همبستگی نمایه گرمابی سلیانینف با نرخ تبخیر و تعرق نیاز آبی برخی محصولات کشاورزی در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب ایران

علی‌اکبر سبزی‌پرور*، سجاد ابراهیم‌زاده و مهرانه خدامرادپور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۷)

چکیده

مهم‌ترین عامل در تخمین نیاز آبی گیاه تبخیر و تعرق می‌باشد. در اغلب روش‌های تعیین میزان تبخیر و تعرق، ابتدا با استفاده از یک سری فرمول‌های نسبتاً پیچیده، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه تعیین می‌شود. از جمله پارامترهای مورد استفاده در این روش‌ها، تابش، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا می‌باشند. متأسفانه در ایران و بسیاری از کشورها، داده‌های بلند مدت این پارامترها به سهولت در دسترس نمی‌باشند. هدف از این پژوهش محاسبه نمایه گرمابی سلیانینف، که فقط به داده‌های بارندگی و دمای روزانه احتیاج دارد، و ارزیابی ارتباط آن با تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی برخی محصولات نمونه در ایران می‌باشد. ابتدا نمایه سلیانینف برای مقادیر متوسط بارندگی و دمای روزانه (طی دوره آماری ۲۰ ساله) در فصل رشد محصولات کشاورزی محاسبه شد و با تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی، ارتباط داده شد. نتایج نشان دهنده معادلات نمایی و چند جمله‌ای درجه دوم معکوس و قوی بین پارامترهای همبسته بود. ضریب تعیین معادلات چند جمله‌ای درجه دوم (به‌طور متوسط ۰/۸۴) در تمام ۱۰ محصول بیشتر از ضریب تعیین معادلات نمایی (به‌طور متوسط ۰/۷۲) بود. همبستگی نمایه سلیانینف با نیاز آبی، نشان داد مقادیر ضریب تعیین، در هر دو نوع معادلات نزدیک به‌هم می‌باشد (متوسط۰/۸۳ برای معادلات چند جمله‌ای و ۰/۸۲ برای معادلات نمایی).

واژه‌های کلیدی: نیازآبی، تبخیر و تعرق، روابط همبستگی، نمایه گرمابی سلیانینف، ضریب گیاهی، ایران

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sabziparvar@yahoo.co.uk

مقدمه

بسیاری از نقاط جهان با کمبود آب روبرو هستند و با توجه به اینکه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه اغلب آب مصرفی در بخش کشاورزی برای تولید محصول مورد نیاز جمعیت آن کشور مصرف می‌شود، با محدود شدن منابع آب موضوع تولید محصولات کشاورزی مورد نیاز جمعیت با همین مقدار محدود آب از اهمیت خاصی برخوردار است. کشور ایران نیز مانند بسیاری از دیگر کشورهای مناطق خشک با کاهش منابع آب برای تأمین مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی مواجه است. در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از کل منابع آب تجدید شونده کشور را بخش کشاورزی به‌خود اختصاص داده است (۴). به این دلیل اهمیت مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی بیشتر از پیش مطرح می‌شود. یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می‌باشد که اساس آن، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان و در نتیجه برآورد تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد به‌منظور بهینه کردن مصرف آب، باید از میزان نیاز حقیقی گیاهان مطلع بود تا علاوه بر تأمین آب مورد نیاز گیاه و اجتناب از بروز تنش خشکی و کاهش عملکرد، از مصرف بیش از اندازه آب نیز جلوگیری شود (۵). بنا به تعریف نیاز آبی گیاه میزان آبی است که برای غلبه بر کاهش آب از طریق تبخیر و تعرق کافی باشد (۶).

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه تخمین تبخیر و تعرق و محاسبه نیاز آبی انجام شده است. موسوی بایگی و همکاران در مطالعه خود به برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی در استان خراسان پرداختند (۶). این مطالعه همبستگی بین مقدار تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع محاسبه شده به روش فائو پنمن- مانتیث در کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان‌رضوی و پارامترهای دمای هوا، تابش و ضریب رطوبتی، محاسبه و در نهایت یک معادله ساده شده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با این روش ارائه گردید. با توجه به نتایج مطالعه مذکور، مشخص شد که نزدیک‌ترین تخمین‌های انجام شده به داده‌های لایسیمتری از معادله فائو پنمن- مانتیث با اعمال ضرایب ماهانه (ضریب تعیین ۰/۹۹) و پس از آن با ضرایب سالانه (ضریب تعیین۰/۹۲) حاصل می‌شود. سبزی‌پرور و همکاران حساسیت مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق هارگریوز و فائو ۵۶ به بیشینه و کمینه دما را مورد ارزیابی قرار دادند و افزایش ۲۳ درصدی ET_o به‌ازای افزایش ۱۰ درصدی بیشینه دما در مدل PMF-۵۶ را مشاهده کردند (۴). نتایج آنها نشان داد به‌طور کلی حساسیت دو مدل ذکر شده نسبت به بیشینه دما بیشتر از کمینه دما بود. پور محمدی و همکاران به تعیین و پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور پرداخته و نقشه تبخیر و تعرق واقعی پوشش‌های مختلف سطح حوضه آبخیز منشاد در استان یزد را ارائه کردند (۱). درنهایت، ضمن مشخص شدن تغییرات مکانی تبخیر و تعرق صورت گرفته از کاربری‌های مختلف اراضی (بین ۲۷ تا ۱۱۷۴ میلی‌متر)، نتایج نشان دهنده تغییرات قابل توجه این عامل در کاربری‌های مختلف حوضه بود. بنابراین در مدیریت منابع آب، تخصیص حجم مشخص از آب حوضه به هر کاربری می‌تواند نقش قابل توجهی در صرفه‌جویی مصرف آب در کشاورزی داشته باشد. زارع ابیانه و همکاران به ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران پرداختند (۳). روش‌های محاسباتی شامل هفت روش ترکیبی بر پایه روش پنمن، دو روش دمایی، سه روش تشعشعی- دمایی و یک روش تشعشعی بودند. مناسب‌ترین روش محاسباتی از بین ۱۳ روش، در مقایسه با مقادیر تبخیرو تعرق لایسیمتری در هر اقلیم انتخاب شد. نتایج آنها نشان داد که روش‌های با پایه پنمن در اکثر مناطق ایران مناسب‌ترین روش برای برآورد ET_o به شمار می‌آیند. در ترسیم نقشه هم تبخیر و تعرق مرجع و پهنه‌بندی آن براساس نقشه‌های توپوگرافی رقومی نتایج پهنه‌بندی به روش کریجینگ، نشان داد میزان ET_o در ۲۳ درصد از مساحت ایران که در مناطق مرتفع شمال کشور قرار دارند، کمتر از ۴/۴۸ میلی‌متر در روز است. در مقابل، ۷۷ درصد از سطح کشور در پهنه ET_o بیش از این مقدار تا سقف ۱۰/۷ میلی‌متر در روز قرار

