« دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی »
دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب
۸ الی ۱۰ بهمن ۱۳۸۷

مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرولایسیمتری در منطقه اصفهان

جهانگیر عابدی کوپایی [۱]، سید سعید اسلامیان [۲]، محمد جواد امیری [۳]

[۱] دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان koupai@cc.iut.ac.ir
[۲] دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان saeid@cc.iut.ac.ir
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب، دانشگاه صنعتی اصفهان mjavad.amiri62@gmail.com

چکیده

اطلاع از میزان تبخیر و تعرق و یا آب مصرفی گیاه اساس یک برنامه ریزی صحیح آبیاری را تشکیل می دهد. بدون آگاهی از مقدار آن، آبی که در اختیار گیاه قرار می گیرد یا کمتر از آب مورد نیاز گیاه بوده و باعث کاهش مقدار محصول و بروز مسائل دیگری در امر کشاورزی می گردد و یا بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه بوده و باعث اتلاف آب و ایجاد مسائلی از قبیل زه‌کشی می شود. برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روش های مختلفی با استفاده از داده های هواشناسی وجود دارد که این معادلات از روشهای ساده تا روابط پیچیده را شامل می شود. در ابتدا ET_O با استفاده از اندازه گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن که در سه میکرولایسیمترکاشته شده بود بدست آمد. همچنین ET_O با استفاده از معادلات فائو- پنمن- مانتیث، ترک، هاگریوز و تشت تبخیر محاسبه گردید. در مرحله بعد نتایج حاصل از این معادلات با تبخیر و تعرق اندازه گیری شده توسط میکرولایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفت. معادله فائو- پنمن- مانتیث از دقت بیشتری نسبت به سایر معادلات در تخمین تبخیر و تعرق روزانه برخوردار بوده و معادله تشت تبخیر از دقت کمتری نسبت به سایر معادلات برخوردار است. از لحاظ رتبه بندی معادله ترک در رتبه دوم، معادله هارگریوز در رتبه سوم قرار گرفت.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، فائو- پنمن- مانتیث، ترک، هارگریوز.

مقدمه

در زنجیره آب، خاک-گیاه- اتمسفر آب مستقیماً از سطح خاک ویا توسط گیاه به داخل اتمسفروارد می شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر[1]و خارج شدن آن از گیاه را تعرق[2] گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آنها از یکدیگر امکان پذیر نمی باشد مجموعاً به نام تبخیر- تعرق[3] در نظر گرفته شده و با علامت ET نشان داده می شود (علیزاده، ۱۳۸۳). روش تعیین تبخیر و تعرق بستگی کامل به چگونگی آب و هوا در محیط (نظیر رطوبت نسبی، دما ، فلاکس گرمایی خاک و میزان باد) و چگونگی وضعیت ساختمان داخلی سیستم خاک و گیاه دارد(علیزاده، ۱۳۸۳). بنابراین باید سرعت تبخیر و تعرق را برای یک گیاه خاص و تحت رطوبت معین و شرایط آب و هوایی مشخص بدست آورد. مفهوم تبخیر و تعرق پتانسیل[4] (ETP) به گیاهانی اطلاق می شود که از نظر آب به طور کافی تأمین بوده و محدودیتی از نظر بیماری یا حاصلخیزی خاک نداشته باشند(هاشمی نیا،۱۳۷۸). ETP یک استاندارد مفید و قابل استفاده به عنوان مرجع برای مقایسه در اقلیم‌های با آب و هوای متفاوت و یا فصول متفاوت و یا در گیاهان گوناگون ا ما با یک شرایط آب و هوایی مشخص می‌باشد. تبخیر تعرق گیاه مرجع[5] (ET0) مشابه عبارت ETP می‌باشد، با این تفاوت که این اصطلاح برای یک گیاه مشخص مانند یونجه و چمن به کار می‌رود(هاشمی نیا،۱۳۷۸). بورمن و همکاران (۱۹۸۳)، با استفاده از تحقیقاتی‌که توسط دورنبوس و پروئیت در سال ۱۹۷۷ وجنسن در سال ۱۹۷۱ انجام شده بود، دو تعریف رایج از ET0 را به صورت زیر بیان نمودند.

