فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۳۷ ، تابستان ۹۵

برآورد نیاز آبی محصول سیب زمینی در اقلیم تربت حیدریه و تخمین تبخیر و تعرق واقعی براساس تبخیر و تعرق مرجع

غلامعباس فلاح قالهری[۱]

محمد باعقیده[۲]

حسن رضایی[۳]*

Rezaei_hasan63@yahoo.com

چکیده

سیب‌زمینی از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارد و به دلیل عملکرد بسیار بالا در واحد سطح انرژی و مقدار پروتئین تولیدی در واحد سطح سیب زمینی بیش از گندم و برنج می باشد. برای افزایش مساحت مزارع زیرکشت، کاهش تلفات آب لازم می‌باشد. یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می باشد که اساس آن را برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد. معادلاتی که برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می شوند، پارامترهای اقلیمی یکسانی را به کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آن‌ها برای تمام شر ایط اقلیمی مناسب نیستند. به همین دلیل لازم است که معادله مناسب هر منطقه مشخص شود. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی تربت حیدریه، مقدار تبخیر و تعرق گیاه واقعی با اعمال ضریب اصلاحی (بایگی) محاسبه شده و با روش فائو پنمن – مانتیث (تبخیر و تعرق مرجع) مورد مقایسه قرارگرفتند. نتایج نشان داد میزان تبخیر و تعرق ۲/۶۳ برابر میانگین بارندگی در فصل رویش است. مفهوم این است که گیاه از رطوبت ذخیره شده برای تبخیر و تعرق استفاده نموده است. بدین ترتیب برای جبران تخلیه رطوبتی باید گیاه آبیاری گردد. نیاز آبیاری گیاه سیب‌زمینی با مدل کراپ وات از اول کاشت تا برداشت محصول ۸۰۳/۱ میلی‌متر و میزان آبیاری که این کاهش رطوبت را جبران کند، ۷۴۱/۹ میلی متر به دست آمده است.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، نیازآبی، سیب زمینی، تربت حیدریه.

۱- استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۲- استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۳- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری سبزوار، ایران*(مسؤول مکاتبات).

مقدمه

بخش کشاورزی از دیدگاه ویژگی‌های ساختاری و نقش برجسته‌ای که در فرایند توسعه کشور بازی می‌کند، از اهمیت بسیار برخوردار است. این در حالی است که فعالیت در بخش کشاورزی، یکی از پرمخاطره‌ترین فعالیت‌های اقتصادی است.

تولید و سود بخشی کشاورزی وابستگی بالایی به الگوهای هوایی و شرایط اقلیمی دارا می‌باشد در ۵۰ سال اخیر دانشمندان و متخصصان جهان روش‌های کم و بیش تجربی بسیاری برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از متغیرهای اقلیمی مختلف معرفی کرده‌اند. این روش‌ها اغلب، به واسنجی‌های محلی بسیار دقیق نیازمند هستند و در شرایط مختلف اعتبار محدودی دارند. ارزیابی دقت روش‌های تحت شرایط جدید مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است (۱). گیاهان در طی فرآیند تعرق، آب را مصرف می‌کنند، همچنین مصرف آب به صورت تبخیر از سطح خاک نیز صورت می‌گیرد.