دارد. گرومزا و همکاران اولین تقسیم‌بندی نواحی براساس نیاز آب آبیاری را در رومانی گزارش کردند؛ اما مطالعه آنها محدود به بخش جنوبی کشور بود و درون‌یابی‌های مورد نیاز جهت استفاده در کل کشور صورت نگرفته بود (۷). پالتینئونو و همکاران به مطالعه ارتباط بین شاخص خشکی دومارتن و نیاز آبی برخی محصولات در رومانی پرداختند (۱۰). ایشان ضمن ارائه فرمول‌های مربوط به نمودارهای همبستگی بین شاخص دومارتن با تبخیر و تعرق و نیازآبی محصولات، نقشه پهنه‌بندی شاخص دومارتن در رومانی را نیز ارائه کردند. همچنین به تازگی مطالعات گوناگونی در زمینه استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌ویژه تصاویر ماهواره‌ای در تخمین تبخیرو تعرق و نیاز آبی انجام شده است (۸، ۱۳ و ۱۴) که علاوه بر لزوم داشتن دقت کافی در پیش پردازش‌های تصاویر و تصحیحات مناسب (از جمله تصحیح اتمسفری)، مدل‌ها و الگوریتم‌های معرفی شده در این زمینه نیز باید در هر منطقه به درستی واسنجی شوند. سبزی‌پرور و همکاران، در ایران، به واسنجی ضرایب مدل تخمین تابش آنگستروم- پرسکات که در روش برآورد تبخیر FAO۵۶ مورد استفاده قرار می‌گیرد، پرداختند (۹ و ۱۱). نتایج آنها نشان داد تخمین تبخیر و تعرق در مقیاس روزانه، در شرایطی که از ضرایب واسنجی شده در منطقه مورد مطالعه استفاده شود، ۷۲٪ بهبود می‌یابد.

در ایران مناطقی وجود دارند که در آنها داده‌های تابش، سرعت باد و رطوبت هوا برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دسترس نمی‌باشد ویا آمار بلند مدت این پارامترها موجود نیست. لذا برای محاسبه نیاز آبی، بسیاری از پارامترهای مورد نیاز تعیین تبخیر و تعرق، تخمین زده می‌شوند. در ایران هم تلاش‌های بسیاری برای تخمین پارامترهای مورد نیاز محاسبه تبخیر و تعرق شده است به‌عنوان مثال آماره تابش در بسیاری از ایستگاه‌های ایران به‌صورت محدود در دسترس است لذا فرمول‌های محاسبه تابش ابتدا در مناطق مختلف واسنجی شده و سپس از آنها برای تخمین تابش استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه ایجاد همبستگی بین نمایه گرمابی سلیانینف با نیار آبی برخی محصولات منتخب، به‌منظور یافتن روابطی ساده بین این پارامترها می‌باشد. این اطلاعات می‌تواند مورد استفاده کاربران به‌منظور ارزیابی میزان مصرف منابع آب، و همچنین مهندسین طراحی سیستم‌های آبیاری، قرار گیرد. نمایه گرمابی سلیانینف که در سال ۱۹۲۸ به‌منظور ارزیابی اقلیم کشاورزی در روسیه معرفی شد (۱۲)، از تقسیم میانگین جمع بارش سالانه (P) برحسب میلی‌متر و میانگین جمع سالانه واحدهای حرارتی(S) با آستانه بیولوژیکی ده درجه (درجه- روز) به‌دست می‌آید (۲).

مواد و روش‌ها

ایران کشور پهناوری است که در محدوده جغرافیایی ۲۵/۳ تا ۳۹/۴۷ درجه عرض شمالی و ۴۴/۵ تا ۶۳/۱۸ درجه طول شرقی قرار گرفته است و از نظر اقلیمی اغلب قسمت‌های آن در گروه اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارند. میزان بارش در گستره ایران بسیار متفاوت است و از مناطق پرباران نواحی ساحلی خزر تا مناطق مرکزی با بارندگی کم تغییر می‌کند. به‌علت تفاوت بارش و عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق در نواحی مختلف کشور، مقادیر مربوط به نیازآبی مقادیر متنوعی را دارا می‌باشد. کمبود منابع آب و راندمان نا کافی مصرف آن به‌ویژه در بخش کشاورزی از جمله مشکلات در زمینه مصرف آب کشور است. این مطالعه به‌منظور ارائه روابطی ساده جهت برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی و کمک به افزایش بهره‌وری و مدیریت منابع انجام شد. در این مطالعه از داده‌های ۳۶ ایستگاه هواشناسی که دارای حداقل ۲۰ سال آمار بودند استفاده شد (شکل ۱). نمایه گرمابی سلیانینف، به‌صورت نسبت مقادیر بارندگی (P) به مجموع درجه حرارت های بزرگ‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد در طول دوره مورد بررسی (ماه، فصل یا سال) به‌صورت زیر معادله (۱) تعریف می‌شود (۱۲):

$$HTC = \sum P(mm) / \sum T(^{\circ}C) for T > ۱۰^{\circ}C \quad (۱)$$

برای محاسبه این شاخص در ایستگاه‌های منتخب مقادیر متوسط بلند مدت بارندگی و همچنین متوسط بلند مدت

شکل ۱. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مطالعاتی

مجموع دمای میانگین روزانه بالاتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد و مقدار شاخص برای هر ایستگاه در طول دوره رشد گیاه (طول دوره رشد برای هر گیاه در هر ایستگاه متفاوت می‌باشد و این نکته در کلیه محاسبات درنظر گرفته شده است) مورد بررسی به‌دست آمد.

برای تعیین بارندگی مؤثر در تمام ایستگاه‌ها، از روش پیشنهادی فائو استفاده شد. در این روش باران مؤثر از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{eff} = ۰/۶ \times P - ۱۰ \quad for P \le ۷۰ mm \qquad (۲)$$

$$P_{eff} = ۰/۸ \times P - ۲۴ \quad for P > ۷۰ mm \qquad (۳)$$

که درآن P و P_{eff} به‌ترتیب مقدار کل بارندگی و مقدار بارندگی مؤثر برحسب میلی‌متر می‌باشند.

برای محاسبه تبخیر و تعرق از روش هارگریوز- سامانی با دوره ماهانه استفاده شد. در روش هارگریوز- سامانی به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل فقط به داده‌های دما و تابش نیاز است معادله (۴):

$$ET_{\circ} = ۰/۰۱۳۵(KT)(R_a)(TD)^{۰/۵}(TC + ۱۷/۸) \qquad (۴)$$

$$KT = ۰/۰۰۱۸۵(TD)^{۲} - ۰/۰۴۳۳TD + ۰/۴۰۲۳ \qquad (۵)$$

که در آن:

ET_0= تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر بر روز)،

TD= تفاوت دمای حداکثر و حداقل روزانه (سانتی‌گراد)،

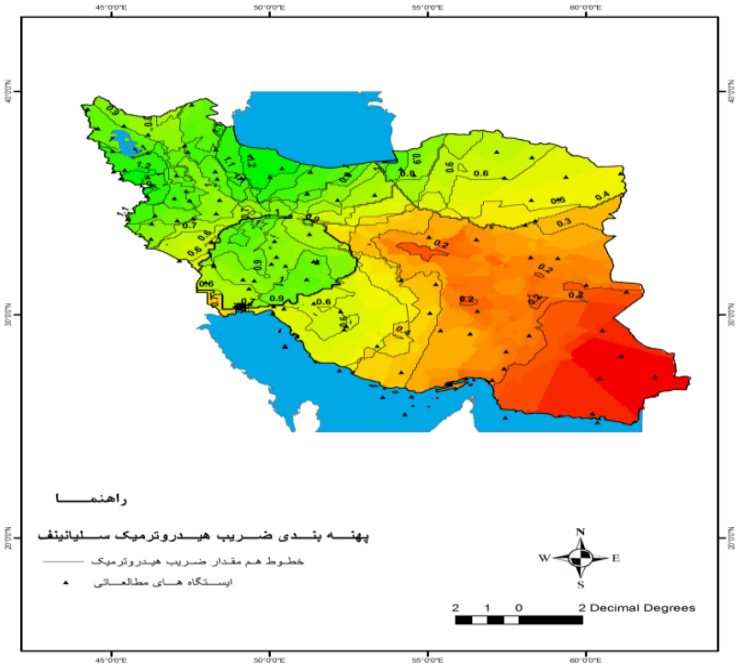
TC= متوسط دمای هوا (سانتی‌گراد)،

Ra= تابش برون زمینی، شدت تشعشعات آفتاب در سطح لایه خارجی جو (میلی‌متر بر روز) (میلی‌متر آب تبخیر پذیر)، که پس از محاسبه به روش پیشنهادی پنمن- مانتیث برحسب مگاژول بر مترمربع بر روز محاسبه و سپس به شرح زیر به میلی‌متر بر روز تبدیل شد:

$$\text{Equivalent} - \text{evaporation}[mm.day^{-۱}] = ۰/۴۰۸ \times \text{Radiation}\ [MJ.m^{-۲}.day^{-۱}]$$

KT= یک ضریب تجربی می‌باشد که تابش جهانی و تفاوت دما را مرتبط می سازد (معمولاً عددی مابین ۰/۱۳ تا ۰/۱۹محاسبه می‌گردد).

