

## تعیین و ارزیابی نسبت تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه ( $ET_r$ ) به گیاه مرجع چمن ( $ET_o$ ) در دشت شهرکرد

علی مرشدی<sup>۱</sup>، مهدی نادری<sup>۱</sup>، سیدحسن طباطبائی<sup>۲\*</sup> و جهانگرد محمدی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۷)

### چکیده

در برخی موارد نیاز به تبدیل مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (یونجه) به تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) و یا برعکس وجود داشته تا بتوان مقدار ضریب گیاهی صحیح را بر اساس نوع سطح مرجع مورد استفاده به دست آورد، هدف این پژوهش تعیین نسبت  $ET_r$  (تبخیر و تعرق از گیاه مرجع یونجه) به  $ET_o$  (تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن) طی فصل رویش برای دشت شهرکرد می باشد که این نسبت  $K_r$  نامیده می شود. مقادیر میانگین ماهیانه و کل (فصل رشد)  $K_r$  بر اساس مقادیر روزانه آن در ایستگاه چهارتخته شهرکرد در فصل زراعی رشد منطقه، با استفاده از داده های هواشناسی مورد نیاز در یک دوره ۱۸۵ روزه (اول اردیبهشت تا پایان مهر ۱۳۹۰) از ایستگاه خودکار تحقیقات هواشناسی کشاورزی به دست آمده است. مقادیر  $ET_r$  و  $ET_o$  برای محاسبه  $K_r$  به شش روش محاسبه شدند. این روش ها عبارتند از: معادله های استاندارد شده پن-من-مانتیت توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا ( $ASCE-stPM-ET_r$ )، پن-من-مانتیت توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا ( $ASCE-PM-ET_r$ )، کیمبرلی-پن من ۱۹۸۲ ( $1982KP-ET_r$ )، جنسن-هیز اصلاح شده ( $JH-ET_r$ )، و روش محاسبه  $K_r$  در نشریه ۵۶ فائو (تمامی روش ها برای گیاه مرجع یونجه). مقادیر  $K_r$  محاسبه با نتایج به دست آمده حاصل از یک مطالعه لایسیمتری مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار  $K_r$  حاصل از مطالعه لایسیمتری برابر با ۱/۱۲ که برابر ۱/۱۲ برای  $ASCE-PM-ET_r$ ، ۱/۱۶ برای  $JH-ET_r$  و دور از مقدار ۱/۲۷ برای  $1982 KP-ET_r$  (هر سه نسبت به معادله های استاندارد شده پن-من-مانتیت برای گیاه مرجع چمن توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا ( $ASCE-stPM-ET_o$ ) به دست آمده است که در مقایسه با مقدار ۱/۴۰ بر مبنای روش موجود در نشریه ۵۶ فائو فاصله زیادی دارد.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق، ضریب تبدیل، پوشش گیاهی، یونجه، چمن

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tabatabaie@agr.sku.ac.ir

## مقدمه

برای توسعه و بهبود روش‌های نوین مدیریت آبیاری، تخصیص بهینه آب و انرژی، بهبود طراحی‌های آبیاری و عملیات مربوط به آن و همچنین تخمین دقیق آب مورد نیاز گیاهان ضروری می‌باشد. استفاده از تبخیر و تعرق مرجع چمن ( $ET_0$ ) و تبخیر و تعرق مرجع یونجه ( $ET_r$ ) و ضریب گیاهی ( $K_c$ ) همچنان یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تخمین آب مورد نیاز گیاهان ( $ET_0$ ) می‌باشند. چمن و یونجه هر دو به عنوان سطوح مرجع برای محاسبه  $ET_0$  تحت شرایط متنوع اقلیمی استفاده شده‌اند. به‌طور ایدآل استفاده از  $ET_0$  یا  $ET_r$  برای تعیین مقدار  $ET_0$  بایستی به نتایج مشابهی بیانجامد (۱۰). اما توافق عمومی برای انتخاب پوشش گیاهی مرجع در یک منطقه خاص همچنان وجود ندارد، اگرچه مبنای انتخاب می‌تواند تابعی از خصوصیات اقلیمی منطقه و یا محل موردنظر باشد. بطور مثال، یونجه در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک مرجع است. یونجه با توجه به ساختار ریشه‌ای قوی و عمیق در مقایسه با گیاهان علفی که ریشه‌های سطحی دارند، قادر به انجام تبخیر و تعرق آب در بالاترین شدت پتانسیل (حتی در شرایطی که حرکت افقی گرما وجود داشته باشد) بوده و کمتر دچار تنش آبی می‌شود. از سوی دیگر، در اقلیم مرطوب و نیمه‌معتدل که یونجه گیاه غالب آن مناطق نیست، گیاه چمن به عنوان گیاه مرجع ترجیح داده می‌شود (۱۱).

مقدار  $ET_0$  (چمن) بخصوص در شرایط آب و هوایی خشک، گرم و بادخیز، همیشه کمتر از مقدار  $ET_r$  (یونجه) می‌باشد. گیاه یونجه بلندتر از گیاه چمن (۵۰ سانتی‌متر در مقابل ۱۲ سانتی‌متر) بوده و دارای سطح برگ وسیع‌تری می‌باشد (۳). یونجه هم‌چنین دارای ضرایب انتقال آیرودینامیکی و ظاهری بزرگ‌تری است (۱۷)، به همین دلیل مقادیر  $K_c$  زمانی که گیاه مرجع، یونجه در نظر گرفته شده باشد، کمتر از مقداری خواهد بود که گیاه چمن به عنوان گیاه مرجع در نظر گرفته شده باشد. بنابراین مقادیر  $K_c$  براساس گیاه مرجع چمن

( $K_{c0}$ ) و یا گیاه مرجع یونجه ( $K_{cr}$ ) بایستی به نحوی قابل تبدیل به یکدیگر بوده (بر مبنای انتخاب  $ET_0$  یا  $ET_r$  برای محاسبه  $ET_c$ ) و لذا ضرایب اصلاحی برای انجام تبدیل ضروری می‌باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد که رویه استاندارد یا توصیه شده‌ای برای تبدیل بین این دو سطح مرجع (در صورت فقدان اطلاعات لایسیمیتری) وجود ندارد.

تعداد بسیار محدودی از نسبت‌های  $ET_r$  به  $ET_0$  (مقادیر  $K_r$ ) گزارش شده اما مورد توافق نبوده و تغییرات زیادی از خود نشان داده‌اند و لذا محدود به یک یا دو محل شده است. جنسن و همکاران (۱۴) از مقدار  $K_r = 1/15$  استفاده نمودند، اما اذعان می‌کنند که این مقدار ضریب بخوبی تفاوت‌های اقلیمی را در نواحی مختلف بیان نمی‌کند، زیرا ضریب  $K_r$  دچار تغییر ناشی از تغییر در مقاومت آیرودینامیکی ( $r_a$ ) و مقاومت روزنه‌ای ( $r_s$ ) وابسته به نوع پوشش گیاهی مرجع می‌باشد.

آلن و همکاران (۳) مقادیر ضریب  $K_r$  حاصل از داده‌های لایسیمیتری در اقلیم‌های مختلف را که شامل شش منطقه خشک و پنج منطقه مرطوب بود گزارش کردند، مبنای این طبقه‌بندی اقلیمی میانگین رطوبت نسبی روزانه در ماه حداکثر بود که کمتر یا بیشتر از ۶۰ درصد باشد. برخلاف ضرایب  $K_r$  گزارش شده توسط جنسن و همکاران (۱۴)، متوسط مقادیر ضرایب  $K_r$  از  $1/30$  تا  $1/38$  و از  $1/12$  تا  $1/39$  به ترتیب برای مناطق خشک و مرطوب می‌باشد، آنها هم‌چنین گزارش کردند که دما، رطوبت هوا و سرعت باد روی سطوح تبخیر توسط جریان بخار آب و تبادلات انرژی در سطح معتدل و ملایم می‌شوند. بنابراین مقادیر محاسبه شده ضرایب  $K_r$  احتمالاً می‌تواند ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر از آنچه در شرایط مزرعه برقرار است باشد. آنها نتیجه گرفتند که میانگین ضریب ( $K_r$ ) بین  $1/20$  تا  $1/25$  نسبت به  $1/15$  حاصل از داده‌های لایسیمیتری می‌تواند مناسب‌تر باشد (۳).

معادله ۱ برای تخمین ضریب  $K_r$  به عنوان تابعی از متغیرهای اقلیمی توسط آلن و همکاران (۲) به صورت زیر ارائه شده است:

نسبی) مدل‌های مورد استفاده برای تخمین  $ET_r$  نسبت به مدل پن‌من - مانتیث استاندارد شده توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا و ۳- ارزیابی آماری مدل‌ها.

## مواد و روش‌ها

### الف) منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی واقع در دشت شهرکرد (بین شهرکرد و فرخ‌شهر) در استان چهارمحال و بختیاری با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا می‌باشد.

لایسیمتر مورد استفاده در وسط قطعه زمینی به ابعاد ۴۰×۴۰ متر (۱۶۰۰ متر مربع) قرار گرفته به طوری که پوشش گیاهی در جهت شمال به جنوب و غرب به شرق حدود ۲۰ متر می‌باشد. عمق خاک لایسیمتر ۲/۵ متر و قطر لایسیمتر ۳ متر که مساحتی برابر با ۷/۰۶ متر مربع را می‌پوشاند و کنار لایسیمتر، چاهک اندازه‌گیری زهکش به مساحت ۲ متر مربع و عمق ۳/۵ متر از سطح زمین احداث گردیده است. زمان آبیاری بر اساس خروج حدود ۵۰ درصد آب سهل‌الوصول بوده و مقدار آن بر پایه اندازه‌گیری منظم میزان رطوبت خاک تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متری می‌باشد. در این حالت با اندازه‌گیری رطوبت خاک لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متر به وسیله نوترون‌متر (مدل CPN503-DR) و جبران کاهش رطوبت نسبت به ظرفیت زراعی انجام می‌شود. از طریق معادله ۲ مقدار آب لازم برای هر لایه ۱۰ سانتی‌متری از خاک محاسبه شده و با در نظر گرفتن تمام لایه‌ها، آب مورد نیاز از طریق کنتور به داخل لایسیمتر افزوده شد. اطراف لایسیمتر پوشیده از گیاه یونجه بوده که به طور هفتگی با استفاده از روش بارانی آبیاری می‌شد.

$$dn = \sum_{i=1}^n (FC - ai).D.pb \quad [2]$$

$d_n$ : مقدار آب مورد نیاز گیاه بر حسب میلی‌متر

$$K_r = ET_r / ET_o = C + \quad [1]$$

$[0.04(U_p - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \times (h/3)^{0.7}$   
در این معادله C ضریبی است که مبین مقدار  $K_C$  یونجه در مرحله میانی رشد است، این ضریب برای مناطق مرطوب و آرام از نظر باد به میزان ۱/۰۵، برای مناطق نیمه مرطوب و شرایط با باد نسبتاً آرام به میزان ۱/۲۰ و برای مناطق خشک با باد شدید به میزان ۱/۳۵ پیشنهاد شده است (۲). مقدار  $U_2$  عبارت است از سرعت متوسط باد در ارتفاع ۲ متری (بر حسب متر بر ثانیه)،  $RH_{min}$  عبارت است از حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله میانی رشد رویشی (درصد) و  $h$  نیز عبارت است از ارتفاع استاندارد سطح مرجع برای گیاه یونجه (۵۰ سانتی‌متر). در معادله ۱، نسبت  $K_r$  زمانی که  $RH_{min}$  و  $U_2$  با شرایط پیش فرض (مقدار ۴۵ درصد برای  $RH_{min}$  و ۲ متر بر ثانیه برای  $U_2$ ) متفاوت باشد، برای شرایط اقلیمی مورد نظر تنظیم و تعدیل می‌شود. رایت و همکاران (۱۸) نسبت  $K_r$  را بر مبنای معادله ۱ و با کمک اندازه‌گیری لایسیمتری در منطقه بوش‌لند (تگزاس) و کیمبرلی (آیداهو) ارزیابی نموده و عنوان می‌نمایند که مقدار  $K_r$  محاسبه شده بر اساس معادله ۱ حدود ۳ تا ۸ درصد بزرگ‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده به روش لایسیمتری و معادله کیمبرلی - پن‌من ولی کوچک‌تر از ضریب تخمین زده شده به روش ASCE-stPM بوده است (۱۶).

اگرچه ضریب ایدآل و دقیق  $K_r$  از طریق اندازه‌گیری‌های محلی و همزمان بر اساس روش لایسیمتری (محاسبه نسبت  $ET_r$  به  $ET_o$ ) به دست می‌آید، اما اطلاعات لایسیمتری در همه مکان‌ها وجود ندارد و همین‌طور اندازه‌گیری توأمان تبخیر و تعرق دو گیاه مرجع نیز نادر می‌باشد. بنابراین، بررسی‌های انجام شده نشان‌دهنده فقدان اطلاعات کافی در مورد ضریب  $K_r$ ، تغییرات مکانی و زمانی این ضریب  $K_r$  و چگونگی کاربست و انتقال‌پذیری ضریب  $K_r$  در مناطق اقلیمی مختلف است.

اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: ۱- ارائه نسبت  $ET_r$  به  $ET_o$  (ضریب  $K_r$ ) برای دشت شهرکرد، ۲- بررسی تغییرات (رفتار

FC: ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصد

a<sub>i</sub>: رطوبت لایه خاک قبل از آبیاری

D: عمق خاک (عمق هر لایه) بر حسب میلی متر

ρb: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب سانتی متر مکعب

n: تعداد لایه‌های خاک.

داده‌های هواشناسی مورد نیاز در یک دوره ۱۸۵ روزه (اول اردیبهشت تا پایان مهر ۱۳۹۰) از ایستگاه خودکار تحقیقات هواشناسی کشاورزی واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرکرد شامل رطوبت نسبی حداقل و حداکثر (RH<sub>max</sub> و RH<sub>min</sub>)، دمای حداکثر و حداقل هوا (T<sub>max</sub> و T<sub>min</sub>)، سرعت باد (U<sub>2</sub>)، مقدار بارش و تابش خورشیدی (R<sub>s</sub>) تهیه شد. با توجه به این که دقت و کیفیت داده‌های هواشناسی برای محاسبه ET<sub>r</sub> و ET<sub>o</sub> روزانه مؤثر می‌باشد (۲ و ۱۲)، لذا کیفیت داده‌های هواشناسی مورد استفاده (شامل T<sub>max</sub>، T<sub>min</sub>، RH<sub>max</sub>، RH<sub>min</sub> و R<sub>s</sub>) برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>o</sub>) بر اساس توصیه‌های منابع (۱، ۲، ۱۴، ۱۵) مورد ارزیابی قرار گرفت و تایید شد، چگونگی بررسی کیفیت داده‌ها در منابع فوق به تفصیل بیان شده است.

مقدار ET<sub>o</sub> روزانه با استفاده از معادله استاندارد شده پن-من-مانتیت ASCE-stPM (۴) محاسبه شد. این معادله (ASCE-stPM) به منظور تسهیل و یکسان‌سازی محاسبات مربوط به مقاومت‌های ایرودینامیک (r<sub>a</sub>) و ظاهری (یا مقاومت روزانه‌ای، r<sub>s</sub>) استاندارد و ارائه شده است (۱۰). در این معادله ضرایب مربوط به سطوح متفاوت مرجع یکپارچه و به یک معادله مرکب ختم شده که دارای ضرایب مشخص و معین ولی متفاوت برای نوع گیاه مرجع (چمن و یا یونجه) و برای دوره‌های زمانی روزانه و یا ساعتی می‌باشد (۱۲ و ۱۶). معادله استاندارد شده ASCE-stPM برای هر دو سطح مرجع به شرح زیر است:

$$ET_{ref} = \frac{0.408 \Delta (R_n - C_n) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_v (e_s - e_a)}{[\Delta + \gamma(1 + C_d U_v)]} \quad [3]$$

در این معادله ET<sub>ref</sub> تبخیر و تعرق مرجع استاندارد شده (میلی متر بر روز)؛ Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دمای هوا (کیلو پاسکال بر سانتی گراد)؛ R<sub>n</sub> تابش خالص محاسبه شده در سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز)؛ G شار گرما در سطح خاک (صفر برای دوره‌های روزانه)؛ T میانگین دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲/۵-۱/۵ متر؛ U<sub>2</sub> میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)؛ e<sub>s</sub> فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)؛ e<sub>a</sub> فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)؛ γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال)؛ C<sub>n</sub> و C<sub>d</sub> به ترتیب ضرایبی که با تغییر در سطح مرجع (گیاه مرجع) و دوره زمانی تغییر می‌کنند (طبق جدول ۱). پارامترهای معادله ۳ به روش ارائه شده در منبع ۴ محاسبه می‌شوند.

مقادیر ET<sub>r</sub> روزانه هم‌چنین به پنج روش شامل: (۱) پن-من-مانتیت به روش ASCE (ASCE-PM-ET<sub>r</sub>)؛ (۲) پن-من-مانتیت استاندارد شده به روش ASCE (ASCE-stPM)؛ (۳) جنسن-هیز اصلاح شده (JH-ET<sub>r</sub>)؛ (۴) کیمبرلی-پن-من ۱۹۸۲ (KP-ET<sub>r</sub> 1982)، و (۵) مقدار ET<sub>r</sub> مربوط به نتایج لایسیمتری نیز محاسبه شدند (۵، ۱۳، ۱۴، ۱۷). معادلات کلی هر روش به شرح زیر است:

[۴] پن-من-مانتیت به روش ASCE

$$ET_r = \left( \frac{\Delta(R_n - G) + K_w \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( \frac{r_s}{r_a} \right)} \right) / \lambda \quad [5]$$

پن-من-مانتیت استاندارد شده به روش ASCE

$$ET_r = \frac{0.408 \Delta (R_n - C_n) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_v (e_s - e_a)}{[\Delta + \gamma(1 + C_d U_v)]}$$

[۶] جنسن-هیز اصلاح شده

$$ET_r = (CT(T_{mean} - T_x)RS) / \lambda \quad [7]$$

کیمبرلی-پن-من ۱۹۸۲

$$ET_r = \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + K_w \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) (a_w + b_w U_2) (e_s - e_a) / \lambda$$

جدول ۱. مقادیر  $C_d$  و  $C_n$  مربوط به معادله ۳ برای دوره زمانی روزانه برای سطح مرجع چمن و یونجه (۴)

سطح مرجع یونجه ( $ET_r$ )		سطح مرجع چمن ( $ET_o$ )	
$C_n$	$C_d$	$C_n$	$C_d$
۱۶۰۰	۰/۳۸	۹۰۰	۰/۳۴

[۱۳] بر پایه مدل فائو ۵۶

$$K_r = ET_r / ET_o = C +$$

$$\left[ 0.04(U_p - 2) - 0.004(RH_{min} - 45) \right]$$

$$\times (h/2)^{0.3}$$

علاوه بر محاسبه مقادیر روزانه و ماهیانه  $K_r$ ، میانگین و انحراف معیار ماهیانه  $K_r$  در فصل رشد محاسبه و مقایسه انجام شد (جدول ۳). یکی از تفاوت‌های بین معادله‌های ۱ و ۸ این است که روال محاسبه  $K_r$  حاصل از روش موجود در نشریه ۵۶ فائو به صورت تابعی از  $U_2$ ،  $RH_{min}$  و عدد ثابت (C) بوده و تبخیر و تعرق حاصل از نوع سطح مرجع (یونجه و یا چمن) را در نظر نمی‌گیرد. اما معادله ۸ مقادیر  $K_r$  را به عنوان تابع مستقیم  $ET_{ref}$  و با در نظر گرفتن نوع سطح مرجع (یونجه یا چمن) تحت شرایط اقلیمی مشابه محاسبه می‌کند.

### ج) ارزیابی روش‌ها

به منظور ارزیابی و بررسی روش‌های مورد استفاده در برآورد  $ET_r$ ، از معیارهای متداول آماری که شامل ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (Normalized Root Mean Square Error, NRMSE) استفاده شد. شاخص آماری ضریب تبیین برای تعیین همبستگی بین مشاهدات واقعی و برآورد شده (اعداد بزرگ‌تر، بهتر) و هم‌چنین جذر میانگین مربع خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (اعداد کوچک‌تر، بهتر) برای تعیین مقادیر خطای برآورد شده، به کار برده شدند.

مدل کیمبرلی-پن من بر پایه معادله اولیه پن من استوار بوده و تفاوت مربوط به ضرایب  $a_w$  و  $b_w$  (مربوط به تابع باد) می‌باشد. مقدار  $ET_r$  مربوط به نتایج لایسیمتری به عنوان مبنای مقایسه با سایر مدل‌ها قرار داده شد. بدین معنی که مقادیر  $ET_r$  از مدل‌های مورد اشاره با مقادیر  $ET_r$  از روش لایسیمتری با استفاده از رگرسیون خطی به کمک ضریب تبیین ( $R^2$ )، شیب خط و عرض از مبدأ و آزمون t مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. نتایج این مقایسه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

### ب) محاسبه ضریب $K_r$

مقادیر ماهیانه  $K_r$  با استفاده از معادله ۱ با استفاده از مقدار  $RH_{min}$  روزانه و میانگین سرعت باد روزانه  $U_2$  در هر ماه محاسبه شدند. میانگین و انحراف معیار (SD) در دوره رشد بین مقادیر  $K_r$  دراز مدت و یکساله محاسبه شد.

روش دیگر برای تعیین  $K_r$  استفاده از نسبت  $ET_r$  به  $ET_o$  به

صورت معادله کلی زیر می‌باشد:

$$K_r = ET_{r(method)} / ET_o(ASCE - stPM) \quad [۸]$$

و بنابراین روش‌های پنجگانه به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$[۹] \text{ بر پایه مدل روزانه ASCE-stPM:}$$

$$K_r = ET_{r(stASCE-PM)} / ET_o(ASCE - stPM)$$

$$[۱۰] \text{ بر پایه مدل روزانه ASCE-PM:}$$

$$K_r = ET_{r(ASCE-PM)} / ET_o(ASCE - stPM)$$

$$[۱۱] \text{ بر پایه مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲}$$

$$K_r = ET_{r(1982 K-PM)} / ET_o(ASCE - stPM)$$

$$[۱۲] \text{ بر پایه مدل جنسن - هیز اصلاح شده}$$

$$K_r = ET_{r(JH)} / ET_o(ASCE - stPM)$$

جدول ۲. شاخص‌های آماری خط رگرسیون بین  $ET_r$  حاصل از روش لایسیمتر ( $Lys-ET_r$ ) با  $ET_r$  حاصل از روش‌های چهارگانه ( $ET_{r(method)}$ )

$ET_r$ روش محاسبه	RMSE <sup>۱</sup>	MAE	عرض از مبدا		R <sup>۲</sup>	p value <sup>۳</sup>
			شیب خط <sup>۲</sup>	intercept		
$ET_{r(method)}$	mm day <sup>-1</sup>	mm day <sup>-1</sup>	slope	intercept		
ASCE-PM- $ET_r$	۱/۹۶۱	۱/۵۸۹	۰/۳۷۰	۳/۹۶۳	۰/۱۲۸	۰/۰۹۸*
stASCE-PM- $ET_r$	۲/۴۷۳	۲/۰۳۰	۰/۶۶۱	۳/۳۸۶	۰/۲۳۱	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
1982 KP- $ET_r$	۱/۸۷۱	۱/۴۷۰	۰/۸۰۴	۲/۱۶۸	۰/۴۲۷	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
JH- $ET_r$	۱/۱۷۵	۰/۸۲۴	۰/۸۶۸	۰/۹۶۹	۰/۶۲۳	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>

۱- مقادیر  $ET_r$  براساس داده‌های روزانه برای هر روش محاسبه شده‌اند.

۲- معادله رگرسیون به صورت زیر است:  $ET_{r(method)} = slope \times (Lys-ET_r) + intercept$

۳- شیب خط حاصل از مقادیر  $ET_{r(method)}$  نسبت به خط حاصل از مقادیر ( $Lys-ET_r$ ) در سطح آماری ( $P < 0.05$ ) متفاوت می‌باشند.

جدول ۳. مقادیر و مقایسه میانگین‌های ماهیانه  $K_r$  به شش روش

Lys	$K_r$ روش محاسبه					ماه مورد نظر
	JH	KP-82	ASCE-PM	ASCE-stPM	FAO56	
۱/۱۳	۰/۸۵	۱/۲۰	۱/۰۹	۱/۳۱	۱/۴۵	اردیبهشت
۱/۱۲	۱/۲۲	۱/۳۲	۱/۰۲	۱/۲۹	۱/۴۰	خرداد
۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۳۵	۱/۰۶	۱/۳۲	۱/۳۶	تیر
۱/۱۸	۱/۲۳	۱/۲۸	۱/۰۶	۱/۳۱	۱/۳۸	مرداد
۱/۲۰	۱/۲۶	۱/۲۳	۱/۲۴	۱/۳۱	۱/۳۸	شهریور
۰/۹۵	۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۲۷	۱/۳۵	۱/۴۴	مهر
۱/۱۲a	۱/۱۶a	۱/۲۷b	۱/۱۲a	۱/۳۲b	۱/۴۰c	میانگین دوره رشد*
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۴	انحراف معیار دوره رشد

\*- میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان می‌باشند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

## نتایج و بحث

### محاسبه $ET_r$

مفهوم عدم تساوی کوواریانس و لذا عدم تساوی شیب دو خط می‌باشد، به دست آمده است (جدول ۲ و شکل ۱- الف).

مقادیر  $ET_r$  به روش stASCE-PM نیز رابطه ضعیفی با  $ET_r$  حاصل از روش لایسیمتر (ضریب تبیین به میزان ۰/۲۳۱) دارد. از این مدل مقدار RMSE به میزان ۲/۴۷۳ میلی‌متر در روز، MAE به میزان ۲/۰۳۰ میلی‌متر در روز و مقدار p (آزمون برابری ANCOVA نسبت به روش لایسیمتر) کوچک‌تر از

مقادیر  $ET_r$  به روش ASCE-PM رابطه ضعیفی با  $ET_r$  حاصل از روش لایسیمتر ( $Lys-ET_r$ ) با ضریب تبیین به میزان ۰/۱۲۸ دارد. از این مدل مقدار RMSE به میزان ۱/۹۶۱ میلی‌متر در روز، MAE به میزان ۱/۵۸۹ میلی‌متر در روز و مقدار ۰/۰۹۸ p= (آزمون برابری ANCOVA نسبت به روش لایسیمتر) که به

در بالای آسمانه گیاه به سرعت با هوای خشک جابجا شده و در نتیجه به افزایش در کمبود فشار بخار اشباع و افزایش تبخیر و تعرق منجر می شود، در صورتی که در شرایط با باد ملایم، هوای اشباع در اطراف آسمانه گیاه به سرعت جابجا نشده و لذا شدت تبخیر و تعرق نسبت به سرعت باد از حساسیت کمتری برخوردار است. در اقلیم هائی با رطوبت زیاد و سرعت باد کم، هوای اشباع در بالای آسمانه گیاهی، به میزان کمتری با هوای کمتر اشباع جابجا می شود.

بنابراین، انتظار می رود که مدل جنسن - هیز اصلاح شده تخمین بهتری از  $ET_r$  در اقلیم هائی با باد ملایم در قیاس با اقلیم هائی با باد شدید ارائه دهد. با توجه به شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود که در منطقه مورد مطالعه در فصل رشد حداقل رطوبت هوا ( $RH_{min}$ ) در پایین ترین مقدار (۸ درصد) و سرعت متوسط باد ملایم تا نسبتاً ملایم (صفر تا ۸ متر بر ثانیه) می باشد، بنابراین مقادیر  $ET_r$  تخمین زده شده به روش جنسن - هیز اصلاح شده به طور معنی داری با مقادیر حاصل از داده های لایسیمیتری متفاوت نبوده که نتایج موجود (جدول ۲ و شکل ۱-ت) این مطلب را نشان می دهد.

#### محاسبه $K_r$

جدول ۳ مقادیر محاسبه شده نسبت  $K_r$  و مقایسه میانگین های ماهیانه این مدل را نشان می دهد. مقایسه میانگین های ماهیانه  $K_r$  به روش نشریه ۵۶ فائو دارای اختلاف معنی دار در سطح آماری ۵ درصد نسبت به  $K_r$  حاصل از میانگین های ماهیانه به روش لایسیمیتری است (جدول ۳). مقادیر  $K_r$  حاصل از معادله ۱ (روش نشریه ۵۶ فائو) حاکی از مقادیر بالاتر در طول فصل رشد نسبت به سایر مدل های محاسبه  $K_r$  می باشد. نتایج نشان می دهد مقدار  $K_r$  با گذر زمان و رسیدن به میانه دوره رشد کاهش نشان داده و احتمالاً با گذر از دوره رشد (و رسیدن به فصل خواب) مجدداً افزایش نشان خواهد داد. این مطلب ممکن است به علت تفاوت در مقادیر  $RH_{min}$  و  $U_2$  در فصل رشد باشد که از تغییرات کمتر و کاهشی برخوردار بوده و لذا

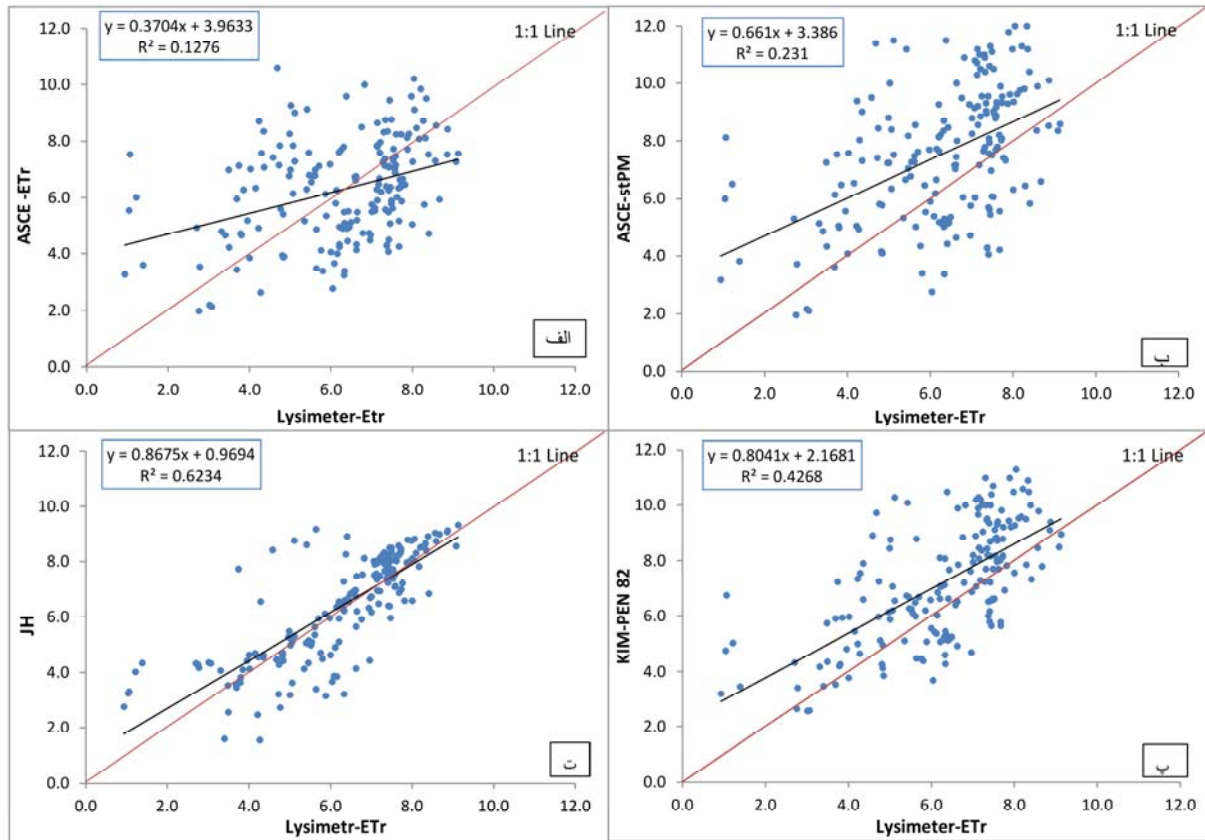
۰/۰۵ که به مفهوم تساوی دو خط می باشد، به دست آمده است (جدول ۲ و شکل ۱-ب).

در مدل فوق، برآورد  $ET_r$  به دلیل مقادیر بالاتر RMSE و MAE بیش از مدل ASCE-PM می باشد که احتمالاً ناشی از ثابت بودن پارامترهای معادله ( $r_s$  و  $r_a$ ) است. ولی چون در طول دوره رشد ارتفاع گیاه یونجه ثابت نبوده (بر اساس اطلاعات لایسیمیتری) و این بر خلاف شرایط پیش فرض مدل پن-من-مانتیث استاندارد شده ASCE-stPM (ارتفاع ثابت گیاه) می باشد، بنابراین شاخص های فوق بیشتر از مدل ASCE-PM می باشد که در آن پارامترهای معادله ( $r_s$  و  $r_a$ ) ثابت نبوده و تابعی از ارتفاع گیاه مرجع (در اینجا یونجه) بوده و نتایج آماری در قیاس با روش ASCE-stPM دلالت بر این مدعا دارد.

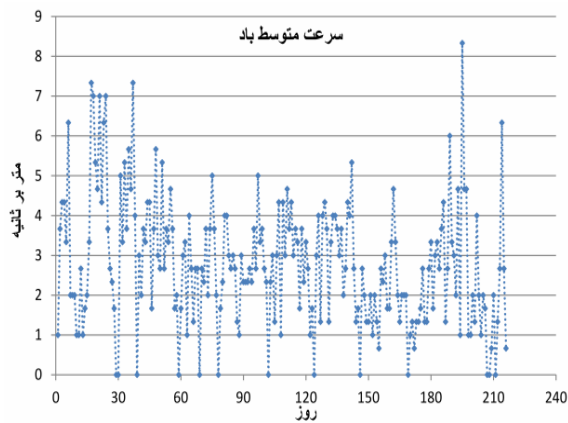
برای مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲ شاخص های آماری به ترتیب برای RMSE و MAE برابر با ۱/۸۷۱ و ۱/۴۷۰ میلی متر بر روز و  $R^2$  نسبتاً ضعیف برابر با ۰/۴۲۷ می باشد. در مدل فوق، نیز بیش برآورد  $ET_r$  نسبت به روش لایسیمیتری مشاهده می شود (شکل ۱-پ). مقدار p (برای آزمون برابری ANCOVA نسبت به روش لایسیمیتری) کوچک تر از ۰/۰۵ و به مفهوم تساوی شیب دو خط می باشد، به دست آمده است (جدول ۲ و شکل ۱-پ). این مدل بر اساس نتایج آماری موجود شباهت نزدیکی با مدل ASCE-stPM دارد.

محاسبه  $ET_r$  به روش جنسن - هیز (۱۴) رابطه نسبتاً قوی با  $ET_r$  با نتایج حاصل از روش لایسیمیتری دارد. این مدل دارای ضریب تبیین ( $R^2$ ) به میزان ۰/۶۲۳ (بیشترین مقدار)، RMSE به میزان ۱/۱۷۵ میلی متر در روز (کمترین مقدار)، MAE به میزان ۰/۵۲۴ میلی متر در روز (کمترین مقدار) و مقدار p (از آزمون برابری شیب خط نسبت به روش لایسیمیتری) برابر با ۰/۰۰۹ که به مفهوم تساوی شیب دو خط می باشد، به دست داده است (جدول ۲). این روش دارای حداکثر قرابت نسبت به روش لایسیمیتری می باشد (شکل ۱-ت).

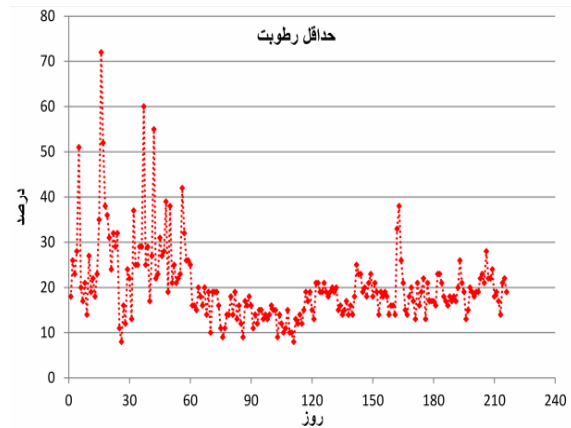
این مدل سرعت باد را که می تواند بر میزان ET تاثیرگذار باشد، در نظر نمی گیرد. در اقلیم های با باد شدید، هوای اشباع



شکل ۱. معادلات رگرسیون بین چهار مدل تخمین  $ET_r$  به ترتیب الف-ASCE-PM، ب-ASCE-stPM، ت-1982 KP، پ- هر چهار مدل نسبت به  $ET_r$  از روش لایسیمتر



شکل ۳. تغییرات سرعت باد روزانه طی دوره رشد



شکل ۲. تغییرات حداقل رطوبت نسبی روزانه طی دوره رشد

متغیرهای آب و هوایی در واسنجی مدل می‌باشد. در معادله ۱ مقادیر پایه به میزان ۴۵ درصد و ۲ متر بر ثانیه برای  $RH_{min}$  و  $U_2$  در نظر گرفته شده که بسیار زیاد به نظر می‌رسند و احتمالاً برای اقلیم‌هایی با شرایط متفاوت کارائی لازم را نداشته باشد.

منجر به کاهش مقادیر  $K_r$  شده است. ایرماک و همکاران (۱۱) معتقد هستند مقادیر  $K_r$  به این روش در مناطق خشک و گرم بیشتر از مناطق معتدل و مرطوب بوده و در اقلیم‌های متفاوت مقادیر متفاوت و ناپایدار ارائه می‌دهد که ناشی از تأثیر زیاد



روش نبوده و ممکن است بازتابی از رفتار مدل‌ها در محاسبه  $K_T$  باشد. در یک نگاه، مقادیر  $K_T$  محاسبه شده با استفاده از مدل پن‌من - ماتیت استاندارد شده ( $stASCE-PM-ET_T$ ) نسبت به ( $stASCE-PM-ET_0$ )، یعنی معادله ۸، ممکن است به علت وجود اریب این دو مدل نسبت به هم باشد. به هر حال، این دو مدل نماینده دو سطح مرجع متفاوت بوده و دارای اختلاف به دلیل پارامترهای موجود در بطن خود می‌باشند. اگرچه، به منظور به حداقل رسانی یا نرمال‌سازی این اریب بالقوه، مخرج کسر در تمامی روش‌های محاسبه  $K_T$  به‌طور یکسان قرار گرفته است.

مقادیر  $K_T$  حاصل از مدل پن‌من - ماتیت  $ASCE-PM-ET_T$  (صورت کسر) در دوره رشد با میانگین کل به مقدار  $1/12$  و انحراف معیار  $0/10$  می‌باشد. مقایسه میانگین‌های ماهیانه  $K_T$  به روش  $ASCE-PM$  اختلاف معنی‌داری در سطح آماری  $5\%$  درصد نسبت به  $K_T$  حاصل از میانگین‌های ماهیانه به روش لایسمتری ندارد (جدول ۳). بطورکلی، مقادیر  $K_T$  با گذشت زمان از ابتدای فصل رشد به سمت پایان دوره رشد، روال کاهش‌ی داشته که با نتایج حاصل از مدل پیشین همخوانی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در این مدل مقادیر  $I_a$  و  $I_s$  در معادله مورد استفاده به عنوان تابعی از ارتفاع گیاه یونجه در محاسبات دچار تغییر شده‌اند (بر خلاف مدل پیشین که ارتفاع بوته یونجه در طول فصل رشد ثابت و  $50$  سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود)، بنابراین مقدار  $ET_T$  حاصل از این مدل در شرایط واقعی بوده و لذا نتایج مربوط به  $K_T$  از این روش را بایستی با اعتماد بیشتری در نظر گرفت، کما اینکه مقدار  $K_T$  در این مدل بیشترین نزدیکی را با مقدار  $K_T$  حاصل از اطلاعات لایسمتری ( $K_T=1/12$ ) دارد.

مقادیر  $K_T$  برای مدل کیمبرلی - پن‌من  $1982$  در دوره رشد با میانگین کل به مقدار  $1/27$  و انحراف معیار  $0/06$  می‌باشد. مقایسه میانگین‌های ماهیانه  $K_T$  به روش کیمبرلی - پن‌من  $1982$  دارای اختلاف معنی‌دار در سطح آماری  $5\%$  درصد نسبت به  $K_T$  حاصل از میانگین‌های ماهیانه به روش لایسمتری است (جدول ۳). در طول فصل رشد مقادیر

بنابر این، چون عدد ثابت  $C$  به تنهایی مقادیر دقیق و قابل‌اعتماد به‌دست نمی‌دهد، ضروری است در اقلیم‌های متفاوت واسنجی برای ضرایب آستانه  $RH_{min}$  و  $U_2$  برای تخمین صحیح مقدار  $K_T$  در معادله ۱ انجام گیرد در غیر اینصورت محاسبه  $K_T$  به این روش نسبت به سایر روش‌ها به استنتاج صحیح نمی‌انجامد. مقایسه میانگین‌های ماهیانه  $K_T$  به روش  $FAO56$  دارای اختلاف معنی‌دار در سطح آماری  $5\%$  درصد نسبت به  $K_T$  حاصل از میانگین‌های ماهیانه به روش لایسمتری دارد.

مقادیر  $K_T$  حاصل از مدل استاندارد شده پن‌من - ماتیت ( $ASCE-stPM$ ) در دوره رشد با میانگین کل به مقدار  $1/32$  و انحراف معیار  $0/02$  می‌باشد. مقایسه میانگین‌های ماهیانه  $K_T$  به روش  $ASCE-stPM$  دارای اختلاف معنی‌دار در سطح آماری  $5\%$  درصد نسبت به  $K_T$  حاصل از میانگین‌های ماهیانه به روش لایسمتری می‌باشد (جدول ۳). مقادیر  $K_T$  با گذشت زمان از ابتدای فصل رشد به سمت پایان دوره رشد روال کاهش‌ی داشته که با نتایج حاصل از پژوهش جنسن و همکاران ( $14$ ) که مقادیر  $K_T$  را در دامنه‌ای بین  $1/03$  تا  $1/45$  با انحراف معیار  $0/08$  برای فصل رشد برای شرایط بادخیز و خشک گزارش نمودند، همخوانی نشان می‌دهد.

نتایج این مطالعه در برخی موارد بیشتر از مقادیر  $K_T$  گزارش شده توسط محققین و در برخی موارد کمتر از مقادیر گزارش شده توسط تعدادی دیگر از پژوهشگران می‌باشد. به‌طور مثال، در یک مطالعه لایسمتری یونجه و چمن، اوت و همکاران ( $9$ ) گزارش کردند که مقدار  $ET_T$  به میزان  $1/15$  برابر  $ET_0$  در فصل رشد بوده است. دورنباس و پروت ( $6$ ) پیشنهاد می‌نمایند که مقدار  $K_T$  برای اقلیم خشک با شرایط باد ملایم تا متوسط به میزان  $1/15$  باشد. ارپن‌بک ( $8$ ) مقدار  $K_T$  را به میزان  $1/21$  با استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق چمن و تبخیر از تشتک در دیویس کالیفرنیا به‌دست آورده است. رایت ( $18$ ) و رایت و همکاران ( $19$ ) گزارش نمودند که مقدار  $K_T$  برای کیمبرلی آیداهو برابر با  $1/20$  می‌باشد. به این نکته باید توجه داشت که تغییرات اندک در مقادیر  $K_T$  لزوماً به معنای دقت بیشتر

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که:

۱. در روش نشریه ۵۶ فائو مقدار میانگین  $K_r$  در طول فصل رشد برابر با  $1/40$  به دست آمد.
  ۲. محاسبه  $K_r$  با استفاده از مدل پن-من - مانیتث استاندارد شده به روش ASCE نتایجی نزدیک به روش لایسیمتری ارائه نداده است (میانگین در طول فصل رشد برابر با  $1/32$ ).
  ۳. محاسبه  $K_r$  با استفاده از مدل پن-من - مانیتث به روش ASCE نتایجی نزدیک به روش لایسیمتری ارائه داده است (میانگین در طول فصل رشد برابر با  $1/12$ ).
  ۴. محاسبه میانگین  $K_r$  با استفاده از مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲ در طول فصل رشد برابر با  $1/27$  بوده و به نظر می رسد با توجه به اصلاح تابع باد در مدل KP-82 هنوز نتایجی نزدیک به حقیقت در قیاس با نتایج اطلاعات لایسیمتری به میزان  $1/12$  به دست نداده است.
  ۵. محاسبه  $K_r$  با استفاده از مدل جنسن - هیز اصلاح شده نزدیک به واقعیت است (میانگین فصل رشد  $1/16$ ).
- از آنجا که اندازه گیری همزمان  $ET_r$  و  $ET_0$  به ندرت در مناطق و اقلیم های مختلف میسر می باشد، به نظر می رسد برآورد  $K_r$  با توجه به اطلاعات موجود در هر منطقه و انتخاب یکی از روش های ذکر شده و متناسب با منطقه می تواند مفید فایده باشد.

