نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۳، ص. ۴۹۱-۴۸۱

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 3, Jul.-Agu. 2014, p. 481-491

ارزیابی مدل فائو برای پیش‌بینی عملکرد محصول، بیلان آب و املاح تحت تنشهای محیطی (مطالعه موردی گندم زمستانه)

وحید رضاوردی‌نژاد[1*]- محمد همتی[2]- حجت احمدی[3]- علی شهیدی[4]- بهنام آبابایی[5]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۱/۲۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۴/۲

چکیده

در این مطالعه مدل اگروهیدرولوژیکی فائو به منظور پیش‌بینی عملکرد محصول، بیلان آب و املاح خاک، با استفاده از داده‌های میدانی محصول گندم زمستانه، تحت تنش‌های آبی و شوری بررسی و ارزیابی گردید. برای این منظور آزمایش‌های مزرعه‌ای با سه سطح شوری آب آبیاری شامل: S_1، S_2 و S_3، به ترتیب ۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر و چهار سطح عمق آبیاری شامل: I_1، I_2، I_3 و I_4، به ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی دو رقم گندم شامل روشن و قدس، با سه تکرار، در مزرعه آزمایشی دانشگاه بیرجند، طی سال ۸۵-۱۳۸۴ انجام گردید. بر اساس نتایج، متوسط خطای نسبی مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه برای ارقام روشن و قدس، به ترتیب ۹/۲ و ۲۶/۱ درصد به دست آمد. بیشترین خطای مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه، در هر دو رقم قدس و روشن، برای تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 به دست آمد. خطای نسبی پیش‌بینی عملکرد رقم روشن، برای تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 به ترتیب ۲۰، ۲۸/۱ و ۲۶/۶ درصد و رقم قدس به ترتیب ۶۱، ۹۴/۵ و ۹۹/۹ درصد به دست آمد که نشان دهنده خطای بیش برآورد قابل ملاحظه مدل، تحت تنش شدید کم آبی می‌باشد. متوسط خطای نسبی مدل در پیش‌بینی مقدار تخلیه آب خاک، برای ۱۲ تیمار مختلف برابر ۷/۱ درصد و در پیش‌بینی شوری عصاره اشباع خاک برابر ۵/۸ درصد به دست آمد که نشان دهنده تخمین نسبتاً دقیق مدل در پیش‌بینی مقدار رطوبت و شوری خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تعرق، تنش شوری، تنش آبی، مدل شبیه‌سازی

مقدمه

تنش‌های محیطی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود داشته و در این مناطق، کمبود آب همراه با افزایش شوری می‌باشد. زارعین می‌بایست در این شرایط و محدودیت‌ها، تصمیمات مدیریتی لازم را جهت حصول حداکثر سود و بهره‌وری آب اتخاذ کنند. توسعه و ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی در این زمینه، راهکارهای لازم برای زارعین، سیاست‌گذاران و بهره‌برداران، جهت رسیدن به حداکثر تولید را نشان می‌دهد. یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی آبیاری، تابع تولید می‌باشد که یک رابطه کمی ریاضی بین عملکرد محصول و عوامل تولید بوده که در واقع نرخ تبدیل عوامل تولید به عملکرد را مشخص می‌کند. در مناطق خشک و نیمه خشک، مقدار آب آبیاری و شوری آن از تأثیرگذارترین عوامل بر عملکرد محصول می‌باشد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاه از ابزارهای مفید برای پیش‌بینی عملکرد محصول تحت کمیت و کیفیتهای مختلف آب آبیاری می‌باشد (۱۱). در چند دهه اخیر مدل‌های مختلفی به منظور شبیه‌سازی رشد گیاه، حرکت و انتقال آب و املاح در خاک توسط محققین مختلف ارائه شده است. از جمله‌ی این مدل‌ها، می‌توان به SWAP، DRAINMOD، WOFOST، CropSyst، CERES، CropWAT، Budget، AquaCrop و CRPSM اشاره کرد که هر کدام ممکن است به جهاتی مزیتهایی نیز نسبت به هم داشته باشند (۴، ۵، ۷، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و۱۶). SWAP یکی از مدل‌های جامع و اگروهیدرولوژیکی در این زمینه بوده و برای بررسی و شبیه‌سازی عملکرد، انتقال آب، املاح و گرما در محیط اشباع و غیر اشباع خاک بکار می‌رود (۷ و ۱۷). CropSyst یک مدل جامع دیگر به منظور مدل‌سازی آب، خاک، گیاه و اتمسفر و با در نظر گرفتن گزینه‌های

۱، ۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: verdinejad@gmail.com)
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۵- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران

Archive of SID
www.SID.ir

مختلف مدیریت زراعی و واکنش محصول به کودهای مصرفی و تنش‌های محیطی شوری و آبی می‌باشد (۱۵). مدل جامع دیگر در زمینه شبیه‌سازی روابط آب و خاک و گیاه، با توجه خاص به مسائل زهکشی، مدل اگروهیدرولوژیکی DRAINMOD می‌باشد که توسط اسکگز و همکاران (۱۶) توسعه داده شده است. بزرگترین محدودیت این مدل‌ها، وروی‌های زیاد، فقدان داده‌های ورودی قابل اعتماد برای کاربردهای عملی این مدل‌ها و نیز نبود قاعده‌ای مشخص به منظور واسنجی آنها می‌باشد (۱۲ و ۱۳). لذا برای اینکه نتایج قابل قبولی از این مدل‌ها به دست آید، نیاز به آزمایشات مزرعه‌ای و میدانی دقیق و جامع می‌باشد. از محدودیتهای کاربرد این مدلها، تنوع و کثرت داده‌های ورودی آنها می‌باشد. هدف از این تحقیق، ارزیابی عملکرد مدل فائو جهت پیش‌بینی عملکرد محصول، حرکت آب و انتقال املاح در نیمرخ خاک در شرایط تنش‌های آبی و شوری می‌باشد. برای این منظور آزمایش‌های مزرعه‌ای بر روی دو رقم گندم زمستانه تحت سطوح مختلف عمق و شوری آب آبیاری انجام گردید.

تشریح مدل

تبخیر و تعرق واقعی گیاه

بر اساس رابطه پیشنهادی آلن و همکاران (۶)، تبخیر و تعرق واقعی روزانه گیاه تحت تنش آبی را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد:

$$ET_{c-adj} = K_s K_c ET_o \qquad (۱)$$

که در آن $ET_{c\text{-}adj}$ تبخیر و تعرق اصلاح شده گیاه، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع، K_c ضریب گیاهی و K_s ضریب اصلاحی مربوط به تنش آبی می‌باشند. یک روش مناسب و استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش فائو–پنمن–مانتیت بوده که مقادیر ضرایب گیاهی توسط درونباس و پروت و برای مراحل مختلف رشد گیاهان، استخراج شده است. در صورتی که این ضرایب برای منطقه مورد مطالعه استخراج شده باشد، می‌توان از آنها استفاده کرد. ضریب تنش آبی توسط رابطه زیر قابل محاسبه است (۶):

$$K_s = \frac{W_{TA} - D_r}{(1-p)W_{TA}} \qquad (۲)$$

که در آن K_s ضریب مربوط به تنش آب و در شرایط غیرشور $(0 \le K_s \le 1)$، D_r مقدار تخلیه رطوبت از منطقه توسعه ریشه (mm)، W_{TA} کل آب موجود در منطقه توسعه ریشه (mm)، W_{TA} کل آب در دسترس در ناحیه‌ی ریشه (mm)، p جزئی از W_{TA} که گیاه می‌تواند در شرایط استاندارد و بدون آنکه تحت تنش قرار گیرد، جذب کند $(0 < p < 1)$ و مقدار آن متأثر از تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه می‌باشد که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (۶):

$$p = p_t + 0.04(5 - ET_c) \qquad (۳)$$

که در آن p_t مقدار استاندارد p در تبخیر و تعرق برابر با ۵ میلی‌متر در روز و ET_c تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه می‌باشند.

کل آب در دسترس در ناحیه‌ی ریشه توسط رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_{TA} = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) z_r \qquad (۴)$$

که در آن θ_{fc} و θ_{pwp} رطوبت در ظرفیت مزرعه و پژمردگی دایم (cm^3cm^{-3}) و z_r عمق ریشه (mm) می‌باشند. عمق توسعه ریشه طی دوره‌ی رشد را می‌توان از رابطه‌ی زیر تخمین زد (۱):

$$z_r = z_{rm}\left[0.51 + 0.51\sin(3.03\frac{D_{AP}}{D_{TM}} - 1.47)\right] \qquad (۵)$$

که در آن z_{rm} حداکثر عمق توسعه ریشه (mm)، D_{AP} زمان پس از کاشت (day) و D_{TM} زمان از کاشت تا رسیدن به حداکثر عمق توسعه ریشه (day) می‌باشند.

اثر شوری بر ضریب تنش آبی

در شرایط غیرشور، با استفاده از رابطه استیوارت و همکاران، تأثیر تنش آبی بر کاهش عملکرد محصول محاسبه می‌گردد:

$$(1 - \frac{y_a}{y_{max}}) = k_y(1 - \frac{ET_{c-adj}}{ET_c}) \qquad (۶)$$

که در آن y_a و y_{max} عملکرد واقعی و حداکثر محصول $(kgha^{-1})$ به ترتیب برای تبخیر و تعرق واقعی $(ET_{c\text{-}adj})$ و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_c) و k_y فاکتور کاهش عملکرد بخاطر تنش آبی می‌باشند. در شرایط بدون تنش آبی، تأثیر تنش شوری بر عملکرد را می‌توان از رابطه‌ی اصلاح شده مس و هافمن تخمین زد (۱۴):

$$\frac{y_a}{y_{th}} = 1 + (a-1)\frac{\sigma_e}{\sigma_{e,th}} \quad \text{for} \quad \sigma_e < \sigma_{e,th} \qquad (۷)$$

$$\frac{y_a}{y_{th}} = a - (\sigma_e - \sigma_{e,th})\frac{b}{100} \quad \text{for} \quad \sigma_e > \sigma_{e,th} \qquad (۸)$$

که در آن y_{th} عملکرد در شوری حد آستانه خاک $(kgha^{-1})$، σ_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dSm^{-1})، $\sigma_{e,th}$ مقدار آستانه‌ی σ_e (dSm^{-1})، b ضریب کاهش عملکرد به ازای افزایش یک واحد شوری عصاره اشباع خاک $[\%/(dSm^{-1})]$ و a ضریب ثابت می‌باشند. مقدار ضریب a برای برخی محصولات از قبیل چغندرقند، بزرگتر از یک و برای بیشتر محصولات برابر یک می‌باشد. تحت شرایط تنش شوری و آبی به طور توأم، ضریب تنش آبی– شوری خاک (k_{ss}) توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) ارائه گردید و اصلاح شده‌ی آن به صورت روابط زیر می‌باشد (۱۴):

$$k_{ss} = 1 + (a-1)\frac{\sigma_e}{k_y \sigma_{e,th}} \qquad (۹)$$

$$\text{for} \quad \sigma_e < \sigma_{e,th} \quad \& \quad D_r < (p)W_{TA}$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$k_{ss} = \left[1 + (a-1)\frac{\sigma_e}{k_y \sigma_{e,th}}\right] \times \left[\frac{(W_{TA} - D_r)}{(1-p)W_{TA}}\right] \quad (۱۰)$$
$$\text{for} \quad \sigma_e < \sigma_{e,th} \quad \& \quad D_r > (p)W_{TA}$$

$$k_{ss} = 1 + \frac{(a-1)}{k_y} - \frac{b(\sigma_e - \sigma_{e,th})}{100\,k_y} \quad (۱۱)$$
$$\text{for} \quad \sigma_e > \sigma_{e,th} \quad \& \quad D_r < (p)W_{TA}$$

$$k_{ss} = \left[1 + \frac{(a-1)}{k_y} - \frac{b(\sigma_e - \sigma_{e,th})}{100 k_y}\right] \times \left[\frac{(W_{TA} - D_r)}{(1-p)W_{TA}}\right] \quad (۱۲)$$
$$\text{for} \quad \sigma_e > \sigma_{e,th} \quad \& \quad D_r > (p)W_{TA}$$

برای تخمین میزان عملکرد، نیاز به هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (σ_e) می‌باشد.

بیلان آب خاک در مقیاس ماکرسکوپی

معادله بیلان آب در خاک به منظور تخمین مقدار تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه در هر لحظه طی دوره رشد محصول (D_r) و در مقیاس مزرعه، به صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد (۶ و ۱۴):

$$D_{r,t+1} = D_{r,t} - I_t - P_t + RO_t + ET_{c-adj,t} + DP_t - CR_t - \frac{(W_{TA,t} - D_{r,t})}{z_{r,t}}(z_{r,t+1} - z_{r,t}) \quad (۱۳)$$

که در آن D_r میزان تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه ($0 \le D_r \le W_{TA}$)، P (mm) بارندگی (mm)، RO رواناب سطحی (mm)، I عمق آب آبیاری (mm)، CR صعود مویینه‌ای (mm)، ET_{c-adj} تبخیر و تعرق واقعی (mm) و DP نفوذ عمقی (mm) می‌باشند. اندیس‌های t و t+1 به ترتیب نشان دهنده ابتدا و انتهای دوره می‌باشند. در صورتی که طول هر دوره به اندازه‌ای باشد که تغییرات عمق ریشه طی ابتدا و انتهای دوره، قابل اغماض باشد؛ مقدار $z_{r,t+1} - z_{r,t}$ برابر صفر خواهد بود. همچنین زمانی که رطوبت حجمی کمتر از حد ظرفیت مزرعه باشد، نفوذ عمقی قابل اغماض است. با فرض t برابر یک روز، مقدار تخلیه برای هر روز استخراج می‌گردد. مقدار CR_t بستگی به عمق سطح ایستابی داشته و برای سطح ایستابی عمیق، قابل اغماض است (۶ و ۱۴).

بیلان املاح در خاک در مقیاس ماکرسکوپی

برای هر دوره زمانی t، معادله بیلان املاح خاک، به صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد (۶):

$$S_{t+1} = S_t + (I \times \sigma_I)_t + (P \times \sigma_P)_t - (DP \times \sigma_{DP})_t + (CR \times \sigma_{CR})_t \quad (۱۴)$$

که در آن S مقدار متوسط املاح در عمق توسعه ریشه (mg)، σ_I، σ_{DP}، σ_P و σ_{CR} به ترتیب شوری آب آبیاری، نفوذ عمقی، باران و صعود مویینه‌ای می‌باشند. اندیس‌های t و t+1 به ترتیب نشان دهنده ابتدا و انتهای دوره می‌باشند. رابطه فوق را در عمق توسعه ریشه، می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$(\sigma_{e,t+1})z_{r,t+1}S_P = (\sigma_{e,t})z_{r,t}S_P + \sigma_{I,t}I_t + \sigma_{P,t}P_t - \sigma_{DP,t}DP_t \quad (۱۵)$$

که در آن S_P رطوبت خاک در حد اشباع (cm^3cm^{-3}) می‌باشد.

تخمین شوری آب نفوذ عمقی مشکل بوده، لذا از روابط تجربی برای این منظور استفاده می‌شود:

$$\sigma_{DP,t} = 2f\sigma_{e,t} + (1-f)\sigma_{I,t} \quad (۱۶)$$

که در آن f بازده آبشویی می‌باشد. نفوذ عمقی در شرایط رطوبت بیش از ظرفیت زراعی، اتفاق می‌افتد (۱۴).

فرضیاتی که در این مدل بکار گرفته شده‌اند، عبارتند از: یکنواخت فرض کردن بافت خاک در هر لایه، ناچیز فرض نمودن صعود مویینه‌ای به دلیل عمیق بودن سطح آب زیرزمینی، صفر فرض کردن رواناب سطحی در نتیجه آبیاری یا بارندگی به دلیل بسته بودن انتهای کرت‌ها، عدم تأثیر تنش شوری یا خشکی بر طول دوره مراحل مختلف رشد گیاه و عمق ریشه، زهکشی آزاد در شرایط رطوبت بیش از ظرفیت زراعی، یکسان فرض نمودن پارامترهای گیاه از قبیل فاکتور کاهش عملکرد، پارامترهای حساسیت گیاه به شوری و ضریب گیاهی برای هر دو رقم گندم.

مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد نیاز به منظور واسنجی مدل از طرح تحقیقاتی شهیدی و همکاران گرفته شد. در طرح مذکور اثر برهم‌کنش شوری و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در منطقه بیرجند بررسی گردید که در ادامه جزئیات آزمایش مزرعه‌ای ارایه می‌شود. آزمایشات مزرعه‌ای بر روی گندم (ارقام روشن و قدس) و به صورت فاکتوریل با سه سطح شوری آب آبیاری (S_1، S_2 و S_3 به ترتیب ۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان کرتهای اصلی و چهار سطح آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4 به ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرتهای فرعی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند طی سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ انجام شد. به منظور حصول یکنواختی در اعمال شوری، از روش آبیاری سطحی استفاده گردید. ابعاد کرت‌ها ۴×۳ (متر در متر)، فاصله کرت‌های فرعی برابر ۵۰ سانتیمتر و فاصله‌ی کرت‌های اصلی ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ۱۰ ردیف کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر طوری کاشته شد که تراکم معمول ۴۰۰ بوته در متر مربع حاصل شود. پارامترهایی که طی انجام آزمایش در این تحقیق اندازه‌گیری و یا جمع‌آوری گردید، مطابق جدول ۱ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده طی انجام آزمایش و دفعات اندازه‌گیری یا نمونه‌برداری

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری	دفعات اندازه‌گیری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
شوری عصاره اشباع خاک	هدایت سنج مدل کانسورت ۶۲۰	قبل از آبیاری و قبل از کاشت- ۵ عمق
رطوبت خاک	نمونه‌برداری وزنی	قبل از آبیاری و قبل از کاشت- ۵ عمق
عمق آبیاری	کنتور حجمی	هر آبیاری
شوری آب آبیاری	هدایت سنج مدل کانسورت ۶۲۰	هر آبیاری
رطوبت FC و PWP	دستگاه صفحات فشاری	یکبار
اطلاعات هواشناسی	ایستگاه هواشناسی	روزانه
ضرایب گیاهی	فائو ۵۶	-
فاکتور کاهش عملکرد محصول	فائو ۵۶	-
پارامترهای حساسیت گیاه به شوری	فائو ۵۶	-
رطوبت خاک در حد اشباع	روش گل اشباع	یکبار
عمق ریشه	مشاهده مزرعه‌ای	۲ بار
عملکرد محصول	نمونه‌برداری مزرعه‌ای	یکبار

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش قبل از کاشت گیاه، از سه عمق خاک نمونه‌برداری انجام گرفت که نتایج آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. تجزیه شیمیایی آب چاه‌های مزرعه تحقیقاتی نیز مطابق جدول ۳ می‌باشد. پارامترهای گیاهی که مدل استفاده گردید، مطابق جدول ۴ می‌باشد که براساس نشریه ۵۶ فائو و برای گندم زمستانه استخراج گردیده است. براساس طول دوره چهار مرحله رشد و با ترسیم منحنی ضریب گیاهی براساس سه نقطه مشخص شامل ضریب گیاهی مرحله اولیه (Kc_{ini})، مرحله میانی (Kc_{mid}) و مرحله انتهایی (Kc_{end})، ضریب گیاهی روزانه محصول استخراج گردید. ارقام ضرایب گیاهی جدول ۴، مقادیر تیپ بوده و مربوط به مناطق نیمه مرطوبی است که متوسط رطوبت نسبی حداقل روزانه ۴۵ درصد و سرعت باد ۲ متر در ثانیه می‌باشد. در مواقعی که متوسط حداقل رطوبت نسبی هوا متفاوت از ۴۵ درصد یا اینکه سرعت متوسط روزانه باد بیشتر یا کمتر از ۲ متر در ثانیه بود، در ضرایب میانی و انتهایی، اصلاحات زیر انجام گردید (۲، ۳ و ۶):

$$K_{cmid} = K_{cmid(tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۱۷)$$

$$K_{cend} = K_{cend(Tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۱۸)$$

که در آن $Kc_{mid(tab)}$ و $Kc_{end(tab)}$ ضرایب میانی و انتهایی از جدول۴، u_2 متوسط سرعت باد روزانه در دو متری (ms^{-1})، RH_{min} متوسط حداقل رطوبت نسبی روزانه (درصد) و h متوسط ارتفاع گیاه (m) طی مراحل میانی و انتهایی می‌باشد (۶).

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌ی آزمایشی

عمق خاک (cm)	بافت خاک	رطوبت اولیه (cm^3cm^{-3})	شوری عصاره اشباع اولیه (dS/m)	چگالی ظاهری (gcm^{-3})	SAR	FC (cm^3cm^{-3})	PWP (cm^3cm^{-3})	pH
۰-۳۰	C-L	۰/۱۴	۲/۱	۱/۵	۷/۴	۳۵/۲	۱۹/۳	۷/۶۱
۳۰-۶۰	Si-C-L	۰/۱۶	۲/۷	۱/۴۵	۸/۶	۳۲/۳	۱۸/۲	۷/۷۲
۶۰-۹۰	Si-C-L	۰/۱۶	۲/۹	۱/۳۹	۹/۷	۳۳/۳	۲۱/۳	۷/۷۸

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه‌های مزرعه تحقیقاتی

شماره چاه	EC (dS/m)	PH	SAR
۱	۱/۴	۸	۷/۴
۲	۴/۵	۷/۸	۸/۶
۳	۹/۶	۷/۷	۹/۷

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- پارامترهای گیاهی استفاده شده در مدل

پارامتر گیاه	مقدار
تاریخ کشت	۸۴/۸/۲۳
تاریخ برداشت	۸۵/۲/۲۸
ضریب آب سهل‌الوصول، p	۰/۵۵
عمق حداکثر ریشه، z_{rm} (متر)	۰/۶۵–۰/۷۵
حداکثر ارتفاع گیاه (متر)	۰/۹۵
فاکتور کاهش عملکرد، k_y	۱/۰۵
طول دوره رشد ابتدایی (روز)	۲۰
طول مرحله توسعه (روز)	۶۵
طول دوره رشد میانی (روز)	۷۰
طول دوره رسیدن (روز)	۳۱
ضریب گیاهی مرحله اول رشد	۰/۴
ضریب گیاهی مرحله توسعه	۱/۱۵
ضریب گیاهی مرحله رسیدن	۰/۴
شوری آستانه، $\sigma_{e,th}$ (dSm^{-1})	۶
ضریب کاهش عملکرد، b (dSm^{-1})	۷/۱
بازده آبشویی	۰/۶
ضریب ثابت a	۱

ساختار مدل

بر اساس داده‌های هواشناسی، تبخیر و تعرق پتانسیل مرجع برای هر روز، براساس روش فائو- پنمن- مانتیس و با استفاده از برنامه ETCalculator محاسبه شد. با رسم منحنی ضریب گیاهی، ضریب گیاهی برای هر روز استخراج و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه حساب گردید. در گام بعد براساس رابطه ۱۳، تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه برای هر روز با استفاده از K_{ss} و اجزای بیلان در روز قبل محاسبه گردید. متوسط املاح عمق توسعه ریشه برای هر روز و با استفاده از رابطه ۱۵، محاسبه شد و در نهایت با استفاده از رابطه‌ی ۶، عملکرد محصول پیش‌بینی گردید. شبیه‌سازی از روز اولین آبیاری (۲ روز پس از کاشت) تا روز برداشت انجام گرفت.

نتایج و بحث

پیش‌بینی بیلان آب در خاک

برای تیمارها و ارقام مختلف، اجزای بیلان آب خاک با استفاده از مدل فائو و برای هر روز محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مدل فائو بیلان آب خاک را با دقت بالا، پیش‌بینی می‌کند. براساس رطوبت‌های اندازه‌گیری شده‌ی تیمارهای مختلف در چندین مرحله طی دوره رشد محصول، مقدار تخلیه محاسبه گردید و با نتایج رابطه‌ی ۱۳، مورد مقایسه قرار گرفت. در اکثر تیمارهای تحت آزمایش تطابق قابل قبول بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده، مشاهده گردید. اجزای بیلان آب برای چهار تیمار S_1I_1، S_1I_2، S_1I_3 و S_1I_4 و رقم روشن، در شکل ۱ ارائه شده است.

مقادیر حداکثر و حداقل خطای پیش‌بینی مقدار تخلیه برای کل تیمارهای آزمایش، در جدول ۵ ارائه شده است. متوسط خطای نسبی کل تیمارها در پیش‌بینی مقدار تخلیه، ۷/۱ درصد محاسبه گردید. با توجه به جدول ۵، بیشترین متوسط خطای نسبی مربوط به S_3I_1 و برابر ۱۰/۱ درصد و حداقل متوسط خطای نسبی مربوط به S_1I_1 و برابر ۳/۱ درصد به دست آمد.

پیش‌بینی بیلان املاح در خاک

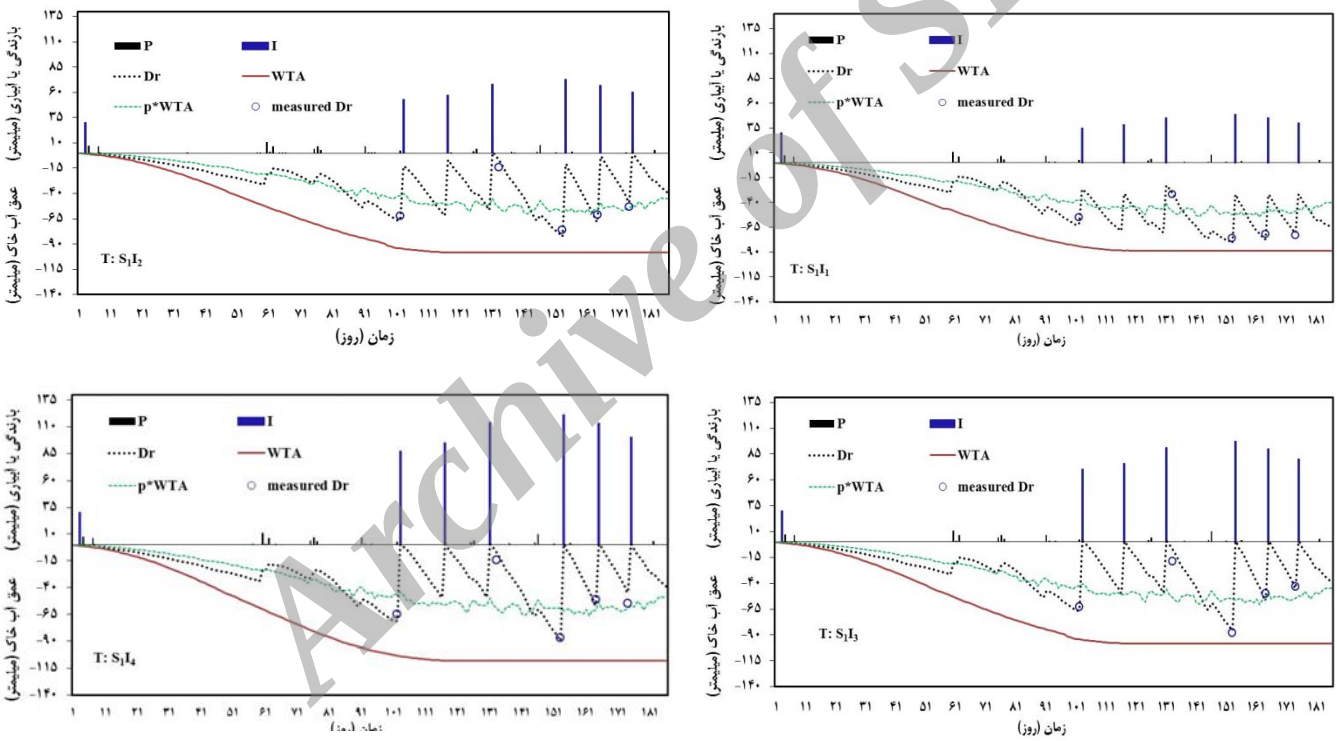
بیلان املاح در خاک با نمایه‌ی شوری عصاره اشباع خاک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای شرایط مرزی بالا، غلظت املاح باران صفر و برای شرایط اولیه، غلظت املاح خاک به عنوان تابعی از عمق نیمرخ خاک، در مدل منظور شد. رابطه‌ی ۱۵، شوری عصاره اشباع را در عمق توسعه‌ی ریشه، پیش‌بینی می‌کند. نمونه‌برداری از پنج عمق ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ سانتیمتر صورت گرفت و براساس عمق توسعه ریشه طی مراحل مختلف رشد، اعماق نمونه‌برداری به عمق توسعه‌ی ریشه تبدیل شد. شکل۲، مقادیر شوری عصاره اشباع خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده را برای محصول گندم طی دوره رشد و برای دو تیمار S_1I_1 و S_1I_2، رقم روشن نشان می‌دهد. براساس کل داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی شوری عصاره اشباع و مقادیر پیش-بینی شده شوری عصاره اشباع، تطابق مناسب بین آنها وجود داشته که در شکل ۳، این مقایسه ارائه شده است. مقدار میانگین خطای نسبی کل داده‌ها در پیش‌بینی شوری عصاره اشباع خاک برابر ۵/۸ درصد به دست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- مقادیر متوسط و حداکثر خطای پیش‌بینی مدل فائو در تخمین مقدار تخلیه در تیمارهای مختلف

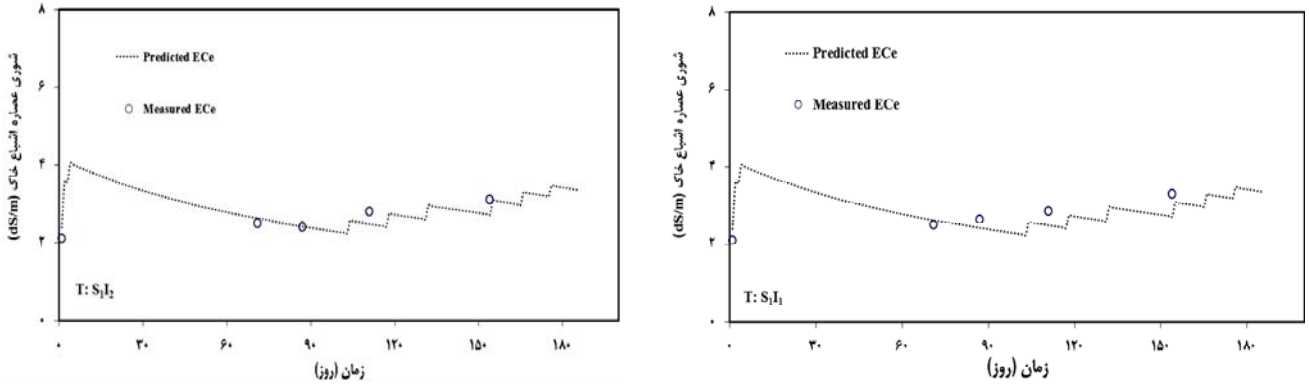
تیمار	حداکثر خطای مطلق (میلیمتر)	حداکثر خطای نسبی (درصد)	متوسط خطای نسبی (درصد)
S_1I_1	۳/۸	۶/۱	۳/۱
S_1I_2	۸/۸	۱۶/۶	۸/۵
S_1I_3	۸/۹	۱۷/۰	۸/۴
S_1I_4	۹/۸	۱۸/۰	۸/۶
S_2I_1	۵/۶	۱۰/۴	۴/۷
S_2I_2	۷/۷	۱۶/۱	۷/۴
S_2I_3	۵/۹	۱۱/۷	۶/۳
S_2I_4	۶/۴	۱۲/۴	۶/۹
S_3I_1	۶/۵	۱۹/۰	۱۰/۱
S_3I_2	۶/۷	۱۷/۲	۹/۱
S_3I_3	۶/۷	۱۱/۵	۶/۸
S_3I_4	۲/۴	۱۰/۱	۵/۲
متوسط	۶/۶	۱۳/۸	۷/۱



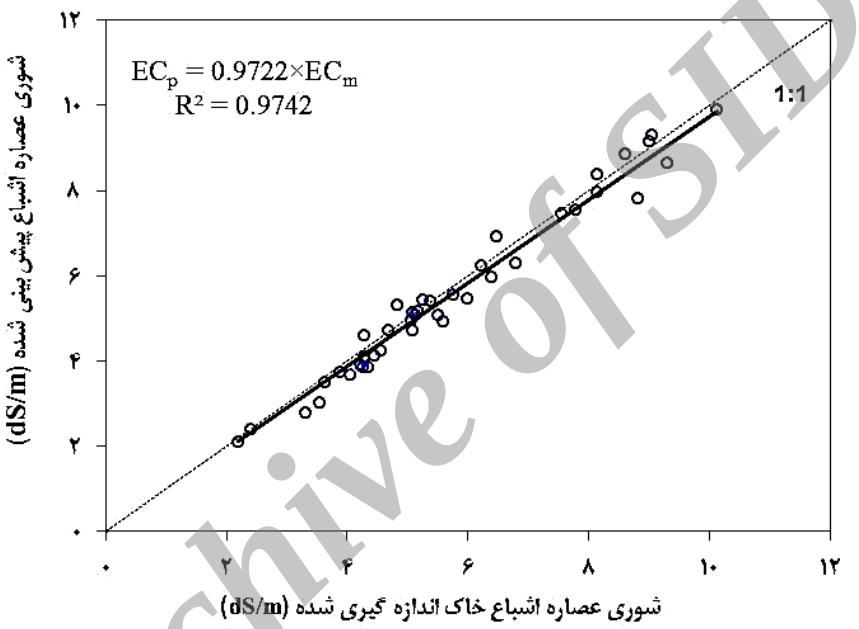
شکل ۱- اجزای بیلان آب شامل عمق آبیاری، بارش، کل آب قابل استفاده، آب سهل الوصول و مقادیر اندازه‌گیری شده تخلیه برای چهار تیمار S_1I_1، S_1I_2، S_1I_3 و S_1I_4 - رقم روشن

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- رابطه‌ی بین مقادیر شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی مدل برای تیمارهای S_1I_1 و S_1I_2 - رقم روشن



شکل ۳- مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری و پیش‌بینی مدل برای کل داده‌های آزمایش

پیش‌بینی عملکرد محصول

مدل فائو در پیش‌بینی عملکرد محصول، نتایج متفاوتی داد. تحت شرایط تنش آبی شدید (تیمارهای۵۰ درصد نیاز آبی)، مقادیر پیش‌بینی از مقادیر واقعی بزرگتر بوده و مدل فائو در این بازه و تحت کم‌آبی شدید، بیش برآورد نشان داد. در شرایط آبیاری بیش از نیاز آبی (تیمارهای ۱۲۵درصد نیاز آبی)، مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر پیش‌بینی مدل کمتر به دست آمد. در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تقریباً مقادیر مدل و واقعی برهم تطابق نشان داد. در شکل ۴، رابطه‌ی بین مقادیر واقعی (y_a) و پیش‌بینی مدل (y_p) گندم زمستانه رقم روشن و قدس، برای تمام تیمارهای تحت آزمایش ارائه گردیده است. مقدار خطای تخمین روش فائو در پیش‌بینی عملکرد ارقام روشن و قدس در جدول ۶ ارائه شده است که در آن مقادیر مثبت نشان دهنده مقدار بیش برآورد روش فائو و مقادیر منفی نشان دهنده مقدار کم برآورد این روش می‌باشد. براساس نتایج این جدول و برای رقم روشن، بیشترین خطای نسبی بیش برآورد مربوط به تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 بوده که مقدار این خطا به ترتیب برابر ۲۰، ۲۸/۱ و ۲۶/۶ درصد می‌باشد. همچنین بیشترین خطای نسبی کم‌برآورد مربوط به S_1I_3، S_1I_4 و S_3I_4 می‌باشد که مقدار آن به ترتیب ۹/۶، ۹/۲ و ۶/۳ درصد محاسبه گردید. تقریباً همین رویه برای رقم قدس نیز صادق می‌باشد. در تیمارهای تحت تنش آبی شدید، پیش‌بینی مدل بیشتر از مقادیر واقعی بوده و این مقدار خطا برای تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 به ترتیب برابر ۶۱، ۹۴/۵ و ۹۹/۹ درصد می‌باشد. خطای نسبی کم برآورد رقم قدس، مربوط به S_1I_3، S_1I_4 و S_2I_4 و به ترتیب ۶/۴، ۹/۲ و ۲ درصد می‌باشد.

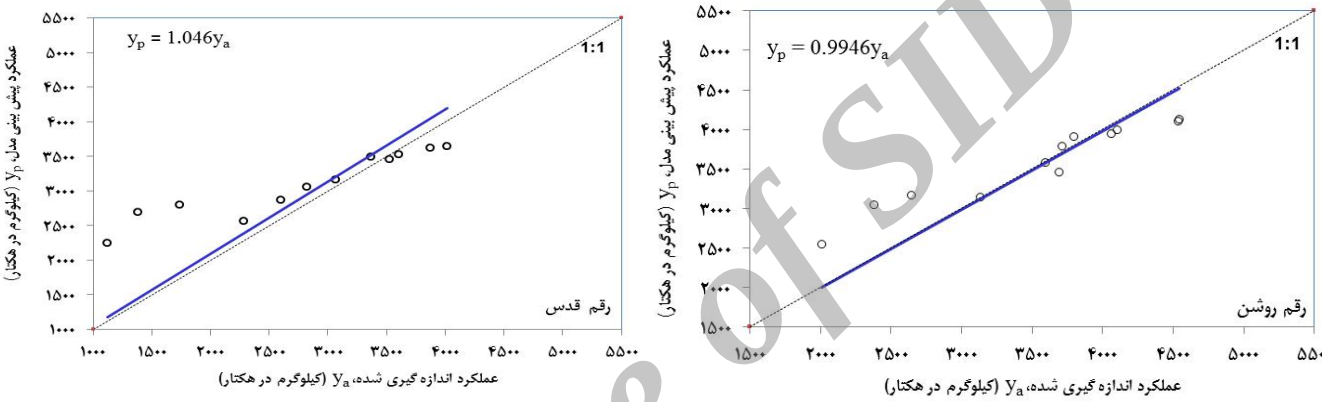
Archive of SID

www.SID.ir

نتایج فوق براساس رابطه‌ی ۶ و با فرض مقدار ثابت برای فاکتور کاهش محصول (k_y) استخراج شد. برای شبیه‌سازی عملکرد سه تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، رویکرد متغیر لحاظ کردن فاکتور کاهش محصول طی مراحل مختلف رشد، در نظر گرفته شد. با اعمال این رویکرد، خطای نسبی بیش برآورد تا حدی تعدیل یافت و در تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 (رقم روشن) به ترتیب ۱۷، ۲۳ و ۲۱ درصد، حاصل شد. به این ترتیب با تغییر رویکرد شبیه‌سازی در تیمارهای ۵۰ درصد نیاز آبی، خطای نسبی بیش برآورد مدل، باز قابل ملاحظه بود. می‌توان استنباط کرد که تحت شرایط تنش آبی شدید، ضرایب کاهش عملکرد (k_y) محصولات که در نشریه ۳۳ فائو ارائه شده‌اند، دچار خدشه می‌گردد. در برخی از تحقیقات، محققین به تغییر ضرایب کاهش عملکرد محصولات در شرایط تنش آبی شدید، اشاره کرده‌اند از جمله می‌توان به تحقیقات سپاسخواه و همکاران (۱۴) بر روی گندم؛ کیردا و همکاران (۸، ۹ و ۱۰) بر روی گندم، سویا، پنبه و ذرت اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، عملکرد مدل فائو جهت پیش‌بینی حرکت آب و املاح در نیمرخ خاک و عملکرد محصول در شرایط تنش‌های آبی و شوری، برای دو رقم روشن و قدس محصول گندم، ارزیابی گردید. بیشترین خطای نسبی پیش‌بینی عملکرد رقم روشن مربوط به تیمارهای S_1I_1، S_2I_1 و S_3I_1 بوده که به ترتیب دارای ۲۰، ۲۸/۱ و ۲۶/۶ درصد خطای تخمین می‌باشند.



شکل ٤- رابطه‌ی بین مقادیر واقعی (y_a) و پیش‌بینی مدل (y_p) گندم زمستانه برای ارقام روشن و قدس

جدول ٦- مقادیر عملکرد پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده، خطای تخمین مطلق و نسبی روش فائو در پیش‌بینی عملکرد ارقام روشن و قدس برای تیمارهای مختلف*

تیمار	رقم روشن				رقم قدس			
	عملکرد اندازه‌گیری شده**	عملکرد پیش‌بینی شده**	خطای مطلق (kg/ha)	خطای نسبی (٪)	عملکرد اندازه-گیری شده**	عملکرد پیش‌بینی شده**	خطای مطلق (kg/ha)	خطای نسبی (٪)
S_1I_1	۲۶۴۵	۳۱۷۲/۹	۵۲۷/۹	۲۰/۰	۱۷۴۲	۲۸۰۴/۱	۱۰۶۲/۱	۶۱/۰
S_1I_2	۳۷۹۵	۳۹۱۰/۲	۱۱۵/۲	۳/۰	۳۵۲۹	۳۴۵۵/۸	-۷۳/۲	-۲/۱
S_1I_3	۴۵۳۷	۴۱۰۱/۵	-۴۳۵/۵	-۹/۶	۳۸۷۱	۳۶۲۴/۸	-۲۴۶/۲	-۶/۴
S_1I_4	۴۵۴۳	۴۱۲۶/۸	-۴۱۶/۲	-۹/۲	۴۰۱۵	۳۶۴۷/۲	-۳۶۷/۸	-۹/۲
S_2I_1	۲۳۷۵	۳۰۴۱/۶	۶۶۶/۶	۲۸/۱	۱۳۸۲	۲۶۸۸/۱	۱۳۰۶/۱	۹۴/۵
S_2I_2	۳۵۹۴	۳۵۸۰/۱	-۱۳/۹	-۰/۴	۳۰۶۴	۳۱۶۴/۰	۱۰۰/۰	۳/۳
S_2I_3	۴۰۶۰	۳۹۵۲/۹	-۱۰۷/۱	-۲/۶	۳۳۷۱	۳۴۹۳/۵	۱۲۲/۵	۳/۶
S_2I_4	۴۰۹۹	۳۹۹۷/۳	-۱۰۱/۷	-۲/۵	۳۶۰۴	۳۵۳۲/۷	-۷۱/۳	-۲/۰
S_3I_1	۲۰۱۰	۲۵۴۴/۹	۵۳۴/۹	۲۶/۶	۱۱۲۵	۲۲۴۹/۱	۱۱۲۴/۱	۹۹/۹
S_3I_2	۳۱۳۱	۳۱۴۰/۶	۹/۶	۰/۳	۲۲۸۸	۲۵۶۹/۰	۲۸۱/۰	۱۲/۳
S_3I_3	۳۷۱۳	۳۷۸۴/۵	۷۱/۵	۱/۹	۲۵۹۸	۲۸۷۵/۴	۲۷۷/۴	۱۰/۷
S_3I_4	۳۶۹۳	۳۴۶۱/۹	-۲۳۱/۱	-۶/۳	۲۸۲۰	۳۰۵۹/۵	۲۳۹/۵	۸/۵

*- مقادیر مثبت، بیش برآورد و مقادیر منفی کم برآورد می‌باشند.
**- برحسب کیلوگرم بر هکتار

Archive of SID

www.SID.ir

برای رقم قدس نیز بیشترین مقدار خطا، برای سه تیمار فوق به دست آمد که به ترتیب خطای نسبی ۶۱، ۹۴/۵ و ۹۹/۹ درصد برای آنها حاصل شد. تحت شرایط تنش شوری بالا (شوری آب ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) و سطوح عمق آبیاری I_2، I_3 و I_4، خطای پیش‌بینی عملکرد توسط مدل در هر دو رقم، ناچیز به دست آمد. به این ترتیب مدل در سطوح شوری بالا اما تحت شرایط تنش آبی کم و بدون تنش آبی، عملکرد مناسبی و نسبتاً دقیق در پیش‌بینی عملکرد محصول نشان داد. خطای قابل ملاحظه‌ی مدل فائو در پیش‌بینی عملکرد محصول تحت تنش‌های شدید کم آبی، از نوع بیش برآورد می‌باشد. با توجه به اینکه هسته‌ی اصلی تخمین عملکرد توسط مدل فائو، رابطه استیوارت و همکاران (رابطه‌ی ۶) می‌باشد، لذا یکی از دلایل خطای زیاد تحت تنش شدید کم آبی را می‌توان به k_y نسبت داد. براساس نتایج سپاسخواه و همکاران (۱۴)، تحت شرایط تنش آبی شدید، فاکتور k_y محصولات، دچار تغییر می‌گردد. به عبارت دیگر استفاده از مقادیر تیپ ارائه شده توسط نشریه فائو۵۶ برای k_y، با هدف کمی کردن تنش‌های شدید کم آبی، مناسب نمی‌باشند. کیردا و همکاران (۹) نیز به خطای معادله استیوارت و همکاران تحت تنشهای شدید کم آبی اشاره کردند و اذعان داشتند که مقادیر k_y محصولات تحت تنشهای شدید، تغییر می‌نماید. در سطوح آبیاری I_2، I_3 و I_4 و تمام سطوح شوری، مقدار خطای نسبی عملکرد دانه، به ویژه در رقم روشن، در دامنه قابل قبول قرار داشته که یکی از دلایل آن، مناسب بودن مقدار k_y می‌باشد. میزان خطای پیش‌بینی عملکرد رقم قدس نسبت به رقم روشن، بیشتر بود که یکی از دلایل آن را می‌توان یکسان فرض نمودن مقدار k_y برای هر دو رقم نسبت داد.

مدل فائو بیلان آب در خاک را نسبتاً دقیق پیش‌بینی نمود. متوسط خطای نسبی پیش‌بینی مقدار تخلیه آب در کل تیمارهای تحت آزمایش ۷/۱ درصد به دست آمد که نشان دهنده‌ی کارایی بالای این مدل در تخمین بیلان آب و اجزای آن در خاک می‌باشد. متوسط خطای نسبی هر یک از تیمارهای تحت آزمایش در این مطالعه، کمتر از ۱۰/۱ درصد به دست آمد. عمق توسعه ریشه یکی از عوامل موثر بر بیلان آب می‌باشد. در این مطالعه روند عمق توسعه ریشه طی دوره رشد، از یک رابطه‌ی تجربی (رابطه ۵) تخمین زده شد که برای شرایط عدم وجود تنش در محیط توسعه یافته است. اما ممکن است که اثر تنشهای محیطی روند توسعه ریشه را نسبت به شرایط عادی، دچار تغییر نماید. لذا در شرایط وجود تنش در محیط، برای افزایش دقت تخمین میزان تخلیه آب و نیز عملکرد محصول، می‌توان عمق ریشه را اندازه‌گیری نمود.

بیلان املاح در خاک نیز با دقت مناسب پیش‌بینی گردید. با مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری و پیش‌بینی مدل برای کل داده‌های آزمایش، ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی ۰/۹۷ و متوسط خطای نسبی ۵/۸ درصد به دست آمد. یکی از پارامترهای مؤثر بر بیلان املاح در نیمرخ خاک، شوری آب نفوذ عمقی می‌باشد که در این مطالعه از یک رابطه‌ی تجربی، تخمین زده شد که تابعی از بازده آبشویی (f) می‌باشد. عدم برآورد دقیق پارامتر f می‌تواند در پیش‌بینی بیلان املاح، باعث خطا گردد. در این مطالعه بازده آبشویی از روابط تجربی پیشنهاد شده بر اساس بافت خاک، تخمین زده شد که دارای عدم قطعیت نیز می‌باشد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که مدل فائو در تخمین بیلان آب و املاح نیمرخ خاک، دقت کافی را داشته؛ اما لازم است که عمق توسعه ریشه و نیز شوری آب نفوذ عمقی، با دقت کافی تخمین زده شوند. همچنین تحت تنش‌های شدید کم آبی، مدل فائو عملکرد محصول را با دقت کافی برآورد نمی‌کند.

منابع

1- Borg H. and Grimes D.W. 1986. Depth development of roots with time: an empirical description. Transactions of the ASAE, 29: 194–197.
2- FAO. 1977. Crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper No. 24, Rome.
3- FAO. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome.
4- FAO. 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage Paper No. 46, Rome.
5- FAO. 1993. CLIMWAT for CROPWAT. A climatic database for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage Paper No. 49, Rome.
6- FAO. 1998. Crop evapotranspiration; guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
7- Kroes J.G. and Van Dam J.C. 2008. Reference manual SWAP version 3.2., Alterra Green World Research, Wagenningen, Report 1649, Availabel at: http://www.swap.alterra.nl
8- Kirda C. and Kanber R. 1999. Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigated agriculture. Crop yield response to deficit irrigation, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
9- Kirda C., Kanber R. and Tulucu K. 1999.Yield response of cotton, maize, soybean, sugar beet, sunflower and wheat to deficit irrigation. Crop yield response to deficit irrigation, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

Archive of SID

www.SID.ir

10- Kirda C. 2002. Deficit Irrigation Scheduling Based On Plant Growth Stages Showing Water Stress Tolerance. Crop yield response to deficit irrigation, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
11- Paz J.O., Batchelor W.D., Colvin T.S., Logsdon S.D., Kaspar T.C. and Karlen D.L. 1998. Analysis of water stress effects causing spatial yield variability in soybeans. Transactions of the ASAE, 41: 1527–1534.
12- Sarvar A., Bastiaanssen W.G.M., Boers Th.M. and Van Dam J.C. 2000a. Evaluating drainage design parameters for the fourth drainage project, Pakistan by using SWAP model: Part I–calibration. Irrigation and Drainage Systems, 14: 257–280.
13- Sarvar A., Bastiaanssen W.G.M., Boers Th.M. and Van Dam J.C. 2000b. Evaluating drainage design parameters for the fourth drainage project, Pakistan by using SWAP model: Part II–modeling results. Irrigation and Drainage Systems, 14: 281–299.
14- Sepaskhah A.R., Bazrafshan-Jahromi A.R. and Shirmohammadi-Aliakbarkhani Z. 2006. Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses. Biosystems Engineering. 93 (2): 139–152.
15- Stockle C.O., Martin S.A. and Campbell G.S. 1994. CropSyst, a Cropping System Simulation Model: Water/Nitrogen Budgets and Crop Yield. Agricultural Systems, 46: 335–359.
16- Skaggs R.W. 1978. A Water Management Model for Shallow Water Table Soils. Technical Report No. 134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. North Carolina State University.
17- Vazifedoust M., Van Dam J.C., Feddes R.A. and Feizi M. 2008. Increasing Water Productivity of Irrigated Crops under Limited Water Supply at Field Scale. Agricultural Water Management. 95: 89-102.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 3, Jul.-Agu. 2014, p. 481-491

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۳، ص. ۴۹۱-۴۸۱

Performance Evaluation of FAO Model for Prediction of Yield Production, Soil Water and Solute Balance under Environmental Stresses (Case Study Winter Wheat)

V. Rezaverdinejad[1*]- M. Hemmati[2]- H. Ahmadi[3]- A. Shahidi[4]- B. Ababaei[5]

Received:16-04-2013
Accepted:23-06-2014

Abstract

In this study, the FAO agro-hydrological model was investigated and evaluated to predict of yield production, soil water and solute balance by winter wheat field data under water and salt stresses. For this purpose, a field experimental was conducted with three salinity levels of irrigation water include: S_1, S_2 and S_3 corresponding to 1.4, 4.5 and 9.6 dS/m, respectively, and four irrigation depth levels include: I_1, I_2, I_3 and I_4 corresponding to 50, 75, 100 and 125% of crop water requirement, respectively, for two varieties of winter wheat: Roshan and Ghods, with three replications in an experimental farm of Birjand University for 1384-85 period. Based on results, the mean relative error of the model in yield prediction for Roshan and Ghods were obtained 9.2 and 26.1%, respectively. The maximum error of yield prediction in both of the Roshan and Ghods varieties, were obtained for S_1I_1, S_2I_1 and S_3I_1 treatments. The relative error of Roshan yield prediction for S_1I_1, S_2I_1 and S_3I_1 were calculated 20.0, 28.1 and 26.6%, respectively and for Ghods variety were calculated 61, 94.5 and 99.9%, respectively, that indicated a significant over estimate error under higher water stress. The mean relative error of model for all treatments, in prediction of soil water depletion and electrical conductivity of soil saturation extract, were calculated 7.1 and 5.8%, respectively, that indicated proper accuracy of model in prediction of soil water content and soil salinity.

Keywords: Evapotranspiration, Water Stress, Salt Stress, Simulation Model

Archive of SID

1,2,3-Assistant Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
([*]Corresponding Author Email: Verdinejad@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
3-Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

www.SID.ir