درنهایت تبخیر و تعرق پتانسیل با توجه به تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضرایب گیاهی (k_c) در طول دوره رشد برای ۱۰ محصول نمونه محاسبه شد و مقادیر نیاز آبی به‌عنوان تفاوت



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی نمایه گرمابی سلیانینف در طول دوره آماری ۲۰ ساله در گستره ایران

بارش مؤثر و میزان تبخیر و تعرق به‌دست آمد که در ادامه از آن به‌عنوان مقادیر محاسبه شده نام برده می‌شود. محصولاتی که مورد مطالعه قرار گرفتند عبارتند از: آفتابگردان، جو، پیاز، سیب، گلابی، گندم، گوجه‌فرنگی، سبزیجات، نخود و سیب‌زمینی فرض اولیه این بود که ۱۰ محصول فوق در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه کشت می‌شوند. به‌منظور استخراج روابط به مطالعه همبستگی نمایه سلیانینف با تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی هر ۱۰ محصول نمونه در سطح کشور پرداخته شد.

برای تحلیل نتایج علاوه بر رسم شکل، شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای نسبی (RE) محاسبه شدند (معادله‌های ۶ و ۷).

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{Q_i - P_i}{Q_i}\right|}{n} \times 100 \qquad (۶)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{n}\right]^{0.5} \qquad (۷)$$

که در آن P_i مقدار برآورد شده یا شبیه‌سازی شده، Q_i مقادیر مشاهده‌ای و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

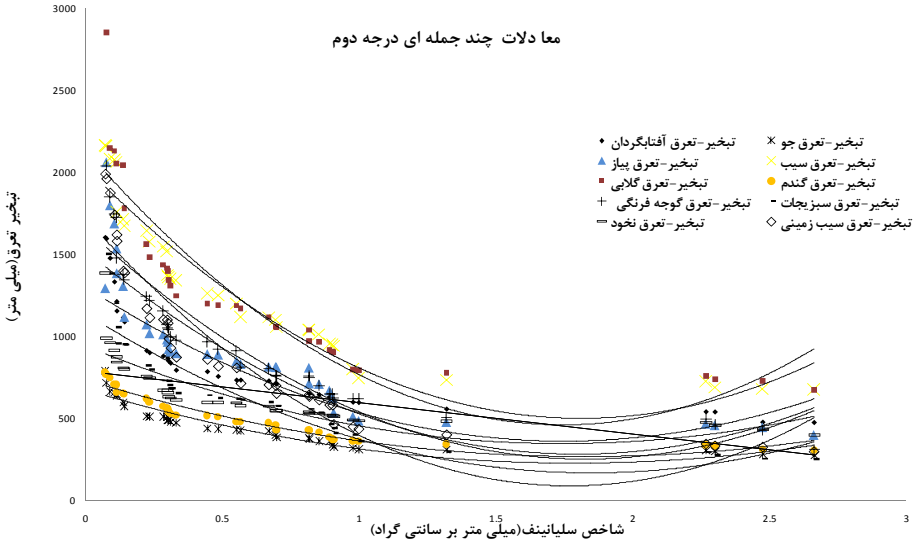
نتایج و بحث

در شکل (۲) خطوط هم مقدار نمایه سلیانینف در گستره ایران ارائه شده است. این نقشه پس از درون‌یابی مقادیر نمایه گرمابی سلیانینف در ۱۰۸ (تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی نمایه گرمابی ۱۰۸، و تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده جهت مطالعه ارتباط ان با تبخیر و تعرق ۳۶ عدد می‌باشد) ایستگاه که برای پهنه‌بندی این ضریب در گستره ایران مورد استفاده قرار گرفته است، با استفاده از نرم‌افزار ArcGis، به روش کریجینگ تهیه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود طبق محدوده نمایه سلیانینف جدول (۱)، از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی، نمایه گرمابی سلیانینف، بیشتر مناطق ایران در محدوده اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار دارند.

نمایه سلیانینف هفت طبقه اقلیمی را معرفی می‌کند که مقادیر نزدیک به صفر معرف اقلیم فراخشک هستند و هر چه

جدول ۱. حدود و طبقه‌بندی اقلیمی نمایه سلیانینف

محدوده شاخص	گروه اقلیمی
۰–۰/۲	فراخشک
۰/۲–۰/۴	خشک
۰/۴–۰/۷	نیمه‌خشک شدید
۰/۷–۱/۰	نیمه‌خشک میانه
۱/۰–۱/۳	نیمه‌خشک خفیف
۱/۳–۱/۶	نیمه مرطوب
>۱/۶	مرطوب

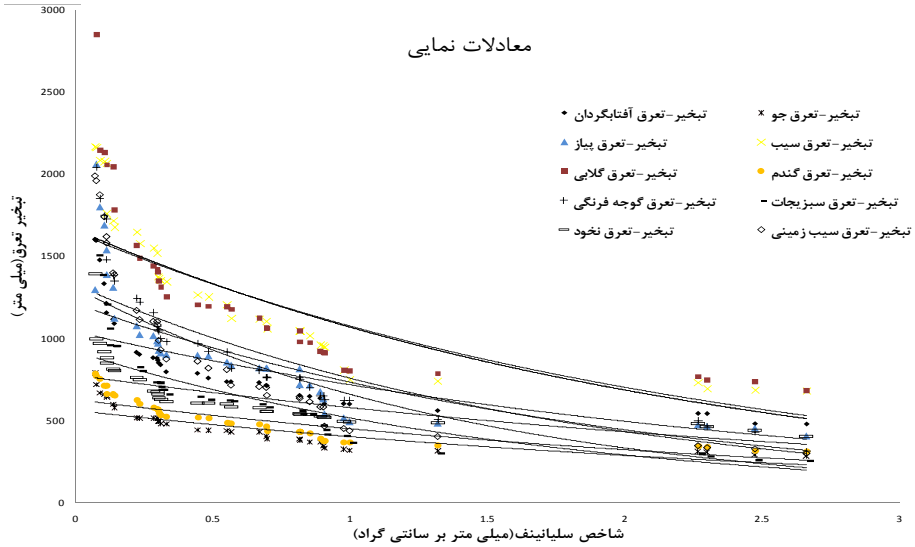


شکل ۳. تغییرات نمایه سلیانینف با تبخیر و تعرق کل هریک از محصولات در طول فصل رشد (معادلات چندجمله‌ای)

مقدار این شاخص از صفر فاصله می‌گیرد، از خشکی اقلیم کاسته شده و به رطوبت آن افزوده می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۳ معرف اقلیم‌های مرطوب هستند.