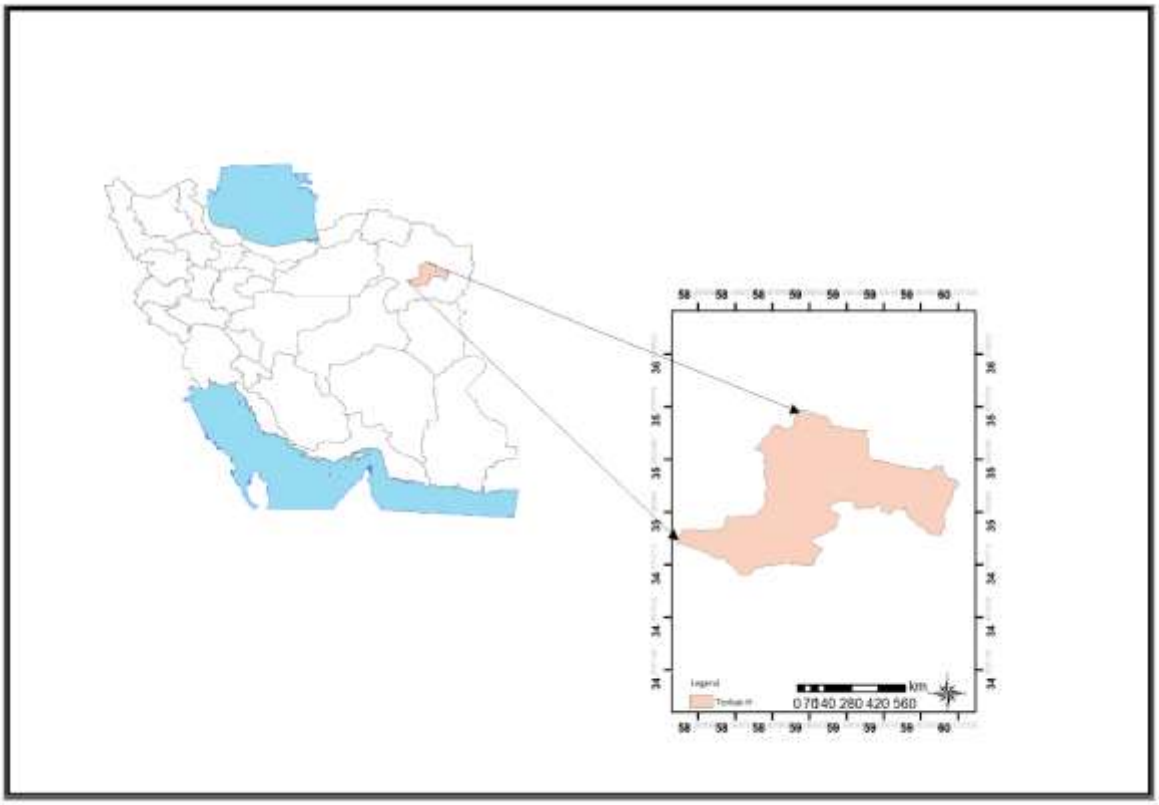
ترکیب دو فرآیند مجزا، تبخیر آب از سطح خاک و تعرق از گیاه را تبخیر و تعرق می‌نامند. برای برآورد فرآیند تبخیر، عامل‌های اقلیمی نظیر تشعشع خورشیدی، دمای هوا (حداکثر و حداقل)، درصدرطوبت هوا (حداکثر و حداقل) یا درجه نقطه شبنم و سرعت باد در نظر گرفته می‌شوند. در این فرآیند میزان سایه اندازی تاج پوشش گیاهی و مقدار آب موجود در سطح تبخیر، از عوامل مؤثر بر فرآیند تبخیر محسوب می شوند (۲و۳). فرآیند تعرق، مانند تبخیر به طور مستقیم به عواملی مانند ذخیره انرژی، شیب فشار بخار و باد بستگی دارد. در ابتدای رشد گیاه آب را عمدتاً از طریق تبخیر از سطح خاک از دست می دهد. به عبارتی در مرحله اول رویش، تقریباً ٪۱۰۰ تبخیر و تعرق به صورت تبخیر صورت می‌گیرد. در مرحله رشد و توسعه گیاه و کامل شدن تاج پوشش گیاهی که گیاه تمامی سطح خاک را می پوشاند، بیش از ٪۹۰ آن به صورت تعرق می باشد (۴). پس تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم های آبیاری ضروری است. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می شود، از عوامل اساسی در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیش‌تر است. همچنین در طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، برآورد تبخیر و تعرق نقش مهمی دارد در اغلب روش هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارایه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و تخمین زده می شود و سپس از روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (۵). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (۶). روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد که هر کدام با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آنها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی های محلی به دست آمده‌اند و معلوم شده است که اعتبار جهانی محدود دارند (۵). از بین روش های تجربی متعدد ارایه شده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، در سال ۱۹۹۰ ازسوی کمیسیون بین المللی آبیاری و زه‌کشی (ICID) و سازمان خوار و بار جهانی روش فائو پنمن - مانتیث به عنوان تنها روش (FAO) استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روی داده های اقلیمی و هم چنین برای ارزیابی سایر روش ها پیشنهاد شده است (۷). این روش نیازمند داده های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارایه می کند (۲). در تحقیق صالح و همکاران (۸) در عربستان مشخص شده است که در مناطق خشک و نیمه خشک، دو پارامتر دما و تشعشع خورشیدی نقش اساسی را بر تبخیر و تعرق ایفا می‌کنند و سایر عوامل در درجه دوم اهمیت قرار دارند. همچنین شیه (۹) نتیجه گرفته است که در تخمین روزانه و ماهانه تبخیر و تعرق، دو پارامتر مذکور به تنهایی تقریباً همان

عددی را نتیجه می‌دهند که استفاده از سایر پارامترهای دیگر می‌دهد. این روش در ایران نیز توسط محققانی مانند یاراحمدی (۱۰) در رساله دکتری خود به ادغام تصاویر ماهوارهای، GIS و مدل کراپ وات برای تخمین تعادل آب در نواحی تحت آبیاری سلماس و تسوج در شمال دریاچه ارومیه پرداخت. وی در این پژوهش از مدل کراپ وات برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی و نیاز خالص آبیاری بر اساس داده‌های اقلیم محلی و استخراج داده‌ای محصول از پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. نیشابوری و همکاران (۱۱) به منظور ارزیابی روش‌های پیشنهادی فائو برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در منطقه کرکج تبریز مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از تشت تبخیر را با مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده به وسیله روش های پنمن، بلینی- کریدل اصلاح شده، تابش و پنمن- مانتیث مقایسه کردند. با توجه به مشکلات نصب و ابقای تشت تبخیر در مرحله اول روش پنمن مانتیث و سپس روش بلینی-کریدل اصلاح شده از دقت مناسبی برای برآورد تبخیر- تعرق در منطقه مطالعه شده برخوردارند. مهاجرانی و همکاران (۱۲) در مقاله‌ای به برآورد نیاز آبی گندم توسط مدل کراپ وات در شهرستان کردکوی، استان گلستان پرداختند، آنان بدین منظور از فرمول پنمن- مونتیث فائو برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه گندم استفاده کردند. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل کراپ وات نیاز آبی گندم دیم در ایستگاه گرگان (شهرستان کردکوی) برابر ۳۴۱/۶۹ به دست آمده و همچنین تبخیر- تعرق گیاه گندم در ایستگاه گرگان ۴۸۶/۱۷ میلی‌متر در طول دوره مورد نظر به دست آمده است. ضیاء تباراحمدی (۱۳) برای ترسیم خطوط هم تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه در مازندران، نیکبخت و همکاران (۱۴) برای مقایسه آن با چند روش دیگر برآورد ET_0 در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران و بایگی و همکاران (۱۵) برای ایستگاه‌های استان خراسان رضوی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به تأثیر عوامل مختلف در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، برآورد دقیق این پارامتر اگر غیر ممکن نباشد کار بسیار مشکلی است. روش‌های اندازه گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دو گروه (مستقیم و غیر مستقیم) محاسباتی تقسیم می شوند. در روش مستقیم در واقع بخش کوچک و کنترل شده ای از مزرعه مجزا شده و میزان تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. به این بخش کوچک که ارتباط رطوبتی با خاک اطراف ندارد لایسیمتر گویند. در روش های غیرمستقیم از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از طریق ارتباط آن‌ها با تبخیر و تعرق و معادلاتی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود. از نظر علمی روشی مطلوب‌تر است که اولاً آسان بوده و ثانیاً نتایج حاصله از آن واقعی‌تر باشند. در این تحیق به بررسی نیازآبی سیب‌زمینی و محاسبه تبخیر و تعرق واقعی از تبخیر و تعرق پتانسیل در یک دوره ۲۰ساله در ایستگاه سینوپتیک تربت حیدریه پرداخته شده است.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه:

