

اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کلزا (رقم طلایه) Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield components of rapeseed (cv. Talayeh)

تورج هنر^۱، علی ثابت سروستانی^۲، شیده شمس^۳، علیرضا سپاسخواه^۴ و علی اکبر کامگار حقیقی^۵

چکیده

هنر، ت.، ع. ثابت سروستانی، ش. شمس، ع.ر. سپاسخواه و ع.ا. کامگار حقیقی. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (رقم طلایه). مجله علوم زراعی ایران. ۱۴(۴): ۳۳۲-۳۲۰.

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا رقم طلایه در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در باجگاه، در قالب طرح بلوک‌های تصادفی، اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از شاهد (آبیاری کامل)، تنش آبی در مرحله رشد رویشی مجدد در بهار، تنش آبی در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین، تنش آبی در مرحله رسیدگی دانه و تیمار دیم با آبیاری تکمیلی در اول رشد (مرحله کاشت و جوانه‌زنی). نتایج نشان داد که تیمارهای دیم و تنش در مرحله رسیدگی دانه با عملکردهای ۷۵۰ و ۳۰۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر کاهش عملکرد محصول کلزا داشتند. تنش در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین کمترین اثر را بر وزن خشک داشت. تغییرات شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری نیز نشان دهنده حساسیت این شاخص به آب قابل دسترس گیاه بود. شاخص برداشت تیمار تنش در مرحله گلدهی (۴۱ درصد) بعد از تیمار دیم (۳۱ درصد) کمترین مقدار را داشت، در حالی که تیمار تنش آبی در مرحله رشد رویشی مجدد دارای بیشترین مقدار شاخص برداشت (۵۱ درصد) بود. ارزیابی ضریب حساسیت محصول به تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد نشان داد که گیاه کلزا در بین دو مرحله رشد رویشی مجدد و شروع گلدهی، بیشترین حساسیت را به تنش آبی داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که با استفاده از ضرایب حساسیت محاسبه شده و مدل تولید محصول، می‌توان تخمین مناسبی را برای عملکرد محصول کلزا در منطقه‌ی اجرای آزمایش ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کلزا، ضریب حساسیت گیاهی و مدل‌های گیاهی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۱
۱- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (toorajhonor@yahoo.com)
۲- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۳- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۵- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

مقدمه

درصد روغن و تعداد دانه در خورجین، بیشترین مقدار مربوط به تیمار آبیاری کامل و کمترین آن مربوط به تیمار تنش در مرحله گلدهی و پر شدن خورجین‌ها بوده است.

نیلسن (Nielsen, 1996) گزارش کرد که وزن هزار دانه کلزا در تیماری که تنش در دوره پر شدن خورجین در آن اعمال شده بوده، دارای بیشترین کاهش بوده و عملکرد دانه آن در سال اول در دوره پر شدن خورجین و در سال دوم در دوره رشد زایشی، بیشترین کاهش را داشته است. کمترین کارایی مصرف آب در تیمار اعمال تنش در دوره پر شدن خورجین و بیشترین مقدار آن در تیمار اعمال تنش در دوره رشد رویشی بوده است. در بین تیمارهای آبیاری، مقدار آب مصرفی در تیماری که تنش آبی آن در مرحله پر شدن خورجین اعمال شد، دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بوده است. میزان روغن در تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن خورجین نیز کمترین مقدار را داشت. شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) با اجرای آزمایشی دو ساله درباره اثر تنش آبی بر گیاه کلزا (رقم لیکورد) اعلام نمودند که تنش آبی با میزان پروتئین دانه رابطه معکوس داشت. در این تحقیق تیمار شاهد (آبیاری کامل) و تیمار تنش در مرحله گلدهی بیشترین و تیمار

دیم کمترین شاخص برداشت را داشتند. در ارزیابی عوامل موثر بر تولید محصول، استفاده از توابع تولید ضمن صرفه جویی در زمان می‌تواند هزینه‌های انجام آزمایش را نیز کاهش دهد. در این نوع توابع مقدار محصول واقعی و بالقوه گیاه بر اساس تعرق واقعی و بالقوه گیاه در مراحل مختلف رشد و ضریب حساسیت برآورد می‌شوند (Hanks, 1974).

برای تعیین مقادیر تعرق روش‌های مختلف وجود دارد که یکی از آن‌ها مدل شبیه‌سازی بیلان آب خاک هنکس (Hanks, 1974) است که بدون در نظر گرفتن روابط پیچیده جریان آب خاک و با استفاده از روابط

در میان محصولات کشاورزی، دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات علاوه بر دارا بودن ذخایر غنی اسیدهای چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشند. از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به صورت واردات تأمین و تنها کمتر از ۱۰ درصد آن در داخل تولید می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است (Shariaty and Ghazi-Shahni- Zahdeh, 2000).

امروزه یکی از موارد مهم در بخش کشاورزی وضعیت کمبود آب در اراضی فاریاب می‌باشد. در این خصوص می‌توان از راهکارهای مختلفی برای مقابله با این مشکل در سطح مزرعه سود برد که لازمه آن بررسی واکنش گیاه به تنش آبی یا کم آبیاری می‌باشد. به طور کلی رشد، عملکرد و کیفیت دانه کلزانه تنها وابسته به شرایط آب و هوایی و اقلیمی منطقه است، بلکه تحت تأثیر عواملی نظیر تاریخ کاشت و برداشت، میزان و زمان مصرف کود نیتروژن و سایر مواد مغذی، تراکم بذر و فاصله بین خطوط کشت، عمق کاشت و آبیاری نیز می‌باشد. از بین عوامل ذکر شده، آبیاری اثر زیادی بر عملکرد و کیفیت دانه کلزا دارد که این موضوع تا کنون توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است، دانشمند و همکاران (Daneshmand *et al.*, 2004) گزارش نمود که در گیاه کلزا اختلاف معنی‌داری در تعداد دانه در خورجین و ساقه اصلی و فرعی، طول خورجین و وزن هزار دانه در سطوح مختلف آبیاری وجود داشت. فنایی و همکاران (Fanaei *et al.*, 2006) گزارش کردند که در گیاه کلزا تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه باعث بیشترین کاهش محصول شده و بیشترین مقدار عملکرد در تیمارهای با آبیاری کامل و تنش در مرحله رشد رویشی بدست آمد. در این خصوص نتایج مشابهی توسط گن و همکاران (Gan *et al.*, 2004) گزارش شده است. از نظر

بیلان حجمی، مقدار تبخیر بالقوه، تعرق بالقوه، تعرق واقعی و فرونشست عمقی محاسبه و سپس با توجه به اطلاعات مربوط به ضرایب حساسیت در مراحل مختلف رشد، مقدار محصول واقعی تعیین می‌شود. با توجه به مسئله کمبود آب به عنوان یکی از دغدغه‌های بزرگ جوامع بشری، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، به منظور تکمیل بررسی‌های انجام شده بر روی گیاه کلزا در منطقه باجگاه، در این تحقیق به بررسی عملکرد گیاه کلزا (رقم طلایه، سازگار با شرایط جوی منطقه) در شرایط تنش رطوبتی و تعیین ضرایب حساسیت گیاهی در مراحل مختلف رشد پرداخته شده است تا بتوان در برنامه ریزی‌های آبیاری از آن استفاده نمود.

آبیاری مجدد انجام گرفت. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۱۰×۳ متر و فاصله بین پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. جهت جلوگیری از نفوذ آب به کرت‌های مجاور دو جویچه فاصله گذاشته شد. فاصله‌ی بین تکرارها نیز ۱/۵ متر بود. کود نیتروژن به مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) (۲۵ کیلوگرم در هنگام کاشت و ۵۰ کیلوگرم در مرحله شروع گلدهی) و کود فسفر به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع سوپرفسفات تریپل) (در مرحله آماده سازی زمین) به خاک داده شدند. بذر کلزای مورد استفاده رقم طلایه (رایج در منطقه و متحمل به سرما) بود. کاشت بذر به صورت دستی به مقدار شش کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۳۱ شهریور انجام شد.

مقدار آب آبیاری بر اساس اختلاف رطوبت خاک قبل از آبیاری با مقدار رطوبت خاک در ظرفیت زراعی محاسبه شد. مقدار و تعداد دفعات آبیاری برای هر تیمار در جدول ۲ ارائه شده است. در اولین آبیاری پس از اعمال تنش بدلیل کاهش کل آب خاک منطقه توسعه ریشه در تیمارهای تحت تنش، مقدار آب آبیاری افزایش یافته و در دفعات بعدی آبیاری مجدداً به اندازه تیمارهای بدون تنش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (۱۶ کیلومتری شمال شرقی شیراز در دشت باجگاه) در طی سال زراعی ۸۷-۸۶ اجرا شد. خصوصیات فیزیکی محل اجرای آزمایش در جدول یک ارائه شده است. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل پنج تیمار در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه کلزا عبارت بودند از: آبیاری کامل در کل دوره‌ی رشد (شاهد) (I_1)، تنش آبی در مرحله رشد رویشی مجدد در بهار (I_2)، تنش آبی در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین (I_3)، تنش آبی در مرحله رسیدگی دانه (I_4)، و دیم با آبیاری تکمیلی در مرحله جوانه‌زنی (I_5).

مقدار آب آبیاری بر اساس اختلاف رطوبت خاک قبل از آبیاری با مقدار رطوبت خاک در ظرفیت زراعی محاسبه شد. مقدار و تعداد دفعات آبیاری برای هر تیمار در جدول ۲ ارائه شده است. در اولین آبیاری پس از اعمال تنش بدلیل کاهش کل آب خاک منطقه توسعه ریشه در تیمارهای تحت تنش، مقدار آب آبیاری افزایش یافته و در دفعات بعدی آبیاری مجدداً به اندازه تیمارهای بدون تنش انجام گرفت.

مقدار رطوبت خاک در روز قبل از آبیاری با استفاده از دستگاه نوترون‌متر (CPN 503 DR, Australia) با فواصل ۲۰ سانتی‌متر و تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تبخیر-تعرق واقعی گیاه بر اساس رابطه بیلان آب خاک با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید:

$$ET_c = I + R \pm \Delta s - D_p \quad (1)$$

در این رابطه، ET_c تبخیر-تعرق واقعی گیاه در فاصله اندازه‌گیری آب خاک، I مقدار آب آبیاری، R مقدار بارندگی در فاصله اندازه‌گیری آب خاک، Δs تغییرات ذخیره آب خاک که از اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از آبیاری‌های متوالی به دست می‌آید و D_p مقدار نفوذ عمقی (میلی‌متر)

در کلیه کرت‌ها آبیاری تا شروع رشد رویشی مجدد در اواخر اسفند و اوایل بهار بطور یکسان انجام گرفت و پس از آن در کرت‌های تحت تنش قطع شد و برای سایر تیمارها در محدوده عمق ریشه گیاه تا حد رسیدن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی آبیاری انجام شد و پس از پایان اعمال تنش در هر تیمار،

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه در اعماق مختلف خاک

Table 1. Soil physical characteristics in different depths

Soil depth (cm)	عمق خاک	0-10	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130
$FC (cm^3 \cdot cm^{-3})$	ظرفیت زراعی	0.31	0.38	0.39	0.4	0.4	0.41	0.4
$PWP (cm^3 \cdot cm^{-3})$	نقطه پژمردگی دائم	0.11	0.12	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
$\rho_s (g \cdot cm^{-3})$	چگالی ظاهری	1.23	1.4	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
Soil texture	بافت خاک	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty loam

جدول ۲- مقدار آب آبیاری (میلی متر) در تیمارهای آبیاری در مراحل مختلف رشد کلزا

Table 2. Irrigated water depth (mm) in irrigation treatments in different growth stages of rapeseed

Date	تاریخ	تیمارهای آبیاری				
		شاهد	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مجدد	قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین	قطع آبیاری در مرحله رسیدگی دانه	دیم
		Full irrigation (I ₁)	Irrigation withhold in re-growth stage (I ₂)	Irrigation withhold in flowering and silique formation (I ₃)	Irrigation withhold in grain formation stage (I ₄)	Rainfed (I ₅)
Sep. 21, 2007	۱۳۸۶/۶/۳۱	100	100	100	100	100
Oct. 1, 2007	۱۳۸۶/۷/۹	40	40	40	40	40
Oct. 10, 2007	۱۳۸۶/۷/۱۸	40	40	40	40	40
Mar. 6, 2008	۱۳۸۶/۱۲/۱۶	70	0	70	70	0
Mar. 25, 2008	۱۳۸۷/۱/۶	45	0	45	45	0
Apr. 7, 2008	۱۳۸۷/۱/۱۸	60	0	40	60	0
Apr. 13, 2008	۱۳۸۷/۱/۲۴	0	100	0	0	0
Apr. 18, 2008	۱۳۸۷/۱/۲۹	55	45	0	55	0
Apr. 24, 2008	۱۳۸۷/۲/۴	60	60	0	60	0
Apr. 29, 2008	۱۳۸۷/۲/۹	0	0	70	0	0
May. 1, 2008	۱۳۸۷/۲/۱۱	35	60	35	0	0
May. 6, 2008	۱۳۸۷/۲/۱۶	30	30	40	0	0
May. 14, 2008	۱۳۸۷/۲/۲۴	40	40	40	0	0
May. 21, 2008	۱۳۸۷/۲/۳۱	40	40	40	0	0
May. 30, 2008	۱۳۸۷/۳/۹	30	30	30	0	0
Total	مجموع	645	585	590	470	180

می‌باشند (Sepaskhah *et al.*, 2003).

خشک در طول فصل رشد قبل از هر نوبت آبیاری از هر کرت چهار بوته (از قسمت‌های میانی کرت‌ها) کف‌بر شده و پس از انتقال به آزمایشگاه سطح برگ‌های آنها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Windias, Delta-T Devices, UK) اندازه‌گیری شد. با خشک کردن بوته‌ها در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد و توزین آنها، تغییرات وزن خشک گیاه در طول فصل رشد بدست آمد.

راندمان مصرف آب از تقسیم میزان عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) بر میزان تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده بدست آمد. شاخص برداشت نیز به صورت نسبت عملکرد دانه به وزن ماده خشک محاسبه گردید. به منظور بررسی ضرایب حساسیت محاسبه شده در مدل ضرایب بدست آمده، با داده‌های مستقل آزمایش شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009)، در رابطه ۳ جایگزین گردیده و میزان عملکرد بدست آمده از این روش با عملکرد محصول در آزمایش مذکور، مقایسه گردید. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس صفات گیاهی با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقدار تجمعی تبخیر-تعرق گیاه کلزا در تیمارهای مورد بررسی در اوایل فصل رشد با توجه به شرایط محیطی (مهر ماه) زیاد بود، اما با کاهش دمای هوا گیاه وارد دوره رکود زمستانه شده و با توجه به شرایط محیطی از میزان تبخیر-تعرق آن کاسته شد. در اوایل اسفند (حدود ۱۵۰ روز پس از کاشت) با گرم‌تر شدن هوا، گیاه از حالت خواب زمستانه خارج و برگ‌های جدید ظاهر شده و تبخیر-تعرق روند افزایشی گرفت (شکل ۱). با کامل شدن پوشش گیاه در اواخر فروردین و وارد شدن گیاه به مرحله گلدهی، تبخیر-تعرق گیاه به حداکثر مقدار خود رسید. با ورود

میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس روش پنمن-فائو که مناسب‌ترین روش برای منطقه است (Sepaskhah and Fooladmand, 2004) محاسبه شد (Doorenbos and Praitt, 1977). مقدار تعرق با تفاضل مقدار تبخیر-تعرق از تبخیر واقعی محاسبه شده و مقدار تبخیر واقعی با استفاده از رابطه ۲ که مشابه معادله ریچی (Ritchie, 1972) است محاسبه گردید:

$$E = E_p \cdot t^{-0.4} \quad (2)$$

در این رابطه E میزان تبخیر روزانه از سطح خاک، E_p مقدار تبخیر بالقوه روزانه از سطح خاک (سانتی‌متر) و t زمان آخرین خیس شدن سطح خاک (روز) می‌باشند. مقدار تبخیر بالقوه از خاک نیز از رابطه پیشنهادی گرگوری (Gregory, 1982) تعیین شد.

طول ریشه با توجه به نتایج بدست آمده از لوله‌های شفاف، بر مبنای تغییر رطوبت در عمق‌های مختلف ناشی از جذب آب توسط ریشه انجام گرفت. مراحل رشد گیاه بر اساس روش زواره و امام (Zavareh and Emam, 2000) شناسایی شده و مقدار ضریب حساسیت در مراحل مختلف رشد گیاه محاسبه شد. با استفاده از رگرسیون چند متغیره، ضرایب حساسیت نسبی تعرق برای مراحل مختلف رشد گیاه به دست آمد. قبل از تجزیه رگرسیون، رابطه‌ی بین ضرایب حساسیت (رابطه ۳) بصورت رابطه ۴ بسط داده شد.

$$\frac{Y}{Y_m} = \left(\frac{T_1}{T_{m2}}\right)^{\lambda_{11}} \times \left(\frac{T_2}{T_{m2}}\right)^{\lambda_2} \times \left(\frac{T_3}{T_{m3}}\right)^{\lambda_3} \quad (3)$$

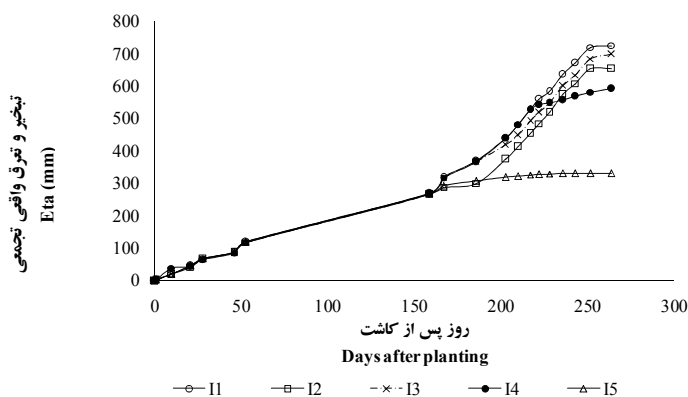
$$\ln \frac{Y}{Y_m} = \lambda_1 \times \ln \left(\frac{T_1}{T_{m1}}\right) + \lambda_2 \times \ln \left(\frac{T_2}{T_{m2}}\right) + \lambda_3 \left(\frac{T_3}{T_{m3}}\right) \quad (4)$$

در این رابطه T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب میزان تعرق در مرحله رشد رویشی مجدد، گلدهی و پرشدن دانه‌ها می‌باشند و T_{m1} ، T_{m2} و T_{m3} نیز به ترتیب میزان تعرق پتانسیل در همین مراحل هستند.

جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و وزن

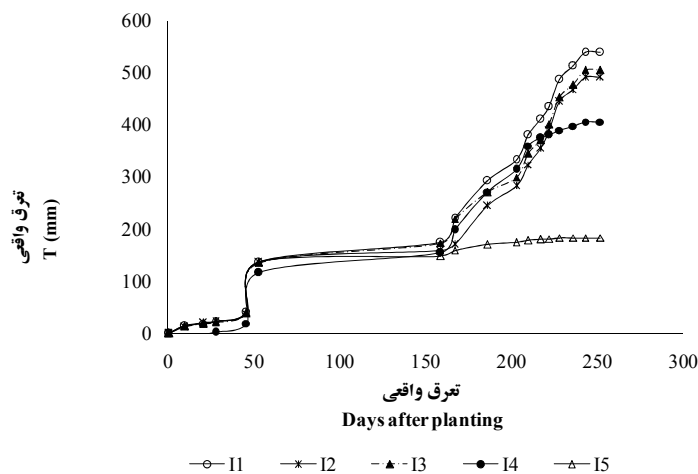
(رابطه ۱) از میزان تبخیر واقعی (رابطه ۲)، تعرق واقعی گیاه کلزا محاسبه گردید. نحوه تغییرات تعرق واقعی گیاه نیز هماهنگ با تبخیر- تعرق آن بوده و با توجه به دوره رشد، میزان تعرق آن کاهش و یا افزایش یافت (شکل ۲).

گیاه به دوره رسیدگی دانه‌ها، برگ‌های گیاه به مرور ریخته و در نتیجه از شدت تبخیر- تعرق آن کاسته شده و در مرحله رسیدگی دانه‌ها، مقدار تبخیر- تعرق به کمترین مقدار خود کاهش یافت. با کسر مقدار تبخیر- تعرق واقعی محاسبه شده



شکل ۱- مقدار تبخیر- تعرق تجمعی (میلی‌متر) کلزا در تیمارهای آبیاری در روزهای پس از کاشت

Fig. 1. Cumulative ET (mm) of rapeseed in irrigation treatments for days after planting



شکل ۲- مقدار تعرق واقعی تجمعی (میلی‌متر) کلزا در تیمارهای آبیاری در روزهای پس از کاشت

Fig. 2. Cumulative real transpiration (T) (mm) of rapeseed in irrigation treatments for days after planting

تیمار دیم کاهش یافت، با این حال پس از پایان دوره تنش این میزان افزایش یافت. علاوه بر آن تنش اعمال شده کمترین اثر را بر میزان تبخیر- تعرق (و تعرق) تیمار تنش در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین داشت.

وزن خشک گیاه

مقدار وزن خشک در طول فصل رشد همواره روند

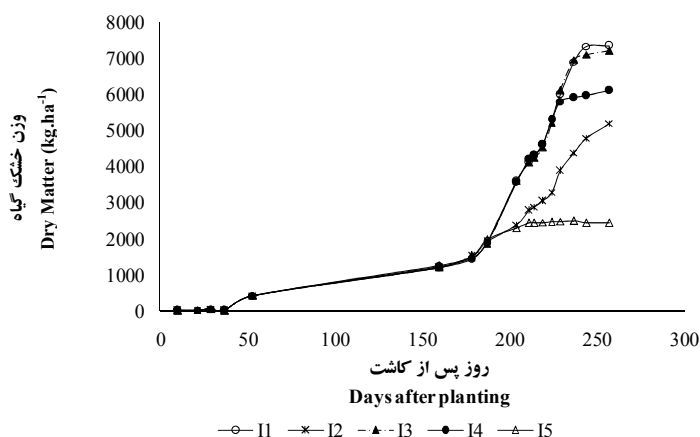
میزان تبخیر- تعرق (و تعرق) در تیمار دیم پس از شروع اعمال تیمار به طور محسوسی از سایر تیمارها کمتر بود و این کاهش تا پایان فصل رشد ادامه یافت، به نحوی که در انتهای فصل رشد میزان تبخیر- تعرق گیاه در این تیمار تقریباً صفر گردید. همچنین میزان تبخیر- تعرق (و تعرق) در تیمار تنش در مرحله رشد رویشی مجدد با آغاز شروع تنش همسو با

رطوبت، مقدار وزن ماده خشک تولیدی افزایش نداشت. این روند در مورد تیمار دیم نیز به علت وضعیت رطوبتی مشابه نیز مشاهده گردید، اما با پایان این دوره و آبیاری مجدد تیمار I_2 در شروع مرحله گلدهی، گیاه شروع به رشد نموده و در نتیجه ماده خشک تولیدی آن افزایش یافت. در تیمار دیم نیز به علت عدم آبیاری تا پایان دوره رشد، مقدار ماده خشک تولیدی افزایشی نداشته، ولی تیمار تنش در مرحله گلدهی به علت کوتاه بودن دوره تنش، تفاوت چندانی با تیمار شاهد از نظر تولید ماده خشک نداشت. تولید ماده خشک در تیمار تنش در مرحله رسیدگی دانه‌ها تا شروع این مرحله مشابه تیمار شاهد بود، اما با اعمال تنش در این مرحله سرعت افزایش ماده خشک آن نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

مقدار حداکثر ماده خشک تولیدی مربوط به تیمار شاهد ۷۳۶۰ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با تیمار شاهد در آزمایش شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) که ۸۹۱۵ کیلوگرم بر هکتار گزارش شده، از مقدار کمتری برخوردار بود. دلیل این اختلاف را می‌توان ناشی از تفاوت در میزان بارش در طول دو آزمایش دانست.

افزایشی داشت، اما سرعت افزایش آن در زمان‌های مختلف متفاوت بود، به طوری که بعد از کاشت سرعت افزایش وزن خشک افزایش و با نزدیک شدن به فصل سرما، سرعت آن کند شد و با فرا رسیدن بهار روند افزایش وزن خشک شتاب گرفته و تا نزدیک شدن به زمان برداشت، ادامه یافت (شکل ۳). وزن خشک از زمان کاشت تا شروع رشد ساقه بیشتر تحت تاثیر وزن برگ‌ها می‌باشد، اما با شروع رشد ساقه در بهار و تولید ساقه‌های فرعی تا انتهای مرحله گلدهی، وزن خشک تحت تاثیر وزن ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی می‌باشد. پس از این مرحله گرچه برگ‌های گیاه شروع به خشک شدن می‌نماید، ولی وزن خشک کل بیشتر تحت تاثیر وزن خورجین‌ها، دانه، ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی قرار می‌گیرد، بطوری که خشک شدن تدریجی برگ‌ها تاثیر چندانی بر وزن خشک کل گیاه ندارد.

با توجه به اینکه تا شروع مرحله رشد رویشی مجدد، هیچگونه تنشی اعمال نشد، مقدار ماده خشک تولیدی در تیمارهای مختلف تا روز ۱۷۸ پس از کاشت اختلاف معنی داری نداشت. حتی با اعمال تنش در این مرحله (تیمار I_2) به علت عدم رشد گیاه تحت تأثیر کمبود



شکل ۳- تغییرات وزن خشک کلزا در تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد

Fig. 3. Variation in dry weight of rapeseed in irrigation treatments during growth season

جدول ۳- میانگین وزن خشک، عملکرد دانه و شاخص برداشت کلزا در تیمارهای آبیاری در مراحل مختلف رشد

Table 3. Mean of dry weight, grain yield and harvest index of rapeseed in deficit irrigation treatments

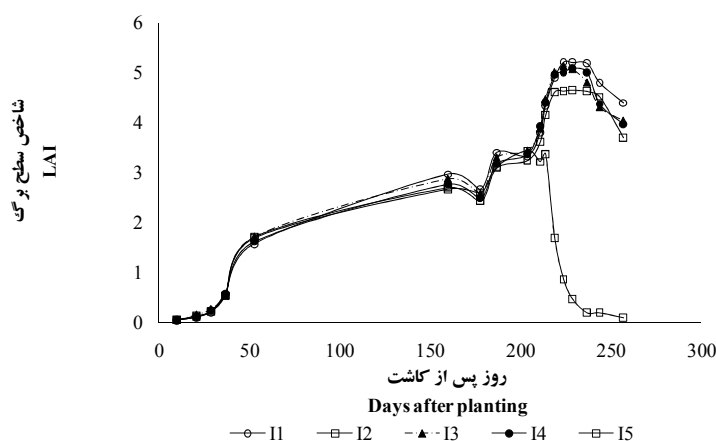
Treatments	تیمار های آزمایشی	وزن خشک گیاه Dry weight (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Full irrigation (I ₁)	شاهد	7360a	3560a	0.48ab
Irrigation withhold in re-growth stage (I ₂)	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مجدد	5210bc	2640b	0.51a
Irrigation withhold in flowering and silique formation (I ₃)	قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین	7220a	2980ab	0.41b
Irrigation withhold in grain filling stage (I ₄)	قطع آبیاری در مرحله رسیدگی دانه	6120b	3050a	0.49a
Rainfed (I ₅)	دیم	2450c	750c	0.31c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different in 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

برخی از برگ‌های گیاه، شاخص سطح برگ موقتاً کاهش یافت. با شروع رشد رویشی مجدد در بهار، شاخص سطح برگ افزایش سریع داشته و در پایان مرحله گلدهی به حداکثر مقدار خود رسید. با تشکیل دانه و رسیدگی دانه‌ها این شاخص کاهش و در پایان دوره، در زمان برداشت به صفر رسید (شکل ۴).

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که افزایش شاخص سطح برگ در هفته‌های اول رشد گیاه کند بوده و در ادامه رویش برگ‌ها شاخص سطح برگ افزایش یافت. سرعت افزایش شاخص سطح برگ با نزدیک شدن به زمان وقوع سرما در زمستان کندتر شده و در طول زمستان به دلیل سرمای ناگهانی و شدید و زرد شدن



شکل ۴- تغییرات شاخص سطح برگ کلزا در تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد

Fig. 4. Variation in LAI of rapeseed in irrigation treatments during growth season

تنش در این مراحل، شرایط یکسانی برای گیاهان وجود داشته و سطح برگ افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی سطح برگ شروع شد، اما در تیمار تنش در

تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای شاهد، تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله رسیدگی دانه‌ها، تغییرات مشابهی را داشت، زیرا قبل از اعمال

در مدیریت آبیاری بایستی این نکته را مد نظر قرار داد و در صورت نیاز به کاهش میزان آب مصرفی، تنش خشکی را در مرحله رسیدگی دانه اعمال نمود تا گیاه کمترین میزان کاهش عملکرد دانه را داشته باشد.

شاخص برداشت

مقدار شاخص برداشت در تیمار شاهد و تیمار تنش در مرحله پر شدن دانه بیشترین و در تیمار دیم دارای کمترین مقدار بود، این موضوع نشان دهنده حساسیت شاخص برداشت به مقدار آب در دسترس گیاه می باشد. با این حال نتایج نشان داد که شاخص برداشت در تیمار شاهد، اختلاف معنی داری با سایر تیمارها، به جز تیمار دیم نداشت.

ضرایب حساسیت تابع تولید محصول

مقادیر عملکرد دانه و تعرق گیاه در مراحل مختلف رشد در تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۴ ارائه شده است. با استفاده از جدول ۳ و رابطه ۵ ضرایب حساسیت مربوط به این مراحل محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

اعتبار سنجی مدل

جهت اعتبار سنجی و کنترل ضرایب حساسیت، از اطلاعات مستقل مربوط به آزمایش شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) استفاده گردید. با استفاده از تابع تولید (رابطه ۴) و میزان تعرق در مراحل

مرحله رشد رویشی، به علت کمبود رطوبت و عدم وقوع بارندگی، مقدار سطح برگ نسبت به سه تیمار شاهد، تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله رسیدگی دانه ها، کمتر بود. در تیمار دیم نیز به علت کمبود رطوبت از اول دوره رشد رویشی مجدد، گیاه دچار تنش شده و مقدار شاخص سطح برگ از مقدار ۳/۳۷ در ابتدای مرحله رشد رویشی مجدد تجاوز نداشت. در این خصوص نتایج مشابهی نیز توسط شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) گزارش شده است، با این تفاوت که در سال زراعی مربوط به آزمایش نامبردگان بارندگی بیشتری اتفاق افتاده و مقادیر شاخص سطح برگ در تیمار دیم و تیمار تنش در مرحله رویشی مجدد آن بیشتر بوده است.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که عملکرد دانه در تیمار شاهد دارای بیشترین مقدار و در تیمار دیم دارای کمترین مقدار بوده است (جدول ۳). همچنین تنش در مرحله رشد رویشی مجدد بیشترین تاثیر را روی مقدار عملکرد دانه در مقایسه با سایر تیمارها داشته است و میانگین عملکرد دانه در این تیمار، با کلیه تیمارها به استثنای تیمار تنش در مرحله گل دهی و تشکیل خورجین، اختلاف معنی داری داشت. مقدار ماده خشک کل در تیمار تنش در مرحله رسیدگی دانه ها به طور معنی داری کمتر از تیمار تنش در مرحله گلدهی بود (جدول ۳).

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه و تعرق کلزا در مراحل مختلف رشد در تیمارهای آبیاری

Table 4. Mean of grain yield of rapeseed and transpiration in different growth stages in irrigation treatments

Treatments	تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	T ₁ (mm)	T ₂ (mm)	T ₃ (mm)
Full irrigation (I ₁)	شاهد	3560	181.62	112.46	206.23
Irrigation withhold in re-growth stage (I ₂)	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مجدد	2640	130.96	113.46	207.76
Irrigation withhold in flowering and silique formation (I ₃)	قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین	2980	181.65	79.98	205.22
Irrigation withhold in grain filling stage (I ₄)	قطع آبیاری در مرحله رسیدگی دانه	3050	179.62	116.48	90.94
Rainfed (I ₅)	دیم	750	119.7	15.5	9.0

میزان تعرق در: T₁- مرحله رشد رویشی مجدد، T₂- مرحله گلدهی، T₃- مرحله رسیدگی دانه ها
Transpiration in: T₁- spring re-growth stage, T₂- flowering stage, T₃- Grain filling

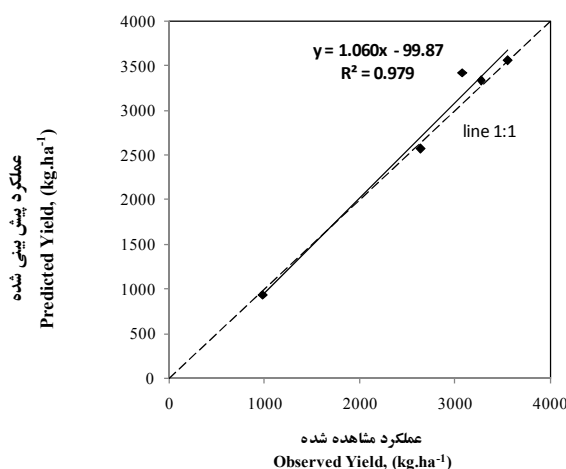
جدول ۵- ضرایب حساسیت تعرق گیاه کلزا در مراحل مختلف رشد

Table 5. Sensitivity coefficients in different growth stages of rapeseed

Growth stage	مرحله رشد	ضریب حساسیت Sensitivity coefficients
Re-growth	رشد رویشی مجدد	0.91
Flowering	گلدهی	0.54
Silique formation	تشکیل خورجین	0.19
Grain filling	رسیدگی دانه	

ضرایب حساسیت به دست آمده در این تحقیق قادر به تخمین میزان محصول در تیمارهای مختلف آبیاری با دقت نسبتاً خوبی می‌باشد. ضریب همبستگی مقدار محصول پیش بینی شده و مشاهده شده ۰/۹۸ محاسبه گردید.

مختلف رشد محاسبه شده در آزمایش شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009)، عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر تخمینی و اندازه گیری شده از همبستگی نسبتاً مناسبی برخوردار بودند (شکل ۵) و همبستگی بین آنها نشان داد که رابطه هنکس (Hanks, 1974) با



شکل ۵- مقایسه مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده عملکرد دانه کلزا (رقم لیکورد)

(داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009)

Fig. 5. Comparison between predicted and observed grain yield of rapeseed (*cv.* Licord)(Shabani *et al.*, 2009)

I₃ نیز کارایی مصرف آب ۴/۲۷ کیلوگرم بر هکتار بر میلی متر تبخیر-تعرق بدست آمد. با توجه به این که در این تیمار تنش در مرحله ای رخ می‌دهد که گیاه در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین است، بارآوری گیاه کلزا تحت تأثیر قرار گرفته و گلدهی و در نتیجه تعداد خورجین‌ها کاهش یافته و

کارایی مصرف آب

مقایسه‌ی مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری نشان داد که بعد از تیمار دیم تیمار تنش در مرحله رشد رویشی کمترین کارایی مصرف آب را داشت (جدول ۶). بر اساس نتایج جدول ۳ نیز کمترین میزان عملکرد دانه نیز مربوط به این تیمار بود. در تیمار

توجه به افزایش میزان تبخیر-تعرق و در نتیجه افزایش آب آبیاری، میزان محصول به همان اندازه افزایش نیافت.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج آزمایش حاضر، کم آبیاری باعث کاهش وزن خشک گیاه شده و عملکرد دانه را نیز کاهش داد، در صورتی که تنش آبی به صورت پیوسته در طول دوره رشد گیاه وجود داشته باشد باعث کاهش

موجب کاهش عملکرد دانه می گردد. این تیمار پس از تیمار شاهد بیشترین میزان تبخیر-تعرق را داشت. در میان تیمارهای آبیاری کارایی مصرف آب در تیمار I₄ بیشترین مقدار را داشت که حتی بیش از تیمار شاهد بود. این تیمار نیز پس از تیمار شاهد از بیشترین عملکرد دانه برخوردار بود (جدول ۳). میزان تبخیر-تعرق و عملکرد دانه در تیمار شاهد به ترتیب ۲۲ و ۱۶ درصد بیشتر از تیمار I₄ بود. این موضوع نشان می دهد که با

جدول ۶- مقادیر کارایی مصرف آب کلزا در تیمارهای آبیاری

Table 6. The water use efficiency values of rapeseed in irrigation treatments

Treatments	تیمارهای آزمایشی	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
ET (mm)	تبخیر-تعرق	725.75	653.32	697.3	591.78	331.41
WUE (kg.ha ⁻¹ .mm)	کارایی مصرف آب	4.91	4.04	4.27	5.15	2.26

کارایی را داشت که این موضوع نیز مؤید نتایج حاصله می باشد.

شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) گزارش کردند که بیشترین کاهش عملکرد پس از تیمار دیم در گیاهان تحت تنش در مرحله رسیدگی دانه دیده شد. با مقایسه شرایط آب و هوایی در سالهای آزمایش شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009) و آزمایش حاضر مشاهده می شود که در زمان اعمال تنش در مرحله رشد رویشی مجدد، میزان بارندگی در سال اول بالغ بر ۵/۵۶۸ میلی متر و در سال دوم ۳۵۴ میلی متر بوده است که این موضوع باعث تفاوت در عملکرد دانه در دو سال آزمایش می باشد. در تحقیق حاضر میزان بارندگی در دوره رشد مجدد رویشی کلزا، ۱۲۱ میلی متر گزارش شده است، بنابراین میزان عملکرد دانه در این شرایط از تیمار شاهد بسیار کمتر بوده و حتی کمترین عملکرد بعد از تیمار دیم را داشت. از دیگر عوامل این تفاوت وقوع سرمای شدید در فصل زمستان در سال ۸۶ می باشد که احتمالاً باعث کاهش عملکرد کلزا گردیده است. متفاوت بودن رقم کلزای مورد ارزیابی در آزمایش حاضر و آزمایش

چشمگیر وزن خشک گیاه می شود. علاوه بر آن در این آزمایش نشان داده شد که در صورتی که تنش در مرحله رشد رویشی مجدد گیاه کلزا اتفاق افتد، سرعت رشد گیاه کاهش می یابد، اما با پایان یافتن دوره تنش این سرعت افزایش یافته، ولی نمی تواند جبران کننده افت سرعت رشد در دوره تنش باشد. نتایج نشان داد که وزن خشک گیاه در تیمار تنش رطوبتی در دوره گلدهی و تشکیل خورجین از سایر تیمارها بیشتر بود، اما با توجه به اینکه تنش در این مرحله بر روی تعداد گلها و خورجین ها اثر می گذارد، عملکرد دانه را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. پس از تیمار شاهد بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار تنش آبی در مرحله رسیدگی دانه ها مشاهده شد، اما نتایج محاسبه ضرایب حساسیت نشان داد که گیاه کلزا در مرحله رشد رویشی مجدد، بیشترین واکنش را به کم آبی را داشته و کمترین واکنش گیاه به کم آبی نیز در مرحله پر شدن دانه ها می باشد. بیشترین کارایی مصرف آب نیز در تیمار تحت تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه ها بدست آمد. پس از تیمار دیم، تیماری که در دوره رشد رویشی مجدد تحت تنش آبی قرار گرفته بود، کمترین

شعبانی و همکاران (Shabani *et al.*, 2009)، از نظر
تحمل به سرما و خشکی در مراحل مختلف رشد را نیز
می توان از دلایل دیگر متفاوت بودن نتایج دانست.
ضرایب حساسیت گیاهی محاسبه شده در مراحل
مختلف رشد گیاه با استفاده از توابع تولید نیز نشان داد
که می توان عملکرد کلزا را با دقت مناسبی تخمین زد.

Reference

منابع مورد استفاده

- Daneshmand, A. R., A. H. Shirani-Rad, Gh. Nourmohammadi, Gh. Zareei and J. Daneshian. 2008.** Effect of irrigation regimes and nitrogen levels on seed yield and seed quality of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iran. J. Crop Sci. 10 (3): 244-261. (In Persian with English abstract).
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977.** Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24, Rome, Italy, 144 P.
- Fanaei, H., Gh. Akbari-Moghadam, Gh. Kaikha, M. R. Naroueirad and S. S. Modarres-Najaf-Abadi. 2006.** Effect of harvesting time on yield and yield components of oil seed rape cultivars in Sistan region. Seed Plant J. 23(1): 59-74. (In Persian with English abstract).
- Gan, Y., S. V. Angadi, H. Cutforth, D. Potts and C. L. McDonald. 2004.** Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. Can. J. Plant Sci. 84(3): 679-704.
- Gregory, J. M. 1982.** Soil cover prediction with various amount and types of crop residue. Transactions of the ASAE, 25: 1333-1337.
- Hanks, R. J. 1974.** Model for predicting plant growth as influenced by evapotranspiration and soil water. Agron. J. 66: 600-665.
- Nielsen, D. C. 1996.** Potential of canola as a dry land crop in north eastern Colorado. P. 281-287. In: Janick, J. Progress in New Crop. ASHS Press. Alexandria.
- Ritchie J. T. 1972.** Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover". Water Resour. Res. 8: 1204-1213.
- Sepaskhah, A. R. and H. R. Fooladmand. 2004.** A computer model for design and microcatchment water harvesting system for rainfed vineyard. Agric. Water Manage. 64: 213-232.
- Sepaskhah, A. R., A. Kanooni and M. M. Ghasemi. 2003.** Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. Agri. Water Manage. 58: 67-69.
- Shaabani A, A.A KamgarHaghighi, A. Spaskhah, Y. Emam and T. Honar. 2009.** Effect of water stress on physiological parameters of oil seed rape (*Brassica napus*). J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Sci. 13(49): 31-42. (In Persian with English abstract).
- Shariaty, Sh. and P. Ghazi-Shahni-Zadeh. 2000.** Rapeseed. (First Ed.). Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian).
- Zavareh M. and Y. Emam. 2000.** An identification guide for rapeseed (*Brassica napus* L.) developmental stages. Iran. J. Crop Sci. 2 (1): 1-14. (In Persian with English abstract).

Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield components of rapeseed (*cv. Talayeh*)

Honar, T¹., A. Sabet Sarvestani², Sh. Shams³, A. R. Sepaskhah⁴ and
A. A. Kamgar Haghghi⁵

ABSTRACT

Honar, T. A. Sabet Sarvestani, Sh. Shams, A. R. Sepaskhah and A. A. Kamgar Haghghi. 2013. Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield components of rapeseed (*cv. Talayeh*). **Iranian Journal of Crop Sciences**. 14(4): 320-332. (In Persian).

This experiment was conducted to assess the effect of drought stress on yield and yield components of canola (*cv. Talayeh*) during 2008-2009 growing season, in Bajgah Research Station, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. The experimental design was randomized complete block design and treatments included; full irrigation during the growing period, water stress in the spring re-growth stage, water stress in the flowering and silique formation stage, water stress in the grain filling stage and rainfed with the supplemental irrigation at the beginning of the season (sowing and germination stage). Results indicated that rainfed treatment and irrigation in flowering and grain formation stage were highly and least affected with grain yield of 750 and 2980 kg.ha⁻¹, respectively. Water stress in flowering and silique formation stages had the least effect on plant dry weight. The highest harvest index was obtained in water stress in spring re-growth stage (51%) while the lowest harvest index (41% and 31%) was obtained in flowering and rainfed conditions, respectively. Calculated crop sensitivity coefficients showed that rapeseed is more sensitive to water stress in the period between the spring re-growth and the beginning of flowering stages. It is concluded that using the calculated crop sensitivity coefficients, an appropriate estimation of rapeseed yield could be achieved for being used in crop yield models under similar conditions.

Keywords: Crop models, Crop sensitivity coefficient, Drought stress and Rapeseed.

Received: June, 2011

Accepted: August, 2012

1- Associate Prof., Shiraz University, Shiraz, Iran (Corresponding author) (Email: toorajhonar @yahoo.com)

2- Former MSc Student, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- PhD Student, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Professor, Shiraz University, Shiraz, Iran

5- Professor, Shiraz University, Shiraz, Iran