جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر وتعرق درمنطقه اصفهان

رحمان رحیم زادگان

استادیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ وصول سوم آبانماه ۱۳۶۹

چکیده

به منظورجستجوی مناسبترین روش محاسبه‌تبخیروتعرق درمنطقه‌اصفهان که‌جزومناطق خشك به حساب می‌آید و اقلیمهای مشابه، چمن به عنوان گیاه مبنا درسه عدد لایسیمتر کاشته شد. آب مصرفی چمن به مدت دو سال و به‌صورت روزانه اندازه گیری گردید. هم زمان بااین آزمایش، پارامترهای اقلیمی نیز درایستگاه کلیماتولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه گیری شده و تبخیر و تعرق بالقوه برای گیاه مبنا بااستفاده از ۱۲ روش مختلف محاسبه گردید. مقایسه‌نتایج حاصل‌ازاندازه‌گیری تبخیروتعرق بالقوه چمن بعنوان گیاه مبنا در لایسیمترها با روشهای محاسباتی نشان می‌دهد که به ترتیب روشهای جنسن ـ هیز، کریستیانسن و هارگریوز، بلینی ـ کریدل اصلاح شده، پن من و ترك نسبت به روشهای دیگر تخمین مناسبتری از تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مبنا رابرآورد می‌نمایند.

مقدمه

بدون شك موضوع آب و آبیاری به عنوان اصلی‌ترین مسئله‌دربخش کشاورزی کشورماوبسیاری ازنقاط خشك و نیمه خشك جهان مطرح است. کشورما ایران اگرچه از جمله کشورهای کم آب به حساب می‌آید ولی واقعیت این است که آن مقدار آب هم که دراختیاربخش کشاورزی قرارمی‌گیرد با راندمان بسیار پائین مصرف می‌گردد. کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی (۲) راندمان آبیاری درایران را ۳۰ درصد تخمین زده است که مبین تلفات زیاد آب درشبکه انتقال و مزارع کشاورزی است. افزایش راندمان انتقال آب به طرق مختلف امان پذیر استکه‌موضوع بحث این مقاله‌نمی‌باشد. یکی‌ازراههای کاهش تلفات آب درمزارع را می‌توان برنامه ریزی آبیاری عنوان کرد که اساس آن را برآورد مناسب آب مصرفی گیاهان تشکیل می‌دهد. تاکنون ده ها معادله‌تجربی‌ونیمه‌تجربی برای محاسبه‌تبخیروتعرق بالقوه‌ارائه‌شده‌است. منظوراز تبخیروتعرق بالقوه‌دراین مقاله تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مبناست. پس از محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه (Et_p) بااعمال ضریب مصرف (K) هرگیاه خاص مقدار تبخیر و تعرق حقیقی (Et_c) آن گیاه بدست می‌آید.

$$Et_c = K.Et_p \qquad (1)$$

همه معادلاتی که برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه استفاده می‌شوند پارامترهای اقلیمی یکسان را بکار نمی‌گیرند و به همین دلیل مقادیر محاسبه شده‌از روشهای مختلف هماهنگ‌نیستند. به‌این ترتیب این سوال مطرح می‌شود که درهر منطقه کدامیك از این معادلات تخمین بهتری از تبخیر و تعرق بالقوه را

می‌دهد.

جنسن (۴) تبخیر وتعرق اندازه گیری شده را با نتایج حاصل ازمحاسبات چندین روش مقایسه کرده و دقت معادلات مختلف را برای مناطق خشك و مرطوب تعیین نموده است. جنسن اشاره می‌کند که داده های مورد استفاده وی توسط افراد مختلفی جمع آوری شده از طرف دیگر منطقه خشك و مرطوب طیف وسیعی را از نظراقلیمی شامل می‌شود و برلزوم مطالعه درهرمنطقه برای تعیین مناسبترین روش درآن منطقه تاکید می‌کند. به علاوه درمواردی خلاف نتایج جنسن مشاهده گردیده است.

موسوی وکریمی تبخیروتعرق بالقوه را برای اصفهان محاسبه وبا نتایج آزمایشات پوتومتری[1] مقایسه کرده‌اند(۱).

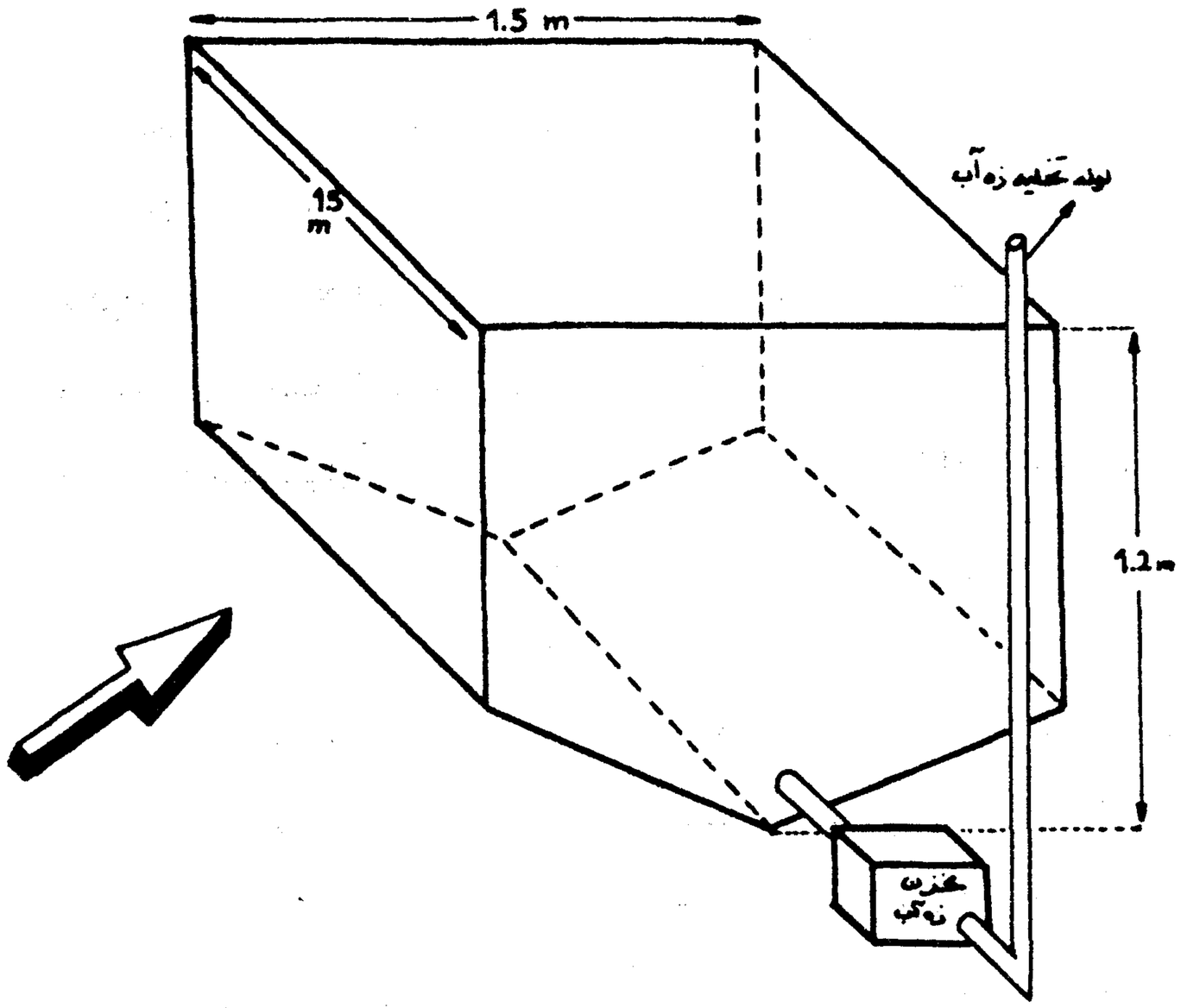
هدف اصلی از این پژوهش این است که مناسبترین روش محاسبه تبخیر و تعرق برای دشت اصفهان و اقلیمهای مشابه مشخص گردد. اصفهان با میانگین درجه حرارت سالانه ۱۵/۸ سانتیگراد و بارندگی سالانه ۱۴۰ میلیمتر منطقه خشك به حساب می‌آید.

مواد و روشها

سه عدد لایسیمتر با سطح ۱/۵ × ۱/۵ متر و عمق ۱/۲ متر برای کاشت چمن و اندازه گیری تبخیر وتعرق بالقوه ساخته شد. کف لایسیمترها شیبدار ساخته شده و به وسیله لوله‌ای کوتاه به یك مخزن متصل گردید تا زه‌آب به آن هدایت شود. لوله‌ای عمودی از مخزن به سطح زمین آمده تا زه‌آب جمع شده به وسیله پمپ دستی به بیرون کشیده شود. یك نمونه از لایسیمتر مورد استفاده درشکل ۱ نشان داده شده است. لایسیمترها در مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان در درون خاك قرار داده شده و درداخل آنها ابتدا به ضخامت حدود ۳۰ سانتی‌متر شن ریخته شد و سپس باخاك مزرعه لورك که تیپیك منطقه است پر شد. قبل از کاشت چمن در داخل لایسیمترها ،چندین بار عمل آبیاری انجام گرفت تا خاك نشست خود را انجام دهد و دوباره لایسیمترها از خاك پر شد. حد ظرفیت مزرعه این خاك ۲۸ درصد وزنی نقطه پژمردگی آن ده درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری آن ۱/۱۹ گرم برسانتیمترمکعب اندازه گیری گردید. منحنی رطوبتی خاك درآزمایشگاه توسط دستگاه پرشرممبران تهیه شد تا مکشهای قرائت شده‌از تانسیومتر به درصد رطوبت تبدیل شود. داخل لایسیمترها و اطراف آنها تا شعاع ۷ متری گیاه چمن به عنوان گیاه مبنا کاشته شد. لایسیمترها در وسط مزرعه کارگذاشته شد و درشعاع بیش از ۷ متری نیز گیاهان دیگری کاشته شده بود. برای اندازه گیری رطوبت خاك درهر لایسیمترسه‌عددتانسیومتردراعماق ۱۵، ۴۵ و۷۵ سانتیمتری کارگذاشته شد.

برای جلوگیری ازتنش رطوبتی درگیاه تصمیم گرفته شد که هروقت یکی ازتانسیومترها مکش ۴۵ تا ۵۵ سانتی بار رانشان بدهد، عمل آبیاری انجام گیرد. با توجه به اینکه خاك سطحی زودتر خشك می‌شود بنابراین عملا" تانسیومتری که درعمق ۱۵ سانتیمتری قرارگرفته زمان آبیاری را کنترل می‌کند. مقدارآب آبیاری طوری انتخاب می‌شد که حتما" مقداری آب وارد

۱- منظوراز آزمایشات پوتومتری آزمایشاتی است که درداخل استوانه فلزی یا گلدان انجام می‌گیرد. این وسیله در مزرعه در داخل خاك قرارمی‌گیرد.



شکل ۱ـ نمونه‌ای از لایسیمتر مورد استفاده .

مخزن زه‌آب گردد ۰ درطول آزمایش ارتفاع چمن بین ۷ تا ۱۰ سانتیمتر نگهداشته شد ۰

اندازه گیری رطوبت خاك و جمع آوری زه‌آب بطور روزانه و معمولا" نزدیکی غروب انجام می‌گرفت ۰ مقدار تبخیر و تعرق از هر لایسیمتر از رابطه زیر که در حقیقت یك معادله بیلان آب است محاسبه می‌شود ۰

$$Et_p = \sum_{i=1}^{3} (\Theta_{v1i} - \Theta_{v2i}) . D_i - D_d \qquad (۲)$$

که دررابطه بالا Et_p تبخیر و تعرق بالقوه (سانتیمتر درروز)، i شماره تانسیومتر، Θ_{v1i} رطوبت حجمی اولیه خاك که تانسیومتر i ام در روز قبل نشان داده، Θ_{v2i} رطوبت حجمی ثانویه خاك که تانسیومتر i ام در روز مورد نظرنشان داده، D_i ضخامت لایه‌ای ازخاك (سانتیمتر) که تانسیومتر نشان دهنده رطوبت آن است (دراین آزمایش D_i = ۳۰ سانتیمتر برای همه تانسیومترها بوده است) و D_d عمق معادل زه‌آب (سانتیمتر) است که ازتقسیم حجم زه‌آب به سطح لایسیمتر بدست می‌آید ۰

آزمایش به مدت دوسال انجام گرفت ۰ درماههای سرد باتوجه به درجه حرارت پائین خاك دربسیاری از روزها تانسیومترها از کارافتاده در روزهائی که از کار نیافتاده نیز داده های بدست آمده مطمئن نیستند ۰ به همین دلیل درتجزیه وتحلیل داده ها اندازه‌گیریهای مربوط به ماههای سردحذف شده و درهرسال ۶ ماه داده مورد بررسی قرارگرفت ۰ باتوجه به اینکه اصولا" در ماههای سرد نیاز چندانی به آبیاری نیست بنابراین موضوع فوق تاثیری درکارائی نتایج ندارد ۰

پارامترهای اقلیمی روزانه از قبیل درجه حرارت، رطوبت نسبی هوا وسرعت باد درطول این مدت در ایستگاه کلیماتولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شده‌است ۰

