بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

تأثیر نانوکود کلات آهن بر واکنش ارقام گندم به تنش شوری در محلول غذایی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت

صادق امیدی نرگسی

اساتید راهنما

دکتر مرتضی زاهدی
دکتر حمیدرضا عشقی‌زاده

۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت آقای صادق امیدی نرگسی

تحت عنوان

تأثیر نانوکود کلات آهن بر واکنش ارقام گندم به تنش شوری در محلول غذایی

در تاریخ ۹۳/۹/۱۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مرتضی زاهدی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حمیدرضا عشقی‌زاده
۳- استاد مشاور	دکتر امیرحسین خوشگفتارمنش
۴- استاد داور	دکتر پرویز احسان‌زاده
۵- استاد داور	دکتر حسین شریعتمداری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر محمد مهدی مجیدی

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

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس مخصوص خداوندی است که پروردگار جهانیان است. خدای بزرگ را شاکرم که مرا مورد عنایت خویش قرار داد و به من خِرَدی عطا نمود تا بوسیله‌ی آن بیندیشم، بینشی بخشید که توسط آن راهم را انتخاب کنم، اراده و توانی داد تا با کمک گرفتن از آن‌ها به انجام کارهایم همت بگمارم، صبر و بردباری عطا کرد تا توانایی تحمل سختی‌ها و مشکلات را بدست آورم، اعتماد به نفس و خودباوری داد تا استعدادها و توانایی‌هایم را بشناسم و باور کنم، عشق و امیدی داد تا محرک و روشن‌گر راهم باشند، فرجامی نیکو عنایت بخشید تا به بزرگی‌اش ایمان بیاورم و به وجود مقدسش تکیه کنم و نیز قلب و زبانی شکرگذار عطا نمود تا از یادش غافل نشده و داشته‌هایم را مدیون عطوفت و مهربانی‌اش بدانم.

به یاری خداوند متعال دوره‌ای دیگر از مسیر طولانی و پر فراز و نشیب زندگی‌ام به پایان رسید. به این خاطر، به رسم ادب و احترام لازم است از همه کسانی که به نوعی در شکل‌گیری، انجام و اتمام این پایان‌نامه یاور و مددکار بنده بوده‌اند تشکر و قدردانی گردد. نهایت سپاس و قدردانی‌ام را تقدیم پدر، مادر، برادر و خواهران گرامی‌ام می‌کنم که در طول انجام این پایان‌نامه عاشقانه مشوق و حامی بنده بوده‌اند. در ادامه، از اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر زاهدی و دکتر عشقی‌زاده که در طول دو سال صبورانه و دلسوزانه زحمت هدایت و راهنمایی مرا برای به انجام رساندن این پایان‌نامه متحمل شدند خاضعانه سپاسگذاری می‌کنم. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر خوشگفتارمنش که زحمت مشاورت این پایان‌نامه را بر عهده داشتند نیز صمیمانه تشکر می‌نمایم. از اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر احسان‌زاده و دکتر شریعتمداری که وظیفه خطیر داوری و بازخوانی این پایان‌نامه را عهده‌دار بودند کمال سپاس و قدردانی را دارم. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر اهتمام و نیز مسئولین محترم آزمایشگاه‌های گروه زراعت و اصلاح‌نباتات به خاطر راهنمایی‌ها و همکاری‌های ارزنده‌شان تشکر می‌کنم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از تمامی دوستان و هم‌کلاسی‌های عزیز و گرامی‌ام که همواره در کنار بنده بوده و از دل و جان و بی هیچ چشم‌داشتی مرا یاری رساندند صمیمانه قدردانی نمایم. از خداوند متعال برای همه این عزیزان آرزوی شادکامی و سربلندی دارم.

صادق امیدی نرگسی

آذرماه ۱۳۹۳

تقدیم به عزیزانی که وجودشان گرمابخش زندگی است...