همبستگی بین نمایه سلیانینف و تبخیر و تعرق

همبستگی‌های بین نمایه سلیانینف و مقادیر تبخیر و تعرق در طول فصل رشد برای محصولات مورد مطالعه، محاسبه شدند. در این همبستگی مقادیر نمایه سلیانینف به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر تبخیر و تعرق به‌عنوان متغیر وابسته درنظر گرفته شدند. طبق نتایج حاصله معادلات رگرسیونی چند جمله‌ای درجه دوم و نمایی معکوس و قوی، بین پارامترهای همبسته مشاهده شد (شکل ۳ و ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقادیر شاخص، که علت آن می‌تواند افزایش باران یا کاهش دما باشد، مقادیر تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد. پارامترهای مربوط به معادلات شکل‌های (۳) و (۴) در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است. همان‌طور که از مقایسه جدول (۱) و (۲) مشاهده می‌شود، ضریب تعیین معادلات رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم (به‌طور متوسط ۰/۸۴) در تمام ۱۰ محصول بیشتر از ضریب تعیین معادلات نمایی (به‌طور متوسط ۰/۷۲) است که نشان می‌دهد معادلات چند جمله‌ای، تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق را بهتر توجیه می‌کنند. ضرایب تعیین معادلات استخراجی در این تحقیق در مقایسه با مطالعه پالتینینو و همکاران، مقادیر کمتری را دارا می‌باشند. پالتینینو و همکاران در بررسی ارتباط تبخیر و تعرق با شاخص دومارتن مقادیر ضریب تعیین



شکل ۴. تغییرات نمایه سلیانینف با تبخیر و تعرق کل هریک از محصولات در طول فصل رشد (معادلات نمایی)

جدول ۲. آماره‌های معادلات رگرسیونی چند جمله‌ای درجه دوم تبخیر و تعرق گیاه و ضرایب سلیانینف

معادلات چندجمله‌ای $y=a*x^2+b*x+c$				
نام محصول	a	b	c	R^2
آفتابگردان	۳۰۷/۱	-۱۰۷۳	۱۳۰۰	۰/۷۸۳
جو	۱۳۸/۹	-۴۹۵/۴	۶۷۳/۲	۰/۸۹۴
پیاز	۳۸۱/۹	-۱۳۷۵	۱۵۲۲	۰/۷۸۸
سیب	۴۶۶/۸	-۱۶۸۸	۲۰۲۹	۰/۹۱۸
گلابی	۵۵۰/۲	-۱۹۱۸	۲۱۳۲	۰/۸۲۵
گندم	۱۴۰/۴	-۵۱۱/۸	۷۳۵/۶	۰/۹۳۷
گوجه‌فرنگی	۴۲۱/۲	-۱۵۳۷	۱۶۵۹	۰/۸۵۷
سبزیجات	۲۸۳/۹	-۱۰۴۸	۱۱۳۸	۰/۸۱۸
نخود	۱۹۶/۳	-۶۸۳/۵	۹۴۲/۸	۰/۷۱۵
سیب‌زمینی	۵۲۰/۵	-۱۸۴۰	۱۷۱۷	۰/۸۸

X: نمایه سلیانینف به‌عنوان متغیر مستقل و Y: تبخیر و تعرق به‌عنوان متغیر وابسته

بیشتر از ۰/۹۱ برای محصولات زراعی و باغی به‌دست آوردند.

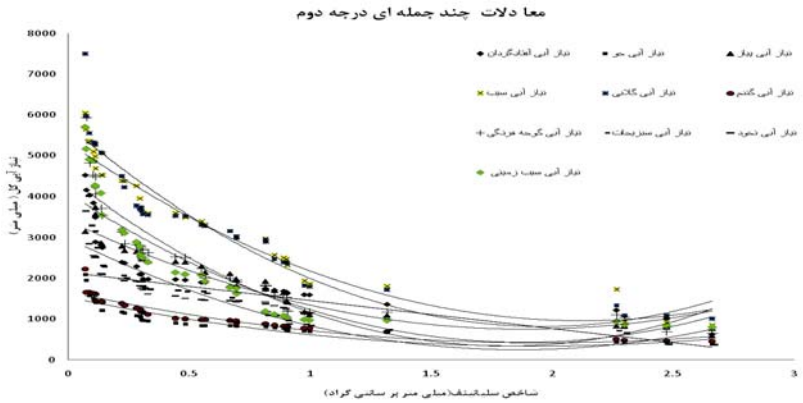
همبستگی بین نمایه سلیانینف و نیاز آبی

همچنین همبستگی‌های مقادیر نیاز آبی کل در طول فصل رشد برای محصولات نمونه، با مقادیر نمایه سلیانینف محاسبه شد. نتایج حاصله نشان داد که در این همبستگی‌ها نیز معادلات رگرسیونی قوی، بین نیاز آبی کل و نمایه سلیانینف، هم از نوع نمایی و هم از نوع چندجمله‌ای وجود دارد. شکل(۵) و شکل(۶) همبستگی بین نیاز آب آبیاری ۱۰ محصول نمونه و نمایه سلیانینف را نمایش می‌دهند. همان‌طور که مشاهده

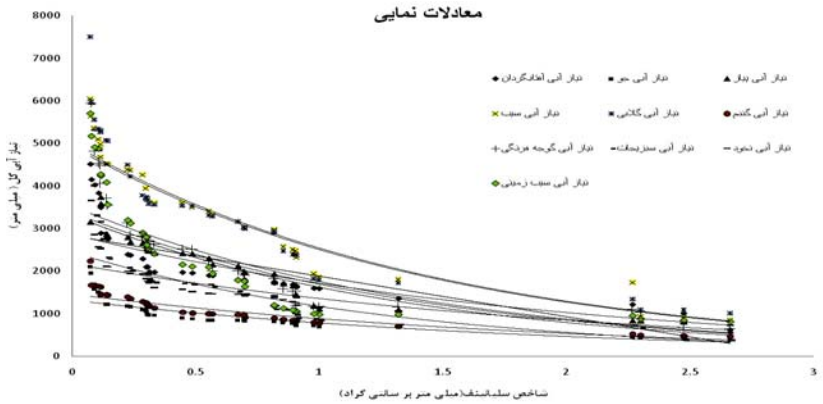
جدول ۳. آماره‌های معادلات رگرسیونی نمایی تبخیر و تعرق گیاه و ضرایب سلیانینف

معادلات نمایی $y = a*e^{b*x}$			
نام محصول	a	b	R^2
آفتابگردان	۱۰۳۷	-۰/۳۷	۰/۶۴۷
جو	۵۵۹/۷	-۰/۳۳۸	۰/۷۰۱
پیاز	۱۲۱۰	-۰/۵	۰/۷۱۹
سیب	۱۶۶۱	-۰/۴۴	۰/۷۵۵
گلابی	۱۶۴۷	-۰/۴۲	۰/۶۶۹
گندم	۶۲۴/۲	-۰/۳۳	۰/۷۴۳
گوجه‌فرنگی	۱۳۲۶	-۰/۵۶	۰/۷۹۷
سبزیجات	۹۱۶/۹	-۰/۵۸	۰/۸۰۱
نخود	۷۷۲/۷	-۰/۲۹	۰/۵۹۴
سیب‌زمینی	۱۳۰۹	-۰/۶۹	۰/۷۸۵

X: نمایه سلیانینف به‌عنوان متغیر مستقل و Y: تبخیروتعرق به‌عنوان متغیر وابسته



شکل ۵. تغییرات نمایه سلیانینف با نیاز آبی کل هر یک از محصولات در طول فصل رشد (معادلات چند جمله‌ای درجه دوم)



شکل ۶. تغییرات نمایه سلیانینف با نیاز آبی کل هر یک از محصولات در طول فصل رشد (معادلات نمایی)

جدول ۴. آماره‌های معادلات رگرسیونی نمایی نیاز آبی گیاه و ضرایب سلیانینف

معادلات نمایی $y = a \times e^{b \times x}$			
نام محصول	a	b	R^2
آفتابگردان	۲۸۴۹	−۰/۵	۰/۷۷
جو	۱۳۱۲	−۰/۵۱	۰/۸۳
پیاز	۳۳۷۵	−۰/۶۹	۰/۸۳
سیب	۴۹۳۹	−۰/۶۸	۰/۹۲
گلابی	۵۰۱۹	−۰/۶۸	۰/۸۹
گندم	۱۴۶۰	−۰/۵	۰/۸۷
گوجه‌فرنگی	۳۵۲۶	−۰/۶۹	۰/۸۱
سبزیجات	۲۴۴۸	−۰/۷۳	۰/۸۴
نخود	۲۱۷۳	−۰/۴۷	۰/۸۰
سیب‌زمینی	۳۳۳۴	−۰/۷۲	۰/۶۸

جدول ۵. آماره‌های معادلات رگرسیونی چند جمله‌ای درجه دوم نیاز آبی گیاه و ضرایب سلیانینف

معادلات چند جمله‌ای $y = a \times x^2 + b \times x + c$				
نام محصول	a	b	c	R^2
آفتابگردان	۷۳۳/۹	−۲۷۷۸	۳۳۹۱	۰/۷۳
جو	۳۱۷/۴	−۱۲۲۷	۱۵۳۵	۰/۷۸
پیاز	۱۰۱۹	−۳۸۴۴	۴۰۶۵	۰/۷۴
سیب	۹۶۷/۹	−۴۱۱۳	۵۳۳۰	۰/۹۳
گلابی	۱۲۸۵	−۵۰۴۰	۵۷۶۲	۰/۸۹
گندم	۳۲۷/۵	−۱۲۸۷	۱۶۷۸	۰/۸۸
گوجه‌فرنگی	۱۲۴۹	−۴۵۳۲	۴۴۵۲	۰/۸۵
سبزیجات	۷۷۹	−۲۹۷	۲۹۶۷	۰/۸۴
نخود	۵۴۹	−۲۰۷۴	۲۵۹۶	۰/۸۰
سیب‌زمینی	۱۶۴۷	−۵۶۰۲	۴۷۲۰	۰/۸۹

می‌شود در مورد همبستگی نمایه سلیانینف با نیاز آبی متوسط مقادیر ضریب تعیین معادلات همبستگی در هر دو نوع معادلات نزدیک به هم است (متوسط ۰/۸۳ برای معادلات چند جمله‌ای و متوسط۰/۸۲برای معادلات نمایی). نتیجه می‌شود که هر دو نوع معادله بیشتر از ۸۰ درصد تغییرات مقادیر نیاز آبی را توجیه می‌کنند. پالتینینو و همکاران (۱۳) همبستگی بین نیاز آبی و شاخص دومارتن را مورد بررسی قرار دادند و ضرایب تعیین معادلات آنها بیشتر از ۰/۹۹ حاصل شد. البته در مورد معادلات استخراجی آنها در مورد تبخیر و تعرق و نیاز آبی این نکته قابل ذکر است که ایشان معادلات را به‌صورت چند جمله‌ای درجه سوم بیان کردند که احتمالاً افزایش درجه معادلات به افزایش ضرایب تعیین منجر شده است.