شهر موقعیت تربت حیدریه از نظر موقعیت جغرافیایی۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی واقع شده‌است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰/۸ متر می‌باشد (شکل ۱). موقعیت تربت حیدریه در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. در طی یک دوره آماری (۱۹۹۲- ۲۰۱۲) حاصل از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک موقعیت تربت حیدریه متوسط بارش منطقه ۲۶۷/۷میلی‌متر است که حداقل آن در مرداد ماه با ۰/۴ میلی‌متر و حداکثر آن در ماه اسفند با ۵۴/۴ میلی‌متر است. طبق گزارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، متوسط سالانه درجه حرارت ۱۴/۳سانتی‌گراد و حداقل دما در دی ماه برابر با ۴/۵- و حداکثر آن ۳۳/۵ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه مشخص شده است. متوسط رطوبت نسبی ۴۵ درصد حداقل و حداکثر رطوبت ثبت شده به ترتیب برابر با ۲۰ و ۸۶ درصد می باشد (۱۶). بر اساس روش طبقه بندی اقلیمی دومارتن این شهر دارای اقلیمی از نوع خشک می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان رضوی در کشور ایران

معادله فائو -پنمن-مانتیث

در سال ۱۹۴۸، پنمن رابطه موازنه انرژی را با روش انتقال جرم ترکیب و معادله‌ای برای محاسبه تبخیر از سطح آب آزاد با استفاده از داده‌های استاندارد هواشناسی شامل ساعات آفتابی، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد را ارایه کرد .این روش که به نام روش ترکیبی معروف است، توسط محققان بسیاری توسعه داده شد و با معرفی ضرایب مقاومت به سطح کشت گیاهان تعمیم یافت (۱). در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر و ضریب بازتابش در آن ۲۳ درصد می‌باشد. همچنین مقاومت گیاهی ثابت و برابر ۷۰ ثانیه بر متر است (۱۷).

$$ET_O \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\left[\frac{890}{T+275}\right]U_2(ea-ed)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)} \quad (1)$$

ET_O: تبخیر -تعرق گیاه مرجع (mm/day)

Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

U_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

ea-ed: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)

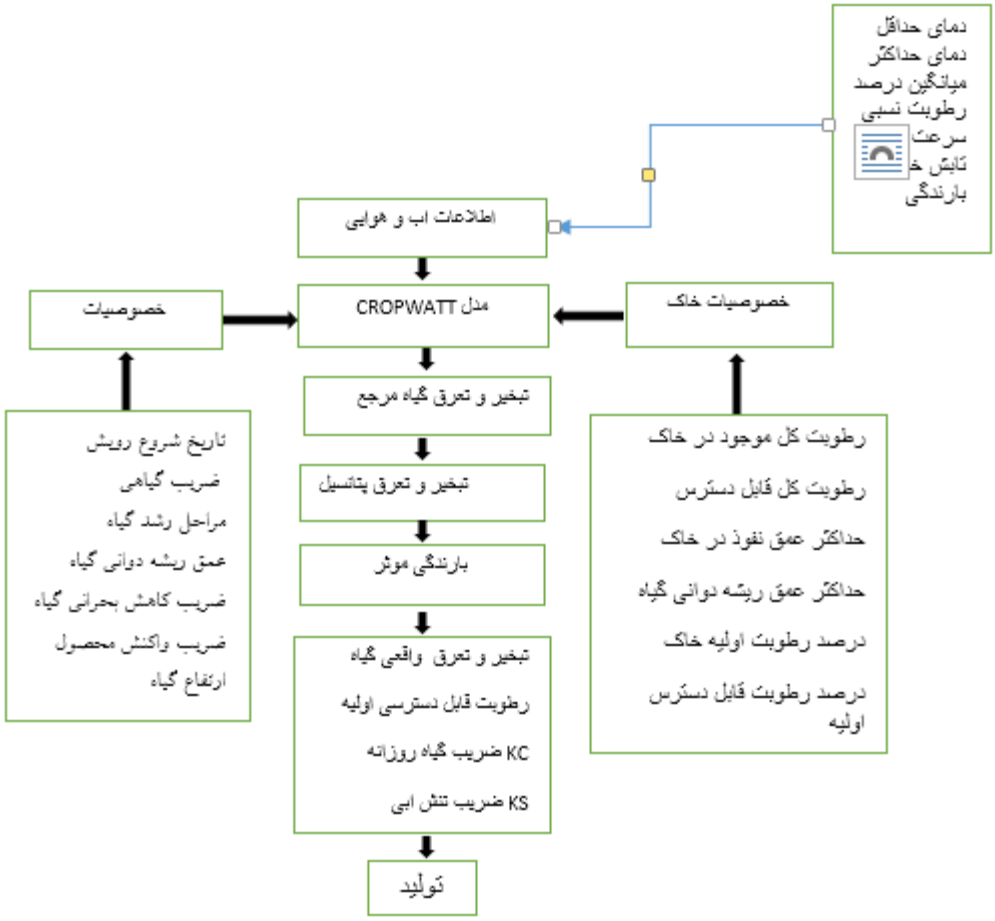
Γ: ثابت سایکرومتری ($KPa°C^{-1}$)

Δ: شیب منحنی فشار بخار ($KPa°C^{-1}$)

G: شارگرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$)

T: متوسط دمای هوا (°C)

در شکل (۲) به طور کامل ورودی و خروجی مدل CROP WAT 8.0 تشریح شده است.



شکل۲- اجزای ورودی و خروجی مدل کراپ وات

این معادله، از داده‌های هواشناسی استاندارد شامل تابش خورشیدی (ساعات آفتابی)، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد استفاده می‌کند. معادله پنمن- مونتیث فائو یک نمایش دقیق ساده از عوامل فیزیکی و فیزیولوژیکی مؤثر بر تبخیر و تعرق می‌باشد. معادله پنمن- مونتیث فائو برای محاسبه روزانه، هفتگی یا ماهانه تبخیر و تعرق علاوه بر مختصات محل بررسی به داده‌هایی نظیر دمای هوا، رطوبت، تابش و سرعت باد نیازمند است. مشخص شدن واحدهای اندازه‌گیری دادهای هواشناسی، مهم می‌باشد.

مختصات محل: ارتفاع از سطح دریا (برحسب متر) و عرض جغرافیایی (درجه شمالی یا جنوبی) محل مورد نظر باید مشخص باشد. این داده ها برای اصلاح برخی پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در تعیین میانگین فشار اتمسفر واقعی (که تابع میانگین ارتفاع محل از سطح دریا است) و محاسبه تابش فرازمینی و در برخی موارد، ساعات آفتابی موردنیاز می باشد.

دما: میانگین حداکثر و حداقل و دمای روزانه هوا برحسب درجه سلسیوس (^{0}C) موردنیاز است.

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \qquad (۲)$$

میانگین فشار بخار اشباع: از آنجا که، فشار بخار اشباع به دمای هوا بستگی دارد، می‌توان آن را با استفاده از داده های دمای هوا محاسبه نمود (۱۸و۱۹).

$$e^{\circ}(T) = 0/6108\ exp\left[\frac{17/27T}{T+237/3}\right] \qquad (۳)$$

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{min})\frac{RH_{max}}{100} + e^{\circ}(T_{max})\frac{RH_{min}}{100}}{2} \quad (۴)$$

رطوبت هوا: میانگین نسبی روزانه رطوبت هوا بر حسب درصد

$$RH = 100\frac{e_a}{e^{\circ}(T)} \quad (۵)$$

RH: میانگین رطوبت هوا

e_a: فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)

$e^{\circ}(T)$:میانگین فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)

سرعت باد: از آن‌جایی که در ایستگاه‌های هواشناسی سرعت باد برحسب نات و در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌شود، ولی در مدل کراپ وات، باد بر حسب کیلومتر در روز و در ارتفاع۲ متری مورد نظر است، ابتدا واحد داده‌های باد از نات به متر بر ثانیه تبدیل شد. سپس با استفاده از رابطه زیر سرعت باد در ارتفاع دو متری محاسبه و پس از آن به صورت کیلومتر در روز وارد مدل گردید(۲۰و۲۱).

$$U2 = Uz\frac{4/87}{Ln(67/8z-5/42)} \quad (۶)$$

U_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه.

Uz: سرعت باد در ارتفاع z از زمین بر حسب متر بر ثانیه.

Z: ارتفاع مورد نظر بر حسب متر.

جدول۱- تبدیل میانگین سرعت باد ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۲ متری

	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Uz(M/S)	۱	۱/۴	۱/۹۵	۲/۲	۲/۵۲	۲/۹۸	۳/۶۵	۳/۱	۲	۱/۵۲	۱/۲	۰/۹۷
U2(M/S)	۰/۷۵	۱/۰۵	۱/۴۶	۱/۶۵	۱/۸۹	۲/۲۳	۲/۷	۲/۳۲	۱/۵	۱/۱۵	۰/۹	۰/۷۲
U2(KM/DD)	۶۴/۸	۹۰/۷	۱۲۶/۱	۱۴۲/۵	۱۶۳/۳	۱۹۲/۷	۲۳۳/۳	۲۰۰/۵	۱۲۹/۶	۹۹/۴	۷۷/۸	۶۲/۲

تشعشع: تشعشع خالص، ساعت آفتابی روزانه(Rn) به صورت روزانه به $MJm^{-2}d^{-1}$ محاسبه شد.

$$R_n = 0/77\left(\frac{0}{25} + \frac{0}{50\frac{n}{N}}\right).R_a - 2/45 * 10^{-9}(0/9n/N+0/1)(0/34-0/14\sqrt{ea})(T_{kx}^4+T_{kn}^4) \quad (۷)$$

$$R_a = 37/6d_r[\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)] \quad (۸)$$

$$\omega_s = arc\ cos(-tan\varphi.tan\delta) \quad (۹)$$

$$N = 7/64\omega_s \quad (۱۰)$$

$$\delta = 0/409\sin(0/172J - 1/39) \quad (۱۱)$$

$$\lambda = 2/501(2/361 * 10^{-3})T \quad (۱۲)$$

$$\Delta = 2504exp[(\frac{\frac{17}{27T}}{T+\frac{237}{7}}]/(T + 237/3) \quad (۱۳)$$

$$J = integer(275\frac{M}{9} - 30 + D) \quad (۱۴)$$

$$dr = 1 + 0/033\cos(0/0172j) \quad (۱۵)$$

Δ: شیب منحنی فشار بخار($KPa^{0}C^{-1}$)

λ : گرمای نهان تبخیر ($MJKg^{-1}$)

R_n : تابش خالص، n: تعداد ساعات واقعی آفتاب، R_a= تابش برون زمینی($MJm^{-2}d^{-1}$)، D: شماره روز از ماه، ω_s=زاویه ساعتی غروب خورشید(رادیان)، M: شماره ماه میلادی سال، N: حداکثر ساعات روشنایی در روز J ازسال، φ :عرض جغرافیایی (رادیان)، δ: زاویه میل خورشیدی(رادیان)، Tkx: حداکثر دمای روزانه(کلوین)، J: شماره روز ژولیوسی، Tkn: حداکثر دمای روزانه(کلوین)، dr: فاصله نسبی زمین از خورشید می باشد.

