

## ارزیابی عملکرد کلزا به صورت تابعی از ارتفاع آب آبیاری و شوری در منطقه مشهد

وحید یزدانی<sup>۱</sup>، کامران داوری<sup>۲</sup>، بیژن قهرمان<sup>۳</sup>، محمد کافی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸

### چکیده

کمبود آب در طبیعت، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، همواره با کاهش کیفیت آب همراه است. این تحقیق در مزرعه‌ای با بافت شنی لومی در فاصله ۲۵ کیلومتری از مرکز شهر مشهد، در دو سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ و ۱۳۹۱-۹۲ اجرا گردید. طرح آزمایشی موردنظر به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بود که در آن چهار فاکتور مقدار شوری آب آبیاری (۰/۵، ۵، ۸ و ۱۱ دسی زیمنس بر متر به ترتیب  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  و  $S_4$ ) به عنوان کرت‌های اصلی، چهار سطح آبیاری به عنوان فاکتور فرعی (۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ و ۱۷۵ درصد نیاز آبی به ترتیب  $I_1$ ،  $I_2$ ،  $I_3$  و  $I_4$ ) و دو رقم کلزا (هایولا ۴۰۱ و آرجی اس ۰۰۳) به عنوان فاکتور فرعی بود که در سه تکرار اجرا گردید. تابع خطی لگاریتمی در تمام شوری‌ها در تیمار  $I_4$  عملکرد دانه را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده توابع درجه دوم و متعالی به ترتیب برآوردهای بهتری نسبت به دو تابع دیگر دارند. مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  نشان می‌دهد که در رقم‌های هایولا و آرجی اس، تابع درجه دوم با  $R^2 = 0/99$  و  $R^2 = 0/8$  در رتبه اول قرار می‌گیرد. در مقابل کمترین مقدار ضریب تعیین در رقم هایولا و آرجی اس به ترتیب مربوط به توابع خطی لگاریتمی و متعالی بود. توجه به نتایج آماری مشخص شده که مبنای مقایسه توابع قرار گرفته است، تابع درجه دوم (با رتبه نهایی یک) نسبت به سایر توابع برتری نسبی دارد و پس از آن تابع متعالی با رتبه ۲ نتایج قابل قبولی دارد و توابع خطی ساده و خطی لگاریتمی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بررسی میانگین ریشه دوم خطا نشان می‌دهد که تابع متعالی مجموعاً به میزان ۱۲/۵ (رقم هایولا) و ۸/۱۷ (رقم آرجی اس) درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد نموده در صورتی که تابع درجه دوم مجموعاً به میزان ۱۱/۷ و ۶/۴ درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد کرده است. بنابراین با توجه به مقایسه‌های انجام شده شاخص‌های مذکور برای توابع مختلف و نیز رتبه نهایی یک که به تابع درجه دوم تعلق گرفته است، این تابع به عنوان تابع بهینه تولید در شرایط توأم شوری و کم آبیاری برای رقم‌های هایولا و آرجی اس در منطقه مشهد معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، تنش شوری، توابع تولید، کلزا، مشهد.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> دانشیار علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

<sup>۴</sup> استاد گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد.

## مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبرو است در این ارتباط محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح بوده به طوری که هم‌اکنون استفاده بهینه از منابع آب در سرلوحه فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است (عابدی و پاکنیت، ۲۰۱۰). در حال حاضر کشور ایران همچون سایر کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین دچار کم‌آبی بوده و پیش‌بینی می‌شود طی نیم قرن آتی از جمله ۶۶ کشوری باشد که از تنش آبی رنج خواهند برد (نوروزی و همکاران، ۱۳۷۸). بنابراین باید برای مصرف آب‌های در دسترس به عنوان کالای با ارزش اهمیت بیشتری قائل شد. تجارب نشان می‌دهد که کمبود آب در طبیعت، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، همواره با کاهش کیفیت آب همراه است لذا لازم است در این‌گونه مناطق با تمهیدات خاص آب‌های شور زیرزمینی (با آب‌های شور زهکش‌ها) را به همراه آب‌های غیر شور، برای آبیاری محصولات، مورد استفاده قرار داد (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵). در این رابطه نیاز است تا توابعی که بتوانند همزمان اثرات شوری و میزان آب آبیاری را بر عملکرد محصول در نظر بگیرند، برآورد نمود و سپس با بررسی‌های اقتصادی اثرات منفرد و توأم این عوامل را بر تولید محصول مشخص کرد. برای اینکه منافع حاصله از آبیاری در زراعت مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، در ابتدا می‌توان رابطه آب و محصول را به صورت کمی سنجید. برای این کار معمولاً رابطه بین مقدار آبی که به گیاه داده می‌شود و مقدار محصول تولیدی از آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به طور کلی بدون در نظر گرفتن نوع و گونه گیاهی، سه متغیر مستقل و مهم تبخیر - تعرق (ET)، رطوبت خاک و میزان آب به کار برده شده در معادلات توابع تولید به کار می‌روند (واکس و پرویت، ۱۹۸۳). زمانی که کانوپی گیاه به شاخص سطح برگ برابر ۳ می‌رسد، در صورتی که آب آزادانه در دسترس ریشه قرار داشته

باشد نسبت تبخیر- تعرق واقعی به تبخیر- تعرق پتانسیل نزدیک به یک می‌رسد و این موضوع حاکی از آن است که کانوپی گیاه به عنوان سطح کاملاً مرطوب عمل می‌کند (ریچی و بورنت، ۱۹۷۱). ارزیابی آب مورد نیاز گیاه برای رسیدن به حداکثر عملکرد، بستگی به تعرق یا تبخیر و تعرق گیاه دارد. مطالعات نشان می‌دهد که عملکرد گیاه با مقدار ET در طی فصل رشد همبستگی معقول دارد (دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹). مجموع ماده خشک یا قسمتی از گیاه که ارزش اقتصادی دارد، با ET رابطه خطی دارد (هاگان و استوارت، ۱۹۷۳). البته رابطه‌های منحنی- خطی بین عملکرد و ET بر روی پنبه (گریمز و همکاران، ۱۹۶۱)، سیب زمینی (خانجانی و بوش، ۱۹۸۲)، گندم، جو و نیشکر (گولاتی و مورتی، ۱۹۷۹)، بر روی مرکبات، چغندر قند و گندم (دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹) و بر روی کلزا (دوگان و همکاران ۲۰۱۱، کامکار و همکاران، ۲۰۱۱) نیز مشاهده شده است. هر چند عملکرد با ET رابطه دارد، ولی گیاه قادر به واکنش مستقیم نسبت به آبیاری نیست. چون همه آب به کار برده شده، صرف ET نمی‌شود. به همین دلیل رابطه عملکرد با مقدار آب کاربردی (بارندگی + آبیاری) ارائه شده است (هاگان و استوارت، ۱۹۷۳). سولمون (۱۹۸۳) رابطه عملکرد با مقدار آب کاربردی برای ۳۷ گیاه مختلف محاسبه نمود. در همین راستا تیاگی و همکاران (۲۰۰۰) بیان داشتند که رابطه عملکرد با مقدار آب کاربردی یک رابطه غیرخطی است.

دی ویست (۱۹۸۵) توابع متعددی در خصوص واکنش گیاه به آب ارائه داده است. ولی بیشترین کاربرد را تابع ای که عملکرد نسبی ( $Y/Y_m$ ) را به تبخیر- تعرق نسبی ( $ET/ET_m$ ) مرتبط می‌سازد، دارد (استوارت، ۱۹۷۷). ایستانبولوگو و همکاران (۲۰۱۰) و حقایقی مقدم و شیرانی راد (۱۳۸۶) در بررسی اثر مقادیر آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام کلزا به تابع تولید درجه دوم دست یافتند. رضایی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی تأثیر تنش آبی بر محصول ذرت علوفه‌ای به تابع تولید درجه دوم دست یافتند.

دارند. این اطلاعات براساس شرایط پایدار برای گیاهان مختلف به دست آمده است. شرایطی که توزیع نمک با عمق یکنواخت و تغییرات اندک نسبت به زمان وجود داشته باشد، محدودیت آب وجود نداشته باشد (آبشویی کافی)، روش آبیاری غرقایی و در ابتدای رشد گیاهان با آب غیر شور آبیاری گردند، صادق می‌باشد. ولی در شرایط مزرعه‌ای توزیع نمک با عمق یکنواخت نیست. خاک به لحاظ حاصلخیزی متفاوت بوده و ممکن است قبل از استقرار گیاه در خاک شوری وجود داشته باشد، ضمن اینکه گیاهان در مراحل مختلف رشد، حساسیت‌های مختلفی از خود بروز می‌دهند. از آنجا که اثر شوری در یک مرحله، در مراحل بعدی رشد اثر خواهد گذاشت، به همین دلیل مطالعه اثر شوری در مراحل مختلف رشد مشکل است. معمولاً گیاهان در اوایل رشد نسبت به شوری حساس‌تر از مراحل بعدی هستند (میری، ۱۹۸۴، شانون، ۱۹۹۷). گیاهان مختلف براساس آستانه تحمل به شوری تقسیم شده‌اند. نوع تابع خطی مورد استفاده در این طبقه‌بندی تابع سه تکه ای، می‌باشد (ماس، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۰، ماس و هافمن، ۱۹۷۷). چنانچه در قبل نیز اشاره شد در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک (علی‌الخصوص در منطقه خراسان رضوی)، کمبود آب با کاهش کیفیت آب (از نظر شوری) همراه است بنابراین لازم است توابع تولیدی که به‌طور همزمان شوری و میزان آب آبیاری را در نظر می‌گیرند، برآورد شوند سپس با بررسی‌های اقتصادی، اثر هر کدام بر تولید مشخص گردد. اما مطالعات در این زمینه اندک است. برآورد توابع تولید براساس روش‌های آماری، به‌دلیل تعیین رابطه مستقیم آب، عملکرد بر روش‌های تئوری و تجربی که بر پایه فرضیات متعددی استوار است ترجیح داده می‌شود (دانا و همکاران، ۱۹۹۸). اما محدودیت عمده این روش‌ها، وابستگی شدید آن‌ها به مکان و سال خاص می‌باشد (روسو و باکر، ۱۹۸۶).

ذوالفقاران (۱۳۸۶) در بررسی اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد گندم در شوری‌های مختلف آب در آبیاری بارانی به تابع تولید درجه دوم دست یافت. رابطه خطی

شایان نژاد (۱۳۸۶) در بررسی حساسیت گندم پاییزه به کم آبیاری در شهر کرد رابطه‌ای بین درصد کاهش محصول و درصد کاهش آب به‌دست آورد و اعلام کرد که رابطه به‌دست آمده برخلاف رابطه استوارت رابطه‌ای خطی نبوده و بر اساس این رابطه به ازای درصد مشخصی از کاهش آب مصرفی (مثلاً ۲۰ درصد)، کاهش محصول حدود ۲ درصد می‌باشد. کیپکوریر و همکاران (۲۰۰۲) تحقیقی روی دو محصول ذرت و پیاز برای به‌دست آوردن تابع تولید آن‌ها انجام دادند که توابع تولید به‌دست آمده برای ذرت (تابع درجه ۳) و پیاز (تابع درجه ۳) می‌باشند. لیو و همکاران (۲۰۰۲) روابط بین تبخیر - تعرق، آب مصرفی و عملکرد را بررسی نمودند و به آنالیز توابع تولید و کارایی مصرف آب و تعیین ضریب تنش پرداختند. آن‌ها نشان دادند که رابطه بین عمق آب مصرفی و عملکرد به‌صورت تابع درجه دوم می‌باشد. وانجورا و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی روابط آب مصرفی - عملکرد تحت سیستم قطره‌ای روی محصول پنبه پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که منحنی‌ها و توابع تولید دارای محدودیت‌هایی بوده و فقط در دامنه خاص نتایج آن‌ها دارای صحت مناسب می‌باشد.

مطالعات گسترده‌ای درخصوص واکنش گیاهان نسبت به شوری در شرایط عدم وجود تنش آبی صورت گرفته است تا بتوانند رابطه شوری - عملکرد را کمی نمایند. از جمله مهم‌ترین بررسی‌ها در رابطه با شوری - عملکرد می‌توان به مطالعات ماس (۱۹۸۶، ۱۹۹۰)، ماس هافمن (۱۹۷۷)، بای بوردی و طباطبایی (۲۰۰۹) و بای بوردی و همکاران (۲۰۱۰) اشاره نمود. براساس اطلاعات هر یک از این توابع می‌توان مدل شوری عملکرد را که مقدار تولید گیاه را نسبت به مقدار شوری آب کاربردی نشان می‌دهد، به‌دست آورد. چنین توابعی در مطالعات عملیاتی مدیریتی آب، هر کجا که شوری مشکلی طبیعی باشد، ارزشمند است. گیاهان مقاوم مانند پنبه، جو و چغندر قند، دارای آستانه بالا و شیب کم می‌باشند، درحالی‌که گیاهان حساس مانند لوبیا، پیاز، هویج و توت فرنگی آستانه پایین و شیب تندی

عملکرد گیاه را در شرایط شوری‌های مختلف آب آبیاری، درصدهای مختلف آبشویی و مقادیر مختلف آب کاربردی، برآورد نماید. کالون و اعظم (۲۰۰۳) در تحقیقات خود بر روی پنبه و گندم، توصیه می‌کنند که در شرایط کم آبی می‌توان از آب شور زهکش‌ها استفاده نمود منوط بر اینکه از کودهای آلی جهت تعدیل شوری خاک و افزایش محصول، استفاده گردد.

کلزا با ۴۰ تا ۴۴ درصد روغن، گیاه روغنی مناسبی در تناوب با غلات محسوب می‌شود (کارمودی، ۲۰۰۱). همچنین به دلیل کارایی بالای مصرف آب و تحمل خشکی (آلباراک، ۲۰۰۶) و تا حدی تحمل به شوری (نیلسون، ۱۹۹۷) در زراعت مناطق خشک جایگاه ویژه‌ای دارد و بعد از سویا و نخل روغنی به‌عنوان سومین منبع مهم روغن خوراکی در جهان می‌باشد (آلباراک، ۲۰۰۶). با توجه به کشت کلزا در مناطقی که دارای کمبود کمی و کیفی آب می‌باشد، بررسی در خصوص تاثیر دو عامل کمیت آبیاری و شوری بر محصول دهی آن می‌تواند مفید واقع شود. با توجه به آنچه گفته شد کمبود مطالعه‌ی تاثیر شوری و کم آبیاری بر گیاه کلزا به دلیل اهمیت اقتصادی و استراتژیک این گیاه در ایران، خودنمایی می‌کند. لذا بررسی و مطالعه در این خصوص می‌تواند راه گشای بسیاری از مشکلات در خصوص مدیریت آبیاری در این گیاه باشد.

هم اکنون در کشور بر اساس طبقه‌بندی‌های کیفی آب، حجم عظیمی از آب‌های زیرزمینی و همچنین آب‌های زهکشی اراضی فاریاب جزء آب‌های نامطلوب برای آبیاری محسوب می‌شود و در هیچکدام از برنامه‌ریزی‌های آبیاری به‌عنوان یک منبع آب، لحاظ نمی‌گردد. ولی همان‌طور که اشاره شد، پتانسیل آبی کشور، بیانگر محدودیت شدید منابع آبی است، از طرف دیگر افزایش تولید نیز عمدتاً در گرو توسعه اراضی فاریاب می‌باشد، در نتیجه بایستی آب با کیفیت پایین را به‌عنوان یک منبع آب آبیاری محسوب و در برنامه‌ریزی آینده توسعه اراضی فاریاب با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح جهت تداوم پایداری کشاورزی و نیل به عملکرد

بین عملکرد و تنش ناشی از شوری و مقدار آب، برای فلفل (میری و شلهیوت، ۱۹۷۳)، گندم (سپاسخواه و بورسما، ۱۹۷۹)، لوبیا (پارا و رومرو، ۱۹۸۰) و جو (جنسن، ۱۹۸۲) مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های خطی توانی و درجه ۲ بین عملکرد و عوامل متغیر مانند مقدار آب آبیاری، شوری آب آبیاری و شوری اولیه خاک بر روی گندم مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت مدل درجه ۲ بهترین مدل برای تابع تولید آب - شوری تشخیص داده شد (داتا و همکاران، ۱۹۹۸). ذوالفقاران و شهبازی (۱۳۸۶) در بررسی عملکرد چغندر قند در مقادیر متفاوت آب و شوری دریافتند که پیش‌بینی عملکرد چغندر قند تحت تاثیر شرایط توام خشکی و شوری با تابع کاب داگلاس از سایر توابع بهتر است.

توابع تولید آب - شوری برای ذرت و پنبه براساس مقادیر مختلف رطوبت و شوری خاک تعیین گردید. در این بررسی مشخص شد که توابع غیر خطی (درجه ۲) بهتر از توابع دو تکه‌ای ماس و هافمن (۱۹۷۷)، رابطه بین عملکرد و شوری و مقدار آب خاک را نشان می‌دهند (روسو و باکر، ۱۹۸۶). تابع تولید آب - شوری درجه ۲ برای یونجه براساس سطوح مختلف شوری آب برآورد شد. نتایج نشان داد برای رسیدن به عملکرد بیشتر با استفاده از آب شور، باید مقدار آب بیشتری مصرف کرد (لتی و دینار، ۱۹۸۶). رابطه غلظت نمک، پتانسیل ماتریک، کمبود رطوبت و تعرق واقعی را لامسال و همکاران (۱۹۹۹) در یک مدل تعریف نموده‌اند که این مدل بیانگر رابطه خطی بین تبخیر و تعرق نسبی و عملکرد نسبی برای گیاه گندم می‌باشد. سپاسخواه و اکبری (۲۰۰۵) توابع درجه دوم را که رابطه بین عملکرد و آب کاربردی را نشان می‌دهند برای پنبه و گندم معرفی نمودند. کالرا و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی بر روی گندم، تابع درجه دومی ارائه نمودند که رابطه بین عملکرد و راندمان مصرف آب را بیان می‌کند. سپاسخواه و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی بر روی سه گیاه گندم، چغندر قند و ذرت انجام دادند موفق به ارائه مدلی گردیدند که بتواند

## مشخصات آب و هوایی منطقه

شهر مشهد در مرکز استان خراسان رضوی واقع شده است و از نظر اقلیمی براساس روش دمارتن نیمه خشک، براساس روش آمبرژه نیمه خشک معتدل و براساس روش کوپن آب و هوای مدیترانه‌ای دارد (یزدانی و ابراهیمی، ۱۳۹۰). آزمایش‌های مزرعه‌ای این تحقیق طی دو سال (۹۰-۹۱ و ۹۱-۹۲) از اسفند شروع و تا تیر ادامه داشته است. آمار هواشناسی که در این محدوده زمانی (تهیه شده از ایستگاه سینپنوتیک مشهد) در جدول (۱) ارائه شده است نشان می‌دهد که میزان بارندگی در طی این دوره ۲۰۶/۴ میلی‌متر بوده که بیشترین آن در فروردین ماه به مقدار ۵۴ میلی‌متر حکم‌ترین آن در تیر به مقدار ۹/۹ میلی‌متر بوده است. متوسط درجه حرارت ماهانه در طی این دوره ۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده که تیر ماه با حداکثر درجه حرارت ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین و بهمن ماه با حداقل درجه حرارت ۲/۷- سردترین ماهها در طی دوره رشد می‌باشند.

