بهزراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۳۸۸-۳۷۳

تأثیر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، عملکرد و کیفیت دانه کنجد در شرایط آبیاری محدود

کامیار کاظمی[۱]، محمد خواجه حسینی[۲]*، احمد نظامی[۳] و حمداله اسکندری[۴]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد – ایران
۳. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران
۴. دانشیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران - ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۲

چکیده

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ (شامل هیدروپرایمینگ، محلول ۱۰ درصد پلی‌اتیلن گلیکول، محلول ۲۰ درصد پلی‌اتیلن گلیکول، محلول ۲/۵ درصد کلرید کلسیم، محلول ۵ درصد کلرید کلسیم، محلول ۵۰ میلی‌مولار سولفات روی، محلول ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات روی و بدون پرایمینگ) بر جوانه‌زنی بذر کنجد بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بذور پرایم شده با سولفات روی (۵۰ میلی‌مولار) دارای بالاترین درصد جوانه‌زنی بودند، حال آنکه سرعت جوانه‌زنی بالا در هیدروپرایمینگ به‌دست آمد. در شرایط مزرعه‌ای تأثیر پرایمینگ بذر و سطوح آبیاری بر رشد و عملکرد کنجد به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ای واقع در شمال غربی شهرستان شادگان مورد بررسی قرار گرفت. کرت‌های اصلی شامل سطوح آبیاری (آبیاری پس از ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و کرت‌های فرعی هشت سطح پرایمینگ بذر (مشابه آزمون مقدماتی) بودند. بیشترین ارتفاع بوته در محلول ۵ درصد کلرید کلسیم و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کمترین ارتفاع در سطح عدم پرایمینگ و آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. بیشترین و کمترین وزن هزاردانه نیز به ترتیب در هیدروپرایمینگ با فاصله آبیاری ۱۵۰ و در تیمار شاهد پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر اندازه‌گیری شد. بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، عملکرد روغن، درصد روغن و کمترین درصد پروتئین نیز در تیمار هیدروپرایمینگ به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: درصد پروتئین، درصد روغن، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، گیاهچه

---

* نویسنده مسئول Email: saleh@ferdowsi.um.ac.ir

۱. مقدمه

یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود منابع آبی است که محدوده تأمین سایر منابع و همچنین کارآیی مصرف آنها را نیز متأثر می‌سازد [۳۷]. این محدودیت‌ها می‌توانند به علل مختلف از جمله شرایط خشک منطقه که فراهمی آب‌های سطحی را محدود می‌سازد، کشت چندین گیاه در یک فصل زراعی و همچنین بالا بودن هزینه انتقال آب ایجاد شود [۴۹]. باتوجه به کمبود منابع آبی، در شرایط کشت همزمان چند گیاه زراعی، در بسیاری از مناطق لازم است آب موجود جهت آبیاری تنظیم شود که این امر موجب آبیاری ناکافی می گردد. بنابراین، جهت به‌دست آوردن حداکثر محصول از واحد سطح، استفاده کارآمد از آب در دسترس و جلوگیری از اتلاف آن ضروری است. به عبارت دیگر، دستیابی به عملکرد مطلوب، نیازمند تعیین برنامه آبیاری مناسب است [۳]. در برنامه‌های آبیاری، یکی از مفیدترین روش‌ها استفاده از تشتک تبخیر است، زیرا علاوه بر هزینه کم و کاربرد آسان، یکی از مناسب‌ترین سیستم‌ها برای تعیین رابطه بین گیاه، آب و اقلیم می‌باشد [۵۳].

دانه‌های روغنی جهت تغذیه انسان و همچنین تولید مواد فرعی مورد استفاده در تغذیه دام از اهمیت زیادی برخوردار هستند. روغن این گیاهان، به لحاظ اهمیت در ترکیب مواد غذایی، جزء مواد اولیه اساسی هر کشور محسوب می‌شود [۱۳]. با توجه به اینکه قسمت اعظم روغن مورد نیاز کشور از خارج وارد می‌شود [۱۰] و همچنین محدودیت منابع آب، توسعه کشت دانه‌های روغنی مقاوم به کمبود آب ضروری است.

کنجد (*Sesamum indicum* L.) از جمله این گیاهان می‌باشد که به علت محتوای بالا (۵۲-۴۷ درصد) و کیفیت مناسب (میزان کم کلسترول و وجود برخی آنتی‌اکسیدان‌ها) روغن دانه‌های آن، نقش مهمی در سلامت انسان دارد [۳، ۳۰، ۳۵ و ۴۰]. با این حال، ریز بودن بذر کنجد ممکن است جوانه‌زدن و ظهور گیاهچه در مزرعه، به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت، را تحت تأثیر قرار دهد. این در حالی است که لازمه حصول عملکرد دانه مناسب، دستیابی به تراکم مطلوب از طریق سبز شدن و استقرار مناسب گیاهچه می‌باشد.

استفاده از بذور با کیفیت بالا نقش مهمی در عملکرد نهایی محصولات زراعی دارد، زیرا جوانه‌زنی، به عنوان اولین و یکی از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاهان زراعی، در صورتی با موفقیت پشت سر گذاشته می‌شود که از بذور با کیفیت بالا استفاده شود. به‌طورکلی، کیفیت بذر می‌تواند عملکرد گیاهان زراعی را به دو طریق تحت تأثیر قرار دهد. بذوری که کیفیت بالایی دارند، درصد جوانه‌زنی و به تبع آن، درصد سبز شدن بالایی نیز دارند. بنابراین، گیاهچه‌ها سریع‌تر در مزرعه استقرار پیدا می‌کنند و قوی‌تر نیز خواهند بود. دیگر آنکه، بوته‌های حاصل از بذور با کیفیت، دارای سرعت رشد بیشتر هستند که به طور مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی تأثیر دارد [۲۶]. در گیاهانی نظیر کنجد که قابلیت پنجه‌زنی ندارند، کیفیت اولیه بذور نقش مهمی در دستیابی به تراکم مطلوب دارد.

پرایمینگ بذر یکی از روش‌های بهبود جوانه‌زنی بسیاری از گیاهان زراعی از جمله سبزیجات و گیاهان زراعی دانه‌ریز، به‌ویژه در شرایط محیطی نامساعد می‌باشد [۲۱]. در طی فرایند پرایمینگ، به بذر تا اندازه‌ای اجازه جذب آب داده می‌شود که فرایندهای متابولیکی پیش از جوانه‌زنی فعال شوند ولی خروج ریشه‌چه از بذر رخ ندهد. بر این اساس، به دلیل اینکه بذر بخشی از مراحل جوانه‌زنی را قبلاً طی کرده است، زمانی‌که در مزرعه کاشته می‌شود، زودتر جوانه می‌زند [۲]. در نتایج دیگر تحقیقات، به بهبود جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه با به‌کارگیری

تیمارهای مناسب آماده‌سازی بذر اشاره شده است [۳۵، ۴۵، ۴۶ و ۴۸]. بذرهای تیمار شده می‌توانند خیلی سریع آب جذب کرده و متابولیسم خود را شروع نمایند. این امر باعث جوانه‌زنی بیشتر، کاهش غیریکنواختی فیزیولوژیکی طبیعی و ذاتی جوانه‌زنی، بهبود استقرار پوشش گیاهی، افزایش تحمل به کمبود آب و افزایش عملکرد می‌شود [۹ و ۱۳].

استفاده از محلول‌های نمکی برای آماده‌سازی بذر به بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه کمک می‌کند. این محلول‌ها باید در غلظت‌های بالا و دوره‌های آماده‌سازی طولانی‌مدت به کار گرفته شوند [۳۴]. با این حال، غلظت‌های پایین و دوره‌های کوتاه‌مدت آماده‌سازی با استفاده از محلول‌های نمکی نیز بر جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه در مزرعه تأثیر مثبت دارد [۴۲]. آماده‌سازی بذر جو با محلول‌های حاوی روی و فسفر مزایای زیادی برای گیاه دارد، به‌طوری‌که باعث تحریک رشد گیاهچه شده و افزایش توانایی گیاه در افزایش جذب فسفر خاک می‌شود [۵۸]. آماده‌سازی بذور کنجد نیز با محلول‌های نمکی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود [۱۲].

اگرچه کنجد معمولاً به عنوان یک گیاه مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود، اما میزان فراهمی آب آبیاری بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که افزایش فاصله زمان آبیاری تا ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به آبیاری کامل تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کنجد نداشت [۱۴]، ولی محدودیت آب منجر به کاهش رشد و عملکرد کنجد شد [۳۹]. کمبود آب در مرحله رشد رویشی می‌تواند عملکرد کنجد را به دلیل کاهش ارتفاع بوته حتی تا نصف تقلیل دهد [۳۱]. به‌کارگیری شش رژیم آبیاری در کنجد بدون حذف هیچ‌کدام از دورهای آبیاری، بیشترین عملکرد را به همراه بالاترین کارآیی مصرف آب داشت [۲۴]. از طرف دیگر، محدودیت آب بر کیفیت دانه گیاهان دانه روغنی دارد، به‌طوری‌که در گلرنگ، تنش خشکی تولید روغن را کاهش داد [۵]. همچنین تنش خشکی ملایم در کلزا تأثیر کمی بر درصد روغن دانه دارد، ولی در تنش شدید خشکی، درصد روغن دانه به شدت کاهش پیدا می‌کند [۱۱].

کم‌آبیاری می‌تواند به عنوان یکی از روشهای مدیریتی مناسب جهت صرفه‌جویی در آب درنظر گرفته شود. از آنجا که مشکل بسیاری از مناطق کشور که از نظر اقلیمی دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و با کمبود باران مواجه هستند، محدودیت آب می‌باشد، با انجام تحقیقات و مطالعات آبیاری محدود می‌توان حد بهینه کاهش مصرف آب در مناطق خشک و کم‌آب را تعیین نمود و درنتیجه راندمان کاربرد آب را افزایش داد. بر این اساس و با درنظر گرفتن تأثیر پرایمینگ بر افزایش کیفیت بذر و باتوجه به عدم بررسی اثرات آماده‌سازی بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد کنجد در شرایط آبیاری محدود، هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین پاسخ خصوصیات جوانه‌زنی بذر، عملکرد و کارآیی مصرف آب کنجد به پیش‌تیمارهای مختلف پرایمینگ در سطوح متفاوت آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در آزمایش مقدماتی به منظور بررسی اثر پیش‌تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد آزمونی تحت شرایط کنترل شده دمایی و رطوبتی (دمای ۲ ±۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۲ درصد و تاریکی) بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار طراحی شد [۲]. سطوح پرایمینگ بذر شامل هیدروپرایمینگ، محلول ۱۰ درصد پلی‌اتیلن گلیکول، محلول ۲۰ درصد پلی‌اتیلن گلیکول، محلول ۲/۵ درصد کلریدکلسیم، محلول ۵ درصد کلرید کلسیم، محلول ۵۰ میلی‌مولار سولفات روی، محلول ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات روی و تیمار شاهد

(بدون پرایمینگ) بود. جهت اعمـال تیمارهـای پرایمینـگ، بذور به مدت ۱۲ ساعت در هر یک محلول‌های ذکر شده قرار گرفتند [۱۲]. سپس، بذور توسـط آب مقطـر شستشـو شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتـاق قـرار داده شـدند تا رطوبت بذرها کاملاً خارج و به سـطح رطـوبتی قبـل از اعمال پرایمینگ برگردانده شدند. برای ارزیابی جوانـه‌زنـی بذور پیش‌تیمار شده کنجد، ۵۰ عدد بـذر از هـر تیمـار در داخل پتری‌دیش‌های شیشه‌ای (با قطر ۹۰ میلی‌متر) بـین دو لایه کاغذ حوله‌ای قرار داده شدند. سپس، ۱۰ میلی‌لیتـر آب مقطر به پتری‌دیش اضافه و برای جوانه‌زنـی بـه ژرمینـاتور منتقل شدند. بذور به صـورت روزانـه مـورد بازدیـد قـرار گرفتند و ظهور ریشه‌چه بـه طـول ۲ میلی‌متـر بـه عنـوان شاخص جوانه‌زدن بذور درنظـر گرفتـه شـد [۳۳]. پـس از گذشت ۱۰ روز از شروع آزمایش خصوصیات جوانـه‌زنـی بذر کنجد، شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشـک ریشـه‌چـه، وزن خشـک سـاقه‌چـه، وزن خشـک گیاهچه، طول ساقه‌چه، طـول ریشـه‌چـه و طـول گیاهچـه اندازه‌گیری شدند [۵۲]. سرعت جوانه‌زنی بذور با اسـتفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۲]:

$$R = \Sigma n / \Sigma(D.n) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، n تعداد بذور جوانـه زده در روز D و D تعداد روز از شروع آزمون می‌باشند.

به منظور انجام آزمون تکمیلی، آزمایشـی مزرعـه‌ای در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ای واقع در شـمال غربـی شهرستان شادگان در استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیـایی ۳۰ درجـه و ۱۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا بـه صـورت کرت‌های خرد شده بر پایه طـرح بلـوک‌هـای تصـادفی بـا چهار تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شـامل رژیـم‌هـای آبیاری در دو سطح ۱۵۰ (I_1) و ۲۵۰(I_2) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کرت‌های فرعی شـامل سـطوح تیمارهـای پرایمینگ بذر (مشـابه آزمـون تحـت شـرایط آزمایشـگاه) بودند. پس از آماده‌سازی زمـین و پـیش از کاشـت بـذور، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه آزمایشی تهیه شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، بافت خـاک سـیلتی لـوم و pH = ۷/۳ تعیین گردید. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک بـا متوسـط دمـای سـالانه ۲۸/۸ درجـه سـانتی‌گـراد اسـت. اطلاعـات هواشناسی حاصل از ایستگاه هواشناسی موجـود در محـل آزمایش در جدول (۱) و برخـی خصوصـیات شـیمیایی و فیزیکی خاک محـل اجـرای آزمـایش در جـدول (۲) درج شده است.

جدول ۱ . اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول فصل رشد طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

ماه	بارندگی (mm)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)	میانگین رطوبت نسبی (٪)
تیر	–	۲۶/۸	۴۸/۶	۲۵/۰
مرداد	–	۲۴/۶	۴۷/۲	۲۵/۰
شهریور	–	۲۲/۲	۴۷/۶	۳۱/۰
مهر	–	۱۴/۰	۶/۰	۲۸/۰

جدول ۲ . برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	وزن مخصوص ظاهری ($gr.cm^{-3}$)	ظرفیت مزرعه (٪)	اسیدیته	بافت	وزن مخصوص حقیقی ($gr.cm^{-3}$)	مواد آلی (٪)	EC ($ds.m^{-1}$)
۰-۳۰	۱/۴۶	۲۵/۲۳	۷/۳	لوم سیلتی	۲/۶۵	۰/۵۱	۱/۸۸
۳۰-۶۰	۱/۴۶	۲۵/۲۹	۷/۲	لوم سیلتی	۲/۶۵	۰/۴۸	۱/۷۶
۶۰-۹۰	۱/۴۶	۲۵/۲۶	۷/۳	لوم سیلتی	۲/۶۵	۰/۴۸	۱/۷۵

گندم، محصول قبلی مزرعه در سال اجرای آزمایش بود که پس از برداشت آن، زمین مورد نظر در اوایل تیرماه آبیاری و پس از رسیدن به وضعیت گاورو شخم زده شد. پیش از کاشت، جهت جمع‌آوری بقایا از دندانه استفاده شد. سپس عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم (هر کدام به میزان ۷۵ کیلوگرم خالص در هکتار) [۳۷] به خاک اضافه و به کمک دیسک کاملاً با خاک مخلوط گردید. هر کرت فرعی شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۶ متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر [۱] و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر درنظر گرفته شد. بذر کنجد مورد استفاده توده محلی شادگان بود. پیش از کاشت بذور تحت تیمار پرایمینگ قرار گرفتند و سپس با تراکم بالا کشت شدند تا از سبز شدن آنها اطمینان حاصل شود. پس از استقرار گیاهچه‌ها (ابتدای مرحله ۴ برگی) کرت‌های فرعی تا تراکم ۴۰ بوته در مترمربع تنک شدند. سپس ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به کرت‌های فرعی اضافه و آبیاری انجام شد. آبیاری‌های بعدی مطابق تیمارهای آبیاری مورد نظر انجام گرفت.

به منظور اندازه‌گیری حجم آب آبیاری ابتدا میزان رطوبت خاک پیش از آبیاری با استفاده از روشی مبتنی بر اصل ارشمیدس [۴] اندازه‌گیری و برای محاسبه عمق آب آبیاری از رابطه زیر استفاده شد [۶]:

$$V_W = [(FC - M) (B_d \times D \times A)] \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه، Vw حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC درصد رطوبت خاک مزرعه در حد ظرفیت مزرعه در عمق توسعه ریشه، M رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق توسعه ریشه Bd وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق توسعه ریشه، D عمق توسعه ریشه (متر) و Aمساحت کرت (متر) می‌باشد.

جهت تعیین عمق توسعه ریشه، از ردیف‌های ۲ و ۴ هر کرت فرعی، تعداد ۳ بوته انتخاب و پس از جدا کردن اندام‌های هوایی، عمق توسعه ریشه آنها با استفاده از آگر محاسبه گردید. میانگین عمق توسعه ریشه برای ۳ بوته، به عنوان عمق توسعه ریشه در کرت فرعی مربوطه درنظر گرفته شد. مقدار آب آبیاری مورد نیاز نیز با استفاده از یک سرریز ذوزنقه‌ای اندازه‌گیری شد [۶].

برداشت نهایی در تاریخ ۲۰ مهرماه با توجه علائم رسیدگی گیاه یعنی پژمرده شدن برگ‌ها و ریزش اغلب آنها و زرد مایل به قهوه‌ای شدن کپسول‌ها صورت پذیرفت. در این مرحله، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، از ردیف‌های میانی تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته اندازه‌گیری شد [۳]. همچنین پس از حذف حاشیه‌ها، سطح باقیمانده برای تعیین عملکرد برداشت گردید. بوته‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک

شدند. پس از خشک شدن، دانه‌ها از کـاه و کلـش جـدا و وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق ۰/۰۱ گرم انـدازه‌گیـری شـد. در پایان، شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بـر عملکـرد بیولوژیک و کارآیی مصرف آب از تقسیم عملکرد دانـه بـر میزان آب مصرفی در طول دوره رشـد محاسـبه شـدند. در پایان، درصد روغن با استفاده از دستگاه آنالیز روغن بذر و درصد پروتئین بذر با استفاده از روش کجلـدال بـرای هـر تیمار نیز اندازه‌گیری شد [۲۳].

تجزیه واریانس داده‌ها براسـاس طـرح کـاملاً تصـادفی (آزمون آزمایشگاهی) و کرت‌های خرد شده بر پایـه طـرح بلوک‌های کامل تصادفی (آزمایش مزرعه‌ای) بـا اسـتفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC انجـام گرفـت. جهـت مقایسـه میانگین‌ها، آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سـطح معنـی‌داری صفت به‌کار رفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمون آزمایشگاهی نشان داد کـه پرایمینـگ بـذر بـر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه تأثیر معنی‌داری داشت، امـا صـفات وزن خشک ساقه‌چـه، طـول سـاقچه و ریشـه‌چـه و طـول گیاهچـه بـین تیمارهـای مختلـف پرایمینـگ بـذر تفـاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). کلیـه تیمارهـای پرایمینـگ بذر دارای درصـد جوانــه‌زنـی، سـرعت جوانـه‌زنـی، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه بیشتری نسـبت بـه تیمار شاهد (بدون اعمال پرایمینگ) بودند. به جز در مـورد صفت وزن خشک گیاهچه در سایر صفات مـورد بررسـی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف آمـاده‌سـازی بـذر وجود نداشت (جدول ۴). وزن خشـک گیاهچـه در تیمـار پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) ۲۰ درصـد بـه طـور معنـی‌داری بیشتر از تیمار پلی‌اتیلن گلیکـول (PEG) ۱۰ درصـد بـود، ولی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری از نظر آمـاری دیـده نشد (جدول ۴). بنابراین، به‌طورکلی تیمارهـای پرایمینـگ باعث بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد در مقایسه بـا عدم پرایمینگ گردید.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر پرایمینگ برخصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد در شرایط آزمایشگاهی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه
پرایمینگ	۷	۲۳/۴۸۲**	۰/۵۷۶**	۱/۵۵۱*	۶/۵۷۱ns	۱۳/۸*	۰/۵۸۹ns	۰/۵۱۴ns	۱/۷۳ns
خطا	۲۴	۵/۹۷۹	۰/۱۳۶	۰/۵۴۲	۴/۱۶۷	۵/۱	۰/۳۶۹	۰/۴۶۱	۰/۷۸۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۶۲	۸/۵	۱۴/۵	۱۶/۷	۱۳/۱	۹/۵	۱۲/۹۶	۷/۶۴

**، * – به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح یک و پنج درصد

ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۴. اثر تیمارهای مختلف آماده‌سازی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد در شرایط آزمایشگاهی

تیمار پرایمینگ	جوانه‌زنی (٪)	سرعت جوانه‌زنی (روز)	وزن خشک ریشه‌چه (mg)	وزن خشک گیاهچه (mg)
شاهد	۸۸/۲۵^{b}	۳/۷^{b}	۴/۰^{c}	۱۳/۵^{c}
هیدروپرایمینگ	۹۵/۲۵^{a}	۴/۸۵^{a}	۵/۵^{ab}	۱۷/۵^{ab}
PEG (۱۰ درصد)	۹۳/۵^{a}	۴/۵^{ab}	۵/۱^{abc}	۱۶/۱^{bc}
PEG (۲۰ درصد)	۹۴/۵^{a}	۴/۴^{ab}	۶/۰^{a}	۲۰/۰^{a}
$CaCl_2$ (۲/۵ درصد)	۹۲/۰^{ab}	۴/۲^{ab}	۵/۵^{ab}	۱۷/۵^{ab}
CaC_{l2} (۵ درصد)	۹۳/۵^{a}	۴/۲^{ab}	۵/۰^{abc}	۱۷/۹^{ab}
$ZnSO_4$ (۵۰ میلی‌مولار)	۹۴/۵^{a}	۴/۱^{ab}	۵/۰^{abc}	۱۸/۰^{ab}
$ZnSO_4$ (۵۰ میلی‌مولار)	۹۶/۰^{a}	۴/۸^{a}	۴/۵^{bc}	۱۷/۵^{ab}

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که به جز در مورد تعداد دانه در کپسول، اثر پرایمینگ بر سایر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد دانه (تعداد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته و تعداد برگ در بوته) معنی‌دار بود (جدول ۵). تأثیر تیمار آبیاری بر کلیه صفات مورفولوژیکی و همچنین اجزای عملکرد دانه کنجد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل پرایمینگ × آبیاری تنها بر ارتفاع بوته و وزن هزاردانه اثر معنی‌دار داشت (جدول ۵). کمترین تعداد دانه در بوته در پرایمینگ بذر با سولفات روی (هر دو غلظت) مشاهده شد. با این حال، تیمار سولفات روی از نظر تعداد دانه در بوته برتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). در مورد سایر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد نیز روند مشابهی مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمار هیدروپرایمینگ و شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را دارا بودند (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و آبیاری بر خصوصات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد کنجد در شرایط مزرعه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ در بوته	ارتفاع بوته	تعداد شاخه در بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه
تکرار	۳	۳/۹۶	۴/۰۱	۰/۶۰۴	۶/۷۷۱	۳/۲۱	۶۶۳۵/۸۵	۰/۰۰۰۱
پرایمینگ	۷	۲۰۷/۹۶**	۳۷۲/۱۸**	۷/۰۹۸**	۲۶/۴۶**	۹/۸۵۷^{ns}	۱۰۱۸۷۷/۵۵**	۰/۰۵۰**
خطا	۲۱	۵/۳۰	۱۱/۲۶۹	۱/۱۴	۲/۷۸	۴/۳۵۱	۵۸۵۲/۵۸۷	۰/۰۰۲
آبیاری	۱	۷۸۳۲/۲۵**	۲۸۹۷/۱۳**	۲۷/۵۶**	۹۱۵/۰۶**	۲۶۴/۰۶**	۳۳۳۰۱۶۸/۷۷**	۰/۲۸۵**
پرایمینگ × آبیاری	۷	۶/۹۳^{ns}	۳۸/۲۲**	۰/۵۲۷^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۰/۴۲۰^{ns}	۵۱۳۷/۳۴^{ns}	۰/۰۰۵*
خطا ۲	۲۴	۳/۵۹	۶/۸۴	۰/۶۹۸	۴/۷۸	۶/۷۰۸	۵۴۹۷/۳۵	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۲/۰۳	۲/۴۵	۱۳/۷۱	۶/۶۷	۵/۸۹	۵/۱۳	۱/۳۱

**، * – به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

ns – غیرمعنی‌دار

جدول ۶. اثر تیمارهای مختلف آماده‌سازی بر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد کنجد در شرایط مزرعه‌ای

پرایمینگ	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه در بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در بوته
شاهد	۸۴/۲۵^{e}	۴/۳۷۵^{d}	۲۹/۱۳^{c}	۱۲۳۹^{d}
هیدروپرایمینگ	۹۸/۸۸^{a}	۷/۳۷۵^{a}	۳۵/۱۳^{a}	۱۶۱۱^{a}
PEG (۱۰ درصد)	۹۷/۰^{ab}	۶/۷۵^{abc}	۳۳/۰^{ab}	۱۴۸۵^{bc}
PEG (۲۰ درصد)	۹۲/۲۵^{c}	۶/۱۲۵^{abc}	۳۳/۲۵^{ab}	۱۴۶۵^{bc}
$CaCl_2$ (۲/۵ درصد)	۸۸/۸۸^{d}	۵/۵^{cd}	۳۲/۶۳^{ab}	۱۴۸۶^{bc}
CaC_{l2} (۵ درصد)	۹۸/۲۵^{ab}	۶/۸۷۵^{ab}	۳۴/۳۸^{ab}	۱۵۳۷^{ab}
$ZnSO_4$ (۵۰ میلی‌مولار)	۹۵/۵^{b}	۶/۱۲۵^{abc}	۳۳/۱۳^{ab}	۱۴۶۲^{bc}
$ZnSO_4$ (۱۰۰ میلی‌مولار)	۹۱/۰^{cd}	۵/۶۲۵^{bc}	۳۱/۶۳^{bc}	۱۳۷۳^{c}

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

با افزایش فاصله آبیاری، تعداد برگ و شاخه در بوته و اجزای عملکرد (دانه در بوته، کپسول در بوته و دانه در کپسول) به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۷). با افزایش فاصله آبیاری از ۱۵۰ به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر صفات تعداد دانه در بوته با ۲۸ درصد و تعداد دانه در کپسول با ۹ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان کاهش را نشان دادند (جدول ۷).

جدول ۷. اثر فاصله آبیاری بر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد کنجد در شرایط مزرعه

آبیاری	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه در بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته
I_1	۱۰۴/۳^{a}	۶/۷۵^{a}	۳۶/۵۶^{a}	۴۶/۰۳^{a}	۱۶۷۳^{a}
I_2	۸۲/۱۹^{b}	۵/۴۴^{b}	۲۹/۰^{b}	۴۱/۹۷^{b}	۱۲۱۷^{b}

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج اثر متقابل پرایمینگ × آبیاری نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه در تیمار هیدروپرایمینگ و فاصله آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به دست آمد. کمترین وزن هزاردانه در تیمار شاهد در سطح دوم آبیاری (I_2) به دست آمد. اگرچه با افزایش فاصله آبیاری به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، وزن هزاردانه در کلیه تیمارهای پرایمینگ در مقایسه با آبیاری نرمال کاهش یافت، اما در کلیه تیمارهای پرایمینگ در شرایط آبیاری محدود، در مقایسه با تیمار شاهد وزن هزاردانه بیشتری به دست آمد (جدول ۸). بنابراین، پرایمینگ بذر می‌تواند اثرات آبیاری محدود بر وزن هزاردانه را کاهش دهد. گیاهان رشد یافته تحت تأثیر تیمارهای هیدروپرایمینگ، PEG ۲۰ و $CaCl_2$ ۵ درصد دارای بیشترین ارتفاع بوته در سطح آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بودند. کمترین ارتفاع بوته کنجد در تیمار بدون پرایمینگ و در سطح آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده شد (جدول ۸).

جدول ۸ . اثر متقابل آماده‌سازی بذر و آبیاری بر ارتفاع بوته و وزن هزاردانه کنجد در شرایط مزرعه

پرایمینگ	آبیاری	وزن هزاردانه (gr)	ارتفاع بوته (cm)
شاهد	I_1	۳/۱۷[de]	۱۰۲/۱[f]
	I_2	۲/۹۴[g]	۸۲/۹[h]
هیدروپرایمینگ	I_1	۳/۳۵[a]	۱۱۸/۵[ab]
	I_2	۳/۲۲[cd]	۱۰۳/۳[ef]
PEG (۱۰ درصد)	I_1	۳/۲۹[ab]	۱۱۴/۰[bc]
	I_2	۳/۱۸[de]	۱۰۰/۸[fg]
PEG (۲۰ درصد)	I_1	۳/۱۸[de]	۱۱۵/۰[abc]
	I_2	۳/۰۶[f]	۹۸/۵۷[fg]
$CaCl_2$ (۲/۵ درصد)	I_1	۳/۱۷[de]	۱۱۲/۵[cd]
	I_2	۳/۰۱[f]	۹۵/۵[g]
CaC_{l2} (۵ درصد)	I_1	۳/۲۶[bc]	۱۲۰/۰[a]
	I_2	۳/۱۶[de]	۱۱۱/۵[cd]
$ZnSO_4$ (۵۰ میلی‌مولار)	I_1	۳/۲۱[cde]	۱۱۳/۸[bc]
	I_2	۳/۱۴[e]	۱۰۷/۳[de]
$ZnSO_4$ (۱۰۰ میلی‌مولار)	I_1	۳/۱۹[de]	۱۱۱/۰[cd]
	I_2	۳/۰۴[f]	۹۹/۳[fg]

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

I_1: آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، **I_2:** آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر

اثرات اصلی پرایمینگ و آبیاری بر کلیه صفات عملکرد کنجد شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن، درصد پروتئین، عملکرد روغن، کارآیی تولید روغن و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل پرایمینگ × آبیاری در مورد هیچ‌کدام از این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۹). بیشترین درصد پروتئین در تیمار شاهد به‌دست آمد، اما در مورد سایر صفات تیمار شاهد ضعیف‌ترین تیمار بود (جدول ۱۰). به‌طورکلی، تیمارهای پرایمینگ بذر باعث بهبود صفات عملکرد دانه و روغن کنجد شدند که در این مورد اثر تیمار هیدروپرایمینگ نمود بیشتری داشت (جدول ۱۰).

جدول ۹. تجزیه واریانس اثر آماده‌سازی بذر و آبیاری بر عملکرد و کیفیت دانه کنجد در شرایط مزرعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	کارآیی مصرف آب	شاخص برداشت	عملکرد روغن	درصد پروتئین	درصد روغن
تکرار	۳	۱۸۰۱۹/۲۹	۴۴۸۵/۳۹	۰/۰۰۰۱	۷/۳۱۹	۲۴۰۳/۷۹	۰/۳۱۷	۰/۴۴۳
پرایمینگ	۷	۴۸۶۳۳۴/۱۱**	۵۷۸۷۰/۶۲**	۰/۰۰۵**	۷/۴۵*	۱۱۵۴۵/۰**	۲/۱۷۵**	۵/۰۵**
خطا	۲۱	۳۴۹۸۵/۲۹	۳۵۴۹/۹۱	۰/۰۰۰۱	۲/۸۴۹	۲۹۲۷/۶۴	۰/۲۱۲	۰/۱۳۶
آبیاری	۱	۶۹۴۸۴۹۶/۰**	۱۹۶۵۲۵۳/۵۲**	۰/۰۰۴**	۴۰۴/۰۱**	۶۱۶۶۱۷/۵۶**	۱۰۸/۹۴**	۱۹۶/۰**
پرایمینگ × آبیاری	۷	۱۶۰۰۴/۷۱ns	۲۱۲۲/۸۰ns	۰/۰۰۰۱ns	۴/۵۶ns	۱۸۱۳/۶۷ns	۰/۲۳۶ns	۰/۱۲۶ns
خطا ۲	۲۴	۱۹۰۵۲/۶۲۶	۲۹۲۸/۰۹۹	۰/۰۰۰۱	۲/۸۴۴	۱۳۱۵/۶۶	۰/۲۷۳	۰/۱۹۹
ضریب تغییرات (٪)		۳/۷۴	۵/۲۷	۶/۱۲	۶/۱۶	۷/۵	۲/۳۷	۰/۹۵

** و * - به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

ns - غیرمعنی‌دار

جدول ۱۰. اثر تیمارهای مختلف آماده‌سازی بر عملکرد و کیفیت دانه کنجد در شرایط مزرعه

پرایمینگ	عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	کارآیی مصرف آب ($kg.m^{-3}$)	شاخص برداشت (٪)	عملکرد روغن ($kg.ha^{-1}$)	پروتئین (٪)	روغن (٪)
شاهد	۳۲۴۳e	۸۵۴e	۰/۲۴d	۲۶/۰c	۴۱۵/۶c	۲۲/۹۵a	۴۵/۴۵d
هیدروپرایمینگ	۳۹۹۴a	۱۱۳۳a	۰/۳۲a	۲۷/۹۸ab	۵۴۶/۸a	۲۱/۳۰d	۴۸/۰a
PEG (۱۰ درصد)	۳۸۵۰ab	۱۰۹۴ab	۰/۳۱ab	۲۸/۲۴a	۴۹۱/۵b	۲۱/۶۵cd	۴۷/۵۵ab
PEG (۲۰ درصد)	۳۶۱۰cd	۱۰۲۳bcd	۰/۳۰bc	۲۸/۳۳a	۴۷۸/۰b	۲۲/۱۰bc	۴۷/۰bc
$CaCl_2$ (۲/۵ درصد)	۳۴۶۳d	۹۸۹d	۰/۲۸c	۲۸/۲۷a	۴۶۲/۵bc	۲۲/۳۵abc	۴۶/۴۵c
CaC_{l2} (۵ درصد)	۳۸۹۲ab	۱۰۷۵abc	۰/۳۰b	۲۷/۲۱bc	۵۰۶/۴ab	۲۱/۸۵bcd	۴۷/۳b
$ZnSO_4$ (۵۰ میلی‌مولار)	۳۷۸۳bc	۱۰۴۶bcd	۰/۳۰b	۲۶/۱۹bc	۴۹۴/۵ab	۲۲/۱۰bc	۴۷/۰bc
$ZnSO_4$ (۱۰۰ میلی‌مولار)	۳۶۹۷bc	۹۹۸cd	۰/۲۸c	۲۶/۷۶abc	۴۶۵/۳bc	۲۲/۵۶ab	۴۶/۳۵c

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

با افزایش فاصله آبیاری به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر درصد پروتئین کنجد نسبت به تیمار ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر افزایش یافت، اما درصد و عملکرد روغن در شرایط آبیاری محدود کاهش یافت. با افزایش فاصله آبیاری عملکرد دانه کنجد حدود ۳۰ درصد کاهش یافت، درحالی‌که میزان کاهش عملکرد بیولوژیک حدود ۲۰ درصد بود. کارآیی مصرف آب و کارآیی تولید روغن نیز با افزایش فاصله آبیاری کاهش یافتند (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. اثر آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در شرایط مزرعه

آبیاری	عملکرد بیولوژیک (kg.ha-1)	عملکرد دانه (kg.ha-1)	کارآیی مصرف آب (kg.m-3)	شاخص برداشت (٪)	عملکرد روغن (kg.ha-1)	پروتئین (٪)	روغن (٪)
I_1	۴۰۲۱[a]	۱۲۰۲[a]	۰/۲۹۹[a]	۲۹/۸۸[a]	۸۵۱/۸[a]	۲۰/۸[b]	۴۸/۶۴[a]
I_2	۳۳۶۲[b]	۸۵۱/۹[b]	۰/۲۸۳[b]	۲۴/۸۶[b]	۳۸۵/۵[b]	۲۳/۴۱[a]	۴۵/۱۴[b]

براساس آزمون دانکن، حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

برتر بودن شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه، نشان‌دهنده تأثیر مثبت پرایمینگ بر بهبود جوانه‌زنی بذر کنجد می‌باشد. این امر احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت‌های متابولیکی بذرهای پیش‌تیمار شده می‌باشد [۱۹ و ۵۲]، زیرا آماده‌سازی بذر باعث فعال شدن فرایندهای بیوشیمیایی لازم برای آغاز فرایند جوانه‌زنی می‌شود که با خشک شدن بذر بعد از آماده‌سازی همچنان اثرات آنها باقی می‌ماند [۱۷]. بذوری که جوانه‌زنی بیشتر و سریع‌تری داشته باشند، گیاهچه‌های قوی‌تری تولید می‌کنند که وزن خشک بیشتری نیز دارند [۲۶]. جذب آب در بذور پیش‌تیمار شده سریع‌تر از بذور پرایمینگ نشده می‌باشد [۳۸] که این امر باعث اختلاف در متابولیسم، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه این بذور می‌شود.

ظهور گیاهچه در مزرعه نقش مهمی در عملکرد بعدی گیاه دارد [۳۲، ۴۱]. ظهور گیاهچه به رشد اولیه گیاهچه بعد از جوانه‌زنی بستگی دارد. بر این اساس، پیش‌تیمار پرایمینگ بذر می‌توانند با بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد بر عملکرد بعدی آن نیز تأثیرگذار باشد. این مورد در گیاهان مختلفی از جمله برنج [۲۵]، گندم [۳۴] و آفتابگردان [۳۲] نیز گزارش شده است. قابل ذکر است که در تحقیق حاضر، اگرچه اختلاف کمی بین تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر از نظر تأثیر بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد مشاهده شد، ولی باتوجه به ارزانی و سادگی کاربرد، به نظر می‌رسد استفاده از هیدروپرایمینگ جهت بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد مطلوب‌تر باشد. اگرچه بیشتر تحقیقاتی که در زمینه کاهش اثرات تنش کمبود آب با استفاده از پرایمینگ بذر در گیاهان زراعی مختلف انجام گرفته است، در آزمایشگاه و در زمینه جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه بوده است [۲، ۴، ۷، ۲۳ و ۵۵]. با این حال، باتوجه به اینکه استفاده از روش آزمایشگاهی به عنوان یک روش سریع و نسبتاً دقیق جهت بررسی عکس‌العمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی مورد تأیید قرار گرفته است [۱۶ و ۴۳]، نتایج آزمایشگاهی می‌تواند مؤید واکنش گیاه به شرایط مزرعه‌ای نیز باشد. در تحقیق حاضر نیز تأثیر مثبت پرایمینگ بذر در بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد در آزمایشگاه به بهبود رشد و عملکرد کنجد در مزرعه نیز انجامید.

کاهش شاخص برداشت کنجد در آزمایش حاضر نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری محدود، نسبت تخصیص مواد برای تشکیل دانه در کنجد کمتر از شرایط آبیاری مطلوب می‌باشد که با یافته‌های سایر محققین در خصوص کاهش شاخص برداشت در شرایط آبیاری محدود مطابقت دارد [۲۶، ۵۶]. در نخود تأثیر فاصله آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفته شد که با افزایش میزان تبخیر از تشتک تبخیر، شاخص برداشت

کاهش پیدا می‌کند که با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد [۲۶]. تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری بستگی به تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و دانه دارد. به عبارت دیگر، اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این‌صورت با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند، اما اگر تنش خشکی بر عملکرد دانه تأثیر بیشتری داشته باشد، در این حالت، افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود [۳]. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که در کنجد اثر تنش خشکی بر تولید دانه بیشتر از تأثیر آن بر عملکرد بیولوژیکی بود و به همین دلیل، با افزایش فاصله آبیاری، شاخص برداشت کاهش پیدا کرد.

کاهش تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته در شرایط محدودیت آبیاری، باعث کاهش تولید دانه در بوته گردید که کاهش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبیاری را به دنبال داشت. از جمله عوامل مؤثر بر کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری محدود، کاهش ارتفاع بوته و به تبع آن کاهش تعداد شاخه در بوته می‌باشد که پتانسیل تولید کپسول در بوته و درنتیجه، تعداد دانه در بوته تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارتفاع بوته، به عنوان یک صفت مهم مؤثر بر عملکرد دانه کنجد، شاخصی مناسب در تعیین میزان تنش وارده به گیاه نیز می‌باشد [۴۴]. در این رابطه، کاهش ارتفاع بوته به عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد کنجد، تحت شرایط تنش خشکی عنوان شد، زیرا کاهش ارتفاع بوته باعث کاهش تولید شاخه در بوته و درنهایت کاهش تولید کپسول و دانه در واحد سطح گردید [۳۱]. در شرایط آبیاری محدود، عملکرد دانه کنجد با کاهش تعداد دانه در بوته کاهش یافت [۳۵ و ۳۹]. باتوجه به کاهش وزن هزاردانه کنجد با افزایش فاصله آبیاری، می‌توان نتیجه گرفت که دو جزء مؤثر بر عملکرد دانه کنجد یعنی وزن هزاردانه و تعداد دانه، به کمبود آب حساس می‌باشند (جدول ۷).

عملکرد بالاتر کنجد در سطح اول آبیاری می‌تواند به دلیل بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک آن باشد، زیرا عملکرد دانه به‌طور مستقیم با بیوماس تولید شده توسط گیاه در ارتباط است و عملکرد بیولوژیکی بالاتر پتانسیل عملکرد دانه را افزایش می‌دهد [۱۸]. نتایج مشابهی در مورد همبستگی مثبت عملکرد بیولوژیک گزارش شد [۲۷ و ۵۱]. از طرف دیگر، تولید برگ در بوته، به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد بیولوژیک و درنهایت تولید گیاه، در شرایط محدودیت آبیاری کاهش یافت (جدول ۶). کاهش تعداد برگ در بوته با افزایش شدت تنش خشکی، به علت تسریع پیری و درنهایت ریزش برگ‌ها مرتبط می‌باشد [۸] و یکی از حساس‌ترین فرایندها به کمبود آب است، به‌طوری‌که با افزایش محدودیت آب، ریزش برگ افزایش یافته که با کاهش عملکرد بیولوژیک و همچنین توان فتوسنتزی گیاه باعث کاهش عملکرد می‌گردد [۴۷].

همبستگی منفی بین درصد پروتئین و درصد روغن موید کاهش درصد روغن و افزایش درصد پروتئین با افزایش فاصله آبیاری بود (جدول ۱۰) [۲۸]. تجمع نیتروژن در شرایط محدودیت آب، کمتر از تجمع ماده خشک می‌باشد [۵۴]. بنابراین، درصد پروتئین دانه کنجد در شرایط آبیاری محدود افزایش یافت، درحالی‌که روغن که در مراحل آخر پر شدن دانه تشکیل می‌شود، دچار کاهش شد. کاهش درصد روغن و عملکرد دانه کنجد با افزایش فاصله آبیاری، باعث کاهش شدید عملکرد روغن در تیمار آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر شد، به‌طوری‌که روغن تولید شده در شرایط آبیاری محدود به کمتر از نصف (حدود ۴۵ درصد) کاهش یافت. در تحقیقی اثر فواصل مختلف آبیاری بر ترکیب بذر سویا بررسی و مشخص شد که بین میزان پروتئین و روغن،

همبستگی منفی وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش فواصل آبیاری، درصد پروتئین افزایش و درصد روغن کاهش یافت [۲۰]. تحقیقات در مورد اثر آبیاری بر ترکیب دانه کنجد نشان داد شد که آبیاری محدود باعث افزایش پروتئین دانه کنجد می‌شود، به‌طوری‌که کنجدهایی که با فاصله ۲۴ روز آبیاری شدند، دارای بیشترین پروتئین بودند و آبیاری با فواصل ۱۸، ۱۲ و ۶ روز از نظر تأثیر بر افزایش پروتئین دانه کنجد در مرتبه‌های بعدی قرار داشتند. بین درصد پروتئین دانه کنجد و میزان روغن آن نیز همبستگی منفی وجود دارد، یعنی آن تیمارهای آبیاری که باعث افزایش پروتئین دانه شدند، روغن آنرا کاهش دادند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد [۱۵]. از آنجا که عملکرد روغن، تحت تأثیر درصد روغن و عملکرد دانه قرار می-گیرد، کاهش هر دو جزء مؤثر بر عملکرد روغن در شرایط آبیاری محدود، باعث کاهش عملکرد روغن کنجد شد.

اگرچه کنجد یک گیاه مقاوم به خشکی می‌باشد، کاهش کارآیی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، نشان داد که در شرایط خشکی شدید، کنجد قادر نیست عملکرد مناسبی در ازای هر واحد آب مصرفی تولید کند. از آنجا که خصوصیات مورفولوژیک بر کارآیی مصرف آب کنجد مؤثر هستند [۳۷] بنابراین، کاهش ارتفاع بوته و تولید شاخ و برگ کمتر توسط کنجد در شرایط تنش خشکی، باعث شد تبخیر از سطح خاک سهم بیشتری از تبخیر و تعرق کل داشته باشد که به معنی کاهش کارآیی مصرف آب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری، صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد کاهش یافت. کیفیت دانه کنجد نیز تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری محدود درصد پروتئین افزایش ولی درصد روغن کاهش یافت. میزان روغن تولید شده در واحد سطح با شدت یافتن محدودیت آب، به دلیل کاهش درصد روغن دانه کاهش یافت. تیمارهای پرایمینگ، خصوصیات جوانه‌زنی بذر شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه را بهبود بخشید. جوانه‌زنی بذرهای پرایمینگ شده نسبت به شاهد زودتر آغاز شد و درنتیجه تحت شرایط افزایش فاصله آبیاری بذرها سریع استقرار یافته و زودتر از خاک خارج خواهند شد و استقرار زودتر باعث بهبود اجزای عملکردی نظیر وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه گردید. تیمار هیدروپرایمینگ باتوجه به ارزانی و سادگی کاربرد، نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ بذر قابل توصیه می‌باشد.

منابع

۱. اسکندری ح (۱۳۸۸) تأثیر آبیاری محدود بر صفات زراعی فیزیولوژیک و کیفیت محصول ارقام کنجد. دانشگاه تبریز. تبریز. رساله دکتری.

۲. اسکندری ح و عالی‌زاده امرایی الف (۱۳۹۳) تأثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر ارزن در شرایط تنش خشکی و شوری. پژوهش‌های بذر ایران. ۱(۱): ۵۵-۴۶.

۳. اسکندری ح، زهتاب سلماسی س و قاسمی گلعذانی ک (۱۳۸۹) ارزیابی کارآیی مصرف آب و عملکرد دانه ارقام کنجد در شرایط آبیاری متفاوت به عنوان کشت دوم. دانش کشاورزی پایدار. ۱(۲): ۵۱-۳۹

۴. بای‌بوردی م (۱۳۷۹) اصول مهندسی آبیاری. جلد اول روابط آب و خاک، انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۷۹ ص.

۵. پاسبان اسلام ب (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ. علوم گیاهان زراعی ایران. ۲: ۲۸۳-۲۷۵.

۶. خیرابی ج (۱۳۷۷) مبانی و روشها اندازه‌گیری آب، مرکز نشر دانشگاهی تهران، تهران. ۱۰۰ ص.

۷. ریاضی الف و شریف زاده ف (۱۳۸۸) بررسی جوانه‌زنی بذرهای پرایم شده گونه‌های ارزن علوفه‌ای در واکنش به دمای پایین، تنش خشکی و شوری. علوم گیاهان زراعی ایران. ۲: ۶۶-۵۲.

۸. شیرانی راد الف (۱۳۷۹) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات دیباگران تهران، تهران. ۱۱۳ ص.

۹. عبدالرحمنی ب، قاسمی گلعذانی ک، ولی‌زاده م، فیضی اصل و و توکلی ع (۱۳۸۸) اثر پرایمینگ بذر بر قدرت رویش و عملکرد دانه جو رقم آبی در شرایط دیم. علوم زراعی ایران. ۴(۱۱): ۳۵۲-۳۳۷.

۱۰. عطاردی ه، ایران‌نژاد ح، شیرانی راد الف، امیری ر و امیری غ (۱۳۹۰) بررسی اثرات تنش خشکی و تاریخ کاشت گیاه مادری بر میزان هدایت الکتریکی بذرهای حاصل از آن. پژوهش‌های زراعی ایران. ۲(۹): ۲۴۲-۲۴۷.

۱۱. فتحی ق و عنایت قلی‌زاده م ر (۱۳۸۹) تأثیر استرس خشکی در مراحل رشد بر عملکردهای دانه و روغن ارقام کلزا. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸: ۱۱۵-۹۷.

۱۲. فرودل س، صدرآبادی حقیقی ر و نبوی کلات م (۱۳۹۰) تأثیر پرایمینگ بذر بر رشد گیاهچه‌ای کنجد تحت تنش شوری. پژوهش‌های زراعی ایران. ۳(۹): ۵۳۵-۵۴۳.

۱۳. ناصری ف (۱۳۷۰) دانه‌های روغنی (ترجمه). انتشارات معاونت فرهنگی آستان قدس رضوی، مشهد. ۶۴ ص.

۱۴. نوابی ف (۱۳۷۵) بررسی و تعیین میزان آب مصرفی کنجد داراب ۱۴. گزارش تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی. ۳۸ ص.

15. Alpalsan M, Boydak E, Hayta M, Gercek S and Simsek M (2001) Effect of row space and irrigation on seed composition of Turkish sesame. Journal of the American Oil Chemists' Society. 78: 933-935.

16. Ashraf M and McNeilly T (1987) Salinity effects on five cultivars/lines of pearl millet. Plant and Soil. 103: 13-19.

17. Asgedom H and Becker M (2001) Effects of seed priming with different nutrient solutions on germination, seedling growth and weed competitiveness of cereals in Eritrea. Magraf Publication Press, Weikershiem. 282 p.

18. Ball RA, Purcell LC and Vories ED (2000) Short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. Crop Science. 40: 1071-1078.

19. Basra SMA, Zia M, Mehmood T, Afzal I and Khaliq A (2002) Comparison of different invigoration techniques in wheat *(Tiriticum aestivum* L.) seeds. Pakistan Journal of Arid Agriculture. 5: 11-16.

20. Boydak E, Alpalsan M, Hayta M, Gercek S and Simsek M (2002) Seed composition of soybeans grown in the Hassan region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 50: 4718-4720.

21. Bradford KJ (1986) Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under salt conditions. Horticultural Science. 21: 1105-1112.

22. Campo RJ, Araujo RS and Hungria M (2009) Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield and seed protein content in Brazil. Field Crops Research. 110: 219-224.

23. Caseiro R, Bennett MA and Marcos-Filho J (2004) Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. Seed Science and Technology. 32: 365-375.

24. El-Wakil A and Gaafar S (1988) Effect of water stress on sesame. Agricultural Science. 9: 363-374.

25. Farooq M, Basra S and Rehrnan H (2006) Seed priming enhances emergence, yield and quality of direct-seeded rice. Crop Management and Physiology. 3: 42-44.

26. Ghassemi-Golezani K, Dalil B, Muhammadi-Nasab A and Zehtab-Salmasi S (2008) Response of chickpea cultivars to water deficit in the field. Notulae Botanicae Horti Agrobotanica Cluj-Napoca. 36: 25-28.

27. Gunasekara C, Martin LD, French RJ, Siddique KH and Walton GH (2003) Effect of water stress on water relations and yield of Indian mustard and canola. Proceeding 11th Australian Agronomy Conference. Pp. 312-313.

28. Gyori Z and Nemeskeri M (1998) Legume grown under non–irrigated condition. Agriculture and Food Chemistry. 46: 3087-3091.

29. Harris D, Joshi A, Khan PA, Gothkar P and Sodhi PS (1999) On farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. Experimental Agriculture. 35: 15-29.

30. Hibasami H, Fujikawa T, Takeda H, Nishibe S, Satoh T, Tujisawa T and Nakashima K (2000) Induction of apoptosis by *Acanthopanax senticosus* harms and its components, sesame in in human stomach cancer. International Journal of Medicine. 7: 1213-1216.

31. Hong Y, Yu J and Chai K (1985) Effect of drought stress on major upland crops. Agronomy Journal. 27: 148-155.

32. Hussain M, Farooq M, Basra SMA and Ahmad N (2006) Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. International Journal of Agriculture and Biology. 8: 14-18.

33. ISTA (2003) International Seed Testing Association, ISTA Handbook on Seedling Evaluation.

34. Kahlon PS, Dhaliwal HS, Sharma SK and Randawa AS (1992) Effect of pre-sowing seed soaking on yield of wheat under late sown irrigated conditions. Indian Journal of Agricultural Science. 62: 276-277.

35. Kassab O, Noemani E and El-Zeiny AH (2005) Influence of some irrigation system and water regimes on growth and yield of sesame plants. Journal of Agronomy. 4: 220-224.

36. Kaur S, Gupta AK and Kaur N (2005) Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science. 191: 81-87.

37. Kennan U, Kill F, Gencoglan C and Merdan H (2007) Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame under field condition. Field Crops Research. 101: 249-258.

38. McDonald MB (2000) Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Academic Press. England. 287 p.

39. Mensah JK, Obasami B, Eruotor P and Onomerieguna F (2006) Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum*). African Journal of Biotechnology. 5: 1249-1253.

40. Miyahara Y, Hibasami H, Katsuzaki H, Imai K and Komiya Y (2001) Sesamolin from sesame

seed inhibits proliferation by inducing apoptosis in human lymphoid leukemia. International Journal of Medicine. 7: 369-371.

41. Musa AM, Johansen C, Kumar L and Harris D (1999) Response of chickpea to seed priming in the high baring Tract of Bangladesh. International Chickpea and Pigeon pea Newsletter. 6: 20-22.
42. Nakaune M, Hanada A, Yin YG, Matsukura C, Yamaguchi S and Ezura H (2012) Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. Plant Physiology and Biochemistry. 52: 28-37.
43. Netondo GW, Onyango JC and Beck E (2004) Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Science. 44: 797-805.
44. Oktem A (2008) Effect of deficit irrigation on some yield characteristics of sweet corn. Bangladesh Journal of Botany. 37: 127-131.
45. Rajpar I, Khanif YM and Memon AA (2006) Effect of seed priming on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under non-saline conditions. International Journal of Agricultural Research. 1: 259-264.
46. Rashid A, Harris D, Hollington PA and Rafiq M (2004) Improving the yield of mungbean (*Vigna radiata*) in the North West Frontier Province of Pakistan using on-farm seed priming. Experimental Agriculture. 40: 233-244.
47. Riccardo F, Gazzeu P and Zivy M (1998) Protein change in response to progressive water deficit in maize. Plant Physiology. 117: 1253-1263.
48. Sadeghian SY and Yavari N (2004) Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet. Agronomy and Crop Science. 190: 138-144.
49. Schneekloth J, Kaan D and Pritchett J (1996) Determining crop mixes for limited irrigation. Journal of Agricultural Research. 18: 45-52.
50. Shim KB, Cho SK, Hwang JD, Pae SB, Lee MH, Ha TJ, Park CH, Park KY and Byun JC (2009) Effect of seed priming treatment on the germination of sesame. Korean Journal of Crop Science. 54(4): 416-421.
51. Sianaki MJ, Majidi E and Shirani-Rad AH (2007) The effect of water deficit during growth stages of canola. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 2: 417-422.
52. Soon KJ, Whan CW, Gu SB, Kil AC and Lia C (2000) Effect of hydro priming to enhance the germination of gourd seeds. Korean Journal of Social Horticultural Science. 41: 559-564.
53. Stanhill GS (2002) Is the class-A evaporation pas still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirement? Meteorology for Agriculture. 112: 233-236
54. Tahmasebi-Sarvestani Z (1995) Water Stress and Remobilization of dry matter and nitrogen in wheat and barley genotypes. University of Adelaide, Australia, Ph.D. Dissertation.
55. Thornton JM and Powell AA (1992) Short term aerated hydration for the improved of seed quality on *Brassica oleracea*. Seed Science Research. 2: 41-49.
56. Wright PR, Morgan JM, Jossop RS and Cass A (1995) Comparative adaptation of canola and Indian mustard to soil water deficit. Field Crops Research. 42: 1-13.
57. Zhang M, Nyborg M and McGill WB (1998) Phosphorous imbibed by barley seeds: location within the seed and assimilation by seedlings. Seed Science and Technology. 26: 325-332.