۱) ET0 عبارت است از بالاترین حد ET که در شرایط آب و هوایی مشخص در زمینی که به وسیله یونجه پوشیده شده، ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر دارد و دارای آب باشد اتفاق می‌افتد.

۲) ET0 عبارت است از سرعت تبخیر و تعرق در یک سطح وسیع با پوشش کاملاً سبز و ارتفاع گیاه ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر و دارای رشد فعال و سایه‌اندازی در سطح زمین و بدون کمبود آب.

از جایی که عوامل بسیار زیادی در تبخیر- تعرق دخالت دارند اگر نتوان گفت برآورد دقیق تبخیر- تعرق غیر ممکن است اما کاری بسیار مشکل است. روش هایی که برای تخمین تبخیر- تعرق به کار برده می شود در دو گروه اصلی قرار می گیرند که عبارتند از: روش های مستقیم و روش‌های محاسباتی. در روش های مستقیم بخش کوچک وکنترل شده ای از مزرعه را جدا کرده و مقدار تبخیر وتعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه گیری می شود. حال آنکه در روش های محاسباتی که می‌توان آن ها را روش های غیر مستقیم دانست از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آن ها با تبخیر- تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش های مستقیم واسنجی شده اند تبخیر- تعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود. رحیم زادگان به منظور یافتن مناسب ترین روش محاسبه تبخیروتعرق در منطقه اصفهان که جزء مناطق خشک ونیمه خشک به حساب می آید از لایسیمتر زهکش دار و گیاه مرجع چمن استفاده نمود. آب مصرفی گیاه به مدت دو سال وبه صورت روزانه اندازه گیری گردید. همزمان با این آزمایش، پارامترهای اقلیمی نیز در ایستگاه کلیماتولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه گیری شد وتبخیر وتعرق پتانسیل برای گیاه مرجع با استفاده از ۱۲ روش مختلف محاسبه گردید. مقایسه نتایج حاصل از اندازه گیری تبخیروتعرق پتانسیل گیاه مرجع در لایسیمتر نشان داد که به ترتیب روش های جنسن-هیز، کریستیانس - هارگریوز، بلینی- کریدل اصلاح شده، پنمن و ترک نسبت به روش های دیگر تخمین مناسب تری از تبخیروتعرق پتانسیل گیاه مرجع را ارائه می دهند. گارسیا در منطقه بولیویا[6] که در ارتفاعی بین ۴۰۰۰-۳۶۰۰ متر قرار دارد با استفاده از داده های لایسیمتر و مقایسه آن با سه روش تورنت وایت، هارگریوز- سامانی و پنمن مانتیث نشان داد که معادله پنمن مانتیث می تواند بهترین برآورد تبخیروتعرق با کمترین خطا را داشته باشد. همچنین در تحقیقی مشابه پارامترهای فرمول پنمن را با استفاده از داده های لایسیمتر اصلاح و از آن جهت محاسبه تبخیروتعرق در این منطقه استفاده نمود. پناهی طی سال های۷۴-۷۳ برای یافتن بهترین روش تبخیر وتعرق برای منطقه اصفهان با استفاده از لایسیمتر نصب شده در ایستگاه تحقیقاتی کبوتر آباد نشان داد که روش تشت تبخیر با

---

[1] Evaporation
[2] Transpiration
[3] Evapotranspiration
[4] Potential Evapotranspiration
[5] Reference Evapotranspiration
[6] Bolivian

