

تحلیل تاثیر نوسان سطح ایستابی بر شاخص سطح برگ کلزا

احمد عسگری^۱، عبدالله درزی نفت چالی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۸

چکیده

بهبود شرایط رطوبت خاک در شالیزارها به کمک سیستم زهکشی، بستر مناسبی برای کشت کلزای زمستانه فراهم می‌نماید. در پژوهش حاضر، به منظور بررسی تاثیر زهکشی زیرزمینی بر رشد این گیاه در اراضی شالیزاری، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی شامل سیستم‌های زهکشی موجود در مزرعه متشکل از سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با اعماق زهکش ۰/۹۰، ۰/۶۵ و ۰/۳۰ متر و فواصل زهکشی ۱۵ و ۳۰ متر (D0.90L30، D0.65L30 و D0.65L15) و L به ترتیب معرف عمق و فاصله زهکش‌ها می‌باشند) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی شامل چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر با اعماق ۰/۶۵ متر و ۰/۹۰ متر به صورت یک در میان (Bilevel) بود. عامل فرعی نیز روزهای بعد از کاشت بودند. در طول دوره رشد، برای تعیین شاخص سطح برگ (LAI)، از ۱۳۲۶ برگ گیاه کلزا به صورت تصادفی نمونه‌گیری و سطح آن‌ها به‌طور مستقیم اندازه‌گیری و با نرم افزار Digimizer آنالیز شد. از نرم افزار DataFit9 برای بررسی معادلات ریاضی حاکم بر شاخص سطح برگ کلزا در شرایط متفاوت زهکشی، استفاده شد. خیز سطح ایستابی تا حد زیادی متناسب با الگوی بارش و افت آن تحت تاثیر کارکرد سیستم‌های زهکشی بود. از این نظر سیستم Bilevel با میانگین عمق سطح ایستابی ۶۴/۷ سانتی‌متر بهترین LAI را داشت. حداکثر LAI در ۱۰۰ تا ۱۱۴ روز بعد از کاشت رخ داد و بیش‌ترین آن نیز در سیستم زهکشی Bilevel با مقدار ۴/۷۱ مشاهده شد. ضمناً توابع زوج با درجات ۶ و ۸ پیش‌بینی دقیق‌تری از LAI در سیستم‌های متفاوت زهکشی ارائه دادند. بر اساس نتایج، سیستم زهکشی زیرزمینی دارای عمق و فاصله مناسب، با کنترل عمق سطح ایستابی در زیر ناحیه ریشه، سبب بهبود شاخص سطح برگ کلزا خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: اراضی شالیزاری، زهکشی زیرزمینی، معادلات ریاضی، GDD

مقدمه

مطالعات و تجربیات کشورهای موفق در کشت دانه‌های روغنی نشان داد که کشور ما با توجه به اقلیم‌های گوناگون و نیروی انسانی مستعد می‌تواند ضریب وابستگی به واردات روغن نباتی و کنجاله و دانه‌های روغنی را کاهش داده و به حداقل برساند (مستوفی، ۱۳۸۷). کشت کلزا در تناوب با برنج و کاشت در فصول پاییز و زمستان، می‌تواند تولید مقدار زیادی از روغن با کیفیت بسیار عالی را تضمین نماید. ایران با حدود ۵۵۰ هزار هکتار شالیزار و تولید حدود دو میلیون تن برنج سفید، سهمی معادل چهار درصد سطح زیر کشت و تولید برنج جهان را در اختیار دارد (علی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴). بیش‌تر این اراضی در سه استان گیلان، مازندران و گلستان قرار دارند که قابلیت کشت کلزا به‌عنوان کشت دوم در آن‌ها وجود دارد. با این وجود، با توجه به اینکه گیاه کلزا تنها چند هفته پس از برداشت برنج یعنی اوایل پاییز کشت می‌شود، به دلیل وقوع باران‌های اواخر تابستان و اوایل پائیز، زمین حالت غرقابی و اشباع دارد (پارسی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۳) و این شرایط موجب کاهش فتوسنتز و تاثیرات منفی بر رشد گیاه کلزا خواهد شد (Zhou and Lin, 1995). نتایج پژوهش‌ها در استان گیلان نشان داد افزایش مدت غرقابی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد، اجزای

روغن‌های گیاهی یکی از مهم‌ترین منابع تامین انرژی برای انسان به شمار می‌روند. افزایش مصرف روغن تا حدودی با ارتقای سطح زندگی مردم جوامع مختلف در ارتباط است (فرزین و همکاران، ۱۳۸۵). کلزا مهم‌ترین گیاه دانه روغنی زراعی در مناطق معتدل و سردسیری و دومین محصول مهم دانه روغنی پس از سویا است (مرادی تلاوت و سیادت، ۱۳۹۱). کنجاله کلزا نیز به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین منابع در تغذیه دام و طیور است (خیابوی و همکاران، ۱۳۹۵). انستیتو تغذیه ایران، سرانه میزان مورد نیاز تامین روغن را بر اساس سید مطلوب غذایی، حداقل ۱۲/۷ و حداکثر ۱۴/۶ کیلوگرم برای سال ۹۶ پیشنهاد کرد و از این رو با توجه به جمعیت حدود ۸۰ میلیونی، میزان نیاز کشور به بیش از یک میلیون تن خواهد رسید. بررسی

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(* نویسنده مسئول: (Email: abduallahdarzi@yahoo.com)

پژوهشی، مدلی برای سطح برگ کلزای زمستانه ارایه نمود که در آن شاخص سطح برگ نسبت به روزهای پس از کاشت شبیه‌سازی شد. ضریب تبیین در این مدل برای تیمارهای مختلف در دامنه ۰/۹۱ تا ۰/۹۸ قرار داشت (Tsfamariam., 2004).

مرور پژوهش‌های گذشته نشان داد اگرچه تاثیر آبیاری متناوب در شالیزارهای مجهز به زهکشی زیرزمینی بر شاخص‌های رشد (قاسمی- نصر و همکاران، ۱۳۹۴)، بهبود وضعیت تهویه و تخلیه آب اضافی خاک در زمان زهکشی سطحی میان فصل (پلنگی و همکاران، ۱۳۹۳) و علاوه بر آن تاثیر زهکشی زیرزمینی میان فصل بر برنج (درزی و همکاران، ۱۳۹۱) بررسی شد، ولی تاکنون تاثیر این نوع زهکشی بر شاخص‌های رشد گیاه کلزا به‌عنوان کشت دوم گزارش نشد. همچنین اثر نوسانات سطح ایستابی بر رشد کنوپی گیاه کلزا بر اساس اندازه-گیری مستقیم شاخص سطح برگ کلزا کم‌تر مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفت و به‌ویژه گزارشی از توسعه روابط ریاضی حاکم بر آن در شرایط زهکشی ارایه نشد. از این رو، در این پژوهش، تاثیر زهکشی زیرزمینی بر شاخص سطح برگ کلزا مورد بررسی قرار گرفته و معادله ریاضی حاکم بر آن بر اساس درجه روز رشد، ارزیابی شد.

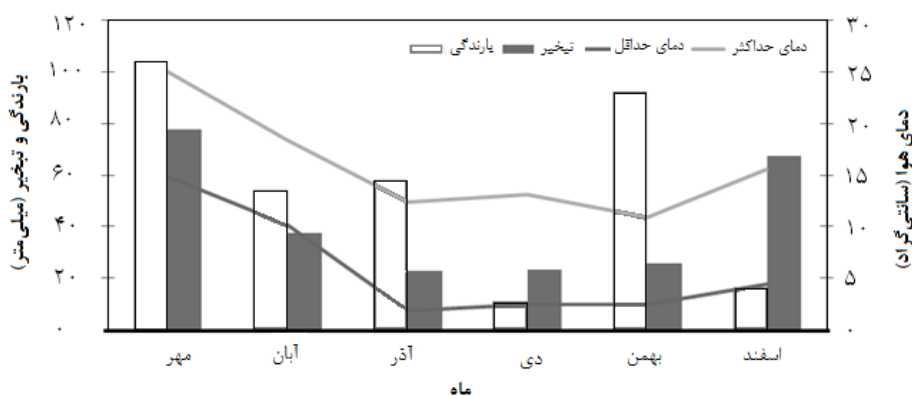
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در طی یک فصل کشت کلزا از مهرماه ۱۳۹۵ تا پایان اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ در حدود ۳/۵ هکتار از پایلوت زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی‌شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. کلزا در این مزرعه به‌عنوان کشت دوم پس از برنج کشت شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ۳۶/۳۹ و ۵۲/۰۴ و ارتفاع از سطح دریا ۱۵ متر است. مجموع بارندگی در دوره اندازه‌گیری ۳۳۶/۳ میلی‌متر بود که این مقدار بیش‌تر از میزان تبخیر (۲۵۴/۶ میلی‌متر) در طی این مدت بود. در این ماه‌ها، حداقل دمای روزانه در فاصله ۵۳ روز پس از کاشت (سوم آذرماه ۹۵) تا ۱۴۵ روز پس از کاشت (پنجم اسفندماه ۹۵) به مدت ۳۳ روز، زیر صفر درجه سانتی‌گراد بود. کم‌ترین دمای ثبت شده برابر ۴/۶- درجه سانتی‌گراد بود که در ۵۶ روز پس از کاشت رخ داد. لازم به ذکر است که گیاه کلزا با وجود اینکه بیش‌ترین واکنش را در برابر عناصر اقلیمی از خود نشان می‌دهد، در برابر سرما مقاوم است. به طوری که می‌تواند تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد را تحمل کند (خوشحال دستجردی و براتیان، ۱۳۸۸). به‌طور کلی، پایین‌ترین دماهای حداقل و حداکثر روزانه در آذرماه ۹۵ مشاهده شد. در شکل ۱ وضعیت پارامترهای هواشناسی در منطقه مورد مطالعه در طول مدت ماه‌های مهر تا اسفند ۱۳۹۵ ارایه شد.

عملکرد و صفات گیاهی بجز وزن هزار دانه شد به‌طوری که افزایش مدت غرقابی از ۲ به ۱۰ روز باعث به‌ترتیب ۲/۱۹ و ۸ درصد کاهش در عملکرد دانه و روغن آن شد (فرزام‌صفت و همکاران، ۱۳۸۹). از این رو، ارایه راه‌کارها و تدابیر لازم جهت جلوگیری از تداوم تنش غرقابی و اثرات آن بر رشد و تولید این گیاه ضروری است. از جمله راهکارهای مقابله با این مشکل می‌تواند انتخاب تاریخ کشت و وارپته مناسب کشت باشد. اما تأخیر در کاشت موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و سایر صفات زراعی کلزا خواهد شد (ریعی، ۱۳۸۳) و گونه‌های مختلف نیز نسبت به غرقابی مقاومت‌های متفاوتی دارند (Xuehua et al., 2011). از دیگر راه‌کارهای مهمی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است بهبود شرایط رطوبتی خاک از طریق زهکشی سطحی و یا زیرزمینی است. با انجام این کار، بسته به عمق زهکش‌ها، مقدار عمده‌ای از باران مازاد از سطح زمین و ناحیه ریشه گیاه خارج شده و سطح ایستابی تا حد زیادی تنزل می‌یابد. این اثرات مثبت در ابتدا موجب بهبود شرایط دمایی خاک برای جوانه‌زنی سریع، یکنواخت و کامل بذور شده و در ادامه موجب رشد مطلوب گیاه گردد. نتایج آزمایشی که روی ۹ ژنوتیپ کلزا (از کشورهای آلمان، فرانسه و کانادا) و ۴ دمای ثابت (۵/۴، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شد نشان داد دما و ژنوتیپ بر کلیه اجزای جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری دارند (لطیفی و همکاران، ۱۳۸۳). در پژوهش خادم‌پیر و همکاران (۱۳۹۳) نیز اثر تنش غرقابی و دما بر خصوصیات جوانه‌زنی کلزا بررسی شد و مشخص شد که در شرایط غرقابی، در صورتی که دما کاهش یابد، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کلزا بیش‌تر از زمانی که دما افزایش می‌یابد، کاهش خواهد یافت. بهبود شرایط رطوبتی خاک در سایر مراحل رشد نیز در مطالعه تاثیر سطوح مختلف آبیاری کلزا (Tahir et al., 2007) و تاثیر تراکم‌های مختلف کلزا و خردل وحشی (عنافجه و همکاران، ۱۳۹۰) بر شاخص‌های رشد این گیاه گزارش شد.

در بیش‌تر پژوهش‌ها، برای تجزیه و تحلیل وضعیت رشد گیاه از شاخص سطح برگ (LAI) استفاده شد. با این وجود، دشواری اندازه-گیری مستقیم آن موجب شد بسیاری از پژوهشگران مقدار این شاخص را از طریق برازش داده‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم از دستگاه اکیوپار (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰ و صفاهانی و همکاران، ۱۳۸۶) و اندازه‌گیری طول و عرض برگ و تعیین ضرایب مناسب برگ کلزا (Shabani et al., 2013) برآورد نمایند. در برخی از پژوهش‌ها هم نشان داده شد مقدار LAI از روابط ریاضی حاکم بر اساس روز پس از کاشت و یا درجه روز رشد (پژوهش آروین و همکاران، ۱۳۸۸) در هر مرحله از رشد قابل محاسبه است. در مورد کلزا، فرجی رابطه خطی بین وزن هزار دانه و شاخص سطح برگ را برای چهار رقم کلزا ارائه داد (Faraji, 2014). ضریب تبیین در این پژوهش در محدوده ۰/۷۲ تا ۰/۷۶ بود. تسفاماریام نیز در



شکل ۱- روند تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تبخیر در منطقه مطالعه

۱۳۹۰). برای تعیین شاخص سطح برگ در هر تکرار، برگ‌های یک گیاه به‌طور کامل مورد سنجه قرار گرفت. این کار با تصویربرداری از پیرامون برگ و سپس انتقال فایل تصاویر به نرم افزار Digimizer (نسخه ۴/۱/۱) صورت پذیرفت. به کمک این نرم افزار، با تعریف مقیاس، مساحت کلیه برگ‌ها بدست آمد. در مجموع برای چهار سیستم زهکشی مورد مطالعه، تعداد ۱۳۲۶ تصویر از برگ گیاه کلزا برای تعیین سطح برگ از روش اندازه‌گیری مستقیم و در نرم افزار Digimizer مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌گیری‌ها نیز برای هر تیمار به‌صورت تصادفی و در سه سطح یک متر مربعی (سه تکرار) انجام شد. فلوجارت مربوط به نحوه تعیین شاخص سطح برگ در شکل ۲ ارائه شد. پس از اندازه‌گیری مساحت سطح برگ کلیه نمونه‌ها، تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روز پس از کاشت (DAP) آنالیز شد.

توسعه معادلات ریاضی حاکم

معادله ریاضی حاکم با آنالیز رگرسیون توابع خطی و غیرخطی دومتغیره از روند تغییرات شاخص سطح برگ کلزا (متغیر وابسته) نسبت به درجه روز رشد (GDD به‌عنوان متغیر مستقل) ایجاد شد. برای محاسبه GDD، درجه حرارت پایه برای رشد گیاه کلزا ۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. هرچند تعیین دمای پایه برای این گیاه به‌طور دقیق بسیار دشوار است، اما اکثر پژوهشگران بر سر دمای ۵ درجه سانتی‌گراد برای کلزای پاییزه اجماع دارند (خوشحال دستجردی و براتیان، ۱۳۸۸). بر اساس داده‌های دمای حداقل و حداکثر در مدت مطالعه و دمای پایه این گیاه، مقدار GDD به‌صورت رابطه ۱ محاسبه شد.

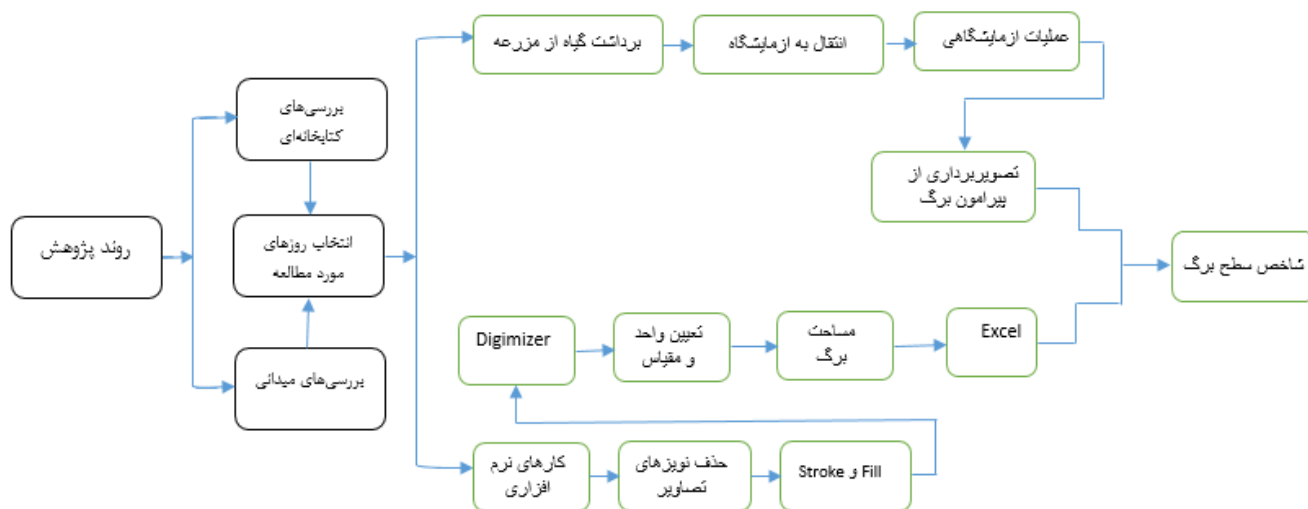
$$\text{if } \bar{T}_i > T_b \quad \text{GDD} = (\bar{T}_i - T_b) \quad (1)$$

که در آن، \bar{T}_i میانگین دمای روزانه و T_b دمای پایه است.

مزرعه مورد مطالعه متشکل از ۱۰ کرت شالیزاری بود. بافت خاک لایه‌های مختلف این مزرعه تا عمق سه‌متری، غالباً از نوع رسی و سیلتی - رسی بود. مشخصات کامل خاک مزرعه در پژوهش علی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) ارائه شد. این کرت‌ها تنها از نظر وضعیت زهکشی تفاوت داشتند. سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در این مزرعه شامل سه سیستم زهکشی معمولی با عمق ۰/۹ متر با فاصله ۳۰ متر (D0.90L30)، عمق ۰/۶۵ متر با فاصله ۱۵ متر (D0.65L15) و عمق ۰/۶۵ متر با فاصله ۳۰ متر (D0.65L15) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی با چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر با اعماق ۰/۶۵ متر و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان (Bilevel) بودند. شرح کاملی از مشخصات این سیستم‌های زهکشی به‌همراه نحوه آرایش آن‌ها در مزرعه، در تحقیق‌های قبلی مربوط به این پایلوت زهکشی ارائه شد (درزی نفت‌چالی و همکاران، ۱۳۹۲). کشت کلزا در تاریخ ۱۱ مهرماه ۱۳۹۵ به‌صورت دست‌پاش با مقدار ۸ کیلوگرم در هکتار بذر کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) در هر یک از کرت‌های دارای زهکشی زیرزمینی انجام شد. ۲۴، ۹۶ و ۱۱۶ روز پس از کاشت به ترتیب ۸۵، ۸۵ و ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره در کل مزرعه پخش شد. در نهایت در ۳۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ (۲۳۰ روز پس از کاشت)، عملیات برداشت انجام شد. کلیه عملیات زراعی با روش کشت متداول در منطقه و با مدیریت کشاورز صورت گرفت.

اندازه‌گیری‌ها

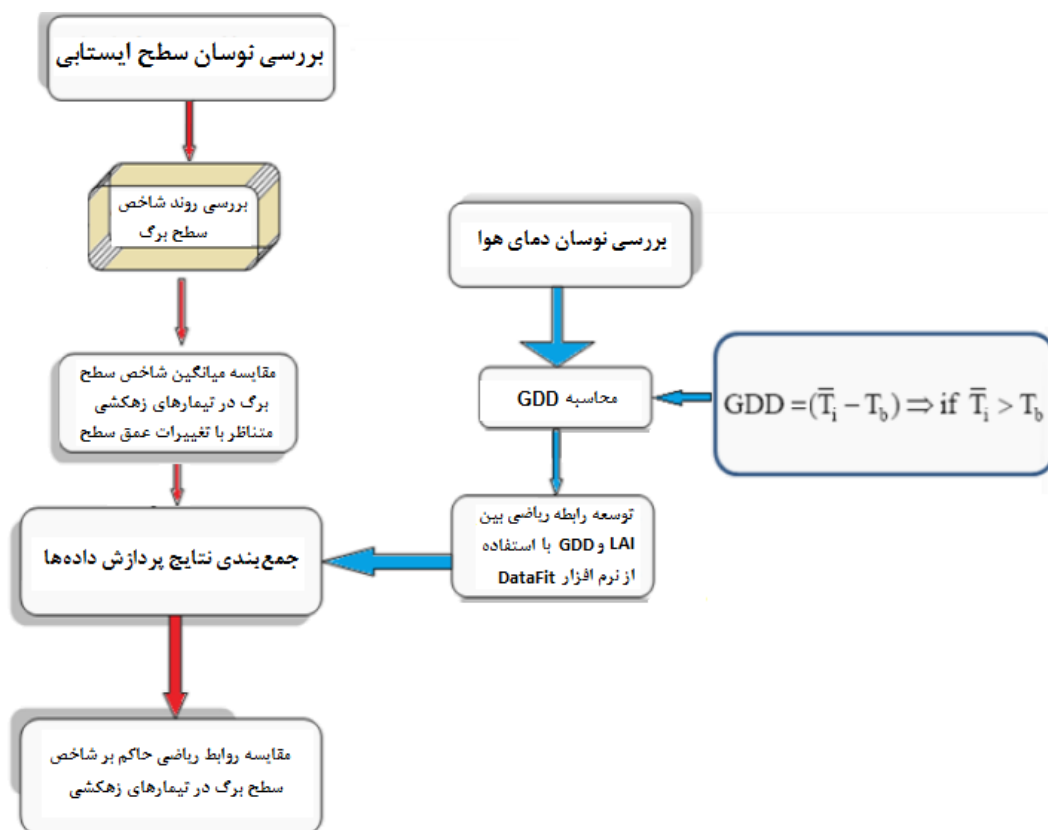
در طول فصل کشت کلزا، عمق سطح ایستابی به‌صورت روزانه در نقطه میانی فاصله دو زهکش در سیستم‌های مختلف زهکشی اندازه‌گیری شد. همچنین برای دقت بیشتر، نمونه‌برداری از کلزا به فاصله تقریبی هر ده روز یک‌بار در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. با این حال در برخی پژوهش‌ها، نمونه‌برداری به فاصله تقریبی هر دو هفته یک‌بار نیز گزارش شد (عنافجه و همکاران،



شکل ۲- نمودار تعیین شاخص سطح برگ کلزا

کارهای میدانی و آزمایشگاهی برای محاسبه LAI بود. سپس این داده‌ها در نرم‌افزار DataFit با حدود ۳۰۰ تابع ریاضی برازش داده شد و بر اساس بهترین ضریب تبیین، بهترین تابع ریاضی مشخص گردید.

روند استخراج معادله‌های ریاضی حاکم بر شاخص سطح برگ در قالب فلوچارت شکل ۳ ارایه شد. همانطور که در این فلوچارت دیده می‌شود، برای توسعه معادله ریاضی، روند انجام کار در دو مرحله شامل استفاده از داده‌های درجه حرارت برای محاسبه GDD و انجام



شکل ۳- نمودار ایجاد معادلات ریاضی حاکم بر شاخص سطح برگ

آنالیز آماری

ارائه شد. بین روزهای مختلف پس از کاشت در هر یک از سیستم‌های زهکشی تفاوت معنی‌داری از نظر حداکثر شاخص سطح برگ وجود نداشت اما قبل و پس از این مرحله بین روزهای پس از کاشت اختلاف معنی‌دار وجود داشت. این امر نشان‌دهنده واکنش سریع شاخص‌های رشد تا رسیدن به حداکثر مرحله رشد و کاهش شدید شاخص سطح برگ با نزدیک شدن به پایان فصل رشد و ریزش برگ-های پایینی در شرایط سیستم‌های مختلف زهکشی است.

جدول ۲- میانگین مربعات شاخص سطح برگ در روزهای مختلف

پس از کشت	شاخص سطح برگ*
۱۱۴	۳/۸۷ ^a
۱۰۰	۳/۷۶ ^a
۱۲۸	۳/۵۳ ^{ab}
۸۶	۳/۲۳ ^{bc}
۱۴۲	۲/۸۹ ^c
۷۲	۲/۴۴ ^d
۱۵۶	۲/۱۴ ^d
۵۸	۱/۶۳ ^e
۴۴	۰/۹۶ ^f
۳۰	۰/۵ ^g
LSD	۰/۳۴

* اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در ستون دوم، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

حداکثر سطح برگ در سیستم زهکشی D0.90L30 در حدود ۱۰۰ و در سایر تیمارها در حدود ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط گلدهی) مشاهده گردید. کم‌ترین مقدار LAI نیز در ۳۰ روز پس از کاشت مشاهده شد. رقم کلزا هایولا ۴۰۱ در سیستم زهکشی Bilevel با مقدار ۴/۷۱ بالاترین LAI را تولید کرد. این شاخص برای سیستم‌های زهکشی D0.65L30، D0.90L30 و D0.65L15 به ترتیب ۳/۸۹، ۳/۶۷ و ۳/۵۵ بود. با وجود یکسان بودن مدیریت نهاده-های زراعی، برخی تفاوت‌ها در LAI در سایر فواصل زمانی در روزهای یکسان پس از کاشت گیاه دیده شد. علت این امر را می‌توان به تاثیر عمق و فاصله زهکش‌ها بر تراکم بوته‌ها و نهایتاً بر توسعه سطح برگ گیاه کلزا نسبت داد. یزدانی و همکاران (۱۳۸۶) اثر فاصله زهکش‌ها بر عملکرد دانه، دوره رسیدن و تعداد بوته در مترمربع و احمدی و همکاران معنی‌دار بودن تراکم بوته بر شاخص سطح برگ را گزارش کردند (Ahmadi et al., 2014). در پژوهش حاضر هم تاثیر محسوس عمق و فاصله زهکش‌ها بر شاخص سطح برگ در بین تیمارها مشاهده شد. در سیستم D0.90L30 (که عمق زهکش‌های

آنالیز آماری داده‌های شاخص سطح برگ به صورت کرت خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به وسیله نرم‌افزار SAS (SAS Institute., 2004) انجام شد. عامل اصلی تیمارهای زهکشی و عامل فرعی روزهای بعد از کاشت بودند. به دلیل اینکه اثر متقابل زمان در تیمار در همه صفات معنی‌دار شد، روند تغییرات زمانی شاخص سطح برگ ارایه شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تحلیل شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مختلف بر شاخص سطح برگ در جدول ۱ ارایه شد. بین تیمارها از نظر مقایسه میانگین مربعات اختلاف معنی‌داری وجود نداشت که نشان داد از نظر کلی عمق و فاصله زهکش‌ها اثرات یکسانی بر توسعه شاخص سطح برگ کلزا در هر مرحله اندازه‌گیری داشتند. روزهای پس از کاشت اثر معنی‌داری بر این شاخص داشتند که حاکی از تغییرات قابل توجه شاخص سطح برگ در فاصله زمانی بین نمونه‌برداری‌ها بود. علاوه بر این، اثر متقابل روزهای بعد از کاشت و سیستم زهکشی بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود که این عامل بیانگر واکنش متفاوت تیمارهای زهکشی در روزهای مختلف بعد از کاشت بود. از این رو، تغییرات شاخص سطح برگ در هر مرحله اندازه‌گیری برای یک تیمار زهکشی در مقایسه با تیمارهای دیگر در مرحله قبلی تفاوت معنی‌دار داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر عوامل مختلف بر شاخص سطح برگ

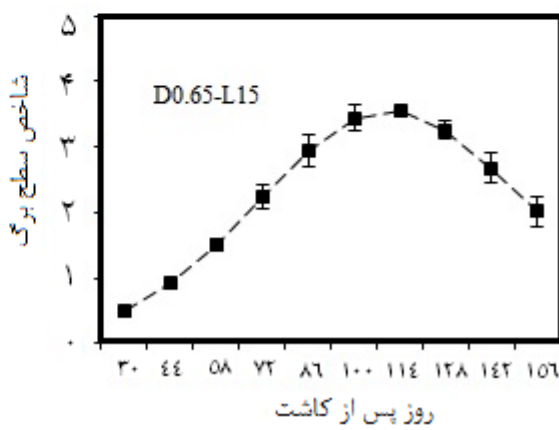
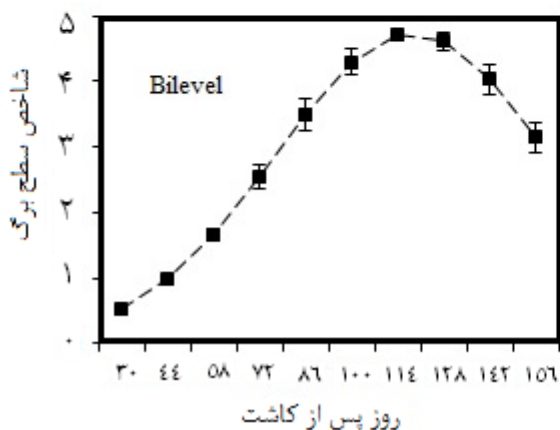
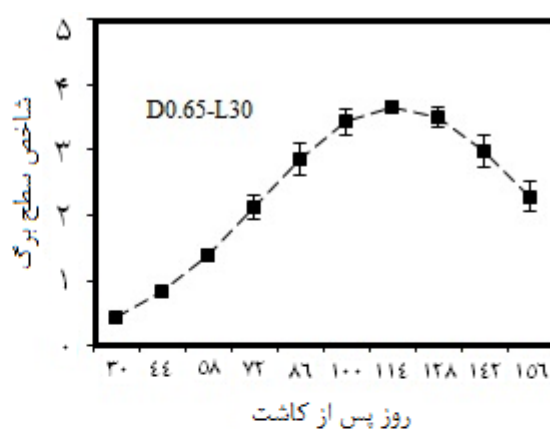
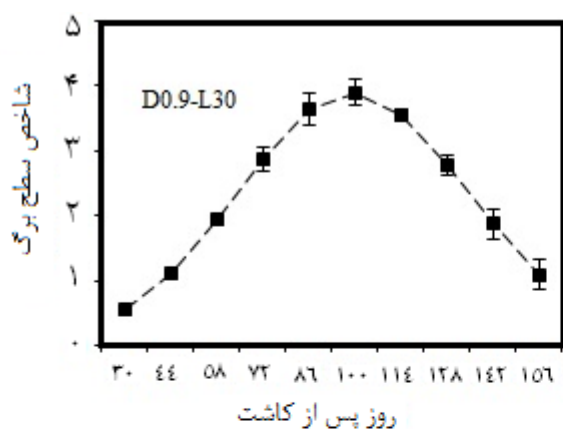
منابع تغییرات	درجه آزادی	LAI
بلوک	۲	۱/۷۲
تیمار زهکشی	۳	۳/۴۰
بلوک × تیمار زهکشی (خطای الف)	۶	۱/۴۴
روزهای بعد از کاشت	۹	۱۶/۶۶ ^{**}
روزهای بعد از کاشت × تیمار زهکشی	۲۷	۰/۶۱ ^{**}
خطای ب	۷۲	۰/۱۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۶/۷۸

^{**} و ^{ns} به ترتیب: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد آماری

برای بررسی اثر روزهای پس از کاشت، نتیجه مقایسه میانگین شاخص سطح برگ برای تیمارهای مختلف در جدول ۲ ارایه شد. در شکل ۴ نیز روند تغییرات شاخص سطح برگ در سیستم‌های مختلف

اعداد LAI را نشان داد. پژوهش عنافجه و همکاران (۱۳۹۰) برای کشت کلزا در تراکم‌های مختلف با خردل وحشی نشان داد تا حدود ۱۰۰ روزگی، رشد گیاه کلزا آهسته بود ولی بعد از آن در زمان گلدهی (۱۲۰ روز پس از کاشت) به حداکثر رسید. بر طبق نتایج پژوهش اخیر، هرگونه عملیاتی که در این مرحله سرعت رشد محصول را افزایش دهد منجر به افزایش عملکرد دانه کلزا خواهد شد. نتایج پژوهش‌های دیگر هم نشان داد ماندابی در مراحل مختلف رشد کلزا، سبب کاهش محسوس توسعه برگ و رشد کلزا شده است (Daugherty et al., 1994; Ashraf and Mehmood., 1989; Cannel and Belford., 1980).

آن بیش‌تر از بقیه بود) با وجود آن‌که حداکثر شاخص سطح برگ زودتر از سایر تیمارها در ۱۰۰ روز پس از کاشت رخ داد ولی مقادیر میانگین و حداکثر آن کم‌تر از تیمار زهکشی دوعمقی بود و از این روز به بعد کم‌ترین اعداد LAI برای این تیمار وجود داشت. روند نزولی منحنی LAI در این تیمار نشان داد با افزایش سن گیاه، پیرشدن برگ‌ها و زرد شدن آن‌ها، سرعت رشد محصول نسبت به تیمارهای دیگر کاهش بیش‌تری داشت. لذا، در همین بازه زمانی یعنی LAI بحرانی به بعد زهکشی اثر خود را در تیمارهای مختلف گذاشت، به‌طوری‌که سیستم زهکشی Bilevel از نظر عمق و فاصله عملکرد بهتری نسبت به سایر سیستم‌ها در تخلیه آب مازاد ناشی از بارندگی داشت و از حدود ۱۰۰ روز بعد از کاشت تا پایان فصل رشد، بیش‌ترین



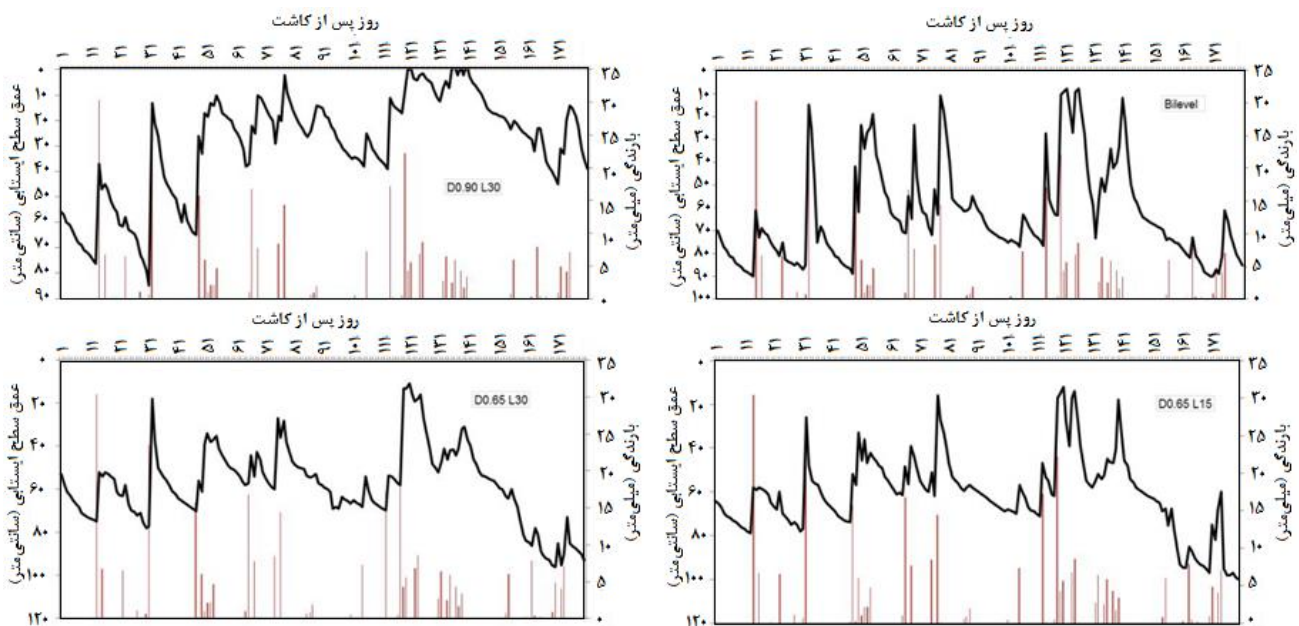
شکل ۴- روند تغییرات شاخص سطح برگ کلزا در سیستم‌های مختلف زهکشی

سپس ۵۲ روز پس از کاشت، وقوع بارندگی سبب خیز سطح ایستابی شد. با این وجود، افت سطح ایستابی برای همه تیمارها یکسان نبود. علی‌رغم کاهش به ترتیب ۲۵ و ۴۰ درصدی بارندگی آبان سال ۹۵ نسبت به دوره بلندمدت و آبان سال قبل در مازندران، مقدار آن در آذرماه ۹۵ به ترتیب ۱۰ و ۵۵ درصد بیش‌تر از میانگین بلندمدت

در شکل ۵ روند تغییرات سطح ایستابی در سیستم‌های مختلف زهکشی به همراه مقادیر بارندگی روزانه نشان داده شد. از ۲۸ آبان تا ۶ آذر ۱۳۹۵، با نفوذ تدریجی توده هوای بسیار سرد سیبری، ضمن کاهش شدید دما تا دمای حداقل ۴/۶- سانتی‌گراد، برف و باران پهنه استان مازندران را فرا گرفت. در نتیجه، در آبان‌ماه در فاصله ۳۲ روز و

آمدن بیش از حد سطح ایستابی شد به طوری که در ۱۶ روز از این ماه، سطح ایستابی برای سیستم زهکشی D0.90L30 در عمق کم تر از ۵ سانتی متر و حتی تا در برخی موارد بالاتر از سطح زمین بود. روند نزول شاخص سطح برگ در این ماه همزمان با کاهش دما با شیب قابل توجهی صورت گرفت. در ادامه در اسفندماه ۹۵ نیز با وجود کاهش به ترتیب ۷۵ و ۷۹ درصدی بارندگی نسبت به میانگین بلندمدت و اسفندماه سال گذشته و افزایش نه چندان زیاد میانگین دما (۱۰ درجه سانتی گراد)، روند نزولی شاخص سطح برگ تا رسیدن به مرحله برداشت محصول ادامه داشت.

متناظر و آذر سال قبل بود. در این مدت وقوع بارندگی در ۵۴ روز و سپس در ۶۸ تا ۷۷ روز پس از کاشت، سبب صعود سطح ایستابی شد. دی ماه سال ۹۵ با کاهش قابل ملاحظه بارندگی سپری شد و با افزایش دمای حداقل (۲/۵ درجه سانتی گراد) و دمای حداکثر (۱۳/۱ درجه سانتی گراد) در منطقه مطالعه، رشد سریع اندام های گیاهی صورت گرفت به طوری که در فاصله ۱۰۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت، بیشترین شاخص سطح برگ مشاهده شد. اما بر خلاف دی ماه، در بهمن ماه همین سال افزایش چشمگیر بارندگی وجود داشت، به طوری که نسبت به میانگین بلندمدت حدود ۵۷ درصد و نسبت به بهمن سال گذشته ۲۲ درصد افزایش وجود داشت. این بارش ها موجب بالا



شکل ۵- تغییرات عمق سطح ایستابی در طول فصل کشت در سیستم های مختلف زهکشی

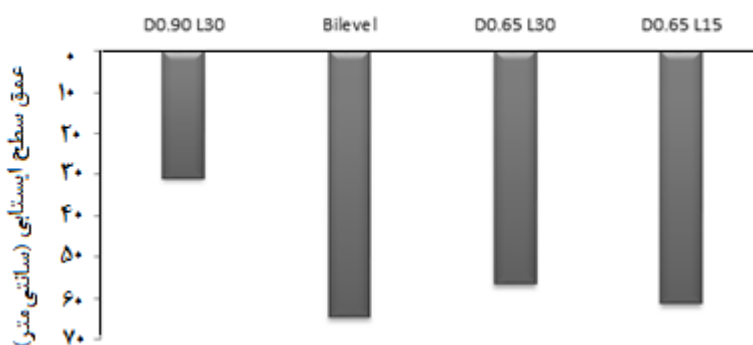
زهکشی Bilevel بهتر از سایر سیستم های مورد مطالعه باشد. برای بررسی این موضوع در شکل ۶ میانگین افت سطح ایستابی برای هر تیمار نشان داده شد. در واقع تفاوت کارکرد سیستم ها در خیز سطح ایستابی در اثر اشباع خاک و سپس افت آن در اثر تخلیه زه آب ها را می توان به عواملی چون تغییرات پوشش گیاهی و پدیده پسماند در اثر تفاوت های جزئی در بافت خاک کرت های مختلف نسبت داد. در تعیین عمق تخلیه آب از پروفیل خاک توسط زهکش لازم است که به خاصیت موینگی خاک های شالیزاری که باعث خیز سطح آب از عمق سطح ایستابی به بالا می شود و در تشدید شرایط بی هواری و کمبود اکسیژن مؤثر است توجه نمود (فرزام صفت و همکاران، ۱۳۸۹). کمترین و بیشترین عمق سطح ایستابی ۳۰/۷۸ سانتی متر و ۶۴/۶۷ سانتی متر به ترتیب برای سیستم زهکشی D0.90L30 و سیستم Bilvel بود. این نتیجه تاثیر عمق نصب زهکش در میزان

به طور کلی، در همه تیمارها خیز سطح ایستابی ارتباط مستقیم با بارش های روزانه داشت و مقدار افت سطح ایستابی در هر تیمار بستگی به کارکرد سیستم از نظر عمق و فاصله زهکشی داشت. تحلیل رخدادهای بارش نشان داد از نظر فراوانی خیز سطح ایستابی، سیستم های زهکشی D0.65L15 و D0.65L30 با وضعیتی نسبتا مشابه، بهتر از Bilevel و سپس D0.90L30 بودند. با این وجود، وضعیت افت منحنی سطح ایستابی پس از هر بارندگی نشان داد کارکرد سیستم زهکشی Bilevel در تخلیه زه آب ها به ویژه برای روزهای پس از LAI بحرانی (که به اهمیت آن اشاره شد) بهتر از سیستم های دیگر است. پژوهش فرزام صفت و همکاران (۱۳۸۹) در استان گیلان نشان داد زهکش ها با توجه به شدت و دوام بارندگی - های منطقه باید قادر باشند آب اضافی را در ظرف مدت کم تر از ۲ روز خارج سازند. از این رو انتظار می رود مقدار LAI در سیستم

گیا کلزای زمستانه به تنش آبی حساس بوده و در صورت وجود آن، کاهش شاخص‌های رشد از جمله شاخص سطح برگ وجود دارد (Moaveni, 2010). از این نظر، نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های یاد شده همخوانی داشت. در برخی پژوهش‌ها نیز نشان داده شد در شرایط غرقابی، کاهش عملکرد کلزای زمستانه نسبت به کلزای بهاره بیش‌تر است (Gutierrez et al., 1996). بر اساس پژوهش اخیر، دمای هوا به تنهایی تعیین‌کننده تاثیر ماندابی نیست و مرحله توسعه گیاه هم عامل مهمی در شرایط ماندابی است.

افت و خیز سطح ایستابی را نشان داد. با توجه به اینکه بالاترین میانگین و حداکثر شاخص سطح برگ برای سیستم Bilevel بود، لذا این سیستم کارایی بهتری در کنترل سطح ایستابی و کاهش ماندابی و در نتیجه بهبود شرایط رطوبتی خاک داشت. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که بالاتر بودن شاخص سطح برگ در این تیمار در ارتباط با فراهم شدن بستر مناسب برای رشد و فتوسنتز گیاه در اثر کاهش ماندابی است. بررسی‌های مشابه در نواحی پرباران استرالیا نشان داد کاهش ماندابی نقشی کلیدی در رسیدن به عملکرد بالای کلزا دارد (Zhang et al., 2004). پژوهش معاونی نیز اثبات نمود که

تیمارهای زهکشی



شکل ۶- میانگین عمق سطح ایستابی در دوره اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف زهکشی

منحنی‌های نشان داده شده در شکل ۴ است. از این رو، برای پیش‌بینی شاخص سطح برگ در سیستم‌های مختلف زهکشی باید از توابع درجات ۶ و ۸ که دارای ماکزیمم نسبی و خطای استاندارد کم‌تر هستند استفاده شود. لباسچی و شریفی عاشور آبادی (۱۳۸۳) در فرآیند آنالیز رگرسیون‌های دو متغیره به معادلات درجه ۲ بسنده نمودند اما پژوهش حاضر نشان داد هرچه درجه چند جمله‌ای پایین‌تر باشد، میزان خطای استاندارد بیش‌تر خواهد شد. این نتیجه با نتایج پژوهش عنافچه و همکاران (۱۳۹۰) در خصوص برآورد ماده خشک کلزا بر اساس تعداد روز پس از کاشت همخوانی دارد. در پژوهش حاضر معادله با درجات ۶ و ۸ نتایج مطلوب‌تری نسبت به سایر معادلات غیرخطی ارائه نمودند. صفاهانی و همکاران (۱۳۸۶) برای محاسبه شاخص سرعت توسعه نسبی سطح برگ ارقام مختلف کلزا از شیب معادله حاکم بر روند تغییرات شاخص برگ استفاده نمودند. در این پژوهش، آن‌ها از نمونه‌برداری تخریبی و از دستگاه سطح برگ-سنج مدل (LICOR-3100) استفاده نمودند و برای محاسبه دوام شاخص برگ از معادله منحنی نسبت به زمان حرارتی انتگرال گرفتند. همین نتیجه در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن پیوستگی هر سه تابع در زمان‌های حرارتی مختلف برای تیمارهای زهکشی به‌دست آمد به-طوری که مشتق توابع سرعت نسبی رشد و انتگرال‌گیری از توابع، کل شاخص سطح برگ در دوره اندازه‌گیری را نشان داد.

توسعه معادله ریاضی حاکم

پیش‌بینی روند توسعه شاخص سطح برگ (متغیر وابسته) نسبت به درجه روز رشد (متغیر مستقل)، با برازش معادلات ریاضی مختلف انجام گرفت. نتایج آنالیز رگرسیون دو متغیره برای سیستم‌های مختلف زهکشی نشان داد سه تابع چند جمله‌ای با درجات ۶، ۷ و ۸ بالاترین ضریب همبستگی را در هر سیستم زهکشی دارند. این توابع عبارتند از:

$$y = ax^8 + bx^7 + cx^6 + dx^5 + ex^4 + fx^3 + gx^2 + hx + i \quad (2)$$

$$y = ax^7 + bx^6 + cx^5 + dx^4 + ex^3 + fx^2 + gx + h \quad (3)$$

$$y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g \quad (4)$$

(x درجه روز رشد، y، شاخص سطح برگ، a، b، c، d، e، f، g و h ضرایب توابع چند جمله‌ای هستند).

در جدول ۳، خطای استاندارد و ضریب تبیین هر سه تابع برای سیستم‌های مختلف زهکشی ارائه شد. خطای استاندارد توابع درجه ۷ از توابع درجه ۶ و ۸ بیش‌تر است. در واقع توابع زوج نسبت به توابع فرد از خطای استاندارد کم‌تری در برازش شاخص سطح برگ نسبت به درجه روز رشد نشان دادند. از سوی دیگر، از نظر ریاضی هر سه تابع در هر سیستم زهکشی دارای اکسترمم نسبی هستند. اما با توجه به مشتق ضابطه تابع زوج، اکسترمم آن‌ها از نوع ماکسیمم نسبی است که از لحاظ فیزیولوژی زراعی معرف LAI های بحرانی در

جدول ۳- بهترین معادلات ریاضی حاکم بر شاخص سطح برگ کلزا

تیمار	معادلات ریاضی حاکم	ضریب تبیین	خطای استاندارد
D0.9L30	چند جمله ای درجه هشتم	۰/۹۹۹	۰/۱۰۹
	چند جمله ای درجه هفتم	۰/۹۹۵	۰/۱۷۵
	چند جمله ای درجه ششم	۰/۹۹۵	۰/۱۴۵
D0.65L15	چند جمله ای درجه هشتم	۰/۹۹۹	۰/۱۲۲
	چند جمله ای درجه هفتم	۰/۹۹۵	۰/۲۲۱
	چند جمله ای درجه ششم	۰/۹۹۵	۰/۱۸۶
D0.65L30	چند جمله ای درجه هشتم	۰/۹۹۹	۰/۰۹۴
	چند جمله ای درجه هفتم	۰/۹۹۵	۰/۱۷۲
	چند جمله ای درجه ششم	۰/۹۹۵	۰/۱۴۵
Bilevel	چند جمله ای درجه هشتم	۰/۹۹۹	۰/۰۹۰
	چند جمله ای درجه هفتم	۰/۹۹۵	۰/۱۶۴
	چند جمله ای درجه ششم	۰/۹۹۴	۰/۱۳۸

شاخص سطح برگ کلزا نسبت به درجه رشد داشته و به خوبی نمایه‌های رشد گیاه کلزا را در سیستم‌های مختلف زهکشی در طول فصل رشد پیش‌بینی نمایند.

منابع

آروین، پ.، عزیز، م. و سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد در ارقام بهاره گونه‌های کلزا. مجله به-نژادی نهال و بذر. جلد ۱-۲۵. ۳: ۴۱۷-۴۰۱.

بخشنده، ا.، سلطانی، ا. و غدیریان، ر. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه AccuPAR در گندم. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۸. ۴: ۹۷-۱۰۱.

پارسی‌نژاد، م.، اصفهانی، م. و یزدانی، م. ۱۳۸۳. اثر عمق و دوام غرقابی در دوره‌های مختلف رشد کلزا به عنوان کشت دوم، طرح تحقیقاتی خاتمه یافته، دانشگاه گیلان.

پلنگی، م.، پیرمادیان، ن.، کریمی، و. و امیری لاریجانی، ب. ۱۳۹۳. تاثیر زهکشی سطحی میان فصل بر روند رشد، شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد برنج هاشمی. مجله تحقیقات غلات. ۴: ۲۷۸-۲۶۷.

خادم‌پیر، م.، گالشی، س.، قادری فرد، ف. و مظلوم، م. ۱۳۹۳. اثر تنش غرقابی و دما بر خصوصیات جوانه زنی کلزا (*Brassica napus*) (L. رقم هایولا ۴۰۱). نشریه تحقیقات بذر. ۴: ۲۶-۱۸.

خوشحال دستجردی، ج. و براتیان، ع. ۱۳۸۸. برآورد نیازهای حرارتی مراحل فنولوژیکی کلزای پاییزه (ارقام Okapai و SLM046) در شرایط اقلیمی سر ایران (مطالعه موردی شهرکرد). مجله

رابطه عملکرد محصول و شاخص سطح برگ

با بررسی عملکرد محصول در سیستم‌های مختلف زهکشی مشخص شد بیش‌ترین عملکرد دانه کلزا مربوط به سیستم زهکشی Bilevel بود که حداکثر و بیش‌ترین میانگین شاخص سطح برگ نیز در آن مشاهده شد برآزش معادلات لگاریتمی، توانی، خطی، لگاریتم طبیعی و چند جمله‌ای بین داده‌های عملکرد و شاخص سطح برگ نشان داد که معادله چند جمله‌ای درجه سوم بالاترین همبستگی را بین این پارامترها ایجاد می‌کند. شکل کلی این معادله به صورت زیر است:

$$y = -12.037x^3 + 146.34x^2 - 588.29x + 785.46 \quad (5)$$

$$R^2 = 1$$

که در آن، x حداکثر شاخص سطح برگ در هر سیستم زهکشی و y عملکرد محصول بر حسب تن در هکتار است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تاثیر کنترل غرقابی به وسیله سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی بر روند رشد کلزا بررسی شد. نتایج نشان داد سیستم‌های زهکشی واکنش‌های متفاوتی در کنترل شرایط ماندابی داشتند. سیستم زهکشی Bilevel کارکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها در پایین آوردن سطح ایستابی داشت. میانگین و حداکثر شاخص سطح برگ کلزا در این سیستم زهکشی در طول دوره کشت، بیش‌تر از مقادیر متناظر در سایر سیستم‌های زهکشی بود. بررسی قابلیت استفاده از توابع رگرسیون دومتغیره به منظور پیش‌بینی شاخص سطح برگ در سیستم‌های مختلف زهکشی نشان داد که توابع زوج چند جمله‌ای با درجات ۶ و ۸ می‌توانند برآورد مناسبی از روند توسعه

- پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۰: ۴۴-۳۵.
- خیای، م.، بقایی، ن. و نصرتی، س. ۱۳۹۵. دستورالعمل تولید دانه روغنی کلزا، سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان. ۱۰ صفحه.
- درزی، ع.، میرلطیفی، س. م.، شاهنظری، ع.، اجلالی، ف. و مهدیان، م. ج. ۱۳۹۱. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در اراضی شالیزاری. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶: ۱: ۶۱-۷۰.
- درزی نفت‌چالی، ع.، میرلطیفی، س. م.، شاهنظری، ع.، اجلالی، ف. و مهدیان، م. ج. ۱۳۹۲. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۷: ۳: ۲۹۴-۳۰۵.
- ربیعی، م.، کریمی، م. م. و صفا، ف. ۱۳۸۳. بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و صفات زراعی ارقام کلزا به‌عنوان کشت دوم بعد از برنج در منطقه کوچصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۵: ۱: ۱۸۷-۱۷۷.
- صفا، ع. ر.، کامکار، ب.، زندها، باقرانی، ن. و باقری، م. ۱۳۸۶. تاثیر شاخص‌های رشد بر توان رقابتی ارقام کلزا (*Brassica napus*) با علف هرز خردل وحشی (*Sinapisarvensis*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۵: ۲: ۳۱۳-۳۰۱.
- علی‌نژاد، ح.، درزی نفت‌چالی، ع. و صابری، ف. ۱۳۹۶. ارزیابی کارایی مدل CERES-Rice در پیش‌بینی مولفه‌های بیلان نیتروژن در فصل کشت برنج در شالیزارهای مجهز به زهکشی زیرزمینی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱: ۲: ۲۷۳-۲۶۳.
- علی‌نیا، ف.، نوری دلاور، م. ز. و سید جواد، س. ز. ۱۳۹۴. تحول در تولید برنج کشور از طریق معرفی ارقام پر محصول. مؤسسه تحقیقات برنج کشور.
- عنافجه، ز.، عالمی سعید، خ.، فتحی، ق.، قرینه، م. ح. و چعب، ع. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های رشد و تخمین آستانه خسارت اقتصادی دانه کلزا (*Brassica napus L.*) در پاسخ به تراکم‌های متفاوت کلزا و خردل وحشی (*Sinapisarvensis L.*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۹: ۱: ۱۱-۱.
- لطیفی، ن.، سلطانی، ا. و اسپانر، دین. ۱۳۸۳. تاثیر دما بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی ارقام کلزا. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۵: ۲: ۳۲۱-۳۱۳.
- فزران‌صفت، آ.، پارس‌نژاد، م.، یزدانی، م. ر.، شریعت احمدی، ج.، نوری، ح.، موسوی، س. ف. و اجلالی، ف. ۱۳۸۹. اثر شدت زهکشی در دوره‌های مختلف رشد کلزا به‌عنوان کشت دوم بعد از برنج
- (مطالعه موردی: استان گیلان). نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۱: ۱: ۱۱۹-۱۱۱.
- فرزین، ا. ر.، نورمحمدی، ق. و شیرانی‌راد، ا. ح. ۱۳۸۵. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ۲۵ رقم کلزای پاییزه. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. ۱۲: ۲: ۴۳۷-۴۲۹.
- قاسمی نصر، م.، کاراندیش، ف.، درزی نفت‌چالی، ع. و مختصی بیدگلی، ع. ۱۳۹۴. اثر دو دوره زهکشی میان فصل بر پارامترهای رشد دو رقم برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹: ۴: ۴۳۱-۴۱۹.
- لباسچی، م. ح. و شریفی عاشور آبادی، ا. ۱۳۸۳. استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در بهره‌برداری مناسب از گل راعی. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۶۵: ۶۵-۷۵.
- مرادی تلاوت، م. ر. و سیادت، س. ع. ۱۳۹۱. معرفی و تولید گیاهان دانه روغنی. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی (سروا). تهران. ۳۷۵ص.
- مستوفی، س. ۱۳۸۷. بررسی بازار دانه‌های روغنی و فرآورده‌های آن. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۵۰ص.
- نوروزی، ع. ا.، جلالی، ن.، میری، م. و عباسی، م. ۱۳۹۲. برآورد شاخص سطح برگ گیاه برنج در شمال ایران. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، ۲: ۱۰-۱.
- یزدانی، م. ر.، قدسی، م. و موسوی، س. ف. ۱۳۸۶. مقایسه نوع و فاصله زهکش‌های سطحی در کشت کلزا پس از زراعت برنج در رشت. نشریه تولید محصولات زراعی و باغی. ۱۱: ۱: ۱۲-۱.
- Ahmadi, B., Shirani Rad, A.H and Delkosh, B. 2014. Evaluation of plant densities on analysis of growth indices in two canola forage (*Brassica napus L.*). *European Journal of Experimental Biology*. 4.2:286-294.
- Ashraf, M and Mahmood, S. 1989. Effects of waterlogging on growth and some physiological parameters of four Brassica species. *Plant and Soil*. 121. 2: 203-209.
- Cannell, R.Q and Belford, R.K. 1980. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 31: 963-965.
- Daugherty, C.J., Matthews, S.W and Musgrave M.E. 1994. Structural changes in rapid-cycling Brassica rape selected for differential waterlogging tolerance. *Canadian Journal of Botany*. 72:1322-1328.
- Faraji, A. 2014. Seed weight in canola as a function of assimilate supply and source-sink ratio during seed filling period. *International Journal of Plant Production*. 8.2: 1735-8043.

- Tesfamariam, E.H. 2004. Modelling the soil water balance of canola *Brassica napus L* (Hyola 60). MSc Thesis in Irrigation in the Department of Plant Production and Soil Science Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of Pretoria. 135 p.
- Xuehua, Z., Liangcai, J., Yingze, N., Haojie, L., Xiaobin, P., Jinfang Z and Jun, J. 2011. Comprehensive Evaluation on Tolerance to Waterlogging Among Different Rapeseed Varieties. 13th International Rapeseed Congress, Prague, CZ.
- Zhang, H., Turner, N.C and Poole Michael, L. 2004. Yield of wheat and canola in the high rainfall zone of south-western Australia in years with and without a transient perched water table. Australian Journal of Agricultural Research. 55.4: 461 -470.
- Zhou, W and Lin, X. 1995. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus L.*). Field Crops Research. 44. 2-3: 103-110
- Gutierrez Boem, F.H., Lavado, R.S and Porcelli, C.A. 1996. Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. Field Crops Research. 47. 2-3: 175-179.
- Moaveni, P., Ebrahimi, A and Aliabadi Farahani, H. 2010. Physiological growth indices in winter rapeseed (*Brassica napus L.*) cultivars as affected by drought stress at Iran. Journal of Cereals and Oilseeds. 1.1: 11 - 16.
- SAS Institute. 2004. Version 9.1.3. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Shabani, A., Sepaskhah, A.R and Kamgar Haghghi, A. 2013. Growth and physiologic response of rapeseed (*Brassica napus L.*) to deficit irrigation, water salinity and planting method. International Journal of Plant Production. 7 .3:1735-8043
- Tahir, M., Ali, A., Athar Nadeem, M., Tanveer, A and Sabir, Q.M. 2007. Performance of canola (*Brassica Napus L.*) under different irrigation levels. Pakistan Journal of Botany, 39.3: 739-746.

Effect of Water Table Fluctuation on Canola Leaf Area Index

A. Asgari¹, A. Darzi-Naftchali^{2*}

Received: Augu.18, 2017

Accepted: Sept.09, 2017

Abstract

Improving soil water situation in the paddies by subsurface drainage systems provides suitable condition for the cultivation of winter canola. In order to evaluate the effect of subsurface drainage on the winter canola growth in paddy fields, an experiment was conducted as split plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor involved farm drainage system consists of three conventional drainage systems with 0.90 m and 0.65m depths at 15 and 30m distances (D0.90L30, D0.65L30 and D0.65L15: D and L indicate drain depth and spacing, respectively) and a subsurface drainage system with four drain lines spaced 15 m apart with a depth of 0.65 m and 0.90 m as alternate (Bilevel). The sub factors were also the days after planting. During the growing period, to determine leaf area index (LAI), 1326 canola leaves were sampled and were analyzed by direct measurement and Digimizer software. The DataFit9 software was applied to examine the mathematical equations governing the canola LAI under different drainage systems. Water table rising was affected by precipitation and its falling was related to the performance of different subsurface drainage systems. In this regard, Bilevel system with mean depth to the water table of 64.7 cm had higher LAI. Critical LAI was found in 100 to 114 day after planting and its maximum (4.71) was observed in Bilevel. Even mathematical functions with the orders of 6 and 8 showed more accurate estimation other than equations for LAI in different drainage systems. Base on the results, subsurface drainage with proper depth and spacing could improve canola LAI by controlling the water table below the root zone.

Keywords: paddy fields, subsurface drainage, mathematical equations, GDD

1-PhD student in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2-Assistant Professor, Water engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author Email: abdullahdarzi@yahoo.com).