صحت‌سنجی معادلات

به‌منظور ارزیابی معادلات حاصله از همبستگی‌ها، از مقادیر تبخیر و تعرق و نیاز آبی هر ده نوع محصول که محاسبه شده در ۱۰ ایستگاه که در مرحله استخراج معادلات دخالت داده نشده بودند، استفاده شد. پارامترهای آماری محاسبه شده جهت ارزیابی معادلات در جدول (۶) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که علیرغم اینکه

جدول ۶. پارامترهای آماری حاصل از ارزیابی معادلات رگرسیونی

نام محصول	نوع معادله	درصد خطای نسبی ٪	جذر میانگین مربعات خطا (میلی‌متر)
آفتابگردان	نمایی	۱۰/۵	۳۱۱/۲
	چند جمله‌ای	۲۲/۱	۵۷۱/۳
جو	نمایی	۳۱/۶	۲۴۹/۵
	چند جمله‌ای	۱۰۲/۸	۳۱۳/۶
پیاز	نمایی	۴۰/۷	۵۸۳/۵
	چند جمله‌ای	۴۸/۶	۷۲۲/۳
سیب	نمایی	۳۸/۱	۱۰۲۴
	چند جمله‌ای	۴۱	۱۳۴۰
گلابی	نمایی	۳۴	۷۱۱
	چند جمله‌ای	۳۲/۷	۸۴۵/۶
گندم	نمایی	۲۱/۱	۲۳۵/۱
	چند جمله‌ای	۲۶/۶	۲۴۸/۳
گوجه‌فرنگی	نمایی	۵۹/۱	۶۹۷/۶
	چند جمله‌ای	۸۱	۷۱۸
سبزیجات	نمایی	۶۶/۵	۲۸۷/۸
	چند جمله‌ای	۲۰۲/۶	۱۸۲۱/۲
نخود	نمایی	۳۴	۴۸۳/۴
	چند جمله‌ای	۳۳/۲	۵۳۲/۲
سیب‌زمینی	نمایی	۹۲/۱۲	۵۰۴/۶
	چند جمله‌ای	۱۲۸/۶	۹۲۶/۹

معادلات همبستگی مربوط به معادلات چند متغیره درجه دوم هم در مورد تبخیر و تعرق و هم نیاز آبی، دارای ضریب تعیین بیشتری نسبت به معادلات نمایی بودند اما مقدار نیاز آبی که توسط معادلات چند جمله‌ای برآورد شده است اختلاف بیشتری با مقادیر واقعی در مقایسه با مقادیر برآورد شده از معادلات نمایی دارند. در معادلات نمایی بیشترین درصد خطای نسبی در حدود ۹۲ درصد مربوط به سیب‌زمینی می‌باشد و به غیر از آن به نظر می‌رسد برای دیگر محصولات درصد خطای نسبی اغلب کمتر از ۴۰ درصد می‌باشد. اما در معادلات چندجمله‌ای بیشترین مقدار درصد خطای نسبی حدود ۲۰۲ درصد مربوط به سبزیجات است که نشان دهنده تفاوت زیاد مقادیر محاسبه شده و برآورد شده می‌باشد. هر چند در سایر محصولات این اختلافات کمتر است اما در مجموع به نظر می‌رسد معادلات نمایی دارای خطای نسبی به مراتب کمتری نسبت به معادلات چند جمله‌ای هستند. همچنین در معادلات نمایی جذر میانگین مربعات خطا به‌طور متوسط در حدود ۵۰۸ میلی‌متر است که این شاخص در مورد معادلات چند جمله‌ای به‌طور متوسط ۸۰۳ میلی‌متر می‌باشد که این مقایسه هم نشان می‌دهد معادلات نمایی به مراتب مناسب‌تر می‌باشند. در مطالعه پالتینینو و همکاران (۱۰)، در مورد تبخیر و تعرق طول فصل رشد، بیشترین اختلاف برای ذرت در حدود ۱۶۴ میلی‌متر و در مورد نیاز آبی بیشترین اختلاف برای یونجه در حدود ۲۵۸ میلی‌متر مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه استخراج روابطی ساده از همبستگی‌های

بین مقادیر نیازآبی و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان زراعی و باغی با نمایه گرمابی سلیانینف، به‌منظور تخمین سریع و قابل قبول نیازآبی برای استفاده در مدیریت منابع آب به‌ویژه در مناطقی که در آنها پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه نیاز آبی و تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های متداول امکان‌پذیر نیست، بود. نتایج نشان دهنده معادلات نمایی و چند جمله‌ای درجه دوم قوی بین پارامترهای همبسته بود. میانگین ضریب تعیین معادلات رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم (R^2 =۰/۸۴) در تمام ۱۰ محصول بیشتر از میانگین ضریب تعیین معادلات نمایی (R^2 =۰/۷۲) به‌دست آمد که نشان می‌دهد در معادلات چند جمله‌ای، نمایه سلیانینف، تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق را بهتر توجیه می‌کنند. هر چند در معادلات حاصل شده از همبستگی‌ها مقادیر ضریب تعیین قابل قبولی هم در مورد تبخیر و تعرق و هم نیازآبی مشاهده شد، اما اختلاف قابل توجهی بین مقادیر محاسبه شده و برآورد شده دیده می‌شود که ممکن است استفاده از این معادلات را زیر سوال ببرد. این اختلافات زیاد ممکن است به‌علت استفاده از یک معادله برای کل ایستگاه‌های کشور به‌وجود آمده باشد. لذا به نظر می‌رسد استخراج معادله‌ای برای هر منطقه با توجه به ویژگی‌های اقلیمی آن منطقه می‌تواند به افزایش دقت معادلات کمک کند. این روابط می‌تواند به طراحان سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزان در برآورد مقادیر نیاز آبی محصول (CWR) با استفاده از نمایه سلیانینف و ارزیابی منابع آب در مناطق و اقلیم‌هایی مثل ایران که در آنها داده‌های بلند مدت دو پارامتر دما و بارندگی به سهولت در دسترس می‌باشند، کمک کند.

منابع مورد استفاده

۱. پورمحمدی، س.، م. ت. دستورانی، م. ح. مختاری و م. ح. رحیمیان. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۱۳: ۳۰-۲۱.

۲. خلیلی، ع.، ع. درویش صفت، ر. برادران راد و ج. بذر افشان.۱۳۸۳. پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط GIS (مطالعه موردی: شمال غرب ایران). مجله بیابان ۹(۲): ۲۳۸-۲۲۷.

۳. زارع ابیانه، ح.، م. بیات ورکشی، ع. الف. سبزی پرور، ص. معروفی و ع. قاسمی. ۱۳۸۹. ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۴ : ۱۱۰-۹۵.

۴. سبزی‌پرور، ع. الف.، س. سلیمانی، ش. میر مسعودی. ۱۳۸۹. ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد تبخیروتعرق فائو ۵۶ و هارگریوز به پارامترهای بیشینه و کمینه دمای هوا در نواحی مرطوب شمال کشور. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (گرگان) ۱۷(۳): ۲۴-۱.

۵. قهرودی تالی، م. ۱۳۹۰. مدیریت آب با پهنه‌بندی نیاز آبی گیاهان(مطالعه موردی:کشت گردو در استان تهران). پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور. کرمان . انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران. اسفند۱۳۹۰.

۶. موسوی بایگی، م.، م. عرفانیان، م. سرمد.۱۳۸۷. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳(۱): ۹۹-۹۱.

7. Grumeza, N. and Cr. Kleps. 2005. Irrigation designs in Romania. Ed. Ceres, Bucharest, Romania.
8. Kustas, W. P., J. M. Norman. 2009. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. J. Hydrological Sci. 41: 495-516.
9. Mousavi, R., A. A. Sabziparvar, S. Marofi, N. A. Ebrahimi and M. Heydari. 2013. Calibration of the angstrom-prescott solar radiation model for accurate estimation of reference evapotranspiration in the absence of observed

solar radiation. Theor. Appl. Climatol. 119: 43-54.
10. Paltineanu, N., E. Tanasescu and I. F. Mihailescu. 2006. Relationships between the DeMartone aridity index and water requirements of some representative crops: A case study from Romania. Int. Agrophysics 21: 81-93.
11. Sabziparvar, A. A., R. Mousavi, S. Marofi, N. A. Ebrahimi and M. Heydari.2013. An improved estimation of the angstrom-prescott radiation coefficients for the FAO56 penman-monteith evapotranspiration method. Water Resour. Manage. 27: 2839-2854 .
12. Selianinov, G. T. 1928. On agricultural climate valuation (in Russian). Proc. Agric. Meteor. 20: 165-177.
13. Ray, S. S., V. k. Dadhwal. 2001. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS, Agric. Water. Manage. 49: 239-249.
14. Zhang, l., R. Lemeur, J. P. Goutorbe. 1995. A one-layer resistance model for estimating regional evapotranspiration using remote sensing data. Agric. Forest. Meteorol. 77: 241-261.

J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 21, No. 4, Winter 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Correlation of Selianinov Hydrothermal Coefficient with Reference Evapotranspiration and Crop Water Requirement for Some Selected Crops and Different Weather Sites of Iran

A. A. Sabziparvar*, S. Ebrahimzadeh and M. Khodamoradpour[1]

(Received: May 26-2014; Accepted: April 16-2017)

Abstract

The most important factor in determining crop water requirement is estimation of evapotranspiration (ET). Majority of the methodsestimate ET apply series of relatively complex formula,which is then used to determine crop evapotranspiration (ETc). The parameters used in aforesaid methods are: Solar radiation, wind speed, humidity, etc. Unfortunately, in Iran and many countries, long-term records of these parameters are not readily available. The purpose of this study is to calculate the Selianinov Hydrothermic Index that merely requires daily temperature and precipitation data in order to determine correlation coefficients (r) versus ET and Crop Water Requirement (CWR) of some agricultural crops of Iran. First, the Selianinov index is calculated from daily precipitation and temperature during the growth season. Further, the results are correlated against both ETc and CWR. The model results indicate inverse (negative) strong exponential and polynomial relations between the dependent and independent variables. Coefficient of determination (R2) for polynomial equations (on average 0.84) in all crops was better than exponential equations (on average 0.72). Correlation between Selianinov index and CWR indicates that coefficient of determination in both equations was close together (0.83 for polynomial equations and 0.82 for exponential equations).

Keywords: Correlation equations, Crop coefficient, Crop water requirement, Evapotranspiration, Iran, Selianinov Hydrothermal Index.

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Bu-ali Sina Univ., Hamedan. Iran.
*: Corresponding Author, Email: swsabzi@basu.ac.ir