نتایج

اگرچه اندازه گیری تبخیر وتعرق بالقوه به‌صورت روزانه بوده ولی به چندین دلیل تجزیه وتحلیل داده‌ها به صورت ماهانه انجام گرفته‌است. اولا" بعضی از معادلات تبخیر وتعرق که برای مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده استفاده می‌شوند میزان تبخیروتعرق را ماهانه محاسبه می‌کنند. ثانیا" چون اندازه گیری رطوبت توسط تانسیومتر در سه عمق انجام گرفته دربعضی روزها تغییر رطوبت درپروفیل خاك در نقطه‌ای که تانسیومترقرارگرفته اتفاق نمی‌افتد(برای مثال اگر تبخیر وتعرق از عمق صفرتا ۱۰ سانتیمتری تامین شود هیچ‌کدام از تانسیومترها تغییری نشان نمی‌دهند). با جمع‌کردن تغییر رطوبت درپروفیل خاك در درازمدت این خطا خودبخود رفع می‌گردد. لازم به تذکراست که متوسط تبخیر و تعرق از سه لایسیمتر به عنوان تبخیر و تعرق بالقوه اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرارگرفته است.

ازبین کلیه معادلات تبخیروتعرق بالقوه ۱۲ روش که بیشتر مورد استفاده قرارمی‌گیرند وبا توجه به آمارهواشناسی جمع‌آوری شده امکان محاسبه آنهاوجود داشت برای مقایسه با تبخیروتعرق اندازه‌گیری شده انتخاب گردیده‌اند. روشهای مورد استفاده عبارتند از: ترك[1]، جنسن ـ هیز[2]، کریستیانسن ـ هارگریوز[3]، مکینك[4]، استرومکی[5]، پن من[6]، بلینی ـ کریدل[7]، بلینی ـ کریدل اصلاح شده[8]، پاپاداکیس[9]، ایوانوف[10]، بهینگ وماکسی[11] و تورنت ویت[12]. توضیح کافی در مورد این روشها توسط جنسن (۴) وسازمان خواروبار جهانی (۳) داده شده است.

محاسبه‌تبخیروتعرق بالقوه‌دربعضی‌ازروشهای ذکر شده نیاز به میزان تشعشع‌خورشیدی (R_s) یاتشعشع خالص (R_n) دارد که مقادیرآنها طبق پیشنهاد ماروین‌جنسن (۴) از روابط زیرمحاسبه شده است.

$$R_s = (0/35 + 0/61 \frac{n}{N}) R_{so} \quad (3)$$

$$R_n = aR_s + b \quad (4)$$

که دراربطه با لا R_{so} تشعشع‌خورشید در روز بدون ابر است و از جداول مربوطه (۴) و با توجه به عرض جغرافیائی منطقه انتخاب می‌شود، $\frac{n}{N}$ نسبت ساعات آفتابی حقیقی به ساعات آفتابی ممکن و a و b ثابتهائی هستند که باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه اصفهان بترتیب ۰/۷۶ و ۰/۲۰- انتخاب گردیده‌اند(۴).

آمارهواشناسی وسایرپارامترهای مورد استفاده درمحاسبه تبخیرو تعرق درجدول ۱ نشان داده شده‌است، بااین توضیح که درمحاسبه تبخیر وتعرق با روشهای روزانه‌آمار، روزانه‌استفاده‌شده‌که‌ارائه تمام این آمار در این مختصر ممکن نیست. مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه محاسبه شده و همچنین اندازه گیری شده درجدول ۲ آمده است.

بحث

به منظور انتخاب مناسبترین روش محاسبه‌تبخیر و تعرق بالقوه ابتدا واریانس جامعه تفاوتها برای هر کدام از روشها از رابطه زیرمحاسبه شده است:

1- Turc
2- Jensen-Haise
3- Christiansen and Hargreaves
4- Makkink
5- Ostromecki
6- Penman
7- Blaney-Criddle
8- Adjusted Blaney-Criddle
9- Papadakis
10- Ivanov
11- Behnke
12- Thornthwaite

جدول ۱ــ داده‌های مورد استفاده در محاسبه تبخیر و تعرق با لقوه (مربوط به ماههائی که تبخیر و تعرق در مزرعه اندازه‌گیری شده است).

ماه و سال		متوسط درجه حرارت، (سانتیگراد)	میانگین رطوبت نسبی % صبح	ظهر	غروب	سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (کیلومتر در ساعت)	نسبت ساعات آفتابی $(\frac{n}{N})$	R_s (لنگلی در روز)	R_n (لنگلی در روز)	$\frac{\Delta}{\Delta+\delta}$	گرمای پنهان تبخیر (کالری بر سانتی‌متر مکعب)	فشار بخار اشباع (میلی‌بار)	فشار بخار آب در هوا (میلی‌بار)	درصد ساعات روشن روز در ماه
خرداد	۶۷	۲۵/۰	۳۴	۱۵	۱۷	۷/۹	۰/۹۲	۷۰۳	۵۱۵	۰/۷۷	۵۸۱/۸	۳۱/۷	۷/۰	۹/۶۵
تیر	"	۲۸/۳	۳۵	۱۵	۱۶	۷/۳	۰/۹۷	۷۲۱	۵۲۸	۰/۷۹۸	۵۷۹/۹	۳۸/۴	۸/۴	۹/۷۶
مرداد	"	۲۸/۳	۳۷	۱۵	۱۵	۶/۵	۰/۹۳	۶۶۳	۴۸۴	۰/۷۹۸	۵۷۹/۹	۳۸/۴	۸/۶	۹/۴۵
شهریور	"	۲۵/۰	۴۱	۱۵	۱۸	۶/۲	۰/۹۸	۶۰۴	۴۳۹	۰/۷۷۰	۵۸۱/۸	۳۱/۷	۷/۸	۸/۶۲
مهر	"	۱۹/۳	۴۹	۱۹	۲۴	۵/۱	۰/۹۵	۴۹۳	۳۵۵	۰/۷۱۲	۵۸۴/۹	۲۲/۴	۶/۹	۸/۰۴
آبان	"	۱۴/۴	۵۷	۲۰	۲۸	۵/۶	۰/۸۴	۳۷۷	۲۶۷	۰/۶۵۶	۵۸۷/۶	۱۶/۴	۵/۷	۷/۳۳
اردیبهشت	۶۸	۱۷/۷	۵۸	۲۴	۳۲	۶/۸	۰/۷۳	۵۶۴	۴۰۹	۰/۶۹۵	۵۸۵/۸	۲۰/۳	۷/۷	۹/۳۷
خرداد	"	۲۵/۴	۳۷	۱۱	۱۵	۷/۳	۰/۹۷	۷۳۲	۵۳۶	۰/۷۷۴	۵۸۱/۵	۳۲/۴	۶/۸	۹/۶۵
تیر	"	۲۹/۹	۳۱	۱۱	۱۳	۶/۸	۰/۹۸	۷۲۴	۵۳۰	۰/۸۱۰	۵۶۵/۶	۴۲/۲	۷/۷	۹/۷۶
مرداد	"	۲۷/۶	۳۴	۱۲	۱۳	۶/۰	۰/۹۷	۶۷۲	۴۹۰	۰/۷۹۳	۵۸۰/۳	۳۶/۹	۷/۳	۹/۴۵
شهریور	"	۲۵/۶	۳۴	۱۳	۱۶	۵/۹	۰/۹۹	۶۰۹	۴۴۳	۰/۷۷۵	۵۸۱/۴	۳۲/۸	۶/۹	۸/۶۲
مهر	"	۱۹/۲	۴۵	۱۴	۲۰	۵/۲	۰/۹۹	۴۹۳	۳۵۵	۰/۷۱۱	۵۸۴/۹	۲۲/۲	۵/۸	۸/۰۴

جـــــدول ۲ـ مقادیرتبخیروتعرق با لقوه اندازه‌گیری شده درلایسمتـــــرومحاسبه‌شده‌به‌روشهای مختلف (میلیمتردرماه).