ضریب کانکا بهترین تخمین را انجام می دهد. موسوی و کریمی برا ی برآورد تبخیر وتعرق بالقوه برای منطقه اصفهان و همچنین تعیین بهترین روش تبخیر از آمار ایستگاه کلیماتولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان و با به کارگیری نتایج آزمایش های پوتومتری به ترتیب روش های ترک، بلانی کریدل اصلاح شده، کریستین سن، هارگریوز، کریستسین سن- هارگریوز، و تبخیر از تشت تبخیر با ضریب تشت را برای این منطقه پیشنهاد کردند. در این تحقیق ضریب تشت تبخیر بین ۱/۰۲-۰/۳۸ بدست آمد. کرم میزان تبخیروتعرق گیاه سویا وهمچنین گیاه مرجع چمن را طی دو فصل زراعی ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ با استفاده از لایسیمتر زهکش دار در طول دوره ۱۴۰ روزه رشد ۸۰۰ میلی متر و برای دوره ۱۳۸ روزه رشد در سال ۲۰۰۱، ۷۲۵ میلی متر محاسبه نمود. مطالعات لایسیمتری در زاراگوزا توسط مارتینز برای دوره اکتبر ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۰ برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ماهیانه ۹ منطقه صورت گرفت و با مقدار تبخیر و تعرق محاسبه‌ای از رابطه پنمن- مانتیث اصلاح شده موردمقایسه قرار گرفت در ۳ منطقه از این ۹ منطقه مورد آزمایش شرایط بادی برقرار بود و در ۶ منطقه دیگر سرعت باد ناچیز بود. بررسی آماری نشان داد که این فرمول در مناطق بادخیز دارای برآورد یکسانی می‌باشد و متوسط خطای آن با تبخیر و تعرق از لایسیمتر ۵-۲ درصد و در مناطق غیر بادی این مقدار ۱۰-۷ درصد است. هدف از این تحقیق تخمین تبخیروتعرق روزانه با استفاده از معادلات فائو- پنمن- مانتیث، ترک، هاگریوز و تشت تبخیر و مقایسه نتایج این معادلات با تبخیروتعرق اندازه گیری شده توسط میکرولایسیمتر می باشد.

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی روش های مختلف استفاده شده در تخمین تبخیروتعرق مرجع در یک دوره ۱۲۰ روزه ازفروردین تا مرداد ۱۳۸۷ داده هایی شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت باد و ساعات آفتابی به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی اصفهان نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به دانشگاه صنعتی اصفهان ثبت گردید. محل انجام آزمایش دارای طول و عرض جغرافیایی ´۵۱°۳۳ شرقی و ´۴۱ °۳۲ شمالی بوده و دارای ارتفاع از سطح دریا ۱۶۲۰ متر می باشد. با توجه به آمار هواشناسی ۱۰ ساله میانگین درجه حرارت سالانه در منطقه اجرایی تحقیق ۱۷/۰۳ درجه سانتی گراد و گرمترین و سردترین ماه های سال به ترتیب تیر و دی می باشند. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۳۴ میلیمتر، متوسط رطوبت سالانه ۳۸ درصد، حداقل رطوبت نسبی در شهریور برابر با ۱۵/۵۴ درصد و حداکثر آن در اسفند و برابر با ۸۵/۶۶ درصد گزارش شده است

تعیین تبخیر وتعرق سطح مرجع

در این تحقیق برای اندازه گیری تبخیر وتعرق سطح مرجع از سه عدد میکرولایسیمتر وزنی با عمق ۶۰ سانتی‌متر و قطر۲۰ سانتی‌متر و دقت ۰/۱۵۹ میلیمتر استفاده گردید. در این نوع لایسیمتر مقدار تبخیروتعرق بر حسب تغییرات وزن میکرولایسیمتر در شرایطی که رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه باشد محاسبه گردید. میزان آب زه کش شده از میکرولایسیمترها(در صورت وقوع) نیز از طریق ظروفی که در زیر آنها قرار داده شده بود جمع آوری و توسط ظروف مدرج اندازه گیری گردید.