معقول، مورد توجه جدی قرار گیرد. لذا ارزیابی توابع تولید محصول کلزا در شرایط همزمان شوری و کم آبی در منطقه مشهد با توجه به کمبود منابع آبی و شور بودن این آب‌ها می‌تواند راه‌گشای مشکلات پیش روی کشاورزی در دشت مشهد باشد.

## مواد و روش‌ها

## محل اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه‌ای که در فاصله ۲۵ کیلومتری از مرکز شهر مشهد و در فاصله ۳ کیلومتری آرامگاه فردوسی مشهد در مختصات جغرافیایی ۴۳° ۲۷' ۳۶۰ شمالی و ۵۸° ۲۷' ۵۹۰ شرقی و با ارتفاع ۱۰۴۴ متر از سطح دریا واقع شده است، در دو سال زراعی ۹۱-۹۲ و ۱۳۹۰-۹۱ اجرا گردید. برای انجام این پژوهش زمینی به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع که طی ۲ سال قبلی به‌صورت آیش بوده است انتخاب گردید.

جدول (۱): مقادیر دما، بارندگی، سرعت باد و تبخیر تشتت کلاس A طی ماه‌های فصل زراعی سال‌های ۹۰-۹۱ و ۹۱-۹۲

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

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 اندازه‌گیری (pH) در گل اشباع توسط pH متر مدل یوتک PCS35 (کمپانی

## ویژگی‌های خاک محل آزمایش و روش تعیین آن‌ها

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، در بهمن ماه سال زراعی ۹۰-۹۱ 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

آزمایش به ترتیب برابر ۲،۴۳، ۳،۳۲، ۳،۲۳ و ۲،۶۱ دسی‌زیمنس بر متر بود و با توجه به اینکه گیاه کلزا گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری با آستانه شوری ۱۰ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (ماس و هافمن، ۱۹۷۷ و فرانسیس، ۱۹۹۶) لذا محدودیتی برای رشد کلزا ایجاد نمی‌کند. خاک مورد نظر از لحاظ اسیدیته در تمام اعماق دارای pH خنثی می‌باشد.

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

(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 گل‌دهی 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

جدول (۲): خصوصیات شیمیایی خاک زمین مورد کشت

Na	Ca	Mg	pH	Cl	P	K	Ec	C	عمق سانتی‌متر
l/mg	l/mg	l/mg		l/mg	l/mg	l/mg	m/ds	%	
۹/۱۲	۱۰/۴	۴/۸	۷/۹۵	۴/۸	۳/۸۶	۴۴۴/۱	۲/۴۳	۰/۶۲۴	۲۵-۰
۱۲/۷۹	۱۸	۷/۲	۷/۷۸	۷/۲	۴۹/۲	۱۶۳/۸	۳/۳۲	۰/۴۲۹	۵۰-۲۵
۱۳/۲۶	۱۷/۲	۷/۲	۷/۶۷	۷/۲	۴۰/۸	۱۵۶/۹	۳/۲۳	۰/۴۲۹	۷۵-۵۰
۱۲/۴۱	۱۱/۲	۵/۶	۷/۸	۴/۸	۲۷/۳	۳۴۶/۸	۲/۶۱	۰/۳۱۲	۱۰۰-۷۵

جدول (۳): خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق	۲۵-۰	۵۰-۲۵	۷۵-۵۰	۱۰۰-۷۵
چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	۱/۶۴	۱/۷۸	۱/۷۲	۱/۶۹
چگالی حقیقی (gr/cm <sup>3</sup> )	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

### سطوح شوری آب آبیاری

هدف پروژه حاضر ارائه راهکار عملی برای استفاده بهینه از آب شور و کم آبیاری می‌باشد، با توجه به اعمال شوری‌های بالا در این تحقیق و هزینه‌های زیاد حمل آب شور به محل آزمایش برای تامین شوری‌های متفاوت از مخلوط کردن درصدهای مختلف سنگ نمک با آب چاه با شوری (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده شد. بر این اساس فاکتورهای 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.

### سطوح مختلف آبیاری

برای اعمال فاکتورهای کمی آب از شاخص رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک خاک به دلیل دقیق‌تر 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 دسی‌زیمنس 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 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:

$$SMD = (W_{fc} - W_i) A_s . D.C \quad (1)$$

در رابطه فوق SMD کمبود رطوبت خاک میلی‌متر،  $W_{fc}$  و  $W_i$  به ترتیب درصد وزنی رطوبت در

### خصوصیات آب آبیاری

در این تحقیق از نسبت‌های مختلف آب چاه به‌منظور ایجاد شوری‌های متفاوت (۰/۵، ۵، ۸ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده گردید. بنابراین به‌منظور تعیین کیفیت آب مورد استفاده برای آبیاری، نمونه آب از هر یک از تیمارها 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 دیاگرام ویل کاکس) از نظر شوری در کلاس  $C_1$ ، تیمار دوم در کلاس  $C_4$  و دو تیمار دیگر خارج از کلاس‌های شوری دیاگرام ویل کاکس می‌باشد یا به عبارتی می‌توان گفت که کیفیت آب چهار تیمار مورد استفاده در چهار کلاس مختلف شوری قرار گرفته است.

همان‌طور که در جدول ۴ نیز مشاهده می‌گردد که مقادیر نسبت جذبی سدیم ( $SAR^1$ ) برای چهار تیمار مورد استفاده نزدیک به هم می‌باشند به‌طوری‌که در سه کلاس  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  قرار می‌گیرند. 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 (حق نیا، ۱۳۷۱) 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 (آروین و عزیز، ۱۳۸۸ و وفابخش و همکاران، ۱۳۸۸) دارای عملکرد مناسبی در منطقه مشهد بوده‌اند.

<sup>1</sup> Sodium Adsorption Ratio

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. فاکتور چهارگانه مقدار آب آبیاری کاربردی از این پس در متن یا محاسبات به ترتیب با علائم اختصاری  $I_1$ ،  $I_2$ ،  $I_3$  و  $I_4$  نشان داده می‌شود.

ظرفیت زراعی و موجود در خاک،  $A_s$  وزن مخصوص ظاهری خاک ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )،  $D$  عمق توسعه ریشه (mm) و  $C$  ضرایب مربوط به هر تیمار بر حسب اعشار که در این تحقیق تیمارهای عمق آب آبیاری معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد لحاظ شد. مقدار مصرف آب توسط گیاه از طریق اندازه‌گیری بیلان آب بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I + P = (ET + D_d + R_o) \pm \Delta S \quad (2)$$

که در آن  $I$  و  $P$  به ترتیب عمق آب آبیاری و بارندگی (میلی‌متر)،  $ET$ ،  $D_d$ ،  $R_o$  به ترتیب تبخیر - تعرق گیاه، عمق آب زهکشی و عمق رواناب (میلی‌متر) و  $\Delta S$  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 به‌دست می‌آید. به دلیل عمیق بودن سفره آب

جدول (۴): تجزیه شیمیایی تیمارهای آب مورد استفاده

EC	pH	SAR	کاتیون‌ها (meq/L)				آنیون‌ها (meq/L)			
			Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	So <sub>4</sub> <sup>-</sup>
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

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.

#### عملیات کاشت، داشت و برداشت

در مورخ ۵ اسفند سال ۱۳۹۰ سال اول و ۱۳۹۱ در سال دوم اقدام به کشت کلزا شد. تهیه بستر

#### طرح آزمایش مورد استفاده

طرح آزمایشی مورد نظر بصورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های 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 آزمایشات در کرت‌هایی با مساحت ۲ در ۲ متر انجام گرفت. برای تداخل نداشتن اثر آبیاری فاصله بین کرت‌های اصلی



## ارزیابی تاثیر اعمال تیمارهای شوری و کم آبیاری

## بر کارایی مصرف آب ارقام کلزا

به منظور تعیین عملکرد دانه از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و این صفت در آنها اندازه گیری می شوند. برای برداشت نهایی با احتساب دو نوار کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای نوار برای اثر حاشیه از سایر نوارها محصول قطع شده و بعد از کاهش رطوبت به حدود ۱۲ درصد و بعد از خرم کردن کوبی عملکرد دانه به دست آمد.

## محاسبات آماری و نرم افزارهای مورد استفاده

برای محاسبات تولید و تعیین ضرایب آنها از مدل رگرسیون چندگانه نرم افزار Minitab 16، برای محاسبات آماری و رسم شکلها و توابع از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

## برآورد توابع تولید در شرایط توام شوری و کم آبی

با استفاده از داده های آماری حاصله از اجرای طرح و به کارگیری روش تخمین تابع تولید آب- شوری عملکرد محصول تحت تاثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری با ثابت لحاظ کردن سایر عوامل تولید و با استفاده از توابع خطی ساده<sup>۱</sup>، خطی لگاریتمی (کاب داگلاس<sup>۲</sup>)، درجه دوم<sup>۳</sup> و متعالی<sup>۴</sup> با استفاده از نرم افزار Minitab 16 اقدام به برآورد توابع تولید آب- شوری- عملکرد ارقام کلزا شد. فرم های توابع مذکور به صورت ذیل می باشند:

• فرم خطی ساده:

$$Y = a + bI + cEC_w \quad (3)$$

مناسب بذری یکی از شرایط اصلی در موفقیت زراعت کلزا در تمام مناطق می باشد. برای تامین شرایط فوق عملیات خاک ورزی شامل شخم عمیق، دیسک و ماله انجام گردید. بعد از شخم عمیق برای از بین بردن کلسوهای خاک دوباره دیسک عمود بر هم زده شد. کاشت روی ردیفهایی با فاصله ۳۰ سانتی متر و تراکم ۸۰ بوته در مترمربع بصورت دستی انجام شد. هر کرت به مساحت ۴ متر مربع بوده که شامل ۶ خط کاشت ۲ متری بود. در طی فصل رشد به موازات اعمال تیمارهای کم آبی و شوری، کنترل های مربوط به بیماریها و آفات و مبارزه با علف های هرز صورت گرفت علف های هرز زمین مربوط به دوره رشد عبارت بودند از سلمه تره، هفت بند، و علف شور که در چندین نوبت توسط کارگر وجین شدند. هر دو رقم کلزا در طی دوره رشد و در یک نوبت مورد حمله افت شته کلزا قرار گرفتند که با مبارزه شیمیایی متاسیتوکس با غلظت ۱ در هزار بلافاصله کنترل گردید. جهت تجهیز سامانه آبیاری به گونه ای که بتوان سطوح مختلف شوری آب آبیاری را در کرت های آزمایشی اعمال کرد، ابتدا سه منبع فلزی هر یک با حجم ۶۰۰۰ لیتر در نزدیکی محل آزمایش قرار داده شد به طوری که بتوان آب با شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر مورد نظر را از چاه بالا دست مزرعه به داخل هر یک از منابع آب پمپ نموده و سپس از طریق خطوط لوله آب به ابتدای قطعه زراعی مورد آزمایش انتقال داده و میزان آب مورد نیاز هر کرت را از طریق کنتور حجمی دقیق با دقت ۰/۱ لیتر به کرت منتقل کرد. اولین آبیاری ( به میزان ۳۰ لیتر در هر متر مربع) بلافاصله پس از کاشت بذرها در تاریخ ۸ اسفند ماه با آب شیرین بطور یکنواخت برای کلیه کرت های آزمایشی انجام گرفت از آنجایی که عامل آبیاری جزو تیمارهای آزمایشی بود، از ابتدا تا انتهای کرت بطور یکنواخت آبیاری گردد.

<sup>1</sup>Linear

<sup>2</sup>Cobb Douglas

<sup>3</sup>Quadratic

<sup>4</sup>Transcendental

ضریب باقیمانده<sup>۵</sup> (CRM) هستند (رضایی، ۱۳۷۹، پینرو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

$$ME = \max |P_i - O_i|_i^n = 1 \quad (۷)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right] 0.5 \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۸)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۹)$$

$$MBE = \left( \sum_{i=1}^n (E_{oi} - E_{si}) \right) / n \quad (۱۰)$$

$$MAE = \left( \sum_{i=1}^n ABS(E_{oi} - E_{si}) \right) / n \quad (۱۱)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۱۲)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (۱۳)$$

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.  $CRM$  و  $EF$  می‌توانند مقادیر منفی داشته باشند. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار

• فرم خطی لگاریتمی:

$$Y = aI^b EC_w^c \quad (۴)$$

• فرم درجه دوم:

$$Y = a + b.I + c.I^2 + d.EC_w + e.EC_w^2 + f.I.EC_w \quad (۵)$$

• فرم متعالی:

$$Y = aI^b EC_w^c e^{(d.I + e.EC_w)} \quad (۶)$$

در روابط فوق پارامترهای  $a, b, c, d, e$  ثابت‌های برازش،  $Y =$  مقدار عملکرد  $I =$  مقدار آب آبیاری (سانتی‌متر) و  $EC_w =$  هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) هستند. در نهایت تابع تولیدی که بهترین برازش را با داده‌های واقعی داشته باشد به عنوان تابع تولید کلزا در شرایط شوری و کم‌آبی معرفی شده و در صورت نیاز اقدام به بهینه‌سازی (توسط دستور solver در نرم افزار اکسل) آن گردید. لازم به ذکر است که در فرآیند بهینه‌سازی اقدام به تغییرات ضرایب روابط فوق گردید به طوری که مقادیر عددی آماره‌های  $ME$ ،  $RMSE$ ،  $CRM$  به سمت صفر و مقدار  $EF$  و  $R^2$  به سمت یک میل نمایند.

#### 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<sup>۱</sup> ( $ME$ )، میانگین ریشه دوم خطا<sup>۲</sup> ( $RMSE$ )، ضریب تعیین<sup>۳</sup> ( $R^2$ )، کارایی مدل‌سازی<sup>۴</sup> ( $EF$ )، و

<sup>1</sup> Maximum error

<sup>2</sup> Root mean square error

<sup>3</sup> Coefficient of determination

<sup>4</sup> Modeling efficiency

<sup>5</sup> Coefficient of residual mass

<sup>6</sup> Pineiro

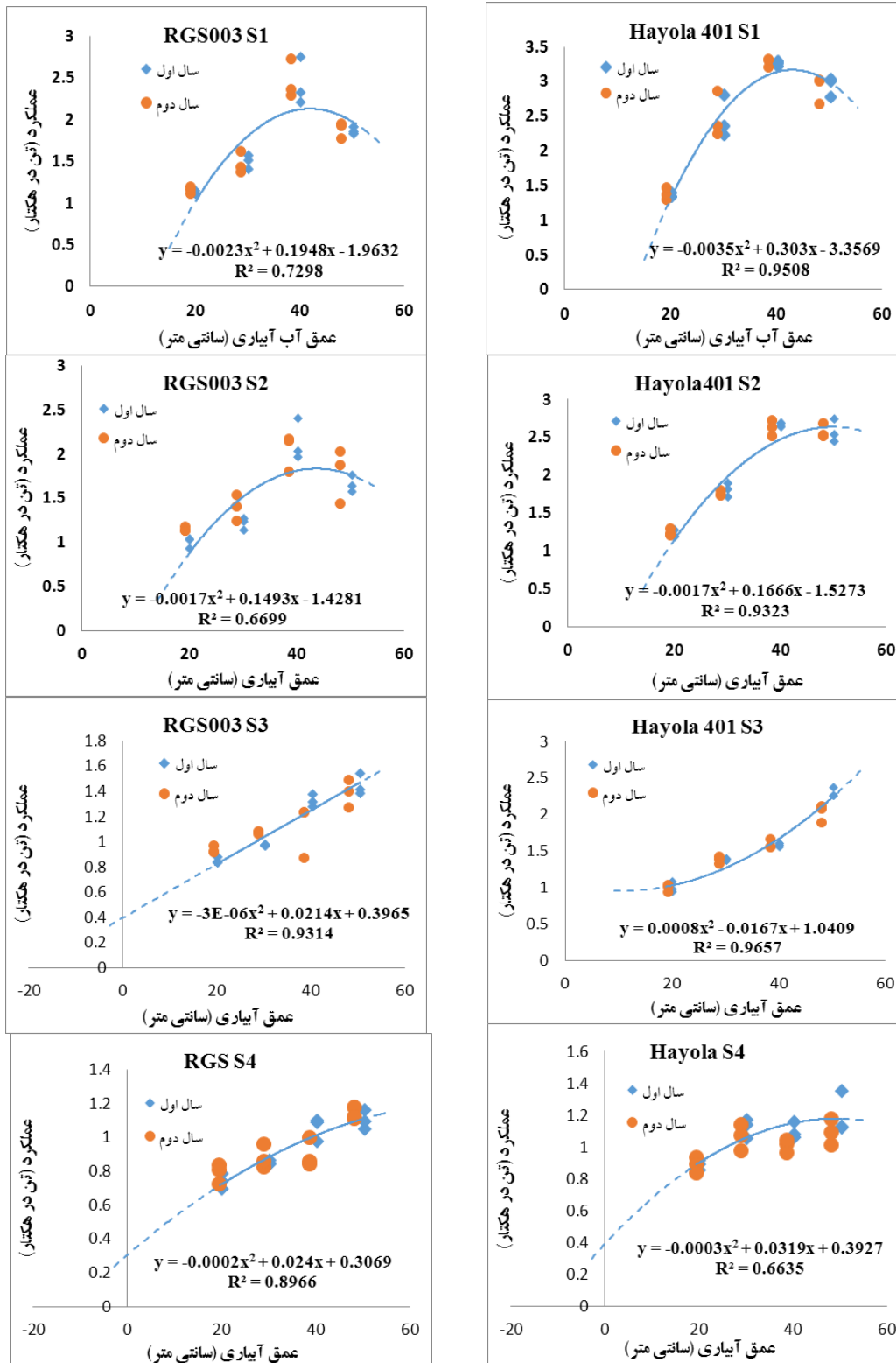
هایولا در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر منحنی متفاوت از سایر شوری‌ها بوده به طوری که با افزایش و یا کاهش عمق آبیاری مقدار محصول افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در این شوری کم آبیاری بهتر از آبیاری کامل است. به بیان دیگر پرآبیاری در این شوری باعث شسته شدن املاح شده و کم آبیاری باعث تجمع کمتر املاح در محیط توسعه ریشه گردیده است. لذا در شرایط پر آبیاری عملکرد رقم هایولا بیشتر از حالت تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. و در کم آبیاری‌ها عملکرد به مقدار ثابتی میل می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ نیز مشخص است عملکرد هر دو رقم کلزا در تیمارهای  $S_1$  و  $S_2$  (۰/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) در بازه ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر عمق آبیاری صفر می‌شود. و در شوری  $S_3$  (۸ دسی‌زیمنس بر متر) همان‌طور که در بالا گفته شد مقدار عملکرد در رقم هایولا به عدد ثابتی بزرگ‌تر از صفر میل می‌کند و در رقم آرچی اس نیز حتی در شرایط حداقل آبیاری صفر نمی‌شود. به عبارت دیگر در این شوری، عملکرد به صورت خطی با عمق آبیاری تغییر نمی‌کند. در شوری  $S_4$  (۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) مقادیر عمق آبیاری نزدیک به ۳ سانتی‌متر باعث کاهش عملکرد نزدیک به صفر می‌شود. همان‌طور که از نتایج موجود در شکل ۱ مشخص است با افزایش شوری آب آبیاری تاثیر کم آبیاری‌ها بر عملکرد کم رنگ‌تر شده است.

عددی آماره‌های  $ME$ ،  $RMSE$ ،  $CRM$  برابر صفر و مقدار  $EF$  و  $R^2$  برابر یک خواهند شد.

## نتایج و بحث

نتایج تغییرات عملکرد در مقابل تغییرات شوری آب آبیاری با اعماق مختلف در شکل (۱) برای ارقام کلزا نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نیز مشخص است تابع عملکرد بر اساس عمق آبیاری رابطه درجه دوم می‌باشد. در همین راستا حقایقی مقدم و شیرانی‌راد (۱۳۸۶)، دوگان و همکاران (۲۰۱۱) و کامکار و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و کارایی ارقام کلزا به رابطه درجه دوم عملکرد و عمق آب دست یافتند. رضایی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی تنش آبی بر محصول ذرت علوفه ای تابع درجه دومی را برای تابع عملکرد عمق آبیاری معرفی نمودند. نتایج مشابهی توسط شایان‌نژاد (۱۳۸۶)، وانجورا و همکاران (۲۰۰۳) و کیپکوریر و همکاران (۲۰۰۲) به ترتیب برای گندم پائیزه، پیاز و پنبه ارائه شده است.

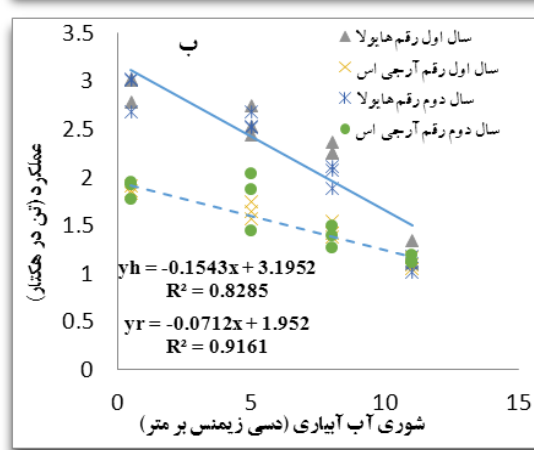
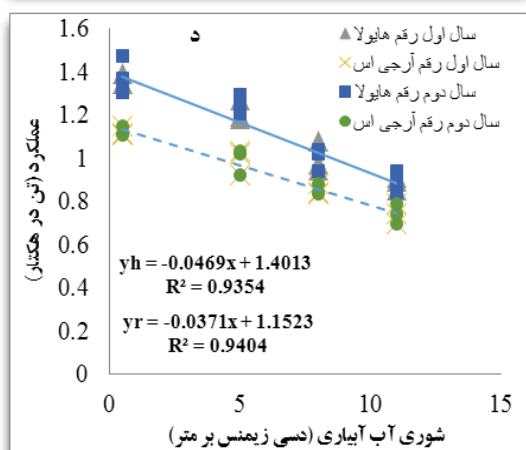
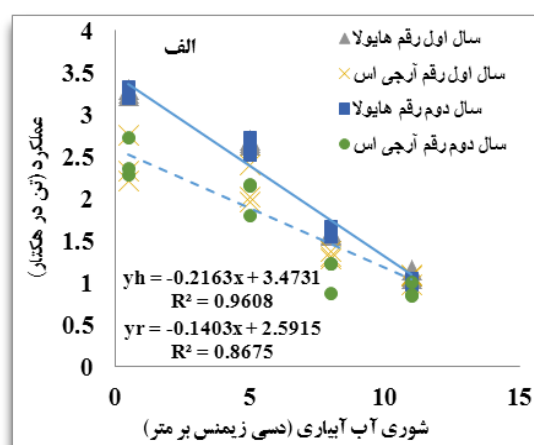
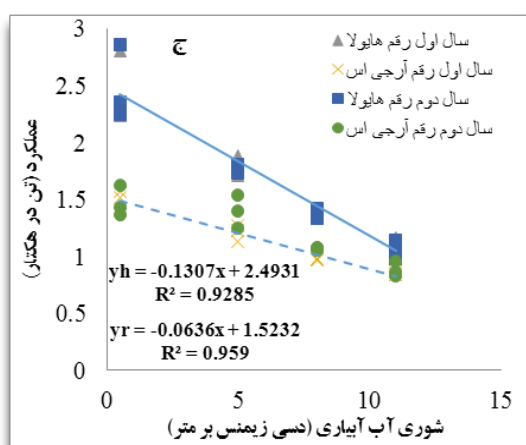
همان‌طور که در شکل (۱) نیز مشخص است حساسیت رقم هایولا به شوری آب آبیاری بیشتر از رقم آرچی اس است (شیب منحنی بیشتر است). البته باید متذکر شد که در شوری  $S_2$  هر دو رقم دارای یک شیب یکسان هستند. منحنی رقم آرچی اس در شوری‌های زیاد (۸ و ۱۱  $dS/m$ ) نزدیک به خطی بوده به طوری که مقدار افت محصول در مقادیر کم و زیاد آبیاری تقریباً یکسان است در صورتی که برای رقم



شکل ۱: منحنی‌های تغییرات عملکرد ارقام کلزا در برابر عمق آبیاری، خط ممتد در بازه عمق‌های آبیاری و خط نقطه چین در خارج از بازه عمق‌های آبیاری

حساسیت رقم آرچی اس است. اما همان‌طور که مشخص است عملکرد رقم هایولا بیشتر از رقم آرچی اس می‌باشد. لذا با توجه به عملکرد بالای این رقم، می‌توان در شرایط توامان شوری و کم آبیاری رقم هایولا را کشت نمود. ماس (۱۹۸۶ و ۱۹۹۰)، ماس و هافمن (۱۹۷۷)، فینزمن و همکاران (۱۹۸۲)، همایی (۱۳۸۱) و حیدری (۲۰۱۰) در تحقیقات خود به خطی بودن تابع عملکرد و شوری آب آبیاری اشاره داشتند.

در ادامه برای ارائه تصویر روشن‌تری از نتایج به‌دست آمده، نمودار عملکرد ارقام کلزا در مقابل تغییرات شوری آب آبیاری در مقابل فاکتورهای آبیاری ( $I_1, I_2, I_3$  و  $I_4$ ) در شکل ۲ نشان داده شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد شیب منحنی برای رقم هایولا در تمام مقادیر آبیاری بیشتر از رقم آرچی اس است. لذا می‌توان اشاره داشت که تغییرات عملکرد نسبت به تغییرات شوری آب آبیاری، خطی بوده و همچنین حساسیت رقم هایولا به کم آبی بیشتر از



شکل ۲: منحنی‌های تغییرات عملکرد ارقام کلزا در برابر شوری آب آبیاری، خط ممتد مربوط به رقم هایولا ( $yh$ ) و خط نقطه چین مربوط به رقم آرچی اس ( $yr$ ).

(الف) تامین ۱۰۰ نیاز آبی، (ب) تامین ۱۲۰ نیاز آبی، (ج) تامین ۷۵ نیاز آبی، (د) تامین ۵۰ نیاز آبی

• فرم درجه دوم

$$Y_a = -0.6155 + 0.1082 \times I - 0.001046 \times I^2 + 0.01051 \times EC - 0.00229 \times EC^2 - 0.0017756 \times I \times EC \quad (20)$$

• فرم متعالی

$$Y_a = -3.6579 - 0.034084 \times I - 0.1038 \times EC + 1.91175 \times \ln(I) + 0.0878 \times \ln(EC) \quad (21)$$

در روابط فوق EC مقدار هدایت الکتریکی آب آبیاری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، I عمق آبیاری بر حسب سانتی‌متر و  $Y_a$  مقدار محصول تولید شده بر حسب تن در هکتار است.

#### مقایسه کمی توابع تولید و تعیین تابع بهینه تولید

مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده عملکرد دانه کلزا توسط توابع مختلف در تیمارهای تحت بررسی در جداول (۵) و (۶) ارائه گردیده است. همان‌طور که در جداول ۵ و ۶ نیز مشخص است در هر دو رقم، کلیه توابع تولید مقدار عملکرد را در تیمار  $I_2$  بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کنند. تابع خطی لگاریتمی در تمام شوری‌ها در تیمار  $I_4$  عملکرد دانه را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست آمده توابع درجه دوم و متعالی به ترتیب برآوردهای بهتری نسبت به دو تابع دیگر دارند. البته باید اشاره داشت که در برخی از موارد تابع متعالی دارای برآورد بهتری نسبت به تابع درجه دوم است. نتایج نشان داد که به‌طور کلی برآوردهای تابع درجه دوم در هر دو رقم بهتر از سایر توابع تولید آب-شوری-عملکرد می‌باشد. در این رابطه محققین مختلفی اشاره داشتند که مدل درجه دوم برای پنبه و گندم (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷ و سپاسخواه و اکبری، ۲۰۰۵) و برای گندم (کالرا و

تعیین تابع بهینه تولید آب-شوری-عملکرد ارقام کلزا آرجی اس و هایولا (الف) رقم هایولا ۴۰۱

توابع بهینه مورد نظر به تفکیک ارقام مورد بررسی در ذیل آورده شده است (روابط ۱۵ الی ۲۲).

• فرم خطی ساده

$$Y_a = 1.29 + 0.0384 \times I - 0.137 \times EC \quad (14)$$

• فرم لگاریتمی

$$Y_a = 0.1709 \times I^{0.7284} \times EC^{-0.189} \quad (15)$$

• فرم درجه دوم

$$Y_a = -0.9866 + 0.146 \times I - 0.001175 \times I^2 + 0.0662 \times EC - 0.00535 \times EC^2 - 0.004048 \times I \times EC \quad (16)$$

• فرم متعالی

$$Y_a = -4.742 - 0.03697 \times I - 0.187 \times EC + 2.4989 \times \ln(I) + 0.170032 \times \ln(EC) \quad (17)$$

(ب) رقم آرجی اس ۰۰۳

• فرم خطی ساده

$$Y_a = 0.975 + 0.0235 \times I - 0.0781 \times EC \quad (18)$$

• فرم لگاریتمی

$$Y_a = 0.187 \times I^{0.6048} \times EC^{-0.15076} \quad (19)$$

همکاران، ۲۰۰۷؛ داتا و همکاران، ۱۹۹۸؛ لی و همکاران، ۲۰۰۵) تطابق مطلوب‌تری نسبت به سایر توابع دارد.

جدول ۵: مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دانه رقم هایولا ۴۰۱ توسط توابع مختلف در تیمارهای تحت بررسی

تیمارها	عملکرد دانه (t/ha) اندازه‌گیری شده	مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد دانه توسط توابع مختلف (t/ha)			
		خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دوم	متعالی
S <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	۲.۷۶	۲.۷۴	۲.۹۳	۲.۸۰
	I <sub>2</sub>	۳.۱۵	۳.۳۸	۳.۳۱	۲.۹۷
	I <sub>3</sub>	۲.۳۸	۲.۳۱	۲.۳۲	۲.۴۴
	I <sub>4</sub>	۱.۹۹	۱.۷۷	۱.۴۷	۱.۸۱
S <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	۲.۱۵	۱.۸۴	۲.۳۷	۲.۳۵
	I <sub>2</sub>	۲.۵۳	۲.۲۰	۲.۵۶	۲.۵۲
	I <sub>3</sub>	۱.۷۶	۱.۴۹	۱.۹۴	۱.۹۹
	I <sub>4</sub>	۱.۳۸	۱.۱۵	۱.۲۷	۱.۳۶
S <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	۱.۷۴	۱.۶۹	۱.۸۷	۱.۸۷
	I <sub>2</sub>	۲.۱۲	۲.۰۱	۱.۹۴	۲.۰۴
	I <sub>3</sub>	۱.۳۵	۱.۳۷	۱.۵۶	۱.۵۱
	I <sub>4</sub>	۰.۹۶	۱.۰۵	۱.۰۱	۰.۸۷
S <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	۱.۳۳	۱.۵۹	۱.۲۷	۱.۳۶
	I <sub>2</sub>	۱.۷۱	۱.۸۹	۱.۲۲	۱.۵۴
	I <sub>3</sub>	۰.۹۴	۱.۲۹	۱.۰۹	۱.۰۱
	I <sub>4</sub>	۰.۵۵	۰.۹۹	۰.۶۶	۰.۳۷

جدول ۶: مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دانه رقم آرجی اس ۰۰۳ توسط توابع مختلف در تیمارهای تحت بررسی

تیمارها	عملکرد دانه (t/ha) اندازه‌گیری شده	مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد دانه توسط توابع مختلف (t/ha)			
		خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دوم	متعالی
S <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	۲.۱۲	۲.۲۴	۲.۱۱	۲.۰۰
	I <sub>2</sub>	۱.۶۵	۱.۶۳	۱.۶۴	۱.۷۲
	I <sub>3</sub>	۱.۴۱	۱.۳۰	۱.۰۹	۱.۲۸
	I <sub>4</sub>	۱.۵۳	۱.۳۷	۱.۶۵	۱.۶۷
S <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	۱.۷۷	۱.۵۸	۱.۶۹	۱.۷۳
	I <sub>2</sub>	۱.۲۹	۱.۱۵	۱.۳۹	۱.۴۵
	I <sub>3</sub>	۱.۲۱	۱.۱۵	۱.۳۹	۱.۴۵
	I <sub>4</sub>	۰.۹۰	۰.۹۲	۰.۹۲	۱.۰۱

ادامه جدول (۶): مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دانه رقم آرچی اس ۰۰۳ توسط توابع مختلف در تیمارهای تحت بررسی

مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد دانه توسط توابع مختلف (t/ha)				عملکرد دانه (t/ha)		تیمارها
متعالی	درجه دوم	خطی لگاریتمی	خطی ساده	اندازه‌گیری شده		
۱.۴۰	۱.۳۸	۱.۲۸	۱.۳۰	۱.۳۲		I <sub>1</sub>
۱.۴۶	۱.۳۷	۱.۴۷	۱.۵۳	۱.۴۴		I <sub>2</sub> S
۱.۱۸	۱.۱۷	۱.۰۷	۱.۰۶	۰.۹۷		I <sub>3</sub> 3
۰.۷۴	۰.۷۶	۰.۸۶	۰.۸۲	۰.۸۵		I <sub>4</sub>
۱.۱۱	۱.۰۶	۱.۲۲	۱.۰۶	۱.۰۵		I <sub>1</sub>
۱.۱۸	۱.۰۰	۱.۴۰	۱.۳۰	۱.۰۹		I <sub>2</sub> S
۰.۹۰	۰.۹۱	۱.۰۲	۰.۸۳	۰.۸۵		I <sub>3</sub> 4
۰.۴۶	۰.۵۵	۰.۸۲	۰.۵۹	۰.۷۳		I <sub>4</sub>

در بین سایر توابع دارای عملکرد نسبتاً خوب و تابع خطی لگاریتمی دارای عملکرد ضعیف می‌باشد. به عبارت دیگر مقادیر EF نیز تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین‌های مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نموده و نشان می‌دهند که این تفاوت در تابع درجه دوم حداقل و در تابع خطی لگاریتمی حداکثر می‌باشد. به‌طوری‌که در جدول (۷) ملاحظه می‌گردد با توجه به نتایج آماری مشخص شده که مبنای مقایسه توابع قرار گرفته است، تابع درجه دوم (با رتبه نهایی یک) نسبت به سایر توابع برتری نسبی دارد و پس از آن تابع متعالی با رتبه ۲ نتایج قابل قبولی دارد و توابع خطی ساده و خطی لگاریتمی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بررسی شاخص RMSE نشان می‌دهد که تابع متعالی مجموعاً به میزان ۱۲/۵ (رقم هایولا) و ۸/۱۷ (رقم آرچی اس) درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد نموده در صورتی‌که تابع درجه دوم مجموعاً به میزان ۱۱/۷ و ۶/۴ درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد کرده است. بنابراین با توجه به مقایسه‌های انجام شده شاخص‌های مذکور برای توابع مختلف و نیز رتبه نهایی یک که به تابع درجه دوم تعلق گرفته است، این تابع به‌عنوان تابع بهینه تولید در شرایط توأم شوری و کم آبیاری برای رقم‌های

نتایج مقادیر برآوردی مربوط به شاخص‌های آماری  $R^2$ , CRM, EF, RMSE, ME, MAE, MBE، باتوجه به توابع تولید مختلف برای سال‌های اول و دوم به‌ترتیب در جداول ۷ و ۸ آورده شده است. با توجه به مقادیر عددی شاخص‌های محاسبه شده در جدول (۷) هر یک از توابع درجه‌بندی شدند. و بر اساس درجه‌بندی هر یک از عوامل فوق تابع بهینه انتخاب گردید و اولویت‌بندی شد. حداقل مقدار ME برای رقم هایولا و آرچی اس به ترتیب مربوط به تابع متعالی و درجه دوم و حداکثر آن مربوط به تابع خطی لگاریتمی می‌باشد. مقادیر CRM برای هر دو رقم در کلیه توابع، عددی مثبت می‌باشد و این بدان معنی است که کلیه توابع، عملکرد را در اکثر موارد کمتر از مقادیر واقعی عملکرد دانه ارقام کلزا، برآورد می‌نمایند.

مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  نشان می‌دهد که در رقم‌های هایولا و آرچی اس، تابع درجه دوم با  $R^2 = 0/99$  و  $R^2 = 0/8$  در رتبه اول قرار می‌گیرد. در مقابل کمترین مقدار ضریب تعیین در رقم هایولا و آرچی اس به ترتیب مربوط به توابع خطی لگاریتمی و متعالی بود. مقدار EF برای رقم آرچی اس در تمام توابع بیشتر از رقم هایولا است. همچنین این مقدار در توابع درجه دوم حداکثر و برای تابع خطی لگاریتمی حداقل است و این نشان می‌دهد که تابع درجه دوم



ارائه نمودند که رابطه بین عملکرد و راندمان مصرف آب را بیان می‌کند. وانگ و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی‌های خود جهت تهیه یک مدل دینامیکی انتقال آب و نمک در پروفیل خاک که همزمان بتواند تابع تولید آب- شوری را نیز برای دو گیاه گندم و پنبه ارائه کند، دریافتند که تابع درجه دوم برای هر دو گیاه تطابق مطلوب‌تری نسبت به سایر توابع دارد. بررسی‌های مربوط به سال دوم نیز نشان داد که نتایج سال دوم نیز همانند سال اول آزمایش می‌باشد (جدول ۸).

هایولا و آرچی اس در منطقه مشهد معرفی می‌گردد. در این رابطه داتا و همکاران (۱۹۹۸) نیز برای گندم مدل درجه دوم را پیشنهاد کرده‌اند. لی و همکاران (۲۰۰۵) جهت بهینه‌سازی مصرف آب برای گندم، توابع درجه دوم را بین عملکرد دانه و ET و همچنین بین عملکرد دانه و بازده مصرف آب معرفی نمودند. سپاسخواه و اکبری (۲۰۰۵) توابع درجه دوم را که رابطه بین عملکرد و آب کاربردی را نشان می‌دهند برای پنبه و گندم معرفی نمودند. کالرا و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی بر روی گندم، تابع درجه دومی

جدول ۷: پارامترهای آماری محاسبه شده با توجه به توابع تولید مختلف در سال اول

تابع	رقم	ME	CRM	EF	R <sup>2</sup>	MAE	MBE	RMSE
خطی ساده	آرچی اس ۰۰۳	۰.۸۶	۰	۰.۷۱	۰.۷۱	۰.۱۷	۰.۰۰۱	۱۳.۶۲
	هایولا ۴۰۱	۰.۶۵	۰.۰۰	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۲۵	۰.۰۰۰۶	۹.۰۳
خطی لگاریتمی	آرچی اس ۰۰۳	۱.۰۳	۰.۰۰	۰.۶۴	۰.۶۱	۰.۱۹	-۰.۰۰۲	۱۵.۲۱
	هایولا ۴۰۱	۰.۸۴	۰.۰۰	۰.۹۶	۰.۹۵	۰.۳۱	-۰.۰۰۳	۱۱.۱۰
درجه دوم	آرچی اس ۰۰۳	۰.۷۵	۰.۰۳	۰.۷۹	۰.۸۰	۰.۱۶	۰.۰۳۴۱	۱۱.۷۲
	هایولا ۴۰۱	۰.۵۵	۰.۰۰	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۲۰	۰.۰۰۰۰	۶.۴۴
متعالی	آرچی اس ۰۰۳	۰.۷۳	۰.۰۰	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۱۷	۰.۰۰۰۲	۱۲.۵۳
	هایولا ۴۰۱	۰.۵۴	۰.۰۰	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۲۵	۰.۰۰۰۰	۸.۱۷

جدول ۸: پارامترهای آماری محاسبه شده با توجه به توابع تولید مختلف در سال دوم

تابع	رقم	ME	CRM	EF	R <sup>2</sup>	MAE	MBE	RMSE
خطی ساده	آرچی اس ۰۰۳	۰.۶۸	۰.۰۴	۰.۶۷	۰.۷۲	۰.۲۰	۰.۰۶	۱۴.۱۷
	هایولا ۴۰۱	۰.۶۶	۰.۰۱	۰.۹۷	۰.۹۹	۰.۲۵	۰.۰۳	۹.۴۵
خطی لگاریتمی	آرچی اس ۰۰۳	۰.۸۳	۰.۰۴	۰.۵۸	۰.۶۲	۰.۲۳	۰.۰۵	۱۶.۰۶
	هایولا ۴۰۱	۰.۹۲	۰.۰۱	۰.۹۵	۰.۹۷	۰.۳۱	۰.۰۲	۱۱.۵۰
درجه دوم	آرچی اس ۰۰۳	۰.۵۲	۰.۰۴	۰.۷۳	۰.۸۴	۰.۲۰	۰.۰۵	۱۲.۹۴
	هایولا ۴۰۱	۰.۶۳	۰.۰۱	۰.۹۸	۱.۰۰	۰.۱۹	۰.۰۲	۶.۷۶
متعالی	آرچی اس ۰۰۳	۰.۵۴	۰.۰۴	۰.۶۹	۰.۸۲	۰.۲۰	۰.۰۵	۱۳.۷۵
	هایولا ۴۰۱	۰.۶۵	۰.۰۱	۰.۹۷	۱.۰۰	۰.۲۴	۰.۰۳	۸.۶۴

نزدیک به خطی بوده به طوری که مقدار افت محصول در مقادیر کم و زیاد آبیاری تقریباً یکسان است در صورتی که برای رقم هایولا در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر منحنی متفاوت از سایر شوری‌ها بوده

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که حساسیت رقم هایولا به شوری آب آبیاری بیشتر از رقم آرچی اس است. منحنی رقم آرچی اس در شوری‌های زیاد (۸ و ۱۱ dS/m)

این نشان می‌دهد که تابع درجه دوم (در بین سایر توابع) دارای عملکرد نسبتاً خوب و تابع خطی لگاریتمی دارای عملکرد ضعیف می‌باشد. به عبارت دیگر مقادیر EF نیز تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین‌های مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نموده و نشان می‌دهند که این تفاوت در تابع درجه دوم حداقل و در تابع خطی لگاریتمی حداکثر می‌باشد. با توجه به نتایج آماری مشخص شده که مبنای مقایسه توابع قرار گرفته است، تابع درجه دوم (با رتبه نهایی یک) نسبت به سایر توابع برتری نسبی دارد و پس از آن تابع متعالی با رتبه ۲ نتایج قابل قبولی دارد و توابع خطی ساده و خطی لگاریتمی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بررسی شاخص RMSE نشان می‌دهد که تابع متعالی مجموعاً به میزان ۱۲/۵ (رقم هایولا) و ۸/۱۷ (رقم آرجی اس) درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد نموده در صورتی که تابع درجه دوم مجموعاً به میزان ۱۱/۷ و ۶/۴ درصد عملکرد را کمتر (با توجه به CRM مثبت) از مقادیر واقعی برآورد کرده است. بنابراین با توجه به مقایسه‌های انجام شده شاخص‌های مذکور برای توابع مختلف و نیز رتبه نهایی یک که به تابع درجه دوم تعلق گرفته است، این تابع به‌عنوان تابع بهینه تولید در شرایط توأم شوری و کم آبیاری برای رقم‌های هایولا و آرجی اس در منطقه مشهد معرفی می‌گردد.

به‌طوری‌که با افزایش و یا کاهش آبیاری مقدار محصول افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در این شوری کم آبیاری بهتر از آبیاری کامل است. به عبارت دیگر پرآبیاری در این شوری باعث شسته شدن املاح شده و کم آبیاری باعث تجمع کمتر املاح در محیط توسعه ریشه گردیده است. لذا در شرایط پر آبیاری عملکرد رقم هایولا بیشتر از حالت تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. و در کم آبیاری‌ها عملکرد به مقدار ثابتی میل می‌کند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده توابع درجه دوم و متعالی به ترتیب برآوردهای بهتری نسبت به دو تابع دیگر دارند. البته باید اشاره داشت که در برخی از موارد تابع متعالی دارای برآورد بهتری نسبت به تابع درجه دوم است. نتایج نشان داد که بطور کلی برآوردهای تابع درجه دوم در هر دو رقم بهتر از سایر توابع تولید آب- شوری- عملکرد می‌باشد. مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  نشان می‌دهد که در رقم‌های هایولا و آرجی اس، تابع درجه دوم با  $R^2 = 0/99$  و  $R^2 = 0/8$  در رتبه اول قرار می‌گیرد. در مقابل کمترین مقدار ضریب تعیین در رقم هایولا و آرجی اس به ترتیب مربوط به توابع خطی لگاریتمی و متعالی بود. مقدار EF برای رقم آرجی اس در تمام توابع بیشتر از رقم هایولا است. همچنین این مقدار در توابع درجه دوم حداکثر و برای تابع خطی لگاریتمی حداقل است و

## منابع

- آروین، پ. و م. عزیزی. ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد، شاخص برداشت و صفات مرفولوژیک در گونه‌های بهاره کلزا. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۲(۲): ۱-۱۴.
- حقایقی مقدم، س.ا. و.ا. ح. شیرانی راد. ۱۳۸۶. بررسی اثر مقادیر آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام کلزا، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهمن ماه ۱۳۸۶، ۹ صفحه.
- حق نیا، غ. ح. ۱۳۷۱. راهنمای تحمل گیاهان به شوری، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
- ذوالفقاران، ا. ۱۳۸۶. بررسی اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد گندم در شوری‌های مختلف آب در آبیاری بارانی، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهمن ماه ۱۳۸۶، ۱۰ صفحه.

- ذوالفقاران، ا. و ح. شهبازی. ۱۳۸۶. برآورد عملکرد چغندر قند در مقادیر متفاوت آب و شوری، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- رضایی، ع.، ح. فرحبخش، ح. صمدی، ف. حسینی و م. میرزا هاشمی. ۱۳۸۶. تعیین تابع تولید چغندر قند نسبت به آب در کرمان، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهمن ماه ۱۳۸۶، ۶ صفحه.
- شایان نژاد، م. ۱۳۸۶. بررسی حساسیت گندم پاییزه به کم آبیاری در شهر کرد، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهمن ماه ۱۳۸۶، ۱۰ صفحه.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه، دانشگاه امام رضا، چاپ چهارم.
- قدمی، ن. ا. ۱۳۸۹. زراعت و اصلاح کلزا (کاشت، داشت و برداشت). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ اول، ۲۳۱ صفحه.
- کیانی، ع.، م. همایی و م. میرلطیفی. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توام شوری و کم آبی، مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحه ۷۳ تا ۸۲.
- نوروزی، م.، م. ماهرانی و م. مسچی. ۱۳۷۸. استفاده از آبهای شور و لب شور برای آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲۶.
- وفابخش، ج.، نصیری م. محلاتی، ع. ر. کوچکی و عزیزی م. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و عملکرد ارقام کلزا. مجله پژوهش های زراعی ایران، ۷(۱): ۲۹۵-۳۰۲.
- همایی، ع. ۱۳۸۱. واکنش گیاه به شوری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۵۸.
- یزدانی، و. و ح. ابراهیمی. ۱۳۹۰. تعیین تبخیر و تعرق واقعی فضای سبز بوسیله الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین، دانشگاه آزاد مشهد، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی.
- Abedi T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L). *Journal of genetics and plant breeding*, 46(1): 27-34.
- Al-Barrak K. M. 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.) *Journal of King Faisal University Scientific*. Al-Hassa, Saudi Arabia 7(1): 87-102
- Bybordi A., J. Tabatabaei. 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(1), 71-76.
- Bybordi A., S. J. Tabatabaei and A. Ahmadv. 2010. Effect of salinity on the growth and peroxidase and IAA oxidase activities in Canola, *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8(1): 109-112.
- Carmody O. 2001. Why grow canola in the central grain belt. Bulliten 4492, Agricultural Western Australia, South Perth, Australia.
- Datta, K. K., V. P. Sharma and D. P. Sharma. 1998. Estimation of production function for wheat under salin conditions, *Agricultural Water Management*, 36:85-94.
- Dogan E., O. Copur, A. Kahraman, H. Kirnak and M. E. Guldur. 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Journal of Agricultural Water Management*, 98 (2011) 1403- 1408.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper No.33*, FAO, Rome.

- Gulati, H. S. and V. V. N. Murty. 1979. A model for optimal allocations of canal water based on crop production function, *Agricultural Water Management*. 2(1):79-91.
- Heidari M. 2010. Nucleic acid metabolism, proline concentration and antioxidants enzyme activity in canola (*Brassica nupus L*) under salinity stress, *Journal of Agricultural Sciences in China*, 9(4) :504-511.
- Hagan, R. M. and J. I. Stewart. 1973. Water deficit irrigation design and programming, *J. Irrigation and Drainage*, ASCE 98(2): 215-237.
- Istanbulluoglu A., B. Arslan, E. Gocmen, E. Gezer and C. Pasa. 2010. Effects of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus L*), *Journal of Bio system Engineering*, 105 :388-394.
- Jensen, C. R. 1982. Effect of soil water osmotic potential on growth and water relationship of berely during soil water depletion, *Irrigation Science*, 3:111-121.
- Kahlowan, M. A. and M. Azam. 2003. Effect of saline drainage effluent on soil health and crop yield, *Agricultural Water Management* 62: 127-138.
- Kalra, N., D. Chakraborty, P. Ramesh Kumar, M. Jolly and P. K. Sharma, 2007, An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data, *Agricultural Water Management*. 2471, No of Pages 11.
- Kamkar B., A. R. Daneshmand, F. Ghooshchi, A. H. Shiranirad and A. R. Safahani Langeroudi. 2011. Effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Journal of Agricultural Water Management* 98 :1005-1012
- Khanjani, M. J. and J. R. Busch. 1982. Optimal irrigation water use from probability and cost benefit analysis, *TRANS.*, of the ASAE, 25(4):961-965.
- Kipkorir, K. K., D. Reas and B. Massawe. 2002. Seasonal water production functions and yield response factors for Maze and Onion in Perkerra, Kenya, *Agricultural Water Management.*, 56: 229-240.
- Lamsal, K., G. N. Paudyal and M. Saeed. 1999. Model for assessing impact of salinity on soil water availability and crop yield, *Agricultural Water Management*.41:57-70.
- Letey, J. and A. Dinar. 1986. Simulated crop production functions for several crops when irrigated with salin waters, *Hilgardia* 54:1-32.
- Inanaga Li J., S., Li Z., and E. Eneji. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain, *Journal of Agricultural Water Management*, 76, 8-23
- Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment, *J. Irrigation and Drainage Division*, ASCE, 103(IR2):115-134.
- Mass, E. V. 1986. Salt tolerance of plants, *Application Agricultural Research*, 1:12-26.
- Mass, E. V. 1990. Crop salt tolerance, *ASAE monograph*, 71:262-304.
- Meiri A. 1984. Plant response to salinity: Experimental methodology and application to the field, in: soil salinity under irrigation, *Process and Management*, *Ecological Studies*, 51: 284-297.
- Meiri A. and J. Shalhevet. 1973. Pepper plant response to irrigation water quality and timing and leaching, *Ecological studies*. Vol. IV. Springer-Verlag Berlin: 421-429.
- Nielsen D. C. 1997. Water use and yield of canola under dry land conditions in the central great planins. *Journal of Agriculture*, 10: 307-313
- Parra, M. A. and G.C. Romero. 1980. on the dependence of salt tolerance of baens on soil water matric potential, *Plant and Soil*, 56:3-16.
- Ritchie J. T. and E. Burnett. 1971. Dry land evaporative flux in a sub humid climate. I: Plant influences, *Agronomy*, 63: 56-62.

- Russo, D. and D. Bakker. 1986. Crop water production functions for sweet corn and cotton irrigated with salin waters, *Soil Science Society American*, 51:1554-1562.
- 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.
- Sepaskhah, A. R. and D. Akbari. 2005. Deficit Irrigation Planning under Variable Seasonal Rainfall, Published by Elsevier Ltd., *Biosystems Engineering*, 92 (1), 97-106.
- Sepaskhah A. R., A. R. Bazrafshan-Jahromi and Z. Shirmohammadi-Aliakbarkhani. 2006. Published by Elsevier Ltd. *Biosystems Engineering*, 93 (2), 139-152.
- Shalhevet, J. 1993. Plant under salt and water stress, In: Fowden, N. and Mansfield, T. (eds.), *Plant adaptation to environmental stress*, Chapman and Hall: 133-154.
- Shannon, M. C. 1997. adaptation of plants to salinity, *Advances in Agronomy*, 60:75-120.
- Solomon, K. H. 1983. Irrigation uniformity and yield theory, Ph.D. dissertation, Agricultural and Irrigation Engineering Dept. Utah State University, Logan.
- Stegman, E. C. 1985, Efficient water scheduling regimes to corn production, In: Perrier A., Riou, Ch.(eds.), *Crop water requirements*, Institute national de la recherché agronomique, Paris, pp.635-648.
- Pineiro, G., S. Perelman, J. P. Guerschman, and I. M. Paruelo. 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *ecological modelling* 216 : 316-322
- Tyagi, N. K., D. K. Sharma and S. K. Luthra. 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum, *Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4): 215-222.
- Vaux, H. J. and W. O. Pruitt. 1983. Crop water production functions. In: Hillel, D. (Ed.), *Advances in Irrigation*, Academic Press, New York, 2: 61-97
- Wang, Y. R., Sh. Zh. Kang, F. Sh. Li and L. Zhang. 2007. Saline water irrigation scheduling through a crop-water-salinity production function and a soil-watersalinity dynamic model, *Pedosphere*, Vol. 17, Issue 3, June 2007, P. 303-317.
- Wanjura, D. F., D. R. Upcharch, J. R. Mahan and J. J. Burke. 2003. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation, *Agric. Water Manage.*, 55:217-237.

## Assesment of the water –salinity production function models –Canola application in the Mashhad area

Vahid Yazdani<sup>1</sup>, Kamran davari<sup>2</sup>, Bijan Ghahreman<sup>3</sup>, Mohammad Kafi<sup>4</sup>

### Abstract

Water shortage in nature, especially in arid and semi-arid regions, often related to a decrease in water quality. This research is applied in loamy gravely field area which is located in 25 km away from city center of Mashhad in 1390-1390 and 1391-1392 cultivate years. The followed experimental design was randomized in split- split plot complete block in which four different levels of salinity (0.5, 5, 8 and 11 dS/m, are respectively in  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  and  $S_4$  levels) as the main plots, four irrigation levels as subplots (supply 125, 100, 80 and 50% water necessity,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  and  $I_4$  Respectively) and two cultivars of canola (Hyola401 and RGS003) as the sub-sub plots in three places. Log -linear function of the entre salinity in  $I_4$  treatment yield higher is estimated grains application more than reality. Based on the results of quadratic functions and the higher order estimates are better than the other two functions .The coefficient of  $R^2$  determination values is shown that the rate of Hayola cultivars and RGS, quadratic function with  $R^2=0/99$  and  $R^2 = 0/8$  would be first level. In contrast, the minimum numbers of Hayola and RGS logarithmic and linear functions were respectively in the next ranking. The RMSE indices show that the total higher amount of Hayola cultivar and RGS are 12/5 and 8/17 percentage yield less (according to the CRM -positive) estimates of the real values while the quadratic function total amount of 11/7 and 6/4 % performance for less (due to the positive CRM) are have been estimated the actual values. Thus, according to the occurrence comparison these indices for different functions and a final ranking is assigned to a quadratic function, this function is optimized as a function of the combined conditions of low salinity and irrigation Cultivars of Hayola and RGS which would be introduced in Mashhad.

**Keywords:** Canola, salinity stress, watery stress, low irrigation, produces functions, Mashhad.

---

<sup>1</sup> PHD student in the water Science and engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

<sup>2</sup> Associate Professor of water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>3</sup> Professor of water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>4</sup> Professor the Department of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad