دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

تاثیر رژیم‌های آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

عبداله احمدنژاد

اساتید راهنما

دکتر جهانگیر عابدی کوپایی

دکتر سید فرهاد موسوی

۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

تاثیر رژیم‌های آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

عبداله احمدنژاد

اساتید راهنما

دکتر جهانگیر عابدی کوپایی

دکتر سید فرهاد موسوی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی آقای عبداله احمدنژاد

تحت عنوان

تاثیر رژیم‌های آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد

در تاریخ ۹۰/۱۱/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر جهانگیر عابدی کوپایی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید فرهاد موسوی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مهدی قیصری
۴- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر جمشید رزمجو
۵- استاد داور	دکتر بهروز مصطفی‌زاده فرد
۶- استاد داور	دکتر قدرت‌اله سعیدی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر احمد ریاسی

تشکر و قدردانی

در ابتدا خداوند بزرگ را شاکرم که در تمامی مراحل زندگی‌ام حضورش را در قلب خود احساس نموده‌ام و هم او بوده که با عنایت خود مرا تا بدین مرحله رسانده است.

قدردان زحمات بی‌دریغ پدر و مادر عزیزم هستم که همیشه و در تمام مقاطع پشتیبانم بودند و وجودشان مایه دلگرمی من بوده و هست و همچنین از یار و یاوران همیشگی‌ام، برادر و خواهران عزیزم تشکر می‌کنم.

از اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر جهانگیر عابدی کوپایی و دکتر سید فرهاد موسوی و اساتید مشاور عزیز و ارجمندم آقای دکتر مهدی قیصری و دکتر جمشید رزمجو که افتخار شاگردی ایشان را داشتم و در طول این پروژه در کنارم بودند، سپاسگزارم.

از اساتید ارجمند، آقایان دکتر بهروز مصطفی‌زاده فرد و دکتر قدرت‌اله سعیدی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از آقای مهندس یاسر استواری و خانم مهندس محبوبه تقی‌خو، دانشجویان کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی دانشگاه شهرکرد که در اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و همچنین از آقای مهندس غلامرضا رایج که در پیشبرد این پروژه مرا یاری کردند، بسیار سپاسگزارم.

از دوستانم آقایان محسنی، حضرتی، کرد نظیری، طالب مراد، عابدیان و پاک‌نیت کمال تشکر را دارم.

در پایان توفیق روزافزون برای همگان آرزومندم.

عبداله احمدنژاد

بهمن‌ماه ۱۳۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این
پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم،

آنان که وجودم برایشان همه رنج بوده و وجودشان برایم همه مهر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال ..... یازده
فهرست جداول ..... دوازده
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه و بررسی منابع
۱-۱ کلیات ۲
۱-۲ تنش‌های محیطی ۴
۱-۲-۱ تنش آبی ۴
۱-۲-۲ مکانیسم‌های مقاومت به خشکی ۵
۱-۳ کنجد ۵
۱-۳-۱ منشأ و خصوصیات گیاهی ۵
۱-۳-۲ مراحل نمو ۸
۱-۳-۳ سازگاری ۸
۱-۳-۴ عملیات زراعی ۹
۱-۳-۵ آفات و بیماری‌های کنجد ۱۰
۱-۳-۶ نیازآبی گیاه کنجد ۱۰
۱-۳-۷ اهمیت اقتصادی کنجد ۱۰
۱-۴ روش‌های آبیاری ۱۲
۱-۴-۱ آبیاری سطحی ۱۲
۱-۴-۲ آبیاری قطره‌ای ۱۲
۱-۴-۳ آبیاری با نوار تیپ ۱۳
۱-۵ راندمان کاربرد در آبیاری قطره‌ای ۱۴
۱-۶ کارایی مصرف آب ۱۶
۱-۷ کم‌آبیاری ۱۷
۱-۸ توابع تولید محصول نسبت به آب ۱۸
۱-۹ قارچ میکوریزا ۱۸
۱-۹-۱ اکتومیکوریزا ۱۹
۱-۹-۲ اکتندو میکوریزا ۲۰
۱-۹-۳ اندومیکوریزا ۲۰
۱-۹-۴ میکوریزای اریکالی ۲۰
۱-۹-۵ میکوریزای ارکیده‌ای ۲۱
۱-۹-۶ میکوریزای وزیکولار آربوسکولار ۲۱

۱-۹-۷ اندام‌های قارچی وزیکولار آربوسکولار ۲۲
۱-۹-۸ هیف ۲۲
۱-۹-۹ وزیکول ۲۲
۱-۹-۱۰ آربوسکول ۲۲
۱-۹-۱۱ سلول‌های کمکی ۲۳
۱-۹-۱۲ اسپور ۲۳
۱-۱۰ نقش همزیستی میکوریزایی در رشد گیاه ۲۳
۱-۱۱ نقش همزیستی میکوریزایی در کنترل تنش‌های محیطی ۲۴
۱-۱۱-۱ تنش مواد غذایی ۲۴
۱-۱۱-۲ تنش خشکی ۲۵
۱-۱۲ آغشتگی میکوریزایی تحت تنش خشکی ۲۶
۱-۱۲-۱ تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر رشد گیاهان تحت تنش خشکی ۲۷
۱-۱۲-۲ تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر جذب عناصر تحت تنش خشکی ۲۸
۱-۱۲-۳ تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر روی روابط آبی گیاه تحت تنش خشکی ۲۹
۱-۱۳ تأثیر عوامل آزمایشی بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه ۳۰
۱-۱۳-۱ تأثیر رژیم‌های آبیاری بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه ۳۰
۱-۱۳-۲ تأثیر قارچ میکوریزا بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه ۳۱
۱-۱۴ تأثیر عوامل آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد ۳۱
۱-۱۴-۱ تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ۳۲
۱-۱۴-۲ تأثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ۳۴
۱-۱۵ تأثیر عوامل آزمایشی بر عملکرد بیولوژیک ۳۴
۱-۱۵-۱ تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد بیولوژیک ۳۵
۱-۱۵-۲ تأثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک ۳۵
۱-۱۶ تأثیر عوامل آزمایشی بر شاخص برداشت ۳۶
۱-۱۷ تأثیر عوامل آزمایشی بر درصد و عملکرد روغن ۳۷
۱-۱۷-۱ تأثیر رژیم‌های آبیاری بر درصد و عملکرد روغن ۳۷
۱-۱۷-۲ تأثیر قارچ میکوریزا بر درصد و عملکرد روغن ۳۷
۱-۱۸ تأثیر عوامل آزمایشی بر درصد و عملکرد پروتئین ۳۷
۱-۱۹ اهداف تحقیق ۳۸

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ مشخصات محل آزمایش ۴۰
۲-۲ طرح آماری و انتخاب تیمارها ۴۱
۲-۳ محاسبه مقدار آب آبیاری و تعیین زمان آبیاری ۴۲
۲-۴ روش آبیاری ۴۵
۲-۵ یکنواختی خروج آب و راندمان کاربرد ۴۷
۲-۶ تهیه و تکثیر قارچ میکوریزا ۴۸

۲-۷ عملیات زراعی ۴۸
۲-۸ اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای ۴۹
۲-۹ اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ۴۹
۲-۱۰ روش آماری و تجزیه تحلیل داده‌ها ۵۰
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱ مقدار آب کاربردی ۵۲
۳-۲ راندمان کاربرد ۵۳
۳-۳ صفات اندازه‌گیری شده در مرحله نیام‌بندی ۵۶
۳-۳-۱ وزن خشک ساقه ۵۶
۳-۳-۲ وزن خشک برگ ۵۷
۳-۳-۳ وزن خشک کل اندام هوایی ۵۹
۳-۴ صفات اندازه‌گیری شده در مرحله رسیدگی ۶۱
۳-۴-۱ ارتفاع بوته ۶۱
۳-۴-۲ قطر ساقه ۶۳
۳-۴-۳ تعداد کپسول در بوته ۶۴
۳-۴-۴ طول کپسول ۶۵
۳-۴-۵ تعداد دانه در کپسول ۶۶
۳-۴-۶ وزن هزاردانه ۶۷
۳-۴-۷ عملکرد دانه در واحد سطح ۶۸
۳-۴-۸ عملکرد بیولوژیک ۷۰
۳-۴-۹ شاخص برداشت ۷۲
۳-۴-۱۰ درصد روغن ۷۳
۳-۴-۱۱ عملکرد روغن ۷۵
۳-۴-۱۲ درصد پروتئین ۷۶
۳-۴-۱۳ عملکرد پروتئین ۷۷
۳-۴-۱۴ کارایی زراعی مصرف آب (WUE_{ag}) ۷۸
۳-۴-۱۵ فسفر قابل جذب در خاک ۸۱
۳-۴-۱۶ غلظت فسفر در اندام گیاهی ۸۴
۳-۵ توابع تولید نسبت به آب ۸۷
۳-۶ مقایسه اقتصادی تیمارهای آب آبیاری ۸۹
۳-۶-۱ مقایسه اقتصادی تیمارهای آب آبیاری از نظر تولید محصول دانه ۹۰
۳-۶-۲ مقایسه اقتصادی تیمارهای آب آبیاری از نظر تولید محصول روغن دانه ۹۱
فصل چهارم: نتیجه‌گیری
۴-۱ نتیجه‌گیری ۹۶
۴-۲ پیشنهادها ۹۷
منابع ۹۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

۱-۱ تابع تولید محصول نسبت به آبیاری برای گیاه یونجه ۱۸
۲-۱ قرائت رطوبت خاک توسط دستگاه PR2 ..... ۴۳
۲-۲ نمونه‌برداری از ریشه در طول دوره رشد ۴۳
۲-۳ شمای کلی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری ۴۵
۲-۴ الف- کنتور حجمی و ب- شیر پلی‌اتیلن ۴۶
۲-۵ الف- فشارسنج نصب شده در قسمت ورودی سیستم و ب-لوله کنارگذر تخلیه فشار ۴۶
۲-۶ دستگاه ونتوری نصب شده برای کود آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای ۴۷
۲-۷ اندازه‌گیری یکنواختی خروج آب ۴۷
۳-۱ نمودار تجمعی تبخیر- تعرق و آب کاربردی در تیمارهای آبیاری ۵۳
۳-۲ تغییرات رطوبت در عمق‌های ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک در چهار آبیاری ۵۴
۳-۳ تغییرات میانگین رطوبت در منطقه توسعه ریشه در دوره رشد ۵۵
۳-۴ تغییرات طول ریشه در دوره‌ی رشد ۵۵
۳-۵ رابطه نسبت کاهش محصول دانه به نسبت کاهش آب مصرفی ۷۹
۳-۶ کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (الف) و روغن (ب) ۸۱
۳-۷ منحنی‌های توابع عملکرد دانه نسبت به مقدار آب آبیاری ۸۸
۳-۸ منحنی‌های توابع عملکرد روغن نسبت به مقدار آب آبیاری ۸۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۱-۱ مقادیر کمی و کیفی یکنواختی پخش آب	۱۵
۱-۲ مقدار کارایی مصرف آب اندازه‌گیری‌شده تعدادی از محصولات مختلف زراعی کشور	۱۷
۲-۱ میانگین ماهانه داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی سال ۱۳۸۹ در ماه‌های دوره رشد	۴۱
۲-۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک	۴۱
۲-۳ برخی از خصوصیات خاک مورد استفاده برای تهیه مایه تلقیح قارچ میکوریزا	۴۸
۳-۱ میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در تیمارهای مورد مطالعه	۵۳
۳-۲ راندمان کاربرد آب در روش آبیاری تیپ	۵۶
۳-۳ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر وزن خشک ساقه، برگ و کل اندام‌هوایی در مرحله نیام‌بندی	۵۷
۳-۴ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر وزن خشک ساقه، برگ و کل اندام‌هوایی در مرحله نیام‌بندی	۵۷
۳-۵ اثر متقابل تیمار میکوریزا و آبیاری بر وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) در مرحله نیام‌بندی	۵۹
۳-۶ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد کپسول در بوته، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک	۶۲
۳-۷ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد کپسول در بوته، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک	۶۳
۳-۸ اثر متقابل تیمار میکوریزا و آبیاری بر طول کپسول (سانتی‌متر)	۶۵
۳-۹ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت	۶۹
۳-۱۰ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت	۷۰
۳-۱۱ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر درصد و عملکرد روغن و پروتئین	۷۴
۳-۱۲ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر درصد و عملکرد روغن و پروتئین	۷۵
۳-۱۳ اثر متقابل تیمار میکوریزا و آبیاری بر درصد روغن	۷۵
۳-۱۴ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و محصول روغن	۷۹
۳-۱۵ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و محصول روغن	۸۰
۳-۱۶ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر مقدار فسفر قابل جذب در خاک، ریشه، بوته و بذر	۸۲
۳-۱۷ مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر مقدار فسفر قابل جذب در خاک، ریشه، بوته و بذر	۸۳
۳-۱۸ اثر متقابل تیمار میکوریزا در آبیاری بر مقدار فسفر قابل جذب خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	۸۳
۳-۱۹ هزینه تولید کنجد بدون در نظر گرفتن قیمت آب	۹۰
۳-۲۰ میزان آب مصرفی و عملکرد دانه و روغن کنجد در تیمارهای آبیاری و میکوریزا	۹۱
۳-۲۱ مقایسه اقتصادی تیمارهای آبیاری بدون میکوریزا از نظر عملکرد دانه	۹۲
۳-۲۲ مقایسه اقتصادی تیمارهای آبیاری با میکوریزا از نظر عملکرد دانه	۹۲
۳-۲۳ مقایسه اقتصادی تیمارهای آبیاری بدون میکوریزا از نظر عملکرد روغن	۹۳
۳-۲۴ مقایسه اقتصادی تیمارهای آبیاری با میکوریزا از نظر عملکرد روغن	۹۳

چکیده

کنجد یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی در دنیاست و برای کشت تناوبی با گیاهان مختلف، مناسب می‌باشد. محدودیت منابع آب برای آبیاری در سطح جهانی مطرح است. تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محیطی محدودکننده تولید کنجد می‌باشد. آبیاری به علت تأثیر مثبت بر عملکرد دانه، در مناطق خشک و نیمه‌خشک در تولید کنجد بسیار حائز اهمیت است. تأثیر کمبود آب می‌تواند به وسیله تلقیح ریشه گیاهان با قارچ میکوریزا کاهش یابد. در این مطالعه، هدف، تعیین تأثیر سطوح مختلف آب کاربردی (تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد کمبود رطوبتی خاک) با روش آبیاری قطره‌ای- نواری سطحی (تیپ) و تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا (گلوموس موسه‌آ) بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی زراعی مصرف آب کنجد بود. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در استان اصفهان، که از مناطق خشک ایران محسوب می‌شود، در سال ۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. مقدار آب آبیاری بر اساس رطوبت روزانه خاک در طول دوره رشد گیاه محاسبه شد. نتایج نشان داد که تأثیر مقدار آب کاربردی (رژیم آبیاری) بر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد کپسول در بوته، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد روغن و پروتئین و غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. تأثیر کاربرد میکوریزا بر عملکرد دانه و روغن در سطح احتمال ۵٪ و بر کارایی زراعی مصرف آب و غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. بیشینه عملکرد دانه (۲۸۵۸/۰۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری ۱۲۰ درصد نیاز آبی و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا و بیشینه عملکرد روغن کنجد (۱۶۹۸/۹۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد آبیاری مورد نیاز و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا حاصل شد. کمینه عملکرد دانه (۱۴۶۰/۲ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۷۷۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری ۶۰ درصد آب مورد نیاز و بدون کاربرد میکوریزا به‌دست آمد. تأثیر رژیم‌های آبیاری بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه به دلیل وجود رابطه خطی، بین کاهش عملکرد محصول و کاهش مقدار آب آبیاری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نشد. ولی تأثیرکاربرد قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۸۰ درصد و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا و کمترین آن (۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۶۰ درصد و بدون تلقیح بود. تأثیر رژیم‌های آبیاری و کاربرد قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن معنی‌دار شد. بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن (۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا و کمترین آن (۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۶۰ درصد و بدون تلقیح بود. با توجه به تحلیل اقتصادی صورت گرفته، بیشترین سودآوری از نظر عملکرد دانه مربوط به تیمار ۸۰ درصد و تلقیح‌شده با میکوریزا و از نظر عملکرد روغن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد و تلقیح‌شده با میکوریزا بود. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری منجر به محصول کمتر شده و تلقیح با قارچ میکوریزا، عملکرد گیاهان تحت تنش را به واسطه اثر مثبت بر جذب مواد غذایی بهبود می‌بخشد. پیشنهاد می‌شود که در سال‌های کم‌آبی، از روش آبیاری قطره‌ای- نواری همراه با کاربرد قارچ میکوریزا در سطح آبیاری ۸۰ درصد آب مورد نیاز برای ذخیره آب مصرفی استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: کنجد، میکوریزا، آبیاری قطره‌ای- نواری سطحی، تنش آبی

فصل اول
مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ کلیات

آب از مهمترین منابع طبیعی است که استحصال آن بسیار پرهزینه بوده و محدودیت این نهاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده صحیح برای بهره‌برداری حداکثر از آن را ضروری می‌سازد. به همین دلیل، مدیریت آب در مزرعه بر عملکرد محصول در کشاورزی فاریاب، در این مناطق مؤثر می‌باشد. بنابراین، چنانچه شدت بهره‌برداری از منابع آب در سطح بهینه نگهداری شود، حداکثر درآمد را برای کشاورزان در پی خواهد داشت[۹۷ و ۲۸۴]. به نظر اکثر کارشناسان، بحران آب در جهان یک بحران مدیریتی است که بایستی جهت حادتر نشدن این بحران به مسائل زیر توجه کرد[۸۰]: پشتیبانی از نوآوری‌های جدید در روش‌های آبیاری، تشکیل انجمن‌های مردمی در جهت افزایش بهره‌وری آب، افزایش ذخیره آب و اصلاح روش‌های مدیریت آب.

کشور ما ایران سرزمینی است نسبتا خشک، به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین را که حدودا ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود با متوسط بارندگی ایران که تقریبا رقمی معادل ۲۵۲ میلی‌متر است مقایسه کنیم، ملاحظه می‌شود که مقدار بارندگی در ایران حتی کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست[۱۰]. متوسط تبخیر در کشور حدود ۲۱۰۰ میلی‌متر در سال است که در مقایسه با متوسط جهانی (۷۰۰ میلی‌متر) تقریبا ۳ برابر است. ایران با دارا بودن بیش از ۱ درصد جمعیت جهان (۷۵ میلیون نفر) تنها ۰/۳۶ درصد منابع آب شیرین و تجدیدشونده را در اختیار دارد[۶۰ و ۸۰].

در ایران میزان آب قابل استحصال تجدید شونده، حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال است. سرانه آب تجدیدپذیر کشور در حال حاضر به‌طور متوسط در حدود ۱۷۵۰ مترمکعب در سال می‌باشد. این میزان با توجه به روند افزایش جمعیت و نیز برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب و نیز وقوع پدیده تغییر اقلیم در سال ۱۴۰۰ به حدود ۱۳۰۰ مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. بر اساس آخرین آمار، بخش کشاورزی مصرفی حدود ۸۸/۶ میلیارد مترمکعب در سال را به خود اختصاص داده است که آن‌را به بزرگترین مصرف‌کننده آب در کشور مبدل ساخته است. میزان راندمان آبیاری در ایران بر اساس آخرین گزارشات وزارت جهاد کشاورزی حدود ۳۳ تا ۴۱ درصد بوده که نسبت به مقدار متوسط جهانی و حتی برخی از کشورهای منطقه نیز پایین‌تر می‌باشد[۱۲]. مقدار متوسط تولید محصولات کشاورزی در حال حاضر حدود ۱۰۷ میلیون تن (سال ۱۳۹۰) می‌باشد[۱۳]. کارایی مصرف آب (WUE[۱]) حدود ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب است. در سال ۱۴۰۰ به ۱۲۰ میلیون تن محصولات کشاورزی و ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب نیاز است. در کشور ایران ۵۹ درصد اراضی کشاورزی کشت آبی است که ۸۹ درصد تولیدات غذایی کشور در این اراضی تولید می‌شود و ۱۱ درصد بقیه از اراضی دیم حاصل می‌گردد[۶۶].

آمار نشان می‌دهد که در هر هکتار اراضی آبی حدود ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب مصرف می‌شود. رقمی که سازمان فائو برای متوسط دنیا ارائه می‌دهد حدود ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار است. لذا مصرف آب در هر هکتار اراضی ایران دو برابر عرف جهانی است[۴۳]. امروزه متوسط راندمان آبیاری تحت فشار در دنیا حدود ۷۴ درصد می‌باشد. متوسط افزایش عملکرد محصولات مختلف کشاورزی در آبیاری تحت فشار حدود ۳۰ درصد نسبت به آبیاری ثقلی بیشتر است[۴۵].

مشکل اکثر زارعین در استان اصفهان و بسیاری مناطق دیگر ایران که از نظر اقلیمی دارای آب و هوای خشک و یا نیمه‌خشک بوده و با کمبود ریزش باران مواجه هستند کمبود آب می‌باشد، در حالی که از نظر زمین کشاورزی مشکل کمتری دارند[۴]. کم‌آبیاری برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن و یا تثبیت تولید محصولات یک منطقه نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد[۲۸].

قارچ‌های میکوریزا تأثیر مثبتی بر افزایش تحمل گیاهان به خشکی می‌گذارند[۸۹]. آربوسکولارها با ساختارهای بسیار منشعب به عنوان ناقل بین گیاه و قارچ همزیست عمل می‌کنند و کربوهیدرات‌ها را از گیاه به قارچ و عناصر معدنی به‌ویژه فسفر و آب را از قارچ به گیاه منتقل می‌کنند[۵۴]. قارچ میکوریزا جذب مواد غذایی و هدایت هیدرولیکی ریشه را در گیاهان تحت تنش آبی افزایش می‌دهد و آنها را قادر می‌سازد که به طور مؤثرتری از آب استفاده نمایند. گیاهان میکوریزایی پتانسیل بالایی از آب را دارند[۲۲۰].

---

۱. Water Use Efficiency

۲-۱ تنش‌های محیطی

تنش بیانگر اثر نامطلوب بر یک موجود زنده است. تعریف دقیق تنش در علم بیولوژی کار دشواری است و نمی‌توان تعریف روشنی از تنش بیولوژی ارائه داد. احتمالاً مفیدترین تعریفی که از تنش بیولوژی می‌توان ارائه داد عبارت است از هر نیرو یا تابش نامطلوب که به جلوگیری از فعالیت معمول سیستم منجر شود[۶۷]. عوامل تنش‌زای[۱] مؤثر بر فرایند فیزیولوژیک، بسیار زیادند ولی می‌توان آنها را به سه گروه فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم‌بندی کرد. از تنش‌های فیزیکی می‌توان خشکی، دما، تابش، غرقاب شدن، باد و میدان مغناطیسی و از تنش‌های شیمیایی می‌توان، آلودگی هوا، فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، سموم، اسیدیته خاک و شوری را می‌توان برشمرد. کلیه تنش‌های فیزیکی و شیمیایی در گروه تنش‌های غیر زیستی قرار می‌گیرند که در مقابل آن تنش‌های زیستی مانند رقابت، دگرآزاری، آفات و بیماری‌ها وجود دارند. تأثیر هر کدام از عوامل تنش‌زا می‌تواند مثبت یا منفی باشد. تنش آب در گیاه یا کمبود آب به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن سلول‌ها از حالت آماس خارج شده باشند. تنش طولانی آب موجب کاهش اندازه گیاه می‌شود. گر چه کاهش آماس سلول مهمترین عامل کوچک ماندن اندازه گیاه است ولی تنش آبی تقریبا بر هر فرایندی از گیاه مؤثر بوده و علاوه بر آماس بر عوامل دیگری هم دخالت دارد[۵۸].

۱-۲-۱ تنش آبی

در کشاورزی، خشکسالی عبارت است از یک دوره خشکی که نتیجه‌اش کاهش عملکرد در مقایسه با شرایط مناسب از لحاظ رطوبتی می‌باشد. آبیاری در کشاورزی سهم قابل توجهی را در امنیت غذایی جهان به خود اختصاص داده است[۶۲]. در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی محدودیتی است که اثر منفی قابل ملاحظه‌ای بر تولید محصولات کشاورزی وارد می‌کند. هر موقع که آب مورد نیاز گیاه محدود می‌گردد، رشد گیاه و معمولاً عملکرد هم کاهش می‌یابد. مقدار کاهش عملکرد متاثر از ژنوتیپ، شدت کمبود آب و مرحله نمو گیاه می‌باشد. در مراحل نمو رویشی، حتی تنش جزئی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد. این امر جذب دی‌اکسیدکربن و تولید ماده خشک گیاه را کاهش می‌دهد[۶۷]. عملکرد نهایی، نتیجه اثرات تنش بر رشد، فتوسنتز، فرایندهای متابولیک، زایشی و غیره می‌باشد. رژیم رطوبتی نا مطلوب، ضمن کاهش سطح برگ، پیری آنها را هم تسریع نموده و بدین وسیله می‌تواند تولید را خیلی بیشتر از آن‌چه که به علت اثرات ناشی از کاهش فتوسنتز ناخالص تقلیل می‌یابد، کاهش دهد[۶۲]. هایل اشاره می‌کند که در بین عوامل محیطی، تنش رطوبتی یا تنش خشکی بزرگترین عامل تنش‌زا است که ممکن است گیاهان با آن مواجه شوند[۱۷۰].

---

۱. Stressor

۱-۲-۲ مکانیسم‌های مقاومت به خشکی

سه راهکار که گیاهان در مواقع تنش کمبود آب به کار می‌گیرند شامل موارد زیر می‌باشند[۶۷]: فرار از خشکی از طریق کاهش طول دوره حیات، اجتناب از تنش و از دست رفتن آب سلول با وجود محتوای پایین آب داخل سلول‌ها و تحمل تنش خشکی از طریق به کارگیری فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی که گیاه را قادر می‌سازد در پتانسیل کم آب، ادامه حیات دهد.

لویت[۱۹۸] با تأیید این تقسیم‌بندی مکانیسم دوم را اجتناب از خشکی و سومین فرایند را تحمل به خشکی نامیده است. در مکانیسم اول، گیاه از تنش فرار می‌کند. در این حالت گیاهان در مدت کوتاهی که بارش وجود دارد به سرعت جوانه‌زنی، رشد و گل‌دهی خود را انجام می‌دهند و چرخه حیات خود را در دوره‌ای که رطوبت کافی است کامل می‌نمایند. در مکانیسم دوم گیاه به کمک سازوکارهای اجتناب، علی‌رغم وجود تنش در محیط اطراف، از تأثیر تنش می‌کاهد. تولید ریشه عمیق، وجود کوتیکول‌های ضخیم یا کرک در سطح برگ‌ها و توان ذخیره آب در گیاه و وجود بافت‌های گوشتی وآب‌دار از جمله سازوکارهای اجتناب از خشکی به حساب می‌آیند. برای مکانیسم سوم، تحمل تنش، بایستی شرایط داخلی گیاه با شرایط بیرونی به تعادل برسد. در این شرایط، با وجود این‌که پروتوپلاسم گیاه آب خود را از دست می‌دهد،آسیبی متوجه گیاه نخواهد بود و گیاه رشد و نمو خود را از سر می‌گیرد.

۱-۳ کنجد

کنجد یکی از قدیمی‌ترین گیاهان کشت شده توسط بشر و احتمالاً قدیمی‌ترین گیاه روغنی جهان است[۱۴۴] و به عنوان ملکه گیاهان روغنی شناخته شده است[۸۵]. این گیاه از جمله گیاهانی است که از گذشته دور مورد استفاده بشر بوده و قدمت زراعت آن به حدی است که اظهار نظر در مورد زمان و ناحیه دقیق زراعی شدن آن بسیار مشکل و تقریبا ناممکن است. در مورد مبدا و منشا کنجد نظرات متفاوتی ارائه گردیده است[۸۴]. کنجد یکی از دانه‌های روغنی و خوراکی مهم در کشاورزی نواحی گرم به شمار می‌رود[۲۷]. که دانه آن حدود ۵۵٪ روغن خوراکی دارد[۲۸۹]. کنجد اکنون در نواحی مختلف کشور مانند فارس، خوزستان، بلوچستان، یزد، اصفهان و حتی در بعضی نواحی سردسیر مثل اراک، همدان، نهاوند و مراغه کشت می‌شود[۲۶].

۱-۳-۱ منشأ و خصوصیات گیاهی

کنجد با نام انگلیسی Sesame و نام علمی *Sesamum indicum* از خانواده پدالیاسه[۱] است که به نام‌های Til، Gingelly، Simsim و Benniseed نیز معروف است. گیاهی است دیپلوئید که حدود ۱۶

---

۱. Pedaliacea

جنس و ۵۰ گونه دارد. تنها گونه زراعی آن *Sesamum indicum* L. است و تاکنون حدود ۳۰۰۰ واریته و نژاد این گیاه شناسایی شده‌اند که نشانگر تنوع قابل ملاحظه در این گیاه می‌باشد[۲۷، ۳۱، ۳۴ و ۱۹۱]. واویلوف هند را منشاء کنجد دانسته اما تنوع وسیع انواع وحشی در آفریقا نشان می‌دهد که احتمالاً کنجد زراعی از Sesame capense در نواحی مرکزی قاره آفریقا و ظاهرا در اتیوپی منشأ یافته است[۲۷].

الف: ریشه

ریشه کنجد مستقیم و بسیار توسعه یافته است که به طور متوسط حدود یک متر در خاک نفوذ می‌کند. ریشه‌های فرعی بیشتر در سطح‌الارض خاک گسترده می‌شوند و رشد و نمو آنها معمولاً تا موقع گل‌دهی ادامه می‌یابد و بعد ازآن کم و بیش متوقف می‌گردد[۳۴].

ب: ساقه

ساقه کنجد راست و ارتفاع آن بین ۵۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر و اکثرا ۷۰ سانتی‌متر است. مقطع ساقه معمولاً مربع‌شکل و گاه مستطیلی و پهن و دارای شیارهای عمودی است و ممکن است صاف،کمی کرکدار باشد که مقدار کرک روی ساقه با مقاومت در برابر خشکی مربوط می‌باشد. ظاهرا ساقه کنجد دارای مواد لزج (موسیلاژ) و آبدار است. رنگ ساقه از سبز روشن تا ارغوانی متغیر و معمولاً سبز تیره است. بر روی ساقه اصلی شاخه‌های فرعی بوجود می‌آید که به آنها اصطلاحا تک‌شاخه گفته می‌شود ولی در بعضی از ارقام از گره‌های مختلف تعداد بیشتری ساقه فرعی بوجود می‌آید که آنها را چند شاخه می‌گویند. معمولاً ارقام زودرس ساقه کوتاه‌تر و ارقام ساقه بلند دیررس‌تر می‌باشند[۲۷ و ۳۴].

ج: برگ

برگ کنجد در واریته‌های مختلف و حتی در یک بوته از نظر شکل و اندازه بسیار متنوع است. معمولاً برگ‌های پایین بوته پهن با حاشیه دندانه‌دار و برگ‌های میانی نوک تیز و گاهی دندانه‌دار و برگ‌های بالایی باریک‌تر و نوک تیزترند. سطح برگ گاهی صاف و گاهی چین‌خورده و چسبناک و تا حدی کرکدار است و با یک دمبرگ نسبتا بلند به ساقه متصل می‌گردد. آرایش برگ نیز از یک بوته به بوته دیگر متفاوت است در یکی ممکن است متناوب باشد و در برخی برگ‌های پایینی متقابل و برگ‌های بالایی متناوب هستند. ترتیب برگ‌ها از این نظر حائز اهمیت است که بر تعداد گل‌هایی که از بغل برگ‌ها می‌رویند و در نتیجه بر عملکرد تأثیر دارد و متقابل بودن برگ‌ها موجب چند برابر شدن گل‌دهی می‌شود. طول برگ بین ۳ تا ۷ سانتی‌متر و عرض ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر و طول دمبرگ بین ۱ تا ۵ سانتی‌متر است[۳۴ و ۴۱].