تخمین تبخیر وتعرق مرجع توسط روش های محاسباتی

۱- معادله فائو- پنمن-مانتیث[1]

در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی متر و ضریب بازتابش در آن ۲۳ درصد می‌باشد. همچنین مقاومت گیاهی ثابت وبرابر ۷۰ ثانیه بر متر است.

$$ET_O = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\left[\frac{890}{T+273}\right]U_2(ea-ed)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)} \qquad (۱)$$

[1] FAO-Penman-monteith

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})
e_a-e_d : کمبود فشار بخار (KPa)
γ : ثابت سایکرومتری ($KPa°C^{-1}$)
Δ: شیب منحنی فشار بخار($KPa°C^{-1}$)
G : شار گرما به داخل خاک($MJm^{-2}d^{-1}$)
T : متوسط دمای هوا(°C)

۲- معادله هارگریوز[1](۱۹۸۵)

معادله هارگریوز(۱۹۸۵)، با داشتن ماکزیمم و می‌نیمم درجه حرارت قادر است تبخیروتعرق را در دوره های۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰روزه و ماهانه محاسبه‌کند.

$$ET_O = 0.0023 * (Tmean + 17.8) * (T\max - T\min)^{0.5} * Ra \qquad (۲)$$

ET_O : تبخیر- تعرق گیاه مرجع(mm/day)
Tmax : ماکزیمم درجه حرارت روزانه(°C)
Tmin : حداقل درجه حرارت روزانه(°C)
Tmean : میانگین درجه حرارت(°C)
Ra : میزان تشعشع ورودی در بالای اتمسفر(mm/day)

۳-ترک[2]

ترک در سال ۱۹۶۱ برای دوره های ۱۰ روزه، و برای شرایط اقلیمی اروپای غربی، معادلات زیر را ارائه کرده است.

$$ET_O = 0.013\left(\frac{T}{T+15}\right)(Rs + 50) \qquad \text{RH} > ۵۰٪ \text{ برای } (۳)$$

$$ET_O = 0.013\left(\frac{T}{T+15}\right)(Rs + 50)\left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \qquad \text{RH} < ۵۰٪ \text{ برای } (۴)$$

ET_O : تبخیر- تعرق گیاه مرجع(mm/day)
T : میانگین درجه حرارت(°C)
Rs : تشعشع خورشیدی (mm/day)
RH : متوسط رطوبت نسبی(درصد)

۴- تشت تبخیر[3]

یکی از راههای محاسبه تبخیروتعرق استفاده از تشت تبخیر است . این روش از طرف فائو به عنوان یک روش ساده و مناسب جهت برآورد تبخیروتعرق ارائه شده است. میزان تبخیر از تشت از اختلاف عمق آب در تشت طی آن دوره بدست می آید.میزان

[1] Hargreves
[2] Turc
[3] Pan evaporation

تبخیر از تشت را می توان با ضریبی به تبخیر- تعرق گیاه مرجع مرتبط نمود. در صورتی که مقدار تبخیر از تشت در یک دوره زمانی مشخص(ماه یا روز) برابر E_P باشد تبخیر- تعرق سطح مرجع (ET_O) در همان دوره برابر خواهد بود با:

$$ET_O=Kp\ (Ep) \quad (۵)$$

ET_O= تبخیر- تعرق گیاه مرجع(میلی متر)

Kp= ضریب تشت

Ep = میزان تبخیر از تشت(میلی متر)

پرییرا وهمکاران(۱۹۹۵) معادله زیر را برای تعیین ضریب تشت بیان کردند.

$$Kp = \frac{0.85(s+\gamma)}{\left[s+\gamma\left(1+\frac{r_c}{r_a}\right)\right]} \quad (۶)$$

که:

s : شیب منحنی تغییرات فشار بخار آب نسبت به دما در نقطه ای که دما برابر میانگین دمای هوای روزانه باشد.

