Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 82-73

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 73-82

شبیه‌سازی اثرات تنش آبی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت

امیر سالاری[1*]، عبدالرحیم هوشمند[2] و مهدی بهرامی[3]

تاریخ دریافت: 1394/9/28 تاریخ پذیرش: 1394/2/8

چکیده

آب و نیتروژن مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد محصولات مختلف، از جمله ذرت می‌باشند. هدف از اجرای این طرح، بررسی میدانی واکنش گیاه ذرت به سطوح مختلف آب و نیتروژن و شبیه‌سازی آن با مدل Aquacrop می‌باشد. تیمارهای آبی شامل تیمار شاهد (I100، تأمین 100 درصد نیاز آبی)، اعمال دو سطح تنشی 80 و 60 درصد نیاز آبی به ترتیب در مراحل رشد رویشی (IR80 و IR60)، گلدهی (IG80 و IG60) و پر شدن دانه (IP80 و IP60) و تیمارهای نیتروژن در دو سطح 100 (N100، $N=220\ kg.h^{-1}$) و 50 درصد (N50، $N=110\ kg.h^{-1}$) نیاز کودی بود. نتایج میدانی نشان داد که مراحل رشد و توسعه گیاه، تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش آبی و نیتروژن قرار گرفته است. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای مختلف آبی و نیتروژن در مراحل مختلف رشد، تأثیر معنی‌داری بر میزان ماده خشک بالای سطح زمین و عملکرد دانه در سطح 1% داشته است. نتایج شبیه‌سازی نیز نشان داد که مدل Aquacrop توانسته است تغییرات پوشش کانوپی، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه را در طول فصل رشد به‌خوبی شبیه‌سازی کند. بنابراین مدل Aquacrop واسنجی شده موجود، در گستره وسیعی از شرایط آب و هوایی ایران قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب، ذرت، شبیه‌سازی، عملکرد، ماده خشک

مقدمه

ارزیابی واکنش محصولات نسبت به میزان آب مصرفی در برهمکنش با کود نیتروژن می‌تواند کمک شایانی به تعیین بهترین تخصیص منابع آب در دسترس بر اساس کسب حداکثر سود و کم‌ترین آلودگی آب‌های زیرزمینی کند. این موضوع در پژوهش‌های بیشماری مورد ارزیابی قرار گرفته است (Oktem et al., 2003). امروزه تکنیک‌های مدل‌سازی جهت شبیه‌سازی رشد گیاه تحت یک سری شرایط خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مورد ذرت چندین مدل مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، از جمله مدل‌های Ceres – Maize (Jones and Kiniry., 1986)، EpicPhase (Cavero et al., 2000)، Cropsyst (Stockle et al., 2003)، مدل هیبرید – ذرت (Yang et al., 2004) و نهایتاً مدل Aquacrop فائو (2009). این مدل‌ها در تعداد پارامترهای ورودی، سطح پیچیدگی تشریحی توسعه گیاه و در اصول پایه‌ی شبیه‌سازی با یکدیگر تفاوت‌های اساسی دارند. مدل‌های مبتنی بر تشعشع مانند مدل‌های EPIC و CERES، ماده خشک را مستقیماً از تشعشع دریافتی و به‌وسیله ضریب راندمان مصرف نور (RUE) بدست می‌آورند. مدل CropCyst بر اساس اصول آبی و تشعشع استوار است، در حالیکه مدل Aquacrop اصولاً مبتنی بر آب می‌باشد.

امتیازات و برتری‌های عمده مدل‌های مبتنی بر آب (همانند Aquacrop) نسبت به سایر مدل‌ها را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود: (i) ساختار ساده و تعداد ورودی‌های کم‌تر به علت نداشتن زیرمجموعه‌های جزئی‌تر، (ii) کاربرد وسیع‌تر در مقیاس زمان و مکان به علت بهره‌وری آب[4] نرمالیزه شده برای اقلیم (CO_2 و ET_0)، (iii) ساخت و توسعه مدل Aquacrop برای دامنه گسترده‌ای از کاربران (کشاورزان، محققان، مدیران آب) و تحت سناریوهای مختلف آبی و کودی و نهایتاً اینکه (iv) تمرکز مدل Aquacrop بر روی آب می‌باشد و همانگونه که آب مهم‌ترین فاکتور رشد گیاهی و محدود کننده‌ترین پارامتر رشد گیاه در مناطق خشک و

1- دانش آموخته دکتری دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و عضو هیات علمی گروه تولیدات گیاهی و گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه
2- دانشیار، عضو هیات علمی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
3- استادیار، عضو هیات علمی، گروه آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه فسا
(*- نویسنده مسئول: (Email: Salari.1361@yahoo.com

4- Water Productivity (WP)

www.SID.ir

Archive of SID

نیمه‌خشک و برای سال‌های آینده می‌باشد، مدلی با قابلیت کاربرد بالاست. لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی مدیریت‌های مختلف آبی و نیتروژن از مدل جدید Aquacrop استفاده شد.

مدل Aquacrop از رویکرد دورنبوس و کسام استنتاج شده است و اثرات کمبود آب بر گیاه در مدل، به‌وسیله چهار ضریب عکس‌العمل بیان می‌شود که این ضرایب تابعی از تخلیه جزئی کل آب در دسترس در منطقه ریشه می‌باشند. این چهار ضریب مربوط به رشد برگ، هدایت روزنه، پیری کانوپی و شکست تلقیح هر کدام با حساسیت ویژه به تنش آبی می‌باشند (Doorenbos and Kassam., 1979).

جهت درک بهتر فرایندهای زیربنایی تولید و شناخت مشکلات سیستم‌های زراعی و حل و اصلاح آن‌ها از سویی و کاهش زمان و هزینه‌های تحقیق از سویی دیگر باعث شد در این تحقیق از مدل جدید فائو به نام Aquacrop که تمرکز اصلی آن بر عامل آب است و برای شبیه‌سازی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مورد واسنجی و صحت‌سنجی کامل و گسترده‌ای قرار گرفته است استفاده گردید.

اثرات آب و نیتروژن روی رشد گیاه در برخی مدل‌ها از قبیل ENVIRO –CERES (Jones and Kiniry., 1986)، GLEAMS (Leonard et al., 1987) و LEACHM (Hutson and Wagenet., 1992) بحث و بررسی شده است. استفاده از مدل Aquacrop در شبیه‌سازی اثرات تنش‌های آبی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف نیز نشان می‌دهد که هر چند مدل AquaCrop عملکرد و ماده خشک را همواره کم‌تر شبیه‌سازی می‌نماید اما این شبیه‌سازی در محدوده قابل قبولی بوده است (الباجی و همکاران، 1389). ارزیابی مدل AquaCrop برای گیاهان پنبه، آفتابگردان و ذرت نیز نشان می‌دهد بیش‌ترین درصد خطای پیش‌بینی مربوط به پنبه بوده و دقیق‌ترین شبیه‌سازی‌ها به‌ترتیب در ذرت، آفتابگردان و پنبه به‌دست آمده و مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی برخوردار است (حیدری‌نیا و همکاران، 1389).

نتایج میدانی تحقیقات لک و همکاران (1386) نشان داد که سطوح مختلف آبیاری، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در سطح 1% داشته، آبیاری مطلوب باعث بالاترین تجمع ماده خشک بلال گردیده و تنش خشکی در مرحله رویشی، کم‌ترین وزن خشک بلال را به‌همراه داشته است. در این تحقیق همچنین نتیجه گرفته شد که سطوح مختلف نیتروژن، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت داشته و با افزایش میزان نیتروژن، میزان کل ماده خشک بلال نیز افزایش یافته است. بنابراین تنش رطوبتی و مقدار نیتروژن می‌تواند عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار دهد (الباجی و همکاران، 1389). تنش‌های رطوبتی اعمالی در مرحله رویشی، گل‌دهی و پرشدن دانه به‌ترتیب کاهش 9، 17، 23 درصدی عملکرد دانه را درپی داشته است (علیزاده و همکاران، 1386) ضمن آنکه کاهش 22/1 – 15/8 درصدی عملکرد دانه طی تنش آبی اعمال شده در مرحله رشد رویشی نیز در مطالعات زیادی گزارش شده است (Mcpherson and Boyer., 1977; Claasen and Shaw., 1970). تنش خشکی اعمالی در یک مرحله از رشد مثلاً قبل از گلدهی نیز به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه را کاهش داده و کاربرد نیتروژن باعث افزایش و بهبود این شاخص‌ها شده است (Moser et al., 2006). تنش خشکی می‌تواند تمامی مشخصات گیاه از جمله ماده خشک (Gheysari et al., 2008)، مقدار سطح برگ (Pandey et al., 2000)، ارتفاع گیاه (Soler et al., 2007)، رشد ساقه (Ston et al., 2001) و عملکرد دانه (Payero et al., 2006) را کاهش دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمینی به مساحت 1000 متر مربع در خاکی با بافت لومی رسی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور با طول جغرافیایی 58 درجه و 49 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 36 درجه و 13 دقیقه شمالی و با ارتفاع 1245 متر از سطح دریا، اجرا گردید. ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت و مقدار بارندگی در طول فصل رشد به ترتیب 40 و 3 درجه سانتی‌گراد و 36 میلی‌متر بوده است. متوسط درجه حرارت ماهانه در کل طول فصل رشد نیز 23 درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. پس از آماده کردن زمین، ذرت رقم KSC704 روی پشته‌هایی به عرض 75 سانتی‌متر کشت گردیده و عملیات آبیاری و سایر عملیات کشاورزی تا مرحله 6 برگی ادامه یافت. سپس با ایجاد پشته‌هایی، قطعات از هم جدا شده و پس از چیدمان طرح آماری، اعمال تیمارها اجرا گردید. در این تحقیق فصل رشد، به سه مرحله (I) از مرحله استقرار (6-4 برگی) تا ظهور مرحله گلدهی (II) از مرحله گلدهی تا مرحله شیری شدن و (III) از مرحله شیری شدن تا بلوغ فیزیولوژیکی تقسیم گردید. جهت تشخیص حساسیت مراحل مختلف رشد گیاه به تنش آبی، دو سطح تنشی 80 و 60% نیاز آبی (ET_c) در هریک از مراحل رشد سه گانه فوق (مراحل I، II و III) به‌طور مجزا اعمال گردید. روش کار بدین صورت است که تیمارهای در مرحله رشد رویشی (مرحله I) تحت تأثیر دو سطح تنشی 80% و 60% نیاز آبی قرار گرفته‌اند در سایر مراحل رشد (مراحل گلدهی II و پر شدن دانه III) 100% نیاز آبی را دریافت نمودند. اندازه‌گیری‌ها در سطح مزرعه شامل زمان‌های شروع و طول مدت مراحل فنولوژی، شاخص سطح برگ، ماده خشک بالای سطح زمین، عملکرد و اجزای عملکرد و هم‌چنین سایر پارامترهای ورودی مدل مربوط به آب، خاک و هوا بود. مقادیر کل ماده خشک و عملکرد دانه پس از قرار دادن نمونه‌ها در درون آون و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت و شاخص سطح برگ توسط دستگاه مساحت سنج (Leaf Area Meter)، هر دو هفته یکبار اندازه‌گیری شد. در

www.SID.ir

Archive of SID

اواخر فصل نیز ماده خشک، شاخص سطح برگ، عملکرد و تمامی اجزای عملکرد گیاه اندازه‌گیری و مورد آنالیز قرار گرفت. اجرای مدل Aquacrop با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزرعه انجام و نتایج با مشاهدات مزرعه‌ای مقایسه گردید.

پارامترهای مدل و داده‌های ورودی

پارامترهای گیاهی: این پارامترها به دو دسته پارامترهای ثابت (جدول 1) و پارامترهای متغیر اندازه‌گیری شده در مزرعه (جدول 2) تقسیم می‌شوند. بنابر مطالعه هسیاو و همکاران، 20 پارامتر از پارامترهای ثابت گیاهی که در شرایط اقلیمی مختلف و برای ارقام گوناگون ثابت هستند به عنوان پیش فرض به مدل معرفی گردید برخی از این پارامترها در جدول 1 آورده شده است (Hsiao et al., 2009).

یکی از مهم‌ترین پارامترهای متغیر گیاهی در مدل Aquacrop، مقدار پوشش کانوپی است. در اکثر آزمایشات، شاخص سطح برگ (LAI) بیش از پوشش کانوپی (CC) گزارش شده است و در نتیجه این مطالعات رابطه‌ای بین LAI و CC برای ذرت به‌صورت رابطه 1 به‌دست آمده است. که در این تحقیق نیز برای تبدیل LAI به CC از این رابطه استفاده شد.

$$CC = 1.005\left[1 - \exp\left(-0.6LAI\right)\right]^{1.2} \quad (1)$$

در مطالعه هسیاو و همکاران نیز از همین رابطه برای تبدیل LAI به CC استفاده شده است (Hsiao et al., 2009).

داده‌های آب و هوا و خاک: داده‌های آب و هوایی درمدل Aquacrop، شامل مقادیر روزانه دمای حداکثر و حداقل هوا، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل هوا، ساعات آفتابی و بارش است، که این داده‌ها به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی نیشابور اخذ گردید (جدول 3). میزان تبخیر - تعرق مرجع (ETo) نیز بر اساس روش فائو پنمن – مانتیث محاسبه شد. بارش، تبخیر - تعرق مرجع و میزان آب مصرفی در برخی از تیمارها در جدول 2 آمده است. پارامترهای مربوط به خاک در ورودی مدل شامل هدایت هیدرولیکی (Ks)، رطوبت خاک در حد اشباع (θ_s)، رطوبت خاک در حد FC (θ_{FC}) و رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) نیز در محل اندازه‌گیری شد (مقدار چگالی ظاهری خاک در مجموع سه لایه 1/35 $gr.cm^3$ به‌دست آمد).

موتور شبیه‌سازی مدل Aquacrop

Aquacrop مدلی است با تفکیک تبخیر و تعرق (ET) به تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr). بر این اساس و با توجه به بهره‌وری آب (WP) اصلاحی، میزان ماده خشک (B) تولیدی بر اساس معادله زیر که موتور اصلی شبیه‌سازی مدل است، به‌دست می‌آید:

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (2)$$

جدول 1- تعدادی از پارامترهای ثابت مورد استفاده در مدل (سایو و همکاران، 2009)

پارامتر ها	مقدار	توضیحات
پوشش کانوپی برای هر دانه در 90% جوانه زنی	6/5 سانتی-متر	
ضریب رشد کانوپی	%1/3	رشد نسبی پوشش کانوپی بر اساس درجه روز- رشد
ضریب گیاهی تعرق در کانوپی کامل	%1/03	تعرق کانوپی کامل متناسب با تبخیر و تعرق مرجع
کاهش در ضریب گیاهی پس از رسیدن ماکزیمم پوشش کانوپی	%0/3	کاهش روزانه به دلیل مسن شدن برگ
ضریب کاهش کانوپی در پیری	%1/06	کاهش کانوپی نسبت به کانوپی ماکزیمم بر اساس درجه روز- رشد
آستانه بالایی رشد برگ	0/14	تابعی از کل آب قابل نگهداشت خاک، بالاتر از این حد رشد برگ کاهش می-یابد
آستانه پایینی رشد برگ	0/72	در این حد رشد برگ به طور کامل متوقف می‌شود
شکل منحنی ضریب تنشی رشد برگ	2/9	عموماً منحنی محدب
آستانه بالایی هدایت روزنه	0/69	بالاتر از این حد روزنه شروع به بسته شدن می‌کند
شکل منحنی ضریب تنشی روزنه	6	منحنی محدب
حد بالایی ضریب تنش پیری	0/69	بالاتر از این حد پیری زودرس کانوپی شروع می‌شود
شکل منحنی ضریب تنش پیری	2/7	معمولاً منحنی محدب
ضریب تأثیر جلوگیری از رشد برگ، روی شاخص برداشت	7	با ممانعت از رشد برگ در دروه گل‌دهی، شاخص برداشت افزایش می‌یابد
ضریب ممانعت از روزنه روی شاخص برداشت	3	با ممانعت از روزنه در دوره گل‌دهی، شاخص برداشت کاهش می‌یابد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2- مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی، آب مصرفی، بارش و تبخیر - تعرق مرجع در تعدادی از تیمارها

پارامترها	واحد	تیمارها			
		I100N100	IR80N100	IG80N100	IP80N100
مدت زمان جوانه زنی	روز	7	7	9	7
بارش فصلی	میلی‌متر	30	30	30	30
آبیاری	میلی‌متر	1237	1158	1155	1161
تبخیر و تعرق مرجع	میلی‌متر	1458	1458	1458	1458
ماکزیمم عمق ریشه	متر	1,8	1,9	1,8	1,8
شروع گلدهی	روز	55	57	56	55
شروع پیری	روز	105	101	100	102
بلوغ فیزیولوژیکی	روز	127	126	125	127
طول مدت گل‌دهی	روز	18	16	18	16

I: نشان‌دهنده تیمارهای آبی، R، G و P نشان‌دهنده مراحل رشد رویشی، گلدهی و پر شدن دانه، اندیس ۱۰۰ نشان‌دهنده آبیاری کامل و اندیس ۸۰ در IR، IG و IP نشان‌دهنده ۸۰ % نیاز آبی در مراحل مختلف رشد و N100 نشان‌دهنده ۱۰۰% مصرف نیتروژن مورد نیاز

جدول 3- میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول فصل رشد

پارامتر	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	38	40	38/6	34/4
دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	10	14	11/2	3
رطوبت‌نسبی حداکثر (%)	96	94	63	100
رطوبت‌نسبی حداقل (%)	9	8	10	14
نزولات جوی (میلی‌متر)	4/6	0	7	24/3
دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	20/3	24/2	27/6	23/8

که Tr تعرق گیاهی (mm)،WP بهره‌وری آب (کیلوگرم ماده خشک در هر متر مربع در هر mm آب تعریقی تجمعی) و B میزان ماده خشک تولیدی (کیلوگرم) می‌باشد.

پس از محاسبه مقدار ماده خشک تولیدی گیاه، میزان عملکرد با توجه به شاخص برداشت (HI) و به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Y = B \times HI \quad (3)$$

در مدل AquaCrop، سیستم گیاهی از پنج جزء مهم فنولوژی، کانوپی، عمق ریشه‌دهی، تولید ماده خشک و عملکرد به همراه عکس‌العمل‌های دینامیک مرتبط و مخصوص به‌خود تشکیل یافته است. عکس‌العمل گیاه به تنش آبی که ممکن است در هر زمانی در طول چرخه گیاه اتفاق بیفتد، به‌وسیله سه باز خورد (پس خوراند) اصلی مقابل شبیه‌سازی می‌شود: (i) کاهش سرعت گسترش کانوپی (تنش در اوایل رشد)، (ii) تسریع پیری (تنش در زمان رشد کامل یا اواخر رشد) و (iii) بسته شدن روزنه (تنش در طول رشد کامل).

در نتیجه، تنش آبی می‌تواند شاخص برداشت (HI) و پارامتر بهره‌وری آب را (WP) تحت تأثیر قرار دهد.

آنالیز داده‌ها

اجرای مدل با استفاده از پارامترهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارائی (E) مدل مورد ارزیابی قرار گرفت:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - s_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

که S_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترها (به طور مثال ماده خشک، عملکرد دانه و ...) در طول فصل یا انتهای فصل، N تعداد مشاهدات و $\bar{O}$ میانگین مشاهدات (O_i) می‌باشند. مقدار E از $-\infty$ تا 1+ گسترده بوده و هر چه مقادیر E نزدیک به 1+ و RMSE نزدیک به صفر به‌دست آیند، دقت شبیه‌سازی مدل بالاتر خواهد بود.

نتایج

نتایج میدانی نشان داد که مراحل رشد و توسعه گیاه، تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش آبی و نیتروژن قرار گرفته است. تنش‌های اعمالی در مرحله رویشی باعث به تاخیر افتادن مرحله گلدهی شده اما مصرف بیش‌تر کود نیتروژن تا حدودی این تاخیر را جبران کرد. تنش‌های اعمالی در مراحل رویشی و گلدهی، طول دوره گلدهی را

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش داده، ضمن آنکه تمامی تنش‌های اعمالی در مراحل سه‌گانه رشد، باعث تسریع و پیری زودرس گردید (جدول2). تمامی تأثیرات فوق، اثری منفی در نظر گرفته می‌شود زیرا در نهایت باعث کاهش طول مدت مؤثر ساخت و ساز می‌شود. نتایج تحقیقات زیادی نیز نشان می‌دهد که کم آبیاری اعمالی در مرحله رویشی، مرحله گل‌دهی را به تاخیر انداخته اما طول مدت دوره‌های گلدهی و پر شدن دانه و متعاقب آن ماده خشک، عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه را کاهش داده و تأثیر منفی معنی‌داری بر این پارامترها گذاشته است (Payero et al., 2008; Traore et al., 2000; Farre and Faci., 2009).

نتایج آنالیز واریانس مرکب نشان داد که اعمال سطوح مختلف آبی و نیتروژن در مراحل مختلف رشد تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک بالای سطح زمین و عملکرد دانه در سطح 1% داشته است. اثر متقابل آبیاری و نیتروژن (I×N) نیز در سطح 5% تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته، ضمن آنکه این اثر متقابل بر ماده خشک و پوشش کانوپی تأثیری نداشته است (جدول 4). به‌عبارتی تنش‌های آبی و نیتروژن باعث کاهش زیاد بیومس و عملکرد و در نهایت غیر اقتصادی شدن تولید ذرت نسبت به شرایط پتانسیل گردید.

جدول 5 نشان می‌دهد که بین تیمار شاهد و سایر تیمارهای تنشی از نظر میزان ماده خشک و عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 % وجود دارد، در حالیکه بین تمامی تیمارها از لحاظ درصد پوشش کانوپی در سطح 5 % اختلاف معنی‌داری مشاهد نشد. به عبارتی هر چند تنش‌های آبی و نیتروژن در مراحل مختلف رشد، تأثیر معنی‌داری بر پوشش کانوپی (سطح فتوسنتزکننده) نداشته اما بر ماده خشک و عملکرد دانه کاهش معنی‌داری گذاشته است (در سطح 5 %).

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد مدل Aquacrop از دقت بالایی در شبیه‌سازی ماده خشک بالای سطح زمین، عملکرد دانه و توسعه پوشش کانوپی (cc) برخوردار است مقادیر پایین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مقادیر نزدیک به 1 ضریب کارائی (E) موید این نکته است (جدول 6). شبیه‌سازی خوب پوشش کانوپی (cc) در طول فصل، مربوط به الگوریتم مورد استفاده مدل برای محاسبه آن می‌باشد (Steduto et al., 2009).

جدول4- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف (مقادیر جدول مربوط به میانگین مربعات می‌باشد)

عامل	ماده خشک (تن در هکتار)	عملکرد دانه(تن در هکتار)	پوشش کانوپی (%)
نیتروژن	**51/82	**4/79	3/43 n.s
آبیاری	** 27/52	**16/04	*16
اثر متقابل آبیاری و نیتروژن	1/23 n.s	*0/32	0/43 n.s

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح 5% و 1% و n.s عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد

جدول 5- مقایسه میانگین‌های ماده خشک، عملکرد و پوشش کانوپی با استفاده از آزمون دانکن (میانگین‌هایی که در هرستون و برای هر فاکتور حداقل یک حرف مشترک دارند در سطح 5% با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن معنی‌دار نیستند)

تیمارها	ماده خشک (تن در هکتار)	عملکرد دانه (تن در هکتار)	پوشش کانوپی حداکثر (%)
100 N 100I	a22/8	a13/7	a 94
100N80IR	bc18/9	c11/2	a 93
100N60IR	ef15/2	fg 9	ab 90
100N80IG	bc18/85	de10/5	a 94
100N60IG	bcd18/2	gh8/4	a 94
100N80IP	b20/1	c11/3	a 94
100N60IP	bc18/7	f9/4	a 94
50 N 100I	bc19/2	b12/35	a 93
50N80IR	de 16/3	cd10/75	ab 92
50N60IR	f13/2	g 8/6	b 89
50N80IG	de16/1	de10/3	a 94
50N60IG	e15/9	h7/97	a 93
50N80IP	bc19/3	e 10	a 94
50N60IP	cde17/2	fg8/8	a 94

www.SID.ir

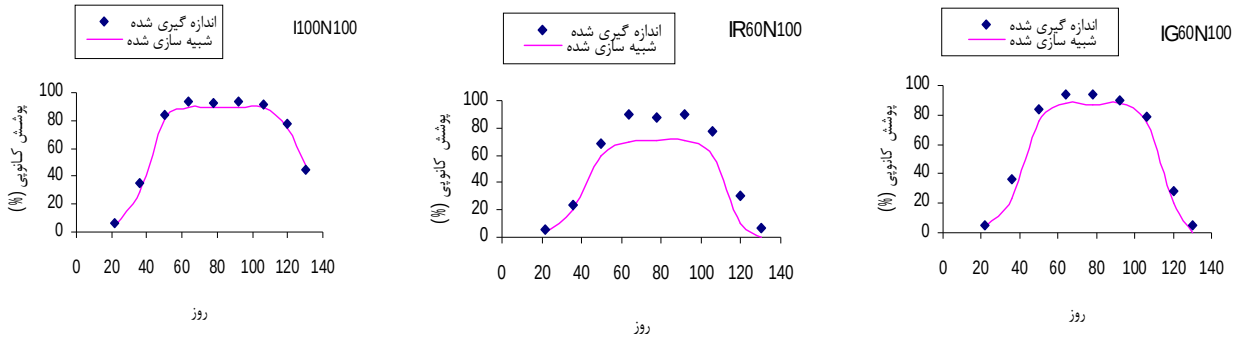
Archive of SID

جدول6- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارائی (E) بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

	ماده خشک (تن در هکتار)		عملکرد دانه (تن در هکتار)		پوشش کانوپی (%)	
تیمارها	RMSE	E	RMSE	E	RMSE	E
I100 N 100	2/2	0/92	1/25	0/95	4	0/98
IR80N100	3/06	0/77	0/80	0/94	7/27	0/95
IR60N100	3/2	0/52	0/85	0/93	14/64	0/82
IG80N100	3/3	0/78	0/69	0/92	4/46	0/98
IG60N100	3/35	0/71	2/10	0/70	6/9	0/96
IP80N100	3/54	0/79	1/15	0/93	5/72	0/97
IP60N100	4/16	0/68	1/37	0/88	7/31	0/95
I100 N 50	2/71	0/84	0/55	0/95	6/63	0/96
IR80N50	3/59	0/59	0/70	0/94	7/90	0/95
IR60N50	2/8	0/59	0/83	0/93	18/93	0/66
IG80N50	3/61	0/62	1/20	0/91	9/16	0/93
IG60N50	3/3	0/66	1/70	0/80	5/31	0/98
IP80N50	3/84	0/72	1/10	0/93	5/19	0/98
IP60N50	2/7	0/83	1/51	0/86	7/74	0/95

مقادیر پوشش کانوپی (cc) شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول فصل، در تمام تیمارها کم‌تر شبیه‌سازی گردید. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پوشش کانوپی (cc) در تمامی تیمارها، در طول مراحل رویشی رشد حداقل و در طول مرحله گلدهی و پر-شدن دانه حداکثر می‌باشد (شکل 1). به‌عبارتی در هر کدام از تیمارها، مدل پوشش کانوپی مراحل ابتدایی را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کند و در ادامه فصل، ضرایب و منحنی‌ها و روابط استفاده شده توسط مدل در پیش‌بینی پوشش کانوپی مخصوصاً در تیمارهای تنشی شدیدتر، مناسب نبوده و بایستی اصلاح گردد.

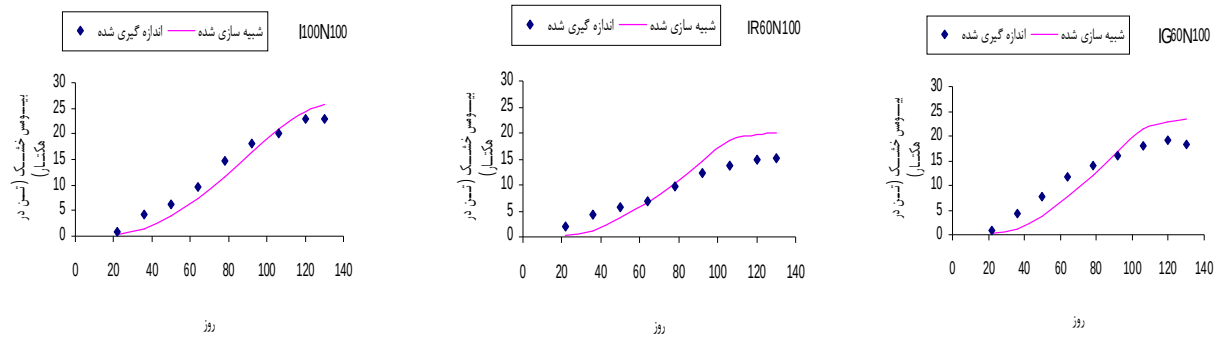
دقت مدل در شبیه‌سازی پوشش کانوپی تیمارهایی که در مرحله رویشی تحت تنش قرار گرفته‌اند (IR60N100) نسبت به تیمارهای تنشی مراحل گلدهی و پر شدن دانه، کم‌تر است، دلیل این امر، ضرایب و منحنی‌های شبیه‌سازی به کار رفته توسط مدل می‌باشد. ضرایب شبیه‌سازی پوشش کانوپی مدل به آب مصرفی در این مرحله بیش از اندازه حساس در نظر گرفته شده است. لذا مدل نمی‌تواند تأثیر کاهشی تنش‌ها بر پوشش کانوپی را به‌صورت واقعی شبیه‌سازی نماید و به‌عبارتی اثر تنش‌های اعمالی در مرحله رویشی بر پوشش کانوپی را بیش از واقع برآورد می‌کند.



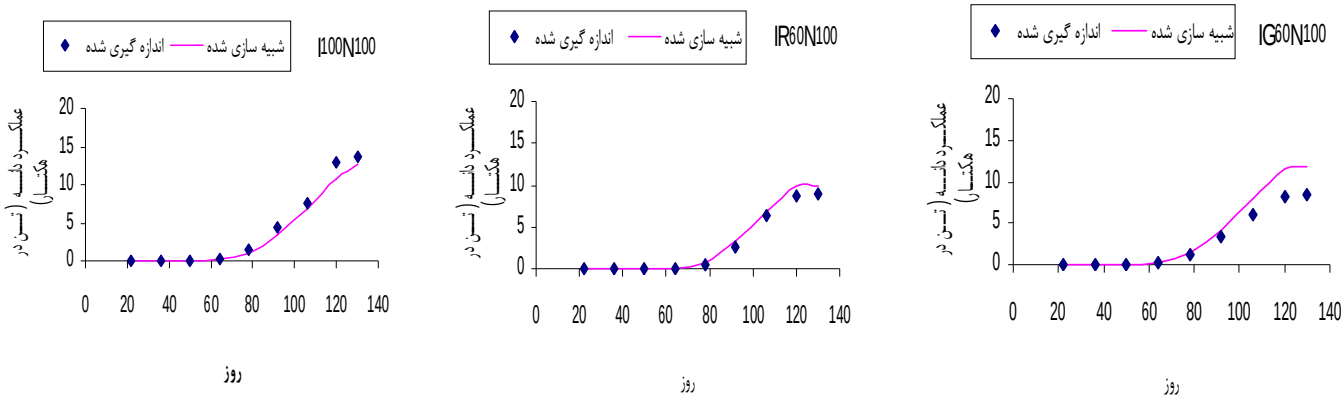
شکل 1- کانوپی شبیه‌سازی شده در برابر کانوپی اندازه‌گیری شده، I: نشان‌دهنده تیمارهای آبی و R، G و P نشان‌دهنده مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه، اندیس 100 نشان‌دهنده آبیاری کامل و اندیس 60 در IR، IG و IP نشان‌دهنده 60 % نیاز آبی و N100 نشان‌دهنده 100% مصرف نیتروژن مورد نیاز

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2- ماده خشک (بیومس خشک) شبیه‌سازی شده در برابر ماده خشک اندازه‌گیری شده، I: نشان‌دهنده تیمارهای آبی و R، G و P نشان-دهنده مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه، اندیس 100 نشان‌دهنده آبیاری کامل و اندیس 60 در IR، IG وIP نشان‌دهنده 60 % نیاز آبی در مراحل مختلف رشد وN100 نشان‌دهنده 100% مصرف نیتروژن مورد نیاز



شکل 3- عملکرد شبیه‌سازی شده در برابر عملکرد اندازه‌گیری شده، I: نشان‌دهنده تیمارهای آبی و R، G و P نشان‌دهنده مراحل رویشی،گلدهی و پر شدن دانه، اندیس 100 نشان دهنده آبیاری کامل و اندیس 60 در IR، IG و IP نشان‌دهنده 60 % نیاز آبی در مراحل مختلف رشد و N100 نشان‌دهنده 100% مصرف نیتروژن مورد نیاز

تولید ماده خشک (بیومس خشک[1]) نیز در تمامی تیمارها به خوبی شبیه‌سازی شده و اختلاف کمی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مشاهده شد. این اختلافات در تنش‌های اعمالی در مرحله رویشی مخصوصاً IR۶۰ بارزتر است. از آنجایی که ماده خشک (بیومس خشک) ارتباط نزدیکی با پوشش کانوپی دارد و تنش‌های آبی اعمالی در مرحله رویشی تأثیر مضاعفی بر پوشش کانوپی دارند این تأثیر بر ماده خشک نیز زیاد خواهد بود (شکل 2). در تمامی تیمارها، تنش آبی باعث کاهش ماده خشک و مصرف نیتروژن باعث افزایش آن شده است. مدل در اکثر تیمارها در مراحل رویشی و گلدهی، مقدار ماده خشک (بیومس خشک) را کم‌تر و در پایان فصل بیش‌تر شبیه‌سازی می‌کند، دلیل شبیه‌سازی کم‌تر اولیه مدل، به دلیل کم‌تر برآورد کردن ماده خشک اولیه و دلیل شبیه‌سازی بیش‌تر ماده خشک نهایی، برآورد بیش‌تر ضریب افزایش روزانه ماده خشک نسبت به ضریب واقعی افزایش ماده خشک در طول فصل است.

عملکرد دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل در تیمار شاهد همواره کم‌تر و در تیمارهای تحت تنش، همواره بیش‌تر شبیه‌سازی شده است. در حقیقت نتایج مدل، میانگینی از شرایط تنش و بدون تنش است به‌عبارتی روابط و ضرایب پیش‌بینی عملکرد مدل در شرایط تنش بایستی اصلاح گردیده و تأثیرات تنش‌های آبی بر کاهش عملکرد، مخصوصاً در تنش‌های اعمالی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، که عملکرد وابستگی زیادی به تأمین نیاز آبی در این مراحل دارد کم‌تر در نظر گرفته شود. در مجموع شبیه‌سازی عملکرد توسط مدل در تیمارهای مختلف تنش آبی و نیتروژن قابل قبول بود (شکل 3).

نتیجه‌گیری

از آنجایی که تیمارهای مختلف آبی و کودی نیتروژن در مراحل مختلف رشد، تأثیر معنی‌داری بر میزان ماده خشک بالای سطح زمین

1 - Dry biomass

www.SID.ir

Archive of SID

و عملکرد دانه در سطح 1% داشته، اعمال کم آبیاری به‌دلیل کاهش تولید و درآمد، توصیه نگردیده و تأمین 100% نیاز آبی گیاه ضروری به نظر می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی نیز نشان می‌دهد که می‌توان از مدل Aquacrop واسنجی شده موجود در گستره وسیعی از شرایط آب و هوایی ایران جهت شبیه‌سازی تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و تغییرات پوشش کانوپی گیاه ذرت در طول فصل رشد در شرایط مختلف تنش‌های آبی و کودی، استفاده نمود.

منابع

الباجی،م.، بهزاد،م.، برومند نسب،س.، ناصری،ع و شاهنظری،ع. 1389. بررسی اثر روش‌های آبیاری معمولی CI کم آبیاری تنظیم شده (RDI) و کم آبیاری به‌صورت خشکی موضعی ریشه (PRD) بر بهره‌وری آب (WP) و کارایی مصرف آب (WUE) آفتابگردان. پایان نامه دکتری. 220 صفحه.

حیدری نیا،م.، ناصری،ع و برومند نسب،س. 1389. بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت، آفتابگردان و پنبه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. 98 صفحه.

لک،ش.، نادری،ا.، سیادت،س.ع.، آینه بند،ا.، نور محمدی،ق و موسوی،س.ه. 1386. تأثیر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذرت دانه‌ای در شرایط آب و هوایی خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 11. 42 (الف): 1-14.

علیزاده،ا.، مجیدی،ا.، نادیان،ح.، نور محمدی،ق و عامریان،م. 1386. بررسی اثر تنش خشکی و مقادیر مختلف نیتروژن بر فنولوژی و رشد ونمو ذرت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 14: 1-11.

Cavero,J., Farre,I., Debaeke,P and Faci,J.M. 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPICphase and CROPWAT models. Agronomy Journal. 92:679–690.

Claasen,M.M and Shaw,R.H. 1970. Water deficit effects on corn: II Grain Components. Agronomy Journal.62: 652-655.

Doorenbos,J and Kassam,A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, FAO, Rome, Italy, 193 pp.

Farre,I and Faci,J.M. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96: 383–394.

Gheysari,M., Mirlatifi,S.M., Bannayan,M., Homaee,M and Hoogenboom,G. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management 96:809 – 821

Hsiao,T., Heng,L.K., Steduto,P., Rojas,B., Raes,D and Fereres,E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal. 101:448– 459.

Hutson,I.L and Wagenet,R.J. 1992. LEACHM. Leaching estimation and chemistry model: a process based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in unsaturated zone. Version 3. Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, NY, USA.

Jones,C.A and Kiniry,J.R., 1986. The CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A and M University Press, Coll. Sta., TX, USA.

Leonard,R.A., Kinsel,W.G and Still,D.A. 1987. GLEAMS: ground-water loading effects of agricultural management systems. Transaction of the American Society of Agricultural Engineering. 30, 1403–1418.

Mcpherson,H.G and Boyer,J.S. 1977. Regulation of grain yield by photosynthesis in maizesubjected to a water deficiency. Agronomy Journal. 69:714-718.

Moser,S.B., Feil,B., Jampatong,S and Stamp,P. 2006. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. Agricultural Water Management. 81: 41–58.

Oktem,A., Simsek,M and Oktem,A.G., 2003. Deficit irrigation on sweet corn (Zea mays saccharata Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region. Agricultural Water Management. 61: 63–74.

Pandey,R.K., Maranville,J.W and Admou,A. 2000. Deficit irrigation and nitrogeneffects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. Agricultural Water Management. 46, 1–13.

Payero,J.O., Tarkalson,D.D., Irmak,S., Davison,D and Petersen,J.L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use

www.SID.ir

Archive of SID

CropSyst- a cropping systems simulation model. European journal of Agronomy. 18:289–307.

Stone,P.J., Wilson,D.R., Reid,J.B and Gillespie,R.N. 2001. Water deficit effects on sweet corn. I Water use, radiation use efficiency, growth, and yield. Australian journal of Agricultural Research. 52: 103–113.

Traore,S.B., Carlson,R.E., Pilcher,C.D and Rice,M.E. 2000. Bt and non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. Agronomy Journal. 92: 1027–1035.

Yang,H.S., Dobermann,A., Lindquist,J.L., Walters,D.T., Arkebauer,T.J and Cassman,K.G. 2004. Hybrid-maize-a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. Field Crops Research. 87:131–154.

efficiency and dry matter production in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 95: 895–908.

Raes,D., Steduto,P., Hsiao,T.C and Fereres,E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. Agronomy Journal. 101:438–447.

Soler,C.M.T., Hoogenboom,G., Sentelhas,P.C and Duarte,A.P. 2007. Impact of water stress on maize grown off-season in a subtropical environment. Journal of Agronomy and Crop Science. 193: 247–261.

Steduto,P., Hsiao,T.C., Raes,D and Fereres,E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal. 101:426–437.

Stockle,C.O., Donatelli,M and Nelson,R. 2003.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 73-82

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 82-73

Simulation of Effects of Water Stress and Nitrogen Levels on Yield and Yield Components Corn

A. salari*[1], **A. Hooshmand**[2] **and M. Bahrami**[3]

Recived: Des.19, 2015 Accepted: Apr.28, 2016

Abstract

Water and nitrogen are the most important parameters affecting the yield of different plants such as corn. The aim of this study was to investigate the response of field corn to different levels of water and nitrogen and simulating with Aquacrop model. Water treatments were included control (I100), water stress in vegetative growth, flowering and grain filling stages, each of them had two levels 80% and 60% of water requirement and application of nitrogen fertilizer in two levels of 220 (N100) and 110 (N50) Kg N/ha. Field results showed that various stages of crop growth was affected by water and nitrogen stresses.The results of analysis of variance showed that various water and nitrogen treatments had a significant effect on above-ground biomass and grain yield at 1%. AquaCrop model was able to accurately simulate canopy cover, biomass and grain yield during the growth season. Simulation results showed that calibrated AquaCrop model can be used to a wide range of Iran.

Keywords: Biomass, Corn, Simulation, Water, Yield.

1- Assistant professor, Agricultural faculty, University of Torbat Heydarieh
2- Associate Professor, Water Science Faculty, Shahid Chamran University
3- Assistant professor, Agricultural Faculty, Fasa University
(*- Corresponding Author. Email: salari.1361@yahoo.com)

www.SID.ir