ماه اول	نام روش											
	اندازه‌گیری‌شده‌در لایسمتـــر	ترک	جنسن- هیز	کوهستیانسن و هارگریوز	مکینک	استرومکی	پن مـن	بلینـی کریـدل	بلینی - کریدل اصلاح‌شده	پاپاداکیس	ایوانون	بهینگ و ماکـی	تورنت ویـت
خـــرداد ۶۷	۲۹۹/۵	۲۸۹/۵	۲۹۰/۵	۲۶۵/۷	۱۸۶/۱	۴۳۱/۰	۳۳۵/۴	۱۸۸/۷	۲۵۳/۲	۱۰۹/۱	۳۵۱/۰	۳۴۰/۶	۱۴۰/۷
تیـــر ۶۷	۳۳۱/۰	۲۹۹/۰	۳۲۱/۴	۲۸۵/۱	۱۹۱/۰	۵۲۶/۶	۳۴۳/۵	۲۰۵/۶	۲۷۴/۱	۱۱۶/۴	۳۹۸/۹	۳۸۱/۹	۱۷۵/۹
مـــرداد ۶۷	۳۱۴/۷	۲۸۰/۵	۳۰۰/۶	۲۵۹/۸	۱۷۸/۵	۵۲۳/۲	۳۲۲/۰	۱۹۹/۰	۲۶۰/۳	۱۲۲/۱	۳۹۷/۲	۳۴۵/۴	۱۶۸/۸
شهریـــور ۶۷	۲۳۹/۰	۲۳۵/۵	۲۳۹/۷	۲۰۷/۶	۱۵۲/۹	۴۱۶/۹	۲۷۷/۹	۱۶۸/۶	۲۰۶/۰	۱۲۰/۹	۳۳۹/۰	۲۷۹/۸	۱۲۵/۸
مهـــر ۶۷	۱۲۳/۶	۱۶۳/۳	۱۵۳/۲	۱۳۲/۳	۱۱۲/۸	۲۶۳/۰	۲۰۶/۲	۱۳۶/۳	۱۵۳/۴	۸۶/۶	۲۴۴/۹	۱۶۹/۱	۷۲/۴
آبـــان ۶۷	۹۰/۳	۱۱۳/۴	۹۸/۹	۹۳/۰	۸۴/۳	۱۸۴/۵	۱۵۷/۳	۱۰۷/۸	۱۰۵/۷	۶۳/۰	۱۸۱/۶	۹۲/۸	۳۹/۳
اردیبهشت ۶۸	۱۵۵/۰	۲۰۳/۰	۲۰۲/۱	۱۸۷/۸	۱۵۹/۸	۲۲۲/۹	۲۵۹/۴	۱۵۲/۰	۱۵۱/۵	۵۸/۵	۲۰۳/۵	۲۲۸/۷	۷۳/۱
خـــرداد ۶۸	۲۱۰/۰	۲۹۴/۷	۲۹۴/۳	۲۶۳/۵	۱۸۹/۲	۴۲۴/۱	۳۳۲/۶	۱۹۰/۵	۲۶۰/۹	۱۱۵/۳	۳۶۱/۲	۳۴۶/۰	۱۴۵/۱
تیـــر ۶۸	۲۹۰/۴	۳۱۶/۸	۳۳۸/۴	۲۹۳/۱	۱۹۶/۲	۶۰۰/۰	۳۵۰/۶	۲۱۲/۷	۲۸۵/۱	۱۳۷/۳	۴۴۳/۱	۴۰۳/۴	۱۹۳/۷
مـــرداد ۶۸	۲۴۶/۳	۲۸۶/۷	۲۹۳/۷	۲۴۸/۷	۱۷۹/۱	۵۱۸/۶	۳۱۷/۱	۱۹۶/۰	۲۵۷/۳	۱۱۴/۲	۴۰۰/۱	۳۳۶/۸	۱۶۱/۱
شهریـــور ۶۸	۲۲۴/۱	۲۴۷/۴	۲۴۵/۶	۲۰۸/۴	۱۵۶/۰	۴۵۷/۲	۲۸۱/۲	۱۷۰/۹	۲۱۵/۵	۱۲۴/۹	۳۶۴/۱	۲۸۶/۵	۱۳۱/۵
مهـــر ۶۸	۱۴۴/۹	۱۷۰/۳	۱۵۲/۶	۱۳۲/۸	۱۱۴/۵	۲۷۷/۶	۲۰۶/۲	۱۳۵/۹	۱۵۱/۲	۹۳/۹	۲۵۹/۱	۱۶۸/۳	۷۲/۵

$$S_d^2 = \frac{\Sigma di^2 - \frac{(\Sigma di)^2}{N}}{N-1} \qquad (۵)$$

که درابطه با لا d اختلاف تبخیر و تعرق محاسبه‌شده درهرماه بامقدارانداز‌ه‌گیری شده درهمان ماه، N تعداد مشاهدات (دراین تجزیه وتحلیل ۱۲= N) و S_d انحراف معیارجامعه تفاوتها می‌باشد۰

مقادیر انحراف معیارتفاوتها برای ۱۲ روش در جدول۳ نشان داده شده‌است۰ روشهائی که‌انحراف معیار کمتری دارندتبخیروتعرق بالقوه را بهترتخمین می‌زنند۰ درجه بندی روشهای مختلف براین مبناانجام گرفته و درجدول ۳ گنجانده شده است۰ همانطوریکه دراین جدول مشاهده می‌شود روشهای جنسن ـ هیز، کریستیانسن ـ هارگریوز، بلینی ـ کریدل اصلاح شده، پن من و ترک پنج روشی هستند که بترتیب تخمین بهتری از تبخیر و تعرق بالقوه اندازه‌گیری شده را برآورد می‌نمایند۰ سایرروشها نیز درهمین جدول درجه بندی شده‌اند۰

اگرچه روشهائی که درمطالعه حاضر مورد بررسی قرارگرفت با روشهائی که توسط جنسن (۴) تجزیه و تحلیل شده با هم متفاوت هستند ولی درمورد روشهائی که درهردو مطالعه بررسی شده‌اند نتایج مشابهی بدست آمده است۰ درمطالعه حاضر روش جنسن ـ هیزبه‌عنوان بهترین روش برای تخمین تبخیر و تعرق بالقوه دردشت اصفهان و اقلیمهای مشابه انتخاب شده که جنسن نیز همین روش را به عنوان بهترین روش برای مناطق خشك و نیمه خشك معرفی کرده است۰ ولی روش پن من را به عنوان دومین روش مناسب برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه در مناطق خشك و نیمه خشك معرفی کرده

جدول ۳ـ تجزیه‌وتحلیل آماری روشهای مختلف تبخیروتعرق بالقوه .

ردیف	روش محاسبه تبخیروتعرق بالقوه	انحراف معیار تفاوتها (میلیمتردرماه)	خطای معیار (میلیمتردرماه)	رتبه
۱	ترک	۳۴/۳	۹/۹۱	۵
۲	جنسن ـ هیز	۳۰/۱	۸/۷۰	۱
۳	کریستیانسن و هارگریوز	۳۱/۶	۹/۱۲	۲
۴	مکینک	۵۱/۱	۱۴/۷۷	۱۰
۵	استرومکی	۷۲/۷	۲۱/۰	۱۲
۶	پن من	۳۳/۹	۹/۷۸	۴
۷	بلینی ـ کریدل	۵۰/۶	۱۴/۶۲	۹
۸	بلینی ـ کریدل اصلاح شده	۳۳/۷	۹/۷۲	۳
۹	پاپاداکیس	۶۱/۹	۱۷/۸۸	۱۱
۱۰	ایوانون	۳۸/۷	۱۱/۱۲	۸
۱۱	بهینک وماکسی	۳۸/۴	۱۱/۰۹	۷
۱۲	تورنت ویت	۳۸/۲	۱۱/۰۴	۶

که درمطالعه حاضر به عنوان چهارمین روش مناسب شناخته شده ولی اگر توجه شود که جنسن روشهای کریستیانسن - هارگریوز و بلینی - کریدل اصلاح شده را (که دراین بررسی به عنوان روشهای دوم و سوم درجه‌بندی شده‌اند)، مورد بررسی قرارنداده یکنواختی نتایج دو مطالعه بیشتر روشن می‌شود. روشهای مکنیك، استرومکی ایوانوف و پاپاداکیس در هر دو مطالعه درجات مشابهی را احراز کرده وازجمله روشهائی هستند که تخمین خوبی از تبخیر و تعرق بالقوه را درمنطقه خشك و نیمه خشك نمی‌دهند. می‌توان گفت که تنها اختلاف فاحش دو مطالعه‌مربوط به‌روشهای ترك و تورنت ویت است که درمطالعه حاضر جزو روشهائی که دقت متوسط دارنددرجه بندی شده‌اند درحالی که درجه بندی جنسن از روشهائی هستند که تخمین خوبی از تبخیر و تعرق رانمی‌دهند.

لازم است اشاره شود که از ۵ روش مناسب برای منطقه اصفهان، سه روش یعنی روشهای جنسن - هیز، کریستیانسن - هارگریوز و بلینی - کریدل اصلاح شده روشهائی هستند که درقسمتهائی از امریکای غربی با آب و هوای مشابه با اصفهان و درنقاطی که تقریبا" عرض جغرافیائی نزدیك به اصفهان دارند بدست آمده است. این نکته با نظر شاو و هیل (۵) که برای انتقال تکنولوژی کشاورزی آب و هوای مشابه و عرض جغرافیائی یکسان را شرط می‌دانند کاملا" منطبق است. در مورد دقت روش پن من برای منطقه اصفهان می‌توان گفت که اگرچه این روش درانگلستان باآب و هوای متفاوت از اصفهان بدست آمده ولی دقت آن به دلیل استفاده از تعدادی زیادی پارامتراقلیمی درمحاسبه قابل قبول می‌باشد، همچنین روش ترك نیزکه دراروپای غربی بدست‌آمده برای رطوبت هوا تصحیح شده‌وهمین موضوع باعث شده‌درمنطقه‌اصفهان که نسبتا" خشك است جواب مناسبی راارائه دهد.

همانطوری که درجدول ۳ مشاهده می‌شود مقادیر انحراف معیار بعضی از روشها خیلی به هم نزدیك است. بنابراین لازم بود که آزمون روی آنها انجام گرفته و معنی دار بودن تفاوتها معلوم گردد. برای این منظور خطای معیار برای کلیه روشها محاسبه شده و درجدول ۳ آمده است. سپس با وجود اینکه آزمون دانکن خاص مقایسه میانگینها است با نظر متخصص آمار روی خطای معیارها اعمال گردیده و بر- مبنای نتایج حاصل روشهای جنسن - هیز، کریستیانسن- هارگریوز، بلینی - کریدل اصلاح شده، پن من و ترك درگروه اول، روشهای ایوانون، بهینگ و ماکسی و تورنت ویت درگروه دوم، روشهای بلینی - کریدل و مکینگ در گروه سوم و بالاخره روشهای پاپاداکیس و استرومکی در گروه چهارم از نظر درجه درستی قرار می‌گیرند. بااین حال آزمون بارتلت برای متجانس بودن یا نبودن واریانس ها نیز اعمال گردید و نتایج حاصل از آزمون دانکن تائید شد.

نتیجه نهائی این مطالعه به‌این صورت قابل عرضه‌است که براساس بررسیهای دوساله کاربردروش جنسن - هیز برای برآوردتبخیر وتعرق بالقوه‌درمنطقه اصفهان بیشترقابل توصیه می‌باشد. درعین حال استفاده ازچهارروش دیگریعنی روشهای کریستیانسن وهارگریوز، بلینی - کریدل اصلاح شده، پن من و ترك نیزدقت قابل قبولی برای محاسبه تبخیروتعرق بالقوه دارند. بدیهی است برای انعکاس توصیه های قطعی تر، لازم است بدست آزمایش واندازه‌گیریهاطولانی ترانتخاب گردد.

سپاسگـــزاری

بدین وسیله ازشورای هماهنگی تحقیقات دانشگـــاه صنعتی اصفهان که امکانات مادی لازم برای اجـــرای این مطالعه را فراهم نمودند، صمیمانه تشکرمی‌نمایم۰

از همکارگرامی آقای دکتر عبدالمجید رضائـــی که درتجزیه و تحلیل آماری داده ها نگارنده را یـــاری نمودند، سپاسگزارهستم۰ از دانشجو رامین جمیلـــی که در طول ۲ سال وظیفه آمار برداری را به عهـــده داشته و کارخود را با دقت بسیارخوب انجـــام داده تشکرمی‌کنم۰

مراجع مورد استفاده :

REFERENCES:

۱ـ موسوی، ف ۰ و م ۰ کریمی۰ ۱۳۶۸۰ تعیین بهترین روش تخمین تبخیر و تعرق بالقوه دردشت اصفهان ۰ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ایران۰ شرکت مهندسی مشاورمهاب قدس، شماره(۱): ۳۹۶ ـ ۳۸۹۰

2- Bos, M.G. & J. Nugteren. 1982. On irrigation efficiencies. 3rd. Ed. ILRI, Wageningen, the Netherlands: 138 PP.

3- Doorenbos, J. & W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. 2nd Ed. FAO, Rome: 144 PP.

4- Jensen, M.E. 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements. 1st Ed. The American society of Civil engineers, New York: 215 PP.

5- Shaw, R.H. & R.W. Hill. 1975. Reference climate sites for agricultural technology transfer, Utah State University, 211(d)- 11: 1-15.

Determination of An Appropriate Estimating Method of Evapotranspiration in Esfahan.

R. RAHIMZADEGHAN
Assistant Professor, College of Agriculture, Isfahan university of Technology, Isfahan, Iran.
Received for Publication, October 25, 1990.

SUMMARY

Lawn was planted in three lysimeters as the refrence crop in order to adopt an accurate method (S) of estimation of potential evapotranspiration for reference crop in Isfahan. The daily evapotranspriatior of Lawn was measured in a water balance type lysimeter for two years. Furthermore, Climatalogical data were collected in a weather station in Isfahan University of technology and potential evapotranspiration was calculated using 12 different methods. Comparing calculated and measured values of reference crop potential evapotranspriration showed that the Jensen-Haise, Christiansen and Hargreaves, adgusted Blaney-Criddle, Penman and Turc methods give better estimates of reference crop potential evapotranspiration, respectively.