γ : ضریب سایکرومتری

r_c: مقاومت پوشش گیاهی در مقابل انتقال بخار آب به اتمسفر

r_a : مقاومت آیرودینامیک لایه هوای مجاور پوشش گیاهی

مقاومت آیرودینامیک(ra) بستگی به سرعت باد و ارتفاع پوشش گیاهی دارد، که توسط آلن و همکاران (۱۹۸۹) به صورت زیر پیشنهاد شده است.

$$\frac{r_c}{r_a} = 0.34U \quad (۷)$$

بحث ونتیجه گیری

به منظور ارزیابی روش های تخمین تبخیر وتعرق سطح مرجع چندین ضوابط مورد استفاده قرار گرفت که شامل آنالیز رگرسیون، مجذور متوسط اختلاف مربعات(RMSE)[1]، شاخص توافق[2](D) ، میانگین خطای مطلق(MAE) ، ماکزیمم خطای مطلق(MAXE) و راندمان(EF) می باشد.

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Ei)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|E_i-\overline{O}\right|+\left|O_i-\overline{O}\right|\right)^2} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Oi-Ei\right| \quad (۹)$$

$$MAXE = MAX\left(\left|O_i-Ei\right|\right) \quad (۱۰)$$

[1] Root Mean Square Error(RMSE)

[2] Agreement index

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(Oi-Ei)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\overline{O})^2} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Ei)^2}{n}} \quad (12)$$

که:

Oi : تبخیر و تعرق مرجع حاصل از داده های لایسیمتری

Ei : تبخیر و تعرق مرجع تخمین زده شده توسط روش های محاسباتی

$\overline{O}$: میانگین تبخیر تعرق اندازه گیری شده

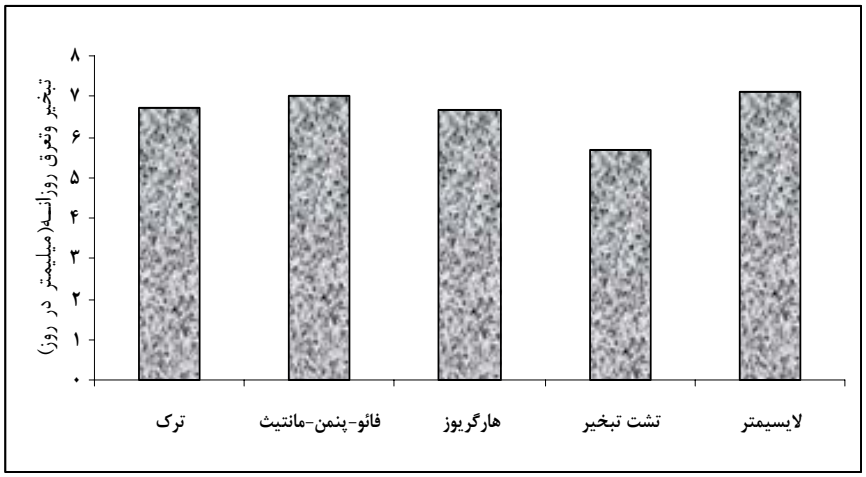
n : تعدد کل داده ها

تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده با فرمولهای محاسباتی فائو-پنمن-مانتیث، ترک، هارگریوز و تشت تبخیر تخمین زده شد و نتایج آن با داده های تبخیروتعرق اندازه گیری شده توسط میکرولایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور بین مقادیر اندازه گیری شده(X) و مقادیر تخمین زده شده(Y) رابطه زیر برقرار گردید:

Y=mX+b

که در آن m شیب و b عرض از مبدأ نمودار است.

