مقاله شماره ۱۱

موضوع :

مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشهای توصیه شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO) در چند منطقه مختلف ایران

توسط :

بخش جوان

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

محمدرضا انتصاری، مهران نوروزی ، علیرضا سلامت ، مهرزاداحسانی و علیرضاتوکلی

چکیده :

به منظور محاسبه نیاز آبی کشت در طی چندین دهه اخیر روشهای از بسیار ساده مانند تشتک تا کامل مانند پن‌من ارائه شده است. سازمان خواربار جهانی FAO آخرین بار در سال ۱۹۷۷ در نشریه ۲۴ آن سازمان استفاده از پنج روش تشتک (PAN EVAPORATION)، پن‌من و پن‌من اصلاح شده (PENMAN) ، تشعشع (RADIATION) و بلینی -کریدل (BALANY - CRRIDDLE) را توصیه نمود که هرکدام با اتکا به برخی پارامترهای اقلیمی نیاز آبی پتانسیل (ETO) را محاسبه می‌نمایند.

فرمول پن‌من دیگر بار اصلاح گردید تا پاره‌ای از مشکلات روش پن‌من اصلاح شده را حل نماید . این اصلاح توسط مانتیت (MONTETIH 1985, 1986) صورت گرفت.

اخیراً سازمان خواربارجهانی روش پن‌من‌مانتیت (PENMAN-MONTEITH) را جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده نموده و در برنامه کامپیوتری CROPWAT از این روش بهره جسته است . این روش در اکثریت قریب به اتفاق مناطق ایران پایین‌ترین رقم در مقایسه با سایر روشهای توصیه شده در کتاب FAO24 را از خود نشان داد که تعمق بسیاری را نیازمند می‌باشد و تحولی را در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل می‌تواند ایجاد نماید. در این تحقیق، تبخیر و تعرق پتانسیل در چند نقطه از ایران با توجه به آمارهای اقلیمی ارائه شده برای روش پن‌من‌مانتیت به همراه روشهای توصیه شده دیگر سازمان خواربارجهانی (تشتک ، پن‌من، پن‌من اصلاح شده، تشعشع، بلینی -کریدل) محاسبه گردیده و سپس روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها مقایسه شده است و قابلیت اتکا به این روش تجزیه و تحلیل گردیده، ضمناً تحولی که این روش می‌تواند در پروژه‌های تامین آب کشاورزی ایجاد نماید بحث گردیده است.

مقدمه

محاسبه نیاز آبی کشت گیاهان از اهمیت ویژه‌ای در طرحهای توسعه منابع آب و کشاورزی برخوردار است. در اکثر طرحهای توسعه منابع آب بیش از ۷۵ درصد آب موردنیاز را بخش کشاورزی به خود اختصاص داده است و سهم کمتری از آن موردنیاز صنعت و شرب شهری می‌باشد لذا محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع نقش تعیین کننده‌ای را در اینگونه طرحها ایفاء می‌نماید. هم‌اکنون در طرحهای مذکور با تردید از ۵ روش تشتک ، بلینی و کریدل، پن‌من، پن‌من اصلاح شده و تشعشع استفاده می‌شود. روش بلینی - کریدل از آمارهای اندازه‌گیری شده درجه حرارت ، تخمینی رطوبت ، باد ، و آفتاب استفاده می‌نماید روش تشعشع از آمارهای اندازه‌گیری شده درجه حرارت و آفتاب و تشعشع در صورت موجود بودن و آمارهای تخمینی باد و رطوبت استفاده می‌نماید روش پن‌من‌مانتیت از پارامترهای درجه حرارت ، رطوبت، باد، تشعشع و شاره گرمای خاک استفاده می‌نماید.

اخیراً سازمان خواربار جهانی روش پن‌من‌مانتیت را مورد استفاده قرار داده است که اتکاء به پارامترهای فیزیکی آن، بیشتر از روش‌های قبلی می‌باشد و تعدیل مجددی بر فرمول پن‌من‌اصلاح شده می‌باشد و تطابق آن با داده‌های لیسیمتری بسیار بیشتر است به همین دلیل می‌توان اتکا بیشتری به نتایج آن نمود. اینک در چند اقلیم ایران به همراه یک اقلیم در کالیفرنیا روش پن‌من‌مانتیت همراه روش‌های دیگر موردمحاسبه و مقایسه قرار می‌گیرد.

تجربیات جهانی

سازمان خواربار جهانی FAO در سال ۱۹۹۲ در برنامه کامپیوتری محاسبه نیاز آبی کشت (CROPWAT) از روش پن‌من‌مانتیت جهت محاسبه تبخیر و تعرق استفاده نموده و براساس آن یک برنامه جامع کامپیوتری را ارائه داده است. این برنامه با استفاده از پارامتر اقلیمی بحث شده میزان تبخیر و تعرق را به روش پن‌من‌مانتیت محاسبه می‌نماید. متعاقب آن در سال ۱۹۸۴ سازمان مذکور در برنامه کامپیوتری (CLIMWAT FOR CROPWAT) صحه مجددی بر روش مذکور گذاشته ضمن آنکه آمارهای اقلیمی موردنیاز جهت اجرای برنامه CROPWAT در کشورهای مختلف از جمله ایران را نیز ارائه داده است. سازمان خواربارجهانی در سالهای اخیر غیرمستقیم اصرار بسیاری در استفاده از روش مذکور نموده است. روش پن‌من‌مانتیت توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی آمریکا USICD به عنوان یک روش استاندارد ارائه شده است.

روش محاسبه

کلیه روشهای محاسبه تبخیر و تعرق به جز روش پن‌من‌مانتیت در نشریه شماره ۲۴ سازمان خواربار جهانی بحث شده است. فرمول‌های مورداستفاده در روش پن‌من‌مانتیت که از برنامه CROPWAT استخراج شده بشرح

زیر است :

$$ETO = \frac{0.408\,(R_n - G) + y\,\frac{900}{T+273}\,U_2(ea-ed)}{\Delta + y\,(1 + 0.34U_2)}$$

که در رابطه فوق :

ETO = تبخیر و تعرق گیاه مرجع میلیمتر در روز

R_n= تشعشعات خالص $MJM^{-2}d^{-1}$

G = جریان گرما به داخل خاک $MJM^{-2}d^{-1}$

T = متوسط دمای هوا به سانتیگراد

U_2= سرعت باد در ارتفاع ۲ متری به متر در ثانیه

ea-ed = کسر فشار بخار

Δ = شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما KP/C^{-1}

y = ضریب ثابت سایکرومتریک

در زمانی که آمار اندازه‌گیری تشعشعات در دسترس نباشد تشعشعات خالص از روابط ذیل محاسبه می‌گردد:

