تعیین مقدار بهینه آب آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف رشد با استفاده از طرح مرکب مرکزی

پریسا شاهین رخسار[۱] و اصلان اگدرنژاد

استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

pshahinrokhsar@yahoo.com

استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

a_eigder@ymail.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

باوجود پرباران بودن استان گیلان، پراکنش نامناسب بارندگی در دوره رشد محصول و کمبود رطوبت در زمان نیاز، تأثیری منفی بر رشد محصولات مختلف ازجمله گل‌گاوزبان می‌گذارد. این پژوهش باهدف مدیریت آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف ر شد انجام شد. به این منظور، پانزده آزمایش مزرعه‌ای با انتخاب سطوح بالا و پایین تیمارها شامل آبیاری(بدون آبیاری (I1) و تأمین کامل نیاز آبی گیاه (I2))، دو مرحله ر شد ساقه روی (D1)، ساقه روی و گلدهی (D2) ، و دو سال با بارش مختلف (ترسالی (Y1) و خشکسالی (Y2)) بر اساس ۱۵ ترکیب به‌دست‌آمده از طرح مرکب مرکزی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان واقع در رشت انجام شد. نتایج نشان داد که آبیاری بیش‌ترین و مرحله رشد کم‌ترین اثر را بر عملکرد و شاخص‌های رشد گل گاوزبان داشتند. دوره خشکسالی سبب افزایش مقدار عملکرد دانه، عملکرد روغن و در صد روغن شد درحالی‌که سایر پارامترها در شرایط ترسالی به حداکثر مقدار خود رسیدند. در شرایط تأمین آب آبیاری در زمان گلدهی و ساقه‌روی، وزن هزار دانه برابر با ۱۸/۹ گرم و مقادیر عملکرد گل خشک، عملکرد گل تر، عملکرد دانه و عملکرد اقتصادی نیز به‌ترتیب برابر با ۴۶۸، ۸۵۸، ۴۸۶ و ۹۸۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. در شرایط تأمین آب آبیاری در زمان گلدهی، عملکرد روغن و درصد روغن به‌ترتیب برابر با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۳/۵٪ تعیین شد. با در نظر گرفتن سطوح بهینه برای همه پارامترها بر اساس درون‌یابی مقادیر عوامل در طرح مرکب مرکزی، اگر درصد و عملکرد روغن اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها داشته باشد، تأمین ۸۸٪ آب آبیاری در ترسالی و برای دوره گلدهی و ساقه‌روی لازم ا ست. برای د ستیابی به حداکثر عملکرد و در صد روغن، تأمین کامل نیاز آبیاری در خشک‌سالی و در دوره ساقه‌روی می‌بایست در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ترسالی، دوره گلدهی، عملکرد روغن، عملکرد دانه

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

مقدمه

گل‌گاوزبان یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های گیاهی است که بالغبر ۱۰۰ جنس و ۲۰۰ گونه را شامل می‌شود و در اکثر مناطق معتدل و گرمسیری دنیا پراکنش دارد (مهربانی و همکاران، ۲۰۰۵). این گیاه برای درمان در طب سنتی استفاده می‌شود و در طب نوین نیز در کشورهایی مانند ترکیه، قبرس، ایتالیا، اسلوونی و اسپانیا مورداستفاده قرار می‌گیرد (نقدی‌بادی و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه توجه به بسیاری از گیاهان دارویی در جهان افزایش‌یافته است و گیاه گل‌گاوزبان به دلیل خواصی ازجمله تصفیه‌کننده خون، ملین، خلط‌آور، مدر و آرام‌بخش قلب، تسکین‌دهنده اعصاب، درمان‌کننده یرقان و ورم معده از اهمیت خاصی برخوردار است (مهربانی و همکاران، ۲۰۰۵).

ازآنجاکه کشت و پرورش گیاهان دارویی معمولاً به‌صورت دیم صورت می‌گیرد، کمبود یا پراکنش نامناسب بارندگی همواره یکی از عامل‌های مؤثر بر عملکرد این محصولات می‌باشد. از طرف دیگر در صورت کشت تجاری آن در دشت، امکان کشت مکانیزه، فرآوری و تجاری‌سازی این گیاه مطرح می‌شود که به‌دنبال آن بحث نیاز آبی و آبیاری این گیاه باید مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران (احمدی و همکاران،۲۰۱۴ ، الباجی و همکاران، ۲۰۱۴) و کمبود آب در بخش کشاورزی، لازم است عمق مناسب آبیاری برای کشت گیاهان مختلف در نظر گرفته شود (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این مهم سبب شده است تا برنامه‌ریزی آبیاری برای گیاهان زراعی مورد توجه محققان قرار گیرد (اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). از پژوهش‌هایی که تأثیر آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گل گاوزبان انجام‌شده است می‌توان به پژوهش اکبری‌نیا و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. نتایج نشان داد با افزایش تعداد دفعات آبیاری عملکرد گل تا ۴۲۰ کیلوگرم بر هکتار (برای دور آبیاری هفت روز) افزایش یافت. همچنین دور آبیاری ۱۴ روز با مصرف ۳۰۰۰ مترمکعب آب، بهترین شرایط را از نظر کارایی مصرف آب داشت. دست‌برهان و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد گل‌گاوزبان بر اساس میزان کاهش سطح آب در تشتک تبخیر نشان دادند که بین تیمارهای آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اختلاف معنی‌داری ازنظر عملکرد وجود نداشت. با این وجود تیمار آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت سبب کاهش معنی‌دار عملکرد گل‌گاوزبان شد. کرمی و سپهری (۱۳۹۱) با بررسی اثر تنش‌های مختلف آبی بر عملکرد گل‌گاوزبان نشان دادند که عملکرد این گیاه زراعی در شرایط بدون تنش آبی بیشترین مقدار (۱۴۲ کیلوگرم بر هکتار) را داشت. این محققان گزارش کردند که اعمال تنش آبی سبب کاهش چشمگیر عملکرد گل‌گاوزبان شد. یارمحمد زهی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی اثر تنش خشکی و نانو کودها بر برخی صفات مورفولوژیکی گل‌گاوزبان نشان دادند که همه این صفات تحت تأثیر تنش آبی کاهش یافتند. قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر سطوح تنش خشکی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر عملکرد گل‌گاوزبان نشان دادند که میزان عملکرد این گیاه دارویی تحت تأثیر میزان تنش خشکی به‌شدت کاهش یافت.

نتایج تحقیق عبدالهی مایوان و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد که مقادیر آبیاری و تراکم بوته به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گیاه دارویی گاوزبان اروپایی را تحت تأثیر قرار داد. با کاهش مقدار آبیاری، خصوصیات رشدی و عملکرد به دلیل بروز تنش رطوبتی کاهش یافت. افزایش تراکم تا ۴۰ بوته در مترمربع از طریق افزایش رقابت درون‌گونه‌ای نیز موجب کاهش رشد و عملکرد می‌شود. بالاترین مقادیر عملکرد گل، دانه و بیولوژیک تعداد گل، بذر و شاخه‌های جانبی برای تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و تراکم بوته ۲۷ بوته در مترمربع به دست آمد.

گل‌گاوزبان با ۵۱۶ هکتار سطح زیر کشت، مهم‌ترین گیاه دارویی در گیلان است که کاشت این گیاه عمدتاً به‌صورت دیم در این مناطق انجام می‌شود (بی‌نام،

۱۳۹۹). با توجه به تحقیقات اشاره‌شده، زراعت دیم سبب کاهش عملکرد این گیاه دارویی می‌شود. به همین دلیل نیاز است با توجه به پراکنش نامناسب بارش در استان و افزایش قیمت و ارزش افزوده این گیاه ارزشمند دارویی، لازم است توسعه کشت تجاری آن از طرف سرمایه‌گذاران و کشاورزان منطقه و تعیین مقدار آب آبیاری تکمیلی این گیاه دارویی مدنظر قرار گیرد.

امروزه مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی به‌عنوان ابزاری چندمنظوره در تحقیقات و مدیریت زراعی مطرح هستند (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۸) و انواع مختلفی از مدل‌های پیش‌بینی عملکرد وجود دارد و ارزیابی و اعتباربخشی مدل به‌ویژه برای محصولات خاص ازجمله گیاهان دارویی ضروری است. یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی است (حامدا و وو، ۲۰۰۰). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که توسط باکس و هانتر (۱۹۵۷) اصلاح گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش می‌باشد که اجرای این طرح را آسان‌تر می‌کند، همچنین امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (اصلان، ۲۰۰۷). در این روش می‌توان اطلاعات بیشتری از تحلیل طرح به دست آورد درحالی‌که در روش‌های معمول آماری انجام آن غیرممکن است. همچنین سبب می‌شود بتوان سناریوهای مختلفی را باهم مقایسه کرد. این شرایط در طرح‌های معمول آزمایشات وجود ندارد (خاشعی‌سیوکی و همکاران، ۱۳۹۵).