هانطور که از نتایج جداول (۱) و (۲) مشخص است معادله فائو-پنمن- مانتیث با بیشترین R^2 و کمترین RMSE و نزدیک‌ترین شیب به یک بهترین معادله و تشت تبخیر با کمترین R^2 وبیشترین RMSE و کم ترین شیب بدترین معادله در تخمین نیاز آبی به حساب می آید. در این میان معادلات تورک و هارگریوز در رتبه دوم و سوم قرار می گیرند. شکل(۱) میانگین تبخیرو تعرق روزانه را در دوره مورد مطالعه توسط روش های مختلف نشان می دهد. بنابراین می توان بیان کرد که اندازه گیری تبخیروتعرق برای استفاده در طرح های آبیاری امری ضروری است که مقدار آن به طور دقیق از طریق لایسیمترها تعیین می شود، ولی مشکلات احداث و هزینه نسبتاً زیاد آن ها مانع از کاربرد عمومی آنها می‌شود و لذا این وسایل بیشتر در کارهای تحقیقاتی و یا واسنجی دیگر روشهای تخمین ET استفاده می شود بنابراین انجام بررسی هایی به منظور تعیین بهترین روش محاسباتی در هر منطقه امری ضروری به نظر می رسد.



شکل(۱): مقایسه میانگین تبخیر و تعرق روزانه بین روش های مختلف

جدول(۱): ارزیابی معادلات مختلف در تخمین تبخیروتعرق سطح مرجع

معادله	R^2	D	MAE	MAXE	EF	RMSE
فائو-پنمن-مانتیث	۰/۹۲	۰/۹۷۸	۰/۶۱	۰/۸۱	۰/۸۳۲۱	۰/۴۳۱
ترک	۰/۸۹	۰/۹۴۵	۰/۸۶	۱/۰۲	۰/۷۱۲۴	۰/۷۴
هارگریوز	۰/۸۴	۰/۹۳	۱/۲	۱/۵	۰/۶۶۷۹	۰/۸۸
تشت تبخیر	۰/۸۱۱	۰/۸۲	۱/۵	۲/۲	۰/۵۰۱۲	۱/۱

جدول(۲): روابط بین مقادیر تخمین زده شده واندازه گیری شده

معادله	Y=mX+b
فائو-پنمن-مانتیث	Y=۰/۸۶X+۰/۶۸
ترک	Y=۰/۷۳X+۰/۵۹
هارگریوز	Y=۰/۶۹X+۰/۴۵
تشت تبخیر	Y=۰/۶۸X+۰/۴۴

منابع

1- پناهی، م.، ارزیابی چند روش محاسباتی برآورد تبخیروتعرق پتانسیل، مجموعه مقالات هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ص ۲۱.

۲- رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۱. جست و جوی روش مناسب برآورد تبخیروتعرق در منطقه اصفهان، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد۲۳: ۹-۱.

۳ - علیزاده. ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۷۰ صفحه.

۴- موسوی، س. ف.، و م. کریمی، ۱۳۶۸. تعیین بهترین روش تبخیر و تعرق باقوه در دشت اصفهان، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هید رولوژی ایران

۵- هاشمی نیا، م. ۱۳۷۸. تبخیر، تبخیر- تعرق و داده های اقلیمی. نشر آموزش کشاورزی. ۲۴۲ صفحه.

6- Burman, R. D., R. H. Cuenca and A. Weiss, 1983. Techniques for estimating irrigation water requirements. Advances in Irrigation, 2: 335-391.

7- Doorenbos, J and W. O Pruitt. 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, Bull. FAO. No. 24, 144p.

8- Garcia, M., D. Raes, R. Allen and C. Herbas, 2004. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands. Agricultural and Forest Meteorology 125:67-82.

9- Jensen, M. E., J. L.Wright, and B. J. Pratt, 1971. Estimating soil moisture depletion from climate ,crop and soil data. Trans ASAE, 14: 954-959.

10- Karam, F., R. Masaad, T. Sfeir, O. Mounzer and Y. Rouphael, 2005. Evaporation recorder. Trans. Amer. Geophys. Union 37:739-742.