نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۲

ISSN 2251-7480

# برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل OILCROP-SUN در سطوح مختلف کود نیتروژنی

**مینا کیانی[۱]، مهدی قیصری[۲*] و بهروز مصطفی زاده[۳]**

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه صنعتی اصفهان؛ اصفهان؛ ایران

۲*) استادیار گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه صنعتی اصفهان؛ اصفهان؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: Gheysari@cc.iut.ac.ir

۳) استاد گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه صنعتی اصفهان؛ اصفهان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۴

**چکیده**

مدل‌های گیاهی ابزاری مناسب و کم هزینه برای بررسی اثر نهاده‌ها بر عملکرد منابع آب، خاک و عملکرد گیاهی می‌باشند. هدف از این پژوهش، ارزیابی مدل گیاهی OILCROP-SUN برای رقم یوروفلور گیاه آفتابگردان به منظور فراهم کردن بستری مناسب برای حفاظت بهینه از منابع آب و خاک بود. این پژوهش با استفاده از طرح آماری کرت‌های نواری در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح آبیاری و سه سطح کود نیتروژن بود. در پایان دوره رشد، وزن زیست توده، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و درصد نیتروژن دانه اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های پایان دوره در دو تیمار آبیاری کامل و بیش آبیاری در یک سطح کود نیتروژن، مدل گیاهی واسنجی و شش ضریب ژنتیکی مدل برای واریته یوروفلور استخراج شد. برای ارزیابی مدل از دیگر تیمارهای سطوح آبیاری و کود نیتروژن که در واسنجی به کار نرفتند، استفاده گردید. نتایج نشان داد عملکرد دانه برای ۱۲ تیمار آزمایشی با مقدار شاخص NRMSE برابر ۱۸/۵ درصد و شاخص d برابر با ۰/۹۲ شبیه‌سازی شد. همچنین، مقدار d در تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژن برای نیتروژن دانه برابر ۰/۹۳، و برای روغن دانه ۰/۹۱ بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** کود نیتروژن؛ مدل گیاهی آفتابگردان؛ نرم‌افزار DSSAT؛ یوروفلور

## مقدمه

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی ایران و جهان است. ایران به طور متوسط سالانه یک میلیون تن روغن خام وارد می‌کند و از این لحاظ بعد از اتحادیه اروپا، چین، هندوستان، آمریکا و پاکستان در رتبه ششم جهانی قرار دارد[۱]. استفاده از راهکارهای مدیریتی مناسب و به کارگیری درست منابع آب، سبب افزایش تولید گیاهان استراتژیک به ازای واحد حجم آب مصرفی می‌شود که یکی از روش‌های صرفه‌جویی و حفظ آب در کشور کم آب ایران است. اما لازمه بررسی پارامترهای مختلف موثر بر عملکرد گیاه مانند آب و هوا، خاک و مدیریت‌های مزرعه‌ای و پیدا کردن بهترین مدیریت، اجرای پژوهش‌های میدانی به منظور بررسی استراتژی‌های مختلف مدیریتی

[1] http://fa.tpo.ir/ParsDesign/files/DataCategory/Items/1283.pdf.

می‌باشد که بسیار زمان بر و پرهزینه بوده و نتایج حاصل از آن‌ها قابل تعمیم به نقاط دیگر نمی‌باشد (Meinke et al., 2001). از این رو مدل‌های گیاهی با کارایی آسان‌تر و سریع‌تر برای بهینه‌سازی مدیریت گیاهان و تولید محصول و همچنین برای مطالعه مدیریت آبیاری و کوددهی و موازنه آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mercau et al., 2007؛ سرائی تبریزی، ۱۳۹۱). مدل گیاهی OILCROP-SUN یکی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه آفتابگردان است که می‌توان از آن در راستای بهبود مدیریت گیاه استراتژیک آفتابگردان در سطح مزرعه کمک گرفت (Villalobos and Hall. 1989).

مدل OILCROP-SUN در سال ۱۹۹٦ زیر مجموعهٔ بسته نرم افزاری DSSAT قرار گرفت (IBSN., 1989). این مدل برای اولین بار توسط Villalobos و همکاران (۱۹۹٦ )برای گیاه آفتابگردان واسنجی گردید. در مطالعات بعدی مدل برای شرایط آب و هوایی اسپانیا و آب و هوای نیمه خشک هند نیز واسنجی شد (Aguera et al., 1997؛ Alagarswamy et al., 2000). نتایج نشان داد که مدل در شرایط مذکور، عملکرد گیاه آفتابگردان، تبخیر–تعرق و مقدار آب خاک را به خوبی شبیه‌سازی می‌نماید. Rinaldi (۲۰۰۳) در سه منطقه متفاوت آب و هوایی ایتالیا مدل را برای سه واریته گیاه آفتابگردان واسنجی و ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل OILCROP-SUN در شبیه سازی مراحل فنولوژی، عملکرد محصول و تبخیر–تعرق فصلی کارآمد بوده است اما در شبیه‌سازی وزن زیست توده نهایی گیاه و وزن تک دانه عملکرد ضعیفی داشته است. Sorianoa و همکاران (۲۰۰٤) با بهره گیری از مدل OILCROP-SUN در یک دوره ۲۵ ساله اثر تاریخ کشت بر عملکرد آفتابگردان تحت شرایط دیم را در اسپانیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کشت زودهنگام آفتابگردان در شرایط دیم عملکرد محصول بالاتری نسبت به کشت دیر هنگام دارد. مرصفاوی (۲۰۰٦) در سه ناحیه مصر، مدل OILCROP-SUN را برای یک رقم گیاه آفتابگردان به کمک داده‌های دو سال زراعی واسنجی و ارزیابی کرد. سپس در شرایط تغییر اقلیم مصر، اثر تاریخ کشت، مقدار آب آبیاری و حذف یک آبیاری در مراحل مختلف رشد را بر روی محصول آفتابگردان بررسی نمود.

با توجه به توانایی مدل OILCROP-SUN در بررسی استراتژی‌های مختلف مدیریتی مانند تاریخ کاشت متفاوت، شرایط آب و هوایی مختلف، مدیریت کود دهی و آبیاری و ارزیابی واریته‌های مختلف، می‌توان رشد و عملکرد آفتابگردان را در مناطق مختلف توسط این مدل مورد ارزیابی قرار داد و بهترین توصیه‌های مدیریتی را برای هر منطقه مشخص نمود. قبل از به کارگیری مدل برای یک واریته جدید، ابتدا بایستی ضرایب ژنتیکی برای آن واریته استخراج گردد و پس از آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

در سال‌های اخیر تحقیقاتی بر زیرمدل‌های بسته نرم‌افزاری DSSAT برای گیاهانی مانند گندم (اندرزیان، ۱۳۸۷)، ذرت (ملکیان و قیصری، ۱۳۹۰؛ ربیع، ۱۳۹۱؛ و دوکوهکی و همکاران، ۱۳۹۱) و جو (آبابایی و همکاران، ۱۳۹۱) انجام شده است، اما تاکنون مطالعه‌ای روی مدل OILCROP-SUN برای گیاه آفتابگردان در ایران صورت نگرفته است.

همچنین ضرایب ژنتیکی واریته یوروفلور نیز برای استفاده در مدل در سطح جهان گزارش نشده است. در این راستا تحقیق مزرعه‌ای با هدف واسنجی (استخراج ضرایب ژنتیکی) و ارزیابی مدل OILCROP-SUN برای رقم یوروفلور گیاه آفتابگردان تحت سطوح مختلف آب و کود نیتروژن انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### طرح آزمایشی مزرعه

به منظور واسنجی و ارزیابی مدل OILCROP-SUN که از مدل‌های گیاهی موجود در بسته نرم افزاری DSSAT v4.5 می‌باشد، پژوهشی در سال ۱۳۹۰ در مزرعه‌ی پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه‌ی لورک شهرستان نجف‌آباد انجام شد. این

منطقه دارای موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و۲۳ دقیقه طول شرقی، ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی است و در ارتفاع ۱۶۳۰ متری از دریا قرار دارد. بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش در قطعه زمینی به ابعاد ۴۰*۲۵ مترمربع با طرح آماری کرت‌های نواری در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. در این تحقیق چهار سطح آب آبیاری شامل دو سطح کم آبیاری (W1=۰/۶ SMD[1] و SMD W2=۰/۸) و یک سطح آبیاری کامل (W3=۱ SMD) و یک سطح بیش آبیاری (W4=۱/۲ SMD) لحاظ گردید. همچنین سطوح کودی شامل سه سطح کودی صفر (N0)، ۴۷ (N50) و۹۳ (N100) کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع کود اوره بود.

عملیات کاشت هیبرید یوروفلور در تاریخ سیزدهم خرداد ماه به صورت کشت ردیفی با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. برای آبیاری از سیستم آبیاری موضعی قطره‌ای-نواری (Drip-Tape) و برای تزریق کود در سیستم آبیاری از انژکتور تزریق کود استفاده شد. تیمارهای آبی از روز سی و یکم اعمال گردیدند. برای تعیین زمان و مقدار آبیاری، از پایش رطوبت خاک استفاده شد (قیصری، ۱۳۸۵). رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج PR2[2] (ساخت شرکت دلتا- تی) در لایه‌های ۰-۱۰، ۱۰-۲۰،۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰،۴۰-۶۰ و ۶۰-۱۰۰ سانتی‌متری در تمام سطوح آبی (W4, W3, W2, W1) به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. عمق آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد گنجایش زراعی (FC) برای تیمار آبی بدون تنش رطوبتی(W3) محاسبه و اعمال گردید (Allen *et al.*, 1998). سایر تیمارهای آبی، ضریبی از این عمق آبیاری را دریافت می‌کردند (ضرایب ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۲ به ترتیب برای سطوح آبیاری W1، W2 و W4). زمان آبیاری بر اساس بیشینه تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) برابر ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک در تیمار آبی W3 تعیین گردید (Allen *et al.*, 1998). برداشت محصول در تاریخ چهاردهم شهریور ماه، ۹۵ روز پس از زمان کاشت انجام شد.

در راستای اهداف تحقیق و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای ایجاد فایل‌هایی نظیر فایل X، A و T برای واسنجی و ارزیابی مدل OILCROP-SUN اندازه‌گیری‌هایی در مزرعه آزمایشی آفتابگردان انجام شد. زمان‌های فیزیولوژیک در طی دوره رشد ثبت گردید. در پایان دوره رشد گیاه وزن خشک کل زیست توده برای هر نمونه اندازه‌گیری شد. پارامترهای برداشت محصول نیز شامل تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بودند. در نهایت درصد روغن دانه در زمان برداشت محصول برای همه تیمارها با استفاده از دستگاه سوکسله[3] و مقدار نیتروژن دانه نیز با روش Semi-micro Kjeldahl اندازه‌گیری شد (AOAC. 1990 ؛ Bremner and Prestone., 1990).

[1] Soil moisture depletion
[2] Profile probe device

[2] Soxhlet

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

| عمق نمونه‌برداری (cm) | pH | هدایت‌الکتریکی (dS/m) | رس (٪) | شن (٪) | ظرفیت زراعی مزرعه (٪) | چگالی ظاهری ($Mgm^{-3}$) | درصد ماده آلی (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۰ - ۰ | ۸/۱ | ۱/۱ | /۹ | ۹ | ۲٤/۳ | ۱/٤ | ۰/۹ |
| ٤۰ - ۲۰ | ۷/۹ | ۰/۸ | /٦ | ۹ | ۳۱/۰ | ۱/۵ | ۰/۹ |
| ٦۰ - ٤۰ | ۷/۸ | ۰/۸ | /۷ | ۹ | ۳۲/۷ | ۱/۵ | ۰/٤ |
| ۸۰ - ٦۰ | ۷/۸ | ۱/۰ | /۳ | ٦ | ۳۲/۲ | ۱/۵ | ۰/۳ |
| ۱۰۰ - ۸۰ | ۷/۷ | ۱/۰ | /۳ | ۹ | ۳۰/۹ | ۱/۵ | ۰/۲ |

**مدل OILCROP-SUN**

مدل OILCROP-SUN زیر مجموعهٔ بسته نرم افزاری DSSAT می‌باشد. این مدل را می‌توان به عنوان یک مدل CERES-type (Jones and Kiniry., 1986) طبقه بندی نمود (Villalobos et al., 1996; Rinaldi *et al.*, 2003) بسته نرم افزاری DSSAT تحت ویندوز بوده و به راحتی توسط کاربر قابل استفاده می باشد. هرکدام از داده‌های برداشت شده از مزرعه مربوط به خاک، آب و هوا، آبیاری، کوددهی، شاخص‌های گیاه آفتابگردان در دوره‌های مختلف رشد و امثال آن در مدول‌های این بسته نرم افزاری وارد می‌گردد. مدل گیاهی OILCROP-SUN تحت DOS اجرا می‌شود. در این پژوهش از نسخه جدید بسته نرم‌افزاری DSSAT V4.5 استفاده شد.

یکی از مدول‌های اصلی و مورد نیاز بسته نرم افزاری DSSAT، مدول خاک می‌باشد. داده‌های مورد نیاز فایل خاک از نتیجه تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه آفتابگردان تهیه شد. با توجه به ویژگی‌های خاک منطقه، داده‌های مورد نیاز برای تهیه فایل خاک نظیر رنگ خاک، بافت خاک، حدود رطوبتی FC و PWP، مقدار[1] OC و pH، برای لایه‌های مختلف در مدول خاک تعریف شد (جدول ۱).

داده‌های مورد نیاز برای ساخت فایل آب و هوا توسط ابزار WeatherMan، شامل کمینه و بیشینه روزانه دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی به صورت روزانه برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ بود (Thorp *et al.*, 2008). داده‌های هواشناسی مورد نظر از ایستگاه هواشناسی نجف آباد که نزدیک‌ترین ایستگاه معتبر به محل اجرای طرح بود تهیه شد. اطلاعات مربوط به طرح آزمایشی مورد مطالعه، عملیات انجام شده در مزرعه و مدیریت بر روی شبیه‌سازی تیمارهای طرح به صورت فایل X ساخته شد (Thorp *et al.*, 2008). داده‌های مربوط به کاشت، داشت (آبیاری و کود)، برداشت، مدیریت‌های مزرعه وارد X-file گردید و ۱۲ تیمار مختلف آب کاربردی و کود نیتروژن تعریف شدند. فایل‌های A و T نیز بر اساس داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در طی دوره رشد آفتابگردان و برخی اندازه‌گیری‌های نهایی آماده گردید (Boote *et al.*, 2010). اندازه‌گیری‌هایی نظیر وزن ماده خشک، درصد روغن، درصد نیتروژن دانه و عملکرد دانه برای تیمارهای مختلف در فایل T وارد شد. مقادیر نهایی برداشت شده نظیر زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه در هکتار، مقدار ماده خشک در زمان گلدهی، مقدار ماده خشک تولید شده نهایی، وزن هر دانه، تعداد دانه در طبق، تعداد برگ نهایی، درصد روغن دانه و درصد نیتروژن دانه در فایل A وارد گردید. این مدل گیاهی دارای شش ضریب ژنتیکی می‌باشد که از سه ضریب ژنتیکی برای تفاوت ارقام از نظر رشد (P1، P2 و P5) و از دو ضریب دیگر (G2 و G3) برای تفاوت پتانسیل عملکرد گیاه و یک ضریب (O1) برای درصد روغن آفتابگردان استفاده شده است (جدول ۲).

[1] Organic carbon

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی آفتابگردان در مدل OILCROP-SUN موجود در بسته نرم‌افزاری DSSAT v4.5 (Rinaldi *et al.*, 2003)

| ضریب ژنتیکی | تعریف |
|---|---|
| P1 | درجه روز رشد (GDD) از مرحله جوانه‌زنی تا انتهای فاز جوانی (بر اساس دمای پایه گیاه آفتابگردان برابر ٤ درجه سانتی گراد) |
| P2 | ضریب حساسیت واکنش نوری |
| P5 | درجه روز رشد از مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی (بر اساس دمای پایه گیاه آفتابگردان برابر ٤ درجه سانتی گراد) |
| G2 | پتانسیل تعداد دانه در گیاه |
| G3 | پتانسیل شدت رشد دانه برحسب میلی گرم بر دانه در مدت یک روز (mg/Kernel/d) |
| O1 | درصد روغن دانه |

پس از آماده نمودن فایل خاک، آب و هوا، X-file و A-file، امکان اجرای مدل OILCROP-SUN وجود خواهد داشت. پس از اطمینان از امکان اجرای مدل، ضرایب ژنتیکی گیاه آفتابگردان با سعی و خطا طوری انتخاب شد که شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده در مزرعه با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل هماهنگی کافی را داشته باشد. روش واسنجی مدل OILCROP-SUN به صورت دستی می‌باشد و تاکنون این مدل زیر مجموعه نرم افزارهای واسنجی بسته نرم افزاری DSSAT v4.5 مانند ابزار GENCALC قرار نگرفته است؛ بنابراین امکان واسنجی خودکار مدل وجود ندارد. از این رو، واسنجی این مدل به دقت و تمرکز بالایی نیاز داشته و بسیار زمان‌بر بود.

در نهایت ارزیابی مدل بر اساس شاخص‌های گیاهی مختلف آفتابگردان در تیمارهای متفاوت آب و کود نیتروژن صورت گرفت. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در مزرعه از نمایه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)، ضریب تبیین ($r^2$) و شاخص توافق ویلموت (d) که به شرح زیر می‌باشند، استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{N}} \qquad (۱)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE \times 100}{\overline{O}} \qquad (۲)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|P_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2} \right] \qquad (۳)$$

در روابط فوق $P_i$ مقادیر شبیه‌سازی، $O_i$ مقادیر مشاهده شده، N تعداد مشاهده‌ها و $\overline{O}$ مقدار میانگین مشاهدات می‌باشد. شاخص آماری RMSE بیانگر میانگین تفاوت بین داده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای می‌باشد (Savage., 1993). مقدار NRMSE نسبت اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بیش از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد شود، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و بالای ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (Savage., 1993). شاخص آماری توافق ویلموت (d) دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش

می‌باشد (Soler *et al.*, 2007؛ فلامکی و اسکندری، ۱۳۹۱؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۱ (الف)؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۱ (ب)).

**نتایج و بحث**

با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای، فایل A برای تیمارهای W3N50 و W4N50 که در شرایط بهینه رشد نموده بودند، تهیه شد. با مقایسه شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل ضرایب ژنتیکی واریته یوروفلور آفتابگردان به صورت دستی و با سعی و خطا استخراج گردید (جدول ۳).

مدل توانست زمان‌های فنولوژی گیاه نظیر زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند. از آنجایی که مراحل فنولوژی نقش مهمی در مدیریت مزرعه برای دستیابی به حداکثر تولید محصول دارند به نظر می‌رسد مدل OILCROP-SUN می‌تواند با پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی گیاه آفتابگردان به عنوان یک ابزار مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تحقیقات سایر محققان نیز نشان داد که مدل به طور رضایت بخشی مراحل فنولوژی آفتابگردان را شبیه‌سازی می‌کند (Villalobos *et al.*, 1996؛ Rinaldi *et al.*, 2003؛ Wajid., 2010). همچنین شاخص‌های مهم گیاه آفتابگردان از جمله عملکرد دانه، نیتروژن دانه و عملکرد روغن دانه با درصد تفاوت قابل قبولی توسط مدل پیش‌بینی شد (جدول ٤). بیشترین درصد تفاوت میان مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار W3N50 برابر ۱۳/۱ درصد برای شاخص نیتروژن دانه و در تیمار W4N50 برابر ۱۷/۲ درصد برای وزن تک دانه گیاه بود که درصد تفاوت های بدست آمده برای یک مدل شبیه‌سازی، قابل قبول است (جدول ٤).

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده برای واریته یوروفلور جهت استفاده در مدل OILCROP-SUN از بسته نرم افزاری DSSAT

| واریته آفتابگردان | P1 | P2 | P5 | G2 | G3 | O1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| یوروفلور | ۲۷۸ | ۵ | ٦۹۳ | ۱۰۰۰ | ۱/۰۲ | ٦۰ |

جدول ٤- مقادیر متوسط داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس واسنجی مدل OILCROP-SUN برای دو تیمار W3N50 و W4N50

| شاخص گیاهی | W3N50 | | *درصد اختلاف | W4N50 | | درصد اختلاف |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | برآورد شده | مشاهده شده | (٪) | برآورد شده | مشاهده شده | (٪) |
| زمان گلدهی | ۵۷ | ۵۷ | ۰/۰ | ۵۷ | ۵۷ | ۰/۰ |
| زمان‌رسیدگی فیزیولوژیک | ۹۵ | ۹۵ | ۰/۰ | ۹۵ | ۹۵ | ۰/۰ |
| عملکرد دانه (kg/ha) | ۳۷۳٤ | ۳۷۷۰ | -۱/۰ | ۳۷۸۰ | ۳۷٦۰ | ۰/۵ |
| نیتروژن دانه (٪) | ۲/۳٦ | ۲/٦۹ | -۱۲/۳ | ۲/٤۲ | ۲/۷۱ | -۱۰/۷ |
| نیتروژن دانه (kg/ha) | ۸۸/۱ | ۱۰۱/٤ | -۱۳/۱ | ۹۱/۵ | ۱۰۱/۹ | -۱۰/۲ |
| روغن دانه (٪) | ٤٤/۱۲ | ٤۳/۰۰ | ۲/٦ | ٤٤/۸٦ | ٤٤/۳ | ۱/۳ |
| عملکرد روغن دانه (kg/ha) | ۱٦٤۷/٤ | ۱٦۲۱/۱ | ۱/٦ | ۱٦۹۵/۷ | ۱٦٦۵/۷ | ۱/۸ |
| وزن تک دانه (gr/grain) | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۸ | -۱۰/۱ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰٦۳ | -۱۷/۲ |

* $\text{Dif} = \frac{\text{Observed}-\text{Simulated}}{\text{Observed}} \left(٪\right)$ (Meireles *et al.*, 2002).

برای ارزیابی مدل داده‌هایی مستقل از آنچه در مرحله واسنجی استفاده شده بود، به کار گرفته شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل OILCROP-SUN برای مدیریت‌های متفاوت صورت گرفته در تیمارها، با آنچه از مزرعه برداشت شده مقایسه گردید و میزان خطا برآورد شد، به عبارت دیگر صحت سنجی لازم در خصوص استفاده از مدل انجام شد (جدول ۵). نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. پراکندگی نقاط اطراف خط ۱:۱ به دلیل اجرای مدل در بازه وسیعی از سطوح آبیاری (کم آبیاری تا بیش آبیاری) و سطح وسیعی از مصرف کود نیتروژن بوده است. توانایی یک مدل گیاهی برای شبیه‌سازی در شرایط مختلف رطوبتی و کود نیتروژن یکی از ویژگی‌های مهم آن است که در تصمیم گیری‌های مدیریتی بسیار کارامد خواهد بود.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، عملکرد دانه با ضریب تبیین بالا ($R^2$=۰/۸۰) به خوبی شبیه‌سازی شده است همچنین، مقدار شاخص NRMSE برابر ۱۸/۵ درصد و شاخص d برابر با ۰/۹۲ بود (جدول ۵) که تاییدی بر توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه می‌باشد. رینالدی (۲۰۰۳) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافت که مدل عملکرد دانه را با دقت بالایی شبیه سازی می‌کند.

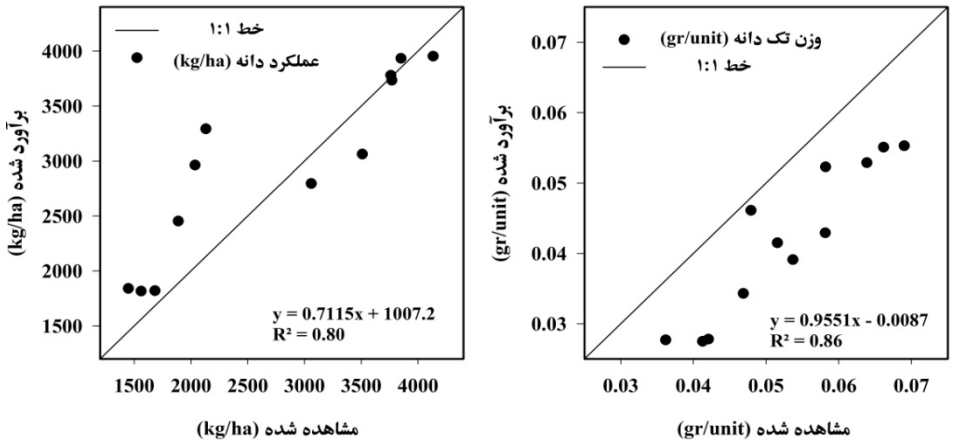
مدل OILCROP-SUN وزن تک دانه را کمتر از آن چه در مرزعه اندازه‌گیری شده است، شبیه سازی کرد. Rinaldi و همکاران (۲۰۰۳) نیز در تحقیقات خود برای ارزیابی این مدل به نتایج مشابهی دست یافتند. البته مقدار شاخص NRMSE برابر ۲۲ درصد و شاخص d برابر با ۰/۷۵ دقت قابل قبول مدل در شبیه سازی وزن تک دانه را تایید می‌کند. با توجه به شکل ۱ وزن تک دانه دارای ضریب تبیین بالا ($R^2$=۰/۸۶) می باشد و بیان‌گر این است که مدل توانسته روند تغییرات وزن تک دانه در تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژنه را به درستی شبیه‌سازی کند که می‌توان با اعمال ضریبی در شیب خط رابطه بدست آمده برای وزن تک دانه، تخمین کم مدل را جبران کرد. از مقایسه مقدار شبیه‌سازی شده توسط مدل در ۱۲ تیمار مختلف آب و کود نیتروژن مشاهده می شود که مقدار شاخص ویلموت برای نیتروژن دانه برابر ۰/۹۳ و برای روغن تولید شده در هکتار ۰/۹۱ می‌باشد و مقدار شاخص NRMSE به ترتیب برابر ۲۰ و ۲۲ درصد است. این نتایج دلالت بر امکان استفاده از مدل OILCROP-SUN برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن و روغن دانه تحت شرایط مدیریت‌های مختلف آب کاربردی و نیتروژن می‌باشد. این نتیجه برای درصد نیتروژن دانه و درصد روغن دانه (NRMSE به ترتیب برابر ۱۳ و ۱۹ درصد) هم مشاهده شد؛ به عبارت دیگر اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی کم بوده است و مدل در شبیه‌سازی درصد نیتروژن دانه و درصد روغن دانه برای تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژن به خوبی عمل کرده است (شکل ۲).

اما در مورد وزن زیست توده گیاه آفتابگردان در زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک (NRMSE >30) اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی زیاد بوده و در تمام تیمارها، مدل وزن زیست توده را کم تخمین زده است. Rinaldi و همکاران (۲۰۰۳) و Villalobos و همکاران (۱۹۹۶) در تحقیقات خود برای ارزیابی مدل OILCROP-SUN به این نکته اشاره کردند که مدل در شبیه سازی وزن زیست توده گیاه ضعیف عمل کرده است. آن‌ها علت تخمین کم مدل را اشکال در تخمین تغییرات RUE[1] بعد از زمان گلدهی بیان نمودند. اما وزن زیست توده آفتابگردان در زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک دارای ضریب تبیین بالا ($R^2$=۰/۷۳ و $R^2$=۰/۸۶) می‌باشد و مدل توانسته است روند تغییرات وزن یست توده آفتابگردان در زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک در تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژن را به درستی شبیه‌سازی کند.

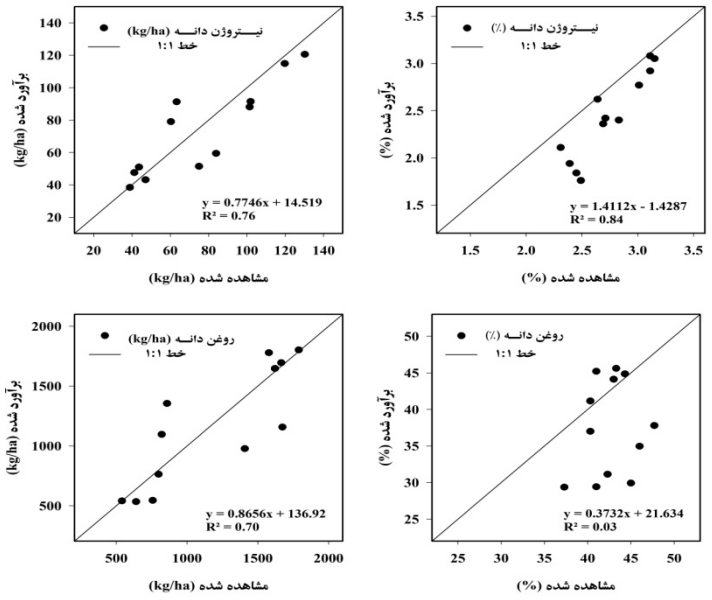
[1] Radiation Use Efficiency

جدول ۵- مقدار شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE و d برای شاخص‌های مهم آفتابگردان در ۱۲ تیمار آب و کود نیتروژن در ارزیابی مدل

| شاخص گیاهی در ۱۲ تیمار آب و کود نیتروژن | میانگین | RMSE | NRMSE | d |
|---|---|---|---|---|
| عملکرد دانه (kg/ha) | ۲۷۳۶ | ۵۰۶/۴۳ | ۱۸/۵۱ | ۰/۹۲ |
| نیتروژن دانه (٪) | ۲/۷۴ | ۰/۳۷ | ۱۳/۴۵ | ۰/۷۸ |
| نیتروژن دانه (kg/ha) | ۷۵/۵ | ۱۵/۲۷ | ۲۰/۲۱ | ۰/۹۳ |
| روغن دانه (٪) | ۴۲/۶ | ۸/۱۹ | ۱۹/۲۲ | ۰/۳۷ |
| عملکرد روغن دانه (kg/ha) | ۱۱۷۹/۴ | ۲۶۹/۸۹ | ۲۲/۸۸ | ۰/۹۱ |
| وزن تک دانه (gr/grain) | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۱ | ۲۲/۰۸ | ۰/۷۵ |
| وزن زیست توده در زمان گلدهی (kg/ha) | ۷۸۰۱ | ۳۲۶۷/۴ | ۴۱/۸۹ | ۰/۶۱ |
| وزن زیست توده در زمان برداشت (kg/ha) | ۱۱۱۰۱ | ۳۴۶۸/۸ | ۳۱/۲۵ | ۰/۷۴ |




شکل ۱- مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده شده برای عملکرد دانه و وزن تک دانه در سطوح مختلف آب کاربردی و کود نیتروژن




شکل ۲- مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده شده برای نیتروژن دانه و عملکرد روغن دانه در سطوح مختلف آب کاربردی و کود نیتروژن

**نتیجه‌گیری**

واسنجی مدل گیاهی OILCROP-SUN برای واریته یوروفلور آفتابگردان با موفقیت انجام شد و ضرایب ژنتیکی برای واریته مذکور در منطقه نیمه‌خشک ایران بدست آمد. مدل گیاهی OILCROP-SUN توانست زمان‌های فنولوژی گیاه آفتابگردان نظیر زمان گلدهی و زمان رسیدگی فیزیولوژیک را به خوبی پیش‌بینی نماید. نتایج ارزیابی حاکی از توانایی مدل در شبیه‌سازی شاخص‌های گیاهی نظیر عملکرد دانه، نیتروژن دانه و روغن دانه گیاه آفتابگردان بود. مدل وزن تک دانه و زیست توده در زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرد، اما مقادیر شاخص‌های آماری برای ۱۲ تیمار آب و کود نیتروژن قابل قبول بود. با توجه به نتایج این پژوهش مدل گیاهی OILCROP-SUN توانایی شبیه‌سازی عملکرد و رشد گیاه آفتابگردان را در سطوح مختلف آب و کود نیتروژن در سطح مزرعه دارد. از این رو می‌توان از این مدل به عنوان یک ابزار مهم تصمیم‌گیری با کارایی آسان‌تر و سریع‌تر برای بهینه‌سازی مدیریت آب و کود نیتروژن در تولید محصول استفاده نمود؛ که نه تنها راهکاری مناسب برای بهره وری از منابع آب در شرایط بحران آب می‌باشد بلکه از اثرات زیان بار مصرف بی رویه کود نیتروژن نیز جلوگیری می‌نماید.

**فهرست منابع**


آبابایی، ب.، سرائی تبریزی، م.، فرهادی بانسوله، ب.، سهرابی، ت. و میرزایی، ف. ۱۳۹۱. ارزیابی واسنجی مدل CERES-Barley با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم‌آبیاری. حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۲): ۳۷- ٤٨.

اندرزیان ب. بخشنده ع. بنایان م. و امام ی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. مجله پژوهشهای زراعی ایران. ۱ (٦): ۲۲-۱۱.

تافته، ا. و سپاسخواه، ع. ۱۳۹۰. تحلیل بهره‌وری آب و کود نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای یک در میان برای کشت کلزا. حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۱): ۱- ۱۰.

دوکوهکی ح. قیصری م. موسوی س.ف. و میرلطیفی س.م. ۱۳۹۱. شبیه سازی رطوبت خاک در شرایط کم آبیاری با استفاده از مدل DSSAT. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱): ۱٤-۱.

ربیع م. میرلطیفی س.م. و قیصری م. ۱۳۹۱. واسنجی و ارزیابی مدل CSM-CERES-Maize برای ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰٤ در ورامین. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲٦ (۲): ۲۹۹-۲۹۰.

سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سویا با استفاده از مدل BUDGET. حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۳): ٤۷- ۵۸.

فلامکی، ا. و اسکندری، م. ۱۳۹۱. تخمین ضریب توزیع خاک- آب فلزات سنگین با کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی. حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۱): ۲۵- ۳٦.

قیصری م. میرلطیفی س.م. همایی م. و اسدی م. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۲٦ (۷): ۱۲۵-۱٤۲.

ملکیان ر. و قیصری م. ۱۳۹۰. حساسیت سنجی مدل CSM-CERES-Maize نسبت به ظرفیت زراعی خاک برای شبیه سازی سرنوشت نیتروژن در نیمرخ خاک. مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۱(۲): ۱-۱۳.

نوری، م.، همایی، م. و بای‌بوردی، م. ۱۳۹۱ (الف). ارزیابی پارامتریک توانایی نگهداشت خاک در حضور نفت خام در حالت سه فازی. حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۲): ۱۵- ۲٤.

نوری، م.، همایی، م. و بای‌بوردی، م. ۱۳۹۱ (ب). بررسی پارامتریک ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلاینده نفت سفید. حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۱): ۳۷- ٤۸.

Aguera, F., Villalobos, F.J. and Orgaz, F. 1997. Evaluation of sunflower (Helianthus annuus L.) genotypes differing in early vigour using a simulation model. European Journal of Agronomy, 7: 109–118.

Alagarswamy G. Singh P. Hoogenboom G. Wani S.P. Pathak P. and Virmani S.M., 2000. Evaluation and application of the CROPGRO–Soybean simulation model in a Vertic Inceptisol. Agricultural Systems, 63: 19–32.

Allen R.G. Pereira L.S. Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing

crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56, Rome, Italy. 300 p.
AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (Method 945.16), 15th edition, Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
Boote K.J. Jones J.W. Hoogenboom G. and White J.W. 2010. The role of crop systems simulation in agriculture and environment. International Journal of Agriculture Environmental Information System, 1: 41-54.
Bremner, D.M. and Prestone, G. K. 1990. A field comparison of sunflower and sorghum in a long drying circle: II- plant water relations, growth and yield. Australian Journal of Agricultural Research, 41:463–478.
IBSN, 1989. Decision support system for agrotechnology transfer v2.1, DSSAT version 2.1. University of Hawaii. Honolulu, HI.
Jones C.A. and Kiniry J.R. 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M Univ. Press, Callege station.
Marsafawy S. 2006. Impact of climate change on sunflower crop production in Egypt. The 2nd International Conference On Water Resources and Arid Enviroment.
Meinke H. Baethgen W.E. Carberry P.S. Donatelli M. Hammer G.L. Selvaraju R. Stockle C.O. 2001. Increasing profits and reducing risks in crop production using participatory systems simulation approaches. Agricultural Systems, 70: 493–513.
Meireles E.J.L. Pereira A.R. Sentelhas P.C. Stone L.F. and Zimmerman F.J.P. 2002. Calibration and test of the CROPGRO-Dry bean model for edaphoclimatic conditions in the Savanas of central Brazil. Part of the PhD thesis of the first author, presented to USP/ESALQ - Piracicaba, SP, Brazil.
Mercau J.L. Dardanelli J.L. Collino D.J. Andriani J.M. Irigoyen A. and Satorre E.H. 2007. Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean. Field Crops Research, 100: 200–209.
Rinaldi, M., N. Losavio and Z. Flagella. 2003. Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural Systems, 78: 17-30.
Savage M.J. 1993. Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems, University of Pretoria, South Africa.
Soler C.M.T. Sentelhas P.C. and Hoogenboom G. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. European Journal Agronomy, 27: 165-177.
Sorianoa M. Orgazb F. Villalobos F.J. and Fereresc E. 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. European Journal of Agronomy, 21(4): 465–476.
Thorp K.R. Dejonge K.C. Kaleita A.L. Batchelor W.D. Paz J.O. 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. Computers and Electronics in Agricultura, 64: 276–285.
Villalobos F.J. Hall A.J. 1989. OILCROP-SUN V5.1. Technical documentation, http://nowlin.css.msu.edu/sunflower_doc/sunflower5.1.
Villalobos F.J. Hall A.J. Ritchie J.T. Orgaz F. 1996. OILCROP–SUN: a development, growth and yield model of the sunflower crop. Agronomy Journal, 88: 403–415.

ISSN 2251-7480

# Estimation of genetic coefficients and evaluation of OILCROP-SUN model under different levels of nitrogen fertilizer

**Mina Kiani[1], Mahdi Gheysari[2*] and Behrouz Mostafazadeh-Fard[3]**

1) M.Sc., Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2*) Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran, Corresponding author email: Gheysari@cc.iut.ac.ir
3) Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Received: 07-12-2012 Accepted: 15-03-2013

**Abstract**

Crop models are appropriate and low-cost tools for investigating the effect of agricultural inputs on water and soil resources and crop production. The objective of this study was to evaluate the OILCROP-SUN model for Euroflor hybrid of sunflower in order to gain a suitable base to conserve soil and water resources. This study was conducted as a strip-plot statistical design with randomized complete blocks design with three replications for each treatment. Total biomass, seed weight, seed yield, percentage of seed oil, and seed nitrogen were measured. Using collected field data, OILCROP-SUN model was calibrated and evaluated for different levels of water and nitrogen applications. Six genetic coefficients were then derived from calibration of OILCROP-SUN model for Euroflor hybrid. The results indicated that seed yields were simulated reasonably well for 12 treatments with NRMSE value of 18.5%, and the d-index of 0.92. The d value of different treatments of water and nitrogen for seed nitrogen was 0.93, and for oil production per hectare was 0.91.

**Keywords:** DSSAT software; euroflor; nitrogen fertilizer; sunflower crop model