‌باشد. برخی به تعداد بیش‌تر و برخی به تعداد کم‌تری از عوامل هواشناسی نیاز دارند. به‌نظر می‌رسد که تقابلی همسو بین تعداد عوامل هواشناسی مورد نیاز و دقت برآورد وجود داشته باشد. با این حال، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، تهیه‌ی عوامل هواشناسی دشوار بوده و دقت آن‌ها را هم نمی‌توان به‌طور کامل تایید کرد. مطالعاتی که تاکنون انجام شده است نشان می‌دهد که در شرایط اقلیمی گوناگون، پاسخ مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق به عوامل هواشناسی یکسان نیست (تفضلی، ۱۳۸۵). البته روش مناسب

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(E-mail: bijangh@um.ac.ir) * نویسنده مسئول:

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

که در شرایطی که محدودیت داده‌های هواشناسی وجود داشته باشد، برای برآورد ET از روش هارگریوز-سامانی (H-S) استفاده شود. این روش تنها به داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر روزانه و تابش برون‌زمینی (تابش بالای جو، که خود تابعی از شماره روز سال و عرض جغرافیایی می‌باشد) نیاز دارد. حداقل داده‌های مورد نیاز، روش H-S را به روشی جذاب برای تخمین ETo تبدیل کرده است.

در مجموع، استفاده از روش H-S به‌عنوان جایگزینی برای F-P-M در منابع بیش‌تر است. با این حال باید به‌خاطر داشت که روش H-S ماهیتی تجربی داشته و تعداد عوامل هواشناسی در آن کم می‌باشد. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که در تمامی شرایط اقلیمی کارایی آن یکسان و مطلوب باشد. ارزیابی این روش توسط مقایسه‌ی آن با لایسیمتر، با روش F-P-M یا با تشت تبخیر میسر است. با این حال پژوهش‌های گوناگون، که شدیداً به شرایط مورد مطالعه بستگی دارند، نتایج یکسانی را برای کارایی روش H-S گزارش نکرده‌اند. نتایج گزارش شده در منابع تا حد زیادی محلی بوده و به‌نظر می‌رسد که وابستگی شدیدی به اقلیم مکان مورد پژوهش داشته باشد، گرچه نتایج در یک اقلیم یکسان هم بعضاً متضاد می‌باشد. برخی منابع در دسترس نشان می‌دهد که استفاده از روش H-S در کرمان (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۵)، تبریز (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۸۰)، در جنوب ایالات متحده‌ی آمریکا (Yoder و همکاران، ۲۰۰۵)، در زرقان واقع در استان فارس (نیازی و همکاران، ۱۳۸۴)، در ایستگاه‌های نیمه مرطوب ایران و با سرعت باد کم (Fooladmand و همکاران، ۲۰۱۰)، در مناطق خشک و نیمه خشک و برای دوره‌های هفت روزه و بیش‌تر (Allen و Hargreaves، ۲۰۰۳؛ Allen و Drrgers، ۲۰۰۲) خوب و قابل قبول می‌باشد. درحالی‌که نتایج نامناسب برای استفاده از روش H-S در مناطق نیمه‌مرطوب (Allen و Hargreaves، ۲۰۰۳)، در کرمان (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶)، در نواحی حاره‌ای (Saghravani و همکاران، ۲۰۰۹)، در نواحی گرم و خشک (Allen و Droogers، ۲۰۰۲؛ Vanderlinden و همکاران، ۲۰۰۴) و در خوزستان (رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۸۵) نیز گزارش شده است. آنچه از مطالب فوق می‌توان جمع‌بندی کرد این است که نمی‌توان در کلیه‌ی شرایط توقع داشت که روش H-S نتایجی کاملاً یکسان با نتایج لایسیمتری یا با روش F-P-M به‌دست بدهد. بنابراین منطقی است که بتوان به کمک نتایج روش H-S، نتایجی متناظر با لایسیمتر یا آنچه روش F-P-M محاسبه می‌کند را به‌دست آورد. این کار منطقیاً با واسنجی رابطه‌ی حاکم بر H-S میسر می‌باشد. در این صورت با پذیرش متغیرهای مستقل (حداکثر و حداقل درجه حرارت)، کلیه‌ی ضرایب ثابت رابطه تغییر داده شود (که دشوارتر است) یا این-که تنها یکی از ضرایب رابطه تغییر داده شود (که آسان‌تر است). تقریباً تمامی منابع به نگرش دوم پرداخته‌اند. Gavilan و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند که هرگاه از معادله‌ی H-S برای منطقه‌ای استفاده

تعیین ET در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (Sabziparvar و همکاران، ۱۹۸۳). در نتیجه، این که کدام روش برای منطقه‌ی مورد نظر کارایی مناسب-تری دارد همواره مورد سوال بوده است. برای پاسخ به این پرسش، پژوهش‌های فراوانی انجام شده است. با این حال از نظر اصولی تمامی این روش‌ها باید با نتایج لایسیمتری مورد مقایسه قرار گیرند. Jensen و همکاران (۱۹۹۰) ۱۹ روش مختلف را بر اساس داده‌های ET که توسط لایسیمتر در ۱۱ شرایط مختلف اقلیمی به‌دست آمده بودند، مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه‌ی این تحقیق نشان داد که معادله‌ی فائو پنمن ماتنیت (F-P-M) یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در هر دو مقیاس روزانه و ماهانه می‌باشد. از این‌رو سازمان فائو (FAO) روش فوق را به‌عنوان روش استاندارد معرفی نمود. از سوی دیگر، انجمن بین‌المللی آبیاری و زهکشی و تعداد کثیری از پژوهش‌گران دیگر نیز بر اساس نتایج برگرفته از پژوهش‌های خویش، به این نکته اشاره نموده‌اند که در شرایطی که داده‌های لایسیمتری در دسترس نباشد، می‌توان از معادله‌ی F-P-M به‌عنوان روش استاندارد برای ارزیابی سایر روش‌ها استفاده نمود. به‌طور کلی و نسبت به دیگر روش‌های معمول، روش F-P-M از پایه‌ی نظری قوی برخوردار بوده و بنابراین انتظار می‌رود که از کاربرد آن نیز نتایج قابل اعتمادی به‌دست آید (Amatya و همکاران، ۱۹۹۵). مطالعات بعدی برتری روش فائو پنمن ماتنیت را بر دیگر روش‌ها در مقایسه این روش با اندازه‌گیری لایسیمترها تأیید کرد (Berengena و Gavilan، ۲۰۰۵).

روش F-P-M به‌عنوان روش استاندارد، به داده‌های هواشناسی زیادی نیاز دارد. تهیه‌ی دقیق این داده‌ها در تمامی مناطق امکان‌پذیر نمی‌باشد. پس منطقی به‌نظر می‌رسد که جایگزینی مناسب برای آن تعیین شود که به داده‌های زیاد نیاز نداشته باشد. این کار دشوار بوده و با توجه به متفاوت بودن شرایط اقلیمی مناطق مختلف، روش‌های جایگزین در مناطق مختلف نیز متفاوت خواهد بود. مثلاً Castaneda و Rao (۲۰۰۵) تنها برای جنوب کالیفرنیا چهار روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل (تورنت وایت، بلانی-کریدل، تورک و ماکینک) را در مقایسه با روش F-P-M بررسی کرده و آن‌ها را با توجه به واسنجی مجدد برای استفاده در جنوب کالیفرنیا توصیه کردند. با توجه به داده‌های اقلیمی ایران در مقیاس روزانه، Nikbakht و Kouchakzadeh (۲۰۰۴) روش هارگریوز-سامانی را برای اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه خشک و مدیترانه‌ای، روش تورک را برای اقلیم‌های فراه خشک، مرطوب و خیلی مرطوب، و روش مکینگ را برای اقلیم خیلی مرطوب پیشنهاد کردند. در مقیاس ماهانه نیز روش هارگریوز سامانی در اقلیم‌های خشک بیابانی و نیمه‌خشک، روش مکینگ در اقلیم‌های مدیترانه‌ای مرطوب، خیلی مرطوب، و روش تورک در اقلیم فراه خشک مناسب تشخیص داده شد. Allen و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهاد کردند

نموده و مقادیر ET به روش استاندارد نزدیک تر شود.

مواد و روش‌ها

داده‌ها

این مطالعه در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی انجام گرفت. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. برای تعیین نحوه استفاده از دوره آماری مشترک یا استفاده از دوره‌ی مشاهداتی (بیش از ۱۰ سال)، ضریب تغییرات هریک از داده‌ها در دوره‌ی مشترک و مشاهداتی برآورد و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تفاوت محسوسی بین این دو دوره وجود ندارد، لذا در این تحقیق از آمار مشاهداتی درازمدت برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک در استان خراسان رضوی

اقلیم ایستگاه‌ها با استفاده از داده‌های هواشناسی و روش اقلیم‌نمای دومارتن تعیین و به همراه مشخصات جغرافیایی و طول دوره‌ی آماری آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاه مرجع

معادله‌ی F-P-M به‌عنوان روش استاندارد و معادله‌ی H-S به‌ترتیب در روابط ۱ و ۲ ارایه شده است.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273.16} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$ET_o = 0.0023R_a (T + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (2)$$

شود، بایستی این معادله نسبت به آن منطقه واسنجی گردد. به عبارتی با استفاده از یک‌سری داده‌های هواشناسی منطقه، روش H-S را اصلاح نمود. منابع فراوانی وجود دارد که از چنین نگرشی استفاده کرده‌اند. برای مثال Bautista و Bautista (۲۰۰۸) برای شرایط حاره‌ای و نجفی و همکاران (۱۳۷۸) برای ۴ منطقه‌ی اصفهان، اراک، یزد و کرج با استفاده از داده‌های لایسیمیتری، روش H-S را اصلاح و فرمول اصلاح شده را برای مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد نمودند. همچنین Fooladmand و Sepaskhah (۲۰۰۵) برای ایستگاه باجگاه و Fooladmand و Haghghat (۲۰۰۷) برای ۴ ایستگاه واقع در جنوب ایران، مقادیر مقادیر ET. ماهانه به‌دست آمده از روش H-S را نسبت به مقادیر ET. روش استاندارد واسنجی کردند. Fooladmand و همکاران (۲۰۱۰) معادله‌ی هارگریوز-سامانی اصلاح شده به روش‌های مختلف را نسبت به روش F-P-M در ۱۴ ایستگاه هواشناسی در مناطق جنوبی کشور ایران مورد ارزیابی قرار دادند. ضرایب اصلاحی گزارش شده توسط پژوهش‌گران کاملاً محلی بوده و در حال حاضر هیچ روش جامع برای کل شرایط وجود ندارد. علاوه بر این و بر مبنای بررسی منابع، در تمامی حالات تنها از یک ضریب اصلاحی استفاده شده است. مفهوم "یک" ضریب اصلاحی این است که شانس انتقال آن به شرایط دیگر از دست می‌رود. اگر بتوان این ضریب اصلاحی را به عواملی که تهیه‌ی آن‌ها در مناطق بیشتری امکان‌پذیر باشد ارتباط داد، امکان انتقال آن به مکان‌های دیگر فراهم می‌شود. ایستگاه‌های تبخیرسنجی ایستگاه‌هایی هستند که در آن‌ها داده‌های کامل هواشناسی (متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک) برداشت نمی‌شود. امکان دارد که این مجموعه داده، بتواند منجر به "رابطه‌ی تصحیح" (در مقابل تنها "یک ضریب اصلاحی") برای روش H-S گردد.

استان خراسان رضوی در شرق کشور قرار دارد و دارای اقلیمی نیمه‌خشک، گرم تا نیمه‌سرد است و از چندین هزار هکتار اراضی کشاورزی برخوردار بوده و دارای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی با آمار و اطلاعات درازمدت می‌باشد. به‌طوری‌که این ایستگاه‌ها بسیاری از مناطق استان را تحت پوشش خود قرار نداده و برای برآورد نیاز آبی مزارع به ناچار باید از داده‌های هواشناسی یکی از این ایستگاه‌ها استفاده نمود. از آنجاکه تأسیس و راه‌اندازی ایستگاه‌های جدید سینوپتیک مشکل و گران می‌باشد، در حالی‌که اگر به‌نحوی بتوان آمار و اطلاعات ایستگاه‌های تبخیرسنجی استان را به‌کار برد، برآورد ET در آن مزارع به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق به‌دست آوردن مناسب‌ترین رابطه‌ی اصلاحی جهت تصحیح مقادیر ET به‌دست آمده از روش H-S برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی است تا بتوان مقادیر ET بهتری را برای ایستگاه‌هایی که فاقد داده‌های هواشناسی کامل هستند برآورد

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دمای متوسط سالانه (°C)	باران متوسط سالانه (mm)	اقلیم
۱	تریت جام	۳۵-۶۰	۱۵-۳۵	۹۵۰/۴	۱۵/۷	۱۷۵/۵	خشک
۲	تریت حیدریه	۱۳-۵۹	۱۶-۳۵	۱۴۵۰/۸	۱۴/۳	۲۷۴/۰	نیمه خشک
۳	سبزوار	۴۳-۵۷	۱۲-۳۶	۹۷۷/۶	۱۷/۶	۱۹۲/۰	خشک
۴	سرخس	۱۰-۶۱	۳۲-۳۶	۲۳۵	۱۸/۰	۱۸۵/۸	خشک
۵	قوچان	۳۰-۵۸	۰۴-۳۷	۱۲۸۷	۱۳	۲۸۲	نیمه خشک
۶	کاشمر	۲۸-۵۸	۱۲-۳۵	۱۱۰۹/۷	۱۷/۹	۲۰۲/۷	خشک
۷	گلمکان	۱۷-۵۹	۲۹-۳۶	۱۱۷۶	۱۳/۱	۲۶۴/۹	نیمه خشک
۸	گناباد	۴۱-۵۸	۲۱-۳۴	۱۰۵۶	۱۷/۴	۱۴۳/۴	خشک
۹	مشهد	۳۸-۵۹	۱۶-۳۶	۹۹۹/۲	۱۴/۴	۲۵۵/۲	نیمه خشک
۱۰	نیشابور	۴۸-۵۸	۱۶-۳۶	۱۲۱۳	۱۴/۳	۲۴۱/۷	نیمه خشک

که در آن‌ها ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm d^{-1})، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، G شار گرما به داخل خاک ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($^{\circ}\text{C}$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m s^{-1})، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)، γ ضریب رطوبتی (ثابت سایکرومتری) ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)، R_a میانگین تشعشع فرا زمینی (mm d^{-1})، T میانگین دمای روزانه هوا، T_{\max} میانگین حداکثر دمای روزانه هوا و T_{\min} میانگین حداقل دمای روزانه هوا (همگی بر حسب $^{\circ}\text{C}$) می‌باشد.

شبه‌وی تصحیح معادله‌ی H-S

ضریب تصحیح k به‌صورت حاصل تقسیم ETo به روش FPM بر ETo به روش H-S تعریف می‌شود به‌طوری‌که با ضرب آن در ETo روش H-S، مقدار معادل ETo به روش FPM به‌دست آید. دو نگرش متفاوت برای ضریب تصحیح به‌کار رفت. در نگرش اول، مقدار آن‌را در ایستگاه‌ها و نقاط مختلف ثابت ندانسته و آن‌را تابعی از برخی عوامل هواشناسی قابل دسترس در ایستگاه‌های تبخیرسنجی ($T_{\max}, T_{\min}, T, RH_{\text{mean}}, RH_{\text{max}}$ - میانگین رطوبت نسبی، - حداکثر رطوبت نسبی، - حداقل رطوبت نسبی) قلمداد کردیم. علاوه بر مقادیر مطلق پارامترها و برای شمول بیش‌تر، عوامل فوق به‌صورت بدون بعد نیز در نظر گرفته شد و از ترکیباتی به‌صورت $\frac{RH_{\min}}{RH_{\text{mean}}}$ ،

معیارهای ارزیابی

پس از جمع‌آوری داده‌های هواشناسی، دوره‌ی آماری به دو دسته‌ی ۸۰ و ۲۰ درصد به‌طور تصادفی تقسیم شد به‌طوری‌که معادلات ضریب تصحیح بر اساس ۸۰ درصد آمار روزانه به‌دست آمد و با استفاده از ۲۰ درصد آمار باقی‌مانده، نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی مقادیر ET اصلاح شده در دوره‌ی آماری باقی‌مانده (۲۰٪) نسبت به مقادیر ET روش استاندارد، از شاخص‌های آماری نظیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE، رابطه‌ی شماره‌ی ۳)،

جدول ۲- پارامترهای ثابت معادلات ضریب تصحیح ۹-۱۱ برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی

ردیف	نام ایستگاه	معادله‌ی ضریب تصحیح	ثابت‌های معادله									
			N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	A	B
۱	تربت جام	اول	۷/۰۲۲	-۰/۴۶۷	۰/۴۶۷	-۰/۸۲	۰/۰۰۸	-۰/۴۶۷	-۰/۴۶۷	-۰/۴۶۷	۶/۹۵۱	۱۳/۹۱۳
		دوم	۴/۵۸۴	-۰/۹۴۶	۰/۶۸۷	۰/۶۸۷						
		سوم	۳/۰۶۲	-۰/۸۳۶	۰/۶۲۱							
۲	تربت حیدریه	اول	۲/۵۷۳	-۳	۲/۹۳۶	-۳	-۰/۰۲۱	۲/۹۳۶	-۰/۳۳۹	-۲/۷۳۵	۸/۹۸۳	۱۱/۵۱
		دوم	۰/۹۶۳	-۰/۲۸۱	۰/۲۸۳	۰/۲۸۳						
		سوم	۰/۹۶۶	-۰/۵۶۱	۰/۵۶۳							
۳	سبزوار	اول	۱/۱۹۱	-۰/۱۴	۰/۱۷۹	-۰/۱۷۹	-۰/۰۵۳	۰/۱۷۹	-۰/۱۵۷	۰/۱۷۹	۶/۰۱	۱۰/۰۱
		دوم	۱/۰۸۵	-۰/۱۲۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲						
		سوم	۱/۰۲۷	-۰/۰۶۸	۰/۰۳۷							
۴	سرخس	اول	۱/۳۷۹	-۰/۲۳۲	۰/۲۳۲	-۰/۲۳۲	-۰/۰۵	-۰/۲۳۲	-۰/۲۳۲	-۰/۲۳۲	۱۰	۱۱/۳۱
		دوم	۰/۶۶۱	۰	۰/۰۶۲	۰						
		سوم	۰/۶۶۱	۰	۰/۰۶۲							
۵	قوچان	اول	۱/۰۱۲	-۰/۱۷۸	۰/۱۸۷	-۰/۳۵۹	۰/۱۸۷	-۰/۱۸۷	-۰/۳۵۹	۰/۱۸۷	۲۰	۱۷/۳۱
		دوم	۰/۷۴۳	-۰/۱۲۱	۰/۱۷۷	۰/۱۷۷						
		سوم	۱/۲۰۷	-۰/۴۷	۰/۴۰۱							
۶	کاشمر	اول	۰/۲۷۱	۰/۰۸۶	۰/۱۰۹	-۰/۰۵۶	-۰/۰۴۴	-۰/۲۷۱	-۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۳/۴۱	۷/۳۱
		دوم	۰/۶۷۷	-۰/۲۳۳	۰/۳۲۶	۰/۲۳۳						
		سوم	۰/۶۰۸	-۰/۲۳۶	۰/۳۴۱							
۷	گلمکان	اول	۳/۴۹۴	-۲/۱۹۷	۲/۰۳۷	-۰/۰۰۲	-۰/۲۱۲	-۰/۰۵۶	۰/۴۲۲	-۰/۲۵۸	۱۲/۵۰۱	۱۳/۵۳
		دوم	۱/۳۵۷	-۰/۱۱۹	۰	۰						
		سوم	۱/۳۵۷	-۰/۱۱۹	۰							
۸	گناباد	اول	۱/۲۶۷	۰/۱۶۳	-۰/۹۱۷	-۰/۹۱۷	۰/۸۵۷	۰/۹۱۷	-۰/۹۱۷	۰/۹۱۷	۴/۱۳۵	-۰/۰۱
		دوم	۱/۳۰۷	-۰/۵۹۶	۰/۵۶۲	۰/۵۶۲						
		سوم	۰/۹۹۸	-۰/۴۱۲	۰/۳۹۴							
۹	مشهد	اول	۱/۹۷۱	-۰/۲۱۵	۰/۳۴۵	-۰/۵۴	-۰/۰۱۵	۰/۳۴۵	-۰/۵۴	۰/۳۴۵	۹/۰۱	۱۷/۵۱
		دوم	۲/۳۱۶	-۰/۷۱	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷						
		سوم	۱/۶۵۳	-۰/۶۱۳	۰/۴۷۲							
۱۰	نیشابور	اول	۰/۶۷۷	-۰/۱۲	۰/۲۸۶	-۰/۳۳۱	۰/۰۴۵	-۰/۲۸۶	-۰/۲۸۶	-۰/۲۸۶	۹/۸۴۸	۱۰/۴۱
		دوم	۱/۰۶۷	-۰/۳۳۲	۰/۳۱۴	۰/۳۱۴						
		سوم	۰/۸۶۸	-۰/۲۷۱	۰/۲۷۳							

$$NRMSE = \frac{RMSE}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100 \quad (۴)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{mean})^2} \quad (۵)$$

ریشه‌ی میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، رابطه‌ی (۴) شماره‌ی ۴، ضریب ناش-ساتکلیف (CE، رابطه‌ی شماره‌ی ۵)، انحراف معیار عمومی (GSD، رابطه‌ی شماره‌ی ۶)، نسبت اختلاف (ε)، رابطه‌ی شماره‌ی ۷، خطای نسبی (SSE، رابطه‌ی شماره‌ی ۸) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (۳)$$

جدول ۳- شاخص‌های آماری جهت ارزیابی نتایج معادلات

ردیف	نام ایستگاه	روش برآورد	شاخص‌های آماری						
			SSE	RMSE	r	R	CE	GSD	NRMSE
۱	تربت جام	هارگریوز-سامانی	۲۱۷۰	۱/۴۷	-/۹۰	-/۸۸	-/۷۴	۰/۳۸	۱۱/۵۱
		تعیین نسبت میانگین	۲۵۰۸	۱/۵۸	۱/۰۹	-/۸۷	-/۷۰	۰/۳۴	۱۲/۳۸
		معادله ضریب تصحیح اول	۳۶۴۸	۱/۹۱	۱/۱۹	-/۸۷	-/۵۶	۰/۳۷	۱۴/۹۲
۲	تربت حیدریه	معادله ضریب تصحیح دوم	۳۴۵۳	۱/۸۵	۱/۰۶	-/۸۲	-/۵۸	۰/۴۱	۱۴/۵۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۱۹۸۱	۱/۴۰	۱/۰۴	-/۸۸	-/۷۶	۰/۳۱	۱۱/۰۰
		هارگریوز-سامانی	۴۵۸۰	۱/۴۵	۱/۳۰	-/۸۳	-/۴۶	۰/۴۰	۱۱/۳۷
۳	سیزوار	تعیین نسبت میانگین	۲۹۳۲	۱/۰۷	۱/۰۸	-/۸۶	-/۷۱	۰/۳۴	۸/۴۲
		معادله ضریب تصحیح اول	۲۸۲۰	۱/۱۴	۱/۰۵	-/۸۲	-/۶۷	۰/۳۸	۸/۹۲
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲۸۲۰	۱/۱۴	۱/۰۵	-/۸۲	-/۶۷	۰/۳۸	۸/۹۲
۴	سرخس	معادله ضریب تصحیح سوم	۱۴۷۵	۰/۸۲	۱/۰۲	-/۹۱	-/۸۳	۰/۲۸	۶/۴۵
		هارگریوز-سامانی	۶۷۱۲	۱/۵۳	۱/۳۳	-/۸۵	-/۴۱	۰/۳۹	۱۳/۷۰
		تعیین نسبت میانگین	۴۹۳۱	۱/۳۲	۱/۲۲	-/۸۵	-/۵۷	۰/۳۶	۱۱/۸۰
۵	قوچان	معادله ضریب تصحیح اول	۴۷۳۵	۱/۲۹	۱/۲۲	-/۸۵	-/۵۹	۰/۳۵	۱۱/۵۲
		معادله ضریب تصحیح دوم	۴۸۱۴	۱/۳۰	۱/۲۳	-/۸۵	-/۵۸	۰/۳۶	۱۱/۶۰
		معادله ضریب تصحیح سوم	۵۳۸۹	۱/۳۸	۱/۲۵	-/۸۵	-/۵۳	۰/۳۷	۱۲/۲۸
۶	کاشمر	هارگریوز-سامانی	۳۱۳۴	۱/۴۸	۱/۱۸	-/۸۴	-/۶۱	۰/۳۷	۱۲/۲۷
		تعیین نسبت میانگین	۲۴۰۹	۱/۳۰	-/۹۸	-/۸۴	-/۷۰	۰/۳۹	۱۰/۷۶
		معادله ضریب تصحیح اول	۲۴۸۵	۱/۳۲	-/۹۴	-/۸۴	-/۶۹	۰/۴۱	۱۰/۹۳
۷	گلمکان	معادله ضریب تصحیح دوم	۲۴۸۵	۱/۳۲	-/۹۴	-/۸۴	-/۶۹	۰/۴۱	۱۰/۹۳
		معادله ضریب تصحیح سوم	۲۵۶۳	۱/۳۴	۱/۰۲	-/۸۳	-/۶۸	۰/۳۹	۱۱/۱۱
		هارگریوز-سامانی	۱۵۹۸	۱/۰۵	۱/۲۵	-/۹۲	-/۶۹	۰/۳۱	۱۲/۵۰
۸	گناباد	تعیین نسبت میانگین	۸۱۵	۰/۷۵	۱/۰۱	-/۹۲	-/۸۴	۰/۲۷	۸/۹۳
		معادله ضریب تصحیح اول	۸۳۵	۰/۷۶	۱/۰۷	-/۹۲	-/۸۴	۰/۲۶	۹/۰۵
		معادله ضریب تصحیح دوم	۷۹۰	۰/۷۴	۱/۰۰	-/۹۲	-/۸۵	۰/۲۷	۸/۸۰
۹	مشهد	معادله ضریب تصحیح سوم	۸۰۹	۰/۷۴	-/۹۹	-/۹۲	-/۸۴	۰/۲۸	۸/۹۰
		هارگریوز-سامانی	۲۲۹۶	۱/۱۲	۱/۲۵	-/۹۲	-/۶۶	۰/۳۰	۱۱/۱۴
		تعیین نسبت میانگین	۱۰۳۸	۰/۷۵	۱/۰۲	-/۹۲	-/۸۵	۰/۲۴	۷/۵۰
۱۰	نیشابور	معادله ضریب تصحیح اول	۱۰۳۶	۰/۷۵	۱/۰۳	-/۹۲	-/۸۵	۰/۲۴	۷/۴۹
		معادله ضریب تصحیح دوم	۱۱۵۳	۰/۸۰	۱/۰۷	-/۹۲	-/۸۳	۰/۲۵	۷/۹۰
		معادله ضریب تصحیح سوم	۱۰۵۰	۰/۷۶	۱/۰۶	-/۹۳	-/۸۵	۰/۲۴	۷/۵۴
۱۱	نیشابور	هارگریوز-سامانی	۱۱۹۵	۱/۰۶	-/۹۷	-/۹۰	-/۸۰	۰/۳۰	۱۰/۸۲
		تعیین نسبت میانگین	۱۳۴۹	۱/۱۳	-/۹۱	-/۸۹	-/۷۷	۰/۳۴	۱۱/۴۹
		معادله ضریب تصحیح اول	۱۴۰۴	۱/۱۵	-/۸۶	-/۹۰	-/۷۶	۰/۳۶	۱۱/۷۳
۱۲	نیشابور	معادله ضریب تصحیح دوم	۱۴۰۴	۱/۱۵	-/۸۶	-/۹۰	-/۷۶	۰/۳۶	۱۱/۷۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۱۳۰۳	۱/۱۱	-/۸۶	-/۹۱	-/۷۸	۰/۳۵	۱۱/۳۰
		هارگریوز-سامانی	۱۹۵۲	۱/۲۳	۱/۱۸	-/۸۹	-/۷۱	۰/۳۱	۱۰/۵۴
۱۳	نیشابور	تعیین نسبت میانگین	۱۴۵۱	۱/۰۶	۱/۰۱	-/۸۹	-/۷۹	۰/۳۱	۹/۰۸
		معادله ضریب تصحیح اول	۱۹۲۷	۱/۲۲	-/۹۸	-/۸۵	-/۷۲	۰/۳۷	۱۰/۴۷
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲۱۱۸	۱/۲۸	۱/۰۵	-/۸۴	-/۶۹	۰/۳۶	۱۰/۹۷
۱۴	نیشابور	معادله ضریب تصحیح سوم	۴۴۱۳	۱/۸۴	۱/۲۳	-/۸۲	-/۳۵	۰/۴۴	۱۵/۸۴
		هارگریوز-سامانی	۴۱۳۵	۱/۱۲	۱/۲۰	-/۹۱	-/۷۳	۰/۳۰	۱۱/۴۸
		تعیین نسبت میانگین	۲۵۰۰	۰/۸۷	۱/۰۰	-/۹۱	-/۸۳	۰/۲۸	۸/۹۳
۱۵	نیشابور	معادله ضریب تصحیح اول	۲۱۱۵	۰/۸۰	-/۹۷	-/۹۳	-/۸۶	۰/۲۷	۸/۲۲
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲۳۶۰	۰/۸۵	-/۹۶	-/۹۲	-/۸۴	۰/۲۸	۸/۶۸
		معادله ضریب تصحیح سوم	۲۶۴۲	۰/۹۰	۱/۱۲	-/۹۴	-/۸۲	۰/۲۶	۹/۱۸
۱۶	نیشابور	هارگریوز-سامانی	۲۱۹۶	۱/۴۵	۱/۴۰	-/۹۲	-/۴۰	۰/۳۷	۱۶/۱۱
		تعیین نسبت میانگین	۶۲۰	۰/۷۷	۱/۰۸	-/۹۳	-/۸۳	۰/۲۵	۸/۵۶
		معادله ضریب تصحیح اول	۶۲۳	۰/۷۷	۱/۱۰	-/۹۲	-/۸۳	۰/۲۵	۸/۵۸
۱۷	نیشابور	معادله ضریب تصحیح دوم	۷۷۹	۰/۸۶	۱/۱۱	-/۹۱	-/۷۹	۰/۲۸	۹/۶۰
		معادله ضریب تصحیح سوم	۸۹۶	۰/۹۳	۱/۱۶	-/۹۲	-/۷۶	۰/۲۹	۱۱/۲۹

جدول ۴- اولویت بندی روش های برآورد از نظر شاخص های آماری

ردیف	نام ایستگاه	روش برآورد	شاخص های آماری						
			SSE	RMSE	r	R	CE	GSD	NRMSE
۱	تریت جام	هارگریوز-سامانی	۲	۲	۱	۱	۲	۴	۲
		تعیین نسبت میانگین	۳	۳	۴	۳	۳	۲	۳
		معادله ضریب تصحیح اول	۵	۵	۵	۴	۵	۳	۵
۲	تریت حیدریه	معادله ضریب تصحیح دوم	۴	۴	۳	۵	۴	۵	۴
		معادله ضریب تصحیح سوم	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۱
		هارگریوز-سامانی	۵	۴	۴	۳	۴	۴	۴
۳	سبزواری	تعیین نسبت میانگین	۴	۲	۳	۲	۲	۲	۱
		معادله ضریب تصحیح اول	۲	۳	۲	۴	۳	۳	۳
		معادله ضریب تصحیح دوم	۳	۳	۲	۴	۳	۳	۳
۴	سرخس	معادله ضریب تصحیح سوم	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲
		هارگریوز-سامانی	۵	۴	۵	۴	۵	۵	۵
		تعیین نسبت میانگین	۳	۲	۲	۱	۳	۳	۳
۵	قوچان	معادله ضریب تصحیح اول	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲	۱	۳	۲	۲	۲	۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۴	۳	۴	۵	۴	۴	۴
۶	کاشمر	هارگریوز-سامانی	۵	۴	۴	۲	۴	۱	۴
		تعیین نسبت میانگین	۱	۱	۲	۱	۱	۳	۱
		معادله ضریب تصحیح اول	۲	۲	۳	۲	۲	۴	۲
۷	گلمکان	معادله ضریب تصحیح دوم	۳	۲	۳	۲	۲	۴	۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۴	۳	۱	۳	۳	۲	۳
		هارگریوز-سامانی	۵	۵	۵	۲	۵	۴	۵
۸	گناپاد	تعیین نسبت میانگین	۳	۳	۳	۵	۳	۲	۳
		معادله ضریب تصحیح اول	۱	۱	۱	۳	۴	۱	۴
		معادله ضریب تصحیح دوم	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱
۹	مشهد	معادله ضریب تصحیح سوم	۲	۲	۲	۴	۲	۳	۲
		هارگریوز-سامانی	۵	۴	۵	۵	۴	۵	۵
		تعیین نسبت میانگین	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۴
۱۰	نیشابور	معادله ضریب تصحیح اول	۵	۴	۴	۲	۴	۴	۴
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲	۲	۳	۱	۲	۳	۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۳	۳	۴	۲	۳	۱	۳
		هارگریوز-سامانی	۴	۳	۴	۲	۳	۱	۴
		تعیین نسبت میانگین	۵	۵	۵	۳	۵	۵	۵
		معادله ضریب تصحیح اول	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱
		معادله ضریب تصحیح دوم	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲
		معادله ضریب تصحیح سوم	۳	۳	۳	۵	۳	۳	۳
		معادله ضریب تصحیح سوم	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

جدول ۵- اولویت‌بندی روش‌های برآورد ضریب تصحیح برای ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک استان خراسان شمالی

اولویت	روش برآورد	نام ایستگاه	ردیف
۲	هارگریوز-سامانی	ترت جام	۱
۳	تعیین نسبت میانگین		
۵	معادله ضریب تصحیح اول		
۴	معادله ضریب تصحیح دوم		
۱	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	ترت حیدریه	۲
۲	تعیین نسبت میانگین		
۳	معادله ضریب تصحیح اول		
۴	معادله ضریب تصحیح دوم		
۱	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	سبزوار	۳
۳	تعیین نسبت میانگین		
۱	معادله ضریب تصحیح اول		
۲	معادله ضریب تصحیح دوم		
۴	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	سرخس	۴
۳	تعیین نسبت میانگین		
۱	معادله ضریب تصحیح اول		
۲	معادله ضریب تصحیح دوم		
۴	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	قوچان	۵
۳	تعیین نسبت میانگین		
۴	معادله ضریب تصحیح اول		
۱	معادله ضریب تصحیح دوم		
۲	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	کاشمر	۶
۲	تعیین نسبت میانگین		
۱	معادله ضریب تصحیح اول		
۴	معادله ضریب تصحیح دوم		
۳	معادله ضریب تصحیح سوم		
۱	هارگریوز-سامانی	گلمکان	۷
۳	تعیین نسبت میانگین		
۴	معادله ضریب تصحیح اول		
۵	معادله ضریب تصحیح دوم		
۲	معادله ضریب تصحیح سوم		
۳	هارگریوز-سامانی	گناباد	۸
۱	تعیین نسبت میانگین		
۲	معادله ضریب تصحیح اول		
۴	معادله ضریب تصحیح دوم		
۵	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	مشهد	۹
۳	تعیین نسبت میانگین		
۱	معادله ضریب تصحیح اول		
۲	معادله ضریب تصحیح دوم		
۴	معادله ضریب تصحیح سوم		
۵	هارگریوز-سامانی	نیشابور	۱۰
۱	تعیین نسبت میانگین		
۲	معادله ضریب تصحیح اول		
۳	معادله ضریب تصحیح دوم		
۴	معادله ضریب تصحیح سوم		

$$GSD = \frac{RMSE}{\hat{y}_{mean}} \quad (6)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (7)$$

$$SEE = \frac{y_{act} - y_i}{y_i} \quad (8)$$

در این روابط، y_i مقادیر برآورد شده به روش FPM، \hat{y}_i مقادیر اصلاح شده‌ی H-S، y_{mean} میانگین مقادیر برآورد شده به روش FPM، \hat{y}_{mean} میانگین مقادیر اصلاح شده‌ی H-S و n تعداد داده‌ها می باشد.

نتایج و بحث

سه معادله‌ی ۹-۱۱ بهترین تیپ معادلات هستند که با آزمون و خطا به دست آمدند.

$$k = N_0 \times (T_{max} + A)^{N_1} \times (T_{avg} + B)^{N_2} \times RH_{avg}^{N_3} \times RH_{max}^{N_4} \times RH_{min}^{N_5} \times \left(\frac{RH_{max}}{RH_{mean}}\right)^{N_6} \times \left(\frac{RH_{min}}{RH_{mean}}\right)^{N_7} \quad (9)$$

$$k = N_0 \times RH_{avg}^{N_1} \times RH_{min}^{N_2} \times \left(\frac{RH_{min}}{RH_{mean}}\right)^{N_3} \quad (10)$$

بر مبنای داده‌های واسنجی (۸۰٪)، ضرایب ثابت مربوط به معادلات تصحیح سه-گانه به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه و در جدول (۲) آورده شده‌اند.

پارامترهای محاسبه شده به روشی نشان می‌دهد که حتی برای ایستگاه‌های مجاور هم نیز مقدار آن‌ها ثابت نمی‌باشد. عدم یکسان بودن پارامترها مستقیماً منجر به عدم یکسانی ضرایب تصحیح برای ایستگاه‌های مختلف می‌شود. بر مبنای داده‌های تایید (۲۰٪)، کارایی سه تیپ کلی معادلات اصلاحی (۹-۱۱) به همراه با نگرش روش میانگین نسبت‌ها و نیز معادله‌ی H-S بدون تصحیح، محاسبه و نتایج آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

آماره‌های ارزیابی مربوط به ضرایب تصحیح نسبی بوده و نمی‌توان آن‌ها را به صورت مطلق تحلیل کرد. بر مبنای جدول ۳، برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک، پنج روش محاسبه‌ی ضریب تصحیح متفاوت وجود دارد که بر مبنای ۷ معیار ارزیابی سنجیده شده‌اند. برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد این‌که برای هر ایستگاه کدام روش محاسبه‌ی ضریب تصحیح مناسب‌تر است، در گام اول برای هر ایستگاه و به ازاء هر کدام از معیارهای ارزیابی، ۵ روش متفاوت اولویت‌بندی شدند (جدول ۴).

جهت ارزیابی نتیجه‌ای کاربردی از این تحقیق، موقعیت ایستگاه‌های تخیرسنجی بر روی نقشه‌ی استان مشخص گردید. برای یافتن پاسخی برای این پرسش که هر کدام از این ایستگاه‌ها از چه ضریب تصحیحی استفاده کنند تا ETO محاسبه شده از معادله‌ی H-S از روی داده‌های موجود در این ایستگاه‌ها به مقدار واقعی ETO که می‌تواند از معادله‌ی F-P-M محاسبه شود (ولی داده‌های آن موجود نیست) تبدیل شود، محدودی‌ی تاثیر هر ایستگاه سینوپتیک را توسط شبکه‌ی تیسن ترسیم کرده و ایستگاه‌های تخیرسنجی در هر شبکه را به دست آوردیم. نتایج به دست آمده در جدول ۷ آورده شده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از تمامی پارامترهایی که در ایستگاه‌های تخیرسنجی برداشت می‌شوند، اقدام به استخراج معادلاتی جهت تصحیح روش هارگریوز-سامانی گردید، که با در نظر قرار دادن دقت برآوردها سه معادله نتیجه شد. با سعی و خطا، سه تیپ معادله‌ی تصحیح به دست آمد و ضرایب ثابت آن‌ها در هر ایستگاه سینوپتیک برآورد گردید. ضرایب تصحیح در ایستگاه‌های مختلف یکسان نبود که نشان می‌دهد استفاده از تنها یک ضریب تصحیح ثابت برای تبدیل H-S به FPM امکان‌پذیر نمی‌باشد. بر مبنای ۷ معیار ارزیابی، روش‌های مختلف تصحیح در ایستگاه‌های سینوپتیک اولویت‌بندی و بهترین اولویت برای هر ایستگاه به دست آمد.

بر این مبنای، در ایستگاه‌های سینوپتیک گرم‌تر ضریب تصحیح اول که پارامترهای دما و رطوبت را دارند از اولویت بهتری برخوردار بودند، در حالی که در ایستگاه‌های سینوپتیکی که دارای باران سالانه بیش‌تری بوده و سردتر بودند، ضریب تصحیح دوم و سوم که پارامتر رطوبت را داشتند، مناسب‌تر تشخیص داده شدند.

سپس در گام دوم برای هر ایستگاه و برای هر کدام از روش‌های متفاوت محاسبه‌ی ضریب تصحیح، مجموع اولویت‌بندی‌ها محاسبه گردید تا تاثیر روش‌های متفاوت ارزیابی برطرف گردد (جدول ۵). یکی از مزایای استفاده از معیارهای متفاوت ارزیابی، پرهیز از اریب بودن احتمالی نتایج این روش‌ها می‌باشد. اتخاذ تعداد زیاد معیارها چنین اریب‌های احتمالی را سرشکن کرده و لذا جواب‌ها پایدارتر نمایان خواهد شد.

بر اساس جداول ۴ و ۵، معادله‌ی ضریب تصحیح اول برای ایستگاه‌های سبزوار، کاشمر و مشهد، ضریب تصحیح دوم برای ایستگاه‌های قوچان و ضریب تصحیح سوم برای ایستگاه‌های تربت حیدریه و تربت جام و روش نسبت میانگین‌ها برای ایستگاه‌های سرخس، گناباد و نیشابور از اولویت بهتری برخوردار بودند. در حالی که در ایستگاه گلمکان نیازی به ضریب تصحیح نبوده و روش H-S از دیگر معادلات اصلاح شده‌ی آن، مناسب‌تر تشخیص داده شد (جدول ۶).

جدول ۶- بهترین روش تصحیح معادله‌ی هارگریوز-سامانی در ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک در استان خراسان رضوی

ردیف	نام ایستگاه	روش تصحیح
۱	تربت جام	معادله ضریب تصحیح سوم
۲	تربت حیدریه	معادله ضریب تصحیح سوم
۳	سبزوار	معادله ضریب تصحیح اول
۴	سرخس	تعیین نسبت میانگین
۵	قوچان	معادله ضریب تصحیح دوم
۶	کاشمر	معادله ضریب تصحیح اول
۷	گلمکان	هارگریوز - سامانی
۸	گناباد	تعیین نسبت میانگین
۹	مشهد	معادله ضریب تصحیح اول
۱۰	نیشابور	تعیین نسبت میانگین

جدول ۷- ایستگاه‌های تخیرسنجی مجاور هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک در استان خراسان رضوی

ردیف	ایستگاه سینوپتیک	ایستگاه‌های تخیرسنجی مجاور ایستگاه سینوپتیک
۱	تربت جام	ده منج، سنگان خواف، خیرآباد
۲	تربت حیدریه	فرهادگرد، صنوبر، بکاول
۳	سبزوار	مزیان، منبع شیرین
۴	سرخس	بزنگان، مزدوران، پل خاتون
۵	قوچان	فرخان، نیکجه، خرو، سنگ سوراخ، شه خالد
۶	کاشمر	درونه، مهنه
۷	گلمکان	دهنه شور، بار- اریه، قدیرآباد، ارداک، مارشک
۸	گناباد	باغ سنگان، جنت آباد، بشرویه، ایران باریت
۹	مشهد	سدکارده، زشک، سد طوق، ملک آباد، کرتیان
۱۰	نیشابور	محمدآباد، فدیشه

نجفی، پ.، م.، احتشامی و م.، ستار. ۱۳۷۸. مدل ارزیابی تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با استفاده از پارامتر درجه حرارت. مجموعه مقالات هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۲۳۹-۲۴۷.

نیازی، ج.، فولادمند، ح.، ر.، احمدی، س.، ح. و وزیری، ج.، ۱۳۸۴، محاسبه نیاز آبی و ضریب گیاهی محصول گندم در منطقه زرقان در استان فارس، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال ۹، شماره (۱). ص: ۸-۱.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration For Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 56, Rome, Italy.

Allen, R.G. and W.O. Pruitt. 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. J. of Irrig. and Drainage Engineering. 117(5):758-773 .

Amatya D.M., Skaggs R.W., and Gregory J.D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Proc. ASCE J. Irrig. Drain. Eng. 121 (6), 427-435 .

Bautista F. and D. Bautista. 2008., Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and sunhumid tropical climates for regional applications, Journal of Atmosphaera, 22(4), 331-348.

Berengena J., and Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 131 (2), 147-163 .

Castaneda, L. and P. Rao. 2005. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in southern California. Journal of Environmental Hydrology, Vol. 13, paper 1, pp: 58--70

Droogers, p., and R.G., Allen, 2002., Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrigation and Drainage J.16: 33-45.

Fooladmand H. R., and Haghghat M. 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET₀ based on Penman-Monteith method. Irr. Drain. 56: 439-449.

Fooladmand H.R., and Sepaskhah, A. R., 2005. Evaluation and Calibration of three evapotranspiration equations in a semiarid region. Iran-Water Resour Res. 1(2): 1-6

Fooladmand, H.R., Zandilak, H., Ravanan, M.H., 2010, Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran, Journal of Agronomy and Soil Science, 54(3), 321-330.

Gavilan, P., I.J. Lorite, S. Tornero and J. Berngena, 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference Et in a semiarid environment., Agric. Water Manage., 821: 257- 281

Hargreaves, G.H. and Allen, R.G. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage

طبق نتایج بدست آمده از این مطالعه، در ایستگاه گلکان روش هارگریوز-سامانی از دقت بالایی برخوردار بوده به گونه‌ای که هیچ یک از معادلات و روش تعیین نسبت میانگین نتوانست مقادیر دقیق تری از آن را نتیجه دهد.

به‌عنوان نتیجه‌ای کاربردی، محدوده‌ی تاثیر هر ایستگاه سینوپتیک توسط شبکه‌ی تیسن مشخص و ایستگاه‌های تبخیرسنجی در هر محدوده‌ی تاثیر به‌دست آمد.

مراجع

تفضلی، ف. ۱۳۸۵. ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق به تابش ورودی روزانه در شرایط اقلیمی همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

چهارنیکش اصل، س.، ع.ا. موحد دانش و و. مولوی، ۱۳۸۰. تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز، مجله دانش کشاورزی، ۱۱(۲):ص: ۳۸-۵۰

رحیمی خوب، ع.، بهبهانی، س.، م.، ر.، و نظری فر، م. ه.، ۱۳۸۵، بررسی استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی در معادله پنمن-مانتیت (مطالعه موردی: استان خوزستان)، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال ۱۲، شماره (۳). ص: ۵۹۱-۵۶۰.

رضایی، ع.، بختیاری، ب.، هوشیاری پور، ف.، دهقانی اناری، م. ۱۳۸۶. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از سنجش‌های لایسیمیتری (مطالعه موردی: شهر کرمان)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ص: ۱۲۱-۱۲۸

شریفان، ح.، ب. قهرمان، ا.، علیزاده، و س.م. میرلطیفی، ۱۳۸۵، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن، مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۳، شماره ۱. ص: ۳۷-۵۱

علیزاده، ا.، خانجانی، م.، ج.، تراز، ح.، رهنورد، م.، ر.، ۱۳۸۵، بررسی اثرات اصلاح داده‌های دما بر دقت محاسبات تبخیر-تعرق و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از لایسیمتر وزنی. مجله علمی پژوهشی جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۶، بهار و تابستان، ص: ۹۱-۹۹.

کوچک زاده، م. و بهمنی، ع.، ۱۳۸۴، ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در کاهش پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال ۱۱، شماره (۴). ص: ۸۷-۹۷.

- Saghravani, S.R., Sa'ari, M., Shaharin I., and Randjbaran, E., 2009., Comparison of daily and monthly results of three evapotranspiration models in tropical zone (A case Study)., American J. of Enviro. Sci., 5(6)., 698-705.
- Vanderlinden, K., Giraldez, J., V., and Van Meirvenne, M. (2004). Assessing Reference Evapotranspiration by the Hargeaves Method in Southern Spain., Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 130(3).
- Yoder, R. E. , Odhiambo, L. O. and Wright, W. C., 2005. Evaluation of Methods For Estimating Daily Reference Crop evapotranspiration at a Site In The Humid Southeast United States. J. of Applied Eng. Agri. 21(2)., 197-202.
- Engineering, 129(1): 53-63.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allan R. G.1990 .Evapotranspiration and Irrigation water requirement. ASCE Manual and Report on Engineering Practice No.70. ASCE, New York.
- Kouchakzadeh, M. and Nikbakht, J., 2004, Comparison of Different Methods to Estimate Reference vapotranspiration in Iran Different Climate with PMFAO Standard Method, Agricultural Sciences, 10(3): 43-57 .
- Sabziparvar, A.A., Tafazoli, F., Zare byaneh, H., Banejad, H., Mousavi Bayegi, M., Ghafouri,Salih, A.M. and Sendil, U., 1983, Evapotranspiration under Extremely Arid Environment,J. Irrig. Drain. Eng. 110(3): 289-303 .

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱

Optimum Correction Factor for Hargreaves– Samani Method for Determination of Reference Crop Evapotranspiration (Case study: Khorasan Razavi Province)

B. Ghahraman^{1*}, H. Sharifan², K. Davary³, I. Karimirad⁴

Abstract

Reference Crop Evapotranspiration (ET_o) is one of the most important component of hydrologic cycle. It is estimated either through lysimetry or by empirical equations. Hargreaves-Samani (H-S) is one of the simplest methods that needs only to temperature data (minimum and maximum daily) . The purpose of this paper is to find the best correction factor applying to H-S method that translates to the assumed true Fao Penman Monthis method for synoptic stations of Khorasan Razavi Province. Such a correction factor, however, is taken constant in nearly all of the published papers, which demands for local-nature. Here, it is considered as a function of those meteorological variables available at evaporation stations, considering temperature and humidity ones, and some regression equations were derived. The parameters of these equations, based on the results, were not constant for different synoptic stations, which confirms for non-constant correction factor .Different equations were ranked based on 7 different evaluation methods and the best equation was found for each synoptic station. Influence region for each synoptic station was determined and evaporation stations within each region were determined.

Keywords :Arid and semi-arid region, Evaporation station, Modeling, Synoptic station.

Received: 2-13-2013

Accepted: 12-21-2013

1- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author E-mail: bijangh@um.ac.ir)

2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources Sciences

3- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

4- Former Graduate Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources Sciences