$R_n = R_{ns} - R_{nL}$

$R_{ns} = .77\,(0.25 + 0.50\,\frac{n}{N})R_a$

$R_{nL} = 2.45.10^{-9}\,(.9\,\frac{n}{N} + 0.1\,)\,(\,0.34 - 0.14\,\sqrt{ed}\,)(T_{kx}^4 + T_{kn}^4\,)$

$G = 0.14\,(\,T_{month}\,(n) - T_{month}\,(n-1))$

در رابطه فوق :

R_n = تشعشعات خالص

R_{ns} = تشعشعات خالص موج کوتاه $[MJm^{-2}d^{-1}]$

R_{nL} = تشعشعات خالص موج بلند $[MJm^{-2}d^{-1}]$

R_a = تابش برون زمین

T_{kx} = میانگین دمای حداقل روزانه K

T_{kn} = میانگین دمای حداقل روزانه K

$T_{month}\,(n)$ = متوسط دما در ماه n$[C^o]$

$T_{month}\,(n-1)$ = متوسط دما در ماه n-1$[C^o]$

متوسط رطوبت نسبی از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد :

$$RH_{mean} = \frac{RH_{max} - RH_{min}}{2}$$

سرعت باد معمولا به متر در ثانیه ارائه می‌گردد و از رابطه ذیل جهت تبدیل آن به کیلومتر در روز استفاده می‌گردد.

$$U_2 = U2^* \times 64.8$$

که در رابطه فوق :

U2 = سرعت باد به کیلومتر در روز در ارتفاع ۲ متری

$U2^*$ = سرعت باد به متر در ثانیه

تشعشعات خورشیدی : زمانی که هیچگونه آمار اندازه‌گیری شده از تشعشعات خورشیدی در دسترس نباشد تشعشعات خورشیدی از روی ساعات آفتابی براساس رابطه ذیل تخمین زده می‌شود :

$$n_p = \frac{n}{N} \times 100$$

که در رابطه فوق :

n = ساعات آفتابی روزانه (ساعت)

n_p = درصد ساعات آفتابی (درصد)

N = طول روز (ساعت) بستگی به عرض جغرافیایی و ماه دارد.

ضریب ثابت سایکرومتریک از رابطه ذیل محاسبه می‌باشد :

$$y = 0.00163 \frac{P}{\lambda}$$

$$P = 101.3 \left(\frac{293-0.0065h}{293} \right) 5.56$$

$$\lambda = 2.501 - (2.36 \times 10^{-3}) T_{mean}$$

که در رابطه فوق :

P = فشار آتمسفری

T_{mean} = میانگین دما

h = ارتفاع از سطح دریا

مناطق موردبررسی

مناطق موردبررسی شامل ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی، جیرفت واقع در استان کرمان، اهواز در استان خوزستان، بابلسر در استان مازندران می‌باشند. از طرف دیگر جهت مقایسه بهتر نتایج به دست آمده با یک منطقه در کالیفرنیا نیز مقایسه شده است.

نتایج بدست آمده

الف- محاسبات در منطقه جیرفت برای ناحیه‌ای با عرض جغرافیایی ۲۸/۳ درجه و ارتفاع ۸۵۰ متر از سطح دریا انجام پذیرفت. آمارهای واقعی از منطقه دردسترس بود. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با روش بلینی کریدل ۵/۴۶ میلی‌متر ، تشعشع ۵/۷۶۲ میلیمتر، پن‌من ۵/۱۱ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح‌شده ۵/۱۵ میلیمتر ، تشتک تبخیر ۵/۹۶ میلیمتر می‌باشد و اما متوسط تبخیر و تعرق روزانه با روش پن‌من‌مانتیت ۴ میلیمتر بود وکل تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه با روشهای بلینی کریدل ۱۹۹۲/۲ میلیمتر، تشعشع ۲۰۸۷/۸ میلیمتر، پن‌من ۱۸۶۵/۱ میلیمتر ، تشتک تبخیر ۲۱۷۵/۴ میلیمتر و روش پن‌من‌مانتیت ۱۴۶۰ میلیمتر شد. همانگونه که ملاحظه می‌شود پن‌من‌مانتیت نقصان بسیار زیادی را در جیرفت از خود نشان می‌دهد. و بیشترین رقم مربوط به تشتک تبخیر است. نتایج داده‌ها در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل و جدول شماره ۱ آمده است پن‌من‌مانتیت صعود و نزولی یکنواختی دارد که خود قابل تعمق است. سه روش بلینی کریدل ، پن‌من اصلاح شده و تشعشع در حد متوسط بین دو منحنی پن‌من‌مانتیت و تشتک تبخیر قرار دارد.

ب- در منطقهٔ خوزستان محاسبات مذکور برای ناحیه اهواز انجام پذیرفت. عرض جغرافیایی ۳۱/۲ و ارتفاع از سطح دریا ۲۰ متر بود. آمارهای بلند مدت از منطقه قابل دسترس بود. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با روش بلینی کریدل ۵/۶۳ میلیمتر ، تشعشع ۵/۳۶ میلیمتر، پن‌من ۵/۳۵ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح شده ۵/۲۸ میلیمتر و تشتک تبخیر ۶/۹ میلیمتر می‌باشد و اما روش پن‌من‌مانتیت رقم ۴/۲۶ میلیمتر را از خود نشان می‌دهد که از متوسط روزانه همه روشها کمتر می‌باشد. کل تبخیر وتعرق پتانسیل سالانه به روش بلینی کریدل ۲۰۰۴/۲ میلیمتر، تشعشع ۱۹۵۶/۴ میلیمتر، پن‌من ۱۹۵۲/۷ میلیمتر ، پن‌من‌اصلاح شده ۱۹۲۷/۲ میلیمتر و تشتک تبخیر ۲۵۱۸/۵ میلیمتر بود و اما کل تبخیر و تعرق پتانسل سالانه روش پن‌من‌مانتیت ۱۵۵۴/۹ میلیمتر محاسبه گردید که در اینجا نیز با کلیه روشهای مذکور تفاوت بسیار زیادی دارد و کمترین رقم را از خود نشان داده است و بیشترین رقم متعلق به روش تشتک تبخیر می‌باشد. نتایج داده‌ها در شکل و جدول شماره ۲ نشان داده شده است . همانگونه که در منحنی مذکور مشهود است بقیه روشها بین روش تشتک تبخیر و پن‌من‌مانتیت در حال نوسان می‌باشند.

ج-در آذربایجانغربی و در منطقه ارومیه آمارهای بلندمدت در اختیار بود. لذا این منطقه نیز مورد آزمایش قرار گرفت. عرض جغرافیایی موردنظر ۳۷/۳ و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۰ متر می‌باشد. در این منطقه متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه به روش‌های بلینی کریدل ۲/۹۹ میلیمتر ، تشعشع ۳/۹۵ میلیمتر، پن‌من ۳/۴۶ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح شده ۳/۵۳ میلیمتر و تشتک تبخیر ۳/۰۸ میلیمتر اندازه‌گیری شد و اما روش پن‌من‌مانتیت رقم ۲/۸ میلیمتر را از خود نشان داد که از متوسط روزانه همه روشها کمتر می‌باشد. میزان تبخیر وتعرق پتانسیل سالانه با روش بلینی کریدل ۱۰۹۱/۳ میلیمتر، تشعشع ۱۴۴۱/۷ میلیمتر، پن‌من ۱۲۶۲/۹ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح شده ۱۲۸۸/۵ میلیمتر و تشتک تبخیر ۱۱۲۴/۲ میلیمتر محاسبه گردید و اما کل تبخیر و تعرق پتانسل سالانه روش پن‌من‌مانتیت ۱۰۲۲ میلیمتر محاسبه گردید که از همگی ارقام پایین‌تر بود.در ارومیه برخلاف خوزستان و جیرفت بیشترین رقم متعلق به روش تشعشع می‌باشد در حالیکه در خوزستان و جیرفت بیشترین رقم متعلق به روش تشتک تبخیر بود. لازم به ذکر است که نمی‌توان به ارقام روش بلینی کریدل در منطقه اتکا نمود. توصیه شده است که در مناطق ساحلی از این روش استفاده نگردد نتایج داده‌ها در شکل و جدول شماره ۳ نمایش داده شده است.

د- در استان مازندران برنامه برای ایستگاه بابلسر اجرا گردید عرض جغرافیایی منطقه ۳۶/۴۳ و ارتفاع ۳۱ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با روش بلینی کریدل ۲/۵۸ میلیمتر ، تشعشع ۳/۲۷ میلیمتر، پن‌من ۲/۹۸ میلیمتر می‌باشد [1] و اما روش پن‌من‌مانتیت رقم ۲/۳۵ میلیمتر را از خود نشان می‌دهد. متوسط سالانه تبخیر و تعرق به بلینی کریدل ۹۴۱ میلیمتر، تشعشع ۱۱۹۳ میلیمتر ،پن‌من ۱۰۹۵ میلیمتر ، پن‌من اصلاح شده ۱۱۶۸ میلیمتر و روش پن‌من‌مانتیت ۸۵۶ میلیمتر را از خود نشان داد. باتوجه به این موضوع که استفاده از روش بلینی کریدل در نواحی ساحلی توصیه نشده است در این منطقه نیز روش پن‌من‌مانتیت از روشهای پن‌من، تشعشع و بلینی کریدل رقم پایین‌تری را از خود نشان می‌دهد.

ه- جهت بررسی دقیقتر نتایج داده‌های به‌دست آمده روشهای مذکور برای منطقه‌ای با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ارتفاع ۳۱ متر از سطح دریا در کالیفرنیا به اجرا درآمد. لازم به ذکر است منطقه مذکور ساحلی نمی‌باشد لذا محدودیتی برای استفاده از روش بلینی کریدل ایجاد نمی‌نماید. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با روش بلینی کریدل ۶/۳۵ میلیمتر ، تشعشع ۶/۰۱ میلیمتر، پن‌من ۵/۹ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح شده ۵/۸۷ میلیمتر و تشتک تبخیر ۵/۱۴ میلیمتر می‌باشد و اما متوسط روزانه به روش پن‌من‌مانتیت رقم ۴/۸ میلیمتر محاسبه گردید. در اینجا نیز کمترین مقدار متعلق به روش پن‌من‌مانتیت می‌باشد. کل تبخیر وتعرق پتانسیل سالانه با روش بلینی کریدل ۲۳۱۷ میلیمتر، تشعشع ۲۱۹۳ میلیمتر، پن‌من ۲۱۵۳ میلیمتر، پن‌من‌اصلاح شده ۲۱۴۲ میلیمتر و تشتک تبخیر ۱۸۷۶ میلیمتر بود درحالیکه کل تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه روش پن‌من‌مانتیت ۱۷۵۲ میلیمتر محاسبه گردید که از همگی ارقام پایین‌تر می‌باشد نتایج داده‌ها در شکل و جدول شماره ۵ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد بیشترین اختلاف روش

---

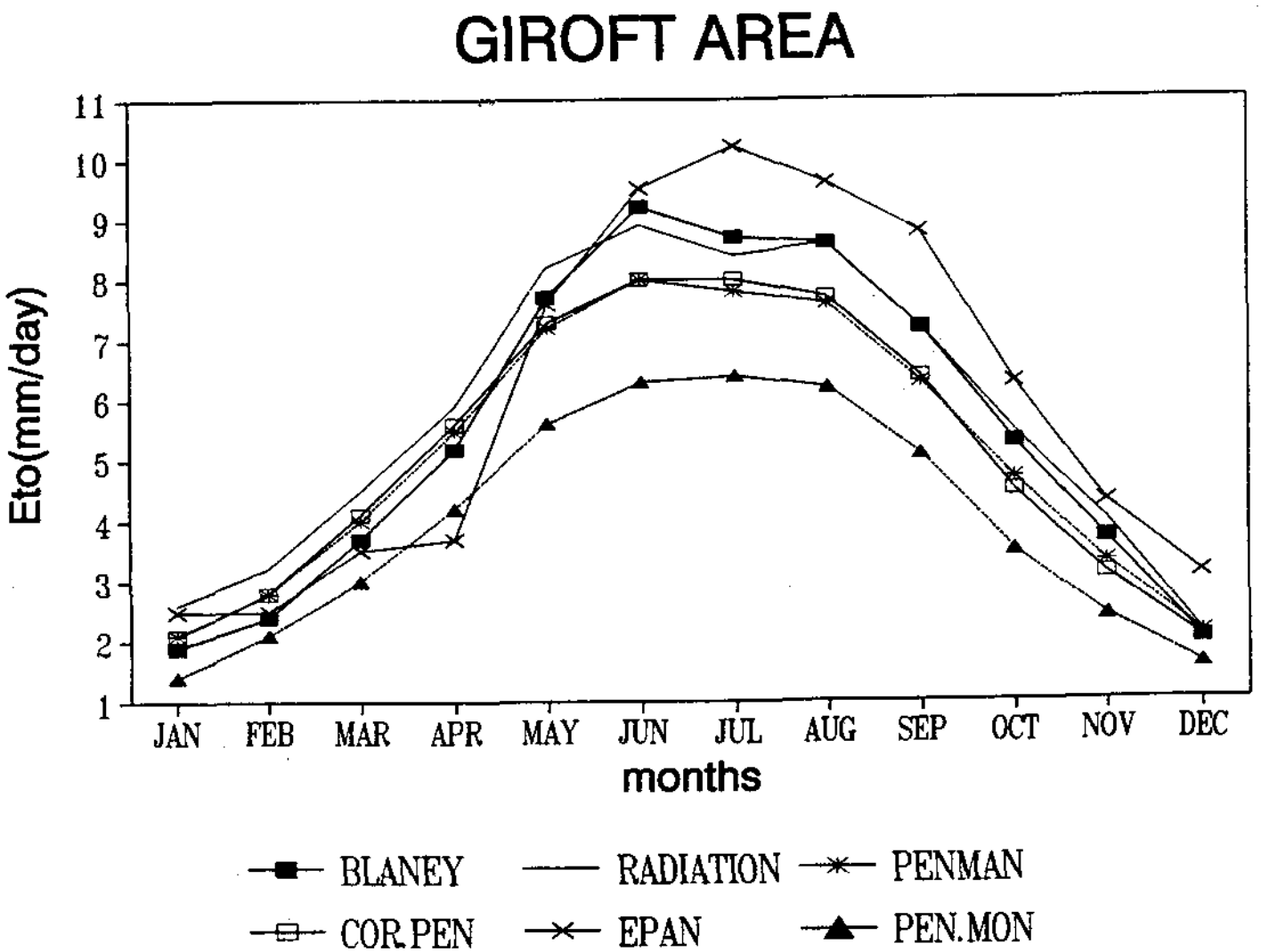
۱ - آمار دقیقی در مورد تبخیر از تشتک در دسترس نمی‌باشد.

پن‌من‌مانتیت با تشتک تبخیر در فصل رویش گیاهی می‌باشد.

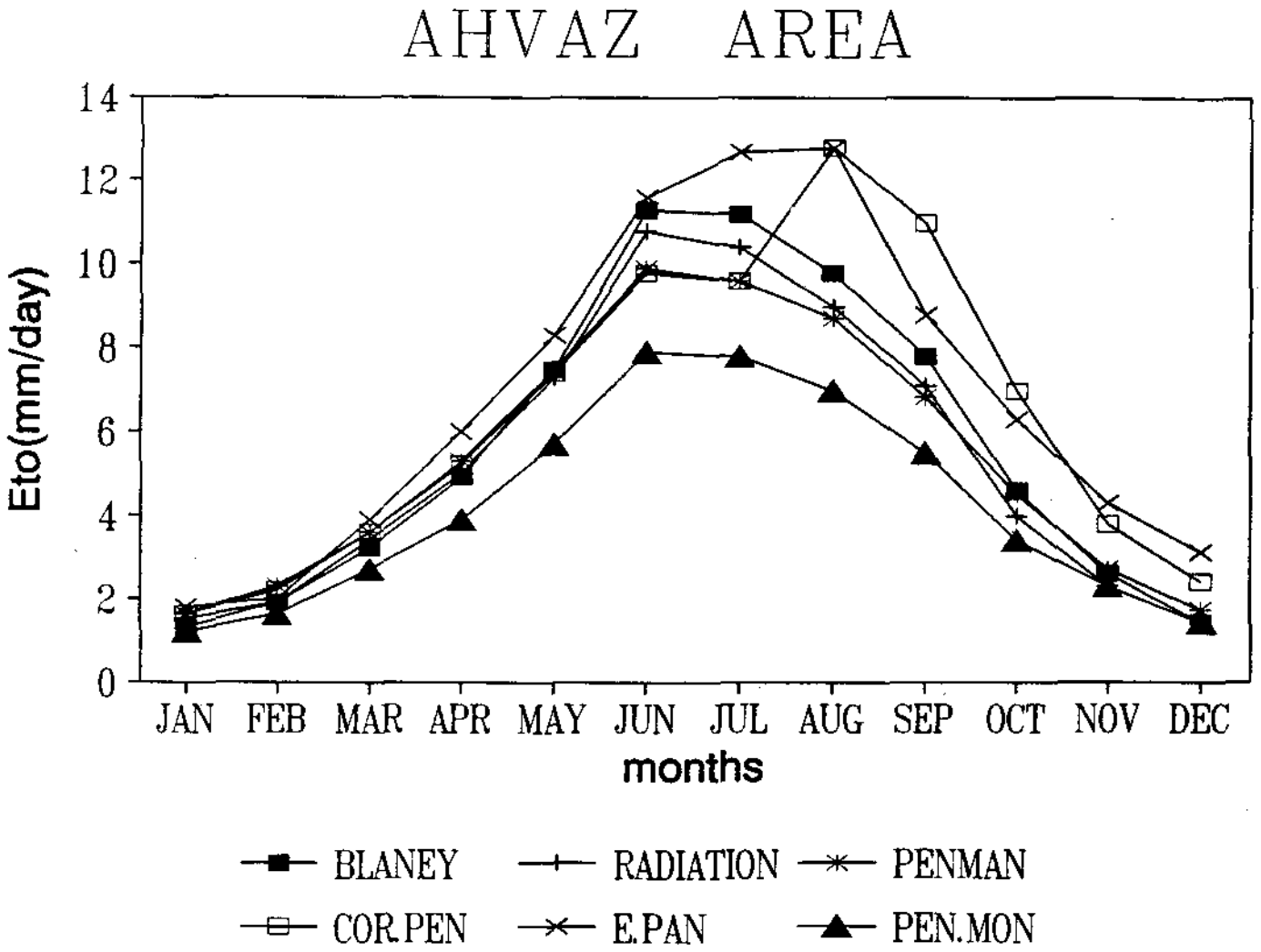
نتیجه‌گیری

در اکثریت مناطق ایران و همچنین یک نقطه در خارج از کشور روش پن‌من‌مانتیت کمترین رقم را از خود نشان می‌دهد. از تحقیقات بعمل آمده در خارج از ایران تطابق روش فوق با داده‌های لیسمتری در مناطق متفاوت بسیار بالا بوده است و در شرایط متفاوت آب و هوایی تغییرات ارقام بدست آمده با این روش همخوانی بسیار نزدیکتری نسبت به روشهای دیگر با ارقام حاصل از لیسیمتر دارد. نحوه پردازش منحنی تغییرات پن‌من‌مانتیت در ماههای مختلف شکل طبیعی تری دارد. در این روش از پارامترهای فیزیکی بیشتری استفاده شده است این روش به تازگی از طرف سازمان خواربار جهانی مورداستفاده قرار گرفته و در کشور آمریکا به صورت روشی استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است ، لذا با توجه به محدودیت منابع آب در کشور و استفاده بهینه از آن استفاده از روشهای دقیق را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. اگر روش پن‌من‌مانتیت ملاک عمل طراحی قرار گیرد نیاز آبی بشدت کاهش می‌یابد و به تبع آن هیدرومدول طراحی کاهش یافته، ظرفیت سیستم انتقال و توزیع نقصان می‌یابد و همچنین ابنیه مورداستفاده تحت تاثیر قرار می‌گیرد، نفوذ عمقی کاهش یافته و مشکلات زهکشی اراضی تقلیل می‌یابد نهایتاً بازدهی اقتصادی طرحها به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد. همانگونه که در آنالیز روشها مشاهده گردید در هر منطقه یک روش بالاترین و در منطقه دیگر روش دیگری بالاترین رقم را از خود نشان می‌دهد درحالی که روش پن‌من‌مانتیت همیشه پایین‌ترین رقم را به خود اختصاص داده است.

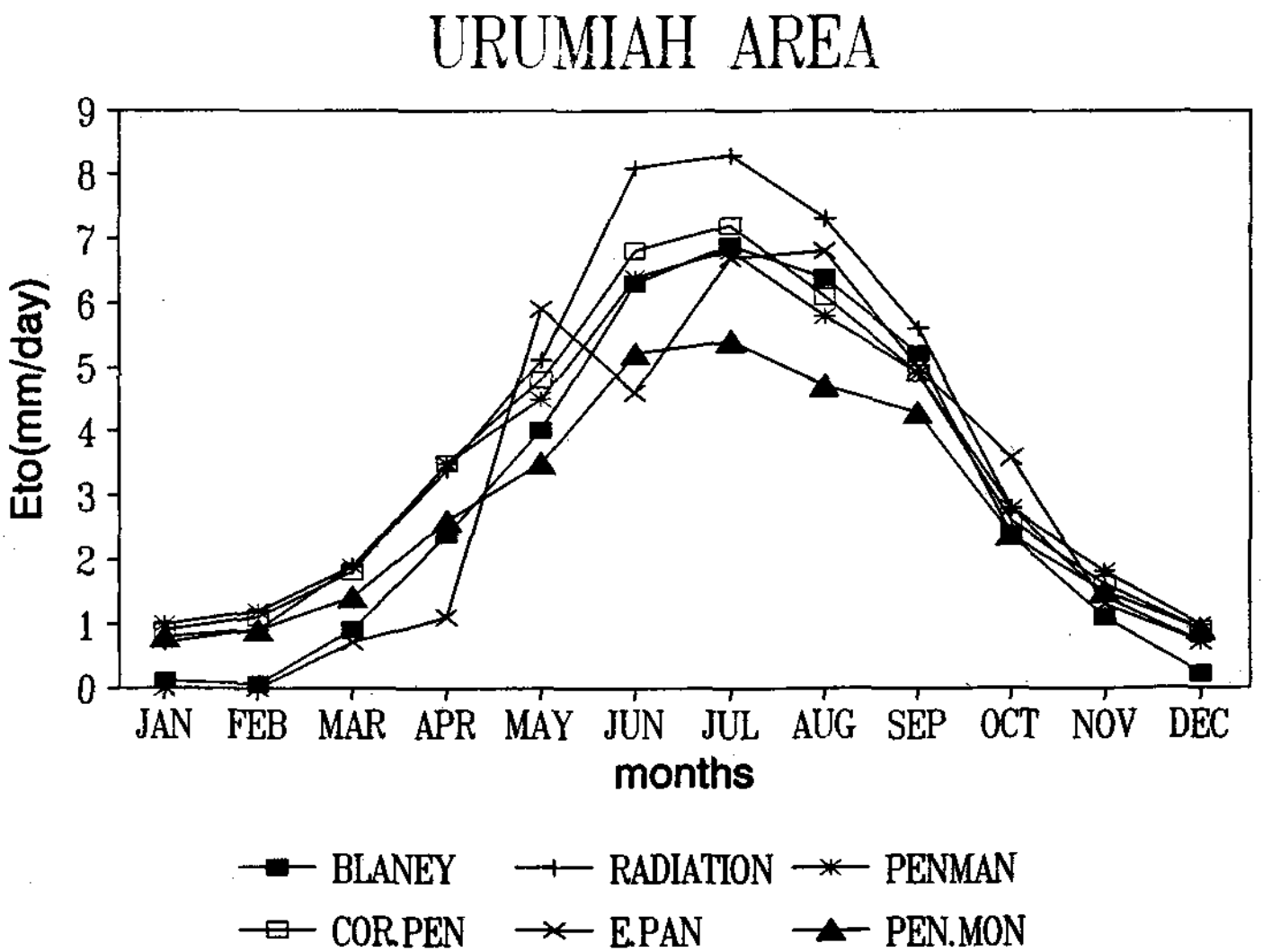
باتوجه به مسائل فوق‌الذکر توصیه می‌شود در طرحهای توسعه منابع آب و خاک و کشاورزی روش پن‌من‌مانتیت به عنوان یک روش بسیار قابل اتکا مورد استفاده قرارگیرد. همچنین از محققین و مراکز تحقیقاتی انتظار می‌رود که با تحقیق روی این روش و مقایسه با اعداد و ارقام لیسیمتری و یا سایر روشهایی که برای محاسبه نیاز آبی گیاهان به طور عملی مورداستفاده قرار می‌دهند راه را برای استفاده از این روش باز نموده تا از این طریق صرفه‌جویی زیادی در منابع آبی کشورمان صورت پذیرد. همچنین از مهندسان مشاور انتظار می‌رود که در محاسبات خود از این روش بهره جسته و باتوجه به مسایل مختلف در هر منطقه محاسبات خود را به طرف دقیقترین و مناسبترین روش باتوجه به شرایط آبی کشور تنظیم و ارائه نمایند.



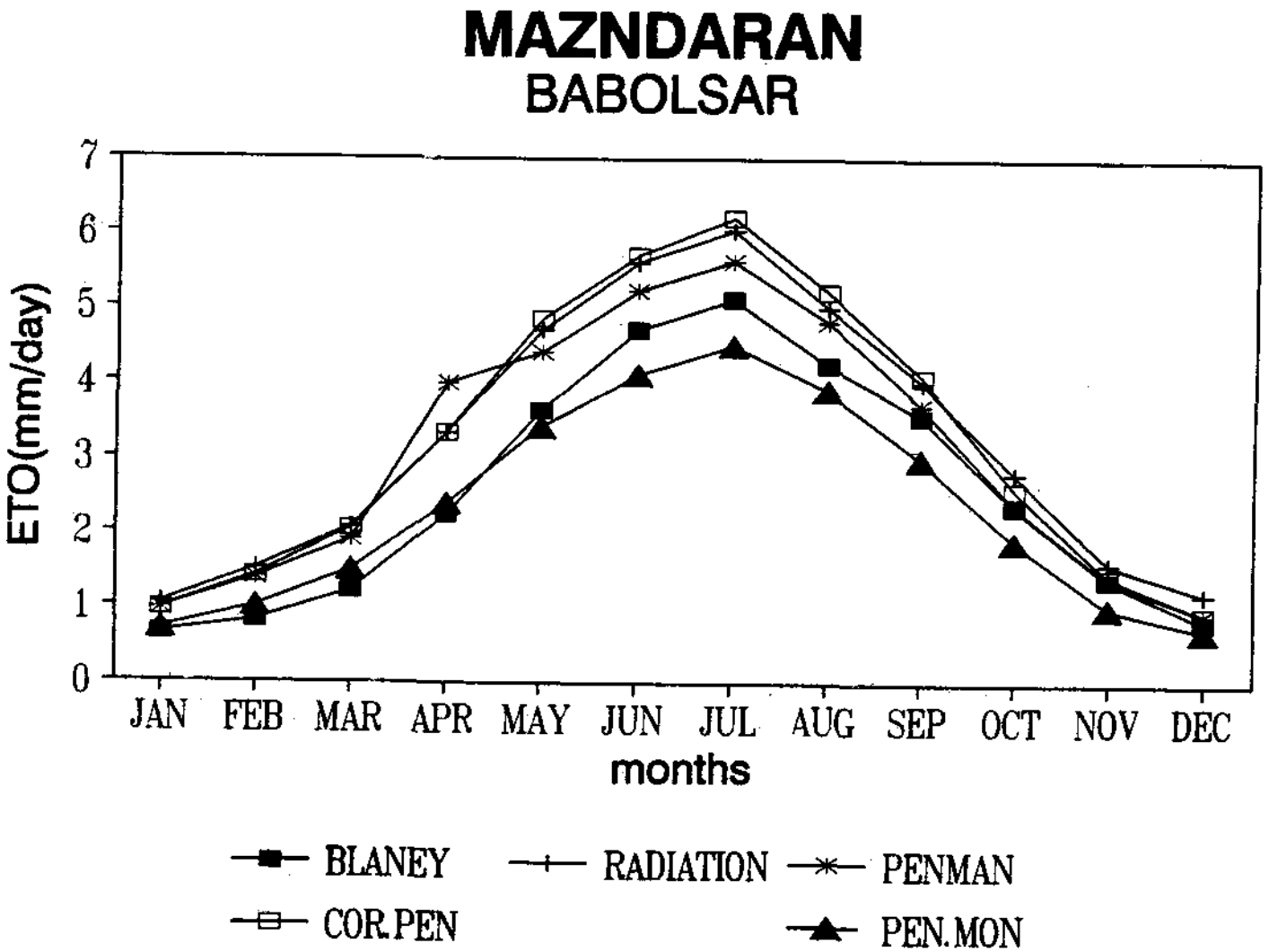
شکل شماره ۱ - مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در جیرفت ، واقع در استان کرمان



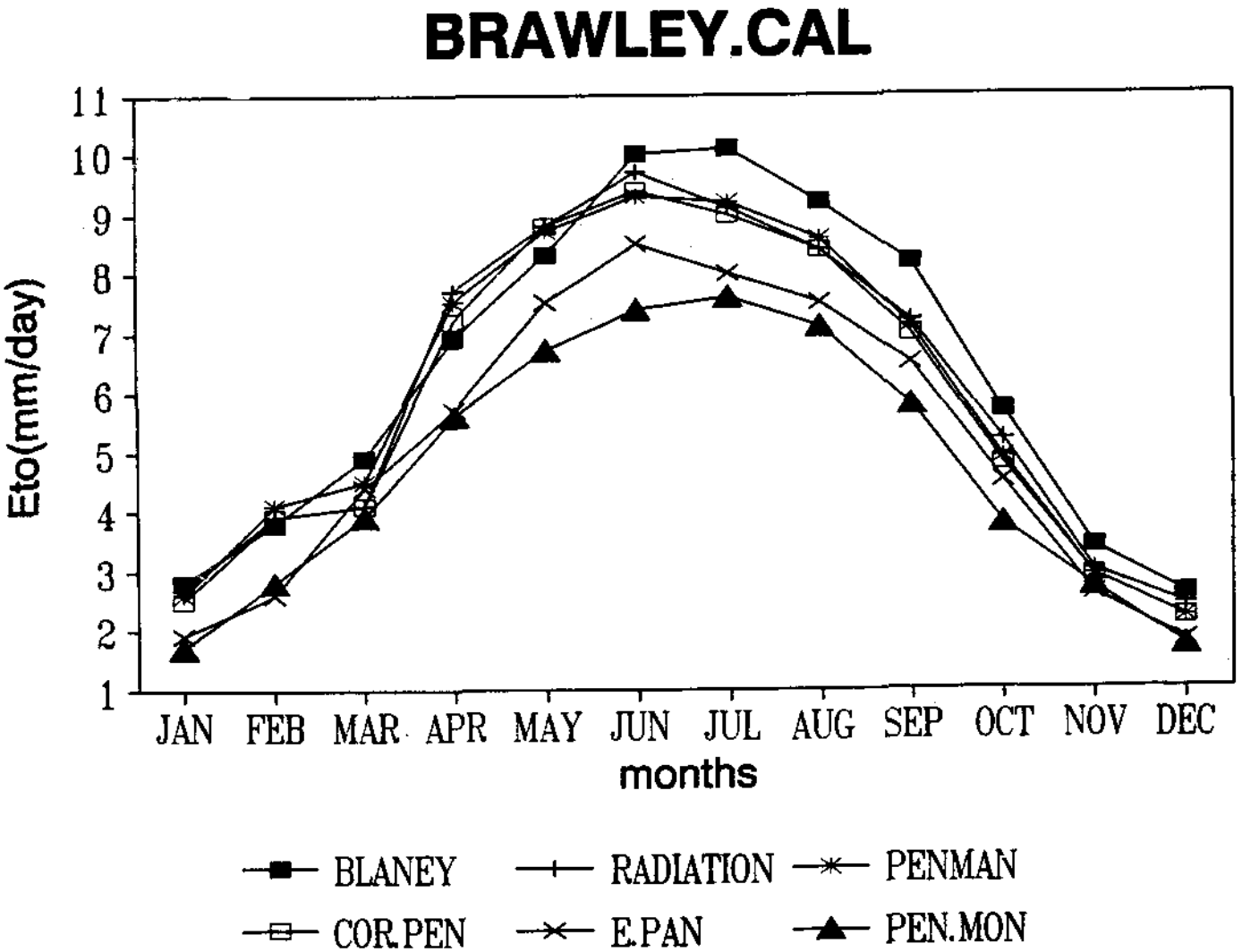
شکل شماره ۲- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در خوزستان



شکل شماره ۳- مقایسه روش پن‌من‌مانتیث با سایر روشها در ارومیه



شکل شماره ۴- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در مازندران



شکل شماره ۵- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در کالیفرنیا

جدول شماره ۱ - مقایسه روش پن‌من‌مانتیث با سایر روشها در جیرفت

Reference Evapotranspiration ETo according Penman-Monteith

Country : iran Meteo Station : jiroft (yr)
Altitude : 850 meter Coordinates : 28.30 N.L.

Month	AvgTemp °C	Humidity %	Windspeed km/day	Sunshine hours	Sol.Radiat. MJ/m²/day	ETo-PenMon mm/day
January	12.6	66	44	7.4	13.3	1.4
February	14.1	64	60	7.2	15.2	2.1
March	18.8	57	71	7.7	18.6	3.0
April	24.5	47	74	8.1	21.2	4.2
May	29.8	36	85	10.4	25.4	5.6
June	34.0	34	85	10.9	26.4	6.3
July	34.9	41	85	10.2	25.2	6.4
August	33.4	37	85	11.0	25.7	6.2
September	30.3	39	78	10.0	22.3	5.1
October	25.3	33	61	8.6	17.8	3.5
November	19.5	43	51	8.3	14.8	2.4
December	15.0	59	44	4.7	9.9	1.6
YEAR	24.4	46	69	8.7	19.7	1449

RESULT OF ET ESTIMATION BY VARIOUS METHODS FOR MONTH

MONTH/DAY/YEAR	BLANEY	RADIATION	PENMAN	CORR.PEN.	ETPAN
1/ 0/1967	1.963	2.638	2.110	2.126	2.463
2/ 0/1967	2.444	3.201	2.780	2.824	2.496
3/ 0/1967	3.702	4.486	3.998	4.131	3.540
4/ 0/1967	5.232	5.971	5.462	5.628	3.716
5/ 0/1967	7.663	8.181	7.208	7.305	7.635
6/ 0/1967	9.153	8.982	7.996	8.045	9.503
7/ 0/1967	8.687	8.376	7.766	7.979	10.179
8/ 0/1967	8.576	8.597	7.589	7.704	9.584
9/ 0/1967	7.200	7.163	6.328	6.435	8.769
10/ 0/1967	5.295	5.486	4.756	4.548	6.287
11/ 0/1967	3.663	3.995	3.260	3.133	4.276
12/ 0/1967	2.048	2.078	2.078	2.024	3.098
MONTH AVE	5.469	5.762	5.111	5.157	5.962

جدول شماره ۲- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در اهواز

Reference Evapotranspiration ETo according Penman-Monteith						
Country : IRAN			Meteo Station : AHVAZ			(yr)
Altitude : 20 meter			Coordinates : 31 20 N.L.			
Month	AvgTemp °C	Humidity %	Windspeed km/day	Sunshine hours	Sol.Radiat. MJ/m²/day	ETo-PenMon mm/day
January	12.1	75	71	3.8	8.8	1.2
February	14.2	68	81	3.4	10.1	1.6
March	18.8	58	88	5.1	14.6	2.7
April	24.3	48	98	6.2	18.0	3.9
May	30.3	37	118	8.6	22.7	5.7
June	34.5	30	142	13.6	30.4	7.9
July	36.5	32	122	13.1	29.4	7.8
August	35.8	35	118	11.4	25.9	7.0
September	32.3	37	98	9.9	21.6	5.5
October	26.6	45	81	5.8	13.7	3.4
November	19.4	58	104	4.4	9.8	2.3
December	13.5	72	74	3.2	7.8	1.4
YEAR	24.9	50	100	7.4	17.7	1539

RESULT OF ET ESTIMATION BY VARIOUS METHODS FOR MONTH

MONTH/DAY/YEAR	BLANEY	RADIATION	PENMAN	COEF.PEN.	ETPAN
1/ 0/1967	1.341	1.480	1.647	1.611	1.785
2/ 0/1967	1.908	1.951	2.328	2.256	2.040
3/ 0/1967	3.224	3.417	3.657	3.582	3.909
4/ 0/1967	4.381	4.999	5.273	5.221	6.020
5/ 0/1967	7.550	7.341	7.455	7.382	8.282
6/ 0/1967	11.320	10.812	9.902	9.823	11.598
7/ 0/1967	11.165	10.437	9.580	9.639	12.705
8/ 0/1967	9.797	9.007	8.650	8.660	12.759
9/ 0/1967	7.774	7.143	6.855	6.817	11.023
10/ 0/1967	4.646	4.039	4.455	4.231	7.008
11/ 0/1967	2.641	2.342	2.741	2.611	3.825
12/ 0/1967	1.397	1.351	1.673	1.612	2.380
MONTH AVE	5.637	5.366	5.351	5.285	6.945

جدول شماره ۳- مقایسه روش پن‌من‌مانتیث با سایر روشها در ارومیه

Reference Evapotranspiration ETo according Penman-Monteith

Country : IRAN Meteo Station : URUMIAH (yr)
Altitude : 1340 meter Coordinates : 37.30 N.L.

Month	AvgTemp °C	Humidity %	Windspeed km/day	Sunshine hours	Sol.Radiat. MJ/m²/day	ETo-PenMon mm/day
January	-0.5	74	190	4.6	8.1	0.8
February	-2.0	70	121	3.8	9.3	0.9
March	3.9	69	78	5.4	13.8	1.4
April	8.7	61	216	6.0	17.[illegible]	2.6
May	16.8	61	95	7.9	21.2	3.5
June	19.4	49	112	12.7	28.6	5.2
July	23.8	50	112	11.8	27.0	5.4
August	25.0	46	69	10.8	24.2	4.7
September	19.8	45	14[illegible]	10.7	21.2	4.3
October	14.2	56	121	6.3	12.7	2.4
November	7.9	70	225	5.3	9.2	1.5
December	1.3	71	130	3.8	6.8	0.9
YEAR	11.5	60	135	7.4	16.6	1022

RESULT OF ET ESTIMATION BY VARIOUS METHODS FOR MONTH

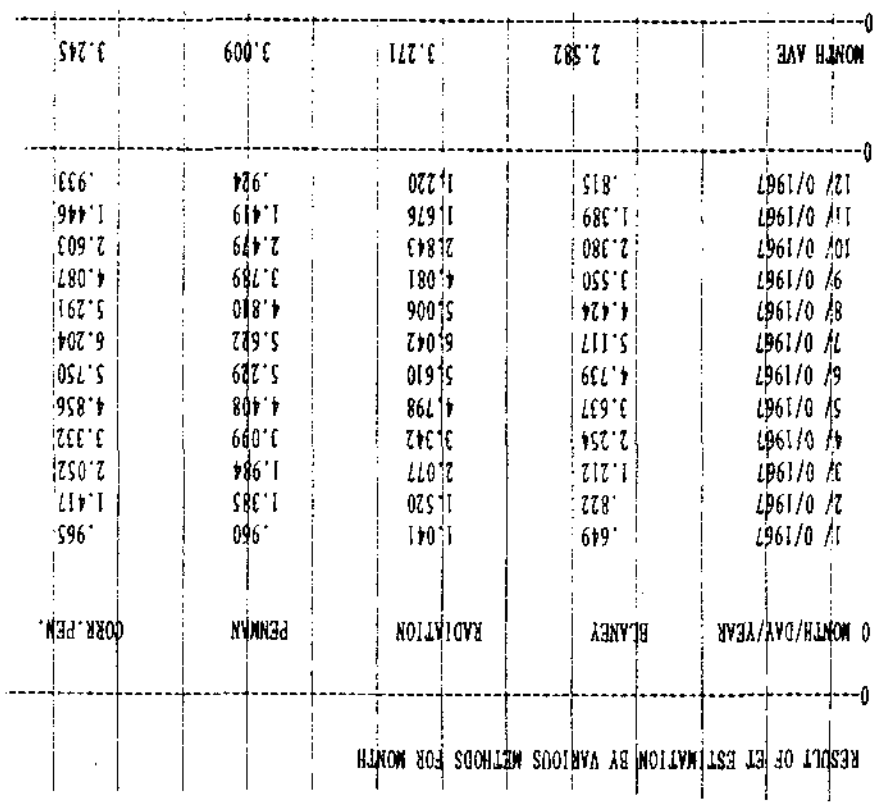
0 MONTH/DAY/YEAR	BLANEY	RADIATION	PENMAN	CORR.PEN.	ETPAN
1/ 0/1967	.090	.764	1.041	.946	.000
2/ 0/1967	.052	.905	1.168	1.100	.000
3/ 0/1967	.940	1.903	1.867	1.871	.689
4/ 0/1967	2.395	3.368	3.478	3.466	1.103
5/ 0/1967	4.008	5.139	4.540	4.846	5.959
6/ 0/1967	6.323	8.157	6.395	6.772	4.602
7/ 0/1967	6.917	8.314	6.769	7.168	6.714
8/ 0/1967	6.384	7.257	5.856	6.102	6.806
9/ 0/1967	5.153	5.579	4.912	4.962	5.012
10/ 0/1967	2.372	2.755	2.801	2.644	3.605
11/ 0/1967	1.121	1.383	1.811	1.636	1.332
12/ 0/1967	.177	.674	.981	.906	.755
MONTH AVE	2.994	3.850	3.468	3.535	3.048

جدول شماره ۴- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در بابلسر

Reference Evapotranspiration ETo according Penman-Monteith

Country : IRAN — Meteo Station : BABOLSAR — (yr)
Altitude : 31 meter — Coordinates : 36.40 N.L.

Month	AvgTemp °C	Humidity %	Windspeed km/day	Sunshine hours	Sol.Radiat. MJ/m²/day	ETo-PenMon mm/day
January	3.6	73	31	4.3	8.0	0.7
February	3.6	74	40	5.4	11.1	1.0
March	6.5	76	49	5.4	14.0	1.5
April	10.6	72	49	7.4	19.1	2.4
May	15.9	67	49	9.2	23.2	3.4
June	19.8	64	49	9.9	24.6	4.1
July	21.9	64	49	10.8	25.7	4.5
August	22.0	66	45	9.0	21.7	3.9
September	19.0	68	40	8.7	18.9	3.0
October	14.2	69	36	7.6	14.4	1.9
November	9.5	71	31	5.9	9.9	1.0
December	5.6	74	31	5.8	8.7	0.7
YEAR	12.7	70	42	7.5	16.6	856



جدول شماره ۵- مقایسه روش پن‌من‌مانتیت با سایر روشها در کالیفرنیا

CROPWAT : 18 January 1 15

Reference Evapotranspiration ETo according Penman-Monteith

Country : USA Meteo Station : BRAWLY - CA (yr)
Altitude : -31 meter Coordinates : 33.00 N.L.

Month	AvgTemp °C	Humidity %	Windspeed km/day	Sunshine hours	Sol.Radiat. MJ/m²/day	ETo-PenMon mm/day
January	12.8	51	100	8.5	13.0	1.7
February	14.7	49	162	9.4	16.5	2.8
March	17.2	42	162	10.7	21.5	3.9
April	21.7	34	181	12.2	26.4	5.6
May	25.3	40	201	13.1	29.1	6.7
June	30.0	39	166	13.8	30.5	7.4
July	33.6	35	154	12.3	28.1	7.6
August	32.8	37	154	11.6	25.9	7.1
September	31.1	37	127	11.3	23.2	5.8
October	25.0	40	92	10.0	18.2	3.8
November	25.0	40	92	9.2	14.3	2.7
December	13.3	56	77	8.1	11.8	1.7
YEAR	23.5	42	139	10.8	21.5	1736

RESULT OF ET ESTIMATION BY VARIOUS METHODS FOR MONTH B

MONTH/DAY/YEAR	BLANEY	RADIATION	PENMAN	CORR.PEN.	ETPAN
1/ 0/1967	2.8	2.6	2.6	2.5	1.8
2/ 0/1967	3.8	3.9	4.1	3.9	2.6
3/ 0/1967	4.9	4.1	4.4	4.1	4.3
4/ 0/1967	6.9	7.6	7.5	7.2	5.7
5/ 0/1967	8.3	8.7	8.7	8.7	7.5
6/ 0/1967	10.0	9.6	9.3	9.4	8.4
7/ 0/1967	10.1	9.1	9.2	9.0	8.0
8/ 0/1967	9.2	8.3	8.6	8.4	7.5
9/ 0/1967	8.2	7.1	7.1	7.0	6.5
10/ 0/1967	5.7	5.2	4.9	4.7	4.5
11/ 0/1967	3.4	3.0	2.9	2.9	2.6
12/ 0/1967	2.5	2.3	2.2	2.2	1.7
MONTH AVE	6.3	6.01	5.9	5.8	5.1