پدر و مادر عزیزی که قلبشان سرشار از عشق بی پایان است، آنان‌که در نهایت عطوفت و مهربانی و با گذشتن از دلبستگی‌های خویش مسیر دشوار زندگی را برایم هموار ساختند؛

برادر بزرگوار و فداکاری که همچون پدری مهربان پشتوانه‌ای محکم برای رسیدن به اهدافم بوده است؛

و خواهران خوب و عزیزتر از جانی که شیرینی حضورشان تلخی‌ها و ناملایمات زندگی را بر من خوشایند ساخته است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه ۲
۱-۱- اهمیت گندم ۲
۱-۲- شوری خاک و مشکلات پیش‌رو ۳
۱-۳- اهمیت آهن در تغذیه انسان و گیاه ۳
۱-۴- فن‌آوری نانو ۴
۱-۵- ضرورت و اهداف پژوهش ۵
فصل دوم: بررسی منابع ۶
۲-۱- اهمیت گندم در سطح جهانی ۶
۲-۲- تنش‌های محیطی و پاسخ گیاهان به تنش ۷
۲-۳- تنش شوری ۸
۲-۴- مکانیسم‌های مقاومت به شوری ۸
۲-۵- اثرات شوری بر گیاه ۱۰
۲-۵-۱- اثر شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی ۱۳
۲-۵-۶- اثر شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی ۱۵
۲-۶- عناصر مورد نیاز گیاه ۱۷
۲-۷- آهن ۱۸
۲-۷-۱- آهن در خاک ۱۸
۲-۷-۲- نقش و اثرات کمبود آهن در گیاه ۱۸
۲-۷-۳- مکانیسم‌های جذب آهن توسط ریشه‌ها ۱۹
۲-۷-۴- تفاوت ژنوتیپ‌های گیاهی در جذب آهن خاک ۲۰
۲-۷-۵- جذب آهن در خاک‌های شور ۲۲
۲-۷-۶- انواع کودهای آهن ۲۲
۲-۸- فن‌آوری نانو ۲۵
۲-۸-۱- تعاریف و اصطلاحات ۲۵
۲-۸-۲- کاربردهای فن‌آوری نانو ۲۶
۲-۸-۳- کاربرد فن‌آوری نانو در کشاورزی ۲۶

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۳
۳-۱- موقعیت و نحوه اجرای آزمایش ۳۳
۳-۲- گزینش ارقام گندم ۳۳
۳-۳- صفات مورد بررسی و نحوه اندازه‌گیری آنها ۳۹
۳-۳-۱- وضعیت فلورسانس کلروفیل ۳۹
۳-۳-۲- شاخص سبزینگی (عدد کلروفیل‌متر) ۳۹
۳-۳- ۳- ارتفاع گیاه ۴۰
۳-۳- ۴- طول ریشه ۴۰
۳-۳- ۵- حجم ریشه ۴۰
۳-۳- ۶- سطح برگ ۴۱
۳-۳- ۷- وزن خشک اندام هوایی و ریشه ۴۱
۳-۳- ۸- زردبرگی ظاهری ۴۲
۳-۳- ۹- تعداد سنبله در بوته ۴۲
۳-۳- ۱۰- طول سنبله ۴۲
۳-۳- ۱۱- وزن سنبله ۴۲
۳-۳- ۱۲- تعداد دانه در سنبله ۴۳
۳-۳- ۱۳- وزن دانه در سنبله ۴۳
۳-۳- ۱۴- غلظت سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی ۴۳
۳-۴- محاسبات آماری ۴۴
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۶
۴-۱- برداشت اول (مرحله رشد رویشی) ۴۶
۴-۱-۱- فلورسانس کلروفیل ۴۶
۴-۱-۲- شاخص سبزینگی (عدد کلروفیل‌متر) ۴۸
۴-۱-۳- ارتفاع گیاه ۴۹
۴-۱-۴- زرد برگی ظاهری ۵۰
۴-۱-۵- طول ریشه ۵۹
۴-۱-۶- حجم ریشه ۶۰
۴-۱-۷- سطح برگ ۶۱
۴-۱-۸- وزن خشک اندام هوایی ۶۳
۴-۱-۹- وزن خشک ریشه ۶۵
۴-۱-۱۰- وزن خشک کل گیاه ۶۷
۴-۱-۱۱- نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ۶۸

۴-۲- برداشت دوم (مرحله رسیدگی فیزیولوژیک) ۸۰
۴-۲-۱- غلظت سدیم اندام هوایی..... ۸۰
۴-۲-۲- غلظت سدیم ریشه..... ۸۱
۴-۲-۳- غلظت پتاسیم اندام هوایی ۸۳
۴-۲-۴- غلظت پتاسیم ریشه ۸۴
۴-۲-۵- نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی ۸۵
۴-۲-۶- نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ۸۷
۴-۲-۷- وزن خشک اندام هوایی ۹۶
۴-۲-۸- وزن خشک ریشه ۹۷
۴-۲-۹- وزن خشک کل ۹۸
۴-۲-۱۰- نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌هوایی ۹۹
۴-۲-۱۱- تعداد سنبله در بوته..... ۱۰۷
۴-۲-۱۲- طول سنبله ۱۰۸
۴-۲-۱۳- وزن سنبله ۱۰۹
۴-۲-۱۴- تعداد دانه در سنبله ۱۱۱
۴-۲-۱۵- وزن دانه در سنبله..... ۱۱۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۲
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۲۲
۵-۲- پیشنهادات ۱۲۳
فهرست منابع ۱۲۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱. فرمول محلول غذایی هوگلند ۳۸
جدول۴-۱. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۲
جدول۴-۲. مقایسه میانگین‌های پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۳
جدول ۴-۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و شوری بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۴
جدول ۴-۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۵
جدول ۴-۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۶
جدول ۴-۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل ارقام گندم ۵۷
جدول ۴-۷. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه و زردبرگی ظاهری ارقام گندم ۵۸
جدول ۴-۸. مقادیر مربوط به شاخص SSI محاسبه شده برای ارقام مورد مطالعه بر اساس تغییرات وزن خشک اندام هوایی در مرحله رشد رویشی ۶۵
جدول ۴-۹. نتایج تجزیه واریانس طول ریشه، حجم ریشه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۶۹
جدول ۴-۱۰. مقایسه میانگین‌های طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ارقام گندم ۷۰
جدول ۴-۱۱. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و شوری بر طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ارقام گندم ۷۱
جدول ۴-۱۲. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ارقام گندم ۷۲
جدول ۴-۱۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ارقام گندم ۷۳
جدول ۴-۱۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ارقام گندم ۷۴
جدول ۴-۱۵. مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۷۵
جدول ۴-۱۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و شوری بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام مختلف گندم ۷۶

جدول ۴-۱۷. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام مختلف گندم ۷۷
جدول ۴-۱۸. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۷۸
جدول ۴-۱۹. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۷۹
جدول ۴-۲۰. نتایج تجزیه واریانس غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۸۹
جدول ۴-۲۱. مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۹۰
جدول ۴-۲۲. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و شوری بر غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۹۱
جدول ۴-۲۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۹۲
جدول ۴-۲۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۹۳
جدول ۴-۲۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر غلظت سدیم اندام‌هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام‌هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ارقام گندم ۹۴
جدول ۴-۲۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود در ارقام گندم ۹۵
جدول ۴-۲۷. مقادیر مربوط به شاخص SSI محاسبه شده برای ارقام مورد مطالعه بر اساس تغییرات وزن خشک اندام هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۹۷
جدول ۴-۲۸. نتایج تجزیه واریانس وزن خشک اندام‌هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۱
جدول ۴-۲۹. مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۲
جدول ۴-۳۰. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و شوری بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۳
جدول ۴-۳۱. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۴
جدول ۴-۳۲. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۵

جدول ۴-۳۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن کل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ارقام گندم ۱۰۶
جدول ۴-۳۴. نتایج تجزیه واریانس تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۱۵
جدول ۴-۳۵. مقایسه میانگین‌های تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۱۶
جدول ۴-۳۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۱۷
جدول ۴-۳۷. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و کود بر تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۱۸
جدول ۴-۳۸. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و کود بر تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۱۹
جدول ۴-۳۹. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم، شوری و کود بر تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله ارقام گندم ۱۲۰

چکیده

این تحقیق در شرایط آبکشت با استفاده از محلول غذایی هوگلند در مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. در این مطالعه تأثیر کاربرد کود کلات آهن به فرم معمول و نانوذرات بر شش رقم گندم (لاین ۹ شوری، کویر، سرخ‌تخم، چمران، عدل و استار) در چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. گیاهان در دو مرحله رشد رویشی و رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شدند. در این آزمایش در اثر شوری شاخص سبزینگی، ارتفاع گیاه، طول ریشه، حجم ریشه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و کل، غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه، تعداد سنبله در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله کاهش یافت. با این حال، در سطح ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم صفات شاخص سبزینگی و حجم ریشه در ارقام چمران و عدل، وزن خشک اندام هوایی و کل در رقم کویر، طول و تعداد سنبله در بوته در رقم عدل تحت تأثیر منفی شوری قرار نگرفتند. در اثر شوری شدت زردبرگی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی و ریشه در شرایط شور افزایش یافت. میزان کاهش وزن خشک اندام هوایی در سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم گیاهان برداشت شده در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (به‌ترتیب ۴۸، ۶۵ و ۸۳ درصد) در مقایسه با گیاهان برداشت شده در مرحله رشد رویشی (۲۰، ۲۷ و ۲۸ درصد) بیشتر بود. بر اساس میانگین کاهش وزن خشک اندام هوایی در سطوح مختلف تنش شوری، در مرحله رشد رویشی ارقام عدل و لاین ۹ شوری و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ارقام عدل و سرخ تخم به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام نسبت به تنش شوری بودند. بین ارقام گندم از نظر واکنش به کاربرد کلات آهن حاوی نانوذرات تفاوت وجود داشت، به‌طوری که کاربرد کلات آهن به فرم نانو نسبت به فرم معمول آن در مرحله رشد رویشی باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی ارقام لاین ۹ شوری، کویر، چمران، عدل و استار و کاهش وزن خشک رقم سرخ‌تخم و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک موجب افزایش وزن خشک ارقام لاین ۹ شوری، کویر، سرخ‌تخم و استار و کاهش وزن خشک ارقام چمران و عدل شد. با کاربرد کود نانو کلات آهن نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کاهش ولی در سطوح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش یافت. نتایج این آزمایش نشان داد که بین ارقام گندم از نظر واکنش به تنش شوری و تغذیه گیاهان با نانوذرات کلات آهن تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد.

کلمات کلیدی: ارقام گندم، شوری، کلات آهن، نانوذرات، پتاسیم، سدیم

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت گندم

انتظار می‌رود تولید غذا تا سال ۲۰۵۰، همراه با روند فعلی رشد جمعیت، حدود ۵۰ درصد افزایش یابد [۱۲۷]. بنابراین، افزایش تولید محصولات کشاورزی برای برطرف کردن نیاز غذایی جمعیت روز افزون بشر ضروری است [۱۷]. غلات، اصلی‌ترین رژیم غذایی مورد استفاده مردم سراسر جهان را تشکیل داده و منبع اصلی کالری، کربوهیدرات‌ها و برخی پروتئین‌های مورد نیاز جمعیت جهانی به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه به حساب می‌آیند [۱۳۳]. مدل جهانی غذا، ارائه شده توسط مؤسسه‌ی تحقیقات بین‌المللی سیاست‌گذاری غذا نشان می‌دهد که برای بر طرف کردن نیاز غذایی جمعیت جهان در سال ۲۰۲۰، تولید سالانه غلات باید ۴۰ درصد افزایش یافته و به حدود ۲۵۰۰ میلیارد تن برسد [۱۷]. در میان غلات، گندم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری که غذای عمده‌ی بیش از ۳۵ درصد مردم جهان را تشکیل داده است [۹۳، ۱۳۰ و ۸۶]. این محصول از نظر وسعت کشت مهم‌ترین محصول در جهان و ایران است [۱۶]. تقریباً یک ششم از کل زمین‌های زراعی جهان و حدود ۷۴ درصد از اراضی کشور به کشت گندم اختصاص دارد [۳۷ و ۱۶]. این محصول به صورت‌های مختلفی مصرف می‌شود. بر اساس برآورد فائو (۲۰۰۹)، مصرف سرانه غذایی گندم در ایران حدود ۱۷۸/۴ کیلوگرم می‌باشد و چنانچه مصرف دام، بذر، ضایعات و سایر مصارف به مصرف غذایی انسان افزوده شود، تولید و یا تأمین حدود ۲۱۰ کیلوگرم گندم

به ازاء هر نفر در سال نیاز است [۱۶]. از اوایل دهه ۱۹۵۰، تولید جهانی گندم تنها به دلیل بهبود عملکرد، افزایش یافته است. اگر افزایش چشمگیر سطح زیر کشت گندم مورد انتظار نباشد، افزایش آتی تولید، بیش از پیش به توانایی ما برای حفظ روند افزایش عملکرد بستگی خواهد داشت. از آنجایی که جمعیت جهان روند افزایشی دارد، لازم است نرخ افزایش عملکردی که در بیشتر سال‌های نیمه دوم قرن بیستم تجربه شد، حفظ شود تا نیازهای پیش‌بینی شده برآورده شود [۲۹].