به نظر می‌رسد مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی که اثرات مقادیر مختلف آب بر روی عملکرد محصول را به‌صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند، ابزارهای مفید برای انجام مطالعات مختلف ازجمله انتخاب گیاه مناسب برای کاشت، تعیین بهترین مدیریت زراعی، برآورد ظرفیت تولید منطقه‌ای و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم باشند. برای درک این ویژگی‌ها، تحقیقات گسترده بر روی گیاهان با ارزش دارویی و اعمال تیمارهای مختلف مورد نیاز می‌باشد. با توجه به اینکه بسیاری از گیاهان موجود در عرصه‌های طبیعی کشور ما ایران، ازجمله گیاه دارویی گل‌گاوزبان از دیدگاه دارویی و اقتصادی از پتانسیل بالایی برخوردار هستند. به‌همین‌دلیل علی‌رغم تحقیقاتی که به‌صورت جداگانه در مورد دورهای مختلف آبیاری بر روی عملکرد گل گاوزبان صورت گرفته است ولیکن همچنان اطلاعات موجود در زمینه بهینه‌سازی مدیریت آبیاری با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت اندک است، لذا پژوهش حاضر باهدف تعیین بهترین مقدار آبیاری تکمیلی گل‌گاوزبان با استفاده از روش طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی رشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان واقع در ۷ کیلومتری شرق شهر رشت و در طول جغرافیایی ″۳۵ ′۳۹ °۴۹ شرقی و عرض جغرافیایی ″۷ ′۱۱ °۳۷ شمالی انجام شد. در این آزمایش‌ها با انتخاب سطوح بالا و پایین تیمارها شامل نیاز آبی (بدون آبیاری (I1) و تأمین کامل نیاز آبی گیاه (I2))، دو مرحله رشد (ساقه روی (D1)، ساقه روی و گلدهی (D2)) و دو سال با بارش مختلف (ترسالی (Y1) و خشکسالی (Y2)) با استفاده از طرح مرکب مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط خشکسالی و ترسالی بر اساس مقدار بارندگی و متوسط بارش در منطقه تعیین شدند. آبیاری با استفاده از روش کرتی و عمق آبیاری با تعیین میزان رطوبت خاک و از طریق رابطه (۱) تعیین شد:

$$d = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_z \qquad (۱)$$

که در این رابطه، d عمق خالص آبیاری، θ_{fc} رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه (۱۶/۲ درصد)، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل آبیاری، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D_z عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)

است. برای تعیین رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری از روش وزنی استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از نمونه‌برداری از منطقه توسعه ریشه برداشت شدند.

در هر آبیاری حجم دقیق آب با استفاده از کنتور حجمی متصل به لوله اندازه‌گیری شد. واسنجی کنتور حجمی با دقت ۱۰ درصد اعمال شد. به این صورت که با استفاده از یک استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ابتدا سطلی تا حجم ۵۰ لیتر با آب پر و علامت‌گذاری شد. سپس با استفاده از زمان‌سنج زمانی که آب با استفاده از لوله متصل به کنتور حجم سطل را پرکرده سپس با استفاده از رابطه (۲) خطای کنتور محاسبه و در محاسبات تأمین نیاز آبی اعمال شد:

$$E = \frac{Q_o - Q_s}{Q_s} \times 100 \qquad (۲)$$

که در این رابطه، E خطای کنتور، Q_o دبی اندازه‌گیری (لیتر بر ثانیه) و Q_s دبی دستگاه (لیتر بر ثانیه) می‌باشد.

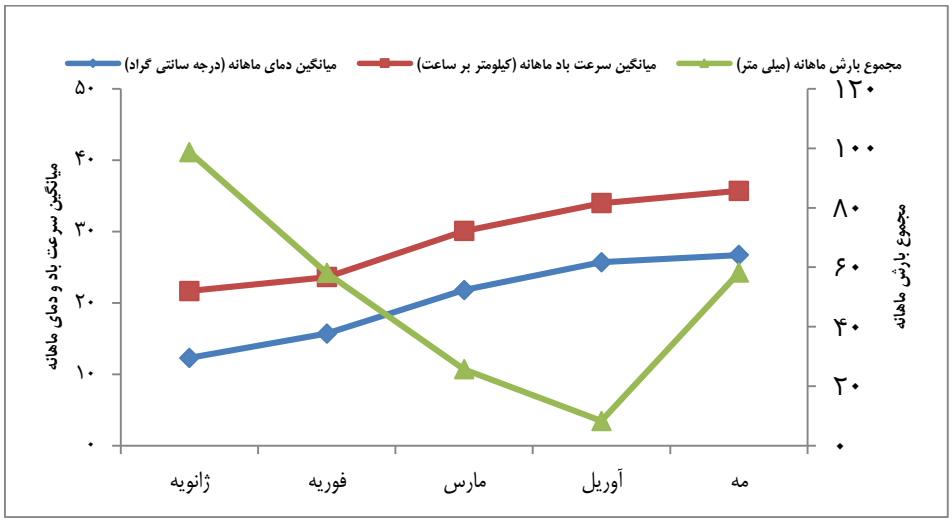
کرت‌های تهیه‌شده در این آزمایش با مساحت ۷/۵ مترمربع (۳×۲/۵) و با فواصل یک متر در نظر گرفته شد. فواصل ردیف کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. در هر کرت چهار ردیف به طول ۲/۵ متر کشت شد. کاشت گیاه در نیمه اول فروردین و برداشت در نیمه دوم خرداد انجام شد. کاشت به‌وسیله بذر و به‌صورت دست پاش در عمق چهار تا پنج سانتی‌متری انجام شد. پس از جوانه‌زنی، تنک کردن در مرحله سه برگی صورت گرفت. به‌منظور تعیین زمان مناسب آبیاری، میزان بارش مؤثر با استفاده از رابطه (۳) تعیین شد. در این روش مقادیر بارش مؤثر در دوره زمانی ماهانه با احتمال وقوع ۶۵ درصد محاسبه شده است (ماری، ۲۰۱۵):

$$P_{eff} = P \times \frac{125 - 0.2P}{125} \qquad (۳)$$

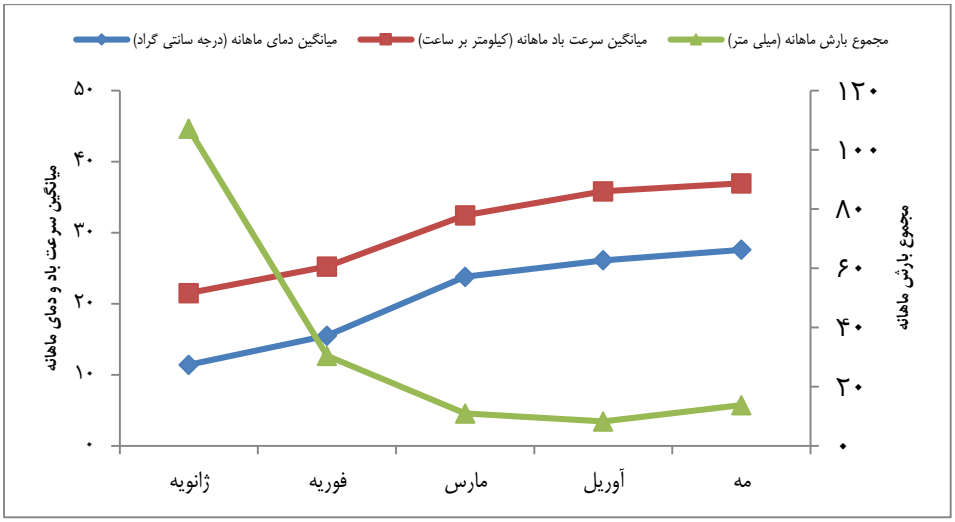
که در این رابطه، P_{eff} بارندگی مؤثر (میلی‌متر در ماه) و P بارندگی ماهیانه (میلی‌متر در ماه) است.

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در دو سال مورد مطالعه شامل میزان بارندگی، سرعت باد، میانگین دمای ماهانه از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی رشت واقع در دو کیلومتری مزرعه آزمایشی اخذ گردید که در شکل‌های ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود.

نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری در آزمایشگاه تحقیقات مهندسی آب، خاک، فاضلاب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (IAERI) زیر نظر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (واقع در شهر کرج استان البرز) تعیین شد (جدول ۱).



شکل ۱- اطلاعات هواشناسی کشاورزی رشت ۲۰۱۴



شکل ۲- اطلاعات هواشناسی کشاورزی رشت ۲۰۱۵

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق	بافت خاک	چگالی	EC	pH	رطوبت وزنی در مکش ۰/۳ اتمسفر	رطوبت وزنی در مکش ۱۵ اتمسفر
سانتی‌متر		گرم بر سانتی‌مترمکعب	میلی موس بر سانتی‌متر		درصد	درصد
۱۵	رس سیلتی	۱/۳۱	۱/۴۲	۷/۱۸	۱۹/۸۲	۱۱/۵۵
۳۰	رس سیلتی	۱/۵۷	۰/۸۶۳	۸/۴۷	۲۲/۹۷	۱۲/۲۵
۴۵	رس سیلتی	۱/۳۷	۰/۸۷۷	۸/۱۷	۲۶/۷۹	۱۵/۸۹

طرح مربع مرکزی

این روش که برای گسترش تصمیم‌گیری در طرح‌های آزمایشی با استفاده از داده‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرد، قابلیت شبیه‌سازی و پیش‌بینی نتایج در خارج و داخل محدوده تصمیم‌گیری را دارد. به همین دلیل در این پژوهش از این روش استفاده شد تا بتوان اثر مقادیر بین صفر تا ۱۰۰ درصد تأمین آب آبیاری را بدون اجرای آزمایش‌های متعدد بر عملکرد و اجزای عملکرد گل گاوزبان تعیین و شبیه‌سازی کرد. در این پژوهش، طرح مرکب مرکزی با استفاده از نرم‌افزار مینی تب طراحی و نتایج مربوطه مورداستفاده قرار گرفت. تعداد تیمارهای طراحی‌شده در روش مربع مرکزی از رابطه (۴) تبعیت می‌کند (باکس و هانتر، ۱۹۵۷؛ اصلان، ۲۰۰۷). به‌منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها و ترسیم نمودارها، برازش معادلات و انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار مینی تب ورژن ۱۶ استفاده شد:

$$t = 2^k + 2K + r \qquad (۴)$$

$$r = \sqrt{K}$$

که در این رابطه، t تعداد تیمارهای طراحی‌شده، K نشان‌دهنده‌ی تعداد فاکتورهای مورداستفاده و r تعداد تکرار برای نقطه مرکزی می‌باشد؛ بنابراین تعداد تیمارهای طراحی‌شده از فرمول ۴ بر اساس فاکتورهای مورد استفاده ۳ فاکتور و یک تکرار، ۱۵ تیمار حاصل شد. به‌منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد که با ارائه‌ی یک مدل رگرسیون به برقراری ارتباطی بین جواب و فاکتورها می‌پردازد. تعداد ترکیب‌های مورد استفاده در جدول (۲) نشان داده‌شده است. در این پژوهش متغیرهای مستقل شامل تیمار نیاز آبی (I)، مرحله رشد (D) و سال (Y) می‌باشند و هر کدام به‌صورت کدهای بدون واحد در سه سطح (۱ ، ۰+ ،۱-) کدبندی شدند که به ترتیب بیانگر سطوح بالا، میانگین و پایین متغیرهای مستقل می‌باشند.

جدول ۲- ترکیب‌های طراحی‌شده به‌وسیله طرح مرکب مرکزی*

نام ترکیب	نیاز آبی	مرحله رشد	سال
	I	D	Y
۱	۱	۰	-۱
۲	۰	-۱	۱
۳	-۱	۰	۱
۴	-۱	-۱	۰
۵	۰	۰	۰
۶	۱	-۱	۰
۷	۱	۱	۰
۸	۱	۰	۱
۹	۰	-۱	-۱
۱۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰
۱۲	-۱	۱	۰
۱۳	-۱	۰	-۱
۱۴	۰	۱	۱
۱۵	۰	۱	-۱

I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال

* ۱-، صفر و ۱ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر پایین، میانه و بالای متغیرهای موردنظر هستند

آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) مورداستفاده قرار گرفتند. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۵) تا (۱۰) نشان داده‌شده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \quad (۶)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i-O_i)}{n} \quad (۷)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۸)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i|+|O_i|)^2} \quad (۹)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})\right)^2}{\sum(P_i-\overline{P})^2 \sum(O_i-\overline{O})^2} \quad (۱۰)$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی‌شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل مقدار عامل موردنظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل موردنظر عدد کوچک‌تری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

مدل رگرسیونی برای تعیین میزان مشارکت هر کدام از عوامل مقدار آب آبیاری، مرحله رشد و سال با استفاده از مدل طرح مرکب مرکزی تعیین شد (جدول ۳). در طرح مربع مرکزی، هر کدام از عوامل و برهم‌کنش آن‌ها به‌صورت خودکار در مدل رگرسیونی قرار داده می‌شوند و در صورت اثربخشی، به مدل رگرسیون اضافه می‌شوند. با توجه به اینکه در رابطه به‌دست‌آمده همه عوامل، برهم‌کنش آن‌ها و مجذور اثر هرکدام از آن‌ها وجود دارد؛ بنابراین هیچ‌کدام از این عوامل را نمی‌توان بر عملکرد و شاخص‌های عملکرد گل گاوزبان در این مطالعه نادیده گرفت. در واقع می‌توان گفت که همه‌ی عوامل اثر مشخص و معنی‌داری بر پارامترهای مورد مطالعه داشتند. برای هرکدام از پارامترهای موردمطالعه، مقادیر ضرایب رگرسیون در جدول (۳) نشان داده‌شده است. مقادیر آماره R^2 برای همه پارامترها قابل‌قبول ولیکن پارامترهای عملکرد گل تر (۸۲/۲) و عملکرد گل خشک (۸۳/۰) نسبت به سایر پارامترها از ضریب تبیین بهتری برخوردار بودند. بر اساس نتایج جدول (۴) به نظر می‌رسد می‌توان با دقت قابل قبولی از این مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی مقادیر پارامترهای موردمطالعه استفاده کرد.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود برازش معادله رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی‌شده در برابر مقادیر مشاهداتی برای پارامترهای عملکرد گل‌تر، عملکرد اقتصادی و درصد روغن دچار خطای کم‌برآوردی شد. این نتایج با توجه به جدول (۴) نیز قابل‌بررسی است. بر اساس نتایج دو آماره EF و d، مدل رگرسیون برای تعیین همه پارامترها از کارایی مطلوبی برابر با ۰/۹۹ برخوردار بود. این مدل برای پیش‌بینی وزن هزار دانه، عملکرد گل‌تر، عملکرد گل خشک و درصد روغن بر اساس آماره NRMSE با دقت عالی (کمتر از ۰/۱) و برای پیش‌بینی سایر پارامترها دقت خوب (۰/۲-۰/۱) داشت. بررسی آماره MBE نشان داد که مدل در پیش‌بینی عملکرد گل تر، عملکرد اقتصادی و درصد روغن دچار کم برآوردی (مقادیر منفی) و از نظر سایر پارامترهای مورد بررسی بیش برآوردی (مقادیر مثبت) داشته است.

جدول ۳- معادله رگرسیونی به‌دست‌آمده و ضرایب آن

$$Y=a_0+a_1I+a_2D+a_3Y+a_4I^2+a_5D^2+a_6Y^2+a_7ID+a_8IY+a_9DY$$

پارامتر	a_0	a1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
وزن هزار دانه	۱۷/۷	۰/۳۸	۰/۹۲	-۰/۱۱	-۰/۶۱	-۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۷۷	۰/۳۵
عملکرد گل‌تر	۶۳۰/۰	۴۱/۰	۱۳۲/۰	۴۷/۱	۱۶/۴	-۲۸/۳	-۲۲/۳	۰/۰۰	۸۱/۹	۶/۴
عملکرد گل خشک	۳۱۹/۰	۲۶/۶	۷۸/۳	۲۸/۶	۲۵/۶	-۱۱/۱	-۱۸/۴	۰/۰	۵۳/۲	۳/۴
عملکرد دانه	۴۵۶/۰	۲۹/۴	۹۴/۲	۴/۸	-۵۴/۴	-۶۸/۰	-۶/۸	۰/۰	۵۸/۷	-۳۶/۹
عملکرد اقتصادی	۷۴۳/۰	۵۶/۱	۱۷۶/۷	۴۵/۶	-۲۴/۷	-۵۰/۸	۰/۰	۱۱۲/۲	-۲۵/۹	-۲۴/۷
عملکرد روغن	۱۴۸/۰	۱۰/۸	۳۲/۵	۱/۲	-۱۸/۸	۲۰/۲	-۰/۷	۰/۰	۲۱/۵	-۱۶/۰
درصد روغن	۳۲/۶	۰/۳۸	۰/۶۵	-۰/۲۶	-۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۷۷	-۰/۹۰

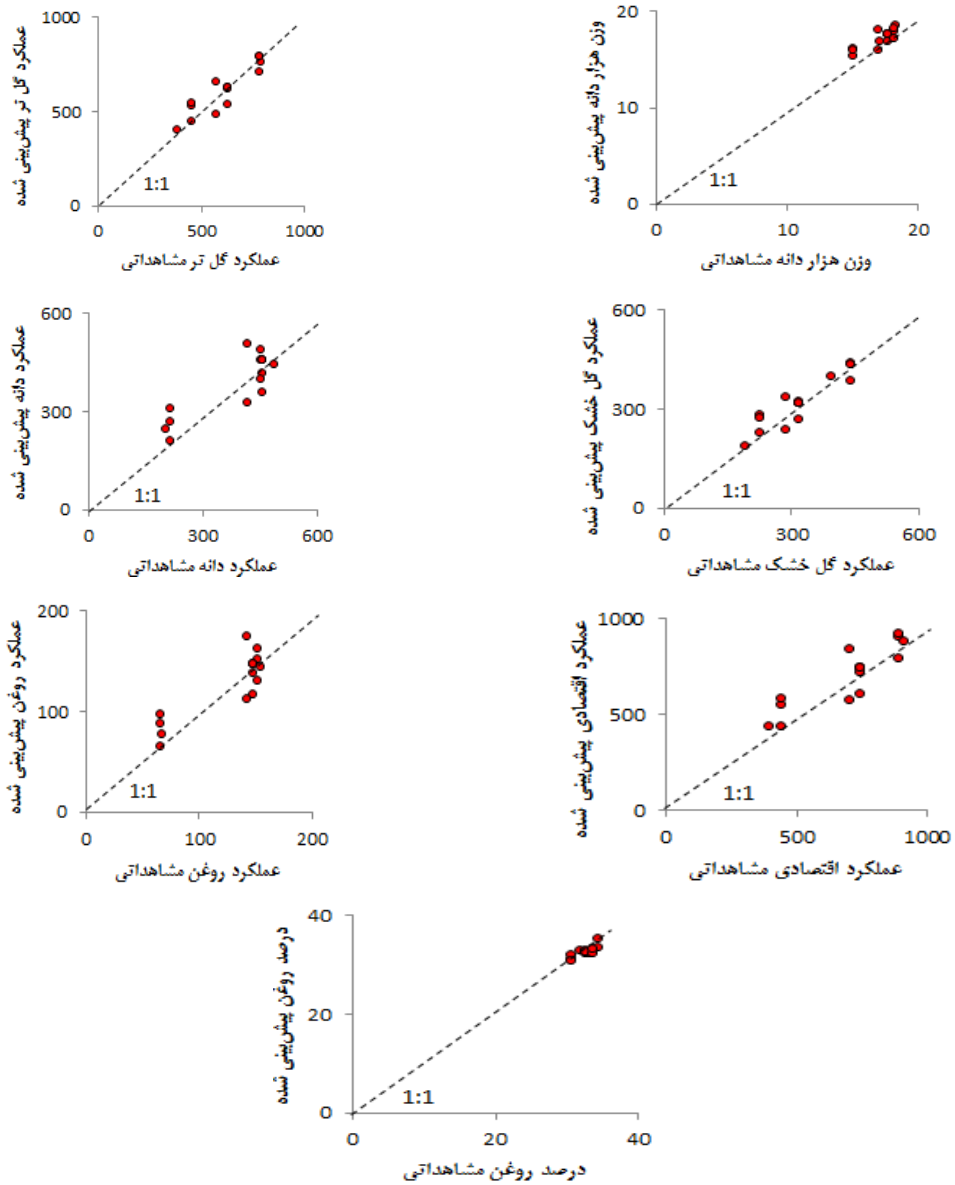
I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند

جدول ۴- نتایج آماره‌های مقادیر مشاهداتی در برابر نتایج معادله

$$Y=a_0+a_1I+a_2D+a_3Y+a_4I^2+a_5D^2+a_6Y^2+a_7ID+a_8IY+a_9DY$$

پارامتر	واحد	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R^2
وزن هزار دانه	گرم	۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۶۹/۷
عملکرد گل‌تر		-۰/۰۷	۰/۵۴	۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۸۲/۲
عملکرد گل خشک		۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۸۳/۰
عملکرد دانه	کیلوگرم بر هکتار	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۲/۷
عملکرد اقتصادی		-۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۸/۲
عملکرد روغن		۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۳/۹
درصد روغن	درصد	-۰/۰۷	۰/۷۳	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۶۴/۶

I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند



شکل ۳- نتایج مقادیر مشاهداتی در برابر مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط معادله

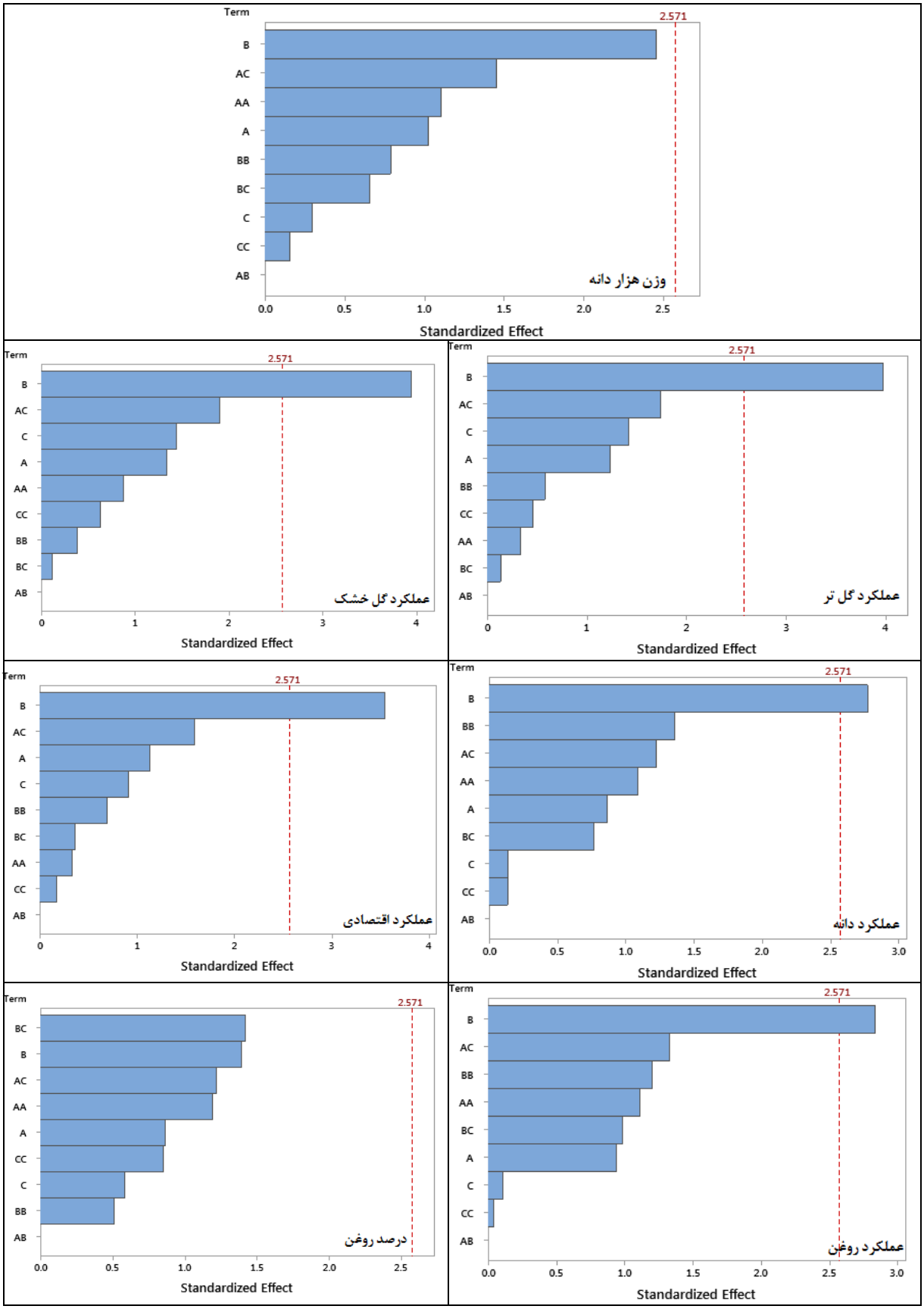
$$Y=a_0+a_1I+a_2D+a_3Y+a_4I^2+a_5D^2+a_6Y^2+a_7ID+a_8IY+a_9DY$$

I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند

اثر هرکدام از تیمارها بر پارامتر موردمطالعه در شکل (۴) نشان داده‌شده است. در بین تیمارهای آزمایش، نیاز آبی بیش‌ترین اثر را بر وزن هزار دانه داشت. پس‌ازآن، برهم‌کنش مرحله رشد و سال قرار داشت. مرحله رشد نسبت به سال اثر بیشتری بر وزن هزار دانه داشت. نیاز آبی بیشترین اثر را بر عملکرد گل خشک و تر داشت. برای این دو پارامتر، سال اثر بیشتری نسبت به مرحله رشد داشت؛ بنابراین نیاز آبی نسبت به مرحله رشد اثر بیشتری بر عملکرد گل تر و خشک داشت. این نتایج با مشاهدات محققان دیگر ازجمله دست برهان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمی و سپهری (۱۳۹۱)، یارمحمدی‌زهی و همکاران (۱۳۹۵) و قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت داشت. این محققان نیز گزارش کردند که نیاز آبی بر میزان عملکرد گل‌گاوزبان اثر بسیار مؤثری داشت. وضعیت عملکرد اقتصادی نیز مشابه عملکرد گل تر و خشک بود به‌طوری‌که تیمارهای نیاز آبی، برهمکنش مرحله رشد و سال، مرحله رشد و سال به ترتیب بیشترین اثر را داشتند. تیمار نیاز آبی بیشترین اثر را بر عملکرد دانه گل‌گاوزبان داشت. اثر مربع این تیمار، برهمکنش مرحله رشد و سال و اثر مربع مرحله رشد بیشترین اثر را بر عملکرد دانه گل‌گاوزبان داشتند. اثر ساده سال تأثیر بسیار کمی بر عملکرد دانه گل‌گاوزبان داشت. تفاوت اثر تیمارهای مختلف بر درصد روغن بسیار کمتر از سایر پارامترها بود. به همین دلیل اختلاف کمی بین اثر تیمارهای مقدار آب آبیاری، مرحله رشد و سال وجود داشت. علی‌رغم آن، نیاز آبی اثر بیشتری نسبت به دو پارامتر دیگر داشت و سال اثر کمی بر درصد روغن نشان داد. نیاز آبی اثر بسیار مشهودی بر عملکرد روغن داشت و اثربخشی آن نسبت به سایر تیمارها بسیار بیشتر بود. اثر ساده سال بر عملکرد روغن نسبت به سایر تیمارها بسیار کم بود. برهمکنش این تیمار با مرحله رشد و نیاز آبی اثر مشهودی بر عملکرد روغن داشت. برهمکنش مرحله رشد و نیاز آبی در همه پارامترها کم‌ترین اثر را داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأمین یکی از این دو پارامتر به‌تنهایی اثر مؤثرتری بر پارامترهای موردبررسی داشت. از بین این دو پارامتر، نیاز آبی اثر مؤثرتری بر تغییرات پارامترهای موردنظر داشت. به همین دلیل، افزایش یا کاهش مقدار این عامل، می‌تواند مقدار هرکدام از پارامترهای موردبررسی را به‌شدت تغییر دهد.

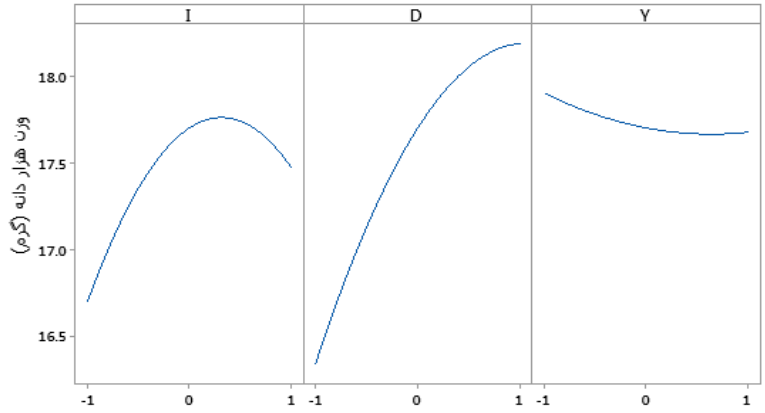
اثر ساده عوامل مرحله رشد، نیاز آبی و سال بر وزن هزار دانه در شکل (۵) نشان داده‌شده است. تغییرات مرحله رشد بر وزن هزار دانه به این صورت بود که حدفاصل بین تأمین آب در بازه ۱- و ۱ بیشترین اثر را بر وزن هزار دانه داشت؛ بنابراین هر چه تأمین آب در دوره گلدهی بیشتر باشد، وزن هزار دانه نیز بیشتر می‌شود. نیاز آبی نیز هر چه بیشتر بود، وزن هزار دانه بیشتری پیش‌بینی شد. در خشک‌سالی مقدار وزن هزار دانه بیشتر از ترسالی بود. با تأمین آب آبیاری در دو مرحله گلدهی و ساقه روی، وزن گل‌تر و خشک افزایش یافت (شکل‌های ۶ و ۷) با این تفاوت که وزن گل تر با شدت بیشتری به تأمین آب در این دو دوره واکنش نشان داد. این نتایج با مشاهدات دست برهان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمی و سپهری (۱۳۹۱) مطابقت داشت. اثر تأمین مقدار آب آبیاری بر هر دو پارامتر وزن گل‌تر و خشک به‌صورت صعودی بود و تفاوتی با یکدیگر نداشت. ترسالی سبب افزایش وزن گل‌تر و خشک شد. عملکرد دانه نسبت به مرحله رشد تغییرات سهمی شکل داشت (شکل ۸). بدین‌صورت که با تغییر مرحله رشد از ساقه روی به گلدهی میزان عملکرد دانه افزایش یافت. همچنین براساس طرح مربع مرکزی، با تأمین آب آبیاری در هر دو دوره ساقه روی و گلدهی میزان عملکرد دانه اندکی کاهش یافت. این تغییرات در تأمین نیاز آبی نیز مشاهده شد. با افزایش نیاز آبی عملکرد دانه افزایش یافت ولی در شرایط تأمین حداکثر آب آبیاری، اندکی عملکرد دانه کاهش یافت. براساس طرح مربع مرکزی، بین دو دوره ترسالی و خشک‌سالی تفاوت اندکی در عملکرد دانه مشاهده شد. عملکرد اقتصادی گل‌گاوزبان نسبت به تغییرات هر سه عامل مرحله رشد، نیاز آبی و سال واکنش مثبت داشت (شکل ۹). بااین‌وجود مقدار آب آبیاری اثر بیشتری بر عملکرد اقتصادی گل‌گاوزبان داشت. واکنش

عملکرد روغن نسبت به تغییرات مرحله رشد، نیاز آبی و سال مشابه عملکرد دانه گل‌گاوزبان بود (شکل ۱۰). برای این پارامتر، مقدار آب آبیاری بیشترین اثر را بر تغییرات عملکرد روغن گل‌گاوزبان داشت. این نتایج با مشاهدات کرمی و سپهری (۱۳۹۱) و قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت داشت. واکنش درصد روغن به تغییرات مرحله رشد به‌صورت سهمی بود (شکل ۱۱). برای این پارامتر، بیشترین مقدار در شرایطی به دست می‌آید که آب آبیاری در دوره گلدهی تأمین شود. مقدار آب آبیاری نیز باید به‌صورت کامل تأمین شود تا درصد روغن بیشتری به دست آید. همچنین در دوره خشک‌سالی درصد روغن بیشتری نسبت به دوره ترسالی به دست می‌آید.

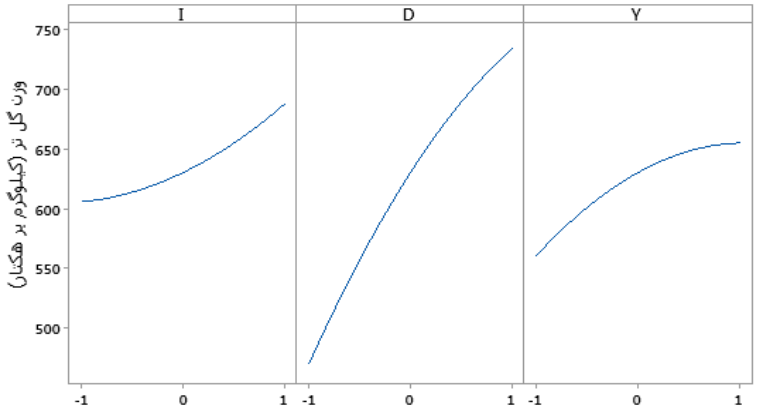


شکل ۴- اثر هرکدام از تیمارها بر پارامترهای مورد مطالعه

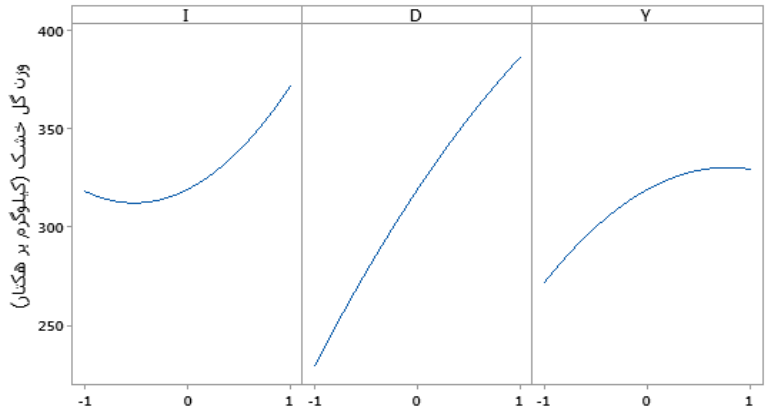
(A، B و C به ترتیب نشان‌دهنده مرحله رشد، نیاز آبی و سال)



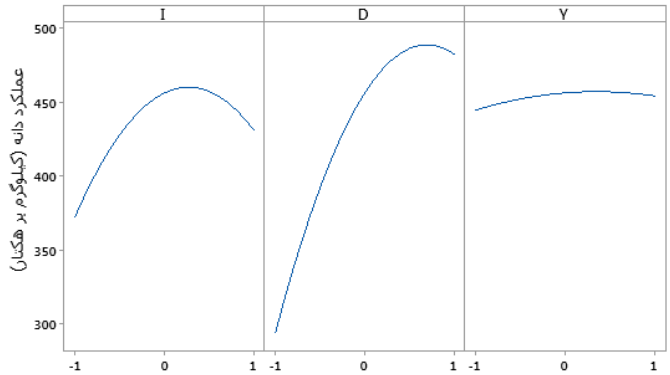
شکل ۵- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن هزار دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



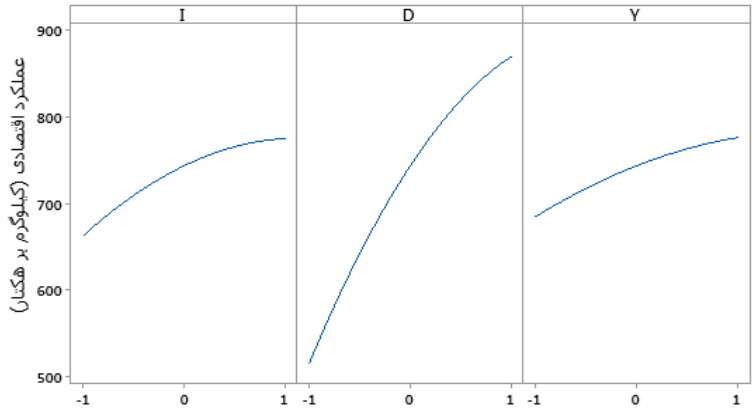
شکل ۶- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن گل‌تر (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



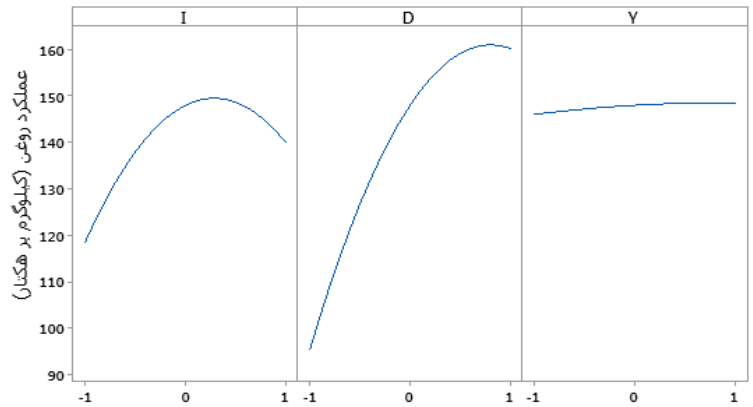
شکل ۷- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن گل خشک (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



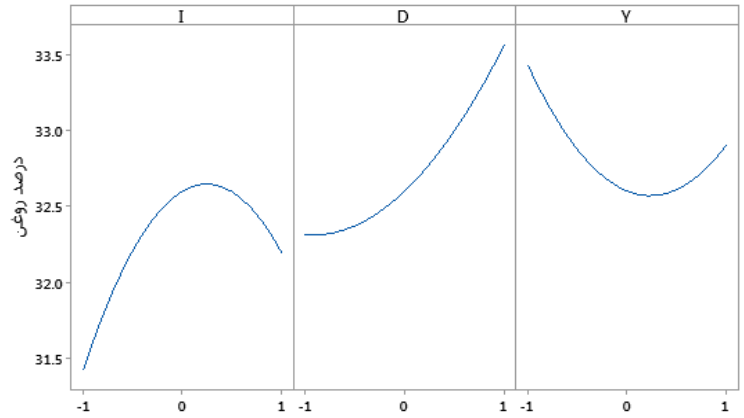
شکل ۸- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۹- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد اقتصادی (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

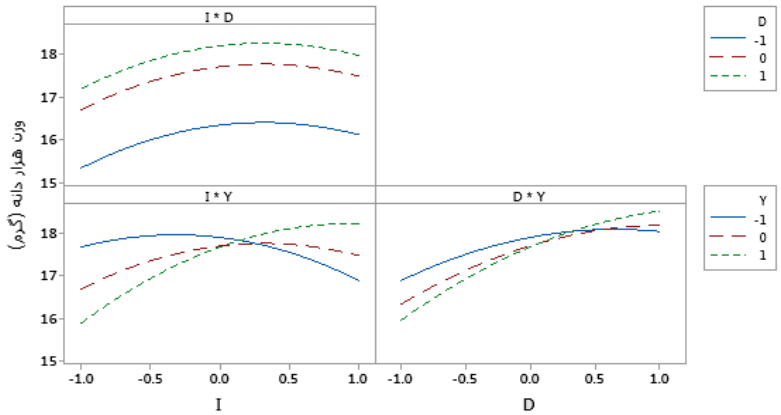


شکل ۱۰- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد روغن (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

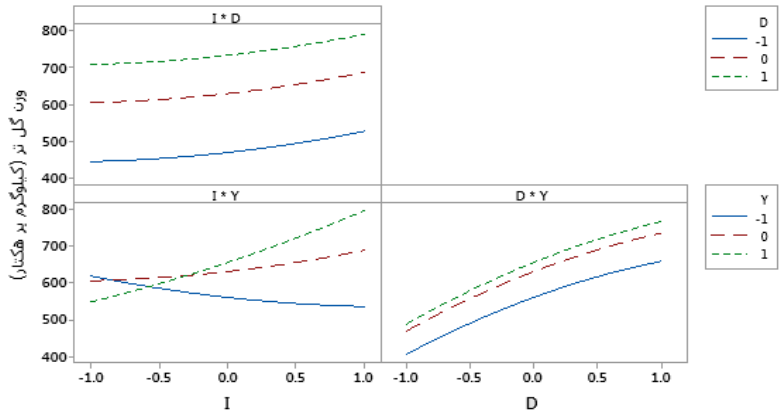


شکل ۱۱- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر درصد روغن (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

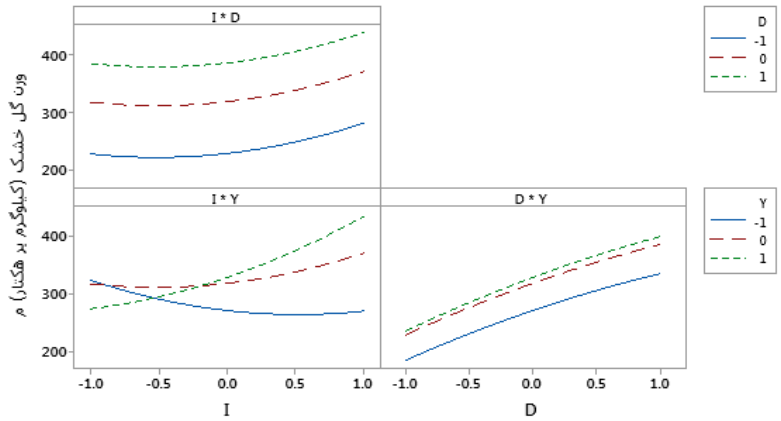
اثر متقابل مرحله رشد و نیاز آبی نشان داد که تأمین بیشترین نیاز آبی در دوره‌های ساقه روی و گلدهی سبب افزایش وزن هزار دانه گل‌گاوزبان می‌شود (شکل ۱۲). دوره خشکسالی اگر در زمان ساقه روی گل‌گاوزبان باشد وزن هزار دانه بیشتر می‌شود. هرچقدر تأمین آب در این دوره کمتر باشد، وزن هزار دانه بیشتر است. در دوره گلدهی نیاز است وضعیت ترسالی وجود داشته باشد تا وزن هزار دانه مقدار قابل‌قبولی باشد. تفاوت چندانی بین تأمین نیاز آبی در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی وجود نداشت و در هر دو سال، با تأمین بیشتر آب آبیاری، وزن هزار دانه افزایش یافت. اثر متقابل تیمارها بر وزن گل‌تر و خشک مشابه هم بود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). با افزایش نیاز آبی در هر مرحله رشد، وزن گل‌تر و خشک افزایش یافت. وجود ترسالی در دوره‌های ساقه روی و گلدهی سبب افزایش وزن گل‌تر و خشک شد ولی وجود ترسالی یا خشک‌سالی در زمان ساقه روی اثر چندانی بر وزن گل‌تر و خشک نداشت. افزایش آبیاری در دوره ترسالی سبب افزایش وزن گل‌تر و خشک شد. تفاوت بین دو مقدار D=1 و D=0 چندان زیاد نبود؛ بنابراین با در نظر گرفتن دوره یکسان برای آبیاری، تأمین نصف نیاز آبی گیاه نیز کفایت می‌کند. تغییرات عملکرد دانه و اقتصادی نیز مشابه هم بود (شکل‌های ۱۵ و ۱۶). برای هر دو پارامتر مذکور، افزایش آبیاری در هر مرحله رشد سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد. با این تفاوت که برای عملکرد دانه، تفاوت بین تأمین کامل نیاز آبی گیاه تقریباً برابر با تأمین نصف نیاز آبی گیاه بود. وجود دوره ترسالی در زمان گلدهی و ساقه روی سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد. تأمین کامل آب آبیاری در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد؛ بااین‌وجود اثر آن دو دوره ترسالی بیشتر بود.



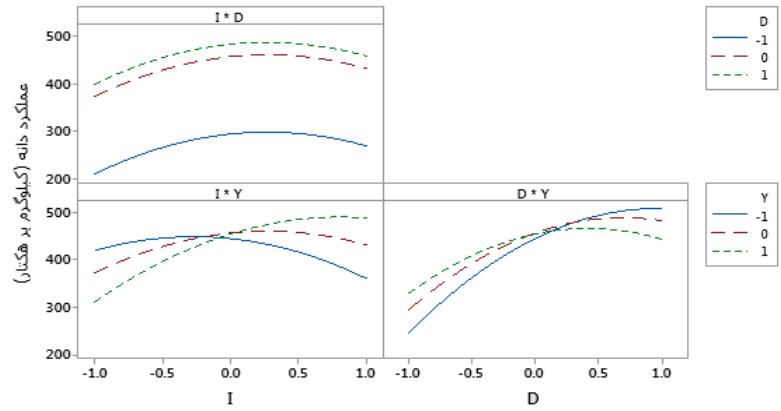
شکل ۱۲- اثر متقابل تیمارها بر وزن هزار دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



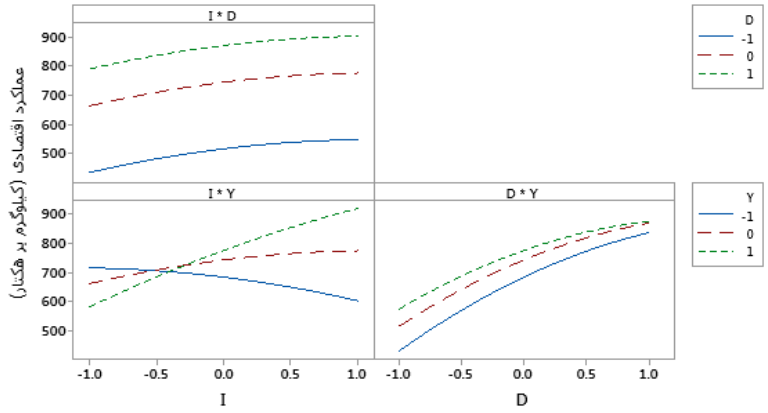
شکل ۱۳- اثر متقابل تیمارها بر وزن گل‌تر (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۱۴- اثر متقابل تیمارها بر وزن گل خشک (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

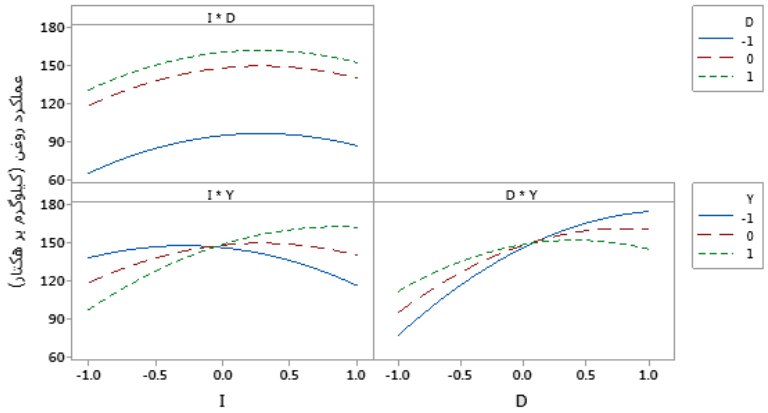


شکل ۱۵- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

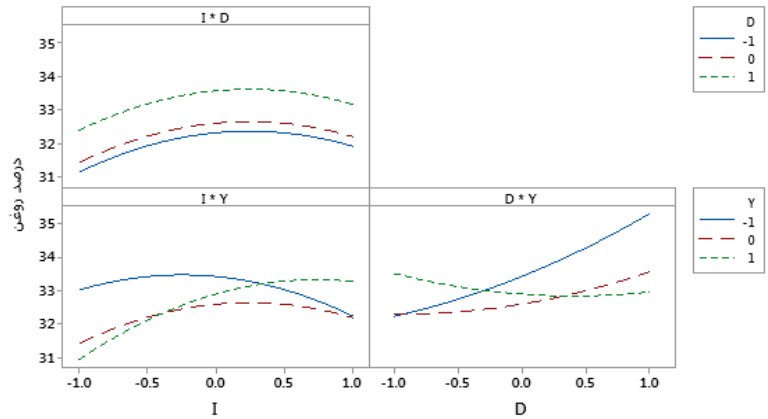


شکل ۱۶- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد اقتصادی (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

عملکرد روغن (شکل ۱۷) و درصد روغن (شکل ۱۸) در زمان تأمین کامل نیاز آبیاری به بیشترین مقدار خود رسیدند. تأمین نصف نیاز آبی اثر کمی بر کاهش عملکرد روغن داشت ولی درصد روغن را به‌شدت کاهش داد. وجود ترسالی در دوره‌های گلدهی و ساقه روی سبب افزایش عملکرد شد. از طرفی، بیشترین درصد روغن در شرایط خشکسالی در دوره ساقه روی به دست آمد. تأمین کامل آب آبیاری در دوره ترسالی سبب افزایش عملکرد روغن شد ولی درصد روغن را کاهش داد. بیشترین درصد روغن در شرایط خشک‌سالی به دست آمد.



شکل ۱۷- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد روغن (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۱۸- اثر متقابل تیمارها بر درصد روغن (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

مقادیر بهینه پارامترهای موردمطالعه توسط مدل طرح مرکب مرکزی تعیین شد (جدول ۵). این مقادیر برای همه پارامترها از مقدار مشاهداتی بیشتر بود. در نتیجه ترکیب تیمارهای بررسی‌شده در طرح آزمایشی نتوانسته بود مقدار حداکثری را برای این پارامترها به دست آورد. مقدار وزن هزار دانه در شرایط بهینه برابر با ۱۸/۹ گرم به دست آمد. مقادیر عملکرد گل خشک، عملکرد گل‌تر، عملکرد دانه و عملکرد اقتصادی نیز به ترتیب برابر با ۴۶۸، ۸۵۸، ۴۸۶ و ۹۸۳ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. عملکرد روغن برابر با ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار و درصد روغن نیز برابر با ۳۳/۵ درصد تعیین شد. برای وزن هزار دانه، لازم است آبیاری در دوره ترسالی و با تأمین کامل نیاز آبیاری انجام شود. با مراجعه به شکل‌های (۵) و (۱۰)، برای این پارامتر، دور آبیاری باید شامل تأمین آب آبیاری در دوره گلدهی و در نظر گرفتن دوره ساقه روی باشد. با این شرایط که تأمین آب در دوره ساقه روی به میزان حداکثر نیاز نیست. عملکرد گل‌تر و خشک و عملکرد اقتصادی با تأمین کامل آب آبیاری در هر دو دوره گلدهی و ساقه روی و در ترسالی باشد. علت اختلاف بین مقادیر حداکثر و بهینه برای این تیمارها، در نظر گرفتن اثر تیمارهای مختلف بر سایر پارامترهای گیاه است. برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، لازم است آبیاری با ۹۵ درصد نیاز آبی گیاه در خشکسالی انجام شود. برای دستیابی به مقدار بهینه عملکرد روغن و درصد روغن لازم است تأمین کامل آب آبیاری در زمان خشکسالی انجام شود. برای این دو پارامتر بهتر است زمان آبیاری در دوره ساقه روی باشد. به‌منظور تعیین مقدار بهینه همه پارامترها، چهار سناریو برای طرح مرکب مرکزی تعیین شد. در سناریوی ۱، وزن همه پارامترها یکسان، در سناریو ۲، وزن عملکرد برای همه پارامترها برابر ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر یک، در سناریو ۳، وزن درصد و عملکرد روغن برابر ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر با یک و در سناریو ۴، وزن عملکرد گل خشک، گل‌تر و روغن و درصد روغن برابر با ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر با یک در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده برای سناریوهای ۱، ۲ و ۴ تقریباً مشابه بود. در این سناریوها، تأمین ۸۸ درصد آب آبیاری در دوره ترسالی و در دوره گلدهی و اواخر دوره ساقه روی لازم است. در سناریو ۳ که دستیابی به روغن مهم‌تر از سایر اجزا است، آبیاری کامل در خشکسالی و زمان ساقه روی لازم است.

جدول ۵- مقادیر بهینه پارامترهای موردبررسی و سناریوهای ارائه‌شده

پارامتر	واحد	حداکثر مقدار مشاهداتی	مقدار بهینه	نیاز آبی	مرحله رشد	سال
				I	D	Y
وزن هزار دانه	گرم	۱۸/۳	۱۹	۰/۹۳	۱	۱
عملکرد گل‌تر		۷۸۶	۹۰۴	۱	۱	۱
عملکرد گل خشک		۴۴۰	۵۰۵	۱	۱	۱
عملکرد دانه	کیلوگرم بر هکتار	۴۸۶	۵۱۱	-۰/۲۷	۰/۹۵	-۱
عملکرد اقتصادی		۹۱۱	۱۰۱۹	۱	۱	۱
عملکرد روغن		۱۵۵	۱۷۵	-۰/۲۹	۱	-۱
درصد روغن	درصد	۳۴/۵	۳۵	-۰/۲۵	۱	-۱
سناریو ۱	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۸	۱
سناریو ۲	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۹	۱
سناریو ۳	-	-	-	-۱	۱	-۱
سناریو ۴	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۹	۱

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد رگرسیون برازش داده‌شده برای پیش‌بینی وزن هزار دانه، عملکرد گل‌تر، عملکرد گل خشک و درصد روغن توسط طرح مرکب مرکزی دقت عالی و برای پیش‌بینی سایر پارامترها دقت خوب داشت. مقادیر بهینه عملکرد دانه، عملکرد روغن و

درصد روغن در شرایط خشکسالی و مقادیر بهینه سایر پارامترها در شرایط ترسالی به‌دست آمد. اختلاف معنی‌داری بین زمان آبیاری برای تعیین مقدار بهینه پارامترها مشاهده شد. برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، لازم است آبیاری با ۹۵ درصد نیاز آبی گیاه در خشکسالی انجام شود. برای دستیابی به مقدار بهینه عملکرد روغن و درصد روغن لازم است تأمین کامل آب آبیاری در زمان خشکسالی انجام شود. با در نظر گرفتن مقدار بهینه برای همه پارامترها، اگر درصد و عملکرد روغن اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها داشته باشد، تأمین ۸۸ درصد آب آبیاری در ترسالی و برای دوره گلدهی و نیمی از دوره ساقه روی لازم است؛ بنابراین، براساس نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود که برای دستیابی به حداکثر عملکرد و درصد روغن، تأمین کامل نیاز آبیاری در خشکسالی و در دوره ساقه روی می‌بایست در نظر گرفته شود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، احمدی. م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFSOT، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی. ۱۳(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.

۲. احمدی، م.، خاشعی‌سیوکی، ع.، سیاری، م. ح. ۱۳۹۵. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (Crocus sativus L) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده. بوم شناسی کشاورزی. ۸(۴-۴): ۵۲۰-۵۰۵.

۳. احمدی، م.، قنبرپوری، م.، اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدلAquaCrop . مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۱): ۳۰-۱۵.

۴. اکبری‌نیا، ا. کرامتی طرقی، م. هادی تواتری، م. ح. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر دور آبیاری بر عملکرد گل گاوزبان ایرانی Echiumamoenum Mey& Fisch. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۶. ۱۲۸-۱۲۲.

۵. اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ.، احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲-۱۰): ۶۴-۵۳.

۶. بی‌نام، ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات ، وزارت جهاد کشاورزی.

۷. خاشعی‌سیوکی، ع.، هاشمی، س. ر.، احمدی، م. ۱۳۹۵. کاربرد تاگوچی در ارزیابی سبز شدن زعفران (Crocus sativus L) تحت تأثیر زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری. پژوهش‌های زعفران. ۴(۲): ۲۷۸-۲۶۶.

۸. عبدالهی مایوان، م.، خرمدل، س.، کوچکی، ع.، و قربانی، ر. ۱۳۹۷ .ارزیابی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی (Borago .L officinalis) تحت تأثیر مقادیر آبیاری و تراکم بوته. بوم شناسی کشاورزی، ۱۰ (۲).۳۳۹-۳۲۷.

۹. قلی‌نژاد، ر. فاخری، ب. و سیروس مهر، ع.ر. ۱۳۹۵. ارزیابی رژیم آبیاری و کودهای آلی برعملکرد کمی و کیفی گاوزبان (Borago officinalis L.). نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰ (۳).۳۹: ۶۹۶-۶۸۳.

۱۰. کرمی، ا. سپهری، ع. حمزه یی ، ج. و سلیمی، ق. ۱۳۹۰. تاثیر کودهای زیستی فسفر و نیتروژن بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی گاوزبان (. Borago officinalis L) تحت تنش کمبود آب. فن آوری تولیدات گیاهی. ۱۱(۱). ۵۰-۳۷.

۱۱. یارمحمدزهی، ن. و سیروس مهر، ع. و خمری، ع .۱۳۹۵. اثرات تنش خشکی و نانوکودها بر صفات مورفولوژیکی و فلورسانس کلروفیل گاوزبان اروپایی،دومین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، اردبیل.

12. Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Hashemi, S. R., 2014. The effect of magnetic water and calcific and potasic zeolite on the yield of Lepidium Sativum L, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(6): 2051-2060.
13. Albaji, M., Boroomand Nasab, S., Golabi, M., Ahmadee, M. 2015. Application Possibilities of Different Irrigation Methods in Hofel Plain, 25(1): 13-23.
14. Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. Powder Technology 86: 769–776.
15. Box, G.E.P. and Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Annals of Mathematical Statistics. 28(1): 195-241.
16. Dastborhan, S., Ghassemi-Golezani, K., and Zehtab-Salmasi, S. 2013. Changes in morphology and grain weight of borage (Borago officinalis L.) in response to seed priming and water limitation. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(3): 313-317.
17. Marie, T. A. S. 2015.Calculation of crop water requirements uses CROPWAT. FAO. CROPWAT.8. Training course on Agronomic and engineering aspects of adaptation to climate change in Mediterranean agriculture.
18. Mehrabani, M., Shams-Ardakani, M., Ghannadi, A.R., Ghassemi Dehkordi, N. and Sajjadi, E., 2005. Production of rosmarinic acid in Echium amoenum Fisch & C.A. Mey. Cell cultures. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2: 111-115.
19. Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2009. Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization. Second edition, John Wiley and Sons, New York, 853p.

Determining the Optimal Amount of Irrigation Water for Borage at Different Growth Stages Using a Central Composite Design

P. Shahinrokhsar[1] and A. Egdernezhad

Assistant Professor, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran. **pshahinrokhsar@yahoo.com**

Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. **a_eigder@ymail.com**

Received: April 2021, and Accepted: June 2022

Abstract

Despite Gilan Province being a rainy region in Iran, inappropriate distribution of rainfall during the growing season has a negative impact on the growth of crops, including borage. This study was conducted to determine the proper irrigation regime for borage at different stages of growth. For this purpose, fifteen field experiments, based on 15 combinations obtained from the Central Composite Design, were conducted using high and low levels of treatments including water requirement (without irrigation (I1) and full water supply (I2)), two growth stages (stem elongation (D1), stem elongation and flowering (D2)), and two years with different rainfall (drought (Y1) and wet season (Y2)). The experiments were performed in Giulan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center located in Rasht. Irrigation and stage of growth had the most and the least effects on borage yield and growth parameters, respectively. Dry season increased the grain yield, oil yield and oil percentage, while other parameters reached their maximum value in wet year. The value of 1000-seed weight for D2 was equal to 18.9 g, and the values of dried flower yield, fresh flower yield, seed yield, and economic yield are equal to 468, 858, 486 and 983 $kg.ha^{-1}$, respectively. Oil yield and oil percentage for D2 were equal to 160 $kg.ha^{-1}$ and 33.5%, respectively. Considering the optimal levels for all parameters based on the interpolation of factor values in the central composite design, if the percentage and yield of oil is less important than the other parameters, it is necessary to provide 88% of irrigation water for the stem and flowering stages in the wet season. In order to achieve maximum yield and oil content, full supply of irrigation needs in dry season and in the stem stage should be considered.

Keywords: Wet season, flowering stage, Oil yield, Grain yield

[1] - Corresponding author: Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran.