

اثر مدیریت‌های مختلف پوشش بقایای گیاهی در برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل گیاهی SIMDualKc

سمیرا عشائری^{1*}، تیمور سهرابی² و علی اصغر منتظر³
تاریخ دریافت: 1394/10/28 تاریخ پذیرش: 1395/9/14

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی مدل آبیاری SIMDualKc و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت بقایای گیاهی انجام شد. مدل مذکور تبخیر-تعرق را با روش ضریب گیاهی دو جزئی برآورد می‌نماید، بنابراین امکان بررسی اثر انواع مالچ‌ها (خاک پوش‌ها) بر میزان تبخیر-تعرق را فراهم می‌آورد. شبیه‌سازی پنج سناریوی مدیریت پوشش بقایای گیاهی (مالچ آلی با چگالی‌های به ترتیب 0/6، 0/5، 0/4، 0/3 و 0/2 کیلوگرم بر مترمربع) طی فصل رشد 81-1380 با استفاده از مدل گیاهی SIMDualKc صورت پذیرفت. واسنجی و صحت‌سنجی مدل با استفاده از نتایج آزمایش مزرعه‌ای تحت کشت گندم طی دو فصل زراعی متوالی 82-1380 انجام شد. اطلاعات اقلیم، خاک و گیاه و مدیریت آبیاری به مدل وارد گردید. مدل، آب قابل دسترس خاک را با مقدار راندمان مدل‌سازی (EF) برابر 0/902، RMSE محاسبه شده 1/34 میلی‌متر، میانگین خطای مطلق 0/995 میلی‌متر و میانگین خطای نسبی برابر 4/67 درصد برآورد نمود. در مواردی که اطلاعات لازم برای واسنجی در دسترس نباشد استفاده از نتایج شبیه‌سازی مدل با پارامترهای گیاهی و نیز پارامترهای لایه تبخیری خاک استاندارد FAO-56، با دقت مناسبی قابل قبول است. نتایج شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف پوشش بقایای گیاهی نشان داد با افزایش چگالی مواد آلی پوششی، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق کم‌تر می‌شود و میزان تعرق گیاه افزایش می‌یابد. بدون پوشش بقایای گیاهی مناسب نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق 18 درصد بود که با کاربرد پوشش بقایای گیاهی (مالچ‌های آلی) با چگالی 0/6 کیلوگرم بر مترمربع این نسبت به 8 درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، روش ضریب گیاهی دو جزئی، گندم، مدل SIMDualKc

مقدمه

محافظت از آن‌ها در طی زمان مشکل می‌باشد. بنابراین معمولاً مدل‌های ریاضی در برآورد Et_c در تمام دامنه مراحل رشد گیاه بکار می‌روند. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که معادله پنمن مانیتث قادر به برآورد Et_0 از داده‌های هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی با دقت قابل قبولی می‌باشد. (Amatya et al., 1995; Ventura et al., 1999; Irmak et al., 2008; Temesgen et al., 2005; Yoder et al., 2005; Lopez-Urrea et al., 2006). چندین روش مدل‌سازی بیان انرژی ترکیبی از انواع معادله پنمن مانیتث به منظور برآورد Et_c بکار رفته است که به طور جداگانه شرایط سطح خاک و آسمان گیاه را در نظر گرفته است. این روش‌ها شامل روش‌های نوع پنمن مانیتث چند لایه‌ای (Shuttleworth and Wallace., 1985; Shuttleworth and Gurney., 1990; Choudhury and Monteith., 1988; Norman et al., 1995; Kustas and Norman., 1999; Gardiol et al., 2003; Lagos et al., 2009; Guan and Wilson., 2009) و روش ضریب گیاهی دو جزئی (Jensen et al., 1971; Wright and Jensen., 1978; Wright, 1982). روش ضریب گیاهی در ابتدا توسط ونویجک و دیویریس و دیگر محققان ارائه و توسعه داده شد (Van Wijk and

برآورد درست تبخیر و تعرق گیاه (Et_c) در سیستم گیاه-خاک-بقایا برای مقایسه نمودن مقدار مصرف آب گیاه بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، تعیین نیاز آب آبیاری منطقه‌ای و مدیریت آبیاری طی فصل زراعی، بسیار مورد توجه است. اندازه‌گیری مستقیم مزرعه‌ای Et_c با استفاده از روش‌های خرد اقلیمی مانند لایسیمترها، سیستم بیان انرژی نسبت Bowen، سیستم همبستگی هوا پیچ‌های eddy correlation و روش پروفیل جریان (Hatfield., 1990)، امکان‌پذیر می‌باشد. این روش‌ها هزینه زیادی دارند و استقرار آن‌ها در مکان و

1 - دانشجوی دکتری رشته آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

2- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

3- پژوهشگر گروه منابع آب، زمین و هوا، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، ایالات متحده آمریکا

* - نویسنده مسئول: (Email: ashaeri@ut.ac.ir)

تواند تبخیر از سطح خاک E_s را کاهش دهد (Russel., 1939; Moody et al., 1963; Adams., 1966; Bond and Willis., 1970; Todd et al., 1991; Heilman et al., 1992; Klocke et al., 2009). از طرفی مطالعات دیگر نشان داده‌اند که بقایای گیاهی در صورتی که تنها بخشی از سطح خاک را پوشانند، اثر کم‌تری بر میزان E_s دارند زیرا دمای سطح خاک و گرادیان خشکی بیش‌تری بین خاک لخت و مساحت تحت پوشش بقایا وجود دارد (Steiner, 2009; Klocke et al., 1989). در مطالعه مزرعه‌ای دیگری اثر انواع مختلف بقایای گیاهی بر مقدار E_s مقایسه گردیده است و نتایج نشان داده است که ضخامت بقایای گیاهی و درصد پوشش سطحی آن نسبت به نوع بقایای گیاهی در اثرگذاری مهم‌تری بر مقدار E_s دارند (Unger and Parker., 1976). اودینبو و ایرمک با تحقیقی که طی دو سال زراعی متوالی در مزرعه سویا (2008 و 2007) واقع در دانشگاه نبرسکا انجام دادند که در آن اثر پوشش بقایای گیاهی بر مقدار تبخیر-تعرق واقعی را سنجیدند، سپس مقادیر روزانه اندازه‌گیری شده تبخیر-تعرق سویا را در مقابل مقادیر برآورد شده آن با روش K_c دو جزئی مقایسه نمودند. آن‌ها اثر بقایای گیاهی در روش K_c -دو جزئی را کاهش مقدار تبخیر عنوان نمودند. آن‌ها با بررسی چهار گزینه 10، 7/5، 5 و 2/5 درصد کاهش در میزان تبخیر به ازای هر 10 درصد سطح مزرعه پوشش شده با بقایای گیاهی را مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از صحت نتیجه نشریه FAO-56 بود. تبخیر-تعرق برآورد شده با روش K_c -دو جزئی با کاهش 5 درصد در مقدار E_s به ازای هر 10 درصد سطح مزرعه پوشیده شده با بقایای سطحی، مطابقت نزدیکی با مقادیر اندازه‌گیری شده آن داشت (Odhiambo and Irmak., 2012).

با وجود اهمیت روش ضریب گیاهی دو جزئی، مدل‌های برنامه-ریزی آبیاری بسیار کمی وجود دارند که بر پایه روش ضریب گیاهی دو جزئی نوشته شده باشند و نیز بیان آب کامل را در نظر بگیرند. اخیراً مدلی با ساختار تعاملی به نام SIMDualKc توسعه داده شده است که علاوه بر قابلیت‌های فوق دارای قابلیت‌های پشتیبانی از برنامه‌ریزی نیاز آبیاری در سطح منطقه‌ای و برآورد اختلافات نیاز مصرفی آب در بین انواع سیستم‌های آبیاری است (Rosa et al., 2012b). همچنین مدل SIMDualKc زیر برنامه‌هایی نیز برای در نظر گرفتن مدیریت مالچ‌ها، پوشش گیاهی فعال، صعود کاپیلاری و نفوذ عمقی دارد. مدل فوق در برآورد E_c فلفل قرمز در کشت گلخانه‌ای در شمال شرقی چین با موفقیت بکار رفته است (Qiu et al., 2015). در مطالعه دیگری کارایی این مدل در مقایسه با مدل METRIC توسط داده‌های مزرعه‌ای و تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی در باغات زیتون بسیار متراکم مورد مقایسه قرار گرفتند. اگرچه دو مدل مذکور روش‌های مختلفی را برای محاسبه E_c بکار می‌بردند لیکن نتایج بدست آمده از هر دو

(de Vries., 1954) و سپس رایت مفهوم ضریب گیاهی را اصلاح نمود (Wright., 1981 and 1982). روش ضریب گیاهی دو جزئی توسط FAO پذیرفته شده است. این روش در مقایسه با مدل‌های چند لایه‌ای که نیاز به پارامترهای فراوانی دارد، ساده‌تر می‌باشد و در کاربردهای عملیاتی که نیاز به برآورد E_c روزانه است مناسب‌تر به نظر می‌رسد. روش ضریب گیاهی دو جزئی به طور جداگانه مقدار تعرق روزانه گیاه (T) و تبخیر از سطح خاک (E_s) را با اعمال ضرایبی با نام‌های ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تنش آبی (1-0) ضریب تبخیر آب از خاک (K_c) در مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (ET_0) برآورد می‌نماید ($ET_c = (K_s, K_{cb} + K_c) ET_0$). اما در روش ضریب گیاهی یک جزئی، اثرات T و E_s در یک ضریب گیاهی ادغام شده است که بررسی اثرات پوشش بقایای گیاهی و خیسگی سطح خاک را بر مقدار E_s را غیرممکن می‌سازد.

مطالعات اندکی روش‌های K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی را در برآورد E_c مقایسه نموده‌اند. لی و پیریرا در مطالعه‌ای روش‌های K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی را با داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق (ET_m) مقایسه نمودند و دریافتند که روش K_c -دو جزئی عملکرد بهتری نسبت به روش K_c -یک جزئی دارد (Lui and Pereira., 2000). توک و هاوول نیز مقادیر روزانه ET_m ذرت دانه‌ای تحت آبیاری کامل و نیز محدود را با E_c محاسبه شده از روش‌های K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی مقایسه نمودند. آن‌ها دریافتند که در روش K_c -دو جزئی تفاوت بین ET_m و E_c تجمعی بین 2 تا 70 میلی‌متر طی فصل رشد تغییر می‌کند و در انتهای فصل رشد حداکثر اختلاف آن‌ها در حدود 60 میلی‌متر یا 10 درصد است. اما روش K_c -یک جزئی به طور معنی‌داری ET_m تجمعی نهایی را به اندازه 120 میلی‌متر، کم‌تر برآورد نمود (Tolk and Howell., 2001). در مطالعه‌ای دیگر مقدار ET_m را با E_c برآورد شده با استفاده از K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی در گیاه دیررس برنج، مقایسه گردید که نتایج آن نشان داد، خطای نسبی بین ET_m و E_c برآورد شده با روش‌های K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی بین 16/2-12/4 درصد تغییر می‌کند و K_c -دو جزئی تخمین بهتری نسبت به K_c -یک جزئی بدست می‌دهد (ShiZhang et al., 2007). مجنون و همکاران با استفاده از روش‌های K_c -یک جزئی و K_c -دو جزئی، مقدار E_c روزانه گیاه ذرت در دو فصل رشد را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که کل ET_c فصلی برآورد شده با روش K_c -دو جزئی بیش‌تر از مقادیر تخمین زده شده با روش K_c -یک جزئی در حدود 78 و 68 میلی‌متر طی دو فصل رشد است (مجنونی هریس و همکاران، 1386).

گرچه برآورد E_c با روش K_c -دو جزئی دقیق‌تر است اما مطالعاتی که شرایط وجود بقایای گیاهی فصل کشت قبل را بر E_c مورد بررسی قرار دهد، بسیار اندک هستند. چندین مطالعه مزرعه‌ای نشان داده است که وجود بقایای سطحی گیاهی بر سطح خاک می-

اطلاعات هواشناسی

با توجه به اینکه در مطالعه حاضر روش انتخابی محاسبه تبخیر- تعرق بر اساس معادله پنمن مانیتیت بود (Monteith., 1965)، نیاز به داده‌های هواشناسی بارش، حداکثر و حداقل دما، تابش و حداکثر و حداقل رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع دو متری در گام زمانی روزانه بود. داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی اتوماتیک واقع در مزرعه آزمایشی بدست آمد. فرآیند بازسازی درایستگاه‌های مورد مطالعه، با هدف استحصال سری‌های زمانی پیوسته روزانه از پارامتر-های بارش، حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، تابش و باد در یک دوره بهینه و مهم‌تر از نظر طول مدت آمار برداری و کیفیت ارقام انجام یافت. روش بازسازی بارش بر اساس روش میانگین‌گیری و دما با روش تفاضلات بوده است (علیزاده، 1390). تطویل داده‌های هواشناسی با استفاده از مولد آب‌هوایی احتمالاتی ClimGen انجام پذیرفت (Stockle and Nelson., 1999; Stockle et al., 2001). این مدل می‌تواند در ترکیب با برنامه‌هایی که نیاز به داده‌های هواشناسی مشاهداتی دارند، ولی داده‌های طولانی مدت و کامل با پوشش مکانی مناسب فراهم نمی‌باشد، مفید واقع شود. مولدهای آب‌هوایی می‌توانند سری‌های زمانی طولانی مدت داده‌های هواشناسی در محل مورد مطالعه را با استفاده از داده‌های مشاهداتی تولید نمایند. پارامترهای متوسط بارش سالیانه و متوسط حداکثر و حداقل دمای هوای سالیانه طی فصل رشد گندم، در بازه زمانی (1385-1342) در ایستگاه مطالعاتی پاکدشت به ترتیب برابر 147 میلی‌متر و 17/67، 37 و 7/75- درجه سانتی‌گراد است.

اطلاعات خاک

خاک مزرعه آزمایشی دارای بافت لوم‌سیلتی بوده که برای کاشت گندم مناسب است. برخی از خصوصیات پروفیل خاک مزرعه مذکور که مطابق دستور العمل استاندارد روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای خاک اندازه‌گیری شده است (Pansu and Gautheyrou., 2006)، در جدول 1 ارائه گردیده است. مقدار اسیدیته خاک 7/5-7/8، نسبت جذب سدیم (SAR) 1/4-1/8 و هدایت الکتریکی (ECe) 1/6-2/4 دسی‌زیمنز بر متر است.

مدل تقریباً یکسان بود. نتایج نشان داد که مطابقت خوبی بین داده‌های مزرعه‌ای و نتایج حاصل از شبیه‌سازی SIMDualKc وجود دارد (Paco et al., 2014). مدل فوق در برآورد نیاز مصرف آب آبیاری در شبکه کانال‌های آبیاری رودخانه زرد چین با الگوی کشت ذرت، آفتاب‌گردان و هندوانه بکار رفته است (Ren et al., 2016). همچنین مدل مذکور در بررسی رابطه تبخیر-تعرق با مقدار بارش در چمن-زاره‌های Xilingol در شمال چین (Shengwei et al., 2015) و مدل‌سازی ضریب گیاهی دو جزئی در کشت متوالی گندم زمستانه و ذرت تابستانه در شمال چین (Zhao et al., 2013) و بررسی استراتژی‌های مختلف مدیریت آبیاری مزرعه ذرت با توجه به بازدهی اقتصادی، عملکرد و تبخیر-تعرق در کشور پرتغال (Paredes et al., 2014) و نیز در سیستم اتوماتیک آبیاری با شبکه سنسورهای وایرلس در تاجستان‌های اسپانیا برای تعیین آستانه پتانسیل آب در خاک برای شروع تنش آبی گیاه استفاده شده است (Cancela et al., 2015). از آنجایی که مدل مذکور به تازگی توسعه داده شده است (Rosa et al., 2012b)، مطالعات اندکی پیرامون تعیین ET_c مدیریت آبیاری و محاسبات بیلان آب در خاک توسط این مدل صورت گرفته است. هدف کلی این مطالعه واسنجی و ارزیابی مدل SIMDualKc با نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه‌ای گندم طی دو فصل رشد پیوسته و نیز بررسی سناریوهای مختلف مدیریت و حفاظت پوشش بقایای گیاهی بر سطح خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران (پردیس ابوریحان) واقع در 20 کیلومتری شرق تهران و در دشت ورامین انجام شد. دشت ورامین در عرض جغرافیایی $28^{\circ} 33'$ شمالی و طول جغرافیایی $58^{\circ} 50'$ شرقی و ارتفاع از سطح دریا 1180 متر قرار دارد. دشت ورامین از نظر مرغوبیت خاک و اعتدال هوا یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در سطح کشور می‌باشد. اقلیم منطقه خشک و نیمه‌بیابانی و مقدار تبخیر سالانه آن حدود 2700 میلی‌متر است.

اطلاعات ورودی به مدل

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

افق خاک (cm)	ضخامت لایه (cm)	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	تخلخل (%)	ظرفیت زراعی* $\theta_{FC}(\%)$	نقطه پژمردگی دائم* $\theta_{WP}(\%)$	ماسه (%)	سیلت (%)	رس (%)
0-25	25	1/39	43/2	28/3	11/5	20/2	74/7	5/1
25-35	10	1/42	41/4	25/8	11/1	34/2	60/6	5/2
35-57	22	1/32	46/7	29/4	12/5	36/2	58/5	5/3
57-82	25	1/41	42/5	21/9	11/2	27/2	65/2	7/6
82-110	28	1/27	50/2	33/4	14/2	26/2	66/5	7/3

* پارامترها بر اساس رطوبت حجمی در نقاط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم بیان گردیده‌اند.

اطلاعات گیاه

پایگاه اطلاعات این مطالعه از تحقیقات مزرعه‌ای Montazar (and Mohseni., 2011) تحت کشت گندم با رقم پیشتاز در طی دو فصل زراعی متوالی 1380-81 و 1381-82 بدست آمد. گندم در منطقه مورد مطالعه تا اواسط آذر کاشته می‌شود و سپس با سپری شدن ماه‌های زمستانی، رشد خود را مجدداً از اواخر اسفند تا اوایل فروردین آغاز می‌نماید. مرحله گلدهی گندم معمولاً در اواسط اردیبهشت اتفاق می‌افتد و محصول آن اواسط تا اواخر خرداد ماه برداشت می‌شود. زمان رسیدن به مراحل مختلف رشد گیاه گندم در جدول 2 نشان داده شده است. فاصله ردیف‌های کاشت 20 سانتی‌متر و جهت آن‌ها شمال به جنوب بود. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از ابزار سنجش سطح برگ به تعداد هشت مرتبه در هر فصل زراعی انجام گردید (Rockström and de Rouw, 1997). ارتفاع گندم با انتخاب ده گیاه به طور تصادفی و اندازه‌گیری میانگین ارتفاع آن‌ها (یا روش اندازه‌گیری از سطح خاک تا راس بلندترین برگ توسط متر نواری با دقت 1 میلی‌متر) تعیین گردید. برداشت محصول در فصل زراعی 1380-81 به صورت دستی انجام شد. بنابراین بقایای برداشت گندم (انتهای ساقه گندم به ارتفاع 10 سانتی‌متر به همراه ریشه گندم که در سطح مزرعه باقی می‌ماند) به عنوان پوشش بقایای گیاهی ضعیفی سطح مزرعه را تا شروع فصل رشد بعدی (1381-82) پوشاند.

جدول 2- تاریخ مراحل رشد گندم در فصل زراعی 1380-81

تاریخ	مرحله رشد گیاه
1380/08/18	کاشت / آغازین
1380/11/28	شروع رشد سریع
1381/01/15	شروع مرحله میانی
1381/02/12	شروع پیری / رسیدگی
1381/03/20	انتهای فصل رشد / برداشت

اطلاعات مدیریت آبیاری

اطلاعات مربوط به مدیریت آبیاری شامل داده‌هایی از قبیل پارامترهای مدیریتی برنامه‌ریزی شده یا خودکار آبیاری مانند زمان و میزان آبیاری، مدیریت آبیاری (دیم، کم‌آبیاری، آبیاری بدون تنش، آبیاری با مقدار خاص و ...)، سیستم‌های آبیاری (انواع سطحی و تحت فشار)، نسبت سطح زمین خیس شده، و محدودیت‌های مقدار آبیاری در دوره‌های خاص می‌باشد. در مطالعه مزرعه‌ای حاضر سیستم آبیاری کرتی است و کیفیت آب آبیاری از نظر طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox., 1948) خوب (SAR: 1.1 dS m⁻¹; EC: 7.6; pH: 7.6) می‌باشد. تاریخ، مقدار و تعداد دفعات آبیاری مطابق جدول 3 می‌باشد. رطوبت در اعماق 0-20 و 20-40 سانتی‌متری با روش وزنی و در اعماق 40-100 سانتی‌متری با فواصل 20 سانتی‌متری توسط پروب TDR در روز قبل و یک روز بعد از آبیاری اندازه‌گیری شد.

جدول 3- تاریخ آبیاری و مقدار کل آب کاربردی (میلی‌متر)

1381-82		1380-81		رویداد آبیاری
مقدار خالص آبیاری	تاریخ	مقدار خالص آبیاری	تاریخ	
42	1381/09/07	60	1380/09/04	1
40	1382/01/07	50	1380/12/27	2
40	1382/01/29	50	1381/01/15	3
44	1382/02/09	50	1381/02/01	4
46	1382/02/19	60	1381/02/15	5
48	1382/02/26	60	1381/02/26	6
260		330		مقدار کل آب کاربردی

اولیه، میانی و انتهایی پیشنهاد شده در نشریه FAO-56 و نیز مقادیر آب آسان تبخیر (REW)، کل آب قابل تبخیر (TEW) و عمق لایه تبخیری (Z_e) توصیه شده توسط آلن و همکاران برای خاک لوم-سیلتی استفاده گردید (Allen et al., 2005). معادلات مربوط به TAW، RAW و TEW به صورت معادلات 1 الی 3 می‌باشد.

$$TAW = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_T \quad (1)$$

شرایط شبیه سازی مدل SIMDualKc

پارامترهای بخش شرایط اولیه مدل شامل مقدار تخلیه رطوبت حجمی خاک از لایه‌های زیرین، TEW (بر حسب درصدی از کل آب قابل دسترس)، مقدار تخلیه سریع رطوبت خاک از لایه سطحی خاک، REW (بر حسب درصدی از کل آب قابل تبخیر) است. در آغاز شبیه سازی، مقادیر استاندارد ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تخلیه آب از خاک (P) برای شرایط بدون تنش به ترتیب برای مراحل رشد

صحت‌سنجی مدل با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده آب قابل دسترس خاک در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده آن در فصل زراعی 82-1381 توسط شاخص‌های نکویی برازش مورد بررسی قرار گرفت، این شاخص‌ها عبارتست از ضریب رگرسیون (b)، ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطای مطلق (AAE)، متوسط خطای نسبی (ARE)، کارایی مدل‌سازی (EF) (معادلات 4 الی 9).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n O_i P_i}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad (4)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (7)$$

$$ARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (8)$$

$$EF = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

در معادلات بالا O مقدار آب قابل دسترس اندازه‌گیری شده، P مقدار آب قابل دسترس شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین آب قابل دسترس اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین آب قابل دسترس شبیه‌سازی شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

نتایج حاصل از واسنجی مدل در جدول 4 نشان داد شده است. مقدار ضریب گیاهی پایه در مراحل رشد اولیه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با 0/15، 1/06 و 0/25 حاصل گردید. مقادیر واسنجی شده K_{cb} و p تقریباً با مقادیر پیشنهاد شده توسط آلن و همکاران منطبق است (Allen et al., 1998; Allen et al., 2007). کاهش مقدار ضریب گیاهی در مرحله رشد میانی نسبت به مقدار استاندارد FAO-56 می‌تواند بازتابی از وجود تنش آبی یا مربوط به وارسته گیاهی باشد و یا می‌تواند نشان دهنده خطایی در مدیریت آب، خاک و یا عدم قطعیت مدل در برآورد P و ET_0 باشد. در مطالعه حاضر نیز بیان می‌گردد که در مرحله رشد میانی تنش آب وجود داشته است. مطابقت مقادیر واسنجی شده و استاندارد K_{cb} ، اعتبار استفاده از مقادیر استاندارد K_{cb} در مدل‌سازی‌های معمول را تایید می‌نماید. مقدار واسنجی شده ضریب گیاهی پایه در مرحله پایانی K_{cb} با مقدار استاندارد آن تفاوت معنی‌داری دارد. البته مقدار آن می‌تواند دامنه‌ای

$$RAW = p TAW \quad (2)$$

$$TEW = 1000 (\theta_{FC} - 0.5\theta_{WP}) Z_r \quad (3)$$

در معادلات فوق پارامتر θ_{FC} و θ_{WP} به ترتیب بیانگر رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم است، پارامتر Z_r بیانگر عمق توسعه ریشه و TAW و RAW به ترتیب بیانگر کل آب قابل دسترس و میزان آب سهل الوصول است. در این مطالعه مزرعه - ای حداکثر عمق توسعه ریشه گندم معادل 1/1 متر اندازه‌گیری شده است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت در روز کاشت، شرایط اولیه تخلیه آب از لایه سطحی خاک در حدود 5 درصد TEW و تخلیه آب از لایه‌های زیرین برابر 14 درصد TAW منظور گردید. شرایط اولیه در بخش مدیریت پوشش بقایای گیاهی شامل سطح پوشش یافته مزرعه با مالچ به میزان 10 درصد و روز نصب آن از تاریخ برداشت محصول در فصل زراعی 81-1380 (جدول 3) و چگالی آن برابر 0/05 گیلوگرم بر مترمربع در مدل وارد گردید و درصد کاهش تبخیر از خاک 5% در نظر گرفته شد. زیرا تقریباً به ازای هر ده درصد سطح پوشش یافته با بقایای گیاهی، پنج درصد کاهش در میزان تبخیر از سطح خاک خواهیم داشت (FAO., 1998). فرض بر این است که مقدار بقایای گیاهی باقی مانده در سطح مزرعه بطور یکنواخت توزیع شده و مقدار آن به علت تجزیه شدن با گذشت زمان کاهش می‌یابد. پنج سناریوی پوشش بقایای گیاهی به ترتیب با چگالی‌های 0/2، 0/3، 0/4، 0/5 و 0/6 کیلوگرم بر مترمربع مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. مدل SIMDualKc دارای خروجی‌های روزانه متعددی است که در این مطالعه تبخیر (mm)، تعرق (mm)، آب قابل دسترس واقعی (mm)، ضریب تبخیر K_e و ضریب گیاهی پایه K_{cb} مورد ارزیابی قرار گرفت.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SIMDualKc

در واسنجی مدل هدف حداقل نمودن تفاوت اطلاعات مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آب قابل دسترس خاک است. به منظور واسنجی مدل از اطلاعات آزمایش مزرعه‌ای (اطلاعات هواشناسی، گیاه، خاک و مدیریت آبیاری) مربوط به فصل زراعی 81-1380 استفاده شد. در واسنجی مدل با تغییر دادن مقادیر ضریب گیاهی پایه در مرحله میانی رشد K_{cb} و در مرحله پایانی رشد K_{cb} و p در دامنه توصیه شده آن (FAO., 1998)، مقدار کل جریان تبخیر و تعرق از ناحیه ریشه تعدیل می‌گردید، در نتیجه مقدار آب قابل دسترس شبیه‌سازی شده به مقادیر مشاهده شده آن در مراحل رشد میانی و انتهایی نزدیک‌تر می‌گردد. مقادیر REW و TEW فقط طی دوره‌های خیس شدن خاک (در اثر آبیاری یا بارندگی) تغییر می‌یافت به طوری که آب قابل دسترس شبیه‌سازی شده با مقدار مشاهداتی آن مطابقت نماید.

در گام بعد صحت‌سنجی مدل با اطلاعات آزمایش مزرعه‌ای فصل زراعی 82-1381 انجام گردید، یعنی آب قابل دسترس شبیه-سازی شده با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده آن مقایسه گردید (شکل 2). مقادیر آب قابل دسترس نسبت به خط 1:1 مقایسه شده‌اند و واریانس تقریباً یکسانی در دامنه آب قابل دسترس دارند (به جز در رطوبت‌های پایین). مقدار ضریب رگرسیون (b) برابر 1/02 و ضریب همبستگی (R^2) برابر 0/96 و مقدار راندمان مدل‌سازی (EF) برابر 0/902 بدست آمد. آب قابل دسترس خاک شبیه‌سازی شده برآزش خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده آن دارد به طوری که RMSE خوبی محاسبه شده از مقدار 1/34 میلی‌متر فراتر نرفت. میانگین خطای مطلق 0/995 میلی‌متر و میانگین خطای نسبی برابر 4/67 درصد است. نتایج حاکی از آن است که مدل SIMDualKc قادر به شبیه‌سازی آب قابل دسترس خاک با دقت مطلوب است.

شبیه‌سازی اجزای تعرق-تبخیر

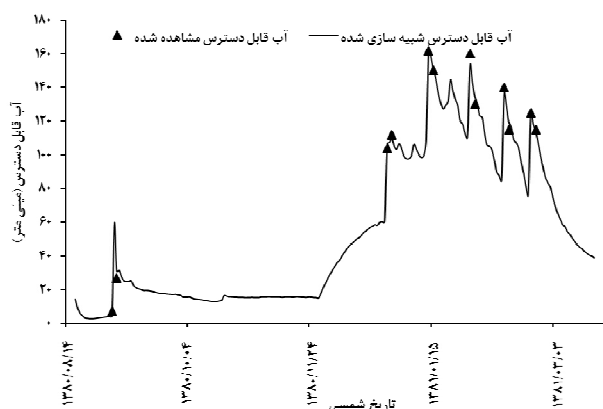
با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی خاک (جدول 2) و حداکثر عمق موثر ریشه، حداکثر مقدار کل آب قابل دسترس TAW در هنگام مدل‌سازی معادل 234 میلی‌متر بکار رفت (معادله 1). عمق ریشه در مرحله ابتدایی رشد 0/1 متر فرض شد (FAO, 1998) که تا ابتدای مرحله رشد سریع ادامه می‌یابد و سپس در ابتدای مرحله میانی رشد تا 1/02 متر افزایش یافته و سرانجام در مرحله نهایی عمق رشد ریشه به 1/1 متر می‌رسد. شکل 3 تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (ET_0) و نیز میزان بارش بر حسب میلی‌متر را طی فصل زراعی 81-1380 نشان می‌دهد. نوسانات ET_0 در طول فصل زراعی از قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر متأثر می‌گردد به طوری که شاهد روند صعودی آن از دی ماه تا اوایل خرداد ماه می‌باشیم. ET_0 بیش‌تر تابع شرایط اقلیمی است، بنابراین اگر بارندگی همراه با کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی و نیز کاهش ساعات آفتابی باشد می‌تواند منجر به کاهش مقدار ET_0 گردد.

بین 0/3-0/15 در گندم بهاره داشته باشد که حد بالای آن می‌تواند در گیاهانی اتفاق بیافتد که بصورت دستی برداشت شده‌اند (FAO, 1998). ضریب تخلیه آب از خاک که خود به نوعی بیانگر حداکثر تخلیه مجاز رطوبت (MAD) می‌باشد در کلیه مراحل چهارگانه رشد برابر با 0/5 در نظر گرفته شد. مقادیر آب آسان تبخیر (REW)، کل آب قابل تبخیر (TEW) نیز به ترتیب برابر 10 و 23 میلی‌متر بدست آمد که تقریباً با مقادیر استاندارد آن مطابقت می‌نماید. عمق لایه تبخیری خاک (Z_e) نیز برابر 10 سانتی‌متر حاصل گردید. بدیهی است مقادیر استاندارد برای محدوده وسیعی از شرایط گیاه-خاک-اقلیم توصیه شده‌اند و در شرایط خاص هر مطالعه باید مورد واسنجی دقیق قرار گیرند.

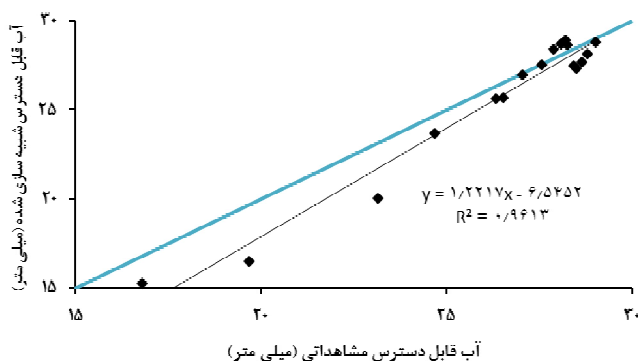
جدول 4- مقادیر واسنجی شده و استاندارد ضریب گیاهی پایه، ضریب تخلیه آب P و پارامترهای تبخیر از خاک

پارامتر	مقدار استاندارد	مقدار واسنجی شده
$K_{cb\ ini}$	0/15	0/15
$K_{cb\ mid}$	1/1	1/06
$K_{cb\ end}$	0/15	0/25
$P_{\ ini}$	0/55	0/50
$P_{\ dev}$	0/55	0/50
$P_{\ mid}$	0/55	0/50
$P_{\ end}$	0/55	0/50
REW (mm)	11	10
TEW (mm)	25	23
Z_e (m)	0/1	0/1

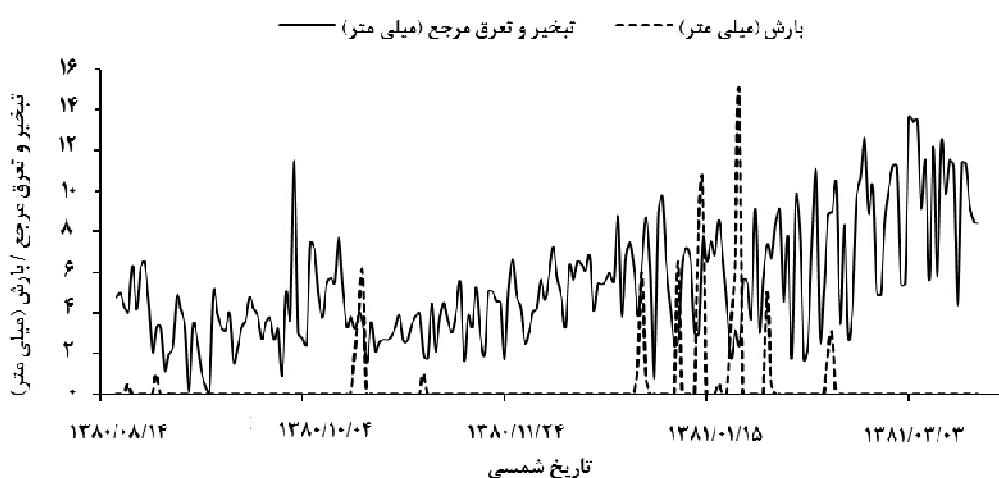
شکل 1 نشان دهنده نتایج واسنجی آب قابل دسترس شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده آن است. با توجه به برآزش خوب منحنی بر نقاط آب قابل دسترس اندازه‌گیری شده می‌توان نتیجه گرفت واسنجی بدرستی انجام شده است.



شکل 1- مقایسه مقادیر آب قابل دسترس خاک شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در فصل رشد 81-1380



شکل 2- مقایسه مقادیر آب قابل دسترس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در فصل رشد گندم 82-1381



شکل 3- تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن و میزان بارش بر حسب میلی‌متر طی فصل زراعی

میزان تعرق گیاه تا مرحله میانی رشد افزایش و سپس در مرحله پایانی رشد کاهش می‌یابد. مقدار کل تبخیر از خاک (E) و مقدار کل تعرق گیاه (T) طی فصل زراعی به ترتیب برابر 107/7 و 476/6 میلی‌متر بدست آمد. نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق نیز برابر 0/184 حاصل شد که نشان می‌دهد حدود یک پنجم آب مصرفی گیاه بصورت مستقیم از سطح خاک تبخیر می‌گردد. مدیریت استفاده از مالچ‌های آلی و یا پلاستیکی می‌تواند این مقدار را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

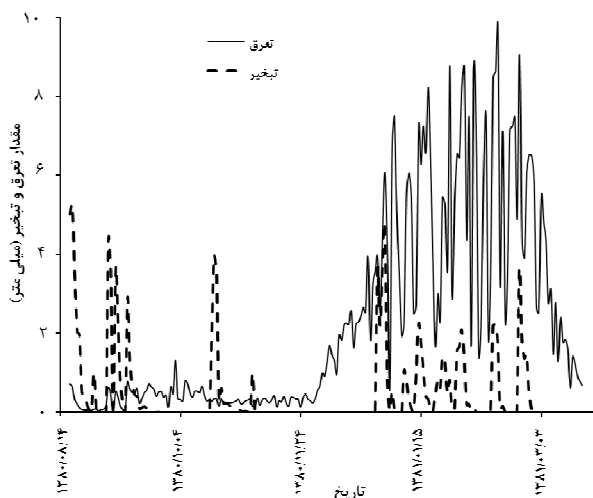
نتایج حاصل از شبیه‌سازی هر دو جز تبخیر و تعرق واقعی گندم (E_t)، یعنی تبخیر از خاک (E) و تعرق گیاه (T) بر حسب میلی‌متر در جدول 5 نشان داده شده است. در مراحل ابتدایی رشد گندم مقدار تبخیر از خاک نسبت به مقدار تعرق بیشتر است. مقدار تبخیر آب از خاک 54 و مقدار تعرق 34 میلی‌متر است، اما با افزایش پوشش گیاهی (به عبارتی افزایش سطح سایه‌انداز گیاه) طی مرحله رشد رویشی تا مرحله پایانی رشد از میزان تبخیر از خاک کاسته می‌شود.

جدول 5- مقایسه میزان تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق گیاه (T) بر حسب میلی‌متر در مراحل مختلف رشد گندم

مراحل رشد	مرحله اولیه رشد		مرحله رشد رویشی		مرحله میانی		مرحله پایانی		کل فصل رشد	
	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E
1381-82	34/5	54	134	23	209/2	21/7	9	98/9	476/6	107/7
									E/ET	0/184

خاک در اثر بارندگی، تبخیر از سطح خاک ادامه دارد. تعرق طی مرحله رشد سریع گیاه افزایش قابل توجهی دارد و در مرحله رشد میانی تقریباً مقداری ثابت دارد و با ورود به مرحله پایانی تا مقدار معینی کاهش می‌یابد.

شکل 4 نتایج شبیه‌سازی E و T در فصل رشد 81-1380 را نشان می‌دهد. مطابق شکل تبخیر از خاک طی دوره‌هایی از فصل رشد وجود دارد که مصادف با رویداد آبیاری یا بارش است. در فصل پاییز و زمستان تعرق گیاه حداقل است ولی به دلیل خیس بودن سطح



شکل 4- مقایسه مقدار تبخیر از خاک (E) و تعرق گیاه (T) در فصل رشد گندم

وجود دارد که بتواند به مصرف تبخیر-تعرق برسد، با تخلیه رطوبتی خاک مقدار ضریب گیاهی واقعی کاهش می‌یابد. فرآیند مذکور در دوره‌های آبیاری یا بارش بعدی نیز تکرار می‌گردد. هنگام خیس شدن سطح خاک در اثر رویداد آبیاری و یا بارش، مقدار K_e افزایش یافته و در مجموع به افزایش ضریب گیاهی دو جزئی (K_{act}) منجر می‌شود. مطابق شکل 6 گیاه در مراحل میانی و پایانی فصل رشد با تنش آبی مواجه بوده است، زیرا تخلیه رطوبتی خاک به بالاتر از حد آب سهل الوصول گیاه رسیده است بنابراین گیاه با تنش آبی مواجه گردیده است که خود مطابق شکل 5 منجر به کاهش ضریب گیاهی دو جزئی گردیده است.

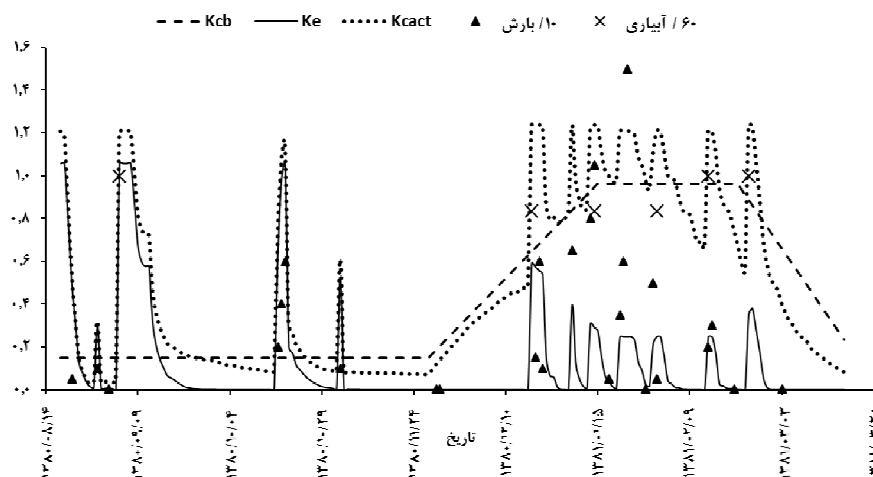
سناریوهای مختلف مدیریت بقایای گیاهی

پنج سناریوی مختلف مدیریت پوشش بقایای گیاهی با چگالی‌های 0/2، 0/3، 0/4، 0/5 و 0/6 کیلوگرم بر مترمربع و پوشش 100 درصدی سطح مزرعه مطابق جدول 6 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد با افزایش چگالی مواد آلی پوششی، نسبت مقدار تبخیر به مقدار تبخیر-تعرق کمتر می‌شود و میزان تعرق گیاه افزایش می‌یابد. با افزایش چگالی پوشش بقایای گیاهی از 0/2 تا 0/6 $Kg m^{-2}$ ، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق E/ET از 14/4 به 8/5 کاهش می‌یابد (حدود 41 درصد).

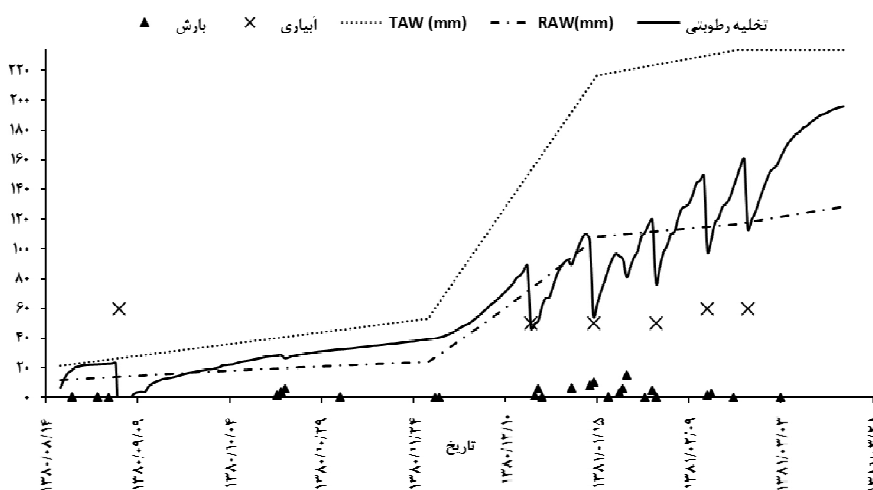
هنگام رویداد آبیاری و یا بارش‌های بهاره پیک تبخیر از سطح خاک منطبق با پیک تعرق می‌باشد که نشان می‌دهد با خیس شدن سطح خاک مقدار تبخیر از سطح خاک حداکثر و سپس با خشک شدن آن کاهش می‌یابد. میزان تعرق نیز به طور مشابه از محتوی رطوبت قابل دسترس خاک متأثر می‌گردد. به عبارتی اگر مقدار آبیاری و یا بارش در حدی باشد که به لایه‌های زیرین نفوذ ننماید و محدودیت آب وجود نداشته باشد، تعرق نیز به مقدار حداکثر خود می‌رسد ولی با مصرف آب توسط ریشه گیاه و تخلیه رطوبتی ناحیه ریشه، گیاه دچار تنش آبی گردیده و با بستن روزنه‌های سطح برگ میزان تعرق را کمتر می‌نماید.

بررسی ضرایب گیاهی دو جزئی

ضریب گیاهی واقعی (K_{act}) طی فصل زراعی نوساناتی دارد که ناشی از تنش‌های رطوبتی، مراحل مختلف رشد گیاه، اعمال مدیریتی و اقلیم است (شکل 5). مقدار ضریب تبخیر از خاک بلافاصله بعد از آبیاری و یا بارش افزایش می‌یابد و در روزهایی که سطح زمین خیس نیست به صفر میل می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد نوسانات ضریب گیاهی دو جزئی واقعی تابع تعداد و مقدار رخدادهای بارش و آبیاری است. مقادیر آبیاری بر 60 و مقادیر بارش بر 10 تقسیم شده است. مقدار ضریب گیاهی واقعی بعد از رویداد آبیاری یا بارش به نقاط پیک خود می‌رسد، زیرا آب قابل دسترس برای جذب توسط ریشه گیاه



شکل 5- تغییرات ضریب گیاهی واقعی، ضریب گیاهی پایه و ضریب تبخیر از خاک در طی فصل رشد گندم



شکل 6- مقدار کل آب قابل دسترس خاک و مقدار آب آسان وصول خاک و میزان تخلیه آب از خاک به همراه مقادیر آبیاری و بارش

پخشیدگی انتقال بخار آب از خاک به اتمسفر را افزایش می‌دهد (Hammel, 1996; Flury et al., 2009) و با کاهش مقدار انرژی قابل دریافت در سطح خاک و با افزایش میزان ضریب بازتاب (آلبیدو) مقدار تبخیر از خاک را کاهش می‌دهد.

بنابراین با مدیریت بهینه پوشش بقایای گیاهی، می‌توان سهم قابل توجهی از میزان تبخیر از سطح خاک را کاست. پوشش بقایای گیاهی بر سطح خاک (مالچ آلی) به غیر از فرآیند **نگهداشت** باران، سطح خاک را از تابش و انرژی همرفتی عایق می‌سازد و مقاومت

جدول 6- مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت پوشش بقایای سطحی

چگالی (kg m^{-2})	تبخیر (mm)	تعرق (mm)	ET (mm)	E/ET (mm)	آب صرفه‌جویی شده (mm)	مقدار کاهش تبخیر (%)
0/2	82/9	494/6	577/6	14/4	24/8	4/1
0/3	75/0	501/0	576/0	13/0	32/7	5/4
0/4	66/6	507/6	574/2	11/6	41/1	6/8
0/5	57/5	514/6	572/1	10/0	50/2	8/4
0/6	48/8	522/5	571/3	8/5	58/9	9/9

نتیجه‌گیری

برای استفاده بهینه و پایا از منابع آب محدود، داشتن درکی عمیق از چگونگی واکنش تبخیر-تعرق گیاهان نسبت به عملیات مدیریتی ضروری می‌باشد. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل آبیاری SIMDualKc نشان داد که این مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی بیلان آب در خاک در منطقه خشک و نیمه‌بیابانی دشت ورامین دارد. بنابراین کاربرد مدل آبیاری SIMDualKc در مناطق خشک و نیمه-خشک مطلوب به نظر می‌رسد. از طریق واسنجی درست مدل SIMDualKc با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌توان ضرایب گیاهی و پارامترهای مهم مدل را برآورد نمود. با مجموعه‌ای از ضرایب گیاهی و پارامترهای تبخیری نسبتاً دقیق می‌توان آب قابل دسترس گیاه و تخلیه رطوبتی را با دقتی بالا پیش‌بینی نمود. مدل SIMDualKc روش برآورد Etc مشابه با روش ضریب گیاهی دو جزئی ارائه شده در نشریه FAO-56 را بکار برد، بنابراین مدل مذکور می‌تواند به عنوان ابزار موثر و کارایی در مقایسه مقادیر استاندارد FAO-56 با سایر گزینه‌ها باشد. نتایج صحت‌سنجی مدل قابلیت بالای مدل را در تخمین آب قابل دسترس گیاه گندم را ثابت نمود. با مدیریت بقایای گیاهی می‌توان نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق را کاهش داد.

منابع

- Engineering. 131: 2–13.
- Amatya, D.M., Skaggs, R.W., Gregory, J.D. 1995. Comparison of methods for estimating reference ET. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 121: 427–435.
- Bond, J.J., Willis, W.O. 1970. Soil water evaporation: first stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Soil Science Society of America Journal*. 34: 110–114.
- Cancela, J.J., Fandino, M., Rey, B.J., Martinez, E.M. 2015. Automatic irrigation system based on dual crop coefficient, soil and plant water status for *Vitis vinifera* (Godello and cv Mencia). *Agricultural Water Management*. 151: 52–63.
- Choudhury, B.J., Monteith, J.L. 1988. A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surfaces. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 114: 373–398.
- FAO-56. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO-56. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Flury, M., Mathison, J.B., Wu, J.Q., Schillinger, W.F., Stockle, C.O., 2009. Water vapor diffusion through wheat straw residue. *Soil Science Society of America Journal*. 73, 37–45.
- Gardioli, J.M., Serio, L.A., Maggiora, A.I.D. 2003. Modelling evapotranspiration of corn (*Zea mays*) under different plant densities. *Journal of Hydrology*. 271, 188–196.
- Guan, H., Wilson, J.L. 2009. A hybrid dual source model for potential evapotranspiration partitioning. *J. Hydrol.* 377, 405–416.
- Hammel, J.E., 1996. Water conservation practices for sustainable dryland farming systems in the Pacific Northwest. *American Journal of Alternative Agriculture*. 11: 2–3.
- Hatfield, J.L. 1990. Methods of estimating evapotranspiration. In: Stewart, B.A., Nielsen, D.R. (Eds.). *Irrigation of Agricultural Crops*. *Agronomy Monograph*. 30. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI: 435–474.
- Heilman, J.L., McInnes, K.J., Gesch, R.W., Lascano, R.J. 1992. Evaporation from ridge-tilled soil covered with herbicide-killed winter wheat. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 1278–1286.
- علیزاده، ا. 1390. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و یکم، انتشارات آستان قدس رضوی: 432.
- مجنون‌هی هریس، ا.، زندپارسا، ش.، سپاسخواه، ع. و کامگار حقیقی، ع. 1386. ارزیابی مدل MSM جهت پیش‌بینی تبخیر-تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش‌های پیشنهادی فائو 56. *مجله علوم آب و خاک*. 11. 41: 29–42.
- Adams, J.E. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion, and soil moisture depletion. *Soil Science Society of America Journal*. 30: 110–114.
- Allen, R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology*. 229: 27–41.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L. 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage*

- crop coefficient for estimating soybean actual evapotranspiration. *Agricultural Water Management*. 104: 221–234.
- Paço, T.A., Pôças, I., Cunha, M., Silvestre, J.C., Santos, F.L., Paredes, P., Pereira, L.S. 2014. Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations. *Journal of Hydrology*. 519: 2067–2080.
- Pansu, M., Gautheyrou, J. 2006. *Handbook of Soil Analysis*. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Paredes, P., Rodrigues, C.C., Alves, I., Pereira, L.S. 2014. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agricultural Water Management*. 135: 27–39.
- Qiu, R., Du, T., Kang, S., Chen, R., Wu, L. 2015. Assessing the SIMDualKc model for estimating evapotranspiration of hot pepper grown in a solar greenhouse in Northwest China. *Agricultural Systems*. 138: 1–9.
- Ren, D., Xu, X., Hao, Y., Huang, G. 2015. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and watermelon. *Journal of Hydrology*. 532: 122–139.
- Rockström, J. and de Rouw, A.R. 1997. Water, nutrients and slope water, nutrients and slope position in on-farm pearl millet cultivation in the Sahel. *Plant Soil*. 195: 311–327.
- Rosa, R.D., Paredes, P., Rodrigues, G.C., Alves, I., Fernando, R.M., Pereira, L.S., Allen, R.G. 2012b. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. *Agricultural Water Management*. 103: 8–24.
- Rosa, R.D., Paredes, P., Rodrigues, G.C., Fernando, R.M., Alves, I., Pereira, L.S., Allen, R.G. 2012a. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 2. Model testing. *Agricultural Water Management*. 103: 62–77.
- Russel, J.C. 1939. The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. *Proceedings. Soil Science Society of America*. 4: 65–70.
- Shengwei, Z., Rui, S., Hongbin, Z., Tingxi, L., Hongbo, S., Zichang, Z. 2015. Correlating between evapotranspiration and precipitation provides insights into Xilingol grassland eco-engineering at larger scale. *Ecological Engineering*. 84: 100–103.
- ShiZhang, P., JiaLi, D., Zhi, M., JunZheng, X., DaoXi, L. Irmak, S., Istanbuloglu, E., Irmak, A., 2008. An evaluation of evapotranspiration model complexity against performance in comparison with Bowen ratio energy balance measurements. *Transactions of the American Society And Biological Engineers*. 51: 1295–1310.
- Jensen, M.E., Wright, J.L., Pratt, B.J. 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop, and soil data. *Transactions of the American Society And Biological Engineers* 14: 954–959.
- Klocke, N.L., Currie, R.S., Aiken, R.M. 2009. Soil water evaporation and crop residues. *Transactions of the American Society And Biological Engineers*. 52: 103–110.
- Kustas, W.P., Norman, J.M. 1999. Evaluation of soil and vegetation heat flux prediction using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. *Agricultural and Forest Meteorology*. 94: 13–29.
- Lagos, L.O., Martin, D.L., Verma, S.B., Suyker, A., Irmak, S. 2009. Surface energy balance model of transpiration from variable canopy cover and evaporation from residue-covered or bare-soil systems. *Irrigation science*. 28: 51–64.
- Liu, Y., Pereira, L.S., 2000. Validation of FAO methods for estimating crop coefficients. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 16 (5), 26–30 (in Chinese).
- Lopez-Urrea, R., Olalla, F.M., Fabeiro, C., Moratalla, A. 2006. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. *Agricultural Water Management*. 86.3: 277–282.
- Montazar, A.A., mohseni, M. 2011. Influence of Supplemental Irrigation and Applied Nitrogen on Wheat Water Productivity and Yields. *Journal of Agricultural Science*. 3: 78–90.
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and the environment. *Proceedings Symposium of the Society for Experimental Biology*. 19: 205–234.
- Moody, J.E., Jones Jr., J.N., Lillard, J.H. 1963. Influence of straw mulch on soil moisture, soil temperature, and the growth of corn. *Soil Science Society of America Journal*. 27: 700–703.
- Norman, J.M., Kustas, W.P., Humes, K.S. 1995. A two-source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes from observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 77: 263–293.
- Odhiambo, L.O., Irmak, S. 2012. Evaluation of the impact of surface residue cover on single and dual

- 938-942.
- Van Wijk, W.R., Vries, D.A. 1954. Evapotranspiration. *Netherlands Journal of Agricultural science*. 2: 105-119.
- Ventura, F., Spano, D., Duce, P., Snyder, R.L. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. *Irrigation Science*. 18: 163-170.
- Wilcox, L.V., 1948. The quality of water for irrigation use. *US Department of Agriculture Technology Bulletin* 49: 962.
- Wright, J.L. 1981. Crop coefficients for estimates of daily crop evapotranspiration. In: *Irrigation Scheduling for Water and conservation in the 80s*. Proceedings, irrigation scheduling conference, Chicago, Illinois, Dec. 14-15, 1981. ASAE publication 23-31, American Society of Agricultural Engineers, 1981. 231 pp.
- Wright, J.L., 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*. 108.1: 57-74.
- Wright, J.L., Jensen, M.E. 1978. Development and evaluation of evapotranspiration models for irrigation scheduling. *Transactions of the American society of agricultural and biological engineers*. 21.1: 88-96.
- Yoder, R.E., Odhiambo, L.O., Wright, W.C. 2005. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid southeast of USA. *Applied Engineering in Agriculture*. 21.2: 197-202.
- Zhao, C., Nan, Z. 2007. Estimating water needs of maize (*Zea mays* L.) using the dual crop coefficient method in the arid region of northwestern China. *African Journal of Agricultural Research*. 2.7: 325-333.
- Zhao, N., Liu, Y., Cai, J., Paredes, P., Rosa, R.D., Pereira, L.S. 2013. Dual crop coefficient modelling applied to the winter wheat-summer maize crop sequence in North China Plain: Basal crop coefficients and soil evaporation component. *Agricultural Water Management*. 117: 93-105.
2007. Estimation and verification of crop coefficient for water saving irrigation of late rice using the FAO-56 method. *Transactions from the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 23.7: 30-34.
- Shuttleworth, W.J., Gurney, R. 1990. The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 116: 497-519.
- Shuttleworth, W.J., Wallace, J.S. 1985. Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 111: 839-855.
- Steiner, J.N. 1989. Tillage and surface residue effects on evaporation from soils. *Soil Science Society of America Journal*. 53.4: 911-916.
- Stockle, C.O., Nelson, R. 1999. *ClimGen, A Weather Generator Program*. Biological Systems Engineering Department Washington State University, Pullman, WA.
- Stockle, C.O., Nelson, R., Donatelli, M., Castellvi, F. 2001. *ClimGen: a flexible weather generation program*. In: *Proceedings of the Second International Symposium on Modelling Cropping Systems*, July 16-18, 2001, Florence, Italy, pp. 229-230.
- Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., Frame, K. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 131.1: 73-84.
- Todd, R.W., Klocke, N.L., Hergert, G.W., Parkhurst, A.M. 1991. Evaporation from soil influenced by crop shading, crop residue, and wetting regime. *Transactions of the American society of agricultural and biological engineers*. 34.2: 461-466.
- Tolk, J.A., Howell, T.A. 2001. Measured and simulated evapotranspiration of grain sorghum grown with full and limited irrigation in three high plains soils. *Transactions of the American society of agricultural and biological engineers*. 44.6: 1553-1558.
- Unger, P.W., Parker, J.J. 1976. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues. *Soil Science Society of America Journal*. 40 .6:

Evaluation of Various Surface Residue Cover Managements Effect on Actual ET Estimation Using SIMDualKc Crop Model

S. Ashaeri^{1*}, T. Sohrabi², A.A. Montazar³
Received: Feb.17, 2016 Accepted: Dec.04, 2016

Abstract

The objective of this study was to evaluate SIMDualKc crop model and then simulating different scenarios of surface residue cover. This model estimates evapotranspiration with dual crop coefficient approach. Therefore, that enables investigation of various mulch effects on evapotranspiration amount. Five management scenarios (organic mulch with densities of 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6) were simulated with SIMDualKc crop model during the 2001 and 2002 growing seasons. SIMDualKc model calibration and validation was performed with the results of 2 years data obtained from wheat field experiments located in Aboreihan University College of Tehran University. Then, climate, soil, crop and irrigation management data were inserted into model. The model estimated soil available water with model efficiency (EF) of 0.902 and calculating the following evaluation criteria: RMSE=1.34 mm, absolute error = 0.955 mm and mean relative error = 4.67 %.with lack of required data for calibration, using FAO-56 standard crop and soil evaporative parameters resulted in reasonable accuracy. Various scenarios of crop residue mulch simulation results showed that with increase of organic mulch density, the ratio of evaporation to evapotranspiration (E/ET) decreased and transpiration rate increased. While ratio of E/ET was 18% w/o crop residue mulch, by applying organic mulch with density of 0.6 Kg/m² decreased to 8%.

Keywords: Crop model, Evapotranspiration, Mulch, SIMDualKc, Surface residue

1- ph.D Student, Department of Irrigation and Remediation Engineering College of Agriculture & Natural Resource, University of Tehran

2- Professor, Department of Irrigation and Remediation Engineering College of Agriculture & Natural Resource, University of Tehran

3 - Researcher, Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, CA 95616-8627, USA
(*-Corresponding Author Email: ashaeri@ut.ac.ir)