بارندگی روزانه: بارندگی روزانه در طول فصل رویش به میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

بارش موثر: بارش مؤثر به آن قسمتی از بارندگی گفته می‌شود که به داخل خاک (عمق ۱۰-۱۲ سانتی متری) نفوذ می نماید و مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. در این مطالعه، برای محاسبه باران مؤثر در فصل رویش از برنامه کراپ وات استفاده شد.

ب - خصوصیات خاک : خاک های سبک تا متوسط ظرفیت آبگیری کمی دارند، اما بهتر گرم می‌شوند و برداشت محصول در آن‌ها آسان‌تر است. بافت‌های شن لومی و لوم شنی با ماده آلی ۲ تا ۵ درصد برای سیب زمینی ایده آل محسوب می‌شوند، زیرا این خاک‌ها فاقد مشکلات آب ایستادگی بوده و توسعه بیماری‌ها در این گونه خاک‌ها کم‌تر است. در شرایط ایران که ماده آلی خاک‌ها غالبا کم‌تر از ۱ درصد است، بافت‌های متوسط مانند لومی، لوم سیلتی و لوم رسی شنی مناسب بنظر می‌رسند. خاک‌های نیمه سنگین و سنگین ظرفیت آبگیری بیش‌تری دارند، اما کارکردن در آن‌ها مشکل‌تر بوده، به سهولت کلوخه ای می‌شوند، به غدد می چسبند و مشکلات برداشت و تمیزکردن غدد از خاک در آن‌ها بیش‌تر است، بطور کلی با ریزترشدن بافت خاک، ممکن است به پشته‌های قطورتری برای کاشت نیاز باشد. خاک‌های سنگین مانند رس شنی، رس سیلتی و رس به دلیل فراوانی رس، تشکیل سله، چسبندگی و کلوخه ای شدن مطلوب نیستند. خاک باید عمیق و تا عمق حداقل ۹۰ سانتی‌متری فاقد لایه غیر قابل نفوذ بوده و تا عمق ۳۵ سانتی‌متری بخوبی نفوذ پذیر باشد. نیاز سیب زمینی به نیتروژن زیاد است، اما فراوانی نیتروژن خاک موجب تحریک رشد هوایی، تأخیر در رسیدگی و کاهش شاخص برداشت می‌شود. دراین نرم افزار با توجه به شرایط محل از خاک بافت متوسط استفاده شده است.

ج- خصوصیات گیاه: شرایط فیزیکی گیاه سیب‌زمینی از مرحله کاشت تا برداشت به شرح زیر می باشد.

جدول۲- مراحل فنولوژی سیب زمینی و ضرایب گیاهی

تاریخ برداشت:۶/۱					تاریخ کاشت:۲/۲۰
کل	پایانی	میانی	توسعه	ابتدایی	مراحل رشد
۱۳۰	۳۰	۴۵	۳۰	۲۵	تعداد روز رشد
	۰/۷۵	۱/۱۵	به تدریج افزایش	۰/۵	ضریب گیاهی
	۰/۶		به تدریج افزایش	۰/۳	عمق ریشه دوانی(متر)
	۰/۵	۰,۳	۰/۸	۰/۲۵	ضریب کاهش بحرانی گیاه
۰/۱	۰/۳	۰,۸	۰/۸	۰/۴۵	ضریب واکنش محصول

مدل اصلاحی: در هر محل برای بدست آوردن تبخیر و تعرق واقعی از مرجع باید در مدل تبخیر و تعرق مرجع اصلاح شود که توسط بایگی (۱۵) برای استان خراسان رضوی محاسبه شده است.

$$ETL = a + b\ ET_{0F.P.M} \qquad (۱۶)$$

تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش فائو پنمن- مانتیث $ET_{0F.P.M}$:

ETL: تبخیر و تعرق اصلاح شده (واقعی)

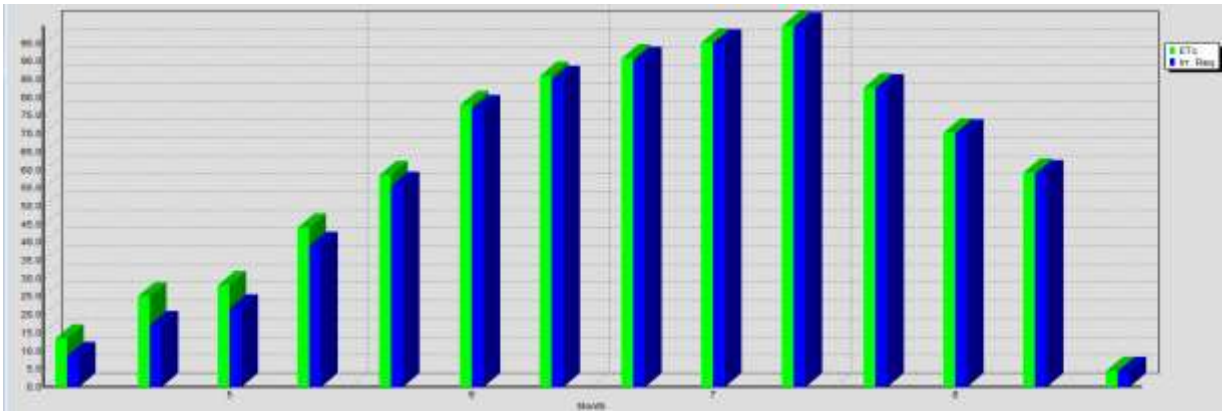
$$ETL = 1/775 + 0/459\ ET_{0F.P.M} \qquad (۱۷)$$

جدول۳-تبدیل تبخیر و تعرق مرجع به بخیر و تعرق واقعی

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$ET_{0F.P.M}$	۰/۹۴	۱/۳۰	۲/۴۲	۳/۹	۵/۶۱	۷/۰۴	۷/۹۴	۷	۴/۸۳	۳	۱/۵۷	۱/۱۳
ET_L	۲/۲	۲/۳۷	۲/۸۸	۳/۵۶	۴/۳۵	۵	۵/۴۲	۴/۹۹	۳/۹۹	۳/۲	۲/۵	۲/۳

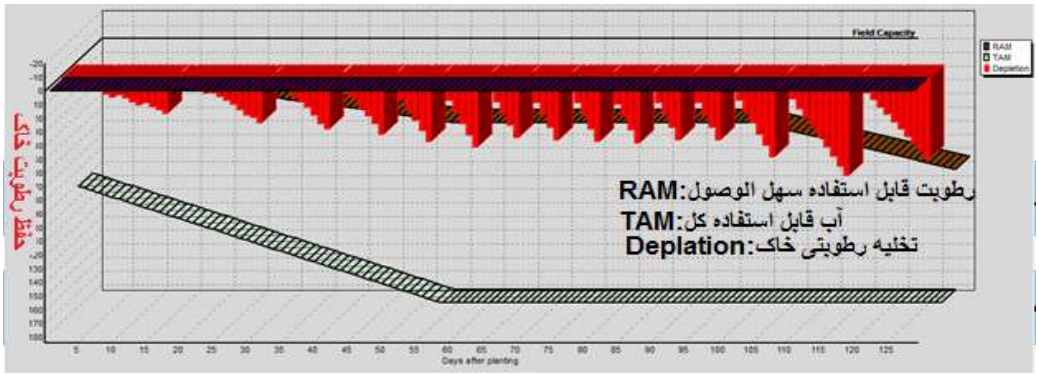
نتایج و بحث

تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیز به عواملی کمیت ضریب گیاهی (Kc) ارتباط دارد. عواملی که در ضریب گیاهی تأثیر داشته اند عبارتند از: صفات مشخصه گیاه، تاریخ شروع رویش، میزان رشد، طول دوره رویش و شرایط اقلیمی که در این میان تواتر بارندگی بخصوص در مرحله اول رشد از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. میزان ضریب Kc زمانی که محدودیت آب وجود دارد کم‌تر از یک می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل با نیاز آبی

با توجه به شکل۲ و جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین نیاز آبی گیاه سیب زمینی در ماه ژولای می‌باشد که در این ماه بیش‌ترین تبخیر و تعرق، ساعات آفتابی، میزان تشعشع، میانگین حداکثر و حداقل دما اتفاق افتاده است. گیاهان آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه‌ها از خاک (رطوبت ذخیره شده) جذب می‌نمایند. بسیاری از خصوصیات خاک مانند پایداری، خمیری، مقاومت، قابلیت فشرده شدن، نفوذپذیری و قابلیت نقل و انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه به مقدار آب یا رطوبت خاک که متأثر از خصوصیات فیزیکی خاک می باشد، بستگی دارد. خاک بر مقدار هوای موجود در خاک و تبادل گازها در آن نیز مؤثر است. فعالیت موجودات ریز خاک و کنش‌های شیمیایی خاک نیز تابعی از رطوبت خاک است. در شکل ۳ وضعیت ظرفیت زراعی و آب قابل دسترس و آب تخلیه شده رسم شده است. این نمودار بیان‌گر است که با توجه به ظرفیت، جذب و نگهداری رطوبت ناشی از بارندگی در ایستگاه مورد مطالعه تفاوت میزان تبخیر واقعی با بارندگی فصل رویش، حکایت از استفاده گیاه از رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگی پیشین که در روزهای فصل رویش بوده است، دارد. درنتیجه مناطق خشک و نیمه خشکی مانند تربت حیدریه بارندگی به تنهایی عامل تعیین کننده تولید سیب‌زمینی نیست، بلکه بارندگی به‌علاوه رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگی‌های پیشین برابر نتایج تحقیق به صورت مشترک در فرایند تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد.



شکل ۳- تغییرات رطوبتی خاک

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود گیاه سیب زمینی از کاشت تا برداشت ۱۵ دوره آبیاری می‌شود که تخلیه رطوبت خاک به تدریج افزایش و در انتهای دوره چهاردهم بیش‌ترین حد می‌رسدکه دلیل آن افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد.

بارندگی مؤثر: بارندگی مؤثر بخشی از کل یک بارش می باشد که بر تولید محصول مناسب هست. در این پژوهش با استفاده از مؤلفه‌های مدل کراپ وات مقدار براندگی مؤثر را بر اساس روش (FAO) حساب شده است. فرمولی که مدل برای محاسبه بارندگی مؤثر با استفاده روش مذکور به دست می آورد به قرار رابطه زیر می باشد.

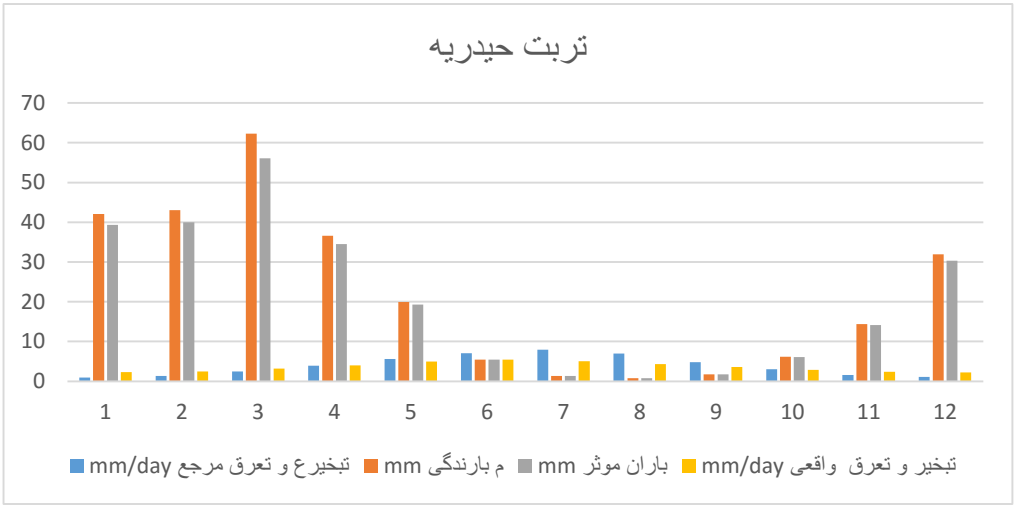
برای داده های ماهیانه:

$$PP\ eff = 0/6 * P - 10 \quad for\ Pmonth \leq 70mm$$

$$eff = 0/8 * P - 24 \quad for\ Pmonth > 70mm$$

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Sep	کل
م بارندگی	۴۲/۱	۴۳	۶۲/۳	۳۶/۶	۱۹/۹	۵/۴	۱/۳	۰/۸	۱/۷	۶/۲	۱۴/۴	۳۱/۹	۲۶۵/۶
بارندگی موثر	۳۹/۳	۴۰	۵۶/۱	۳۴/۵	۱۹/۳	۵/۴	۱/۳	۰/۸	۱/۷	۶/۱	۱۴/۱	۳۰/۳	۲۴۸/۷

جدول ۴- بارندگی موثر ایستگاه تربت حیدری



شکل۴-مقایسه تبخیر و تعرق و بارندگی

نیاز آبی

مراحل فنولوژی گیاه سیب‌زمینی با طی ۱۳۰ روز به پایان می‌رسد. نیاز آبیاری گیاه سیب‌زمینی با مدل کراپ وات از اول کاشت تا برداشت محصول ۸۰۳/۱ میلی‌متر و میزان آبیاری برای جبران این کاهش رطوبت۷۴۱/۹ میلی‌متر به‌دست آمده‌است (جدول ۵). بارش موثر که در طول فصل رویش ۳۲/۸ میلی‌متر می‌باشد (جدول۴). شرایط تبخیر و تعرق دوره کشت ۸۶/۳۷ می‌باشد و میزان تبخیر و تعرق ۲/۶۳ برابرمیانگین بارندگی در فصل رویش است. مفهوم این است که گیاه از رطوبت ذخیره شده برای تبخیر و تعرق استفاده نموده است (جدول ۶). برای جبران تخلیه رطوبت خاک باید زمین زیر کشت سیب‌زمینی ۱۵ بار آبیاری گردد (شکل۴، جدول ۵).

جدول۵- نیازآبی در طول دوره کشت

هیدرو مدول	آبیاری ناخالص mm	تلفات آبیاری mm	کمبود آبیاری mm	آبیاری خالص mm	نفوذ عمقی %	باران (میلی متر)	مرحله	روز آبیاری	تاریخ
۰/۲۸	۴۰/۷	۰	۰	۲۸/۵	۲۵	۰	ابتدایی	۱۷	11May
۰/۴۳	۵۲/۴	۰	۰	۳۶/۷	۲۷	۰	توسعه	۳۱	25May
۰/۷۲	۶۱/۸	۰	۰	۴۳/۳	۲۸	۰	توسعه	۴۱	4Jun
۱/۰۱	۷۰/۱	۰	۰	۴۹/۱	۳۰	۰	توسعه	۴۹	12Jun
۱/۲۷	۷۷	۰	۰	۵۳/۹	۳۱	۰	میانی	۵۶	19Jun
۱/۳۹	۸۳/۹	۰	۰	۵۸/۸	۳۴	۰	میانی	۶۳	26Jun
۱/۴۵	۷۵	۰	۰	۵۲/۵	۳۰	۰	میانی	۶۹	2 Jul
۱/۴۹	۷۷/۳	۰	۰	۵۴/۱	۳۱	۰	میانی	۷۵	8 Jul
۱/۵۵	۸۰/۱	۰	۰	۵۶/۱	۳۲	۰	میانی	۸۱	14 Jul
۱/۵۷	۸۱/۳	۰	۰	۵۶/۹	۳۳	۰	میانی	۸۷	20 Jul
۱/۵	۷۷/۵	۰	۰	۵۴/۳	۳۱	۰	میانی	۹۳	26 Jul
۱/۴۸	۷۶/۶	۰	۰	۵۳/۶	۳۱	۰	میانی	۹۹	1Aug
۱/۳۶	۹۴/۱	۰	۰	۶۵/۹	۳۸	۰	پایانی	۱۰۷	9 Aug
۱/۱۸	۱۱/۸	۰	۰	۷۸/۲	۴۵	۰	پایانی	۱۱۸	20Aug
					۳۴	۰	پایانی	پایانی	1Sep

جدول۶- مقدار ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق در طی کشت سیب زمینی

نیاز آبی	بارش موثر	تبخیر و تعرق در هر روز	تبخیر و تعرق در هر دوره	ضریب گیاهی	مرحله	دهه	ماه
۸/۶	۵/۸	۱۳/۴	۲/۳۳	۰/۵	ابتدایی	۳	*Apr*
۱۷/۱	۸/۱	۲۵/۲	۲/۵۲	۰/۵	ابتدایی	۱	*May*
۲۱/۷	۶/۴	۲۸/۲	۲/۸۲	۰/۵	توسعه	۲	*May*
۳۹	۴/۹	۴۳/۹	۳/۹۹	۰/۶۶	توسعه	۳	*May*
۵۵/۴	۳	۵۸/۴	۵/۸۴	۰/۸۹	توسعه	۱	*Jun*
۷۶/۶	۱/۳	۷۷/۹	۷/۷۹	۱/۱۱	میانی	۲	*Jun*
۸۴/۴	۱	۸۵/۸	۸/۵۸	۱/۱۷	میانی	۳	*Jun*
۹۰/۱	۰/۸	۹۰/۹	۹/۰۹	۱/۱۷	میانی	۱	*Jul*
۹۴/۸	۰/۳	۹۵/۱	۹/۵۱	۱/۱۷	میانی	۲	*Jul*

Jul	۱	میانی	۱/۱۷	۹/۰۷	۹۷/۷	۰/۳	۹۹/۵
Aug	۱	پایانی	۱/۱۲	۸/۲۷	۸۲/۷	۰/۳	۸۲/۴
Aug	۲	پایانی	۰/۹۹	۷/۰۲	۷۰/۲	۰/۲	۷۰
Aug	۳	پایانی	۰/۸۵	۵/۳۸	۵۹/۲	۰/۳	۵۸/۹
Sep	۱	پایانی	۰/۷۵	۴/۲۶	۴/۳	۰	۴/۳
					۸۳۴/۹	۳۲/۸	۸۰۳/۱

منابع

۱. وزیری ژ، انتصاری، م و حیدری، ن، تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب موردنیاز گیاهان) »، ناشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۷، تهران.

2. .Allen R،G, Pereira L.S, Rae's D and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Italy, pp 300.

۳. سپاسخواه ع. و محمدی م، ا، تعیین تبخیر – تعرق یونجه و کنجد به روش پنمن – مونتیث در منطقه باجگاه»، ششمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۳۷۵، ۱۰-۱۱ شهریور ۷۵، دانشگاه کرمان.

۴. احسانی ع، ارزانی ح، فرح پور م، احمدی ح، جعفری م و اکبرزاده م، برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار cropwatt8،0 (مطالعه موردی: منطقه استپپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور)» ، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳۹۱، ۱۹(۱): ۱۶-۱.

۵. علیزاده،ا، کمالی،غ ،ع، خانجانی، م ،ج و رهنورد، م، ر، ارزیابی روشهای برآورد تبخیر – تعرق در مناطق خشک ایران »،فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۸۳، ۱۹ (۲(پیاپی ۷۳))،۹۷-۱۰۵.

۶. شریفان ح ، قهرمان ب، علیزاده ا و میرلطیفی، م، ارزیابی روش های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر - تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان»، مجله علوم خاک و آب،۱۳۸۴، ۱۹، (۲):۲۸۰-۲۹۰

7. Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(6):1132-39.

8. Salih A.M. and Sendil. U .1984. Evapotranspiration under extremely arid climates. J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE, 110(3): 289-303.

9. Shih S.F. 1984. Data requirement for evapotranspiration estimation. J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE, 110(3): 263-274.

10. Yarahmadi J. (2003) the integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area; A Case Study of Salmas and Tassooj Plain, Iran.

۱۱. نیشابوری، م،،مرادی دالینی، ا، جعفر زاده، ع و صادقی، س، ارزیابی روشهای پیشنهادی FAO برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در منطقه کرکج تبریز»، دانش کشاورزی،۱۳۸۴، ش ۴.

۱۲. مهاجرانی، ح، مساعدی، ا،خلقی، م، مفتاح تلقی، م و سعدالدین، ا، برآورد نیاز آبی گیاه گندم توسط مدل CROPWAT در شهرستان کردکوی-استان گلستان»، همایش ملی مدیریت کمبود آب و تنش خشکی در زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان،۱۳۸۹، چهارم و پنجم اسفندماه۱۳۸۹.

۱۳. ضیاءتبار احمدی م ،خ، بررسی و مقایسه روشهای محاسبه بررسی و مقایسه روشهای محاسبه »،۱۳۷۴، صفحات ۵۱-۷۰ .

۱۴. نیکبخت، ج، میرلطیفی، س ،م و کمالی، غ، مقایسه تبخیر -تعرق محاسبه شده با روش های فائو -پنمن -مانتیث، پنمن -رایت و هارگریوز - سامانی در منطقه تهران »، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،۱۳۸۰، سال هشتم، شماره چهارم ،۳-۱۳.

۱۵. موسوی بایگی م، عرفانیان م و سرمد، م، استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)» ، مجله آب وخاک ،۱۳۸۸، ۲۳(۱)۹۹-۹۱،

۱۶. سازمان هوا شناسی مشهد، شناسنامه آماری ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهرستان تربت حیدریه»،۱۳۹۱.

۱۷. طهماسب پور ب، و محمدیان ر، تاثیر تراکم و تاریخ کاشت های مختلف برروی گیاهان دارویی همیشه بهار و نعناع‌فلفلی»، اولین همایش تخصصی توسعه کشاورزی استانهای شمالغرب کشور،۱۳۹۰.

18. Kimball, J. S., Running, S. W., and Nemani, R. .1997. An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature. Agric. Forest Meteorol., 85(1–2), 87–98.

19. Jensen, D. T., Hargreaves, G. H., Temesgen, B., and Allen, R. G. (1997). Computation of ETo under nonideal conditions. J. Irrig. Drain.Eng., 123(5), 394–400.

۲۰. خسروشاهی م ،برآورد نیاز آبی گونه تاغ در ناحیه رویشی صحارا- سندی ایران (مطالعه موردی: مناطق اهواز- بندرعباس و چابهار)» ، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران،۱۳۹۲، ۲۰(۳):۵۶۹-۵۵۹.

۲۱. علیزاده ا، رابطه آب و خاک و گیاه»، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، ۱۳۸۴.