حاصل از  $K_r$  در این مدل روند معکوس نسبت به دو مدل قبل نشان می دهند. به عبارت بهتر، مقادیر  $K_r$  ماهیانه از ابتدای فصل به انتهای فصل رشد روند افزایشی برای مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲ نشان می دهد. چنین روند متضادی در محاسبه  $K_r$  می تواند به علت تفاوت در تابع باد مورد استفاده در این مدل باشد. از سوی دیگر، به عقیده جنسن و همکاران (۱۴) در شرایطی که رطوبت هوا افزایش (کاهش) می یابد بایستی مقادیر  $K_r$  کاهش (افزایش) یابد، که این نظر با نتایج  $K_r$  حاصل از مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲ همخوانی دارد. بنابراین، با توجه به شکل ۱ که کاهش در رطوبت هوا را نشان می دهد، روند مدل اخیر به واقعیت نزدیک تر ارزیابی می گردد.

مقادیر  $K_r$  حاصل از مدل جنسن - هیز اصلاح شده (۱۴) در دوره رشد با میانگین کل به مقدار  $1/16$  و انحراف معیار  $0/15$  می باشد. مقایسه میانگین های ماهیانه  $K_r$  حاصل از مدل جنسن - هیز اصلاح شده اختلاف معنی داری در سطح آماری ۵ درصد نسبت به  $K_r$  حاصل از میانگین های ماهیانه به روش لایسیمتری ندارد (جدول ۳). ملاحظه می گردد که مقادیر ماهیانه  $K_r$  بهتر از مدل کیمبرلی - پن من ۱۹۸۲ برآورد می شود، نتیجه گیری مشابهی نیز توسط ایرماک (۱۱ و ۱۰) به دست آمده و تأیید شده است.

## منابع مورد استفاده

1. Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 122(2): 97-106.
2. Allen, R.G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56, Rome, Italy.
3. Allen, R. G., M. Smith, A. Perrier and L. S. Pereira. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43(2):1-34.
4. ASCE Environmental and Water Resources Institute (EWRI). 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Final Rep., *In*: R. G. Allen, I. A. Walter, R. L. Elliot, T. A. Howell, D. Itenfisu, M. E. Jensen and R. L. Snyder (Eds.), ASCE, Reston, Va.
5. Burman, R. D. and L.O. Pochop. 1994. Evaporation, evapotranspiration and climate data. *Developments in atmospheric science*, Vol. 22, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
6. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for prediction of crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24, revised, Rome, Italy.
7. Droogers, P. and R.G. Allen. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig.*

- Drain. Sys. 16:33–45.
8. Erpenbeck, J. M. 1981. A methodology to estimate crop water requirements in Washington State. MS thesis, Washington State Univ., Pull-man, Wash. November 2006.
  9. Evett, S. R., T. A. Howell, R.W. Todd, A.D. Schneider and J. A. Tolk. 2000. Alfalfa reference ET measurement and prediction. Proc. 4<sup>th</sup> Decennial National Irrig. Symp., ASAE, St. Joseph, Mich. 266–272.
  10. Irmak, S., T.A. Howell, R.G. Allen, J.O. Payero and D. L. Martin. 2005. Standardized ASCE-Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-h time-step computations at reference weather station sites. Transactions of the ASABE, 48(3):1063–1077.
  11. Irmak, S., A. Irmak, T. A. Howell, D.L. Martin, J.O. Payero and K.S. Copeland. 2008. Variability Analyses of Alfalfa-Reference to Grass Reference evapotranspiration Ratios in Growing and Dormant Seasons. J. Irrig. Drain. Eng. 134(2):147-159.
  12. Itenfisu, D., R.L. Elliot, R.G. Allen and I.A. Walter. 2003. Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. J. Irrig. Drain. Eng. 129(6):440–448.
  13. Jensen, M. E. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. and Drain. Div. 89: 15–41.
  14. Jensen, M. E., R.D. Burman and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70, ASCE, New York.
  15. Temesgen, B., R.G. Allen and D.T. Jensen. 1999. Adjusting temperature parameters to reflect well-watered conditions. J. Irrig. Drain. Eng., 125(1): 26–33.
  16. Walter, I. A., R.G. Allen, R. Elliott, M.E. Jensen, D. Itenfisu, B. Mecham, T. A. Howell, R. Snyder, P. Brown, S. Eching, T. Spofford, M. Hattendorf, R. H. Cuenca, J. L. Wright and D. Martin. 2000. ASCE's Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Proc., 4<sup>th</sup> National Irrig. Symp., ASAE, Phoenix, AZ.
  17. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. and Drain. Div. 108 (IR2), 57–74.
  18. Wright, J. L. 1996. Derivation of alfalfa and grass reference evapotranspiration. Evapotranspiration and Irrigation Scheduling: Proc. International Conf., Irrigation Association and International Committee on Irrigation and Drainage, In: C. R. Camp, E. J. Sadler and R. E. Yoder (Eds.), American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich.
  19. Wright, J. L., R.G. Allen and T.A. Howell. 2000. Conversion between evapotranspiration references and methods. Proc. 4th Decennial National Irrigation Symp., American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich.

## Evaluation of Alfalfa Reference Crop Evapotranspiration ( $ET_r$ ) Ratio to Grass Reference Crop Evapotranspiration ( $ET_o$ ) Ratio in Shahrekord Plain

A. Morshedi<sup>1</sup>, M. Nader<sup>1</sup>, S.H. Tabatabaei<sup>2\*</sup> and J. Mohammadi<sup>1</sup>

(Received : Feb. 18-2012 ; Accepted : Sep. 30-2012)

### Abstract

It is necessary that  $ET_r$  (Alfalfa-reference evapotranspiration) values be converted to  $ET_o$  (Grass-reference evapotranspiration) or vice versa. The main objective of this study was to develop  $ET_r$  to  $ET_o$  ratios ( $K_r$  values) for a growing season in Shahrekord plain, Shahrekord, Iran. Mean monthly and total (growing season) values of  $K_r$  were calculated based on 185 daily ET data set in Chaharthakhteh Agricultural Research Station of Shahrekord. The  $ET_r$  and  $ET_o$  values were calculated using six models for developing  $K_r$  values. The models included the Standardized American Society of Civil Engineers Penman-Monteith (ASCE-stPM), American Society of Civil Engineers Penman-Monteith (ASCE-PM), 1982 Kimberly-Penman (KP), and modified Jensen-Haise (JH).  $K_r$  values as a function of some of the climatic variables in FAO56 Irrigation and Drainage Paper were compared with lysimeter  $ET_r$  values. For the growing season,  $K_r$  values based on lysimeter study was 1.12, which was comparable to 1.12, and 1.16 for ASCE-PM, and JH, respectively, but was far from 1.27 for 1982 KP models.  $ET_r$  values in each method compared to ASCE-stPM- $ET_o$  were not comparable to 1.40 derived from  $K_r$  value based on FAO56 method.

**Keywords:** Evapotranspiration,  $K_r$  value, Crop surface, Alfalfa, Grass.

---

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

2. Dept. of Water Eng., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: tabatabaie@agr.sku.ac.ir