۱-۲- شوری خاک و مشکلات پیش‌رو

رشد و تکامل گیاهان تا حدود زیادی وابسته به توانایی آنها در غلبه بر تنش‌های محیطی است. در میان تنش‌های مختلف محیطی، شوری خاک یکی از عوامل مهم تهدید کننده تولیدات کشاورزی در کشور می‌باشد [۸۸]. تجمع نمک در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا یکی از مسائل مهم در کشاورزی است که به طور گسترده‌ای بر تولید گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد [۱۵]. بررسی جهانی الگوی استفاده از اراضی نشان می‌دهد که ۷٪ از مساحت اراضی جهان، که بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا می‌باشد و حدود ۱۵٪ از سطح کشور به اراضی شور تبدیل شده است [۸۸ و ۴۲]. تنش شوری بر مراحل مختلف رشد گیاه از قبیل جوانه‌زنی بذر، قدرت و رشد گیاهچه، رشد رویشی، گلدهی و تولید میوه تأثیر گذار است [۸۸]. غلظت بالای نمک در خاک، ابتدا با کاهش پتانسیل آب خاک از طریق محدود کردن جذب آب توسط ریشه بر گیاهان تأثیر می‌گذارد. در ادامه، مواجه طولانی مدت گیاهان با شوری منجر به تجمع یون سدیم درون گیاه می‌شود. سدیم برای گیاه ایجاد مسمومیت کرده و باعث اختلال در متابولیسم گیاه خواهد شد [۶۹]. شوری خاک همچنین ممکن است جذب عناصر را به دلیل رقابت با کاتیون‌های نمک در سطح ریشه کاهش دهد [۱۲۳]. در حال حاضر شوری ناشی از دخالت انسان از طریق استفاده از سیستم‌های آبیاری با آب با کیفیت پایین، نگرانی اصلی دانشمندان از توسعه شوری به شمار می‌رود. بنابراین علاوه بر نیاز به روش‌های مناسب آبیاری، توسعه دانش مهندسی ژنتیک و گزینش ارقام متحمل به شوری ضرورت دارد [۳۷].

۱-۳- اهمیت آهن در تغذیه انسان و گیاه

در حال حاضر کمبود آهن در رژیم غذایی انسان یک مشکل جهانی محسوب می شود. بیش از یک سوم مردم جهان از کمبود آهن رنج می‌برند و اغلب این جمعیت را زنان وکودکان تشکیل می‌دهند [۵۳]. بیش از ۸۰۰ میلیون نفر در کشورهای در حال توسعه به دلیل عدم دسترسی به غذای کافی، دچار سوء تغذیه هستند و کمبود

برخی از عناصر کم‌مصرف نظیر آهن، روی، ید و نیز کمبود ویتامین A از مشکلات اساسی در کشورهای در حال توسعه است، به‌طوری که کمبود این عناصر موجب بروز لطمات شدید به سلامت انسان از جمله کاهش در رشد و یادگیری، اختلال در سیستم ایمنی و کم‌خونی می‌شود [۱۷].

گیاهان منبع اصلی آهن در رژیم غذایی هستند، بنابراین مصرف گیاهان حاوی میزان کافی آهن، راهکاری ضروری برای بهبود تغذیه بشر است [۵۳]. با این حال، باید توجه داشت، رژیم غذایی در کشورهای با منابع فقیر، عمدتاً بر روی غلات اصلی، که بخصوص از نظر آهن فقیر هستند، متمرکز شده است [۱۷]. به‌طور معمول غلظت عناصر کم‌مصرف و میزان دسترسی به آنها در دانه غلات پایین است. بر این اساس افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه غلات یکی از راه‌های بر طرف کردن کمبود آهن و روی در انسان محسوب می‌شود [۴۵]. آهن یکی از عناصر ضروری ولی کم‌مصرف است که برای رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی مورد نیاز می‌باشد. گیاهان در بین کلیه عناصر کم‌مصرف، بیشترین نیاز را به آهن دارند [۱۸ و ۵۳]. این عنصر عاملی مؤثر در ترکیب ۱۴۰ آنزیم است که واکنش‌های بیوشیمیایی منحصر به فردی را کاتالیز می‌کنند. همچنین آهن نقش‌های مهمی را در رشد و توسعه گیاهان از جمله ساخت کلروفیل، تیلاکوئید و توسعه کلروپلاست بر عهده دارد [۱۱۴].

در ایران به دلیل وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، مصرف بالای فسفر در خاک، بی‌کربناتی بودن آب آبیاری و پایین بودن میزان ماده آلی در خاک اغلب کمبود عناصر کم‌مصرف از قبیل آهن و روی اتفاق می‌افتد [۳۹]. کمبود آهن باعث ایجاد کلروز بین رگبرگی در برگ‌های جوان می‌شود [۱۳۷]. برای این منظور از ترکیبات مختلفی برای درمان کلروز آهن استفاده می‌شود که می‌توان به ترکیبات معدنی آهن، کودهای آلی آهن‌دار و کلات‌ها اشاره نمود [۳۴]. ارقام مختلف یک گونه گیاهی پاسخ‌های متفاوتی را نسبت به سطح پایین تا حد سمیت عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک نشان می‌دهند [۹۱]. یکی از راه‌های مناسب جهت مقابله با مشکل کمبود آهن در خاک انتخاب یا اصلاح ارقامی با قدرت جذب بیشتر عناصر کم‌مصرف می‌باشد [۴۵].

۱-۴- فن‌آوری نانو

کاربرد فناوری نانو در سال‌های اخیر تا حد زیادی افزایش یافته است. این تکنولوژی قادر به بهبود روش‌های ارزیابی، مدیریت و کاهش خطرات زیست‌محیطی بوده و می‌تواند فرصت‌هایی را برای تولید محصولات جدید فراهم سازد [۵۵]. مواد نانومقیاس که امروزه استفاده از آنها بسیار رایج شده است، می‌توانند در زمینه‌های مختلفی از جمله در علوم مرتبط با کامپیوتر، الکترونیک، اطلاعات، بیوتکنولوژی، هوا و فضا، صنایع دفاعی، انرژی، پزشکی، کشاورزی و دیگر بخش‌های اقتصادی یک کشور سودمند واقع شوند [۱۳۶]. پژوهش در کشاورزی مواردی از جمله بهبود کارایی محصول، فرآوری غذا، امنیت غذایی، عواقب زیست محیطی تولید، نگهداری وتوزیع غذا را

مورد توجه قرار داده است. فن‌آوری نانو ابزار جدیدی را برای دنبال کردن این اهداف فراهم می‌آورد و باکمک آنها، توانایی دگرگون ساختن صنایع غذایی و کشاورزی را دارد. در حوزه کشاورزی امکان استفاده از این ابزارها برای تشخیص رفتارهای مولکولی بیماری‌ها، کشف سریع بیماری و افزایش توانایی گیاهان برای جذب مواد غذایی، افزایش کارایی آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و نیز کاهش استفاده از این مواد وجود دارد [۱۹]. نانومواد به دلیل سطح ویژه بالای ذرات خود، دارای واکنش‌پذیری بالا در محیط‌های مختلف می‌باشند. تحقیقات نشان داده است که اثرات نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در سال‌های اخیر، محققان مطالعاتی را در مورد اثرات نانومواد بر رشد و جوانه‌زنی گیاه با هدف ارتقاء دادن آن جهت استفاده در مصارف کشاورزی انجام داده‌اند [۹۴]. اخیراً نگرانی‌ها در ارتباط با خطرات بالقوه کاربرد نانوذرات برای سلامت انسان توجه جوامع بین المللی را به خود جلب کرده است. خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به‌فرد نانوذرات نگرانی‌هایی را در مورد خطرات کاربرد این مواد برای محیط زیست به‌وجود آورده است [۶۷]. نانوذرات ریزتر که از نسبت سطح به حجم بالاتری برخوردارند در مقایسه با نانوذرات درشت‌تر، می‌توانند زیان بیشتری را به بدن انسان و محیط زیست وارد کنند [۱۴۰]. در مطالعه‌ای مشاهده شده است که نانوذرات اکسید مس منجر به تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن و به دنبال آن، ایجاد تنش اکسیداتیو و کاهش بیومس گندم شده است. اما در پژوهشی دیگر، کاربرد نانو اکسید آهن غلظت آهن را در گندم افزایش داده است. بنابراین نیاز است که قبل از استفاده از نانومواد در بخش‌های مختلف تولید، مطالعات بیشتری بر روی این مواد صورت گیرد.

۱-۵- ضرورت و اهداف پژوهش

در حال حاضر اطلاعات قابل دسترسی در زمینه اثر نانوکودها بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف از جمله گندم وجود ندارد، همچنین تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد نانوکودها در شرایط وجود تنش شوری بررسی نشده است. بنابراین پژوهش حاضر به منظور دستیابی به اهداف زیر انجام شد:

- مطالعه واکنش ارقام مختلف گندم به تغذیه کود کلات‌آهن در دو فرم معمول و نانو ذرات
- مطالعه تأثیر کاربرد کود کلات آهن به فرم نانوذرات بر واکنش ارقام گندم به سطوح مختلف تنش شوری

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- اهمیت گندم در سطح جهانی

گندم در بین کلیه گیاهان زراعی، بیشترین سطح زیر کشت را در جهان به خود اختصاص داده است [۲۹]. ارقام پاکوتاه و با عملکرد بالا که در جریان انقلاب سبز[۱] معرفی شدند، جهش عظیمی در عملکرد و تولید گندم بوجود آوردند [۱۳۳]. در بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۵ سطح زیر کشت گندم حدود ۲۲۳ میلیون هکتار ولی میزان تولید آن حدود ۵۴۵ میلیون تن بوده است [۲۹]. اما بر اساس آخرین آمار فائو، سطح زیر کشت گندم در سال۲۰۱۱ حدود ۲۲۰ میلیون هکتار و میزان تولید آن به حدود ۷۰۴ میلیون تن افزایش یافته است [۱۶]. به عبارت دیگر علی‌رغم اینکه سطح زیر کشت گندم طی سال‌های ۱۹۹۵ تا۲۰۱۱ حدوداً ۱/۳۵ درصد کاهش یافته است ولی عملکرد آن با ۲۲/۵ درصد، افزایش چشمگیری نشان داده است. در میان کشورهای عمده‌ی تولید کننده گندم، آمریکا، کانادا و ترکیه بالاترین عملکرد را در واحد سطح دارند. بزرگترین صادرکننده گندم در دنیا، کشور آمریکا با حدود ۳۴ میلیون تن و بزرگترین واردکننده آن، کشورچین با حدود ۱۳ میلیون تن است. ایران نیز با واردات حدود ۲۵ درصد تولید (حدود ۴/۵ میلیون تن) از کشورهای دیگر از جمله استرالیا، آرژانتین، کانادا بخش زیادی از نیاز گندم خود را تأمین می‌کند [۳۵].

---

۱. Green Revolution

۲-۲- تنش‌های محیطی[۱] و پاسخ گیاهان به تنش[۲]

تنش در نتیجه‌ی روند غیرعادی فرایندهای فیزیولوژیکی بوده و از تأثیر یک یا چند عامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود [۲۱]. تعریف دقیقی از تنش بیولوژی نمی‌توان ارائه داد، ممکن است شرایطی که برای یک گیاه تنش محسوب شود، برای گیاه دیگر مطلوب باشد [۳۲]. اما در هر صورت تنش بیانگر اثرات نامطلوب بر روی یک موجود زنده است.

تنش‌های محیطی از جمله شوری، خشکی، شدت نور بالا و دماهای بالا یا پایین سبب کاهش بخش قابل توجه تولیدات کشاورزی در سراسر جهان می‌شوند. وجه اشتراک تمامی این شرایط نامطلوب، تولید گونه‌های فعال اکسیژن[۳] در قسمت‌های مختلف سلول‌های گیاهی است که باعث ایجاد سمیت درون سلولی می‌شوند [۸۸]. گیاهان به شرایط تنش‌زای مختلف از طریق تغییرات فیزیولوژیکی پاسخ می‌دهند [۹۴]. همچنین، گیاهان ممکن است با تکمیل رشد خود طی دوره‌هایی با شدت کمتر تنش، از اثرات تنش فرار[۴] کنند.

برخی از گیاهان، مانند گیاهان افمرال[۵] به‌طورکلی از تنش فرار می‌کنند. این گیاهان کوتاه عمر و کویری بوده که پس از وقوع بارش‌های فصلی جوانه زده، رشد و گلدهی خود را انجام می‌دهند. از این رو این گیاهان قبل از مواجه با تنش دوره زندگی خود را تکمیل می‌کنند. ممکن است تغییرات خاصی در وضعیت متابولیکی گیاهان رخ داده و از این راه گیاه قابلیت اجتناب[۶] از تأثیرات تنش یا تحمل[۷] آنها را پیدا کند [۱]. این چنین تغییرات، یک نوع دفاع سیستمیک محسوب می‌شود که هدف آن تنظیم اسمزی و تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل جاسمونیک اسید[۸]، متیل جاسمونات[۹] و سالیسیلیک اسید[۱۰] است. چنانچه تنش ملایم و کوتاه‌مدت باشد، آسیب آن به گیاه ممکن است موقتی بوده و با برطرف شدن تنش، آسیب نیز برطرف گردد [۹۴]. اما چنانچه تنش شدید باشد، ممکن است از گلدهی و تولید بذر در گیاه جلوگیری کرده یا حیات و بقای گیاه را به خطر اندازد.

---

۱. Environmental Stress
۲. Stress
۳. Reactive Oxygen Species
۴. Scape
۵. Ephemeral Plants
۶. Avoidance
۷. Tolerance
۸. Jasmonic Acid
۹. Methyl Jasmonate
۱۰. Salicylic Acid

۲-۳- تنش شوری[۱]

حدود ۱۵ درصد از اراضی موجود در جهان توسط عوامل نامساعد مختلفی قابلیت کشت را از دست می‌دهند و نیمی دیگر را بیابان‌های دائمی و اراضی خشک تشکیل می‌دهند که حاصلخیزی این اراضی و تولید محصول در آنها، تنها می‌تواند با ایجاد سیستم‌های آبیاری میسر گردد. راه‌اندازی سیستم‌های آبیاری، خود باعث ایجاد مشکلات مربوط به شور شدن خاک می‌شود [۱۲۷]. شوری خاک یا آب از جمله عوامل تنش‌زای محیطی می‌باشد که علاوه بر اختلال و کاهش قابلیت جذب آب توسط ریشه‌ها، گیاهان را نیز از نظر تغذیه‌ای و فرایندهای متابولیکی دچار مشکل می‌نماید [۸۲، ۱۳۹و ۲۱]. به‌طورکلی واژه‌ی تنش شوری به وجود بیش از حد یون‌ها به‌ویژه یون‌هایی مانند کلر و سدیم در محلول خاک اطلاق می‌شود [۱۲۳].

نمک‌ها ترکیبی از یون‌های با بار مثبت و یون‌های با بار منفی می‌باشند [۸۳]. در محلول خاک‌های شور علاوه بر سدیم و کلر، غلظت کلسیم، منیزیم، سولفات و کربنات نیز بالا می‌باشد. هر کدام از این نمک‌ها که به مقدار زیاد در خاک تجمع یابد، می‌تواند سبب ایجاد اختلال در رشد گیاه شود [۱۸و ۸۳]. نمک‌های موجود در خاک می‌توانند از مواد مادری، آب آبیاری، کودهای حیوانی و معدنی، کمپوست‌ها یا دیگر مواد افزودنی به خاک بوجود آیند. وجود نمک در اطراف ریشه گیاه می‌تواند در استخراج آب و عناصر غذایی از خاک اختلال ایجاد نموده و عملکرد محصول را کاهش دهد [۸۳ و ۱]. نمک‌ها پتانسیل اسمزی خاک را کاهش داده و سبب می‌شوند آب از قسمت‌هایی که از پتانسیل آب بالاتری برخوردارند (گیاه) به سمت مناطقی که پتانسیل آب پایین‌تری دارند (خاک) حرکت کند. تحت این شرایط، اصطلاحاً گیاه دچار نوعی خشکی فیزیولوژیکی[۲] می‌شود [۱]. بنابراین، غلظت بالای نمک در خاک، حتی زمانی که رطوبت خاک مناسب است، می‌تواند باعث کاهش رشد گیاهان شود. همچنین غلظت بالای سدیم در خاک سبب مشکلاتی در ساختار خاک می‌شود. هنگامی که تجمع سدیم در خاک افزایش یابد، خطر متراکم شدن خاک وجود خواهد داشت. علاوه بر این، غلظت بالای برخی از املاح در خاک از جمله کلرید سدیم ممکن است باعث ایجاد سمیت در گیاه شود [۸۳].

۲-۴- مکانیسم‌های تحمل به شوری

تحمل گیاهان نسبت به شوری نه‌تنها در بین گونه‌های مختلف تفاوت دارد، بلکه در هر گیاه و تحت شرایط محیطی مختلف نیز تغییر می‌کند. بسیاری از عوامل مربوط به گیاه، خاک، آب و اتمسفر با یکدیگر تلفیق شده و بر مقاومت یک گیاه نسبت به شوری اثر می‌گذارند. مثلاً حساسیت اکثر گیاهان نسبت به شوری در شرایط گرم و

---

۱. Salinity

۲. Physiological Drough