Archive of SID

ارزیابی رهیافت ضریب گیاهی دوگانه مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور در برآورد تفکیکی تبخیر-تعرق

نوذر قهرمان[۱]، خلیل قربانی[۲]، محمد حیدرزاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰

چکیده

تدقیق برآوردهای موجود از تبخیرتعرق یکی از مسائل بنیادی در برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب است. در این پژوهش دو روش در برآورد تبخیرتعرق گیاه نیشکر در واحد امیرکبیر اهواز مورد استفاده قرار گرفت. در رهیافت اول دو جزء تبخیراز خاک و تعرق از گیاه به صورت تفکیک شده با استفاده از روابطی مبتنی بر شاخص گیاهی NDVI مستخرج از تصاویرسنجنده MODIS محاسبه شده و سپس جهت محاسبه تبخیرتعرق گیاه، مورد استفاده قرار گرفت. در رهیافت دوم، تبخیرتعرق نیشکر با استفاده از رهیافت منفرد (نشریه فائو ۵۶) محاسبه شد. همچنین با استفاده از نرم افزار $SimDualK_c$ مقادیر ضریب گیاهی برای ماه‌های دوره رشد بدست آمده و در معادله فائو- پنمن مانتیث استفاده شد. جهت مقایسه مقادیر بدست آمده از ۲ رهیافت فوق، با مقادیر گزارش شده تبخیرتعرق لایسیمتری، مورد مقایسه قرار گرفت. همبستگی روش‌های رهیافت دوگانه و رهیافت منفرد فائو با روش لایسیمتری به ترتیب، ۰/۹۵۴ و ۰/۸۸۵ بدست آمد. از طرفی خطای استاندارد برای رهیافت منفرد فائو ۶۷/۲۹ و برای رهیافت دوگانه فائو نیز ۲۹/۳۴ می‌باشد. ضریب همبستگی روش‌های رهیافت دوگانه و رهیافت منفرد فائو با روش فائو پنمن مانتیث به ترتیب، ۰/۹۸۲ و ۰/۹۰۳ بدست آمد. از طرفی خطای استاندارد برای رهیافت منفرد فائو ۵۱/۳۲ و برای رهیافت دوگانه فائو نیز ۱۰/۶۹ می باشد. نتایج نشان داد که رهیافت دوگانه فائو مبتنی برسنجش از دور نتایج قابل قبولی در محاسبه تبخیر تعرق گیاه نیشکر بدست می‌دهد و می‌توان از این رهیافت در محاسبه تبخیر تعرق گیاه نیشکر و برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تبخیرتعرق، رهیافت دوگانه ، شاخص NDVI ، نیشکر.

[۱] دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، ۰۲۶۳۲۲۴۱۱۱۹، nghahreman@ut.ac.ir (مسئول مکاتبه)

[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۰۹۱۱۳۷۷۴۵۸۳ (ghorbani.khalil@yahoo.com)

[۳] کارشناسی ارشد دانشگاه تهران _ کرج پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، am.heydarzade@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

اصلاح الگوی مصرف آب در شرایط خشکسالی و کمبود منابع امری حائز اهمیت است. تعیین میزان آب مورد نیاز گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری به منظور تأمین حداکثر رشد و تحصیل حداکثر محصول و همچنین اطلاع از مقدار کل آب مصرفی مهمترین مرحله مطالعاتی را در یک طرح آبیاری و زهکشی تشکیل می‌دهد. نیشکر از خانواده غلات جزء گیاهان مهم صنعتی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان و بومی آسیا می‌باشد. در شرایط اقلیمی حاکم بر دشت خوزستان زراعت فاریاب نیشکر امری اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود که با توجه به نیاز بالای این زراعت به آب از یک طرف و افزایش تقاضای آب و کاهش حجم منابع آب در تابستان از طرف دیگر، ارزیابی نیاز آبی این گیاه که خود تحت تأثیر دو عامل اقلیم و مدیریت قراردارد می‌توان برای تنظیم و طراحی برنامه‌های آبیاری و مصرف بهینه آب در دوران بهره‌برداری مورد استفاده قرار گیرد. هنگامی که مدیریت آب بیشترین راندمان را داشته باشد، عملکرد نیشکر در حداکثر قرار می‌گیرد. این گیاه نیاز آبیاری نسبتا زیادی دارد. در مزارع هاوایی و تحت شرایط آبیاری، نیاز آبی نیشکر ۲۰۰ تا ۴۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد شده است (chang, 1963). چانگ تبخیر و تعرق روزانه نیشکر در منطقه هاوایی را برای فصل زمستان ۵-۳ میلی‌متر در روز و برای فصل تابستان ۹-۷ میلی‌متر در روز محاسبه کرده و مصرف سالانه را ۲۴۰۰-۲۰۰۰ میلی‌متر گزارش کرد. در گزارشات فائو میزان تبخیر و تعرق نیشکر در سال ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر ذکر شده است (Doorenbos et al., 1975). در مطالعه‌ای که جعفری و همکاران (۱۳۸۵) در مزارع نیشکر امیرکبیر انجام دادند، میزان کل آب مصرفی برای دوره رشد نیشکر برای کشت سال اول ۳۴۲۹۰ مترمکعب در هکتار و با احتساب یک کشت سال اول و برای چهار بازرویی حجم کل آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه را ۲۸۰۰ مترمکعب در هکتار بدست آوردند. شینی دشتگل و همکاران (۱۳۸۵) میزان نیاز آبی نیشکر را در کشت و صنعت امیرکبیر برای آبیاری معمول مزارع ۲۹۶۴۰ و برای آبیاری یک جویچه در میان متغیر ۲۲۰۹۰ مترمکعب در هکتار و برای جویچه‌های یک در میان ثابت ۲۳۳۶۸ مترمکعب در هکتار بدست آوردند. در تحقیقی که صارمی و همکاران (۱۳۸۱) در منطقه هفت‌تپه انجام دادند، نیاز آبی نیشکر را با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری کرده و مقدار آب مورد نیاز را برای دوره رشد نیشکر در کشت قلمه ۲۵۶۰ میلی متر و برای زراعت بازرویی شده در سال دوم ۱۹۲۵ میلی‌متر بدست آوردند.

در دهه های گذشته چندین روش برای تخمین تبخیر تعرق براساس ترکیب مدل سازی محصول و داده‌های سنجش از دوری توسعه یافته است. این روش‌ها از یک روش ساده مانند شاخص‌های گیاهی (Moran et al., 1994) تا مدل‌های پیچیده مانند بیلان انرژی سطح زمین (Bastiaanssen et al., 2000) گسترش یافته است. برخی از مطالعات رهیافت ضریب گیاهی دوگانه فائو ۵۶ به همراه شاخص‌های گیاهی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای را مورد استفاده قرار داده‌اند. (González-Dugo and Mateos, 2008; Hunsaker et al., 2003; Er-Raki et al., 2007). نتایج این مطالعات نشان داد که ارتباط ضرایب گیاهی پایه(K_{cb}) با شاخص‌های گیاهی، عملکرد روش فائو۵۶ را به مقدار زیادی بهبود می‌بخشد. البته Er-Raki et al., 2006 نشان دادند زمانی که جزء تبخیر از خاک زیاد باشد و یا شرایط تنش رخ دهد عملکرد روش فائو ۵۶ با محدودیت روبه رو می‌شود. در رهیافت ضریب گیاهی دوگانه، تعرق گیاه (K_{cb}) و تبخیر از خاک (K_e) به صورت جدا در نظر گرفته می‌شود. Farg et al., 2012 تبخیرتعرق واقعی محصول و ضرایب گیاهی گندم را با استفاده از رهیافت ضریب گیاهی منفرد (فائو ۵۶) و داده‌های سنجش از دوری برآورد کردند. تصاویر SPOT-4 مورد استفاده قرار

www.SID.ir

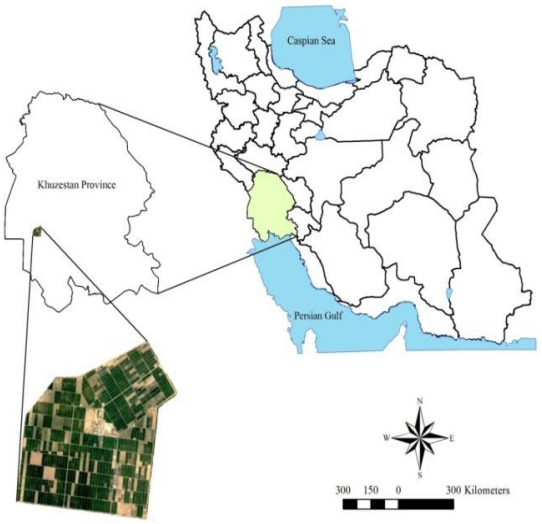
Archive of SID

گرفت و شاخص های گیاهی NDVI[1] و SAVI[2] استخراج شدند. سپس رگرسیون چند متغیره برای پیش بینی معادلات ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد با فواصل زمانی ۳۰ روزه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که تبخیرتعرق در مرحله میانی رشد به نسبت سایر مراحل، بیشتر با مقادیر تبخیرتعرق برآوردی با استفاده از سنجش از دور سازگاری داشت. بطور کلی دقت روش های کلاسیک محاسبه تبخیرتعرق گیاهان برای استفاده در یک سطح وسیع ممکن است کافی نباشند و در نتیجه کاربرد کمتری دارند. لذا تلاش می‌گردد تا تبخیرتعرق گیاهان در مناطق با وسعت زیاد از روش‌های دیگری که دارای دقت بالاتری هستند محاسبه گردد. رویکرد عمومی برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تبخیرتعرق گیاهان در این مناطق استفاده ترکیبی از داده های سنجش از دور و اطلاعات زمینی است. هدف از این بررسی، ارزیابی ترکیب رهیافت دوگانه و داده‌های سنجش از دوری برای برآورد منطقه‌ای تبخیر تعرق گیاه نیشکر است. در استفاده از رهیافت دوگانه، ضریب گیاهی پایه که معرف تعرق از گیاه و ضریب تبخیر که معرف تبخیر از خاک است، به صورت جداگانه محاسبه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

کشت و صنعت امیرکبیر در ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز در حد فاصل شهرهای اهواز و خرمشهر قرار گرفته است. این واحد در قسمت غربی رودخانه کارون و در امتداد حاشیه ۳ کیلومتری این رودخانه قرار دارد. حد جنوبی اراضی به فاصله حدود ۶۰ کیلومتری خرمشهر و در شمال کشت و صنعت میرزا کوچک خان قرار گرفته است. از نظر جغرافیایی این ناحیه بین عرض‌های شمالی ´۴۵ °۳۰ تا ´۱۵ °۳۱ قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی کشت و صنعت امیرکبیر در استان خوزستان را نشان می دهد.



شکل (۱): موقعیت اراضی توسعه کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر(مقیاس برای نقشه ایران می‌باشد)

نحوه تامین آب آبیاری این واحد استفاده از سیستم شبکه‌های کم فشار و ثقلی است. در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر از آمار و اطلاعات دو ایستگاه هواشناسی استفاده شده است که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

[1] Normalized Difference Vegetation Index
2 soil adjusted vegetation index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات نیشکر	۴۸°,۲۱´E	۳۱°,۴´N	۹
ایستگاه امیرکبیر	۴۸°,۱۸´E	۳۱°,۶´N	۷

به طور کلی متوسط سالیانه بارندگی خوزستان ۲۱۱/۰۸ میلی‌متر می باشد. ماکزیمم بارندگی در آذر ماه به میزان ۸۷/۰۳ میلی‌متر و مینیمم آن صفر می‌باشد که در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور می‌باشد. فصل بارندگی اکثرا از آبان ماه تا اردیبهشت است. اما پرباران‌ترین ماه‌های سال آذر، دی و بهمن می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در تابستان و در زمستان ممکن است به زیر صفر نیز برسد. مطابق آمار ارائه شده، میانگین روزانه دمای بیشینه در مردادماه ۳۶/۹ درجه سانتی‌گراد بوده می‌باشد و معدل روزانه در دی ماه معادل ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین رطوبت نسبی ماکزیمم در دی ماه برابر ۶۹/۵ درصد و میانگین حداقل رطوبت نسبی در خرداد ماه ۲۳/۸ درصد می باشد. حداکثر تبخیر در تیرماه و حداقل آن در دی ماه به ترتیب ۶۶۵/۷۲ و ۶۲ میلی‌متر است. در این تحقیق از اطلاعات لایسیمترهایی که در مزرعه ۴-۲ ARC امیرکبیر نصب شده بود، استفاده شد. در شکل (۲) نمای کلی لایسیمتر حاوی گیاه نیشکر نشان داده شده است.

شکل(۲): نمایی از لایسیمتر تحت کشت نیشکر

تصاویر مودیس

ماهواره‌های Terra و Aqua بخشی از سامانه مشاهده زمینی ناسا هستند که برای جمع‌آوری مجموعه جامعی از مشاهدات جهانی خشکی‌های زمین، اقیانوس و جو در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز طیف، طراحی شده‌اند. سنجندهٔ مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲بیت) و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد و دامنهٔ طیفی آن از طول موجهای ۱۴/۴- ۰/۴ میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۵ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۲۸ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند. به خاطر اینکه زاویه اسکن این سنجنده ۵۵± درجه بوده و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای

www.SID.ir

Archive of SID

تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می‌سازد. به منظور انجام این مطالعه تصاویر روزانه مودیس مربوط به دوره بررسی از ابتدای فروردین تا انتهای مهرماه ۱۳۸۵ از مرکز بایگانی پردازش زمین سازمان ناسا[1](LP DAAC) دریافت شده و سپس با استفاده از نرم افزار[2]MRT زمین مرجع شدند. پس از آن مقادیر شاخص گیاهی NDVI به صورت میانگین ماهانه محاسبه شد. این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق دو رهیافت مورد بررسی قرار گرفت. در رهیافت اول (ضریب گیاهی دوگانه) دو جزء تبخیر از خاک و تعرق از گیاه تفکیک شده و با استفاده از تصاویر MODIS، شاخص گیاهی NDVI محاسبه شد و سپس در روابط موجود به منظور محاسبه تبخیرتعرق واقعی نیشکر مورد استفاده قرار گرفته است. در رهیافت دوم، تبخیرتعرق نیشکر با استفاده از رهیافت منفرد فائو ۵۶ و ضرایب گیاهی استاندارد ارائه شده توسط فائو ۵۶ محاسبه شد. با استفاده از نرم‌افزار $SimDualK_c$ نیز مقادیر ضریب گیاهی برای ماه‌های دوره رشد بدست آمده و سپس با استفاده از فائو پنمن مانتیث مقادیر تبخیر تعرق واقعی محاسبه شد. در روش ضریب گیاهی دوجزئی، تعرق گیاهان و تبخیر از سطح خاک به طور جداگانه بررسی و تعیین می شود. در این روش ضریب گیاهی پایه برای توصیف فرآیند تعرق و از ضریب تبخیر برای توصیف فرآیند تبخیر از خاک استفاده می‌شود. با کاهش انرژی پتانسیل آب خاک به پایین‌تر از مقدار آستانه، گیاه تحت تنش آبی واقع می‌شود. اثر تنش آبی بر تبخیر تعرق با ضرب کردن ضریب تنش آبی (K_s) در ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) به صورت زیر نشان داده شده است.

$$ETc=(Kcb\times K_s+K_e)ETo \qquad (۱)$$

در این رابطه Ke: ضریب تبخیر از خاک و ضریب K_s کوچکتر از ۱ بیانگر تنش آبی و در شرایط بدون تنش آبی، این ضریب ۱ می باشد. و می توان جزء تبخیر از خاک را از جزء تعرق از گیاه منفک کرد.

$$T = K_{cb} \times K_s \times ET_o \qquad (۲)$$

$$E = K_e \times ET_o \qquad (۳)$$

ضریب گیاهی پایه (K_{cb})

هنگامیکه سطح خاک خشک بوده ولی تعرق به میزان پتانسیل است، به عبارتی مقدار آب محدودکننده تعرق نباشد، ضریب گیاهی پایه به صورت نسبت تبخیرتعرق گیاه به تبخیرتعرق مرجع یعنی به صورت ET_c/ET_o تعریف می‌شود. بنابراین در تبخیرتعرق عبارت ($K_{cb} \times K_s \times ET_o$) جزء تعرق گیاه را نشان می‌دهد. این عبارت شامل تبخیر آب از خاک(سطحی) نیز می‌باشد که رطوبت مورد نیاز آن از آب لایه خشک زیرین پوشش گیاهی تامین می‌شود. Duchemin, 2006 تابعی نمایی برای رابطه بین شاخص گیاهی NDVI و شاخص سطح برگ (LAI[3]) معرفی کرد.

$$NDVI = NDVI_{\max} - (\mathrm{NDVI}_{\max} - NDVI_{\min})\exp(-0.51\times LAI) \qquad (۴)$$

که در این رابطه $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقادیر شاخص گیاهی برای حالتی است که سطح خاک خشک بوده و یا بصورت متراکم پوشیده از گیاه باشد که این مقادیر در این تحقیق ۰/۱۴ و ۰/۹۳ منظور شده‌اند. از طرفی دوچمین (۲۰۰۶) رابطه نمایی دیگری بین K_{cb} و LAI ارائه داده است.

$$K_{cb} = 1.07(1-\exp(-0.84\,\mathrm{LAI})) \qquad (۵)$$

[1] https://lpdaac.usgs.gov/products
[2] MODIS Reprojection Tool™
[3] Leaf Area Index

www.SID.ir

Archive of SID

از ترکیب ۲ رابطه بالایی می توان رابطه جدیدی بین شاخص گیاهی NDVI و K_{cb} بدست آورد. (Er_Raki , 2007)

$$K_{cb}=1.07\left[1-\left(\frac{NDVI_{max}-NDVI}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}\right)^{\frac{0.84}{0.54}}\right] \quad (۶)$$

کارلسون و ریپلی[1] (۱۹۹۷)، از شاخص گیاهی NDVI مقادیر کسر پوشش گیاهی (f_c) را برآورد کردند.

$$f_c=\left(\frac{NDVI-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}\right)^2 \quad (۷)$$

ضریب تنش آبی (K_s)

اثر تنش آبی خاک بر تبخیر-تعرق گیاه با کاهش مقدار ضریب گیاهی متاثر از ضریب تنش آبی (K_s)، توصیف می‌شود. رطوبت خاک در ناحیه توسعه ریشه گیاه(D_r) به صورت مقدار تخلیه، یعنی کمبود نسبت به رطوبت ظرفیت زراعی نیز بیان می شود. در ظرفیت زراعی، تخلیه آب از خاک عمق توسعه ریشه گیاه صفر است (D_r=0). با کاهش آب به صورت تبخیرتعرق، تخلیه افزایش می‌یابد و آنگاه که تخلیه مساوی با آب سهل الوصول شده، شرایط تنش آبی ایجاد می‌شود. با افزایش تخلیه آب به بیشتر از آب سهل الوصول، به عبارتی، با کاهش آب خاک به پایین تر از مقدار آستانه تنش(θ_T)، تبخیرتعرق گیاه متناسب با آب باقی مانده به کمتر از حد پتانسیل کاهش می‌یابد.

$$K_s=\frac{RZWHC-RZWD_i}{(1-P)\,RZWHC}=\frac{TAW-D_r}{(1-P)\,TAW} \quad (۸)$$

K_s : ضریب تنش آبی یا ضریب کاهش تعرق تابع آب قابل استفاده خاک (بین صفر تا ۱)

D_r : مقدار تخلیه آب خاک عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)

TAW :کل آب قابل استفاده خاک عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)(رابطه ۸۲ نشریه فائو ۵۶)

$$TAW=1000(\theta_{fc}-\theta_{wp})\,Z_r \quad (۹)$$

مقدار آب خاک در ظرفیت زراعی (مترمکعب بر مترمکعب) (θ_{fc}) و مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی(مترمکعب بر مترمکعب) (θ_{wp}) و عمق محدوده توسعه ریشه گیاه (Z_r) در این رابطه به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۲۱ و ۱۰ سانتی‌متر منظور شده است.

P:کسری از TAW که گیاه بدون تحمل تنش آبی از خاک جذب می کند.(بدون واحد)

$$P=0.65+0.04(5-ET_c) \quad (۱۰)$$

RZWHC و RZWDi ظرفیت نگهداشت و رطوبت ناحیه ریشه‌ها می‌باشند.

ضریب تبخیر از خاک (K_e)

ضریب تبخیر از خاک (K_e)، جزء تبخیر در ET_o را توصیف می کند. پس از خیس شدن لایه خاک سطحی با بارندگی یا آبیاری، ضریب تبخیر بیشترین مقدار است. با خشک شدن این لایه ضریب تبخیر کاهش می یابد.در شرایطی که آبی در لایه خاک سطحی باقی نباشد، ضریب تبخیر می‌تواند صفر باشد.

Calera et al., 2001 برای محاسبه تبخیر از سطح خاک رابطه‌ای ارائه دادند که در آن از کسرپوشش گیاهی (f_c) و ضریبی (β) که معمولا به ضریب گیاهی (K_c) وابسته است محاسبه می‌شود. در این رابطه β برابر ۰/۲۵ منظور شده است.

$$K_e=(1-f_c)\times\beta \quad (۱۱)$$

آزمون‌های آماری

به منظور برآورد میزان خطا درمحاسبات و تعیین فرمولی که کمترین میزان خطا در برآورد تبخیرتعرق

[1] Carlson and Ripley

www.SID.ir

Archive of SID

مرجع نیشکر داشته باشد از آزمون‌های آماری زیر استفاده شد.

آزمون RMSE (مقایسه با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا): به منظور برآورد خطای هر روش مورد آزمون نسبت به مقادیر واقعی استفاده می‌شود. (یزدی صمدی و همکاران،۱۳۸۳)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{n}} \qquad (۱۲)$$

آزمون AAD (میانگین قدرمطلق اختلافها): برای مقادیر مجموع ماهاینه مورد استفاده قرار میگیرد. (یزدی صمدی و همکاران،۱۳۸۳)

$$AAD = \frac{A_i - B_i}{n} \qquad (۱۳)$$

درصد متوسط خطای پیش بینی(E_r):

$$E_r = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{|A_i - B_i|}{B_i} \qquad (۱۴)$$

که در تمامی آزمون های فوق، A_i تبخیرتعرق محاسبه شده با هر یک فرمول ها، B_i تبخیر تعرق لایسیمتری (یا روش فائو- پنمن مانتیث) و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

رهیافت اول:

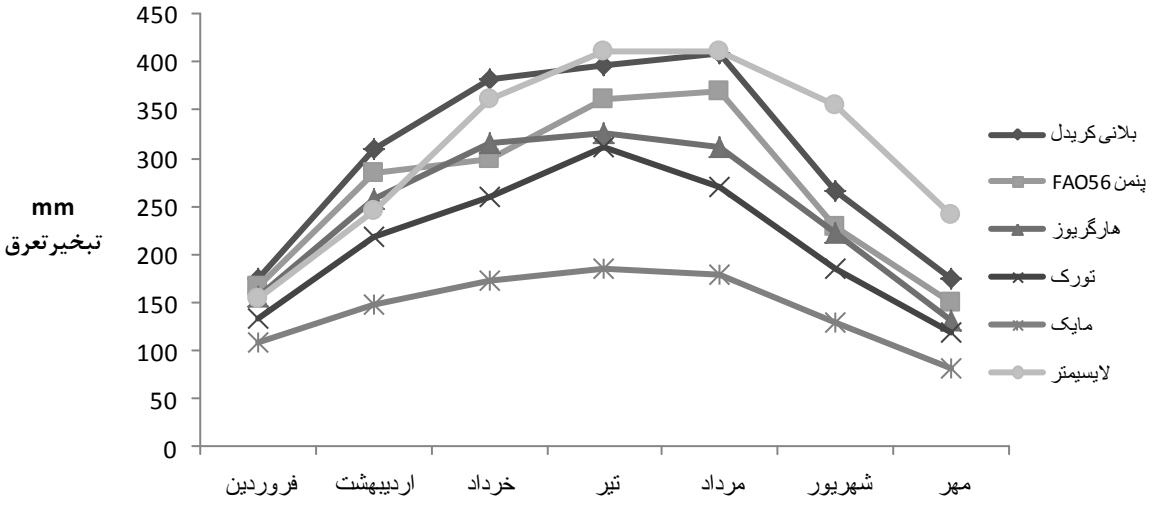
برای محاسبه تبخیرتعرق مرجع ابتدا بهترین معادله برای منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا داده‌های هواشناسی از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه که قبلا ذکر شد تهیه گردید. سپس داده‌ها مورد بررسی و غربال قرار گرفت و پس از آن با استفاده از نرم‌افزار REF-ET مقادیر تبخیرتعرق مرجع برای منطقه با استفاده از ۱۵ معادله مورد محاسبه قرار گرفت.نرم افزار ، REF-ET توسط انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE[1]) توسعه یافته است (Allen. 2000).

این نرم‌افزار به منظور تعیین تبخیر و تعرق مرجع، برای روابط مورد تایید سازمانهای FAO و ASCE تهیه شده است و دارای ۱۷ روش معمول و رایج محاسبه تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد. که برای دو نوع گیاه مرجع (چمن به عنوان گیاه مرجع کوتاه و یونجه برای گیاه مرجع بلند) محاسبات انجام می‌دهد. موسوی حسب(۱۳۸۵) مقادیر نیاز آبی نیشکر را برای لایسیمتر در کشت و صنعت امیرکبیر در سال ۱۳۸۵ بدست آورده است. مقادیر ضریب گیاهی با استفاده از نرم افزار $SimDualK_c$ محاسبه شد و پس از آن با ضرب مقادیر ضریب گیاهی در مقادیر تبخیرتعرق مرجع محاسبه شده و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتری، بهترین معادله برای محاسبه مقادیر تبخیرتعرق مرجع استخراج شد.

[1] American Society of Civil Engineers

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۳): مقادیر تبخیرتعرق مرجع برآورد شده با فرمول‌های پیشنهادی مختلف با استفاده از نرم‌افزار REF-ET

همان‌طور که از نتایج شکل (۳) مشخص است، از بین فرمولهایی که در شکل آورده شده، فرمـول مایک برای هر ماه کمترین مقدار نیاز آبی را برآورد می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شـود، نیاز آبی برآورد شده به وسیله اکثر فرمولها بیشترین مقدار را در تیرماه نشان مـی‌دهـد. بیـشترین مقادیر نیاز آبی به دست آمده از لایسیمتر (معیار مقایسات)برای نیشکر در ماههای تیر و مرداد بوده که مقدار آن بـه ترتیب ۴۱۰/۱۸ و ۴۱۲/۱۲ میلیمتر در ماه و کمترین مقدار آن در فروردین و معادل ۱۵۴ میلی‌تـر بوده است.

نتایج آزمون های آماری

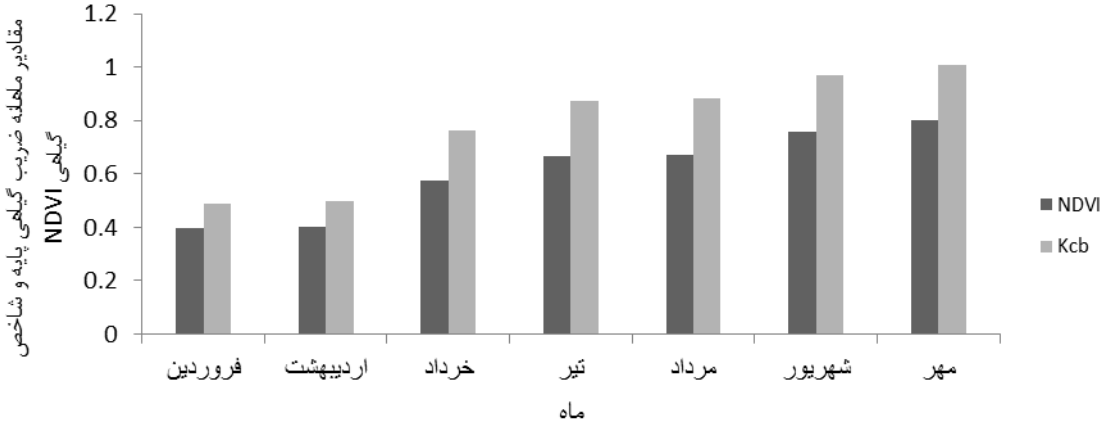
پس از مقایسه مجموع نیاز آبی نیشکر با فرمول‌ها روش بلانـی‌کریـدل کمتـرین مقـدار AAD[1]، RMSE[2] و E_r و فرمـول مایـک بیشترین مقادیر این آزمونها را دارد. ترتیب قرارگرفتن فرمولهای مختلف بر مبنـای مقـادیر مرتـب‌شده آزمونهای AAD ، RMSE و E_r از کمترین به بیشترین مقدار به ترتیب زیر می‌باشد: بلانی‌کریدل، پنمن FAO-56 ، هـارگریوز، تـورک و مایک. λ و R^2 نیز به ترتیب شیب خط و ضریب همبستگی رگرسیونی بین مقادیر محاسـبه شـده و مقادیر به دست آمده است. مقادیر RMSE و AAD برای فرمول بلانی کریدل به ترتیب ۵۲/۷۷ و ۴۲/۰۶۲ بوده که کمترین مقدار بین تمام فرمول‌ها بود همچنین مقدار ضریب همبستگی (R^2) نیز برای این فرمول ۰/۷۱ بوده که مقدار مناسبی می‌باشد. در کل نتایج این فرمول‌ها نشان داد که فرمول بلانی کریدل بهترین فرمول برای منطقه مورد مطالعه است.

سپس با استفاده از رابطه ۶ و با داشتن مقادیر شاخص گیاهی NDVI برای هر ماه مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) محاسبه شد که در نمودار ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، با گذراندن دوره سرما و شروع آبیاری‌ها از فروردین ماه، گیاه نیشکر شروع به رشد کرده و به تدریج سطح مزرعه را می‌پوشاند، ارتفاع نیشکر از ۱۰ سانتی‌متر در ۱۵ فروردین ماه به ۱۲۰ سانتی‌متر در ۱۵ تیر ماه رسیده است و به این ترتیب مقادیر شاخص گیاهی NDVI برآورد شده از تصاویر مودیس نیز افزایش می‌یابد. با افزایش NDVI، مقادیر ضریب گیاهی پایه نیز افزایش یافته و پس از تیر ماه با رشد آهسته گیاه، ضریب گیاهی پایه نیز به آرامی افزایش می‌یابد.

[1] Average Absolute Deviation
[2] Root mean square error

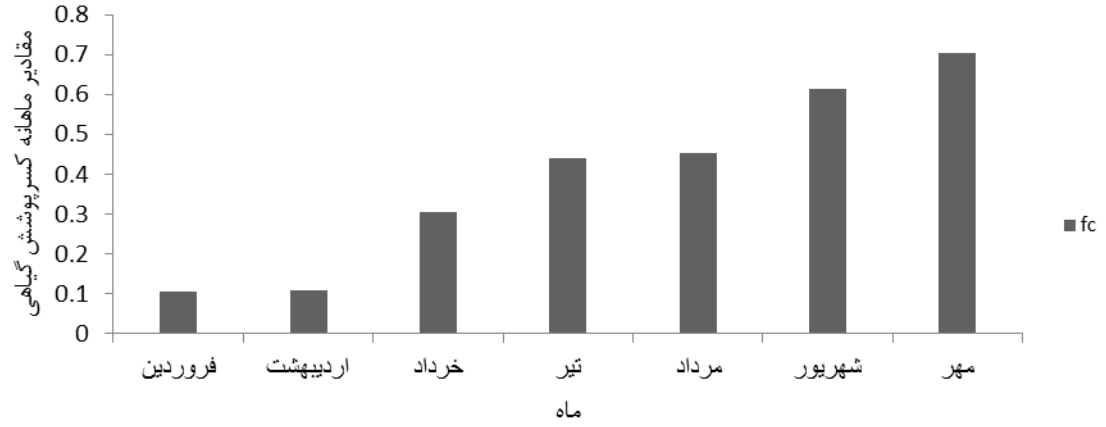
www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۴): مقادیر ماهانه ضریب گیاهی پایه و شاخص گیاهی NDVI

پس از محاسبه مقادیر ضریب گیاهی پایه، مقادیر کسر پوشش گیاهی(f_c)، با استفاده از مقادیر شاخص گیاهی برای ماه‌های فروردین تا مهر محاسبه شد. کسر پوشش گیاهی در ارتباط مستقیم با شاخص گیاهی NDVI بوده و با افزایش NDVI مقادیر کسر پوشش گیاهی نیز افزایش یافته و سطح وسیعتری از زمین را گیاه نیشکر پوشانده است که در نمودار ۵ مشخص می‌باشد.



شکل(۵): مقادیر ماهانه کسرپوشش گیاهی نیشکر برای ماه‌های فروردین تا مهر

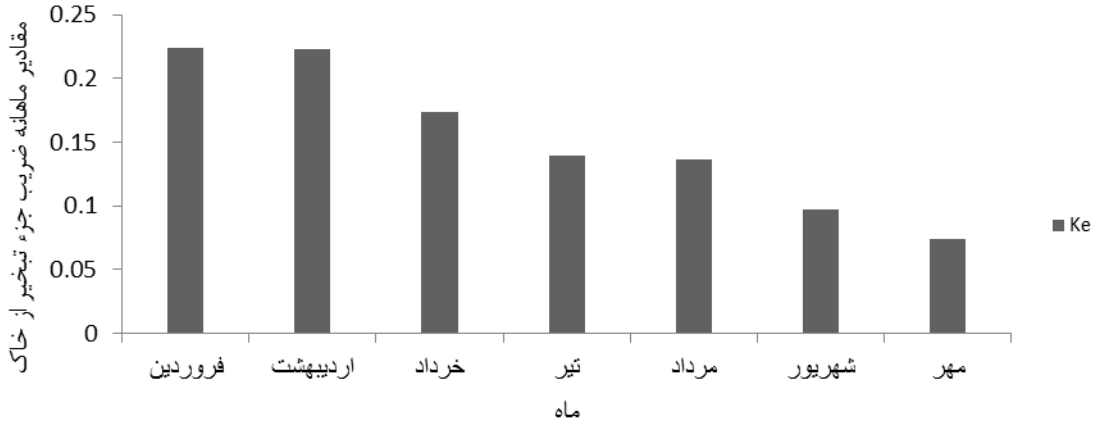
پس از محاسبه مقادیر ماهانه کل آب در دسترس خاک (TAW) توسط رابطه ۹ عمق توسعه ریشه گیاه، ضریب تنش آبی یا ضریب کاهش تعرق تابع آب قابل استفاده خاک (K_s) برای هر ماه با استفاده از رابطه ۸ مورد محاسبه قرار گرفت. در این رابطه P (تبخیرتعرق ۵ میلی‌متر بر روز) کسری از کل آب قابل استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

خاک درناحیه توسعه ریشه گیاه است که گیاه بدون تحمل تنش آبی از خاک جذب می‌کند و طبق جدول ۲۲ نشریه ۵۶ (FAO) برای محصول نیشکر عدد ۰/۶۵ مورد استفاده قرار گرفت.

سپس جزء تبخیر از خاک (K_e) با استفاده را رابطه ۱۱ برای ماه‌های فروردین تا مهر محاسبه شد. همانطور که در نمودار ۶ مشخص می باشد، در ابتدای فروردین ماه که نیشکر تازه شروع به رشد کرده و سطح خاک نسبتا عاری از گیاه است، تبخیر از سطح خاک مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد، بتدریج و با رشد نیشکر توان تعرقی گیاه افزایش یافته و تبخیر از خاک سهم کمتری از تبخیرتعرق را بخود اختصاص می‌دهد. لذا اواخر مهر ماه که فصل برداشت نیشکر می باشد، تعرق گیاه در بالاترین حد ممکن و تبخیر از خاک به کمترین میزان در طول دوره رشد نیشکر می‌رسد.

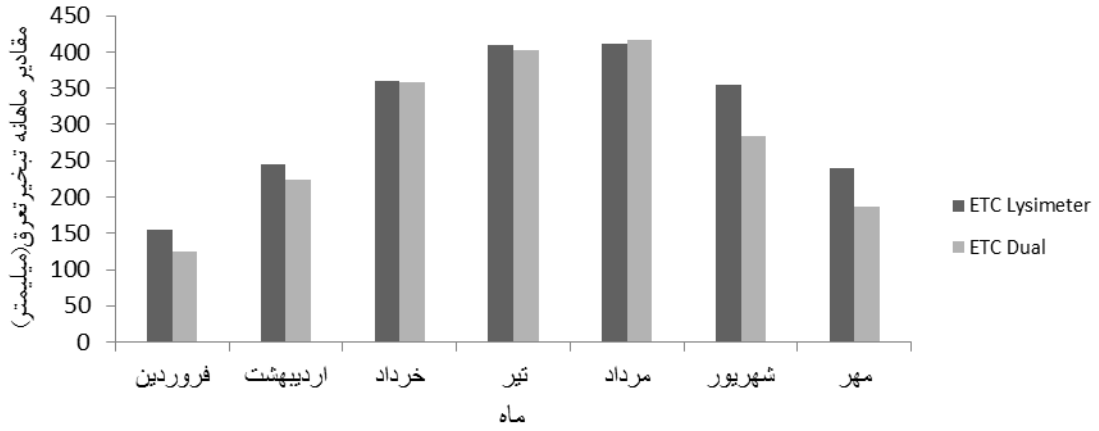


شکل(۶): مقادیر ماهانه ضریب جزء تبخیر از سطح خاک (میلی‌متر)

سپس با استفاده از رابطه ۱ (رابطه شماره ۸۰ سازمان خاروبارجهانی(فائو۵۶)) مقادیر تبخیرتعرق گیاه برای هر ماه مورد استفاده قرار گرفت. طبق این رابطه با داشتن مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb})، ضریب تنش آبی (K_s) ، ضریب تبخیراز خاک (K_e) و همچنین مقادیر تبخیر تعرق مرجع که از رابطه بلانی کریدل محاسبه شده بود، مقادیر ماهانه تبخیرتعرق نیشکر برای ماه‌های فروردین تا مهر محاسبه شد. همانطور که در شکل (۷) مشخص است، بیشترین مقدار تبخیرتعرق گیاه با استفاده از رهیافت دوگانه فائو به ماه مرداد مربوط می‌شود. هرچند که ضریب گیاهی پایه طبق شکل (۴) روندی افزایشی تا پایان فصل داشته و متعاقبا تعرق گیاهی افزایش یافته است اما تبخیر از خاک طبق نمودار ۶ با افزایش رشد گیاه سیر نزولی داشته و لذا برآیند این دو مولفه تبخیرتعرقی سبب شده تا بیشترین مقدار تبخیر تعرق به ماه مرداد تلعق بگیرد.

www.SID.ir

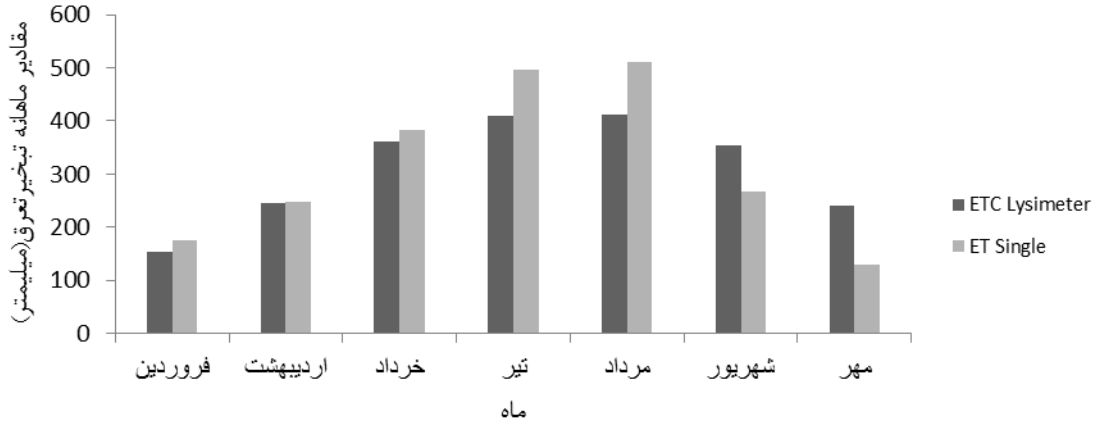
Archive of SID



شکل(۷): مقادیر ماهانه تبخیرتعرق با استفاده از رهیافت دوگانه فائو در مقابل داده‌های لایسیمتری

رهیافت دوم:

برای محاسبه تبخیرتعرق گیاه با استفاده از رهیافت منفرد فائو، علاوه بر داشتن مقادیر تبخیرتعرق مرجع که با استفاده از فرمول بلانی کریدل محاسبه شد، مقادیر ضریب گیاهی استاندارد از فائو ۵۶ استخراج شد و نمودار مربوط به مقادیر ماهانه ترسیم شد.



شکل(۸): مقایسه مقادیر ماهانه تبخیرتعرق با استفاده از رهیافت منفرد و ضرایب گیاهی استاندارد فائو ۵۶ و داده‌های لایسیمتری

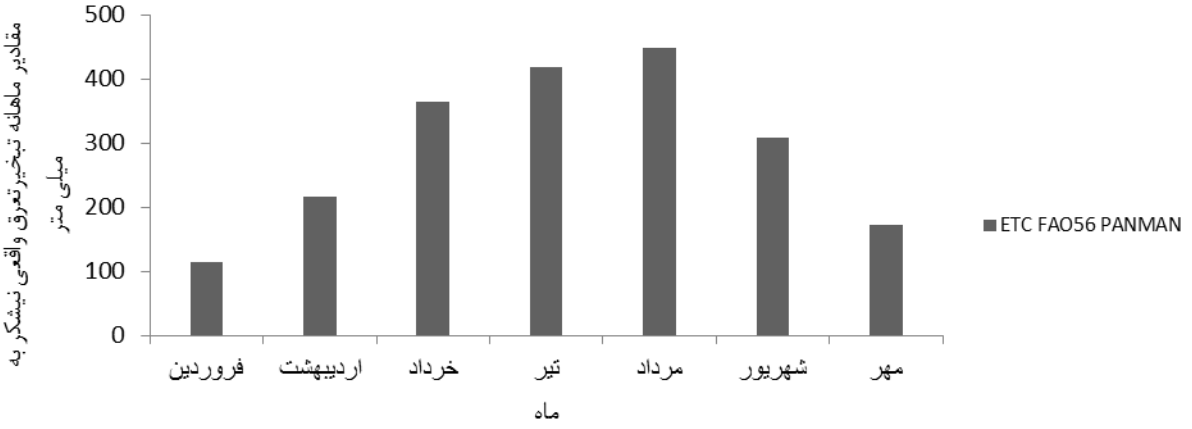
محاسبه تبخیرتعرق واقعی با استفاده از فائو- پنمن مانتیث به منظور بررسی نتایج

با داشتن ضرایب گیاهی نیشکر برای هر ماه از دوره رشد و استفاده از مقادیر بدست آمده توسط فائو ۵۶ پنمن مانتیث، مقادیر تبخیر تعرق واقعی گیاه بدست آمد تا بتوان از این مقادیر در کنار داده‌های لایسیمتری برای بررسی نتایج حاصل از ۲ رهیافت دوگانه فائو ۵۶ (مبتنی بر سنجش از دور) و منفرد (با ضرایب گیاهی استانداردفائو۵۶) محاسبه تبخیرتعرق ذکرشده استفاده کرد. لذا همانطور که اشاره شد با استفاده از نرم افزار SimDual K_c ضرایب گیاهی برای ماه‌های فروردین تا مهر ماه محاسبه شد . در نمودار ۹

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر تبخیرتعرق واقعی گیاه با استفاده از فائوپنمن مانتیث ارائه شده است.



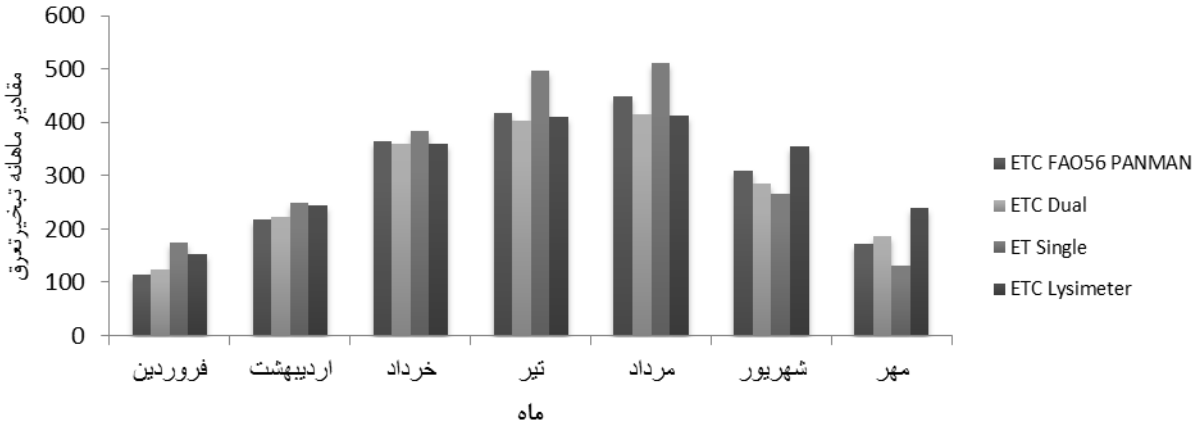
شکل(۹): مقادیر ماهانه تبخیرتعرق واقعی نیشکر با استفاده از رهیافت فائوپنمن

مانتیث و ضرایب گیاهی محاسبه شده با نرم افزار $SimDualK_c$

به این ترتیب مقادیر تبخیرتعرق برآورد شده با استفاده از رهیافت دوگانه فائو ۵۶ مبتنی بر سنجش از دور و رهیافت منفرد فائو با استفاده از ضرایب گیاهی استاندارد فائو ۵۶ ، با استفاده از مقادیر تبخیرتعرق برآوردشده توسط فائوپنمن مانتیث و مقادیر لایسیمتری، مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود در ابتدای فصل رویش مقادیر تبخیرتعرق رهیافت منفرد از مقادیر لایسیمتر و فائوپنمن مانتیث بالاتر بوده و از طرفی مقادیر رهیافت دوگانه نیز از مقادیرلایسیمتر و فائو پنمن مانتیث کمتر می‌باشد و نمی توان در مورد برتری یک رهیافت اظهار نظر کرد. اما با افزایش رشد گیاه و پوشیده شدن سطح زمین از گیاه و افزایش مقادیر تعرق از گیاه ، این مقادیر رهیافت دوگانه است که به مقادیر لایسیمتر و فائو پنمن مانتیث نزدیک‌تر شده است. بطوریکه در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مقادیر تبخیرتعرق رهیافت دوگانه تا حدود زیادی بر مقادیر لایسیمتری منطبق شده و با مقادیر فائوپنمن مانتیث نیز اختلاف اندکی دارد. برای مثال در ماه خرداد، تبخیرتعرق برآوردی توسط رهیافت دوگانه، لایسیمتر و فائو پنمن مانتیث به ترتیب، ۳۵۸/۷۶ ، ۳۶۰/۷ و ۳۶۳/۷۶ میلی‌متر بوده است درحالیکه در همین ماه تبخیرتعرق برآوردی با رهیافت منفرد ۳۸۲/۷۱ میلی‌متر بوده است. در مرداد ماه نیز به مقادیر تبخیرتعرق به ترتیب ۴۱۲/۴۱۵،۱۲/۸۸ و ۴۴۸/۹۳ میلی‌متر می باشد. در مرداد ماه نیز رهیافت منفرد ۵۱۰/۱۶ میلی‌متر برای تبخیرتعرق برآورد کرده است. پس از مرداد ماه نیز مقادیر رهیافت منفرد به یکباره کاهش یافته و به نسبت لایسیمتر و فائو پنمن مانتیث کم برآورد خواهد بود. هرچند مقادیر رهیافت دوگانه نیز از مقادیر لایسیمتر مقادیر کمتری را نشان می‌دهد اما به نسبت رهیافت منفرد، مقادیر آن به مقادیر تبخیرتعرق برآوردی لایسیمتر و فائوپنمن مانتیث نزدیک‌تر می‌باشد .

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۱۰): مقادیر ماهانه تبخیرتعرق لایسیمتر(میلی‌متر)، رهیافت دوگانه فائو ۵۶، رهیافت منفرد فائو ۵۶ و پنمن مانتیث اصلاح شده

آزمون t و مقایسه میانگین‌ها

با استفاده از نرم افزار MINITAB آزمون Two-Sample T جهت مقایسه تبخیرتعرق حاصل از رهیافت منفرد و دوگانه با داده های لایسیمتری انجام شد. مقادیر اماره های T-Valueو P-value در سطح احتمال ۹۵٪ و درجه آزادی ۹ به ترتیب ۱/۱۳و۰/۲۸۷ به دست آمد و اختلافات معنی‌دار نبود. همچنین آزمون t جفت شده مابین این مقادیر نشان داد که اختلاف مقادیر لایسیمتر و رهیافت دوگانه معنی دار است (T-Value = 4.29 P-Value = 0.005). ولی اختلاف با مقادیر رهیافت منفرد معنی‌دار نبود (T-Value = -0.72 P-Value = 0.501) آزمون Paired T-Test and CI: Dual-Lys, Single-Lys نیز با مقادیر T-Value = -0.93 P-Value = 0.387 نشان داد اختلافات معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری کلی

تحلیل آماری سه روش محاسبه تبخیرتعرق نیشکر نشان می‌دهد که ضریب همبستگی روش‌های رهیافت دوگانه ورهیافت منفرد فائو با روش لایسیمتری به ترتیب ، ۰/۹۵۴و ۰/۸۸۵ بدست آمد. از طرفی خطای استاندارد برای رهیافت منفرد فائو ۶۷/۲۹ و برای رهیافت دوگانه فائو نیز ۲۹/۳۴ می‌باشد. ضریب همبستگی روش‌های رهیافت دوگانه ورهیافت منفرد فائو با روش فائو پنمن مانتیث به ترتیب ، ۰/۹۸۲و ۰/۹۰۳ بدست آمد. از طرفی خطای استاندارد برای رهیافت منفرد فائو ۵۱/۳۲ و برای رهیافت دوگانه فائو نیز ۱۰/۶۹ می‌باشد. نتایج نشان‌داد که رهیافت دوگانه فائو مبتنی بر سنجش از دور نتایج قابل قبولی در محاسبه تبخیرتعرق گیاه نیشکر بدست می‌دهد و میتوان از این رهیافت در محاسبه تبخیر تعرق گیاه نیشکر و برنامه ریزی آبیاری استفاده کرد. در استفاده از رهیافت دوگانه مقادیر تبخیرتعرق گیاه نیشکر برای دوره رشد ۲۰۶۵ میلی‌متر و در رهیافت منفرد ۲۲۱۹۸ میلی‌متر محاسبه شد. صارمی و همکاران (۱۳۸۱) در منطقه هفت تپه نیـاز آبـی نیـشکر را در کـشت قلمه ۲۵۶۰ میلی‌متر و برای زراعت بازرویی شده در سال دوم ۱۹۲۵ میلی‌متر بدست آوردند. با توجه به اینکه سال ۱۳۸۵ سال بازرویی سوم نیشکر برای کشت و صنعت امیرکبیر بوده، لذا مقادیر رهیافت دوگانه به مقادیر برآوردی صارمی و همکاران (۱۳۸۱) نزدیک خواهد بود. موسوی حسب (۱۳۸۶) مقدار تبخیرتعرق برای مزارع کشت و صنعت امیرکبیر را ۲۱۷۶ میلی‌متر برآورد کرد

www.SID.ir

Archive of SID

و روش فائوپنمن مانتیث نیز ۲۰۴۲ میلی‌متر را نشان داد. هرچند که مقادیر رهیافت منفرد به مقادیر لایسیمتری برآوردی توسط موسوی حسب (۱۳۸۵) نزدیک‌تر بوده اما این رهیافت به نسبت مقادیر لایسیمتری در ماه‌های تیر و مرداد بیش برآورد و در ماه‌های شهریور و مهر بسیار کم برآورد بوده و نمی‌تواند به عنوان رهیافتی دقیق در برآورد نیاز آبی گیاه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج این پژوهش میتوان از رهیافت دوگانه فائو۵۶ در محاسبه تبخیر تعرق گیاه نیشکر وبرنامه ریزی آبیاری استفاده کرد.

قدردانی

داده‌های لایسیمتری مورد استفاده در این تحقیق مربوط به پایان نامه خانم موسوی حسب (۱۳۸۶) بوده است. نویسندگان بدین وسیله از ایشان بابت ارائه این اطلاعات تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

شینی دشتگل، ع .، س. جعفری و ن. بنی‌عباسی. ۱۳۸۵ . بررسی میزان آب مصرفی و ارائـه روشـهای جدید در استفاده بهینه از آب آبیاری به روش هیـدروفلوم در مـزارع کـشت و صـنعت امیـرکبیـر، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.

شینی دشتگل، ع .، ع. ناصری و ن. بنی‌عباسی. ۱۳۸۵ . اثر آبیاری یکـم جویچـه در میان (کم‌آبیاری) روی خصوصیات کمی و کیفی نیشکر در مزارع جنوب اهـواز. مجله علوم آب و خاک، ۱۳(۴۹). ۴۵-۵۷.

صارمی، م. و س . رادمهر. ۱۳۸۱. تعیـین آب مـورد نیـاز نیـشکر رقـم cp۴۸-۱۰۳ در منطقـه هفت تپه، نشریه ۸۱/۲۱۷ کشت و صنعت هفت تپه.

موسوی حسب، ر. ۱۳۸۶. اندازه‌گیری نیاز آبی واقعی نیشکر و مقایسهٔ نتایج آن بر برآوردهای نرم‌افزار REF-ET در جنوب اهواز جهت تعیین فرمول مناسب برای برنامه‌ریزی آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Allen, R. G. 2000 , Reference evapotranspiration calculator. University of Idaho,Research and Extension Center, Kimberly. Idaho 83341.

Bastiaanssen, W. 2000 .SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. J. Hydrol, 229, 87-100.

Calera, A. Martínez, C,. Melia, J. 2001. A procedure for obtaining green plant cover: Relation to NDVI in a case study for barley. International Journal of Remote Sensing. 22, 3357-3362.

Carlson, T. N., and D. A. Ripley. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index,Remote Sensing of Environmen., 62, 241-252

Chang, J. H. 1961. Microclimate of sugarcane, Hawaiian planters Record, No56.

Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1975 .Guideline for predicting crop water requirement,. FAO Irrig and Drain paper 24 FAO.

Duchemin, B., R. Hadria, S. Er-Raki, G. Boulet, P. Maisongrande, A. Chehbouni, R. Escadafal, J. Ezzahar, J. Hoedjes, H. Karrou, S. Khabba, B. Mougenot, A. Olioso, J. C . Rodriguez and V. Simonneaux. 2006. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: on the use of relationship between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. Agric. Water Manage: 79, 1–27.

www.SID.ir

Archive of SID

Er-Raki, S., A. Chehbouni and B. Duchemin. 2010. Combining satellite remote sensing data with the FAO56 dual approach for water use mapping in irrigated wheat fields of a semi-arid region. Remote Sens. 2 (1),375–387.

Er-Raki, S., A. Chehbouni, N. Guemouria, B. Duchemin, J. Ezzahar, R. Hadria, BenHadj and I.,Driven .2006. FAO56 dual crop coefficient approach with remotely- sensed data for estimating water consumptions of wheat crops in a semiarid region. In: The 2nd International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing: RAQRS'II, Valencia, Spain, September. 25–29

Er-Raki, S., G. Chehbouni, N. Guemouria, B. Duchemin, J. Ezzahar and R. Hadria. 2007. Combining FAO56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. Agric. Water Manage.: 87,41–54.

Farg, E., S. M. Arafat, M. S. Abd EI-Wahed and A. M. EL-Gindy. 2012. Estimation of evapotranspiration ET_c and crop coefficient K_c of wheat, in south Nile delta of Egypt using integrated FAO56 approach and remote sensing data. the egyptian jor of remote sensing and space sciences. 15(1), 83-89.

González-Dugo, M. P. and L. Mateos, 2008. Spectral vegetation indices for benchmarking water productivity of irrigated cotton and sugarbeet crops. Agric. Water Manage.95 (1), 48–58.

Hunsaker, D. J., P.J. Pinter Jr. and B.A. Kimball. 2005. Wheat basal crop coefficients deter- mined by normalized difference vegetation index. Irrig. Sci. 24, 1–14.

Hunsaker, D. J., P. J. Pinter Jr., E. M. Barnes and B. A. Kimball. 2003. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. Irrig. Sci. 22, 95–104.

Moran, M. S., T. R. Clarke, Y. Inoue and A. Vidal. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surfaceair temperature and spectral vegetation index. Remote Sens. Environ, 49,246-263.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of a remote sensing-based dual crop coefficient approach for estimation of separated amounts of evaporation and transpiration

Nozar Ghahreman[1], Khalil Ghorbani[2], Mohammad Heydarzade[3]

Abstract

The accuracy of the classical methods to calculate evapotranspiration of plants for use in large areas may not be sufficient and therefore less useful. Thus, the choice of high-precision approaches, despite of restrictions ahead seems necessary. The purpose of this study is calculation of sugarcane evapotranspiration in Ahvaz, Khuzestan province using two methods. In method one, soil evaporation and crop transpiration were separately calculated using NDVI index extracted from MODIS images in. In the second approach, evapotranspiration was estimated using single crop coefficient approach known as FAO 56 method using available coefficients. Besides, crop coefficient values were calculated using SimDualKc software during entire growing season and FAO Penman-Monteith equation was worked out accordingly.The results were also compared to a lysimetric dataset. Correlation coefficient of ET estimations using single and dual crop coefficient approaches with lysimetric measurements were 0.954 and 0.885, respectively. A. On the other hand, the standard error for single coefficient approach was 67.29 and 29.34 dual approach. The results showed that the remote sensing-based dual coefficient approach provides acceptable estimations of sugar cane in the region. More studies are recommended for further scrutiny.

Key Words: Evapotranspiration, dual crop coefficient, NDVI, sugarcane.

[1] . Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, nghahreman@ut.ac.ir.
2 . Assistant Professor, Water Engineering Department, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources ghorbani.khalil@yahoo.com.
3 . M.Sc.Graduate, University of Tehran. am.heydarzade@gmail.com

www.SID.ir