مدل سازی تأثیر توامان تنش شوری و کم آبی بر مولفه های رشد و عملکرد دو رقم کلزا

وحید یزدانی[1*]، کامران داوری[2]، بیژن قهرمان[3] و محمد کافی[4]

۱*- نویسنده مسئول، دکتری مهندسی آب و مدرس مدعو مجتمع آموزش عالی تربت جام v.yazdany@yahoo.com
۲- دانشیار گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استاد گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۳

چکیده

اساساً تغییر هر یک از عوامل محیطی می تواند بر فرایند های رشد و نمو گیاه و در نهایت بر تولید و عملکرد گیاه زراعی موثر باشد. به منظور بررسی تاثیر توامان کم آبیاری و تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی، دو رقم کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مشهد با اقلیم خشک و در دو کیلومتری آرامگاه فردوسی به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتور اصلی شامل تنش آبی (۱۰۰، ۱۲۵، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب I_1، I_2، I_3 و I_4)، تنش شوری آب آبیاری (۰/۵، ۵، ۸ و ۱۱ دسی زیمنس بر متر به ترتیب S_1، S_2، S_3 و S_4) و عامل فرعی دو رقم کلزا (هایولا ٤٠١ و آر جی اس ۰۰۳) می‌باشند. اعمال تنش آبی و شوری باعث کاهش معنی دار تمامی صفات مورد بررسی گردید. در مقایسه جداگانه تیمارهای شوری و کم آبی اثر شوری آب بر کاهش رشد و اجزای عملکرد بیشتر از مقدار آب آبیاری و اثر کم آبیاری کمتر از مجموع اثر هر یک از این تنش ها بود و این بدان معنی است که در مناطقی مانند مشهد، در کم آبیاری ها از آب های شور منطقه برای تولید کلزا نمی‌توان استفاده نمود. رقم هایولا دارای متوسط عملکرد (کیلوگرم در هکتار ۱۸۰۱) بیشتری نسبت به رقم آر جی اس (۱۳۲٦ کیلوگرم در هکتار) بود. رقم آر جی اس در پارامترهای ارتفاع، تعداد شاخه و وزن خشک بر رقم هایولا برتری داشته و در مقابل رقم هایولا در شاخص برداشت و عملکرد برتری معنی دار نسبت به رقم آر جی اس دارد. مدل ارائه شده در شاخص سطح برگ در ابتدا و انتهای دوره رشد شاخص سطح برگ را بیشتر برآورد می‌کند. مدل فوق در تیمارهای S_4 I_4،S_3 I_4 ،S_2 I_4 دارای خطای بیشتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. مدل مورد نظر ارتفاع کلزا را در ابتدای دوره رشد بیش برآورد و در انتها کم برآورد می‌کند. دقت برآورد وزن تر و خشک در رقم آر جی اس بیشتر رقم هایولا می‌باشد. ضمن اینکه برآوردها در وزن تر دارای دقت بهتری نسبت به وزن خشک می‌باشد. با این حال، مدل حاضر از کفایت مناسب برای پیش بینی عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی و شوری برخوردار است و می توان از آن برای پیش بینی عملکرد استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: کلزا، تنش شوری، تنش کم آبی، پارامترهای رشد.

Modeling the Effects of Salinity and Water Deficit Stress on Growth and Yield Parameters of Two cultivars of Canola

V. Yazdani[1*], K. Davari[2], B. Ghahreman[3] and M. Kafi[4]

1*- Ph.D in Water Engineering as a Visiting Lecturer Higher Education Complex Torbat-e Jam,
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, , Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Department of Water Engineering, , Ferdowsi University of Mashhad
4- Professor, Department of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Received:3 February 2014 Accepted:24 November 2014

Abstract

Change any of the environmental factors can basically have effect on processes on plant growth and ultimately on production and operation on crops. To study the combined effects of drought and salt stress on physiological characteristics of two varieties of Canola, a field experiment done in Mashhad (two kilometers to Ferdowsi's tomb) with dry climate in split plot randomized complete block design with three replications. The main factor contains water stress (100, 125, 75 and 50 percent of water requirements, in order I_1, I_2, I_3 and I_4), salinity irrigation

water (0.5, 5, 8 and 11 dS/m in order S_1, S_2, S3, S_4) and sub two Canola (Hyola 401 and RGS 003). Water stress and salinity decreased all the characteristics were evaluated. In separate combination salinity treatments and dehydration, effects of salinity water on reduction growth and yield are more than irrigation water and effect of low irrigation is less than the total effect of these tensions, that means in areas such as Mashhad, in low irrigation cannot use saline irrigation water for product Canola. The Hyola type (1801 kg/ha) more performance than RGS type (1326 kg/ha). RGS type in parameters of height, number of branches and dry weight is more excelence against Hyola, in reverse Hyola type significantly higher than RGS in yield and harvest index. The presented model more estimate LAI at the beginning and the end of the growing season, also in S_2I_4, S_4I_4, S_3I_4 treatments model has more errors than other treatments. Intended model overestimation the Canola height at the beginning of the growth season and underestimated in the end. Estimation of dry weight in the RGS type is more than Hyola type. While the estimates of dry weight are more accurate than the weight. However, the present model adequate for predicting Canola yield under drought and salinity and can be used to predict the performance.

Keywords: Canola, Growth parameters, Salinity, Water stress**.**

مقدمه

به علت افزایش سطح زیر کشت و کاهش منابع آب در دسترس، ضرورت هرچه بیشتر استفاده از منابع آب‌های غیر متعارف از جمله آب‌های شور و پساب بیشتر احساس شده و مصرف این گونه آب‌ها توسط کشاورزان رایج گردیده است، همچنین منابع عظیمی از آب‌های سطحی و زیرزمینی شور و نیمه شور وجود دارند که اگر چه در حال حاضر مورد استفاده قرار نگرفته‌اند احتمالاً در آینده استفاده خواهند شد. با افزایش شوری خاک، به منظور صرف بخشی از انرژی حیاتی در جای دیگر (برای جذب آب از محلول خاک شور) رشد و نمو گیاه محدود شده و نهایتاً از مقدار محصول کاسته می‌شود. بدین ترتیب با افزایش شوری خاک و بالا رفتن فشار اسمزی، هرچند هم که آب به قدر کافی در محیط ریشه وجود داشته باشد، جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (همائی، ۱۳۸۱). لذا مهمترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک کاهش سرعت رشد است. تجربیات زیادی در زمینه کاربرد آب شور در آبیاری وجود دارد. کاربرد آب شور تأثیر متفاوتی در مراحل مختلف رشد دارد، اکثر گیاهان در مراحل رسیدن فیزیولوژی، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند (ماس و پوس[1]، ۱۹۸۹؛ ماس و همکاران[2]، ۱۹۸۶). شوری باعث کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس و کاهش سطح برگ می‌گردد (لو و همکاران[3]، ۲۰۰۲). عوامل محیطی بر تحمل شوری توسط گیاهان تاثیر گذار می‌باشد. به طور مثال پتانسیل سرعت توسعه و تجمع ماده خشک گیاهی تحت شرایط تنش یا بدون تنش به جذب تشعشع و کارایی استفاده از آن در فرآیند فتوسنتز بستگی دارد (وانگ و همکاران[4]، ۲۰۰۱). نوع خاک و شرایط محیطی نظیر کمبود فشار بخار، تشعشع و دما نیز ممکن است تحمل به شوری را تغییر دهد.آثار مخرب شوری بر رشد گیاهان ممکن است به دلیل سمیت یونی (سدیم، کلر و سولفات) و تنش اسمزی باشد (چین نوسامی و همکاران[5]، ۲۰۰۵). فرانسیس[6] (۱۹۹۶) نشان داد که عملکرد دانه کلزا در اثر شوری به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. وی حد آستانه تحمل به شوری برای رشد زایشی در کلزا را ۱۱ دسی زیمنس بر متر تعیین کرده است. حیدری (۲۰۱۰) بیان داشت که تحت تنش شوری وزن تر و خشک کلزا به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار گرفته و در تمام ژنوتیپ ها کاهش یافتند. کلزا گیاهی نیمه حساس تا نیمه متحمل به شوری بوده و به عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی مورد توجه قرار گرفته است (انفرد و همکاران[7]، ۲۰۰۴). از طرفی خاک‌های شور و شوری آب آبیاری از مهمترین عوامل تنش‌زای محیطی در تولید کلزا می‌باشند (بای بوردی و طباطبایی، ۲۰۰۹). گونه‌های جنس براسیکا در هنگام سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه، به شوری حساس بوده و در مراحل بعد به ویژه از مرحله گلدهی تا تشکیل خورجین، نسبتا مقاوم‌تر می‌شوند (محمودزاده، ۲۰۰۷). راهنما (۱۳۸۸) طی دو سال زراعی، مقاومت نسبی ۱۶ رقم کلزا را در خاکی با شوری متوسط ۱۱/۲ میلی موس بر سانتی‌متر نسبت به شرایط معمول در خوزستان مقایسه و گزارش نمود که تنش شوری سبب شد تا متوسط جوانه زنی، طول دوره گلدهی، فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، و عملکرد دانه نسبت به شرایط مطلوب کاهش یابد. کمبود آب در کلزا همراه با کاهش پتانسیل آب برگ باعث افت آماس سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز بیشتر شده و در نهایت به رشد و تولید محصول صدمه می‌زند (محمود و همکاران، ۲۰۰۳). آزمایشی با پنج مقدار آبیاری (۶۲، ۱۷۳، ۲۳۵، ۲۹۷ و ۳۵۹ میلی‌متر) به منظور بررسی تاثیر مقادیر مختلف آب بر وزن توده زنده گیاه و نیز نسبت برگ به ساقه کلزا، در کالیفرنیا انجام شد (بانولوس و همکاران[8]، ۲۰۰۲).

1- Mas and Poss
2- Mass *et al.*
3- Liu *et al.*
4- Wang *et al.*
5- Chinnusamy *et al.*
6- Francois
7- Enferad *et al.*
8- Banuelos *et al.*

نتایج این تحقیق موید این بود کـه بـا افـزایش مقـدار آب آبیـاری، نسبت برگ به ساقه و وزن توده زنده گیاه افزایش می‌یابد و حداکثر مقدار بیوماس تولیدی در اثر اعمال مقادیر آب ۲۹۷ و ۳۵۹ میلی‌متر می‌باشد. سیت سنگ[1] (۲۰۰۸) نیز گزارش کرد که هر تنش محیطی (شامل شوری و تنش آبی) که فرآیندهای رشدی کلزا را تحت تأثیر قرار دهد، ممکـن اسـت بـر عملکـرد نهـایی آن مـوثر واقـع شـود. گسترش سطح برگ عامل کلیدی در دریافت تشعشع خورشـیدی و تبادل انرژی و آب در گیاه می باشد (دجسـوز و همکـاران[2]، ۲۰۰۱). سینکلر و همکاران[3] (۲۰۰۴) گزارش کردند که در تولید محصولات زراعـی، گسـترش سـطح بـرگ بـرای افـزایش دریافـت تشعشـع خورشیدی و تجمع زیست توده ضروری است. بنابراین در مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی تخمین صحیح شاخص سطح بـرگ بـه منظور پیش بینی تولید زیست توده و عملکرد دانه ضـروری اسـت. دما یکی از مهمترین عوامل محیطی است که رشد، نمو و عملکـرد گیاه را کنترل می‌کند. محققین مختلف یک مدل ساده شبیه سازی رشد را برای گیاهان نظیر سورگوم، آفتابگردان، سویا، ذرت و گنـدم بکار بردند که در این مدل ها شاخص سطح برگ به عنوان تابعی از درجه حرارت شبیه سازی شد (مایلهول و همکاران[4]، ۱۹۹۷؛ خالدیان و همکاران، ۲۰۰۹).

سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مفهوم افـزایش خطـی شـاخص برداشت برای پیش‌بینی عملکرد دانـه در مـدل‌هـای شـبیه سـازی گیاهان زراعی استفاده کردند. آنها تغییرات شـاخص برداشـت را در مقابل روز فیزیولوژیکی بعد از گلدهی با استفاده از یـک مـدل سـه تکه‌ای خطی در نخود بیان کردند. تنش خشکی تأثیرگذارترین تنش غیرزنده محیطی است (ردی و همکاران[5]، ۲۰۰۴)، که از طریق تأثیر بر فرایندهای رشدی، میزان تولید را تحت تأثیر قرار مـی‌دهـد ولـی میزان تأثیر آن بسته به ژنوتیپ، زمان وقوع تنش خشـکی و شـدت آن متفاوت است. در اغلب گیاهان، رشد از الگوهای خاصی تبعیـت می‌کند و نمودار آن معمولاً سیگموئیدی مـی‌باشـد، شـرایط اصـلی داشتن عملکرد بالا، تولید ماده خشک زیاد در واحد سطح مـی‌باشـد (لک و همکاران، ۱۳۸۶). فرجی و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که عملکرد کلزا تحت تاثیر درجه حرارت قرار می گیرد. بنابراین به نظر می‌رسد که شبیه سازی شاخص سطح برگ کلزا بـر اسـاس درجـه حرارت و کاربرد آن برای پش بینی عملکرد دانه کلـزا امکـان پـذیر است. با توجه به کشت کلزا در مناطقی کـه دارای کمبـود کمـی و کیفی آب می‌باشد، بررسی در خصوص تاتیر دو عامل کمیت آبیاری و شوری بر محصول دهی آن می‌تواند مفید واقع شود. با توجـه بـه آنچه گفته شد کمبود مطالعـه‌ی در خصـوص تـاثیر شـوری و کـم آبیاری بر گیاه کلزا به دلیل اهمیت اقتصادی و استراتژیک این گیاه در ایـران، خودنمـایی مـی‌کنـد. هـم اکنـون در کشـور بـر اسـاس طبقه‌بندی‌های کیفی آب، حجـم عظیمـی از آب‌هـای زیرزمینـی و همچنین آب‌های زهکشی اراضی فاریاب جـزء آب‌هـای نـامطلوب برای آبیاری محسوب می‌شود و در هیچ کدام از برنامـه‌ریـزی‌هـای آبیاری به عنوان یک منبع آب، لحاظ نمی‌گردد. ولی همان طور که اشاره شد، پتانسل آبی کشور به ویژه دشت مشهد-چنـاران، بیـانگر محدودیت شدید منابع آبی است. در این راستا بررسی‌هـای مـوردی در آب و هوای مشـهد بـا توجـه بـه کمبـود منـابع آب سـطحی و زیرزمینی و با عنایت به سیاست استفاده از منـابع آب غیـر متعـارف ضروری است. لذا هدف از این تحقیق بررسی شاخص‌های متاثر در آبیاری با آب شور و فراهمی آب برای دو رقم کلزا (هایولا ۴۰۱ و ار جی اس ۰۰۳) مورد بررسی قـرار گرفـت. در انتهـا براسـاس درجـه حرارت شاخص سطح بـرگ شـبیه سـازی شـده و سـایر پارامترهـا همانند ارتفاع، وزن تر، وزن خشک و عملکرد دانه بر اساس شاخص سطح برگ محاسبه گردید.

مواد و روش ها

محل اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه‌ای که در فاصـله ۲۵ کیلـومتری از مرکـز شهر مشهد و در فاصله دو کیلـومتری آرامگـاه فردوسـی مشـهد در مختصات جغرافیایی ً ۴۳ ٙ۲۷ ٙ۳۶۰ شمالی و ً۵۸ ٙ۲۷ ٙ۵۹۰ شرقی و با ارتفاع ۱۰۴۴ متر از سطح دریـا واقـع شـده اسـت، در دو سـال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید. برای انجام این پژوهش زمینی به مساحت ۱۰۰۰متر مربع که طی دو سال قبلی به صـورت آیش بوده است انتخاب گردید.

مشخصات آب و هوایی منطقه

شهر مشهد در مرکز استان خراسان رضوی واقع شده است و از نظر اقلیمی براساس روش دومارتن نیمه خشـک، براسـاس روش آمبرژه نیمه خشـک معتـدل و براسـاس روش کـوپن آب و هـوای مدیترانه ای دارد. آزمایش‌های مزرعه ای این تحقیق طی دو سـال (۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱) از اسفند شروع و تا تیر ادامه داشته است. آمار هواشناسی که در این محدوده زمـانی (تهیـه شـده از ایسـتگاه سیپنوتیک مشهد) در جدول (۱) ارئه شده است نشان مـی‌دهـد کـه میزان بارندگی در طی این دوره ۲۰۶/۴ میلی متر بوده که بیشترین آن در فروردین ماه به مقدار ۵۴ میلی‌متر وکمتـرین آن در تیـر بـه مقدار۹/۹ میلی‌متر بوده است. متوسط درجه حرارت ماهانـه در طـی این دوره ۱۰ درجه سانتی گراد بوده که در اردیبهشت ماه (با متوسط درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی گراد) گرمترین و دی ماه (با متوسـط درجه حرارت ۳ درجه سانتی گراد)خنک ترین ماه هـا در طـی دوره رشد می باشند.

1- Seetseng
2- De Jesus *et al.*
3- Sinclair *et al.*
4- Mailhol *et al.*
5-Reddy *et al.*

جدول ۱- مقادیر دما، بارندگی، سرعت باد و تبخیر تشت کلاس *A* طی ماه های فصل زراعی سالهای ۹۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۱-۹۲

	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
درجه حرارت حداقل (C^0)	-۲/۴	-۱/۷	۲/۷	۱۱/۵	۱۴/۵	۱۸/۹
درجه حرارت حداکثر (C^0)	۸/۳	۸/۲	۱۵/۴	۲۴/۳	۲۸/۳	۳۷/۴
درجه حرارتنقطه شبنم (C^0)	-۳/۵	-۴/۹	-۱/۳	۵/۶	۶/۹	۳/۹
میزان بارندگی (mm)	۴۳/۳	۳۶	۵۴/۶	۴۴/۱	۱۸/۵	۹/۹
تبخیر از تشت(mm)	۲۰	۰	۴۰/۷	۱۵۳/۷	۲۱۴/۶	۳۱۹/۶
سرعت باد (m/s)	۱/۹	۳/۶	۳/۶	۲/۷	۳/۴	۳/۹

جدول ۲- خصوصیات خاک زمین مورد کشت

عمق سانتی متر	C	EC	K	P	Cl	pH	Mg	Ca	Na
	٪	dS/m	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l
۰-۲۵	۰/۶۲۴	۲/۴۳	۴۴۴/۱	۳۸/۶	۴/۸	۷/۹۵	۴/۸	۱۰/۴	۹/۱۲
۲۵-۵۰	۰/۴۲۹	۳/۳۲	۱۶۳/۸	۴۹/۲	۷/۲	۷/۷۸	۷/۲	۱۸	۱۲/۷۹
۵۰-۷۵	۰/۴۲۹	۳/۲۳	۱۵۶/۹	۴۰/۸	۷/۲	۷/۶۷	۷/۲	۱۷/۲	۱۳/۲۶
۷۵-۱۰۰	۰/۳۱۲	۲/۶۱	۳۴۶/۸	۲۷/۳	۴/۸	۷/۸	۵/۶	۱۱/۲	۱۲/۴۱

ویژگی های خاک محل آزمایش

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک، قبل از مراحل آماده سازی زمین، در بهمن ماه سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و قبل از کاشت نمونه‌های مرکبی از ۵ نقطه محدوده کشت و چهار عمق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، خرد کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. تعیین هدایت هیدرولیکی(EC) با استفاده از دستگاه هدایت سنج مدل یوتک PCS35 (کمپانی Eutech) و اندازه گیری (PH) در گل اشباع توسط pH متر مدل مدل یوتک PCS35 (کمپانی Eutech) انجام شد. پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر، فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن با اسپکتروفتومتر و درصد کربن آلی از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی هر لایه خاک نیز نمونه‌های دست نخورده توسط استوانه‌های نمونه‌برداری تهیه شد و به ترتیب توسط روش کلوخه پارافینی و قانون ارشمیدس تعیین گردید. خصوصیات شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش خاک قطعه مورد آزمایش نیاز کودی برای گیاه کلزا در نظر گرفته شد. بر این اساس برای رشد بهتر گیاه کلزا کودهای اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت: ۱۰۰ کیلو در زمان کاشت به خاک، ۵۰ کیلو در زمان اوایل ساقه دهی و ۵۰ کیلو در زمان گل دهی به صورت سرک) و سوپرفسفات تریپل (۱۷۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد (در زمان کاشت) به گیاه داده شد. از نظر شوری، هدایت الکتریکی لایه‌های سطحی تا لایه نهایی خاک محل آزمایش به ترتیب برابر ۲/۴۳، ۳/۳۲، ۳/۲۳ و ۲/۶۱ دسی زیمنس بر متر بود و با توجه به اینکه گیاه کلزا گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری با آستانه شوری (برای رشد زایشی) ۱۰ و ۱۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد (ماس و هافمن[1]، ۱۹۷۷ و فرانسیس، ۱۹۹۶) لذا محدودیتی برای رشد کلزا ایجاد نمی‌کند. خاک مورد نظر از لحاظ اسیدیته در تمام اعماق دارای pH خنثی می‌باشد.

خصوصیات فیزیکی خاک قطعه مورد آزمایش در جدول (۳) به تفکیک عمق نشان داده شده است. بررسی خاک مزرعه نشان داد که این خاک در عمق ۰ الی ۵۰ سانتی متر دارای بافت لومی شنی و در اعماق ۵۰ الی ۷۵ و ۷۵ الی ۱۰۰ سانتی متری به ترتیب دارای بافت لومی رسی و لوم می‌باشد. از نظر چگالی ظاهری به ترتیب اعماق ۰الی ۲۵، ۲۵ الی ۵۰، ۵۰ الی ۷۵ و ۷۵ الی ۱۰۰ سانتی متر دارای چگالی ظاهری ۱/۶۴، ۱/۷۸، ۱/۷۲ و ۱/۶۹ گرم بر سانتی متر مکعب است. بر اساس نتایج به دست آمده عمق ۲۵ الی ۵۰ سانتی متر دارای بیشترین ظرفیت رطوبتی در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی می‌باشد.

1- Mass and Hoffman

جدول ۳- جرم مخصوص ظاهری و حقیقی و درصد حجمی رطوبت نمونه های خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۰۰
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۶۴	۱/۷۸	۱/۷۲	۱/۶۹
جرم مخصوص حقیقی(گرم بر سانتی متر مکعب)	۲/۸۵	۲/۳۳	۲/۳۸	۲/۵
ظرفیت زراعی	۲۱	۲۱	۳۰	۲۸
نقطه پژمردگی	۱۲	۱۳	۱۵	۱۴
بافت خاک	شنی لومی	شنی لومی	رسی لومی	لوم

جدول ٤- تجزیه شیمیایی تیمارهای آب مورد استفاده

EC	pH	SAR	کاتیون ها (meq/L)					آنیون ها (meq/L)		
dS/m			Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	So_4^-
۰/۵	۷/۷۳	۱/۴	۱/۷	۲	۰/۸	۰/۰۵	۰	۲/۸	۱/۲	۰/۵
۵	۷/۸	۸/۱	۲۵/۴	۱۴/۳	۵	۰/۴	۰/۲	۸/۳	۲۵/۶	۱۱
۸	۷/۷۷	۱۰/۴۸	۴۶/۷	۲۷/۶	۱۲/۱	۰/۶۴	۰/۲	۱۱/۵	۴۸/۴	۲۷
۱۱	۷/۷۴	۱۰/۴۵	۵۵/۲	۳۶/۳	۱۹/۴	۰/۹	۰/۳	۱۵/۳	۶۳	۳۳

سطوح شوری آب آبیاری

سطوح کیفیت آبیاری شامل فاکتور اول آبیاری با آب شیرین (شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)(S_1)، فاکتور دوم آبیاری با آب با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر (S_2)، فاکتور سوم آبیاری با آب با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر(S_3) و فاکتور چهارم شامل آبیاری با آب با شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر(S_4)می‌باشد.

خصوصیات آب آبیاری

به منظور تعیین کیفیت آب مورد استفاده برای آبیاری، نمونه آب از هر یک از تمیارها برداشته شده و مورد آزمایش قرار گرفت. خصوصیات کیفی آب مورد استفاده در جدول (۴) نشان داده شده است. اعداد هدایت الکتریکی (EC) در جدول (۴) نشان می‌دهد که تیمار کیفی اول (با توجه به نمودار ویل کاکس) از نظر شوری در کلاس C_1، تیمار دوم در کلاس C_4 و دو تیمار دیگر خارج از کلاس‌های شوری نمودار ویل کاکس می‌باشد یا به عبارتی می‌توان گفت که کیفیت آب چهار تیمار مورد استفاده در چهار کلاس مختلف شوری قرار گرفته است لذا برای انجام پژوهش مناسب

می‌باشند. اسیدیته یا pH آب آبیاری نمی‌تواند به عنوان معیار کیفی مورد استفاده قرار گیرد زیرا خاک متعادل کننده pH است. علاوه بر آن گیاهان زراعی قادرند طیف وسیعی از pH را تحمل نمایند. اسیدیته آب معمولی آبیاری در محدوده ۶ تا ۸/۵ متغیر است (علیزاده، ۱۳۸۳) و چون pH های مشاهده شده در جدول (۴) در این محدوده قرار دارند لذا استفاده از این آبها از این نظر مشکلی ایجاد نمی‌کند. همانطور که در جدول (۴) نیز مشاهده می‌گردد مقادیر نسبت جذبی سدیم[1] برای چهار تیمار مورد استفاده نزدیک به هم می‌باشند به طوریکه در سه کلاس S_1، S_2 و S_3 قرار می‌گیرند. البته اگر در نمودار ویل کاکس دقت شود ملاحظه می‌شود که خطوط این نمودار برای طبقه بندی آب مورب و رو به پایین است و این نشان می‌دهد که در شوری‌های زیادتر تاثیر منفی سدیم بر کیفیت آب زیاد نمی‌باشد و به عبارتی دیگر اثر سدیم بیشتر در شوری‌های کم مشهود است (علیزاده، ۱۳۸۳) و چون در این پژوهش از آب‌های نسبتاً شور استفاده شده است لذا استفاده از این آبها با SAR های مختلف مشکلی بوجود نمی‌آورد. محدوده تغییرات کلر در تیمارهای کیفی آب مورد استفاده از ۱/۲ تا ۶۳ متغیر بوده است و با توجه به اینکه اکثر گیاهان زراعی نسبت به یون کلر حساس نمی‌باشند (علیزاده، ۱۳۸۳) لذا در استفاده از این آبها از نظر یون کلر نیز مشکلی ایجاد نمی‌کند.

ارقام مورد کشت

گیاهان مورد آزمایش و کشت با آب شور، شامل دو رقم هیبریدی کلزا (هایولا ۴۰۱ (T_1) و آر جی اس ۰۰۳ (T_2)) می‌باشد. رقم‌های انتخاب شده برای کشت، رقم‌هایی از گیاهان فوق است که در تحقیقات قبلی دارای عملکرد مناسبی در منطقه مشهد بوده‌اند.

سطوح مختلف آبیاری

برای اعمال فاکتورهای کمی آب از شاخص رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک خاک به دلیل دقیق تر بودن این روش نسبت به شاخص تبخیر و شاخص گیاهی (علیزاده، ۱۳۸۳) استفاده شد. بدین ترتیب که با قرار دادن بلوک گچی در تیمار آبیاری کامل و شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر در عمق توسعه ریشه گیاه در روزهای قبل از آبیاری اقدام به اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک کرده و زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه

1- Sodium Adsorption Ratio

مجاز برای کلزا (۰/۵) (قدمی، ۱۳۸۹) رسید با معیار تامین نیاز آبی گیاه به میزان ۱۰۰ درصد اقدام به آبیاری بعدی شد. بنابراین برای اعمال رژیم‌های مختلف آب، بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار از رابطه زیر استفاده گردید:

$$SMD=(W_{fc}-W_i)A_s.D.C \qquad (۱)$$

در رابطه فوق SMD کمبود رطوبت خاک میلی‌متر، W_{fc} و W_i به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود در خاک، As جرم مخصوص ظاهری خاک(g/cm^3)، D عمق توسعه ریشه (mm) و C ضرایب مربوط به هر تیمار بر حسب اعشار که در این تحقیق تیمارهای عمق آب آبیاری معادل۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد لحاظ شد. مقدار مصرف آب توسط گیاه از طریق اندازه‌گیری بیلان آب بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I+P=(ET+D_d+R_o)\pm\Delta S \qquad (۲)$$

که در آن : I و P : به‌ترتیب عمق آب آبیاری و بارندگی(میلی‌متر)، ET، D_d، R_0 : به‌ترتیب تبخیر و تعرق گیاه، عمق آب زهکشی و عمق رواناب (میلی‌متر) و ΔS :تغییرات ذخیره رطوبت خاک (میلی‌متر) می‌باشند. چون انتهای کرت‌ها بسته‌اند بنابراین رواناب سطحی صفر بود. مقدار آب زهکشی شده با این فرض که مقدار رطوبت بیشتر از ظرفیت زراعی زهکشی می‌شود، با اندازه‌گیری رطوبت تا عمق ۱ متری خاک به دست می‌آید. به دلیل عمیق بودن سفره آب زیرزمینی از سهم آب زیرزمینی صرف نظر شد. تغییرات رطوبت خاک از تفاوت رطوبت در ابتدا و انتهای دوره مورد نظر در پروفیل خاک محاسبه گردید. فاکتور اول (I_1): عمق آب آبیاری کاربردی به منظور تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری گیاه بعد از جوانه زنی، فاکتور دوم (I_2): عمق آب آبیاری کاربردی به منظور تامین ۱۲۵ درصد نیاز آبیاری گیاه بعد از جوانه زنی، فاکتور سوم (I_3): عمق آب آبیاری کاربردی به منظور تامین فقط ۷۵ درصد نیاز آبیاری گیاه بعد از جوانه زنی و فاکتور چهارم (I_4): عمق آب آبیاری کاربردی به منظور تامین فقط ۵۰ درصد نیاز آبیاری گیاه بعد از جوانه زنی می‌باشند.

طرح آزمایش مورد استفاده

طرح آزمایشی مورد نظر به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی بود که در آن چهار فاکتور مقدار شوری آب آبیاری (در چهار سطح) به عنوان کرت‌های اصلی، چهار سطح آبیاری به عنوان فاکتور فرعی و دو رقم کلزا به عنوان فاکتور فرعی بود که در سه تکرار اجرا گردید. بر این اساس آزمایشاها در کرت‌هایی با مساحت ۲ در ۲ متر انجام گرفت. برای تداخل نداشتن اثر آبیاری فاصله بین کرت‌های اصلی برابر ۲ متر لحاظ شد. ضمن اینکه بین هر بلوک نیز ۲ متر فاصله قرار داده شد. لذا با توجه به تعداد تکرارها (۳ تکرار) و تعداد تیمارها (۴ تیمار شوری آب، ۴ تیمار کم آبیاری و ۲ رقم کلزا) زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع مورد نیاز است.

اندازه گیری پارامترهای رشد

برای ارزیابی روند رشد نمونه هایی از اندام هوایی کلزا در بازه‌های زمانی ۱۴ روز برداشت شد. بلافاصله بعد از برداشت نمونه ها، وزن تر و طول ساقه به ترتیب توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم و کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گیری شد. سپس به منظور اندازه گیری شاخص سطح برگ از برگ ها عکس برداری شد. در انتها توسط نرم افزار مطلب و دستور پردازش تصویر اقدام به برآورد شاخص سطح برگ گردید. بعد از عکس برداری از برگ ها، نمونه های جمع آوری شده از کرت ها در آون با دمای ۸۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از سپری شدن این مدت وزن خشک نمونه ها مورد سنجش قرار گرفت.

شبیه سازی شاخص سطح برگ

در مطالعه حاضر شاخص سطح برگ کلزا به عنوان تابعی از درجه حرارت تجمعی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (مایلهول و همکاران، ۱۹۹۷ و خالدیان و همکاران، ۲۰۰۹):

$$LAI_{(j)}=LAI_{max}\left[\frac{\left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{j}TT-T_e}{Tm}\right)^2\right]}{exp\left\{\frac{2}{\alpha}\left[1-\left(\frac{\sum_{i=1}^{j}TT-T_e}{Tm}\right)^{\alpha}\right]\right\}\times(stress^{\gamma})}\right] \qquad (۳)$$

در رابطه فوق LAI_j : شاخص سطح برگ در روز jام، LAI_{max} : حداکثر شاخص سطح برگ قابل حصول توسط گیاه، TT : درجه روز رشد کلزا، T_e : درجه روز مورد نیاز برای سبز شدن، T_m : درجه روز مورد نیاز برای رسیدن به LAI_{max}، Stress : شاخص تنش خشکی می‌باشد. α و γ پارامترهایی هستند که از طریق واسنجی به دست می‌آیند. α پارامتری است که رشد و پیری گیاه را کنترل می‌کند. γ پارامتر تجربی است که حساسیت گیاه به تنش را کمی می‌کند. درجه روز رشد کلزا در هر روز با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$TT_j=\sum_{i=1}^{j}(T-T_b) \qquad (۴)$$

که در آن T : میانگین دمای روزانه برحسب درجه سانتی گراد، T_b: دمای پایه رشد برحسب درجه سانتیگراد و j :تعداد روزهای

بعد ازکاشت است. دمای پایه کلزا ۲ درجه در نظر گرفته شد (وفابخش، ۱۳۸۶).

تنش

تنش توامان خشکی و شوری برای هر روز از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Stress = \frac{ET_a}{ET_o} \quad (۵)$$

که ET_a و ET_o : به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی گیاه (توسط محاسبه بیلان در هر کرت محاسبه گردید) و تبخیر و تعرق گیاه در تیمار شاهد توسط محاسبه بیلان در کرت تیمار شاهد (۱۰۰ نیاز آبی و شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) محاسبه گردید می‌باشند.

شبیه سازی عملکرد دانه

عملکرد دانه طبق معادله زیر پیش بینی شد (مایلهول و همکاران، ۱۹۹۷؛ خالدیان و همکاران، ۲۰۰۹):

$$Y_a = Y_m min\left(1; \frac{LAI_{av}}{LAI_{opt}}\right) \quad (۶)$$

که در آن Y_m : عملکرد نهایی دانه تحت شرایط مطلوب رشد برحسب گرم در مترمربع، LAI_{av} :میانگین شاخص سطح برگ در طول دوره تنش، LAI_{opt} : حداکثر شاخص سطح برگ تیمار شاهد (S_1I_1) : به منظور بدست آوردن حداکثر عملکرد می باشد. LAI_{av} از طریق معادله (۷) به دست آمد:

$$LAI_{av} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} LAI_j \quad (۷)$$

که در آن n : تعداد روزهایی است که گیاه تحت شرایط تنش قرار داشت. عملکرد نهایی دانه تحت شرایط مطلوب رشد براساس معادله(۸) محاسبه شد:

$$Y_m = \text{HI RUE} \sum R_j F_j \quad (۸)$$

که در آن HI: شاخص برداشت، RUE: کارایی مصرف نور برحسب گرم در مگاژول (بر اساس نتایج موریسون و استوارت[1](۱۹۹۵) برابر ۲/۸ لحاظ شد)، Rj: تشعشع خورشیدی رسیده در هر روز برحسب مگاژول در مترمربع بوده که به روش ارائه شده توسط گودریان و وان لار[2] (۱۹۹۳) محاسبه گردید. سپس این مقادیر برای عرض جغرافیایی مشهد و بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم شناسی مشهد و فرمول آنگسترم (وان لار و همکاران[3]،۱۹۹۷) اصلاح گردید. Fj: کسری از تشعشع خورشیدی که توسط کانوپی گیاه دریافت می شود (بدون واحد) می باشد و توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$F_j = 1 - \exp(-K\, LAI_j) \quad (۹)$$

که در رابطه فوق K: ضریب خاموشی است و براساس رابطه (۱۰) محاسبه گردید(خالدیان و همکاران،۲۰۰۹) :

$$K = \min(1{,}1.43 \times LAI^{-0.5}) \quad (۱۰)$$

محاسبات آماری و نرم افزار مورد استفاده

برای پی بردن به اثر تیمارها از رویه تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال پنج درصد و برای محاسبات تولید و تعیین ضرایب آنها از مدل رگرسیون چندگانه نرم افزار SAS و برای محاسبات آماری و رسم شکل‌ها و توابع از نرم‌افزارهای Minitab و Ecxel استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی توابع تولید و مدل‌ها

شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش اعتبار و درستی توابع تولید و مدل‌ها وجود دارند. برای ارزیابی اعتبار توابع به دست آمده، از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. آماره‌های لازم برای این منظور، حداکثر خطا[4] (ME)، میانگین ریشه دوم خطا[5] (RMSE)، ضریب تعیین[6] (R^2)، کارایی مدل‌سازی[7] (EF)، و ضریب باقیمانده[8] (CRM) هستند (رضایی، ۱۳۷۹، پینرو[9] و همکاران، ۲۰۰۸).

$$ME = max|P_i - O_i|_{i=1}^{n} \quad (۱۱)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{0.5} \times \frac{100}{\overline{O}} \quad (۱۲)$$

1 -Morrison and Stewart

2- Goudriaan and Van Laar
3 -Van Laar *et al*.
4-Maximum Error
5-Root Mean Square Error
6-Coeffitient of Determination
7- Modeling Efficiency
8 -Coefficient of Residual Mass
9- Pineiro *et al*.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۱۳)$$

$$MBE = (\sum_{1=1}^{n}(E_{oi} - E_{si}))/n \quad (۱۴)$$

$$MAE = (\sum_{i=1}^{n} ABS(E_{oi} - E_{si}))/n \quad (۱۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2-\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۱۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i-\sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \quad (۱۷)$$

که در آنها P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده)، n : تعداد نمونه‌های به کار رفته و $\bar{O}$: مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. حداقل مقدار ME، RMSE و R^2 صفر است. حداکثر مقدار EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیر منفی داشته باشند. مقدار زیاد ME نشانگر کارکرد ضعیف مدل است، در حالی که مقدار RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. آماره R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار آماره EF، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقادیر منفی EF بیانگر آن است که میانگین اندازه‌گیری شده، بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده، دارد. آماره CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های ME، RMSE، CRM برابر صفر و مقدار EF و R^2 برابر یک خواهند شد (رضایی، ۱۳۷۹، پینرو و همکاران[1]، ۲۰۰۸).

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل عملکرد و اجزای عملکرد

شوری آب آبیاری بر وزن خشک در سطح پنج درصد تاثیر معنی دار داشته و بر سایر صفات نیز در سطح یک درصد اثر معنی دار دارد(جدول ۵). چنین نتیجه ای از تأثیر مقدار آب آبیاری بر اجزای عملکرد رشدی گیاه کلزا در سطح یک درصد قابل مشاهده است. اثر توامان رقم–آبیاری و رقم–آبیاری–شوری بر تعداد شاخه در هر دو رقم کلزا معنی دار نمی‌باشد. چنین نتیجه ای در اثر توامان رقم–آبیاری، شوری–آبیاری و شوری– رقم–آبیاری در تعداد شاخه قابل مشاهده است (جدول ۵). تأثیر معنی دار رقم در اجزای عملکرد بیانگر این موضوع است که می‌توان با انتخاب رقم مناسب کلزا تا حدی اثر ناشی از کم آبی و شوری را جبران نمود. تمام تیمارها چه به صورت فردی و چه به صورت ترکیبی بر عملکرد کل تأثیر معنی دار دارد. بنابراین می‌توان با انتخاب ارقام کلزا که مقاوم به شوری و خشکی هستند در منطقه طبیعی محیط که همان کم آبی و شوری است برای تولید روغن کلزا مناسب استفاده بهینه نمود. اثر شوری آب بر کاهش رشد و اجزای آن بیشتر از مقدار آب آبیاری است و اثر کم آبیاری کمتر از مجموع اثر هر یک از این تنش ها می‌باشد و این بدان معنی است که در مناطقی مانند مشهد، در کم آبیاری ها از آب های شور منطقه برای تولید کلزا نمی‌توان استفاده نمود. این نتایج با مطالعات سپاسخواه و بورسما[2] (۱۹۷۹) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) هم‌خوانی دارد. آنها در تحقیقات خود به تأثیر بیشتر شوری آب آبیاری نسبت به مقدار آبیاری بر عملکرد و رشد گیاه نیز اشاره داشتند.

مقایسه میانگین ها

جدول (۶) مقایسه میانگین های عملکرد و پارامترهای مربوط به رشد ارقام کلزا را تحت تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد. از نظر شوری آب آبیاری (S)، بیش ترین ارتفاع گیاه کلزا مربوط به تیمار S_1 و کمترین آن مربوط به تیمار S_4 می‌باشد. از نظر مرتبه چهار سطح شوری در سه گروه مختلف قرار گرفته اند که نشان می‌دهد تفاوت آنها (به جز شوری S_1 و S_2) معنی دار است، به طوری که ارتفاع در تیمار S_4 نسبت به تیمارهای S_1، S_2 و S_3 به ترتیب در حد ۱۰/۷، ۱۰/۷ و ۶/۸ درصد کاهش داشته است. فرانسیس (۱۹۹۶) در تحقیق خود به کاهش ۴۰ الی ۵۰ درصدی در ارتفاع گیاه با افزایش شوری از ۵/۹ به ۱۶/۳ دسی زیمنس بر متر دست یافت. مقایسه میانگین های ارتفاع در جدول (۶) نشان می‌دهد که از نظر عمق آب کاربردی (I)، بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار I_1 و کمترین آن مربوط به تیمار I_4 می‌باشد. ترتیب سطوح آبیاری بر ارتفاع بصورت $I_1>I_2>I_3\geq I_4$ می‌باشد، که از نظر مرتبه در سه سطح متفاوت قرار گرفته اند. با توجه به نتایج موجود در جدول (۶) بیشترین تعداد شاخه در شوری S_1 و کمترین آن مربوط به شوری S_4 می‌باشد. نتایج موجود در جدول (۶) نشان می‌دهد که تعداد شاخه در مقابل شوری در دو سطح مختلف قرار گرفته است (S_1 و S_2 در یک سطح و S_3 و S_4 در یک سطح). نتایج نشان داد که تعداد شاخه در شوری S_4 نسبت به شوری S_1 با کاهش ۱۱ درصدی روبه رو شده است. همان طور که در جدول نیز قابل مشاهده است کمترین مقدار شاخه در تیمار I_4 می‌باشد. تعداد شاخه در تیمارهای I_1 و I_2 در یک کلاس قرار گرفته‌اند و این بدین معنی است که افزایش عمق آبیاری به میزان ۲۵ درصد تأثیری بر تعداد شاخه نخواهد داشت.

1-Pineiro *et al.*

2 -Sepaskhah and Boersma

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	ارتفاع	تعداد شاخه	شاخص برداشت	عملکرد دانه
تکرار	۰.۲	۲.۴۲۷ns	۱۸/۵۲۳ns	۰.۱۳ns	۱۰.۶۴ns	۴۸۷۶۳.۷۳ns
شوری (S)	۰.۳	۱۰۶.۲۴*	۳۱۸/۱۲۷**	۱.۸**	۸۴۱.۰۵**	۵۶۷۲۹۴۶.۵۷**
خطا اصلی	۰.۶	۱۳.۳	۵/۰	۰.۲	۱۹.۳۹	۱۵۷۱۴.۳۶
رقم (v)	۰.۱	۱۹۷.۰۴۵**	۳۷۳/۷۱**	۰.۵۸ns	۱۷۹۴.۴۳**	۵۴۰۵۸۴۵.۸۷**
v*S	۰.۳	۵۱.۹۱**	۱۳۲.۵۵**	۰.۷۲ns	۱۳۲.۸۷**	۴۳۲۱۸۷.۸۷**
خطا فرعی	۰.۸	۴.۴	۸.۷	۰.۶	۵.۸۱	۳۲۰۷.۲۷
آبیاری (f)	۰.۳	۵۵۴.۷۲**	۲۴۹.۸۹**	۵.۱**	۹۶.۷۷**	۴۵۰۱۲۷۸.۹۱**
f*S	۰.۹	۳۶/۰۹**	۹۲.۲۲**	۱.۳ns	۸۸.۳۶**	۴۷۹۶۴۰.۰۴**
f*v	۰.۳	۴۷/۷۸**	۱۳۲.۷۴**	۰.۵۶ns	۶۶.۵**	۳۱۸۵۵۹.۸۷**
v*f*S	۰.۹	۱۰۰.۱۷**	۷۷.۳۳**	۰.۹۳ns	۷۴.۸۳**	۵۵۷۰۷.۲**
خطا فرعی- فرعی	۰.۴۸	۶.۳	۱۶.۶	۰.۸	۱۰.۴۴	۱۰۴۵۳.۴۵

*معنی داری در سطح ۵ درصد، ** معنی داری در سطح ۱ درصد و ns عدم معنی داری

وزن خشک در تیمارهای S_3 و S_4 تفاوت معنی دار ندارند و در یک گروه آماری قرار گرفته اند. در مقابل با افزایش شوری از ۰/۵ دسی زیمنس بر متر به ۱۱ دسی زیمنس بر متر وزن خشک با کاهش ۱۸/۵ درصدی روبه رو شده است. اثر مقدار آبیاری بروزن خشک در چهار گروه قرار گرفته است. همان طور که مشخص است تفاوت معنی دار بین تیمار I_1 و I_2 I_3 و I_4 وجود دارد. ضمن اینکه اعمال تیمار افزایش آبیاری باعث کاهش وزن خشک شده است. بر اساس نتایج حاصله تأثیر شوری باعث گردیده که وزن خشک در چهار کلاس متفاوت قرار بگیرد. همچنین بیشترین وزن خشک مربوط به سطح شوری S_1 و کمترین آن مربوط به سطح شوری S_4 می‌باشد. حیدری (۲۰۱۰) نیز در تحقیق خود به کاهش وزن خشک و تر گیاه کلزا در اثر افزایش شوری اشاره داشته است. نتیجه مشابهی در خصوص تیمارهای آبیاری در وزن خشک همانند تأثیر شوری قابل مشاهده است. بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش مقدار شوری و یا کاهش مقدار آبیاری وزن خشک با کاهش روبه رو خواهد شد. این کاهش در مقادیر متفاوت عمق آبیاری بیشتر از مقادیر مختلف شوری است. لذا استفاده از آب شور توأمان با کم آبیاری باعث کاهش بسیار چشمگیری در عملکرد خواهد شد.

بیشترین شاخص برداشت مربوط به شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر و کمترین عملکرد مربوط به شوری ۱۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. با افزایش شوری از ۰/۵ به ۵، ۸ و ۱۱ دسی زیمنس بر متر مقدار عملکرد به ترتیب در حدود ۱۴/۲، ۲۴ و ۴۲/۷ درصد کاهش می‌یابد. مقدار شاخص برداشت بر اساس شوری در چهار گروه متفاوت قرار گرفته است. فرانسیس (۱۹۹۶) در تحقیق خود بیان داشت که با افزایش شوری خاک از ۵/۹ به ۱۱/۴ شاخص برداشت در رقم های وستار و توبین به ترتیب با کاهش ۱۸/۶ و ۱۸/۱ درصدی روبه رو شده است. با کاهش عمق آبیاری مقدار شاخص برداشت نیز کاهش می‌یابد اما این کاهش کمتر از شرایط شوری است. به عبارت دیگر در کم آبیاری ها به دلیل تأثیر بیشتر شوری بر پارامترهای رشد و افزایش این اثر در تنش های توأمان نمی‌توان از آب شور استفاده نمود. همان طور که در نتایج نیز مشخص است رقم بر کلیه اجزای عملکرد به جز تعداد شاخه اثر معنی دار دارد. سطوح مختلف شوری بر مقدار عملکرد تأثیر معنی دار داشته به طوریکه عملکرد در چهار کلاس مختلف قرار گرفته است و مقدار عملکرد با افزایش شوری و کم شدن مقدار آبیاری به شدت کاهش می یابد. در همین راستا فرانسیس (۱۹۹۶) نشان داد که عملکرد دانه کلزا در اثر شوری به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. وی بیان داشت که رقم وستار و رقم توبین با افزایش شوری خاک از ۵/۹ به ۱۶/۳ دسی زیمنس بر متر به ترتیب با کاهش ۶۶ و ۸۶ درصدی در عملکرد دانه مواجه می شود. میزان عملکرد در تیمار ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی در یک کلاس قرار گرفته اند. بر اساس نتایج جدول (۶) شوری تأثیر بیشتری نسبت به مقدار آبیاری بر عملکرد کلزا دارد. لازم به ذکر است که رقم هایولا دارای متوسط عملکرد بیشتری نسبت به رقم آر جی اس می‌باشد. بر اساس نتایج موجود در شکل زیر رقم آر جی اس در پارامترهای ارتفاع، تعداد شاخه و وزن خشک بر رقم هایولا برتری داشته و در مقابل رقم هایولا در شاخص برداشت و عملکرد برتری معنی دار نسبت به رقم آر جی اس دارد.

جدول ٦- متوسط اجزای عملکرد

تیمارهای آزمایشی		وزن خشک بوته (gr)	ارتفاع (cm)	تعداد شاخه	شاخص برداشت	عملکرد کل (kg/h)
سطح شوری	S_1	۲۶/۵۳A	۷۱/۸۵A	۵/۱۲A	۴۹/۵۳A	۲۱۲۸A
	S_2	۲۵/۰۱AB	۷۱/۸۲ A	۴/۸۹A	۴۷/۳۳A	۱۸۲۰/۲۲B
	S_3	۲۳/۵۴BC	۶۸/۸۵ B	۴/۵۸B	۴۲/۶۱B	۱۳۱۳/۶C
	S_4	۲۱/۶۰C	۶۴/۱۳C	۴/۵۴B	۳۶/۱۵C	۹۷۳/۲۶D
آبیاری	I_1	۲۹/۰۸A	۷۳/۳۷A	۵/۴۵A	۴۳/۲۴BC	۱۸۷۷/۵۱A
	I_2	۲۷/۳۹B	۶۹/۸۴B	۴/۷۰B	۴۵/۰۰BA	۱۸۴۹/۰۷A
	I_3	۲۱/۰۳C	۶۷/۴۸C	۴/۵۲B	۴۵/۹۷A	۱۴۴۰/۳۷B
	I_4	۱۹/۱۷D	۶۵/۹۶C	۴/۴۵B	۴۱/۴۲C	۱۰۶۸/۱۳C
رقم	آر جی اس (۷۲)	۲۵/۶۰A	۷۱/۱۴A	۴/۸۶A	۳۹/۵۸B	۱۳۴۷/۳۴B
	هایولا(۷۱)	۲۲/۷۳B	۶۷/۱۹B	۴/۷۱A	۴۸/۲۳A	۱۷۷۰/۲A

شاخص سطح برگ

برای شبیه سازی شاخص سطح برگ از رابطه (۱۸) و نرم افزار مطلب استفاده شد. در رابطه (۱۸) مقدار نیاز حرارتی مورد نیاز برای رسیدن به شاخص سطح برگ بیشینه (T_m) برابر ۹۴۳ درجه روز به دست آمد. باید اشاره نمود که حداکثر درجه حرارت مورد نیاز در تحقیق وفابخش (۱۳۸۶) برابر ۹۲۰ درجه روز محاسبه گردید، باید اشاره نمود که تفاوت بین نیاز حرارتی حداکثر در تحقیق حاضر و تحقیق وفابخش (۱۳۸۶) احتمالاً مربوط به شرایط محیطی، تیمارهای اعمال شده و رقم کلزا می‌باشد. به طوریکه تیمارهای آبیاری در تحقیق وفابخش (۱۳۸۶) شامل ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی بوده است و تنش شوری اعمال نگردیده است. این در حالی است در این تحقیق تنش شوری نیز به صورت توامان اعمال شده است. پارامتر حساسیت گیاه به تنش در این تحقیق برابر ۱/۲ به دست آمد این در حالی است که در تحقیق خالدیان و همکاران (۲۰۰۹) برابر ۱/۲۵ محاسبه شده بود. تیمارهای اعمال شده در تحقیق خالدیان و همکاران (۲۰۰۹) تنها شامل مقادیر آبیاری بوده و تاثیر توامان شوری و کم آبیاری را مورد بررسی قرار نداده اند، لذا تفاوت در مقدار پارامتر حساسیت گیاه به تنش ناشی از تیمارهای اعمال شده می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین مقدار شاخص سطح برگ در هر دو رقم مربوط به تیمار شاهد بوده و این مقدار در رقم هایولا و آرجی اس به ترتیب برابر ۵/۹۴ و ۴/۷۵ می‌باشد. میرهاشمی و بنایان (۱۳۹۱) اشاره داشتند که مقدار حداکثر شاخص سطح برگ کلزا در تیمار شاهد برابر ۵/۷ می‌باشد. هنر و همکاران (۱۳۹۱) و وفابخش و همکاران (۱۳۸۷) نیز در بررسی تنش خشکی بر ارقام کلزا بیان داشتند که حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار شاهد برابر ۵ است. همچنین دهشیری و همکاران (۱۳۸۰) در تحقیق خود بیان نمودند که حداکثر شاخص سطح برگ کلزا در تیمار شاهد برابر ۴/۵ می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری یا کاهش آب آبیاری مقدار شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر گیاه کلزا در زمان مواجه شدن با شرایط تنش شوری و کم آبیاری با کاهش سطح برگ خود در مقابل تنش‌ها مقاومت می‌کند. کاهش سطح برگ با افزایش شوری توسط زمانی و همکاران (۱۳۸۸) و کاهش سطح برگ با کاهش عمق آبیاری توسط میرهاشمی و بنایان (۱۳۹۱)، دهشیری و همکاران (۱۳۸۰) و هنر و همکاران (۱۳۹۱) نیز ارائه شده است. مقادیر پارامترهای آماری سنجش دقت رابطه ارائه شده (رابطه ۱۸) در جدول (۷) آورده شده است. همان طور که در جدول (۷) نیز مشخص است دقت رابطه بدست آمده در هر دو رقم تقریباً یکسان است. در خصوص شاخص میانگین ریشه دوم خطا نیز ملاحظه می‌گردد که کمترین مقدار عددی آن به رقم آرجی اس اختصاص دارد. حداقل مقدار حداکثر خطا مربوط به رقم آرجی اس می‌باشد. مقادیر ضریب باقیمانده برای هر دو رقم، عددی منفی می‌باشد و این بدان معنی است که رابطه ارائه شده شاخص سطح برگ را در بیش تر موارد بیشتر از مقادیر واقعی آن، برآورد می نمایند. مقادیر ضریب تعیین در هر دو رقم با هم برابر هستند. مقدار کارایی مدل سازی نیز برای هم دو رقم یکسان بوده است و این نشان می‌دهد که رابطه ارائه شده در هر دو رقم دارای عملکرد یکسانی می باشد.

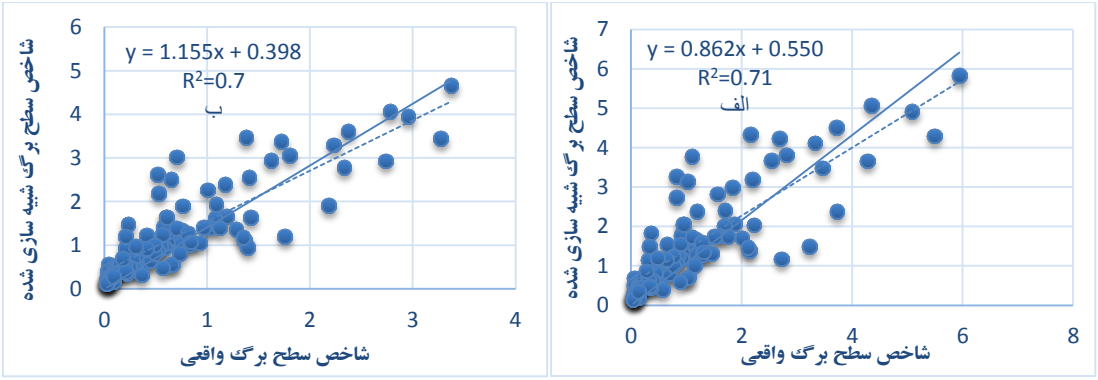
$$LAI_i = LAI_{max} \times (TA^2 \times 2.71)^{(2.3\times(1-TA^2))} \times (KSW^{1.2} \quad (۱۸)$$

$$TA = \frac{\sum_{i=1}^{j} TT - T_e}{T_m} \quad (۱۹)$$

$$Ksw = 1.228 \times e^{\frac{-1}{2}((\frac{lnI-0.277}{0.778})^2+(\frac{lnEC-0.9862}{1.426})^2} \quad (۲۰)$$

جدول ۷- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی شاخص سطح برگ

رقم	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	۲/۶۶	-۰/۳۰۳	۰/۵۹	۰/۸۸۱	۰/۵۸	-۰/۳۷	۶۵/۲۳
آر جی اس	۲/۱۳	-۰/۳۰۳	۰/۵۹	۰/۸۸	۰/۴۷	-۰/۳	۶۲/۲۵



شکل ۱- مقادیر شاخص سطح برگ واقعی در مقابل مقادیر شبیه سازی شده، الف)هایولا، ب) آر جی اس۰۰۳، خط ممتد خط ۱:۱ و خط منقطع بهترین خط رگرسیونی

بر اساس رابطه فوق مقدار شاخص سطح برگ برای هر دو رقم محاسبه گردید (شکل ۲). همان طور که در شکل(۲) نیز مشخص است رابطه فوق در رقم آرجی اس ۹۰/۷ درصد بیش برآورد دارد و در مقابل در رقم هایولا نیز ۸۰ درصد از موارد را بیش برآورد می‌کند. نتایج نشان داد که مدل فوق در ابتدا و انتهای دوره رشد شاخص سطح برگ را بیشتر برآورد می‌کند. براساس نتایج موجود در جدول (۷) دقت رابطه مورد نظر در هر دو رقم تقریباً یکسان می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده مدل فوق در تیمارهای I_4 و S_4 دارای خطای بیشتری نسبت به موارد دیگر است. به عبارت دیگر تیمارهای S_2I_4، S_3I_4، S_4I_4 دارای خطای بیشتری می‌باشد. میرهاشمی و بنایان (۱۳۹۱) در تحقیق خود اشاره داشتند که دقت مدل شبیه سازی سطح برگ در تنش های کم آبی کمتر از شرایط شاهد است.

برای تعیین دقت مدل ارائه شده واسنجی رابطه (۱۸) بر اساس نتایج سال دوم کشت انجام گردید. نتایج مربوط به پارامترهایی آماری در جدول ۸ نشان داده شده است. همان طور که در نتایج موجود در جدول (۸) نیز مشخص است دقت برآوردها در سال دوم خیلی متفاوت از سال اول نمی‌باشد. در برخی از پارامترها نتایج موجود در جدول (۸) بیانگر دقت کم مدل در شبیه سازی شاخص سطح برگ در رقم آرجی اس است. همان طور که در رابطه (۱۸) نیز مشخص می‌باشد شاخص سطح برگ تنها به عوامل محیطی وابسته است لذا دقت مناسب مدل در سال دوم به دلیل یکسان بودن زمان برداشت نمونه‌ها و تیمارهای مشابه، نیز دور از ذهن نخواهد بود.

ارتفاع ساقه

در ادامه با توجه به مقادیر وزن تر (WW) و درجه روز (TT) رابطه‌ای برای محاسبه ارتفاع گیاه (سانتی متر) به دست آمد (رابطه ۲۱). همان طور که در جدول (۹) نیز مشخص است مقادیر پارامترهای آماری در حد قابل قبولی برای هر دو رقم کلزا می-باشد. بیشترین مقادیر حداکثر خطا، میانگین ریشه دوم خطا و ضریب تبیین مربوط به رقم هایولا و سایر موارد در رقم آرجی اس بیشتر می‌باشد. مقادیر ضریب باقیمانده برای هر دو رقم، عددی منفی می‌باشد و این بدان معنی است که رابطه ارائه شده ارتفاع گیاه کلزا (h) را در بیش تر موارد بیشتر از مقادیر واقعی آن، برآورد می نمایند:

$$h = -11.389 + 0.242844 \times WW + 0.0509446 \times TT \quad (۲۱)$$

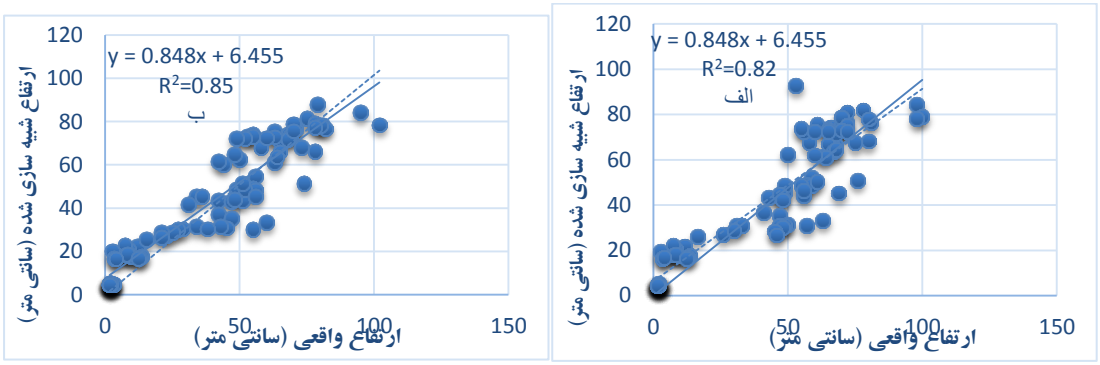
در ادامه برای درک بهتر از نتایج، مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر محاسبه شده در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس نتایج موجود در شکل (۲) مدل در رقم هایولا و آرجی اس ۰۰۳ به ترتیب ۵۹، ۷۰/۸ درصد بیش برآورد دارد. لازم به ذکر است که رابطه (۲۰) در ابتدای دوره رشد بیش برآورد و در انتهای دوره رشد ارتفاع کلزا را کم برآورد می‌کند. در انتها باید متذکر شد که رابطه به دست آمده در دوره میانی رشد دارای بهترین دقت می‌باشد.

جدول ۸- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی شاخص سطح برگ (سال دوم)

رقم	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	۲/۳۵	-۰/۲۲	۰/۵۹۳	۰/۹۵	۰/۵۴	-۰/۲۸	۵۹/۱۹
آر جی اس	۳/۲۱	-۰/۵۳	۰/۵۹۴	۰/۷۴	۰/۷۶	-۰/۶۳	۸۷/۴۵

جدول۹- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی ارتفاع گیاه

رقم	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	۳۹/۷۳	-۰/۰۰۱۴	۰/۹۴	۰/۹۵	۸/۵۷	۰/۰۶۲	۷۱/۱۲
آرجی اس	۳۴/۷۹	-۰/۰۰۱۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۸/۵۹	۰/۰۶۹	۷۰/۶۵



شکل ۲- مقادیر ارتفاع اندازه گیری شده گیاه در مقابل مقادیر شبیه سازی شده، الف)هایولا، ب) آر جی اس، خط ممتد خط ۱:۱ و خط منقطع بهترین خط رگرسیونی

واسنجی رابطه (۲۱) بر اساس داده‌های سال دوم کشت انجام شد(جدول ۱۰). همان طور که در جدول (۱۰) نیز مشخص است دقت برآوردهای ارتفاع گیاه بر اساس رابطه ارائه شده در سال دوم کمتر از سال اول می‌باشد. ولی با توجه به اینکه مقدار ارتفاع گیاه در تاریخ‌های کاملاً یکسان در هر دو سال برداشت شده است، دقت مدل تقریباً مناسب می‌باشد. مقدار کارایی مدل سازی مثبت بیانگر این است که نتایج مدل بهتر از متوسط داده‌ها است. با توجه به ضریب همبستگی بالا و سایر پارامترها می‌توان به دقت مدل اعتماد کرد. در سال دوم نیز همانند سال اول رابطه ارائه شده مقادیر ارتفاع گیاه را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند.

وزن تر و خشک اندام هوایی

مقادیر وزن تر (ww) و وزن خشک (wd) به ترتیب بر اساس روابط (۲۲) و (۲۳) محاسبه گردید. نتایج مربوط به پارامترهای آماری روابط (۲۲)و (۲۳) در جدول (۱۱) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۱۱) نیز مشخص است مقدار پارامتر کارایی مدل سازی در وزن تر و خشک مثبت شده است. به عبارت دیگر در این شاخص مقدار مقدار برآورد شده بهتر از متوسط داده‌ها است. بر اساس نتایج مندرج در جدول (۱۱) روابط (۲۲) و (۲۳) در رقم آرجی اس ۰۰۳ دارای دقت بهتری نسبت به رقم هایولا می‌باشد. همچنین همان طور که در نتایج جدول (۱۱) نیز مشخص است برآوردها در وزن تر دارای دقت بهتری نسبت به وزن خشک می‌باشد. بیشترین مقدار حداکثر خطا مربوط به وزن تر رقم هایولا و کمترین مقدار آن مربوط به وزن خشک رقم آرجی اس ۰۰۳ می‌باشد. مقادیر کارایی مدل سازی مثبت بیانگر این است که رابطه ارائه شده در وزن خشک و تر دارای دقت و اعتماد بیشتری است. اما همان طور که در جدول (۱۱) نیز مشخص است مقادیر میانگین ریه دوم خطا و میانگین خطای سوگیری در وزن خشک بیشتر از وزن تر هستند:

$$WW = 34.34 \times LAI^{0.9759} \qquad (۲۲)$$

$$Wd = 0.1725 \times WW + 0.86 \qquad (۲۳)$$

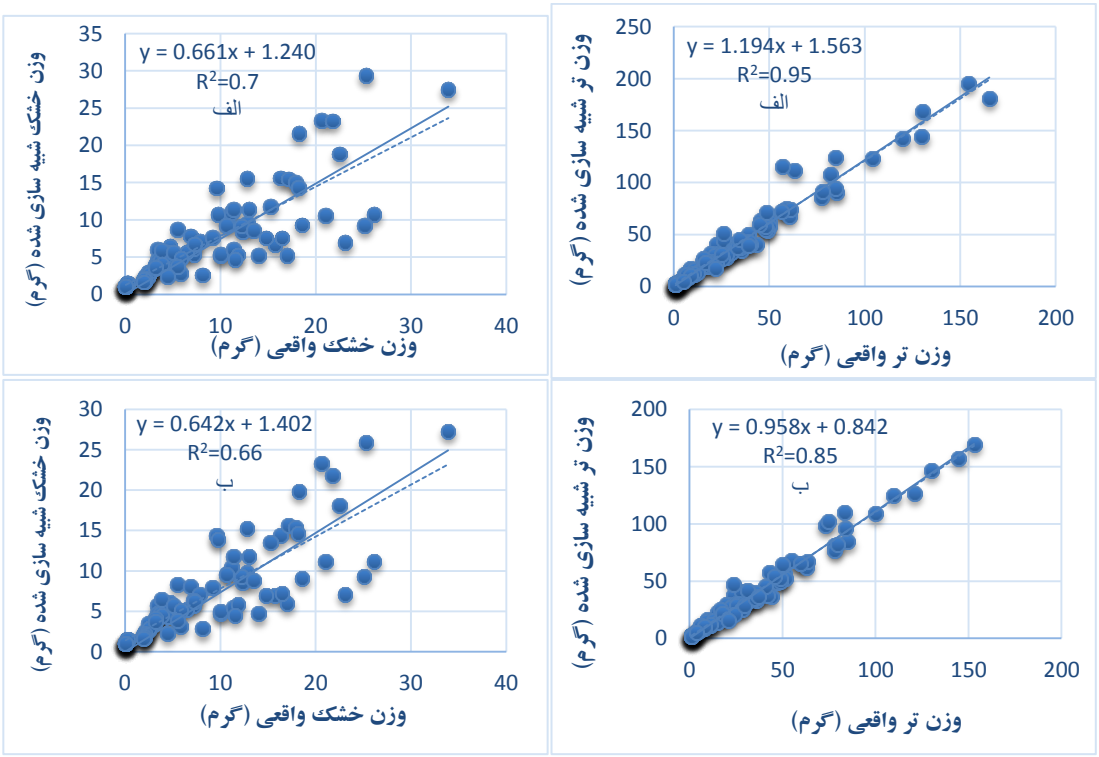
برای درک بهتری از نتایج، مقادیر وزن خشک و وزن تر اندام هوایی در مقابل مقادیر برآورده شده در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج موجود در شکل (۳) نیز نشان دهنده دقت بهتر مدل در برآورد وزن تر می‌باشد. در هر دو رقم کلزا برآورد وزن خشک نسبت به خط یک به یک دارای پراکنش بیشتری می‌باشد. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج شکل (۳) مدل مورد نظر در رقم آرجی اس دارای دقت بهتری نسبت به رقم هایولا می‌باشد.

جدول ۱۰- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی ارتفاع گیاه (سال دوم)

رقم	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	۳۸/۷۳	-۰/۰۰۱۳	۰/۹۴۷	۰/۹۳	۸/۵۸	۰/۰۵۴	۷۰/۹۵
آر جی اس	۶۵/۲۶	۰/۰۸۱	۰/۹۵	۰/۹۱	۸/۲۵	۳/۲	۶۵/۸۰

جدول ۱۱- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی وزن تر و وزن خشک

رقم	وزن نمونه	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	وزن تر	۵۸/۱۵	-۰/۲۴	۰/۸۹	۰/۶۷	۸/۴۱	۰/۶۱	۳۹/۹۳
	وزن خشک	۱۶/۱۶	۰/۱۸	۰/۶۵	۰/۶۶	۲/۷۲	-۱/۵۷	۵۳/۳۱
آر جی اس	وزن تر	۲۷/۱۴	-۰/۱۲	۰/۹۵	۰/۶۸	۵/۰۶۹	۰/۲۸	۲۲/۸۹
	وزن خشک	۱۵/۹۹	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۶۲	۲/۷۰۴	-۱/۵	۵۲/۸۱



شکل ۳- مقادیر وزن خشک و تر اندازه گیری شده در مقابل مقادیر شبیه سازی شده الف)هایولا، ب) آر جی اس، خط ممتد خط ۱:۱ و خط منقطع بهترین خط رگرسیونی

نتایج مربوط به تحلیل های سال دوم بر اساس مدل ارائه شده (روابط ۲۲ و ۲۳) در جدول (۱۲) نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول (۱۲) دقت مدل در شبیه‌سازی وزن تر و خشک در سال دوم نسبت به سال اول کمتر شده است. اما با توجه به اینکه شرایط تیمارهای و زمان‌های برداشت یکسان است، دقت مدل در شبیه‌سازی وزن تر و خشک مناسب می‌باشد. مقدار کارایی مدل سازی مثبت در وزن تر و وزن خشک بیانگر بهتر بودن نتایج مدل نسبت به متوسط داده‌های می‌باشد. مقدار ضریب تبیین در رقم هایولا و شبیه‌سازی وزن تر بیشتر از سایر موارد است. همچنین باید اشاره داشت که مقدار حداکثر خطا در سال دوم نسبت به سال اول در وزن تر افزایش بیشتری نسبت به وزن خشک داشته است.

شبیه سازی عملکرد

بر اساس رابطه (۵) مقدار عملکرد دانه تحت شرایط تنش محاسبه گردید و داده‌های اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت(جدول ۱۳). مقادیر مثبت کارایی مدل سازی بیانگر دقت مدل نسبت به استفاده از میانگین داده های ثبت شده است. لازم به ذکر است که مدل ارائه شده در تیمارهای S_4 و I_4 دارای کمترین دقت می‌باشد. مقدار ضریب تعیین در رقم هایولا ۰/۸۵ و در رقم آرجی اس برابر ۰/۵۴ می‌باشد. در همین راستا میرهاشمی و بنایان (۱۳۹۱) به ضریب تبیین ۰/۷۳ در شبیه سازی عملکرد بر اساس شاخص سطح برگ دست یافتند. بیشینه ی خطا در رقم هایولا برابر ۱۱۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده و این مقدار در رقم آرجی اس برابر ۸۶۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی در مقابل نتایج اندازه گیری شده در شکل(۴) نشان داده شده است. در هر دو رقم پراکنش داده‌های در اطراف خط ۱:۱ مناسب بوده و شیب خط رگرسیونی بسیار نزدیک به ۱ می‌باشد. اما همانطور که مشخص است در شرایط تنش شوری و کم آبیاری دقت مدل ارائه شده کاهش می‌یابد.

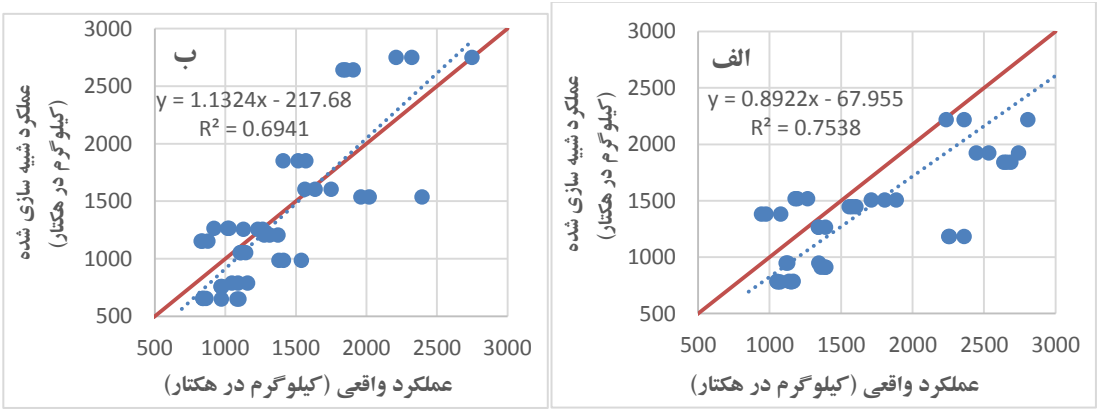
در ادامه برای ارزیابی بهتر نتایج برای برآورد مقادیر وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه و عملکرد دانه بر اساس روابط ارائه شده و با فرض اینکه هیچ کدام از داده‌های رشد در دست نیست، برآورد گردید و با داده‌های واقعی مقایسه شد. نتایج پارامترهای آماری مورد نظر در جدول (۱۴)نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۱۴) نیز مشخص است برآورد وزن خشک نسبت به پارامترهای دیگر دارای شرایط بهتری است. براساس نتایج موجود در جدول (۱۴) در تمام موارد نتایج مدل ارائه شده بهتر از میانگین داده‌های مورد نظر است. نتایج مربوط به برآورد عملکرد در گیاه نیز بیانگر دقت نسبتاً مناسب مدل در برآورد عملکرد دانه در شرایط تنش شوری و کم آبیاری می‌باشد. مقدار ضریب تبیین و میانگین ریشه دوم خطا مناسب بوده و همچنین مقدار کارایی مدل سازی مثبت بیانگر مناسب بودن نتایج مدل نسبت به میانگین داده‌های مربوطه است.

جدول ۱۲- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی وزن تر و وزن خشک

رقم	وزن نمونه	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	وزن تر	۷۵/۶۹	-۰/۲۵	۰/۳	۰/۸۵	۹/۲۸	۰/۷۸	۴۳/۱۷
	وزن خشک	۱۷/۳	۰/۱۸۷	۰/۶۳	۰/۶۴	۲/۵۸	-۱/۵۵	۵۲/۱۵
آر جی اس	وزن تر	۴۱/۵۹	-۰/۱۲۸	۰/۹۴	۰/۷۰۵	۵/۵۰۴	۰/۴۳۳	۲۵/۳۹
	وزن خشک	۱۸/۴۳	۰/۱۷۴	۰/۶۶	۰/۶۶	۲/۹۲	-۱/۷	۵۳/۴۵

جدول ۱۳- مقادیر پارامترهای آماری مربوط به برآورد عملکرد دانه بر اساس رابطه (٦)

	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	۱۱۸۲/۹۸	۰/۱۴۵	۰/۶۶	۰/۸۵	۳۸۰/۲۲	۹/۰۹۳	۲۶/۲۶
آرجی اس	۸۶۰/۰۷	۰/۰۳۱	۰/۶۸	۰/۵۳۹	۳۰۲/۴۲	۱۶/۷۴	۲۷/۶۱



شکل ٤- مقادیر عملکرد اندازه گیری شده بر اساس رابطه (٦) در مقابل مقادیر شبیه سازی شده الف)هایولا، ب) آر جی اس، خط ممتد خط ۱:۱ و خط منقطع بهترین خط رگرسیونی

جدول ١٤- پارامترهای آماری مربوط به شبیه سازی وزن تر و وزن خشک ارتفاع گیاه بر اساس پارامترهای برآورد شده

رقم	وزن نمونه	حداکثر خطا	ضریب باقیمانده	کارایی مدل سازی	ضریب تبیین	حداکثر خطای مطلق	میانگین خطای سوگیری	میانگین ریشه دوم خطا
هایولا	وزن تر	۹۰/۱۶	-۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۹۲	۲۶/۲۳	۰/۹۴	۹۱/۴۴
	وزن خشک	۱۲/۳۲	-۰/۲۴	۰/۵۳۸	۰/۹۶	۴/۰۱	۲/۰۲	۶۱/۵۹
	ارتفاع	۳۴/۱۵	-۰/۱۲	۰/۹۵۷	۰/۸۸	۹/۱۲	۵/۱۳	۷۰/۲۹
	عملکرد	۱۲۴۰/۷۳	۰/۱۸۷	۰/۶	۰/۸۶	۴۱۴/۷۲	۷/۶۸	۲۸/۳۷
آر جی اس	وزن تر	۷۴/۵۷	-۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۸۱	۱۹/۲۶	۰/۷۸	۷۳/۷۶
	وزن خشک	۱۲/۶۵	-۰/۱۳	۰/۶۲	۰/۷۵	۳/۶۸	۱/۱۱	۵۵/۸۱
	ارتفاع	۲۵/۱۷	-۰/۱۸	۰/۹۵۶	۰/۸۳	۹/۲	۶/۹۶	۶۹/۵۷
	عملکرد	۱۳۰۵/۴۷	۰/۳۱۲	۰/۴۰۷	۰/۵۹	۴۱۷/۲۱	۰/۷۸	۳۷/۳۵

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که شوری آب آبیاری بر وزن خشک در سطح پنج درصد تأثیر معنی دار داشته و بر سایر صفات نیز در سطح یک درصد اثر معنی دار دارد. چنین نتیجه ای از تأثیر مقدار آب آبیاری بر اجزای عملکرد رشدی گیاه کلزا در سطح یک درصد قابل مشاهده است. بر اساس نتایج کسب شده اثر توأمان رقم-آبیاری-شوری بر تعداد شاخه در هر دو رقم کلزا معنی دار نمی‌باشد. در مقایسه جداگانه تیمارهای شوری و کم آبی می‌توان نتیجه گرفت که اثر شوری آب بر کاهش رشد و اجزای آن بیشتر از مقدار آب آبیاری است و اثر کم آبیاری کمتر از مجموع اثر هر یک از این تنش ها می‌باشد و این بدان معنی است که در مناطقی مانند مشهد، در کم آبیاری ها از آب های شور منطقه برای تولید کلزا نمی‌توان استفاده نمود. سطوح مختلف شوری بر مقدار عملکرد تاثیر معنی دار داشته به طوریکه عملکرد در چهار کلاس مختلف قرار گرفته است و مقدار عملکرد با افزایش شوری و کم شدن مقدار آبیاری به شدت کاهش می یابد. لازم به ذکر است که رقم هایولا دارای متوسط عملکرد بیشتری نسبت به رقم آر جی اس می باشد. نتایج نشان داد که رقم آر جی اس در پارامترهای ارتفاع، تعداد شاخه و وزن خشک بر رقم هایولا برتری داشته و در مقابل رقم هایولا در شاخص برداشت و عملکرد برتری معنی داری نسبت به رقم آر جی اس دارد. مدل ارائه شده در شاخص سطح برگ در ابتدا و انتهای دوره رشد شاخص سطح برگ را بیشتر برآورد می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده مدل فوق در تیمارهای I_4 و S_4 دارای خطای بیشتری نسبت به موارد دیگر است. به عبارت دیگر تیمارهای S_2I_4، S_3I_4، S_4I_4دارای خطای بیشتری می‌باشد. بر اساس نتایج واسنجی مدل در سال دوم کشت، دقت برآوردها در سال دوم خیلی متفاوت از سال اول نمی‌باشد. البته باید متذکر شد که در برخی از پارامترها نتایج موجود بیانگر دقت کم مدل در شبیه سازی شاخص سطح برگ در رقم آر جی اس است. لازم به ذکر است که مدل مورد نظر در خصوص برآورد ارتفاع، در ابتدای دوره رشد بیش برآورد و در انتهای دوره رشد ارتفاع کلزا را کم برآورد می‌کند. در انتها باید متذکر شد که رابطه به دست آمده در دوره میانی رشد دارای بهترین دقت می‌باشد. واسنجی مدل بر اساس داده های سال دوم کشت نشان داد که دقت برآوردهای ارتفاع گیاه بر اساس رابطه ارائه شده در سال دوم کمتر از سال اول می‌باشد.

بر اساس نتایج مدل ارائه شده در خصوص برآورد وزن تر و خشک در رقم آر جی اس دارای دقت بهتری نسبت به رقم هایولا می‌باشد. ضمن اینکه برآوردها در وزن تر دارای دقت بهتری نسبت به وزن خشک می‌باشد. مقادیر مثبت کارایی مدل سازی در مدل شبیه سازی عملکرد بیانگر دقت مدل نسبت به استفاده از میانگین داده های ثبت شده است. لازم به ذکر است که مدل ارائه شده در تیمارهای S_4 و I_4 دارای کمترین دقت می‌باشد. با این حال، مدل حاضر از کفایت مناسب برای پیش بینی عملکرد برخوردار است زیرا بر اساس آنچه توسط همر و ماچو[1] (۱۹۹۴) و سلطانی و همکاران (۱۳۸۴) ارائه شده است، در به کارگیری مدل‌ها برای پیش بینی عملکرد بیان شده است که مقدار ضریب تبیین باید بیش از ۶۰ درصد باشد، که این شرط در مدل حاضر وجود دارد. بنابراین می توان از مدل حاضر برای پیش بینی عملکرد استفاده کرد.

1 -Hammer and Muchow

منابع

۱- دهشیری، ع.، احمدی، م.، طهماسبی، ر. و ز.ع. سروستانی. ۱۳۸۰. عکس العمل ارقام کلزا به تنش آب، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۲(۲): ۶۵۹-۶۴۹.

۲- راهنما، ع. ۱۳۸۸. بررسی اولیه تحمل نسبی ارقام کلزا به شوری در مناطق جنوبی استان خوزستان. گزارش نهایی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. ۳۰-۱.

۳- رضائی، ع. ۱۳۷۹. مفاهیم آمار و احتمالات. نشر مشهد، ۱: ۳۶۵- ۳۰۰.

۴- زمانی، ص.ع.، نظامی، م.ط.، حبیبی، د. و ا. بایبوردی. ۱۳۸۸. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام کلزای پاییزه در شرایط تنش شوری. مجله تنش های محیطی در علوم گیاهی، ۱(۲): ۱۲۱-۱۰۹.

۵- سلطانی، ا.، قلی پور، م. و ا. حاجی زاده. ۱۳۸۴. یک مدل ساله برای شبیه سازی رشد و عملکرد چغندر قند. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۱۹ (۲): ۲۶-۱۱.

۶- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا، چاپ چهارم.

۷- قدمی، ن. ا. ۱۳۸۹. زراعت و اصلاح کلزا (کاشت، داشت و برداشت). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ۱: ۲۳۱-۲۰۰.

۸- لک، ش.، نادری، ا.، سیادت، س.ع.، آینه‌بند، ا.، نورمحمدی ق. و س. موسوی. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذرت دانه ای در شرایط آب و هوایی خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲): ۱۴-۱.

۹- میرهاشمی، م. و م. بنایان اول.۱۳۹۱. شبیه سازی شاخص سطح برگ و عملکرد کلزا تحت شرایط تنش آب در اقلیم نیمه خشک، نشریه آب و خاک، ۲۶(۲):۴۰۳-۳۹۲.

۱۰- وفابخش، ج. ۱۳۸۶. مطالعه جنبه های اکوفیزیولوژیک گیاه زراعی کلزا در شرایط تنش خشکی، پایان نامه دکتری رشته زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۱۱- وفابخش، ج.، نصیری محلاتی، م. و ع.ر.کوچکی. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی برعملکرد وکارآیی مصرف نور در ارقام کلزا (Brassica napus L.)، مجله پژوهشهای زراعی ایران، ۶(۱) : ۲۰۴-۱۹۳.

۱۲- همایی، ع. ۱۳۸۱. واکنش گیاه به شوری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۵۸.

۱۳- هنر، ت.، ثابت سروستانی، ع.، سپاسخواه، ع.ر. و ع.ا. کامکار حقیقی. ۱۳۹۱. شبیه سازی آب خاک و عملکرد گیاه کلزا توسط مدل گیاهی CRPSM، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۶(۵۹): ۵۷-۴۵.

14- Banuelos, G. S., Bryla, D. R. and C. G. Cook. .2002 .Vegetative production of Canola under irrigation in central California, Journal Industrial Crops and Products.15 :237-245.

15- Bybordi, A. and J. Tabatabaei. 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (Brassica napus L), Journal Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 37(1): 71-76.

16- Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and J. K. Zhu. 2005 .Understanding and improving salt tolerance in lants . Journal of Crop Science. 45: 437-448.

17- De Jesus, J. R,. do Vale, W. C., Coelho, R. R. and L. C. Costa. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean, Agronomy Journal. 93: 989-991.

18- Enferad, A., Poustini, K., Majnoun-Hosseini N. and A. A. Khajeh-Ahmad-Attari. 2004. .Physiological responses of rapeseed (Brassica napus L). Varieties to salinity stress in vegetative growth phase, Journal of science and technology of agriculture and natural Resour. 7(4) 103 –113.

19- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A. and A. H. Shirani Rad. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (Brassica napus L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation, Journal of Agricultural Water Management96: 132 –140.

20- Francois, L.E. 1996. Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline conditions, Agronomy Journal. 86:233-234.

21- Goudriaan, J., and H. H. Van Laar. 1993. Modelling potential crop growth processes. Kluwer AcademicPress.

22- Hammer, G. L. and R. C. Muchow. 1994. Assessing climatic risk to sorghum production in water-limited subtropical environments: I. Development and testing of assimulation model, Journal of field crops research. 36: 221-234.

23- Heidari, M. 2010. Nucleic acid metabolism, proline concentration and antioxidants enzyme activity in canola (Brassica nupus L) under salinity stress, Agricultural Sciences in China, 9(4): 504-511.

24- Homaee, M., Dirksen, C. and R .A. Feddes. 2002. Simulation of root and water uptake, I .Non-uniforme transient salinity using different macroscopic reduction function, Journal of Agricultural Water Management. 57:89-109.

25- Khaledian, M. R., Mailhol, J. C., Ruelle, P. and P. Rosique. 2009. Adapting PILOTE model for water and yield management under direct seeding system :the case of corn and durum wheat in a Mediterranean context, Journal of Agricultural Water Management. 96(5): 757 – 770.

26- Liu, W. Z., Hansaker, D. J., Li, Y. S., Xie, X. Q. and G. W. Wall. 2002. Interrelations of yield, evapotranspiration and water use efficiency from marginal analysis of water production functions Journal of Agricultural Water Management., 56: 143-151.

27- . Mailhol, J. C., Olufayo, A. A. and P. Ruelle. 1997. Sorghum and sunflower evapotranspiration and yield from simulated leaf area index, Journal of Agricultural Water Management. 35: 167-182.

28- Mahmoodzadeh, M. 2007. Effects of salinity stress on the morphology and of two cultivars of canola (Brassica napus L.), Journal of Agronomy. 6(3): 409-414.

29- Mahmoode, S., Iran, S .and H. R. Athar. 2003. Intraspecific variability in sesame (Sesamum indicom) for various quantititive and qualitive attributes under differential salt regimes, Journal of Scientometric Research. Bahauddin Zakariya University, Multan Pakistan, 14(2): 177-186.

30- Moss, D. N. and G. J. Hoffman. 1977. Analysis of crop salt tolerance data: 258-271. In: Shain, Iberg and J. Shalhevet soil salinity under irrigation: process and management. Ecological studies. 51: Speringer-Verlag. New York.

31- Mass E. V. and J. A. Poss. 1989. Salt sensitivity of wheat at various growth stages, Journal rrigation Science. 10:29-40.

32- Mass E. V., Poss J. A. and G. J. Hoffmav. 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages, Journal rrigation Science. 7:1-11.

33- Morrison, M. J. and D. W. Stewart. 1995. Radiation use efficiency in summer rape, Agronomy Journal. 87:1139-1142.

34- Pineiro, G., Perelman, S., Guerschman, J. P. and I. M. Paruelo. 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? Ecological Modelling 216 : 316–322.

35- Reddy, A. R. Chaitanya, K. V. and M. Vivekanandanb. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants, Journal of Plant Physiology.161 :1189–1202.

36- Seetseng, K. A. 2008. Effect of water application and plant density on canola (Brassica napus L.) in the Free State. M. Sc. thesis, University of the Free State Bloemfontein.

37- Sepaskhah, A. R. and L. Boersma. 1979. Shoot and root growth exposed to several levels of matric potential and NaCl induced osmotic potential of soil water, Agronomy Journal, 71:746-752.

38- Sinclair, T. R., Gilbert, R. A., Perdomo, R. E., Shine J. R., Powell, G. and G. Montes. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA, Journal of Field Crops Research. 88: 171–178.

39- Soltani, A., Robertson. M. J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J. and H. Zarei. 2006. Modeling Biomass accumulation and partitioning in chiclpea (Cicer arietinum L), Journal of Agronomy and Crop Science.192: 379-389.

40- Van Laar, H. H., Goudriaan, J. and H. Van Keulen, 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands.

41- Wang, D., Shannon, M . C. and C. M .Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean, Journal of Field Crop Research, 267-277.