



## یادداشت فنی

# ارزیابی روش‌های محاسباتی تبخیر تعرق گیاه مرجع و تعیین تبخیر تعرق گیاه پسته در رفسنجان

حمیده نوری<sup>۱\*</sup>، علیرضا بادبه نشین<sup>۲</sup>، اکبر محمدی محمد آبادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳

## چکیده

هدف از این مطالعه برآورد تخیر تعرق گیاه پسته در منطقه دشت رفسنجان می باشد. در این تحقیق نتایج حاصل از شش روش محاسباتی تعیین تبخیر تعرق مرجع ( $ET_0$ ) با داده‌های اندازه‌گیری شده در لایسیمتر حاوی چمن مقایسه شد. در بین آن‌ها، روش پنمن مانیتث فائو با مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۱/۳ میلی‌متر بر میلی‌متر و درصد خطای مطلق (PAE) برابر ۱۷ درصد بهترین روش محاسباتی بود و سه روش کیمبرلی پنمن، تشعشع و بلانی کریدل دارای دقت مناسبی بودند. روش هارگریوز و پنمن اصلاح شده دارای خطای بیشتری نسبت به سایر روش‌ها بودند. همچنین با استفاده از ضرایب گیاهی پسته و مقدار متوسط  $ET_0$  لایسیمتر در طی چهار سال، تبخیر تعرق پسته ( $ET_c$ ) تعیین گردید. بر اساس نتایج به دست آمده متوسط  $ET_c$  درختان بارور پسته در طول سال (از فروردین تا آذر) ۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار است و حداکثر  $ET_0$  و  $ET_c$  در تیرماه رخ داده است. بیش از ۵۰ درصد  $ET_c$  مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است که اهمیت آبیاری درختان پسته در این ماه‌ها را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پنمن - مانیتث فائو، پسته، لایسیمتر، نیاز آبی

## مقدمه

گیاه مطلع بود. تبخیر تعرق گیاه با علامت  $ET_c$  نشان داده می‌شود و که بر اساس معادله (۱) محاسبه می‌گردد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

در این معادله  $ET_c$  تبخیر تعرق گیاه مورد نظر،  $K_c$  ضریب گیاهی و  $ET_0$  تبخیر تعرق گیاه مرجع است. ضریب  $K_c$  یک مقدار ثابت نبوده و با توجه به نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی در طول دوره رشد تغییر می‌نماید. در این زمینه شرایط اقلیمی حاکم بر هر منطقه، عواملی نظیر سن درختان، نحوه آرایش آن‌ها، مدیریت باغات و برنامه آبیاری آن‌ها در مقدار این ضریب موثر است (دستورانی و همکاران، ۱۳۹۱). گلدهامر<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) ضرایب گیاهی پسته را در مراحل مختلف رشد آن به دست آورد که در محدوده ۰/۰۷ تا ۱/۱۹ بوده و مبنای ضرایب ارائه شده توسط فائو است. در ایران، فرشی و همکاران (۱۳۷۶) مقدار ضریب گیاهی پسته را از ۰/۴ تا

در حال حاضر، دشت رفسنجان وسیع‌ترین دشت کشت درختان پسته در ایران است و سالانه برای آبیاری این درختان حجم بسیار زیادی از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌گردد. راندمان آبیاری پایین و تلاش برای تولید بیشتر محصول باعث برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و افت زیاد سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده است (محمدی محمدآبادی و همکاران، ۱۳۸۷). جهت جلوگیری از برداشت بی‌رویه، نیاز به بررسی چرخه مصرفی آب در بخش کشاورزی و حذف هدررفت آب در این بخش است. برای تعیین آب مورد نیاز هر گیاه باید از تبخیر تعرق آن

<sup>۱</sup> استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(\*نویسنده مسئول: hnoory@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان

ET<sub>c</sub> پسته گامی مهم در جهت استفاده بهینه از منابع آبی در این منطقه خواهد بود. با توجه به موارد ذکر شده، اهداف این پژوهش شامل تعیین روش محاسباتی مناسب برای تعیین ET<sub>c</sub> و ET<sub>o</sub> پسته در منطقه رفسنجان است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در ایستگاه شماره دو مؤسسه تحقیقات پسته کشور واقع در شمال غربی رفسنجان، با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و یک دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی اجرا گردید. این منطقه دارای ارتفاع ۱۵۱۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۹۹/۵ میلی‌متر است. خاک ایستگاه مذکور دارای بافتی متوسط تا سبک است.

### اندازه‌گیری تبخیر تعرق مرجع

برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق مرجع دو لایسیمتر حجمی فلزی زهکش‌دار به ابعاد ۲×۱/۵ و ارتفاع یک متر در قطعه زمین مربعی به ابعاد ۴۰×۴۰ متر نصب و چمن‌کاری گردید (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر سطح چمن کاری شده و موقعیت لایسیمترها

اندازه‌گیری تبخیر تعرق چمن در این لایسیمترها برای پنج سال پیاپی انجام گردید. آبیاری در تمام مراحل رشد چمن به منظور حفظ رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی به طور مرتب انجام شد و مازاد آب اضافه شده به لایسیمترها (آب خارج شده از لایسیمتر) از آب داده شده (آبیاری و بارندگی) کسر گردید و بر سطح لایسیمتر تقسیم شد. به این ترتیب تبخیر تعرق چمن اندازه‌گیری گردید. آمار هواشناسی شامل دما، رطوبت، سرعت باد، ساعات آفتابی با نصب جعبه هواشناسی و ادوات مورد نیاز اندازه‌گیری گردید. روش‌های تعیین ET<sub>o</sub> که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند شامل روش‌های پنمن اصلاح شده فائو، پنمن مانیتیت فائو، روش تشعشع، روش هارگریوز، روش بلانی کریدل و کیمبرلی پنمن می‌باشد (جدول ۱).

۰/۶ بیان کردند که نشان از تفاوت چشم‌گیر ضرایب این گیاه در اقلیم‌های متفاوت است. اغلب به دلیل بالا بودن هزینه‌های مربوط به نگهداری لایسیمتر، در یک دوره زمانی کوتاه (یک یا دو سال) ET<sub>o</sub> را با استفاده از لایسیمتر به دست آورده و هم‌زمان با آن آماربرداری اطلاعات هواشناسی از قبیل دما، رطوبت، سرعت باد، ساعات آفتابی نیز صورت می‌پذیرد. سپس مقادیر به دست آمده از لایسیمتر و معادلات مبتنی بر آمار هواشناسی مورد مقایسه قرار گرفته و بهترین روش محاسباتی برای منطقه مورد مطالعه شناسایی و ET<sub>o</sub> با استفاده از آن محاسبه می‌گردد. محققین در نقاط مختلف دنیا نسبت به شناسایی بهترین روش محاسباتی برآورد ET<sub>o</sub> اقدام نموده‌اند و تاکنون روابط زیادی را برای برآورد ET<sub>o</sub> در قالب روش‌های آنرویدینامیک، تجربی و ترکیبی ارائه کردند. روش محاسباتی مناسب تعیین ET<sub>o</sub> در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۸۷). پژوهشگرانی نظیر سالیه و سندیل<sup>۱</sup> (۱۹۸۳) در عربستان، آلن و همکاران (۱۹۹۸) در منطقه آیداهو، شیه و چنگ<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) در پورتوریکو، چن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) در تاپوان و رائو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) در شمال آمریکا به منظور تعیین بهترین معادله برآورد ET<sub>o</sub>، روابط زیادی را ارزیابی کردند. در ایران، نیز تحقیق‌های زیادی انجام شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش مالک (۱۳۶۰) و سپاس‌خواه و محمدی محمد آبادی (۱۳۷۵) در منطقه باجگاه استان فارس، نادری و همکاران (۱۳۷۸) در مشهد، علیزاده و همکاران (۱۳۸۳) در دو ایستگاه شهر کرمان، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۸) در مشهد و میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱) در استان کرمانشاه اشاره کرد. همانگونه که مشاهده شد در بسیاری از مناطق کشاورزی ایران پژوهشی به منظور تعیین روش مناسب برآورد تبخیر تعرق مرجع طبق داده‌های لایسیمتری انجام شده است. در منطقه شهرستان رفسنجان تاکنون پژوهشی به منظور تعیین ET<sub>o</sub> صورت نگرفته است و اطلاعات جامعی در خصوص تطابق معادلات تعیین ET<sub>o</sub> با شرایط آب و هوایی رفسنجان وجود ندارد. از این رو تعیین ET<sub>o</sub>

<sup>1</sup> Salih and Sendil

<sup>2</sup> Shih and Cheng

<sup>3</sup> Chen et al.

<sup>4</sup> Rao et al.

جدول ۱- روش‌های تعیین تبخیر تعرق مرجع مورد استفاده در پژوهش حاضر

مرجع	فرم معادله اصلی در روش	نام روش
Allen, et al., 1998 (FAO 56)	$ET_0 = \frac{0.408D(R_n - G) + [890 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)}{D + g(1 + 0.34U_2)}$	پنمن مانتیت فائو
Allen, 2000	$ET_0 = \frac{(\Delta / (\Delta + \gamma)(R_n - G) + Kw(\gamma / (\Delta + \gamma))(a_w + b_w u_2)(e_s - e_a))}{\lambda}$	کیمبرلی پنمن
Hargreaves et al., 1982	$ET_0 = 0.0023R_n(T + 17.8)\sqrt{TR}$	هارگریوز
	$ET_0 = C_p(WR_n + (1 - W)(0.27)(1 + U / 100)(e_s - e_a))$	پنمن اصلاح شده
Doorenbos & Pruitt, 1977(FAO 24)	$ET_0 = A_B + B_B [P(0.46T + 8)]$	بلانی کریدل اصلاح شده
	$ET_0 = C(W.R_s)$	تشعشع

از مقدار اندازه‌گیری لایسیمتر بوده است و در واقع نمی‌توان گفت که روش‌های محاسباتی مورد بررسی در تمام موارد کم برآورد یا بیش برآورد داشته اند. به منظور بررسی دقت روش‌های مختلف مورد استفاده، از آماره‌ی RMSE و PAE استفاده شده است که نتایج مربوط به آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج خطای روش‌های مختلف برآورد تبخیر

تخرق مرجع		
PAE (%)	RMSE (mm mm <sup>-1</sup> )	نام معادله
۱۷	۱/۳	پنمن مانتیت فائو
۱۶	۱/۵	کیمبرلی پنمن
۲۱	۱/۵	پنمن اصلاح شده
۲۴	۲/۳	هارگریوز
۱۸	۱/۴	تشعشع
۱۷	۱/۴	بلانی کریدل

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کمترین خطا مربوط به روش پنمن مانتیت فائو با مقدار RMSE برابر ۱/۳ میلی‌متر بر میلی‌متر و مقدار درصد خطای ۱۷ درصد است. پس از این روش، سه روش کیمبرلی پنمن، تشعشع و بلانی کریدل دارای دقت مناسبی هستند. روش هارگریوز و پنمن اصلاح‌شده دارای خطای بیشتری نسبت به سایر روش‌ها هستند. در منطقه باجگاه استان فارس روش پنمن مانتیت فائو (سپاس‌خواه و محمدی محمدآبادی، ۱۳۷۵)، در مشهد روش‌های پنمن مانتیت فائو، جنسن هیز و پنمن کیمبرلی (نادری و همکاران، ۱۳۷۸)، در شهر کرمان روش‌های پنمن مانتیت فائو، پنمن اصلاح شده فائو (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳)، در مشهد روش پنمن مانتیت فائو با اعمال ضرایب اصلاحی (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸)، در استان کرمانشاه روش پنمن مانتیت فائو (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۱) به عنوان روش‌های مناسب برآورد ET<sub>0</sub> شناخته شده‌اند. در اغلب مناطق

با استفاده از یک برنامه کامپیوتری به نام REF-ET (۲۰۰۲) محاسبات مربوط به برآورد تبخیر تعرق مرجع طبق روش‌های ذکر شده انجام پذیرفت. سپس با استفاده از آماره‌های درصد خطای مطلق (PAE)<sup>۱</sup> (معادله ۲) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله ۳) بین مقادیر محاسبه شده با روش‌های مورد بررسی و مقادیر ET<sub>0</sub> اندازه‌گیری شده از لایسیمتر چمن مقایسه آماری انجام شد و بهترین روش مبتنی بر آمار هواشناسی برای منطقه رفسنجان تعیین گردید.

$$PAE = \left| \frac{P_j - O_j}{P_j} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (P_j - O_j)^2} \quad (3)$$

که در آن P<sub>j</sub> مقدار برآورد شده توسط معادله، O<sub>j</sub> مقدار واقعی اندازه‌گیری شده و m تعداد نمونه است.

### تعیین تبخیر تعرق پسته

پس از تعیین ET<sub>0</sub> و ضرب آن در مقادیر K<sub>c</sub> پسته در هر مرحله رشد، می‌توان مقدار تبخیر تعرق پتانسیل پسته را تعیین کرد. از این رو میانگین ET<sub>0</sub> اندازه‌گیری شده از لایسیمترهای چمن در سال‌های دو تا پنجم به عنوان ET<sub>0</sub> منطقه انتخاب گردید. همان‌گونه که بیان گردید، K<sub>c</sub> یک مقدار ثابت نبوده و با توجه به نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی در طول دوره رشد تغییر می‌نماید. از این‌رو از ضرایب گیاهی پسته در ایران ذکر شده در پژوهش فرشی و همکاران (۱۳۷۶) استفاده گردید.

### نتایج و بحث

مقایسه مقادیر ET<sub>0</sub> اندازه‌گیری شده و برآورد شده نشان داد که در برخی از موارد برآورد ET<sub>0</sub> توسط روش‌های مورد بررسی کمتر و در بعضی از موارد بیشتر

<sup>1</sup> Present Absolute Error

ویژه پسته است. بیش از ۵۰ درصد تبخیر تعرق گیاه پسته مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است که اهمیت آبیاری درختان پسته در این ماه‌ها را می‌رساند. فرشی و همکاران (۱۳۷۶) تبخیر تعرق درختان بارور پسته برای منطقه رفسنجان را طبق روش پنمن مانیتیت فائو برابر ۶۹۰۹ مترمکعب در هکتار گزارش کردند که تفاوت چشمگیری با مقدار اندازه‌گیری شده در این تحقیق (۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار) دارد. علاوه بر تفاوت اندازه‌گیری  $ET_0$  از لایسیمتر نسبت به روش پنمن مانیتیت فائو دلایل دیگر مانند افزایش دما و کاهش رطوبت در سال‌های اخیر می‌تواند باعث این افزایش شده باشند.

### نتیجه‌گیری

طبق نتایج ارزیابی روش‌های برآورد  $ET_0$  پیشنهاد می‌شود در شهرستان رفسنجان، در صورت داشتن اطلاعات کافی از روش پنمن مانیتیت فائو استفاده گردد و در صورت نبود اطلاعات کافی مورد نیاز این روش از سه روش کیمبرلی پنمن، تشعشع و بلانی کریدل استفاده گردد. تبخیر تعرق درختان بارور پسته در طول سال (از فروردین تا آذر) ۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. طبق نتایج، حساس‌ترین ماه از نظر آبیاری درختان پسته تیر ماه است.

### سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح شماره ۸۳/۴۰۵ مورخ ۸۳/۴/۷ تحت حمایت سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی می‌باشد که بدینوسیله تشکر می‌شود.

### منابع

دستورانی، م. ت.، پورمحمدی، س.، رحیمیان، م. ح. ۱۳۹۱. تخمین تبخیر- تعرق واقعی باغات پسته منطقه اردکان به کمک سنجش از دور. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۱): ۱۲-۱.

سبزی پرور، ع. ا.، تفضلی، ف.، زارع ابیانه، ح.، بانژاد، ح.، غفوری، م.، موسوی بایگی، م.، مریانجی، ز.، محسنی موحد، ا. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل بر آورد تبخیر- تعرق مرجع در یک اقلیم سرد نیمه‌خشک به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۳۲۸-۳۴۰.

ایران روش‌های مشابه با نتایج این پژوهش به عنوان روش مناسب معرفی شده است. از این رو در صورت داشتن اطلاعات هواشناسی مورد نیاز پیشنهاد می‌شود در منطقه رفسنجان از روش پنمن مانیتیت فائو استفاده گردد و در صورت نبود اطلاعات کافی برای این روش از سه روش کیمبرلی پنمن، تشعشع و بلانی کریدل استفاده گردد.

### تعیین تبخیر تعرق پسته

نتایج  $ET_0$  پسته در طی دوره رشد هشت ماهه آن برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- میانگین تبخیر تعرق پسته در دوره رشد آن

ماه	دوره	$ET_0$ (mm d <sup>-1</sup> ) در سال مورد نظر	$K_c$	$ET_c$ پسته (mm d <sup>-1</sup> )
فروردین	دهه اول	۵/۶۸	۰/۴	۲/۲۷
	دهه دوم	۶/۹۰	۰/۴	۲/۷۶
	دهه سوم	۶/۳۲	۰/۴	۲/۵۳
اردیبهشت	دهه اول	۷/۲۵	۰/۴	۲/۹۰
	دهه دوم	۷/۴۲	۰/۴	۲/۹۷
	دهه سوم	۸/۹۸	۰/۴۲	۳/۷۷
خرداد	دهه اول	۹/۸۰	۰/۴۶	۴/۵۱
	دهه دوم	۱۰/۰۰	۰/۴۹	۴/۹۰
	دهه سوم	۹/۷۵	۰/۵۲	۵/۰۷
تیر	دهه اول	۱۰/۵۳	۰/۵۶	۵/۸۹
	دهه دوم	۱۰/۲۳	۰/۵۹	۶/۰۳
	دهه سوم	۱۰/۵۳	۰/۶	۶/۳۲
مرداد	دهه اول	۹/۶۸	۰/۶	۵/۸۱
	دهه دوم	۹/۰۰	۰/۶	۵/۴۰
	دهه سوم	۸/۶۳	۰/۶	۵/۱۸
شهریور	دهه اول	۸/۱۵	۰/۶	۴/۸۹
	دهه دوم	۷/۳۵	۰/۶	۴/۴۱
	دهه سوم	۶/۴۸	۰/۶	۳/۸۹
مهر	دهه اول	۷/۱۰	۰/۵۸	۴/۱۲
	دهه دوم	۶/۳۰	۰/۵۵	۳/۴۷
	دهه سوم	۵/۸۲	۰/۵۳	۳/۰۹
آبان	دهه اول	۴/۸۸	۰/۵	۲/۴۴
	دهه دوم	۴/۳۰	۰/۴۷	۲/۰۲
	دهه سوم	۳/۰۳	۰/۴۵	۱/۳۶
جمع کل نه ماه (میلی‌متر)		۱۹۱۱		۹۶۰

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مجموع تبخیر تعرق پسته در طی دوره رشد ۸ ماهه آن در این منطقه برابر ۹۶۰ میلی‌متر یا ۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردیده است. حداکثر آن در تیرماه به میزان ۱۸۲۴ مترمکعب در هکتار و حداقل مربوط به آبان ماه به میزان ۵۸۲ مترمکعب در هکتار است. در واقع نشان از اهمیت این ماه در دوره رشد گیاهان این منطقه و به

- نادری، ن.، علیزاده، ا.، اینانلو، م.، حق نیا، غ. ۱۳۷۸. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های لایسیمتر در مشهد. نشریه نیوار، ۴۱: ۷۴-۵۱.
- Allen, R. G. 2000. Manual REF-ET, Available Online at [www.kimberly.audaho.edu](http://www.kimberly.audaho.edu).
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Reas, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirement, FAO Irrigation and Drainage Paper.56, Italy.
- Chen, D., Gao, G., Xu, C. Y., Guo, J., Ren, G. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Clim. Res.*, 28(2): 123-132.
- Doorenbos, J. W., Pruitt, O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper, 24, Italy.
- Goldhamer, D. A. 1995. Irrigation management. In Pistachio Production. Ed. L. Ferguson. Center for fruit and nut research and information, Davis, CA, 71-81.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng. Div.* 108(3): 225-230.
- Hargreaves, G. H. 1994. Defining and Using Reference Evapotranspiration, *J. Irrig. Drain. Eng.* 120(6): 1132-1139.
- Rao L. Y., Sun, G., Ford, C. R., Vose, J. M. 2011. Modeling Potential Evapotranspiration of Two Forested Watersheds in the Southern Appalachians. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, 54(6): 2067-2078.
- Salih, A. M., Sendil, U. 1983. Evapotranspiration under Extremely Arid Environment. *J. Irrig. Drain. Eng.* 110(3): 289-303.
- Shih, S. F., Cheng, K. S. 1991. Evapotranspiration estimation for data short environment. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 117(1): 107-123.
- University of idaho. 2002. REF-ET – Refrence evapotranspiration software (<http://www.Kimberly.aidaho.edu/ref-et/>).
- سپاس‌خواه، ع، محمدی محمدآبادی، ا. ۱۳۷۵. تخمین تبخیر تعرق یونجه و کنجد به روش پنمن-مانتیث در منطقه باجگاه. ششمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. ۱۰ و ۱۱ شهریور، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- علیزاده، ا.، کمالی، غ.، خانجانی، م. ج.، رهنمود، م. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران. نشریه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹(۷۳): ۹۷-۱۰۵.
- فرشی، ع.، شریعتی، م.، جارالهی، ر.، قائمی، م.، شهبایی، ف.، تولایی، م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی، جلد دوم - گیاهان باغی، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور. نشر آموزش کشاورزی، ۶۳۰ صفحه.
- مالک، ا. ۱۳۶۰. روش‌های بررسی بیلان آب و تعیین اقلیم با مثالی در مورد باجگاه. نشریه علوم کشاورزی ایران، ۱۲(۱): ۵۷-۷۲.
- محمدی محمدآبادی، ا.، حسینی فرد، س. ج.، صداقتی، ن. ۱۳۸۷. اثرات تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطحی (تراوا) بر درختان بارور پسته. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۳): ۲۹-۴۶.
- موسوی بایگی، م.، عرفانیان، م.، سرمد، م. ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۹۹-۹۱.
- میرموسوی، م. ح.، پناهی، ح.، اکبری، ح.، اکبرزاده، ی. ۱۳۹۱. واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و محاسبه نیاز آبی گیاه ( $ET_c$ ) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۲(۳): ۴۵-۶۵.

## Technical Note

# Evaluation of reference evapotranspiration calculation methods and determination of Pistachio evapotranspiration in Rafsanjan

H. Noory<sup>1\*</sup>, A. Badiheshin<sup>2</sup>, A. Mohammadi Mohammad Abadi<sup>3</sup>

Received: 26/03/2016

Accepted: 14/01/2017

### Abstract

The aim of this study was determination of Pistachio evapotranspiration in Rafsanjan plain, south of Iran. For this purpose, the results of the six reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) estimation equations was compared by  $ET_o$  grass lysimetric measurements. Among the selected methods, Penman-Monteith FAO was found to be the best one with root mean square error (RMSE) of  $1.3 \text{ mm.mm}^{-1}$  and percent absolute error (PAE) equals to 17%, Kimberly-Penman, radiation and Blaney-Criddle methods were ranked next to PM equation with acceptable accuracy. Hargreaves and modified Penman method showed poor performance. Pistachio crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) was determined using pistachio crop coefficients and 4 years average of lysimetric values  $ET_o$ . Based on the results, the mean Pistachio  $ET_c$  was 9600 cubic meters per hectare during April to November during. Maximum of  $ET_o$  and  $ET_c$  occurred in July. More than 50% of  $ET_c$  was observed in June, July and August which confirms the importance of maintaining sufficient water for irrigation during this period.

**Keywords:** Lysimeter, FAO Penman-Monteith, Pistachio, Water requirement



<sup>1</sup> Assistant Professor of Irrigation & Reclamation Dept., Faculty of Agriculture Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

(\*Corresponding author's email address: hnoory@ut.ac.ir)

<sup>2</sup> Ph. D. Student of Irrigation and Drainage engineering, Irrigation & Reclamation Dept. Faculty of Agriculture Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Members of Pistachio Research Institute, Horticultural Science Research Institute (HSRI), Agricultural Research Organizations, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran