



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تربیت مدرس

پژوهش‌های نانوتکنولوژی گیاهان زراعی غیرزراعی، دارویی و زینتی



دکتر حسن فیضی

(دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر ریحانه عظیمی

(دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

دکتر محمدکیا کیانیان

(استادیار دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تربت حیدریه

معاونت آموزشی و پژوهشی

پژوهش‌های نانوتکنولوژی گیاهان زراعی، غیرزراعی، دارویی و زینتی

دکتر حسن فیضی

(دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه)

دکتر ریحانه عظیمی

(دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

دکتر محمدکیا کیانیان

(استادیار دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان)

تابستان ۱۳۹۹

چاپ اول

سرشناسه	: فیضی، حسن، ۱۳۵۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: پژوهش‌های نانو تکنولوژی گیاهان زراعی، غیرزراعی، دارویی و زینتی/حسن فیضی، ریحانه عظیمی، محمدکیا کیانیان.
مشخصات نشر	: تربت حیدریه: دانشگاه تربت حیدریه، انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۲۱۳ص.: مصور.
شابک	: 978-600-833513-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: تکنولوژی زیستی گیاهی
موضوع	: Plant biotechnology
موضوع	: تکنولوژی زیستی گیاهی -- جنبه‌های زیست‌محیطی
موضوع	: Plant biotechnology -- Environmental aspects
موضوع	: نانو تکنولوژی
موضوع	: Nanotechnology
موضوع	: نانو ذرات
موضوع	: Nanoparticles
شناسه افزوده	: عظیمی، ریحانه، ۱۳۶۶ -
شناسه افزوده	: کیانیان، محمدکیا، ۱۳۶۱ -
شناسه افزوده	: دانشگاه تربت حیدریه
رده بندی کنگره	: TP۲۴۸/۲۷
رده بندی دیویی	: ۶۶۰/۶۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۷۶۵۴۶
چاپ اول	: تابستان ۱۳۹۹
قیمت	: ۴۰۰۰۰ تومان

برای دسترسی اینترنتی به این کتاب می‌توانید به وبسایت انتشارات دانشگاه تربت حیدریه مراجعه نمایید.

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه تربت حیدریه محفوظ است.

پیشگفتار

فناوری نانو علمی است که در آن به مطالعه خواص نانومواد و تولید و استفاده از آنها در بهبود بخشیدن خواص و ویژگیهای مواد پرداخته می‌شود. چرا که بسیاری از خواص ماده در ابعاد نانومتری، متفاوت از خواص در ابعاد ماکروسکوپی می‌باشد. کاربردهای وسیع فناوری نانو در مواد، داروسازی، الکترونیک و کامپیوتر، محیط زیست، بیوتکنولوژی، انرژی و کشاورزی آن را به عنوان یک حوزه فرارشته‌ای و فرابخشی مطرح نموده است. در حوزه کشاورزی نیز ورود این علم باعث صرفه جویی در مصرف انرژی و زمان، تولید محصول بیشتر با هزینه کمتر، افزایش کیفیت محصولات و بهره‌وری بیشتر نهاده‌ها گردیده است.

کتاب حاضر، حاصل سال‌ها فعالیت نگارندگان است که نتایج فعالیت‌های علمی خود نظیر پایان‌نامه‌ها، مقالات و طرح‌های تحقیقاتی را به رشته تحریر در آورده‌اند. همچنین سعی شده است از نتایج سایر محققین در سراسر دنیا در زمینه فناوری نانو در کشاورزی و علوم گیاهی بهره لازم برده شود تا بتوان مجموعه‌ای فاخر در این زمینه ارائه داد. این کتاب می‌تواند مورد استفاده دانشجویان در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری رشته‌های کشاورزی و علوم زیستی و نیز محققان علاقمند به علوم نانو قرار گیرد. کتاب دارای فصل‌های مختلفی است که در ابتدا به معرفی علم نانو و روش‌های تولید و اندازه‌گیری پرداخته است. در ادامه استفاده از نانوتکنولوژی در طیف وسیعی از گیاهان شامل گیاهان زراعی، دارویی، زینتی و مرتعی را مورد بررسی قرار داده است.

امید است با نشر این اثر بتوان در جهت بهبود کیفیت زندگی و استفاده بهتر از منابع موجود، خدمات ارزشمندی ارائه نمود. مسلماً چاپ این اثر خالی از اشکالات نمی‌باشد که با انعکاس آنها به نگارندگان می‌توان به بهبود کیفیت آن کمک نمود. در پایان از تمامی کسانی که در تهیه این کتاب ما را یاری نمودند بویژه همکاران در دانشگاه تربت حیدریه تشکر ویژه داریم.

دکتر حسن فیضی - دکتر ریحانه عظیمی - دکتر محمدکیا کیانیان

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱. فصل اول: کلیاتی در مورد نانو تکنولوژی و نانوذرات	۱
۱-۱. کلیاتی در مورد نانو تکنولوژی و نانوذرات	۱
۱-۱-۱. مقدمه	۱
۱-۱-۱-۱. تاریخچه، ابزارهای اندازه گیری و کاربردهای فناوری نانو	۱
۱-۱-۱-۲. انواع نانو مواد	۳
۱-۱-۱-۳. آشنایی با ابزارها و روش های اندازه گیری نانو	۳
۱-۱-۲-۳-۱. معرفی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	۴
۱-۱-۲-۳-۲. معرفی میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)	۸
۱-۱-۲-۳-۳. روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) برای مطالعه اندازه نانوذرات	۱۲
۱-۱-۲-۳-۴. اندازه گیری ذرات با روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (SLS)	۱۶
۱-۱-۲-۳-۵. طیفسنجی جرمی	۲۰
۱-۱-۲-۳-۶. طیفسنجی جرمی یون های ثانویه	۲۱
۱-۱-۲-۳-۷. کاربرد تصویربرداری طیفسنجی جرمی در نانوفناوری	۲۴
۱-۱-۱-۳-۷-۱. خاک	۲۶
۱-۱-۱-۳-۷-۲. نانوزئولیت	۲۷
۱-۱-۱-۳-۷-۳. نانوبیوچار	۲۸
۱-۱-۱-۳-۷-۴. نانوهیدروژل	۲۸
۱-۱-۱-۳-۷-۵. نانوحسگرها	۲۹
۱-۱-۱-۳-۷-۶. آب مورد نیاز کشاورزی	۲۹
۱-۱-۱-۳-۷-۷. الک های نانومتری	۳۳
۱-۱-۱-۳-۷-۸. اثر نانو ذرات بر بذر و رشد گیاهان	۳۸
۱-۱-۱-۴. عنصر تیتانیوم	۴۲
۱-۱-۱-۵. عنصر سیلیسیم	۴۶
۱-۱-۱-۶. سمیت نانوذرات برای گیاهان	۵۰
۲. فصل دوم: نانو تکنولوژی و تنش های محیطی	۵۲
۲-۱. نانو تکنولوژی و تنش های محیطی	۵۲
۲-۱-۱. مقدمه	۵۲

- ۲-۱-۲. تنش‌های محیطی ۵۳
- ۲-۱-۲-۱. تنش خشکی ۵۳
- ۲-۱-۲-۲. تنش شوری ۵۳
- ۲-۱-۲-۲-۱. اهمیت استفاده از خویشاوندان وحشی گیاهان ۶۳
- ۲-۱-۲-۲-۲. منابع تحمل به شوری در گراس‌ها ۶۴
- ۲-۱-۲-۳. تنش غرقاب یا نقش اکسیژن ۶۶
- ۲-۱-۲-۴. تنش سرما ۶۶

۳. فصل سوم: بررسی نقش نانوذرات بر روی جوانه‌زنی بذر و رشد ارقام زراعی و غیرزراعی ۶۷

- ۳-۱. بررسی نقش نانوذرات بر روی جوانه‌زنی بذر و رشد ارقام زراعی و غیرزراعی ۶۷
- ۳-۱-۱. گونه‌های زراعی ۶۷
- ۳-۱-۱-۱. گندم ۶۷
- ۳-۱-۱-۲. جو ۷۴
- ۳-۱-۱-۳. ذرت علوفه‌ای ۷۷
- ۳-۱-۱-۴. چغندر قند ۸۳
- ۳-۱-۱-۵. سیب‌زمینی ۸۷
- ۳-۱-۱-۶. گوجه‌فرنگی ۹۰
- ۳-۱-۱-۷. سویا ۹۶
- ۳-۱-۱-۸. ماش ۹۸
- ۳-۱-۲. گونه‌های غیرزراعی ۱۱۴
- ۳-۱-۲-۱. مرتعی ۱۱۴
- ۳-۱-۲-۱-۱. بروموس کوبه‌داغی ۱۱۴
- ۳-۱-۲-۱-۲. ارزن دم‌روباهی ۱۱۷
- ۳-۱-۲-۱-۳. رشادی گوش‌موشی ۱۱۹
- ۳-۱-۲-۱-۴. علف‌گندمی بلند ۱۲۰
- ۳-۱-۲-۱-۵. کاکوتی کوهی ۱۲۹
- ۳-۱-۲-۲. سزیجات و گیاهان باغی ۱۳۲
- ۳-۱-۲-۲-۱. ریحان ۱۳۲
- ۳-۱-۲-۲-۲. کلم‌گل ۱۳۴
- ۳-۱-۲-۲-۳. شنبلیله ۱۳۷
- ۳-۱-۲-۲-۴. زیتون ۱۴۳
- ۳-۱-۲-۲-۵. اسفناج ۱۴۶
- ۳-۱-۲-۲-۶. خربزه ۱۴۷
- ۳-۱-۲-۲-۷. مرزه ۱۵۰
- ۳-۱-۲-۳. دارویی ۱۵۱
- ۳-۱-۲-۳-۱. رازیانه ۱۵۱

۱۵۶.....	۳-۱-۲-۳-۲. بادرنجبویه.....
۱۵۷.....	۳-۱-۲-۳-۳. شیرین بیان.....
۱۶۰.....	۳-۱-۲-۳-۴. زنیان.....
۱۶۳.....	۳-۱-۲-۳-۵. گون.....
۱۶۵.....	۳-۱-۲-۳-۶. مریم گلی.....
۱۶۸.....	۳-۱-۲-۳-۷. خار مریم.....
۱۷۱.....	۳-۱-۲-۳-۸. سرخار گل.....
۱۷۶.....	۳-۱-۲-۴. زینتی.....
۱۷۶.....	۳-۱-۲-۴-۱. ژربرا.....
۱۷۸.....	۳-۱-۲-۴-۲. گل راعی.....
۱۸۴.....	۳-۱-۲-۴-۳. رز.....
۱۸۷.....	۳-۱-۲-۴-۴. پریوش.....
۱۹۱.....	منابع.....

فهرست شکل‌ها

عناوین.....	صفحه.....
شکل ۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....	۳.....
شکل ۲. اجزای میکروسکوپ الکترونی روبشی.....	۶.....
شکل ۳. تصویر از سطوح در حد نانومتر.....	۷.....
شکل ۴. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM).....	۹.....
شکل ۵. تصویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری.....	۱۰.....
شکل ۶. پراکندگی نور دینامیکی (DLS).....	۱۲.....
شکل ۷. دستگاه تفرق دینامیک نور.....	۱۳.....
شکل ۸. شماتیکی از الگوی نقطه‌ای.....	۱۳.....
شکل ۹. شماتیکی از شدت نوسانات برای ذرات بزرگ و کوچک.....	۱۴.....
شکل ۱۰. منحنی توابع ارتباط برای بزرگ و کوچک.....	۱۵.....
شکل ۱۱. شماتیکی از برخورد نور به ذره (بردار موج برخوردی si و پراکنده شده sf و بردار پراکندگی q).....	۱۵.....
شکل ۱۲. روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (SLS).....	۱۶.....
شکل ۱۳. شماتیکی از دستگاه اندازه‌گیری ذرات با روش پراکندگی استاتیک نور لیزر.....	۱۶.....
شکل ۱۴. برهم‌کنش نور با ذره.....	۱۷.....
شکل ۱۵. تاثیر زمان اولتراسونیک بر نتایج اندازه‌گیری ذرات.....	۱۸.....
شکل ۱۶. الگوی پراکندگی و توزیع اندازه منطبق با آن الگوی پراکندگی.....	۲۰.....
شکل ۱۷. نواحی سطح تحت تاثیر در برابر پرتویی از یون‌های اولیه در طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه.....	۲۲.....
شکل ۱۸. نمایش میکروردیاب و میکروسکوپ (SIMS).....	۲۳.....
شکل ۱۹. نمونه ای از تصویربرداری طیف‌سنجی جرمی با روش (SIMS).....	۲۵.....
شکل ۲۰. خاک منبع اصلی تولیدات کشاورزی.....	۲۶.....
شکل ۲۱. مکانیزاسیون کشاورزی به همراه استفاده از اصلاح‌کننده‌ها با هدف افزایش تولید در واحد سطح.....	۲۷.....
شکل ۲۲. نانوبیوچار.....	۲۸.....
شکل ۲۳. نانوحسگرها.....	۲۹.....
شکل ۲۴. افزایش مصرف آب در جهان در بخش کشاورزی.....	۳۰.....
شکل ۲۵. ضد عفونی نمودن آب.....	۳۱.....
شکل ۲۶. الک‌های نانومتری.....	۳۳.....
شکل ۲۷. فیلترهای نانو لوله های کربنی.....	۳۴.....
شکل ۲۸. فیلترهایی از جنس نانو الیاف.....	۳۵.....

- شکل ۲۹. گندم..... ۶۹
- شکل ۳۰. منحنی غلظت درصد کشنده‌گی بر اساس روش فینی جهت محاسبه متوسط..... ۷۰
- شکل ۳۱. طول ساقه گندم در میانگین غلظت‌های نانوذرات TiO_2 و غیرنانو..... ۷۲
- شکل ۳۲. تاثیر تیمارهای آزمایش بر شاخص برداشت گندم..... ۷۳
- شکل ۳۳. جو زراعی شش ردیفه..... ۷۵
- شکل ۳۴. تغییرات شاخص‌های میتوزی، متافازی و انحرافات کروموزوم در غلظت‌های نانوذره TiO_2 ۷۶
- شکل ۳۵. ذرت علوفه‌ای..... ۸۰
- شکل ۳۶. چغندر قند..... ۸۵
- شکل ۳۷. رابطه بین عملکرد ریشه چغندر با عملکرد قند خالص..... ۸۶
- شکل ۳۸. سیب‌زمینی..... ۸۸
- شکل ۳۹. اثر غلظت‌های مختلف نانو نقره بر میزان جیبرلیک اسید. داده‌ها میانگین ۳ تکرار..... ۸۹
- شکل ۴۰. اثر غلظت‌های مختلف نانو نقره بر میزان جیبرلیک اسید برگ. داده‌ها میانگین..... ۸۹
- شکل ۴۱. تاثیر غلظت‌های مختلف نانونقره بر الگوی الکتروفورزی پروتئینی اندام هوایی..... ۹۰
- شکل ۴۲. گوجه‌فرنگی..... ۹۱
- شکل ۴۳. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر تراکم و طول پرز ساقه گوجه‌فرنگی..... ۹۴
- شکل ۴۴. سویا..... ۹۷
- شکل ۴۵. مقایسه میانگین وزن تر گیاهچه *Vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن..... ۱۰۰
- شکل ۴۶. مقایسه میانگین وزن تر برگ *Vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن..... ۱۰۱
- شکل ۴۷. مقایسه میانگین طول ساقه *Vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن..... ۱۰۱
- شکل ۴۸. تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۳
- شکل ۴۹. تغییرات سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۳
- شکل ۵۰. تغییرات طول ساقه جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۴
- شکل ۵۱. تغییرات طول ریشه جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۴
- شکل ۵۲. تغییرات MGT در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن..... ۱۰۵
- شکل ۵۳. تغییرات وزن خشک کل در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن..... ۱۰۵
- شکل ۵۴. تغییرات وزن تر کل در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن..... ۱۰۶
- شکل ۵۵. تغییرات شاخص بنیه I در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۶
- شکل ۵۶. تغییرات شاخص بنیه II در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۷
- شکل ۵۷. تغییرات طول ساقه در تیمارهای مختلف نانو کود و کود آهن معمولی..... ۱۰۷
- شکل ۵۸. تغییرات طول ریشه در تیمارهای مختلف نانو کود و کود آهن معمولی..... ۱۰۸
- شکل ۵۹. تغییرات وزن تر ساقه در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۸
- شکل ۶۰. تغییرات وزن تر ریشه در تیمارهای نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۹
- شکل ۶۱. تغییرات وزن خشک ساقه در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۰۹

- شکل ۶۲. تغییرات وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۱۰
- شکل ۶۳. تغییرات وزن خشک برگ در تیمارهای نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۱۰
- شکل ۶۴. تغییرات کلروفیل a در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۱۱
- شکل ۶۵. تغییرات کلروفیل b در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۱۲
- شکل ۶۶. تغییرات کارتنوئید در تیمارهای مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی..... ۱۱۴
- شکل ۶۷. علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum H.*)..... ۱۲۰
- شکل ۶۸. اثر غلظت‌های مختلف نانو ذرات سیلیسیم بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات مرفولوژیک..... ۱۲۳
- شکل ۶۹. اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو ذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی جوانه‌زنی..... ۱۲۴
- شکل ۷۰. تصاویر TiO_2 نانوذرات توسط میکروسکوپ STM..... ۱۲۶
- شکل ۷۱. تصویر نانوذره SiO_2 با کمک میکروسکوپ TEM..... ۱۲۷
- شکل ۷۲. کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides Lam*)..... ۱۳۰
- شکل ۷۳. گیاه ریحان..... ۱۳۲
- شکل ۷۴. کلم گل (*Brassica oleracea L. var. botrytis*)..... ۱۳۵
- شکل ۷۵. تاثیر نانورس و نانوقره بر جوانه زنی بذور کلم گل بعد از ۵ روز..... ۱۳۵
- شکل ۷۶. مقایسه میانگین داده‌های روز پنجم بذور کلم گل خیس و نگهداری شده..... ۱۳۶
- شکل ۷۷. شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum L*)..... ۱۳۷
- شکل ۷۸. زیتون..... ۱۴۴
- شکل ۷۹. رشد ریزقلمه‌ها در محیط کشت‌های دارای تراکم‌های مختلف آهن و نانوآهن..... ۱۴۵
- شکل ۸۰. اسفناج..... ۱۴۶
- شکل ۸۱. خربزه..... ۱۴۷
- شکل ۸۲. میانگین عملکرد میوه خربزه تیمار شده با میدان مغناطیسی، نانوذرات نقره و کودها..... ۱۴۸
- شکل ۸۳. مقادیر میانگین املاح جامد محلول در میوه خربزه تیمار شده با میدان مغناطیسی..... ۱۴۹
- شکل ۸۴. مرزه..... ۱۵۰
- شکل ۸۵. رازیانه..... ۱۵۱
- شکل ۸۶. تصاویر نانوذره TiO_2 به کمک STM..... ۱۵۳
- شکل ۸۷. الگوی XRD نانو ذرات TiO_2 ۱۵۳
- شکل ۸۸. الگوی XRD ذرات معمولی TiO_2 ۱۵۳
- شکل ۸۹. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی درصد جوانه زنی بذر رازیانه..... ۱۵۴
- شکل ۹۰. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی میانگین زمان جوانه زنی بذر رازیانه..... ۱۵۵
- شکل ۹۱. بادرنجبویه..... ۱۵۶
- شکل ۹۲. شیرین بیان..... ۱۵۸
- شکل ۹۳. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر جوانه‌زنی بذر گیاهچه شیرین بیان..... ۱۵۹
- شکل ۹۴. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی مقایسه میانگین‌ها..... ۱۵۹

- شکل ۹۵. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر نسبت طول ریشه و ساقه در گیاهچه شیرین بیان..... ۱۵۹
- شکل ۹۶. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر وزن تر گیاهچه شیرین بیان..... ۱۶۰
- شکل ۹۷. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر وزن خشک گیاهچه شیرین بیان..... ۱۶۰
- شکل ۹۸. زنیان..... ۱۶۱
- شکل ۹۹. گیاه گون..... ۱۶۴
- شکل ۱۰۰. مریم گلی..... ۱۶۶
- شکل ۱۰۱. خار مریم..... ۱۶۸
- شکل ۱۰۲. گیاه سرخرگل..... ۱۷۲
- شکل ۱۰۳. ژربرا..... ۱۷۶
- شکل ۱۰۴. گل راعی..... ۱۷۸
- شکل ۱۰۵. ریزنمونه ساقه گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۰
- شکل ۱۰۶. ریزنمونه برگ گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۰
- شکل ۱۰۷. ریزنمونه ریشه گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۱
- شکل ۱۰۸. ریزنمونه ساقه گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۲
- شکل ۱۰۹. ریزنمونه ریشه گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۲
- شکل ۱۱۰. ریزنمونه برگ گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B)..... ۱۸۳
- شکل ۱۱۱. کالوس‌زایی ریزنمونه ساقه در مجاورت نانو اکسید روی (۱۰۰ پی‌بی‌بی)..... ۱۸۳
- شکل ۱۱۲. مرگ ریزنمونه‌های ساقه در محیط حاوی نانوذرات اکسید آهن (۱۰۰ پی‌بی‌بی)..... ۱۸۴
- شکل ۱۱۳. گیاه رز..... ۱۸۵
- شکل ۱۱۴. اثر ساده تیمار بر طول عمر گل بریده رز..... ۱۸۶
- شکل ۱۱۵. گیاه پریوش..... ۱۸۷
- شکل ۱۱۶. تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر)..... ۱۸۸
- شکل ۱۱۷. تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر)..... ۱۸۹
- شکل ۱۱۸. تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر)..... ۱۹۰

فهرست جدول‌ها

عناوین.....	صفحه
جدول ۱. ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری نانو.....	۴
جدول ۲. زیست‌سنجی اثرات نانوذرات نقره بر گونه‌های غالب قارچ‌های بذرزاد.....	۶۹
جدول ۳. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات TiO_2 و ذرات غیرنانو بر صفات مورد ارزیابی روی گندم.....	۷۱
جدول ۴. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در گندم.....	۷۲
جدول ۵. مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای کودی بر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و برخی ویژگی‌های.....	۷۳
جدول ۶. داده‌ها، میانگین‌ها و انحراف معیار صفات سیتوژنتیکی تحت تیمار غلظت‌های TiO_2	۷۶
جدول ۷. تجزیه واریانس صفات شاخص میتوزی، شاخص متافازی و شاخص انحرافات.....	۷۷
جدول ۸. میانگین و انحراف معیار صفات جوانه‌زنی تحت تیمار غلظت‌های مختلف نانوذره دی اکسید.....	۷۷
جدول ۹. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در ذرت.....	۸۱
جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تیمارهای آزمایش.....	۸۱
جدول ۱۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹.....	۸۱
جدول ۱۲. آنالیز واریانس عملکرد تر، ماده خشک و عملکرد ماده خشک در ذرت.....	۸۲
جدول ۱۳. اثرات نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی بر روی عملکرد و ماده خشک ذرت.....	۸۲
جدول ۱۴. اثرات نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی بر روی سهم اجزای گیاه ذرت.....	۸۲
جدول ۱۵. تاثیر تیمارهای آزمایش بر عیار قند و صفات کمی چغندر قند.....	۸۶
جدول ۱۶. تاثیر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات کیفی ریشه چغندر قند.....	۸۷
جدول ۱۷. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی.....	۹۲
جدول ۱۸. تاثیر هیدروپرایمینگ بر صفات جوانه زنی بذرهای گوجه‌فرنگی.....	۹۲
جدول ۱۹. تاثیر تیمارهای میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذرهای گوجه‌فرنگی.....	۹۲
جدول ۲۰. اثر متقابل پیش تیمار بذر و میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذرهای گوجه‌فرنگی.....	۹۳
جدول ۲۱. اثر سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر وزن تر و خشک گیاه، حجم ریشه، محتوای کلروفیل.....	۹۳
جدول ۲۲. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر خصوصیات فتوسنتزی.....	۹۴
جدول ۲۳. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر کارایی مصرف آب و هدایت مزوفیلی.....	۹۴
جدول ۲۴. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر قطر ساقه و میزان محلول اضافه شده.....	۹۵
جدول ۲۵. خصوصیات نانوذرات اکسید تیتانیوم.....	۹۵
جدول ۲۶. اثر سطوح مختلف تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر رشد گوجه‌فرنگی.....	۹۵
جدول ۲۷. اثر سطوح مختلف تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر تغییرات فتوسنتزی گوجه‌فرنگی.....	۹۶
جدول ۲۸. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک گیاه بروموس کپه داغی.....	۱۱۵
جدول ۲۹. اثرات متقابل روش‌های مختلف مصرف و غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید سیلیسیم.....	۱۱۶

- جدول ۳۰. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد ارزن..... ۱۱۸
- جدول ۳۱. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به شاخص برداشت و کارایی..... ۱۱۹
- جدول ۳۲. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات..... ۱۲۱
- جدول ۳۳. اثر تیمارهای سرمادهی بر جوانه‌زنی و خصوصیات مرفولوژیک گونه علف گندمی بلند..... ۱۲۱
- جدول ۳۴. اثرات متقابل غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی جوانه‌زنی..... ۱۲۵
- جدول ۳۵. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی جوانه‌زنی، طول و زیست توده گیاهچه..... ۱۲۶
- جدول ۳۶. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی گیاهچه *Agropyron desertorum*..... ۱۲۷
- جدول ۳۷. اثر مقادیر مختلف نانوذره SiO_2 بر روی جوانه‌زنی بذر و حالت‌های رشد..... ۱۲۸
- جدول ۳۸. اثر مقادیر SiO_2 بر روی شاخص‌های بنیه بذر گیاه *Agropyron elongatum* L..... ۱۲۸
- جدول ۳۹. اثر تیمار پیش سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و پارامترهای رشد گیاهچه..... ۱۲۸
- جدول ۴۰. اثر تیمار پیش سرمادهی بذر بر روی شاخص‌های بنیه بذر گیاه..... ۱۲۸
- جدول ۴۱. اثر متقابل نانوذرات SiO_2 و پیش سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی..... ۱۲۹
- جدول ۴۲. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه کاکوتی..... ۱۳۰
- جدول ۴۳. مقایسات میانگین غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی..... ۱۳۱
- جدول ۴۴. میانگین وزن تر و طول اندام‌های هوایی و ریشه..... ۱۳۳
- جدول ۴۵. میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه..... ۱۳۳
- جدول ۴۶. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی..... ۱۳۸
- جدول ۴۷. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی..... ۱۳۹
- جدول ۴۸. تاثیر تیمارهای تنش کم آبی بر صفات جوانه‌زنی بذرهای شنبلیله..... ۱۳۹
- جدول ۴۹. تاثیر تیمارهای تنش کم آبی بر صفات جوانه‌زنی بذرهای شنبلیله..... ۱۳۹
- جدول ۵۰. تاثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات جوانه‌زنی..... ۱۴۰
- جدول ۵۱. تاثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات جوانه‌زنی..... ۱۴۰
- جدول ۵۲. اثر متقابل تنش کم آبی و غلظت‌های دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو..... ۱۴۱
- جدول ۵۳. تاثیر ذرات نانو آهن بر روی شاخص‌های رشد زیتون..... ۱۴۵
- جدول ۵۴. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی عملکرد میوه خربزه در برداشت‌های مختلف..... ۱۴۸
- جدول ۵۵. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی وزن میانگین میوه خربزه در..... ۱۴۹
- جدول ۵۶. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی مقادیر املاح جامد محلول میوه خربزه..... ۱۴۹
- جدول ۵۷. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی طول بذر و بیومس گیاهچه رازیانه..... ۱۵۴
- جدول ۵۸. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی طول حالت‌های رشد گیاهچه رازیانه..... ۱۵۵
- جدول ۵۹. اثر آبیاری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد *Carum copticum*..... ۱۶۲
- جدول ۶۰. اثر کود، میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی عملکرد و اجزای عملکرد..... ۱۶۲
- جدول ۶۱. اثر آبیاری بر روی HI و WUE *Carum copticum*..... ۱۶۲
- جدول ۶۲. اثر کود، میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی HI و WUE *Carum copticum*..... ۱۶۳

- جدول ۶۳. اثر مقادیر مختلف نانوذرات SiO_2 و خراش دهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی.....۱۶۵
- جدول ۶۴. اثر متقابل مقادیر مختلف نانوذرات SiO_2 و خراش دهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی.....۱۶۵
- جدول ۶۵. اثر مقادیر نانوذره و ذره معمولی TiO_2 بر روی طول بذر و بیومس گیاهچه.....۱۶۷
- جدول ۶۶. اثر مقادیر نانوذره و ذره معمولی TiO_2 بر روی حالت‌های رشد گیاهچه.....۱۶۷
- جدول ۶۷. برهمکنش غلظت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و شدت میدان مغناطیسی.....۱۷۰
- جدول ۶۸. تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی اکسید تیتانیوم.....۱۷۳
- جدول ۶۹. اثر برهمکنش غلظت‌های دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های.....۱۷۴
- جدول ۷۰. اثر برهمکنش غلظت‌های دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های.....۱۷۵
- جدول ۷۱. تجزیه واریانس اثر نانو منیزیوم به صورت محلول پاشی بر رشد رویشی و زایشی ژربرا.....۱۷۷
- جدول ۷۲. مقایسه میانگین سیستم‌ها به روش دانکن مربوط به اثر نانو منیزیوم به صورت محلول پاشی.....۱۷۷
- جدول ۷۳. نتایج تجزیه واریانس نانو اکسید روی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی).....۱۷۹
- جدول ۷۴. نتایج مقایسه میانگین نانوذرات اکسید روی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی).....۱۷۹
- جدول ۷۵. نتایج تجزیه واریانس نانوذرات اکسید آهن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی) بر میزان.....۱۸۱
- جدول ۷۶. نتایج مقایسه میانگین نانوذرات اکسید آهن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی) بر اندازه.....۱۸۲
- جدول ۷۷. آنالیز واریانس اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر).....۱۸۸
- جدول ۷۸. آنالیز واریانس اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر).....۱۸۸
- جدول ۷۹. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰).....۱۸۹

۱. فصل اول

۱-۱. کلیاتی در مورد نانوتکنولوژی و نانو ذرات

۱-۱-۱. مقدمه

۱-۱-۱-۱. تاریخچه، ابزارهای اندازه‌گیری و کاربردهای فناوری نانو

نانوتکنولوژی (فناوری نانو) یا کاربرد فناوری در مقیاس اتم و مولکول یکی از تکنولوژی‌های نوظهور در قرن حاضر می‌باشد، که آینده اقتصادی جهان را به شدت متاثر خواهد نمود. گستردگی دامنه تاثیر این فناوری بسیار زیاد بوده و می‌تواند بیشتر جنبه‌های زندگی بشر را تحت تاثیر قرار دهد. نانوتکنولوژی کاربردهای زیادی در حوزه‌های مختلف از جمله غذا، دارو، بهداشت، انرژی، محیط زیست، بیوتکنولوژی و کشاورزی و منابع طبیعی دارد (عبدلی، ۱۳۸۴).

فناوری نانو علمی است، که در آن به مطالعه خواص نانومواد، تولید و استفاده از آن‌ها در بهبود بخشیدن خواص و ویژگی‌های مواد پرداخته می‌شود، چرا که بسیاری از خواص ماده در ابعاد نانومتری، متفاوت از خواص در ابعاد ماکروسکوپی می‌باشد. با کمک فناوری نانو می‌توان از طریق کنترل خصوصیات، تغییراتی را در اتم‌ها ایجاد کرد. علم نانو و علوم مرتبط با آن جدید نیستند. شیمیدان‌ها صدها سال است، که از تکنیک‌هایی در کار خود استفاده می‌کنند، که بی‌شبهت به تکنیک‌های امروزی نانو نیست. اولین بار ریچارد فاینمن در سال ۱۹۵۹، طی سخنرانی خود با بیان امکان به راه اندازی فرایندی برای دستکاری اتم‌ها و مولکول‌ها با استفاده از ابزارهای دقیق، سبب شد، تا افکار به سمت توسعه چنین امکانی متمایل شوند. در سال ۱۹۷۴، پروفیسور نوریو تانیگوشی، مدرس دانشگاه علوم توکیو، نخستین بار واژه "فناوری نانو" را بکار گرفت. او در مقاله‌ای با نام "مفهوم اساسی فناوری نانو" اشاره می‌کند، که فناوری نانو اساساً مجموعه‌ای از فرایندهای تفکیک، ادغام و تشکیل مواد در حد یک اتم یا یک مولکول است. در دهه ۱۹۸۰، ایده‌ی این تعریف به طور وسیع‌تر توسط دکتر درکسلر^۱ (نویسنده کتاب های موتور خلقت) مورد بررسی قرار گرفت (درکسلر، ۱۹۸۶).

فناوری نانو و نانوعلم، در اوایل دهه ۱۹۸۰ با تولد علم کلاستر و اختراع میکروسکوپ تونل زنی پیمایشی آغاز به کار کرد. این توسعه، سبب کشف فلورین در سال ۱۹۸۶ و نانولوله‌های کربنی طی چند سال بعد شد. تحول دیگر این فناوری مربوط به ساخت نانوبلورهای نیمه‌هادی بود، که منجر به افزایش شدید تعداد نانوذرات اکسید فلزی نقاط کوانتوم گردید. میکروسکوپ نیروی اتمی، ۵ سال بعد از میکروسکوپ تونل زنی پیمایشی اختراع شد، تا با کمک آن بتوان اتم‌ها را بررسی کرد. فناوری نانو یک زمینه بین رشته‌ای است، که در محدوده علوم کاربردی مختلفی نظیر فیزیک، مواد، الکترونیک و غیره وارد شده است. فناوری نانو خود به تنهایی یک علم نیست، بلکه با استفاده از آن می‌توان به کاربردی کردن علوم مختلف کمک کرد (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳). فناوری نانو به سه صورت تعریف می‌شود:

۱. فناوری نانو تحقیقات و مطالعه‌ی مواد و خصوصیات آن‌ها در محدوده ۱۰۰-۱ نانومتر را در بر می‌گیرد.
۲. با کمک فناوری نانو ساختارهای نانویی را می‌توان خلق کرد، که خصوصیات آن‌ها با ساختارهای ماکروسکوپی همان مواد متفاوت است (سیم‌چی، ۱۳۸۷).
۳. با کمک فناوری نانو می‌توان از طریق کنترل خصوصیات، در اتم‌ها تغییراتی ایجاد کرد. زمانی که مواد در مقیاس نانو مطالعه و بررسی می‌شوند، واکنش‌های و رفتار اتم‌ها در مقایسه با حالتی که مطالعه در سطح مولکولی انجام

می‌شوند، کاملاً متفاوت است؛ چرا که در این قلمرو خصوصیات فیزیکی مواد تغییر می‌کند. تفاوت در قلمرو نانو به اندازه‌ای است که حتی رنگ، نقطه ذوب، خصوصیات شیمیایی و غیره مواد در خارج از این محدوده کاملاً متفاوت است (نجف‌زاده، ۱۳۸۷).

در فناوری نانو، برای ساخت، دو روش در نظر گرفته می‌شود: روش ساخت پایین به بالا و روش ساخت بالا به پایین. در روش ساخت پایین به بالا، وسایل و مواد از سطح مولکولی بر اساس اصول شیمی مولکولی ساخته می‌شوند. درست مانند یک دیوار که از روی هم گذاشتن آجر به آجر ساخته می‌شود. در روش ساخت بالا به پایین، اشیاء نانویی بدون کنترل اتمی در مقادیر بزرگ‌تر ساخته می‌شوند. به این طریق که در ساخت آن‌ها از تجهیزات پیشرفته این فناوری مانند میکروسکوپ اتمی و میکروسکوپ تونلی پیمایشی استفاده می‌شود، تا فرایند دستکاری و ایجاد پدیده‌ها و خصوصیات جدید در اشیاء نانویی، امکان یابد. امروزه فناوری نانو، در ساخت پلیمرهایی با ساختار مولکولی و طراحی تراشه‌های کامپیوتری کاربرد دارد. همچنین از این فناوری در ساخت مواد آرایشی، انواع پوشش‌ها و روکش‌های محافظتی و لباس‌های مقاوم نیز استفاده می‌شود (سیم‌چی، ۱۳۸۷).

واژه نانو Nano از واژه یونانی dwarf (کوتاه _ کوتوله) به معنی یک بلیونیوم متر گرفته شده است. یک نانومتر طول سه اتم کنار هم است. عرض یک ملکول DNA حدود ۵/۲ نانومتر است. یک پروتئین حدود ۵۰ نانومتر است و یک ویروس آنفلوآنزا حدود ۱۰۰ نانومتر است. ضخامت یک موی انسان حدود ۱۰۰,۰۰۰ نانومتر است (تاکار^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). مثال‌هایی از خواص منحصر به فرد نانو ذرات شامل سطح ویژه بسیار زیاد، انرژی سطحی زیاد و حبس کوآنتوم^۲ است. این خواص غیر معمول ممکن است حتی در سرنوشت و رفتار محیطی آن‌ها نسبت به مواد توده‌ای^۳ و غیرنانو تاثیر گذارد. گیاهان یک جز پایه و اساسی تمام اکوسیستم‌ها هستند و نقش اساسی را در سرنوشت و انتقال نانوذرات در محیط از طریق جذب و تجمع زیستی بازی می‌کنند. نانوتکنولوژی نقش مهمی را در بهبود روش‌های موجود مدیریت گیاهان باز می‌نماید. مواد شیمیایی به صورت متداول برای محلول‌پاشی یا پخش کردن در گیاهان زراعی و مرتعی بکار می‌روند. معمولاً غلظت خیلی کمی از مواد شیمیایی که زیر حداقل غلظت موثر مورد نیاز است به مکان هدف گیاهان می‌رسد، که به دلیل مشکلاتی نظیر آب‌شویی مواد شیمیایی، تجزیه توسط نور، هیدرولیز و تجزیه میکروبی می‌باشد. از این رو کاربردهای مکرر برای داشتن یک کنترل موثر مورد نیاز است که باعث برخی اثرات نامطلوب نظیر آلودگی آب و خاک می‌گردد. مواد شیمیایی نانو کپسول شده باید طراحی شوند، تا تمامی خصوصیات لازم نظیر غلظت موثر (با حلالیت بالا، ثبات و کارآمدی)، زمان رهاسازی کنترل شده در واکنش به محرک خاص، افزایش فعالیت هدفمند و آلودگی کمتر محیطی با نحوه رهاسازی ایمن و ساده از کاربرد مکرر جلوگیری کند (نایر^۴ و همکاران، ۲۰۱۰).

1- Thakkar
2- Quantum Confinement
3- Mass material
4- Nair

۲-۱-۱-۱. انواع نانو مواد

معمول ترین نانو ذرات در محیط به پنج گروه تقسیم می شوند:

۱. نانو ذرات کربن دار
۲. اکسیدهای فلزی
۳. کوانتوم دات ها
۴. فلزات صفر ظرفیتی
۵. نانو پلیمرها

نانو ذرات کربن دار فراوان ترین نانوذرات هستند و شامل فلورن ها و نانولوله ها هستند. نانوذرات اکسید فلزی مثل TiO_2 و ZnO که به دلیل خاصیت فتوکاتالیستی در صنعت و کاربرد در کرم های پوستی به دلیل بلوک کردن اشعه ماورا بنفش و شفافیت بکار می روند (ما^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). نانوذرات طلا به طور گسترده به عنوان ماده اولیه برای داروهای نانو استفاده می شود. نانوذرات نقره به عنوان ضد باکتری و میکروبو کش از زمان های قدیم شناخته می شد. نانوذرات نقره به غشاء سلولی باکتری ها متصل شده و منافذ کشنده ایجاد کرده و باعث تحلیل باکتری می شود. نقره در شکل ماکروسکپی همیشه به عنوان نابودکننده ارگانسیم ها در محیط های آبی شناخته شده است. نانوذرات Fe_3O_4 اخیراً در کاربردهای پیشرفته نظیر آلودگی زدایی محیطی مفید است (بارنا^۲ و همکاران، ۲۰۰۹).

کوانتوم دات ها ذرات مصنوعی از بار الکتریکی هستند، که می توانند از یک الکترون تا چندین هزار الکترون باشند. کوانتوم دات ها پدیده های کوانتومی بسیار مشابه به اتم های واقعی و هسته ها نشان می دهند. نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به دلیل سطح ویژه بسیار زیاد و واکنش پذیری بالای آن به طور وسیعی در عمل پاک سازی و آلودگی زدایی محیطی به کار می روند. بنابراین علم نانو تکنولوژی به سرعت در حال پیشرفت است و به زودی می تواند یک صنعت تریلیون دلاری شود. نانوذرات سنتزی با محیط اطرافشان به خوبی برهمکنش نشان می دهند و گیاهان یکی از اجزاء ضروری تمام اکوسیستم ها هستند و بنابراین نانوذرات سنتزی به طور اجتناب ناپذیری با گیاهان برهمکنش نشان می دهند (ما و همکاران، ۲۰۱۰). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نانوذرات به عواملی نظیر اندازه ذرات، ترکیب عنصری، سطح ویژه، تخلخل، بار الکتریکی سطحی، قطر هیدرودنیامیکی، تمایل به مجتمع شدن و نیز ثبات و پوشش آنها بستگی دارد (دایتز^۳ و هرث^۴، ۲۰۱۱). همچنین کازالس^۵ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند، که فعالیت بیولوژیکی و جنبش زیستی^۶ نانوذرات به عواملی نظیر اندازه، شکل، شیمی، خصوصیات سطح (مساحت، تخلخل، بار الکتریکی، تغییرات سطح و پوشش)، حالت مجتمع شدن^۷، دوام زیستی و غلظت آن ها بستگی دارد.

۳-۱-۱-۱. آشنایی با ابزارها و روش های اندازه گیری نانو

پیشرفت های اخیر در زمینه فناوری نانو مرتبط با کسب توانایی در اندازه گیری و کنترل ساختارهای منفرد در مقیاس نانو می باشد. تجهیزات آزمایشگاهی نقش مهمی را برای اندازه گیری و تعیین ساختار و مشخصات مواد ایفا می کند.

-
- 1- Ma
 - 2- Barrena
 - 3- Dietz
 - 4- Herth
 - 5- Casals
 - 6- Biokenitic
 - 7- Agglomeration

در جدول ۱، لیست ابزارها آورده شده‌اند، که چند تا از پرکاربردترین آن‌ها را توضیح داده خواهند شد (نجف‌زاده، ۱۳۸۷).

جدول ۱. ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری نانو

Transmission Electron Microscopy	میکروسکوپ الکترونی عبوری
Scanning Electron Microscopy	میکروسکوپ الکترونی روبشی
Auger Electron Spectroscopy	اسپکتروسکوپی الکترون اژه
Environmental Scanning Electron Microscope	میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی
Secondary Ion Mass Spectroscopy	طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه
X-Ray Diffraction	X پراش اشعه
High Performance Liquid Chromatography	کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
Mass Spectroscopy	طیف‌سنجی جرمی
Raman Spectroscopy	طیف‌سنجی رامان
Gas Chromatography	کروماتوگرافی گازی
IR Spectroscopy	طیف‌سنج زیرقرمز
Nuclear Magneto Resonance	رزونانس مغناطیس هسته
Atomic Force Microscope	میکروسکوپ نیروی اتمی
Focused Ion Beam	باریکه یونی متمرکز
Scanning Tunneling Microscopy	میکروسکوپ روبشی تونلی
Fourier Transform Inferred Spectroscopy	طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز
Electron Spectroscopy for Chemical Analysis	طیف‌نگاری الکترونی برای آنالیز شیمیایی
Rutherford Backscattering Spectrometry	پراکندگی بازگشتی رادرفورد
Scanning Near-field Optical Microscopy	میکروسکوپی نوری میدان نزدیک روبشی

(منبع: نجف‌زاده، ۱۳۸۷)

۱-۳-۲-۱. معرفی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

میکروسکوپ الکترونی روبشی را Scanning Electron Microscopy که به اختصار SEM می‌نامند، توانایی بررسی نمونه‌های غیرنانو (Bulk specimen) را ایجاد کرده است. به عبارتی دیگر، برای نمونه‌های بطور نسبی ضخیم، دستگاه پرتوالکترونی نیاز است، که معادل میکروسکوپ نوری متالوژیکی بوده، اما حد تفکیک بهتری را ارائه نماید (شکل ۱). یکی از محدودیت‌های میکروسکوپ الکترونی عبوری این است، که اگر نمونه بسیار نازک نباشد، الکترون‌ها بسیار قوی در نمونه پراکنده شده یا حتی بجای عبور، جذب می‌شوند. این نقص، انگیزه‌ای است، برای ساخت

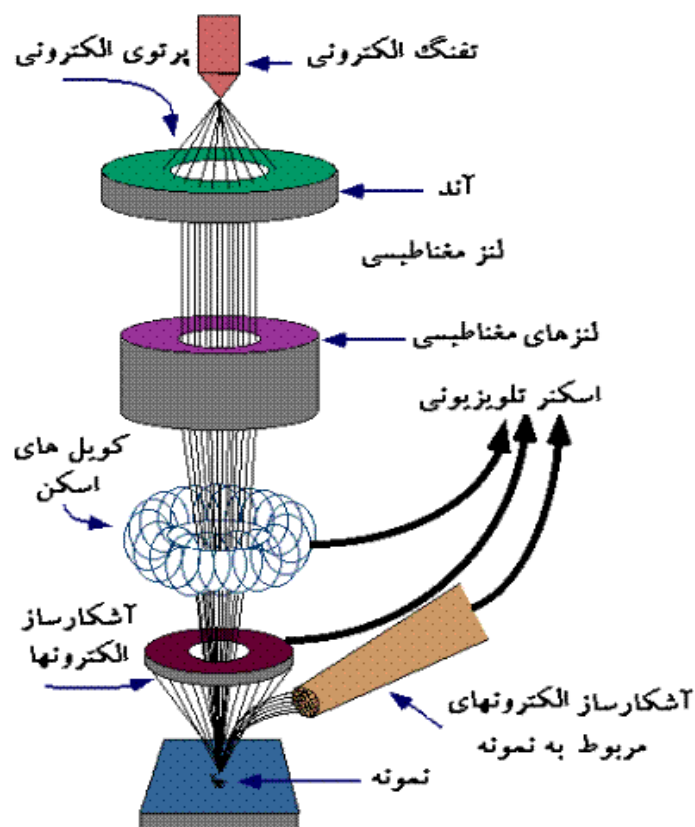
میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی شده که توانایی بررسی نمونه‌های نسبتاً ضخیم را دارد (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).



شکل ۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

مهمترین فواید میکروسکوپ الکترونی روبشی عمق میدان بالا و تنوع زیاد سیگنال‌های تولیدی است، که گستره پهنای از کنتراست تصویر را تضمین می‌کند. در میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، یک پرتو الکترونی پراثری و متمرکز شده سطح نمونه‌ی موردنظر را اسکن می‌نماید و طیف وسیعی از سیگنال‌هایی را ایجاد می‌کند، که اطلاعاتی درباره توپوگرافی، ترکیب شیمیایی، خواص نوری و مغناطیسی نمونه به همراه خود دارد. اجزای اصلی یک میکروسکوپ الکترونی روبشی معمولاً تفنگ الکترونی، عدسی‌های متمرکزکننده، سیستم خلأ و آشکارسازها می‌باشد. منبع الکترونی (تفنگ الکترونی) معمولاً از نوع انتشار ترمیونیکی فیلامان یا رشته تنگستنی است، اما استفاده از منابع گسیل میدان برای قدرت تفکیک بالاتر، افزایش یافته است. معمولاً الکترون‌ها بین ۱-۳۰ KeV شتاب داده می‌شوند. سپس دو یا سه عدسی متمرکزکننده پرتو الکترونی را کوچک می‌کنند، تا حدی که در موقع برخورد با نمونه قطر آن حدوداً بین ۲-۱۰ nm است (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).

در SEM، تصویر توسط یک باریکه دقیق الکترونی که روی سطح نمونه متمرکز می‌گردد، تشکیل و نمایش داده می‌شود. این باریکه بر روی نمونه به صورت یک سری خطوط و چهارچوب‌هایی که دقیقاً شبیه باریکه الکترونی در تلویزیون‌های معمولی است، جاروب یا اسکن می‌گردد. حرکت‌های روبشی توسط سیم پیچ‌های کوچکی که جریان کنترلی را از خود عبور می‌دهند، انجام می‌گیرد. این سیم پیچ‌ها، سیم پیچ‌های روبشی نام دارند. در یک لحظه معین نمونه توسط الکترون‌ها در یک ناحیه بسیار کوچکی بمباران می‌شود. این الکترون‌ها فرایندهای متفاوتی می‌توانند انجام دهند. آنها ممکن است به صورت الاستیکی بدون اینکه هیچ انرژی از دست بدهند، از روی نمونه باز تابیده شوند. آنها ممکن است توسط نمونه جذب شوند و باعث بوجود آمدن الکترون‌های ثانویه با انرژی بسیار کمی شوند و همچنین می‌توانند پرتوهای X نیز تولید نمایند. ممکن است این الکترون‌ها توسط نمونه جذب شود و باعث گسیل نور مریی شوند. الکترون‌ها ممکن است باعث بوجود آمدن جریان‌های الکتریکی در داخل نمونه گردند (شکل ۲).



شکل ۲. اجزای میکروسکوپ الکترونی روبشی

تمام این اثرات ممکن برای تولید یک تصویر بکار گرفته شود، اما معمول ترین آن‌ها تشکیل تصویر توسط الکترون‌های کم انرژی ثانویه می‌باشد. مهم ترین فواید SEM، عمق میدان بالا و تنوع زیاد سیگنال‌های تولیدی است، که گستره پهنای از کنتراست تصویر را تضمین می‌کند. الکترون‌های ثانویه به طور انتخابی به طرف یک توری که در پتانسیل مثبت پایین تری (50 V) نسبت به نمونه قرار دارد، جذب می‌شوند. پشت این توری یک قرص قرار دارد، که نسبت به نمونه در پتانسیلی در حدود 10 KeV مثبت قرار گرفته است. این قرص از یک لایه پوششی بسیار نازک آلومینیوم تشکیل شده است. الکترون‌های ثانویه از میان توری عبور کرده و با قرص برخورد می‌کنند و باعث گسیل نور از لایه می‌گردند. این نور به داخل یک فیبر نوری هدایت می‌شود و از آنجا توسط یک لامپ فوتون‌های این نور به ولتاژ تبدیل می‌گردد. شدت این ولتاژ به تعداد الکترون‌های ثانویه که با دیسک برخورد می‌کنند، بستگی دارد. بنابراین الکترون‌های ثانویه تولید شده از یک ناحیه کوچک در روی نمونه باعث به وجود آمدن سیگنال‌های ولتاژ با شدت خاصی می‌شوند. ولتاژ خروجی از ستون میکروسکوپ توسط یک میز فرمان الکترونیکی پردازش شده و پس از تقویت تولید نقاط روشن بر روی لامپ تصویر تلویزیون می‌کند. بدین ترتیب با روبش باریکه الکترونی بر روی یک نمونه که شبیه روبش باریکه الکترونی در لامپ پرتو کاتدی است، به سادگی تصویر نمونه ساخته می‌شود. توصیفی که برای تشکیل تصویر در SEM ارائه شد. همین‌طور می‌تواند در مورد الکترون‌هایی که به طور الاستیک پراکنده شده‌اند، پرتوهای X و یا فوتون‌های نور مرئی به کار گرفته شود. با این تفاوت که سیستم‌های آشکارسازی در هر کدام از این موارد با یکدیگر متفاوت است. تشکیل تصویر توسط الکترون‌های ثانویه فراگیرترین روش می‌باشد، زیرا می‌توان از این روش تقریباً برای هر نوع نمونه استفاده کرد (اطمینان فر و خضایی، ۱۳۹۰).

گرایش مدرن در ساخت میکروسکوپ‌های الکترونی این است، که این دستگاه با یک دستگاه آنالیز پرتو X به‌عنوان یک دستگاه جانبی به آن اضافه گردد. بمباران کردن نمونه با الکترون‌ها باعث گسیل پرتوهای X با طول موج‌ها و انرژی‌های مشخصه از نقاطی که باریکه با نمونه برخورد می‌کند، می‌گردد. آنالیزهای کامپیوتری مربوط به طیف انرژی و یا طول موج ما را قادر می‌سازد، تا به طور دقیق طبیعت و کیفیت عناصر مختلف را در ماده شناسایی نمائیم. این روش برای زیست‌شناسان از کاربرد کمتری برخوردار است، زیرا عناصر سبک مانند کربن سیگنال پرتو X بسیار ضعیفی تولید می‌کنند، اما این مورد برای علم مواد از ارزش بسیار بالایی برخوردار است، مخصوصاً به این دلیل که ناحیه‌ای به کوچکی یک میکرومتر مربع می‌تواند با دقت بسیار بالا تجزیه و تحلیل گردد. تشکیل تصویر توسط الکترون‌های ثانویه فراگیرترین روش می‌باشد، زیرا می‌توان از این روش تقریباً برای هر نوع نمونه استفاده کرد. کاربرد وسیع دستگاه میکروسکوپ الکترونی در علوم پایه، مهندسی، پزشکی، صنعت و معدن و زمین‌شناسی بر هیچکسی پوشیده نیست و بررسی‌های توپوگرافیک، نگاشت، مورفولوژی، جهت‌شناسی کانی‌ها، اشکال مختلف باکتری‌ها و ویروس‌ها در دوره‌های ویرولانسی، مطالعات تاثیر آفات و سموم بر شکل و حیات گیاهی و بررسی دوره زندگی حشرات و آفات و غیره توسط دستگاه (SEM)، گره‌گشای بسیاری از مشکلات در زمینه‌های مختلف علوم می‌شود، که در زندگی امروزه و پیشرفت علوم اجتناب‌ناپذیر است (سیم‌چی، ۱۳۸۷).

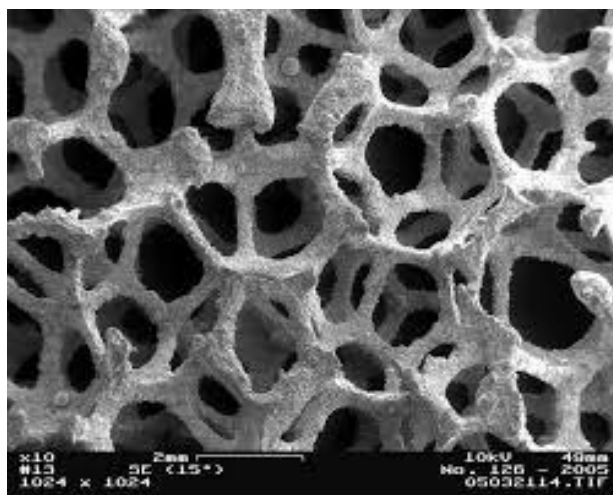
- استفاده‌های عمومی

۱. تصویرگرفتن از سطوح در بزرگنمایی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر با حد تفکیک در حد ۳ تا ۱۰ نانومتر (بسته به نمونه) (شکل ۳).

۲. در صورت تجهیز به آشکارساز Back Scattered میکروسکوپ‌ها قادر به انجام امور زیر خواهند بود:

(الف) مشاهده مرزدانه، در نمونه‌های حکاکی نشده، (ب) مشاهده حوزه‌ها (Domains) در مواد فرومغناطیس، (ج) ارزیابی جهت کریستالوگرافی دانه‌ها با قطرهایی به کوچکی ۲ تا ۱۰ میکرومتر، (د) تصویرنمودن فاز دوم روی سطوح حکاکی‌نشده (در صورتی که متوسط عدد اتمی فاز دوم، متفاوت از زمینه باشد)

۳- با اصلاح مناسب میکروسکوپ می‌توان از آن برای کنترل کیفیت و بررسی عیوب قطعات نیمه‌هادی استفاده نمود.



شکل ۳. تصویر از سطوح در حد نانومتر

- نمونه‌هایی از کاربرد

۱. بررسی نمونه‌هایی که برای متالوگرافی آماده شده‌اند، در بزرگ‌نمایی بسیار بیشتر از میکروسکوپ نوری
۲. بررسی مقاطع شکست و سطوحی که حکاکی عمیق شده‌اند، که مستلزم عمق میدانی بسیار بزرگ‌تر از حد میکروسکوپ نوری است.
۳. ارزیابی جهت کریستالوگرافی اجرایی نظیر دانه‌ها، فازهای رسوبی و دندریت‌ها بر روی سطوح آماده شده برای کریستالوگرافی
۴. شناسایی مشخصات شیمیایی اجزایی به کوچکی چند میکرون روی سطح نمونه‌ها، برای مثال: فازهای رسوبی و پلیسه‌های سایش
۵. ارزیابی گرادیان ترکیب شیمیایی روی سطح نمونه‌ها در فاصله‌ای به کوچکی $1 \mu\text{m}$
۶. بررسی قطعات نیمه هادی برای آنالیز شکست، کنترل عملکرد و تأیید طراحی

- نمونه‌ها

اندازه: محدودیت اندازه توسط طراحی میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی موجود تعیین می‌شود. معمولاً نمونه‌هایی به بزرگی ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر را می‌توان در میکروسکوپ قرار داد، ولی نمونه‌های ۴ تا ۸ سانتی‌متر را می‌توان بدون جابجاکردن نمونه بررسی کرد (اطمینان‌فر و خضرای، ۱۳۹۰).

آماده‌سازی: مواد غیرهادی معمولاً با لایه نازکی از کربن، طلا یا آلیاژ طلا پوشش داده می‌شوند. باید بین نمونه و پایه اتصال الکتریکی برقرار شود و نمونه‌هایی ریز نظیر پودرها باید روی یک فیلم هادی نظیر رنگ آلومینیوم پخش شده و کاملاً خشک شوند. نمونه‌ها باید عاری از مایعاتی با فشار بخار بالا نظیر آب، محلول‌های پاک‌کننده آلی و فیلم‌های روغنی باقی‌مانده باشند (اطمینان‌فر و خضرای، ۱۳۹۰).

۱. کیفیت تصویر سطوح تخت، نظیر نمونه‌هایی که پولیش و حکاکی متالوگرافی شده‌اند، معمولاً در بزرگ‌نمایی کم‌تر از ۳۰۰ تا ۴۰۰، برابر به خوبی میکروسکوپ نوری نیست.
۲. قدرت تفکیک حکاکی بسیار بهتر از میکروسکوپ نوری است، ولی پایین‌تر از میکروسکوپ الکترونی عبوری و میکروسکوپ عبوری روبشی است.

۲-۳-۱-۱- معرفی میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

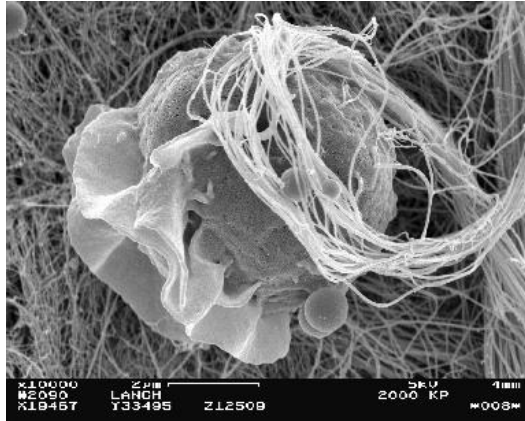
در پژوهش‌های مربوط به خواص مواد نانو ساختاری میکروسکوپ الکترونی یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین دستگاه‌هایی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اغلب مطالعات انجام‌شده بر روی خواص مواد نانو ساختاری برای تعیین اندازه و شکل آن‌ها از میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscopy)، که به اختصار به آن TEM می‌گویند، استفاده شده است (شکل ۴). این روش اندازه و شکل ذرات را با دقت حدود چند دهم نانومتر به دست می‌دهد، که به نوع ماده و دستگاه مورد استفاده بستگی دارد. امروزه در بررسی خواص مواد نانو ساختاری از میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (High-Resolution) استفاده می‌شود. علاوه بر تعیین شکل و اندازه ذرات به وسیله میکروسکوپ الکترونی عبوری با استفاده از پراش الکترون و سایر سازوکارهای موجود در برخورد الکترون با ماده برخی ویژگی‌های دیگر مواد نانو ساختاری مانند ساختار بلوری و ترکیب شیمیایی را می‌توان بدست آورد (خوداکووسکایا^۱، ۲۰۰۹).



شکل ۴. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

میکروسکوپ الکترونی عبوری، مشابه میکروسکوپ‌های نوری است، با این تفاوت که به جای پرتو نور در آن از پرتو الکترون استفاده می‌شود. در میکروسکوپ الکترونی عبوری، یک پرتو الکترونی با انرژی بالا از میان یک نمونه نازک می‌گذرد و اطلاعاتی را در مورد ساختار داخلی نمونه آشکار می‌کند. پرتو تک انرژی منسجم در استفاده از تفنگ الکترونی (تفنگ الکترونی یا ساعت کننده الکترون یک قطعه الکترونیکی است، که باریکه‌ای از الکترون را که مقدار انرژی جنبشی دقیق و مشخصی دارد را تولید می‌کند و غالباً در تلویزیون و مانیتور که از تکنولوژی اشعه لوله کاتدی استفاده می‌کنند، وجود دارد. همچنین در ابزاری مانند میکروسکوپ‌های الکترونی و شتاب‌دهنده‌های ذرات از آن استفاده می‌کنند.) با کارایی بالا بدست می‌آید و با استفاده از عدسی‌های الکترونی پیچیده‌ای دستکاری می‌گردد. آنچه که می‌توان با کمک میکروسکوپ نوری مشاهده کرده بسیار محدود است در حالی که با استفاده از الکترون‌ها بجای نور، این محدودیت از بین می‌رود. وضوح تصویر در TEM هزار برابر بیشتر از یک میکروسکوپ نوری است (شکل ۵) (اطمینان‌فر و خضرای، ۱۳۹۰).

یک دستگاه TEM بسیار شبیه به پروژکتور اسلاید کار می‌کند. یک پرتو نور توسط پروژکتور از میان اسلاید به بیرون می‌تابد و همان‌طور که نور از میان آن عبور می‌کند، بر روی ساختارها و اشیای روی اسلاید تغییراتی را پدید می‌آورد. این تاثیرات فقط در نتیجه عبور بعضی از قسمت‌های پرتوهای نورانی از میان بعضی قسمت‌های اسلاید به وجود می‌آید. این پرتو عبور نموده، سپس بر روی یک صفحه نمایش برخورد می‌کند و تصویری بزرگ شده از اسلاید را بر روی آن پدید می‌آورد. TEMها، به همین روش کار می‌کنند، به استثنای اینکه پرتوی از الکترون‌ها (همانند نور) از میان نمونه عبور می‌کند. یعنی به جای نور، الکترون‌ها به نمونه برخورد می‌کنند. هر قسمت از پرتو الکترونی که از نمونه عبور می‌کند، بر روی یک صفحه فسفری نمایش، تصویری را تشکیل می‌دهد، که کاربر آن را می‌تواند ببیند. در واقع TEM، نوعی پروژکتور نمایش اسلاید در مقیاس نانو می‌باشد، که در آن پرتویی از الکترون‌ها از تصویر عبور داده می‌شود. الکترون‌هایی که از جسم عبور می‌کنند، به پرده برخورد کرده و سبب ایجاد تصویر از جسم بر روی پرده می‌شوند.



شکل ۵. تصویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

سمت‌های تاریک‌تر بیانگر این امر هستند، که الکترون‌های کمتری از این قسمت جسم عبور کرده‌اند (این بخش از نمونه چگالی بیشتری دارد) و نواحی روشن‌تر مکان‌هایی هستند، که الکترون بیشتری از آن‌ها عبور کرده است (بخش‌های کم‌چگال‌تر). میکروسکوپ الکترونی عبوری قادر است، تصاویر نمونه‌های نازک را با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰۰۰ نشان دهد. امروزه میکروسکوپ الکترونی عبوری مدرن با حد تفکیک پذیری فضایی ۰/۲ نانومتر، حتی این امکان را برای ما به وجود می‌آورد، که صفحه یا ستون اتمی را تصویربرداری کنیم و نحوه قرار گرفتن اتم‌ها را در یک ماده بررسی کنیم (سیم‌چی، ۱۳۸۷).

- اصول کار میکروسکوپ الکترونی عبوری

همان‌طور که گفتیم در میکروسکوپ الکترونی عبوری یک پرتو الکترونی که از نمونه عبور می‌کند، اطلاعاتی در مورد ساختار درونی آن آشکار می‌کند. پرتو الکترونی، الکترون‌هایی با انرژی بالا عموماً ۳۰۰-۱۰۰ KeV می‌باشند، که بوسیله تفنگ الکترونی منتشر می‌گردند. منبع باید پرتو باریکی از الکترون‌ها را به همراه کنترل دقیق انرژی یعنی شتاب تولید کند. پرتو الکترونی تولیدشده به وسیله کمک گرفتن از ترکیبات نوری الکترونی مانند لنزهای الکترومغناطیس و روزنه‌ها دستکاری می‌گردند. پرتو الکترونی در نمونه مورد نظر که ضخامت آن معمولاً بین ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر است، نفوذ می‌کند. بعضی از الکترون‌ها پراکنده می‌گردند (لین^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)، درحالی‌که بقیه از نمونه بدون هیچ برهمکنشی می‌گذرند. الکترون‌هایی که از میان نمونه می‌گذرند، اطلاعاتی را بدست می‌آورند، که به طبیعت برهمکنش با نمونه یعنی پراکندگی غیرالاستیک (اطلاعات پیوندی و ترکیبی) و پراکندگی الاستیک (قرارگیری اتم‌ها) وابسته است. در واقع با کمک یک منبع نور در بالای میکروسکوپ، الکترون‌ها گسیل و منتشر می‌شوند. الکترون‌ها از تیوب خلاء میکروسکوپ عبور می‌کنند. در میکروسکوپ‌های نوری از عدسی‌های شیشه‌ای برای متمرکز کردن نور استفاده می‌شود، در حالی که در میکروسکوپ الکترونی عبوری از عدسی‌های الکترومغناطیسی استفاده می‌شود، تا الکترون‌های را جمع و متمرکز ساخته و به صورت یک پرتوی باریک، کوچک و هم‌دوس گسیل نماید. این پرتوی الکترونی به نمونه برخورد می‌کند و بخشی از آن از درون نمونه عبور می‌کند. بخش عبور نموده از نمونه به وسیله‌ی یک عدسی شی‌ای داخل یک تصویر متمرکز می‌شود. بعد از گذشت تصویر از میان عدسی‌ها، تصویر بزرگ می‌شود و به صفحه نمایش سفری برخورد می‌کند و نوری را پدید می‌آورد، که به کاربر اجازه می‌دهد، تا تصویر را ببیند. نواحی تیره‌تر تصویر، سطحی از نمونه را نشان می‌دهد، که الکترون‌های کمی از آن جا عبور کرده‌اند (قسمت‌هایی که ضخیم‌تر یا چگال‌ترند) و نواحی روشن‌تر تصویر، سطوحی از نمونه را نشان می‌دهد،

که الکترون‌های بیشتری از آنجا عبور کرده است (قسمت‌هایی که نازک‌تر یا چگالی کمتری دارند) (اطمینان‌فر و خضرای، ۱۳۹۰).

- آماده‌سازی نمونه

برای میکروسکوپ الکترونی عبوری یکی از مراحل است، که قبل از انجام آزمایش صورت می‌گیرد. با توجه به نوع ماده مورد آزمایش روش‌های مختلفی برای نمونه‌سازی وجود دارد، که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱. روش، ساده نشان دادن مقدار کمی از ماده در بستر حاوی ذرات

۲. پولیش الکتريکی، شیمیایی و مکانیکی

۳. سایش اتمی

۴. استفاده از میکروسکوپ‌های یونی با پرتو کانونی شده (FIB)

۵. دستگاه اولترا میکروتومی برش لایه‌ی نازک از ماده که برای نمونه‌های بیولوژیکی و بافت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر یک از این موارد نگهدارنده خاصی مورد نیاز می‌باشد. در اغلب اوقات برای آنالیز ذرات و یا نانوساختارها از توری مسی پوشانده شده با لایه کربنی در حد نانومتر استفاده می‌کنند. در نهایت ضخامت نمونه تهیه شده باید کمتر از یک میکرومتر باشد.

- مزایا و معایب میکروسکوپ الکترونی عبوری

مزایای میکروسکوپ الکترونی عبوری در توانایی آن در آمادگی برای اندازه‌گیری‌های منحصر به فرد شبیه اطلاعات تفرق فضایی، جزئیات مورفولوژی از جمله شکل، اندازه و نظم ذرات سازنده سطح یک نمونه، اطلاعات ترکیب (اطلاعات و ترکیباتی که شی از آن ساخته شده است و مقدار تقریبی آن‌ها)، اطلاعات کریستالوگرافی (ترتیب قرار گرفتن اتم‌ها در یک کریستال) و آنالیز ایرادهای داخلی (استقرار خراب، ایرادهای لایه لایه شدن و غیره) است (صادق‌حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). در مقایسه با روش‌های دیگر میکروسکوپی، میکروسکوپ الکترونی عبوری چند عیب جدی دارد. یکی از آن‌ها آماده‌سازی نمونه، به خصوص نمونه‌های زیستی تصاویر دوبعدی هستند. TEM، ممکن است بسیار پیچیده باشد. ایراد دوم این است، که تصاویر که از ساختارهای سه بعدی به دست آمده‌اند، این می‌تواند گاهی به تفسیر غلط از تصاویر منجر شود (نجف‌زاده، ۱۳۸۷).

تصاویر در میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری شفاف و دوبعدی می‌باشند. رزولوشنی به اندازه‌ی 0.2 نانومتر دارد، که در کاربردهای پزشکی از آن استفاده می‌شود. این رزولوشن مربوط به نمونه‌هایی است، که کمتر از 200 نانومتر ضخامت دارند.

- کاربرد های میکروسکوپ الکترونی عبوری

میکروسکوپ الکترونی عبوری زمینه کاربرد در بسیاری از حوزه‌های زیستی، فیزیک مولکولی و اتمی تا کریستالوگرافی را دارد. بوسیله اتصال TEM با روش‌های اسپکتروسکوپی طیف سنجی افت انرژی الکترونی، ترکیبات شیمیایی نمونه با رزولوشن فضایی بالا (کوچکتر از 10 نانومتر) بدست می‌آید. زمینه‌های کاربردی دیگر آن تعیین فاز و جداسازی، تعیین خصوصیت میکرو و نانوساختارها، عیوب، ترکیبات شیمیایی ذرات کوچک (نانومتر)، تصاویر میدان الکتريکی و مغناطیسی می‌باشد. میکروسکوپ الکترونی عبوری برای سنجش فرا ساختار فلزات بسیار ارزشمند است. برای مثال نقص‌های بلورین برای اولین بار در تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری آلومینیوم مشاهده شد. میکروسکوپ الکترونی عبوری در علوم زیستی نیز مفید هستند (اطمینان‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). به عنوان مثال، این میکروسکوپ‌ها می‌توانند برای بررسی بافت گیاهان، حیوانات، باکتری‌ها یا ویروس‌ها به کار روند. کاربردهای متعدد

با استفاده از روش‌های فیلترینگ خلاقانه و در عین حال ساده، از امکان انتخاب الکترون‌ها بسته به میزان انرژی آن‌ها استفاده می‌کنند. با واکنش با ماده، الکترون‌ها تابش اشعه x را تشدید می‌کنند، که به شدت به ساختار داخلی اتم‌های سازنده نمونه ارتباط دارد. این روشی است، که TEM برای حوزه‌های مشخصی از علوم مانند فیزیک اتمی و مولکولی به کار می‌برد و جایگاه خود را به عنوان دستگاهی ارزشمند حتی در فیزیک کوانتوم تثبیت می‌کند (اطمینان فر و خضرابی، ۱۳۹۰).

۳-۳-۲-۱. روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) برای مطالعه اندازه نانوذرات



شکل ۶. پراکندگی نور دینامیکی (DLS)

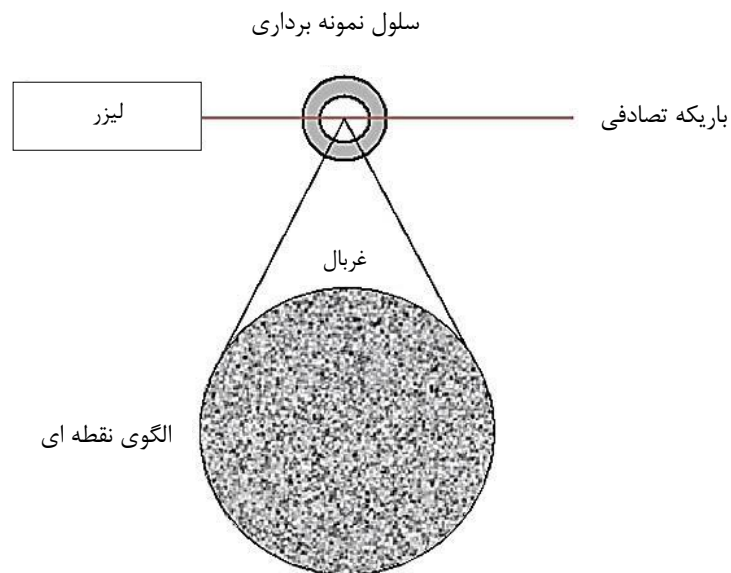
پراکندگی نور دینامیکی (شکل ۶)، روشی فیزیکی است، که برای تعیین توزیع ذرات موجود در محلول‌ها و سوسپانسیون استفاده می‌شود. این روش غیرمخرب و سریع برای تعیین اندازه ذرات در محدوده‌ی چند نانومتر تا میکرون به کار می‌رود. در فناوری‌های اخیر، ذراتی با قطر کمتر از نانومتر نیز با این روش قابل اندازه‌گیری هستند. این روش به برهمکنش نور با ذره بستگی دارد. نور پراکنده شده بوسیله نانوذرات موجود در سوسپانسیون با زمان تغییر می‌کند، که می‌تواند به قطر ذره ارتباط داده شود. نانوتکنولوژی و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف، چالش‌هایی را در درک و تشخیص رفتار مواد در مقیاس نانو ایجاد می‌کند. دانستن اندازه و توزیع اندازه ذرات، از اطلاعات پیش نیاز برای تولید و ساخت محصولات مختلف است. از آنجایی که اندازه و توزیع اندازه ذرات، تاثیر زیادی بر روی استحکام مکانیکی، دانسیته و خواص نوری و حرارتی محصول نهایی دارد، تعیین این اندازه‌ها بسیار ضروری‌اند. امروزه ابزارهایی وجود دارند، که امکان تعیین اندازه و توزیع اندازه ذرات با استفاده از آن‌ها امکان‌پذیر است. در میان این ابزارها، دستگاه‌هایی هستند، که می‌توانند آنالیز پودرها را به صورت پخش شده در یک سوسپانسیون انجام دهند. نکته حائز اهمیت این است، که بدانیم دستگاه‌های متفاوت، بر مبنای مدل‌های فیزیکی متفاوتی پایه گذاری شده‌اند، و بنابراین تفاوت‌هایی در ساختار اندازه‌گیری ابزار مختلف وجود دارد. روش تفرق دینامیک نور (DLS= Dynamic Light scattering)، که طیف‌سنجی ارتباط فوتونی (PCS= Photon correlation spectroscopy) نیز نامیده می‌شود، برای اندازه‌گیری اندازه ذرات در محیط مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۷، نمونه‌ای از دستگاه تفرق دینامیک نور را نشان می‌دهد (نجف‌زاده، ۱۳۸۷).



شکل ۷. دستگاه تفرق دینامیک نور

- DLS چطور کار می‌کند؟

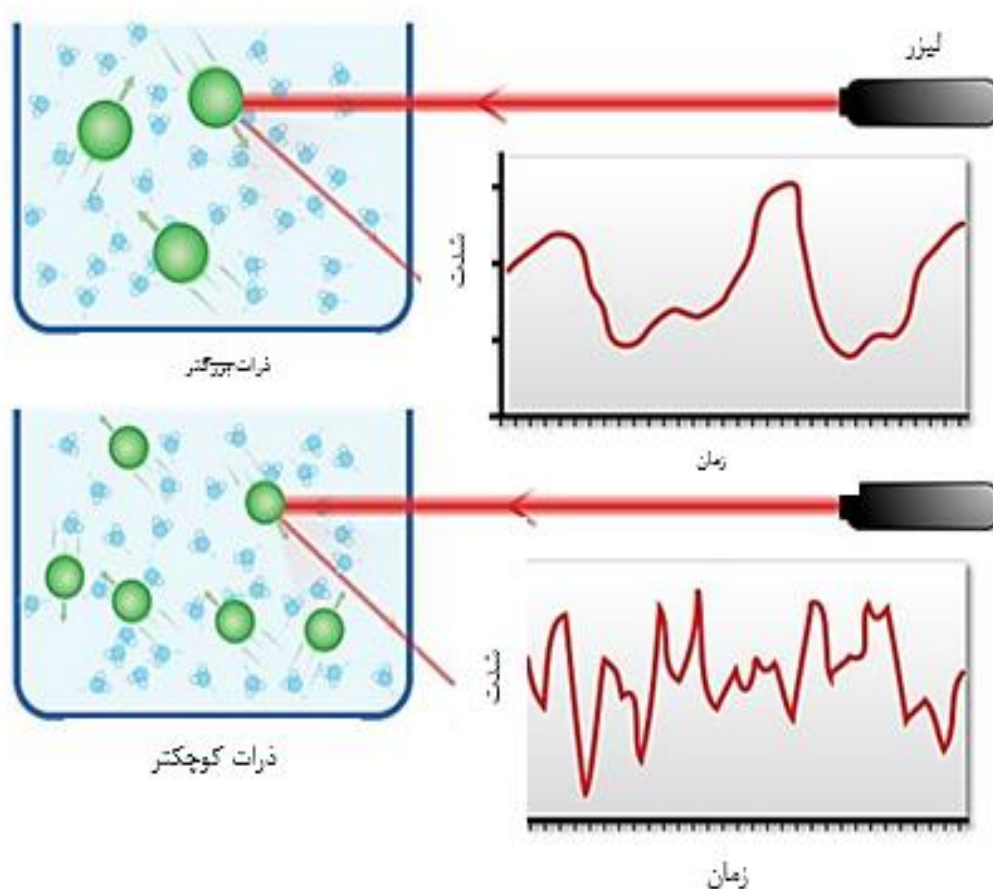
اگر تصور شود که نمونه در محفظه‌ای قرار گرفته و ذرات موجود در نمونه ثابت باشند و همچنین از لیزر و غربالی شیشه‌ای برای دیدن ذرات استفاده می‌شود. در شکل زیر الگوی نقطه‌ای برای ذرات ثابت نشان داده شده است. نقاط تیره مشخص کننده نورهای پراکنده شده به صورت غیرهم فاز است، که یکدیگر را دفع می‌کنند. نقاط روشن حاصل تداخل سازنده نور پراکنده شده از ذرات است، که با یکدیگر هم فاز هستند (شکل ۸) (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).



شکل ۸. شماتیکی از الگوی نقطه‌ای

در سیستمی که ذرات حرکت براونی دارند، الگوی نقطه‌ای مشاهده می‌شود، که موقعیت هر نقطه دیده شده در حرکتی ثابت است. این بدان معناست، که افزایش فاز از ذرات متحرک الگوهای جدیدی را ایجاد می‌کند. سرعت این

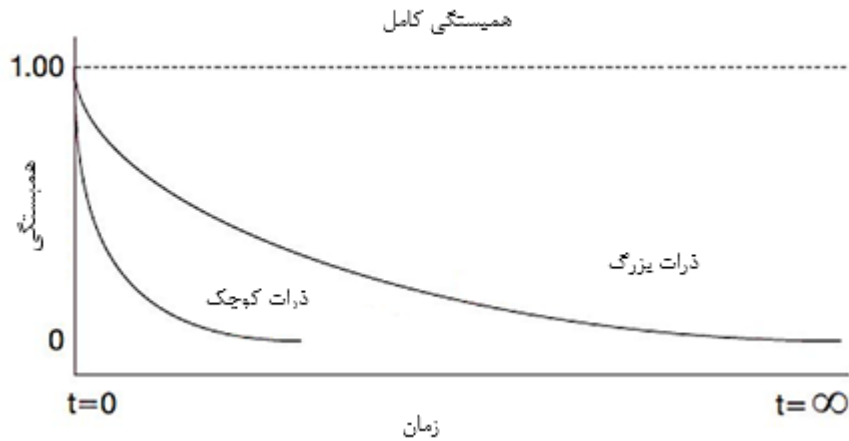
نوسانات شدتی به اندازه ذرات بستگی دارد. شکل ۹، شماتیکی از نوسانات شدتی ناشی از پراکندگی ذرات بزرگ و کوچک را نشان می‌دهد (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۹. شماتیکی از شدت نوسانات برای ذرات بزرگ و کوچک (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

در دستگاه تفرق دینامیک نور، قسمتی به نام ارتباط‌دهنده وجود دارد. این جزء درجه تشابه دو سیگنال را در محدوده‌ی زمانی خاصی اندازه‌گیری می‌کند. اگر شدت سیگنال به دست آمده در یک لحظه‌ی زمانی t ، با شدت سیگنال حاصله در زمان کوتاه بعدی $(t+\delta t)$ مقایسه شود، تشابه و ارتباط نزدیک دو سیگنال به یکدیگر مشخص می‌شود. ادامه‌ی مقایسه سیگنال اولیه در زمان‌های بعدی $(t+2\delta t)$ ، نشان‌دهنده کاهش تابع ارتباط است. اگر اندازه‌گیری‌های تابع ارتباط در زمان‌های $t+3\delta t$ ، $t+4\delta t$ و $t+5\delta t$ و $t+6\delta t$ ادامه یابد، نهایتاً میزان ارتباط به صفر می‌رسد (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).

- تعیین اندازه ذرات با استفاده از تابع ارتباط
سرعت حرکت ذرات، نقش مهمی در رابطه‌ی بین تابع ارتباط و اندازه ذرات دارد. اگر ذرات بزرگ اندازه‌گیری شوند، آن‌ها به آهستگی حرکت کرده و شدت نور پخش‌شده به آهستگی نوسان کند. حال اگر به همان ذرات صورت ذرات کوچک اندازه‌گیری شوند، آن‌ها سریع‌تر حرکت می‌کنند و شدت نور پخش‌شده به سرعت نوسان می‌کند. شکل ۱۰، ارتباط بین توابع ارتباط برای ذرات بزرگ و کوچک را نشان می‌دهد (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).



شکل ۱۰. منحنی توابع ارتباط برای بزرگ و کوچک (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

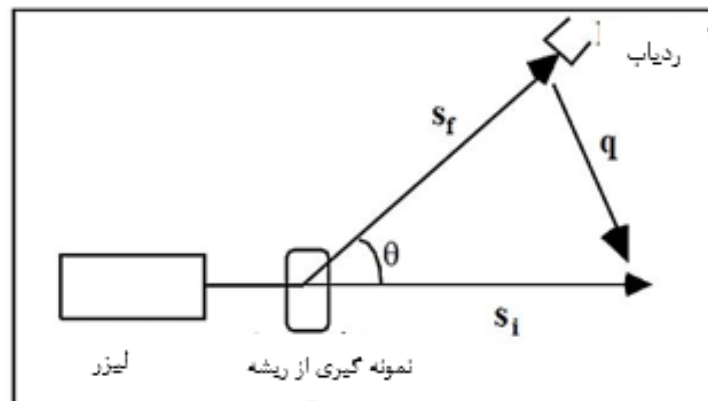
همان‌طور که مشاهده می‌شود، سرعت افت تابع ارتباط، به اندازه‌ی ذرات بستگی دارد. سرعت افت تابع، در مورد ذرات کوچک‌تر سریع‌تر از ذرات بزرگ است. از اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری تابع ارتباط، برای اندازه‌گیری ذرات در حالت پراکنده که به صورت ثابت و یا تصادفی هستند، سبب می‌شوند که نور پراکنده شده به صورت تابعی از زمان نوسان کنند. ارتباط دهنده، تابع ارتباط $G(\tau)$ را از شدت نور پراکنده شده ایجاد می‌کند، که τ اختلاف زمان ارتباط دهنده است (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

$$g_1(t) = \langle I(t)I(t+\tau) \rangle = \exp(-t\Gamma) \quad (1-1)$$

برای ذرات بزرگ که حرکت براونی دارند، تابع ارتباط با زمان ارتباط‌دهنده به صورت اکسپانسیلی کاهش می‌یابد. Γ ، پهنای خط طیف است، که با ضریب نفوذ رابطه دارد (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\Gamma = Dq^2 \quad q = \frac{4\pi n}{\lambda_0} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2-1)$$

q ، بردار پراکندگی، n ، ضریب شکست محیط مایع، θ ، زاویه پراکندگی و λ_0 ، طول موج لیزر است. بردار پراکندگی، به صورت اختلاف بردار موج پراکنده شده و برخوردی تعریف می‌شود (شکل ۱۱) (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).



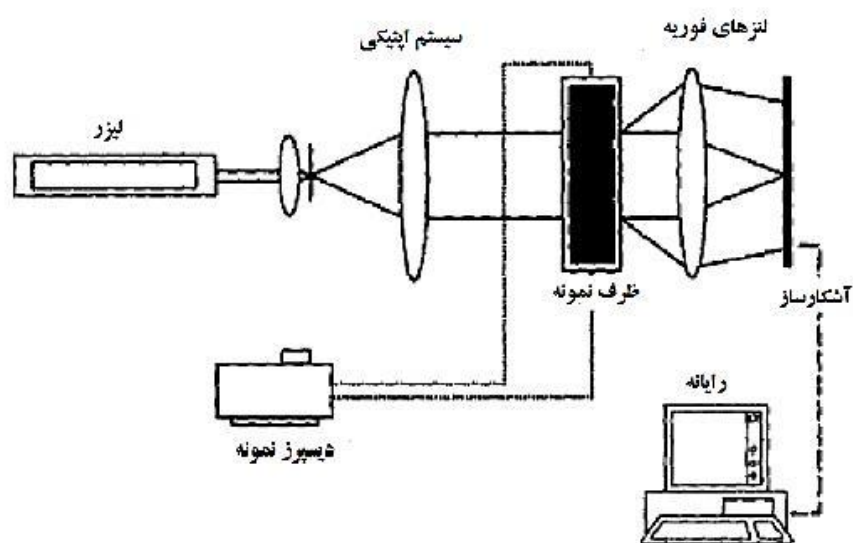
شکل ۱۱. شماتیکی از برخورد نور به ذره (بردار موج برخوردی S_i و پراکنده شده S_f و بردار پراکندگی q) (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

۱-۲-۳-۴. اندازه‌گیری ذرات با روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (SLS) اندازه‌گیری ذرات با استفاده از روش پراکندگی استاتیک نور لیزر، روشی بر اساس الگوی نور پراکنده شده بر روی آشکارساز است. این الگوی نور پراکنده شده مجموعه‌ای از الگوهای پراکندگی است، که توسط هر یک از ذرات ایجاد می‌شود. بوسیله این الگوی پراکندگی می‌توان اطلاعاتی از اندازه ذرات به دست آورد. این روش آنالیزی روشی سریع، نسبتاً ارزان و غیرمخرب برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات است. از این روش برای اندازه‌گیری ذراتی که اندازه آن‌ها بیش از ۱۰ میکرومتر است کاربرد دارد (شکل ۱۲) (ما و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱۲. روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (SLS)

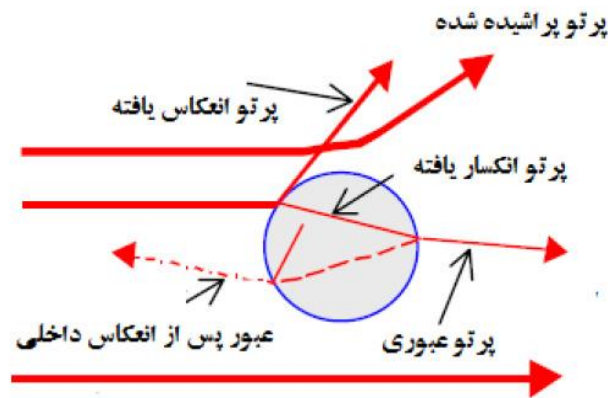
اندازه ذرات و توزیع آن‌ها، تاثیر بسیاری بر روی دانسیته، خواص مکانیکی، الکتریکی و حرارتی مواد می‌گذارد. روش پراش لیزر روشی است، که به صورت گسترده‌ای برای اندازه‌گیری ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌هایی که از پرتو نور به عنوان یک پیمایشگر برای تعیین اندازه ذرات استفاده می‌شود، به دو دسته تصویری و غیرتصویری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش غیرتصویری بر اساس اصول فیزیکی است، که بیان‌کننده برهمکنش بین نور و ذره می‌باشد. دستگاه اندازه‌گیری ذرات با استفاده از پراکندگی استاتیک نور لیزر در گروه روش‌های غیرتصویری قرار می‌گیرد. شکل ۱۳، شماتیکی از این دستگاه را نشان می‌دهد (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۸۳).



شکل ۱۳. شماتیکی از دستگاه اندازه‌گیری ذرات با روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

- برهمکنش نور با ماده

نور، موج الکترومغناطیس در محدوده (مادون قرمز) 10^{13} هرتز تا (ماورابنفش) 10^{17} هرتز یا محدوده ۳ تا 300000 نانومتر است. رابطه بین فرکانس و طول موج به صورت $C=\lambda\nu$ می‌باشد، که در آن C ، سرعت نور در خلأ است. نور خاصیت موج و ذره دارد. نور را می‌توان به صورت بسته‌های انرژی یا فوتون در نظر گرفت، که همه فوتون‌های نور طول موج خاصی داشته و مقدار مشخصی انرژی دارند. شدت نور در یک طول موج خاص برابر است با تعداد فوتون‌هایی که در واحد زمان از واحد سطح می‌گذرند. در روش تعیین اندازه ذرات با پراش لیزر، از لیزر به عنوان منبع نور استفاده می‌شود. در مقایسه با نور سفید که شامل طیفی از طول موج‌ها است، نور لیزر از یک طول موج تشکیل شده و اصطلاحاً تکفام است. نور لیزر نوری کوهرنه و جهت‌دار است. با برخورد نور به ذره چهار پدیده پراش، جذب، انعکاس و انکسار رخ می‌دهد، که مقدار هر یک از این پدیده‌ها به طول موج نور و ویژگی‌های اپتیکی ماده بستگی دارد. شکل ۱۴، پدیده‌های پراش، انعکاس، جذب و انکسار نور را نشان می‌دهد (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

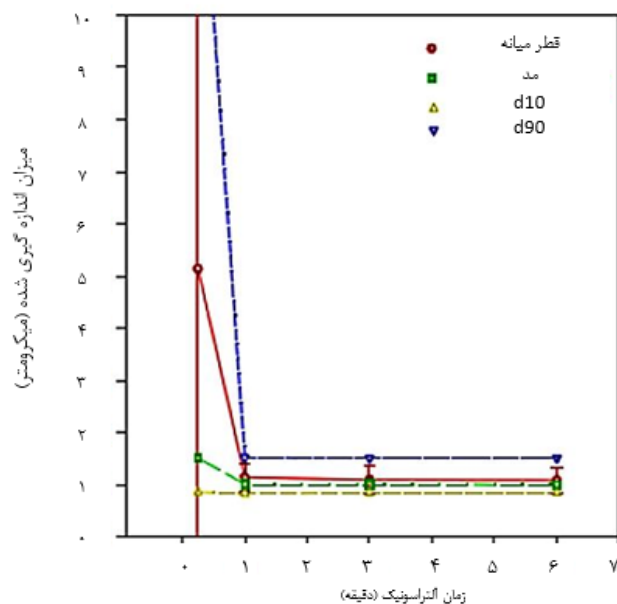


شکل ۱۴. برهمکنش نور با ذره

- نمونه

نمونه‌های مورد آنالیز در دستگاه‌های پراکندگی نور لیزر به صورت:

۱. ذرات جامدی هستند، که به صورت معلق در مایع‌اند.
 ۲. ذرات جامد یا مایع هستند، که در یک محیط گازی به صورت معلق درآمده‌اند.
- برای اینکه بتوانیم توزیع اندازه دقیقی داشته باشیم، بایستی آماده‌سازی نمونه به دقت انجام گیرد. هرگونه تجمع و آگلومره شدن بر روی توزیع اندازه ذرات نهایی تاثیرگذار است. در مورد ذرات جامد معلق در محیط مایع، چون دستگاه نمی‌تواند بین ذرات آگلومره شده و یا ذراتی که به صورت تفکیک شده از هم هستند، تمایز قائل شود. بنابراین باید فرایند آماده‌سازی انجام شود. در این حال پراکنده کردن با روش‌های مختلفی مانند آلتراسونیک، اضافه نمودن پراکنده‌ساز و پایدار سازی با pH انجام می‌شود (کک و همکاران، ۲۰۰۸). البته باید توجه نمود، که فرایند پراکنده نمودن باعث ایجاد حباب نشود، زیرا سبب خطا در توزیع اندازه ذرات می‌شود. غلظت نمونه نیز از مواردی است، که باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که این دستگاه براساس پراکندگی نور است. بنابراین اگر غلظت سوسپانسیون بالا باشد پراکندگی مضاعف رخ می‌دهد و اگر غلظت کم باشد، نور با ذره‌ای برخورد نمی‌کند. مایعات مورد استفاده در این روش، آب، ایزوپروپانول و یا دیگر مایعات کم خطر است. شکل ۱۵، نشان می‌دهد، که با افزایش زمان اولتراسونیک از ۱۵ ثانیه به یک دقیقه تغییر زیادی در اندازه ذرات مشاهده شده است و در زمان‌هایی بیش از ۳ دقیقه کاهش کمی در قطر میانگین دیده می‌شود (ما و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱۵. تاثیر زمان اولتراسونیک بر نتایج اندازه گیری ذرات

- لنز

وقتی نور به ذرات برخورد می‌کند، بسته به ماهیت ماده، طول موج نور و اندازه ماده، نور در جهات مختلف پراکنده می‌شود. این الگوی پراکنده شده باید به نحوی جمع‌آوری شود. در این قسمت از لنز استفاده می‌شود. لنزهایی که بین نمونه و آشکارساز قرار می‌گیرند، لنزهای فوری نامیده می‌شوند. در اینجا پرتوهایی که با هم موازی هستند، بر روی یک نقطه در صفحه کانونی در جایی که آشکارساز قرار گرفته است، جمع می‌شوند (ما و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین حرکت ذره در منطقه اندازه‌گیری تاثیری بر روی الگوی پراکنده آن نمی‌گذارد. ماکزیمم زاویه پراکنده که شدت پراکنده آن توسط لنز جمع می‌شود، طبق رابطه (۳-۱) است:

$$(3-1)$$

$$\theta = \tan^{-1} d_L + D/2l$$

که در آن D ، قطر پرتو، d_L ، قطر لنز و l فاصله لنز تا نمونه است.

- آشکارساز

یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین جزئی که در دستگاه‌های اندازه‌گیری ذرات با لیزر استفاده می‌شود، آشکارساز است. تعداد آشکارسازهایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، عامل تعیین‌کننده‌ای در بدست آوردن دقت بالا و توزیع اندازه صحیح است. آشکارسازهای مورد استفاده شامل:

۱. فوتودیودها: یکی از موثرترین آشکارسازهای نوری هستند، که از اتصالات نیمه‌هادی ساخته می‌شوند. وقتی یک فوتون به نیمه‌هادی برخورد می‌کند، در نتیجه آن یک الکترون از لایه ظرفیت به لایه هدایت منتقل شده و یک جفت الکترون-حفره ایجاد شده و سیگنال حاصل می‌شود (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

۲. CCDها: عناصر حساس به نور هستند، که یک جمع‌کننده الکترون دارد و الکترون را ذخیره می‌کند. همان طور که انرژی نور باعث آزاد کردن الکترون می‌شود، برخلاف آشکارساز نوری که جریان تولید می‌کند، CCDها الکترون را جمع می‌کنند.

۳. آشکارسازهای حلقه‌ای: نور پراکنده شده توسط لنزها به حلقه‌های این آشکارساز برخورد می‌کنند. بین این حلقه‌ها فاصله عایقی وجود دارد، که حلقه‌ها را از یکدیگر جدا می‌کند. زمانی که الگوی پراکندگی بر روی حلقه‌ها منطبق می‌شود. هر حلقه عرض مشخصی داشته و محدوده خاصی از زوایا را دربر می‌گیرد. سیگنال تولید شده بوسیله هر حلقه با شدت متوسط آن محدوده از زوایای حلقه، متناسب است. تعداد حلقه‌ها بر روی آشکارساز حلقه‌ای متغیر است (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

- بدست آوردن اطلاعات

در اثر برخورد نور با ذره، ذره شروع به پراکنده ساختن نور می‌کند. وقتی تعداد کافی از ذرات در ناحیه اندازه‌گیری باشد، سیگنال مناسبی از آشکارساز نوری دریافت می‌شود. در طی هر اسکن، شدت نور بوسیله آشکارساز به جریان تبدیل می‌شود و سیگنال‌ها به صورت دیجیتالی به رایانه فرستاده می‌شود. توزیع شدت نور پراکنده شده به اندازه ذرات بستگی دارد و از آنجایی که ذرات با اندازه‌های مختلفی در محیط اندازه‌گیری هستند. بنابراین، یکی از روش‌های بدست آوردن توزیع اندازه ذرات استفاده از ماتریس است (ما و همکاران، ۲۰۱۰)، که در آن:

s: اطلاعات توزیع شدت نور پراکنده شده.

q: اطلاعات توزیع اندازه ذرات، که برحسب درصد بیان می‌شود.

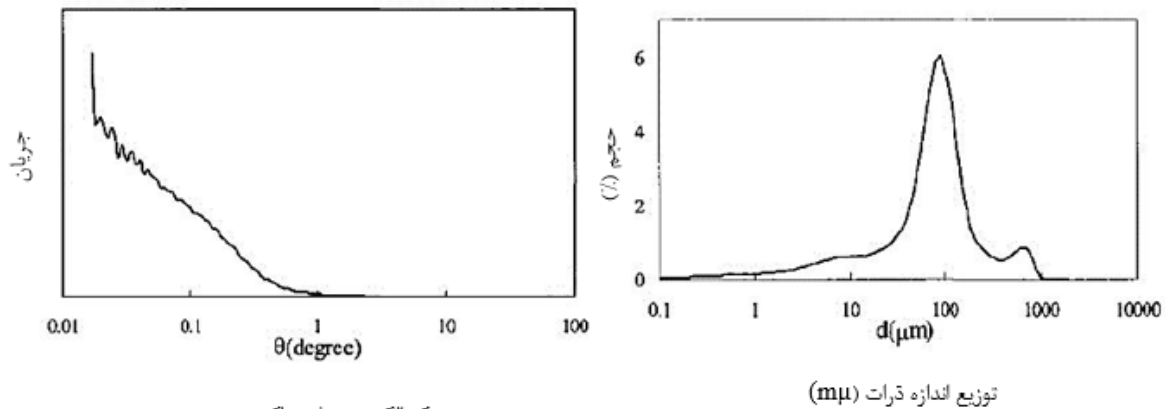
$$s=qA$$

$$s = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_m \end{pmatrix}, \quad q = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & \dots & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & & & & & \\ \vdots & & & a_{i,j} & & \\ a_{m,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{m,n} \end{pmatrix}$$

(۴-۱)

A: یک ماتریس ضریب است، که برای تبدیل اطلاعات از توزیع اندازه به شدت نور پراکنده شده استفاده می‌شود. همان طور که پیش از این بیان شد، وقتی قطر ذره از طول موج بزرگ‌تر طول موج باشد، تئوری Fraunhofer در نظر گرفته می‌شود. اما اگر ذره قابل مقایسه با طول موج باشد، در این صورت نیاز است، که از پراکندگی Mie استفاده شود. بنابراین باید ویژگی‌های اپتیکی محیط و ذره در نظر گرفته شود، در این صورت ماتریس A پیچیده‌تر می‌شود. در شکل ۱۶، الگوی پراکندگی و توزیع اندازه منطبق با آن الگوی پراکندگی را برای نمونه‌ای که دارای اندازه ذرات ۰/۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر است و در آن از روش ماتریس معکوس استفاده شده است، را نشان می‌دهد (ما و همکاران، ۲۰۱۰).



یک الگوی جریان پراکنده نمونه

توزیع اندازه ذرات (μm)

شکل ۱۶. الگوی پراکندگی و توزیع اندازه منطبق با آن الگوی پراکندگی

۵-۳-۲-۱. طیف سنجی جرمی

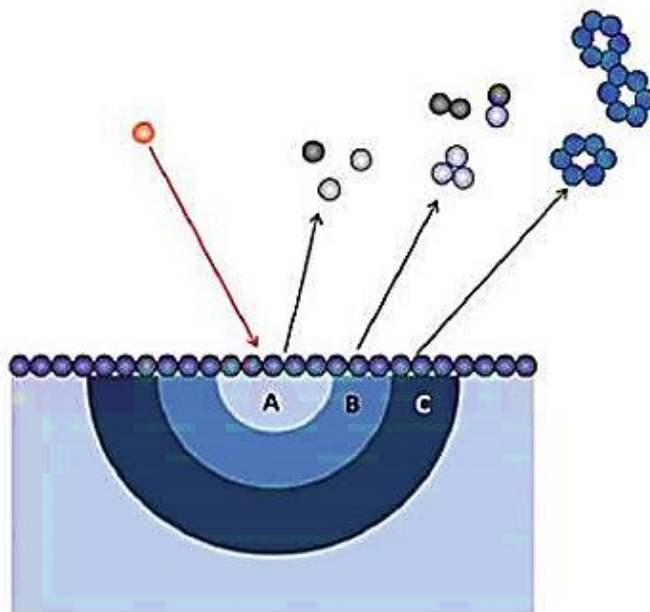
به منظور آنالیز شیمیایی سطح نانوذرات و جزئیات در مقیاس نانو مواد طبیعی و مصنوعی، از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود. تصویربرداری طیف سنجی جرمی یکی از تکنیک‌های آنالیز مولکول‌ها در سطح است. روش‌های متفاوت از طیف‌سنجی جرمی، توانایی تصویربرداری شیمیایی را داشته، ولی در این بین، طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه (Secondary Ion Mass Spectroscopy - SIMS) جزئیاتی در مقیاس نانو را فراهم می‌کند. طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه یکی از حساس‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های آنالیز مواد در مقیاس بسیار کوچک و در غلظت‌های بسیار کم است (پل^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). از میان تمامی تجزیه‌گرهای جرمی ذکر شده، به خصوص به‌منظور تصویربرداری در مقیاس نانو، تجزیه‌گر جرمی چهارقطبی، زمان پرواز و قطاع مغناطیسی بیشترین کاربرد را دارند. همچنین برای اینکه بتوان از طیف‌سنجی جرمی به عنوان یک تکنیک تصویربرداری استفاده کرد، باید مرحله‌ی یونیزاسیون بر روی سطح جاحالت صورت بگیرد. بنابراین در این بین، یونیزاسیون واجدبی (Ionization Desorption) در تصویربرداری طیف‌سنجی جرمی گزینه‌ای مناسب می‌باشد (پل و همکاران، ۲۰۱۰). از نظر تکنیکی امکان استفاده از هر سطحی (از جمله مواد در مقیاس نانو) برای عکسبرداری دو بعدی وجود دارد. البته به دلیل یک سری مسایل عملی (تفکیک پذیری فضای مناسب، حساسیت و غیره)، تصویربرداری طیف‌سنجی جرمی تنها برای طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه (SIMS)، MALDI و یونیزاسیون واجدبی افشانه‌ی الکترونی (DESI) به صورت تجاری موجود می‌باشد (پل و همکاران، ۲۰۱۰). در این میان تنها SIMS توانایی تصویربرداری در مقیاس نانو را دارا می‌باشد و بنابراین در این مبحث بررسی بیشتری در مورد SIMS صورت خواهد گرفت. تفکیک بالای تصویربرداری بوسیله‌ی طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه قابل رقابت با روش‌های مختلف در تصویربرداری شیمیایی از جمله سایر روش‌های مبتنی بر طیف‌سنجی جرمی، طیف‌سنجی اشعه ایکس، طیف‌سنجی ارتعاشی و تا حدودی طیف‌سنجی فلورسانس است (پل و همکاران، ۲۰۱۰). از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آماده‌سازی نمونه نسبتاً ساده است و نیازی به نشاندار کردن (Labeling) نیست.
- اطلاعات بدست آمده حساسیت سطحی بالایی دارد (نمونه‌برداری صرفاً از سطح - و نه حجم توده‌ای ماده - انجام می‌شود)
- آنالیز نمونه‌های معدنی و آلی، هادی و غیره‌ای امکان پذیر است.

- امکان حصول اطلاعات عنصری و مولکولی در یک آنالیز وجود دارد.
- می‌توان تفکیک پذیری جانبی (Lateral Resolution) را در مقیاس نانو فراهم آورد.
- دارای حساسیت بالا نسبت به بعضی از گره‌های عاملی قرار گرفته بر روی ذرات در مقیاس نانو است.
- در مقایسه با سایر روش‌های ذکر شده برای تصویربرداری شیمیایی، محدودیت‌ها و معایبی برای این روش وجود دارد، از جمله:
- کاربرد طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه، نیازمند شرایط خلا بالاست.
- محدوده‌ی جرمی که توسط این روش قابل بررسی است، به ۲۰۰۰ دالتون محدود می‌شود و بنابراین در نمونه‌های زیستی با محدودیت روبرو هستیم.
- در حضور اثر مزاحمتی زمینه (Matrix Interference)، کمی‌سازی (Quantitation) داده‌ها پیچیده است.

۶-۳-۱-۲-۱. طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه

طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه، یکی از حساس‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های آنالیز مواد در مقیاس بسیار کوچک (عمق ۲ mm و عرض ۵۰ mm) و در غلظت‌های بسیار کم است. این روش، با برخورد پرتویی از یون‌های اولیه پرنرژی بر روی سطح نمونه جا‌حالت باعث شکسته‌شدن پیوندها و کندوپاش اجزای نمونه می‌شود. به طور دقیق‌تر این پدیده در اثر انتقال انرژی از یون‌های پرنرژی به اجزای نمونه اتفاق می‌افتد و ذرات سطح به صورت ذرات خنثی و ذرات باردار واجذب می‌شوند. درصد ذرات باردار واجذب شده بسیار کم (کمتر از ۱ درصد) بوده و بسیاری از ذرات بی‌بار هستند (سیم‌چی، عبدالرضا، ۱۳۸۷). پرتوی یون‌های اولیه می‌تواند یون‌هایی با بار منفی، بار مثبت، به صورت پرتوی پیوسته یا پالسی، مولکول‌های گازی خنثی یا خوشه یونی باشند. بیشتر یون‌های ثانویه تشکیل شده از دو لایه‌ی ابتدایی سطح است (پل و همکاران، ۲۰۱۰). پرتوی یونی اولیه برخوردی فقط می‌تواند علاوه بر ناحیه‌ی برخورد، سطح را به عمق کمی از این نقطه تحت تاثیر قرار دهد. در ناحیه‌ی برخورد به دلیل انرژی زیاد در دسترس، احتمال تشکیل فرم اتمی اجزای تشکیل دهنده‌ی نمونه بیشتر و با دور شدن از این نقطه احتمال تشکیل خوشه‌ها یا قطعات مشخصه‌ی (Characteristic Fragments) اجزای نمونه بیشتر است (شکل ۱۷). این حالت زمانی مشاهده می‌شود، که چگالی جریان یون‌های اولیه کم باشد. بنابراین انتظار داریم، که در این حالت بدون آسیب جدی به سطح، علاوه بر تصویربرداری از سطح، اطلاعات شیمیایی (با استفاده از آنالیز جرمی یون مولکول‌های تشکیل شده) از مولکول‌های سطح نمونه نیز بدست آورده شود. این روش که از چگالی جریان یون‌های اولیه کم، استفاده می‌شود، اساس طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه ایستا می‌باشد (پل و همکاران، ۲۰۱۰). اگر پرتوی یون‌های اولیه، چگالی جریانی بالاتر از حد ایستا داشته باشند، طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه پویا نامیده می‌شود. به دلیل انرژی زیاد در روش پویا، اجزای نمونه به فرم اتمی و به مقدار بسیار کم خوشه‌های چنداتمی (و البته یون‌های مربوطه) پدیدار خواهند شد. از این روش می‌توان در آنالیز عنصری در حد مقادیر بسیار کم با حساسیت بالا استفاده کرد. با توجه به وجود یون‌های بسیار واکنش پذیر، SIMS نیاز به شرایط خلا بسیار بالا دارد (پل و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱۷. نواحی سطح تحت تاثیر در برابر پرتویی از یون‌های اولیه در طیف‌سنجی جرمی یون‌های ثانویه ایستا

کمی‌سازی (Quantization) داده‌های SIMS بسیار مشکل است، تا آنجا که این روش بیشتر برای آنالیزهای کیفی (Qualitative) مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته می‌توان از روش‌های کمومتریکس^۱ برای رفع این مشکل استفاده کرد. علت مشکل بودن کمی‌سازی داده‌های SIMS، بازدهی یون‌های ثانویه است، که وابسته به بازده کندوپاش و احتمال یونیزاسیون می‌باشد. هردوی این موارد توسط ویژگی‌های نمونه مورد آنالیز و نوع یون‌های اولیه مورد استفاده و زاویه‌ی برخورد آن با سطح نمونه به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرند. برای مثال، اگر باقیمانده‌ی گاز در محفظه‌ی آنالیز بتواند بر روی ماده‌ی موردنظر جذب شود، به شدت روی احتمال یونیزاسیون تاثیر می‌گذارد، همچنین وجود ناخالصی در نمونه بازده کندوپاش نمونه‌ی مورد نظر را کاهش می‌دهد (هاماچر^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

سه نوع دستگاه SIMS به صورت تجاری برای تصویربرداری در مقیاس نانو موجود می‌باشد:

- ترکیب پرتوی پیوسته و قوی یون گالیم متمرکز شده (FIB) به عنوان منبع یون و تجزیه‌گر جرمی چهار قطبی یا قطاع مغناطیسی

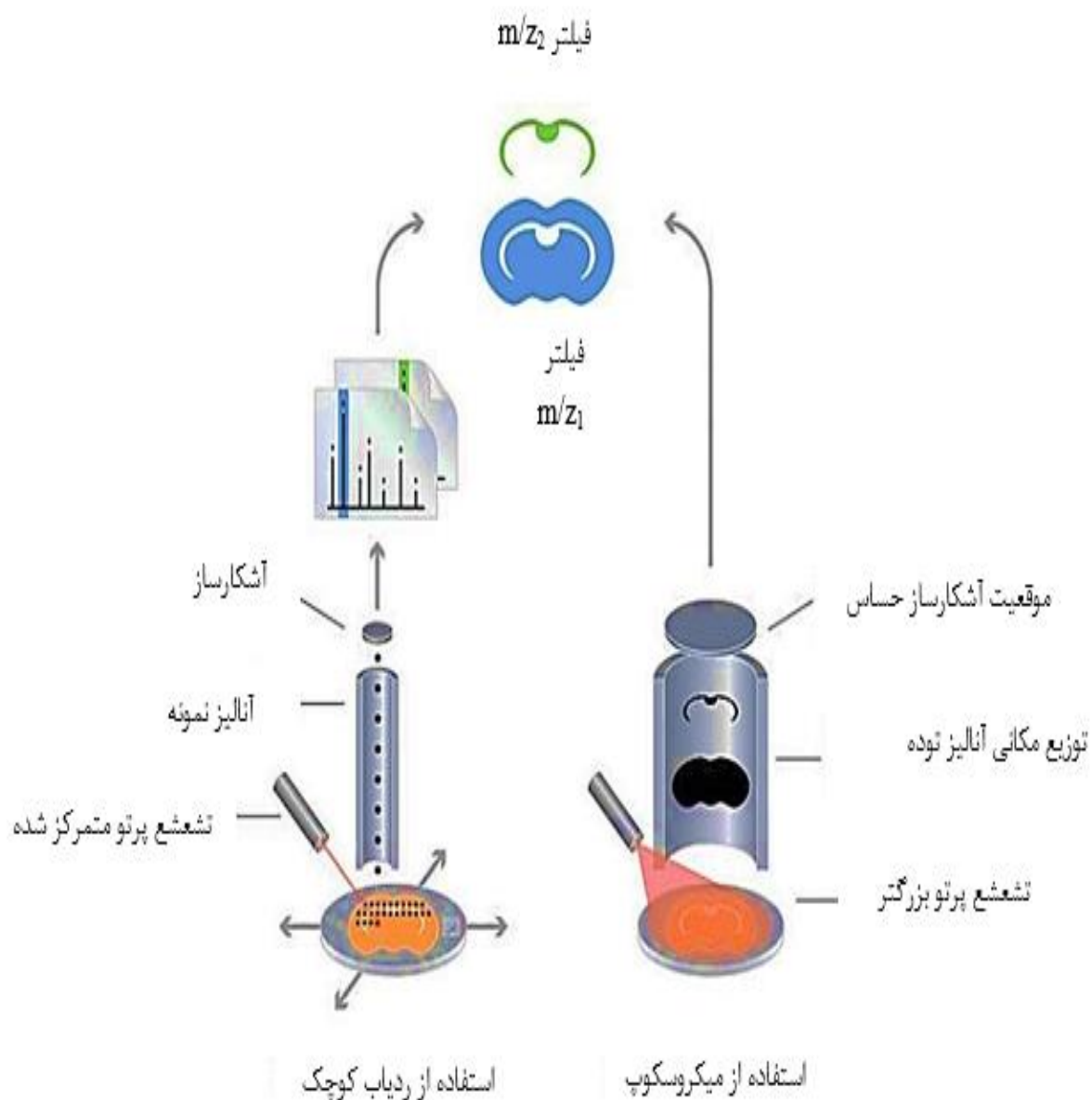
- ترکیب تفنگ یون فلزی مایع پالسی به عنوان منبع یون و تجزیه‌گر جرمی زمان پرواز

- ترکیب پرتوی اولیه‌ای از یون‌های واکنش‌پذیر و تجزیه‌گر جرمی قطاع مغناطیسی

به منظور تصویربرداری از سطح نمونه دستگاه‌های SIMS در دو حالت میکرو ردیاب (Micro-Probe) یا ردیاب روبشی (Scanning Probe) و ردیاب میکروسکوپ (Microscope Probe) بکار می‌رود (شکل ۱۸). در حالت میکرو ردیاب، پرتوی یون‌های متمرکز شده در راستای ناحیه‌ی مشخصی از نمونه روبش می‌شود. در این حالت با تابش این پرتو به قسمتی از ناحیه‌ی موردنظر و جداسازی یون‌های ثانویه بر اساس نسبت m/z ، طیف جرمی این ناحیه ذخیره و قسمت‌های دیگر ناحیه‌ی موردنظر بدین ترتیب آنالیز می‌شود، تا اینکه کل ناحیه‌ی مورد نظر یا کل سطح نمونه روبش شود. سپس با استفاده از نرم افزار تصویر طیف جرمی کل ناحیه‌ی نمونه، را از روی طیف جرمی هر قسمت از نمونه ساخته می‌شود. مزیت روش میکورودیاب را می‌توان سادگی عملکرد، سازگار با انواع تجزیه‌گرهای جرمی و

1- Chemometrics
2- Hamacher

تکنیک‌های یونیزاسیون ذکر کرد. متأسفانه در این روش اطلاعات فضایی در مورد هر ناحیه از سطح نمونه از دست می‌رود (سیم‌چی، عبدالرضا، ۱۳۸۷).



شکل ۱۸. نمایش میکروردیاب و میکروسکوپ SIMS (پل و همکاران، ۲۰۱۰)

در حالت ردیاب میکروسکوپی، پرتوی پهنی از یون‌های اولیه تابیده شده و سپس یون‌های ثانویه بطور همزمان از کل ناحیه مورد نظر برای ساخت تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور واضح مشخص است که آشکارساز علاوه بر توانایی در تعیین شدت نسبت m/z ، باید بتواند موقعیت (X و Y) یون‌های رسیده به آشکارساز را برای ساخت تصویر، تعیین کند (پل و همکاران، ۲۰۱۰). اگر از تجزیه گر جرمی مناسب (زمان پرواز و قطاع مغناطیسی)، آشکارساز حساس به موقعیت استفاده کنیم، می‌توان موقعیت هر یون را حتی بعد از تشخیص مشخص کرد. تصویر ایجاد شده از این ردیاب، دارای تفکیک پذیری بالا و غیر وابسته به پرتوی یونی متمرکز شده است. اما نیاز به آشکارساز حساس به موقعیت باعث افزایش قیمت دستگاه می‌شود. البته این روش سازگار به تجزیه گر جرمی خاص (زمان پرواز و قطاع مغناطیسی) می‌باشد. عامل بسیار مهم مرتبط با عملکرد تصویربرداری در SIMS، تفکیک‌پذیری جانبی است.

تفکیک پذیری جانبی حداقل فاصله بین دو قسمت از تصویر است، به طوری که، به صورت مجزا و واضح قابل تمایز باشند. در حالت میکروردیاب این توسط عوامل زیر تعیین می شود (سنونر^۱ و یونگر^۲، ۲۰۱۲):

پهنای پرتوی یون های اولیه: که پهنای در نصف ارتفاع حداکثر است، تعیین کننده ی تفکیک پذیری جانبی نهایی است. شدت سیگنال در هر پیکسل از تصویر: که به نوبه ی خود تابع نسبت S/N (نسبت سیگنال به نویز) است، که با افزایش ریشه ی دوم تعداد یون های شمارش شده افزایش می یابد. تعداد یون های شمارش شده دارای ارتباط مستقیم با چگالی جریان یون های اولیه، بازده کند و کاش و بازده یون های ثانویه (وابسته به ماهیت نمونه و نوع یون های اولیه) است. البته پارامترهای دستگاهی هم مانند کارایی آشکارساز و قدرت عبور یونی در تجزیه گر جرمی بر روی این موضوع تاثیرگذار است (پل و همکاران، ۲۰۱۰).

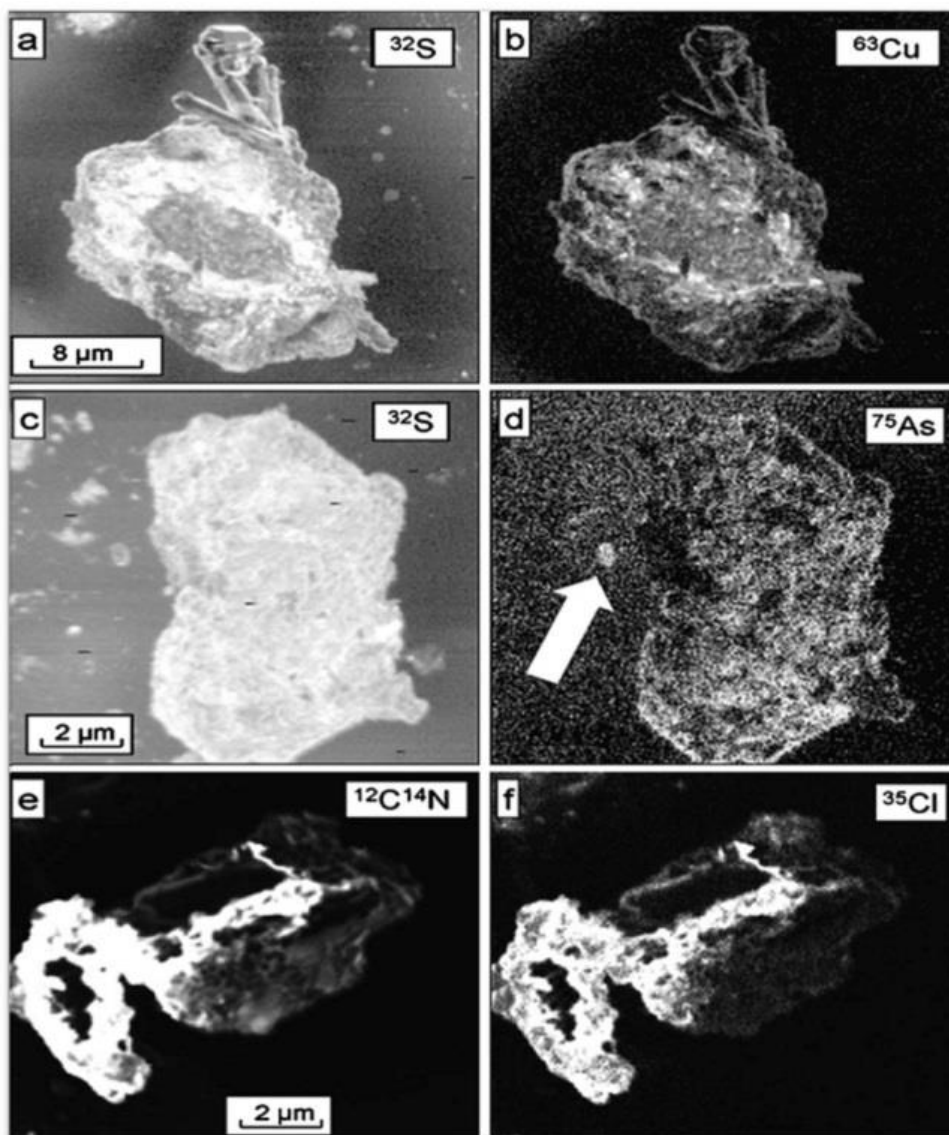
تباين تصوير: عاملی است که به شدت تحت تاثیر تفکیک پذیری جرمی قرار دارد. تاثیر تفکیک پذیری دو پیک در طیف جرمی بستگی به عملکرد تجزیه گر جرمی دارد. هرچه توانایی تجزیه گر جرمی در ایجاد تمایز بین دو نسبت m/z بیشتر باشد، تفکیک پذیری جرمی افزایش می یابد، که به نوبه ی خود بر روی تباين تصوير اثرگذار است.

انحراف در ناحیه ی مورد بررسی: این پدیده در حالتی که زمان های اندازه گیری طولانی است، باعث کاهش در تفکیک پذیری جانبی می شود. می توان این مشکل را با راهکارهایی که در زیر آمده اند، کاهش داد. دستورالعمل میانگین-گیری مناسب، روبش های تصادفی یا پی در پی و همچنین با انجام آزمایش در شرایط بهینه، می توان میزان زمان اندازه گیری و بنابراین انحراف در ناحیه ی مورد نظر را کاهش داد (هاماچر و همکاران، ۲۰۰۶).

۱-۱-۲-۳-۷. کاربرد تصویربرداری طیفسنجی جرمی در نانو فناوری

شناسایی شیمیایی ذرات در مقیاس نانو (طبیعی و صنعتی) موضوع مورد بحث در علم تجزیه است. از SIMS می توان برای آنالیز ذرات در مقیاس نانو در موارد متعددی استفاده کرد. به کارگیری تکنیک SIMS با تفکیک پذیری بالا جهت بررسی ساختار شیمیایی نانو ساختارهای مهندسی شده به کار گرفته می شود. نمایش نقشه ی توزیع عنصری ذرات در مقیاس نانو، اندازه گیری نسبت های ایزوتوپی و توصیف خصوصیات نانو ذرات پوسته- هسته از این دسته اند. بررسی پخش نانو ذرات در یک کامپوزیت یا در بافت های بدن از دیگر موارد کاربردی می باشد. در شکل ۱۹، پخش عناصر گوگرد، مس، آرسنیک، کربن- نیتروژن و کلر در یک نمونه موجود در هوا با روش تصویربرداری SIMS نشان داده شده است. در این گونه از تصاویر، تغییر رنگ از سیاه به سفید نشان دهنده افزایش غلظت عنصر مورد سنجش می باشد (پل و همکاران، ۲۰۱۰).

1- Senoner
2- Unger



شکل ۱۹. نمونه‌ای از تصویربرداری طیف‌سنجی جرمی با روش SIMS

در صنایع نیمه‌رسانا از تصویربرداری جرمی در جهت کنترل کیفی (Quality Control) و بررسی پروفایل عمقی نمونه استفاده می‌شود. همچنین ناخالصی‌های موجود در نمونه نارسانا با این روش مشخص می‌شود. تجزیه‌ی پلیمرهای نانوساختار (بخصوص نانوالیاف پلیمری و لایه نازک‌های پلیمری تشکیل شده با روش لانگمیر- بلاجت) نیز به خوبی با این روش انجام می‌گیرد. کاربردهایی در زمینه آنالیز ساختاری سرامیک و شیشه، همچنین بررسی پدیده‌های خوردگی از دیگر کاربردها می‌باشد (سیم‌چی، عبدالرضا، ۱۳۸۷).

-کاربردها و توسعه

نانوتکنولوژی کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف از جمله: غذا، دارو، بهداشت، درمان بیماری‌ها، انرژی، تشخیص پزشکی، الکترونیک، رایانه، ارتباطات، حمل و نقل، محیط زیست، تولید مواد و محصولات صنعتی، هوا و فضا، دفاع و امنیت ملی، بیوتکنولوژی و کشاورزی دارد، که در اینجا به طور اختصار به برخی کاربردهای نانوتکنولوژی در کشاورزی و علوم زیستی اشاره می‌شود.

خاک از منابع اصلی تولیدات کشاورزی محسوب شده، لذا حفظ سلامتی و حاصلخیزی آن به منظور تولید پایدار حائز اهمیت بسیار است (شکل ۲۰). میزان عناصر غذایی و رطوبت موجود در خاک همیشه باید در حد مطلوب بوده و میزان مواد آلاینده (فلزات سنگین، سموم و غیره) به حداقل ممکن کاهش یابد. فناوری نانو می‌تواند کمک شایانی به بهبود این روند داشته باشد، که در ادامه به آن اشاره خواهد شد (کیانیان و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۲۰. خاک منبع اصلی تولیدات کشاورزی (کیانیان و همکاران، ۲۰۰۶)

- تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک

میزان عناصر غذایی خاک باید در حد مناسب باشد و بتواند این عناصر غذایی را به خوبی در اختیار گیاه قرار دهد. یکی از راه‌های تامین عناصر غذایی خاک، استفاده از کودهای مناسب می‌باشد. مصرف کودها علاوه بر افزایش تولید، باید کیفیت محصولات کشاورزی را نیز ارتقاء دهد. نکته دیگر عدم ایجاد آلودگی محیط زیست توسط کود است، زیرا در غیر این صورت سلامتی انسان، جانوران و گیاهان به خطر خواهد افتاد (کیانیان و همکاران، ۲۰۰۶).

فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب و منحصر به فرد (نان و کود شیمیایی، نان و کود آلی و نان و کود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی را در این زمینه ایفا کند و استفاده از این فناوری در تولید کود، سبب افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش روند تخریب محیط زیست می‌گردد. مزیت‌های استفاده از این نانوکودها عبارتند از:

- با تغییر دادن فرمولاسیون کودها می‌توان کودهای هوشمند تولید کرد، به طوری که سرعت رهاسازی عناصر غذایی کود مطابق با الگوی جذب گیاه باشد.
- تولید کودهایی حاوی عناصر غذایی کم مصرف در اندازه نانومتری، باعث می‌شود انحلال‌پذیری و پراکندگی این عناصر غذایی در خاک افزایش یافته و بازده جذب این عناصر توسط گیاه بهبود یابد.
- با استفاده از نانوکودها میزان اتلاف عناصر غذایی از طریق آب‌شویی کاهش می‌یابد. در برخی موارد میزان مصرف کودهای نیتروژنی و فسفات به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، که این امر موجب کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌شود.
- به دلیل برخورداری از تغذیه مناسب و فراهم بودن عناصر غذایی، مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و بیماری‌ها افزایش یافته و میزان مصرف سموم شیمیایی و آفت‌کش‌ها کاهش می‌یابد.
- استفاده از نانوکودها سبب برهمکنش طولانی مدت با میکروارگانیسم‌های موجود در خاک می‌شود. استفاده از نانوکودها به دلیل کاهش مصرف کود از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد.

- اصلاح خاک

فعالان بخش کشاورزی در صدد افزایش تولید در واحد سطح محصولات کشاورزی هستند، تا بدین طریق بتوانند جوابگوی نیازهای غذایی بشر باشند (شکل ۲۱)، اما عدم مدیریت صحیح خاک (شخم عمیق، شخم در جهت شیب و غیره)، استفاده نامتعادل و بیش از حد از کودهای شیمیایی، اضافه نکردن مواد آلی، سوزاندن بقایای گیاهی و آبیاری با آبهای آلوده موجب شده است، خاک به تدریج کیفیت و حاصلخیزی خود را از دست داده و به خاک نامرغوب و آلوده تبدیل شود (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۲۱. مکانیزاسیون کشاورزی به همراه استفاده از اصلاح‌کننده‌ها با هدف افزایش تولید در واحد سطح (کیانیان و همکاران، ۲۰۰۶)

بنابراین استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاص همچون اصلاح‌کننده‌های نانویی، که بتواند این شرایط را بهبود بخشد و از روند تخریب خاک جلوگیری نماید، امری ضروری به نظر می‌رسد. در ادامه به برخی از این گروه اصلاح‌کننده‌ها اشاره خواهد شد (نظری و تق‌آبادی، ۲۰۰۵).

۲-۷-۳-۱-۱-۱. نانوذلولیت

نان و زئولی‌ها مواد با ارزشی هستند، که مصارف گسترده‌ای در پالایشگاه‌ها و همچنین در مهندسی کشاورزی و محیط زیست دارند. نانوذلولیت از ساختمان پیچیده‌ای برخوردار است و در ساختمان بلورین آن کانال‌های بهم پیوسته گسترده ای وجود دارد (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷). این کانال‌ها فضای خالی وسیعی را برای جذب و تبادل کاتیون‌ها فراهم می‌آورند. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است، که مساحت درونی این کانال‌های تهی به چند صد مترمربع در هر گرم از کانی زئولیت می‌رسد و همین ویژگی زئولیت را به یکی از موثرترین تبادل‌کنندگان یون بدل ساخته است. مزیت‌های استفاده از نان و زئولیت در کشاورزی عبارتند از:

- تخلخل زیاد، قابلیت جذب بالای آب و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک
- اصلاح زمین‌های شنی و توزیع آب در این قبیل خاک‌ها
- افزایش تهویه‌پذیری خاک
- قابلیت جذب فلزات سنگین (کروم، نیکل، سرب، کادمیوم و غیره) و پالایش خاک‌های آلوده
- قابلیت ترکیب با عناصر غذایی و عمل کردن آن به عنوان یک کود کندرها.

از جمله چشم اندازهای نوین در فناوری نانو در زمینه اصلاح کننده‌های خاک می‌توان به ترکیبات زیستی از جمله نانو بیوچارها اشاره نمود (شکل ۲۲). بیوچار به عنوان یک منبع تجدیدپذیر محسوب می‌شود، که از بیومس گیاهی و یا هرگونه مواد زائد دیگر (مانند ضایعات کارخانه‌های نساجی و دباغی و غیره) تولید می‌شود. در این روش، مواد زائد در حرارت‌های زیاد به ذغال زیستی تبدیل می‌گردد. این ترکیب زیستی دارای ساختار ریز و سطح ویژه بالایی می‌باشد. اهمیت چندجانبه بیوچار به دلیل ساخته شدن از مواد زائد، قیمت ارزان و همچنین زیستی بودن آن می‌باشد (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲۲. نانوبیوچار (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷)

بنابراین با استفاده از فناوری نانو در تولید نانو بیوچارها و بهبود خواص شیمیایی، می‌توان از ویژگی‌های آن در بهبود کیفیت خاک، افزایش عملکرد محصول، افزایش جذب مواد سمی و کاهش تغییرات اقلیمی بهره جست. مزیت‌های استفاده از نانو بیوچار در صورت تولید و استفاده در خاک عبارتند از (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷):

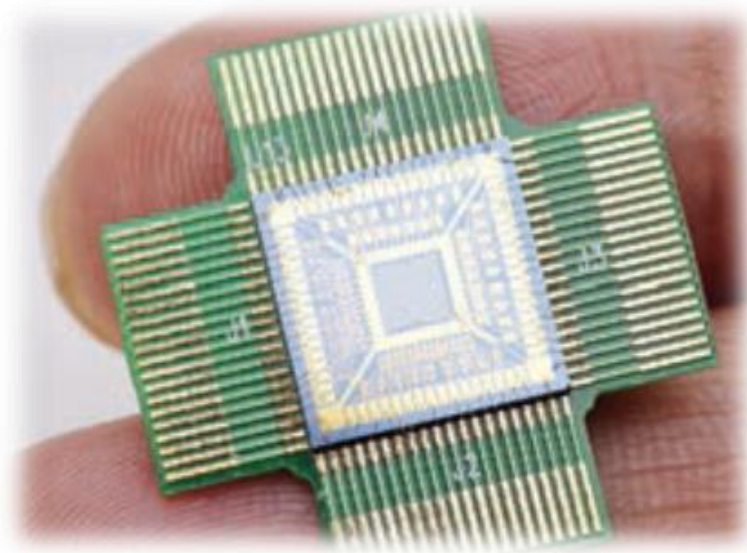
- ذخیره کربن در خاک و افزایش درصد مواد آلی در خاک
- افزایش تهویه پذیری خاک
- جذب انواع آلاینده‌های آلی، معدنی و زباله‌های صنعتی و در نتیجه کاهش رهاسازی آن‌ها در محیط
- افزایش جذب عناصر غذایی و آب به وسیله گیاه.

هیدروژل‌ها، شبکه‌های پلیمری آبدوست با ظرفیت بالای جذب آب می‌باشند. از نظر ساختاری هیدروژل‌ها را می‌توان به آنیونی، کاتیونی و آمفولیتیک دسته‌بندی کرد. اکثر این مواد به محرک‌های محیطی مانند pH، نور، میدان الکتریکی و غیره پاسخ می‌دهند. این ویژگی‌های منحصر به فرد طیف وسیعی از کاربردها را در استفاده از هیدروژل به ویژه در کشاورزی، ایجاد کرده است (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷). فراهم کردن محیطی برای رشد گیاه که بتواند برای مدت زمان‌های طولانی عناصر غذایی و آب را در خود ذخیره کرده و آن را به تدریج در اختیار گیاه قرار دهد، از وظایف هیدروژل‌ها به ویژه نانو هیدروژل محسوب می‌شود. قابلیت‌های استفاده از این مواد به اختصار عبارتند از:

- قابلیت جذب آب تا چند صد برابر وزن خود برای مدت‌های طولانی به دلیل برخورداری از منافذ نانومتری
- افزایش ذخیره آب و ظرفیت نگهداشت آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب آبیاری در درازمدت
- قابلیت ذخیره مواد غذایی در خود و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی برای استفاده گیاه
- قابلیت استفاده در گلخانه‌ها و آپارتمان‌ها

۵-۷-۳-۱-۱-۱. نانوحسگرها

حسگر، ابزاری است، که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی را اندازه‌گیری کرده و آن را به پیام الکتریکی تبدیل می‌کند. نانوحسگرها، حسگرهایی در ابعاد نانومتری هستند، که به دلیل اندازه نانومتری، از دقت و واکنش پذیری بسیار بالایی برخوردارند، به طوری که می‌توانند حضور مقادیر بسیار کمی از یک گاز را در محیط نشان دهند. بر همین اساس، نانوحسگر وسیله‌ای است بسیار ظریف و در عین حال دقیق و حساس که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به محرک‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی است (ما و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۲۳).



شکل ۲۳. نانوحسگرها (ما و همکاران، ۲۰۱۰)

از کاربردهای انواع حسگر در خاک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- پایش میزان درجه حرارت خاک
- کنترل و پایش میزان رطوبت خاک
- مشاهده و پایش شرایط کشت و نمایش دوره‌ای میزان مواد مغذی
- تشخیص میزان آلودگی در خاک
- تشخیص میزان هورمون‌های رشد گیاهی.

۶-۷-۳-۱-۱-۱. آب مورد نیاز کشاورزی

جمعیت جهان با بحران آب روبه‌رو است. در گزارش وضعیت آینده پروژه میلیونوم سازمان ملل آمده است، که بیش از ۷۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان از کمبود آب رنج می‌برند و اگر کاری در این زمینه صورت نگیرد، این تعداد تا سال ۲۰۲۵ به ۳ میلیارد نفر افزایش پیدا خواهد کرد. افزایش مصرف آب در جهان در همه بخش‌ها (کشاورزی، صنعت و غیره) در حال گسترش است و میزان تولید آب به اندازه‌ای نیست، که این افزایش تقاضا را پاسخ دهد (شکل ۲۴) (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲۴. افزایش مصرف آب در جهان در بخش کشاورزی (کیانین و همکاران، ۲۰۱۷)

بنابراین می‌توان گفت که تهیه آب پاک و سالم و نیز مقرون به صرفه به منظور رفع نیازهای انسان یکی از چالش‌های بزرگ قرن بیست و یکم محسوب می‌شود. به همین منظور و با گذشت زمان نیاز به یک فناوری نوین برای مدیریت آب بیش از پیش احساس می‌شود. فناوری نانو از پتانسیل بسیار بالایی در تصفیه آب و فاضلاب، بهبود کارایی تصفیه، ضدعفونی کردن و تامین آب مورد نیاز از منابع غیر متعارف، برخوردار است. ویژگی و مزایای اصلی استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب و پساب عبارتند از:

- تصفیه آب‌های غیرمتعارف و پساب‌ها
- سهولت و ارزانی تأمین غشای مصرفی
- افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی نسبت به سامانه‌های تصفیه کنونی
- کاهش تجهیزات جانبی
- کاهش تولید پساب و گرفتگی غشاء

فناوری نانو قابلیت تشخیص و جداسازی و حذف بسیاری از آلاینده‌های آلی و معدنی و مواد سمی و مضر را از آب دارد، که این موارد به شرح زیر می‌باشد (کیانین و همکاران، ۲۰۱۷):

- جداسازی و یا از بین بردن انواع ویروس‌ها و باکتری‌ها و پاتوژن‌ها (ضدعفونی کردن آب)
- جداسازی و حذف فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، نیکل، پالادیوم و غیره)
- جداسازی و حذف انواع آلاینده‌های آلی و مواد سمی (نیترات، DDT، علف کش‌ها، آفت کش‌ها، مواد آلی و غیره)
- شیرین‌سازی آب

- ضدعفونی کردن و کنترل میکروبی آب

در روش‌های مرسوم، جهت ضدعفونی نمودن آب از موادی چون کلر، کلرآمین، دی اکسید کلر، گاز کلر و ازون استفاده می‌شود (شکل ۲۵). استفاده از این ترکیبات در آب، منجر به تولید مواد سمی و سرطان زا نظیر هالومتان‌ها، نیتروزآمین، برومات و غیره می‌شود، که یکی از معضلات صنعت آب محسوب می‌گردد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۲۵. ضدعفونی نمودن آب (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۸).

تابش اشعه فرابنفش تولید این قبیل مواد را به حداقل می‌رساند، اما این روش فقط برای ویروس‌های خاصی کاربرد دارد. ضدعفونی کردن آب با کمک فناوری نانو به دو طریق صورت می‌گیرد.

- از بین بردن ویروس‌ها و باکتری‌های موجود در آب

در این روش مواد نانویی با اتصال به پروتئین‌های حیاتی و تخریب آنزیمی ویروس و باکتری و یا با جلوگیری از تکثیر مواد ژنتیکی (DNA و RNA) تغییر ساختار آن‌ها، موجب از بین رفتن و یا غیرفعال شدن ویروس‌ها و باکتری‌ها در محیط آبی می‌شوند. نانومواد چون نانو نقره، نانو دی‌اکسید روی، نانو اکسید کلسیم، نانو اکسید منیزیم، کیتوزان، نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، نانو دی‌اکسید آلومینیوم، نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانولوله‌های کربنی تاکنون بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که خاصیت ضد میکروبی و اکسیدکنندگی قوی از خود نشان می‌دهند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).

- جداسازی ویروس‌ها و باکتری‌ها از آب با استفاده از فیلترها و مواد نانویی

غشاهای نانو فیلتراسیون، نانولوله‌های کربنی، نانو ژئولیت‌ها، نانوکامپوزیت‌ها، سرامیک‌های نانومتری به دلیل اینکه که قابلیت به دام انداختن ویروس‌ها و باکتری‌ها را دارند، از این رو، فیلترها می‌توانند اندوتوکسین‌های میکروبی، مواد ژنتیکی و ذرات کوچک تا ابعاد میکرو را از آب جدا کنند. مزایا و ویژگی‌های استفاده از فناوری نانو در ضدعفونی کردن و کنترل میکروبی آب شامل موارد زیر است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).

- توانایی ضد میکروبی گسترده در دمای محیط و زمان کوتاه
- عدم تولید ترکیبات مضر و سمی در حین استفاده و بعد از آن
- بی‌خطر بودن آن برای سلامتی انسان
- کاربرد آسان و مقرون به صرفه
- عدم خاصیت خوردگی سطوح

- جداسازی و حذف انواع آلاینده‌های آلی و معدنی

تصفیه آب با به کارگیری فناوری نانو برای کشاورزان به ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. خالص‌سازی و تصفیه آب با این فناوری بر اساس استفاده از فیلترهای غشایی (نانولوله‌های کربنی و سرامیک‌های متخلخل نانویی) و نانوذرات مغناطیسی است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸). فیلترهایی که با نانولوله کربنی

ساخته شده‌اند، قابلیت به کارگیری در حذف آلاینده‌ها و مواد سمی از آب قابل شرب را دارا می‌باشند. همچنین این مواد قدرت بالایی در حذف فلزات سنگین از قبیل سرب، کادمیوم، اورانیوم و آرسنیک دارند. نان و بلورهای چونی مگنتیت ضمن حفظ خصوصیات مغناطیسی خود، قابلیت ایجاد یک پیوند قوی و غیرقابل برگشت با آلاینده‌هایی نظیر آرسنیک دارند. حذف آرسنیک و ارگانسیم‌های موجود در آب با به کارگیری نانو کانی رس مصنوعی و بدون استفاده از تجهیزات گرانشیمت امکان پذیر می‌باشد، بدین ترتیب که تنها با عبور دادن آب از ستون‌های حاوی این کانی، آلاینده‌های موجود در آب حذف می‌شود. از دیگر مواد نانومتری مورد استفاده در حذف آلاینده‌های فلزی و آلی از منابع آب می‌توان به نانوذرات آهن صفر ظرفیتی اشاره نمود. نانوذرات، اکسیدهای فلزی، فیبرها، آنزیم‌ها و دی‌اکسید تیتانیوم نیز برای از بین بردن آلودگی در آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این فناوری کارایی بالایی در حذف ذرات آلی و آفت‌کش‌هایی از قبیل DDT، اندوسولفان‌ها و مالاتیون از محیط‌های آبی دارد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).

- بهبود طعم غذاها: در آینده به کمک نانوتکنولوژی می‌توان ویژگی‌های مطلوب را از طریق مهندسی ژنتیک در مواد غذایی وارد نمود و از این طریق طعم غذاها را بهبود بخشید.

- کاهش مصرف علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها: جذب آفت‌کش‌های نانو توسط گیاهان بسیار آسان می‌باشد. همچنین می‌توان این آفت‌کش‌ها را برای تجزیه در زمان خاصی نیز تنظیم نمود.

- افزایش بازارپسندی گیاهان مختلف با تولید بذور نانو: با کمک نانوتکنولوژی بازار پسندی گیاهان را می‌توان بهبود بخشید. برای مثال در تایلند با تغییراتی در DNA برنج، قادر به ایجاد تغییراتی در رنگ برنج از ارغوانی به سبز شده‌اند.

- استفاده از نانوتکنولوژی در راستای ارتقای ژنتیکی گیاهان و حیوانات می‌توان مقاومت گیاهان را در برابر بیماری‌ها افزایش داد. پیشرفت‌های نانوتکنولوژیکی، به طور خاص مطالعات بنیادی پاتولوژی سلولی را تقویت خواهد کرد و عمر آنها را در محل کشت و مصرف، طولانی‌تر کرد و رشد آن‌ها را سریع‌تر نمود و حتی در محیط‌های نامساعد کاشت تا در شوره‌زارها با آب کمتر یا آب و هوای سردتر، رشد کنند. امکان سازگار نمودن گیاهان با خشکسالی وجود دارد (ژنگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

- بهبود بسته‌بندی محصولات کشاورزی: بدین منظور بعضی شرکت‌های خارجی در حال توسعه مواد نانو جدیدی هستند، که طول دوره سالم باقی ماندن غذا را افزایش می‌دهند.

- تولید ترکیبات شیمیایی سازگار با محیط زیست: به کمک نانوتکنولوژی امکان تولید کودها و مواد شیمیایی سازگار با محیط زیست که برای تغذیه گیاه یا حفظ آن در برابر حشرات کاربرد دارد، وجود دارد.

- افزایش عملکرد گیاهان گلخانه‌ای و مزرعه‌ای: با کمک نانوتکنولوژی می‌توان سنسورهایی در ابعاد کوچک برای اندازه‌گیری، گزارش دهی بموقع و کنترل هوشمند نیازهای گیاهان جهت افزایش عملکرد ساخت

- کنترل فعالیت اجزای سلولی گیاهان بدون آسیب‌رسانی به آن‌ها: شیوه‌های کنونی برای بررسی سلول‌ها بسیار ابتدایی است و دانشمندان برای شناخت آنچه که در درون سلول اتفاق می‌افتد، ناگزیرند سلول‌ها را از هم بشکافند و در این حال بسیاری از اطلاعات مهم مربوط به سیال‌های درون سلول یا ارگان‌ها موجود در آن از بین می‌رود. پیشرفت‌های نانوتکنولوژیکی، بطور خاص مطالعات بنیادی زیست‌شناسی را تقویت خواهد کرد. محققان امیدوارند در

1- Zhang

آینده‌ای نه چندان دور با استفاده از نانوتکنولوژی موفق شوند فعالیت اجزای هر سلول را تحت کنترل خود درآورند. هم اکنون گام‌های بلندی در این زمینه برداشته شده و به عنوان نمونه دانشمندان می‌توانند فعالیت پروتئین‌ها و مولکول DNA را در درون سلول کنترل کنند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸). به کمک نانوتکنولوژی روش جدیدی برای بررسی بیان ژن و آنالیز mRNA سلول‌های زنده بدون مرگ یا تخریب آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی AFM ارائه شده است. میکروسکوپ نیروی اتمی که یک ابزار مهم در مطالعات نانو بیوتکنولوژی است، نه تنها قادر است تصاویری با وضوح بالا از نمونه‌های بیولوژیکی تهیه کند، بلکه قادر به دستکاری مستقیم مواد بیوتکنولوژی مثل پروتئین‌ها، ملکول‌های DNA، اندام‌ها و سلول‌ها می‌باشد. به این ترتیب نانوتکنولوژی به محققان امکان می‌دهد، تا اطلاعات خود را درباره سلول‌ها به عنوان اصلی‌ترین بخش سازنده بدن جانداران به بهترین وجه کامل سازند. در نتیجه پیشرفت ابزارهای جدید این امر بسیار متحمل خواهد بود، که می‌توان خواص شیمیایی و مکانیکی سلول‌ها (از جمله فرآیندهایی مثل تقسیم سلول و غیره) را اندازه‌گیری و تغییر داد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).

- نمک‌زدایی و تصفیه اقتصادی‌تر آب‌ها جهت شرب و کشاورزی: فناوری جدید امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهد نمود.

- کاهش آلودگی و پساب‌ها: نانوتکنولوژی منجر به تغییرات شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد و پس آب‌ها و آلودگی را کاهش خواهد داد.

- افزایش توان درمانی داروها برای احشام: نانوتکنولوژی می‌تواند فرمولاسیون و مسیرهایی برای رهایش دارو تهیه کند، که به نحو حیرت‌انگیزی توان درمانی داروها را برای احشام افزایش می‌دهد.

- کاربرد نانوتکنولوژی در شیلات و مرغداری‌ها: برای مثال در آمریکا، در استخرهای پرورش قزل‌آلا، از واکسن‌های حاوی ذرات نانو که توسط ماهی‌ها خیلی خوب جذب می‌شوند، استفاده کرده‌اند و نتایج مثبتی را در برداشته است.

۷-۳-۱-۱- الک‌های نانومتری

یکی از کاربردهای فناوری نانو استفاده از نانوفیلترها است، که گام مؤثری در حفظ محیط‌زیست و صرفه‌جویی در انرژی شناخته می‌شود. از فناوری نانو در تهیه فیلتر استفاده می‌شود. این فیلترها با کاربردهای مختلف برای استفاده در یخچال، اتومبیل، محیط خانه و بیمارستان‌ها و مراکز درمانی برای حذف باکتری، قارچ، بو و ترکیبات آلی فرار مورد استفاده قرار می‌گیرند (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴) (شکل ۲۶).

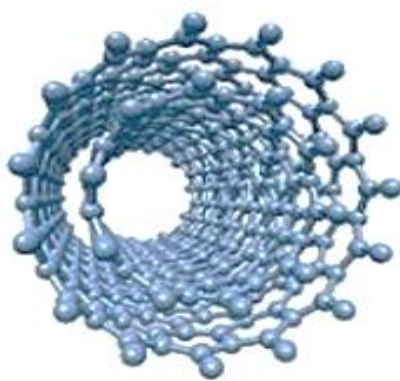


شکل ۲۶. الک‌های نانومتری (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴)

گازهای مضرمانند فرمالدئید، تولوئن و بنزن که از مبلمان، موکت، فرش، لوازم چوبی و چرمی، وسایل پلاستیکی، سطوح رنگ شده، لوازم آرایش و غیره متصاعد می‌شوند، سبب بسیاری از سردردها، سرگیجه، سوزش چشم، مشکلات تنفسی و تشدید آسم می‌گردند و مقدار این گازها در محیط خانه ۲ تا ۵ برابر محیط خارج است، که نانو فیلتراسیون می‌تواند نقش مهم و موثری در رفع این مشکلات داشته باشد (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴).

- فیلترهای نانو لوله‌های کربنی

دانشمندان روش ساده‌ای برای تولید فیلترها با استفاده از نانو لوله‌های کربنی ابداع کرده‌اند، که حتی قادر به حذف هیدروکربن‌های سنگین از نفت خام می‌باشد. ساخت فیلترها از نانولوله‌های کربنی فوایدی مانند سهولت نظافت، افزایش استحکام، قابلیت مصرف مجدد و مقاومت آن‌ها در برابر حرارت، دارا می‌باشد. نانو لوله‌های کربنی می‌توانند به طور انتخابی برخی از مواد را از محیط جدا کنند. این قابلیت برای جداسازی مواد شیمیایی خاص قابل استفاده است (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴).

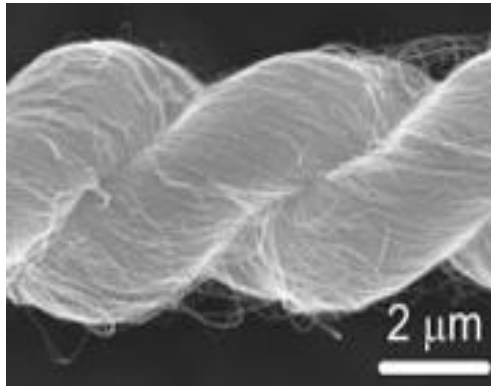


شکل ۲۷. فیلترهای نانو لوله‌های کربنی

- فیلترهایی از جنس نانو الیاف

نانو الیاف در فیلتراسیون آب، هوا و روغن استفاده می‌شوند. این الیاف به خاطر داشتن مساحت سطح بالا، کارایی بیشتری از فیلترهای پیشین دارد. برخلاف فیلترهای معمولی، لایه‌های نانوالیاف توانایی فیلتراسیون ذرات در مقیاس میکرون را دارد، که با استفاده از آن می‌توان فیلترهای ارزان قیمت و با کارایی بالا به دست آورد. مکانیزم فیلتراسیون نانو الیاف با الیاف معمولی متفاوت است. همین ویژگی سبب گسترش محدوده کاربرد این الیاف در جوانب مختلف زندگی روزمره انسان‌ها شده است. با کاهش قطر الیاف پلیمری از میکرومتر به نانومتر، خواص منحصر به فردی مانند نسبت سطح به حجم بسیار بالا، انعطاف‌پذیری و خواص مکانیکی عالی در الیاف ایجاد می‌شود، که سبب گسترش کاربرد آن‌ها خواهد شد (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴).

فیلترهای ساخته شده از نانو الیاف قابلیت بسیار بالایی در فیلتراسیون ذرات آلوده دارند و از راندمان بالاتری در مقایسه با فیلترهای سلولزی معمولی برخوردارند (شکل ۲۸). با استفاده از نانو الیاف می‌توان فیلترهای تمیز شونده با راندمان بالا و وزن کمتر طراحی و تولید کرد، که در نتیجه سبب می‌شود تفاوت محسوسی را در روش فیلتراسیون نسبت به استفاده از فیلترهای متداول الیافی ایجاد کنیم.



شکل ۲۸. فیلترهایی از جنس نانو الیاف (اعتمادی و همکاران، ۲۰۱۴)

تاکنون روش‌های متعددی برای تولید الیاف نانومتری در نظر گرفته شده است، که از میان آن‌ها روش الکتروریسندگی علاوه بر سادگی از بازده بالاتری برخوردار است و در واقع می‌توان گفت این روش تنها روشی است، که در آینده می‌توان از آن برای تولید نانو الیاف به صورت هم جهت و پیوسته استفاده کرد (شی^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). پیش‌بینی می‌شود استفاده از نانوالیاف در فیلتراسیون تحول عظیمی را در این بخش به وجود آورد و فیلترهایی با ویژگی‌های متفاوت خواهیم داشت. به عنوان مثال، اگر از یک فیلتر با کیفیت بالا در فرآیند فیلتراسیون هوا استفاده شود، ذرات تا مقیاس ۳۰۰ نانومتر در این سطح محبوس خواهند شد و بازده این فرآیند به ۹۹/۹۷ درصد ارتقاء خواهد یافت. هر چند اندازه منافذ قرار گرفته روی این گونه فیلترها کوچک و ضخامت فیلتر در محدوده‌ای است، که اجزای فوق العاده کوچک را نیز به دام می‌اندازد؛ اما در این نوع فیلتراسیون لازم است، جریان هوا با فشار وارد شود. در غیر این صورت، توانایی فیلتراسیون کاهش می‌یابد و همانند یک فیلتر معمولی عمل می‌کند. با استفاده از لایه نازکی از نانوالیاف می‌توان فرایند فیلتراسیون را در فشار هوای معمولی و جریان هوای کم با کیفیتی مشابه فیلترهایی از جنس الیاف شیشه‌ای انجام داد (شی و همکاران، ۲۰۰۸).

فیلترهای ساخته شده از نانوالیاف قابلیت بسیار بالایی در فیلتراسیون ذرات آلوده دارند و از راندمان بالاتری در مقایسه با فیلترهای سلولزی معمولی برخوردارند. با استفاده از نانو الیاف می‌توان فیلترهای تمیز شونده با راندمان بالا و وزن کمتر طراحی و تولید کرد، که در نتیجه سبب می‌شود تفاوت محسوسی را در روش فیلتراسیون نسبت به استفاده از فیلترهای متداول الیافی ایجاد کنیم. قطر نانو الیاف مورد استفاده در این نوع فیلترها به کمتر از یک میکرون می‌رسد، که همین امر باعث زیاد شدن نسبت سطح به حجم، کوچک شدن منافذ و در نهایت تخلخل بالا می‌شود. این فیلترها می‌توانند با وجود کارایی بسیار بالا در فیلتراسیون ذرات ریز، افت فشار را نیز به حداقل برسانند. این ویژگی سبب افزایش کارایی فیلتر، کاهش افت فشار و افزایش طول عمر آن می‌شود. برای مثال، نانو فیلترهای مورد استفاده در صنایع خودروسازی سبب صرفه‌جویی در مصرف سوخت و انرژی، سوختن کامل بنزین در موتور، کاهش آلودگی هوا و مشکلات زیست محیطی و کاهش هزینه‌ها می‌شود. این در حالی است، که با ورود هوای تمیز به داخل موتور اتومبیل، بازده موتور افزایش و ورود ذرات آلوده به داخل موتور کاهش می‌یابد (شی و همکاران، ۲۰۰۸).

ده‌یوری (۱۳۸۸)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی تاثیر تولید و پذیرش محصولات نانو فناوری بر کشاورزی پایدار از دیدگاه محققان کشاورزی" نتیجه گرفت، که کاربرد و جایگاه محصولات نانو، ترویج محصولات نانو و صرفه اقتصادی استفاده از محصولات نانو با پایداری کشاورزی رابطه مثبت و معنی داری دارد.

1- Shi

مطابق نظر موسایی (۱۳۸۷)، به طور کلی می‌توان کاربردهای نانو فناوری در ارتباط با پایداری کشاورزی و منابع طبیعی را این گونه متصور شد: نانو تکنولوژی پایان آلودگی، تخریب جنگل‌ها، گرسنگی و قحطی را ترسیم می‌نماید. نانو تکنولوژی نوید کالاهای مصرفی بادوام، جدید، پرثمر، ایمن‌تر، ارزان، فراوان، انعطاف‌پذیر، محیطی قابل تحمل، آرامشی ثابت، پیشرفتی سالم، بهبودی مواد قبل از تبدیل شدن به مواد زاید، سلامتی، ثروت و دانش را می‌دهد؛ نانو تکنولوژی بهره‌وری کشاورزی را برای جمعیت‌های بالاتر میسر می‌سازد؛ سیب‌زمینی را با استفاده از اتم‌های گرد و غبار، هوا و آب می‌توان تولید کرد؛ تولید غذاهای مولکولی؛ به وجود آوردن گیاهان و حیواناتی که نسل آن‌ها منقرض شده‌اند؛ بهبود طعم غذاها، افزایش عمر مصرفی آن‌ها و مهندسی شدن غذاهای مصرفی؛ تولید انواع درختان مهندسی شده به کمک نرم‌افزار خود برای چوب مورد دلخواه؛ بازگرداندن ۹۰ درصد از زمین‌های کشاورزی به وضعیت طبیعی و استفاده از ۱۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در قالب گلخانه‌هایی با عملکرد بالا؛ تغییر شرایط آب و هوایی جهان؛ و عدم نیاز به شخم زدن مزارع را ممکن می‌سازد (موسایی، ۱۳۸۷).

فناوری نانو، در زمینه‌های مختلفی مانند تشخیص سریع بیماری‌های گیاهی، شناسایی باقیمانده سموم در محصولات کشاورزی و حذف آن‌ها، انتقال هوشمند دارو، سموم و عناصر غذایی در دام، شیلات و گیاهان، تصفیه آب، افزایش کیفیت فراورده‌های کشاورزی مرتبط با صنایع نساجی، مهندسی ژنتیک گیاهان و دام و افزایش میزان تولید محصول از طریق تولید حیوانات و گیاهان، افزایش مدت زمان انبارداری محصولات کشاورزی و موارد بسیاری نظیر آن می‌تواند نقش بسیار موثری را در بخش کشاورزی و منابع طبیعی ایفا کند. در حال حاضر، حدود ۲۰۰ شرکت در سراسر جهان در زمینه تحقیقات فناوری نانو فعال هستند و انتظار می‌رود، که تعداد آن‌ها به سرعت افزایش یابد و به موازات آن، کاربردهای بیشتر، جدیدتر و پیچیده‌تری از این فناوری پدیدار شود (خلیلی دهدزی، ۱۳۹۲).

همچنین در صنعت آب و فاضلاب با توسعه فناوری نانو در صنعت آب و فاضلاب، می‌توان تحولی عظیم در تامین آب مصرفی و بخش‌های وابسته به آن، بوجود آورد. کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب، گندزدایی، استفاده بهینه از آب سفره‌های زیرزمینی و بهبود سازه‌های آبی از جمله ویژگی‌هایی است، که صنعت آب و فاضلاب با استفاده از فناوری نانو به دنبال تحقق آن است (ده‌پوری، ۱۳۸۸).

در کشورمان ایران، مشکل آب به ویژه آب شیرین با توجه به وضعیت جغرافیایی و قرارگرفتن آن در منطقه خشک و نیمه خشک از حساسیت زیادی برخوردار است. همچنین ذخایر آب کشور در حال کاهش و شور شدن است و آب‌های سطحی نیز با انواع آلودگی‌ها آلوده می‌شوند. بنابراین با نگاهی به مشکلات تامین آب در ایران و همچنین اهمیت تصفیه پساب‌های خانگی و صنعتی، استفاده از فناوری‌های نوین ضروری به نظر می‌رسد (محمدی، ۱۳۹۲).

دیوبند و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی کارایی نانوذرات تهیه شده از خاکستر برگ سدر در حذف سرب از محیط‌های آبی" نشان دادند، که با افزایش pH از ۳ تا ۵ کارایی جذب افزایش، ولی در pH بالاتر از ۵ یون‌های فلزی رسوب کردند. افزایش زمان تماس باعث کارایی جذب و با افزایش مقدار جاذب نانومتری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین داده‌های به دست آمده در این تحقیق برای هر دو جاذب نشان می‌دهد، که جذب سرب از مدل سینتیک هو و ایزوترم گاگرگن به خوبی تبعیت می‌کند. سطح ویژه بالاتر نانوذرات نسبت جاذب میلی‌متری توانایی بالاتر نانوذرات را در حذف سرب از محیط‌های آبی نشان می‌دهد.

تحقیقات نانو تکنولوژی زمینه‌ای از تکنولوژی‌های پیشرفته است، که به توسعه سریع علم الکترونیک، بیوتکنولوژی، پزشکی، علوم فضایی و صنایع دفاعی منجر شده است. تاکنون مطالعات اندکی بر روی اثرات و مکانیزم‌های نانوذرات بر روی رشد گیاهان انجام شده است (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). در بین جدیدترین نوآوری‌های فناوری، نانو تکنولوژی

موقعیت برجسته‌ای در تحول تولید غذا اشغال نموده است. توسعه وسایل و مواد نانو می‌تواند کاربردهای جدیدی را در بیوتکنولوژی گیاهی ایجاد نماید. اخیراً تمرکز اصلی در تحقیقات روی کاربرد نانوتکنولوژی در زمینه الکترونیک، انرژی و پزشکی می‌باشد. تجربیات به دست آمده از این موضوعات، توسعه گیاهان تغییر یافته ژنیتکی، حفاظت گیاهان، مواد شیمیایی محافظ گیاهان را آسان ساخته است. نانوتکنولوژی پیشرفت‌های وسیعی در تحقیقات کشاورزی نظیر علوم و فناوری تولید مثلی، تبدیل ضایعات کشاورزی و غذایی به انرژی و دیگر محصولات ثانویه از طریق فرآیند زیستی - نانو آنزیمی، جلوگیری از بیماری و تیمار در گیاه با استفاده از رهاسازی نانوذرات مختلف شبیه به آنچه که در مصرف نانو داروها در انسان استفاده می‌شود، ایجاد نموده است (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

در طی پنجاه سال گذشته، پیشرفت فناوری تولید مواد شیمیایی، انقلابی را در تولید محصولات کشاورزی به وجود آورده است (واسیلسکی^۱، ۲۰۰۳). با شروع کشاورزی صنعتی که دو عامل مهم آن استفاده از ارقام پر محصول و کودپذیر گیاهان زراعی و بکارگیری کودهای شیمیایی بودند، تولید محصولات کشاورزی دگرگون و رشد فزاینده‌ای پیدا نمود. تغییرات ایجاد شده در طبیعت در اثر دخالت‌های انسان در خاک، آب و جو به دلیل استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای افزایش بهره‌وری گیاهان از یک طرف و مصرف حدود ۱۰ برابر انرژی برای تولید یک واحد از محصول نسبت به قرن گذشته از طرف دیگر، منجر به جستجو جهت پیدانمودن روش‌های جدید در تولید محصولات کشاورزی شده است (آلاجیجان^۲، ۲۰۰۷ و واسیلسکی، ۲۰۰۳).

کاربرد نانوتکنولوژی در کشاورزی حتی در سطح جهانی، در مرحله ظهور است. علوم نانو منجر به توسعه و بهبود کاربردهای ارزان نانوتکنولوژی برای پیشبرد رشد گیاهان شده است. نانوذرات و نانو کپسول‌ها ابزاری کارا برای توزیع آفت‌کش‌ها و کودها در شکل کنترل‌شده با مکان هدف مشخص هستند. بنابراین خسارت زیست محیطی را کاهش می‌دهند (نایر و همکاران، ۲۰۱۰). سموم کشاورزی به وسیله عواملی از قبیل باد، وارد هوا شده و از طریق هوا وارد سیستم تنفسی انسان می‌شود. در نتیجه انسان را در معرض انواع بیماری‌های استنشاقی قرار می‌دهد. نانوفناوری با افزایش میزان سوددهی و کاهش عوارض سموم کشاورزی، معضلات ناشی از این سموم را رفع می‌کند و آن‌ها را به محصولاتی کاملاً مفید تبدیل می‌کند. از جمله این فناوری‌ها، تولید سموم و کودهای شیمیایی با استفاده از نانوذرات و نانو کپسول‌ها است. خصوصیات منحصر به فرد نانو ذرات مثل سطح ویژه زیاد و واکنش‌پذیری زیاد منجر به استفاده گسترده این مواد در سطوح مختلف صنعت و تجارت شده است (ما و همکاران، ۲۰۱۰). نانوتکنولوژی نقش مهمی در بهبود روش‌های موجود مدیریت گیاهان زراعی بازی می‌کند. مواد شیمیایی زراعی از طریق آبخوبی، تجزیه توسط نور، هیدرولیز و تجزیه میکروبی، بخش یا درصد خیلی کمی از آن‌ها در محل هدف قرار می‌گیرند. از این‌رو کاربردهای مکرر برای داشتن یک کنترل موثر مورد نیاز است، که باعث برخی اثرات نامطلوب نظیر آلودگی آب و خاک می‌گردد (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

تغییرات در فناوری عامل اصلی شکل‌گیری کشاورزی نوین شده است. در بین آخرین خط نوآوری‌های فناوری، نانوتکنولوژی موقعیت برجسته‌ای در تحول کشاورزی و تولید غذا اشغال نموده است. توسعه وسایل و مواد نانو می‌تواند کاربردهای جدیدی را در بیوتکنولوژی گیاهی و کشاورزی باز نماید. اخیراً تمرکز اصلی در تحقیقات بر روی کاربرد نانوتکنولوژی در زمینه الکترونیک، انرژی و پزشکی می‌باشد. تجربیات به دست آمده از این موضوعات، توسعه گیاهان تغییر یافته ژنیتکی، حفاظت گیاه، مواد شیمیایی محافظ گیاه و تکنیک‌های کشاورزی دقیق را آسان ساخته است. نانوتکنولوژی پیشرفت‌های وسیعی در تحقیقات کشاورزی نظیر علوم و فناوری تولید مثلی، تبدیل ضایعات

1- Vasilevski
2- Aladjadjiyan

کشاورزی و غذایی به انرژی و دیگر محصولات ثانویه از طریق فرآیند زیستی - نانو آزمی، جلوگیری از بیماری و تیمار در گیاه با استفاده از رهاسازی نانو ذرات مختلف شبیه به آنچه که در مصرف نانو داروها در انسان استفاده می‌شود، ایجاد نموده است (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

۸-۷-۳-۱-۱. اثر نانو ذرات بر بذر و رشد گیاهان

دی اکسید تیتانیوم به طور طبیعی یک ماده معدنی است، که در سه شکل کریستالی روتایل، آناتاز و بروکیت وجود دارد. عنصر تیتانیوم در ایلمینت یا $FeTiO_3$ و دیگر مواد معدنی وجود دارد. شکل روتایل معمول‌ترین شکل TiO_2 در طبیعت است. تولید تجاری نانو دی اکسید تیتانیوم بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ حدود ۵۰۰۰ متریک تن در سال بود، که بیش از ۱۰,۰۰۰ متریک تن بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ و تقریباً ۲/۵ میلیون متریک تن تا سال ۲۰۲۵ خواهد بود (روبیچود^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). فاز آناتاز بیشترین فعالیت فتوکاتالیستی را نشان می‌دهد و به همین دلیل در کاربردهای کاتالیزی و فتوکاتالیزی استفاده می‌شود. روتایل به صورت رنگ‌دانه سفید است، که ایجاد کدوری در رنگ‌ها، کاغذها، جوهر و محصولات نظیر خمیر دندان می‌شود. فاز روتایل در محصولات آرایشی به عنوان رنگدانه و غلیظ‌کننده استفاده می‌شود. روتایل کاربردهایی در ساخت پلاستیک‌های جاذب نور ماورابنفش دارد. آناتاز و بروکیت به عنوان الکتروود در سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. چنین خواصی منجر به کاربردهای متنوع و گسترده نانو دی اکسید تیتانیوم شامل پوشش سطوح خود تمیزشونده، دیوهای در گسیل نور، سلول‌های خورشیدی، اسپری‌های ضد عفونی کننده، وسایل ورزشی، جهت تیمار نمودن آب و گرم‌های پوستی می‌شود (منارد^۲ و همکاران، ۲۰۱۱).

تجزیه فتوکاتالیکی آفت‌کش‌ها با دی اکسید تیتانیوم و دیگر کاتالیست‌ها به عنوان یک روش سمیت‌زدایی آب مطرح است. بایلی^۳ (۲۰۰۳) گزارش کرد، که مصرف دی اکسید تیتانیوم به صورت غیرسمی و غیرمضر در غذا تا یک درصد وزن محصول نهایی ثابت شده است. گزارش شده است، که TiO_2 گاز اتیلن تولید شده در انبارها را به دی اکسید کربن و آب تجزیه می‌کند (اولاد^۴ و همکاران، ۲۰۰۸). تنوع و پیچیدگی موجودات زنده توسط ساختار اتمی و ملکولی آن‌ها و حرکت آن‌ها در مقیاس نانومتری تعیین می‌شود. مواد ریز به اندازه نانو می‌توانند در هر جایی در طبیعت به صورت اتم‌های منفرد یا به صورت ماکروملکول‌ها نظیر هموگلوبین یا DNA پیدا شوند. نشان داده شده است، که برگ‌های شبدر پنجه کلاغی (Lotus) می‌تواند سطح خود را به سادگی تمیز نگه دارد، که به دلیل ساختار میکروسکوپی پیچیده در مقیاس نانو و میکرومتری است. چنین ساختاری همچنین در گیاهان دیگر وجود دارد، که گیاهان را از هجوم باکتری‌ها و پارازیت‌ها محافظت می‌کند. به علاوه ساختار ریزبرگ‌های گیاه کارآیی جذب نور را افزایش و فرآیند فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

تنوع و پیچیدگی موجودات زنده توسط ساختار اتمی و ملکولی آن‌ها و حرکت‌شان در مقیاس نانومتری تعیین می‌شود. مواد ریز به اندازه نانو می‌توانند در هر جایی در طبیعت به صورت اتم‌های منفرد یا به صورت ماکروملکول‌ها نظیر هموگلوبین یا DNA پیدا شوند. نشان داده شده است، که برگ‌های شبدر پنجه کلاغی (Lotus) می‌تواند سطح خود را به سادگی تمیز نگه دارد، که به دلیل ساختار میکروسکوپی پیچیده در مقیاس نانو و میکرومتری است. چنین ساختاری همچنین در گیاهان دیگر وجود دارد، که گیاهان را از هجوم باکتری‌ها و پارازیت‌ها محافظت می‌کند. به

1- Robichaud
2- Menard
3- Bailey
4- Owlade

علاوه ساختار ریز برگ‌های گیاه کارآیی جذب نور را افزایش و فرآیند فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

اولاد و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند، که گیاهان لوبیا چشم بلبلی تیمار شده با نانو دی اکسید تیتانیوم به صورت دوبار اسپری با غلظت ۱۲۵ سی سی در هکتار، بیشترین سطح برگ، تعداد غلاف در گیاه و طول غلاف را نشان دادند و عملکرد دانه لوبیا با تیمار نانو دی اکسید تیتانیوم بین ۵۱ - ۸/۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین این تیمار شدت بیماری‌های برگ و غلاف را کاهش داد. نانوذرات باعث بهبود رشد، تشدید سنتز کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن خشک و تجمع مواد آلی در اسفناج شد. فعالیت روبیسکو کربوکسیلاز در تیمار TiO_2 غیر نانو تقریباً مثل شاهد بود. در حالی که تیمار نانو باعث بهبود ۱/۹ برابر شاهد شد، که دلیلی برای افزایش سرعت فتوسنتز و تجمع مواد آلی در اسفناج است (زومینگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). تحت شرایط نور، نانو ذرات TiO_2 قادر به تولید یون سوپراکسید و هیدروکسید است. این گونه‌های اکسیژن فعال می‌توانند به مواد آلی عزیمت نمایند و عوامل ضد میکربی موثری باشند. استریل نوری توسط نانو TiO_2 می‌تواند علت افزایش قدرت مقاومت به تنش باشد بنابراین رشد و نمو گیاهان را بهبود بخشد (لو^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). ژنگ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود اظهار داشتند، که در غلظت ۵,۲ در هزار نانو، سرعت فتوسنتز اسفناج ۳,۱۳ برابر افزایش یافت. غلظت‌های بیشتر از ۴ در هزار سرعت فتوسنتز را به طور زیادی کاهش داد. این امر احتمالاً در نتیجه سهولت جذب عناصر غذایی است، که تشکیل کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های کلیدی برای تثبیت کربن را تحریک می‌کند. دلیل دیگر این می‌تواند باشد، که نانوذرات می‌توانند وارد کلروپلاست شوند و واکنش‌های اکسیداسیون احیاء را ایجاد و انتقال انرژی الکترونی به انرژی جنبشی به شکل گونه‌های با ثبات را تسهیل سازد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

در یک تحقیق چهار نانو ذره SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_3O_4 و ZnO با سه غلظت ۴۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی گیاه *Arabidopsis thaliana* بررسی شد. در بین نانو ذرات مورد مطالعه، ZnO سمیت بیشتری نسبت به بقیه داشت و بعد از آن Fe_3O_4 ، SiO_2 و Al_2O_3 قرار داشتند، که سمی نبودند. بازدارندگی جوانه‌زنی بذر توسط ZnO به اندازه ذرات بستگی داشت و نانو ذرات در غلظت‌های مساوی سمیت بیشتری نسبت به ذرات میکرو اعمال کردند (لی^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). چون پوشش بذر دارای منافذی است، که نفوذپذیری انتخابی انجام می‌دهد. برهمکنش بین ذرات جامد گیاه ممکن است، تا ظهور ریشه چه محدود شود. با این حال فضاهای بین سلولی (کمتر از ۱۰ میکرومتر) در پاراننشیم پوسته بذر ممکن است با بستر مایع پر شود و انتقال عناصر غذایی و ذرات کوچک به جنین را تسهیل نماید. این امر ممکن است بازدارندگی اعمال شده توسط ذرات کوچک ZnO را توضیح دهد. تحقیقات نشان داده است، که عناصر حدواسط، به نانوذرات جذب شده و تنش اکسیداتیو را ایجاد می‌کنند (ویلسون^۴ و همکاران، ۲۰۰۲)، در حالی که مواد آلی در خاک یا آب خاک می‌توانند نانوذرات را جذب، پوشانده یا تثبیت نمایند و بر تحرک، قابلیت دسترسی گیاه به آن‌ها، واکنش‌پذیری و سمیت آن‌ها تاثیر گذارند (هندی^۵ و همکاران، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸).

در یک تحقیق نانوذرات پالادیم، مس، سیلیسیم و طلا به دو صورت در زمان کاشت بذر کاهو در خاک و ۱۵ روز قبل از کاشت بذر در خاک به خاک اضافه شدند. نتایج نشان داد، که وقتی خاک به مدت ۱۵ روز با نانوذرات تیمار شد و

1- Xuming
2- Lu
3- Lee
4- Wilson
5- Handy

سپس بذرها کشت شدند، افزایش نسبت ساقه به ریشه برای نانوذرات نسبت به شاهد مشاهده گردید. این امر نشان می‌دهد، که نانو ذرات ممکن است تاثیر مستقیمی بر رشد گیاه نداشته باشند، اما ممکن است از طریق مکانیسم‌های غیر مستقیم عمل نمایند (شاه و بلوزروا^۱، ۲۰۰۹). نانوذرات اکسید فلزی مثل ZnO، اثر بازدارندگی در مراحل نمو گیاهان نظیر جوانه‌زنی و طولی شدن ریشه دارند (یانگ و وات^۲، ۲۰۰۸ و لین و زینگ^۳، ۲۰۰۷). نشان داده شده است، که نانوذرات مس برای گیاه ماش و گندم سمی بوده و کاهش سرعت رشد گیاهچه را باعث شد. ماش حساس‌تر از گندم است، که این تفاوت را به آناتومی و ساختار ریشه نسبت داده‌اند.

تعیین سمیت گیاهی نانوذرات فلزی و اکسیدهای آن‌ها به دلیل پتانسیل تجزیه یون‌های فلزی از این نانوذرات و پتانسیل سمیت و جذب یون‌های فلزی پیچیده است. بازدارندگی رشد گیاه ممکن است، مستقیماً ناشی از سمیت شیمیایی نانوذرات نباشد. سمیت ممکن است در نتیجه برهمکنش‌های فیزیکی بین نانوذرات و مسیرهای انتقال سلول گیاه باشد، به عبارت دیگر بازدارندگی آپوپلاستی به وسیله انسداد فضاهای بین سلولی در دیواره سلولی یا منافذ و دیواره سلولی یا ارتباطات سیتوپلاستی بین سلولی از طریق انسداد پلاسمودسماتاهای در اندازه نانو باشد (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

اسلی و نیومن^۴ (۲۰۰۹) نشان دادند، که بازدارندگی رشد برگ و تعرق گیاهچه ذرت توسط نانوذرات رس (بنتونیت) و TiO_2 در وهله اول به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی است، که مشخص شد قطر منافذ دیواره سلولی ریشه ذرت توسط پیش تیمار با نانوذرات از ۶/۶ نانومتر به ۳ نانومتر کاهش یافت. از عوامل دیگری که در مطالعات سمیت گیاهی باید در نظر گرفته شود، مطالعات اثر حلالی است، که در ساخت نانوذرات به کار می‌رود. دوام نانوذرات در محلول، بدون پایدارکننده خیلی کوتاه است و بیشتر محصولات تجاری دارای پایدارکننده‌های مشخص هستند. باید در مطالعات سمیت، هم اثر افزایش نانوذرات و هم پایدارکننده‌هایی که در ساخت نانوذرات همراه آن‌ها هستند در نظر گرفته شود (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

برای اغلب نانوذرات در غلظت‌های نسبتاً بالا در گیاهان ایجاد سمیت می‌کنند و آستانه سمیت وابسته به گونه گیاه متفاوت است. اندازه ذرات و سطح مخصوص، شاخص‌های مناسب‌تری از غلظت‌های سمی نانوذرات برای سمیت به شمار می‌روند. در آزمایشی مشخص شد، که کلونیدهای نانوذرات نقره به اندازه ۴۰ نانومتر توانستند توسط ریشه *Arabidopsis thaliana* جذب و به قسمت هوایی منتقل شوند، اگر چه اکثر نانوذرات نقره به راس ریشه چسبیده بودند. نانوذرات به دیواره سلولی و غشاهای پلاسمایی لایه‌های اپیدرمی در ریشه نفوذ کرده و به منظور جذب و انتقال به برگ‌ها به بافت‌های آوندی (چوب) وارد می‌شوند. اندازه منافذ دیواره‌های سلولی به طور معمول در دامنه ۳ نانومتر هستند، که کوچک‌تر از اغلب نانوذرات می‌باشد (ما و همکاران، ۲۰۱۰). مشاهده گردید، که نانوذرات نقره به اندازه ۲۰ نانومتر جذب شده توسط گیاه اغلب در فضاهای بین سلولی از طریق پلاسمودسماتا می‌توانند به داخل سلول‌های گیاهی بروند (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

در تحقیقی بارنا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند، که به جز نانوذرات طلا و حلالی که در تهیه نانوذرات طلا به کار رفته است، بقیه مواد (نانوذرات نقره، آهن و حلال‌های آن‌ها) اثر منفی بر شاخص جوانه‌زنی خیار و کاهو داشتند. در خیار حلال طلا اثر مثبت معنی‌داری بر شاخص جوانه‌زنی خیار داشت. حلال نقره، نانوذرات نقره، حلال آهن تاثیر

1- Shah and Belozeroval
2- Yang and watts
3- Lin and Xing
4- Asli and Neumann

منفی بر شاخص جوانه‌زنی خیار داشتند و حلال طلا اثر مثبت معنی‌دار بر رشد ریشه خیار داشت. نمونه‌های دیگر مانند نانوذرات آهن و نقره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. در کاهو، حلال نقره، حلال آهن و نانوذرات آهن اثر منفی معنی‌داری بر شاخص جوانه‌زنی کاهو داشتند. برعکس نانوذرات طلا، اثر مثبت معنی‌داری بر شاخص جوانه‌زنی داشتند. حلال نقره، حلال آهن و نانوذرات آهن اثر منفی و حلال طلا و نانوذرات طلا اثر مثبت بر رشد ریشه کاهو داشتند.

نانوذرات آهن و حلال آهن به طور معنی‌داری وزن ریشه بیشتری نسبت به طول ریشه در خیار ایجاد نمودند. برعکس، برای نانوذرات طلا و حلال طلا مقادیر طول ریشه بیشتر از وزن ریشه بود. در نتیجه، به نظر می‌رسد، که نانوذرات آهن باعث افزایش ضخامت ریشه شده است، در حالی که در مورد طلا رشد ریشه به صورت طویل شدن بود. در این مطالعه اثر سمیت خیلی کم یا صفر برای نانوذرات طلا، نقره و آهن در غلظت‌های مطالعه شده دیده شد، اما در بعضی موارد اثر مثبت یا منفی مشاهده شده به دلیل حضور پایدارکننده بود (تترامیتل آلومینیم هیدروکساید، سیترات سدیم) (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

در تحقیقی میزان سطح برگ اسفناج تیمار شده با نانو دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از تیمار دی‌اکسید تیتانیوم غیرنانو و شاهد بود. وزن تر آن نسبت به شاهد ۹۱ درصد و وزن خشک ۹۹ درصد افزایش یافت. در شرایط کمبود نیتروژن، کاربرد نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم نسبت به دی‌اکسیدتیتانیوم غیرنانو وزن تر را ۸۶ درصد و وزن خشک را ۸۸ درصد افزایش داد. تیمارهای نانو دی‌اکسیدتیتانیوم، سرعت چرخش اکسیژن کلروپلاست اسفناج را در شرایط کمبود و عدم کمبود نیتروژن افزایش داد. (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). بونیانیتی پونگ^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، غلظت‌های ۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسیدتیتانیوم را بر جوانه‌زنی بذر برنج آزمایش کردند و اظهار داشتند، که هیچ یک از نانو ذرات درصد جوانه‌زنی را کاهش ندادند، ولی نانوذرات اکسید بر روی طویل شدن ریشه و تعداد ریشه را کاهش داد، در حالی که نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم اثر بازدارندگی بر طویل شدن ریشه نداشت. دوشی^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، اظهار داشتند، که نانوذرات آلومینیم هیچ اثر منفی بر رشد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و چمن نداشت.

ثابت شده است، که نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم مقدار آنزیم روبیسکو اکتیواز در اسفناج را ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، که منجر به تحریک بیشتر کربوکسیلاسیون روبیسکو و سرعت بالای فتوسنتز گردید. بنابراین رشد اسفناج بهبود یافت. تیمار بذرها با نانو دی‌اکسیدتیتانیوم (۵ نانومتر) درصد وزن تر و خشک اسفناج را ۶۰ و ۷۰ درصد افزایش داد. مقدار کلروفیل ۱۷/۲ و سرعت فتوسنتز خالص، ۲۸/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (بونیانیتی پونگ و همکاران، ۲۰۱۱). اکسید سیلیسیم و دی‌اکسید تیتانیوم معمول‌ترین نانوذراتی هستند، که در صنعت بکار می‌روند. نهال‌های یک ساله نوعی کاج (*Larix elgensis*) به مدت ۶ ساعت در غلظت‌های ۶۲، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر نانو اکسیدسیلیسیم (SiO₂) قرار داده شدند. تیمار نانو، رشد و کیفیت نهال‌ها را به شدت بهبود بخشید. تیمار با غلظت ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر بهترین نتیجه را داد، که در آن متوسط ارتفاع، ۵/۴۲ درصد، قطر ریشه، ۳۰/۷ درصد، طول ریشه اصلی، ۱۴ درصد و تعداد ریشه‌های جانبی نهال‌ها، ۳۱/۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافتند. همچنین تیمار ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر، بالاترین غلظت کلروفیل را نشان داد (لین و همکاران، ۲۰۰۴).

1- Boonyanitipong
2- Doshi

لیو^۱ و همکاران (۲۰۰۵)، گزارش کردند که کاربرد نانوذرات اکسید آهن به طور معنی‌داری باعث افزایش رشد و فتوسنتز بادام زمینی شد. نانوذرات اکسید آهن در مقایسه با دیگر تیمارها نظیر مواد آلی و سیترات آهن انتقال مواد فتوسنتزی و آهن را به برگ‌های بادام زمینی تسهیل نمود. گیاهان کدو که در معرض غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) به صورت هیدروپونیک (قطر ذرات ۲۰ نانومتر) قرار گرفتند، ۱/۳ درصد از کل آن به برگ‌ها انتقال یافت. بیشتر ذرات در سطح ریشه یافت شدند. اما گیاهان لوبیا هیچ ذره‌ای را در خود تجمع ندادند. این تفاوت‌ها تنوع معنی‌دار در جذب ذرات و انتقال آن‌ها را میان گونه‌های گیاهی نشان می‌دهد. در همان مطالعه، کدو، جذب نانوذرات Fe_3O_4 را از کشت در ماسه نشان داد، در حالی که در کشت خاکی این امر دیده نشد. بنابراین، کاربرد خاک به عنوان یک فیلتر نانویی موثر، باعث جلوگیری از نانوذرات برای دسترسی و ورود به ریشه می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۸).

در آزمایشی، کاربرد نانو ذرات اکسید آهن، غلظت آهن را در گیاه به طور معنی‌داری نسبت به شاهد و اکسید آهن غیر نانو افزایش داد. این امر احتمالاً به دلیل خواص نانوذرات شامل حلالیت بیشتر و سطح تماس بیشتر با ریشه گیاه می‌باشد، اما به دلیل رقابت بیشتر ریشه گیاه برای جذب آهن، روی، مس و منگنز، میزان این سه عنصر با افزایش بیشتر غلظت نانوذرات کاهش یافت. کاهش روی، مس و منگنز گیاه در تیمارهای غیر نانو کمتر بود (مظاهری نیا و همکاران، ۲۰۱۰).

۴-۱-۱-۱. عنصر تیتانیوم

تیتانیوم، دهمین عنصر معمول در پوسته زمین است، اما گیاهان به سختی می‌توانند در محیط تیتانیوم را جذب کنند. منابع اصلی آن سنگ‌های ایلیمنت (فروس تیتانیوم) یا روتایل (دی‌اکسید تیتانیوم) هستند. شواهدی جهت ضروری بودن تیتانیوم برای رشد گیاهان وجود ندارد و البته مدرکی نیز جهت سمیت آن برای گیاهان وجود ندارد. سمی نبودن آن قابل انتظار است، زیرا تیتانیوم در اسیدیته بین ۴-۸ محلول نیست، محدوده‌ای که در آن گیاهان به خوبی رشد می‌کنند (کارواجال و آلکارز^۲، ۱۹۹۸). با این حال کونیشی و تسوگه^۳ (۱۹۳۶) اظهار داشتند، که تیتانیوم در شکل دی‌اکسید تیتانیوم ممکن است در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گره‌های لگوم‌ها مشارکت داشته باشد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که تیتانات پتاسیم اضافه شده به محلول غذایی، رشد یونجه را بهبود بخشید. (اینمان^۴ و همکاران (۱۹۳۵)، گزارش کردند که تیتانیوم رشد ریشه ذرت را افزایش داد، که ممکن است در نتیجه کاهش در سمیت برخی عناصر دیگر باشد. اغلب ترکیبات تیتانیوم در pH بالای ۳ غیر محلول در آب هستند.

تتراکلرید تیتانیوم^۵، یک ترکیب محلول در آب است، اما به شدت در هوا بخار می‌شود، که کاربرد آن را مشکل می‌سازد. پائیس^۶ و همکاران (۱۹۷۷)، اسکوربات تیتانیوم را به صورت یک ترکیب محلول در آب یافتند، که در pH ثابت است و برای موجودات زنده غیرسمی است. عناصری که اثرات سمی عناصر دیگر را کاهش می‌دهند و یا در بعضی از وظایف عناصر دیگر (مثل حفظ فشار اسمزی و غیره) جایگزین این عناصر غذایی می‌شوند، جزو عناصر ضروری محسوب نمی‌شوند، ولی به عنوان عناصر سودمند^۷ در نظر گرفته می‌شوند (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸). پائیس (۱۹۹۱)، چند ویژگی عناصر سودمند برای گیاه را پیشنهاد کرد، که از آن جمله می‌توان به اثر مثبت روی رشد،

- 1- Liu
- 2- Carvajal and Alcaraz
- 3- Konishi and Tsuge
- 4- Inman
- 5- $TiCl_4$
- 6- Pais
- 7- Beneficial elements

افزایش فعالیت آنزیمی یا اثر مثبت بر روی متابولیسم، کاهش اثرات سمی عناصر دیگر و افزایش جذب و مصرف عناصر ضروری اشاره نمود. نتایج متفاوت برای سودمند بودن عنصر ممکن است به عواملی چون گونه گیاهی، سن گیاه، غلظت عناصر معدنی دیگر و غیره بستگی داشته باشد.

تیتانیوم در ترکیب معدنی تمامی گروه‌های گیاهان، قارچ‌ها و گل‌سنگ‌ها یافت شده است. تیتانیوم معمولاً در گیاه در مقدار کم ۱۰-۰/۱ پی‌پی‌ام وجود دارد (تلاستوس^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). بر طبق تحقیقات گوها و میچل^۲ (۱۹۶۵) و (۱۹۶۶) تیتانیوم می‌تواند یک عنصر بدون وظیفه خاص در متابولیسم گیاه در نظر گرفته شود. دومن و ارنست^۳ (۱۹۸۸)، تجمع ترجیحی تیتانیوم را در پوست *Pinus Maritima* مشاهده کردند، حتی بعضی گونه‌های بیابانی شبیه *Gymnocarpus decandrum*، تیتانیوم را در بافت ساقه بیشتر از ریشه و برگ تجمع می‌دهند، اما در گیاهان زراعی که تیتانیوم در محلول غذایی بکار رفت، تیتانیوم در ریشه‌ها و برگ‌ها مشاهده شد، که ممکن است چنین به نظر برسد، که تیتانیوم در متابولیسم گیاه نقش داشته است. در گندم تیمار شده با تیتانیوم بر روی برگ یا از طریق ریشه، انتقال یک طرفه تیتانیوم از قسمت هوایی به ریشه مشاهده شد، اما در *Capsicum annum*، تحرک خیلی کم این عنصر مشاهده شد (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸). پاپس (۱۹۸۳)، در طی مطالعات خود نشان داد، که بیش از ۹۰ درصد آزمایش‌ها افزایش عملکرد (از ۱۰ تا ۲۰ درصد) ناشی از استفاده از تیتانیوم در گونه‌های مختلف گیاهان زراعی را گزارش کرده‌اند. دو منبع تیتانیوم دی‌سیکلو پنتادینیل، تیتانیوم کلرید و کلرید تیتانیوم، عملکرد ماده خشک لوبیا را ۲۰ درصد افزایش داد. گزارش شده است که کاربرد کلرید تیتانیوم^۴ در غلظت ۴ و ۲۰ میلی گرم در لیتر، عملکرد کلم را ۷۶ و ۳۶ درصد کاهش داد. گزارش شده است، که شکل غیر پایدار تیتانیوم^۵ می‌تواند با بعضی از ترکیبات محلول غذایی واکنش نشان دهد و ایجاد کمبود کند. همچنین کاربرد به صورت برگی تیتانیوم اسکوبارت و کلرید تیتانیوم، باعث افزایش عملکرد فلفل در مزرعه و گلخانه شد (پاپس، ۱۹۸۳). کاربرد تیتانیوم در یونجه باعث افزایش رشد این گیاه گردید، اما بدرسیان و هانا^۶ (۱۹۶۶)، گزارش کردند، که کمبود آهن و منیزیم در *Pieris japonica* با افزایش جذب تیتانیوم مشاهده شد، اما جذب اغلب عناصر غذایی در لوبیا با کاربرد تیتانیوم افزایش یافت. گزارش شد، که وقتی گیاهان فلفل در معرض تیتانیوم قرار گرفتند، غلظت برخی عناصر ماکرو و میکرو افزایش یافت. جالب این بود، که این افزایش در جذب عناصر غذایی وقتی گیاهان به شرایط بهینه تغذیه‌ای نزدیک شدند، کاهش یافت. همچنین کاهش ۵۰ درصدی در نیتروژن کل به کار رفته در شرایط کاربرد تیتانیوم هیچ گونه تاثیر سوء تغذیه‌ای در فلفل ایجاد نکرد (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸). گزارش شده است، که غلظت آهن در گیاهان فلفل تیمار شده با تیتانیوم بالاتر از شاهد بود (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸).

یکی از اثرات تیتانیوم افزایش رشد رویشی گیاه است، که در این شرایط گیاه به انرژی بیشتری جهت رشد نیاز دارد. بنابراین، این امر موجب تجزیه بیشتر نشاسته در گیاه می‌شود. در فلفل افزایش غلظت کلروفیل با تیمار تیتانیوم مشاهده شد. این اثر در جلبک سبز آبی نیز مشاهده گردید، که اظهار می‌شود تیتانیوم به عنوان یک کاتالیست، اکسیداسیون- احیاء در انتقال الکترون از سیستم نوری II به سیستم نوری I عمل می‌کند (کیس^۷ و همکاران، ۱۹۸۵). همین فرآیند می‌تواند در گیاهان رخ دهد، به طوری که تیتانیوم می‌تواند فعالیت برخی عناصر فلزی درگیر

1- Tlustos

2- Guha and Mitchell

3- Dumon and Ernst

4- $TiCl_3$

5- Ti^{3+}

6- Bedrosian and Hanna

7- Kiss

در فرآیندهای فتوسنتزی را کاتالیز نماید. بعد از اضافه نمودن تیتانیوم به گندم، ذرت و فلفل، افزایش آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و نیترات ردوکتاز مشاهده شد. کاهش غلظت نشاسته بعد از تیمار با تیتانیوم در این گیاهان مشاهده شد (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸). در اغلب موارد، پس از کاربرد تیتانیوم اسکوربات چهار ظرفیتی از طریق برگی، افزایش غلظت یون آهن دو ظرفیتی در برگ‌ها، میوه‌ها، کلروپلاست‌ها و کروموپلاست‌ها در گیاه مشاهده شد. گزارش شده است، که شکل فعال تحرک‌پذیر آهن در گیاهان، یون آهن دو ظرفیتی (Fe^{2+}) است. افزایش فعالیت آنزیمی، سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی به آهن و افزایش Fe^{2+} بین سلولی وابسته است، که منجر به پیشنهاد فرضیه عمل تیتانیوم از طریق فعالیت آهن می‌شود. مشخص شده است، که آهن به دلیل مشارکت در زنجیره انتقال الکترون و سنتز کلروفیل بر ظرفیت فتوشیمیایی گیاهان تاثیر می‌گذارد (کارواجال و آلکارز، ۱۹۹۸).

- نقش و مکانیسم عمل دی اکسید تیتانیوم در گیاه

نانودی اکسید تیتانیوم^۱ به عنوان یک فتوکاتالیست در شرایط نور می‌تواند باعث واکنش اکسیداسیون- احیاء شود. نیتروژن یکی از ترکیبات مهم کلروفیل، اسیدآمین و پروتئین‌هاست. تحت شرایط کمبود نیتروژن ساخته شدن پروتئین‌ها و کلروفیل با مشکل روبرو می‌شود. نشان داده شده است، که فعالیت نیترات ردوکتاز، گلوتامات و هیدروژناز، گلوتامین سنتاز و گلوتامیک، پیرویک ترانس آمیناز توسط تیمار با نانو TiO_2 افزایش یافت و تیمار نانو TiO_2 می‌تواند اسفناج را به جذب نیترات تحریک نماید و تبدیل نیتروژن معدنی (نظیر NO_3^- و NH_4^+) را به نیتروژن آلی نظیر پروتئین و کلروفیل تشدید کند و عملکرد اسفناج را افزایش دهد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

شروزر و گات^۲ (۱۹۷۷) نشان دادند، که TiO_2 غیرنانو در شرایط اشعه ماوراءبنفش می‌تواند N_2 را به NH_3 یا N_2H_4 و C_2H_2 را به C_2H_4 احیاء نماید. مقدار کل N_2 تثبیت شده توسط TiO_2 حدود 10×10^6 تن در سال می‌باشد، که این مقدار حدود ۱۰ درصد N_2 احیاء شده توسط فرآیند بیولوژیکی است. بر این اساس فرض شده است، که نانو TiO_2 در برگ‌های اسفناج ممکن است در شرایط نور N_2 را به NH_3 احیاء نماید و رشد و تبدیل ازت معدنی به آلی را تشدید نماید (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

یانگ و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند، که TiO_2 در مناطق بیابانی در مجاورت نور خورشید می‌تواند N_2 هوا را به NH_3 و مقادیر کمی N_2H_4 احیاء نماید. اثر کوانتومی فعالیت فتوکاتالیستی نانو TiO_2 بیشتر از مواد توده TiO_2 است، به عبارت دیگر نانو TiO_2 می‌تواند واکنش اکسیداسیون- احیاء را ایجاد و در شرایط نور، الکترون دارای انرژی آزاد نماید، که ممکن است، مستقیماً N_2 را به NH_3 احیاء نماید. در آزمایشی با محلول پاشی نانو ذرات TiO_2 در دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد نیتروژن نشان داده شد، که تمام برگ‌های پیر اسفناج در تیمار شاهد تحت شرایط کمبود نیتروژن زرد شدند، اما با کاربرد نانو ذرات TiO_2 این اتفاق نیفتاد. این امر تثبیت N_2 توسط نانو ذرات TiO_2 را در برگ‌های اسفناج نشان داد، که نانو TiO_2 اثر تثبیت نیتروژن در برگ‌های اسفناج را داشت (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین نانو اکسید تیتانیوم، نیتروژن بیشتری برای سنتز کلروفیل و پروتئین اسفناج نسبت به شاهد فراهم می‌کند و منجر به تحریک رشد می‌گردد. معادله تثبیت نیتروژن توسط نانو TiO_2 به صورت زیر است.

همچنین نشان داده شده است، که فعالیت نیترات ردوکتاز، گلوتامات دهیدروژناز، گلوتامین سنتاز و گلوتامیک پیروویک ترانس آمیناز توسط تیمار با نانو TiO_2 افزایش یافت و جذب نیترات را در اسفناج تحریک نمود (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). اثرات مثبت نانو ذرات روی گیاه ممکن است در اثر خواص ضد میکروبی آن‌ها باشد، که قدرت و مقاومت گیاه را به تنش‌ها افزایش می‌دهد. نانو ذرات می‌توانند همچنین عناصر غذایی را بر روی سطح خود تجمع

1- TiO_2

2- Schrauzer and Gut

دهند، به خصوص نانوذراتی که سطح ویژه بالایی دارند، قابلیت و پتانسیل بالایی در نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (ناوارو^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). آلکارز- لویز^۲ و همکاران (۲۰۰۴) اظهار داشتند، تیمار درختان آلو با اسکوریات تیتانیوم باعث افزایش نمو و اندازه میوه می‌شود. مقاومت میوه نسبت به نفوذ و فشار فیزیکی افزایش یافته و میزان کلسیم، آهن، مس و روی در میوه افزایش نشان داد. بهبود آسیمیلاسیون کلسیم می‌تواند اثر سودمند تیتانیوم روی جذب، انتقال و فرایندهای آسیمیلاسیون را نشان دهد. آلکارز- لویز و همکاران (۲۰۰۵)، نتایج مشابهی را روی انگور (*Vitis vinifera L.*) به دست آوردند و تجمع نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی و مس و تیتانیوم را در برگ‌ها در اثر تیمار با تیتانیوم مشاهده کردند. کرپسی^۳ و همکاران (۲۰۰۱)، اثر اسکوریات تیتانیوم را بر کاهش اثرات سمیت کادمیم در گندم مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند، که کاربرد تیتانیوم باعث کاهش معنی‌دار تجمع کادمیم در برگ‌های گندم شد. همچنین افزایش تجمع تیتانیوم در ریشه نیز مشاهده گردید.

اولاد و همکاران (۲۰۰۸)، گزارش کردند که بوته‌های لوبیا چشم بلبلی تیمار شده با نانو دی‌اکسید تیتانیوم به صورت دوبار اسپری با غلظت ۱۲۵ سی‌سی در هکتار، بیشترین سطح برگ، تعداد غلاف در گیاه و طول غلاف را نشان دادند و عملکرد دانه لوبیا با تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم بین ۵۱ - ۸/۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین این تیمار شدت بیماری‌های برگ و غلاف را کاهش داد. زومینگ و همکاران (۲۰۰۸)، بذره‌های اسفناج را به مدت ۴۸ ساعت در غلظت ۰/۲۵ درصد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ذرات غیرنانو تحت شرایط نور خیس‌اندند و در گلدان کاشتند. گیاهچه‌ها در مرحله دو برگی با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ذرات غیرنانو با غلظت ۰/۲۵ درصد اسپری شدند و تا مرحله هشت برگی هفته‌ای یک بار این کار انجام شد. فتوسنتز خالص اسفناج در مقایسه با شاهد ۲۹/۹ درصد بهبود یافت. نانوذرات باعث بهبود رشد، تشدید سنتز کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن خشک و تجمع مواد آلی در اسفناج شدند. فعالیت روبیسکو کربوکسیلاز در تیمار TiO_2 غیرنانو تقریباً مانند شاهد بود، در حالی که تیمار نانو باعث بهبود ۹/۱ برابر شاهد گردید، که دلیلی برای افزایش سرعت فتوسنتز و تجمع مواد آلی در اسفناج است (زومینگو همکاران، ۲۰۰۸).

گزارش شده است، که نانوذرات می‌توانند جوانه‌زنی و رشد سویا را تسریع کرده و از فاسد شدن توسط کپک‌ها جلوگیری کند. نانوذرات می‌توانند قدرت ریشه‌ها و فعالیت نیترات ردوکتاز را افزایش و توانایی ریشه را برای جذب آب و کود بهبود بخشند و فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، دیسموتاز و کاتالاز را افزایش دهند و منجر به بهبود مقاومت سویا به تنش شوند. تحت شرایط نور، نانوذرات TiO_2 قادر به تولید یون سوپراکسید و هیدروکسید است. این گونه‌های اکسیژن فعال می‌توانند به مواد آلی عزیمت نمایند و عوامل ضد میکربی موثری باشند. استریل نوری توسط نانو TiO_2 می‌تواند علت افزایش قدرت مقاومت به تنش باشد بنابراین رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشد (لو و همکاران، ۲۰۰۵). ویگور یا قدرت بذرها با زمان انبارداری بذر کاهش می‌یابد. کاهش ویگور بذر احتمالاً نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد است. نتایج تحقیقات ژنگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد، که سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذره‌های مسن اسفناج خیلی پایین بود. تیمار با TiO_2 غیرنانو شاخص بنیه را ۲۳ - ۱/۴ درصد افزایش داد، اما تیمار با نانوذرات TiO_2 به طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص ویگور بذره‌های مسن را افزایش داد. ممکن است که یون‌های سوپراکسید و هیدروکسید قدرت نفوذپذیری بذر را افزایش و باعث سهولت ورود آب و اکسیژن به داخل سلول شده، بنابراین متابولیسم جوانه‌زنی بذر را تشدید نمایند. به علاوه،

1- Navarro
2- Alcaraz-Lopez
3- Kerpesi

ممکن است ورود نانو ذرات TiO_2 به داخل سلول‌ها واکنش‌های اکسیداسیون احیا را از طریق رایکال یون سوپراکسید در طی جوانه‌زنی در تاریکی ایجاد نماید و منجر به دفع رادیکال‌های آزاد در بذرها در حال جوانه‌زنی شود. اکسیژن تولید شده در چنین فرآیندی می‌تواند برای تنفس استفاده شود، که جوانه‌زنی را بیشتر تحریک خواهد کرد. در گیاه اسفناج بهترین تیمار غلظت ۲/۵ در هزار نانو ذرات TiO_2 بود، که وزن تر و خشک هر گیاه نسبت به شاهد ۶۳ و ۷۶ درصد افزایش یافت (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

مطالعات نشان داده‌اند، که برخی نانوذرات می‌توانند توانایی گیاه را برای جذب آب و کودهای نیتروژن افزایش، قدرت سیستم ریشه و فعالیت نیترات ردوکتاز را تحریک، تجزیه مواد آلی را تشدید کرده و به تشکیل اسیدهای آمینه ضروری کمک کنند (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش جوانه‌زنی و وزن خشک احتمالاً در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی معدنی و فرآیند فتوسنتز کاتالیز شده توسط نانوذرات TiO_2 می‌باشد. اثر قابل توجه نانو ذرات احتمالاً در اثر اندازه کوچک ذرات می‌باشد، که اجازه نفوذ آن را به داخل بذر در طی دوره تیمار می‌دهد. ذرات TiO_2 غیرنانو نتوانست وارد بذر اسفناج شود و اثرات آن به اندازه نانوذرات TiO_2 قابل توجه نبود (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). ژنگ و همکاران (۲۰۰۵)، در تحقیق خود اظهار داشتند، که در غلظت ۲/۵ در هزار نانو، سرعت فتوسنتز اسفناج ۱۳/۳ برابر افزایش یافت. غلظت‌های بیشتر از ۴ در هزار، سرعت فتوسنتز را به طور زیادی کاهش داد. این امر احتمالاً در نتیجه سهولت جذب عناصر غذایی است، که تشکیل کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های کلیدی برای تثبیت کربن را تحریک می‌کند. دلیل دیگر این می‌تواند باشد، که نانوذرات می‌توانند وارد کلروپلاست شوند و واکنش‌های اکسیداسیون-احیاء را ایجاد و انتقال انرژی الکترونی به انرژی جنبشی به شکل گونه‌های باثبات را تسهیل سازد. گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده توسط نانوذرات TiO_2 در شرایط نور، ساختار چربی غشا را از بین برده بنابراین توانایی فتوسنتزی برگ‌ها را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد، که نانوذرات TiO_2 پس از پیوستن به پروتئین‌های رنگدانه‌ای در کلروپلاست، ممکن است باعث دفع و فرونشاندن رادیکال‌های یون اکسیژن تشکیل شده در فرآیند فتوسنتز شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). کلروفیل رنگدانه‌ای است، که در گیاهان نور را جذب و عبور می‌دهد. به طور تخصصی کلروفیل تبدیل انرژی نوری به الکترونی و سپس انرژی شیمیایی را انجام می‌دهد. افزایش مناسب مقدار کلروفیل گیاهان برای فتوسنتز، سودمند است. غلظت ۲/۵ در هزار نانو TiO_2 تشکیل کلروفیل a در اسفناج را به طور معنی‌داری افزایش داد. ممکن است که نانو TiO_2 ، جذب مواد معدنی نظیر نیتروژن و منیزیم را تحریک نماید و فعالیت کلروفیل‌از را افزایش دهد. بنابراین سنتز کلروفیل تحریک شود. غلظت ۲/۵ در هزار نانو نسبت به شاهد، میزان روبیسکو را ۴/۲۲ برابر و نسبت به TiO_2 غیرنانو، ۳۴/۳ برابر افزایش داد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

۵-۱-۱-۱-۱. عنصر سیلیسیم (Si)

سیلیسیم دومین عنصر فراوان (۲۸ درصد) پوسته زمین است. سیلیکون دومین عنصر فراوان خاک بوده و عنصری ضروری برای گندمیان تالابی، جگن‌ها و دم‌اسبان می‌باشد. سیلیکون چه از نظر جرم و چه از نظر مقدار دومین عنصر فراوان در پوسته زمین می‌باشد، لازم به ذکر است، که به مجموعه ترکیباتی که Si اتم اصلی تشکیل دهنده آنها باشد، اصطلاح سیلیکون اطلاق می‌شود. به دلیل میل ترکیبی قوی این عنصر با اکسیژن، در طبیعت Si همیشه به صورت سیلیکا (SiO_2) یا سیلیکات‌ها که با انواع فلزات ترکیب شده است، وجود دارد. دی اکسید سیلیسیم در حدود ۶۰ درصد جرم پوسته زمین و بیش از ۵۰ درصد توده خاک را تشکیل می‌دهد. غلظت Si در محلول خاک به طور معمول بین ۵/۳ تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و به شکل سیلیسیک اسید [$Si(OH)_4$] می‌باشد، که فرم قابل جذب توسط گیاهان است. هرچند همه گیاهانی که در خاک روئیده‌اند، حاوی مقداری Si در بافت‌های خود می‌باشند، اما Si به عنوان یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان شناخته نشده است، زیرا دلایل کافی برای دخالت Si در متابولیسم

گیاه وجود ندارد، آن گونه که برای به رسمیت شناختن یک عنصر ضروری بر طبق پیشنهاد آرنون و استوت مورد نیاز می‌باشد. با این حال، اثرات سودمند Si در بسیاری از گونه‌های گیاهی مشاهده گردیده است (اولاد و همکاران، ۲۰۰۸). سیلیکون از ۰/۱ درصد تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد. این عنصر جزء عناصر مفید برای گیاهان است. سیلیس به عنوان یک عنصر نیمه ضروری برای رشد و نمو گیاه مورد بررسی قرار گرفته است (کت و همکاران، ۱۹۹۰). سیلیسیم در گیاه اثرات بسیار مثبت دارد. بسیاری از این تاثیرات تاکنون به طور کامل شناخته نشده است. در مناطق مرطوب به دلیل بالا بودن هوادیدگی، قسمت عمده سیلیسیم از خاک‌ها شسته شده و موجب تشکیل خاک‌های سرشار از اکسیدهای آهن و آلومینیم با سیلیسیم کم می‌شود. از سویی دیگر با وجود بالا بودن مقدار سیلیسیم اکثر خاک‌ها، ولی کشت متوالی محصولات مختلف زراعی موجب کاهش سطح سیلیسیم قابل استفاده گیاه می‌شود. گیاهان خانواده گرامینه غیرآبزی نظیر گندم، جو، یولاف، سورگوم، ذرت و نیشکر در حدود ۱۰ گرم سیلیسیم در کیلوگرم بافت گیاهی تجمع داده، ولی گیاهان خانواده گرامینه آبزی بیش از ۵۰ گرم سیلیسیم در محلول خاک دارند. این عنصر برای رشد طبیعی مورد نیاز گیاهان تالابی تیره گندمیان، دم‌اسبیان و برخی از جگن‌ها می‌باشد، اما در دولپه‌ای‌ها و دیگر گندمیان ضروری بودن آن مشخص نشده است. مکانیسم جذب این عنصر بسته به نوع گیاه متفاوت است، مثلاً در گندم به صورت غیرفعال و در برنج به صورت فعال جذب می‌شود. میزان نیاز گیاهان مختلف به سیلیسیم متفاوت است، در برنج حدود ۱۰۸ درصد ازت جذب می‌شود. گیاه برنجی که ۵ تن در هکتار دانه تولید می‌کند، حدود ۴۷۰-۲۳۰ کیلوگرم سیلیسیم عنصری را از یک هکتار زمین برحسب نوع خاک و رقم جذب می‌کند. به دلایل زیر تا به حال نقش آن مورد توجه جدی قرار نگرفته است (اولاد و همکاران، ۲۰۰۸):

فرضیه رایج مبنی بر اینکه سیلیسیم جزء عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان نمی‌باشد. تولید حداکثر (نیل به پتانسیل تولید در محصولات زراعی) مطرح نبوده، مهم‌تر از همه اینکه سیلیسیم ۲۸ درصد ترکیب پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و کمبود پیش نمی‌آید.

- اشکال مختلف سیلیسیم در خاک

سیلیسیم در خاک به ۳ صورت وجود دارد:

الف) سیلیسیم موجود در فاز جامد شامل سیلیسیمی است، که در ساختمان کانی‌های رسی و سیلیکات‌های آمورف یافت می‌شود.

ب) سیلیسیم جذب سطحی شده

ج) سیلیسیم موجود در محلول خاک

این سیلیسیم به صورت اسید مونوسیلیسیک است. سیلیسیم جذب سطحی شده فوری‌ترین منبع تامین سیلیسیم محلول است. سیلیکات‌های بی‌شکل مهم‌ترین منبع اولیه تامین سیلیسیم مورد نیاز می‌باشد. هر چند که سیلیسیم محلول از انحلال و فروپاشی سیلیکات‌های بی‌شکل و سیلیسیم موجود در کانی‌های رسی حاصل می‌شود، جذب سطحی سیلیکات از طریق تبادل لیگاندی یا نفوذ آنیونی صورت می‌گیرد. رقابت آنیون‌های معمول در خاک‌های زراعی در جذب روی سطوح به صورت زیر است (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵):



از این رابطه چنین می‌توان نتیجه گرفت، که آنیون فسفات در حضور سیلیکات جذب نخواهد شد و سیلیکات در آزاد سازی عنصر فسفر نقش مهمی دارد. به دلیل این‌که سیلیسیم با قدرت بیشتری نسبت به فسفات جذب سطحی می‌شود، لذا سبب آزادسازی فسفات می‌شود و بدین ترتیب تحرک و قابلیت استفاده آن برای گیاهان افزایش می‌یابد.

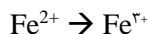
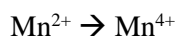
مهمترین نقش سیلیسیم در گیاهان اثرات مثبت آن بر تغییرات فیزیولوژیک و متابولیسم گیاه است. همچنین سیلیسیم اثرات بسیار مثبت مکانیکی در گیاهان دارد. نقش عنصر سیلیسیم در تنظیم جذب و انتقال عناصر موردنیاز گیاه بسیار اساسی است. تنظیم جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سایر عناصر از اثرات مثبت سیلیسیم در فیزیولوژی گیاهان است (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). در گیاهانی نظیر برنج، سیلیسیم با افزایش حجم و استحکام فضاهای سرشار از ازت هوا در ریشه و ساقه، با فراهم نمودن شرایط مناسب برای افزایش جابجائی اکسیژن از شاخه‌ها به سمت ریشه‌های غرقاب، قدرت اکسیدکنندگی ریشه‌ها را افزایش داده و با اکسیداسیون عناصری مانند آهن و منگنز و کاهش حلالیت آن‌ها از مسمومیت ناشی از این عناصر ممانعت می‌نماید. اثرات مکانیکی سیلیسیم در گیاهان را می‌توان با مصرف سیلامول به صورت لایه سیلیسی در ساختمان دیواره سلولی برگ‌ها و سلول‌های تشکیل دهنده آوندهای چوبی و آبکش با میکروسکپ الکترونی دید. تغییرات قطر ساقه و ریشه را می‌توان با مصرف سیلامول در گیاهان به وضوح مشاهده نمود. سیلامول با تغییرات در ساختمان برگ، ساقه و ریشه گیاهان موجب فتوسنتز کامل، مقاومت در مقابل آفات و حمله عوامل بیماریزای هوازی و خاکزی می‌شود. سیلامول با افزایش کیفیت میوه و خاصیت انبارداری باعث و کاهش خسارت در انبارداری و همچنین خسارت ناشی از حمل و نقل میوه می‌گردد. سیلامول در شرایط تنش‌های محیطی موجب افزایش مقاومت گیاه به سرما، گرما، طوفان، تگرگ و غیره می‌گردد. سیلامول با تنظیم سیستم انتقال فسفر در گیاه تنش ناشی از کمبود فسفر و یا افزایش جذب فسفر را در گیاه به حداقل می‌رساند. سیلامول موجب تنظیم جذب دو عنصر آهن و منیزیم می‌شود، که اثرات مستقیم بر جذب فسفر دارند (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

- کاهش سمیت آلومینیوم

آلومینیوم یک عنصر بسیار سمی برای انواع مختلف گیاهان است و یک عامل مهم محدودکننده رشد در خاک‌های اسیدی است. سیلیسیم تنها عنصری است، که می‌تواند عنصر آلومینیوم که بسیار سمی است، را در خاک تثبیت نماید و از آزاد شدن آن جلوگیری کند. در آزمایشی که توسط بایلز و همکاران (۱۹۹۴) بر روی سویا انجام گرفت، مشاهده شد که رشد ریشه سویا در محیط اسیدی به طور چشمگیر کاهش یافت، اما با افزودن سیلیسیم به خاک سمیت آلومینیوم کاهش یافت و این موضوع به این دلیل است، که سیلیسیم با آلومینیوم در محلول‌های رقیق تشکیل ترکیب هیدروکسی آلومینوسیلیکات خنثی می‌دهد، که قابل جذب گیاه نمی‌باشد.

- کاهش سمیت آهن و منگنز

عنصر سیلیسیم بسته به نوع گیاه به چند طریق سمیت آهن و منگنز را کاهش می‌دهد. در گیاهانی مانند برنج، سیلیسیم با افزایش حجم و استحکام فضای سرشار از هوا، در ریشه‌ها و ساقه‌ها و در نتیجه با افزایش جابجایی اکسیژن از شاخه‌ها به ریشه‌های غرقاب، قدرت اکسیدکنندگی ریشه‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه موجب واکنش زیر می‌شود:



چون این عناصر با عدد اکسیداسیون بالاتر حلالیت کمتری دارند، لذا سبب کاهش سمیت این عناصر می‌گردند. بدیهی است، که در خاک‌های شالیزاری شمال که میزان آهن و منگنز قابل استفاده بسیار بالا است، با مصرف سیلیسیم از مسمومیت این عناصر کاسته می‌شود. در گیاهانی مانند لوبیا و جو که تحمل بافت‌های آن به میزان زیاد منگنز اندک است، سیلیسیم باعث تغییر در توزیع منگنز در درون بافت برگ می‌شود. با نبود سیلیسیم، توزیع منگنز

غیریکنواخت شده و به صورت موضعی و یا لکه مانند در سطح برگ انباشته شده و در نهایت مسمومیت را سبب می‌گردد (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۸).

- تاثیر بر فتوسنتز

سیلیسیم کافی میزان جذب نور توسط گیاه را افزایش می‌دهد. در صورت کشت متراکم گیاهان، مستقیم بودن برگ‌ها عامل مهمی است، که بر جذب نور اثر دارد و نیز سیلیسیم از سایه‌اندازی گیاهان بر روی همدیگر جلوگیری نموده و بدین ترتیب باعث افزایش تولیدات فتوسنتزی می‌شود. سیلیسیم با تنظیم جذب نیتروژن سبب استحکام ساقه و جلوگیری از خوابیدگی (ورس)، تنظیم زاویه استقرار برگ‌ها بر روی ساقه و فراهم نمودن شرایط مناسب انجام کامل فتوسنتز در گیاهان و استفاده کامل از نور خورشید به ویژه در شرایط گلخانه‌ای و کشت‌های متراکم می‌شود.

افزایش مقاومت گیاه به آفات، بیماری‌ها و ورس (خوابیدگی): سیلیسیم در دیواره سلول‌های آوند چوبی ته نشین شده و از فروریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند. همچنین با استحکام ساقه، موجب کاهش ورس در گیاهان می‌شود. علاوه بر آن، دیواره سلول‌های بشره به وسیله لایه‌ای محکم از سیلیسیم آغشته می‌شوند و در برابر آلودگی‌های قارچی، مانع فیزیکی موثری می‌باشد. افزایش سیلیسیم در گیاه موجب افزایش مقاومت طبیعی گیاه در مقابل حمله عوامل بیماریزا و آفات مکنده و جونده می‌گردد. سیلیسیم باعث افزایش مقاومت برنج نسبت به بیماری‌های قارچی نظیر سوختگی برگ یا سنبله، لکه قهوه‌ای و همچنین افزایش مقاومت به آفاتی نظیر کرم ساقه‌خوار و زنجبرک می‌شود (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۸).

- اثر سیلیسیم بر متابولیسم گیاه

اگرچه بیشتر خاک‌ها غنی از سیلیسیم هستند، اما کشت‌های مکرر می‌تواند سطوح سیلیسیم قابل دسترس گیاه را کاهش می‌دهد. استفاده از کودهای سیلیسی باعث افزایش وزن هزار دانه گردیده که این افزایش بیشتر به دلیل جایگزینی این عنصر در پالئا و لما بوده است. با افزایش مقدار سیلیس در برگ و ساقه، رشد و عملکرد عملکرد برنج نیز تا ۵۶-۸۸ درصد افزایش یافته است (داتونوف^۱ و همکاران، ۱۹۹۷). محلول سیلیسیم، رشد، نمو و عملکرد چندین گونه گیاهی شامل برنج، نیشکر، گندم و تعدادی گونه‌های دولپه را زیادتر کرده است. برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان در حضور سیلیسیم یک رشد مستقیم نشان می‌دهد، که در نتیجه توزیع نور داخل کانوپی به طور وسیع بهبود می‌یابد (الواد^۲ و همکاران، ۱۹۷۹). سیلیسیم مقاومت به ورس، خشکی و تجمع ماده خشک در خیار و برنج را افزایش می‌دهد (الواد و همکاران، ۱۹۸۲). سیلیسیم می‌تواند به طور مثبت بر فعالیت‌های تعدادی از آنزیم‌های درگیر فتوسنتز برنج و تورف‌گراس را تأثیر بگذارد و تا اندازه‌ای پیری برگ‌ها را کاهش دهد (اوسانا^۳ و همکاران، ۱۹۹۱). گیاهان زیادی توانایی جذب سیلیسیم را دارند و بسته به گونه‌ها، محتوی سیلیسیم تجمع یافته در بیوماس می‌تواند دامنه‌ای از ۱۰ تا بیشتر از ۱۰۰ گرم در کیلوگرم باشد (اپستین^۴، ۱۹۹۱). وجود سیلیس، رشد ریشه و اندام هوایی را بهبود بخشیده است (الواد و همکاران، ۱۹۸۲). سیلیس در گیاه برنج، باعث افزایش رشد از طریق تعداد پنجه، سطوح برگ و فعالیت فتوسنتزی برگ‌های پایینی شده است. افزایش رشد ممکن است، به دلیل ذرات موجود منیزیم و کلسیم، جلوگیری یا کاهش سمیت آهن و منگنز و افزایش فراهمی فسفر در خاک باشد. سیلیس در سنتز

1- Datnoff
2- Elawad
3- Osuna
4- Epstein

کربوهیدرات‌ها و فلاسفریلاسیون نوری دخالت دارد (جولیانو، ۱۹۹۳). مصرف سیلیس (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در گیاه برنج، میزان کربوهیدرات‌ها در برگ‌ها را ۷ درصد، ساقه ۱۱ درصد و دانه را ۶ درصد افزایش داده است. به علاوه تعداد سلول‌های سیلیکاتی افزایش یافته و باعث شده تا سطح اپیدرمی به نحو مؤثری به عنوان دریچه‌ای عمل نموده که نور بتواند عبور نموده و به سلول‌های مزوفیل برسد (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۸).

سیلیس باعث رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک گردیده و تعرق را کاهش می‌دهد. سیلیس بر تعداد برگ‌ها افزوده و باعث افزایش تعداد پنجه، سنبلک‌ها، وزن دانه و درصد سنبلک‌های پرشده و پانیکول شده و بر کیفیت و عملکرد دانه اثر می‌گذارد (آگاری^۱ و همکاران، ۱۹۹۳). سیلیس اثرات اصلاحی بر روی بعضی از خصوصیات برگ به ویژه عمود بودن برگ داشته، همچنین اثرات منفی عرضه ازت بر روی استحکام ساقه و حساسیت به ورس و جذب نور را خنثی می‌کند و در کاهش آسیب‌پذیری گیاهان در برابر آفات مؤثر می‌باشد. در بافت‌ها به ویژه برگ‌ها زمان لیگنینی شدن و یا تجمع سیلیس در سلول اپیدرمی مانع فیزیکی مؤثری در برابر نفوذ هیف‌ها می‌باشد. این‌گونه فرآیندها، ساختار اصلی مقاومت گیاهان به بیماری‌ها را به ویژه در برگ‌های گراس‌ها، مهیا می‌سازد (یوشیدا^۲ و همکاران، ۱۹۷۵). برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان مخصوصاً برنج کشت شده در حضور سیلیسیم رشد مستقیمی را نشان می‌دهد که در نتیجه آن توزیع نور داخلی کانوپی به طور گسترده‌ای بهبود می‌یابد. به کار بردن سیلیس اثر مثبتی را بر روی تعداد خوشه‌چه‌های هر پانیکول دارد، به نحوی که عدم وجود سیلیس باعث کاهش ۴۰ درصدی در دانه‌های خوشه‌چه‌های بارور و کاهش ۱۰ درصدی کل تعداد خوشه‌چه‌های پانیکول‌ها می‌شود (ما و همکاران، ۱۹۹۱). سیلیسیم خسارت‌های ایجاد شده به وسیله استرس‌های اقلیمی همانند طوفان و خسارت سرمای تابستان در برنج، خسارت یخ‌زدگی در نیشکر را کاهش و مقاومت به استرس یخ‌زدگی در تعدادی از گیاهان را افزایش می‌دهد. سیلیسیم قابلیت دسترسی عنصرهای سمی همانند منگنز، آهن و آلومینیوم ریشه‌های گیاهانی مانند برنج و نیشکر را کاهش و مقاومت جو و برنج به استرس نمک را افزایش می‌دهد (ساوانت^۳ و همکاران، ۱۹۹۷). مقادیر بالای سیلیس موجود در گیاه، اهمیت زیادی در رشد بیشتر و مقاومت به بیماری‌های قارچی دارد. به علاوه، تغذیه سیلیکون، ظرفیت پالایندگی اکسیژن فعال در گیاهان تحت تنش شوری را از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز بهبود می‌بخشد. در گیاهان تحت تنش شوری، خصوصیات تشریحی همچون کاهش نسبت استوانه آوندی به قطر ساقه و افزایش ضخامت برگ مشاهده می‌گردد، در حالی که تغذیه سیلیکون موجب افزایش نسبت قطر استوانه آوندی به قطر ساقه شده و به این طریق توانایی گیاه برای انتقال آب افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد، که تغذیه سیلیکون می‌تواند موجب تخفیف اثرات زیان‌بار شوری از طریق کاهش برخی علائم مرتبط با تنش اکسیداتیو و بهبود روابط آب گیاه گردد. اثرات مثبت نانو ذرات بر روی گیاه ممکن است در اثر خواص ضد میکروبی نانو ذرات باشد، که قدرت و مقاومت گیاه را به تنش‌ها افزایش می‌دهد. نانوذرات می‌توانند همچنین عناصر غذایی را روی سطح خود تجمع دهند، به خصوص نانوذراتی که سطح ویژه بالایی دارند، قابلیت و پتانسیل بالایی در نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۸).

۱-۱-۱-۶. سمیت نانوذرات برای گیاهان

مصرف نانوذرات در محصولات تجاری و کاربردهای صنعتی به طور قابل توجهی در سال‌های اخیر افزایش یافته است، اگر چه درک مکانیسم‌های برهمکنش در سطح ملکولی بین نانوذرات و سیستم‌های زیستی کاملاً روشن نیست. در

1- Agarie
2- Yoshida
3- Savant

بعضی از این محصولات نظیر کرم‌های پوستی و خمیر دندان‌ها، نانوذرات در تماس مستقیم با بدن مصرف‌کننده است یا می‌توانند به صورت دائم (توسط شستشو) از چنین محصولاتی وارد محیط شده یا حتی در طی فرایند تولید، نانوذرات سنتزی می‌توانند در مقادیر قابل توجه وارد محیط شوند (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین در همان زمان دانشمندان راه‌هایی جهت استفاده از نانوذرات جهت آلودگی‌زدایی در محیط زیست پیدا نمودند. اگرچه بعضی از آن‌ها هنوز در مرحله آزمون قرار دارند، ولی تعدادی از مکان‌ها همیشه در معرض تزریق با نانوذرات مختلف شامل پلیمرها یا دی‌اکسیدتیتانیوم بوده‌اند. اخیراً نانوذرات آهن به عنوان یک فناوری کم‌هزینه برای خارج کردن آرسنیک از آب آشامیدنی پیشنهاد شده است (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹). نانوذرات طلا به طور گسترده به عنوان ماده اولیه برای داروهای نانو استفاده می‌شوند. نانوذرات نقره نیز به عنوان ضد باکتری و میکروب‌کش از زمان‌های قدیم شناخته شده است. نانوذرات نقره به غشاء سلولی باکتری‌ها متصل شده و منافذی کشنده در آن ایجاد کرده و باعث تحلیل باکتری می‌شود. نقره در شکل ماکروسکپی همیشه به عنوان نابودکننده ارگانسم‌های محیط‌های آبی شناخته شده است. نانوذرات Fe_3O_4 اخیراً پیشنهاد شده که در کاربردهای پیشرفته نظیر آلودگی‌زدایی محیطی مفید است. تعیین سمیت گیاهی نانوذرات فلزی و اکسیدهای آن‌ها به دلیل پتانسیل تجزیه یون‌های فلزی از این نانوذرات و پتانسیل سمیت و جذب یون‌های فلزی پیچیده است. بازدارندگی رشد گیاه ممکن است مستقیماً ناشی از سمیت شیمیایی نانوذرات نباشد. سمیت ممکن است در نتیجه برهمکنش‌های فیزیکی بین نانوذرات و مسیرهای انتقال سلول گیاه باشد، به عبارت دیگر، بازدارندگی آپوپلاستی به وسیله انسداد فضاهای بین سلولی یا منافذ دیواره‌های سلولی یا ارتباطات سیتوپلاستی بین سلولی از طریق انسداد پلاسمودسماتاهای در اندازه نانو باشد (ما و همکاران، ۲۰۰۹). از عوامل دیگری که در مطالعات سمیت گیاهی مورد نیاز است، مطالعات اثر حلال است. دوام نانوذرات در محلول بدون پایدارکننده خیلی کوتاه است و بیشتر محصولات تجاری دارای پایدارکننده‌های مشخص هستند. باید در مطالعات سمیت هم اثر افزایش نانوذرات و هم پایدارکننده‌ها در نظر گرفته شود (ما و همکاران، ۲۰۰۹). برای اغلب نانوذرات غلظت‌های نسبتاً بالا برای ایجاد سمیت قابل مشاهده بر روی گیاهان لازم است و آستانه سمیت وابسته به گونه است. اندازه ذرات و سطح مخصوص، شاخص‌های مناسب‌تری از غلظت‌های اسمی نانوذرات برای سمیت به شمار می‌روند. مشاهده گردید که نانوذرات نقره به اندازه ۲۰ نانومتر جذب شده توسط گیاه اغلب در فضاهای بین سلولی می‌توانند از طریق پلاسمودسماتا به داخل سلول‌های گیاهی بروند (ما و همکاران، ۲۰۰۹).

۲. فصل دوم

۲-۱. نانوتکنولوژی و تنش‌های محیطی

۲-۱-۱. مقدمه

منابع طبیعی، سرمایه‌های سبز با ارزشی هستند، که تخریب آن‌ها بستر بسیاری عوامل موثر بر سلامتی جوامع انسانی را دچار چالش می‌کند. در شرایط فعلی، بسیاری از کشورها درصدد هستند، که به هر شکل ممکن این گنجینه‌ی طبیعی را حفظ کنند. بیوتکنولوژی به عنوان روشی موثر می‌تواند تنش‌های محیطی را به کنترل درآورد. تولید پایه‌های مقاوم در مقابل تنش‌های خشکی، از طریق بکارگیری روش‌های بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک و انتقال ژن‌های مقاوم، اهمیت به سزایی در حفظ منابع طبیعی کشور دارد. برای مثال، انتقال ژن‌های القاپذیر در مقابل تنش کم آبی و غیره به گیاهان که بتوانند شرایط کمبود آب را تحمل کنند، قابل ذکر می‌باشد. در مورد تنش شوری نیز بیوتکنولوژی با تولید پایه‌هایی که بتوانند در شرایط شوری رشد و نمو کنند، امکان زیرکشت بردن ده‌ها هزار از این اراضی بسیار مهم را فراهم می‌آورد. همچنین نقش هورمون‌های گیاهی و وجود آثرانثیم‌ها در مورد گیاهانی که تحت تنش غرقاب قرار دارند، نیز از عواملی است که توسط بیوتکنولوژی بررسی می‌شود (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷). گرچه تنش سرما به علت سازگاری طبیعی مراتع از اهمیت کمتری برخوردار است، لیکن بیوتکنولوژی در این زمینه نیز راهکارهایی را به همراه خواهد داشت. تنش‌های محیطی تأثیرات زیادی بر عرصه‌های منابع طبیعی می‌گذارد و تاکنون خسارات قابل توجهی نیز داشته است. تولید گونه‌های مقاوم به تنش‌های محیطی از طریق انتقال ژن‌های مقاوم به گونه‌های مختلف، شاید از جمله بهترین روش‌هایی باشد، که بشر امروز می‌تواند به خدمت بگیرد. این فصل نیز این هدف را دنبال می‌کند، که نشان دهد بیوتکنولوژی، می‌تواند در خدمت حفظ جنگل‌ها و مراتع باشد (کافی، ۱۳۷۹).

نانوبیوتکنولوژی، به عنوان روشی قدرتمند و موثر می‌تواند تنش‌های مورد اشاره را به کنترل درآورد. تحقیقات نانوبیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک با هدف افزایش بازده از یک سو و جلوگیری از خسارات و ضایعات از سوی دیگر، این امکان را می‌دهد، تا با حداقل ضایعات زیست محیطی و صرف حداقل سرمایه، مشکلات این بخش را حل کرده و موجبات افزایش تولید این بخش را در سطح کلان و با هدف توسعه پایدار فراهم کرد (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۷۹).

جنگل‌ها و مراتع کشور با گستره‌ی وسیع و پهناور از حیث تأمین مواد غذایی جامعه، مصنوعات چوبی و محصولات کاغذی، تأمین تعداد زیادی از مایحتاج عمومی جامعه، جلوگیری از فرسایش و از بین رفتن خاک، حفظ آب و نزولات آسمانی نقش مهمی دارند و تلاش در جلوگیری از نابودی این منابع برای رسیدن به خودکفایی از اهمیت حیاتی برخوردار است. در گذشته، اولین رهیافت برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی، عموماً بر استفاده از کودها، اصلاح خاک، آبیاری و آفت‌کش‌ها متکی بود (کیانیان و همکاران، ۲۰۱۷). چنین رهیافت‌هایی، اکنون به عنوان عوامل بی‌ثباتی اکوسیستم تلقی شده و مسلماً گزینه‌ای برای رفع این محدودیت‌ها نخواهد بود. بنابراین هدف اصلی در علوم گیاهی جدید برای سازگار نمودن گیاهان به شرایط محیطی این است، که مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌ها درک گردیده و از این دانش برای تغییر ژنتیکی گیاهان و حتی به منظور افزایش مقاومت به تنش‌ها بهره‌برداری گردد. این امر یکی از جالب‌ترین و پویاترین زمینه‌های تنش‌های گیاهی است، که جنبه‌های مختلفی از زیست‌شناسی مولکولی و سلولی را از طریق فیزیولوژی و اکولوژی گیاهی تا قلمرو زراعت، اصلاح نباتات و فن‌آوری زیستی

(بیوتکنولوژی) در برمی‌گیرد. انجام تحقیقات بیوتکنولوژی در راستای بهینه‌سازی استفاده از چوب، فرآوری و افزایش بازده جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت و بهبود کیفی آن‌ها به منظور استفاده بهینه در بخش صنعت، نقش به‌سزایی در رفع نیازهای کشور خواهد داشت و نیز در بحث مقاومت گونه‌های جنگلی در مقابل تنش‌های غیرزنده به شکل چشمگیری می‌تواند موثر واقع شود (بهداد، ۱۳۹۰).

۲-۱-۲. تنش‌های محیطی

در یک تقسیم‌بندی کلی، می‌توان تنش‌ها را به دو گروه زنده و غیرزنده تقسیم کرد و تنش‌های زنده شامل تاثیر قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و حشرات بوده و تنش‌های غیرزنده به تاثیرات سوء عواملی همچون خشکی، شوری، دما، باد، سرما و غیره مربوط می‌شود، که مجموع این دو دسته تنش می‌تواند تاثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد، از بین رفتن حاصلخیزی خاک و در مواردی عدم امکان تداوم کشاورزی گردد. نوشتار حاضر بر تنش‌های غیرزنده تاکید خواهد داشت. گفتنی است که اصولاً تنش‌ها، عواملی هستند، که به نوعی روند زندگی و زیستی گیاهان اعم از زراعی و یا جنگلی را دچار اختلال می‌کند. ذیلاً ضمن بررسی مختصر در مورد هر یک از عوامل تنش‌زا، نقش نانو بیوتکنولوژی در کاهش تنش مورد نظر بر روی منابع طبیعی نیز مورد کنکاش قرار می‌گیرد (کافی، ۱۳۷۹).

۲-۱-۲-۱. تنش خشکی

گیاهان حدود ۴۰۰ میلیون سال است، که از زمان ترک دریاها و سکنی گزیدن در خشکی‌های کره‌ی زمین همواره با تنش رطوبتی مواجه هستند. هنگامی که خشکی روی می‌دهد، گیاهان عالی همیشه مجبور بوده‌اند، که آن را تحمل نموده یا چرخه‌ی زندگیشان را جهت دوری جستن از آن تنظیم نمایند. لذا در تکامل گیاهان خشکی‌زی، نیاز آن‌ها به جستجو، جذب، انتقال و نگهداری آب به عنوان یک نیروی عمده‌ی محرک عمل کرده است. با وجود این، خشکی، هنوز عمده‌ترین محدودیت در تولید محصولات زراعی است. مکانیزم‌های متضمن مقاومت به خشکی، که در چنین دوره‌ی زمانی طولانی به وجود آمده‌اند، فراوان بوده و هنوز به طور کامل شناخته نشده‌اند (بهداد، ۱۳۹۰).

در خصوص جنگل‌ها و مراتع نیز گفتنی است که کمبود آب و نزولات آسمانی، به ویژه در جنگل‌های زاگرس از عوامل عمده‌ی کاهش رشد و استقرار گونه‌ها در این عرصه هاست. با توجه به گستره‌ی وسیع این جنگل‌ها و مراتع و اهمیت آن‌ها از نظر اکولوژیکی و نیز حفظ خاک و نزولات آسمانی، جستارهای پژوهشی در این مورد کاملاً ضروری است. تولید پایه‌های مقاوم در مقابل تنش‌های خشکی، از طریق بکارگیری روش‌های نانوبیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک و انتقال ژن‌های مقاوم، اهمیت به‌سزایی در حفظ منابع طبیعی کشور دارد. برای مثال انتقال ژن‌های القاپذیر در مقابل تنش کم آبی و غیره به گیاهان که بتوانند شرایط کمبود آب را تحمل کنند، قابل ذکر می‌باشد. این مهم در حوزه‌ی فعالیت‌های نانو بیوتکنولوژی قابل دستیابی است، که می‌توان به انتقال ژن‌هایی همچون اسموتین اشاره کرد، که به منظور اصلاح و تولید گونه‌هایی که در شرایط کمبود آب، بهتر مستقر شده و رشد و نمو کنند، راه حلی پویا و عملی در مبارزه با عارضه‌ی خشکی و عاری از پوشش شدن عرصه‌هایی است که مقدار بارندگی در آن‌ها کم است (کافی، ۱۳۷۹).

۲-۱-۲-۲. تنش شوری

وقتی که خاک شور می‌شود، پتانسیل آب آن (انرژی آزاد آب در یک سیستم) توسط پتانسیل اسمزی ناشی از نمک‌های حل شده، پایین می‌آید. در نتیجه، پتانسیل آب در کل گیاه نیز در هر نقطه‌ای کم می‌شود (علامت مشخصه‌ی تنش آب)، که در نهایت به صورت ترمودینامیکی نسبت به شیب پتانسیل خاک به آب، به حالت تعادل می‌رسند (کیانیان و همکاران، ۱۳۸۹). شوری نیز از دیگر عواملی است که به خصوص در کاهش تولید بخش مرتع

(گونه‌های جنگلی طبیعی، اگر ماندگار شده باشند، با شرایط محیطی از جمله شوری سازگارند) و بیابانی شدن عرصه‌های مرتعی نقش اساسی دارد. عرصه‌های وسیعی از اراضی حاشیه کویر و اراضی حاشیه دریاچه‌ها (مانند دریاچه ارومیه) به دلیل شوری، عاری از پوشش گیاهی هستند، که راه حل مبارزه با این مشکل، اصلاح و تولید گیاهانی است، که بتوانند در شرایط شوری رشد و نمو کنند، که این مهم نیز از نانویوتکنولوژی ساخته است (کیانیان و همکاران، ۱۳۸۹). از سویی در مناطق وسیعی از کشور، شرایط کشت برای تولید درختان سریع‌الرشد مناسب است. این اراضی شامل سواحل دریاچه ارومیه و کناره‌ی رودخانه‌های پر آب جنوب کشور می‌باشد. کاربرد بیوتکنولوژی برای تولید پایه‌هایی که بتوانند در شرایط شوری رشد و نمو کنند، امکان زیر کشت بردن ده‌ها هزار هکتار از این اراضی بسیار مناسب را فراهم می‌آورد. بنابراین، بهره‌گیری از بیوتکنولوژی برای تولید گیاهان مقاوم به خشکی و شوری، از نخستین عوامل موفقیت در امر بیابان زدایی است (بهداد، ۱۳۹۰).

- تنش شوری و مکانیسم‌های تحمل به آن

تاثیر شوری خاک بر تولیدات کشاورزی بسیار شگرف است، که عمدتاً از طریق روش‌های آبیاری غلط همچون روش‌های آبیاری سنتی کرتی و غرقابی بوده است. حل مشکلات زراعی حاصله از تنش شوری به وسیله تغییر عملیات زراعی در جهت جلوگیری از شور شدن مزارع مانند زهکشی اراضی، کاشت گیاهان چندساله و کم آبیاری مزارع امکان پذیر است (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲). مکمل این عملیات، افزایش تحمل گیاهان زراعی از طریق عملیات سنتی به‌نژادی یا دست‌ورزی‌های ژنتیکی است. بدین وسیله تولید درحالی افزایش خواهد یافت، که اراضی همچنان در حال بهسازی و بازسازی بوده و خاک تحت‌الارض همچنان شور است و خود عملیات کاشت روشی برای احیاء اراضی محسوب می‌شود. غلظت انواع مختلف نمک بسته به نوع عملیات زراعی و نحو تیمار زمین زراعی می‌تواند مختلف باشد. برای مثال، آبیاری می‌تواند املاح کربنات کلسیم و منیزیم را افزایش دهد، درحالی‌که در زمین‌هایی که از نظر زمین‌شناسی مربوط به باقی مانده دریا و یا دریاچه‌ها بوده و یا به مدت بسیار طولانی در معرض انباشت نمک‌های بادرفت دریایی بوده‌اند و میزان بارندگی هم به اندازه لازم برای شستشو املاح کافی نبوده، خاک منطقه ممکن است حاوی مقادیر بسیار بالایی از NaCl باشد. علاوه بر این، چنین خاک‌هایی دارای غلظت‌های سمی از اسیدهای ضعیف مانند اسید بوریک می‌باشند، که هنوز نحوه انتقال و سمیت آن‌ها آشکار نشده است (چهره نگار، ۱۳۸۲).

تمامی نمک‌ها قادرند بر رشد گیاه تاثیر بگذارند، ولی همه آن‌ها رشد را محدود نمی‌کنند. علاوه بر این، هرچند نمک‌ها به طور انفرادی در خاک عمل می‌کنند، ولی تماماً نیز با داشتن اثر متقابل بر گیاه اثرگذار هستند. بعضی از این اثرات متقابل ساده بوده (مانند اثر متقابل Na^+ و Ca^{2+}) و برخی بسیار پیچیده هستند (مانند تاثیرات کربنات‌ها و اثر آنها بر افزایش pH خاک). در میان عمومی‌ترین تأثیرات شوری در رشد گیاهان، محدودیتی است که Na^+ و Cl^- در رشد و نمو گیاهان ایجاد می‌کنند. برای بعضی از گیاهان، خصوصاً گیاهان چوبی چندساله (مانند مرکبات و انگور)، Na^+ ، در ریشه‌های چوبی باقی می‌ماند، در حالی که Cl^- به اندام هوایی در حال رشد انتقال یافته و سبب بروز خسارت می‌گردد (غالباً سبب بروز اختلال در سازوکار فتوسنتز می‌شود). به هر حال برای بسیاری از گیاهان (مانند گیاهان زراعی خانواده غلات) Na^+ ، مهم‌ترین یون خسارت‌زا است (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

- علائم خسارت شوری

املاح در گیاهان علاوه بر تنش یونی، تنش اسمزی نیز ایجاد می‌کنند. این استرس از طرق مختلف قابل تمایز هستند. در گیاهان حساس، رشد اندام هوایی (و با شدت کمتر رشد ریشه) تنها چند ساعت پس از شروع تنش بطور

دائم کاهش خواهد یافت است (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹). به نظر نمی‌رسد این امر وابسته به افزایش غلظت Na^+ در اندام‌های در حال رشد باشد، زیرا در چنین مدت کوتاهی غلظت Na^+ به اندازه‌ای نخواهد رسید، که اثر مستقیمی بر فرآیندهای رشدی درون گیاه داشته باشد. این تاثیر عمدتاً به دلیل تاثیرات اسمزی است، که محیط خارجی بر رشد گیاه داشته است. زمان بروز خسارت و تاثیر اختصاصی Na^+ ، به وسیله میزان و نرخ تجمع Na^+ و کارایی بخش‌بندی Na^+ در درون بافت‌های برگ و سایر سلول‌ها تعیین می‌شود. این علائم کمتر با تاثیرات اسمزی NaCl ارتباط داشته و تنوع بیشتری در گونه‌های مختلف نسبت به تغییرات اسمزی دارد. در سطح ملکولی سیگنال‌ها بوسیله هر دو عامل تنش شوری و خشکی ارسال و مسیر بیوشیمیایی مربوطه را فعال می‌نمایند (حمیدی، ۱۳۷۵). بعضی از اثرات بالابودن Na^+ در خاک ارتباط تنگاتنگی با کمبود سایر عناصر دارد و یا این اثرات تحت تاثیر تنش‌های محیطی مانند خشکی قرار گرفته، که نهایتاً سبب تشدید سمیت Na^+ می‌گردد. هنگام بروز تنش Na^+ ، مشخصاً کمبود سایر عناصر غذایی نیز ایجاد می‌شود، زیرا افزایش میزان Na^+ ، جذب سایر عناصر را مختل می‌کند (رحیمی و کافی، ۱۳۸۹). این عمل از طرق زیر انجام می‌شود:

۱. اختلال مستقیم در جذب عناصر، از طریق تداخل در هنگام انتقال سایر عناصر به درون غشاء سلولی، مانند کانال‌های یونی اختصاصی K^+ .

۲. کاهش رشد ریشه، به وسیله اثرات تخریبی Na^+ در ساختمان خاک و تنش اسمزی ناشی از این یون. بنابراین تنش Na^+ قادر است، که جذب آب را کاهش داده و به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، آهن و روی) رشد گیاه را محدود نماید. علاوه بر این، وجود نمک در خاک، رشد میکروارگانیسم‌های مفید خاک، مانند میکروبیوز قارچی را شدیداً مختل می‌نماید، که به نوبه خود اثرات منفی بر رشد گیاهان می‌گذارد.

در اندام هوایی، تجمع زیاد Na^+ سبب بروز دامنه وسیعی از مشکلات اسمزی و متابولیکی در گیاه می‌شود. در زمان بروز تنش شوری ناشی از Na^+ ، خسارت وارده به برگ‌ها همواره بسیار بیشتر از ریشه‌ها است و دلیل ساده آن تجمع بیشتر Na^+ و Cl^- در برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها است. مطالعات نشان داده است، که ریشه‌ها در طول زمان، غلظت پایین و ثابتی از NaCl را در خود حفظ می‌کنند و قادرند سطح NaCl خود را از طریق برگرداندن Na^+ به خاک یا ارسال آن به اندام هوایی تنظیم نمایند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹). Na^+ ، سریعاً از طریق فرآیند تبخیر و تعرق از مسیر آوند چوب به اندام هوایی انتقال می‌یابد، در حالی که، Na^+ در ریشه تنها از طریق آوند آبکش بازگشته و باقی می‌ماند. شواهد بسیار محدودی وجود دارد، که نشان می‌دهد، که Na^+ از اندام هوایی به ریشه بازگشت داده می‌شود. این موضوع این باور را تقویت می‌کند، که انتقال Na^+ به طور عمده یک‌سویه بوده و همواره از ریشه به اندام هوایی است و نتیجه این فرآیند چیزی جز تجمع Na^+ در برگ‌ها با افزایش سن آن‌ها نخواهد بود (خیامیم، ۱۳۸۶). مقدار زیادی از سمیت متابولیکی Na^+ به دلیل توانایی رقابت این یون با K^+ در برقراری ارتباط این یون با جایگاه فعال آنزیم‌ها است. به همین علت غلظت زیاد Na^+ یا بالا بودن نسبت K^+ به Na^+ ، توان ایجاد اختلال در فعالیت‌های مختلف آنزیمی سیتوپلاسم را دارد (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این سنتز پروتئین وابسته به بالا بودن غلظت K^+ در سیتوزل است، زیرا پروتئین‌سازی زمانی آغاز خواهد شد، که مقدار زیادی از K^+ برای اتصال tRNA به ریبوزوم موجود باشد. علاوه بر این، یون K^+ در فعالیت‌های دیگر ریبوزوم نیز نقش اساسی دارد. بنابراین به نظر می‌رسد اختلال در تولید پروتئین‌ها پس از افزایش غلظت Na^+ ، یکی از مهم‌ترین دلایل بروز خسارت ناشی از Na^+ باشد.

خسارت اسمزی (خروج آب از سلول به دلیل تجمع اسملیت‌ها) می‌تواند به دلیل تجمع بسیار زیاد Na^+ تا میزان صدها میلی مولار در اپوپلاست برگ‌ها باشد. این حالت زمانی رخ می‌دهد، که Na^+ از طریق آوند چوب به درون برگ

وارد شده و پس از تبخیر آب، Na^+ در همان محل باقی بماند. این سازوکار سمیت Na^+ اولین بار توسط اورتیل (۱۹۶۸) بیان شد و بعدها با عکسبرداری توسط اشعه ایکس تایید شد. فلاورز محاسبه نمود، که در تنش شوری متوسط ($\text{EC}=8$) در حدود ۶۰۰ میلی مول Na^+ در اپوپلاست برگ‌های برنج باقی می‌ماند. با این حال، عمومی بودن این فرآیند و اهمیت آن برای همه گیاهان همچنان مورد سؤال است. سمیت درون سلولی Na^+ نوع دیگری از مشکلات اسمزی را ایجاد می‌کند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹). گیاه ملزم است پتانسیل درون سلولی خود را همواره از خاک اطراف خود پائین‌تر نگه دارد، تا بتواند فشار آماس خود را حفظ کرده و آب مورد نیاز خود را از محیط خاکی اطراف ریشه جذب کند. برای این امر نیازمند به تجمع مواد اسمزی در گیاه است. در بیشتر حالات، گیاه تعادل اسمزی خود را هم از طریق جذب املاح مفید از خاک (مانند پتاسیم) و هم از طریق سنتز متابولیت‌ها مکمل (مانند قندهای محلول، پرولین، گلاسین بتایین) در درون سلول‌ها ایجاد می‌کند (خیرخواه، ۱۳۹۰). تنش خشکی ناشی از تنش شوری همواره معمای برای گیاه طرح می‌کند. فراوان‌ترین و ارزان‌ترین یون در خاک‌های شور Na^+ و Cl^- است، اما هر دو این یون‌ها برای سیتوزل سمی هستند. املاح مکمل، سمیتی برای سلول ندارند، ولی تولید و یا جذب هدفمند آن‌ها برای گیاه پرهزینه است. در زمانی که غلظت Na^+ در اپوپلاست برگ‌ها یا واکوئل‌ها بالا است، سلول‌ها با مشکل بزرگ و پیچیده‌ای برای پایین نگهداشتن Na^+ سیتوزولی و احتمالاً نسبت نامناسب و پایین Na^+ به K^+ مواجه هستند. مطالعات مختلف به روش‌های گوناگون نشان داده است، که در بسیاری از گیاهان هر گاه غلظت NaCl در محیط ریشه بین ۲۰۰-۱۰۰ میلی مول باشد، غلظت سیتوزولی Na^+ در حدود ۳۰-۱۰ میلی مول خواهد بود (رحیمی و کافی، ۱۳۸۹).

- سازوکارهای تحمل به شوری

همه ما می‌دانیم، که بعضی از گیاهان نسبت به سایر گیاهان تحمل بیشتری به شوری دارند و از نظر زراعی عملکرد این گیاهان به اندازه سایر گیاهان در تنش شوری مشابه کاهش نمی‌یابد. این توانایی در دو گروه عمده از گیاهان دیده می‌شود (مانگروها و چغندرین که از نظر رده‌بندی گیاهی در گروه‌های کاملاً متفاوت قرار می‌گیرند و به عنوان خانواده‌های مقاوم شناخته شده‌اند). در بین گونه‌های مجاور (از نظر گیاه‌شناسی) و در درون واریته‌های مختلف یک گونه و حتی در درون بوته‌های انفرادی از یک لاین، تفاوت در تحمل به تنش شوری دیده می‌شود (خیرخواه، ۱۳۹۰). بررسی تفاوت‌های گیاهان بسیار نزدیک از نظر خویشاوندی، عملی مطلوب جهت مطالعه سازوکارهای مختلف تحمل به تنش شوری بوده و امکان شناسایی عوامل موثر در ایجاد تحمل به شوری را فراهم می‌آورد. تفاوت موجود در عملکرد گیاهان زراعی به سادگی می‌تواند نشان دهنده قدرت بقاء آن‌ها در شرایط تنش باشد. برای مثال، همبستگی بسیار نزدیکی بین عملکرد گیاه گندم در شرایط نرمال و شرایط شور و همبستگی مشابه‌ای در زراعت برنج گزارش شد. ادعا شده است که اولین گام برای تولید برنج پرمحصول در شرایط تنش شوری، انتخاب پرمحصول‌ترین ارقام در شرایط عادی است. به هر حال، این نوع انتخاب کلاسیک نیز محدودیت خاص خود را دارد. به طور مثال، اگر عملکرد دانه تعداد زیادی از ارقام یک گیاه زراعی در شرایط عادی به حداکثر خود رسیده باشند، همبستگی فوق‌الذکر دیگر وجود نخواهد داشت. در این زمان تنها راه افزایش عملکرد، صرفاً بهبود عملکرد در شرایط تنش خواهد بود. با انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف گندم که بیوماس و سرعت رشد یکسانی در شرایط کنترل شده داشتند، شاختمن و لیو (۱۹۹۹) نشان دادند، که تغییرات رشد برگ در شرایط شور ارتباط مستقیمی با غلظت Na^+ در برگ‌ها داشته و کاملاً مستقل از ویگور گیاه عمل می‌کنند (خیرخواه، ۱۳۹۰). عملاً در دامنه وسیعی از گونه‌های گیاهی دیده شده است، که اکثر گیاهانی که در تنش شوری متوسط دوام آورده و تولید قابل قبول داشته‌اند، توان بالایی در خارج کردن Na^+ از اندام هوایی و یا حداقل از پهنک برگ‌های فعال خود داشته و در عوض سطح K^+ آن‌ها

همواره بالا بوده است. این قاعده به خوبی در گیاهان اصلاح و یا انتخاب شده متحمل به شوری و اجداد وحشی گیاهان زراعی به خوبی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که این همبستگی در غلات (غیر از ذرت) بسیار قوی‌تر از سایر گیاهان باشد. گزارش شده است، که رشد گیاه یا حساسیت توسعه برگ با افزایش ABA (اسید اَبسیزیک) ناشی از تجمع نمک همبستگی بالایی دارد (رحیمی و کافی، ۱۳۸۹).

در میان گرامینه‌ها برنج استثناء دیگری است، به طوری که اگرچه حساسیت ارقام برنج به Na^+ ، همبستگی زیادی به تجمع Na^+ در اندام هوایی دارد، اما خصوصیات انتقال Na^+ تفاوت قابل ملاحظه‌ای با سایر غلات دارد. به طوری که مقادیر بسیار زیادی Na^+ از طریق نشت از میان آندودرم بار دیگر به ریشه باز می‌گردد. گونه‌های دو لپه‌ای تغییرات بیشتری نسبت به تک لپه‌ای‌ها در خصوص پایین نگه داشتن Na^+ در اندام هوایی خود دارند. به طور مثال گونه وحشی متحمل به شوری گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon peruvianum*) در مقایسه با گونه زراعی خود (*L. esculentum*)، مقادیر بسیار بالاتری از Na^+ را در خود انبار می‌نماید. جالب توجه آنکه در آرابیدوپسیس هیچ‌گونه همبستگی بین میزان تجمع سدیم در گیاه و میزان حساسیت آن در تیپ‌های عادی، حساس و موتانت‌های انبار کننده سدیم دیده نشده است. به طور مثال، موتانت‌های حساس این گیاه (sos) در مقایسه با تیپ معمولی هم نمک کمتری در اندام هوایی خود تجمع می‌دهند و هم ورود Na^+ به درون گیاه را با شدت بیشتری محدود می‌کنند (حداقل در زمانی که K^+ محیط ریشه کمتر است). هرچند گیاهان شورپسند دو لپه در گروه گیاهانی قرار می‌گیرند، که Na^+ را در اندام هوایی خود تجمع می‌دهند، با این حال، غیر محتمل است که گیاهان شورپسند، Na^+ را با سرعت بیشتری نسبت به گونه‌های حساس به اندام هوایی خود انتقال دهند. در واقع گیاهان شورپسند در کنترل جذب Na^+ بسیار موفق‌تر از گیاهان حساس عمل کرده و احتمالاً تنها دلیلی که سبب می‌شود، میزان Na^+ در اندام هوایی شورپسندها بیشتر از گلايوفیت‌ها باشد، بیشتر بودن طول مدت بقاء آن‌ها در شرایط تنش شوری است. براساس مقایسه غلظت خارجی (محیط ریشه) و درون آوندی Na^+ ، مونس و همکاران (۱۹۹۹) تخمین زدند، که در شوری ۲۰۰ میلی مول محیط ریشه، در حدود ۹۷ درصد از کل Na^+ موجود در سطح ریشه باید دفع شده باشد. آن‌ها از این نظر تفاوتی بین شورپسندها و گلايوفیت‌ها ندیدند. علاوه بر این تخمین زده می‌شود، که غلظت Na^+ در بافت‌های در حال رشد بسیار کمتر از بافت‌های بالغ است، که خود این امر نشان دهنده ضرورت دور نگهداشتن این یون از فعالیت‌های حیاتی متابولیکی درون سلول‌های فعال و در حال توسعه است. مطالعات انجام شده مؤید این نکته است، که میزان Na^+ در گیاه الزاماً می‌بایست کنترل شود، به طوری که، حتی شورپسندها هم Na^+ را از طریق ترشح دفع می‌کنند (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج بررسی‌های متفاوت نشان داده است، که انتقال Na^+ باید در سطوح مختلف کنترل شود. مثلاً علاوه بر کنترل ورود و حرکت Na^+ در اندام هوایی، Na^+ وارد شده باید بخش‌بندی شده، تا از اثرات کشنده اسمزی و سمیت سلولی آن پرهیز گردد. شواهدی وجود دارد، که نشان می‌دهد تعدادی از شورپسندهای تغییراتی در آنزیم‌های سیتوزولی خود ایجاد کرده است. غالباً این طور تصور می‌شود، که بخش عمده‌ای از Na^+ در اندام هوایی شورپسندها در واکوئل انباشته می‌شود. تفاوت عمده شورپسندهای تک لپه و دو لپه در میزان آب موجود در اندام هوایی است، که ارتباط مستقیمی با حجم واکوئل آن‌ها دارد. دولپه‌ای‌ها ممکن است مقدار بیشتری Na^+ و نسبت K^+ به Na^+ در اندام هوایی خود ذخیره کنند، زیرا آن‌ها مقدار زیادی از Na^+ را در واکوئل ذخیره می‌کنند، بنابراین احتیاج کمتری K^+ برای متابولیسم‌های سیتوزولی خود دارند، درحالی‌که تک‌لپه‌ای‌ها توان کمی برای ذخیره Na^+ داشته و لذا نیازشان به پتاسیم برای ایجاد تعادل اسمزی و متابولیسم‌های سیتوزولی بیشتر است (خیرخواه، ۱۳۹۰). به هر حال عقیده عمومی بر این است، که شورپسندها الزاماً تفاوت ساختاری اساسی با گیاهان حساس ندارند، ولی به طور کلی در استفاده از

سازوکارهای عمومی تحمل کارتر هستند. سازوکارهای کاهش دهنده خسارت ناشی از Na^+ در گیاهان مختلف متفاوت و متعدد است و معمولاً گیاهان متحمل از چندین سازوکار به طور همزمان به گونه‌ای بهره می‌برد، که بتوانند میزان Na^+ را در درون بافت‌های خود مدیریت نمایند (رحیمی و کافی، ۱۳۸۹). به طور مثال گیاهان قادرند:

۱. ورود اولیه Na^+ را به درون ریشه و گیاه را به حداقل برسانند.
۲. خروج Na^+ به گیاه را حداکثر نمایند.
۳. بارگیری Na^+ در آوند چوبی را کاهش داده و یا حداقل بازگرداندن مجدد Na^+ بارگیری شده از آوند چوب به سلول‌های ریشه قبل از رسیدن آن به اندام هوایی، تسریع نمایند.
۴. بارگیری و بازگرداندن مجدد Na^+ اندام هوایی را به آوند آبکش شدت بخشند.
۵. بخش‌بندی درون سلولی و یا ارسال به بافت‌های ویژه درون اندام هوایی (مانند ارسال به برگ‌های پیر و یا سلول‌های پیت (Pit) یا بافت چوب پنبه را انجام دهند.

تستر و داوونپورت (۲۰۰۳) معتقدند، که تحمل به شوری به دو گروه کلی تقسیم می‌شود:

۱. تحمل سلول‌های منفرد به تنش بالای نمک، که توسط بخش‌بندی در درون سلول (قرارگیری در اندامکی همچون واکوئل) و بازسازی خسارت ناشی از آن در درون سلول انجام می‌شود.
۲. تحمل در مقیاس بزرگ‌تر یک سلول منفرد، که به طور مثال توسط کنترل انتقال طولی (از ریشه به اندام هوایی و بالعکس) در گیاه صورت می‌گیرد و یا تولید محل‌ها و اندام‌هایی که Na^+ در آن انباشته گردند.

علاوه بر رفتار عادی هر سلول در زمان بروز تنش (مانند تولید اسموپروتکتانت‌ها) که منتج به تقویت بقاء سلولی و نهایتاً واکنش مطلوب گیاه به تنش شوری می‌گردد، گیاه می‌تواند دارای دامنه وسیعی از سازوکارهای مختلف اختصاصی گروه‌های خاصی از سلول‌ها باشد. این سازوکارها عمدتاً مربوط به کنترل جذب Na^+ و پراکنش آن‌ها در اندام هوایی گیاه است (رحیمی و کافی، ۱۳۸۹). این کنترل‌ها شامل:

- تنظیم انتقال Na^+ به اندام هوایی (یو و فلاورز، ۱۹۸۹؛ رابرت و تیستر، ۱۹۹۵)
- با چرخش سدیم از اندام هوایی به آوند آبکش (فلاورز، ۲۰۰۴)
- تجمع در قسمت خاصی از اندام هوایی مانند برگ‌های پیر (مونس، ۲۰۰۵)
- ترشح به سطح خارجی برگ‌ها (رابین و همکاران، ۲۰۰۳)
- کنترل میزان تبخیر و تعرق (مونس، ۲۰۰۵)

هر کدام از این سازوکارها می‌توانند در گیاه خاصی رخ دهد و یا ترکیبی از آن‌ها سبب بقاء گیاه گردد.

بسیاری از سازوکارهایی که گیاه را قادر می‌سازد، در تنش شوری بالا مقاومت کند، این عمل را با پایین نگه‌داشتن Na^+ در اندام هوایی انجام می‌دهند (راوسن و همکاران، ۱۹۸۸؛ مونس، ۲۰۰۵). این موضوع با شواهدی که بر اساس همبستگی منفی بین میزان Na^+ و بقاء گیاه به دست آمده است، تایید می‌گردد (تستر و داوونپورت، ۲۰۰۳). در بین گروه‌های گونه‌های گیاهی، غالباً واریته‌های متحمل به شوری مقادیر کمتری از شوری را به اندام هوایی خود رسانده و یا حداقل Na^+ کمتری در اندام هوایی خود انباشته می‌نمایند. به هر حال این موضوع در بین همه گونه‌های گیاهی صادق نیست. برای مثال جو و پنبه، گونه‌های زراعی نسبتاً متحملی به شوری هستند و مقادیر نسبتاً بالایی از سدیم را در اندام هوایی خود نسبت به گیاهی مانند گندم انباشته می‌کنند. همزمان با پایین نگه‌داشتن Na^+ در اندام هوایی، گیاهان متحمل، پتانسیم بیشتری در اندام هوایی خود ذخیره می‌کنند. در واقع این امکان وجود دارد، که نسبت K^+ به Na^+ برای پارهای از گونه‌ها از اهمیت بیشتری نسبت به صرفاً پایین‌تر بودن مقدار Na^+ در اندام هوایی برخوردار باشد (مونس و همکاران، ۱۹۸۸؛ رادز و همکاران، ۲۰۰۲؛ تستر و داوونپورت، ۲۰۰۳). این یافته‌ها این موضوع را القاء

می‌کند، که بسیاری از سمیت Na^+ ، حاصل رقابتی است، که بین K^+ و Na^+ برای اتصال به محل اتصال K^+ به آنزیم مربوطه وجود دارد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

- مسیرهای اولیه ورود به ریشه

مشخص شده است، که ورود اولیه Na^+ از محلول خاک به درون سیتوپلاسم سلول‌های کورتکس ریشه، به صورت غیر فعال صورت می‌گیرد (مونس و همکاران، ۱۹۸۶؛ وری و سنتناک، ۲۰۰۳)، که به واسطه تفاوت انرژی موجود در محیط و بر اساس شیب غلظت سدیم و اختلاف ولتاژ الکتروشیمیایی بین ریشه و محیط ریشه اتفاق می‌افتد. میزان خالص Na^+ در گیاه توسط تعادل بین ورود غیرفعال و دفع فعال تعیین می‌شود. پیشنهاد شده است، که خروج Na^+ از محل اولیه ورود آن به ریشه مهم‌ترین سازوکار کاهش خسارت ناشی از تنش شوری، برای تعدادی از گیاهان در خاک‌های شور است (یودا و همکاران، ۲۰۰۴).

ورود اولیه یک‌سویه Na^+ به درون ریشه تا آنجایی که محاسبات نشان می‌دهد، بسیار شدید می‌باشد. به طور مثال، زمانی که Na^+ در محیط خارجی ۵۰۰ میلی مول در لیتر بوده، میزان ورود یک‌سویه بین ۰/۵ تا ۲ میکرو مول بر گرم وزن تازه در دقیقه بوده است. این مقدار در گونه‌های متفاوتی مانند گندم (تستر و داوونپورت، ۲۰۰۳)، برنج (فلاورز، ۲۰۰۴) و آرابیدوپسیس (چن و همکاران، ۲۰۰۲) بسیار بیشتر از مقداری بوده که قبلاً توسط نوکسی و همکاران (۱۹۹۹) و الفیک و همکاران (۲۰۰۱) گزارش شده است. احتمالاً اندازه‌گیری‌ها متأثر از خروج معنی‌دار سدیم پس از ورود اولیه آن بوده است (که می‌تواند ناشی از فاصله طولانی بین نمونه‌گیری‌ها و یا شستشوی طولانی ریشه باشد). داوونپورت و تستر (۲۰۰۳) نشان دادند، که جهت تعیین سرعت ورود Na^+ به درون سلول‌های گیاهان زمانی که از $^{22}\text{Na}^+$ استفاده می‌شود، می‌بایست گیاه را تنها به مدت ۳ دقیقه در معرض تنش شوری قرار داد. در طول این مدت Na^+ نه به درون آپوپلاست بازگشت داده خواهد شد و نه به درون واکوئول فرستاده خواهد شد. به هر حال محاسبات نشان داده است، که سرعت ورود Na^+ بر حسب واحد سطح غشاء پلاسمای ریشه معادل ۱ میکرو مول بر گرم ماده تر در دقیقه است. این ورود سریع و یک‌سویه Na^+ سبب تجمع سریع Na^+ در سلول نمی‌گردد. غلظت Na^+ در ریشه به ندرت در طول زمان ثابت باقی می‌ماند و حتی غلظت نمک در اندام هوایی آهسته‌تر از ریشه افزایش می‌یابد (داوونپورت و تستر، ۲۰۰۳). در مجموع جذب خالص Na^+ بسیار کمتر از آن چیزی است، که به روش تعیین میزان ورود یک‌سویه سدیم نشان‌دار مشخص شده است و نشان دهنده دفع سریع Na^+ از طریق غشاء پلاسمایی ریشه می‌باشد. این دفع از نظر میزان مصرف انرژی باید بسیار پرهزینه باشد. جالب توجه آنکه مطالعات انجام شده بر روی گیاهان شورپسند نشان داده است، که ورود یک‌سویه Na^+ در ریشه این گیاهان به مراتب کمتر از ریشه گلایکوفیت‌هاست. چیزمن و همکاران (۱۹۸۵)، میزان جذب $^{22}\text{Na}^+$ توسط گیاهان شورپسند دولپه‌ای *Spergularia marina* را بررسی نمود. وی دریافت که میزان جذب $^{22}\text{Na}^+$ بین ۴۵ ثانیه و ۲۴۰ دقیقه پس از شروع آزمایش به صورت خطی است و هیچ دفعی صورت نمی‌گیرد. این نتایج نشان می‌دهد، که این گیاه کنترل بسیاری بر ورود Na^+ به درون ریشه خود دارد و به همین دلیل است، که تقلیل میزان تجمع سدیم در این گیاه بدون دفع معنی‌دار آن انجام می‌شود. در محیط ۱۰۰ میلی مولار سدیم، نرخ ورود $^{22}\text{Na}^+$ به این گونه تنها ۰/۲۴ میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه بوده است، در حالی که در همین مدت گندم، ۱/۵ میکرومول بر گرم وزن تر ریشه در دقیقه جذب نمود (تستر و دانپورت، ۲۰۰۳).

تاکنون سه مسیر کلی ورود Na^+ شناسایی شده است، که عبارتند از دو مسیر حد واسط پروتئینی که بر حسب میزان حساسیت به غلظت خارجی Ca^{2+} شناخته می‌شوند و یک راه سوم که به نظر می‌رسد مربوط به نشت (leakage) اپوپلاستی به درون ریشه باشد. نقش نسبی هر یک از این سه سازوکار بسته به گونه و مرحله رشدی گیاه متفاوت

است. هریک از این مسیرها از نظر ساختار ژنتیکی مستقل و قادرند در بیشتر از یک مسیر دخیل باشد. برای مثال داوونپرت و تستر (۲۰۰۲) اظهار داشتند، که حساسیت نسبی به Ca^{2+} یک کانل یونی غیرانتخابی در ریشه‌های گندم، مقدم بودن مسیر کانال‌های ورودی هر دو کانال حساس و غیر حساس به Ca^{2+} را نشان می‌دهد و نشان دهنده وابسته بودن ورود Na^+ به این واسطه‌های پروتئینی است.

مدت طولانی است، که معلوم شده اثر سمی Na^+ را می‌توان با افزودن Ca^{2+} تا حد ۱۰ میلی مول در محلول خارجی اصلاح نمود (تستر و داوونپرت، ۲۰۰۳). گرچه احتمالاً تاثیر Ca^{2+} پیچیده است (زینگ و همکاران، ۲۰۰۴)، حداقل قسمتی از نقش محافظتی این یون در مقابل Na^+ به خاطر محدودیتی است، که در تجمع Na^+ در ریشه و ساقه گیاهان ایجاد کرده و درعین حال سبب تقویت جذب و تجمع K^+ می‌گردد. حداقل قسمتی از این کاهش به دلیل تاثیر جزئی است، که Ca^{2+} بر حرکت یک‌سویه Na^+ به درون ریشه می‌گذارد. در ظاهر رقابتی بین Na^+ و Ca^{2+} برای اتصال به پروتئین‌ها، غشاها و دیواره سلولی وجود دارد و علاوه بر آن انتقال Ca^{2+} و تاثیر تغذیه‌ای آن بر رشد گیاه می‌بایست در نظر گرفته شود (تستر و دالاپون، ۲۰۰۳).

لیندسی و همکاران (۲۰۰۴) اعلام داشتند، که تاثیر غلظت خارجی Ca^{2+} بر انتقال Na^+ و K^+ به دلیل تاثیر آن بر انتقال پیام ناشی از ژن‌های (SOS) می‌باشد، که ژن‌های فوق حساسیت به شوری هستند. بر اساس این مدل، شوری سبب افزایش سیتوزولی Ca^{2+} می‌گردد، که خود سبب فعال شدن ژن SOS_3 یا ژن فوق حساسیت به شوری می‌گردد. ادامه افزایش غلظت سیتوزولی Ca^{2+} به افزایش غلظت برون سلولی وابسته است. امکان دیگری که وجود دارد، این است، که افزایش خارجی سلولی Ca^{2+} میزان ورود Na^+ را به طور مستقیم محدود کرده و همزمان با آن افزایش سیتوزولی Na^+ خود سبب فعال شدن مسیر SOS از طریق ژن SOS_3 (احتمالاً از طریق افزایش Ca^{2+} سیتوزولی) می‌گردد (واتسون و همکاران، ۲۰۰۱).

در گندم، Ca^{2+} محیط ریشه از ورود یک‌سویه Na^+ جلوگیری می‌کند و علاوه بر آن ورود Na^+ از طریق کانال‌های یونی غیرانتخابی را نیز متوقف می‌سازد. این موضوع نشان می‌دهد، که ممکن است تاثیر Ca^{2+} بر ورود Na^+ مستقیم باشد و نیازی به پیام‌های سیتوزولی برای ایجاد تغییر در فعالیت کانال‌های یونی نباشد (مونس، ۲۰۰۵). تاثیر مشابه Mg^{2+} بر ورود Na^+ این موضوع را تقویت می‌کند (تستر و دالاپون، ۲۰۰۳). تحقیقات نشان داده است، که مهم‌ترین مسیر مهم ورود سدیم حساس به Ca^{2+} ، کانال‌های یونی غیرانتخابی هستند (لیزل و همکاران، ۱۹۸۱؛ شن و همکاران، ۱۹۹۷؛ ماسر و همکاران، ۲۰۰۲؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۴). به هر حال، اگرچه تعداد زیادی ژن برای این کانال‌های غیرانتخابی کاتیونی می‌تواند گد گردد، ساختار دقیق ملکولی آن‌ها همچنان نامشخص است (دمیدیک و همکاران، ۲۰۰۲). دو گروه عمده کاندید برای کانال‌های غیرانتخابی عبارتند از، کانال‌های دریچه‌ای چرخشی نوکلئیدی و کانال فرضی فعال شونده با گلوتامات. چنین ژن‌هایی که قادرند کانال‌های کاتیونی غیر انتخابی را گد کنند، قبلاً شناسایی شده است [(CNGCs) روس و همکاران ۲۰۰۱؛ (GLRs) روس و همکاران ۲۰۰۴؛ (GLRs) گو و همکاران، ۲۰۰۴]. ژنی به نام LTC1 در گیاه گندم شناسایی شده است، که پروتئین خاصی را گد می‌کند. هنگامی که این ژن به مخمر منتقل شد، سبب ورود گره وسیعی از کاتیون‌ها به درون سلول‌ها گشت و سبب فوق حساس شدن مخمر به Na^+ گردید (تستر و داوونپرت، ۲۰۰۳). مهم‌تر آنکه افزایش میزان Ca^{2+} و K^+ برون سلولی سبب کاهش ورود Na^+ به درون مخمر گردید. قسمتی از ورود Na^+ غیرحساس به Ca^{2+} مربوط به کانال‌های غیرانتخابی کاتیونی است. قابل توجه است که توقف جریان Na^+ توسط Ca^{2+} از طریق کانال‌های غیرانتخابی کاتیونی با شدت مشابه تاثیر محدودکنندگی Ca^{2+} بر ورود Na^+ عمل می‌کند (تستر و دالاپون، ۲۰۰۳). به هر حال مسیرهای احتمالی دیگری نیز وجود دارد، که عبارتند از گروه ژنی HKT1، KUP و HAK.

سومین مسیر ورود سدیم به درون گیاه، به نظر می‌رسد که از طریق نشت یونی به درون سلول‌های ریشه از طریق اپوپلاست باشد. گزارشات موجود بیانگر تاثیر کم Ca^{2+} بر ورود Na^+ به درون گیاه بوده است (یو و فلاورز، ۱۹۸۶؛ فلاورز، ۲۰۰۴). با استفاده از رنگ‌های فلئورسانس آپوپلاستی، گانژیولا و همکاران (۲۰۰۱) و فلاورز (۲۰۰۴) نشان دادند، که برنج‌هایی که مقدار زیادی Na^+ در اندام هوایی خود دارند، جریان آبی آپوپلاستیک بالاتری نسبت به سایر ارقام دارند. مهم‌ترین تفسیر احتمالی این نتایج این است، که بخش عمده Na^+ که وارد گیاه برنج می‌شود، عمدتاً از طریق غشاءها نیست، بلکه این عمل به خاطر نشتی است، که از آندودرم به آوند چوب انجام می‌شود. این اتفاق می‌تواند در محل انشعاب مریستم نوک ریشه‌ها یا به دلیل نفوذپذیری ذاتی ساختار آندودرم بالغ در این ارقام رخ دهد (تستر و دالایون، ۲۰۰۳). میزان سهم هر یک از این جریان‌های اپوپلاستیک در میزان کل ورودی Na^+ به درون گیاه مشخصاً بین گونه‌های گیاهی متفاوت است. به طور مثال، کارسیا و همکاران (۱۹۹۷) تخمین زدند، که این جریان فرعی در برنج در حدود ده برابر بیشتر از گندم بوده است. تاثیر معنی‌دار احتمالی مسیر اپوپلاستیک Na^+ در کل گیاه از طریق مشاهداتی که در گیاهان شورپسند انجام شده تایید گشته است، زیرا این گیاهان مسیرهای آپوپلاستیک ورود Na^+ به درون ریشه را به حداقل رسانیده‌اند. به طور مثال، حلقه کاسپاری در گیاهان شورپسند، ۲ تا ۳ برابر گیاهان غیرشورپسند است (مونس، ۲۰۰۵). علاوه بر آن لایه داخلی سلول‌های کورتکس می‌تواند به آندودرم ثانویه تمایز یابد (ابه‌به و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین مشخص شده است که در گیاه جوان پنبه، شوری قادر است علاوه بر تسریع در تولید نوار کاسپاری، شکل‌گیری آگزودم (پوست خارجی) را نیز تشدید می‌نماید (هار و همکاران ۱۹۹۸).

میزان انباشت خالص Na^+ در سلول‌های کورتکس بر اساس نسبت میزان ورود Na^+ از طریق کانال‌های یون و میزان خروج احتمالی آن به وسیله $Na^+.H^+$ آنتی پورترها تعیین می‌گردد. کاهش میزان تجمع Na^+ و در نتیجه افزایش تحمل به شوری می‌تواند به دلیل کاهش میزان ورود Na^+ یا افزایش میزان دفع آن باشد. دفع نمک احتمالاً به دلیل فعالیت $Na^+.H^+$ آنتی‌پورتر می‌باشد (مونس، ۲۰۰۵). اگرچه شواهد کافی برای وجود چنین سازوکاری گزارش نشده است (وایت و برادلی، ۲۰۰۱).

میزان حرکت یک‌سویه ورودی سدیم در گلایکوفیت‌ها با افزایش غلظت بیرونی نمک محیط افزایش می‌یابد و ممکن است نه تنها با آن برابر شود، بلکه از آن هم افزون‌تر گردد، که این خود دلالت بر میزان ورود بالای Na^+ به درون گیاه دارد (مونس و همکاران، ۱۹۸۶؛ مونس و همکاران ۱۹۸۸؛ تستر و داوونپورت، ۲۰۰۳). این امر پرسش دو سوال را پیش می‌آورد: چرا میزان ورود یک‌سویه، اینچنین بالا است؟ و چه عاملی تعیین‌کننده‌ی میزان جذب خالص است؟

ورود یک‌سویه از مشخصه‌های گیاهان گلایکوفیت بوده و از طریق سازوکارهایی صورت می‌گیرد، که غیرانتخابی برای سدیم هستند (مونس، ۲۰۰۵) و نشان می‌دهد، که ورود Na^+ یک فرآیند تصادفی است. ناقلین ورودی سدیم به درون گیاه همان‌هایی هستند، که معمولاً عمل جذب کاتیون‌ها (یا املاح کوچک) مانند NH_4^+ (وایت و همکاران، ۲۰۰۱) یا Ca^{2+} (تستر و داوونپورت، ۲۰۰۳) را بر عهده دارند. نقش عادی فیزیولوژیکی این جریان‌های ورودی Na^+ هنوز به طرز عمده‌ای همچنان ناشناخته باقی مانده است و به همین دلیل معلوم نیست که اگر انتخابی بودن و یا فعالیت سازوکارها محدود گردد، آیا بر سایر فعالیت‌های گیاه تاثیر تعیین‌کننده‌ای نخواهد داشت. به نظر می‌رسد که در گلایکوفیت‌ها، میزان Na^+ به مقدار کمتری توسط جذب کنترل می‌شود و دفع سدیم در اولویت قرار داشته و این عمل توسط آنتی‌پورترهای انتخابی Na^+ ، H^+ انجام می‌گردد. سوال جالبی که مطرح می‌شود، این است که چرا ورود Na^+ غیر انتخابی است، ولی خروج آن به نظر می‌رسد، که انتخابی باشد؟ و آیا در گیاهان شورپسند نیز وضع به همین منوال است؟

میزان بالای ورود و خروج Na^+ به ریشه گیاه سوال دیگری را مطرح می‌کند، که چگونه ریشه میزان خالص سدیم را تعیین می‌کند؟ میزان ورود خالص چندان فرآیند ساده‌ای نیست که به وسیله تسریع در خروج بتوان آن را کنترل کند، زیرا شواهدی وجود دارد، که حداقل در ریشه، میزان درون سلولی Na^+ با سازوکار خاصی تحت کنترل است. برای مثال، غلظت Na^+ ریشه به مراتب تغییرات کمتری نسبت به میزان آن در اندام هوایی داشته و تفاوت آن نیز بین گونه‌های مختلف کم است. در حالی که میزان سدیم در اندام هوایی حتی در واریته‌های یک گونه نیز زیاد است (برنج، فلاورز، ۲۰۰۴؛ جو، مونس، ۱۹۸۸؛ مونس، ۱۹۹۳؛ ذرت، گرین وی و جییز، ۲۰۰۳، روبینگ و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر این، در تعدادی از گونه‌ها تحت شرایط آزمایشگاهی، غلظت سدیم رابطه خطی با غلظت خارجی NaCl ندارد و مقدار سدیم در سطح متوسطی از غلظت خارجی NaCl ، اشباع شده و ثابت می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد یک "نقطه تنظیم" در ریشه وجود دارد، که مقدار Na^+ ریشه و احتمالاً جذب خالص آن را تنظیم می‌کند. موضوع اخیر نشان می‌دهد، که سلول‌های ریشه گیاه سطح داخلی Na^+ خود را حس کرده و نقل و انتقال سدیم را کنترل می‌کنند. برخلاف اندام هوایی، ریشه قادر است مقدار Na^+ خود را توسط کنترل میزان ورود و خروج از دو سمت، یعنی هم به خارج از محیط ریشه و هم به آوند چوب، جهت انتقال به اندام هوایی انجام دهد. اگرچه، این امکان وجود دارد، که انتقال به اندام هوایی، صرفاً تأثیر جانبی خودتنظیمی ریشه، جهت حفظ تعادل میزان Na^+ خود باشد. برای مثال در گندم، محدودیت ورود یک‌سویه سدیم با افزودن Ca^{2+} به محیط خارجی تأثیر به مراتب بیشتری بر میزان Na^+ اندام هوایی دارد، تا ریشه (وو و همکاران، ۲۰۰۴). این امر ممکن است به این دلیل باشد که غلظت سدیم در ریشه مستقل از میزان ورود آن کنترل گردد، در حالی که میزان انتقال Na^+ به اندام هوایی، وابسته به میزان خروج سدیم مازاد ریشه است. اگرچه، کاهش ورود Na^+ به درون ریشه‌ها ممکن است تأثیر کمی بر غلظت Na^+ آن در ریشه‌ها داشته باشد، ولی قادر است به طور معنی‌داری میزان تجمع Na^+ در اندام هوایی را کاهش دهد (مونس، ۲۰۰۵). بالابودن میزان ورود و خروج Na^+ نشان می‌دهد، که در صورت بروز تغییرات اندک در این فرآیند تأثیرات شگرفی بر میزان جذب Na^+ خواهد گذاشت. دو گیاه را که میزان ورودی یکسانی دارند را در نظر بگیرید، اما میزان دفع آن‌ها به ترتیب ۹۰٪ و ۹۵٪ میزان ورودی باشد. گیاه اول دو برابر گیاه دوم جذب خالص خواهد داشت. اگرچه گیاهان از نظر میزان انتقال Na^+ تفاوت اندکی داشته ولی غلظت‌های یکسانی از سدیم در ریشه خود خواهند داشت و این در حالی است که تفاوت میزان جذب Na^+ در اندام هوایی بیش از دو برابر خواهد بود. بنابراین، تفاوت بسیار اندک در توان انتقال ممکن است تأثیر شگرفی در تجمع Na^+ در اندام هوایی داشته باشد (تستر و داونپورت، ۲۰۰۳).

جلوگیری از تجمع سدیم در اندام هوایی از طریق پایین نگه‌داشتن سطح Na^+ در آوند چوب، می‌تواند با به حداقل رسانیدن ورود Na^+ به آوند چوبی از سیمپلاست ریشه، یا با به حداکثر رسانی بازگرداندن Na^+ از آوند چوب به آوند آبکش قبل از رسیدن سدیم به بافت‌های حساس اندام هوایی صورت گیرد. معمولاً بافت آوند چوبی، مسیر آپوپلاستی در نظر گرفته می‌شود، ولی باید توجه داشت که در قسمت‌های جوان ریشه، قسمت‌های از آوند چوب زنده است و حرکت می‌تواند در آن سیمپلاستیک در نظر گرفته شود. میزان جابجایی Na^+ در قسمت‌های جوان ریشه جو در غلظت کم سدیم (۰/۲ میلی مول) بیشتر از قسمت‌های دیگر گزارش شده است (استوری و وین جونز، ۱۹۷۸). اطلاعات زیادی درباره زمانی که غلظت سدیم بالا است وجود ندارد، با این حال اگر نقش بافت زنده آوند چوبی زیاد باشد، باید به حرکت سدیم از غشاء سلولی بیشتر توجه شود و به سمتی حرکت کرد که این انتقال کاهش یابد. درعین حال این غشاء باید بین حرکت سدیم و سایر مواد تفاوت قائل شده و قادر باشد تمایز خاصی بین پروسه بارگیری آوند چوب و تخلیه Na^+ در آن ایجاد نماید (مونس، ۲۰۰۲ و مونس، ۲۰۰۵). برای نشان دادن اهمیت وجود

موانع در آوند چوب مطالعاتی بر روی توان دفع نمک یک لاین گندم مقاوم به شوری و ژنوتیپ حاصل از تلاقی آمفی پلوئیدی بین گندم و علف گندم متحمل به شوری، *Lophopyrum elongatum*، انجام شده است. دفع نمک از اندام‌های هوایی این لاین‌ها به دلیل جلوگیری از ورود سدیم به زایلیم از کورتکس ریشه بوده است (گورهام و همکاران، ۱۹۹۰؛ گورهام و وین جونز، ۲۰۰۲). با این حال سازوکارها و نحوه کنترل این امر همچنان ناشناخته باقی مانده است. برای اینکه مشخص شود، که چه پروتئین‌هایی مسئول بارگیری سدیم به درون آوند چوب هستند، دانستن چگونگی حرکت شدید Na^+ به درون آوند چوب مفید خواهد بود. این امکان وجود دارد، که حرکت Na^+ به درون آوند چوب سلول‌های پاراننشیمی استوانه آوندی به صورت فعال انجام شود.

۱-۲-۲-۲. اهمیت استفاده از خویشاوندان وحشی گیاهان

در طول هزاران سال، گیاهانی که به عنوان خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی شناخته شده اند، در معرض تنش‌های زنده و غیره زنده مانند سرما، خشکی، شوری، غرقابی و انواع آفات و بیماری‌ها بوده اند. گونه‌های مقاوم نه تنها خویشاوند وحشی گیاهان زراعی هستند، بلکه در بسیاری موارد حتی اجداد آن‌ها نیز به شمار می‌روند. تلاقی‌های بیشماری در میان گونه‌های مختلف اتفاق افتاده تا گونه‌های زراعی امروزی پدید آمده‌اند و انسان در طی هزاران سال، اقدام به کشت و کار و انتخاب از میان آن‌ها نموده است. همان‌طور که گیاهان وحشی اهلی می‌شدند، توانایی آن‌ها برای تولید بیشتر و یا دانه‌های درشت‌تر تثبیت می‌گردید، اما آن‌ها بخش اعظم و مفیدی از میراث ژنتیکی مقاومت در اجدادشان را از دست دادند (لینسی و همکاران، ۲۰۰۴).

روش‌های اصلاحی و تولید ارقام تجارتي پرمحصول نیز باعث کاهش بنیه ژنتیکی محصولات زراعی گردیده است. کوچکی پایه ژنتیکی ارقام زراعی اصلاح شده باعث آسیب‌پذیری ژنتیکی این ارقام در مقابل تغییرات شرایط محیطی می‌گردد. مسئله بیماری سیب‌زمینی در سال ۱۸۴۶ در ایرلند موجب بروز قحطی در این کشور گردید. شیوع زنگ طوقه در یولاف ویکتوریا در آمریکا در سال ۱۹۴۸، فراگیر شدن بادزدگی برگ ذرت در ذرت‌های دورگ با منشاء سیتوپلاسمی تگزاس در سال ۱۹۷۱، شیوع زنگ برگ سویا در برزیل و برخی مثال‌های دیگر بیانگر آن است، که آسیب‌پذیری ژنتیکی یک مشکل جدی برای ارقام اصلاح شده است (مونس و همکاران ۲۰۰۳). با این حال تا اوایل دهه هشتاد مبنای بخش عمده‌ای از ارقام برنج تولید شده در ایری (IRRI) تنها سیتوپلاسم یک رقم بوده است (وایت و همکاران ۲۰۰۱). این امر در مورد چغندرهای دورگ نیز صادق است (بودا و همکاران ۲۰۰۴). تنوع ژنتیکی در بین ارقام سویا آمریکایی هنوز به گروه کوچکی از اجداد اولیه محدود است (زنگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ حسین و همکاران، ۲۰۰۴). تا سال ۱۹۹۰ در بیش از ۲۵۰ رقم یا لاین امید بخش گندم، از ژنوم نورین ۱۰ استفاده شده بود (مونس و جیمز، ۲۰۰۳). این موضوع حتی در مورد ارقام تولیدشده در برنامه‌های ملی سایر کشورها نیز صادق بود، به طوری که این ژنوم در سابقه ژنتیکی ۷۵٪ واریته‌های چینی (ژو و همکاران، ۲۰۰۴) و آرژانتینی (وری و سنتاناک، ۲۰۰۳) نیز وجود داشت. تنها در سال‌های اخیر به اهمیت توسعه پایه ژنتیکی ارقام توجه بیشتری شده و با استفاده از تلاقی‌های مرکب و کاربرد والدین با سابقه ژنتیکی متنوع و دور از هم، پایه ژنتیکی وسیع‌تری برای ارقام اصلاحی فراهم گردیده است. بدیهی است، که استفاده از تنوع وسیع خویشاوندان وحشی برای این منظور از اهمیت بسزایی برخوردار است. افزایش دائمی جمعیت تقاضا برای تولید غذای بیشتر را تشدید می‌کند و افزایش تقاضا باعث انجام کشت در اراضی حاشیه‌ای می‌گردد. اگرچه معمولاً سعی می‌شود، افزایش تولید از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح و توسعه عمودی حاصل گردد، اما افزایش اراضی قابل کشت و کار نیز نادیده گرفته نمی‌شود، به طوری که، سطح زیر کشت آبی ایران در سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ به ترتیب ۲/۵، ۹/۴، ۷ و ۵/۷ میلیون هکتار بوده است (فائو، ۲۰۰۵). افزایش سطح زیر کشت، با کشت و کار در زمین‌های حاشیه‌ای که دارای خاک با کیفیت

نازل‌تری هستند، مقدور می‌گردد. هم اکنون سطح زیر کشت اراضی به حدود ۱۶/۳ میلیون هکتار می‌رسد، که با احتساب اراضی آیش حدود ۳۰ میلیون هکتار از اراضی به طور بالفعل مورد کشت و کار قرار می‌گیرند، در حالی که کل اراضی قابل استفاده کشاورزی به ۶۰/۳ میلیون هکتار می‌رسد، که این اراضی موطن اصلی خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی هستند، که به شرایط نامساعد محیطی سازگاری نشان می‌دهند. ممکن است در آینده توسعه روش‌های به‌زراعی و اصلاح ارقام متحمل‌تر موجب گسترش سطح زیر کشت در این اراضی شود (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۲-۱-۲. منابع تحمل به شوری در گراس‌ها

یکی از نزدیک‌ترین خویشاوندان وحشی گندم آژیلوپس‌ها هستند. آژیلوپس‌ها، نه تنها خویشاوند بلکه اجداد اولیه گندم نان بوده و گندم زراعی بسیاری از صفات مطلوب خود از قبیل کیفیت نانوایی، تحمل به شوری و تحمل به برخی از آفات و بیماری‌ها را از آن به ارث برده است. شباهت ژنوم آژیلوپس‌ها به گندم به قدری زیاد است، که بسیاری از گونه‌های این جنس به جنس *Triticum* ملحق گردیده‌اند (گرین وی و مونس، ۱۹۸۰). همچنین به نظر می‌رسد صفت تحمل به شوری از یک گونه آژیلوپس به نام *T. tauschii* منشأ گرفته است. جیسچک و همکاران (۱۹۸۶) نیز چندین گونه مختلف آژیلوپس با ژنوم‌های مختلف شامل *Ae. ovata*، *Ae. sharonensis*، *Ae. umbellulata*، *Ae. longissima*، *Ae. bicornis*، *Ae. variabilis* و *Ae. triuncialis* را در محلول غذایی با افزایش گام به گام شوری بررسی کردند. در واکنش آن‌ها به شوری، در بین و داخل گونه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت و نهایتاً گونه‌های دارای ژنوم DD و CD تحمل بیشتری به شوری نشان دادند. تستر و داوینپورت (۲۰۰۳)، در ارزیابی نمونه‌هایی از گونه‌های *Ae. cylindrical*، *Ae. geniculata*، *Ae. tauschii* و دو نمونه گندم هگزاپلوئید *Triticum aestivum* برای تحمل به شوری و خشکی در شرایط آزمایشگاهی، مشاهده کردند، که گونه *Ae. cylindrical*، به شرایط شوری متحمل‌تر بوده و کمبود رطوبت را بهتر از سایر گونه‌ها تحمل می‌کند.

از دیگر خویشاوندان گراس‌های زراعی که صفت تحمل به شوری را نشان می‌دهند و قادر به تلاقی با گندم می‌باشند، گونه‌هایی از جنس *Thinopyrum* و *Agropyron* هستند، که معادل برخی از این گونه‌ها گاهی در جنس‌های *Elymus*، *Elytrigia* و *Triticum* نیز یافت می‌شود. گراهام و همکاران (۱۹۹۰)، گیاه دیپلوئید *Thinopyrum bessarabicum* (*Agropyron junceum*) را به عنوان یک گیاه با تحمل به شوری بالا معرفی کرده‌اند. در حقیقت این خویشاوند وحشی گندم قادر است، تنش شوری نمک کلرید سدیم را تا سطح ۳۵۰ میلی مول در لیتر تحمل نماید. این گیاه به عنوان یک تطبیق دهنده اسمزی تشریح شده است، که قادر است تجمع یون‌های سدیم و کلر را تا حدی که برای تنظیم اسمزی باشد، محدود نماید. جو نیز یکی از گراس‌ها است، که معمولاً تحمل بیشتری به شوری نسبت به گندم نشان می‌دهد و به عنوان یک والد بالقوه برای تحمل به شوری مطرح است. مونس و کرامر (۱۹۹۶)، نحوه تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم در ۴۴ نمونه از سه گونه جو و پنج گونه آژیلوپس در شرایط شوری به همراه صفات مورفولوژیکی و داده‌های ۱۹ ساله اقلیمی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر تجمع کاتیون‌های سدیم و پتاسیم در میان گونه‌ها مختلف جو مشاهده کردند. گونه *Ae. spontaneum* کمترین غلظت یون پتاسیم و گونه *Hordeum murinum* بیشترین مقدار را برای پتاسیم نشان داد. مونس و کرامر (۱۹۹۶)، با توجه به پراکنش وسیع گونه‌های مهم خانواده *Triticeae* در ایران و به ویژه در مناطق با خاک‌های شور، با بررسی داده‌های اقلیمی تنوع صفات مورفولوژیکی و تحمل به شوری در بین و داخل گونه‌ها نتیجه‌گیری کردند، که در حضور انتخاب طبیعی، تنوع قابل توجهی برای تحمل به شوری در خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی ایجاد گردیده است، که می‌تواند برای اصلاح ارقام زراعی متحمل به شوری به کار برده شوند (شینزوکوی و همکاران، ۲۰۰۰).

سوهایدا و همکاران (۱۹۹۲)، گونه وحشی *H. jubatum* که به محیط‌های شور سازگاری بیشتری نشان می‌دهد، را با رقم تجارته‌ی هارینگتون از گونه *H. vulgare* برای تحمل به شوری مقایسه کردند. در واکنش به شوری سطح برگ، رشد ساقه و ریشه و نسبت ریشه به ساقه در گیاهچه‌های رقم هارینگتون نسبت به گونه وحشی *H. jubatum* به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین غلظت یون سدیم در برگ‌ها و ریشه گونه *H. jubatum* کمتر از رقم هارینگتون بود و نسبت $Na^+ \cdot K^+$ در گیاهچه‌های آن پایین‌تر بود. در یک بررسی توسط رایید و اسمیت (۲۰۰۰)، تفاوت‌های تحمل به شوری بین گونه‌های *H. murinum* و *H. maritimum* مطالعه شد. در بررسی آن‌ها بذور گیاهان مختلف در زمان رسیدگی از جمعیت‌های وحشی ایتالیایی در نواحی پراکنش آن‌ها جمع‌آوری گردید و در آزمایشگاه در شرایط شوری متفاوت کشت گردید. *H. maritimum* به عنوان یک شورپسند واقعی و *H. murinum* یک گلاکوفیت ارزیابی گردیدند. *H. maritimum*، در شرایط شور ریشه طویل‌تری در مقایسه با *H. murinum* تولید کرد و همچنین تحمل به شوری بیشتر این گونه با نسبت بالاتر $Na^+ \cdot K^+$ همراه بود، که نشان می‌دهد این گونه قادر است مقادیر بیشتری از سدیم را در مقایسه با پتاسیم در اندام‌های گیاه حتی در زمان وجود تنش شوری ذخیره نماید (رایید و اسمیت، ۲۰۰۰).

گراهام و همکاران (۱۹۹۰)، غلظت یون‌های Na^+ ، K^+ ، Cl^- ، NO_3^- ، PO_4^{2-} و SO_4^{2-} را در جوان‌ترین برگ توسعه یافته از گندم (*T. vulgare* و *Triticum aestivum*)، جو (*H. vulgare* و *H. spontaneum*)، چاودار و *Ae. Squarrosa* را که در محیط غذایی هیدروپونیک حاوی نمک‌های $CaCl_2^{2+}$ ، $NaCl$ کشت شده بودند، اندازه‌گیری کردند. *T. aestivum*، چاودار و *Ae. squarrosa* غلظت پایین سدیم و غلظت بالای پتاسیم که مشخصه تمایز در جذب سدیم و پتاسیم است، را نشان دادند. در تحقیق آن‌ها نمونه‌های گندم دروم و جو این صفت را از خود نشان ندادند، ولی با این حال نمونه‌های جو رشد مطلوبی داشتند، که احتمالاً به علت تسهیم بهتر یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در بافت‌ها و اندام‌های گیاهی بوده است.

آقایی و همکاران (۱۳۸۰)، بیش از ۱۰۰۰ نمونه ایرانی از شش گونه آژیلوپس را در مراحل جوانه‌زنی و پنجه‌دهی برای تحمل به شوری ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده کردند، که نمونه‌هایی از گونه *Ae. triuncialis* متحمل‌ترین نمونه‌ها در شرایط شور بودند، هرچند نمونه‌های *Ae. tauschii* و *Ae. cylindrical* نیز تحمل به شوری را در سطح قابل قبولی نشان دادند. گونه *Ae. triuncialis* دارای بیشترین پراکنش در ایران بوده و تقریباً در تمامی نواحی ایران یافت می‌گردد. همچنین این سه گونه دارای تلاقی‌پذیری بالایی با گندم زراعی بوده، ولی به نسبت بالایی نتاج F1 غیر بارور تولید می‌گردد. عدم وجود نور تقریباً جوانه‌زنی گونه *Triglochin moritima* را متوقف می‌کند (پیت‌من و لوچیلی، ۲۰۰۲)، در حالی که بسیاری از گونه‌ها گیاهی تحت تاثیر نور قرار نمی‌گیرند. موفقیت گیاهان شور دوست در اکوسیستم‌های گرم و خشک در درجه اول وابسته به بهینه بودن شرایط محیطی برای جوانه‌زنی و احیاء گیاهچه‌های جوان پس از دوره تنش است (پیت‌من و لوچیلی، ۲۰۰۲). جوانه‌زنی بذور گیاهان، حتی گیاهان شورپسند بوسیله عواملی مانند آب، دما، نور، مقدار شوری خاک و برهمکنش این عوامل تنظیم می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). با این حال هر گونه گیاهی به شرایط محیطی به شیوه خاص خود واکنش نشان می‌دهد. شورپسندها، از نظر توانایی تحمل به شوری بسیار متفاوتند، و این تفاوت می‌تواند مربوط به تغییرات رژیم دمایی و میزان نور باشد (زانگ و بلوم وارد ۲۰۰۱). ژو و همکاران (۲۰۰۴)، اعلام داشتند که بیشترین جوانه‌زنی بذور گراس‌های شورپسند مربوط به تیمارهای شاهد (آبیاری شده با آب مقطر) بوده است و با افزایش میزان شوری از جوانه‌زنی بذور کاسته شده است، به طوری که فقط یک گونه به نام *Halopyrum mucranatum* قادر بوده است کمی در غلظتی بیش از ۳۰۰ میلی مول در لیتر $NaCl$ جوانه‌زنی داشته باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، بقای بذر در خاک‌های بسیار شور عامل تعیین

کننده استقرار یک گونه گیاهی در مناطق شور است (مونس ۲۰۰۵)، ولی این عامل به تنهایی محدودکننده نحوه پراکنش گونه‌های مقاوم و استقرار آن‌ها در مناطق شور نیست. به طور مثال، پس از رسیدن بذر گیاهان و رفع خواب فیزیولوژیک آن‌ها، بذور توانایی جوانه‌زنی را دارند، ولی عوامل محدود کننده دیگری مانند دمای پایین که علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی مانع جذب آب توسط بذر می‌شود، نیز تاثیرگذار است.

۳-۲-۱-۲. تنش غرقاب یا نقش اکسیژن

به نظر می‌رسد زنده ماندن ریشه‌ها در شرایط کمبود اکسیژن، با توجه به گونه گیاهی، مستلزم چندین مکانیسم می‌باشد. دو مکانیسم متابولیکی مهم در این خصوص وجود دارد. وجود آترانشیم‌ها در گیاهان مناطق مرطوب و مناطق غیرمرطوب، اثر قابل توجهی در مقاومت دراز مدت ریشه‌ها به شرایط بی‌هوایی با حمایت تنفس هوازی ریشه‌ها و رشد گیاه در خاک‌های غرقاب دارد. نقش هورمون‌های گیاهی در مقاومت به غرقاب هنوز روشن نیست. اطلاعات بشر در مورد غرقاب بودن و اثرات آن بر خاک یا نقش اکسیژن به واسطه‌ی مکانیسم‌های به کار گرفته شده در چند سال گذشته با استفاده از روش‌های مولکولی افزایش یافته است، گرچه برخی از آن‌ها جنبه‌های فرضیه‌ای داشته و نیاز به شواهد بیشتری دارد (چن و همکاران، ۲۰۱۰). در آزمایشی اثر پیش‌تیمار غلظت‌های صفر، ۸۰، ۴۰ و ۱۲۰ پی‌پی‌ام محلول نانو نقره و برهمکنش این تیمارها با شرایط تنش غرقابی و عدم تنش غرقابی بر روی ریشه‌های زعفران مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بدون تنش، غلظت‌های ۴۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام نانو نقره تعداد ریشه را افزایش داد، اما طول ریشه با پیش‌تیمارهای آب و نانونقره، ۴۰ پی‌پی‌ام در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایش پیدا کرد. در شرایط تنش غرقابی کاربرد غلظت‌های ۴۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام، اثر تنش را بر تعداد ریشه جبران کرد و کاربرد غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام نه تنها موجب جبران اثر تنش روی طول ریشه شد، بلکه میزان این صفت را به بیشتر از میزان آن در شرایط شاهد بدون تنش افزایش داد. همچنین کلیه پیش‌تیمارها موجب جبران اثر تنش بر وزن خشک و وزن تر ریشه شدند (نسیم رضوانی، ۱۳۹۳).

۴-۲-۱-۲. تنش سرما

اگر چه تنش سرما، به ویژه به شکل یخ‌زدگی در اندام‌های گیاهی، همواره یکی از مشکلات جدی زراعت‌ها و باغ‌ها بوده است، لیکن به نظر می‌رسد، در بخش جنگل‌ها و مراتع از اهمیت کمتری برخوردار باشد، چرا که به ویژه در جنگل‌ها و مراتع طبیعی، سازگاری طبیعی که در طی زمان‌های طولانی صورت گرفته، موجب گردیده که این گیاهان از مقاومت لازم برخوردار باشند (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

در اینجا نیز نانوبیوتکنولوژی با ایجاد و تولید گونه‌ها و ارقام مقاوم به سرما و تنش‌های دمایی پایین، این مشکل را تا حد زیادی کنترل نماید. براساس تحقیقات انجام شده تاکنون هیچ روشی (حتی متدهای پیشرفته‌ی مهندسی ژنتیک) نتوانسته است، به طور همزمان اثرات افزایشنده بر "کیفیت" و "کمیت" بر محصولات کشاورزی داشته باشد. غالباً آنچه که مهم به نظر می‌رسد، دسترسی به ساختارهایی است، که بتواند معضلات کلات‌های موجود (از جمله ساختار هورمونی آن‌ها، محدود بودن قدرت کلات‌کنندگی، محدودیت در نوع استفاده از آن‌ها که یا به صورت محلول پاشی یا مصرف خاکی است) را مرتفع نماید. تکنولوژی نانوکلات توانسته است این معضلات را به طور قابل توجهی حل کند. این بهبود در ساختارها، ناشی از روش بکارگیری مواد و سنتز آن‌ها در تولید این کودهاست. افزایش کمیت، بی‌کیفیتی محصولات کشاورزی را به دنبال داشته است و بالعکس. برتری‌های عملکردی نانوکودهای کلاته که ناشی از تکنولوژی منحصر به فرد به کار رفته در سنتز آن‌ها می‌باشد، موجب شده است، که آرزوی دیرینه‌ی "همزمانی افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی" محقق گردد. بررسی‌های انجام شده در دانشگاه تهران

نشان می‌دهد، که نانو کود کلات آهن خضراء در مقابل تغییر شوری، اسیدیتة و دما نسبت به بهترین کلات آهن سنتتیک موجود در جهان، *EDDHA*، واجد برتری ساختاری و عملکردی است (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

۳. فصل سوم

۳-۱. بررسی نقش نانوذرات بر روی جوانه‌زنی بذر و رشد ارقام زراعی و غیرزراعی

۳-۱-۱. گونه‌های زراعی

۳-۱-۱-۱. گندم

نام فارسی: گندم

نام علمی: *Triticum aestivum*

تیره: *Poaceae*

شرح گیاه: گندم، گل آذین سنبله‌ای دارد. از هر گره آن یک برگ به وجود می‌آید. سنبلچه گندم متشکل از دو گلوم و سه گلچه می‌باشد. گاهی تعداد گلچه‌ها به ۹ هم می‌رسد (شکل ۲۹). دانه گندم بین دو پوشش قاشق مانند به نام‌های پوشک بیرونی (لما) و پوشک درونی (پالئا) قرار گرفته است. برگ‌های گندم مانند برگ‌های سایر غلات (به جز ذرت و ارزن)، نازک و کم عرض بوده و زبانه‌های کوچکی دارند (فغانی، ۱۳۹۶).

- پراکنش جغرافیایی در ایران

خصوصیات خاک: خاک شنی و رسی عمیق با زهکشی خوب، برای رشد گندم مناسب است. اصولاً میزان عملکرد گندم در شرایط دیم (آبیاری با باران)، در خاک‌های ریز بافت بیشتر است (حمزه‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). چون این قبیل خاک‌ها قادرند آب را بهتر و به مدت طولانی‌تر در خود نگهدارند، اما در شرایط آبی (که کشاورز خود گیاه را آبیاری می‌کند)، معمولاً گندم زیاد تحت تأثیر بافت خاک خود قرار نمی‌گیرد. گندم هم مانند سایر گیاهان نمی‌تواند در خاک خشک جوانه بزند. گندم بهاره به دلیل ذخیره شدن رطوبت زمستانی در خاک، همواره رطوبت مورد نیاز خود را دارد، اما رطوبت خاک گندم‌های پاییزه معمولاً فرایند جوانه‌زنی را با مشکل مواجه می‌نماید. اگر برای جوانه‌زنی یا رشد اولیه جوانه، خاک رطوبت کافی نداشته باشد، بذرها ممکن است بیوسند یا در معرض صدمات ناشی از سرما قرار گیرند (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲).

اقلیم: شرایط ایده‌آل برای رشد گندم، آب و هوای خنک در دوره رشد رویشی، آب و هوای معتدل در دوران تشکیل دانه و آب و هوای گرم و خشک در زمان برداشت محصول می‌باشد. بنابراین در مناطقی که زمستان‌های سخت دارند، کشت گندم با مشکلاتی از قبیل سرمازدگی زمستانی مواجه می‌شود. البته باید بدانیم که گندم در برابر خشکی مقاومت چندانی ندارد و نمی‌تواند به مدت طولانی، خشکی و کم آبی را تحمل نماید، اما قادر است خود را با شرایط خشک تا حدی تطبیق داده و با تشکیل یاخته‌های کوچک‌تر که در نهایت سبب تشکیل برگ‌های کوچک شده و در نتیجه روزه‌ها کوچک‌تر می‌شود، سطح تعریق را کاهش دهد و از اثرات سوء کم آبی تا حدی محفوظ بماند (کریمی، ۱۳۸۷).

نحوه کاشت، داشت و برداشت: زمان برداشت گندم تحت تأثیر عواملی از جمله بارندگی، رطوبت نسبی، دمای هوا و همچنین رسیدن دانه قرار می‌گیرد. برداشت گندم در ایران از اوایل بهار (در مناطق گرمسیری) آغاز شده و تا اواخر تابستان (در مناطق سردسیری) ادامه دارد. امروزه در سراسر جهان از وسایل مکانیکی خاصی برای برداشت گندم استفاده می‌نمایند، ولی هنوز هم گندم به طریق سنتی که کند و پر هزینه است، برداشت می‌شود. در روش سنتی، بوته‌های گندم را از فاصله چند سانتی سطح خاک، درو نموده و به صورت دسته‌های کوچک درمی‌آورند. سپس این

دسته‌ها را به خرمنگاه منتقل نموده و طی مراحل خاصی می‌کوبند. زمان صحیح برداشت گندم، وقتی است که رطوبت دانه بین ۱۴ تا ۱۶ درصد باشد (یزدانی، ۱۳۹۶).



شکل ۲۹. گندم (فغانی، ۱۳۹۶)

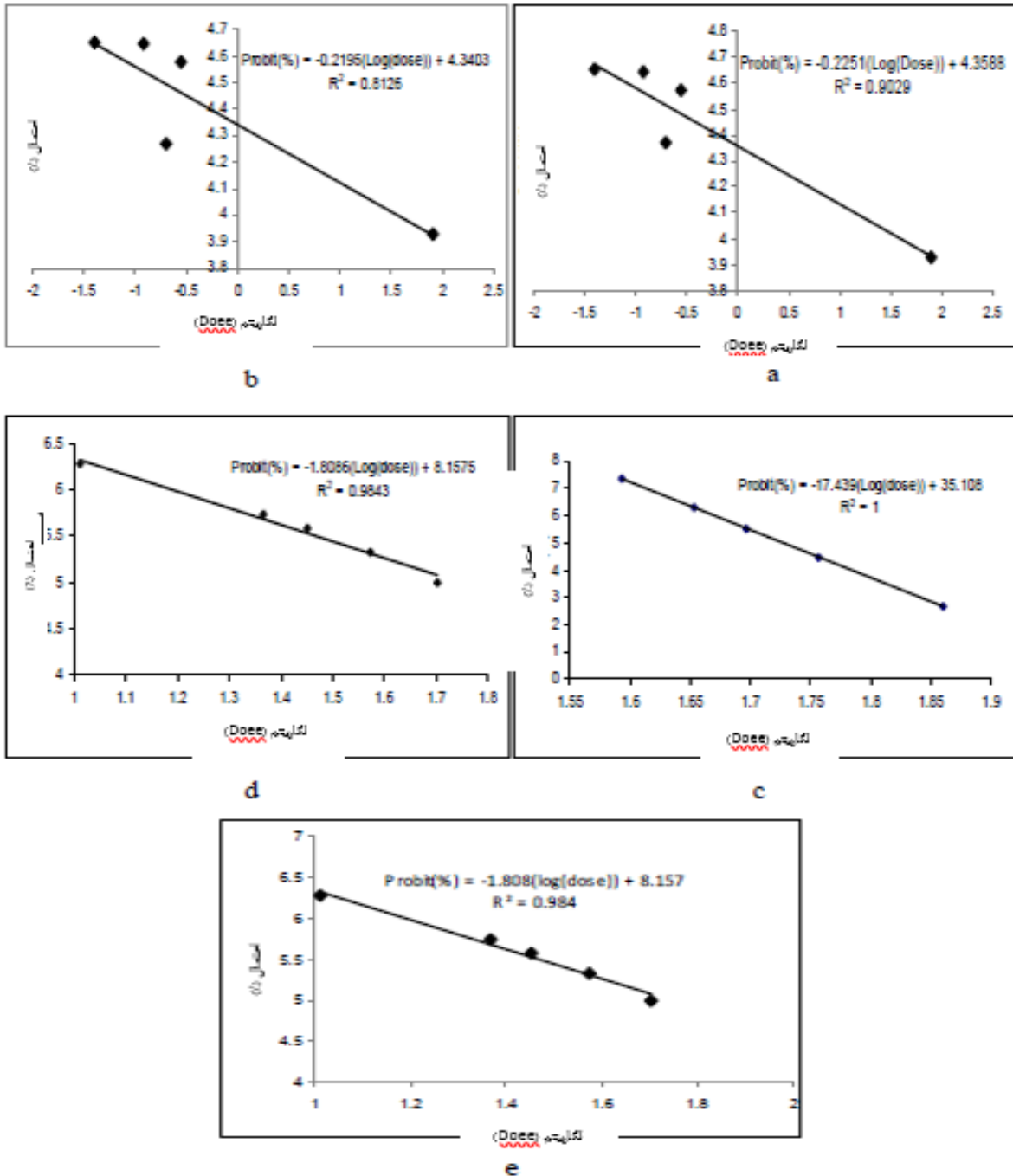
قمری و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر نانوذرات نقره بر فلور قارچی بذور گندم رقم چمران و تعیین غلظت مناسب این ماده بر قارچ‌های بذرزاد" به این نتیجه رسیدند، که بین سطوح مختلف ضدعفونی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از نظر شاخص بیماری وجود داشت. سطح S_1 ، حدود ۵۰ درصد شاخص بیماری را در مقایسه با تیمار هیپوکلریت سدیم کاهش داد. بیشترین کاهش (حدود ۷۵ درصد) این شاخص در مقایسه با شاهد مربوط به سطح S_5 بود (جدول ۲). متوسط غلظت کشنده نانوذرات نقره بر گونه‌های غالب شامل *Aspergillus sp.*، *Fusarium graminearum*، *Penicillium sp.*، *Torula sp.*، *Alternaria alternaria* به منظور دستیابی به غلظت مناسب جهت کاربرد عملی بر اساس روش فینی محاسبه گردید.

جدول ۲. زیست‌سنجی اثرات نانوذرات نقره بر گونه‌های غالب قارچ‌های بذرزاد

Pathogen	LC ₁₆	LC ₅₀	LC ₈₄	(R ²)
<i>Alternaria alternaria</i>	۹۳۳/۰۹	۰/۰۲	۳۹/۳۸	۰/۸۱
<i>Aspergillus sp.</i>	۹۳۳/۰۹	۰/۰۲	۳۹/۳۸	۰/۹۰
<i>Fusarium graminearum</i>	۶۲۱/۶۸	۱۸۲۶/۱۱	۵۱۳/۷۰	۰/۹۸
<i>Torula sp.</i>	۲۰۲۶/۲۳	۱۸۷۰/۶۰	۱۵۵۵/۹۷	۱/۰۰
<i>Penicillium sp.</i>	۶۲۷۱/۶۸	۱۸۲۶/۱۱	۵۳۱/۷۰	۰/۹۸

(منبع: قمری و همکاران، ۱۳۹۰)

حداکثر غلظت ۵۰ درصد بازدارندگی برای قارچ *Torula sp.* معادل ۱۸۷۵/۶ میلی‌گرم در لیتر و حداقل آن برای قارچ‌های *Aspergillus sp.* و *Alternaria alternaria* معادل ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. با توجه به اینکه قارچ‌های بذرزاد به صورت گروهی بر روی بستر بذری فعال می‌باشند، در نظر گرفتن حداکثر غلظت لازم یعنی معادل ۱۸۷۵/۶ میلی‌گرم در لیتر برای دستیابی به ضدعفونی کاربردی ضروری می‌باشد (قمری و همکاران، ۱۳۹۰) (شکل ۳۰).



شکل ۳۰. منحنی غلظت درصد کشندگی بر اساس روش فیبی جهت محاسبه متوسط غلظت کشندگی نانوذرات نقره در قارچ‌های *Aspergillus sp.* (a) *Alternaria alternaria* (b) *Torula* (c) *Fusarium graminearum* (d) و *Penicilium* (e). (قمی و همکاران، ۱۳۹۰)

فیضی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "واکنش بذر گندم به غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) در مقایسه با ذرات غیرنانو" نشان دادند، که تیمارهای آزمایشی بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذرها تاثیر معنی‌داری نداشتند، اما بر متوسط زمان جوانه‌زنی تاثیر معنی‌داری داشتند. کم‌ترین میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT) به میزان ۰/۸۹ روز در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام نانوذرات TiO_2 و بیش‌ترین آن در تیمار شاهد با ۱/۳۵ روز به دست آمد (جدول ۳). بنابراین غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام نانوذرات TiO_2 غیرنانو، مقدار MGT را نسبت به شاهد ۳۴ درصد کاهش داد در صورتی که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام TiO_2 غیرنانو مقدار MGT را نسبت به شاهد تغییری نداد.

اظهار شده است، که نانوذرات TiO_2 ممکن است، که یون‌های اکسیژن فعال نظیر سوپراکسید و هیدروکسید را تحریک نموده و در نهایت قدرت نفوذپذیری بذر را افزایش و سهولت ورود آب و اکسیژن را به داخل سلول باعث شده، بنابراین متابولیسم و جوانه‌زنی را تشدید نماید. به علاوه ورود نانوذرات TiO_2 به داخل سلول‌ها می‌تواند واکنش‌های اکسیداسیون احیا را از طریق رادیکال یون سوپراکسید در طی جوانه‌زنی در تاریکی ایجاد نماید، که منجر به دفع رادیکال‌های آزاد در بذرهای در حال جوانه‌زنی شود. اکسیژن تولید شده در چنین فرایندی می‌تواند برای تنفس استفاده شود، که جوانه‌زنی را بیشتر تحریک خواهد کرد (ژن و همکاران، ۲۰۰۵).

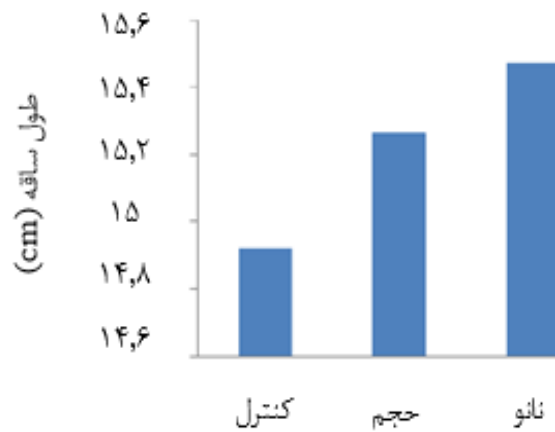
تیمارها اثر معنی‌داری بر طول ریشه ندارند، ولی بر طول ساقه و گیاهچه تاثیر معنی‌داری دارند. کاربرد غلظت‌های ۲ و ۱۰ پی‌پی‌ام نانوذرات TiO_2 طول ساقه را نسبت به شاهد ۸ و نسبت به کاربرد TiO_2 غیرنانو ۱۰/۲ افزایش می‌دهد. همچنین طول گیاهچه در تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام نانوذرات TiO_2 نسبت به شاهد ۷/۳ و نسبت به کاربرد TiO_2 غیرنانو ۷ درصد افزایش می‌یابد، اما افزایش غلظت کاربرد نانوذرات TiO_2 بیشتر از ۱۰ پی‌پی‌ام طول ساقه و گیاهچه گندم را کاهش می‌دهد (شکل ۳۱).

لی و همکاران (۲۰۰۸)، سمیت نانوذرات مس را روی لوبیا و گندم بررسی نمودند و اظهار داشتند، که طول گیاهچه و سرعت رشد هر دو گیاه وقتی در معرض نانوذرات قرار گرفتند، بازداشته شد و این کاهش با افزایش غلظت کاربرد رابطه مثبت داشت. نتایج نشان داد، که غلظت‌های کاربرد TiO_2 اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشتند، ولی بر وزن خشک ساقه و گیاهچه تاثیر معنی‌داری نداشتند. در بین تیمارهای TiO_2 غیرنانو بیشترین وزن خشک ریشه در غلظت ۲ پی‌پی‌ام و در بین تیمارهای نانو بیشترین وزن ریشه در ۵۰۰ پی‌پی‌ام به دست آمد (جدول ۳). به طور کلی، بر اساس نتایج به دست آمده غلظت‌های پایین نانو TiO_2 باعث تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم و غلظت‌های بالا اثر بازدارندگی و یا خنثی بر روی رشد داشتند. از طرف دیگر، تیمارهای نانو نسبت به شاهد و تیمارهای غیر نانو تاثیر بهتری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم داشتند (لی و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۳. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات TiO_2 و ذرات غیرنانو بر صفات مورد ارزیابی بر روی گندم

TiO_2	غلظت (ppm)	کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	طول ریشه (cm)	طول ساقه (cm)	طول نهال (cm)	ماده خشک ریشه (mg)
غیرنانو	۱	۱/۳۴ a	۱۴/۹۲ a	۱۵/۴۹ abc	۳۰/۴۱ abc	۶/۹۳ b
	۲	۱/۱۸ ab	۱۴/۴۴ a	۱۴/۵۳ bc	۲۸/۹۷ bc	۸/۵۶ a
	۱۰	۱/۳۵ a	۱۲/۱۶ a	۱۵/۱۰ abc	۲۸/۲۵ c	۷/۴۱ b
	۱۰۰	۱/۱۳ ab	۱۵/۵۱ a	۱۵/۴۴ abc	۳۰/۹۴ abc	۶/۹۶ b
	۵۰۰	۱/۲۲ ab	۱۵/۵۳ a	۱۵/۷۶ ab	۳۱/۲۹ ab	۷/۶۷ ab
نانو	۱	۱/۲۴ a	۱۵/۴۶ a	۱۵/۵۰ abc	۳۱/۰۵ abc	۶/۹۹ b
	۲	۱/۲۰ ab	۱۶/۰۴ a	۱۶/۰۱ a	۳۲/۰۶ a	۷/۰۱ b
	۱۰	۰/۸۹ b	۱۴/۶۹ a	۱۶/۱۵ a	۳۰/۸۵ abc	۷/۰۰ b
	۱۰۰	۱/۴۲ a	۱۳/۹۴ a	۱۴/۳۵ c	۲۸/۲۹ c	۷/۹۳ ab
	۵۰۰	۱/۲۱ ab	۱۵/۴۵ a	۱۵/۳۷ abc	۳۰/۸۳ abc	۷/۳۹ b
شاهد		۱/۳۵ a	۱۴/۳۵ a	۱۴/۹۲ abc	۲۹/۱۷ bc	۷/۱۶ b

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (لی و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۳۱. طول ساقه گندم در میانگین غلظت های نانوذرات TiO₂ و غیرنانو (لی و همکاران، ۲۰۰۸)

فیضی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی دیگر با عنوان اثر کاربرد نانوذرات نقره، میدان مغناطیسی، باریم و لیتیوم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی های زراعی گندم نشان دادند، که نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد، که تیمارهای آزمایش به طور معنی داری بر عملکرد (جدول ۴). تیمار T₃ با میانگین عملکرد ۴۰۵۹ کیلوگرم در هکتار به طور معنی داری نسبت به بقیه تیمارها بالاترین عملکرد دانه را نشان داد، که این مقدار معادل ۲۹/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد می باشد (جدول ۳). افزایش عملکرد در اثر پیش تیمار بذر با میدان مغناطیسی در گلرنگ توسط فاقنابی و همکاران (۲۰۰۹)، در گندم توسط کورداس (۲۰۰۲)، در لوبیا توسط پولسنی^۱ و همکاران (۲۰۰۴) و در توت فرنگی توسط اسیتکن و توران^۲ (۲۰۰۴) گزارش شده است. صالحی و تمسکنی (۲۰۰۸)، نیز نشان دادند، که تیمار نانوذرات نقره (۵۰ پی پی ام) باعث افزایش درصد جوانه زنی، طول ساقه چه و ریشه چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید (شکل ۳۲). کاربرد ترکیب میدان مغناطیس با عناصر باریم، لیتیوم و روی (T₄) و دو برابر نمودن غلظت تیمار T₃ (T₅) باعث افزایش عملکرد دانه نگردید (جدول ۴). ممکن است کاربرد این عناصر و این تیمارها اثر بازدارندگی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان داشته باشد. آکسیوا و همکاران (۲۰۰۲)، نیز کاهش معنی دار رشد ریشه های گیاهچه گندم را در مجاورت کلرید لیتیوم گزارش نمودند.

جدول ۴. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت	عدد کلروفیل متر
تکرار	۳	۱۵۵۴۱۰/۰۰	۳۴۳۴/۴۰	۴۵/۴۰	۴/۵۰	۹۹۷۴۰۸/۰۰	۵۷۵۱۳۵/۰۰	۳۴/۲۰	۱۶/۹۰
تیمار	۷	۱۲۳۲۲۸/۰۰*	۲۵۰/۸۰ ns	۱۲/۷۰ ns	۸/۶۰ ns	۱۳۸۸۲۶۷/۰۰ ns	۳۶۴۷۴۴۳/۰۰ ns	۶۷/۴۰*	۴/۸۰ ns
خطا	۲۱	۵۰۲۸۰۰/۰۰	۶۰۹/۶۰	۳۷/۹۰	۶/۲۰	۱۴۶۶۸۱۲/۰۰	۲۷۰۷۰۲۲/۰۰	۲۷/۵۰	۸/۶۰

*معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns تفاوت معنی داری ندارند (صالحی و تمسکنی، ۲۰۰۸).

1- Podlesny
2- Esitken and Turan

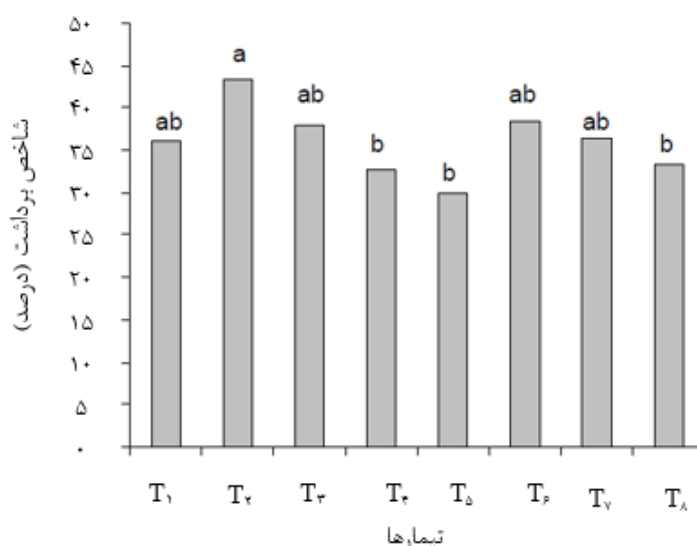
اگر چه همه تیمارها نسبت به شاهد باعث افزایش تعداد سنبله در واحد سطح شدند، اما این تفاوت معنی دار نبود. همچنین اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایش از نظر تعداد دانه در سنبله مشاهده نشد. تیمارهای آزمایش بر صفت عملکرد گاه اثر معنی داری نداشتند (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای کودی بر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و برخی ویژگی های زراعی گندم

تیمار	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد گاه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
T ₁	۹۳۹۶/۰۰ a	۵۹۷۸/۰۰ a	۳۶/۸۱ a	۴۲/۲۸ a	۱۴۱/۰۰ a	۳۴۱۸/۰۰ ab*
T ₂	۸۲۷۵/۰۰ a	۴۷۱۶/۰۰ a	۴۱/۴۲ a	۳۸/۷۰ a	۱۵۸/۵۰ a	۳۵۵۹/۰۰ ab
T ₃	۱۰۶۴۰/۰۰ a	۶۵۸۰/۰۰ a	۴۰/۳۶ a	۳۹/۲۵ a	۱۵۳/۰۰ a	۴۰۵۹/۰۰ a
T ₄	۷۵۸۳/۰۰ a	۵۰۸۲/۰۰ a	۳۸/۹۲ a	۳۸/۳۵ a	۱۵۰/۵۰ a	۲۴۹۵/۰۰ a
T ₅	۸۱۳۲/۰۰ a	۵۶۸۲/۰۰ a	۳۷/۹۷ a	۴۰/۴۷ a	۱۵۲/۰۰ a	۲۴۵۰/۰۰ b
T ₆	۸۸۷۲/۰۰ a	۵۴۷۲/۰۰ a	۳۸/۱۷ a	۳۹/۹۵ a	۱۵۰/۰۰ a	۳۴۰۰/۰۰ ab
T ₇	۸۱۰۵/۰۰ a	۵۲۰۵/۰۰ a	۳۹/۶۸ a	۳۶/۸۸ a	۱۶۲/۰۰ a	۲۹۹۱/۰۰ ab
T ₈	۸۷۷۵/۰۰ a	۵۹۱۶/۰۰ a	۳۸/۷۹ a	۴۱/۶۷ a	۱۳۸/۵۰ a	۲۸۵۹/۰۰ b

*اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری معنی داری نمی باشند (صالحی و تمسکنی، ۲۰۰۸).

بر اساس نتایج حاصله تیمارهایی که کمترین عملکرد دانه را داشتند، کمترین شاخص برداشت را نیز نشان دادند (شکل ۳۲). تیمارهای T₄ و T₅ و شاهد نسبت به بقیه تیمارها کمترین شاخص برداشت را دارا بودند (شکل ۱). بیشترین شاخص برداشت در تیمار T₂ مشاهده شد، که ممکن است به علت عملکرد دانه بالا و داشتن کمترین میزان عملکرد گاه باشد. نتایج آزمایش نشان داد، که تیمارهای آزمایش اثر معنی داری بر ارتفاع نهایی بوته و عدد کلروفیل متر (SPAD) نداشتند. راکوچیو^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، افزایش ۴/۲ درصدی در میزان کلروفیل a را در تیمار ۵۰ میلی تسلا در ذرت نسبت به شاهد گزارش نمودند.



شکل ۳۲. تاثیر تیمارهای آزمایش بر شاخص برداشت گندم (صالحی و تمسکنی، ۲۰۰۸)

قرینه و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی تحت عنوان "اثرات پوشش بذر با نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گندم (*Triticum aestivum* L)" به این نتیجه رسیدند، که اثر این مواد بر جوانه‌زنی و رشد معنی‌دار بوده است. البته غلظت‌های بالای نانوذرات نقره باعث کاهش جوانه‌زنی در رقم چمران شد، اما در مورد رقم وریناک این‌طور نبود.

۲-۱-۱-۳. جو

نام فارسی: جو

نام علمی: *Hordeum vulgare*

تیره: گندمیان *Graminae*

شرح گیاه: ساقه جو مانند دیگر گندمیان، توخالی بوده و ارتفاع آن بر حسب شرایط محیطی، بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر است. این ساقه بین ۵ تا ۱۰ برگ دارد، که به طور متناوب در دو طرف ساقه قرار گرفته‌اند. برگ جو هم مانند دیگر گندمیان، دارای غلاف، پهنک، زبانک و گوشواره است (کریمی، ۱۳۸۷). غلاف علاوه بر انجام فعالیت فتوسنتزی، در استحکام ساقه هم نقش دارد. در امتداد ساقه، محور سنبله قرار دارد. سنبله از مجموع سنبلچه‌ها و هر سنبله از یک گلچه تشکیل یافته است. دانه، داخل گلچه تشکیل می‌گردد. پوشینک‌های داخلی و خارجی گلچه، هنگام رسیدن دانه به آن چسبیده و حتی موقع برداشت هم جدا نمی‌شوند. زمانی که دانه به تدریج رطوبت خود را از دست می‌دهد، حجم آن کم شده و پوشینک داخلی چین می‌خورد. میزان این چین خوردگی، مرغوبیت محصول جو را نشان می‌دهد، بدین ترتیب که هر چه چین‌ها بیشتر باشد، به همان اندازه پوشینک نازک‌تر است و در نتیجه بهتر می‌توان از این نوع دانه جو در صنایع استفاده نمود (چون نرم‌تر است) (یزدانی، ۱۳۹۶).

پراکنش جغرافیایی در ایران: خاستگاه واقعی جو هنوز ناشناخته است. اما بسیاری از محققین، خاستگاه این گیاه را کوه‌های زاگرس در غرب ایران دانستند.

اقلیم: جو یکی از سازگارترین غلات است، که در شرایط آب و هوایی مساعد، در خاک حاصلخیز که قابلیت نگهداری آب در آن زیاد باشد و همچنین در خاک‌هایی که پ.اچ آن‌ها بین ۷ تا ۸ باشد، تولید می‌شود. این گیاه نسبت به گندم در برابر خشکی مقاوم‌تر است و بنابراین در آب و هوایی که آب، سبب محدود کردن تولید غلات می‌شود، جو می‌تواند بیشترین محصول را تولید کند (کریمی، ۱۳۸۷). در شرایط دیم هم عملکرد جو بهتر از گندم و چاودار می‌باشد. تولید جو در همه نوع زمینی با بارندگی سالیانه ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر امکان‌پذیر است. جو نسبت به دمای بالا (بیش از ۳۲ درجه سانتی‌گراد) مقاوم است، اما در شرایط آب و هوای مرطوب، در برابر دمای بالا بسیار حساس است. دانه جو نسبت به گندم برای جوانه‌زدن به رطوبت کمتری نیاز دارد. در مواردی که پس از جوانه‌زدن دانه، گیاه به علت کمبود رطوبت خشک شود، با فراهم شدن شرایط مساعد رطوبتی، گیاه رشد مجدد خود را با شدت بیشتری آغاز می‌نماید. جو از لحاظ مقاومت به سرما، نسبت به گندم در ردیف پایین‌تری قرار می‌گیرد. بنابراین به نظر می‌رسد، که کشت جوی پاییزه در مناطق سردسیر چندان اطمینان‌بخش نباشد. در مقایسه با سایر غلات، جو نسبت به شوری خاک، چه در مرحله جوانه‌زنی و چه در مراحل دیگر مقاوم‌تر است (یزدانی، ۱۳۹۶).

- انواع جو نسبت به دما

در خصوص واکنش به دما، سه نوع جو موجود است: نوع بهاره که به سرما حساس بوده و بنابراین در بهار کاشته می‌شود. نوع پاییزه که در فصل پاییز کاشته می‌شود و تا فرارسیدن فصل بهار، سنبله تولید نمی‌کند. نوع حد واسط که نسبت به سرما مقاومت کمتری داشته و در نقاط نسبتاً گرم‌سیر در هر دو فصل بهار و پاییز کشت می‌شود (شکل ۳۳). جوی بهاره و پاییزه را نمی‌توان همچون گندم بهاره و پاییزه که تفاوت دانه آن‌ها کاملاً مشخص است،

تشخیص داد. جوی پاییزه در بسیاری از نواحی نیمه خشک که بارندگی آنها غالباً در فصول گرم سال (بهار و تابستان) انجام می‌شود، تقریباً ۱۰ تا ۱۴ روز زودتر از گندم پاییزه کاشته می‌شود (کریمی، ۱۳۸۷). جوی بهاره را هم تا آنجا که امکان دارد باید زودتر کاشت. البته جو نسبت به سرمای بهاره (دمای زیر صفر) نسبت به گندم حساس‌تر است. کشت زودتر جوی بهاره سبب می‌شود، که محصول جو قبل از فرارسیدن ایام گرم و خشک، برسد. تأخیر در کشت جو سبب لاغری دانه، عملکرد پایین و غیره می‌شود (فاضل زاده، ۱۳۹۶).



شکل ۳۳. جو زراعی شش ردیفه

- نحوه کاشت، داشت و برداشت

معمولاً جو را هنگامی که رطوبت دانه بین ۳۰ تا ۴۰ درصد باشد، برداشت می‌کنند. در این میزان رطوبت، دانه‌ها چاق‌تر می‌شوند. با توجه به این که میزان رطوبت برای انبار کردن دانه بالاست، باید به طرق مصنوعی دانه را خشک نمود، تا از گرم شدن و فساد بعدی دانه جلوگیری به عمل آید. تکلو و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر نانوذره TiO_2 بر صفات جوانه‌زنی و شاخص‌های سیتوژنتیکی گیاه جو به این نتیجه رسیدند، که مقایسه تیمارهای نانوذره نسبت به شاهد سبب افزایش شاخص انحرافات کروموزومی جو شد، در صورتی که بر سایر شاخص‌های

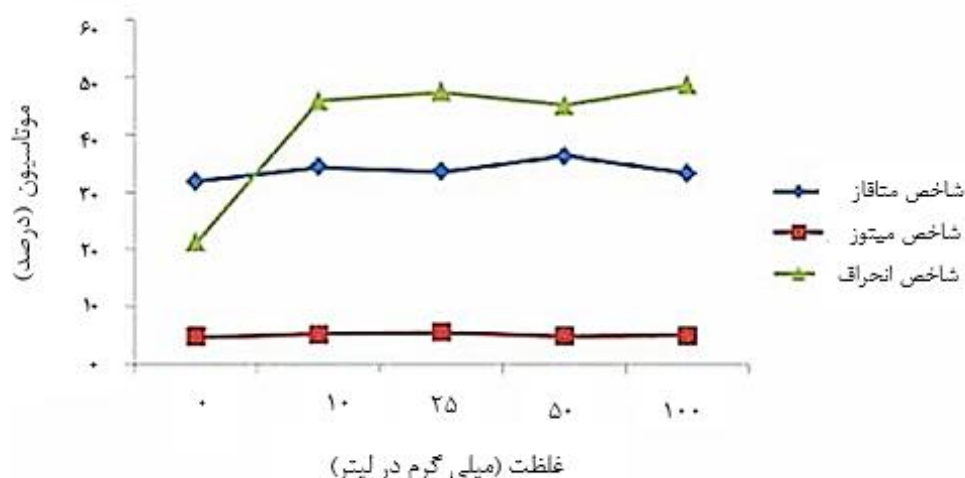
سیتوژنتیکی و صفات جوانه‌زنی تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد نانوذره TiO_2 ، پتانسیل ایجاد خسارت به مواد ژنتیکی یوکاریوتی را دارا بوده و توجه به جنبه‌های ایمنی زیست‌محیطی آن از اهمیت خاصی برخوردار است (شکل ۳۴).

جدول ۶. داده‌ها، میانگین‌ها و انحراف معیار صفات سیتوژنتیکی تحت تیمار غلظت‌های TiO_2

غلظت (پی‌پی‌ام)	شاخص انحراف کروموزومی (%)	شاخص متافازی (%)	شاخص میتوزی (%)	تعداد کل سلول‌ها
۰	۲۱/۲۶±۲/۸۴	۳۱/۷۶±۸/۷۳	۴/۹۶±۰/۳۱	۳۵۴۳۸
۱۰	۴۵/۹۴±۹/۵۹	۳۴/۳۵±۱۱/۰۲	۵/۲۵±۱/۴۹	۲۵۴۷۰
۲۵	۴۷/۳۹±۳/۱۳	۳۳/۵۵±۴/۱۹	۵/۴۶±۰/۷۶	۲۶۴۵۳
۵۰	۴۵/۰۸±۱۳/۵۳	۳۶/۲۲±۱۲/۴۶	۴/۹۴±۱/۹۲	۳۱۸۶۱
۱۰۰	۴۸/۶۷±۱۰/۴۴	۳۳/۱۸±۶/۵۹	۴/۹۹±۰/۹۸	۳۲۸۲۴

منبع: تکلو و همکاران (۱۳۹۲)

تعداد کل سلول‌های شمارش‌شده در هر تیمار که مجموع سلول‌های موجود در میدان دیدهای میکروسکوپی آن تیمار هستند، نسبت به شاهد روند کاهشی داشت. روند نزولی و صعودی شاخص‌ها در شکل ۳۴ نشان داده شده است، به طوری که با افزایش غلظت نانوذره، شاخص‌های میتوزی، متافازی و انحرافات کروموزومی در تیمارهای نانوذره TiO_2 ، نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در اثر افزایش غلظت نانوذره TiO_2 ، تغییرات در نمودارهای شاخص میتوزی و متافازی ناچیز بود، به طوری که اثر تیمار در صفات شاخص میتوزی و متافازی در تجزیه واریانس (جدول ۷) معنی‌دار نشد. این تغییرات در نمودار شاخص انحراف بین غلظت‌های صفر (شاهد) و ۱۰ میلی-گرم در لیتر نانوذره مشهود است، ولی با افزایش غلظت نانوذره TiO_2 ، تغییرات ناچیز شد. تعدیل روند تغییرات با افزایش غلظت نانوذره را می‌توان به خواص نانومواد ارتباط داد، بدین معنی که با افزایش غلظت، نانومواد رسوب کرده و خواص توده‌ای را نشان می‌دهند (تکلو و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۳۴. تغییرات شاخص‌های میتوزی، متافازی و انحرافات کروموزوم در غلظت‌های نانوذره TiO_2 (تکلو و همکاران، ۱۳۹۲)

جدول ۷. تجزیه واریانس صفات شاخص میتوزی، شاخص متافازی و شاخص انحرافات کروموزومی تحت تیمارهای متفاوت TiO₂

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		شاخص میتوزی	شاخص متافازی
بلوک	۲	۵/۶۲*	۲۱۵/۵۸*
تیمار	۴	۰/۲۶ ^{NS}	۳۹۶/۰۷*
خطا	۸	۰/۴۹	۴۶/۶۳
ضرب تغییرات	-	۱۳/۸۰	۱۶/۳۹

NS و * به ترتیب عدم تغییر معنی‌دار و تغییر معنی‌دار در سطح پنج درصد (تکلو و همکاران، ۱۳۹۲)

جدول ۸. میانگین و انحراف معیار صفات جوانه‌زنی تحت تیمار غلظت‌های مختلف نانوذره دی اکسید تیتانیوم

تعداد کل بذور	تعداد بذر جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در ساعت)	سرعت رشد طولی ساقه‌چه (میلی‌متر بر ساعت)	سرعت رشد طولی ریشه‌چه (میلی‌متر بر ساعت)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر ۵۲ ساعت پس از کشت)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر ۸۸ ساعت پس از کشت)	غلظت (میلی‌گرم در لیتر)
۸۰	۱۷/۰۰±۱/۴۰	۰/۳۰±۰/۰۵	۰/۰۶±۰/۰۲	۰/۱۳±۰/۰۲	۸/۳۸±۱/۱۰	۹/۵۸±۱/۳۰	۰
۸۰	۱۶/۵۰±۱/۳۰	۰/۲۸±۰/۰۳	۰/۰۸±۰/۰۲	۰/۱۳±۰/۰۲	۷/۶۵±۱/۳۰	۱۱/۸۰±۳/۴۰	۱۰
۸۰	۱۸/۷۵±۱/۲۰	۰/۳۵±۰/۰۷	۰/۰۶±۰/۰۳	۰/۱۵±۰/۰۲	۸/۶۹±۰/۹۰	۴/۲۰±۷/۵۷	۲۵
۸۰	۱۶/۷۵±۲/۱۰	۰/۲۹±۰/۰۴	۰/۰۷±۰/۰۲	۰/۱۴±۰/۰۳	۸/۵۴±۱/۵۰	۱۱/۶۰±۲/۹۰	۵۰
۸۰	۱۷/۵۰±۱/۰۰	۰/۲۸±۰/۰۶	۰/۰۸±۰/۰۳	۰/۱۲±۰/۰۳	۱/۸۰±۶/۹۸	۹/۴۰±۲/۸۰	۱۰۰

(منبع: تکلو و همکاران، ۱۳۹۲)

میانگین و انحراف معیار صفات مختلف جوانه‌زنی بذر تحت تیمار غلظت‌های مختلف نانوذره TiO₂ در جدول ۸ آمده است. تجزیه واریانس و سپس آزمون T-test این صفات نشان داد، که اختلاف میانگین صفات سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد طولی ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمارهای مختلف نانوذره TiO₂ و شاهد از نظر آماری معنی‌دار نیست، به بیان دیگر نانوذره TiO₂ بر این صفات تاثیر نداشت.

۳-۱-۱-۳. ذرت علوفه‌ای

نام فارسی: ذرت علوفه‌ای

نام علمی: *zea mays*

تیره: *poaceae*

شرح گیاه:

- شکل ظاهری یک بوته ذرت

بوته ذرت شامل قسمت‌های ریشه، ساقه، برگ و گل می‌باشد (شکل ۳۵). ذرت قوی بوده و در سطح خاک گسترش می‌یابد. ساقه آن بندبند و توخالی است و ارتفاع آن به ۲ تا ۳ متر و در بعضی شرایط ممکن است ارتفاع ذرت به ۶ تا ۷ متر هم برسد (یزدانی، ۱۳۹۶). برگ‌های ذرت دراز و کشیده است و به طور متوسط بر روی هر بوته ۱۲ تا ۱۸ برگ وجود دارد. گل‌های ذرت به صورت نر و ماده هستند، که گل‌های نر به شکل خوشه بوده و در انتهای ساقه قرار دارند. گل‌های ماده بر روی ساقه و در کنار برگ‌ها قرار دارند، که وقتی تبدیل به دانه شوند، «بلال» ذرت را به وجود می‌آورند. گل‌های ماده توسط غلامی که به آن پوست بلال می‌گویند، پوشیده شده و در انتهای بلال نیز رشته‌هایی که آن را "کاکل ذرت" می‌نامند، قرار دارد (طوسی، ۱۳۹۵).

- خصوصیات بوتانیکی ذرت

ذرت گیاهی است یک‌ساله، دارای $2n=20$ کروموزوم متعلق به تیره Poaceae از زیرتیره Panicoidea، گروه Maydeae، جنس Zea و گونه Mays، که سه جنس Zea، Tripsacum و Euchlaena بومی آمریکا بوده و پنج جنس Chionachne، Foea، Coix poly، Scherachn، Trilobachne، بومی استرالیا و جنوب شرقی آسیا هستند. برخی گیاه‌شناسان گونه *Euchlaena mexicana teosinte* را در همان جنس ذرت Zea معرفی می‌کنند (فاضل زاده، ۱۳۹۶). جنس‌های Tripsacum و Euchlena، نزدیکترین خویشاوندان ذرت به شمار می‌آیند. ذرت گیاهی است، یک پایه (Monoique-monoecious)، بدین معنی که گل‌های نر و ماده جدا از هم، ولی بر روی یک پایه قرار دارند. گل‌های ماده ذرت از جوانه‌ای که در قاعده غلاف برگ وجود دارد، تولید می‌شود. محور سنبله‌های ذرت بعد از تکامل تبدیل به مغز بلال (چوب محور بلال) شده که بر روی محور بلال سنبلچه‌های متعددی به صورت جفت قرار داشته که هر کدام دارای دو گل مونث می‌باشند. از محل تخمدان میله بلند و باریکی بنام خامه یا سیلک خارج می‌گردد، که در روی آن کلاله ظریف و کرک‌داری وجود دارد (فاضل زاده، ۱۳۹۶). اولین میله بلند از راس پوسته دور بلال خارج و ظاهر می‌گردد. میله خامه در طی مدت زمانی حدود ۵ تا ۱۰ روز تشکیل شده و در تمام طول خود مستقیماً می‌تواند گرده‌های مذکر را بپذیرد (کریمی، ۱۳۸۷). تعداد بلال‌های ذرت و رگه‌های گیاه بسته به واریته‌های مختلف متفاوت بوده و بین یک تا ۱۲ عدد در نوسان است. آلت نر به صورت خوشه و یا خوشه‌های فرعی یا دو سنبلچه بلند و کوتاه به طور منظم در انتهای ساقه اصلی قرار گرفته است. هر سنبلچه دارای دو گل و هر گل دارای سه پرچم است. در گیاه یک پایه ذرت به علت جدا بودن اعضای زایشی گرده‌افشانی به طور غیرمستقیم صورت گرفته و گرده‌های گل به طرق مختلف بر روی اعضای مونث انتقال پیدا کرده، در نتیجه گرده افشانی آزاد و مستقیم کمتر انجام می‌گیرد (از ۱ تا ۱۵ درصد). گرده‌های ذرت تقریباً در تمام ارقام آن از ۱ تا ۵ روز قبل از ظهور سایر اندام‌ها رسیده و گل‌کردن (Protandry) آن نیز چند روز به طول می‌انجامد. بعد از آنکه میله پرچم خارج گردید، از کیسه گرده مقادیر زیادی گرده‌های سبک آزاد می‌شود، که تعداد آن بالغ بر ۵/۲ میلیون عدد است. گرده افشانی غیرمستقیم ذرت عمدتاً بوسیله باد صورت گرفته که گاهی تا چندین کیلومتر گرده‌ها را منتقل می‌نماید (یزدانی، ۱۳۹۶).

گرده‌های منتقل شده بر روی کلاله بلافاصله جوانه زده، اما فقط یک میله گرده بعد از ۲۰ دقیقه به تخمدان می‌رسد. تحت شرایط عادی مدت ۲۴ ساعت زمان لازم است، تا عمل باروری یک بلال به صورت کامل انجام گیرد. هر بلال حاوی ۳۰-۸ ردیف سنبلچه زوج بوده که هر یک دارای چندین گلچه می‌باشد، که تنها یکی از آن‌ها بارور می‌شود. دانه ذرت میوه‌ای است گندمه (Caryopsis) و پوسته آن فقط شامل پوسته میوه (Pericarp) است. ذرات دارای ساقه‌های راست و مستقیم بوده که گاهی طول آن در مناطق خشک به ۸ متر می‌رسد (فاضل‌زاده، ۱۳۹۶). برگ‌های ذرت شبیه سایر غلات پهنک برگ دارای غلاف بوده که ساقه را در آغوش می‌گیرد. طول برگ بین ۳۰ الی ۸۰ سانتی‌متر و گاهی به ۱۵۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد. عرض آن حدود ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت آن ۱۲ میلی‌متر است. ارتفاع بدنه‌های ذرت با نوع گونه ارتباط داشته، به طوریکه ارقام زودرس ۹۰ سانتی‌متر و پاپ‌کورن ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر بلندی دارد. ضخامت ساقه ذرت حدود ۳ سانتی‌متر به طور متوسط ۸ تا ۱۲ میان‌گره داشته، که گاهی به ۱۴ می‌رسد. میان‌گره‌های قاعده ساقه، کوتاه و نسبتاً ضخیم و میان‌گره‌های انتهایی ساقه بلند، ضخیم، توپر و فاصله بین آن‌ها ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر است. ساقه ذرت مثل ساقه سایر غلات بندبند و توخالی بوده و تنها بخش ناچیزی از آن توپر و کاملاً خشبی است. ارتفاع ذرت هیبرید ۱۸۰ تا ۲۲۰ سانتی‌متر است. ارتفاع ارقام کوتاه قد ۶ سانتی‌متر و ارقام بلند قد، ۶۶۰ سانتی‌متر می‌گردد (یزدانی، ۱۳۹۶).

- ریشه

ذرت قدرت پنجه‌زدن نداشته و دارای ریشه‌های قوی نبوده و سطحی است. سیستم ریشه ذرت شامل ۳-۵ ریشه جنینی ثانویه که از اولین گره زیر سطح خاک تشکیل گردیده و دارای ریشه‌های هوایی می‌باشد. ریشه‌های هوایی از گره‌های نزدیک سطح خاک تشکیل شده است، که علاوه بر جذب آب و مواد غذایی باعث مقاومت گیاه نیز می‌گردند. ریشه در گیاهان جوان به سرعت توسعه پیدا می‌کند، به طوری که در گیاهان جوان که هنوز به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر نرسیده‌اند، ممکن است به عمق ۳۰ سانتی‌متری نفوذ کرده باشند. قسمت اعظم ریشه‌های گیاهان کامل در عمق ۷۵-۷۰ سانتی‌متری خاک قرار دارند، ولی گاهی تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری یا بیشتر نیز نفوذ می‌کنند. رشد جانبی ریشه‌ها نیز تا شعاع ۱۰۰ سانتی‌متری صورت می‌گیرد. دانه بدون آب ذرت حدود ۷۷ درصد نشاسته، ۲/۳ نشاسته ذرت معمولاً آمیلوپکتین و ۱/۳ آن آمیلوز ۹ درصد پروتئین (پروپلامین) به خصوص زئین حدود ۴۸ درصد، گلوبولین حدود ۱۴ درصد، گلوتهین حدود ۳۱ درصد، ۵ تا ۷ درصد چربی، ۵ درصد پنتوزان، ۲ درصد قند، ۲ درصد خاکستر دارد. مقدار پروتئین دانه ذرت تابعی از زنوتیپ عوامل محیطی و مدیریت‌های زراعی است (طوسی، ۱۳۹۵).

- طبقه‌بندی ذرت

ذرت را از چندین لحاظ می‌توان تقسیم‌بندی کرد (یزدانی، ۱۳۹۶):

(الف) از لحاظ ارتفاع ساقه: ارتفاع ساقه ذرت ممکن است بین ۶۰ سانتی‌متر تا ۸ متر و تعداد برگ در هر ساقه بین ۸ تا ۴۴ برگ متغیر باشد.

(ب) از روی دوره رشد: دوره رشد بین ۵۰ تا ۳۳۰ روز متغیر بوده و ذرت‌ها را در این ارتباط به سه گروه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌کنند: ارقام زودرس، ارقام متوسط‌رس و ارقام دیررس.

(ج) از روی رنگ دانه: ذرت‌های سفید، ذرت‌های زرد و ذرت‌های الوان

(د) طبقه‌بندی از روی نحوه تولید بذر که شامل:

- واریته‌های ذرت با گرده‌افشانی باز

- واریته‌های ذرت هیبرید

- واریته‌های ذرت کمپوزیت

- واریته‌های ذرت مصنوعی (سنتتیک)

(ر) طبقه‌بندی از روی شکل ظاهری، کیفیت دانه و مواد مصرف آن: ذرت‌ها را بر حسب صفات مشخص آندوسپرم، شکل ظاهری دانه، ترکیبات دانه و موارد مصرف آن در هفت گروه طبقه‌بندی کرده‌اند (یزدانی، ۱۳۹۶):

- ذرت دانه اسبی (Dent corn)

- ذرت بلوری (Flint corn)

- ذرت بوداده (Pop corn)

- ذرت آردی (Flour corn)

- ذرت شیرین (Sweet corn)

- ذرت مومی (Waxy corn)

پراکنش جغرافیایی در ایران: اصفهان، تهران، ایلام، آذربایجان غربی، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، فارس، قم، قزوین، کرمانشاه، گیلان، مرکزی، همدان، یزد.

خصوصیات خاک: زمین‌های با بافت متوسط و pH بین ۶-۷ برای رشد ذرت بسیار مناسب بوده و pH بین ۵/۵-۸ را نیز تحمل می‌کند. ذرت در زمان پنجه‌زنی نسبت به شوری حساس بوده، به طوری که ممکن است درصد جوانه‌زنی را

تهدید نکند، اما زمان آن را به تعویق انداخته و در طول رشد مؤثر واقع شده و میزان تولید را کاهش می‌دهد (کریمی، ۱۳۸۷).



شکل ۳۵. ذرت علوفه‌ای

اقلیم: ذرت بر خلاف غلات (گندم و جو) احتیاج به گرما و حرارت زیاد دارد. مناطقی که دارای تابستان گرم و تابش خورشید کافی و پاییز خشک هستند، بالاترین عملکرد را از نظر تولید دانه خواهند داشت. ذرت بهترین رشد را در درجه حرارت هوای طبیعی ۲۰ تا ۳۰ درجه داشته و در حرارت ۶ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیز جوانه می‌زند. ذرت تحمل درجه حرارت حدود صفر را نداشته و صدمه شدیدی می‌بیند. بعضی از واریته‌های ذرت مانند دندان اسبی در طول مدت ۹۰ روز علوفه تولید می‌کنند، اما در طول دوره رشد و نمو احتیاج به رطوبت داشته و میزان بارندگی ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر با پراکندگی مناسب برای رشد و نمو ذرت مناسب خواهد بود (فاضل زاده، ۱۳۹۶). یک کیلوگرم ماده خشک ذرت در حدود ۳۱۵ تا ۴۱۵ لیتر آب نیاز دارد. ذرت در عرض‌های جغرافیایی مختلف به جز مناطقی که زیاد سرد و دوره رشد و نمو کوتاه است، کشت می‌گردند. ذرت در عرض جغرافیایی ۳۵-۴۰ درجه شمالی به خوبی محصول تولید می‌کند. طبق آزمایش انجام شده در کرج، مدت جوانه‌زدن تا رسیدن ذرت در خصوص ارقام نیمه‌زودرس حدود ۱۲۰ روز با مجموع حرارت ۳۱۲۷ درجه سانتی‌گراد (متوسط درجه حرارت روزانه ۲۵/۴۲ سانتی‌گراد) و ارقام نیمه‌زودرس حدود ۱۳۸ روز با مجموع ۳۷۸۰ درجه سانتی‌گراد (متوسط درجه حرارت روزانه ۲۸/۹۸ سانتی‌گراد) می‌باشد (کریمی، ۱۳۸۷).

نحوه کاشت، داشت و برداشت: بهترین زمان موقعی است، که دانه حالت خمیری داشته باشد، به طوری که با فشار ناخن شیره درون دانه بیرون نریزد. تولید ذرت علوفه‌ای به ۱۰۰ تا ۳۰۰ تن در هکتار می‌رسد. فیضی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با عنوان "تاثیر میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر رشد، عملکرد و کیفیت ذرت سیلویی در مقایسه با کاربرد کودهای پرمصرف و کم مصرف" نتیجه گرفتند، که تیمارهای آزمایش بر اغلب صفات مورد ارزیابی اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۹ و ۱۰). تیمارها شامل نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی به علاوه کود Kerima (T₁)، نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی به علاوه کود Humax (T₂)، نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی (T₃)، کود Kerima (T₄)، کود Librel kerima (T₅)، کود Humax (T₆) و شاهد (T₇) بودند.

جدول ۹. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	درصد ماده خشک	عملکرد علوفه خشک	طول بلال	ارتفاع بوته	وزن تر بلال	درصد برگ	درصد ساقه	درصد بلال
تکرار	۳	۱۱۶/۹	۶/۶	۱۳/۶	۱۴/۴	۹/۹	۱۴۲۸۲/۸	۱۱/۶	۲۴/۲	۶۹/۰
تیمار	۶	۲۰۵/۹**	۴/۵ ^{ns}	۲۵/۱**	۱۳/۱**	۶/۵ ^{ns}	۱۰۶۱۵/۱ ^{ns}	۲۲/۰**	۴۷/۱**	۱۳۰/۲**
خطا	۱۸	۴۵/۵	۱/۸	۳/۷	۱/۴	۳/۱	۱۴۹۱۵/۴	۴/۸	۱۰/۵	۲۴/۲

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک درصد آزمون F می‌باشد (فیضی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تیمارهای آزمایش

تیمار	عملکرد علوفه تر	درصد ماده خشک	عملکرد علوفه خشک	طول بلال	ارتفاع بوته
T ₁	۶۱/۷۰ b*	۲۹/۳۸ a	۱۸/۱۰ b	۱۶/۷۵ ab	۲۵۹/۵۰ a
T ₂	۶۱/۶۲ b	۲۹/۱۹ a	۱۸/۰۸ b	۱۴/۷۴ c	۲۶۰/۹۰ a
T ₃	۷۴/۴۹ a	۲۹/۶۵ a	۲۲/۹۰ a	۱۸/۳۳ a	۲۶۱/۳۰ a
T ₄	۶۴/۷۸ ab	۲۷/۳۲ a	۱۷/۷۹ bc	۱۵/۲۵ bc	۲۵۹/۳۰ a
T ₅	۵۵/۸۵ b	۲۸/۲۳ a	۱۶/۰۳ bc	۱۴/۵۸ cd	۲۵۸/۸۰ a
T ₆	۵۳/۸۶ b	۲۷/۲۶ a	۱۴/۶۹ c	۱۲/۸۳ d	۲۵۹/۳۰ a
T ₇	۵۵/۱۹ b	۲۷/۳۹ a	۱۵/۱۰ bc	۱۴/۰۸ d	۲۵۷/۵۰ a

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۰/۵) معنی‌دار نمی‌باشند (فیضی و همکاران، ۱۳۸۹).

نتایج نشان داد، که بالاترین عملکرد علوفه تر در تیمار میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره (T₃) با ۷۴/۴۹ تن در هکتار است، که نسبت به شاهد ۳۵ درصد افزایش نشان داد. همچنین فیضی و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیقی دو ساله در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تحت عنوان "اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی رشد ذرت"، که تیمارها شامل نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی به علاوه کود Kerima (T₁)، نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی به علاوه کود Humax (T₂)، نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی (T₃)، کود Kerima (T₄)، کود Librel kerima (T₅)، کود Humax (T₆) و شاهد (T₇) بودند، نشان دادند، که عملکرد تر (تازه) در تیمارهای T₃ و T₄ بیشتر بود (به ترتیب ۳۵ و ۱۷/۵ درصد نسبت به شاهد). همچنین در تیمار T₃، عملکرد خشک از بقیه تیمارها بیشتر بود. تیمارهای T₃ و T₄ بیشترین میزان گوشواره‌ها و T₅ و T₇ کمترین را داشتند. چون وضعیت رطوبتی خاک در سال ۲۰۰۸ بهتر از سال ۲۰۰۹ بود، موجب گردید تست تیمارهای ذرت هم بهتر جواب دهد (جدول ۱۱ تا ۱۴).

جدول ۱۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹

نمونه خاک	بافت	EC (dS m ⁻¹)	pH	SP (%)	N (available)	N (total)	P	K	Cu	Mn	Fe	Zn (mg kg ⁻¹)	OC (%)	CaCO ₃ (%)
۲۰۰۸	لومرسی شنی	۱/۱۰	۷/۷۰	۳۱/۵۰	۱۰/۰۰	۸۸۲/۰۰	۵/۰۰	۲۰۰/۰۰	۰/۷۵	۱۳/۳۰	۶/۱۰	۱/۱۰	۰/۷۵	۱۰/۰۰
۲۰۰۹	لوم	۱/۰۹	۸/۷۱	۲۸/۴۰	۱۲/۰۰	۹۲۱/۰۰	۲۰/۵۰	۱۳۳	۱/۱	۱۱/۰۰	۵/۹۰	۱/۵۰	۰/۵۱	۱۰/۰۰

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۲)

جدول ۱۲. آنالیز واریانس عملکرد تر، ماده خشک و عملکرد ماده خشک در ذرت

منبع تغییر	۲۰۰۸				۲۰۰۹			
	درجه آزادی	عملکرد تر (%)	ماده خشک (%)	عملکرد ماده خشک (tons ha ⁻¹)	درجه آزادی	عملکرد تر (%)	ماده خشک (%)	عملکرد ماده خشک (tons ha ⁻¹)
تکرار	۳	۱۱۱۶/۹	۳/۶	۱۳/۶	۳	۱۲۹/۳	۴/۱	۱۶/۶
تیمار	۶	۲۰۵/۹ ^a	۴/۵ ^{ns}	۲۵/۱ ^a	۶	۲۰۹/۸ ^{ns}	۵/۸ ^{ns}	۲۷/۵ ^{ns}
خطا	۱۸	۴۵/۵	۱/۸	۳/۷	۱۸	۵۲/۰	۳/۹	۵/۸

NS و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۲)

جدول ۱۳. اثرات نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی بر روی عملکرد و ماده خشک ذرت

تیمار	۲۰۰۸				۲۰۰۹			
	عملکرد تر (tons ha ⁻¹)	ماده خشک (%)	عملکرد ماده خشک (tons ha ⁻¹)	ارتفاع گیاه (cm)	عملکرد تر (tons ha ⁻¹)	ماده خشک (%)	عملکرد ماده خشک (tons ha ⁻¹)	ارتفاع گیاه (cm)
T ₁	۶۱/۷۰	۲۹/۳۸	۱۸/۱۰	۲۵۹/۵۰	۶۵/۹۰	۳۷/۸۰	۲۵/۰۰	۲۰۶/۹۰
T ₂	۶۱/۶۰	۲۹/۱۹	۱۸/۱۰	۲۶۰/۹۰	۵۸/۳۰	۳۶/۸۰	۲۱/۲۰	۲۰۳/۳۰
T ₃	۷۴/۵۰	۲۹/۶۵	۲۲/۱۰	۲۶۱/۳۰	۶۹/۲۰	۳۶/۰۰	۲۴/۳۰	۲۱۰/۲۰
T ₄	۶۴/۹۰	۲۷/۳۲	۱۷/۸۰	۲۵۹/۳۰	۵۵/۴۰	۳۴/۳۰	۱۸/۹۰	۱۷۱/۱۰
T ₅	۵۵/۹۰	۲۸/۳۳	۱۶/۰۰	۲۵۸/۸۰	۵۷/۲۰	۳۶/۳۰	۲۰/۶۰	۱۸۷/۶۰
T ₆	۵۳/۹۰	۲۷/۲۶	۱۴/۷۰	۲۵۹/۳۰	۶۹/۰۰	۳۵/۵۰	۲۴/۶۰	۱۹۴/۷۰
T ₇	۵۵/۲۰	۲۷/۳۶	۱۵/۱۰	۲۵۷/۵۰	۵۸/۳۰	۳۴/۰۰	۱۹/۸۰	۱۸۵/۷۰
میانگین	۶۱/۱۰	۲۸/۳۵	۱۷/۴۰	۲۵۹/۵۰	۶۱/۹۰	۳۵/۸۰	۲۲/۰۵	۱۹۴/۲۰
LSD	۱۰/۰۲	۱/۹۸	۲/۸۷	۲/۶۲	۱۹/۳۴	۴/۷۰	۷/۰۳	۴۴/۹۴

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۲)

جدول ۱۴. اثرات نانوذرات نقره و میدان مغناطیسی بر روی سهم اجزای گیاه ذرت بر اساس درصد ماده خشک

تیمار	۲۰۰۸			۲۰۰۹		
	میزان برگ (%)	میزان ساقه (%)	میزان گوشواره (%)	میزان برگ (%)	میزان ساقه (%)	میزان گوشواره (%)
T ₁	۲۹/۱۰	۳۸/۹۰	۳۲/۰۰	۲۹/۵۰	۳۴/۴۰	۳۶/۰۰
T ₂	۳۰/۲۰	۴۲/۳۰	۳۷/۵۰	۳۱/۰۰	۳۲/۲۰	۳۵/۸۰
T ₃	۲۷/۶۰	۳۵/۰۹	۳۶/۶۰	۲۹/۳۰	۲۹/۳۰	۴۱/۳۰
T ₄	۳۰/۴۰	۴۱/۰۰	۲۸/۷۰	۳۱/۸۰	۳۴/۴۰	۳۳/۷۰
T ₅	۳۴/۲۰	۴۶/۷۰	۱۹/۱۰	۳۱/۷۰	۳۴/۶۰	۳۳/۶۰
T ₆	۳۱/۹۰	۴۲/۳۰	۲۵/۸۰	۲۹/۹۰	۳۲/۶۰	۳۷/۵۰
T ₇	۳۳/۳۰	۴۳/۳۰	۳۴/۴۰	۳۳/۱۰	۳۴/۴۰	۳۲/۴۰
میانگین	۳۱/۰۰	۴۱/۵۰	۳۰/۴۰	۳۰/۹۰	۳۳/۳۰	۳۵/۸۰
LSD	۳/۰۳	۴/۸۱	۷/۳۱	۶/۹۹	۷/۳۲	۱۲/۷۶

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۲)

شرح گیاه: چغندر گیاهی دو ساله است و چغندر قند کنونی از یک تیپ وحشی حاصل شده است، که در ابتدا درصد قند آن کم و حدود ۵ تا ۶ و حداکثر ۸ درصد بود، که پس از هیبریداسیون های مکرر، مقدار قند ریشه آن به ۱۸ تا ۲۰ درصد افزایش یافته است. این قند به صورت ساکارز می باشد (فاضل زاده، ۱۳۹۶). این گیاه دارای ریشه ای مخروطی شکل است، که طول آن در تیپ های مختلف از ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر تغییر می کند (شکل ۳۶). پوست ریشه به رنگ خاکستری و یا سفید معمولاً زیر و ناصاف است. قسمت داخل آن که گوشت ریشه نام دارد و محل ذخیره قند است، سفید می باشد. تجمع و ذخیره قند در منطقه طوقه و انتهای ریشه کمتر و در بخشی که قطر ریشه بیش از سایر قسمت ها می باشد، مقدار قند بیش از سایر نقاط است (کریمی، ۱۳۸۷). طوقه در این گیاه رشد زیادی ندارد. برگ ها به وسیله دمبرگی از روی طوقه بوجود آمده و قسمت سطح طوقه صاف و سبز رنگ می باشد. طوقه در چغندر های علوفه ای بزرگتر از چغندر های قند و حدود ۷ درصد وزن گیاه را تشکیل داده و به رنگ زرد، قرمز روشن و یا سبز است. برگ های چغندر قند از روی طوقه خارج و به حالت متراکم در سطح طوقه قرار می گیرند (خیامیم و همکاران، ۱۳۸۶). رنگ برگ از سبز روشن تا سبز تیره در نژادهای مختلف تغییر می کند. چغندر در صورتی که به منظور تولید ریشه و تهیه قند کاشته شود، ساقه تولید نمی کند، ولی هرگاه برای تهیه بذر کشت شود، در سال دوم تولید ساقه و گل می نماید. گل ها بر روی محور های فرعی بوجود آمده و به صورت خوشه هایی که اغلب از ۲ تا ۷ عدد می باشد، ظاهر می شوند. گل ها کوچک و کامل بوده و دارای پنج پرچم و یک مادگی کوتاه هستند. پوشش گل به رنگ مایل به سبز است و گل ها پس از عمل لقاح تماماً بارور شده و به میوه تبدیل می گردند (گوهری و کلارستاقی، ۱۳۹۲). گونه *Beta vulgaris* دارای زیر گونه های زیادی است، که مهم ترین آن ها *Acrocarpum Beta*، *Maritima Beta* و *Artiplicifolia Beta* می باشند. این چغندر ها دارای انواع یک ساله و چند ساله بوده است. چغندر های علوفه ای که برای دام ها و همچنین چغندر های خوراکی که در تغذیه انسان به کار می روند، از *Beta vulgaris macrocarpa* و تیپ چغندر قند امروزی از هیبریداسیون که بین *Avmacerocarp. B* و *Maritima. B* به دست آمده اند (کریمی، ۱۳۸۷).

- تیپ های چغندر قند

چغندر قندهایی که در نقاط مختلف جهان کشت می شوند، از نظر وزن و اندازه ریشه و مقدار درصد قند به چند تیپ تقسیم شده است، که عبارتند از (یزدانی، ۱۳۹۶):

۱. تیپ E یا پرمحصول (Ertagreich): این تیپ دارای ریشه های بزرگ و سنگین و با طوقه نسبتاً پهن می باشد و وزن متوسط ریشه آن حدود ۹۰۰ گرم است. مقدار درصد قند حدود ۱۴ تا ۱۵ درصد می باشد. این تیپ دیررس بوده و دوره رشد و نمو آن ها از کاشت تا برداشت حدود ۲۱۰ تا ۲۴۰ روز است.

۲. تیپ N یا معمولی (Nortmalreich): ریشه و طوقه این تیپ کوچکتر و برگ های آن نیز کمتر است و کوچکتر از تیپ E و همچنین محصول ریشه آن کمتر از تیپ E، اما مقدار درصد قند آن بیشتر و حدود ۱۶ درصد است. دوره رشد و نمو آن ها کوتاه تر و حدود ۱۸۰ تا ۲۱۰ روز است. حدود ۵۰ درصد چغندر قندی که در ایران کشت می شود، از این تیپ است، زیرا با شرایط آب و هوای ایران سازگاری دارد.

۳. تیپ Z یا پر قند (Zuckerriech): این تیپ دارای ریشه مخروطی کوچک و باریک و کشیده است. وزن متوسط ریشه آن پس از رشد کامل حدود ۶۰۰ گرم می رسد. مقدار درصد قند ذخیره بیشتر از دو تیپ E و Z و

حدود ۱۷ تا ۱۸ درصد می‌باشد. این تیپ زودرس‌تر از دو تیپ دیگر و دوره رشد آن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز و برای کشت در مناطق گرمسیر مناسب است.

۴. تیپ ZZ یا خیلی پرقند: اندازه ریشه‌های این تیپ کوچکتر از Z و مقدار درصد قند آن زیادتر از تیپ Z است و نسبت به شرایط نامساعد محیط مقاوم‌تر از سایر تیپ‌ها بوده و برای کشت در مناطقی که بهار کوتاه دارند و گرمای تابستان زودتر شروع می‌شود، مناسب است.

۵. تیپ RC از نتیجه تلاقی بین تیپ‌های ZZ و Z به دست آمده است. مشخصات آن شبیه تیپ N، ولی درصد قند ریشه آن بیشتر و در مقابل بیماری سرکوسپوریوز مقاوم می‌باشد.

پراکنش جغرافیایی در ایران: استان آذربایجان غربی و شرقی، اصفهان، ایلام، کرمانشاه، تهران، چهارمحال بختیاری، خراسان، خوزستان، فارس، زنجان، سمنان، کردستان، کرمان، لرستان، مرکزی، همدان.

اقلیم: چغندر قند در مقابل تغییرات محیط سازگاری نسبتاً زیادی دارد و عواملی از قبیل تغییرات حرارت، نور، طول روز و آب در رشد و نمو و مقدار محصول ریشه و درصد قند آن اثر می‌کند. مناسب‌ترین درجه حرارت برای جوانه زدن بذر چغندر قند ۸ درجه و حداقل آن ۴ درجه سانتی‌گراد است. یخبندان در مرحله جوانه‌زدن موجب از بین رفتن جوانه اولیه آن می‌گردد (یزدانی، ۱۳۹۶). در زمان برداشت، دمای ۵- درجه برای ریشه‌ها زیان‌آور است. بنابراین قبل از شروع یخبندان ریشه‌ها را باید برداشت نمود. مناسب‌ترین درجه حرارت برای رشد و نمو چغندر در دوره زندگی ۲۰ تا ۲۸ درجه است، که نسبت به وارسته و عوامل مختلف محیط تغییر می‌نماید. چغندر قند گیاهی روز بلند است و هرگاه طول روز از ۸ به ۱۰ تا ۱۴ ساعت افزایش یابد، وزن ریشه و مقدار درصد قند تولید شده افزایش یافته و ممکن است به دو برابر برسد. لیکن افزایش نور سبب ازدیاد رشد قسمت‌های هوایی مانند برگ‌ها نمی‌گردد. نور در تمام مراحل برای رشد و نمو گیاه ضروری است (کریمی، ۱۳۸۷).

خصوصیات خاک: چغندر قند به علت داشتن ریشه قوی و طویل نیاز به خاکی دارد، که سبک، نرم، عمیق و قابل نفوذ و غنی از نظر مواد غذایی باشد و به طور کلی، چغندر قند در خاک‌های رسی و هوموسی و خاک‌های رسی آهکی و خاک‌های شنی و رسی به خوبی رشد نموده و محصول تولید می‌نماید، لیکن بهترین خاک برای آن خاک‌های لیمونی دشت‌هاست. در زمین‌های سنگین هرگاه کشت چغندر گردد، باید از کودهای دامی و سبزه به مقدار کافی استفاده شود، تا زمین سبک و قابل نفوذ گردیده و حاصلخیزی آن افزایش یابد. pH مناسب برای این گیاه از ۶/۵ تا ۷/۲ و بهترین pH برای آن برابر ۷ است. خاک‌های خیلی اسیدی و آهکی و همچنین خاک‌هایی که در آن‌ها نیتریفیکاسیون به خوبی انجام نشود، برای کشت این گیاه مناسب نیست (فاضل زاده، ۱۳۹۶).

مواد غذایی مورد نیاز گیاه: نیاز گیاه به مواد غذایی در دوره رشد بستگی به جنس و عمق خاک زراعتی، شرایط جوی، تیپ چغندر قند و تناوب دارد. همچنین نیاز آن به عناصر مختلف در تمام دوره زندگی یکسان نیست. در اوایل دوره رشد به ازت و در اواسط به سایر عناصر به خصوص فسفر و پتاس نیاز دارد و استفاده از کود دامی پوسیده برای تقویت زمین لازم و ضروری است و آن را باید همراه شخم پائیزه به مقدار ۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار به طور کاملاً یکنواخت پخش و زیر خاک نمود. استفاده از کودسبز به منظور تقویت زمین چغندر قند بسیار مفید است و باید نباتاتی را که به عنوان کودسبز می‌باشند، در تناوب قبل از چغندر قرار داده آن‌ها را در بهار کاشته و در اواخر تابستان و یا اوایل پائیز قبل از گل‌دادن زیر خاک نمود (یزدانی، ۱۳۹۶).



شکل ۳۶. چغندر قند (بیزدانی، ۱۳۹۶)

البته به طور کلی مقدار مصرف کودهای شیمیایی در زراعت چغندر قند به مقدار آب موجود در منطقه و چگونگی اجرای عملیات زراعتی بستگی دارد. انتخاب بذر جهت کاشت به شرایط زیر بستگی دارد (فاضل زاده، ۱۳۹۶):

- شرایط بذر
- مقاوم در برابر آب و هوای منطقه
- مقدار محصول و درصد قند آن بالا باشد.
- مقاوم در مقابل حمله آفات و بیماری‌ها
- قوه نامیه بذر کافی باشد.
- درجه خلوص بذر
- ضد عفونی بذر
- استفاده از بذر پوشش دار (ابعاد بذر مورد کاشت تماماً یک اندازه باشد).

مقدار محصول چغندر قند در هر هکتار تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط جوی، نوع بذر، تکنیک زراعت، درجه حاصلخیزی زمین، آبیاری و سایر عوامل متفاوت است، اما در شرایط زراعت خوب حدود ۵۰ تن ریشه و ۵ تا ۸ تن شکر در هکتار تولید می‌شود. فیضی و همکاران (۱۳۸۹)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی عملکرد و صفات کیفی ریشه چغندر قند تحت تأثیر میدان مغناطیسی و کاربرد نانو ذرات نقره" نشان دادند، که تیمار میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره (T_3) با میانگین عملکرد ریشه ۶۸/۵۳ تن در هکتار به طور معنی‌داری نسبت به شاهد با عملکرد ۴۷/۶۷ تن در هکتار عملکرد بیشتری را نشان داد، که این مقدار معادل ۴۳ درصد افزایش بود (جدول ۱۵ و ۱۶). واسیلسکی^۱ (۲۰۰۳) اظهار نمود، میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش وزن ریشه چغندر قند به میزان ۹۴ درصد و عملکرد ریشه به میزان ۱۲/۸۸ تن در هکتار نسبت به شاهد شد. همچنین روچالسکا^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه و میزان سبزشدن بذرهای چغندر قند را به ویژه در بذرهای با بنیه ضعیف‌تر در اثر تیمار مغناطیس مشاهده نمودند.

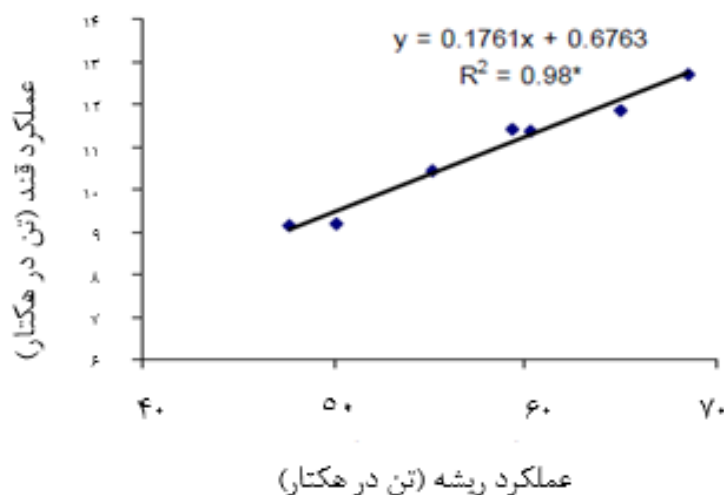
1- Vasilevski
2- Rochalska

جدول ۱۵. تأثیر تیمارهای آزمایش بر عیار قند و صفات کمی چغندر قند

تیمار	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	عملکرد تر اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار)	عیار قند (%)	عملکرد قند خالص (تن در هکتار)
T ₁	۵۹/۳۳ ab*	۱۵۴۷۰/۰۰ b	۲۱/۰۵ a	۱۱/۴۴ ab
T ₂	۶۰/۲۷ ab	۱۶۲۷۰/۰۰ b	۲۱/۰۸ a	۱۱/۳۹ ab
T ₃	۶۸/۵۳ a	۲۶۱۳۰/۰۰ a	۲۰/۸۰ a	۱۲/۷۱ a
T ₄	۵۰/۱۳ ab	۱۲۶۷۰/۰۰ b	۲۰/۲۵ a	۹/۲۲ b
T ₅	۶۴/۹۳ ab	۱۷۰۷۰/۰۰ b	۲۰/۶۵ a	۱۱/۸۸ ab
T ₆	۵۵/۲۰ ab	۱۴۴۰۰/۰۰ b	۲۰/۸۲ a	۱۰/۴۳ ab
T ₇	۴۷/۶۷ b	۱۲۹۳۰/۰۰ b	۲۱/۰۲ a	۹/۱۵ b

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$) (فیضی و همکاران، ۱۳۸۹).

واسیلسکی (۲۰۰۳)، نیز نشان داد، که میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش درصد قند به میزان ۰/۷ درصد می‌گردد. میدان مغناطیسی، افزایش رشد را به دلیل اثر مثبت بر عناصر اصلی گیاه نظیر کلسیم و منیزیم در پی دارد. بنابراین ممکن است کاربرد میدان مغناطیس و نانوذرات نقره باعث افزایش جذب و هدایت عناصر غذایی در گیاه شده و تحریک رشد رویشی را افزایش دهد، که این امر می‌تواند باعث عدم افزایش عیار قند ریشه گردد. به نظر می‌رسد تغییرات عملکرد ریشه نسبت به درصد قند خالص تأثیر بیشتری بر عملکرد قند داشته باشد. بنابراین انتظار می‌رود، هر تیماری که بر میزان عملکرد ریشه بیشتر تأثیر داشته است، عملکرد قند را نیز بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. نتایج نشان داد، که رابطه مثبتی بین عملکرد ریشه با عملکرد قند چغندر قند وجود دارد، به طوری که با افزایش هر تن عملکرد ریشه در هکتار، عملکرد قند خالص ۱۷۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ۳۷).



شکل ۳۷. رابطه بین عملکرد ریشه چغندر با عملکرد قند خالص

جدول ۱۶. تأثیر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات کیفی ریشه چغندر قند

تیمار	پتاسیم (%)	سدیم (%)	نیتروژن (%)	قلیائیت (%)	قند خالص (%)	راندمان استحصال (%)	قند ملاس (%)
T ₁	۴/۱۴ b	۰/۵۷ a	۳/۰۵ a	۱/۶۲ a	۱۹/۲۷ a	۹۱/۶۵ a	۱/۷۸ a
T ₂	۶/۰۴ a	۰/۶۹ a	۳/۷۰ a	۱/۸۷ a	۱۸/۹۱ a	۸۹/۶۸ a	۲/۷۱ a
T ₃	۵/۳۲ ab	۰/۷۵ a	۳/۹۲ a	۱/۶۰ a	۱۸/۶۵ a	۸۹/۶۲ a	۲/۱۵ a
T ₄	۵/۰۸ ab	۰/۷۹ a	۲/۷۹ a	۲/۱۶ a	۱۸/۴۰ a	۹۰/۸۴ a	۱/۸۵ a
T ₅	۵/۹۰ a	۰/۶۶ a	۳/۷۸ a	۱/۸۲ a	۱۸/۴۸ a	۸۹/۴۳ a	۲/۱۷ a
T ₆	۵/۰۲ ab	۰/۷۰ a	۲/۵۵ a	۲/۴۶ a	۱۹/۰۴ a	۹۱/۴۴ a	۱/۷۸ a
T ₇	۵/۱۰ ab	۰/۵۳ a	۲/۷۶ a	۲/۱۱ a	۱۹/۲۰ a	۹۱/۳۵ a	۱/۸۲ a

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p < 0.05$) (فیضی و همکاران، ۱۳۸۹)

به نظر می‌رسد، که گیاهان در معرض میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره دارای شرایط بهتری جهت جذب و استفاده از عناصر غذایی بوده‌اند، که منجر به افزایش عناصر در ریشه شده است. میدان مغناطیسی ممکن است، باعث تغییرات در سطوح داخل سلول، تراکم یون کلسیم و یون‌های رایج دیگر، سرتاسر غشاء سلولی شده که خود موجب تغییر در فشار اسمزی و قدرت اجزای سلول برای جذب آب و مواد معدنی شوند. هابی^۱ و همکاران (۲۰۰۲)، نشان دادند، که غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، پتاسیم، و روی در برگ خرما افزایش و غلظت فسفر با افزایش شدت و مدت در معرض میدان مغناطیسی کاهش یافت. میدان مغناطیسی پتانسیل افزایش رشد را به دلیل اثر مثبت بر عناصر اصلی گیاه نظیر کلسیم و منیزیم دارد، ولی بارهای الکتریکی منفی در گیاه مانع جذب آنیون‌هایی نظیر فسفر گردید. همچنین میدان مغناطیسی باعث انگیزش متابولیسم سلول و میتوز در سلول‌های مریستمی گیاه می‌شود (خیامیم، ۱۳۸۶).

۵-۱-۱-۳. سیب‌زمینی

نام فارسی: سیب‌زمینی

نام علمی: *Solanum tuberosum*

تیره: *Solanaceae*

شرح گیاه: سیب‌زمینی گیاهی است، از تیره‌ی سیب‌زمینیان، که دارای برگ‌های مرکب و بریده و گل‌های سفید یا بنفش است. میوه‌ی آن کوچک، کروی، قرمز، سته و سمی است، ولی دارای ساقه‌های زیرزمینی خوراکی است، که حاوی اندوخته‌ی نشاسته فراوان است. گل‌های آن پنج قسمتی (۵ گلبرگ بهم چسبیده و ۵ کاسبرگ بهم چسبیده است). تعداد پرچم‌ها نیز ۵ است، که بهم متصل شده و یک لوله‌ی بساکی را ساخته‌اند و مادگی از وسط آن خارج شده است (شکل ۳۸). این گیاه دارای رقم‌های مختلف است، که آن‌ها را به زودرس، دیررس و میانه‌رس تقسیم می‌کند و برحسب استفاده این گیاه به سیب‌زمینی خوراکی، علوفه‌ای و صنعتی (جهت استفاده الکل یا نشاسته و یا قند) تقسیم می‌شود (یزدانی، ۱۳۹۶).

- پراکنش جغرافیایی در ایران: سیب‌زمینی تقریباً در تمام نواحی ایران و تا ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا کشت می‌شود.

- خصوصیات خاک: سیب‌زمینی به بافت خاک، وجود سنگ‌ریزه، خرده سنگ و کلوخه در خاک حساس است. خاک‌های سبک تا متوسط ظرفیت آبگیری کمی دارند، اما بهتر گرم می‌شوند و برداشت محصول در آنها آسان‌تر است.

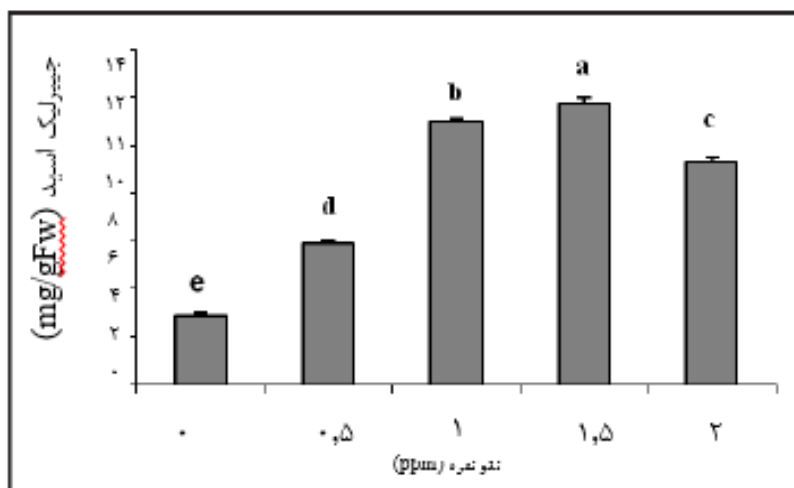
بافت‌های شن‌لومی و لوم‌شنی با ماده آلی ۲ تا ۵ درصد برای سیب‌زمینی ایده آل محسوب می‌شوند، زیرا این خاک‌ها فاقد مشکلات آب‌ایستادگی بوده و توسعه بیماری‌ها در این گونه خاک‌ها کمتر است. در شرایط ایران که ماده آلی خاک‌ها غالباً کمتر از ۱ درصد است، بافت‌های متوسط مانند لومی، لوم‌سیلتی و لوم‌رسی شنی مناسب به نظر می‌رسند. خاک‌های نیمه سنگین و سنگین ظرفیت آبیگری بیشتری دارند، اما کارکردن در آن‌ها مشکل‌تر بوده، به سهولت کلوخه‌ای می‌شوند، به غدد می‌چسبند و مشکلات برداشت و تمیزکردن غدد از خاک در آن‌ها بیشتر است (کریمی، ۱۳۸۷). به طور کلی، با ریزتر شدن بافت خاک، ممکن است به پشته‌های قطورتری برای کاشت نیاز باشد. خاک‌های سنگین مانند رس‌شنی، رس‌سیلتی و رس به دلیل فراوانی رس، تشکیل سله، چسبندگی و کلوخه‌ای شدن مطلوب نیستند. خاک باید عمیق و تا عمق حداقل ۹۰ سانتی‌متری فاقد لایه غیرقابل نفوذ بوده و تا عمق ۳۵ سانتی‌متری به خوبی نفوذپذیر باشد. نیاز سیب‌زمینی به نیتروژن زیاد است، اما فراوانی نیتروژن خاک موجب تحریک رشد هوایی، تأخیر در رسیدگی و کاهش شاخص برداشت می‌شود. سیب‌زمینی از گیاهان حساس به شوری خاک محسوب می‌شود. در خاک‌های شور، رنگ برگ‌ها تیره شده و حاشیه آن‌ها می‌سوزد. سیب‌زمینی به فراوانی بر در خاک حساس است. آستانه تحمل سیب‌زمینی به بر حدود ۱ تا ۲ گرم بر در مترمکعب عصاره اشباع خاک می‌باشد (فاضل زاده، ۱۳۹۶).

- اقلیم: سیب‌زمینی گیاهی سرما دوست و حساس به گرما است، که رشد خوبی در دمای شبانه‌روزی حدود ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارد. شروع رشد جوانه در دمای ۷ تا ۹ درجه سانتی‌گراد به کندی آغاز می‌شود. در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد، حداکثر است و در دمای ۶ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود. دمای مناسب خاک برای شروع غده‌دهی، ۱۶ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با افزایش دمای خاک به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد از سرعت رشد غده کاسته می‌شود و رشد غده در دمای خاک حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر عملاً متوقف می‌شود، زیرا مصرف کربوهیدرات‌ها برای تنفس و رشد رویشی بیش از میزان فتوسنتز است. شب‌های خنک برای تجمع کربوهیدرات‌ها مطلوب بوده، همچنین میزان پوسیدگی ساقه و سوختگی داخل غدد در دماهای بالا افزایش می‌یابد. پوشش کامل خاک توسط اندام‌های هوایی و سطح مناسبی از رطوبت خاک، از افزایش دمای خاک جلوگیری می‌کند. دمای بالا سبب تحریک رشد رویشی یا شاخص برداشت و تولید غدد بزرگ شده و دمای پائین سبب افزایش تعداد غده می‌گردد. دمای بالای خاک همراه با تغییرات رطوبتی خاک و عدم تعادل تغذیه‌ای و یا تراکم خاک سبب رشد ثانویه، پیدایش تکمه و سایر تغییرات شکلی در غدد می‌گردد. عملکرد بالا از سیب‌زمینی بهاره در نواحی حاصل می‌شود، که میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد (یزدانی، ۱۳۹۶).

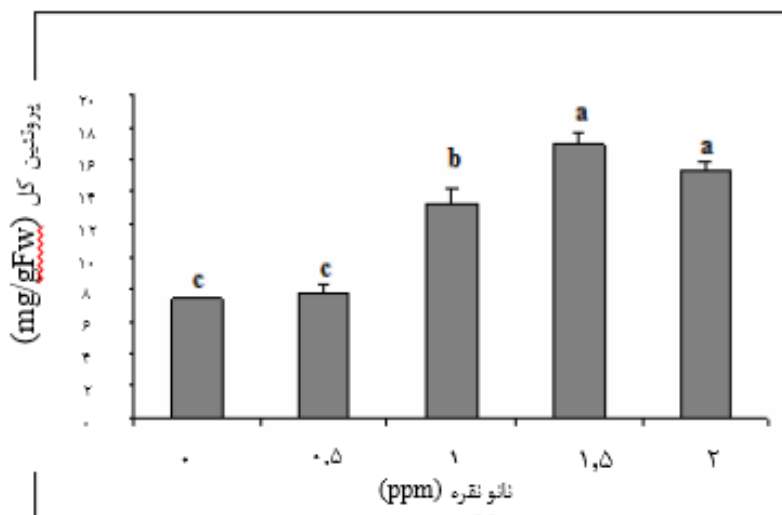


شکل ۳۸. سیب‌زمینی (یزدانی، ۱۳۹۶)

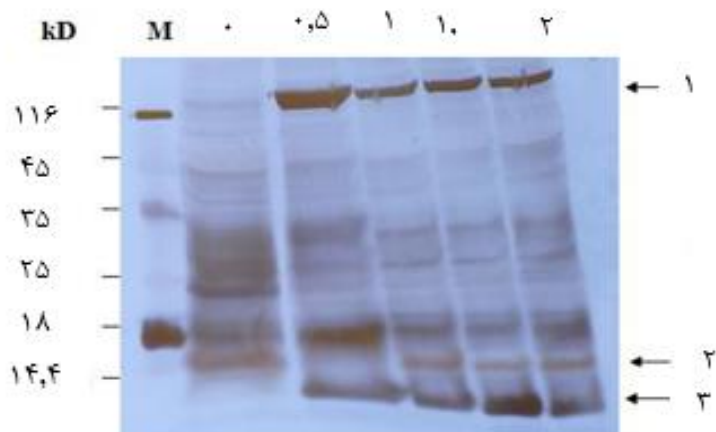
احسان‌پور و نجاتی (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر نانوقره بر میزان کلروفیل، جیبرلیک اسید و الگوی الکتروفورزی پروتئین‌های گیاه سیب‌زمینی رقم White Desiree در شرایط کشت در شیشه نشان داد، که تیمار نانوقره تغییر معناداری در میزان کلروفیل a و b و کل نداشت، اما با افزایش غلظت نانوقره به ۱/۵ ppm و ۲ ppm، میزان جیبرلیک اسید افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. همچنین با افزایش غلظت نانوقره، پروتئین کل نیز افزایش یافت و الگوی الکتروفورزی پروتئین‌ها نسبت به شاهد تغییراتی در ۳ نوار پروتئینی نشان داد (اشکال ۳۹ تا ۴۱).



شکل ۳۹. اثر غلظت‌های مختلف نانوقره بر میزان جیبرلیک اسید. داده‌ها میانگین ۳ تکرار \pm std و حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بر اساس آزمون توکی است (احسان‌پور و نجاتی، ۱۳۹۱).



شکل ۴۰. اثر غلظت‌های مختلف نانوقره بر میزان جیبرلیک اسید برگ. داده‌ها میانگین ۳ تکرار \pm std است. حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بر اساس آزمون توکی است (احسان‌پور و نجاتی، ۱۳۹۱).



شکل ۴۱. تاثیر غلظت‌های مختلف نانونقره بر الگوی الکتروفورزی پروتئینی اندام هوایی (احسانپور و نجاتی، ۱۳۹۱)

۳-۱-۱-۶. گوجه‌فرنگی

نام فارسی: گوجه‌فرنگی

نام علمی: *Solanum lycopersicum*

تیره: *Solanaceae*

شرح گیاه: ریشه آن عمیق و گاهی به طول یک متر می‌رسد. چنانچه نشاء شود تولید ریشه‌های جانبی قوی خواهد نمود. ساقه جوان گوجه‌فرنگی علفی، گرد، صاف، شکننده و کرکدار بوده که در اثر مسن شدن گوشه‌دار، سخت و تقریباً خشبی می‌گردد (رومرو-آراندا^۱ و همکاران ۲۰۰۶). ساقه خزنده و منشعب به طول ۵/۱ متر می‌رسد، ولی بعضی از واریته‌های آن به نام *Validum*، دارای ساقه کوتاه، محکم و ایستاده است و در هوا بدون کمک قیم می‌ایستد (شکل ۴۲). برگ‌های این گیاه متناوب و مرکب می‌باشد، که بزرگی آن‌ها نسبت به واریته‌های مختلف یکسان نیست. رنگ برگ‌ها سبز روشن و پشت آن‌ها معمولاً کرکدار است. گل‌های کوچک گوجه‌فرنگی به صورت خوشه بر روی ساقه بین دو گره ظاهر می‌شود. ۵ گلبرگ زردرنگ به هم پیوسته دارد، که در انتها از هم جدا هستند (کریمی، ۱۳۸۷). گلبرگ‌ها برگشته، پهن و نیزه‌ای شکل می‌باشند. کاسه گل سبزرنگ دارای ۵ کاسبرگ بلند و کشیده یا نیزه‌ای شکل که در ابتدا کوچکتر از گلبرگ‌ها بوده، ولی با رشد میوه بر طول آن افزوده می‌شود. پرچم‌ها ۵ عدد با بساک‌های بزرگ که بر روی میله کوتاهی قرار می‌گیرد. میوه گوجه‌فرنگی، سته و از ۲ تا چند حفره تشکیل شده است. میوه‌ها گوشتی و دارای تعداد زیادی تخم‌های قلبی شکل کوچک می‌باشد. رنگ و شکل میوه، دیر یا زودرس بودن میوه، گوشتی یا آبدار بودن میوه و بالاخره صاف یا چروک بودن میوه در واریته‌های مختلف گوجه‌فرنگی متفاوت است. بذر گوجه‌فرنگی کوچک، سبک، پهن و سفید رنگ است و تا حدود ۴ تا ۵ سال قوه نامیه خود را حفظ می‌کند. تشکیل میوه در بوته گوجه‌فرنگی تابع چند عامل است، که در یکدیگر تاثیر متقابل دارند. این عوامل عبارتند از مواد غذایی، درجه حرارت و طول مدت روز. از طرف دیگر تلقیح در گل‌های گوجه‌فرنگی بسیار دشوار بوده، رطوبت زیاد هوا و یا ریزش آب بر روی گل‌ها در هنگام تلقیح میزان میوه‌دهی را به شدن پایین می‌آورد (فاضل زاده، ۱۳۹۶).

خصوصیات خاک: گوجه‌فرنگی برای گسترش ریشه‌های عمیق و قوی خود احتیاج به زمینی نرم و عمیق دارد. بنابراین گلخانه باید در محلی بنا شود، که دارای خاکی نرم و قوی بوده و در آن زهکشی به خوبی انجام گیرد. از

خاک‌های سرد و مرطوب برای کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه باید بر حذر بود. چنانچه خاک در اثر کشت مجدد مبتلا به آفات و امراض گردد، باید آن را تعویض کرد که بدین منظور خاک‌های زراعتی قوی که قبلاً در آن گوجه‌فرنگی کشت نشده باشد نتیجه خوبی خواهد داشت (الآقاباری^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین می‌توان با ضدعفونی آفات موجود در خاک را از بین برد. گوجه‌فرنگی به خاک‌های قوی و خوب آماده شده، که pH آن ۶/۵ باشد، نیاز دارد. خاک را ابتدا شخم زده بعد از خارج کردن علف‌های هرز مقداری کود حیوانی حدود ۱۰ کیلوگرم در مترمربع و گاهی پیت‌موس به مقدار ۶ کیلوگرم در هر مترمربع به خاک بستر اضافه می‌نمایند. چنانچه مقداری کمپوست به خاک گوجه‌فرنگی اضافه شود، در عملکرد محصول بی‌تاثیر نخواهد بود (کریمی مهربان، ۱۳۹۲).

اقلیم: حرارت یکی از عوامل مهم در پرورش گوجه‌فرنگی است. برای تهیه نشاء گوجه‌فرنگی گلخانه‌هایی که دارای حرارت یکنواختی بین ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد، نتیجه مطلوبی داشته و از این مرحله به بعد حرارت بین ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۲ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد در شب برای گیاه مناسب شناخته شده است. لازم به ذکر است که در روزهای آفتابی حرارت گلخانه به ۲۱ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. ضمناً با نزدیک شدن شب باید درجه حرارت به سرعت کاهش و با شروع روز سریعاً افزایش داده شود. این مطلب بیانگر این است، که حرارت گلخانه به نور بستگی دارد و باید حرارت و نور تماماً کنترل شود (یزدانی، ۱۳۹۶).



شکل ۴۲. گوجه‌فرنگی (یزدانی، ۱۳۹۶)

خوداکوفسکایا^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، نشان دادند، که نانولوله‌های کربنی در غلظت ۴۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر جوانه‌زنی و رشد گوجه‌فرنگی را افزایش داد، که احتمالاً این امر در اثر توانایی نانولوله‌های کربنی برای نفوذ به پوسته بذر و تحریک جذب آب می‌باشد. فیضی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیق تحت عنوان "تحریک جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوجه‌فرنگی با استفاده از میدان مغناطیسی و خیساندن بذر" نشان دادند، که خیساندن بذر قبل از کاشت باعث کاهش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنی گردید. طول ساقچه‌چه، طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر به ترتیب به میزان ۱۲/۷ و ۱۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند. همچنین طول ریشه چه از ۶/۶۸ به ۷/۵۹ سانتی‌متر نسبت به بذر خشک افزایش یافت. میدان مغناطیسی ۳ میلی‌تسلا به صورت دائم و ۱۵ میلی‌تسلا به مدت ۲۵ دقیقه کمترین زمان جوانه‌زنی را نشان دادند. کاربرد میدان مغناطیسی با شدت ۳ میلی‌تسلا به مدت ۵ دقیقه به ترتیب

1- Al-Aghabary
2- Khodakovskaya

باعث افزایش طول ریشه‌چه به میزان ۲۹ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد شدند. این تیمارها بیشترین طول ساقه‌چه، طول گیاهچه و شاخص بنیه را نشان دادند (جدول ۱۷ تا ۲۰).

جدول ۱۷. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	درصد بذر نرمال	طول ریشه (سانتی‌متر)	طول ساقه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	شاخص بنیه
هیدروپرایمینگ (a)	۱	۶/۲۵ ^{NS}	۰/۵۰*	۶/۲۵ ^{NS}	۱۳/۲۳**	۰/۵۰**	۱۸/۹۲**	۱۸۵۲۸۹/۰۰**
میدان مغناطیسی (b)	۷	۲۰/۵۴ ^{NS}	۲/۲۷**	۹۱/۶۸ ^{NS}	۳/۴۳**	۰/۷۴**	۷/۱۴**	۵۹۸۸۵/۰۰**
a×b	۷	۴۳/۴۰ ^{NS}	۰/۱۷*	۱۵۹/۹۶ ^{NS}	۱/۷۱*	۰/۲۳**	۲/۱۸*	۲۲۵۸۰/۰۰*
خطا	۴۸	۶۴/۰۶	۰/۱۵	۵۲۳/۳۲	۱/۱۲	۰/۰۷	۱/۲۸	۱۷۲۱۶/۰۰
ضریب تغییرات %	-	۶/۴۲	۸/۱۰	۱۴/۴۹	۱۱/۵۴	۱۰/۳۱	۹/۲۳	۱۱/۳۳

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و NS عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۱۸. تأثیر هیدروپرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی

تیمار	درصد جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)	درصد بذر نرمال	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	شاخص بنیه
بذر خیس شده	۹۲/۶۰ a*	۳/۷۰ b	۸۸/۳۰ a	۷/۵۹ a	۲/۵۱ a	۱۰/۱۰ a	۹۳۶/۳۰ a
بذر خشک	۹۲/۰۰ a	۳/۸۷ a	۸۹/۹۰ a	۶/۶۸ b	۲/۳۴ b	۹/۰۰ b	۸۲۸/۷۰ b

*: اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۱۹. تأثیر تیمارهای میدان مغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی

میدان مغناطیسی (میلی تسلا)	زمان (دقیقه)	درصد جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)	درصد بذر نرمال	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	شاخص بنیه
۵	۹۴/۰۰ a*	۳/۸۷ ab	۸۲/۰۰ a	۷/۰۶ b	۲/۳۹ bc	۹/۴۵ b	۸۹۰/۰۰ bc	
۱۵	۹۰/۰۰ a	۴/۱۷ a	۸۶/۵۰ a	۶/۸۹ b	۲/۴۴ bc	۹/۳۴ b	۸۴۱/۰۰ c	
۲۵	۹۲/۰۰ a	۳/۷۲ b	۹۰/۰۰ a	۶/۹۲ b	۲/۴۰ bc	۹/۳۲ b	۸۵۵/۰۰ bc	
۵	۹۰/۰۰ a	۳/۹۲ ab	۸۷/۵۰ a	۸/۰۱ a	۲/۶۲ b	۱۰/۶۴ a	۹۵۸/۰۰ ab	
۱۵	۹۱/۰۰ a	۴/۱۱ a	۸۸/۰۰ a	۶/۷۳ b	۲/۱۸ cd	۸/۹۱ b	۸۱۴/۰۰ c	
۲۵	۹۴/۰۰ a	۳/۹۲ ab	۹۲/۵۰ a	۶/۷۹ b	۲/۲۱ cd	۹/۰۱ b	۸۵۲/۰۰ bc	
۳	۹۳/۰۰ a	۲/۵۱ c	۹۲/۰۰ a	۶/۲۸ a	۳/۰۵ a	۱۱/۳۳ a	۱۰۵۷/۰۰ a	
شاهد	-	۴/۰۶ ab	۹۰/۰۰ a	۶/۴۱ b	۲/۱۰ d	۸/۵۱ b	۷۹۳/۰۰ c	

*: اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲۰. اثر متقابل پیش تیمار بذر و میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذرهای گوجه فرنگی

شاخص بنیه	طول گیاهچه (سانتی متر)	طول ساقه چه (سانتی متر)	طول ریشه چه (سانتی متر)	درصد بذر نرمال	متوسط زمان جوانه زنی (روز)	درصد جوانه زنی	تیمار
۹۳۲/۰۰ bc	۱۰/۰۶ bc	۲/۴۷ bcde	۷/۵۹ b	۷۲/۰۰ a	۳/۸۱ bcd	۹۲/۰۰ a*	T ₁
۸۹۴/۰۰ cd	۹/۶۰ bcd	۲/۵۷ bc	۷/۰۳ b	۹۰/۰۰ a	۴/۳۰ ab	۹۳/۰۰ a	T ₂
۸۶۴/۰۰ cd	۹/۵۵ bcd	۲/۴۰ bcde	۷/۱۵ b	۸۹/۰۰ a	۳/۴۷ d	۹۱/۰۰ a	T ₃
۱۰۶۱/۰۰ b	۱۲/۰۷ a	۲/۷۲ b	۹/۳۵ a	۸۷/۰۰ a	۳/۶۶ cd	۸۸/۰۰ a	T ₄
۸۶۴/۰۰ cd	۹/۳۴ bcd	۲/۱۵ def	۷/۲۰ b	۹۱/۰۰ a	۳/۸۹ abcd	۹۳/۰۰ a	T ₅
۸۷۱/۰۰ cd	۹/۲۶ bcd	۲/۰۷ ef	۷/۱۹ b	۹۱/۰۰ a	۳/۸۴ abcd	۹۴/۰۰ a	T ₆
۱۲۱۴/۰۰ a	۱۲/۵۳ a	۳/۴۹ a	۹/۰۵ a	۹۶/۰۰ a	۲/۵۷ e	۹۷/۰۰ a	T ₇
۷۸۸/۰۰ cd	۸/۴۲ d	۲/۲۴ cdef	۶/۱۹ b	۹۰/۰۰ a	۴/۰۵ abc	۹۳/۰۰ a	T ₈
۸/۴۸ cd	۸/۸۴ bcd	۲/۳۱ bcdef	۶/۵۳ b	۹۲/۰۰ a	۳/۹۴ abcd	۹۶/۰۰ a	T ₁
۷۸۹/۰۰ cd	۹/۰۷ bcd	۲/۳۲ bcdef	۶/۷۵ b	۸۳/۰۰ a	۴/۰۵ abc	۸۷/۰۰ a	T ₂
۸۴۵/۰۰ cd	۹/۰۹ bcd	۲/۴۰ bcde	۶/۶۹ b	۹۱/۰۰ a	۳/۹۸ abc	۹۳/۰۰ a	T ₃
۸۵۵/۰۰ cd	۹/۲۰ bcd	۲/۵۲ bcd	۶/۶۸ b	۸۸/۰۰ a	۴/۱۸ ab	۹۳/۰۰ a	T ₄
۷۶۱/۰۰ d	۸/۴۸ d	۲/۲۲ cdef	۶/۲۶ b	۸۵/۰۰ a	۴/۳۳ a	۹۰/۰۰ a	T ₅
۸۳۳/۰۰ cd	۸/۷۶ bcd	۲/۳۶ bcdef	۶/۴۰ b	۹۴/۰۰ a	۳/۹۹ abc	۹۵/۰۰ a	T ₆
۹۰۱/۰۰ cd	۱۰/۱۳ b	۲/۶۱ bc	۷/۵۲ b	۸۸/۰۰ a	۲/۴۵ e	۸۹/۰۰ a	T ₇
۷۹۸/۰۰ cd	۸/۹۵ cd	۱/۹۶ f	۶/۶۴ b	۹۰/۰۰ a	۴/۰۸ abc	۹۳/۰۰ a	T ₈

*: اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی داری با هم ندارند. (T₁, T₂, T₃: به ترتیب میدان مغناطیسی ۱۵ میلی تسلا به مدت ۵، ۱۵ و ۲۵ دقیقه، T₄, T₅, T₆: به ترتیب میدان مغناطیسی ۲۵ میلی تسلا به مدت ۵، ۱۵ و ۲۵ دقیقه، T₇: میدان مغناطیسی ۳ میلی تسلا به صورت دائم، T₈: شاهد بدون اعمال میدان مغناطیسی) (منبع: فیضی و همکاران، ۱۳۹۱).

حقیقی (۱۳۹۲)، در تحقیق تحت عنوان "بررسی تغییرات رویشی، مورفولوژیک و فتوسنتزی گوجه فرنگی در اثر سیلیسیم و نانوسیلیسیم افزوده شده به محلول غذایی" نشان داد، که سیلیسیم در فاکتورهای وزن تر و هدایت مزوفیلی مؤثرتر از نانوسیلیسیم بود. غلظت های ۱ و ۲ میلی مولار سیلیسیم به ترتیب باعث افزایش معنی دار وزن تر و هدایت مزوفیلی گیاه شد. هرچند این غلظت تأثیر معنی داری بر وزن خشک و میزان نسبی آب بافت نداشت. در مورد کارایی مصرف آب فتوسنتزی و فتوسنتز، نانوسیلیسیم مؤثرتر از سیلیسیم بود. بیشترین میزان فتوسنتز و کمترین میزان تعرق در غلظت ۲ میلی مولار نانوسیلیسیم مشاهده شد. کاربرد سیلیسیم و نانوسیلیسیم باعث کاهش میزان مصرف محلول در سیستم هیدروپونیک گردید و کمترین میزان مصرف محلول در غلظت ۲ میلی مولار نانوسیلیسیم مشاهده شد (جداول ۲۱ تا ۲۴ و شکل ۴۳). به طور کلی، کاربرد سیلیسیم به شکل فلزی یا نانو با اندازه ذرات ۳۰ نانومتر، در شرایط بهینه رشد گوجه فرنگی و بدون تنش، باعث افزایش فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی و خصوصاً کاهش مصرف محلول غذایی در شرایط کشت هیدروپونیک گردید (حقیقی، ۱۳۹۲).

جدول ۲۱. اثر سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر وزن تر و خشک گیاه، حجم ریشه، محتوای کلروفیل و مقدار نسبی آب بافت

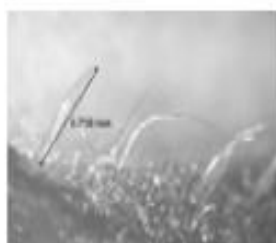
تیمار	وزن تر گیاه (گرم در گیاه)	وزن خشک گیاه (گرم در گیاه)	حجم ریشه (میلی لیتر در گیاه)	محتوای کلروفیل (SPAD value)	مقدار نسبی آب بافت (%)
شاهد	۱/۰۹ ab	۹/۸۰ a	۵/۵۵ a	۳۳/۵۰ a	۴۴/۷۴ a
۱ میلی مولار سیلیسیم	۱/۱۵ a	۹/۸۶ a	۵/۳۲ ab	۲۲/۳۳ a	۸۷/۹۲ a
۲ میلی مولار سیلیسیم	۰/۷۶ bc	۹/۱۵ a	۵/۰۸ b	۳۵/۰۷ a	۷۷/۵۳ a
۱ میلی مولار نانو سیلیسیم	۰/۷۷ abc	۹/۳۳ a	۵/۰۰ b	۳۰/۴۲ a	۷۸/۹۱ a
۲ میلی مولار نانو سیلیسیم	۰/۶۳ c	۹/۱۴ a	۴/۹۶ b	۳۳/۲۷ a	۸۲/۷۷ a

میانگین های دارای حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی دار می باشند (حقیقی، ۱۳۹۲)

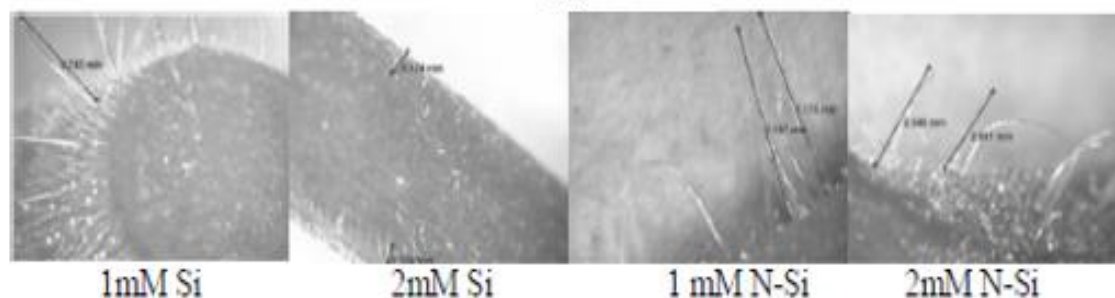
جدول ۲۲. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر خصوصیات فتوسنتزی

تیما	فتوسنتز (میکرومول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	نرخ تبخیر و تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت CO ₂ درون روزنه‌ای (میکرومول بر مول)
شاهد	۵/۸۱ ab	۴/۷۸ a	۵/۷۹ a	۳۲۱/۱۷ a
۱ میلی‌مولار سیلیسیم	۴/۷۰ b	۳/۷۷ b	۶/۴۱ a	۳۰۴/۰۸ ab
۲ میلی‌مولار سیلیسیم	۵/۰۱ b	۴/۳۶ ab	۵/۹۳ a	۲۸۶/۱۷ b
۱ میلی‌مولار نانوسیلیسیم	۵/۷۰ ab	۳/۶۶ b	۶/۰۴ a	۲۹۶/۰۸ ab
۲ میلی‌مولار نانوسیلیسیم	۶/۴۹	۳/۷۰ b	۵/۵۴ a	۳۰۵/۰۰ ab

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (حقیقی، ۱۳۹۲).



شاهد



شکل ۴۳. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر تراکم و طول پرز ساقه گوجه‌فرنگی (حقیقی، ۱۳۹۲)

جدول ۲۳. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر کارایی مصرف آب و هدایت مزوفیلی

تیما	کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO ₂ بر مول H ₂ O)	هدایت مزوفیلی (میلی‌مول CO ₂ در مترمربع در ثانیه)
شاهد	۷/۶۸ ab	۹/۱۵ d
۱ میلی‌مولار سیلیسیم	۴/۰۲ b	۹/۴۷ cd
۲ میلی‌مولار سیلیسیم	۵/۰۲ b	۱۰/۴۲ a
۱ میلی‌مولار نانو سیلیسیم	۷/۳۵ ab	۱۰/۰۱ ab
۲ میلی‌مولار نانو سیلیسیم	۹/۹۶ a	۹/۸۲ bc

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (حقیقی، ۱۳۹۲).

جدول ۲۴. اثر غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نانوسیلیسیم بر قطر ساقه و میزان محلول اضافه شده

تیمار	قطر ساقه (سانتی‌متر)	میزان محلول اضافه شده (میلی لیتر)
شاهد	۰/۵۸ a	۱۷۵/۰۰ a
۱ میلی مولار سیلیسیم	۰/۵۹ a	۱۴۰/۰۰ ab
۲ میلی مولار سیلیسیم	۰/۵۸ a	۱۴۷/۵۰ ab
۱ میلی مولار نانوسیلیسیم	۰/۵۳ ab	۱۲۷/۵۰ ab
۲ میلی مولار نانوسیلیسیم	۰/۴۸ b	۱۰۰/۰۰ b

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (حقیقی، ۱۳۹۲)

حقیقی و دانشمند (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "مقایسه اثر تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر رشد و تغییرات فتوسنتزی گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک" به این نتیجه رسیدند، که اثر افزودن نانوتیتانیوم به محلول غذایی بر رشد ریشه بیش از ساقه بود و در غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر مثبت‌تری بر وزن تر و خشک ریشه داشت. تیتانیوم و نانوتیتانیوم باعث افزایش تعرق، فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن داخل روزنه‌ای شدند. تأثیر نانوتیتانیوم بر میزان تعرق و فتوسنتز بیش از تیتانیوم بود و در غلظت‌های بیشتر، آثار مثبت آن افزایش یافت. میزان کلروفیل، حجم ریشه، وزن خشک و تر ساقه و زمان ظهور اولین گل تحت تأثیر تیمارهای تیتانیوم و نانوتیتانیوم قرار نگرفت. به طور کلی، تیتانیوم در غلظت بیشتر و نانوتیتانیوم به دلیل اندازه کوچک ذرات و امکان نفوذ راحت‌تر به ریشه، می‌تواند بر برخی ویژگی‌های رشدی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی مؤثر باشد (حقیقی و دانشمند، ۱۳۹۲) (جدول ۲۵ تا ۲۷).

جدول ۲۵. خصوصیات نانوذرات اکسید تیتانیوم

ساختارهای نانو	درصد خلوص ^۲ (%)	اندازه ^۱ (nm)	سطح فعال (m ² .g) ^۳
نانوذرات تیتانیوم	۹۸	۵۰-۸۰	۹۴۰

اندازه‌گیری شده با SEM، AFM و TEM
اندازه‌گیری شده با روش‌های TGA, ICP, etc.
اندازه‌گیری شده با ایزوترم‌های جذبی نیتروژن

(منبع: حقیقی و دانشمند، ۱۳۹۲)

جدول ۲۶. اثر سطوح مختلف تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر رشد گوجه‌فرنگی

تیمار	زمان ظهور اولین گل	تعداد گل	قطر ساقه (میلی‌متر)	وزن تر ساقه (g.plant)	وزن تر ریشه (g.plant)	وزن خشک ساقه (g.plant)	وزن خشک ریشه (g.plant)	حجم ریشه (متر مکعب)
شاهد	۱۳/۲۰ a	۸/۰۰ a	۰/۶۱ a	۳۷/۵۸ a	۱۲/۶۰ bc	۳/۴۵ a	۰/۶۶ ab	۲۵/۳۳ a
۱ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم	۱۰/۰۰ a	۴/۵۰ b	۰/۵۰ a	۴۰/۱۰ a	۱۶/۳۶ ab	۳/۳۸ a	۰/۵۶ b	۳۵/۳۳ a
۲ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم	۶/۵۰ a	۵/۷۵ ab	۰/۵۵ a	۳۸/۷۰ a	۱۳/۵۰ abc	۳/۲۸ a	۰/۶۶ ab	۳۲/۰۰ a
۱ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم	۵/۶۰ a	۵/۶۶ ab	۰/۵۶ a	۳۷/۱۰ a	۱۷/۷۶ a	۴/۲۳ a	۰/۸۵ a	۳۹/۶۶ a
۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم	۷/۷۰ a	۶/۲۵ ab	۰/۵۳ a	۳۱/۴۱ a	۱۱/۰۰ c	۳/۱۴ a	۰/۵۶ b	۲۷/۶۶ a

در هر ستون، حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون LSD نشان می‌دهند (منبع: حقیقی و دانشمند، ۱۳۹۲)

جدول ۲۷. اثر سطوح مختلف تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر تغییرات فتوسنتزی گوجه‌فرنگی

تیمار	دی‌اکسید کربن داخل سلولی (میکرومول بر مول)	تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	نرخ فتوسنتز (میکرومول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه)	محتوای کلروفیل (عدد اسپاد)
شاهد	۱۳۶/۰۰ b	۰/۱۵ b	۰/۴۲ b	۲۰/۷۹ a
۱ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم	۴۹۱/۵۰ a	۰/۱۹ ab	۰/۳۰ b	۲۳/۴۲ a
۲ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم	۲۸۸/۳۳ b	۰/۱۷ ab	۰/۲۱ b	۲۳/۳۲ a
۱ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم	۳۰۳/۵۰ b	۰/۲۰ a	۰/۲۲ b	۲۱/۳۶ a
۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم	۲۵۱/۵۰ b	۰/۲۰ a	۰/۳۸ a	۲۰/۸۹ a

در هر ستون، حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون LSD نشان می‌دهند (منبع: حقیقی و دانشمند، ۱۳۹۲)

۳-۱-۱-۷. سویا

نام فارسی: سویا

نام علمی: *Glycine max*

تیره: Fabaceae

شرح گیاه: گیاهی است، دیپلوئید و یک‌ساله از تیره نخود Leguminosea، که به صورت بوته‌ای استوار و نسبتاً پرشاخ و برگ رشد می‌کند. میانگین ارتفاع بوته در بسیاری از ارقام و شرایط تولید از ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر متغیر است. سیکل رویشی تحت شرایط مختلف آب و هوایی طی ۹۰ تا ۱۴۵ روز به اتمام می‌رسد (یزدانی، ۱۳۹۶) (شکل ۴۴).

ریشه: سویا از یک ریشه اصلی و ریشه‌های فرعی تشکیل می‌شود و ریشه اصلی می‌تواند تا عمق ۱/۵ متر پایین برود، ولی ریشه‌های فرعی به اعماق کمتری فرو می‌روند. باکتری تثبیت‌کننده ازت برای گیاه سویا، *Rizobium japonicum* می‌باشد، که تولید غده‌هایی بروی ریشه گیاه می‌کند. در این غده‌ها، باکتری‌ها ازت هوا را جذب کرده و تبدیل به ماده آلی می‌نمایند و گیاه سویا از این غده‌ها ازت مورد استفاده خود را تامین می‌کند (فاضل‌زاده، ۱۳۹۶).

ساقه: سویا تولید یک ساقه اصلی استوار، استوانه‌ای و اغلب کرکدار می‌کند، که در ناحیه قاعده چوبی می‌باشد (قاسمی فسایی و همکاران، ۱۳۸۵). از گره‌های پایین ساقه اصلی معمولاً چهار تا هفت شاخه جانبی قوی منشعب می‌گردد. در سویا کمتر ورس اتفاق می‌افتد، البته اگر تراکم زیاد و رطوبت و نیتروژن در خاک فراوان باشد، ساقه ظرفی تولید شده که باعث خوابیدگی یا همان ورس می‌شود (کریمی، ۱۳۸۷).



شکل ۴۴. سویا (کریمی، ۱۳۸۷)

وزن هزار دانه سویا ممکن است از ۱۴۰ تا ۱۵۰ گرم متغیر باشد. مقدار روغن در سویا از ۱۶ تا ۲۴ درصد و در ارقام علوفه‌ای در حدود ۱۲ درصد کاهش می‌یابد و پروتئین آن در حدود ۳۰ تا ۴۲ درصد بسته به نوع سویا و شرایط کشت تغییر می‌کند. سویا حساس به طول روز می‌باشد. استان‌های مازندران و گیلان و گلستان مهمترین استان‌های تولیدکننده لوبیای روغنی (سویا) در ایران به شمار می‌آیند (کریمی، ۱۳۸۷).

خصوصیات خاک: نوع خاک دشت مغان عموماً لومی‌رسی است، که جزو خاک‌های سنگین و نیمه‌سنگین محسوب می‌شوند. خاک مطلوب سویا کاری، خاک‌های رسی - شنی هوموس‌دار و دارای زهکش مناسب و با pH حدود ۷/۸-۸ می‌باشد. سویا در گستره وسیعی از خاک‌ها در صورت وجود زهکش، قابل کشت است، ولی خاک‌های شنی برای این گیاه مناسب نیست. به طور کلی، خاک‌هایی با بافت متوسط، برای زراعت سویا ایده‌آل است (چاکرال‌حسینی و همکاران، ۱۳۸۱). مناسب برای مناطق معتدل و مرطوب و گیاهی است روز کوتاه، ولی ارقامی تولید شده که بی‌تفاوت به طور روز می‌باشند. سویا به حرارت کمتر از ۱۰ درجه حساس بوده و برای رشد مناسب نیست و حرارت بیش از ۳۵ تا ۳۸ درجه ممکن است به سویا صدمه وارد سازد (فاضل زاده، ۱۳۹۶).

زمان و فواصل کاشت: موقع کاشت در کشت بهاره وقتی است، که درجه حرارت خاک به ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌گراد برسد و حرارت مطلوب ۳۰ درجه باشد. سویا به سله خاک حساس بوده، چون اپی‌ژیل بوده و نیروی زیادی نیاز دارد،

تا سر از خاک خارج کند. جهت کاشت، فاصله ردیف ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و تعداد ۱۰ تا ۳۰ بذر در هر متر طولی و تراکم بوته ۳۰۰ تا ۵۰۰ هزار بوته در هکتار مناسب است. هرچه رقم زودرس‌تر باشد، تراکم بوته بالاتر مطلوب خواهد بود. عمق کاشت ۳ الی ۵ سانتی‌متر و به بافت خاک بستگی دارد (یزدانی، ۱۳۹۶).

در تحقیقی توسط لو و همکاران (۲۰۰۲)، نشان داده شد، که مخلوط نانوذرات SiO_2 و TiO_2 در غلظت کم فعالیت نیترات ردوکتاز در ریزوسفر سویا را افزایش داد و در نتیجه باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد سویا شد. گزارش شده است، که نانوذرات می‌توانند جوانه‌زنی و رشد سویا را تسریع کرده و از فاسد شدن توسط کپک‌ها جلوگیری کند. نانوذرات می‌توانند قدرت ریشه‌ها و فعالیت نیترات ردوکتاز را افزایش و توانایی ریشه را برای جذب آب و کود بهبود بخشند و فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، دیسموتاز و کاتالاز را افزایش دهند و منجر به بهبود مقاومت سویا به تنش شوند (کریمی، ۱۳۸۷).

۸-۱-۱-۳. ماش

نام فارسی: ماش

نام علمی: *Vigna radiate L.*

از راسته Fabales، تیره‌ی Fabaceae (=Leguminosae) با ۶۴۰ جنس و ۱۷۲۰۰ گونه است. اسم علمی قدیم ماش *Phaseolus aureus Roxb* و اسم علمی جدید *Vigna radiata (L.) Wilczek*. ماش (سبز) ۲۲=۲n می‌باشد. ماش گیاهی علفی، دارای ساقه زاویه‌دار به ارتفاع ۴۰ تا ۷۰ سانتی‌متر و برگ‌های منتهی به پیچک مرکب از ۴ تا ۷ زوج برگچه است. گاهی به علت داشتن پیچک از گیاهان مجاور خود بالا می‌رود و گل‌هایی زیبا به رنگ بنفش یا ارغوانی دارد. این گیاه از تیره‌ی باقلایان (Fabaceae)، راسته‌ی باقلاسانان (Fabales) است. میوه ماش باریک و دراز و قهوه‌ای رنگ است و دانه‌های کوچک کروی به رنگ خاکستری، قهوه‌ای یا سبز در آن جای دارد (کریمی، ۱۳۸۷).

- منشاء و پراکندگی جغرافیایی

فرم‌های وحشی ماش سبز (*Vigna radiata*) در سطح بسیار وسیعی از مناطق گرمسیر جنوب، جنوب شرقی و شرق آسیا و شمال استرالیا پراکنده شده‌اند. معمولی‌ترین واریته، رقم *V. Radiate Var. sublobatus* می‌باشد، که به عنوان اجداد ماش سبز و ماش سیاه (*V. mungo*) شناخته شده است. مطالعات بعدی بر روی نمونه‌های زنده جدیداً یافت شده حاکی از آن است، که این واریته در منطقه وسیعی از اقیانوس هند تمرکز یافته و از آنجا به طرف غرب در مناطق ساحلی شرق آفریقا و ماداگاسکار توسعه پیدا نموده است. متذکر شده‌اند، که پراکندگی آن‌ها بیشتر به قسمت شرقی مناطق گرمسیر آسیا محدود بوده و از هندوستان به اندونزی و جنوب چین پراکنده گردیده است. به اعتقاد واولو (۱۹۲۶) و گیاهشناسان جدید، ماش سبز از هندوستان و آسیای مرکزی منشاء یافته و هندوستان به احتمال قوی اولین منطقه اهلی‌شدن ماش سبز بوده و دارای تنوع خیلی زیادی از فرم‌های زراعی و نوع هرز این گیاه است.

- مشخصات گیاهی ماش سبز

ماش نباتی است، یک‌ساله، بوته‌ای یا بالارونده به طول ۹۰-۴۵ سانتی‌متر، ساقه‌ها زاویه‌دار با شاخ و برگ متعدد و کرک‌دار و در برخی نژادها ساقه پیچک‌دار است. شاخه مرکزی بوته کم و بیش ایستاده ولی شاخه‌های جانبی نیمه‌ایستاده هستند. ریشه‌ها مستقیم با گره‌های درشت بر روی آن‌ها، برگ‌ها مرکب و متشکل از سه برگچه بزرگ به رنگ سبز روشن یا تیره دارای دم‌برگ بلند و پهنک بیضی شکل می‌باشد (کریمی، ۱۳۸۷). در زیر برگ ماش زائده‌های قندی وجود دارد، که مورد توجه زنبوران عسل قرار می‌گیرد. گل‌ها کوچک (۱/۵-۱ سانتی‌متر) به رنگ لیمویی زرد که به صورت خوشه‌های متراکم و جانبی بر روی دم‌گلی بلند قرار دارند. هر خوشه شامل ۲۰-۱۰ گل

(در ماش سیاه ۵-۶ گل) می باشد، که در زمان شگفتن گل ها ۸-۵ عدد آن ها باز می شوند. غلاف ها یا نیام ها باریک و استوانه ای به طول ۵ تا ۱۰ سانتی متر بوده و وقتی که نارس هستند، به رنگ های سبز روشن و تیره دیده می شوند، که پس از رسیدن به رنگ های سبز مایل به قهوه ای یا خاکستری یا زرد تیره در می آیند. معمولاً بر روی غلاف ها، کرک هایی دیده می شود. در هر غلاف، ۱۰-۴ بذر کوچک، کروی شکل به رنگ سبز و گاهی اوقات زرد یا طلایی (*Goldan bean*) و یا سیاه رنگ وجود دارد. وزن هزار دانه آن ها از ۳۰ تا ۴۰ گرم متفاوت است (یزدانی، ۱۳۹۶).

- اکولوژی

ماش نباتی مخصوص آب و هوای گرم است و خشکی را تا حدود زیادی تحمل می نماید (جان محمدی و همکاران، ۱۳۸۴). این گیاه تابستانه بوده و نیاز حرارتی نسبتاً زیادی دارد. انواع پاکوتاه (بوته ای) ماش نسبت به انواع پابلند (خزنده) به حرارت کمتری نیاز دارد. حداقل درجه حرارت برای جوانه زدن ماش، ۸ درجه سانتی گراد است و چنانچه درجه حرارت از ۱۳-۱۲ درجه سانتی گراد کمتر باشد، نبات به خوبی رشد نمی کند، تا اینکه درجه حرارت مساعدتر گردد. ماش در محدوده وسیعی از عرض جغرافیایی (از خط استوا تا ۴۰ درجه عرض شمالی یا جنوبی) و در آن مناطقی که متوسط درجه حرارت شبانه روز در طول دوره رشد گرمتر از ۲۰ درجه سانتی گراد باشد، کشت می گردد (یزدانی، ۱۳۹۶). کشت و کار ماش در مناطق شمال ایران نیز به میزان کم معمول است و در نقاط دیگر از کشور به صورت دیم نیز به عمل می آید. در نواحی کوهپایه ماش محصول خوبی می دهد و مقاومت به خشکی آن بیشتر از نخود و لوبیا است. ماش در خاک های آبروفتی، چرنوزوم (خاک سیاه)، کرازنوزوم (خاک های سرخ) و سیروزوم (خاک های خاکستری) می تواند رشد نماید. مقاومت آن به شوری کمی رضایت بخش است، اما در خاک های سرد و رسی، بیش از حد مرطوب و خاک های آهکی موفقیت چندانی ندارد (کریمی، ۱۳۸۷). بر عکس، در اراضی سبک و غنی از مواد آلی یا اراضی لومی زهکش دار و شنی لومی میزان محصول بالا می رود و در خاک های آهکی قلیایی دچار کلروزه (زردی) می شود. طبق تحقیقات انجام شده توسط وی سل در نواحی رسوبی واکنش اسیدیته خاک جهت کشت ماش نایستی بیش از ۵/۵ باشد و بهترین واکنش خاک برای کشت آن بین ۶-۵/۵ است (فاضل زاده، ۱۳۹۶).

- ترکیبات شیمیایی دانه ماش (سبز):

رطوبت دانه: ۹/۷ درصد	کربوهیدرات: ۵۸/۲ درصد
پروتئین: ۲۳/۶ درصد	الیاف (فیبر): ۳/۳ درصد
چربی: ۱/۲ درصد	مواد معدنی (خاکستر): ۴ درصد

ماش، لگوم منطقه استوایی آسیا است، که به مقیاس وسیع در هندوستان، چین، ژاپن، برزیل و قسمت های گرمسیر و نیمه گرمسیر آفریقا و آمریکا کشت می شود. ماش در حالت وحشی دیده نشده است. این گیاه از زمان های قدیم در هندوستان کشت می شده و ارقام بی شماری از آن در قسمت های مختلف این کشور یافت می گردد. دسته بندی ماش در هندوستان توسط Bose (۱۹۳۲) انجام گرفته و آن را بر اساس اندازه برگ، رنگ گل، رنگ غلاف و رنگ بذر به چهل نوع مختلف تقسیم بندی نموده است. در این طبقه بندی تغییرات صفات زیر مشاهده گردیده است.

- رنگ بذر: بذور به رنگ های متفاوت سبز، سیاه، قهوه ای یا زرد رنگ دیده می شوند.

- سطح خارجی بذور: کدر یا درخشان می باشند.

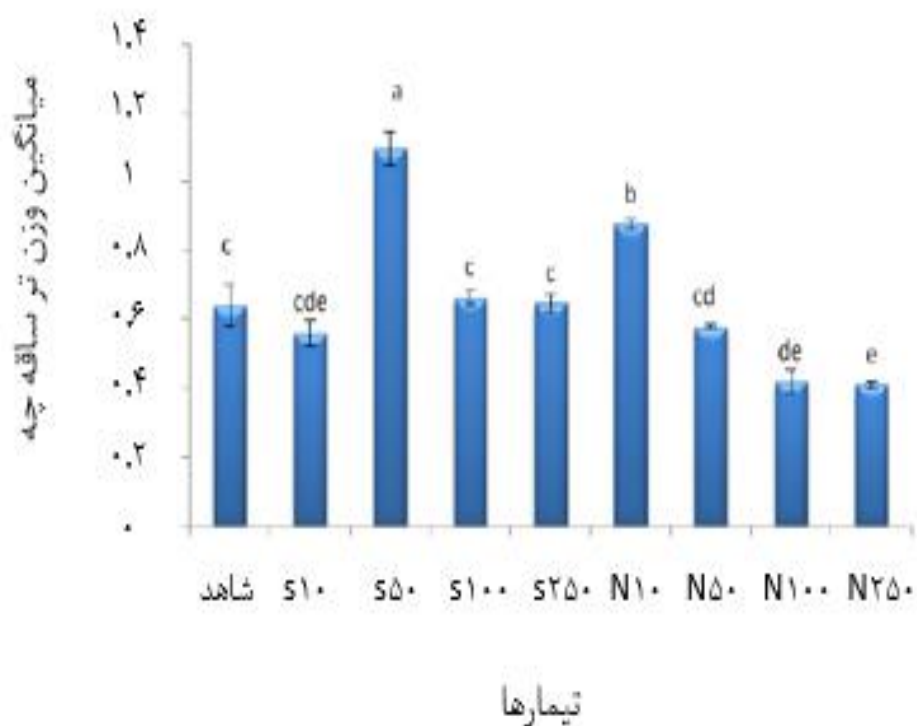
- رنگ: گل به رنگ های زرد روشن مایل به سبز یا سبز زرد رنگ دیده می شوند.

- رنگ غلاف: غلاف های رسیده به رنگ های خاکستری مایل به قرمز، سبز مایل به خاکستری یا سوخته قهوه ای مشاهده شده اند.

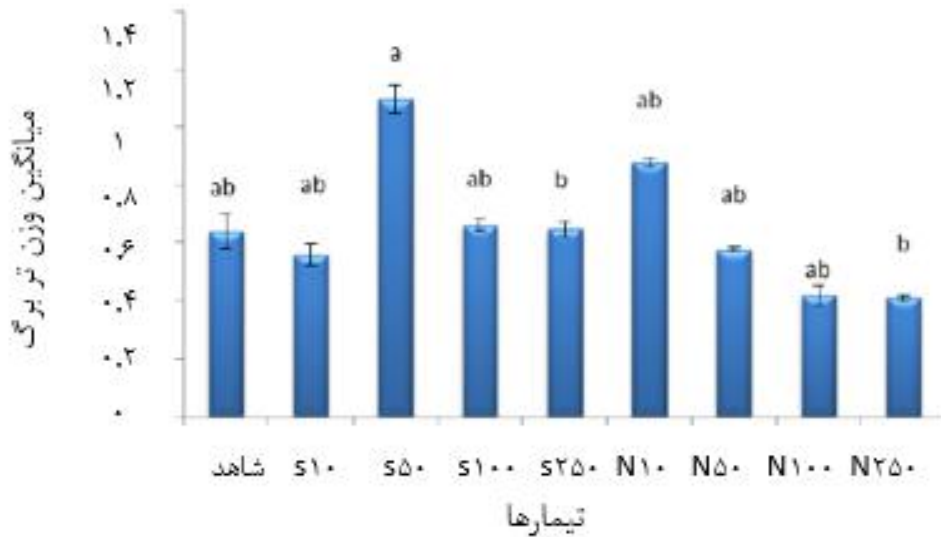
ماش به صورت وحشی روئیده و غذایی مناسب برای دام می‌باشد، اما به جهت مصرف خوراکی دانه‌های آن نیز پرورش می‌یابد. مواد قندی موجود در زیر برگ ماش نیز همواره موجب جذب زنبور عسل به رویشگاه این گیاه می‌شود. محتوبات آن به صورت زیر است (کریمی، ۱۳۸۷).

- آب: ۱۳ تا ۱۴ درصد
- پروتئین: ۲۷ تا ۲۹ درصد
- کربوهیدرات: ۴۰ تا ۴۶ درصد
- چربی: ۱ تا ۳ درصد
- مواد معدنی: ۲ تا ۵ درصد

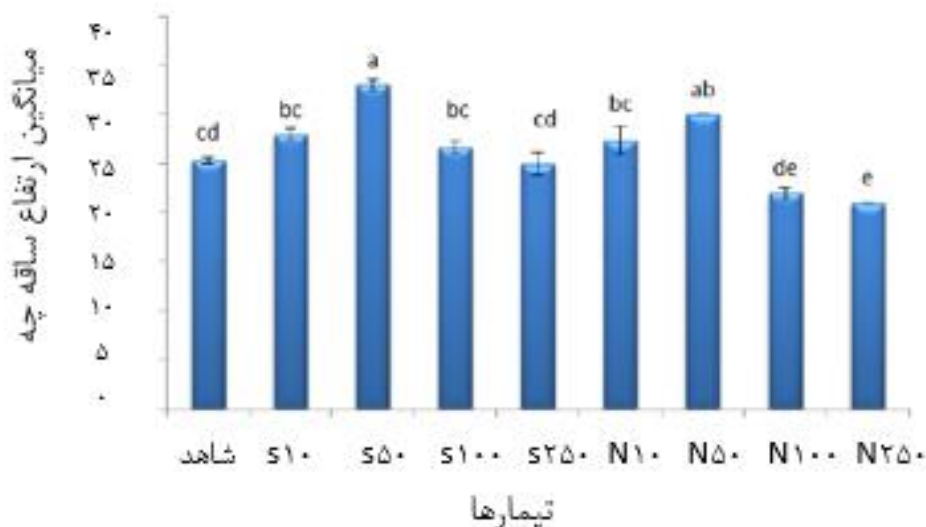
کریمی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی تحت عنوان " اثر مقایسه‌ای کلات‌های آهن نانو و غیرنانو بر روی پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی *Vigna radiate L.* نشان دادند، که مواد نانویی بر روی عوامل رشدی مانند وزن خشک و تر گیاهچه تاثیر زیادی داشته و موجب افزایش آن‌ها شده‌اند (اشکال ۴۵ تا ۴۷).



شکل ۴۵. مقایسه میانگین وزن تر گیاهچه *Vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن نانو و Fe-EDDHA. حروف مشابه غیرمعنی داری را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۴۶. مقایسه میانگین وزن تر برگ *vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن نانو و Fe-EDDHA حروف مشابه غیرمعنی داری را در سطح ۵ درصد نشان می دهند (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۴۷. مقایسه میانگین طول ساقه *vigna radiate* با استفاده از مقادیر مختلف کلات آهن نانو و Fe-EDDHA حروف مشابه غیرمعنی داری را در سطح ۵ درصد نشان می دهند (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴).

درباره مشخصات نانوکود کلات آهن با توجه به استفاده آن در این آزمایش مطالبی آورده شده است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴).

۱. قابلیت جذب و مصرف هم از طریق خاک (به صورت سرک همراه آب آبیاری، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و هم از طریق برگ (محلول‌پاشی به نسبت یک در هزار)

۲. خاصیت رهایش تدریجی این نانو کود جهت استفاده بهینه گیاه از مواد مغذی

۳. نانوکمپلکس در بازه pH وسیع $3 < \text{pH} < 11$ پایداری، یعنی عمل کردن این نانوکود در اسیدی‌ترین تا قلیایی‌ترین محیط‌ها و خاک‌ها (رساندن مواد مغذی موجود در کود به گیاه در هر نوع خاک)

۴- موجود بودن عناصر دیگری مانند گوگرد، روی و منگنز در نانوکود کلات آهن جهت بهره‌وری بیشتر گیاهان و محصولات در شرایط مختلف

۵. نانوکود کلات آهن بر خلاف سایر کودهای کلات آهن فاقد هورمون بوده و از این بابت مضر نمی‌باشد. کودهای کلات آهن با بنیان‌های EDDHA, EDDHMA, EDDHSA به علت دارا بودن اتیلن به عنوان هورمون رشد در بنیان‌شان (حرف E در ابتدای کلمه EDDHA) هورمونی محسوب می‌شوند.

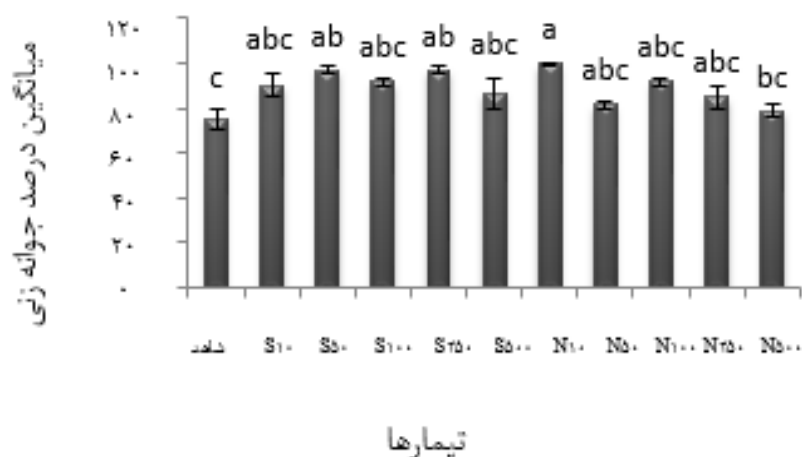
۶. ساختار آلی سنتتیک (نه طبیعی) نانوکود (بنیان با لیگاند آلی این نانوکود فلزات ریزمغذی مانند آهن و روی را حمل می‌نماید) کاملاً سازگار با محیط زیست بوده و علاوه بر افزایش ترکیبات آلی خاک، می‌تواند اشکال کم‌محلول آهن و سایر میکروالمنتهای را به فرم‌های قابل دسترس و مفید برای گیاه تبدیل نماید.

۷. دارا بودن ۹٪ آهن محلول در آب، ۱٪ روی، ۱٪ منگنز و غیره در کلیه خاک‌ها با pHهای مختلف.

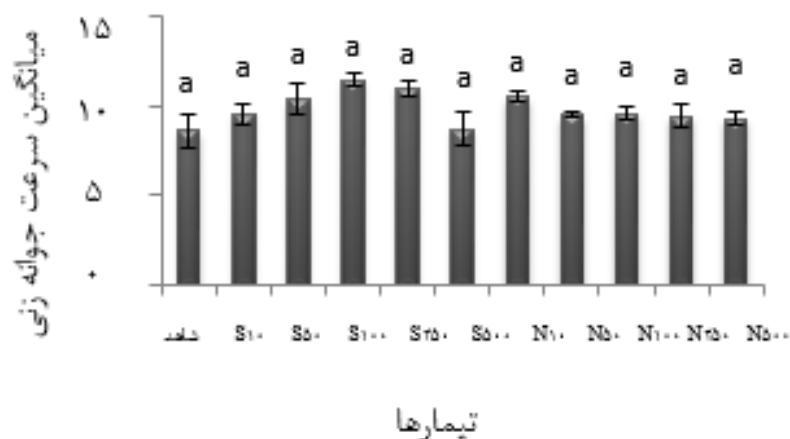
کریمی و همکاران (۱۳۹۳)، تحقیقی تحت عنوان "ارزیابی اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف نانوکود کلات آهن بیوزر و کود کلات آهن سکواسترن ۱۳۸ (Fe-EDDHA) بر جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاه ماش (*Vigna radiate*) را انجام دادند. با توجه به نتایج به دست آمده در آزمایش جوانه‌زنی معلوم شد، که طول ساقچه در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ نانوکود آهن کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد و طول ریشه‌چه در همه‌ی غلظت‌های کود آهن معمولی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. در تیمار ۵۰ نانوکود آهن بیشترین و ۲۵۰ و ۵۰۰ نانوکود آهن، کمترین طول ریشه‌چه را داشتند، که نسبت به شاهد معنی‌دار بودند. درصد جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT)، وزن تر و خشک کل گیاهچه در هر دو نوع کود افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند، اما سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد. شاخص بنیه‌ی بذر در کود کلات آهن سکواسترن آهن نسبت به نانوکود بیشتر بود و در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳). آزمایش کشت گلدانی نشان داد، که غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ نانوکود آهن و کود آهن نسبت به بقیه‌ی تیمارها برتری داشتند. مقدار کلروفیل a و کارتنوئید در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ نانو کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. کلروفیل b در کود معمولی در غلظت‌های بیشتر از ۱۰ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. غلظت ۵۰ نانو در بین همه‌ی تیمارهای اعمال شده بیشترین مقدار را داشت، اما با شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. آنزیم‌های کاتالاز تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد، ولی آسکوربات پراکسیداز (۱۰ و ۵۰ نانوکود، ۱۰۰ کود معمولی) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد و گایاکول پراکسیداز کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳). مالون دی‌آلدئید در غلظت‌های نانوکود آهن کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. مقدار آنتوسیانین و فنل در هر دو کود افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند، در صورتی که مقدار فلاونوئید فقط در تیمار ۱۰ سکواسترن آهن نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. قند محلول در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ در نانوکود کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. مقدار پرولین نیز در غلظت ۵۰ نانوکود کلات آهن بیوزر افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. از اشکال ۴۸ الی ۶۶، به ترتیب تاثیر تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی را بر فاکتورهای رشد گیاه ماش آورده شده است (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

در شکل ۴۸، تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی مشاهده می‌گردد. بررسی نتایج درصد جوانه‌زنی نشان می‌دهد، که علی‌رغم افزایش نسبی درصد جوانه‌زنی در تیمارهای نانوکود آهن تفاوت معنی‌داری بین تمامی تیمارهای نانوکود آهن و تیمار شاهد، وجود نداشت، (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).

لاواره و راسکار (۲۰۱۴) گزارش کردند، که بیشترین غلظت نانوذره‌ی روی، کمترین درصد جوانه‌زنی رو داشته و کمترین غلظت نانوذره‌ی روی، بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشته است، که مطابق با نتایج حاصل از این آزمایش بود، اما سیدیگوی و الهایی (۲۰۱۴)، بیان کردند که پارامترهای جوانه‌زنی دانه با افزایش سطح از $nSiO_2$ تا ۸ گرم بر لیتر افزایش یافتند. در میان تیمارها، کاربرد ۸ گرم بر لیتر از نانوذره‌ی $nSiO_2$ بالاترین مقدار درصد جوانه‌زنی، MGT، شاخص قدرت نهال و شاخص جوانه‌زنی بذر را داشت، که در مقایسه با نتایج حاصل از این آزمایش مغایرت نشان داد.



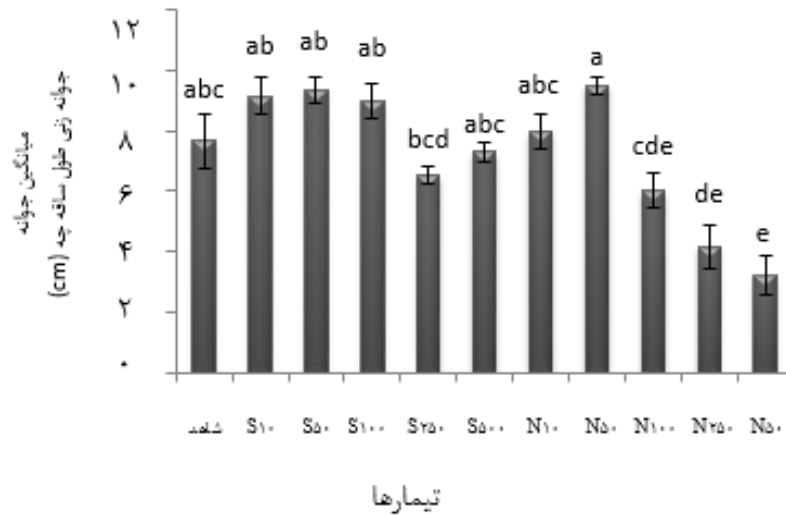
شکل ۴۸. تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر درصد جوانه‌زنی در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها، میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۴۹. تغییرات سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر سرعت جوانه‌زنی در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).

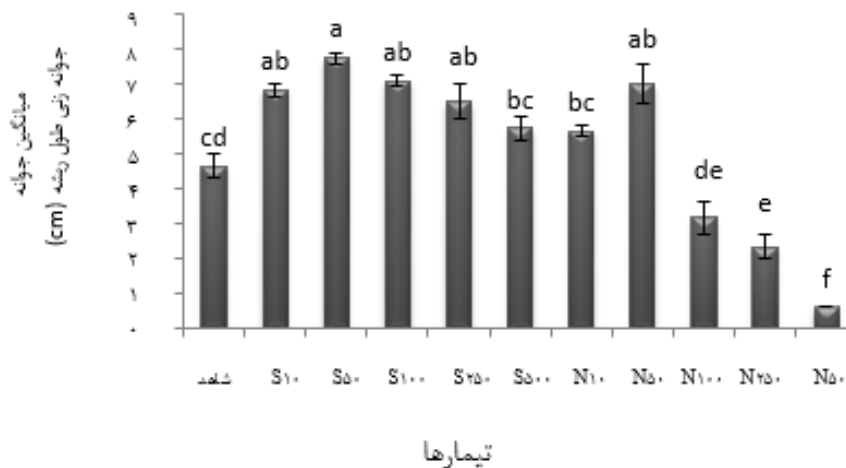
کریمی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند، که قرار گرفتن دانه در معرض ۱۰۰ ppm نانوذره‌ی اکسید آهن، دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی در رابطه با تیمارهای دیگر بود (این غلظت در این آزمایش کمترین مقدار را از لحاظ

ppm داشت) و افزایش غلظت ذرات بیش از ۱۰۰ ppm، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافته است، که با توجه به شکل زیر در بین غلظت‌های نانو، غلظت ۱۰ ppm نسبت به بقیه‌ی غلظت‌ها مقدار بیشتری را نشان داد.



شکل ۵۰. تغییرات طول ساقه جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر طول ساقه در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳).

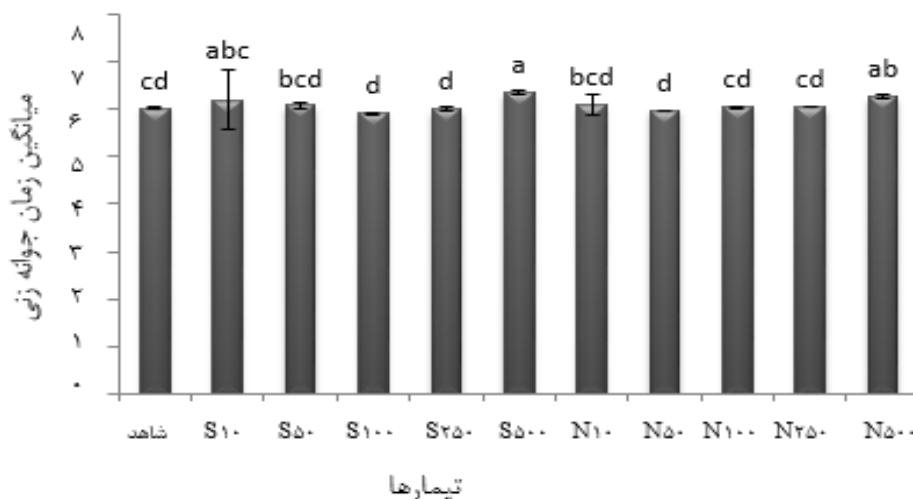
رامودماهاجان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند، که با افزایش غلظت نانوذره‌ی ZnO، همچنین رشد ریشه و ساقه افزایش می‌یابد.



شکل ۵۱. تغییرات طول ریشه جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانو کود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر طول ریشه در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳).

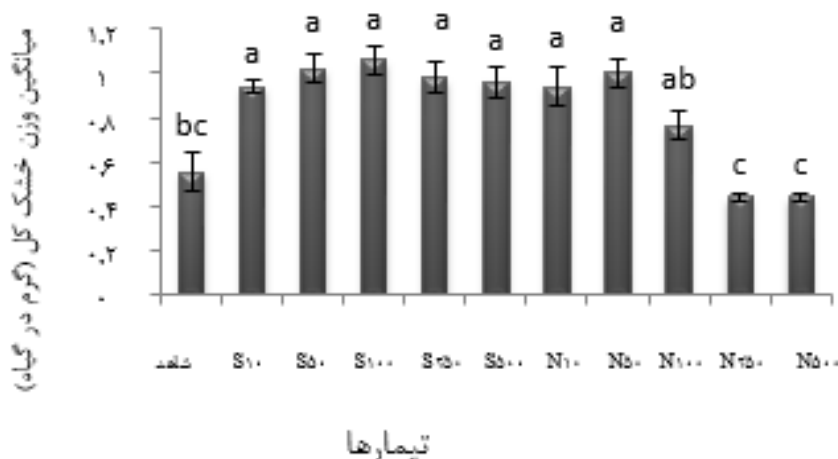
با این حال، بعد از غلظت خاص رشد ریشه و ساقه رو به کاهش مشاهده شد. برای نهال ماش، بهترین پاسخ برای رشد ریشه (۴۲/۰۳٪) و ساقه (۹۷/۸۷٪) در غلظت ۲۰ ppm بیشتر از گروه شاهد مشاهده شد. در بالاترین غلظت (۲۰۰۰ ppm)، کم‌توانی در رشد ریشه (۹۳/۲۸٪) و ساقه (۱۴/۸۵٪) در نهال ماش بیش از کنترل مشاهده شد. مطالعات اخیر بر روی *Phaseolus radiates* و *Triticum aestivum* نشان داده است، که نانوذرات مس در

غلظت‌های بالا واقعاً یک فیتوتوکسیک است (به طور قوی از رشد ممانعت می‌کند) و مشاهده شده است، که فیتوتوکسیتی عمدتاً به علت نانوذرات است و نه آزادشدن یون‌ها، که این نتایج مطابق با نتایج حاصل از این آزمایش بود (لی و همکاران، ۲۰۰۸).

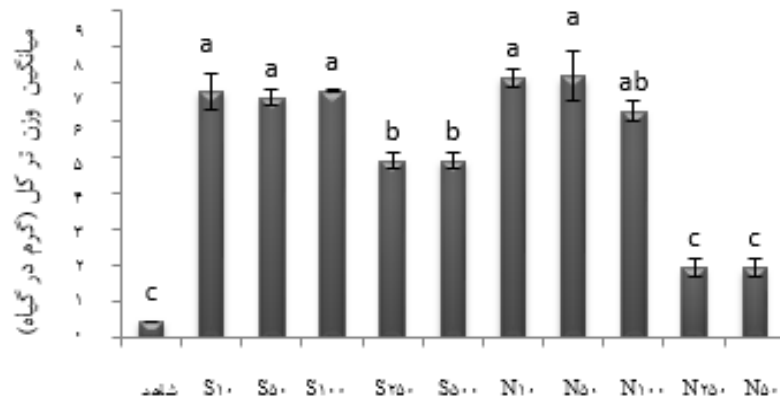


شکل ۵۲. تغییرات MGT در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن. معمولی تغییرات طول ساقه جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰) بر MGT در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

ژنگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند، که نانوذره TiO_2 به جذب آب توسط دانه‌های اسفناج کمک می‌کند، در نتیجه باعث شتاب جوانه‌زنی بذر می‌شود. براساس مطالعات اثرات نانوذرات بر روی مکانیزم جوانه‌زنی بذر از آن می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که نانوذرات ممکن است به جذب آب توسط دانه‌ها کمک کند. افزایش غلظت آنزیم نیترات ردوکتاز، کاهش استرس آنتی‌اکسیدان توسط کاهش H_2O_2 ، رادیکال‌های سوپراکسیداز و محتوای مالون دی‌الدئید، گایاکول پراکسیداز و فعالیت‌های کاتالاز را در نتیجه جوانه‌زنی بذر در برخی از گونه‌های گیاهی بهبود می‌بخشد (لی و همکاران، ۲۰۰۸).



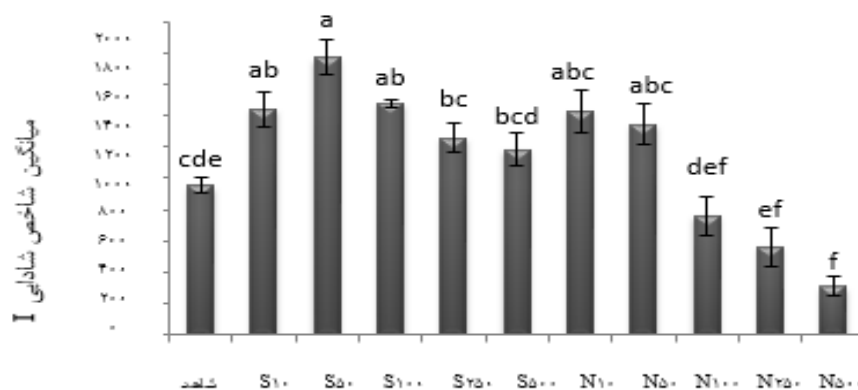
شکل ۵۳. تغییرات وزن خشک کل در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن، تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰) بر وزن خشک کل در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد. وزن خشک کل بوته در تمام تیمارهای کود آهن معمولی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴۱/۴۸٪، ۴۶/۰۷٪، ۴۸/۱۱٪، ۴۰/۸۱٪ و ۴۲/۷۰٪ افزایش معنی‌داری را نشان دادند (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).



تیمارها

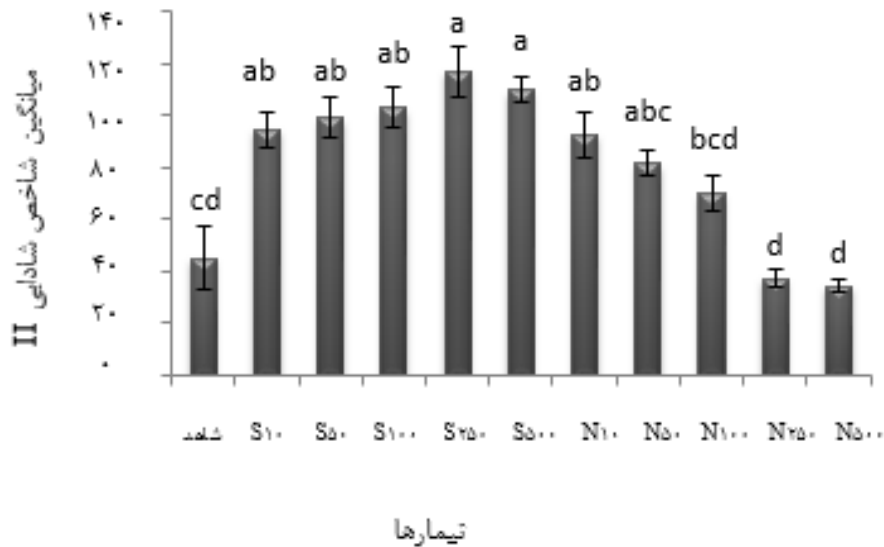
شکل ۵۴. تغییرات وزن تر کل در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن تر کل در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

راسکار و لاواریه (۲۰۱۴) اظهار داشتند، که غلظت‌های پایین‌تر نانوذرات دارای بیشترین وزن تر و خشک، اما غلظت‌های بالاتر دارای کمترین وزن تر و خشک بودند. سیدی‌کوی و الهایی (۲۰۱۴) بیان کردند، که با افزایش سطح از ۲ تا ۸ گرم بر لیتر $nSiO_2$ ، وزن تر و وزن خشک نهال افزایش می‌یابد، که این افزایش تا به حد خاصی بوده که بعد از این با افزایش غلظت بیش از ۸ گرم بر لیتر وزن تر و خشک نهال کاهش یافته بود، که احتمال دارد به دلیل افزایش غلظت کود کلات آهن باعث تجمع کود کلات آهن و منجر به گرفتگی منفرجه‌های ریشه می‌شود، که مانع جذب آب توسط دانه‌ها می‌شود (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد، که نانو Fe_2O_3 می‌تواند روند جوانه‌زنی بذر را مانند جذب آب و اکسیژن تحریک کند، که در نتیجه رشد نهال را بهبود می‌بخشد. غلظت‌های بالاتر اکسید آهن، اثر سمیت بر روی رشد نهال گندم به نمایش گذاشته، که این نتایج با یافته‌های حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).



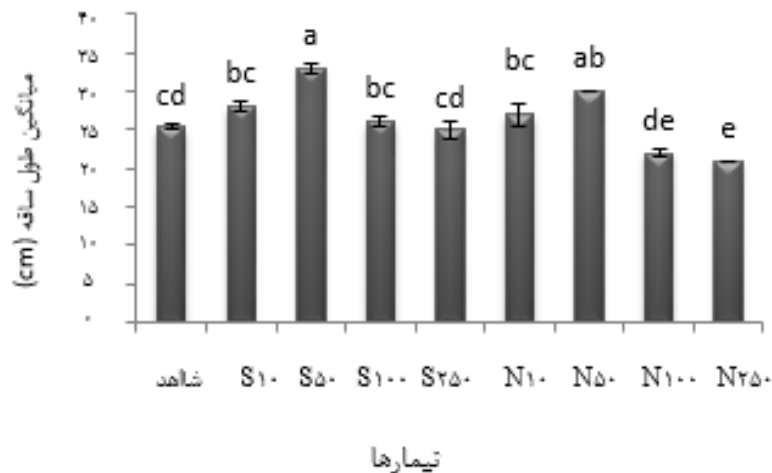
تیمارها

شکل ۵۵. تغییرات شاخص بنيه I در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر شاخص بنيه I در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین \pm SE می‌باشد.



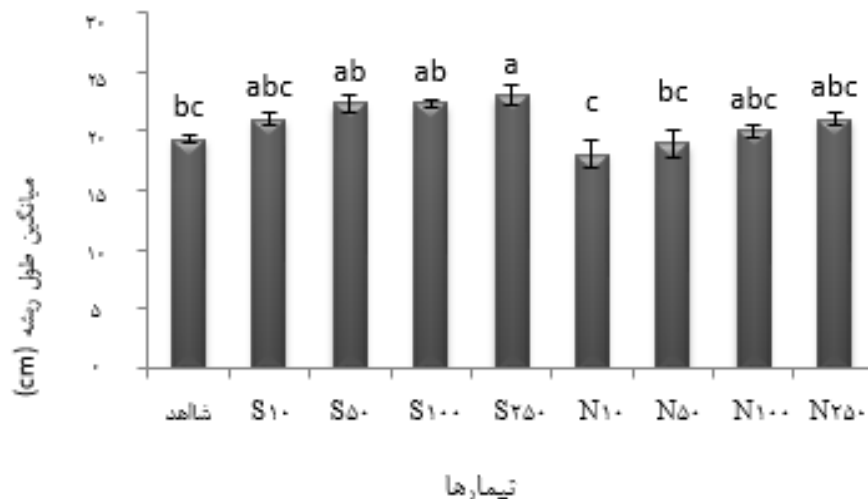
شکل ۵۶. تغییرات شاخص بنیه II در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر شاخص بنیه II در تست جوانه‌زنی بذر گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

کاربرد غلظت‌های بالک Fe_2O_3 و نانوذره Fe_2O_3 هیچ اثر معنی‌داری بر روی شاخص بنیه I ندارد، اما اثر تحریکی تیمارهای نانوذره بر روی شاخص بنیه II نهال گندم دیده شد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳)



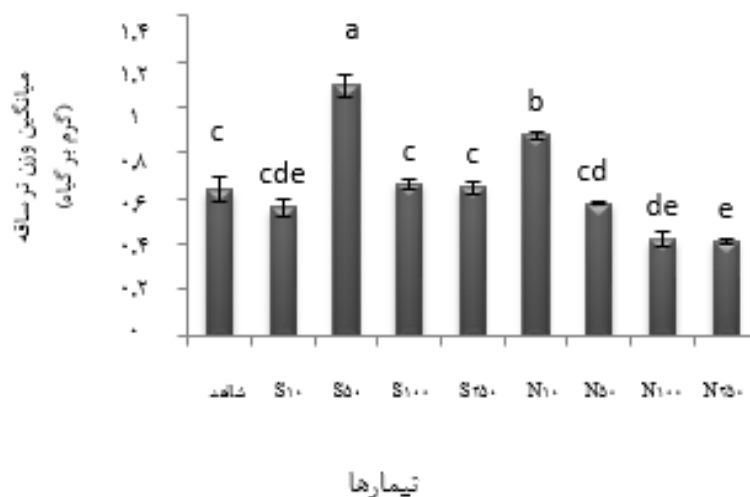
شکل ۵۷. تغییرات طول ساقه در تیمارهای مختلف نانوکود و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر طول ساقه گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

راسکار و لاواره (۲۰۱۴)، اظهار داشتند، که غلظت‌های پایین‌تر نانوذرات دارای بیشترین طول ریشه و ساقه را داشتند، اما غلظت‌های بالاتر دارای کمترین طول ریشه و ساقه را داشتند. رامود و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند، که با افزایش غلظت نانو ذره ZnO ، همچنین رشد ریشه و ساقه افزایش می‌یابد. با این حال، بعد از غلظت خاصی، رشد ریشه و ساقه رو به کاهش مشاهده شد. برای نهال ماش، بهترین پاسخ برای رشد ریشه (۴۲/۰۳٪) و ساقه (۹۷/۸۷٪) در غلظت ۲۰ ppm بیشتر از گروه شاهد مشاهده شد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۵۸. تغییرات طول ریشه در تیمارهای مختلف نانوکود و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر طول ریشه گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

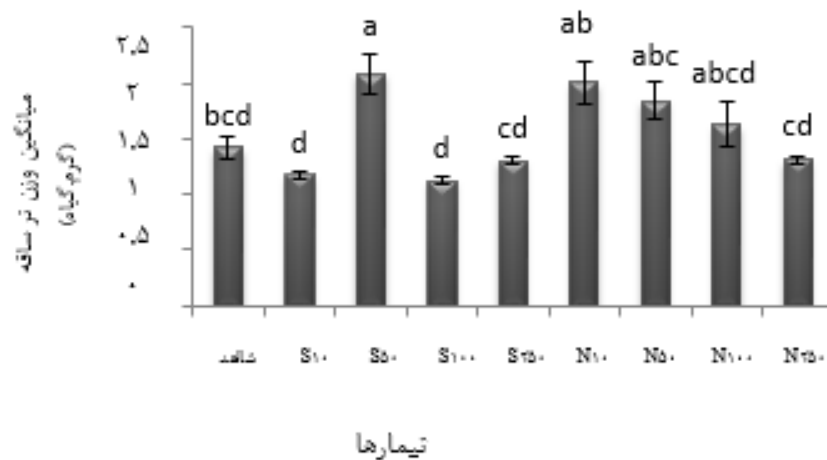
در بالاترین غلظت (۲۰۰۰ ppm)، کم‌توانی در رشد ریشه (۹۳/۲۸٪) و ساقه (۱۴/۸۵٪) در نهال ماش بیش از کنترل مشاهده شد. غلظت کم جیوه، رشد نهال گندم را تحریک می‌کند. این ممکن است، به دلیل غلظت کم جیوه باشد، که فعالیت‌های آمیلاز، پروتئاز و لیپاز را افزایش می‌دهد، که در نتیجه تجزیه‌ی آندوسپرم و میزان تنفس را سرعت می‌بخشد، به طوری که موجب تسریع جوانه‌زنی می‌گردد (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰)، که این نتایج در رابطه با طول ساقه با نتایج حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل نشان داد، که با افزایش غلظت کلات آهن و نانو آهن، رشد طولی اندام هوایی و ریشه کاهش می‌یابد و این کاهش در تیمارهای نانوآهن بیش از کلات آهن است (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰).



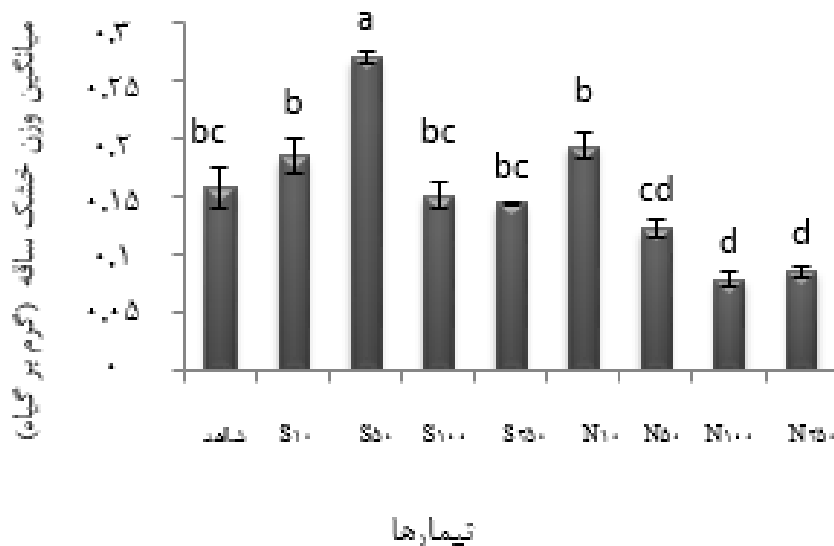
شکل ۵۹. تغییرات وزن تر ساقه در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن تر ساقه گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

با توجه نمودار طول ریشه اینکه کاهش طول ریشه در تیمارهای کلات نانو نسبت به کلات معمولی بیشتر است، با نتایج حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد. علت اینکه چرا بین غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ ppm کلات معمولی با غلظت ۱۰ ppm نانو کلات تفاوت معنی‌داری است، ممکن است این باشد، که شاید در غلظت نانو کلات

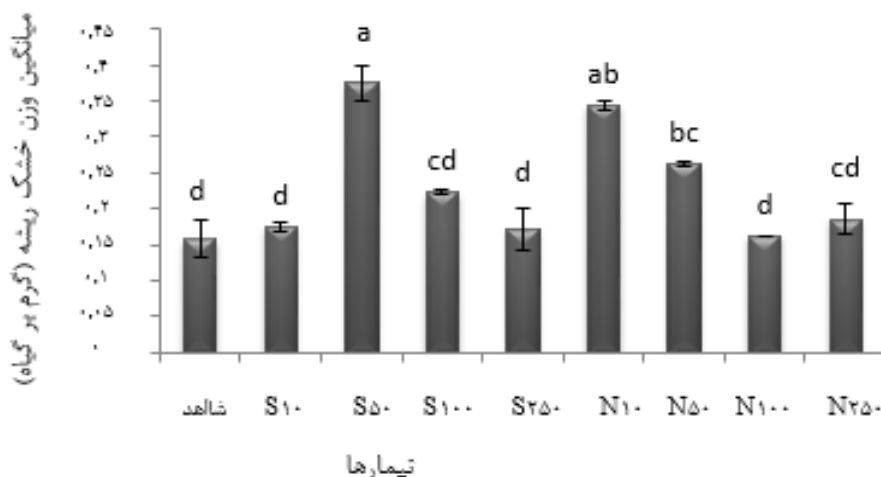
میزان اتیلن زیاد بوده که این زیادی اتیلن را گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد کردند، که سبب پراکسیداسیون لیپیدها شده و این پراکسیداسیون موجب افزایش میزان اتیلن می‌گردد، که باعث کاهش طول ریشه می‌شود، که این نتایج با نتایج ریزک و همکاران (۱۹۹۸) همخوانی دارد.



شکل ۶۰. تغییرات وزن تر ریشه در تیمارهای نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن تر ریشه در گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

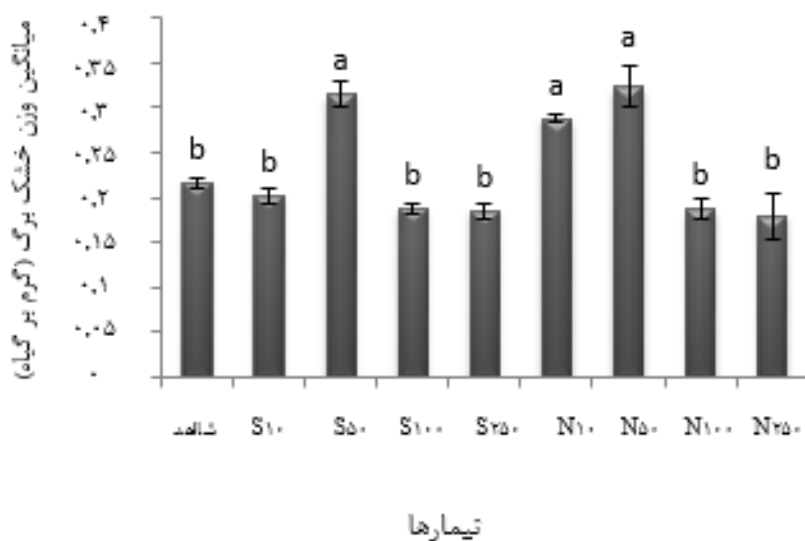


شکل ۶۱. تغییرات وزن خشک ساقه در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن خشک ساقه در گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۶۲. تغییرات وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن خشک ریشه در گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

وزن خشک ریشه در بین تیمارهای کود آهن معمولی در تیمار ۵۰ ppm بیشترین مقدار را داشت و ۵۸/۱۳٪ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد، ولی بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان ندادند.

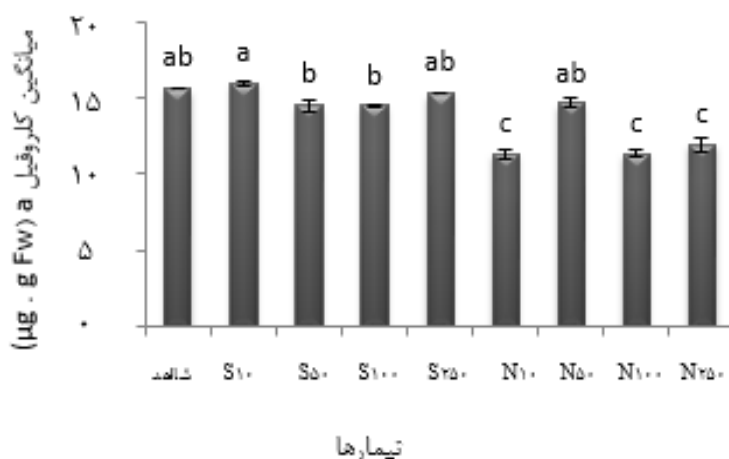


شکل ۶۳. تغییرات وزن خشک برگ در تیمارهای نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر وزن خشک برگ گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

وزن خشک برگ در بین تیمارهای کود آهن معمولی، در تیمار ۵۰ ppm، نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد، اما بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نمی‌دهند (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). راسکار و لاواریه (۲۰۱۴)، بیان نموده‌اند، که غلظت‌های پایین‌تر نانوذرات دارای بیشترین وزن تر و خشک می‌باشند، اما غلظت‌های بالاتر، کمترین وزن تر و خشک را دارند. سیدیکوی و الهایی (۲۰۱۴) بیان نموده‌اند، که با افزایش سطح از ۲ تا ۸ گرم بر لیتر $nSiO_2$ ، وزن تر و وزن خشک نهال افزایش می‌یابد، که علت احتمالی آن،

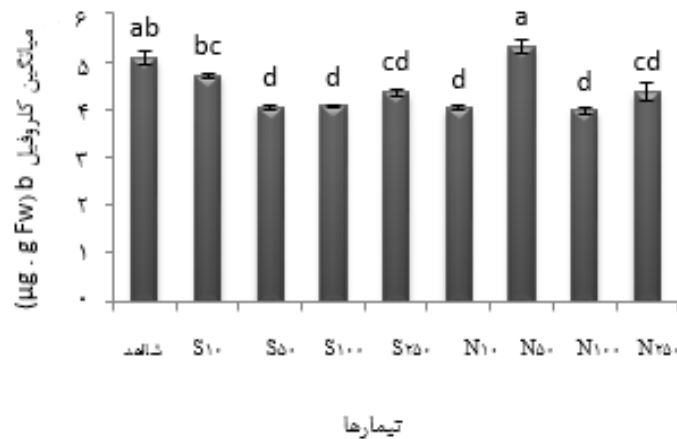
افزایش غلظت کود کلات آهن است، که باعث تجمع کود کلات آهن شده و منجر به گرفتگی منقذهای ریشه می‌شود، که در نهایت مانع جذب آب توسط دانه‌ها می‌شود (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

داورپناه و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند، که کاربرد محلول‌پاشی آهن مقدار وزن خشک را افزایش می‌دهد. رومی‌زاده و کریمیان (۱۹۹۶) گزارش کردند، که آهن اثر قابل توجهی بر روی SDMY گیاهان سویا ندارد و همچنین مشابه با یافته‌های موسوی و رونقی (۲۰۱۰) که گزارش کردند، کاربرد خاکی و محلول‌پاشی آهن بر SDMY یا RDMY لوبیا خشک تاثیر نمی‌گذارد. نیبور و فهر (۱۹۸۱)، گزارش کردند، که کاربرد خاکی آهن کلاته بر ۱۹ ژنوتیپ سویا، فقط بر ۷ ژنوتیپ سویا موثر است. با این حال، قاسمی فسایی و همکاران (۲۰۰۳) بیان نموده‌اند، که مصرف خاکی ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن به عنوان Fe-EDDHA بر روی ۱۲ ژنوتیپ سویا، SDMY دو ژنوتیپ سویا را افزایش می‌دهد و کاربرد ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن به خاک، پارامترهای دو رقم دیگر سویا را افزایش می‌دهد. می‌توان از یافته‌های محققان با نتایج این آزمایش نتیجه گرفت، که غلظتی اپتیمم برای نهال ماش در برابر تنش‌ها وجود دارد، که تا آن غلظت اپتیمم، صفات مورد اندازه‌گیری افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد. دلایل کاهش وزن تر و خشک ساقه، ریشه و برگ، احتمالاً به دلیل کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و کاهش فتوسنتز بوده (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳) یا احتمالاً به دلیل کاهش رشد طولی القاء‌شده توسط تنش بوده، که از طریق اثرات آن بر فیتوهورمون‌ها و کاهش در میزان تقسیم و گسترش سلولی انجام گرفته است و یک علت احتمالی در مورد کاهش وزن برگ، کاهش سطح برگ بوده است (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۶۴. تغییرات کلروفیل a در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰) بر میزان Chla برگ گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

میزان کلروفیل در گیاهان زنده، یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (جیانگ و هوانگ، ۲۰۰۱). کاهش میزان کلروفیل a نانوکود آهن نسبت به کود آهن معمولی، به نظر می‌رسد به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد، که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون (وایز و نایلور، ۱۹۸۷) و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردد (شوتز و فانگمیر، ۲۰۰۱). مظاهری‌نیا و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند، که کاربرد آهن، محتوای کلروفیل a و b و کلروفیل کل را در مقایسه با شاهد افزایش داده بود، اما تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های آهن بر روی این صفات وجود نداشت.



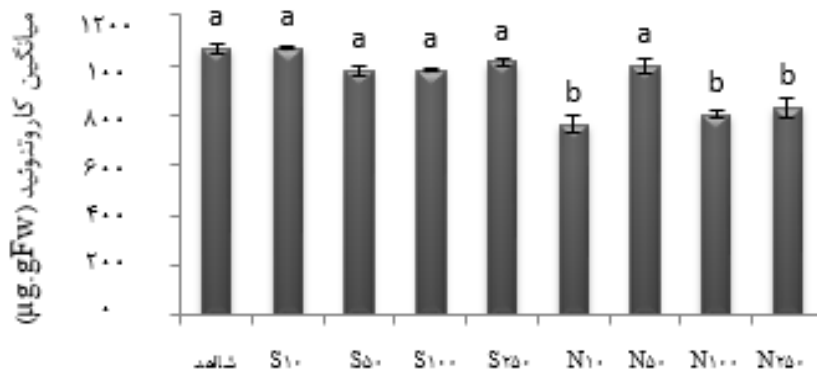
شکل ۶۵. تغییرات کلروفیل b در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰) بر میزان Chlb برگ گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

هم‌راستا با این نتایج، لیو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند، که کاربرد نانو Fe_2O_3 ، محتوای کلروفیل بادام زمینی را افزایش داده است و آمونولا و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند، که آهن، سولفات در خاک و اسپری برگ، محتوای کلروفیل ذرت را افزایش داده است. بورووسکی و میچالک (۲۰۱۱)، گزارش دادند، که کاربرد محلول-پاشی نمک آهن، محتوای کلروفیل a و b و کارتنوئید لوبیا فرانسوی را افزایش داده است. افزایش محتوای کلروفیل b گیاه ماش در این آزمایش می‌تواند با توجه به ارتقاء جذب و استفاده از مواد مغذی مانند نیتروژن توسط ترکیبات نانوآهن باشد، که توسط لیو و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند.

محمدی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند، که اثر کود آهن چنان بود، که بیشترین محتوای کلروفیل از تیمار EDDHA به دست آمد. بعد از تیمار EDDHA، بیشترین مقدار این شاخص به ترتیب از تیمارهای $FeSO_4$ و نانوکود آهن با مقدار ۱۴/۸۶ و ۱۲/۴۳ گزارش شدند، که بیشترین سطح را در مقایسه با تیمار شاهد با مقدار ۶/۶۱ و تیمار Fe-EDTA با مقدار ۵/۶ داشتند. ولکی و همکاران (۱۹۹۰) گزارش دادند، که همچنین یک رابطه‌ی خطی بین آهن برگ و محتوای کلروفیل در فلفل وجود دارد. علاوه بر این، چندین بررسی اثرات سودمند کاربرد اسپری برگ آهن به کمبود آهن میوه محصولات از جمله مرکبات، گلابی، هلو، سیب، انبه، آلو و بادام در شرایط افزایش غلظت کلروفیل برگ و بهبود بخشیدن عملکرد میوه توصیف کرده‌اند (کدمن و گازیت، ۱۹۸۴، سازن و همکاران، ۱۹۹۲، آبادیا و همکاران، ۲۰۰۲ و آلوارز و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۴). کاربرد نمک آهن غیرآلی (معدنی) ($FeSO_4$) و Fe-chelates (Fe-EDDHA and Fe-EDTA) بر روی گیاهان فلفل، محتوای کلروفیل a را در برگ این گیاهان در مقایسه با کنترل افزایش می‌دهد (روستا و محسنیان، ۲۰۱۲). تفاوت در غلظت آهن برگ در میان ارقام ممکن است به علت ظرفیت‌های مختلف جذب آهن از طریق برگ و ریشه باشد (مارسچنر و همکاران، ۱۹۸۶). بخشی از آهن ممکن است در آپوپلاست برگ رسوب کند و هیچ فعالیت فیزیولوژیکی انجام ندهد (منگل و همکاران، ۲۰۰۱). این یافته‌ها موافق با نتایج حاصل نشان دادند. ژن و همکاران (۲۰۰۵)، اثر نانوذرات اکسید تیتانیوم را مطالعه کرده و دریافته‌اند، که بذره‌های تیمارشده با نانوذرات اکسید تیتانیوم، ۴۵ درصد افزایش در مقادیر کلروفیل را موجب شده است. کلید افزایش نرخ رشد، استرلیزاسیون نوری و تولید نوری اکسیژن فعال مانند واحدهای سوپراکسید و هیدروکسید بوسیله نانوذرات است، که می‌تواند مقاومت استرسی بذرها را بالا ببرد و نفوذ برای جذب آب و اکسیژن لازم برای جوانه‌زنی سریع را افزایش دهد. محققان بیان

می‌کنند، که اندازه نانوذرات باعث می‌شود، که مواد غذایی غیرآلی افزایش یافته و شکستن مواد ارگانیک (آلی) را سرعت بخشیده و نیز سبب فروکش کردن اکسیژن رادیکال آزاد تشکیل شده در طی فرایندهای فتوسنتز و نیز سبب افزایش نرخ فتوسنتز می‌شود. گاو^۱ و همکاران (۲۰۰۸) بیان کرده‌اند، که نانوذرات اکسید تیتانیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو اکتیواز می‌شود. فعالیت روبیسکو اکتیواز کاملاً به نسبت ADP.ATP در استروما بستگی دارد و این آنزیم نقش مهمی در کنترل روبیسکو و بنابراین چرخه کالوین (واکنش‌های تاریکی) دارد. سایسون و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کرده‌اند، که نانوذرات اکسید مس در غلظت‌های بالا سبب القا تراکم سلولی و ممانعت از فتوسنتز II با از هم پاشیدگی کلروفیل همراه است و احتمالاً بوسیله تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود.

کلروفیل یکی از رنگیزه‌های مهم انتقال انرژی نور به منابع کربن و یک مارکر مهم برای بازگو کردن وضعیت گیاه است و ممانعت از تشکیل کلروفیل نموده که بر روی فتوسنتز تأثیر می‌گذارد و سبب افزایش الکترون مازاد می‌شود، که با اکسیژن مولکولی ترکیب شده و سبب تشکیل ROS آسیب‌رسان می‌شود (فویر و نوکتور، ۲۰۰۵)، که ممکن است به طور برگشت‌ناپذیری به ساختار تیلاکوئید آسیب برساند. راسوسیو و کرینگا (۲۰۰۷) نشان داده‌اند، که نانوذرات مغناطیسی در غلظت‌های کم (۵۰-۱۰ میکرولیتر)، سبب افزایش در سطوح کلروفیل a به عنوان رنگیزه اصلی تا ۱۳ درصد و در غلظت‌های بالا (۲۵۰-۱۰۰ میکرولیتر)، سبب آسیب در میزان کلروفیل تا ۳۵ درصد شده است. ویژگی‌های نانوذرات و سمیت آن‌ها می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات متعدد بیان می‌کنند، که نانوذرات سبب تغییرات در تولید ROS می‌شود (نل و همکاران، ۲۰۰۶). یک اثر متأثر از ROS بر روی فیزیولوژی سلول، حتی نیازی به جذب نانوذرات ندارد و تأثیر اکسین و دیگر فیتوهورمون‌ها بر روی رشد و نمو به خوبی در *Lemnaceae* مشخص شده است، که در معرض غلظت‌های کمی از اکسین قرار گرفتن سبب رشد و نمو ریشه‌های بلندتر شده، در حالی که اکسین اندازه برگ-ساقه را در *Lemnaceae* کنترل می‌کند (لاندولت، ۱۹۸۶). بنابراین ممکن است مورفولوژی تغییر یافته تحت تأثیر نانوذرات آلومینا در اثر دخالت پیام‌دهی آبشاری SIMR باشد و این را می‌رساند که نانوذرات آلومینا به عنوان یک مورفوژن عمل می‌کند. ساختارهای مصنوعی با یک سیستم فتوسنتزی ترکیب می‌شوند و نانوذرات فلزی مختلف نیز تقویت‌کننده قوی کارایی فتوسنتزی هستند و این به طور موازی سبب هم افزایش جذب نور با کلروفیل‌ها شده و هم باعث انتقال انرژی از کلروفیل به نانوذرات می‌شود (گوورو و کارملی، ۲۰۰۷، نادتوچنکو و همکاران، ۲۰۰۸ و مینگوی و همکاران، ۲۰۰۷). علت اینکه غلظت‌های کود آهن معمولی نسبت به کود نانواهن مقدار کلروفیل a بیشتری دارند، به نظر می‌رسد به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن می‌باشد، که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه این رنگیزه می‌گردد. در مورد کلروفیل b، علت اینکه غلظت ۵۰ ppm نانوکود بیشتر از همه‌ی غلظت‌های کود آهن معمولی بوده، به نظر می‌رسد به علت ارتقاء جذب و استفاده از مواد مغذی مانند نیتروژن توسط ترکیبات نانواهن باشد، که لیو و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند.



تیمارها

شکل ۶۶. تغییرات کاروتنوئید در تیمارهای مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوکود آهن و کود آهن معمولی (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰) بر کاروتنوئید گیاه ماش. ستون‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

میزان کاروتنوئید در بین تیمارهای کود آهن معمولی تیمار ۱۰ ppm بیشترین مقدار را داشت، ولی نسبت به بقیه تیمارها و شاهد معنی‌دار نبود (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). کاروتنوئیدها معمولاً دارای نقشی عملکردی در خاموش کردن اکسیژن یکتایی و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد هستند، که به علت توانایی آنها در انتقال انرژی در فتوسنتز و نقش حفاظت نوری آنهاست (جینتس و همکاران، ۲۰۰۶). کاروتنوئیدها سبب پراکنده شدن انرژی برانگیخته شده از طریق چرخه‌ی گزانتوفیل شده و باعث حفاظت دستگاه فتوسنتزی می‌شوند. کاروتنوئیدها قادرند انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه نور را جذب کنند و همچنین قادرند رادیکال‌های منفرد اکسیژن را به نمونه‌های اکسیژن سه‌تایی تبدیل کنند. کاروتنوئیدها با این اعمال نقش پاداکسایشی خود را ایفا می‌کنند (اینزه و مونتاقو، ۲۰۰۲). علت کاهش کاروتنوئید می‌تواند به علت تبدیل آن‌ها به اسید آسبیزیک باشد، این تبدیل در بسیاری از تنش‌های محیطی صورت می‌گیرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

۲-۱-۳. گونه‌های غیرزراعی

۱-۲-۳-۱. مرتعی

۱-۲-۳-۱-۱. بروموس کوپه داغی

گیاه بروموس کوپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov) از جنس *Bromus* است، که یکی از جنس‌های متنوع گیاهی با ۱۰۰ تا ۱۵۰ گونه است. گونه‌های این گیاه عمدتاً در نواحی معتدل رویش دارند. این جنس دارای گونه‌های یکساله و چندساله است و دامن‌سازی جغرافیایی وسیعی دارد (مقیم، ۱۳۸۴). مرکز تنوع این جنس در اورآسیا، به ویژه جنوب غربی آسیاست. بدین ترتیب، اعتقاد بر آن است، که منشأ این جنس این منطقه است. این گیاه برای اراضی بایر و کوهستانی به ویژه، به منظور ایجاد چراگاه مناسب است و چندین سال به وسیله تجدید حیات طبیعی حفظ می‌شود و تکثیر می‌یابد. کشت و کار این گیاه، ضمن اینکه از هدررفتن حاصلخیزی خاک توسط عمل فرسایش در اثر شستشو جلوگیری می‌کند، همزمان برای دام علوفه و متعاقب آن، غذای پروتئینی برای انسان تولید می‌کند (مقیم، ۱۳۸۴).

عظیمی و همکاران (۱۳۹۳)، با تحقیقی تحت عنوان "تاثیر نانوذرات دی اکسید سیلیسیم بر اندام‌های گیاه مرتعی بروموس کوپه‌داغی" نشان دادند، که غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید سیلیسیم و روش‌های مختلف مصرف

نانوذرات (آغشته با بذر و محلول پاشی برگ) بر روی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه بروموس کوهپه‌دانی (*Bromus Drobov kopetdaghensis*) تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). بر اساس نتایج این آزمایش، غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و ارتفاع کل گیاه بروموس کوهپه‌دانی در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$) تاثیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲۸). بر این اساس، مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه با روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نتایج این مقایسه میانگین طبق جدول ۲ نشان داد، که با کاهش غلظت نانوذرات، ارتفاع و پارامترهای وزنی گیاه بروموس افزایش یافت. به طوری که بیشترین میزان افزایش در ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه بروموس، در استفاده از نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر نسبت تیمار شاهد مشاهده شد.

جدول ۲۸. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک گیاه بروموس کوهپه‌دانی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی	ارتفاع (سانتی متر)
روش مصرف	۱	۰/۲۶**	۰/۳۹	۱/۲۸**	۸/۷۰**	۲/۶۱**
غلظت‌های نانوذرات	۵	۳/۰۳**	۱۲/۴۶**	۲۷/۴۲**	۲۳۷/۹۷**	۱۱۲/۸۵**
روش مصرف غلظت‌های نانوذرات	۵	۱/۱۹**	۲/۴۴**	۶/۹۰**	۳۳/۷۶**	۱۶/۰۱**
خطا	۳۶	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۳۹/۹۲	۰/۵۱

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد. به منظور کاهش حجم داده‌ها در جدول تجزیه واریانس تنها از میانگین مربعات داده‌ها و سطوح معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، استفاده شد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳)

همچنین، غالب صفات مورفولوژیکی گیاه بروموس با افزایش غلظت نانوذرات دی‌اکسیدسیلیسیم کاهش یافت، به طوری که در برخی موارد حتی از تیمار شاهد نیز کمتر بود. نتایج نشان داد، که برخی از غلظت‌های بالا (۵۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) اثر منفی بر ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه بروموس کوهپه‌دانی دارد (جدول ۲۹). آغشته کردن بذر گیاه بروموس با نانوذرات قبل از کاشت در گلدان و محلول پاشی برگ آن بعد از کاشت سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی این گیاه شد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۲۹). نتایج تحقیق بر روی غلظت‌های مختلف اعمال شده نانوذرات حاکی از آن بود، که غلظت‌های پایین نانوذرات اثر بیشتری بر وزن خشک گیاه بروموس داشت. کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ در هزار بیشترین وزن خشک را تولید نمود. محلول پاشی نانوذرات سیلیسیم با کمترین غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر) عملکرد وزن خشک اندام هوایی را از ۰/۶ به ۲/۲۵ گرم در گلدان افزایش داد. همچنین غلظت‌های بالای تیمار نانوآکسید سیلیسیم (SiO_2) کاهش وزن خشک اندام‌هوایی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۲۹).

جدول ۲۹. اثرات متقابل روش‌های مختلف مصرف و غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید سیلیسیم

بر برخی صفات مورفولوژیک گیاه بروموس کپه داغی

ارتفاع (سانتی متر)	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی	وزن خشک کل	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	غلظت (میلی گرم بر لیتر)	روش مصرف	نوع ذره
(گرم در گلدان)							
۱۰/۲۳ c	۶/۲۶ cd	۷/۴۵ e	۶/۴۱ c	۱/۰۴ de	۱		
۱۲/۷۵ b	۴/۸۹ de	۹/۰۳ c	۷/۴۹ b	۱/۵۴ c	۲		
۱۵/۶۸ a	۳/۳۲ ef	۱۰/۸۴ a	۸/۳۳ a	۲/۵۱ a	۱۰	بذری	
۷/۶۵ d	۸/۲۳ b	۵/۴۸ g	۵/۲۱ ef	۰/۶۴ f	۵۰		
۶/۱۵ ef	۸/۸۱ b	۴/۹۷ gi	۴/۴۵ g	۰/۵۱ fg	۸۰		
۱۱/۷۵ b	۵/۹۵ cd	۸/۱۶ d	۶/۹۶ b	۱/۲۰ d	۱		نانو
۱۵/۴۳ a	۳/۶۱ ef	۱۰/۳۰ b	۸/۰۵ a	۲/۲۵ b	۲		
۱۰/۱۳ c	۶/۶۲ c	۶/۸۹ f	۵/۹۸ cd	۰/۹۱ e	۱۰	برگی	
۶/۹۸ de	۸/۷۰ b	۵/۶۷ gh	۵/۰۸ ef	۰/۵۹ fg	۵۰		
۵/۳۸ f	۱۱/۷۰ a	۵/۱۶ gi	۴/۷۵ eg	۰/۴۱ g	۸۰		
۵/۳۸ f	۹/۱۸ b	۶/۰۸ g	۵/۴۸ de	۰/۶۰ fg	-	-	شاهد

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت سبب افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس شد (جدول ۲۹). در این تحقیق مشاهده شد، که غلظت‌های پایین نانوذرات تاثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس داشت. استفاده از نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین وزن خشک ریشه را تولید نمود. محلول‌پاشی نانوذرات سیلیسیم با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد وزن خشک ریشه را از ۵/۴۸ به ۸/۰۵ گرم و در بذرهای آغشته به نانو، وزن خشک ریشه را تا ۸/۳۳ افزایش داد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۲۹). کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت سبب افزایش وزن خشک کل گیاه بروموس شد. در این تحقیق مشاهده شد، که غلظت‌های پایین نانوذرات تاثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس داشت (جدول ۲۹). کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین وزن خشک را تولید نمود. محلول‌پاشی نانوذرات سیلیسیم با غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر) عملکرد وزن خشک کل گیاه را از ۶/۰۸ به ۱۰/۳ گرم و در بذرهای آغشته به نانو وزن خشک ریشه را تا ۱۰/۸۴ افزایش داد. در غلظت‌های بالای نانوذرات، کاهش وزن خشک کل گیاه مشاهده شد، به طوری که گیاهانی که با نانوذرات سیلیسیم با غلظت‌های بالا تیمار شده بودند، وزن خشک کمتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. در این آزمایش بین کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی بر ارتفاع گیاه بروموس تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) وجود داشت (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۲۹). کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت سبب افزایش ارتفاع گیاه بروموس شد. بلندترین ارتفاع بروموس در استفاده از نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بود، که این محلول‌پاشی نانوذرات سیلیسیم با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، ارتفاع گیاه را از ۵/۳۸ به ۱۵/۴۳ گرم و در بذرهای آغشته به نانو وزن خشک ریشه را تا ۱۵/۶۸ افزایش داد (جدول ۲۹). از مقایسه نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه بروموس در تیمارهای نانو اکسید سیلیسیم (SiO_2) معلوم شد، که بین کاربرد نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) وجود دارد (جدول ۲۹).

نتایج تحقیق بر روی غلظت‌های مختلف اعمال شده نانوذرات حاکی از آن بود، که غلظت‌های پایین نانوذرات اثر بیشتری بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه بروموس داشت و در غلظت‌های پایین نانوآکسید سیلیسیم (SiO_2)، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی کمتر بود (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۲۹).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید سیلیسیم و روش‌های مختلف مصرف نانوذرات (آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگ) بر روی ارتفاع و پارامترهای وزنی گیاه مرتعی بروموس کپه‌داغی (*Bromus Drobov kopetdaghensis*) تاثیر معنی‌داری داشت (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳). در این آزمایش مشاهده گردید، که با افزایش غلظت نانوذرات، ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه کاهش یافتند. درحالی‌که، دی اکسید سیلیسیم نانو در غلظت‌های پایین در روش استفاده از نانوذرات سیلیسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، افزایش ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه نسبت تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد، که برخی از غلظت‌های بالا (۵۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) اثر منفی بر ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه بروموس کپه‌داغی دارد. بیشترین تاثیر نانوذرات بر اندام‌های گیاه بروموس به ترتیب بر ارتفاع، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌هوایی گیاه بروموس بود (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳). نانوذرات سیلیسیم در غلظت‌های پایین در روش استفاده به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین وزن خشک ریشه را دارا بودند، که این امر به دلیل ریشه‌های افشان گیاه بروموس، نقش مهمی را در حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی در عرصه‌های مرتعی ایفا می‌کند. همچنین در این غلظت‌های نانوذرات، وزن خشک اندام هوایی گیاه افزایش بسزایی داشت، که این امر برای تولید علوفه حائز اهمیت است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

همچنین نتایج تحقیق بهداد و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد، که عصاره اندام هوایی درمنه نسبت به عصاره ریشه با شدت بیشتری موجب کاهش رشد وزن خشک برگ و ریشه و مقدار کلروفیل برگ گیاهچه‌های بروموس شد، ولی محتوای قندهای محلول به افزایش تنش آلودپاتی زیاد شد. مقدار کل ترکیبات فنلی موجود در عصاره اندام هوایی و اثر بازدارنده آن ضمن عبور از مرحله رویشی، گل دهی و بذردهی به طرز معنی‌داری کاهش یافت.

۲-۱-۲-۱-۳. ارزن دم‌روباهی

نام فارسی: ارزن دم‌روباهی یا گاورس

نام علمی: *Setaria italica*

تیره: poaceae

گیاهی است، یک‌ساله با ساقه‌های راست و پر برگ، پانیکول آن بسیار فشرده است و حالت استوانه‌ای به خود گرفته است. بذرهايش از بذر ارزن معمولی کوچک‌تر است. پانیکول استوانه‌ای آن طویل و کرک‌دار است و در قاعده هر سنبلک پوشش وجود دارد، که ۳-۱ کرک زبر دارد (مقیمي، ۱۳۸۴). در هنگام برداشت لما از آن جدا شده و پالنا باقی می‌ماند. احتمالاً منشا آن آسیای جنوبی است و سابقه کشت آن در چین به حدود ۲۷۰۰ سال قبل از میلاد می‌رسد. سطح زیر کشت آن از زمانی که گیاه سودان‌گراس به عنوان یک گیاه علوفه معرفی شده، روز به روز در دنیا کاهش یافته است. به اقلیم‌های معتدل‌تر نسبت به مناطق حاره سازگارتر است و احتیاج به آب و هوای گرم دارد (ارزن به دلیل عمق ریشه کم اثرات خشکی را نشان می‌دهد). عمر آن حدود ۷۰ - ۶۵ روز است. میزان بذر مصرفی آن ۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و عملیات کاشت آن شبیه پروسو است (مقیمي، ۱۳۸۴). از مصارف عمده آن علوفه تازه است و بهترین کیفیت علوفه زمانی حاصل می‌شود، که بلافاصله بعد از ظهور اولین سنبله‌ها گیاه برداشت شود. در زمانی که پانیکول گیاه مشاهده شد، گاورس را برداشت می‌کنند و با چاپر یا اره‌هایی قطعه قطعه نموده و به

مصرف دامها می‌رسانند. علوفه تازه این گیاه نسبت به علوفه‌های دیگر خوش خوراکی زیادی ندارند و علت آن وجود ماده ستارین (Setarin) در این گیاه است، که یک گلوکوسین بوده و در اسبها سبب ادرار زیاد می‌شود، ولی در حیوانات دیگر اثر کمتری دارد. کشت و کار زراعی گاورس جهت تولید دانه مقرون به صرفه نیست. ارزش غذایی دانه آن برای دام، ۸۳ درصد ارزش غذایی ذرت می‌باشد. ارزن در ایران به عنوان کشت دوم پس از برداشت گندم و جو مورد کشت واقع می‌شوند. با توجه به فصل رشد کوتاه آن قبل از سرمای پائیزه باید برداشت شود. تاریخ کاشت ارزن در ایران از اوایل اردیبهشت تا اواخر تیر ماه است. درجه حرارت پایه آن بالاتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. گل آذین پانیکول باز، ارتفاع بوته کوتاه و برگ‌ها از کرک‌هایی پوشیده شده‌اند. دانه پس از رسیدن درون پوشینه‌ها باقی می‌ماند. ارزن معمولی با عملکرد یک تن نیاز به ۴۰ کیلوگرم ازت خالص، ۷۰ کیلوگرم فسفر و ۷۰ کیلوگرم پتاس دارد (مقیم، ۱۳۸۴).

- کاشت

بستر بذر ارزن باید کاملاً نرم باشد و مبارزه با علف‌های هرز آن ضروری است. میزان بذر مصرفی ۳۵ کیلوگرم در هکتار و عمق کاشت مناسب ۱-۲ سانتی‌متر است. پخش بذر توسط کودپاش سانتریفوژ یا با دست انجام می‌گیرد. توصیه می‌شود قبل از کاشت ارزن به زمین فرصت داده شود، تا علف‌های هرز سبز شوند و سپس با شخم آن‌ها را از بین ببریم. قدرت پنجه‌زنی کمتری از گندم و جو دارد، چون زمان این مرحله در ارزن خیلی کوتاه است. جهت کاشت ارزن فاصله ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها باید حدود ۳ سانتی‌متر باشد. وقتی ارزن برداشت می‌شود، که بذور نیمه بالایی پانیکول رسیده باشند. در زمان رسیدن رنگ پانیکول به زرد مایل به سفید تبدیل می‌شوند. در این زمان بوته ارزن هنوز سبز است. علت برداشت زودتر، حساس بودن ارزن نسبت به ریزش است. از بیماری‌های مهم ارزن، سیاه‌ها هستند، که دانه را از بین می‌برند (مقیم، ۱۳۸۴). داوودی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر محلول پاشی نانو اکسید روی بر عملکرد و راندمان مصرف آب ارزن دمروباهی در شرایط تنش خشکی" به این نتیجه رسیدند، تنش خشکی باعث کاهش تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گردید (جدول ۳۰ و ۳۱). فاکتورهای مورد آزمایش شامل تیمار آبیاری در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی و تیمارهای محلول پاشی روی به صورت اکسیدروی معمولی در سه سطح (۰/۳، ۰/۶ و ۱/۲ درصد) و نانو اکسید روی در سه سطح (۰/۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ درصد) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد (داوودی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳۰. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد ارزن تحت تیمارهای آبیاری و کود روی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	تعداد دانه در خوشه	تعداد خوشه در مترمربع	عملکرد بیوماس	عملکرد دانه	درجه آزادی	وزن هزار دانه
تکرار	۱۴۹۹/۸۹	۱۰۳۴۷/۱۷	۱۲۷۷۰۰/۷۹	۱۲۷۲/۳۵	۲	۰/۰۰۶
فاکتور A (آبیاری)	۲۵۲۳۹/۹۱*	۲۱۸۱۶۰/۲۱*	۲۷۶۹۰۸/۲۵ ^{ns}	۵۰۵۷۱/۳۷*	۱	۳/۲۵۹**
خطای اول	۲۲۷۳/۲۷	۱۳۹۸۲/۵۰	۲۹۷۴۴/۳۹	۱۳۸۴/۸۷	۲	۰/۰۱۹
فاکتور B (کود)	۲۹۸/۰۳ ^{ns}	۲۱۸۹/۴۴ ^{ns}	۴۵۷۷/۲۹ ^{ns}	۶۱/۸۲ ^{ns}	۶	۰/۰۰۹ ^{ns}
آبیاری×کود	۲۶۸/۲۳ ^{ns}	۱۱۹۹/۸۸ ^{ns}	۴۲۸۷/۳۶ ^{ns}	۶۱/۷۸ ^{ns}	۶	۰/۰۲۱ ^{ns}
خطای دوم	۶۴۶/۱۶	۱۳۸۲/۲۸	۵۱۰۳/۰۷	۱۷۵/۱۹	۲۴	۰/۰۳۰
ضریب تغییرپذیری	۲۶/۲۶	۲۲/۱۶	۲۱/۰۴	۲۶/۲۲	-	۶/۳۳۰

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند (داوودی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳۱. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به شاخص برداشت و

کارایی مصرف آب ارزن تحت تیمارهای آبیاری و کود روی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	کارایی مصرف آب دانه	شاخص برداشت دانه در بوته	شاخص برداشت دانه در خوشه	شاخص برداشت خوشه در بوته	درجه آزادی	کارایی مصرف آب بیوماس
تکرار	۰/۰۰۱	۱۱۳/۷۴۰	۱۴۶/۰۸۷	۲۸۰/۰۴۱۵	۲	۰/۱۹۲
فاکتور A (آبیاری)	۰/۰۴۴*	۲۳۵۹/۶۳۳*	۶۲۰۱/۸۳۶**	۳۱۷۹/۱۸۱*	۱	۰/۰۱۱ ^{ns}
خطای اول	۰/۰۰۲	۸۱/۳۰۸	۱۳/۸۸۵	۱۸۰/۲۴۹	۲	۰/۰۲۹
فاکتور B (کود)	۰/۰۰۰ ^{ns}	۷/۷۶۳ ^{ns}	۴۵/۳۰۱ ^{ns}	۹/۰۰۳ ^{ns}	۶	۰/۰۰۸ ^{ns}
آبیاری × کود	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۵/۴۰۷ ^{ns}	۸۷/۴۰۰ ^{ns}	۴۰/۲۲۵ ^{ns}	۶	۰/۰۰۷ ^{ns}
خطای دوم	۰/۰۰۵	۱۹/۹۴۱	۱۳۷/۴۶۰	۵۷/۳۷۷	۲۴	۰/۰۰۸
ضریب تغییرپذیری	۲۵/۱۰۰	۳۱/۶۹۰	۲۴/۴۶۰	۲۷/۵۰۰	-	۲۰/۳۶۰

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند (داوودی و همکاران، ۱۳۹۲)

مقایسات میانگین نشان داد، که بیشترین عملکرد دانه از طریق تیمار آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد نیاز آبی) با مصرف کود اکسید روی معمولی با غلظت ۰/۶ درصد حاصل شد، در حالی که اثر محلول‌پاشی با اکسید روی معمولی و نانواکسید روی بر هیچ یک از صفات معنی‌دار نبود. تنش خشکی در سطح پنج درصد، تأثیر معنی‌داری بر تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه در خوشه داشت و باعث کاهش این صفات گردید، به طوری که در تیمار تنش نسبت به آبیاری مطلوب، تعداد خوشه در مترمربع و تعداد دانه در خوشه به ترتیب ۶۰/۱ و ۴۰/۴ درصد کاهش یافت (داوودی و همکاران، ۱۳۹۲).

۳-۱-۲-۱-۳. رشادی گوش‌موشی (*Arabidopsis thaliana*)

رشادی گوش‌موشی یا آرابیدوپسیس تالیانا (گیاه مین‌یاب)، یک گیاه کوچک و بومی اروپا، آسیا و شمال‌غربی آفریقا است. این گیاه اولین گیاهی است، که نقشه ژنی آن توالی‌یابی شد. گیاهی یک‌ساله و دولپه‌ای است. این گیاه یک خردل کوچک است، که به خانواده‌ی Brassicaceae تعلق داشته و اغلب در ردیف کلم بروکلی و گل کلم دسته‌بندی می‌شود، با این تفاوت که این گیاه مصرف خوراکی ندارد. طول این گیاه در حدود ۲۰-۳۰ سانتی‌متر است. رنگ گل‌ها سفید بوده و هر گل از چهار گلبرگ تشکیل شده است (عماد، ۱۳۷۸). ضخامت گل‌ها ۲-۴ میلی‌متر می‌باشد. برگ‌ها، کوچک کنگره‌ای و پرزدار هستند. این گیاه کوچک‌ترین ژنوم شناخته شده گیاهی را داراست. اندازه ژنوم این گیاه حدود ۱۱۴-۱۲۵ مگابیس است و دارای ۲۵۰۰ ژن می‌باشد. تعداد کروموزوم‌ها در این گیاه بسیار کم است و این گیاه ۵ کروموزوم دارد. شاهی گوش‌موشی می‌تواند مین‌ها و مواد منفجره‌ی پنهان‌شده در خاک را پیدا کند. جالب‌تر اینکه رنگ برگ‌های این گیاه بعد از تماس با مواد انفجاری از سبز به قرمز تغییر می‌یابد و این ویژگی به خاطر خاصیت ژنتیکی موجود در گیاه است. در واقع هنگامی که این گیاه در حضور NO₂ رشد کند، پس از سه تا پنج هفته، برگ‌های آن از سبز به قرمز تغییر رنگ می‌یابد، به این دلیل که گیاه به دی اکسید نیتروژن موجود در مواد منفجره حساس است (مقیم، ۱۳۸۴).

در تحقیقی درصد جوانه‌زنی بذرهای گیاه *Arabidopsis thaliana* توسط SiO₂ تحت تاثیر قرار گرفت. تاثیر مثبت معنی‌دار بر طول ریشه‌چه توسط تمامی غلظت‌های نانو Al₂O₃ و غلظت ۴۰۰ نانو SiO₂ مشاهده شد و بقیه غلظت‌ها و نیز نانو Fe₃O₄ و ZnO اثرات بازدارندگی بر طول ریشه‌چه نشان دادند. تمامی غلظت‌های ZnO تعداد برگ کمتری داشتند (لی و همکاران، ۲۰۱۰).

۴-۱-۲-۱-۳. علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum* H.)

گونه مرتعی علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum* H.)، متعلق به زیرخانواده Festucoideae و تیره Poaceae است (شکل ۶۷). این گیاه چندساله بوده و سازگاری خوبی با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک، انواع خاکها به غیر از خاکهای رسی سنگین و یا شنی، سرما و چرای دام دارند. تولید مثل این گیاهان دگرگشن از طریق بذر می باشد (مقیم، ۱۳۸۴). این گیاهان دارای عمر طولانی، مقاومت به خشکی و سرما و سامانه ریشه‌ای گسترده می باشند. گونه معروف علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*) (بیرد، ۱۹۷۳)، که به عنوان چمن نیز مورد استفاده قرار می گیرد (دانیل و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل ۶۷. علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum* H.) (مقیم، ۱۳۸۴)

گیاهی چندساله، پایا، دارای ریزوم رونده و ریشه‌های فیبری بلند، چمنی مقاوم به خشکی و سرماست، که استفاده از آن یکی از راهکارهای ایجاد فضاهای سبز درون شهری و برون شهری در مناطق خشک و نیمه خشک است (اسماعیلی شریف، ۱۳۸۷). بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد، تاکنون گونه‌های نسبتاً خوش‌خوراک و پرتولید مراتع است و برای بذرکاری و بذریاشی در مناطق استپی و نیمه‌استپی کشور در پروژه‌های مرتع‌کاری توصیه شده است و نقش مهمی در تولید علوفه و حفاظت خاک مراتع دارد (مقیم، ۱۳۸۴). استفاده از گونه‌های خوش‌خوراک، سازگار، کلیدی و مقاوم به چرای دام در اصلاح و توسعه مراتع حائز اهمیت هستند، که این گونه این خصوصیات رو دارد.

فیضی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی با عنوان "بررسی اثرات غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر جوانه‌زنی و خصوصیات مرفولوژیک رشد گونه گراس مرتعی علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum* H.)" به نتایج زیر دست یافتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذرگونه علف گندمی بلند تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳۲).

جدول ۳۲. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی جوانه‌زنی و

خصوصیات مرفولوژیک رشد بذر گونه علف گندمی بلند

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول کل گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن کل گیاهچه (میلی‌گرم)	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (روز)
نانو	۵	۱۸/۱۹**	۵۲/۷۱**	۱۳۱/۳۹**	۰/۱۴**	۰/۲۶**	۰/۶۰**	۱۸۹۱/۴۲**	۳/۰۵**
سرمادهی	۲	۷۳/۰۱**	۱/۶۸**	۱۸۴/۰۲**	۰/۴۰**	۰/۴۴**	۱/۶۷**	۵۵۱۰/۲۲**	۸/۱۸**
نانو* سرمادهی	۱۰	۱/۱۰**	۰/۷۳**	۲/۷۳**	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۲۸/۰۹**	۰/۴۷**
خطا	۵۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۶/۰۰	۰/۰۷

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد. به منظور کاهش حجم داده‌ها در جدول تجزیه واریانس تنها از میانگین مربعات داده‌ها و سطوح معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، استفاده شد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰)

بر اساس نتایج، تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم، بر خصوصیات مرفولوژیک رشد گونه علف گندمی شامل طول ساقه‌چه، ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$)، معنی‌دار شد. همچنین غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم بر درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت جوانه‌زنی، در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$) تاثیر معنی‌داری را نشان داد. در مورد اثر تیمار سرمادهی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد نیز بر سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$)، اثر معنی‌داری مشاهده شد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰) (جدول ۳۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که سرمادهی اثر معنی‌داری بر میانگین سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک آن‌ها داشت. تحت تیمار سرمادهی جوانه‌زنی بذر ۷۷/۸ درصد بود، در حالی که، در تیمارهای بدون سرمادهی و سرمادهی همراه با نانو درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۵۲/۸ و ۸۰/۲ درصد بود (جدول ۳۳). جدول ۳۳ نشان می‌دهد، که بذرهایی که با نانوذرات سرمادهی شده بود (نانو + سرمادهی)، بهترین نتیجه را در بین مشاهدات داشت و وزن خشک و طول کل گیاهچه به ترتیب حدود ۵۳/۶ و ۴۷/۲ درصد در مقایسه با تیمار کنترل افزایش یافت. این تیمار باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی از ۶/۲۴ روز در تیمار شاهد به ۵/۲۶ روز داشت. تیماری که اول محلول نانو اضافه و سپس تیمار سرمادهی را اعمال کردیم (نانو + سرمادهی)، بیشترین تاثیر را در شکستن خواب بذر داشت. اگرچه که سرمادهی برای بذرهایی علف گندمی بلند واجب است، اما بذرهایی که با نانوذرات سرمادهی شده بودند، افزایش بیشتری بر درصد جوانه‌زنی داشتند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰).

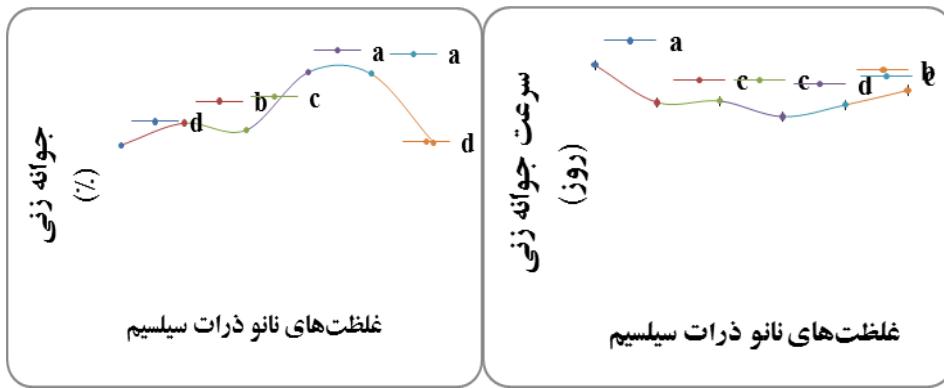
جدول ۳۳. اثر تیمارهای سرمادهی بر جوانه‌زنی و خصوصیات مرفولوژیک گونه علف گندمی بلند

سرما دهی	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول کل گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن کل گیاهچه (میلی‌گرم)	سرعت جوانه‌زنی (روز)	درصد جوانه‌زنی
۱	۵/۳۰ c	۶/۰۴ c	۱۱/۳۵ c	۰/۶۴ c	۰/۳۳ c	۰/۹۷ c	۶/۴۲ a	۵۲/۸۳ c
۲	۷/۹۴ b	۷/۳۱ b	۱۵/۲۴ b	۰/۸۱ b	۰/۵۰ b	۱/۳۱ b	۵/۷۲ b	۷۷/۸۳ b
۳	۸/۶۰ a	۸/۱۰ a	۱۶/۷۱ a	۰/۹۰ a	۰/۶۰ a	۱/۴۹ a	۵/۲۶ c	۸۰/۱۷ a

(منبع: فیضی و همکاران، ۱۳۹۰)

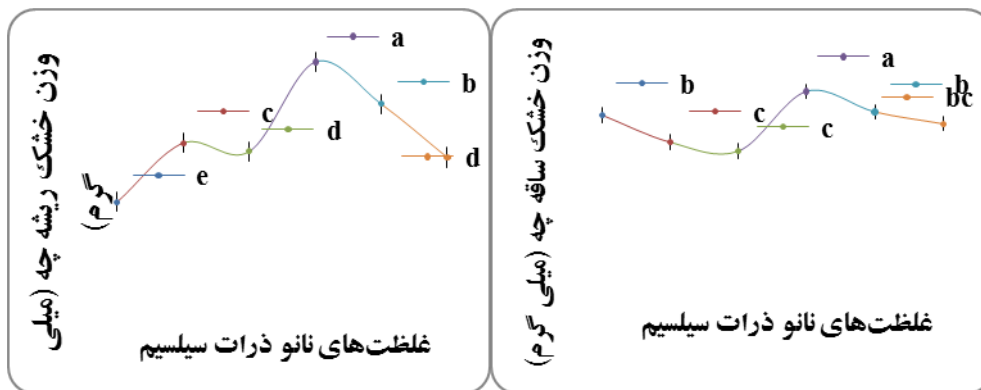
بنابراین به نظر می‌رسد، نانوذرات سیلیسیم می‌تواند یکی از تیمارهای شکستن خواب محسوب شود. مطالعات نشان داده‌اند، که برخی نانوذرات می‌توانند توانایی گیاه را برای جذب آب و کودهای نیتروژن افزایش، قدرت سیستم ریشه و فعالیت نیترات ردوکتار را تحریک، تجزیه مواد آلی را تشدید کرده و به تشکیل اسیدهای آمینه ضروری کمک کنند (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش جوانه‌زنی و وزن خشک احتمالاً در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی معدنی و فرآیند فتوسنتز کاتالیز شده توسط نانوذرات TiO_2 می‌باشد. اثر قابل توجه نانوذرات احتمالاً در اثر اندازه کوچک ذرات می‌باشد، که اجازه نفوذ آن را به داخل بذر در طی دوره تیمار می‌دهد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$) معنی‌دار شد. تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم، بر خصوصیات رشد به طور معنی‌داری متفاوت بود. درصد و سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های مختلف معنی‌داری بود. درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت و از غلظت ۴۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر ثابت و سپس از ۶۰ میلی‌گرم درصد جوانه‌زنی روند کاهشی داشت (شکل ۶۸ الف). بهترین سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم مشاهده شد (شکل ۶۸-ب). با افزایش غلظت نانو، طول گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت. به طوری که کمترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در غلظت ۸۰ میلی‌گرم مشاهده شد (شکل ۶۸-ر) و (شکل ۶۸-ی) (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰). در بین غلظت‌های مختلف نانوذرات، غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین اثر بازدارندگی را بر روی جوانه‌زنی بذور داشت. غلظت‌های خیلی کم نانوذرات نقره (کمتر از ۱ پی‌پی‌ام) می‌تواند برای گیاهچه‌های *Arabidopsis thaliana* سمی باشد. نانوذرات ۸۰-۲۰ نانومتر به طور آشکاری رشد را متوقف کرد و سمیت آن‌ها به غلظت و اندازه ذرات وابسته بود (لی و همکاران، ۲۰۰۸). غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین اثر را در افزایش وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه افزایش داشت. این غلظت وزن گیاهچه را حدود ۴۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین با افزایش غلظت نانوذرات سیلیسیم، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه کاهش یافت (شکل ۶۸-ج، د، ه) (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰).



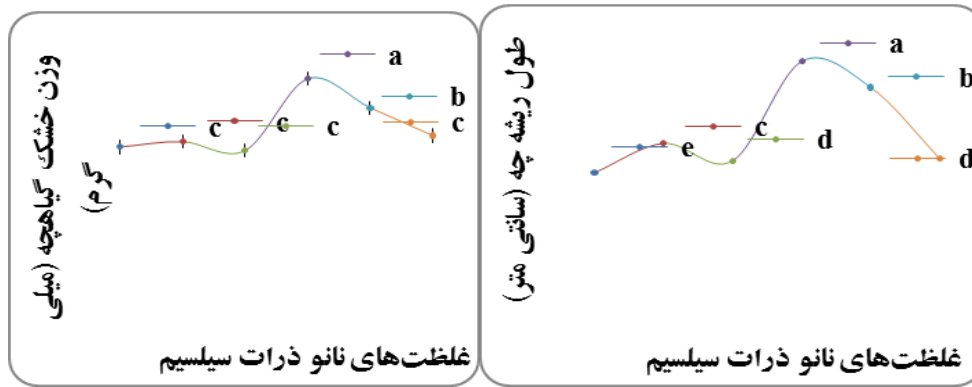
(الف)

(ب)



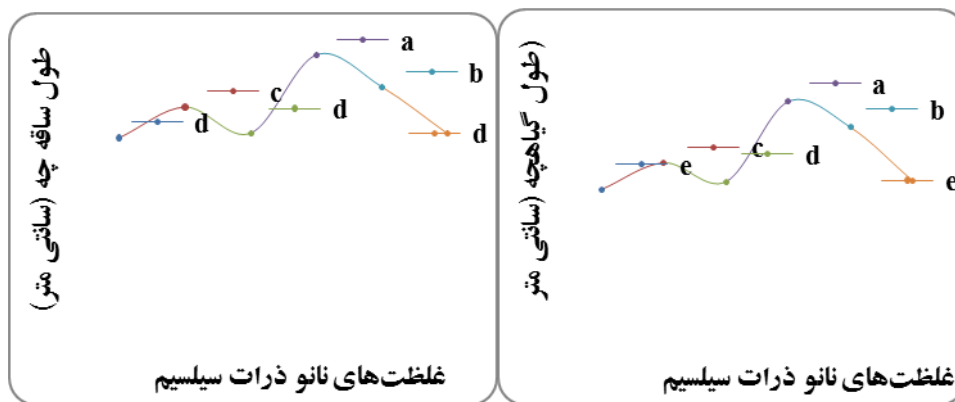
(د)

(ج)



(ه)

(ف)

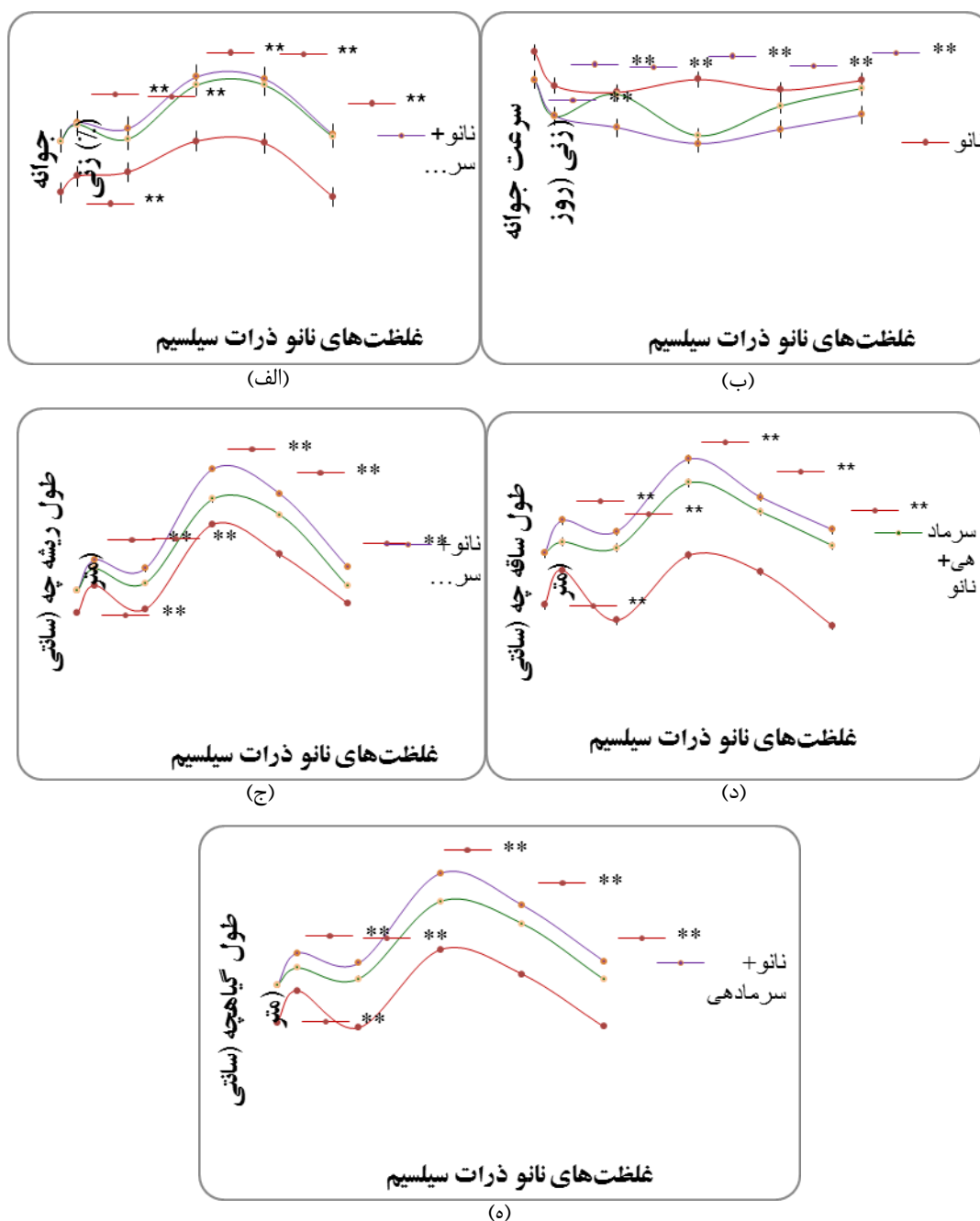


(و)

(ه)

شکل ۶۸. اثر غلظت های مختلف نانوذرات سیلیسیم بر روی جوانه زنی و خصوصیات مورفولوژیک رشد گیاه *Arabidopsis thaliana* (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و طول کل گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$) معنی دار شد، ولی بر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن کل گیاهچه معنی دار نبود (شکل ۶۹ و جدول ۳۴) (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۶۹. اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرمادهی بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوژیک رشد گیاه *Arabidopsis thaliana* (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰)

همه تیمارهای مورد مطالعه به طور معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و طول کل گیاهچه تاثیر داشتند. بیشترین درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های ۴۰ (۹۸ درصد) و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر (۹۷ درصد) تیمار نانو + سرمادهی (اول غلظت‌های مختلف نانوذرات اضافه‌شده سپس تیمار سرمادهی اعمال شد) و درصد جوانه‌زنی در تیمارهای ۴۰ (۹۴ درصد) و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر (۹۴ درصد) تیمار سرمادهی + نانو (اول تیمار سرمادهی اعمال

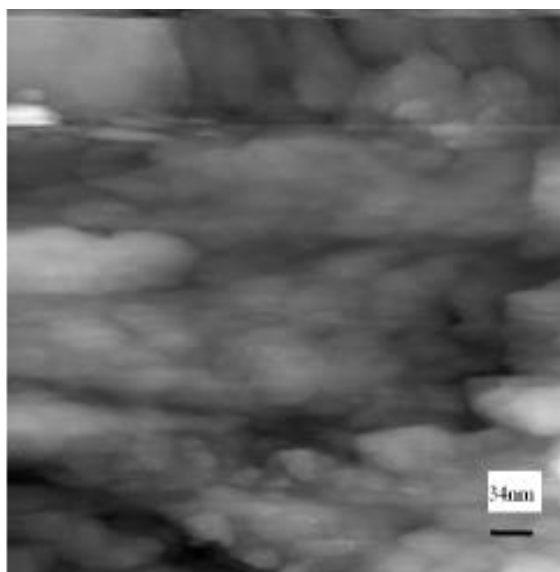
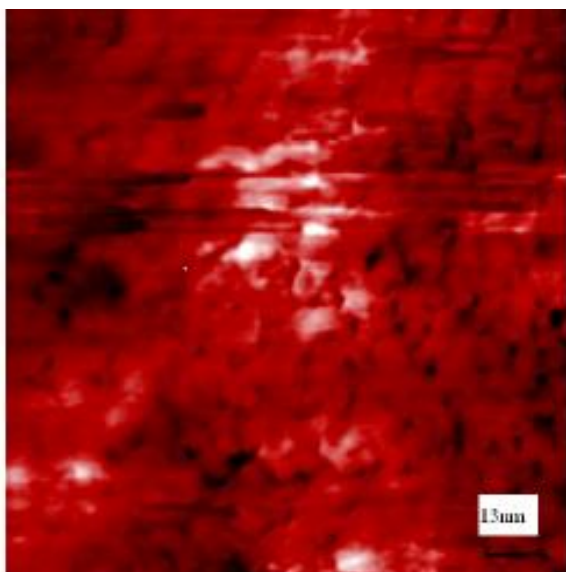
شده سپس غلظت‌های مختلف نانو اضافه شد) مشاهده شد (جدول ۳۴). بیشترین طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و طول کل گیاهچه در غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر تیمار نانو به علاوه‌ی سرماده‌ی (اول غلظت‌های مختلف نانوذرات اضافه شده سپس تیمار سرماده‌ی اعمال شد) مشاهده شد (جدول ۳۴). غلظت‌های بالای نانوذرات سیلیسیم در مرحله جوانه‌زنی اثر منفی بر MGT داشتند و کمترین طول ساقه‌چه، ریشه‌چه، گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را تولید نمودند. بهترین و مناسب‌ترین غلظت در جهت تحریک رشد و جوانه‌زنی ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات بود (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ۳۴. اثرات متقابل غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیسیم و سرماده‌ی بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات مرفولوژیک رشد

سرما دهی	غلظت‌های نانو سیلیسیم (ppm)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول کل گیاهچه (سانتی‌متر)	سرعت جوانه‌زنی (روز)	درصد جوانه‌زنی
بدون سرماده‌ی	شاهد	۴/۴۵ g	۴/۷۲ i	۹/۱۶ k	۷/۲۳ a	۴۲ g
	۵	۵/۸۵ f	۶/۲۳ h	۱۲/۰۸ j	۶/۲۵ bc	۵۰ f
	۲۰	۴/۶۳ g	۴/۰۵ ij	۸/۶۷ k	۶/۰۵ bcd	۵۲ f
	۴۰	۸/۹۸ c	۶/۸۷ gh	۱۵/۸۵ d	۶/۴۴ b	۶۷ de
	۶۰	۷/۴۳ d	۶/۱۵ h	۱۳/۵۹ ghi	۶/۱۲ bc	۶۶ e
	۸۰	۴/۹۳ g	۳/۸۱ j	۸/۷۵ k	۶/۴۱ b	۴۰ g
سرماده‌ی + نانو	شاهد	۵/۶۰ f	۶/۹۵ gh	۱۲/۵۵ ij	۶/۴۳ b	۶۷ de
	۵	۶/۷۱ e	۷/۴۵ fg	۱۴/۱۵ fg	۵/۳۲ efg	۷۵ bc
	۲۰	۵/۹۷ f	۷/۲۰ fg	۱۳/۱۶ hij	۵/۹۹ bcde	۶۸ de
	۴۰	۱۰/۲۷ b	۱۰/۰۰ b	۲۰/۲۸ b	۴/۷۰ gh	۹۴ a
	۶۰	۹/۴۷ c	۸/۷۵ cd	۱۸/۲۲ c	۵/۶۴ cdef	۹۴ a
	۸۰	۵/۸۲ f	۷/۲۸ fg	۱۳/۱۰ fhij	۶/۱۷ bc	۶۹ cde
نانو + سرماده‌ی	شاهد	۵/۶۰ f	۶/۹۵ gh	۱۲/۵۵ ij	۶/۴۳ b	۶۷ de
	۵	۷/۱۶ de	۸/۳۷ de	۱۵/۵۳ de	۵/۳۴ efg	۷۶ b
	۲۰	۶/۷۱ e	۷/۹۰ ef	۱۴/۶۱ efg	۴/۹۹ fgh	۷۳ bcd
	۴۰	۱۱/۸۰ a	۱۱/۰۳ a	۲۲/۸۵ a	۴/۵۰ lh	۹۸ a
	۶۰	۱۰/۵۴ b	۹/۳۹ bc	۱۹/۹۹ b	۴/۹۴ gh	۹۷ a
	۸۰	۶/۸۱ de	۷/۹۷ def	۱۴/۷۸ def	۵/۳۷ defg	۷۰ bcde

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰).

عظیمی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی با عنوان " آیا ذرات دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو می‌توانند حالت‌های جوانه‌زنی *Agropyron desertorum* را بهبود بخشند؟"، نشان دادند، که ذرات نانو بر روی جوانه‌زنی این گیاه تاثیر مثبت دارند (شکل ۷۰ و جداول ۳۵ و ۳۶).



شکل ۷۰. تصاویر TiO_2 نانوذرات توسط میکروسکوپ STM (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۳۵. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی جوانه‌زنی، طول و زیست‌توده گیاهچه *Agropyron desertorum*

جوانه زنی (%)	طول ساقه چه (cm)	طول ریشه (cm)	وزن خشک ساقه چه (mg)	طول گیاهچه (cm)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن گیاهچه (mg)	غلظت TiO_2 (ppm)
۷۹ ab	۷/۵۱ abc	۶/۵۵ a	۹/۴۷ ab	۱۴/۰۶ bc	۳/۴۵ bc	۹۲/۱۲ abc	شاهد
۸۳ ab	۸/۹۷ a	۷/۹۷ a	۱۰/۴۰ a	۱۶/۹۵ a	۵/۵۷ a	۱۵/۹۷ a	شاهد ۵
۸۶ a	۷/۵۶ abc	۷/۶۱ a	۶/۹۰ bcd	۱۵/۱۸ b	۴/۵۲ ab	۱۱/۴۲ bcd	نانو ۵
۷۳ ab	۷/۲۴ abc	۸/۵۲ a	۷/۰۲ bcd	۱۵/۷۶ ab	۴/۴۷ ab	۱۱/۵۰ bcd	شاهد ۲۰
۷۴ ab	۶/۰۸ bc	۷/۶۹ a	۶/۴۵ cd	۱۴/۰۵ bc	۴/۵۰ ab	۱۰/۹۵ cd	نانو ۲۰
۷۶ ab	۷/۷۷ ab	۷/۶۳ a	۸/۴۲ abc	۱۵/۴۵ ab	۴/۳۷ ab	۱۲/۸۰ abc	شاهد ۴۰
۸۴ ab	۸/۶۳ a	۸/۵۱ a	۸/۹۵ abc	۱۷/۱۴ a	۵/۷۲ a	۱۴/۶۷ ab	نانو ۴۰
۸۴ ab	۸/۶۱ a	۸/۷۳ a	۹/۱۵ abc	۱۷/۳۴ a	۴/۵۷ ab	۱۳/۷۲ abc	شاهد ۶۰
۷۸ ab	۷/۶۵ abc	۸/۴۰ a	۸/۴۲ abc	۱۶/۰۵ ab	۴/۵۲ ab	۱۲/۹۵ abc	نانو ۶۰
۵۸ c	۵/۷۸ c	۶/۷۲ a	۵/۴۷ d	۱۲/۵۱ c	۲/۶۵ c	۸/۱۲ d	شاهد ۸۰
۷۰ bc	۷/۵۰ abc	۷/۷۹ a	۹/۱۰ abc	۱۵/۲۹ ab	۴/۳۵ ab	۱۳/۴۵ abc	نانو ۸۰

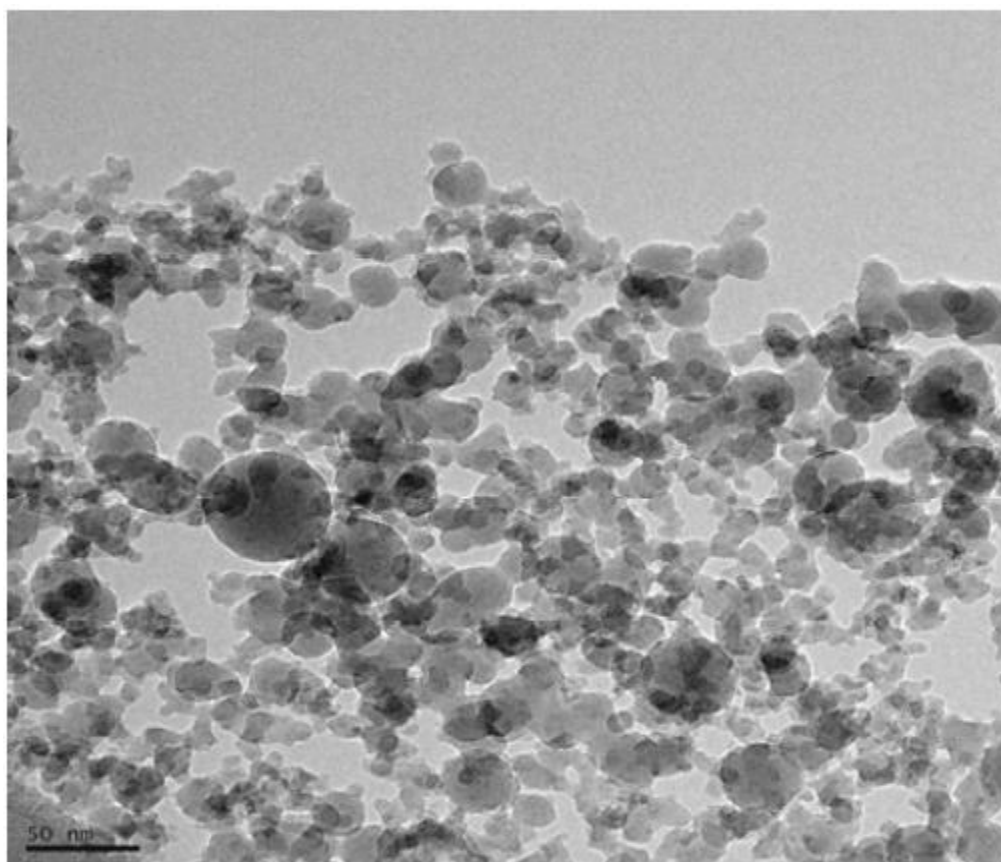
(منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۳۶. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی گیاهچه *Agropyron desertorum*

غلظت TiO_2 (ppm)	میانگین زمان جوانه‌زنی (day)	سرعت جوانه‌زنی (seed day ⁻¹)	مقادیر جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی روزانه	رشد حداکثر	شاخص بنیه	
						I	II
شاهد	۵/۳۸ a	۴/۵۱ ab	۱۳/۸۳ ab	۶/۰۷ ab	۲/۲۶ a	۱۱۱۱ abcd	۱۰۱۶ abcd
شاهد ۵	۵/۸۸ a	۴/۳۶ ab	۱۴/۳۶ ab	۶/۳۸ ab	۲/۲۴ a	۱۴۱۲ ab	۱۳۴۳ a
نانو ۵	۴/۶۴ b	۴/۵۵ ab	۱۸/۸۶ a	۶/۶۱ a	۲/۸۰ a	۱۳۰۷ abc	۹۷۸ bcd
شاهد ۲۰	۵/۸۴ a	۴/۰۰ b	۱۱/۹۸ bc	۵/۶۱ ab	۲/۱۰ a	۱۱۶۱ abc	۸۳۸ cde
نانو ۲۰	۵/۴۵ a	۳/۷۰ bc	۱۲/۹۹ bc	۵/۶۹ ab	۲/۲۷ a	۱۰۳۹ cd	۸۱۲ dc
شاهد ۴۰	۵/۱۶ ab	۳/۹۷ b	۱۲/۸۷ bc	۵/۸۴ ab	۲/۱۶ a	۱۱۸۶ abc	۹۶۶ bcd
نانو ۴۰	۵/۰۹ ab	۴/۶۰ ab	۱۶/۱۲ ab	۶/۴۶ ab	۲/۴۷ a	۱۴۳۹ a	۱۲۲۷ ab
شاهد ۶۰	۴/۴۷ b	۵/۲۶ a	۱۵/۱۰ ab	۶/۴۶ ab	۲/۳۴ a	۱۴۵۷ a	۱۱۵۸ abc
نانو ۶۰	۴/۷۷ b	۵/۰۲ b	۱۳/۵۲ bc	۶/۰۰ ab	۲/۲۵ a	۱۲۶۰ abc	۱۰۲۵ abcd
شاهد ۸۰	۵/۴۲ a	۲/۹۱ c	۸/۶۳ c	۴/۴۶ c	۱/۸۱ a	۷۷۳ d	۵۲۶ c
نانو ۸۰	۵/۳۵ a	۳/۹۵ b	۱۱/۱۸ bc	۵/۳۸ bc	۲/۰۵ a	۱۰۷۰ bcd	۹۵۰ bcd

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰).

عظیمی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی دیگر تحت عنوان "اثر متقابل نانوذرات SiO_2 و پیش‌سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه *Agropyron elongatum* L. نشان دادند، که استفاده از این نانوذره سرعت جوانه‌زنی (تا ۸۶ درصد)، وزن خشک گیاهچه و ریشه را افزایش داده و خواب بذر را تا حد زیادی شکستند (شکل ۷۱ و جداول ۳۷ تا ۴۱).



شکل ۷۱. تصویر نانوذره SiO_2 با کمک میکروسکوپ TEM (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۳۷. اثر مقادیر مختلف نانوذره SiO₂ بر روی جوانه‌زنی بذر و حالت‌های رشد *Agropyron elongatum* L.

غلظت SiO ₂ (mg L ⁻¹)	طول ساقچه چه (cm)	طول ریشه چه (cm)	طول گیاهچه (cm)	وزن خشک ریشه چه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن گیاهچه (mg)	درصد جوانه‌زنی
S ₀	۶/۲۱ d	۵/۲۱ e	۱۱/۴۲ e	۰/۸۲ b	۰/۲۸ d	۱/۱۰ c	۵۸/۰۰ d
S _۵	۷/۳۵ c	۶/۵۷ c	۱۳/۹۲ c	۰/۶۸ c	۰/۴۶ c	۱/۱۴ c	۶۷/۰۰ b
S _{۲۰}	۶/۳۸ d	۵/۷۷ d	۱۲/۱۵ d	۰/۶۴ c	۰/۴۳ c	۱/۰۷ c	۶۴/۳۰ c
S _{۴۰}	۹/۳۰ d	۱۰/۳۶ a	۱۹/۶۶ a	۰/۹۴ a	۰/۷۰ a	۱/۶۴ a	۸۶/۳۰ a
S _{۶۰}	۸/۱۰ b	۹/۱۵ b	۱۷/۲۴ b	۰/۸۴ ab	۰/۵۷ b	۱/۱۴۱ b	۸۵/۷۷ a
S _{۸۰}	۶/۳۵ d	۵/۸۵ d	۱۲/۲۱ e	۰/۷۸ bc	۰/۴۱ c	۱/۱۹ c	۵۹/۷۰ d

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۳۸. اثر مقادیر SiO₂ بر روی شاخص‌های بنبه بذر گیاه *Agropyron elongatum* L.

غلظت SiO ₂ (ppm)	شاخص بنبه II	شاخص بنبه I	PV	MDG	میزان جوانه‌زنی	MGT (day)
S ₀	۶۵/۷۶ d	۶۱۸/۸۱ e	۰/۴۵ c	۴/۱۹ e	۲/۱۹ c	۶/۷۰ a
S _۵	۷۹/۹۶ c	۹۴۸/۶۹ c	۰/۹۰ b	۴/۹۷ b	۴/۳۲ b	۵/۶۴ c
S _{۲۰}	۷۱/۴۹ cd	۸۰۳/۸۵ d	۰/۹۳ b	۴/۶۰ c	۴/۳۱ b	۵/۶۸ c
S _{۴۰}	۱۴۳/۹۱ a	۱۷۳۶/۰۴ a	۱/۲۰ a	۶/۱۷ a	۷/۶۱ a	۵/۲۳ d
S _{۶۰}	۱۲۳/۱۹ b	۱۵۱۴/۳۰ b	۱/۱۴ a	۶/۱۲ a	۷/۱۵ a	۵/۵۷ c
S _{۸۰}	۷۳/۳۲ c	۷۶۲/۷۴ d	۰/۶۸ c	۴/۲۶ d	۳/۰۴ c	۵/۹۸ b

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۳۹. اثر تیمار پیش‌سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و پارامترهای رشد گیاهچه *Agropyron elongatum* L.

پیش‌سرما	طول ساقچه چه (cm)	طول ریشه چه (cm)	طول گیاهچه (cm)	وزن خشک ساقچه چه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن گیاهچه (mg)	درصد جوانه‌زنی
C	۵/۳۰ c	۶/۰۴ c	۱۱/۳۵ c	۰/۶۴ c	۰/۳۳ c	۰/۹۷ c	۵۲/۸۰ c
PS	۷/۹۴ b	۷/۳۱ b	۱۵/۲۴ b	۰/۸۱ b	۰/۵۰ b	۱/۳۱ b	۷۷/۸۰ b
SP	۸/۶۰ a	۸/۱۰ a	۱۶/۷۱ a	۰/۹۰ a	۰/۶۰ a	۱/۴۹ a	۸۰/۲۰ a

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۴۰. اثر تیمار پیش‌سرمادهی بذر بر روی شاخص‌های بنبه بذر گیاه *Agropyron elongatum* L.

پیش‌سرما	شاخص بنبه I	شاخص بنبه II	رشد حداکثر	درصد جوانه‌زنی روزانه	میزان جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی (day)
C	۶۲۴/۷۲ c	۵۳/۳۲ c	۰/۷۹ c	۳/۷۷ c	۳/۰۹ b	۶/۴۲ a
PS	۱۲۱۹/۹۵ b	۱۰۳/۳۷ b	۰/۹۹ a	۵/۵۶ b	۵/۷۵ a	۵/۷۲ b
SP	۱۳۸۲/۵۵ a	۱۲۲/۱۳ a	۰/۹۱ b	۵/۷۳ a	۵/۴۷ a	۵/۲۶ c

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

جدول ۴۱. اثر متقابل نانوذرات SiO₂ و پیش‌سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی *Agropyron elongatum* L.

پیش سرما	غلظت SiO ₂ (ppm)	درصد جوانه‌زنی	MGT (day)	طول گیاهچه (cm)	طول ریشه (cm)	طول ساقه‌چه (cm)	شاخص بنیه I	شاخص بنیه II
C	S ₀	۴۲ g*	۷/۲۶ a	۹/۱۶ k	۴/۴۵ g	۴/۷۲ i	۲۵۶/۶۵ i	۳۸/۸۳ e
	S _۵	۵۰ f	۶/۲۵ bc	۱۲/۰۸ j	۵/۸۵ f	۶/۲۳ h	۶۰۴/۲۷ h	۳۵/۱۰ e
	S _{۲۰}	۵۲ f	۶/۰۵ bcd	۸/۶۷ k	۴/۶۳ g	۴/۰۵ ij	۴۵۰/۹۹ i	۳۵/۵۱ e
	S _{۴۰}	۶۷ de	۶/۴۴ b	۱۵/۸۵ d	۸/۹۸ c	۶/۸۷ gh	۱۰۶۲/۰۰ de	۹۵/۸۱ d
	S _{۶۰}	۶۶ e	۶/۱۲ bc	۱۳/۵۹ ghi	۷/۴۳ d	۶/۱۵ h	۸۹۶/۴۳ fg	۷۷/۶۷ d
	S _{۸۰}	۴۰ g	۶/۴۱ b	۸/۷۵ k	۴/۹۳ g	۳/۸۱ j	۳۴۹/۷۸ i	۳۶/۹۸ e
PS	S ₀	۶۷ de	۶/۴۳ b	۱۲/۵۵ ij	۵/۶۰ f	۶/۹۵ gh	۸۴۰/۷۸ g	۷۹/۲۳ d
	S _۵	۷۵ bc	۵/۳۲ efg	۱۴/۱۵ fg	۶/۷۱ e	۷/۴۵ fg	۱۰۶۱/۴۱ de	۹۴/۱۲ d
	S _{۲۰}	۶۸ de	۵/۹۹ bcde	۱۳/۱۶ hij	۵/۹۷ f	۷/۲۰ fg	۸۹۴/۳۶ fg	۷۹/۰۳ d
	S _{۴۰}	۹۴ a	۴/۷۰ gh	۲۰/۲۸ b	۱۰/۲۷ b	۱۰/۰۰ b	۱۹۰۵/۸۸ b	۱۵۴/۰۸ ab
	S _{۶۰}	۹۴ a	۵/۶۴ cdef	۱۸/۲۲ c	۹/۴۷ c	۸/۷۵ cd	۱۷۱۲/۹۴ c	۱۳۰/۸ bc
	S _{۸۰}	۶۹ cde	۶/۱۷ bc	۳/۱۰ fhij	۵/۸۲ f	۷/۲۸ fg	۹۰۴/۳۰ fg	۸۲/۹۵ d
SP	S ₀	۶۷ de	۶/۴۳ b	۱۲/۵۵ ij	۵/۶۰ f	۶/۹۵ gh	۸۴۰/۷۸ g	۷۹/۲۳ d
	S _۵	۷۶ b	۵/۳۴ efg	۱۵/۵۳ de	۷/۱۶ de	۸/۳۷ de	۱۱۸۰/۳۸ d	۱۱۰/۶۶ cd
	S _{۲۰}	۷۳ bcd	۴/۹۹ fgh	۱۴/۶۱ efg	۶/۷۱ e	۷/۹۰ ef	۱۰۶۶/۲۱ de	۹۹/۹۲ cd
	S _{۴۰}	۹۸ a	۴/۵۱ h	۲۲/۸۵ a	۱۱/۸۰ a	۱۱/۰۳ a	۲۲۴۰/۲۳ a	۱۸۱/۸۳ a
	S _{۶۰}	۹۷ a	۴/۹۴ gh	۱۹/۹۳ b	۱۰/۵۴ b	۹/۳۹ bc	۱۹۳۳/۵۳ b	۱۶۱/۰۹ ab
	S _{۸۰}	۷۰ bcde	۵/۳۷ defg	۴/۷۸ def	۶/۸۱ de	۷/۹۷ def	۱۰۳۴/۱۵ ef	۱۰۰/۰۳ cd

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰)

۱-۲-۱-۵-۳. کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.)

نام فارسی: کاکوتی کوهی

نام علمی: *Ziziphora cliniopodiodes*

تیره: نعناع Labiatae

این گیاه متعلق به جنس *Ziziphora* و به ارتفاع ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. کاکوتی کوهی، گیاهی پایا، غالباً به صورت بوته‌های پرساقه، انبوع و به رنگ سبز یا سبز مایل به خاکستری به ارتفاع ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۷۲). این گیاه دارای ساقه متعدد، در قاعده سخت و کم و بیش چوبی، پوشیده از برگ، ساده به صورت ساقه‌های گلدار ایستاده یا خیزان، گاهی خزنده و منتهی به گل‌آذین است (مقیم، ۱۳۸۴). برگ کاکوتی کوهی بیضی شکل، سرنیزه‌ای، مدور، تخم‌مرغی، پهن دراز، بدون کرک یا کرکینه‌پوش و کرکدار و پوشیده از کرک‌های مختلف است. برگ‌های ناحیه گلدار ساقه، همانند ساقه، اما کوچک‌تر و وسیع‌تر می‌باشند. گل این گیاه به رنگ سفید یا صورتی یا ارغوانی، بدون دمگل، مجتمع در توده‌ها و چرخه‌های تشکیل‌دهنده گل‌آذینی کپه‌ای شکل و متراکم، انتهای کروی، گویچه‌ای شکل یا تخم‌مرغی، پهن دراز می‌باشد (مقیم، ۱۳۸۴).



شکل ۷۲. کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) (مقیم، ۱۳۸۴)

کاسه این گیاه، به طول چهار تا شش میلی‌متر، استوانه‌ای باریک، کرکینه‌پوش یا پوشیده از کرک‌های ظریف بر هم خوابیده با دندان‌های کوتاه، خطی، سرنیزه‌ای با راس بهم آمده و لوله جام خارج شده از کاسه می‌باشد. از اندام‌های هوایی گیاه کاکوتی به طور گسترده در طب سنتی و صنایع داروسازی ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد (خیرخواه، ۱۳۹۰). این گیاه در اکثر نقاط کوهستانی ایران قابل رویش می‌باشد و در استان کرمانشاه در سنقر، کرند غرب، اسلام آباد غرب، ورمنجه و کوه شاهو می‌توان کاکوتی کوهی را یافت. مقاومت گیاه کاکوتی کوهی به خشکی مناسب بوده و از این گیاهان می‌توان جهت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین از آنجایی که گیاهان اسانس‌دار نظیر گیاهان خانواده نعناع (کاکوتی و غیره) عملکرد مناسبی را در مناطق نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای دارند، این گیاهان می‌توانند به عنوان یک محصول تجاری برای ایران و یک محصول جایگزین با درآمد مازاد مطرح باشند (فاضل زاده، ۱۳۹۶) (نقدی آبادی و همکاران، ۱۳۸۱). پراکنش جغرافیایی گیاه *Z. clinopodioides* در جهان، در شبه جزیره بالکان شرقی، جنوب غربی آسیا و آسیای مرکزی تا کوه‌های پامیر و هیمالیا (ایران، عراق و بخش‌های مرکزی و شرقی ترکیه) و آفریقا می‌باشد. گیاه کاکوتی در ایران در مناطق کوهستانی، دامنه‌های صخره‌ای و واریزه‌ای و مناطق استپی در ارتفاعات بین ۸۰۰ تا ۳۷۰۰ متر از سطح دریا می‌روید (جم‌زاده، ۱۳۸۸)، (عماد، ۱۳۸۰).

عظیمی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی با عنوان بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی کاکوتی کوهی به نتایج زیر دست یافتند. غلظت‌های مختلف نانو ذرات تیتانیوم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه *Ziziphora clinopodioides* تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳۶). بر اساس نتایج بدست آمده، غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم بر درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت جوانه‌زنی، در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تاثیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴۲).

جدول ۴۲. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه کاکوتی

میزان جوانه‌زنی	رشد حداکثر	ارزیابی میانگین جوانه‌زنی روزانه	میانگین جوانه‌زنی روزانه	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۲۵**	۰/۰۳**	۰/۶۲**	۴/۵۹*	۲۴۷/۸۱**	۶	نانوذرات
۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۱/۵۶	۵/۹۰	۲۱	خطا

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد. به‌منظور کاهش حجم داده‌ها در جدول تجزیه واریانس تنها از میانگین مربعات داده‌ها و سطوح معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، استفاده شد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱).

درصد جوانه‌زنی بذر تیمار شاهد حدود ۲۵ درصد بود، درحالی که در بذرهایی که با محلول نانوذرات تیمار شده بودند، درصد جوانه زنی به ۴۸ درصد رسید (جدول ۴۳).

جدول ۴۳. مقایسات میانگین غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه کاکوتی

میزان جوانه‌زنی	رشد حداکثر	ارزیابی میانگین جوانه‌زنی روزانه	میانگین زمان جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	غلظت SiO ₂ (ppm)
۰/۲۸ c	۰/۲۳ bc	۱/۲۵ d	۱۲/۲۳ a	۲۵ d	شاهد
۰/۲۵ c	۰/۱۹ c	۱/۳۵ cd	۱۱/۴۲ ab	۲۷ cd	۱۰
۰/۵۳ b	۰/۳۰ b	۱/۷۵ b	۹/۶۰ bc	۳۵ b	۲۰
۰/۹۵ a	۰/۴۰ a	۲/۴۰ a	۹/۲۹ c	۴۸ a	۳۰
۰/۴۲ bc	۰/۲۴ bc	۱/۷۵ b	۱۰/۵۱ abc	۳۵ b	۴۰
۰/۲۴ c	۰/۱۷ c	۱/۴۰ cd	۱۱/۵۷ ab	۲۸ cd	۶۰
۰/۳۰ c	۰/۲۱ bc	۱/۴۵ c	۱۱/۰۳ abc	۲۹ c	۸۰

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱).

بذرهایی که با نانوذرات تیمار شده بودند، بهترین نتیجه را در بین مشاهدات داشتند و حداکثر درصد جوانه‌زنی و کمترین زمان جوانه‌زنی به ترتیب حدود ۴۸ و ۹/۲۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بود. سرعت جوانه‌زنی از ۱۲/۲۳ روز در تیمار شاهد به ۹/۲۹ روز در بذره‌های تیمار شده با غلظت نانو ۳۰ ppm بهبود یافت. درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت و سپس از ۴۰ میلی‌گرم درصد جوانه‌زنی روند کاهشی داشت (جدول ۴۳). بهترین سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم مشاهده شد (جدول ۴۳). غلظت ۳۰ ppm نانوذرات بیشترین تاثیر را در بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه کاکوتی داشت (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین به نظر می‌رسد، نانوذرات تیتانیوم می‌تواند یکی از تیمارها برای بهبود خصوصیات جوانه‌زنی محسوب شود. مطالعات نشان داده است، که برخی نانوذرات می‌توانند توانایی گیاه را برای جذب آب و کودهای نیتروژن افزایش، قدرت سیستم ریشه و فعالیت نیترات ردوکتار را تحریک، تجزیه مواد آلی را تشدید کرده و به تشکیل اسیدهای آمینه ضروری کمک کنند (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش جوانه‌زنی و وزن خشک احتمالاً در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی معدنی و فرآیند فتوسنتز کاتالیز شده توسط نانوذرات TiO₂ می‌باشد. اثر قابل توجه نانوذرات احتمالاً در اثر اندازه کوچک ذرات می‌باشد، که اجازه نفوذ آن را به داخل بذر در طی دوره تیمار می‌دهد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵). خلاصه اینکه تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم، بر درصد میزان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر کاکوتی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد. نانوذرات تیتانیوم در غلظت ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر تحریک‌کنندگی و در غلظت‌های بالاتر اثر بازدارندگی و یا خنثی بر جوانه‌زنی بذر گیاه کاکوتی داشتند. غلظت‌های بالای نانوذرات تیتانیوم در مرحله جوانه‌زنی اثر منفی بر MGT داشتند و بهترین و مناسب‌ترین غلظت در جهت تحریک رشد و جوانه‌زنی ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات بود (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱).

۳-۱-۲-۲. سبزیجات و گیاهان باغی

۳-۱-۲-۲-۱. ریحان

نام فارسی: ریحان

نام علمی: *Ocimum basilicum*

تیره: نعناع (*Labiata*)

شرح گیاه: گیاهی است علفی، یکساله، معطر، دارای ساقه منشعب از قاعده و به ارتفاع ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر. ریشه ریحان مستقیم و مخروطی شکل است. طول ریشه بین ۱۰ تا ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد (دانشور، ۱۳۹۴) (شکل ۷۳).



شکل ۷۳. گیاه ریحان (دانشور، ۱۳۹۴)

ریشه انشعابات فراوانی دارد. برگ‌هایی متقابل، بیضوی نوک تیز با کناره‌های دندانه‌دار و گل‌هایی معطر به رنگ‌های سفید، گلی و گاهی بنفش و مجتمع به صورت دسته‌های ۴ تا ۶ تایی در طول قسمت انتهایی ساقه دارد. اولین گل‌ها در اواخر بهار (خرداد) ظاهر می‌شوند و گل‌دهی تا اواخر شهریور ادامه می‌یابد. دانه سیاه‌رنگ یا قهوه‌ای تیره است. وزن هزار دانه ۱/۲ تا ۱/۸ گرم است. در نواحی مختلف ایران کاشته می‌شود. به حالت نیمه‌وحشی در نقاط زیر می‌روید: شمال غربی ایران، آذربایجان، تبریز، کرمان، میناب، خراسان، خواف و اطراف تهران (دانشور، ۱۳۹۴).

خصوصیات خاک: پس از برداشت محصول کود حیوانی پوسیده به خاک اضافه می‌شود. همچنین پس از انجام شخم عمیق و قبل از کشت ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار ازت، ۵۵ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر و ۶۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاس باید به خاک اضافه کرد (فروتن، ۱۳۹۳). اواخر زمستان بستر خاک را برای کشت ریحان باید آماده نمود. فصل بهار هنگام آماده‌سازی زمین ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار ازت و همچنین پس از اولین برداشت ۴۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار ازت به خاک می‌توان اضافه نمود. ریحان در طول رویش به هوای گرم تابش نور کافی نیاز دارد. درجه حرارت مطلوب برای جوانه زنی بذر ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. این گیاه به سرما بسیار حساس است. در طول رویش به آب کافی نیاز دارد. خاک مناسب برای کاشت ریحان خاک‌های با بافت متوسط یا خاک‌های لوم‌شنی یا مقادیر فراوان ترکیبات هوموسی است. نیاز ریحان به پتاس بسیار زیاد است. پتاس نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد پیکر رویشی و همچنین افزایش عملکرد اسانس دارد (دانشور، ۱۳۹۴).

پیوندی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان "مقایسه تاثیر نانوکلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ریحان" که در شرایط کشت مزرعه‌ای، به صورت بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۴ تکرار

طراحی شد و گیاهان در معرض غلظت‌های مختلفی از کود کلات آهن (۱/۵، ۴/۵ و ۷/۵ کیلوگرم در هکتار) و نانوکود کلات آهن (۳/۱ و ۵ کیلوگرم در هکتار) قرار داشتند، نشان دادند که پارامترهای رشد در گیاهانی که در معرض تیمار کود آهن با غلظت $7/5 \text{ kg.ha}^{-1}$ و نانوکود آهن با غلظت 1 kg.ha^{-1} بودند، نسبت به شاهد افزایش یافته است. فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در حضور کود آهن در هر سه غلظت بیشتر از تیمارهای نانوکود آهن بود. همچنین نانوکود آهن سبب کاهش محتوای پروتئین در مقایسه با کود آهن گردید. افزایش در محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهایی که تحت نانوکود کلات آهن با غلظت 5 kg.ha^{-1} بودند، دیده شده است. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند، که جایگزینی کود آهن تهیه شده با فناوری نانو در مقایسه با کودهای آهن رایج در غلظت مناسب کمتر نسبت به کود آهن می‌تواند سبب افزایش رشد کمی و کیفی گیاه ریحان شود (جدول ۴۴ و ۴۵).

جدول ۴۴. میانگین وزن تر و طول اندام‌های هوایی و ریشه

تیمار	میانگین طول ریشه	میانگین طول ساقه	میانگین وزن تر برگ	میانگین وزن تر ریشه	میانگین وزن تر اندام هوایی
C	(a) ۰/۶۶±۱۲/۵۰	(a) ۱/۶۵±۵۴/۶۹	(b) ۰/۲۰±۱/۳۲	(c) ۰/۰۵±۰/۲۲	(b) ۰/۴۱±۳/۱۳
F ₁	(a) ۰/۴۹±۱۲/۹۴	(a) ۱/۶۵±۵۵/۳۷	(b) ۰/۱۷±۱/۳۲	(c) ۰/۰۴±۰/۲۲	(b) ۰/۳۹±۳/۲۷
F ₂	(a) ۰/۷۶±۱۳/۳۷	(ab) ۵۳/۳۱±۱/۴۷	میانگین وزن تر برگ	(b) ۰/۰۵±۰/۳۷	(a) ۰/۵۶±۵/۲۶
F ₃	(a) ۰/۹۱±۱۴/۳۴	(b) ۱/۰۲±۴۸/۹۴	(a) ۰/۱۹±۲/۵۸	(a b) ۰/۰۳±۰/۴۹	(a) ۰/۳۳±۵/۶۳
nF ₁	(a) ۰/۷۳±۱۴/۴۱	(ab) ۱/۳۴±۵۰/۷۵	(a) ۰/۱۶±۲/۷۰	(a) ۰/۰۵±۰/۵۶	(a) ۰/۳۷±۵/۸۴
nF ₂	(a) ۰/۶۶±۱۳/۳۷	(b) ۱/۵۸±۴۹/۳۷	(a) ۰/۲۰±۲/۱۴	(b) ۰/۰۳±۰/۴۰	(a) ۰/۴۰±۵/۰۷
nF ₃	(a) ۰/۴۳±۱۳/۴۴	(ab) ۱/۳۷±۵۰/۸۷	(a) ۰/۱۶±۲/۲۸	(b) ۰/۰۴±۰/۴۱	(a) ۰/۲۸±۵/۱۶

حروف مشترک نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت بین میانگین‌ها است (bar = SE).

علائم اختصاری: C=control, F₁=1.5 kg.ha⁻¹, F₂=4.5 kg.ha⁻¹, F₃=7.5 kg.ha⁻¹, nF₁=1 kg.ha⁻¹, nF₂=3 kg.ha⁻¹, nF₃=5 kg.ha⁻¹. (منبع: پیوندی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۴۵. میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه

تیمار	میانگین وزن خشک برگ	میانگین وزن خشک ریشه	میانگین وزن خشک ساقه
C	(c d) ۰/۰۲±۰/۲۰	(c) ۰/۰۱±۰/۰۸	(b c) ۰/۰۵±۰/۵۴
F ₁	(d) ۰/۰۱±۰/۱۷	(c) ۰/۰۰±۰/۰۷	(c) ۰/۰۳±۰/۴۷
F ₂	(b c) ۰/۰۲±۰/۲۴	(b c) ۰/۰۰±۰/۰۹	(a b) ۰/۰۴±۰/۶۲
F ₃	(a b) ۰/۰۲±۰/۲۷	(a b) ۰/۰۰±۰/۱۲	(a) ۰/۰۴±۰/۷۱
nF ₁	(a) ۰/۰۲±۰/۳۰	(a) ۰/۰۱±۰/۱۳	(a) ۰/۰۵±۰/۷۱
nF ₂	(bcd) ۰/۰۱±۰/۲۲	(b c) ۰/۰۰±۰/۰۹	(a) ۰/۰۴±۰/۷۱
nF ₃	(c d) ۰/۰۱±۰/۲۱	(b c) ۰/۰۰±۰/۱۰	(abc) ۰/۰۳±۰/۵۹

حروف مشترک نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت بین میانگین‌ها است (bar = SE).

علائم اختصاری: C=control, F₁=1.5 kg.ha⁻¹, F₂=4.5 kg.ha⁻¹, F₃=7.5 kg.ha⁻¹, nF₁=1 kg.ha⁻¹, nF₂=3 kg.ha⁻¹, nF₃=5 kg.ha⁻¹. (منبع: پیوندی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج نشان می‌دهد، که به جز تغییرات طول ریشه، تفاوت در میانگین سایر شاخص‌های رشد در تیمارهای مختلف کود آهن و نانوکود آهن (در سطح ۰/۰۵ درصد) معنی‌دار است. تغییرات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به صورتی می‌باشد، که افزایشی در حضور نانوکود کلات آهن با غلظت $nF_1=1 \text{ kg.ha}^{-1}$ همگام با کود آهن با غلظت $F_3=7.5 \text{ kg.ha}^{-1}$ در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، که در حضور کود آهن و نانوکود آهن تفاوت معناداری در میزان پروتئین‌های برگ مشاهده شده است، به طوری که

نمونه‌های آبیاری شده با نانو کود آهن در سه غلظت، کمترین میزان پروتئین را نسبت به گروه شاهد و همچنین کود آهن با سه غلظت متفاوت دارا می‌باشند (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۲-۱-۳. گل کلم (*Brassica oleracea* L. var. botrytis)

نام فارسی: گل کلم

نام علمی: *Brassica oleraceae* L. conver. botrytis L.

تیره: *Brassicaceae*

این گیاه دوساله بوده و در سال اول طی رشد رویشی تولید مجموعه‌ای از گل خوراکی می‌کند و در سال دوم به گل و بذر می‌نشیند (دانشور، ۱۳۹۴). قسمت خوراکی کلم گل، خوشه‌های گل‌آذین است، که اندام‌های تناسلی در آن تکامل نیافته‌اند. در سال دوم وقتی که اندام‌های گل کامل شدند، تولید بذر می‌کند. این گیاه در آغاز دوره رویش شبیه کلم پیچ است، ولی طی رشد بعدی بر خلاف کلم پیچ برگ‌های آن به هم نمی‌پیچند و از وسط بوته ساقه نسبتاً کوتاهی که شامل یک مجموعه سفید گل‌های جوان همراه با دمگل‌های نسبتاً پهن است، ظاهر می‌شوند (شکل ۷۴) و این مجموعه است، که مورد استفاده غذایی قرار می‌گیرد. کلم گل نسبت به آب و سله بستن خاک بسیار حساس است. از این نظر خاک‌های سنگین با مواد آلی کافی که ظرفیت آبی خوبی دارند، برای زراعت این گیاه در نظر می‌گیرند. زمین‌های آبگیر و یا خشک باعث می‌شود، که قسمت خوراکی آن زودتر از موعد مقرر تشکیل شود و به علت عدم جذب مواد غذایی کافی، مجموعه‌های کوچک و تحلیل رفته تولید شود. برای انواع زودرس، خاک‌های سبک و یا هوموسی با آب کافی مناسب است. انواع تابستانه و پاییزه را می‌توان در خاک‌های باتلاقی و رسی نیز کشت نمود (فروتن، ۱۳۹۳).

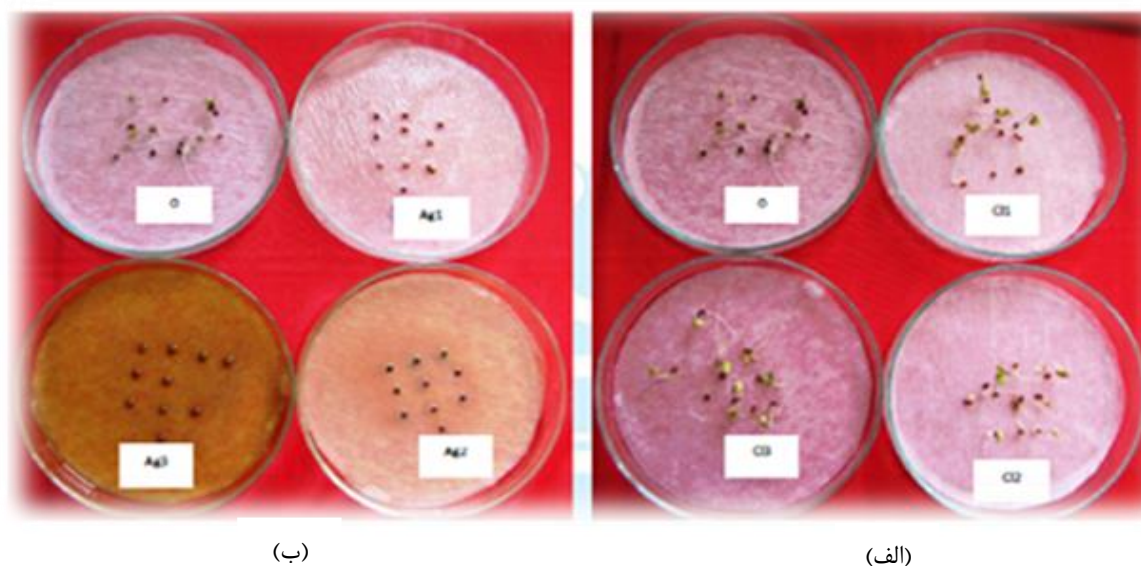
کلم گل طالب آب و هوای معتدل است. به نظر Nonnecke، نقش عامل دما در تولید کلم گل بیش از عوامل فتوپریود و رژیم آبیاری است. کلم گل نیز همانند سایر کلم‌ها، گیاه فصل خشک است و نسبت به دمای پایین تر از ۴ و بالاتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد حساس است. دمای مناسب برای این گیاه ۲۷ درجه با طیف حرارتی بین ۷ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد است. رشد و نمو مجموعه خوراکی کلم گل تابع شرایط دما قرار می‌گیرد. افزایش دما تا مرز ۲۲ درجه سانتی‌گراد افزایش رشد را در پی دارد. کلم گل نسبت به کمبود آب و سله بستن خاک بسیار حساس است. از این نظر خاک‌های سنگین با مواد آلی کافی که ظرفیت آبی خوبی دارند، برای زراعت این گیاه در نظر می‌گیرند. زمین‌های آبگیر و یا خشک باعث می‌شود، که قسمت خوراکی آن زودتر از موعد مقرر تشکیل شود و به علت عدم جذب مواد غذایی کافی، مجموعه‌های کوچک و تحلیل رفته تولید شود (دانشور، ۱۳۹۴). برای انواع زودرس خاک‌های سبک و یا هوموسی با آب کافی مناسب است. انواع تابستانه و پاییزه را می‌توان در خاک‌های با تلاقی و رسی نیز کشت نمود. احتیاجات غذایی کلم گل بسیار زیاد است. علاوه بر کود حیوانی می‌توان نسبت به تنوع واریته و جنس خاک مقادیری حدود ۱۸۰ کیلوگرم ازت، ۹۰ کیلوگرم P_2O_5 و ۲۷۰ کیلوگرم K_2O در هکتار توصیه نمود. کودهای ازته به صورت سرک در ۳ نوبت داده می‌شود. در مناطقی با بارش زیاد کود ازته بیشتری در نظر می‌گیرند. در طی دوره رشد و نمو این گیاه علاوه بر وچین و آبیاری، از آنجایی که در موقع پیدایش گل، آفتاب رنگ سفید آنرا تیره و یا متمایل به زرد می‌کند، لذا باید کلم گل را از تابش مستقیم و نور شدید خورشید حفظ کرد. این عمل را سفیدکردن گل کلم می‌نامند. با بستن انتهای برگ‌ها به نحوی عمل می‌شود، که گل گیاه بین برگ‌ها و دور از تابش مستقیم آفتاب قرار گیرد. عمل برداشت در چندین مرحله انجام می‌گیرد و معمولاً بین ۲ تا ۳ بار در هفته است. میزان عملکرد شبیه کلم پیچ است. کلم‌های تابستانه و پاییزه را می‌توان در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد بین ۴ تا ۸ هفته انبار کرد. قهوه‌ای شدن کلم گل پس از برداشت محصول ایجاد می‌شود، که بر اثر

تابش اشعه ماورای بنفش بر روی آن است. از این نظر نباید پس از برداشت محصول آن‌ها را در مزرعه و بدون پوشش نگهداری کرد، زیرا یک تابش ۲ تا ۳ ساعته می‌تواند موجب خسارت گردد (فروتن، ۱۳۹۳).



شکل ۷۴. کلم گل (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) (فروتن، ۱۳۹۳)

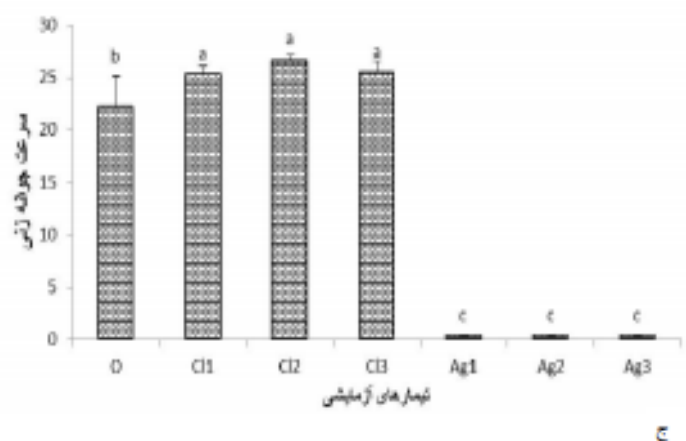
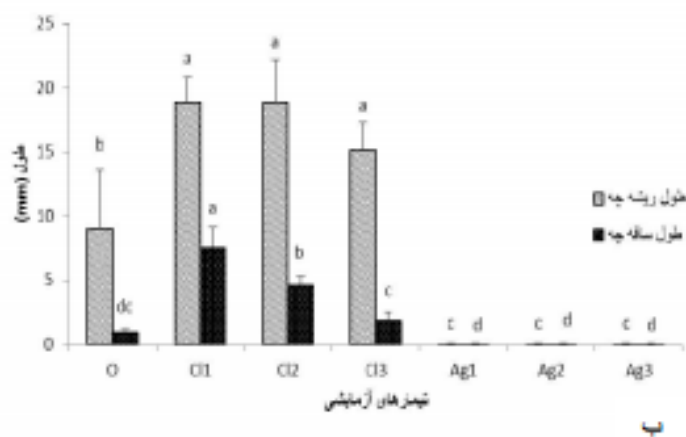
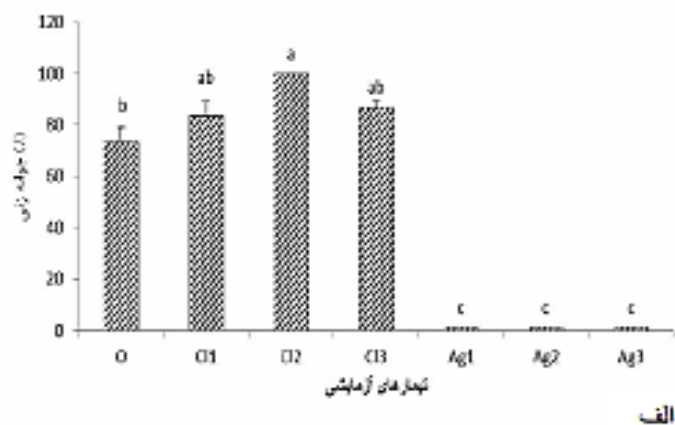
صابر و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "اثرات نانومواد بر جوانه زنی و رشد بذور کلم گل" به این نتیجه رسیدند، که بین نانومواد استفاده شده و غلظت‌های مختلف آن‌ها اختلافات معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور کلم گل در طی دوره پنج روزه مشاهده شد (شکل ۷۵).



شکل ۷۵. تاثیر نانورس و نانونقره بر جوانه زنی بذور کلم گل بعد از ۵ روز. الف) از سمت چپ بالا شامل O، شاهد CI1، CI2 و CI3 به ترتیب غلظت‌های ۰، ۱۵، ۱۵۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانورس. ب) از سمت راست بالا شامل O، شاهد: Ag1، Ag2 و Ag3 به ترتیب غلظت‌های ۰، ۱۵، ۱۵۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانونقره (منبع: صابر و همکاران، ۱۳۹۲).

نانورس تاثیر مثبت بر جوانه‌زنی داشت، در حالی‌که در هیچکدام از تیمارهای نانونقره از ۱۵ تا ۱۵۰ پی‌پی‌ام هیچ جوانه زنی دیده نشد و نانونقره به طور کامل جوانه‌زنی بذور کلم گل ممانعت کرد. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) مربوط به غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام نانورس بود. در هر سه تیمار نانورس، طول ریشه‌چه‌ها تفاوت معنی‌دار

نداشت (منبع: صابر و همکاران، ۱۳۹۲). حداکثر رشد ساقه چه نسبت به شاهد در تیمار ۱۵ پی پی ام نانورس با اندازه ۹۰٪ دیده شد. سرعت جوانه زنی در هر سه تیمار نانورس اختلاف معنی داری با شاهد داشت و حدود ۱/۵ برابر شاهد بود (شکل ۷۶).



شکل ۷۶. مقایسه میانگین داده‌های روز پنجم بذر کلم گل خیس و نگهداری شده با ۵ میلی لیتر محلول نانومواد. الف) نتایج درصد جوانه زنی بذر؛ ب) نتایج اندازه گیری طول ریشه چه و ساقه چه بذر جوانه زده؛ ج) نتایج اندازه گیری سرعت جوانه زنی؛ O، گیاه شاهد؛ CI1، نانورس ۱۵ ppm؛ CI2، نانورس ۱۵ ppm؛ Ag1، نانورس ۱۵۰ ppm؛ Ag2، نانورس ۱۵۰ ppm؛ Ag3، نانورس ۱۵۰ ppm؛ CL3، نانورس ۱۵۰ ppm. ستون‌ها بیانگر میانگین \pm خطای استاندارد ۱۰ بذر در هر پتری دیش و سه پتری دیش به عنوان تکرار در هر تیمار می باشد. در هر نمودار میانگین‌هایی که حروف غیرمشترک دارند، دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ به روش دانکن هستند.

۳-۲-۲-۳. شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L)

نام فارسی: شنبلیله

نام علمی: *Trigonella Foenum – Graecum* L.

تیره: نخود *Leguminosae*

گیاهی است علفی، یکساله، به طول ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر، برگ‌های آن متناوب و مرکب از سه برگچه است. از اختصاصات آن این است، که نصف تا سه چهارم انتهای برگچه‌های آن دندانه‌دار است. گل‌هایی منفرد به رنگ زرد روشن، بنفش یا مایل به سفید به بزرگی ۰/۸ تا ۱/۸ سانتی‌متر دارد. میوه آن نیام، خمیده، به طول ۳ تا ۱۱ سانتی‌متر و محتوی ۵ تا ۲۰ دانه زاویه‌دار به طول ۴ تا ۶ میلی‌متر و به عرض ۲ تا ۳ میلی‌متر است (شکل ۷۷). رنگ آن از زرد حنایی تا قهوه‌ای تغییر می‌نماید (دانشور، ۱۳۹۴). بوی آن قوی و طعم آن تلخ و معطر است. منشأ این گیاه نواحی مدیترانه گزارش شده است. این گیاه به حالت خودرو در آذربایجان، اصفهان، فارس، خراسان، (نزدیک بجنورد)، سمنان و دامغان می‌روید. همچنین در طول رویش به هوای گرم نیاز دارد و اگر چه در خاک‌های شنی و فقیر می‌روید، ولی برای کشت انبوه این گیاه باید از خاک‌های آهکی و غنی از مواد و عناصر غذایی استفاده کرد. آب کافی نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دارد. pH مناسب خاک برای شنبلیله بین ۵/۵ تا ۲/۸ است. شنبلیله در تثبیت ازت نقش عمده‌ای دارد. زمین‌هایی که در آن این گیاه کشت می‌شوند، غنی از ازت خواهند بود. از این رو، پس از برداشت شنبلیله گیاهانی کشت شوند، که نیاز آن به ازت زیاد باشد. اوایل بهار (فروردین) زمان مناسبی برای کشت مستقیم بذر در زمین اصلی است. بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت می‌شوند. عمق بذر شنبلیله موقع کاشت ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر است. برای هر هکتار زمین به ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بذر با کیفیت مناسب نیاز می‌باشد (فروتن، ۱۳۹۳).



شکل ۷۷. شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L) (فروتن، ۱۳۹۳)

شنبليله (*Trigonella foenum graecum L.*)، گیاهی دارویی از تیره نخود است. مواد موثره این گیاه کاهش دهنده قند خون، ضد التهاب و نرم کننده پوست است. در فارماکوپه های معتبر از دانه های شنبليله به عنوان دارو یاد شده است و خواص درمانی آن مورد تاکید قرار گرفته است. در صنایع دارویی از مواد موثره دانه های این گیاه هورمون های جنسی، کورتیکواستروئید، ویتامین د و گلیکوزیدهای قلبی تهیه می شود. ساخت مواد موثره در گیاهان دارویی به طور بارزی تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می گیرد، به طوری که، عوامل محیطی باعث تغییراتی در رشد گیاهان دارویی و همچنین در مقدار و کیفیت مواد موثره آنها می گردد. یکی از راه های کاهش اثرات تنش شوری و خشکی استفاده از موادی است، که توانایی تعدیل اثرات مخرب تنش ها را دارا می باشند (دانشور، ۱۳۹۴)

در تحقیقی که توسط ایوانی و همکاران (۱۳۹۱)، با عنوان بررسی تاثیر ذرات دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر تحمل به تنش کم آبی گیاهچه شنبليله انجام گرفته است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، که سطوح تنش کم آبی و تیمارهای دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات مورد مطالعه تاثیر معنی داری داشتند (جدول ۴۶). همچنین برهمکنش تنش کم آبی و دی اکسید نانو و غیرنانو تاثیر معنی داری بر وزن خشک ساقه چه، گیاهچه و شاخص بنیه داشتند، ولی صفات دیگر به طور معنی داری تحت تاثیر آنها قرار نگرفتند (جدول ۴۶).

جدول ۴۶. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد	متوسط زمان جوانه زنی (روز)	طول ریشه (میلی متر)	طول ساقه (میلی متر)	طول کل گیاهچه (میلی متر)
تیمار کم آبی	۳	۴۶/۷۰**	۲۳/۴.**	۷۸/۳۳**	۶۱/۳۰**	۳۱/۵۳**
تیمار نانو و غیرنانو	۴	۰۵/۱۱۰**	۸۱/۱۰**	۴۰/۴۲**	۲۵/۱۴**	۵۷/۱۰**
اثر متقابل	۱۲	۹۸/۸۰	۱۶/۰۰	۲۰/۱۹	۵۰/۱۴	۳۹/۰۴
خطا	۴۰	۴۸/۱۴	۱۰/۰۰	۸۲/۲۶	۷۷/۱۸	۵۴/۴۴
ضریب تغییرات (%)	-	۹۸/۳۰	۳۶/۱۱	۵۴/۱۱	۶۰/۹۰	۴۱/۷۰

** و ***: به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می دهد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

بر این اساس، مقایسه میانگین های صفات مورد مطالعه با روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نتایج این مقایسه میانگین طبق جدول ۴۸ نشان داد، که با افزایش تنش کم آبی، تمامی صفات به جز تیمار متوسط زمان جوانه زنی کاهش یافتند. متوسط زمان جوانه زنی با افزایش تنش کم آبی، افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان متوسط زمان جوانه زنی (۴۶/۳ روز) مربوط به تنش ۱/۲- مگاپاسکال و کمترین آن (۱۹/۲ روز) مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین، درصد جوانه زنی و طول ریشه چه با افزایش تنش کاهش یافت، ولی در بین سطوح تنش کم آبی اختلاف معنی داری نداشت و تنها با تیمار شاهد اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) نشان داد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱) (جدول ۴۷). قربان پور و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند، که با افزایش سطوح تنش کم آبی، جوانه زنی بذر شنبليله، طول ساقه چه و ریشه چه کاهش یافت.

جدول ۴۷. میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه چه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه چه (میلی گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم)	شاخص بنیه ^۱ (میلی گرم)	شاخص بنیه ^۲ (میلی گرم)
تیمار کم آبی	۳	۸۱/۲۰**	۴۷/۵۱**	۵۱/۷۶**	۸/۵۳۵۰۴۱**	۱/۸۶۱۵۳۹**
تیمار نانو و غیر نانو	۴	۱۰/۱۰**	۷۰/۱۷**	۹۰/۲۳**	۸۷/۶۲۳۹۴**	۵/۲۶۵۱۰۸**
اثر متقابل	۱۲	۰/۹۰	۱۰/۲۰*	۴۰/۲۰**	۴/۵۴۴۱	۱/۲۶۱۴۱*
خطا	۴۰	۱۳/۰۰	۹۷/۰۰	۸۶/۰۰	۴۸/۷۴۲۸	۱/۱۰۵۶۹
ضریب تغییرات (%)	-	۵۴/۲۳	۵۱/۱۱	۱۹/۹۰	۸۰/۱۰	۵۶/۱۰

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می دهد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

همچنین گزارش کردند، که تنش کم آبی در بیشترین سطح (۹- بار) باعث کاهش جوانه زنی و شاخص های رشدی شنبلیله شد.

جدول ۴۸. تاثیر تیمارهای تنش کم آبی بر صفات جوانه زنی بذرهای شنبلیله

تنش کم آبی (مگا پاسکال)	درصد جوانه زنی	متوسط زمان جوانه زنی (روز)	طول ریشه چه (میلی متر)	طول ساقه چه (میلی متر)	طول کل گیاهچه (میلی متر)
صفر	۸۶/۹۷ a	۱۹/۲۰ c	۱۰/۵۱ a	۱۰/۶۰ a	۱۸/۱۱ a
-۳/۰	۵۳/۹۶ ab	۶۴/۲۰ b	۴۶/۴۵ b	۱۷/۵۳ b	۶۳/۹۸ b
-۶/۰	۲۶/۹۴ ab	۹۲/۲۰ b	۶۳/۴۲ b	۹۳/۳۸ c	۵۷/۸۱ c
-۲/۱	۹۳/۰۶ b	۴۶/۳۰ a	۲۱/۴۰ b	۴۳/۲۸ d	۶۴/۶۸ d

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی داری با هم ندارند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

کاربرد دی اکسید سیلیسیم نانو و غیر نانو باعث بهبود معنی دار ($P < 0.05$) پارامترهای رشدی گیاهچه به جز درصد جوانه زنی و متوسط زمان جوانه زنی شدند. بیشترین درصد جوانه زنی (۶۶/۹۸) مربوط به غلظت ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو دی اکسید سیلیسیم بود، که با تیمارهای ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو دی اکسید سیلیسیم (۱۶/۹۶) و شاهد (۷۵/۹۷)، اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) نداشت (جدول ۴۹ و ۵۰). کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو دی اکسید سیلیسیم باعث افزایش متوسط زمان جوانه زنی بذرهای شنبلیله به ترتیب، به میزان ۴۱ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد شدند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۴۹. تاثیر تیمارهای تنش کم آبی بر صفات جوانه زنی بذرهای شنبلیله

تنش کم آبی (مگا پاسکال)	وزن خشک ریشه چه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه چه (میلی گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم)	شاخص بنیه ^۱ (میلی گرم)	شاخص بنیه ^۲ (میلی گرم)
صفر	۱۱/۲۰ a	۶۷/۱۰ a	۸۴/۱۲ a	۲۱/۱۱ a	۲۴/۱۲ a
-۳/۰	۶۰/۱۰ b	۵۰/۹ b	۹۰/۱۱ b	۸۶/۹۵ b	۸۷/۱۱ b
-۶/۰	۵۸/۱۰ b	۴۲/۷ c	۹۰/۰۰ c	۵۳/۸۷ c	۹۴/۸۵ c
-۲/۱	۵۰/۱۰ c	۶۴/۶ c	۶۷/۷ d	۱۶/۶۴ d	۲۰/۷۱ d

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی داری با هم ندارند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج نشان داد، که کاربرد ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانودی اکسید سیلیسیم باعث افزایش معنی دار شاخص بنیه بذر به میزان ۱/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، وزن خشک ساقه چه و گیاهچه در تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانودی اکسید سیلیسیم به میزان ۳۹ و ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشترین افزایش نشان دادند. کاربرد

۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دی اکسید سیلیسیم غیرنانو نیز باعث افزایش شاخص بنیه^۱ بذر به میزان ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱) (جدول ۵۰ و ۵۱).

جدول ۵۰. تاثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات جوانه‌زنی بذرهای شنبليله

دی اکسید سیلیسیم	غلظت	درصد جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول کل گیاهچه (میلی‌متر)
نانو	۵۰	۶۶/۹۸ a	۲۸/۳۰ a	۳۲/۴۸ ab	۹۸/۴۵ b	۳۰/۹۴ b
نانو	۱۰۰	۱۶۹۶/۰۰ ab	۷۰/۳۰ ab	۸۴/۴۳ bc	۲۰/۴۳ bc	۸۷/۰۴ b
غیرنانو	۵۰	۷۵/۹۱ c	۸۰/۲۰ bc	۴۳/۵۲ a	۵۲/۵۰ a	۹۵/۱۰ a
غیرنانو	۱۰۰	۹۲۸۳/۰۰ bc	۵۵/۲۰ cd	۴۳/۰۱ bc	۶۳/۴۴ bc	۶۵/۸۷ b
شاهد	-	۷۵/۹۷ a	۳۲/۲ d	۶۵/۳۶ d	۴۳/۴۱ c	۷۸/۰۸ c

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۵۱. تاثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید سیلیسیم نانو و غیر نانو بر صفات جوانه‌زنی بذرهای شنبليله

دی اکسید سیلیسیم	غلظت	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	شاخص بنیه ^۱ (میلی‌گرم)	شاخص بنیه ^۲ (میلی‌گرم)
نانو	۵۰	۵۵/۱۰ ab	۵۳/۸۰ B	۱۰/۰۸ b	۱۷/۹۰ ab	۲۱/۹۹ a
نانو	۱۰۰	۹۳/۱۰ a	۶۴/۱۰ a	۵۷/۱۲ a	۳۴/۸۴ bc	۶۴/۱۲ b
غیرنانو	۵۰	۳۷/۱۰ b	۱۴/۸۰ b	۵۱/۹۰ bc	۳۴/۹۵a	۹۶/۸۸ c
غیرنانو	۱۰۰	۲۲/۱۰ b	۸۲/۷۰ b	۵۰/۹۰ c	۴۵/۸۷ bc	۶۰/۸۴ c
شاهد	-	۸۵/۱۰ a	۶۵/۷۰ B	۴۷/۹۰ bc	۹۹/۷۶ c	۸۵/۹۳ bc

(منبع: ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱)

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. نتایج مقایسه میانگین طبق جدول ۷ نشان داد، که سطوح تیمارهای کم‌آبی تحت تاثیر تیمارهای دی اکسید سیلیسیم غیرنانو نسبت به تیمارهای نانودی اکسید سیلیسیم موجب کاهش درصد جوانه‌زنی شده است، که در تنش صفر و ۰/۳- مگاپاسکال، اختلاف معنی‌داری ($P < 0/05$) میان تیمارهای نانو مشاهده نشد (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین، سطوح تیمارهای کم‌آبی تحت تاثیر تیمارهای نانو و غیرنانو نسبت به تیمارهای شاهد موجب افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی شدند. کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۹۵/۱ روز) مربوط به تیمار صفر (شاهد) بود، که اختلاف معنی‌داری ($P < 0/05$) با تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غیرنانو تحت تنش صفر مگاپاسکال نداشت. نتایج نشان داد، که پارامترهای رشدی، وزنی و شاخص‌های بنیه گیاهچه تحت تاثیر سطوح کم‌آبی و دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو قرار گرفتند (جدول ۵۲). به طوری‌که، با افزایش سطوح تنش، پارامترهای رشدی و شاخص‌های بنیه گیاهچه کاهش یافتند، در حالی که، کاربرد دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو باعث افزایش این پارامترها گردید. بیشترین طول ریشه‌چه با ۳۴ درصد افزایش نسبت به تیمار صفر (شاهد) مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش صفر مگاپاسکال بود، که اختلاف معنی‌داری ($P < 0/05$) با تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش ۰/۳- مگاپاسکال و تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال نداشت. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش صفر مگاپاسکال باعث افزایش طول ساقه‌چه و گیاهچه به میزان ۵۵ و ۴۴ درصد نسبت به تیمار صفر (شاهد) شد، که اختلاف معنی‌داری ($P < 0/05$) با

تیمار ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال و تیمار ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش ۰/۳ - مگا پاسکال نداشت (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۵۲. اثر متقابل تنش کم آبی و غلظت های دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات جوانه زنی بذرهای شنبلیله

تنش کم آبی (مگاپاسکال)	دی اکسید سیلیسیم	درصد جوانه زنی	متوسط زمان جوانه زنی (روز)	طول ریشه چه (میلی متر)	طول ساقه چه (میلی متر)	طول کل گیاهچه (میلی متر)
نانو						
صفر	۵۰	۹۸/۶۶ ab	۲/۴۶ gh	۵۵/۹۱ a	۶۳/۱۶ a	۱۱۹/۰۷ a
	۱۰۰	۱۰۰/۰۰ a	۲/۲۷ hij	۵۴/۱۶ a	۵۶/۸۷ bcd	۱۱۱/۰۳ b
۰/۳	۵۰	۹۸/۶۶ ab	۳/۱۶ bcd	۵۰/۴۷ bc	۵۵/۴۶ cd	۱۰۲/۹۶ c
	۱۰۰	۹۸/۶۶ ab	۲/۸۴ def	۴۲/۸۲ bcde	۴۹/۹۸ ef	۹۲/۸۱ e
۰/۶	۵۰	۹۸/۶۶ ab	۳/۲۶ bc	۴۶/۹۹ bc	۳۶/۷۸ jk	۸۳/۷۷ f
	۱۰۰	۹۳/۰۰ cde	۳/۱۰ bcd	۴۰/۲۵ defg	۳۷/۶۶ ij	۷۷/۹۱ fg
۱/۲	۵۰	۹۸/۶۶ ab	۴/۲۷ a	۴۲/۸۸ bcde	۲۸/۵۴ lm	۷۱/۴۲ gh
	۱۰۰	۹۳/۰۰ cde	۴/۰۸ a	۳۸/۱۶ efg	۲۸/۲۸ m	۶۶/۴۴ h
غیرنانو						
صفر	۵۰	۹۶/۰۰ bc	۲/۱۱ ij	۵۷/۳۵ a	۶۴/۰۸ a	۱۲۱/۴۳ a
	۱۰۰	۹۶/۰۰ bc	۲/۱۷ hij	۴۵/۳۹ bcd	۵۸/۴۲ bc	۱۰۳/۸۱ c
۰/۳	۵۰	۹۳/۳۳ cd	۲/۷۴ efg	۵۷/۰۰ a	۶۱/۱۲ ab	۱۱۸/۱۲ a
	۱۰۰	۹۳/۳۳ cd	۲/۳۰ hi	۴۳/۰۰ bcde	۵۲/۶۶ de	۹۵/۶۶ de
۰/۶	۵۰	۸۹/۶۶ def	۳/۰۴ bcde	۴۸/۰۰ b	۴۴/۰۰ gh	۹۲/۰۰ e
	۱۰۰	۹۲/۶۶ cde	۲/۷۴ efg	۴۲/۶۴ cde	۴۱/۲۵ hi	۸۳/۸۹ f
۱/۲	۵۰	۸۸/۰۰ f	۳/۳۱ b	۴۷/۳۸ bc	۳۲/۸۸ kl	۸۰/۲۶ f
	۱۰۰	۸۹/۳۳ ef	۲/۹۷ cdef	۴۱/۰۲ def	۲۶/۲۰ m	۶۷/۲۲ h
شاهد						
صفر	-	۹۸/۶۶ ab	۱/۹۵ j	۴۲/۶۶ cde	۵۷/۹۱ bc	۱۰۰/۵۷ cd
۰/۳	-	۹۸/۶۶ ab	۲/۲۰ hij	۳۷/۰۰ fg	۴۶/۶۱ fg	۸۳/۶۱ f
۰/۶	-	۹۷/۳۳ ab	۲/۴۴ gh	۳۵/۳۱ gh	۳۴/۹۷ jk	۷۰/۲۸ h
۱/۲	-	۹۶/۳۳ abc	۲/۷۳ fg	۳۱/۶۳ h	۲۶/۲۴ m	۵۷/۸۷ i

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی داری با هم ندارند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

ادامه جدول ۵۲. اثر متقابل تنش کم‌آبی و غلظت‌های دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر صفات جوانه‌زنی بذرهاى شبلیله

تنش کم‌آبی (مگاپاسکال)	دی اکسید سیلیسیم	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	شاخص بنیه ^۱ (میلی‌گرم)	شاخص بنیه ^۲ (میلی‌گرم)
نانو						
صفر	۵۰	۱۰/۵۷ b	۲/۳۰ ab	۱۲/۸۷ b	۱۰۴۱/۱۰ bc	۱۲۷۰/۰۰ b
	۱۰۰	۱۳/۱۳ a	۲/۵۰ a	۱۵/۶۳ a	۱۱۱۰/۳۰ ab	۱۵۶۰/۰۰ a
-۰/۳	۵۰	۱۰/۰۵ b	۱/۴۶ efghi	۱۱/۵۱ c	۱۰۱۵/۹۵ c	۱۱۳۵/۲۵ c
	۱۰۰	۱۳/۰۹ a	۲/۰۹ bc	۱۵/۱۸ a	۹۱۶/۲۸ de	۱۴۹۶/۴۱ a
-۰/۶	۵۰	۷/۳۳ de	۱/۳۶ ghi	۸/۷۰ f	۸۲۷/۳۵ fg	۸۵۷/۳۰ fg
	۱۰۰	۸/۴۳ c	۲/۰۰ bcd	۱۰/۴۳ d	۷۲۴/۷۰ hi	۹۷۰/۳۰ e
-۱/۲	۵۰	۶/۱۷ ig	۱/۱۰ ij	۷/۲۷ h	۷۰۴/۲۸ hij	۷۱۸/۳۰ hij
	۱۰۰	۷/۹۴ cd	۱/۱۶ ij	۹/۱۰ ef	۶۱۸/۰۰ jkl	۸۴۷/۸۶ fg
غیرنانو						
صفر	۵۰	۹/۹۱ b	۱/۶۰ efgh	۱۱/۵۲ c	۱۱۶۵/۳۳ a	۱۱۰۵/۳۳ c
	۱۰۰	۱۰/۲۰ b	۱/۷۱ defg	۱۱/۹۱ c	۹۹۶/۳۳ cd	۱۱۴۳/۳۳ c
-۰/۳	۵۰	۸/۴۳ c	۱/۴۳ fghi	۹/۸۶ de	۱۱۰۷/۹۰ ab	۹۲۹/۲۰ ef
	۱۰۰	۷/۴۱ de	۱/۲۵ hi	۸/۶۶ f	۸۹۳/۰۰ ef	۸۰۸/۰۰ gh
-۰/۶	۵۰	۷/۴۱ de	۱/۶۰ efgh	۹/۰۱ ef	۸۲۴/۹۳ fg	۸۰۶/۸۷ gh
	۱۰۰	۷/۱۴ def	۱/۱۰ ij	۸/۲۵ fg	۷۷۷/۴۰ gh	۷۶۴/۵۵ ghi
-۱/۲	۵۰	۶/۸۰ ef	۰/۸۶ j	۷/۶۶ gh	۷۰۷/۰۱ hi	۶۷۴/۴۴ ij
	۱۰۰	۶/۵۴ efg	۰/۸۳ j	۷/۳۷ gh	۵۹۹/۱۰ kl	۶۵۸/۵۲ j
شاهد						
صفر	-	۹/۵۶ b	۲/۴۷ a	۱۲/۰۶ bc	۹۹۳/۰۰ cd	۱۱۹۲/۵۶ bc
-۰/۳	-	۸/۴۷ c	۱/۷۷ def	۱۰/۲۴ d	۸۲۶/۱۶ fg	۱۰۱۰/۵۲ de
-۰/۶	-	۶/۷۰ efg	۱/۸۳ de	۸/۶۲ f	۶۸۳/۳۸ ijk	۸۴۰/۴۴ fg
-۱/۲	-	۵/۷۸ g	۱/۳۳ ghi	۶/۹۸ h	۵۵۷/۴۱ l	۶۷۱/۹۱ ij

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵٪) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج طبق جداول ۴۰ و ۴۱ نشان داد، که پارامترهای وزن خشک و شاخص بنیه گیاهچه بیشتر تحت تاثیر تیمارهای نانو هستند، درحالی‌که، پارامترهای رشدی و شاخص بنیه گیاهچه بیشتر تحت تاثیر تیمارهای غیرنانو قرار گرفتند. همچنین، نتایج جدول ۸ نشان داد، که پارامترهای وزن خشک و شاخص بنیه گیاهچه با افزایش میزان غلظت نانوذرات دی اکسید سیلیسیم از ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافتند، به طوری که تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال به ترتیب با ۳۹، ۲۹ و ۳۰ درصد افزایش نسبت به صفر (شاهد) بیشترین وزن خشک ساقه‌چه، گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه را نشان داد، که اختلاف

معنی داری ($P < 0/05$) با تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش ۰/۳- مگاپاسکال نداشت (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱). اما در مورد شاخص بنیه، تیمار ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش صفر مگاپاسکال بیشترین مقدار را نشان داد، که اختلاف معنی داری ($P < 0/05$) با تیمارهای ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم غیرنانو تحت تنش ۰/۳- مگاپاسکال و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال نداشت. همچنین، کاربرد ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال موجب افزایش وزن خشک ریشه چه شد، که اختلاف معنی داری با تیمارهای ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو تحت تنش صفر مگاپاسکال و صفر (شاهد) نداشت. نتایج نشان داد، که ذرات نانودی اکسید سیلیسیم در یک غلظت مناسب می توانند بهتر و گاهی مشابه با ذرات غیرنانویی آن عمل کرده و باعث افزایش درصد جوانه زنی و خصوصیات رشدی گیاه شنبلیله گردد. براساس نتایج به دست آمده پارامترهای رشدی و وزنی گیاهچه به طور معنی داری تحت تاثیر تنش های کم آبی، دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو قرار گرفتند. هر چند درصد جوانه زنی، پارامترهای رشدی و وزنی گیاهچه به طور معنی داری تحت تاثیر تنش کم آبی قرار گرفتند، ولیکن تاثیر تنش روی آن ها متفاوت بود، به طوری که، درصد جوانه زنی و طول ریشه چه کمتر از سایر پارامترها تحت تاثیر قرار گرفتند (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو اثر مثبت معنی داری بر پارامترهای رشدی، وزنی و شاخص های بنیه گیاهچه نشان داده و باعث افزایش مقاومت گیاهچه به سطوح مختلف تنش کم آبی شدند. تحت تنش های مختلف کم آبی، تیمارهای نانودی اکسید سیلیسیم در غلظت بالا (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) اثر تحریک کنندگی بیشتری بر پارامترهای وزنی و شاخص بنیه گیاهچه داشتند، درحالی که بیشترین افزایش در پارامترهای رشدی و شاخص بنیه گیاهچه در تیمارهای دی اکسید سیلیسیم غیرنانو در غلظت پایین (۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. با توجه به این نتایج به نظر می رسد، گیاه شنبلیله این پتانسیل را داراست، که به عنوان یک گیاه دارویی و همچنین سبزی در مناطق کم آب مورد توجه قرار گیرد. همچنین می توان از سیلیسیم نانو و غیرنانو به عنوان یک عنصر مفید در افزایش عملکرد گیاهان زراعی و همچنین افزایش مقاومت آن ها به تنش های محیطی استفاده نمود (ایوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

۴-۲-۱-۳. زیتون

نام فارسی: زیتون

نام علمی: *Olea europaea*

تیره: *Oleaceae*

برگ درخت زیتون متقابل و باریک و سبز تیره و دائمی و همیشه سبز است. برگ نسبتاً ضخیم بوده و در قسمت فوقانی یعنی روی سطح برگ کاملاً صاف و صیقلی است، در صورتی که در سطح زیرین آن دسته های متفرق کرک مشاهده می شود. این کرک ها در اطراف روزنه قرار دارند و نقش آن ها جلوگیری از تبخیر در موقع گرما و خشکی هوا می باشد (شکل ۷۸). جوانه گل زیتون در اواخر تابستان بین برگ و ساقه جوان همان سال ظاهر می شود، ولی به حال رکود باقی می ماند، تا بهار سال بعد که این جوانه رشد کرده و شاخه تولید می کند. گل زیتون دارای چهار گلبرگ و دو پرچم است و گل آذین آن خوشه ای است. جوانه گل روی شاخه همان سال ظاهر می شود، ولی میوه زیتون روی شاخه سال قبل قرار دارد (باقری، ۱۳۹۴). تعداد گل در هر خوشه و بنابراین در تمام درخت خیلی زیاد است، لذا مقدار دانه گرده نیز زیاد می باشد، ولی تمام گل های یک درخت تبدیل به میوه نمی شوند. شکل تنه درخت زیتون خیلی نامنظم است، یعنی تنه درخت صاف و عمودی رشد نمی کند و اغلب برجستگی ها و غده هایی روی تنه و شاخه های آن مشاهده می شود. بر روی ریشه درخت زیتون نیز مجموعه ای از جوانه ها ساقه هوایی فشرده به یکدیگر به شکل غده که اندازه آن به درستی یک تخم غاز است مشاهده می شود. درخت زیتون را در هر نوع زمین می توان

کاشت، ولی مقدار محصول همیشه متناسب با درجه حاصلخیزی و مرغوبی خاک می‌باشد. برای برداشت محصول کافی و مرغوب باید درخت زیتون را در زمین‌های عمیق و حاصلخیز کاشت (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳). در زمین‌هایی که سطح‌الارضی کم‌عمق می‌توان زیتون کاری کرد. از کاشت این درخت در اراضی مرطوب و یا زمین‌های شور باید خودداری شود. درخت زیتون یکی از گیاهان مناطق مدیترانه‌ای - یعنی مناطقی که دارای هوای گرم و مرطوب، که معمولاً در زمستان درجه حرارت هیچگاه به صفر نمی‌رود- می‌باشد. لذا در نواحی خشک اگر بتوان در فصل تابستان باغ را آبیاری کرد، درخت زیتون کاملاً رشد کرده محصول قابل ملاحظه‌ای می‌دهد. از نظر درجه حرارت نیز درخت زیتون که گیاه گرمسیری می‌باشد، تا اندازه‌ای نسبتاً زیاد تحمل سرما را می‌کند، یعنی درختان جوان تا ۹ درجه سرما و درختان مسن و بارور تا ۱۲ درجه زیر صفر را تحمل می‌کنند. سرمای شدید در درخت زیتون باعث شکاف خوردن پوست درخت شده و در محل شکاف باکتری‌های مخصوصی تولید برآمدگی می‌کنند و کم‌کم تعداد این گره‌ها زیاد شده، تا اینکه بالاخره باعث خشک شدن درخت می‌گردد (باقری، ۱۳۹۴). سرما به برگ‌ها صدمه قابل ملاحظه‌ای نمی‌زند و میوه‌های سرمازده که پلاسیده و کوچک بمانند، فقط برای تهیه روغن زیتون قابل استفاده می‌باشند. درخت زیتون از راه‌های مختلفی تکثیر می‌شود، اما معمولاً روش قلمه‌زدن یا خوابانیدن شاخه ارجح است. این درخت در خاک‌های مساعد به آسانی درخت بید ریشه می‌کند و زمانی که قطع شود، مکنده‌ها را از ریشه جدا می‌کند. شاخه‌های مختلف این درخت را به اندازه‌های چند سانتی‌متری برش می‌دهند و به صورت نسبتاً عمیقی در زمین‌های کود داده‌شده می‌کارند. قطعات کوچک‌تر را گاهی اوقات به طور افقی داخل شیارهای کم‌عمقی قرار می‌دهند، که اگر با چند سانتی‌متر خاک پوشیده شوند، به سرعت جوانه‌هایی شبه‌مکنده بر روی آن‌ها ظاهر می‌شود (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳).



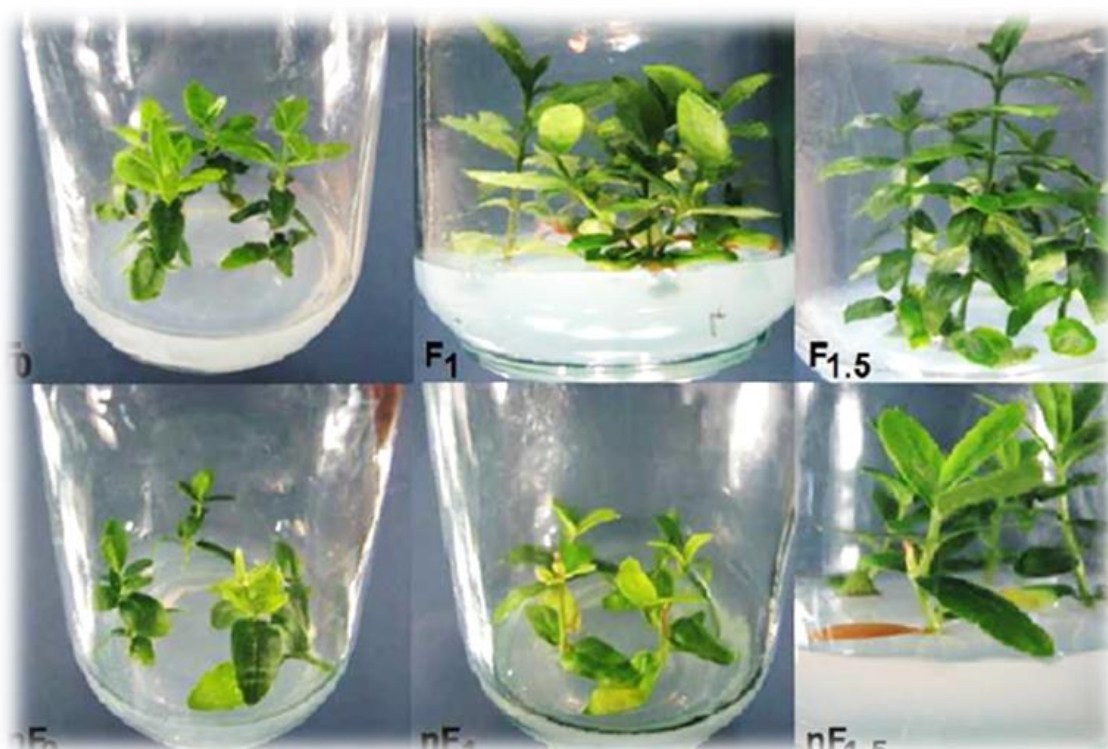
شکل ۷۸. زیتون (باقری، ۱۳۹۴)

پیوندی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی با عنوان "تأثیر آهن و نانواهن بر رشد ریز قلمه‌های زیتون رقم دزفول در شیشه" نشان دادند، که شاخص‌های رشد نانواهن باعث کاهش تعداد گره‌ها، شاخساره‌ها، تعداد برگ‌ها و طول ساقه شد. در غلظت بالای سولفات آهن رشد ساقه و تعداد برگ‌ها افزایش معنی‌داری را نشان داد. شاخه‌زایی در غلظت متوسط به حداکثر خود و کاروتنوئیدها نیز با افزایش غلظت آهن و نانواهن در محیط کشت افزایش یافت (شکل ۷۹ و جدول ۵۳).

جدول ۵۳. تاثیر ذرات نانوأهن بر روی شاخص‌های رشد زیتون

تعداد شاخساره	تعداد گره	تعداد برگ	طول ساقه (سانتی‌متر)	کالوس	تیمار
(c) ۱/۱۰±۰/۰۷	(c d) ۲/۰۵±۰/۱۱	(c) ۴/۷۰±۰/۲۵	(c d) ۲/۹۰±۰/۲۵	(a) ۱/۷۰±۰/۱۲	F_{0.5}
(a) ۱/۹۰±۰/۱۶	(b) ۳/۴۵±۰/۲۲	(b) ۰/۴۹±۰/۳۵	(b) ۴/۲۰±۰/۲۱	(b) ۰/۶۰±۰/۱۵	F
(b) ۱/۵۵±۰/۱۵	(a) ۴/۱۵±۰/۲۹	(a) ۱۱/۸۰±۰/۹۰	(a) ۵/۵۵±۰/۳۹	(a) ۱/۷۰±۰/۱۳	F_{1.5}
(c) ۱/۰۵±۰/۰۵	(c) ۲/۴۵±۰/۳۴	(d) ۳/۰۰±۰/۲۳	(e) ۲/۱۰±۰/۰۷	(c) ۰±۰	nF_{0.5}
(c) ۱/۱۲±۰/۰۹	(d) ۱/۵۶±۰/۱۳	(d) ۳/۰۶±۰/۳۲	(e d) ۲/۵۶±۰/۱۳	(c) ۰±۰	nF
(c) ۱/۰۶±۰/۰۶	(c) ۲/۷۵±۰/۱۹	(c) ۵/۶۹±۰/۴۴	(c d) ۳/۵۶±۰/۲۰	(b) ۰/۴۴±۰/۱۳	nF_{1.5}

علائم اختصاری: $F_{0.5}=16.9\text{mg.L}^{-1}$, $F=33.8\text{mg.L}^{-1}$, $F_{1.5}=50.7\text{mg.L}^{-1}$, $nF_{0.5}=37.72\text{mg.L}^{-1}$, $nF=74.44\text{mg.L}^{-1}$, $nF_{1.5}=113.21\text{mg.L}^{-1}$ (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۷۹. رشد ریزقلمه‌ها در محیط کشت‌های دارای تراکم‌های مختلف آهن و نانوأهن (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۳)

در بین ۸ تیمار به کار برده شده، بالاترین غلظت آهن و نانوأهن در هفته اول باعث از بین رفتن نمونه‌ها شد. برای ریز ازدیادی زیتون رقم دزفول، کلات آهن $F_{1.5}$ ($180 \mu\text{m}$) در محیط کشت DKW، مناسب‌تر از سایر غلظت‌ها می‌باشد. بیشترین میزان تعداد گره، تعداد برگ‌ها، طول ساقه، کالوس‌زایی و بهترین حالت و وضعیت برگ در تیمار با غلظت $F_{1.5}=50.7 \text{mg.L}^{-1}$ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، از طرف دیگر، بیشترین میزان تعداد شاخساره در تیمار $F=33.8 \text{mg.L}^{-1}$ میلی‌گرم در لیتر دیده شد (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۳). کمترین میزان تعداد گره، تعداد برگ، طول ساقه و کالوس‌زایی در تیمار $nF_{5/0} = 23/22$ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. از سوی دیگر، این تیمار دارای نامناسب‌ترین وضعیت برگ با رنگ زرد تا قهوه‌ای است. به طور کلی، افزایش سولفات آهن باعث افزایش تعداد گره، تعداد برگ‌ها، طول ساقه و کالوس‌زایی شد. تحقیقات نشان می‌دهد، که رشد و پرآوری ارقام مختلف زیتون تحت تأثیر سیتوکینین‌های مختلف وابسته به نوع رقم می‌باشد (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۳).

۵-۲-۲-۱-۳. اسفناج

نام فارسی: اسفناج

نام علمی: *Spinacia oleracea* L.

تیره: اسفناج (*Chenopodiaceae* (*Salsolaceae*))

گیاهی است یک‌ساله و روز بلند، که پس از سبزشدن تولید برگ‌های طوقه‌ای (*Rossete*) می‌کند. به این ترتیب در یک سطح در اطراف ساقه کوتاهی به طول چند میلی‌متر نزدیک به سطح خاک قرار می‌گیرند. در طی رشد بعدی این ساقه طویل شده و از آن شاخه‌های جانبی دیگری از محل برگ‌های طوقه‌ای به ساقه اصلی منشعب می‌شوند. ممکن است از ساقه اصلی ساقه‌های فرعی درجه ۱ و ۲ همراه با شاخه‌های جانبی درجه ۱ و ۲ نیز وجود آیند (فروتن، ۱۳۹۳) (شکل ۸۰). اندازه گیاه می‌تواند بین ۱۰ تا ۸ سانتی‌متر متناوب باشد. ریشه اصلی گیاه عمیق است و می‌تواند تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ کند. از این نظر می‌توان این گیاه را در خاک‌های شور به خوبی کشت نمود. ریشه‌های فرعی این گیاه دوکی‌شکل و حداکثر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک پراکنده‌اند، برگ‌ها در ارقام مختلف دارای فرم و رنگ متفاوتی هستند و به شکل‌های تخم‌مرغی، بیضوی و یا نیزه‌ای وجود دارند. کناره برگ‌ها می‌تواند کاملاً صاف و یا دندانه‌دار باشد. پهنک برگ نیز صاف و یا دارای چین و چروک است. گل‌های نر و ماده می‌توانند بر روی یک یا دو پایه قرار گیرند. امروزه دو وارپته از این گیاه کشت می‌شود: (دانشور، ۱۳۹۴)

الف. *S.O. var. oleraceae* syn. *var. spinosa* (Moench) (یا اسفناج بذر خاردار که در واقع نوع قدیمی را معرفی می‌کند).

ب. *S.O. var. inermis* (Moench) (یا اسفناج بذر صاف).



شکل ۸۰. اسفناج (دانشور، ۱۳۹۴)

هر چند که می‌توان اسفناج را در کلیه زمین‌ها کشت نمود، اما خاک‌های خیلی سبک و خیلی سنگین برای رشد و نمو گیاه مناسب نیستند. بهترین خاک برای اسفناج حد واسط آن دو و اراضی نم‌دار و حاصلخیز است. این گیاه در مقابل زمین‌های آبگیر، خشک و pH خاک بسیار حساس است. مناسب‌ترین pH برای این گیاه بین ۶ تا ۷ است. اسفناج در مقابل درجه اسیدی پایین‌تر به وضوح عکس‌العمل نشان داده و نتیجه خوبی نمی‌دهد. زمین‌های عمیق با بافت خوب و هوموس و رطوبت کافی برای اسفناج مناسب است. خاک‌های سبک فقط برای ارقام زودرس، کشت‌های زمستانه و کشت‌های مراحل اول سال مناسب است. در این خاک‌ها باید آبیاری تکمیلی و کودکافی را از نظر دور نداشت. بهترین خاک می‌تواند خاک‌های لومی و یا خاک‌های معدنی با هوموس کافی باشد. بستر کاشت باید برای کشت مکانیزه صاف و دارای شیب کم و عاری از سنگلاخ باشد. اسفناج محصول نواحی نسبتاً سرد است و در آب و هوای خنک بهتر رشد می‌کند. به طور کلی، اسفناج در مجاورت تابش زیاد آفتاب، دمای متوسط و هوای

مرطوب بهترین نتیجه را می‌دهد. یخبندان را بیشتر از اغلب سبزی‌های دیگر تحمل می‌نماید. بعضی از ارقام آن حتی در مقابل سرمای تا (۷-) سانتی‌گراد نیز مقاوم است (فروتن، ۱۳۹۳).

نتایج تحقیقات ژنگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد، که سرعت جوانه‌زنی بذره‌های مسن اسفناج خیلی پایین بود. تیمار با TiO_2 ، شاخص‌های رشد را ۲۳ درصد افزایش داد، اما تیمار با نانو TiO_2 به طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص ویگور بذره‌های مسن را افزایش داد. یون‌های سوپراکسید و هیدروکسید ممکن است، قدرت نفوذپذیری بذر را افزایش و باعث سهولت ورود آب و اکسیژن به داخل سلول شده و بنابراین متابولیسم جوانه‌زنی بذر را تشدید نمایند. به علاوه ممکن است ورود نانوذرات TiO_2 به داخل سلول‌ها واکنش‌های اکسیداسیون احیا را از طریق رایکال یون سوپراکسید در طی جوانه‌زنی در تاریکی ایجاد نماید و منجر به دفع رادیکال‌های آزاد در بذره‌های در حال جوانه‌زنی شود. اکسیژن تولید شده در چنین فرآیندی می‌تواند برای تنفس استفاده شود، که جوانه‌زنی را بیشتر تحریک خواهد کرد. در گیاه اسفناج بهترین تیمار غلظت ۲/۵ در هزار نانوذرات TiO_2 بود، که وزن تر و خشک هر گیاه نسبت به شاهد ۶۳ و ۷۶ درصد افزایش یافت. همه تیمارهای مورد مطالعه به طور معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی تاثیر داشتند. بیشترین درصد جوانه‌زنی در بذره‌های آغشته به نانوذرات تیتانیوم با غلظت‌های ۳۰ (۴۸ درصد) و ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر (۳۵ درصد) و کمترین سرعت جوانه‌زنی در بذره‌های آغشته به نانوذرات تیتانیوم با غلظت‌های ۳۰ (۲۹/۹ روز) و ۲۰ (۶/۹ روز) مشاهده شد (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۱-۲-۲-۶. خربزه

نام فارسی: خربزه

نام عربی و در کتب طب سنتی: بطیخ

نام انگلیسی و نام فرانسوی: Melon

نام علمی: *Cucumis melo* L.

خانواده: Cucurbitaceae

بوته خربزه شبیه بوته خیار است و مثل خیار خزنده و یک‌ساله می‌باشد. برگ‌ها پهن، پرزدار و خشن و پیچک‌دار و گل‌های آن زرد می‌باشد (شکل ۸۲). گل‌ها یک پایه است. گل‌های نر روی اولین ساقه‌ها و گل‌های ماده بعد از آن روی ساقه‌های جوانتر ظاهر می‌شوند. میوه آن معمولاً تخم‌مرغی شکل با هیكلی بزرگ است، که تعداد زیادی تخم در آن وجود دارد و طعم میوه معمولاً شیرین و رنگ گوشت داخل آن سفید یا سبز یا نارنجی و پوست آن اکثراً زرد یا سبز بوده و دارای نژادهای مختلفی می‌باشد (فروتن، ۱۳۹۳).



شکل ۸۱. خربزه (فروتن، ۱۳۹۳)

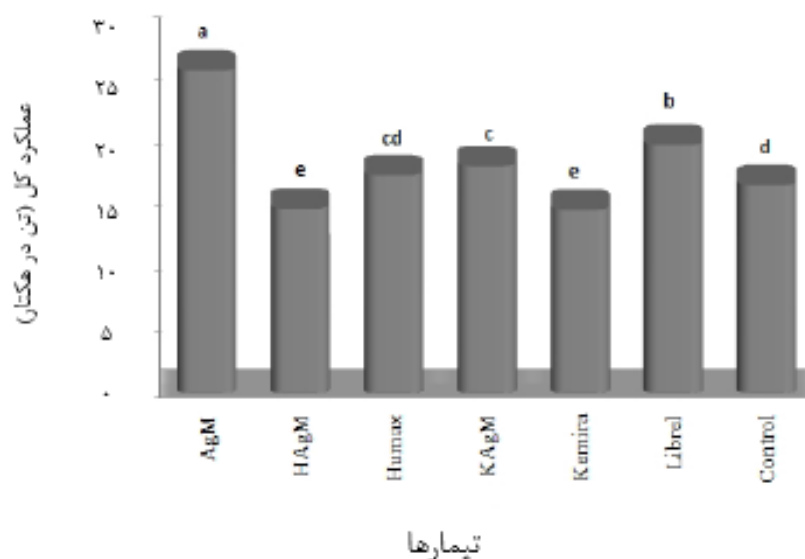
- ترکیبات شیمیایی

از نظر ترکیبات شیمیایی در تخم خربزه میریستیک اسید، املاح فسفات، ماده گالاکتان، لیزین، سیترولین، هیستیدین، تریپتوفان و سیستین گزارش شده است و در میوه آن اوره‌آز، پیتیداز، پروته‌آز و ویتامین‌های A و B و C یافت می‌شود. در ریشه آن ملون‌امین یافت می‌شود (دانشور، ۱۳۹۴). در مغز تخم خربزه مقدار قابل ملاحظه‌ای روغن ثابت وجود دارد. در میوه خام خربزه و طالبی در هر ۱۰۰ گرم گوشت شیرین خوردنی آن مواد زیر وجود دارد: آب ۹۱ گرم، هیدرات‌های کربن ۷/۵ گرم، کلسیم ۱۴ میلی‌گرم، پتاسیم ۲۵۱ میلی‌گرم، فسفر ۱۶ میلی‌گرم، ویتامین A ۳۴۰۰ واحد بین‌المللی، تیامین ۰/۰۴ میلی‌گرم، رایبوفلاوین ۰/۰۳ میلی‌گرم، نیاسین ۰/۶ میلی‌گرم، ویتامین C ۳۳ میلی‌گرم. به طوری که ملاحظه می‌شود خربزه و طالبی از نظر ویتامین A، B و C غنی می‌باشند (دانشور، ۱۳۹۴). فیضی و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی تحت عنوان " پاسخ بیولوژیکی خربزه به میدان مغناطیسی و نانوذره نقره " نشان دادند، که عملکرد خربزه با کمک این دو حدود ۱۵۰ درصد افزایش داشت (جداول ۵۴ تا ۵۶ و اشکال ۸۳ و ۸۴).

جدول ۵۴. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی عملکرد میوه خربزه در برداشت‌های مختلف (برداشت اول ۹۰، دوم ۱۰۵ و سوم ۱۲۰ روز بعد از بذریاشی)

تیمارها	عملکرد کل میوه (ton h ⁻¹)	عملکرد سومین برداشت (ton h ⁻¹)	عملکرد دومین برداشت (ton h ⁻¹)	عملکرد اولین برداشت (ton h ⁻¹)
AgM	۲۵/۵۱ a	۴/۱۰ c	۴/۹۹ c	۱۶/۴۲ a
HAgM	۱۴/۶۴ e	۴/۴۱ c	۴/۷۱ d	۵/۵۲ e
Humax	۱۷/۲۷ cd	۶/۳۲ a	۵/۴۵ b	۵/۵۰ e
KAgM	۱۷/۹۶ c	۴/۲۷ c	۶/۵۷ a	۷/۱۱ c
Kemira	۱۴/۵۶ e	۴/۵۳ c	۴/۷۱ d	۵/۳۳ e
Librel	۱۹/۶۸ b	۵/۱۶ b	۴/۲۷ e	۱۰/۲۵ b
شاهد	۱۶/۴۷ d	۵/۴۹ b	۴/۴۱ e	۶/۵۶ d

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۸۲. میانگین عملکرد میوه خربزه تیمار شده با میدان مغناطیسی، نانوذرات نقره و کودها (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۳)

جدول ۵۵. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی وزن میانگین میوه خربزه در برداشت‌های مختلف (برداشت اول ۹۰، دوم ۱۰۵ و سوم ۱۲۰ روز بعد از بذریاشی)

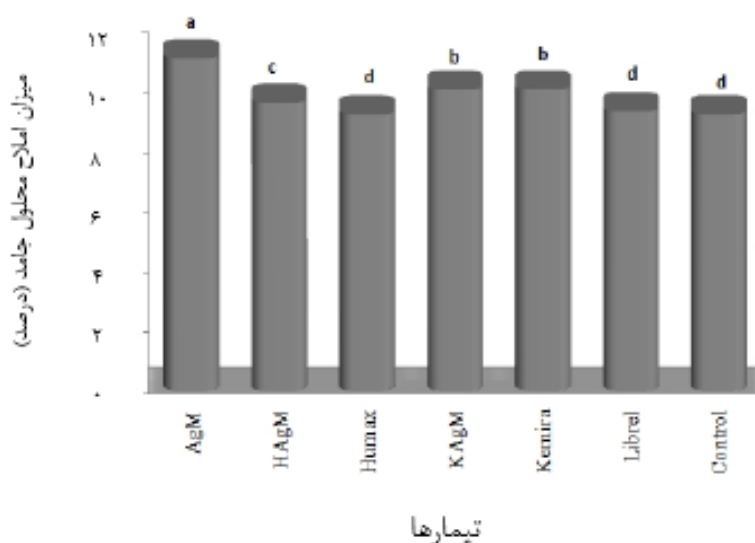
تیمارها	میانگین وزن میوه (kg)	وزن میوه در سومین برداشت (ton h ⁻¹)	وزن میوه در دومین برداشت (ton h ⁻¹)	وزن میوه در اولین برداشت (ton h ⁻¹)
AgM	۲/۶۱ b	۲/۰۱ f	۲/۶۹ a	۳/۱۴ c
HAgM	۲/۶۸ a	۲/۳۹ b	۲/۵۱ c	۳/۱۲ cd
Humax	۲/۵۳ c	۲/۲۳ d	۲/۵۶ bc	۲/۸۰ e
KAgM	۲/۵۷ bc	۲/۲۹ c	۲/۶۱ b	۲/۸۲ e
Kemira	۲/۷۰ a	۲/۵۴ a	۲/۵۲ c	۳/۰۵ d
Librel	۲/۲۶ a	۲/۵۵ a	۱/۸۷ e	۳/۶۶ a
شاهد	۲/۵۷ bc	۲/۱۳ e	۲/۳۴ d	۳/۲۳ b

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۳)

جدول ۵۶. اثرات میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی مقادیر املاح جامد محلول میوه خربزه در برداشت‌های مختلف (برداشت اول ۹۰، دوم ۱۰۵ و سوم ۱۲۰ روز بعد از بذریاشی)

تیمارها	میانگین وزن املاح محلول میوه (%)	املاح محلول میوه در سومین برداشت (%)	املاح محلول میوه در دومین برداشت (%)	املاح محلول میوه در اولین برداشت (%)
AgM	۱۱/۰۴ a	۹/۶۰ b	۱۰/۴۰ a	۱۳/۱۰ a
HAgM	۹/۵۶ c	۹/۴۰ b	۹/۱۳ d	۱۰/۱۵ c
Humax	۹/۱۷ d	۸/۱۰ c	۱۰/۳۰ a	۹/۱۰ e
KAgM	۹/۹۸ b	۱۰/۷۳ a	۹/۱۰ d	۱۰/۱۳ c
Kemira	۹/۹۹ b	۹/۵۰ b	۹/۴۵ c	۱۱/۰۳ b
Librel	۹/۲۷ d	۸/۱۰ c	۹/۶۵ bc	۱۰/۰۵ c
شاهد	۹/۱۸ d	۷/۹۰ c	۹/۸۵ b	۹/۸۰ d

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۳)



شکل ۸۳. مقادیر میانگین املاح جامد محلول در میوه خربزه تیمار شده با میدان مغناطیسی، نانوذرات نقره و کودها (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۳)

۷-۲-۲-۱-۳. مرزه

نام فارسی: مرزه

نام علمی: *Satureia hortensis* L.

تیره: نعناع (*Labiata*)

گیاهی است علفی یک‌ساله و دارای ساقه منشعب به طول ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، که به سهولت بر اثر دارا بودن ظاهری به رنگ سبز خاک‌آلود یا مایل به خاکستری از گونه‌های مجاور تشخیص داده می‌شود (شکل ۸۱). رنگ ساقه آن تیره تر از برگ است. به علاوه، در محل گره‌ها انشعاباتی حاصل می‌کند، که آن‌ها نیز به نوبه خود منشعب می‌گردند. به طوری‌که، گیاه به صورت بوته پرپشتی جلوه می‌نماید (دانشور، ۱۳۹۴). برگ‌های آن باریک دراز، نوک تیز، نرم و پوشیده از تارهای کوتاه است، که به همین سبب به رنگ سبز مات یا مایل به خاکستری جلوه می‌کند. برگ‌های آن منحصراً یک رگبرگ دارد و در سطح آن‌ها نیز نقاط ریز و فراوانی که عبارت از غده‌های اسانس داراست، دیده می‌شود. طول برگ ۱ تا ۳ سانتی‌متر و پهنای آن ۲ تا ۴ میلی‌متر، گل‌های کوچک و دوجنسی و سفیدرنگ مرزه که در تابستان ظاهر می‌شود، وضع مجتمع در طول انشعابات ساقه دارد (فروتین، ۱۳۹۳). میوه کوچک، کروی شکل و از نوع کیسول است. پرورش آن در نواحی مختلف کشور مانند تبریز، خوی، ارسباران، نواحی مختلف خراسان و غیره رایج است. نوع خودروی آن بیشتر در زمین‌های خشک آهکی و در محل‌های گرم آفتابگیر و نواحی سنگلاخی و مزارع شنی می‌روید. رشد مرزه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود. pH خاک برای کشت مرزه بین ۵/۶ تا ۲/۸ مناسب است. اصولاً مرزه در طول رویش به هوای گرم و نور کافی نیاز دارد. بذور در دمای ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد جوانه می‌زند، ولی درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی آن‌ها بین ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گیاهان جوان به درجه حرارت پائین حساس هستند، به طوری‌که در ۱- تا ۲- درجه سانتی‌گراد دچار سرمازدگی شده و خشک می‌شوند. مرزه را مانند سایر گیاهان یک‌ساله می‌توان با اکثر گیاهان به تناوب کشت کرد. به طور کلی، ۲ تا ۳ سال پس از برداشت مرزه باید آنرا در همان زمین کشت کرد. دمای مطلوب برای جوانه‌زنی بذر مرزه، ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد است و از آنجایی‌که مرزه به سرما نیز حساس است، مناسب‌ترین زمان برای کاشت این گیاه فصل بهار (اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت) است (دانشور، ۱۳۹۴).



شکل ۸۴. مرزه (دانشور، ۱۳۹۴)

۳-۲-۱-۳. دارویی

۳-۱-۲-۳-۱. رازیانه

نام فارسی: رازیانه، بادپانه، بادیان

نام علمی: *Foeniculum vulgare*, mill – *Foeniculum officinale*, all

تیره: *Apiaceae*

رازیانه یا بادپانه و یا بادیان گیاهی است، گلدار از راسته آپیالس (*Apiales*)، از تیره چتریان (*Apiaceae*) از سرده رازیانه‌ها (*Foeniculum*). این گیاه سرشار از هورمون‌های زنانه است و طبیعتی گرم دارد. رازیانه بومی جنوب غربی آسیا و جنوب اروپا بویژه بخش مدیترانه‌ای است. گیاهی علفی، معطر به ارتفاع ۱ تا ۲ متر و دارای برگ‌هایی با پهنک منقسم به قطعات نازک و نخ‌شکل است (شکل ۸۵). به حالت وحشی به صورت گیاه چندساله است، ولی اگر پرورش یابد، دارای وضع ۲ ساله می‌شود. بر روی شاخه‌های منشعب آن خطوط طولی مشخص تشخیص داده می‌شوند. دمبرگ برگ‌های آن نیز در فاصله معینی از ساقه حالت غلاف مانند پیدا می‌کند. گل‌های آن زردرنگ و مجتمع به صورت چتر مرکب است. اشعه چترهای آن بلند و شامل پایه‌های نامساوی است. به طوری که تعداد آن‌ها به ۱۵ نیز می‌رسد. پهنای گل‌آذینی چتری آن در حدود ۱۵ سانتی‌متر است. میوه آن کوچک به طول ۶ تا ۱۲ و عرض ۲ تا ۴ میلی‌متر و دارای بوی معطر است. رازیانه گیاهی است، مدیترانه‌ای، هوای گرم برای رشد و نمو آن مطلوب می‌باشد (دانشور، ۱۳۹۴).

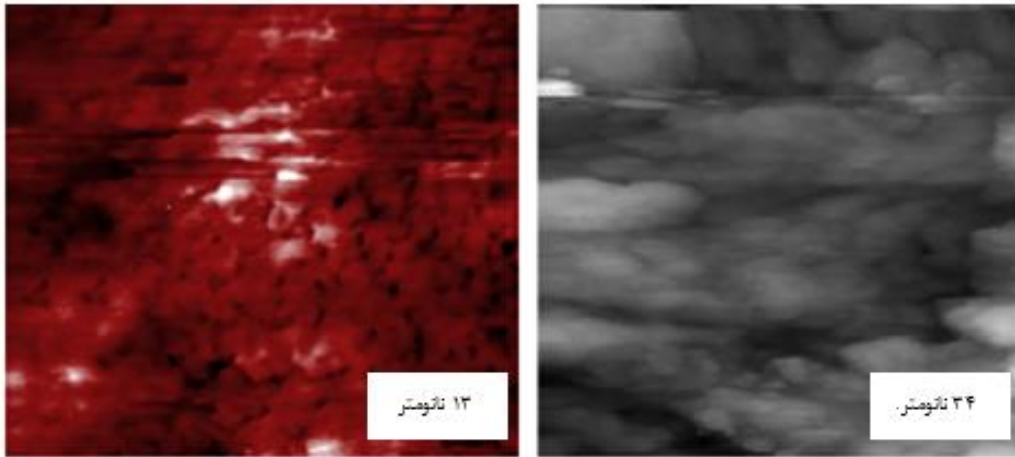
به طور کلی، کشت این گیاه در مناطق با هوای گرم (که تابستان طولانی و زمستان سرد زیاد نداشته باشند) موفقیت‌آمیز است. جوانه‌زنی بزودی در دمای ۶ تا ۸ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرد، ولی درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی ۶۵ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در ایران در شهرهای گرگان، حاجی‌لنگ در ارتفاعات ۲۰۰ متری، رحیم‌آباد بین فارسین و امام شهر در ۵۵۰ متری، تپه مراوه مازندران، پنجاب در دره هراز در ۱۰۰۰ متری آذربایجان، تبریز، کوه شاهو، کوه کلیسر در ۲۱۰۰ متری کرمان، ده بکری در ۱۹۰۰ متری خراسان، ۸ کیلومتری شمال غربی علی‌آباد به سمت اسفک در ۸۰۰ متری گیلان و شمال منجیل کنار رودخانه می‌روید (فروتن، ۱۳۹۳).



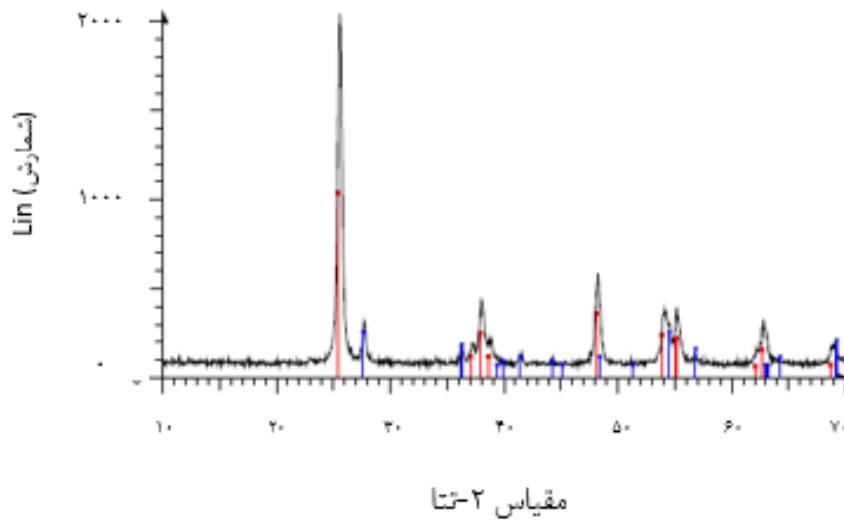
شکل ۸۵. رازیانه (دانشور، ۱۳۹۴)

رازیانه در طول رویش به مواد غذایی نسبتاً زیادی نیاز دارد، کودهای حیوانی کاملاً نپوسیده تاثیر نامناسبی بر ریشه این گیاه دارند. از این رو، نهایت دقت در افزودن کودهای حیوانی به زمین‌های که در آن‌ها رازیانه کشت می‌شود، الزامی است. دقت در اضافه کردن کودهای ازته به این گیاه نیز ضرورت دارد، زیرا کودهای ازته به مقدار زیاد سبب تحریک رشد رویشی گیاه می‌شوند، رشد زایشی گیاه را مختل می‌کند و سبب کاهش شدید عملکرد می‌گردند. ضمناً افزایش نامناسب ازت خاک علاوه بر کاهش و عملکرد سبب کاهش مقاومت گیاه در مقابل سرمای زمستان نیز خواهد شد. پس اواخر تابستان کودهای کاملاً پوسیده را به زمین می‌افزایند (دانشور، ۱۳۹۴). سپس شخم عمیقی زده می‌شود و کودهای شیمیایی مورد نیاز گیاه را به خاک می‌افزایند و آنرا به وسیله دیسک به عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی متری خاک می‌فرستند. سپس زمین را تسطیح نموده و بستر خاک را برای کاشت آماده می‌نمایند. pH خاک برای رازیانه بین ۴/۸ تا ۸ مناسب است. خاک‌های لومرسی با مواد و عناصر غذایی و ترکیبات هوموسی کافی، خاک‌های مناسبی برای رویش این گیاه می‌باشند. کشت باید در زمین‌های با آب کافی باشد. دمای مطلوب در طول رویش و در طی زمان تشکیل میوه، ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد است (فروتن، ۱۳۹۳). در زمستان‌های طولانی و بسیار سرد، ریشه گیاه دچار سرمازدگی می‌شوند. آبیاری در زمان مناسب تاثیر مثبتی بر کمیت و کیفیت مواد موثر رازیانه دارد. بهترین زمان برای ابتکار ابتدای رویش گیاه، مرحله تشکیل ساقه و همچنین مرحله نمو گل‌ها می‌باشد. رازیانه گیاهی دارویی است، که خواص بی‌شماری از قبیل ضدپیری، پیشگیری از سرطان، کاهش وزن، درمان بیماری‌های گوارشی و هورمونی و جلوگیری از پوکی استخوان دارد. رازیانه گیاهی است، که در طبقه‌بندی ادویه‌ها قرار می‌گیرد و در آشپزی و صنعت دارو نیز کاربرد دارد. رازیانه حاوی ویتامین C، پتاسیم و فیبر است. این گیاه معطر معمولاً عارضه جانبی ندارد، ولی مصرف آن در زنان باردار توصیه نمی‌شود. در کشورهای مختلف، از رازیانه به شکل‌های گوناگونی استفاده می‌شود. برخی، از رازیانه در مواد کیک و نان استفاده می‌کنند. برخی دیگر در سالاد و سبزیجات آب پز می‌ریزند و گاهی اوقات پس از غذا جویده می‌شود (مرادی نژاد، ۱۳۹۳).

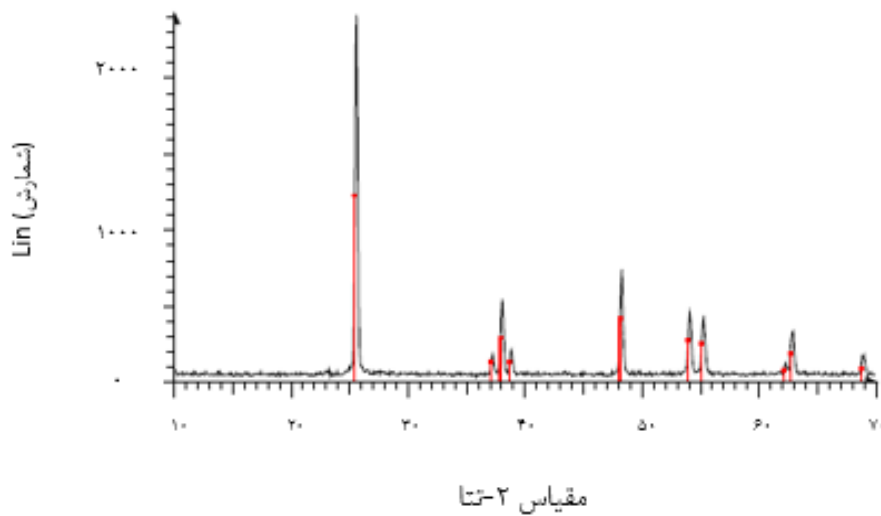
فیضی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی با عنوان "اثرات غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه رازیانه" نتیجه گرفتند، که درصد جوانه‌زنی بذرها به طور معنی‌داری در تیمار کاربرد غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر ذرات نانو اکسید تیتانیوم (۷۶ درصد) نسبت به سایر تیمارها و شاهد (۵۴ درصد) افزایش یافت. متوسط زمان جوانه‌زنی در اثر کاربرد نانوذرات با غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد حدود ۳۱ درصد بهبود یافت، در صورتی که ذرات غیرنانو متوسط زمان جوانه‌زنی را فقط ۲۱ درصد بهبود داد. به طور کلی، کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به عنوان یک گزینه جهت بذرهایی که دارای مشکل جوانه‌زنی هستند و درصد جوانه‌زنی کمی دارند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین فیضی و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیق دیگر با عنوان "اثرات محرک و سمیت گیاهی دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر روی رازیانه" نشان دادند، که با غلظت نانو ذرات TiO_2 در ۰، ۵، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم با TiO_2 غیرنانو پس از ۱۴ روز از تلقیح دانه، درصد جوانه‌زنی بسیار بهبود یافته و تا ۳۱/۸ درصد افزایش یافت (۶۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات TiO_2). اثرات مثبت مشابه از نظر وزن خشک ساقه و جوانه‌زنی رخ داد (اشکال ۸۶ تا ۹۰ و جداول ۵۷ و ۵۸).



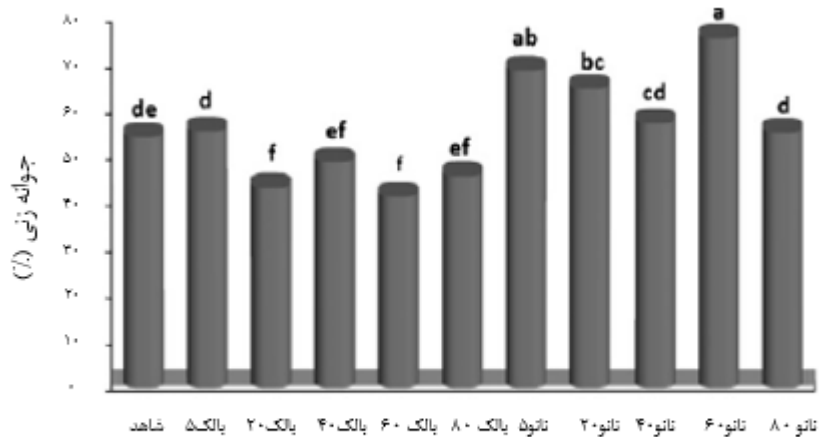
شکل ۸۶. تصاویر نانوذره TiO_2 به کمک STM (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)



شکل ۸۷. الگوی XRD نانو ذرات TiO_2 (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)



شکل ۸۸. الگوی XRD ذرات معمولی TiO_2 (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)



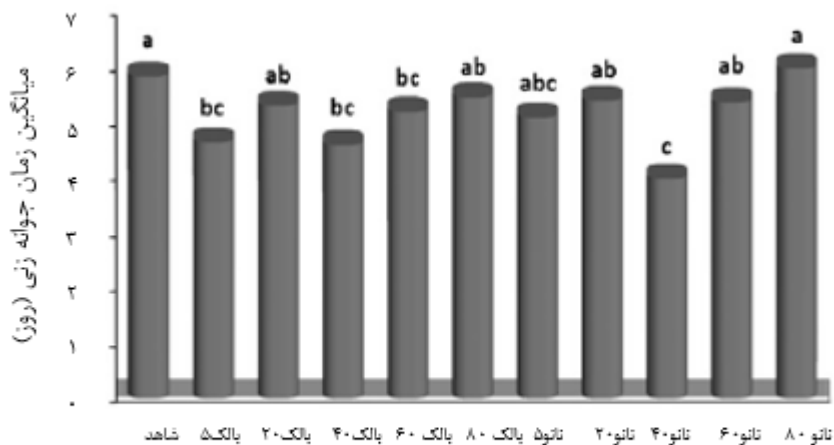
تیمارهای دی اکسید تیتانیوم

شکل ۸۹. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی درصد جوانه زنی بذر رازیانه ($SD=10/26$ و $LSD=5/04$) (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)

جدول ۵۷. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی طول بذر و بیومس گیاهچه رازیانه

TiO_2 غلظت (ppm)	وزن گیاهچه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن خشک ریشه چه (mg)	طول گیاهچه (cm)	طول ریشه (cm)	طول ساقه چه (cm)
Control	۱/۴۶ ab	۰/۳۸ b	۱/۰۷ ab	۹/۸۷ a	۵/۸۱ a	۴/۰۶ a*
غیرنانو TiO_2	۵	۱/۵۵ a	۰/۳۶ bc	۱/۱۸ a	۹/۰۲ a	۳/۷۶ a
	۲۰	۱/۶۶ a	۰/۵۴ a	۱/۱۲ ab	۱۰/۳۴ a	۴/۱۲ a
	۴۰	۰/۸۵	۰/۳۲ bcd	۰/۵۳ d	۹/۵۲ a	۴۰/۰۱ a
	۶۰	۱/۳۳ abc	۰/۳۴ bcd	۰/۹۹ ab	۱۰/۸۹ a	۳/۸۹ a
	۸۰	۱/۱۵ bcd	0/20 d	۰/۹۵ abc	۹/۹۹ a	۶/۲۵ a
نانو TiO_2	۵	۱/۴۲ ab	۰/۴۰ ab	۱/۰۱ ab	۹/۳۴ a	۳/۷۹ a
	۲۰	۱/۲۱ bc	۰/۴۰ ab	۰/۸۰ bcd	۱۰/۳۱ a	۴/۳۸ a
	۴۰	۰/۸۶ d	۰/۲۲ cd	۰/۶۴ cd	۱۰/۷۱ a	۴/۰۵ a
	۶۰	۱/۰۹ cd	۰/۲۷ bcd	۰/۸۱ bcd	۱۰/۰۵ a	۵/۹۳ a
	۸۰	۱/۴۵ ab	۰/۲۹ bcd	۱/۱۶ a	۱۱/۲۷ a	۷/۳۹ a
SD	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۱۸	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۴۲
LSD	0/38	۰/۱۷	0/38	۲/۰۴	۱/۶۲	۰/۸۵

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی دار نیستند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)



تیمارهای دی اکسید تیتانیوم

شکل ۹۰. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی میانگین زمان جوانه زنی بذر رازیانه ($SD=1.0/26$ و $LSD=5/04$) (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)

جدول ۵۸. اثر مقادیر نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی طول حالت‌های رشد گیاهچه رازیانه

غلظت TiO_2 (ppm)	سرعت جوانه زنی (seed day ⁻¹)	میزان جوانه زنی	درصد جوانه زنی روزانه	رشد حداکثر	شاخص بنیه	شاخص بنیه	
					I	II	
شاهد	۴/۰۵ bc*	۵/۹۶ abc	۴/۴۳ abc	۱/۶۸ a	۵۴۱/۶۰ cde	۷۹/۸۷ ab	
TiO_2 غیرنانو	۵	۲/۵۴ de	۷/۷۲ abc	۲/۹۳ f	۱/۲۴ a	۵۰۰/۷۰ de	۸۶/۴۴ ab
	۲۰	۳/۸۱ bcd	۳/۶۹ c	۲/۹۳ f	۱/۳۱ a	۴۴۷/۱۰ e	۷۱/۱۹ bc
	۴۰	۳/۱۳ cde	۴/۰۳ c	۳/۱۴ ef	۱/۵۴ a	۴۷۴/۳۰ e	۴۲/۱۴ d
	۶۰	۲/۴۵ e	۵/۱۵ bc	۳/۱۴ ef	۱/۲۲ a	۴۵۰/۸۰ e	۵۵/۴۰ cd
	۸۰	۲/۷۰ de	۴/۰۸ c	۳/۲۸ def	۱/۲۳ a	۴۶۰/۲۰ e	۴۲/۴۰ cd
TiO_2 نانو	۵	۶/۳۹ a	۴/۱۵ c	۴/۸۲ ab	۲/۱۴ a	۶۴۵/۷۰ abc	۹۷/۹۶ a
	۲۰	۳/۲۹ bcde	۱۰/۲۴ a	۴/۲۸ bcd	۱/۵۴ a	۶۷۱/۳۰ ab	۷۹/۲۶ ab
	۴۰	۴/۵۰ b	۶/۸۲ abc	۳/۷۶ cdef	۲/۰۴ a	۶۰۸/۳۰ bcd	۵۱/۰۳ cd
	۶۰	۳/۲۳ bcde	۸/۰۳ abc	۵/۴۳ a	۱/۷۴ a	۷۶۲/۸۰ a	۸۲/۷۲ ab
	۸۰	۲/۸۰ cde	۹/۴۹ ab	۴/۰۰ bcde	۱/۴۸ a	۶۲۴/۰۰ bc	۸۰/۱۷ ab
انحراف معیار	۰/۷۶	۲/۶۲	۰/۶۰	۰/۴۵	۸۵/۲۸	۱۱/۷۶	
تفاوت حداقل	۱/۵۳	۵/۳۳	۱/۲۱	۰/۹۰	۱۳۸/۷۰	۲۳/۹۵	
معنی دار							

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی دار نیستند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲)

۲-۳-۲-۱-۳. بادرنجبویه

نام فارسی: بادرنجبویه

نام علمی: *Melissa officinalis L.*, *M. cordifolia pers.*, *M. romana Mill.*

تیره: نعناع (Labiatae)

گیاهی است پایا، پرشاخه و پرپشت، به ارتفاع ۳۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و حتی بیشتر که به حالت وحشی و خودرو در ایران می‌روید و همچنین در نواحی مختلف پرورش می‌یابد. از مشخصات آن این است، که ریشه کوچک و استوانه‌ای شکل، سخت و منشعب دارد. برگ‌های پوشیده از تار، متقابل، بیضوی، به شکل قلب و دنداندار (دندانه‌های فاصله‌دار) است. درازای برگ‌های آن ۵ تا ۸ سانتی‌متر و پهنای آن ۴ تا ۵ سانتی‌متر است (شکل ۹۱). بعلاوه در سطح پهنک برگ آن رگبرگ‌های متعدد به وضع مشبک دیده می‌شود. رنگ برگ‌های آن در سطح فوقانی پهنک، سبز تیره، ولی در سطح تحتانی آن سبز روشن است (دانشور، ۱۳۹۴). گل‌های آن که در خرداد تا اوسط مرداد ظاهر می‌شود، رنگ سفید یا گلی دارند و به تعداد ۶ تا ۱۲ تائی نیز در کنار برگ‌ها ظاهر می‌شوند. کاسه و جام آن دارای دو لوب است، که در آن لوب فوقانی جام شامل دو لوب، ولی لوب تحتانی مرکب از ۳ لوب می‌باشد. درون گل نیز ۴ پرچم (۲ بزرگ و ۲ کوچک) جای دارد. میوه‌اش چهار فندقه‌ای قهوای رنگ است. بادرنجبویه در طول رویش به هوای گرم و نور کافی نیاز دارد. بذرها در دمای ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد جوانه می‌زنند، ولی دمای مناسب برای جوانه‌زنی ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. درجه حرارت مطلوب در طول رویش گیاه ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد است (فروتن، ۱۳۹۳).



شکل ۹۱. بادرنجبویه (فروتن، ۱۳۹۳)

پراکنش جغرافیایی در ایران: این گیاه به طور خودرو در نواحی مختلف مثل کوهستان‌ها، کنار جاده‌ها، سایه درخت‌ها، پای دیوارها، حاشیه باغ‌ها، بیشه‌ها و بالاخره تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری در اطراف تهران، پس قلعه در ارتفاعات ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متری نزدیک دربند، کرج، قزوین، کرمان، جنگل گلستان، گنبد کاووس، آذربایجان، حسن بیگلر، کرمانشاه، بین ریجاب، شالان، لرستان و گیلان (اطراف رشت) می‌روید. ریشه بادرنجبویه نسبتاً طویل است. این ریشه به جذب رطوبت در اعماق زمین قادر بوده و برای مدتی خشکی را تحمل می‌کند. بادرنجبویه در هر نوع خاکی قادر به رویش می‌باشد و خاک‌هایی با بافت متوسط و غنی از ترکیبات کلسیم و مواد و عناصر غذایی برای رویش این گیاه مناسب است. بادرنجبویه قادر است خشکی را برای مدتی تحمل کند، ولی کم‌آبی و خشکی‌های طولانی سبب

خشک شدن آن می‌شود. pH خاک برای بادرنجبویه، ۴/۸ تا ۸ مناسب است. اواخر پائیز (آذر) زمان مناسبی برای کشت مستقیم بذر در زمین اصلی است. در این صورت ۶۰ سانتی‌متر فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر مناسب می‌باشد. عمق بذر موقع کاشت باید ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر باشد. در کشت مستقیم، بذر مورد نیاز برای هر هکتار زمین ۸ تا ۱۰ کیلوگرم است (فروتن، ۱۳۹۳). در کشت غیرمستقیم، زمان مناسب برای کشت بذر در خزانه هوای آزاد اواخر فروردین، یا اوایل اردیبهشت می‌باشد، ولی زمان مناسب برای کشت بذر در خزانه زیر پلاستیک اواخر بهمن خواهد بود. در کشت غیرمستقیم (اعم از خزانه هوای آزاد یا زیر پلاستیک) فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و عمق بذر ۰/۵ سانتی‌متر مناسب است. برای هر هکتار زمین به ۰/۵ کیلوگرم بذر با کیفیت مطلوب نیاز است. از هر متر مربع محیط خزانه می‌توان ۲۵۰ تا ۳۰۰ نشاء به دست آورد. اواخر تابستان (شهریور) زمان مناسبی برای انتقال نشاء از خزانه هوای آزاد و اواسط اردیبهشت ماه نیز زمان مناسبی برای انتقال نشاء از خزانه زیر پلاستیک به زمین اصلی است. در کشت غیرمستقیم، نشاءها در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به زمین اصلی منتقل می‌شوند. فاصله دو بوته در طول ردیف ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر مناسب است. برای هر هکتار زمین به ۵۰ تا ۶۵ هزار نشاء نیاز است. زمان مناسب برای تکثیر رویشی بادرنجبویه اواخر تابستان (اواسط شهریور) می‌باشد (دانشور، ۱۳۹۴).

نقش و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان " اثرات هم‌افزایی نانوذرات مس و اسانس روغنی گیاه بادرنجبویه در مهار رشد باکتری استافیلوکوکوس آرنوس مقاوم " به این نتیجه رسیدند، که نانوذرات مس ۲۴ ساعت بعد از تیمار، هیچ تاثیری بر این باکتری نداشت، در حالی که میانگین قطر هاله عدم رشد برای غلظت‌های مختلف اسانس روغنی بادرنجبویه، ۰/۱۳ + ۱۹/۹ می‌باشد. ترکیب غلظت‌های مختلف اسانس گیاه بادرنجبویه و غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام نانوذرات مس بعد از ۲۴ ساعت تیمار نشان داد، که ترکیب این دو ماده بر روی همدیگر اثرات سینرژیک نداشته است. مقایسه میزان قطر هاله عدم رشد اسانس روغنی بادرنجبویه به تنهایی و همراه با نانوذرات مس نشان داد، که این دو ماده اثرات سینرژیک بر روی قطر هاله عدم رشد این باکتری ندارند. از اسانس این گیاه می‌توان برای درمان عفونت‌های باکتریایی در انسان استفاده نمود.

۳-۳-۲-۱-۳. شیرین بیان

نام فارسی: شیرین بیان

نام علمی: *Glycyrrhiza glabra L., G.brachycarpa Boiss*

تیره: نخود (Leguminosae)

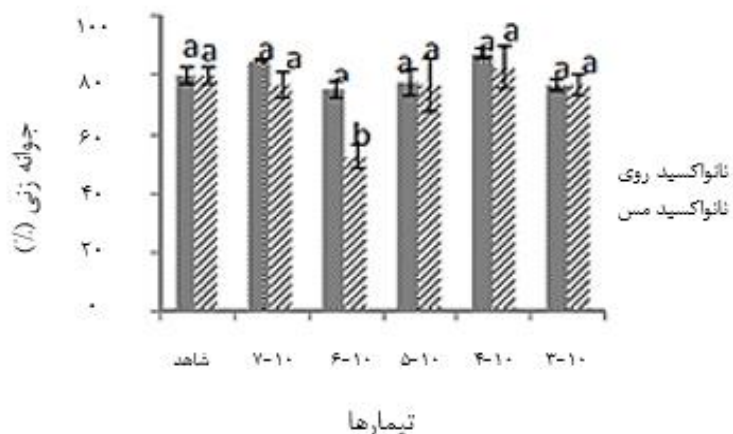
شرح گیاه: گیاهی است علفی، پایا و دارای ساقه‌ای به طول ۰/۵ تا ۱ متر، که در محیط‌های مساعد به ارتفاع ۲ متر نیز می‌رسد. وارپته‌های آن بطور خودرو در نقاط مختلف روئیده و پرورش می‌یابد. برگ‌های آن مرکب از ۴ تا ۷ زوج برگچه با یک برگچه انتهایی و گل‌های آن به رنگ آبی روشن و غالباً همراه با لکه سفیدرنگ است (شکل ۹۲). میوه‌ای نیام و محتوی ۵ یا ۶ دانه (گاهی کمتر) و به رنگ قهوه‌ای یا قهوه‌ای روشن دارد (فروتن، ۱۳۹۳). ریشه و ریزوم شیرین بیان به صورت قطعات استوانه‌ای شکل، به قطر ۵ تا ۵/۱ سانتی‌متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقطع آن‌ها رنگ زرد روشن دارد. ناحیه مرکزی مقطع نیز کمی تیره است. در سطح خارجی آن خطوط طولی به رنگ خاکستری مایل به قهوه‌ای تشخیص داده می‌شود. در قطعات متعلق به ریزوم، اثر جوانه‌های از بین رفته نیز مشاهده می‌گردد (حاجی شریف، ۱۳۸۶).



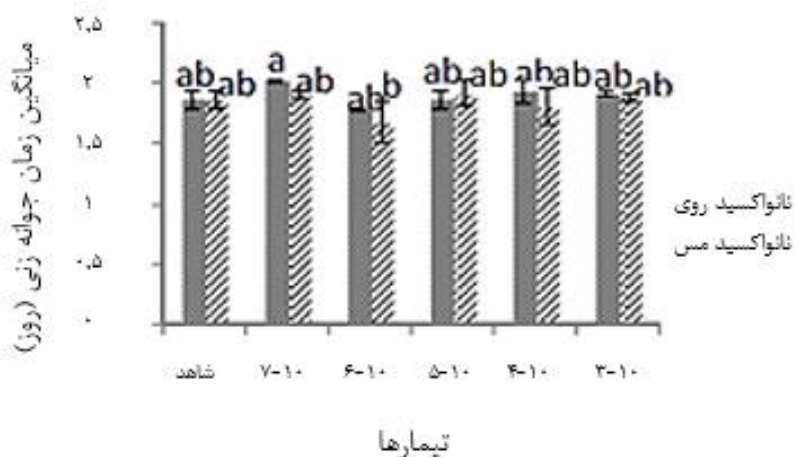
شکل ۹۲. شیرین بیان (فروتن، ۱۳۹۳)

پراکنش جغرافیایی در ایران: کرج، شبستر، خمسه، آذربایجان، کرمانشاه، قصر شیرین، بیستون، صحنه، کنگاور، ماهی دشت، یوان، همدان، اسد آباد، اراک، بروجرد، درود، تویسرکان، دشت گرگان و بعضی مناطق دیگر. ریشه این گیاه در خاک‌های شنی با ضخامت زیاد گسترش زیادی یافته و عملکرد آن نیز افزایش می‌یابد. این گیاه به آب و مواد و عناصر غذایی کافی نیاز دارد. در مرحله گل‌دهی آب کافی باید به گیاه رسانده شود (باقری، ۱۳۹۴). برای کاشت گیاه باید از زمین‌های شنی با لایه‌های ضخیم خاک و غنی از ترکیبات کلسیم استفاده کرد. pH خاک برای شیرین بیان بین ۵/۵ تا ۸/۲ مناسب است. گیاه شیرین بیان در طول رویش به هوای گرم و آفتاب کافی نیاز دارد. شیرین بیان در دمای ۶ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌روید و گیاهی نورپسند است. چون گیاه شیرین بیان حدود ۱۰ تا ۱۵ سال در یک منطقه باقی می‌ماند و رویش اولیه گیاه بسیار کند است، از این رو آنرا باید با گیاهانی به تناوب کشت کرد، که سبب گسترش علف‌های هرز نشوند. گیاهان وجینی گیاهان مناسبی برای تناوب کشت با شیرین بیان هستند (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳).

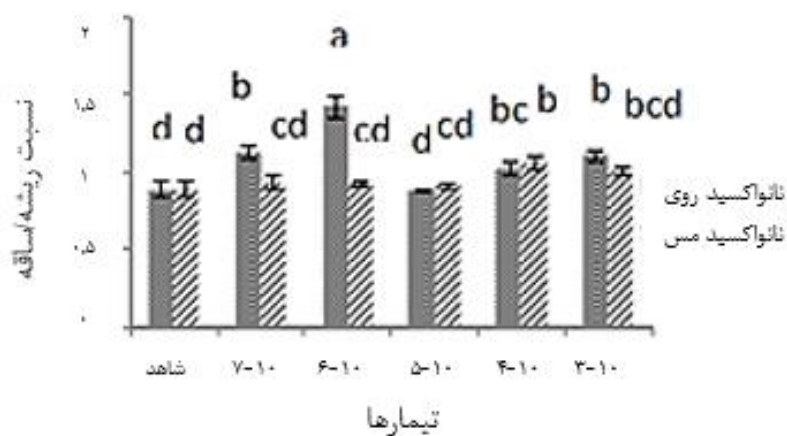
حکیمه علومی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی تاثیر ریز ذرات اکسید روی و اکسید مس بر جوانه‌زنی و صفات ریخت‌شناسی گیاهچه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.)" نشان دادند، که غلظت 10^{-6} مولار نانو اکسید مس، درصد جوانه‌زنی بذر را در مقایسه با گیاه شاهد کاهش داد. در تیمار نانو اکسید روی، نسبت طول ریشه به ساقه در غلظت‌های 10^{-6} و 10^{-7} مولار نانو اکسید روی و در تیمار نانو اکسید مس در غلظت 10^{-4} مولار نسبت به تیمار کنترل افزایش یافت. بیشترین وزن تر گیاهچه مربوط به غلظت 10^{-7} مولار اکسید روی و کمترین آن مربوط به غلظت 10^{-3} مولار نانو اکسید روی نشان داد. وزن خشک گیاهچه در هر دو تیمار نانو اکسید روی و مس نسبت به گیاه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. به طور کلی، هر دو تیمار نانو اکسید روی و نانو اکسید مس در غلظت‌های مختلف، بر جوانه‌زنی و ریخت‌شناسی گیاهچه شیرین بیان تاثیرات متفاوتی داشتند (اشکال ۹۳ تا ۹۷).



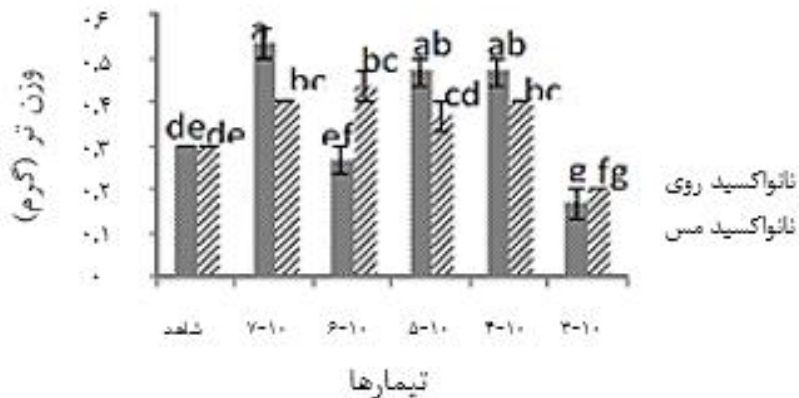
شکل ۹۳. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر جوانه زنی بذر گیاهچه شیرین بیان. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱)



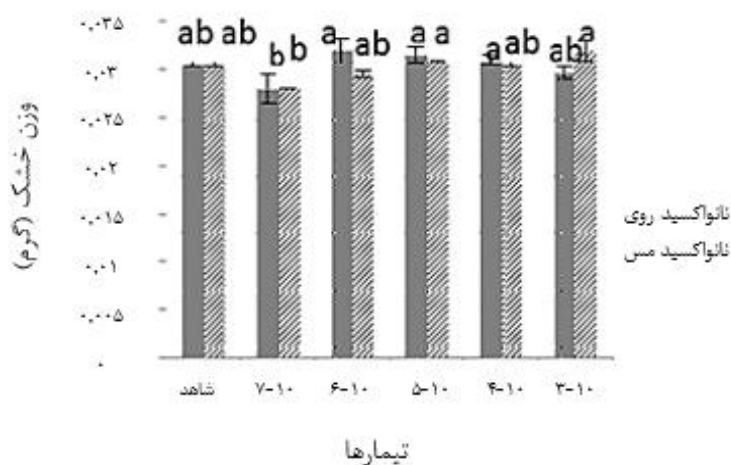
شکل ۹۴. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر مدت زمان لازم برای جوانه زنی مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱)



شکل ۹۵. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر نسبت طول ریشه و ساقه در گیاهچه شیرین بیان. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱)



شکل ۹۶. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر وزن تر گیاهچه شیرین بیان. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱)



شکل ۹۷. اثر نانو اکسید روی و نانو اکسید مس بر وزن خشک گیاهچه شیرین بیان. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱)

چنانچه در اشکال فوق مشاهده می‌شود، در تیمار نانو اکسید روی، نسبت طول ریشه به ساقه در غلظت‌های 10^{-1} و 10^{-2} مولار نانو اکسید روی و در تیمار نانو اکسید مس در غلظت 10^{-4} مولار نسبت به تیمار کنترل افزایش یافت. وزن خشک گیاهچه در هر دو تیمار نانو اکسید روی و مس نسبت به گیاه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت (حکیمه علومی و همکاران، ۱۳۹۱).

۳-۱-۲-۳-۴. زنیان

نام فارسی: زنیان

نام علمی: *Carum copticum L. – Ammi copticum L.*

تیره: جعفری (Umbelliferae)

گیاهی است علفی، یک‌ساله بی‌کرک به ارتفاع ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر، که به حالت خودرو در نواحی شرقی هند، ایران و مصر می‌روید. علاوه بر در نواحی مذکور در نقاط مختلف پرورش می‌یابد. برگ‌هایی با پهنک منقسم به بریدگی‌های

نازک و ظریف و گل‌های به رنگ سفید و مجتمع به صورت چتر مرکب دارد (مرادی نژاد، ۱۳۹۳). اشعه چتر آن کوتاه دارای طول نسبتاً مساوی و منتهی به براکته‌های باریک در محل اتصال به یکدیگر است. میوه‌اش کوچک بیضوی به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد و دارای بویی شبیه تیمول است. بر روی میوه آن ۵ خط طولی نخی شکل به رنگ روشن‌تر و دو نوع تار نازک تک‌سلولی مشاهده می‌شود. به طوری که، بعضی از آن‌ها کوتاه و مخروطی و برخی دیگر دارای یک قسمت متورم در انتها می‌باشند. قسمت مورد استفاده این گیاه میوه آن است، که زنیان نیز نامیده می‌شود (باقری، ۱۳۹۴) (شکل ۹۸).

پراکنش جغرافیایی در ایران: شرق کشور، بلوچستان (فلور ایران)، آذربایجان، تبریز، اصفهان، خوزستان (بین ایزه و ده‌دز در ارتفاعات ۱۱۰۰ متری)، فارس، کرمان، باقین، مکران، خراسان رضوی (تربت حیدریه) و سیستان. زنیان بیشتر در زمین‌های سبک رسی سیلیسی و آفتابگیر و چراگاه‌ها می‌روید (فروتن، ۱۳۹۳). تکثیر این گیاه به وسیله دانه (میوه) در زمین‌هایی که در پائیز و زمستان ۳ مرتبه شخم زده باشند، صورت می‌گیرد. در هر هکتار حدود ۲۴ کیلوگرم بذر می‌افشانند. بذر از اواسط فروردین تا اوایل اردیبهشت در ردیف‌هایی به عرض ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر افشاند و بلافاصله روی آنرا غلتک می‌زنند. برای هر هکتار ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم کود ازت خالص (نیترات آمونیم، کلیسم سیایند)، ۲۵۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات و ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم کود نمک پتاسیم ۴۰ درصد می‌دهند. پس از آن مراقبت‌های لازم صورت می‌گیرد (دانشور، ۱۳۹۴). این مراقبت‌ها عبارتند از خارج کردن علف‌های هرز، زدن چنگک با دیسک ماشینی و استفاده از زموزان (هکتاری ۱/۵ کیلوگرم) در پیش‌کشت و همچنین پوتابلان (هکتاری ۸ تا ۱۰ لیتر برای تمام سطح زیرکشت) در پس‌کشت، زمان محصول برداری میوه در ماه‌های مرداد و شهریور می‌باشد. پس از برداشت محصول آن‌ها را به طور طبیعی یا مصنوعی خشک می‌نمایند و دانه‌ها را از ساقه به وسیله خرمن کوب جدا نموده و پس از بوجاری کامل محصول را بسته‌بندی می‌نمایند (باقری، ۱۳۹۴).



شکل ۹۸. زنیان (فروتن، ۱۳۹۳)

فیضی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر زنیان تولیدشده تحت تاثیر تنش خشکی، نانوقره و میدان مغناطیس" نشان دادند، که بروز تنش خشکی در طی دوره گلدهی به طور معنی داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه اثر گذاشته و آن‌ها را به ترتیب ۴/۳۷ و ۶/۳۸ و ۱/۱۹ درصد افزایش داد. این تحقیق به صورت طرح آزمایشی اسپلیت‌پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. سطوح آبیاری (آبیاری کامل تا انتهای دوره رشد و آبیاری یک هفته درمیان پس از آغاز گلدهی) به عنوان کرت

اصلی و سطوح تیمارهای کودی (شاهد بدون کود، مصرف کود پایه NPK بر اساس نتایج آزمون خاک F- استفاده از نوار مغناطیسی M-، استفاده از نانونقره N- و M+N و F+N+M ۵۰٪) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. از بین بذور برداشت شده پس از رسیدگی محصول، تعداد ۲۵ بذر پس از ضدعفونی شدن توسط محلول هیپوکلریت سدیم در داخل پتری دیش قرار داده شده و پتری دیش‌ها به ژرمیناتور منتقل گردید. نتایج نشان داد، که بروز تنش خشکی در طی دوره گلدهی به طور معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه اثر گذاشته و آن‌ها را به ترتیب ۴/۳۷، ۶/۳۸ و ۱/۱۹ درصد افزایش داد. افزایش وزن ۱۰ گیاهچه بر اثر اعمال تنش خشکی معنی‌دار نبود. اثر تیمارهای کودی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر هیچ یک از ویژگی‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد.

همچنین فیضی و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر نانونقره و میدان مغناطیس بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب زنیان تحت تنش خشکی" به این نتیجه رسیدند، که تیمار با میدان مغناطیسی و کود پایه در مقایسه با نانوذرات نقره و شاهد، میزان عملکرد بیشتری را نشان دادند. بیشترین کارایی مصرف آب زیست‌توده و بذر در تیمار میدان مغناطیسی و کود پایه به دست آمد. همچنین میزان کود مصرفی کاهش می‌یابد (جداول ۵۹ تا ۶۲).

جدول ۵۹. اثر آبیاری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد *Carum copticum*

تیمارها	وزن هزاردانه (g)	تعداد برگ در هر گیاه	تعداد بذر در هر گیاه	عملکرد بیومس (g.m ⁻²)	عملکرد بذر (g.m ⁻²)
تنش آبیاری	۱/۰۸ a	۱۱۲/۰۰ a	۸۰۲۵/۲۰ a	۲۶۳/۶۲ a	۱۴۲/۵۲ a
شاهد	۰/۸۸ b	۱۴۱/۶۰ a	۸۳۱۲/۲۰ a	۳۶۰/۶۷ a	۱۱۹/۷۳ a

(منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۶۰. اثر کود، میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی عملکرد و اجزای عملکرد *Carum copticum*

تیمارها	وزن هزاردانه (g)	تعداد برگ در هر گیاه	تعداد بذر در هر گیاه	عملکرد بیومس (g.m ⁻²)	عملکرد بذر (g.m ⁻²)
شاهد	۰/۹۲۰ ab	۹۶/۱۰ b	۶۵۷۳/۶۰ c	۲۳۷/۳۸ b	۹۸/۰۳ b
B	۱/۱۵ a	۱۵۴/۸۰ a	۷۵۵۱/۱۰ bc	۳۴۵/۴۰ a	۱۴۱/۴۰ a
M	۰/۹۹ ab	۱۲۶/۷۰ ab	۸۳۶۱/۸۰ abc	۳۲۷/۵۱ a	۱۳۷/۵۹ a
N	۰/۸۸ b	۱۰۲/۰۰ b	۶۵۷۸/۲۰ c	۲۵۱/۳۹ b	۹۷/۵۱ b
M+N	۰/۹۲ ab	۱۴۶/۶۰ a	۱۰۷۵۱/۴۰ a	۳۵۵/۴۵ a	۱۶۱/۶۸ a
M+N+۵۰%B	۱/۰۱ ab	۱۳۴/۵۰ ab	۹۱۵۹/۹۰ ab	۳۵۵/۷۲ a	۱۵۰/۵۴ a

B: کود پایه، M: میدان مغناطیسی و N: ذرات نانونقره (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۶۱. اثر آبیاری بر روی شاخص برداشت و کارایی مصرف آب *Carum copticum*

تیمارها	کارایی مصرف آب بیومس (g.l ⁻¹)	کارایی مصرف آب بذر (g.l ⁻¹)	شاخص برداشت
تنش آبیاری	۰/۴۲ a	۰/۲۳ a	۰/۵۴ a
شاهد	۰/۴۰ a	۰/۱۳ b	۰/۳۴ b

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۶۲. اثر کود، میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره بر روی شاخص برداشت و کارایی مصرف آب *Carum copticum*

شاخص برداشت	کارایی مصرف آب بذر (g.l ⁻¹)	کارایی مصرف آب بیومس (g.l ⁻¹)	تیمارها
۰/۴۳ a	۰/۱۳ b	۰/۳۱ b	شاهد
۰/۴۳ a	۰/۲۰ a	۰/۴۵ a	B
۰/۴۳ a	۰/۱۹ a	۰/۴۴ a	M
۰/۴۱ a	۰/۱۳ b	۰/۳۳ b	N
۰/۴۷ a	۰/۲۲ a	۰/۴۷ a	M+N
۰/۴۶ a	۰/۲۱ a	۰/۴۶ a	M+N+۵۰%B

B: کود پایه، M: میدان مغناطیسی و N: ذرات نانوقره (منبع: فیضی و همکاران، ۲۰۱۵)

ثقه الاسلامی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تحت عنوان " بررسی برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر زنیان تولید شده تحت تاثیر تنش خشکی، نانوقره و میدان مغناطیس"، -که طرح آزمایشی اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. سطوح آبیاری (آبیاری کامل تا انتهای دوره رشد و آبیاری یک هفته درمیان پس از آغاز گلدهی) به عنوان کرت اصلی و سطوح تیمارهای کودی (شاهد بدون کود، مصرف کود پایه NPK بر اساس نتایج آزمون خاک F- استفاده از نوار مغناطیسی M-، استفاده از نانوقره -N و M+N و ۵۰٪ F+N+M) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. از بین بذور برداشت‌شده پس از رسیدگی محصول، تعداد ۲۵ بذر پس از ضدعفونی شدن توسط محلول هیپوکلریت سدیم در داخل پتری‌دیش قرار داده شده و پتری‌دیش‌ها به ژرمیناتور منتقل گردید-، نشان دادند، که بروز تنش خشکی در طی دوره گلدهی به طور معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه اثر گذاشته و آن‌ها را به ترتیب ۴/۳۷ و ۶/۳۸ و ۱/۱۹ درصد افزایش داد. افزایش وزن ۱۰ گیاهچه بر اثر اعمال تنش خشکی معنی‌دار نبود. اثر تیمارهای کودی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر هیچ یک از ویژگی‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد (ثقه الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱).

۵-۳-۲-۳-۱-۳. گون

نام فارسی: گون

نام علمی: *Astragalus bisulcatus*

گون گیاهی است، چندساله که ارتفاع آن تا ۷۵ سانتی‌متر می‌رسد. از خانواده Leguminosae است، که تولیدمثل آن از طریق بذر صورت می‌گیرد. ساقه‌های رشدیافته آن به رنگ بنفش تیره است. برگ‌های آن مرکب از برگچه‌هایی است، که به صورت متقابل به تعداد ۱۱ تا ۳۰ جفت در محور هر برگ قرار گرفته‌اند. گل‌های آن معمولاً به رنگ ارغوانی، گاهی آبی یا سفید بوده، نزدیک به انتهای شاخه‌های گل‌دهنده قرار دارند (شکل ۹۹). ریشه گیاه «گون» در درمان عوارض جانبی شیمی‌درمانی مؤثر است. گیاه گون از خانواده (fabaceae) و ریشه آن خواص فعال‌کننده عمیق ایمنی، مدرترینک، هیپوتانسیر و ضداسترس دارد (مقیم، ۱۳۹۴). ریشه گون به عنوان کمک هضم مطرح بوده و شامل پلی‌ساکاریدها، فلاونوئیدها، گلیکوزیدهای تری‌ترپن است، که به وسیله این ترکیبات فعالیت سیستم ایمنی و عملکرد cell_tها را افزایش می‌دهد. در طب سنتی چین، این گیاه به عنوان تونیک عمیق ایمنی تلقی می‌شود، که مغز استخوان انسان را تقویت می‌کند، ذخایر مغز استخوان افزایش و بدن انسان را از پاتوژن‌ها و عوامل بیماری‌زا محافظت می‌کند. تحقیقات جدید نشان می‌دهد، که گون تقریباً تمام فازهای مربوط به فعالیت سیستم ایمنی را تحریک می‌کند و تعداد سلول‌های stemcell را در مغز استخوان و بافت لنفاوی افزایش می‌دهد و توسعه و رشد آن‌ها را در جهت تبدیل به سلول‌های فعال ایمنی تحریک می‌کنند، تا در داخل بدن پخش شوند. پژوهش‌ها

نشان می‌دهد، که گون می‌تواند سلول‌های ایمنی را از حالت استراحت به اوج فعالیت سوق دهد. مطالعات دیگر در چین نشان می‌دهد، تمایل و استعداد گون در جهت رسپانس سیستم ایمنی است، بدون اینکه اثرات مهارکننده‌ای داشته باشد (عماد، ۱۳۸۰).



شکل ۹۹. گیاه گون (مقیم، ۱۳۹۴)

استفاده طولانی از این گیاه (به مدت ۳۵ روز)، فعالیت سلول‌های طحال را تشدید کرده و به اوج می‌رساند (مقیم، ۱۳۹۴). همچنین درمان با این گیاه اثرات جانبی منفی ناشی از استروئید درمانی را بر روی سیستم ایمنی کاهش می‌دهد. ریشه گون علاوه بر توانایی مهار رشد تومور به صورت کمکی در درمان عوارض جانبی شیمی درمانی بکار می‌رود و مخصوصاً هنگامی که به صورت ترکیب با عصاره *privet ligustrum lucidum* مصرف شود، کارایی آن در مهار تومورها افزایش می‌یابد. کتیرا، محصول اصلی گیاه گون است. کتیرا، عبارت است از ترشحات صمغی خشک شده حاصل از گیاه آستراگالوس گومی‌فرا که آن را تحت عنوان گوم تراگاکانت یا گون می‌شناسند. گیاه مولد کتیرا نبات کوچکی است، به ارتفاع یک متر بومی آسیای صغیر، ایران، سوریه و یونان. در اثر خراش دادن ساقه گیاه جدار سلول‌های اشعه مرکزی و سلول‌های پارانشیمی با جذب آب به تدریج بدل به صمغ می‌شود (مقیم، ۱۳۹۴). فشار تولید شده سبب رانده شدن صمغ به طرف شکاف می‌گردد. صمغ در مجاورت هوا در اثر تبخیر آب به تدریج سخت می‌گردد. شکل محصول خشک شده بستگی به نوع شکافی که بر روی ساقه ایجاد شده است، دارد. کتیرا در صنایع داروسازی به عنوان یک عامل امولسیون‌کننده، سوسپانسیون‌کننده و عامل افزاینده و ویسکوزیته و تهیه مسیلاژ مصرف دارد. در ساخت کرم‌ها، ژل‌ها و امولسیون‌ها با غلظت مختلف بسته به کاربرد فرمولاسیون و نوع صمغ مصرف می‌شود. در فرآورده‌های آرایشی و بهداشتی نیز به عنوان قوام‌دهنده، سوسپانسیون‌کننده و عامل تشکیل فیلم مصرف دارد. کتیرا در تهیه مواد آرایشی (محلول‌های نرم‌کننده دست) مصرف دارد. صمغ کتیرا یک عامل تحریک‌کننده نبوده و نباید عامل حساسیت‌زا تلقی شود. از نظر درماتولوژی بی‌ضرر بوده و یک نرم‌کننده است (عماد، ۱۳۸۰).

عظیمی و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر نانوذرات SiO_2 بر روی جوانه‌زنی بذر *Astragalus Sqaurusus*" نشان دادند، که استفاده از این ذرات قادر است درصد جوانه‌زنی *Astragalus Sqaurusus* را افزایش داده و بهبود بخشد (جداول ۶۳ و ۶۴).

جدول ۶۳. اثر مقادیر مختلف نانوذرات SiO₂ و خراش‌دهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی *Astragalus squarsus*

منابع تغییر	میزان جوانه‌زنی	میزان رشد حداکثر	ارزیابی میانگین جوانه‌زنی روزانه	میانگین زمان جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی
تیمارها	۸۴/۰۰**	۱۰/۰۰	۱۷/۴۰**	۷۵/۹۰**	۷۵/۸۲**	۱
نانوذرات	۵/۲۰**	۱۳/۰۰**	۵۷/۵۰**	۳۷/۳۰**	۴۳/۱۱**	۵
تیمارها*نانوذرات	۸/۰۰*	۲۰/۰۰**	۳۱/۰۰**	۴۵/۰۰*	۵۵/۶۱**	۵
خطا	۵/۰۰	۱۰/۰۰	۱۵/۰۰	۲۹/۰۰	۱۷/۲۹	۳۶

** و *: سطح معنی در ۱ و ۵ درصد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۴)

جدول ۶۴. اثر متقابل مقادیر مختلف نانوذرات SiO₂ و خراش‌دهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی *Astragalus squarsus*

سرما‌دهی	غلظت SiO ₂ (mg L ⁻¹)	درصد جوانه‌زنی	MGT (day)	MDG	PV	GV
بذر سالم	۰	۲۵/۰۰ de	۳۳/۸۰ a	۷۹/۱۰ de	۱۸/۰۰ ef	۳۲/۰۰ de
	۵	۴/۲۸ cd	۴۷/۷۰ b	۳۰/۲۰ cd	۲۵/۰۰ def	۵۱/۰۰ de
	۲۰	۲۸/۰۰ cd	۹۸/۶۰ bc	۲/۰۰ cd	۲۷/۰۰ cde	۵۳/۰۰ e
	۴۰	۷۵/۴۱ b	۲/۶۰ def	۹۸/۲۰ b	۵۷/۰۰ a	۶۸/۱۰ a
	۶۰	۲۵/۴۱ b	۹/۶۰ bcd	۹۵/۲۰ b	۲۹/۰۰ cde	۸۸/۰۰ c
	۸۰	۱۳/۰۰ f	۵/۶۰ cde	۹۳/۰۰ f	۱۵/۰۰ f	۱۴/۰۰ e
بذر خراش داده شده	۰	۵/۳۵ bc	۴۶/۷۰ b	۵۴/۲۰ bc	۱۵/۰۰ f	۳۷/۰۰ de
	۵	۴۰/۰۰ b	۹/۵۰ ef	۸۶/۲۰ b	۳۷/۰۰ bc	۱۰/۸ bc
	۲۰	۷۵/۳۶ bc	۱/۶۰ ef	۶۳/۲۰ bc	۳۴/۰۰ bcd	۹۱/۰۰ c
	۴۰	۵۷/۰۰ a	۶/۰۰ ef	۷۰/۴۰ a	۴۴/۰۰ b	۸/۱۰ a
	۶۰	۵/۴۱ b	۷/۵۰ ef	۹۶/۲۰ b	۴۴/۰۰ b	۳۲/۱۰ b
	۸۰	۱۷/۰۰ ef	۶/۵۰ ef	۲/۱۰ ef	۱۸/۰۰ ef	۲۳/۰۰ de

مقادیر با حرف مشابه در هر ستون، معنی‌دار نیستند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۴)

۳-۱-۲-۳-۶. مریم‌گلی

خانواده: Labiatae

نام انگلیسی: Sage, Garden sage

نام فارسی: مریم‌گلی دارویی، مریم‌گلی باغی، مریمیه، شلیبه

گیاهی چندساله، دارای ریشه کم و بیش ضخیم که به طور مستقیم در خاک فرو می‌رود و دارای انشعاب‌های فراوانی است. ساقه مستقیم و ارتفاع آن بین ۵۰-۸۰ سانتی‌متر است. ساقه‌های جوان به رنگ سبز تیره و پوشیده از کرک‌های انبوه و خاکستری رنگ می‌باشند. برگ‌ها بلند و تقریباً قلبی‌شکل می‌باشند (باقری، ۱۳۹۴) (شکل ۱۰۰).



شکل ۱۰۰. مریم‌گلی (باقری، ۱۳۹۴)

برگ‌های پایینی دارای دم‌برگ بلندی هستند، در حالی که برگ‌های قسمت فوقانی ساقه دم‌برگ کوتاهی دارند. سطح فوقانی و تحتانی برگ‌ها پوشیده از کرک‌های ظریفی هستند. گل‌ها به رنگ بنفش متمایل به آبی، صورتی یا گاهی سفید و به صورت مجتمع در قسمت فوقانی ساقه روی چرخه‌های مخصوصی مشاهده می‌شوند. بر روی هر چرخه، ۵ تا ۸ گل وجود دارد. میوه کیسول و به رنگ قهوه‌ای روشن یا قهوه‌ای تیره می‌باشد. طول میوه ۲ - ۳ میلی‌متر و عرض آن ۲ میلی‌متر است (مرادی نژاد، ۱۳۹۳). برگ‌ها بلند و به طول ۴ - ۱۰ سانتی‌متر و پهنای ۲ - ۵ سانتی‌متر است. گل‌ها دارای طول ۳/۵ سانتی‌متر و درشت و دارای دم‌گل کوتاهی نیز هستند. اندام‌های هوایی گیاه به خصوص برگ‌های محتوی اسانس است. رشد گیاه در سال اول کند است و گل‌دهی تا اوایل تابستان (تیر تا مرداد) همچنان ادامه می‌یابد. تشکیل میوه از اواخر مرداد شروع می‌شود. بذرها پس از رسیدن از گیاه جدا و به اطراف پراکنده می‌شوند. منشأ این گیاه نواحی شمالی مدیترانه گزارش شده است و همه ساله زمین‌های زراعی وسیعی در شبه جزیره بالکان، روسیه، آمریکا، ایتالیا و همچنین کشورهای اروپای مرکزی و همچنین ایران برای کشت آن اختصاص می‌یابد. چند سال اخیر با وارد کردن بذر گیاه آن را در نقاطی از شمال ایران کشت نموده‌اند (باقری، ۱۳۹۴).

- کاربردها

- . مصرف موضعی برای درمان خارش ناشی از گزیدگی حشرات، ضایعات تبخالی، زونا و پسوریازیس، پیشگیری از ریزش مو و حفظ رنگ مو
- . مصرف خوراکی در بی‌اشتهایی، التهاب حنجره، التهاب لوزه، التهاب حلق، تنفس بدبو، زخم‌های دهانی، بیماری لثه، خستگی و آلزایمر
- . به صورت دوش واژینال برای درمان عفونت‌های قارچی واژینال
- . دم کرده گیاه در درمان نقاط تحت فشار ناشی از پروتزها و درمان حمایتی در اسهال
- . در تعریق شبانه مثلاً در بیماران مبتلا به سل همچنین در تعریق فراوان با علت روان‌تنی
- . دارای اثر آنتی‌اکسیدان و آنتی‌اسپاسمودیک و قابض؛ اثرات درمانی در قاعدگی دردناک و گالاکتوره

فیضی و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی تحت عنوان "اثرات مقایسه‌ای مقادیر مختلف دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)" به این نتیجه رسیدند، که بعد از ۲۱ روز از تلقیح بذر، درصد جوانه‌زنی با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو افزایش یافت، اما بر روی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بیومس تاثیری نداشت (جداول ۶۵ و ۶۶).

جدول ۶۵. اثر مقادیر نانوذره و ذره معمولی TiO_2 بر روی طول بذر و بیومس گیاهچه

	غلظت TiO_2 (mgL^{-1})	وزن گیاهچه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (mg)	طول گیاهچه (cm)	طول ریشه (cm)	طول ساقه‌چه (cm)	وزن گیاهچه (mg)
شاهد	۰	۸۶/۷۰ bcd	۱۴/۸۸ a	۴/۳۱ a	۱۰/۵۷ a	۲۲۷/۸۵ a	۸۹/۷۸ a	۱۳۸/۰۷ a
TiO_2 غیرنانو	۵	۸۸/۰۰ bcd	۱۴/۴۹ a	۳/۸۲ a	۱۰/۶۷ a	۲۳۳/۰۸ a	۹۳/۵۰ a	۱۳۹/۵۸ a
	۲۰	۸۵/۳۰ cd	۱۳/۹۱ a	۴/۶۴ a	۹/۲۷ a	۱۹۷/۵۲ b	۹۱/۶۷ a	۱۳۹/۱۸ a
	۴۰	۸۵/۳۰ cd	۱۳/۶۳ a	۴/۰۷ a	۹/۵۵ a	۲۲۹/۷۷ a	۹۱/۰۷ a	۱۳۸/۷۰ a
	۶۰	۹۲/۰۰ ab	۱۵/۵۷ a	۴/۸۲ a	۱۰/۷۵ a	۲۳۱/۵۵ a	۹۱/۰۸ a	۱۴۰/۴۷ a
	۸۰	۸۶/۷۰ bc	۱۳/۱۶ a	۴/۶۵ a	۹/۵۱ a	۲۳۰/۳۵ a	۸۹/۵۷ a	۱۴۰/۷۸ a
TiO_2 نانو	۵	۸۴/۰۰ d	۱۴/۹۰ a	۴/۳۷ a	۱۰/۵۳ a	۲۳۳/۶۲ a	۹۲/۸۲ a	۱۴۰/۸۰ a
	۲۰	۹۰/۷۰ abc	۱۴/۶۹ a	۴/۶۰ a	۱۰/۰۹ a	۲۳۲/۸۲ a	۹۲/۴۹ a	۱۴۰/۳۳ a
	۴۰	۸۹/۳۰ abc	۱۳/۹۳ a	۴/۴۵ a	۹/۴۸ a	۲۳۱/۶۴ a	۸۹/۸۲ a	۱۴۱/۸۲ a
	۶۰	۹۴/۷۰ a	۱۶/۰۵ a	۴/۴۴ a	۱۱/۶۱ a	۲۳۲/۹۶ a	۹۲/۶۳ a	۱۴۰/۳۳ a
	۸۰	۹۰/۷۰ abc	۱۴/۹۸ a	۴/۸۳ a	۱۰/۱۶ a	۲۳۱/۷۲ a	۹۲/۱۰ a	۱۳۹/۶۱ a
LSD	-	۶/۰۱	۳/۴۰	۱/۶۳	۲/۹۳	۲۸/۱۷	۳/۹۵	۲/۰۷

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار نیستند (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۶۶. اثر مقادیر نانوذره و ذره معمولی TiO_2 بر روی حالت های رشد گیاهچه

	غلظت TiO_2 (ppm)	میانگین زمان جوانه زنی (روز)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	میزان جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی روزانه	میزان رشد حداکثر	شاخص بنیه I	شاخص بنیه II
شاهد	۰	۱۰/۵۸ a	۲/۳۴ e	۲/۱۹ cd	۵/۷۸ bcd	۰/۳۴ ef	۱۹۷۵/۰۰ a	۱/۲۹ a
TiO_2 غیرنانو	۵	۹/۵۹ b-e	۲/۵۰ cde	۲/۵۵ bcd	۵/۸۷ bcd	۰/۴۳ c-f	۲۰۵۱/۰۰ a	۱/۲۷ a
	۲۰	۱۰/۰۷ ab	۲/۲۸ e	۲/۳۱ def	۵/۶۹ cd	۰/۴۱ def	۱۶۷۹/۰۰ b	۱/۱۹ a
	۴۰	۹/۴۰ c-f	۲/۴۶ de	۲/۷۴ bcd	۵/۶۹ cd	۰/۴۸ bcd	۱۹۶۱/۰۰ a	۱/۱۶ a
	۶۰	۸/۴۲ h	۳/۳۶ a	۳/۰۷ ab	۶/۱۳ ab	۰/۵۰ bc	۲۱۳۰/۰۰ a	۱/۴۳ a
	۸۰	۸/۹۷ fgh	۲/۸۴ bcd	۲/۰۵ f	۵/۷۸ bcd	۰/۳۳ f	۱۹۹۶/۰۰ a	۱/۱۴ a
TiO_2 نانو	۵	۹/۷۷ bcd	۲/۳۴ e	۲/۹۳ abc	۵/۶۰ d	۰/۵۲ ab	۱۹۶۳/۰۰ a	۱/۲۴ a
	۲۰	۹/۳۴ def	۲/۵۸ cde	۲/۶۸ b-e	۶/۰۴ abc	۰/۴۴ b-e	۲۱۰۸/۰۰ a	۱/۳۳ a
	۴۰	۹/۹۹ abc	۲/۵۷ cde	۲/۶۵ b-e	۵/۹۶ a-d	۰/۴۴ cde	۲۰۷۰/۰۰ a	۱/۲۴ a
	۶۰	۸/۷۰ gh	۳/۱۷ ab	۳/۵۴ a	۶/۳۱ a	۰/۵۸ a	۲۲۰۶/۰۰ a	۱/۵۲ a
	۸۰	۹/۰۵ efg	۲/۹۲ bc	۲/۶۷ c-e	۶/۰۴ abc	۰/۴۱ def	۲۱۶۱/۰۰ a	۱/۳۶
LSD	-	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۰۷۹۲	۲۶۳/۶	۰/۳۱ s

میانگین در هر ستون که دارای حرف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳).

۷-۳-۲-۱-۳. خارمریم

خانواده: کاسنیان

نام انگلیسی: Mary thistle, Marian thistle, Milk thistle

نام علمی: *Silybum marianum* L.

نام فارسی: ماری تیغال

گیاه خار مریم از رده دولپه‌ای‌ها، راسته گل‌مینا و تیره کاسنیان می‌باشد، این گیاه با بازه زمانی رشد هر یک سال و یا در بعضی نژادها هر دو سال بوده و خودرو می‌باشد. شکل ظاهری معمول این گیاه، گلی با رنگ‌های قرمز تا بنفش و برگ‌هایی رنگ رفته و دارای رنگ سبز مایل به زرد و به‌همراه وریدهای سفیدرنگ هستند (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳) (شکل ۱۰۱).



شکل ۱۰۱. خارمریم (مرادی نژاد، ۱۳۹۳)

این گیاه در طول دوره رشد خود، ۳۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر قد کشیده و دارای شکل تقریباً مخروطی شکل بوده. بوته این گیاه به طور میانگین تا ۱۶۰ سانتی‌متر قطر رشد داشته است. ساقه این گیاه معمولاً دارای حالت پنبه‌ای در دور خود بوده و بیشتر فضای این ساقه توخالی است. برگ‌های این گیاه معمولاً دارای شکل مستطیلی یا به شکل نیزه در دور خود و پراکندگی آن‌ها معمولاً چندبرگی و یا دو برگی است. سرگل خوش‌رنگ این گیاه، ۴ تا ۱۲ سانتی‌متر عرض و پهنا دارد و در نیمکره شمالی این گیاه از ماه خرداد تا اواسط شهریور و در نیم‌کره جنوبی این گیاه از آذر تا اوایل بهمن می‌روید. دانه این گیاه رنگ سبز تیره و یا در بعضی نژادها سیاه می‌باشد و کاسه این گل که دانه‌ها در آن قرار می‌گیرند، رنگ زرد ماندنی دارد (باقری، ۱۳۹۴).

فراوان‌ترین منطقه رشد این گیاه، سواحل جنوب شرقی انگلیس (که فراوان‌ترین نقطه کره زمین، این منطقه است)، ایران، آمریکای شمالی، استرالیا و نیوزیلند می‌باشد. این گیاه، برای مصارف دارویی و برآورد مواد اولیه صنعتی از این گیاه در مناطق وسیعی در اتریش (منطقه والدویرتل)، آلمان، مجارستان، لهستان، چین و آرژانتین وجود داشته و در مناطق اروپایی کاشت این گیاه، هر ساله در بین ماه‌های مارس تا آوریل انجام و برداشت آن در ماه آگوست در حدود ۲ تا ۳ هفته بعد از گل دادن این گیاه در دو مرحله (بریدن و تمیزکردن یا خرمن‌کوبی) انجام می‌شود. دانه‌های خار مریم، یکی از مهمترین منابع طبیعی دارویی برای امراض کبد است، ماده سیلیمارین موجود در دانه‌های این گیاه یکی از موثرترین پادزهرها حتی برای موارد مسمویت ناشی از قارچ مهلک کلاهدک مرگ نیز هست. این گل همچنین استفاده زیبایی‌شناختی برای تزیین باغ‌خانه‌ها و سبدها نیز دارد. دانه خارمریم، دارای تقریباً ۴ تا ۶ درصد سیلیمارین و عصاره این گیاه حاوی ۶۵ تا ۸۰ درصد سیلیمارین و ۲۰ تا ۳۵ درصد اسید چرب

می‌باشند. سیلیمارین این گیاه دارای هفت نوع فلاونولیکان (سیلیبین نوع A، سیلیبین نوع B، ایزوسیلیبین نوع A، ایزوسیلیبین نوع B، سیلیکریستین، ایزوسیلیکریستین و سیلیدیانین) و یک تاکسیفولین (زردینه یا رنگ‌ساز زرد) می‌باشد (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳). خارمریم در موارد متعددی از نظیر بیماری‌های کبد و مقابله با سرطان استفاده می‌شود، اما باید اشاره نمود آزمایشات علمی درباره‌ی این گیاه متناقض و ناهماهنگ بوده است. در آزمایش‌های انجام شده، سیلیمارین موجود در این گیاه به طور منظم با مقدار ۴۲۰ تا ۴۸۰ میلی‌گرم در ۲ یا ۳ وعده به طور روزانه برای موارد آزمایشی تجویز شده است. همچنین برای امراض خاص مقدارهای بالاتر این ماده نیز تجویز می‌شود. به طور مثال، ۶۰۰ گرم روزانه برای فردی با بیماری دیابت نوع ۲ تجویز می‌شود، که نتایج بدست آمده از این آزمایش بسیار عالی و قابل توجه است. همچنین مقدار ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم در روز برای فردی با بیماری هیپاتیت C نیز تجویز می‌گردد، که البته نتایج قابل توجهی را دربر نداشته است. عصاره گیاه خارمریم به همراه عصاره گیاه قاصدک، برای رفع رنگ‌پریدگی پوست در حالت خماری و همچنین دفع سموم ناشی از مصرف بیش از حد الکل نیز استفاده می‌شود (باقری، ۱۳۹۴).

خارمریم به جهت ارزش دارویی اثبات شده در گذشته در بین سراسر مردم جهان به عنوان نوعی غذا نیز مصرف می‌گردید. ریشه‌های این گیاه را می‌توان به طور خام یا جوشانده به همراه کره و یا کباب‌شده خورد. شاخه جوان آن را می‌توان تا ریشه برید و آن را آب‌پز نموده و مصرف کرد. در گذشته شاخه‌های خاردار تازه دور گل این گیاه را همانند کنگر فرنگی می‌خورده‌اند (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳). همچنین ساقه این گیاه را می‌توان بعد از پاک کردن، برای رفع تلخی در طول یک شب در آب خیساند و آن را به صورت استفاده در خورشت مصرف کرد. برگ‌های این گیاه را نیز می‌توان اول از خارها پاک نمود و به عنوان یک جایگزین برای اسفناج مصرف کرد و یا می‌توان به صورت خام آن را به سالاد اضافه نمود. همچنین می‌توان با پاک کردن این گیاه، یعنی قطع کردن یا ساییدن ساقه و برداشتن برگ‌های خارمانند اطراف گل‌ها و حذف گلبرگ‌های صورتی‌رنگ به صورتی که دانه‌های آن‌ها از آن جدا نشود، می‌توان کاسه‌دان گل به همراه دانه‌های آن را نیز به صورت خام یا جوشانده و یا در سالاد مصرف نمود. همچنین مردمان جنوب ایران (منطقه گراش، لار و غیره)، کاسه‌دان به همراه دانه‌های این گیاه را به ترشی نیز تبدیل می‌نمایند. در پی تحقیقات در مورد این گیاه، داروهایی با ترکیبات خاصی در سال‌های اخیر ساخته و تولید شده‌اند. اکثر این داروها به شکل کپسول در وزن‌های ۷۰ تا ۱۴۰ میلی‌گرمی، عصاره مایع، محلول، یا جدیدترین داروی تولید شده، ترکیب سیلیبین فسفاتیدل کولین است. تحقیقات انجام شده بر روی ترکیب سیلیبین فسفاتیدل کولین نشانگر این بوده که این نوع دارو دارای تأثیر بیشتری نسبت به موارد طبیعی است، چراکه فسفاتیدل کولین، یکی از اجزای کلیدی موجود در سلول بوده و باعث می‌شود، سیلیبین بهتر و آسان‌تر وارد محیط سلول شود (باقری، ۱۳۹۴).

عاقلی و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیق با عنوان "تحریک جوانه‌زنی بذر خارمریم (*Silybum marianum* L.) با استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و میدان مغناطیسی"، که به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و فاکتور اول شامل تیمار بذر در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم شامل ۵۰، ۱۰، و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و فاکتور دوم تیمار بذر با میدان مغناطیسی در شدت‌های ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌تسلا به مدت ۳۰ دقیقه بود، نشان دادند، که بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر در برهمکنش کاربرد تیمارهای نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام و شدت میدان مغناطیسی ۳۰ میلی‌تسلا و نیز کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام و شدت میدان مغناطیسی ۶۰ میلی‌تسلا به دست آمد. این تیمارها نسبت به تیمار شاهد به مقدار ۵/۷ و ۵/۶ برابر درصد جوانه‌زنی را بهبود دادند (عاقلی و همکاران، ۱۳۹۵) (جدول ۶۷).

جدول ۶۷. برهمکنش غلظت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و شدت میدان مغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی بذر خارمریم

طول ساقه‌چه (سانتی متر)	طول ریشه‌چه (سانتی متر)	سرعت جوانه‌زنی (روز)	درصد جوانه‌زنی	شدت میدان مغناطیسی (میلی تسلا)	غلظت نانو ذرات (ppm)
۰/۹۰ ab	۰/۲۳ b	۰/۱۲ c	۲/۷۶ c	۰	۰
۳/۱۷ a	۲/۶۷ ab	۰/۹۷ abc	۱۲/۰۰ abc	۳۰	
۲/۰۲ ab	۲/۲۵ ab	۰/۶۶ abc	۸/۰۰ abc	۶۰	
۲/۰۰ ab	۱/۶۷ b	۰/۴۷ abc	۶/۶۷ abc	۹۰	۱۰
۱/۷۳ ab	۱/۰۰ b	۰/۸۶ abc	۱۰/۶۷ abc	۰	
۱/۸۳ ab	۱/۱۳ b	۰/۵۸ abc	۶/۶۷ abc	۳۰	
۲/۷۷ a	۱/۲۰ b	۰/۴۲ bc	۴/۰۰ bc	۶۰	۵۰
۲/۳۷ ab	۲/۶۳ ab	۰/۵۸ abc	۸/۰۰ abc	۹۰	
۳/۲۰ a	۲/۰۳ ab	۰/۷۷ abc	۱۲/۰۰ abc	۰	
۱/۳۰ ab	۰/۶۳ b	۰/۲۴ c	۴/۰۰ bc	۳۰	۱۰۰
۳/۱۷ a	۵/۱۰ a	۱/۲۷ ab	۱۷/۳۳ ab	۶۰	
۰/۸۷ ab	۰/۸۰ b	۰/۰۷ c	۱/۳۳ c	۹۰	
۰/۰۰ b	۰/۰۰ b	۰/۰۰ c	۰/۰۰ c	۰	۱۰۰
۳/۳۳ a	۲/۱۷ ab	۱/۴۳ a	۲۰/۰۰ a	۳۰	
۰/۰۰ b	۰/۰۰	۰/۰۰ c	۰/۰۰ c	۶۰	
۱/۹۰ ab	۲/۷۳ ab	۰/۶۰ abc	۸/۰۰۰ abc	۹۰	

*اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (عاقلی و همکاران، ۱۳۹۵)

ادامه جدول ۶۷. برهمکنش غلظت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و شدت میدان مغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی بذر خارمریم

شاخص بنیه II	شاخص بنیه I	وزن گیاهچه (میلی گرم)	طول گیاهچه (سانتی متر)	شدت میدان مغناطیسی (میلی تسلا)	غلظت نانو ذرات (ppm)
۵/۳۳۳ b	۲/۷۷ b	۰/۴۷ ab	۰/۶۷ bc	۰	۰
۷۰/۰۰ ab	۲۸/۹۳ ab	۲/۴۳ ab	۵/۸۳ ab	۳۰	
۵۱/۲۰ ab	۱۷/۰۷ ab	۱/۴۲ ab	۴/۲۷ abc	۶۰	
۴۵/۴۷ ab	۲۱/۷۳ ab	۱/۶۸ ab	۳/۶۷ abc	۹۰	۱۰
۴۳/۷۳ ab	۲۴/۶۷ ab	۱/۵۴ ab	۲/۵۷ bc	۰	
۳۱/۶۰ ab	۲۷/۴۷ ab	۲/۷۴ ab	۲/۷۰ abc	۳۰	
۱۴/۹۳ ab	۱۳/۴۷ ab	۳/۳۷ a	۳/۷۳ abc	۶۰	۵۰
۴۵/۷۳ ab	۱۷/۰۷ ab	۱/۹۴ ab	۵/۰۰ abc	۹۰	
۴۰/۴۰ ab	۲۴/۲۷ ab	۲/۲۱ ab	۵/۲۳ abc	۰	
۶/۰۰ b	۶/۲۷ b	۳/۱۷ a	۳/۱۲ abc	۳۰	۱۰۰
۸۸/۰۰ ab	۵۵/۷۳ a	۳/۲۱ a	۸/۲۷ a	۶۰	
۶/۶۷ b	۲/۹۹ b	۰/۷۳ ab	۱/۶۷ bc	۹۰	
۰/۰۰ b	۰/۰۰ b	۰/۰۰ b	۰/۰۰ c	۰	۱۰۰
۱۱/۰۰ a	۴۶/۸۷ ab	۱/۶۰ ab	۵/۵۰ ab	۳۰	
۰/۰۰ b	۰/۰۰ b	۰/۰۰ b	۰/۰۰ c	۶۰	
۵۸/۹۳ ab	۲۵/۴۷ ab	۱/۹۴ ab	۴/۶۳ abc	۹۰	

*اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (دانکن ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (عاقلی و همکاران، ۱۳۹۵)

کاربرد تیمارهای نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۱۰۰ پی پی ام و شدت میدان مغناطیسی ۳۰ میلی تسلا و نیز کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰ پی پی ام و شدت میدان مغناطیسی ۶ میلی تسلا باعث افزایش ۱۰ برابری سرعت جوانه زنی نسبت به شاهد شدند. بیشترین طول گیاهچه در کاربرد تیمارهای نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۱۰۰ پی پی ام و شدت میدان مغناطیسی ۳۰ میلی تسلا، کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰ پی پی ام و شدت میدان مغناطیسی ۶۰ میلی تسلا و نیز مشاهده شد، اما وزن گیاهچه بیشتر تحت تأثیر غلظت‌های پایین نانوذرات قرار گرفت. به طور کلی، می‌توان گفت که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و میدان مغناطیسی باعث بهبود و تحریک جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه‌های خارمریم شدند (عاقلی و همکاران، ۱۳۹۵).

۸-۳-۲-۱-۳. سرخارگل

نام فارسی: سرخارگل، اکیناسه، اکیناشا

نام انگلیسی: Eastern purple coneflower

نام علمی: *Echinacea purpurea* L.

خانواده: گل ستاره (Asteraceae)

سرخارگل (اکیناسه، اکیناشا) یک گیاه دارویی است، که استفاده آن در آمریکای شمالی و اروپا بسیار معمول است و به عنوان دارویی برای بهبود سرماخوردگی فروخته می‌شود. سرخارگل گیاهی علفی و چندساله از تیره‌ی کاسنی می‌باشد، که ارتفاع آن حداکثر به ۱ تا ۱/۵ متر می‌رسد. برگ‌های پایین ساقه تخم‌مرغی تا نیزه‌ای شکل هستند، که حداکثر ۳۰ سانتی‌متر طول و ۲۰ سانتی‌متر عرض دارند (شکل ۱۰۲). ساقه از انشعابات فراوانی برخوردار بوده و دارای پرزهای زبر و خشن است (باقری، ۱۳۹۴). گل‌ها معمولاً به رنگ ارغوانی، صورتی، قرمز ارغوانی، زرد و نارنجی دیده می‌شوند و دیسک مرکز آن‌ها (گل‌های لوله‌ای) سبز تیره، قهوه‌ای تیره و سیاه‌رنگ می‌باشد. سرخارگل به نور فراوان احتیاج دارد و خاک‌های سبک (شنی) و متوسط (لومی) را تحمل می‌کند. قادر است خشکی را به خوبی تحمل نماید. این گیاه به سرما مقاوم بوده و تا دمای منفی ۱۰ درجه سانتی‌گراد را به راحتی تحمل می‌کند. سرخارگل بومی آمریکای شمالی است، ولی امروزه در اکثر نقاط اروپا و آسیا و حتی برخی نقاط ایران هم به طور انبوه کشت می‌شود. سرخارگل به صورت خودرو در جلگه‌های شمال شرقی تگزاس، میسوری و میشیگان یافت می‌شود (باقری، ۱۳۹۴).

سرخارگل معمولاً به دو طریق تکثیر می‌شود:

۱- تکثیر با بذر. بذرها از نیمه‌ی دوم اسفند تا نیمه‌ی اول فروردین در خزانه یا گلخانه پاشیده شده و با خاک تا عمق حداکثر ۲ سانتی‌متر پوشیده می‌شوند. بذور سرخارگل معمولاً از قوه رویشی پایینی برخوردار هستند و برای جوانه زنی نیازمند رطوبت بالا می‌باشند. بوته‌های قوی‌تر و پرپشت‌تر در پاییز به زمین اصلی منتقل می‌شوند و سایر بوته‌ها تا بهار سال آینده در گلخانه نگهداری می‌شوند (مرادی نژاد، ۱۳۹۳). در طی تحقیقاتی که در منطقه‌ی شمال شرق تهران (زردبند) توسط امیدبگی و همکاران صورت گرفته است، ۱۵ تیر تا ۱۵ مرداد زمان مناسبی برای انتقال نشاء عنوان شده است.

۲- تکثیر به وسیله‌ی تقسیم بوته. در این روش معمولاً از گیاهان ۳ ساله استفاده می‌شود. در اواسط پاییز ابتدا شاخ و برگ‌های اضافی و مزاحم حذف گردیده و سپس بوته از خاک خارج می‌شود. بوته را به چهار تا پنج قسمت که هر کدام دارای مقداری ریشه باشند، تقسیم کرده و کشت می‌کنند. ریشه گیاهان تا زمان کاشت بایستی به صورت مرطوب نگهداری شود. سرخارگل، گیاه کم‌توقعی است و نیاز زیادی به عملیات کوددهی ندارد، ولی اگر در حین داشت، به طور ماهیانه آن را با یک کود متعادل تغذیه کنیم، نتیجه‌ی بهتری خواهیم گرفت. در مرحله گل‌دهی

کامل، پیکره رویشی از ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری برداشت می‌گردد. سرخارگل تا سال چهارم دارای بازده اقتصادی می‌باشد. تمام پیکر این گیاه اعم از ریشه و پیکر رویشی حاوی مواد ارزشمندی از قبیل ترکیبات آلکیل آمیدی، ایزوبوتیل آمید، اسید شیکوریک و غیره می‌باشد. همچنین دارای اسانس هم می‌باشد، که مهمترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس سرخارگل را هومولن، کاروفیلین و اکسید کاروفیلین تشکیل می‌دهند. بر اساس مطالعه‌ای که در نشریه پزشکی نیوانگلند منتشر شده است، گیاه اکیناسه برخلاف باور عموم تأثیر معنی‌داری در پیشگیری از سرماخوردگی یا بهبود علائم آن ندارد، به طوری که تأثیر آن با دارونما برابری می‌کند. البته در بعضی مطالعات اظهار شده است، که اکیناسه و ترکیبات فعال آن بر روی سیستم ایمنی فاگوسیتی اثر دارد، ولی روی سیستم ایمنی اختصاصی اثر ندارد (مرادی نژاد، ۱۳۹۳). اما این مطالعات اغلب از سوی منابع مروج داروهای گیاهی منتشر شده‌اند. امروزه محصولات دارویی اکیناسه برای عفونت‌های باکتریایی، ویروسی، پروتوزوایی و قارچی به کار می‌رود. همچنین به عنوان ماده ضدالتهاب و احتمالاً پیشگیری‌کننده مصرف می‌شود. اگر چه تعداد زیادی از ترکیبات فعال اکیناسه شناسایی شدند، ولی مکانیسم عمل آن ناشناخته است. بومیان آمریکا از اوایل قرن ۱۷ میلادی از این گیاه برای درمان مار گزیدگی، بیماری‌های لثه و دهان، سرماخوردگی و غیره استفاده می‌کرده‌اند (باقری، ۱۳۹۴).



شکل ۱۰۲. گیاه سرخارگل (باقری، ۱۳۹۴)

مطالعات و تجارب علمی متعدد نشان‌دهنده‌ی اثربخشی گیاه اکیناسه پورپوره‌آ به عنوان یک محرک ایمنی به دلیل چندین مکانیسم شناخته شده می‌باشد. ۱- فعال کردن عمل فاگوسیتوز و تحریک گرانولوسیت‌ها ۲- افزایش فعالیت متابولیسی و باکتری‌خواری ماکروفاژها ۳- افزایش تولید لمفوکین‌ها توسط لمفوسیت‌ها. شیرابه اندام هوایی گیاه اکیناسه پورپوره‌آ به طور چشمگیری درصد عمل فاگوسیتوزی گرانولوسیت‌های انسانی را افزایش داده و فاگوسیتوز ذرات مخمری را در شرایط این‌ویترو بالا برده است (مرادی نژاد، ۱۳۹۳). همچنین بعد از درمان با این گیاه، افزایش تولید اینترفرون گزارش شده است. فعالیت فارماکولوژیکی گیاه اکیناسه را نمی‌توان تنها به یک ترکیب واحد نسبت داد، بلکه گروهی از ترکیبات شامل آلکامیدها، مشتقات اسیدکافئیک، پلی‌ساکاریدها و آلکن‌ها درگیر هستند. اثر محرک ایمنی این گیاه مربوط به آمیدهای لیپوفیلیک، الکامیدها و مشتقات اسید کافئیک است، که از طریق تحریک

فاگوسیتوز گرانولوسیت‌های چندهسته‌ای انجام می‌شود. پلی‌ساکاریدهای با وزن مولکولی زیاد شامل هتروکسیلان موجب فعال شدن فاگوسیتوز و آرابینوگالاکتان که آزاد شدن عامل نکروزکننده تومورها را سرعت بخشیده نیز در فعالیت تحریک سیستم ایمنی موثر هستند. همچنین تولید اینترلوکین و اینترفرون بتا بعد از مصرف خوراکی این گیاه گزارش شده است (مرادی نژاد، ۱۳۹۳).

بهنام و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی تحت عنوان "اثر ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد جوانه‌زنی گیاه سرخارگل تحت تنش خشکی"، به این نتیجه رسیدند، که اعمال تیمار دی‌اکسید تیتانیوم بر بذر گیاه سرخارگل در شرایط بدون تنش تنها بر صفات طول ریشه‌چه و طول گیاهچه و در شرایط تنش خشکی بر طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، شاخص بنیه بذر I و II و متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد اثر بسیار معنی‌داری داشت. تنش خشکی در شدت ۳- بار بر اغلب صفات مورداندازه‌گیری از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و شاخص بنیه بذر I و II در گیاه سرخارگل اثر منفی نگذاشت. غلظت ۱۵۹ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم، طول ساقه، ریشه و گیاهچه را نسبت به شاهد ۳ برابر افزایش داد. در مواجهه با تنش خشکی، کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو اغلب شاخص‌های جوانه‌زنی سرخارگل را بهبود بخشید و می‌تواند در نقاطی که با تنش خشکی مواجه هستند، توصیه شود (جدول ۶۸ الی ۷۰).

جدول ۶۸. تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سرخارگل در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	میانگین جوانه‌زنی روزانه	وزن ساقه‌چه	وزن ریشه‌چه
TiO ₂	۸	۵۴۴/۸۷**	۱/۵۵**	۶۶/۹۰**	۱/۲۴**	۰/۶۳**	۰/۰۱ ^{ns}
خشکی	۳	۳۳۸۵۹/۷۲**	۹۳/۷۰**	۲۰۰/۰۶**	۷۷/۸۱**	۰/۱۹/۴۲**	۳/۹۹**
TiO ₂ ×خشکی	۲۴	۲۲۲/۸۰ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}	۶۷/۵۴**	۰/۴۹ ^{ns}	۰/۶۰**	۰/۰۵**
خطا	۷۲	۱۳۸/۸۴	۰/۳۰	۱۴/۳۲	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۰۲

**معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌داری در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد (بهنام و همکاران، ۱۳۹۲).

ادامه جدول ۶۸. تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سرخارگل در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه	شاخص بنیه I	شاخص بنیه II
TiO ₂	۰/۱۱**	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۲۵۰۸/۶۰ ^{ns}	**۶۱۶۸/۷
خشکی	۴/۹۰**	۸/۶۷**	۲۵/۹۴**	۲۳۸۴۹۶/۶۰**	۱۸۰۶۳۶/۴۰**
TiO ₂ ×خشکی	۰/۰۵**	۰/۳۱**	۰/۳۴**	۳۰۶۳/۳۰**	۲۶۹۳/۰۰**
خطا	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۲	۱۳۰۲/۵۰	۱۳۴۷/۱۰

**معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌داری در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد (بهنام و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۶۹. اثر برهمکنش غلظت‌های دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سرخارگل

خشکی (بار)	جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	متوسط زمان جوانه-زنی (روز)	میانگین جوانه‌زنی روزانه (بذر)	ذرات TiO2 (میلی گرم بر لیتر)
۰	۶۹/۳۳ a-d	۴/۱۱ a-e	۶/۱۲ cd	۳/۳۰ abc	۰
-۳	۶۶/۶۷ a-e	۲/۹۶ b-h	۷/۳۲ bcd	۳/۱۷ a-d	
-۶	۳۷/۳۳ d-i	۱/۳۵ h-n	۹/۵۱ a-d	۱/۷۸ c-h	
-۹	۰/۰۰ i	۰/۰۰ n	۰/۰۰ d	۰/۰۰ h	۱۰ n
۰	۷۴/۶۷ a-d	۳/۰۵ b-h	۷/۲۹ bcd	۳/۵۶ abc	
-۳	۶۲/۶۷ a-e	۱/۹۳ g-m	۱۰/۰۸ a-d	۲/۹۸ a-d	
-۶	۴/۰۰ hi	۰/۰۶ n	۱۱/۶۷ abc	۰/۱۹ gh	۵۰ n
-۹	۰/۰۰ i	۰/۰۰ n	۰/۰۰ d	۰/۰۰ h	
۰	۸۰/۰۰ ab	۴/۵۷ abc	۵/۶۶ cd	۳/۸۷ a	
-۳	۷۷/۳۳ abc	۲/۸۸ c-i	۹/۸۹ a-d	۳/۸۱ ab	۱۰۰ n
-۶	۳۰/۶۷ e-i	۰/۷۵ k-n	۱۲/۴۴ abc	۱/۴۶ d-h	
-۹	۰/۰۰ i	۰/۰۰ n	۰/۰۰ d	۰/۰۰ h	
۰	۸۶/۶۷ a	۴/۹۲ a	۵/۵۹ cd	۴/۱۳ a	۱۵۰ n
-۳	۸۸/۰۰ a	۳/۷۶ a-f	۸/۹۰ a-d	۴/۱۹ a	
-۶	۴۲/۶۷ b-g	۱/۳۹ h-n	۱۲/۱۶ abc	۲/۰۳ b-f	
-۹	۱/۳۳ i	۰/۰۲ n	۵/۰۰ cd	۰/۰۶ h	۱۰ b
۰	۶۹/۳۳ a-d	۴/۱۰ a-e	۵/۴۷ cd	۳/۳۷ abc	
-۳	۷۲/۰۰ a-d	۲/۴۹ e-k	۹/۱۲ a-d	۳/۴۳ abc	
-۶	۳۰/۶۷ e-i	۱/۰۹ i-n	۱۲/۱۳ abc	۱/۴۶ d-h	۵۰ b
-۹	۸/۰۰ ghi	۰/۱۲ mn	۱۷/۴۴ ab	۰/۳۸ fgh	
۰	۷۰/۶۷ a-d	۴/۳۴ a-d	۵/۴۱ cd	۳/۴۹ abc	
-۳	۷۳/۳۳ a-d	۲/۷۹ c-j	۸/۴۹ a-d	۳/۴۹ abc	۱۰۰ b
-۶	۴۰/۰۰ c-h	۱/۰۲ j-n	۱۲/۹۵ abc	۱/۹۰ c-g	
-۹	۰/۰۰ i	۰/۰۰ n	۰/۰۰ d	۰/۰۰ h	
۰	۷۵/۲۰ ab	۴/۲۴ abc	۶/۶۱ cd	۳/۵۸ ab	۵۰ b
-۳	۷۳/۳۳ a-d	۳/۳۳ a-g	۷/۴۷ bcd	۳/۴۹ abc	
-۶	۹/۳۳ ghi	۰/۴۰ lmn	۷/۸۷ bcd	۰/۴۴ fgh	
-۹	۱/۳۳ i	۰/۰۲ n	۶/۶۷ bcd	۰/۰۶ h	۱۰۰ b
۰	۸۴/۰۰ a	۴/۷۴ ab	۵/۹۰ cd	۴/۰۰ a	
-۳	۷۸/۶۷ ab	۳/۰۲ b-h	۸/۳۹ a-d	۳/۷۵ ab	
-۶	۶۰/۰۰ a-f	۲/۰۱ f-l	۱۰/۲۹ a-d	۲/۸۶ a-e	۱۵۰ b
-۹	۵/۳۳ ghi	۰/۰۷ n	۱۹/۰۰ a	۰/۲۵ fgh	
۰	۸۸/۰۰ a	۵/۱۲ a	۵/۵۴ cd	۴/۱۹ a	
-۳	۶۶/۶۷ a-e	۲/۵۷ d-j	۷/۱۷ bcd	۳/۱۷ a-d	۱۵۰ b
-۶	۲۲/۶۷ f-j	۰/۶۵ lmn	۱۰/۴۶ a-d	۱/۰۸ d-h	
-۹	۰/۰۰ i	۰/۰۰ n	۰/۰۰ d	۰/۰۰ h	

*اعداد دارای حروف مشابه در هرستون از نظر آماری (براساس آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال ۰.۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند (بهنام و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۷۰. اثر برهمکنش غلظت‌های دی اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های قدرت بذر گیاه سرخارگل

خشکی (بار)	وزن ساقه‌چه	وزن ریشه-چه	وزن گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه	شاخص بنیه I بذر	شاخص بنیه II بذر	ذرات TiO2 (میلی‌گرم بر لیتر)
۰	۱/۷۸ a	۰/۷۰ a-g	۲/۴۸ abc	۹/۶۳ a-d	۱۰/۰۲ b-e	۱/۶۵ b-e	۱۶۸/۶۹ a-g	۱۳۹/۵۲ a-g	
-۳	۱/۷۰ a	۱/۰۹ a	۲/۸۰ ab	۶/۶۵ cd	۸/۸۰ cde	۱۵/۴۵ c-f	۱۸۹/۴۹ a-e	۱۰۴/۵۳ a-e	
-۶	۱/۲۷ ab	۰/۵۲ c-g	۱/۷۹ abc	۴/۱۶ ef	۳/۶۰ de	۷/۷۶ fg	۸۵/۵۵ d-h	۳۸/۵۹ d-h	۰
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۱/۸۸ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۴۹ a	۰/۸۱ a-e	۲/۳۱ abc	۸/۰۰ a-e	۱۱/۷۰ bcd	۱۹/۷۰ b-e	۱۷۴/۹۵ a-f	۱۴۹/۸۵ a-f	
-۳	۱/۹۱ a	۱/۰۵ ab	۲/۹۶ a	۷/۴۶ b-e	۶/۳۳ de	۱۳/۸۰ def	۱۸۵/۸۱ a-f	۸۶/۶۵ a-f	۱۰ n
-۶	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ efg	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۶۱ a	۰/۸۵ a-d	۲/۴۷ abc	۹/۷۰ a-d	۷/۲۳ de	۱۶/۹۳ c-f	۱۹۷/۲۳ a-d	۱۳۵/۳۶ a-d	
-۳	۲/۱۵ a	۰/۶۹ a-g	۲/۸۳ ab	۹/۸۳ abc	۷/۵۸ cde	۱۷/۴۲ b-f	۲۱۷/۷۶ a	۱۳۳/۹۷ a	
-۶	۲/۰۰ a	۰/۴۰ d-h	۲/۴۰ abc	۷/۵۳ b-e	۳/۱۷ de	۱۰/۷۱ efg	۷۲/۰۰ e-h	۳۱/۶۷ e-h	۵۰ n
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۷۷ a	۰/۱۷ a-f	۲/۴۸ abc	۱۱/۹۳ ab	۱۱/۲۳ bcd	۲۳/۱۶ bcd	۱۷۳/۶۷ a-f	۱۶۰/۹۳ bc	
-۳	۲/۰۹ a	۰/۸۱ a-e	۲/۹۰ a	۸/۳۶ a-e	۵/۸۶ de	۱۴/۲۳ c-f	۲۰۸/۶۷ ab	۱۰۲/۴۷ c-f	
-۶	۱/۵۷ a	۰/۵۷ c-g	۲/۱۳ abc	۵/۹۹ cde	۳/۲۴ de	۹/۲۳ efg	۶۸/۲۷ fgh	۲۹/۱۲ ef	۱۵۰ n
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۸۴ a	۰/۸۳ a-e	۲/۶۷ ab	۸/۷۷ a-d	۱۰/۸۶ bcd	۱۹/۶۳ b-e	۱۸۸/۷۷ a-e	۱۳۹/۳۵ b-e	
-۳	۱/۸۵ a	۰/۷۰ a-g	۲/۵۵ ab	۸/۹۳ a-d	۸/۹۳ cde	۱۷/۸۶ b-f	۱۸۷/۵۵ a-e	۱۲۹/۷۱ b-e	
-۶	۱/۹۷ c	۰/۳۷ e-h	۲/۳۳ abc	۶/۲۷ cde	۲/۵۵ de	۸/۸۳ efg	۹۴/۱۳ b-h	۳۵/۶۰ def	۱۰ b
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۲/۰۰ a	۰/۶۷ a-e	۲/۶۶ ab	۱۱/۵۲ ab	۹/۶۰ cd	۲۱/۱۲ bcd	۲۱۳/۳۶ a	۲۰۰/۸۵ bc	
-۳	۲/۲۹ a	۰/۹۲ abc	۳/۲۱ a	۸/۲۳ a-e	۷/۵۰ cde	۱۵/۷۳ c-f	۲۳۳/۸۰ a	۱۱۵/۷۹ c-f	
-۶	۱/۲۰ ab	۰/۲۵ fgh	۱/۴۵ bc	۳/۹۳ ef	۰/۰۶ de	۷/۰۰ fg	۲۲/۱۳ h	۷/۳۳ f	۵۰ b
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۹۶۶ a	۰/۷۸ a-e	۲/۷۴ abc	۸/۱۳ a-e	۲۰/۴۶ ab	۲۸/۶۰ ab	۱۹۸/۱۶ abc	۱۱۴/۹۶ ab	
-۳	۲/۰۷ a	۰/۶۷ a-g	۲/۴۷ ab	۷/۵۰ b-e	۷/۰۰ de	۱۴/۵۰ c-f	۲۱۴/۹۲ a	۱۱۴/۶۹ b-e	
-۶	۱/۹۵ a	۰/۵۹ b-g	۲/۵۴ ab	۷/۳۰ cde	۶/۳۳ de	۱۳/۶۳ def	۱۵۲/۳۱ a-g	۸۰/۹۷ c-f	۱۰۰ b
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	
۰	۱/۷۱ a	۰/۷۰ a-g	۲/۴۱ abc	۹/۶۰ a-e	۳۲/۵۰ a	۴۲/۱۰ a	۲۰۹/۴۳ a-e	۳۲۴/۶۸ a	
-۳	۱/۹۰ a	۰/۸۲ a-e	۲/۷۲ ab	۷/۵۶ b-e	۱۷/۸۶ abc	۲۵/۴۳ bc	۱۸۱/۷۶ a-f	۱۷۱/۶۳ bc	
-۶	۱/۹۰ a	۰/۲۴ gh	۲/۱۴ abc	۵/۱۴ de	۴/۳۰ de	۹/۴۴ efg	۵۱/۶۸ gh	۲۴/۰۰ ef	۱۵۰ b
-۹	۰/۰۰ c	۰/۰۰ h	۰/۰۰ d	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ g	۰/۰۰ h	۰/۰۰ f	

*اعداد دارای حروف مشابه در هرستون از نظر آماری (براساس آزمون چنددامنه‌ای توکی در سطح احتمال ۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند (بهنام و همکاران،

۱۳۹۲).

۳-۱-۲-۴. گیاهان زینتی

۳-۱-۲-۴-۱. ژربرا

نام فارسی: ژربرا

نام علمی: *Gerbera jamesonii*

تیره: گل ستارگان (Asteraceae)

گیاه بوته‌ای بدون ساقه و ریشه‌های آن عمیق است. برگ‌ها حلقه‌وار از طوقه باریک گیاه می‌رویند. طول آن‌ها تا ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد و شکل آن‌ها لوب‌دار شانه‌ای (کنگره‌دار) است (شکل ۱۰۳). سطح بالایی آن‌ها سبز تیره و سطح زیرین سبز کم‌رنگ و پوشیده از کرک‌های متراکم است. ساقه‌های گل‌دهنده ایستاده به ارتفاع ۳۰-۴۵ سانتی‌متر از طوقه گیاه می‌روید و بدون برگ است (باقری، ۱۳۹۴). گل ژربرا در واقع گل‌آذینی است، از هزاران گل. این گل‌آذین از سه نوع گل تشکیل شده: گلچه مرکزی، گلچه حد واسط و گلچه شعاعی. گلچه مرکزی که گلچه لوله‌ای منظم واقع در مرکز کلاپرک های گل است و با رنگی متفاوت با گلچه‌های شعاعی، مرکز گل ژربرا را متمایز می‌کند. تفاوت بین رنگ و اندازه این سه گلچه باعث تفاوت‌های ظاهری بین ارقام این گیاه شده است. همچنین کم یا پر بودن گلچه‌های شعاعی و یا کوچک به بزرگ یا هم اندازه بودن آن‌ها اشکال متفاوتی می‌سازد. قطر گل‌ها ۱۲-۵ سانتی‌متر است و بیشتر رنگ‌ها جز رنگ آبی را می‌توان در گل ژربرا پیدا کرد. گل‌های ژربرا امروزی در واقع گیاهان دورگه (*Gerbera hybrida*) هستند، که بیشتر از دو گونه *G. jamesonii* و گونه *G. viridifolia* تولید شده‌اند. تولید آن به عنوان گیاه شاخه بریده در جهان پس از گل رز، میخک، داوودی و لاله در جایگاه پنجم است. این گیاه از اواخر بهار تا اواخر پائیز و حتی اوایل زمستان گل می‌دهد. شرایط نگهداری و مراقبت از این گیاه در گلخانه‌های تجاری و کاشت برای گل بریده، با کاشت به عنوان گیاه گلدانی یا در باغچه که در زیر می‌آید، متفاوت است (مرادی نژاد، ۱۳۹۳).



شکل ۱۰۳. ژربرا (مرادی نژاد، ۱۳۹۳)

خاک این گیاه باید زهکش خوبی داشته باشد، چرا که این گیاه به پوسیدگی طوقه و ریشه حساس است. خاک ایده‌آل آن خاکی سبک و غنی از موادآلی است. به خاطر سیستم ریشه‌ای عمیق گیاه، خاک باغچه باید تا عمق ۴۵ تا ۶۰ سانتی‌متری شخم زده شود و کیفیت خاک تا عمق ۲۵ سانتی‌متری با کود گاوی پوسیده بهبود یابد و طوقه

گیاه از سطح خاک بالاتر کاشته شود. فاصله کاشت دو گیاه بین ۴۵ تا ۶۰ سانتی‌متر باشد. کوددهی گیاه با کودی مثل ۲۰-۲۰-۲۰ ماهانه در فصل رشد انجام شود. به نور کامل آفتاب نیاز دارد. در مناطق با آب و هوای گرم، سایه بعد از ظهر برای بالندگی آن مفید است. بهترین گلدهی را در مکان‌هایی با روزهای گرم و شب‌هایی خنک دارد. در مناطق بدون یخبندان، گیاه چندساله است. در مناطق سرد معمولاً آن را به عنوان گیاهی یک‌ساله می‌کارند، ولی می‌توان گیاه را برای گذران زمستان از زمین بیرون آورد و به مکانی گرم‌تر انتقال داد. با کاشت بذر یا تقسیم ریشه، می‌توان گیاهانی جدید بدست آورد. همچنین استفاده از قلمه نیز امکان پذیر است. لازم به ذکر است، که تکثیر صنعتی این گیاه برای گلخانه‌های شاخه بریده، به روش‌های دیگر انجام می‌شود (باقری، ۱۳۹۴).

مهدوی و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی با عنوان "بررسی اثر نانومنیزیوم به صورت محلول‌پاشی بر رشد رویشی و زایشی ژربرا رقم Antibes در محیط گلخانه" نشان داد، که محلول‌پاشی نانوذرات بر میزان کلروفیل اندازه‌گیری شده در برگ گیاه اثر داشته است و گیاهانی که در مرحله رشد، محلول رقیق حاوی نانوذرات منیزیوم را دریافت نموده‌اند، نسبت به بقیه تعداد برگ بیشتری تولید نموده‌اند. نوع سیستم اثر معناداری بر تولید گل گیاه داشت و گیاهان کاشته شده بر سیستم عمودی متحرک از بقیه گیاهان تعداد گل بیشتری داشته‌اند (جدول ۷۱ و ۷۲). افزایش کلروفیل دریافتی توسط گیاهان و به تبع آن افزایش تولید برگ در گیاهان تیمار نانوذرات منیزیوم ممکن است به دلیل نقش مهم منیزیوم در چرخه زندگی گیاه و علی‌الخصوص در ساخت کلروفیل باشد، که با افزایش تولید برگ و محتوای کلروفیل، طبیعتاً تعداد گل تولیدی نیز افزایش می‌یابد، که با توجه به اثرات صرفه‌جویانه و نیز سازگار با محیط زیست نانوذرات، استفاده از مقادیر مفید، اما کم نانوذرات می‌تواند راهی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید محصولات و به ویژه محصولات گلخانه‌ای باشد.

جدول ۷۱. تجزیه واریانس اثر نانومنیزیوم به صورت محلول‌پاشی بر رشد رویشی و زایشی ژربرا رقم Antibes در محیط گلخانه

صفت منابع تغییر	DF	تعداد برگ	محتوای کلروفیل	تعداد گل	قطر ساقه
تکرار	۲	۷۳/۶۰	۱۴/۱۹	۲/۵۴	۰/۴۸
تیمار	۱	۳۰۰/۴۴*	۱۴۱/۶۵**	۱۲/۲۵*	۰/۰۷
خطا	۱۷	۳۸/۵۰	۱۲/۲۹	۲/۰۷	۰/۶۰

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطوح ۱ و ۵ درصد می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲)

جدول ۷۲. مقایسه میانگین سیستم‌ها به روش دانکن مربوط به اثر نانومنیزیوم به صورت محلول‌پاشی بر رشد رویشی و زایشی ژربرا رقم Antibes در محیط گلخانه

صفت تیمارها	تعداد برگ	محتوای کلروفیل	تعداد گل	قطر ساقه
تیمار نانو منیزیوم	۱۶/۶۷ a	۶۷/۸۵ a	۲/۸۳ a	۵/۶۸ a
شاهد (صفر)	۱۰/۸۹ b	۶۳/۸۸ b	۱/۶۷ b	۵/۷۸ a

داشتن حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲)

نتایج نشان داد، که محلول پاشی نانومنیزیوم بر افزایش تعداد برگ، تعداد گل، محتوای کلروفیل برگ‌های گیاه به ترتیب در سطوح ۱ و ۵ درصد تأثیر معنی داری داشته است، اما اثر آن بر افزایش قطر گل معنی دار نبوده است. ممکن است افزایش تعداد محتوای کلروفیل به دلیل نقش مهم عنصر منیزیوم در ساختار ملکول کلروفیل بوده باشد و لذا با تولید کلروفیل بیشتر قدرت گیاه برای تولید برگ بیشتر و به تبع آن گل بیشتر افزایش یافته باشد. با توجه به اثرات مثبت نانومنیزیوم بر گل ژبررا رقم آنتی‌بس و با وجود اثرات صرفه‌جویانه، مصرف نانوذرات به جای عناصر میکرو و ماکرو و نیز مصرف کمتر عناصر در جهت کاهش آلودگی محیط زیست شاید بتوان مصرف نانومنیزیوم را در تغذیه گیاه ژبررا توصیه نمود (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۴-۲-۱-۳. گل راعی

نام فارسی: گل راعی

نام علمی: *Solanum lycopersicum*

تیره: علف چای (HYPERICACEAE)

گل راعی گیاهی است، علفی و چندساله با ارتفاع ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر، که دارای ساقه‌ای بدون کرک و تا حدودی خزنده است. برگ‌های این گیاه قاشقی‌شکل و بدون دم‌برگ می‌باشند و دارای حفرات فراوان اسانس هستند، که نام گونه‌ی این گیاه (*perforatum*) از همین ویژگی آن حاصل شده است. گل‌های زردرنگ این گیاه در یک گل‌آذین دیهیم قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰۴). در مورد این گیاه در بین اروپائیان داستان‌های زیادی موجود می‌باشد، که گل‌راعی را دافع ارواح خبیثه می‌دانند و نام جنس این گیاه (*Hypericum*) برگرفته از همین موضوع است. رقم توپاز آن دارای اهمیت فراوان دارویی است. در ایران در دامنه کوه‌های البرز، چالوس، مازندران، نقاط غرب ایران و در مسیر قله چین‌کلاغ به حد زیادی می‌روید (مرادی نژاد، ۱۳۹۳).



شکل ۱۰۴. گل راعی (مرادی نژاد، ۱۳۹۳)

گل راعی گیاهی است، آفتاب‌دوست و تا حدودی رطوبت‌پسند، که در خاک‌هایی با بافت سبک تا متوسط با pH خنثی به خوبی رشد می‌نماید. دمای بین ۱ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد دمای مناسبی است. به طور کلی، گیاه تحمل خشکی و گرما

را دارد، ولی تحمل سرما را ندارد. تکثیر این گیاه عمدتاً توسط بذر و گاهاً توسط ساقه‌های رونده صورت می‌گیرد. بذور ریز این گیاه را بایستی در عمق کم کشت نمود و معمولاً از کشت غیرمستقیم بذور استفاده می‌شود. برداشت این گیاه در زمانی است، که ۵۰ درصد گل‌ها باز شده‌اند و این عمل شامل قطع پیکره‌ی رویشی این گیاه از نزدیکی سطح زمین می‌باشد. برداشت در یک روز آفتابی صورت گرفته و محصول را بایستی به سرعت در محلی تاریک خشک نمود (باقری، ۱۳۹۴).

شرفی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی تحت عنوان اثرات کاربرد نانوذرات اکسیدروی و آهن و نوع ریزنمونه بر کالزایی و زنده‌مانی کالوس گل‌راعی در شرایط *In vitro* به این نتیجه رسیدند، که بین سطوح مختلف کاربرد نانومواد و نوع ریز نمونه اثر معنی‌دار در سطح یک درصد از نظر کالزایی و زنده‌مانی کالوس وجود دارد (جدول ۷۳ تا ۷۶). کاربرد نانواکسیدروی با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌بی در محیط کشت، بیشترین اثر را بر میزان کالزایی و زنده‌مانی کالوس گل‌راعی داشت و کاربرد نانواکسید آهن با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌بی کمترین و با غلظت ۷۵ پی‌پی‌بی بیشترین تأثیر را بر صفات مورد ارزیابی برای هر سه نوع ریز نمونه در پی داشت (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۷۳. نتایج تجزیه واریانس نانواکسید روی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی) بر میزان اندازه و زنده‌مانی کالوس گل‌راعی در شرایط کشت درون شیشه‌ای

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	اندازه کالوس ریشه	زنده‌مانی کالوس ریشه	اندازه کالوس برگ	زنده‌مانی کالوس برگ	اندازه کالوس ساقه	زنده‌مانی کالوس ساقه
نانو اکسید روی	۴	۲۳/۴۲**	۲۸/۸۸**	۲۰/۷۴**	۳۲/۳۴**	۱۸/۲۶**	۳۵/۴۹**
خطای آزمایشی	۲۰	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۸۶
خطای نمونه‌گیری	۱۰۰	۰/۰۸	۰/۶۱	۰/۱۴	۰/۶۶	۰/۰۸	۰/۶۰

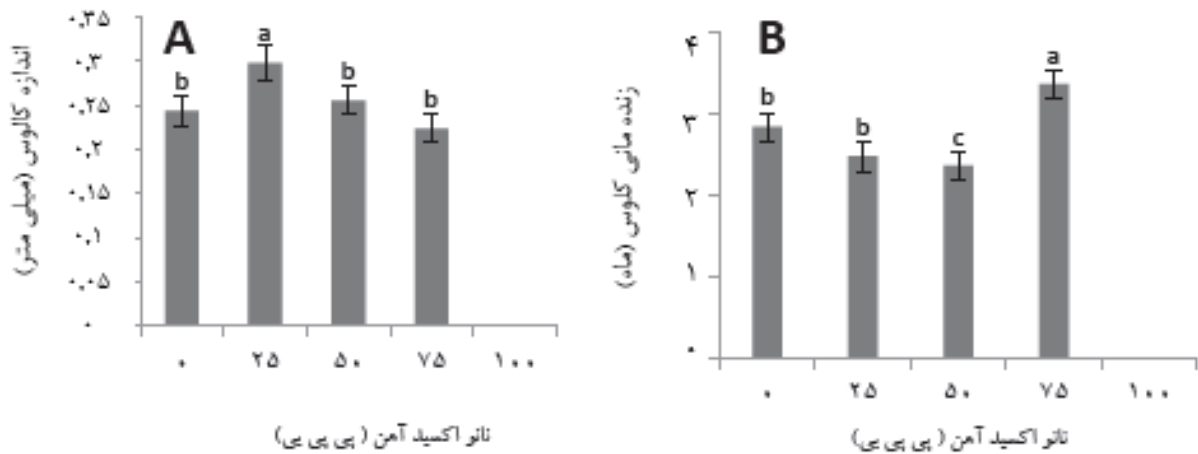
ns: عدم اختلاف معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح ۰/۵، **: معنی‌دار در سطح ۰/۱ (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)

جدول ۷۴. نتایج مقایسه میانگین نانوذرات اکسید روی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی بی) بر میزان اندازه و زنده‌مانی کالوس گل‌راعی در شرایط کشت درون شیشه‌ای

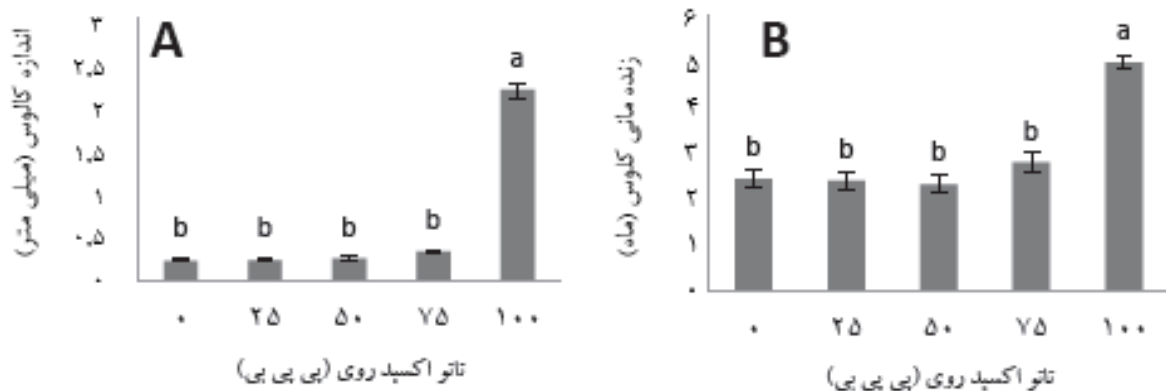
نانو ذرات اکسید روی (ppb)	اندازه کالوس ریشه	زنده‌مانی کالوس ریشه	اندازه کالوس برگ	زنده‌مانی کالوس برگ	اندازه کالوس ساقه	زنده‌مانی کالوس ساقه
۰	۰/۲۸ b	۲/۴۰ c	۰/۲۵ b	۲/۳۲ b	۰/۳۴ b	۱/۹۶ c
۲۵	۰/۳۰ b	۲/۵۶ bc	۰/۲۶ b	۲/۴۰ b	۰/۳۴ b	۲/۳۶ bc
۵۰	۰/۳۰ b	۲/۶۴ bc	۰/۲۷ b	۲/۴۴ b	۰/۳۶ b	۲/۶۴ b
۷۵	۰/۳۱ b	۲/۹۶ b	۰/۳۰ b	۲/۸۰ b	۰/۳۳ b	۲/۷۲ b
۱۰۰	۲/۴۶ a	۵/۰۰ a	۲/۳۱ a	۵/۰۰ a	۲/۱۸ a	۵/۰۰ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون آماری دانکن در سطح ۰/۱ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳).

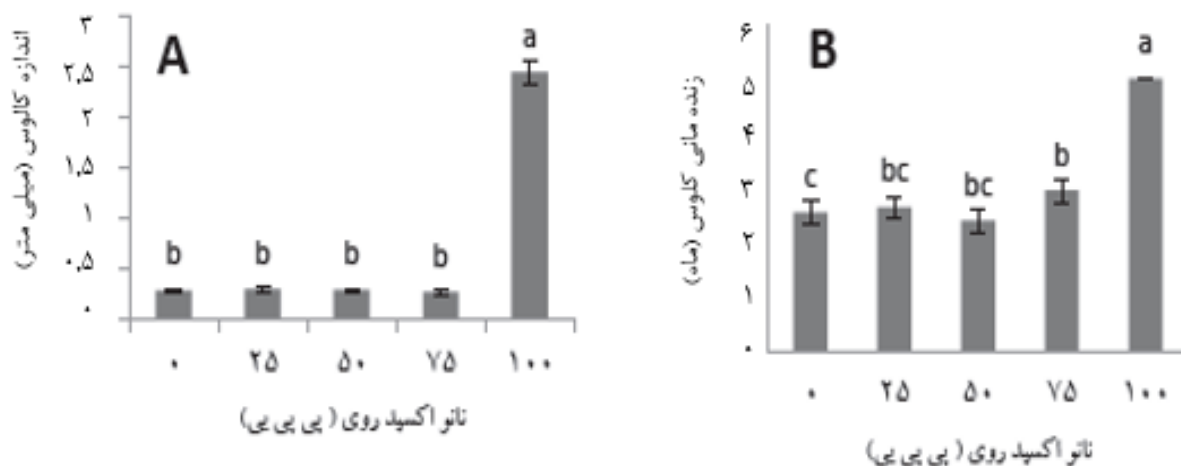
در این آزمایش، نانوذرات اکسیدروی در غلظت ۱۰۰ پی پی پی بیشترین اثر را بر میزان کالوسزایی داشت (اشکال ۱۰۵ تا ۱۱۲)، این درحالی بود که نانوذرات آهن در غلظت ۱۰۰ پی پی پی کمترین اثر را بر میزان کالزایی داشتند. نانوذرات اکسید آهن، سه روز بعد از کشت ریزنمونه‌ها، منجر به نکرزه شدن و مرگ آن‌ها شدند. نانوذرات اکسیدروی در غلظت ۱۰۰ پی پی پی توانست میزان ماندگاری کالوس‌ها را تا شش ماه افزایش دهد. این در حالی است، که در شرایط عادی حداکثر ماندگاری کالوس‌های گل راعی تا سه ماه است. نانوذرات اکسید آهن در غلظت ۷۵ پی پی پی هم توانستند، تا حدودی بر کالزایی و ماندگاری کالوس‌های گل راعی مؤثر باشند، اما اثر آن مانند اثر نانو اکسیدروی قابل توجه نبود (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۰۵. ریزنمونه ساقه گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسیدروی (A): اندازه کالوس (B): زنده‌مانی کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۰۶. ریزنمونه برگ گل راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسیدروی (A): اندازه کالوس (B): زنده‌مانی کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۰۷. ریزنمونه ریشه گل‌راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی (A): اندازه کالوس (B): زنده ماندن کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)

مشابه با نتایج این آزمایش نیز گزارش شده است، که با کاشت بذرهای *Cicer arietinum* در محیط حاوی ۱۰۰ میکرولیتر از محلول نانو لوله‌های کربنی، میزان رشد گیاهچه‌ها، نسبت به شاهد دو برابر می‌شود. همچنین گزارش شده است، که بیست روز بعد از کاشت بذرهای گوجه‌فرنگی در محیط حاوی ۴۰ میکروگرم از نانولوله‌های کربنی میزان جوانه بذرها تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد. در یک مرحله از این پژوهش، معادل آهن و روی معمولی موجود در محیط کشت، نانوذرات آهن و روی به صورت MS خالص و اکسید اضافه شد، که در همان مراحل اولیه منجر به مرگ ریزنمونه‌ها شد. بنابراین اثر مثبت نانوذرات اکسید روی تنها زمانی نمود پیدا کرد، که تکمیل‌کننده روی معمولی موجود در محیط کشت بود.

جدول ۷۵. نتایج تجزیه واریانس نانوذرات اکسید آهن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی پی) بر میزان اندازه و زنده ماندن کالوس گل‌راعی در شرایط درون شیشه‌ای

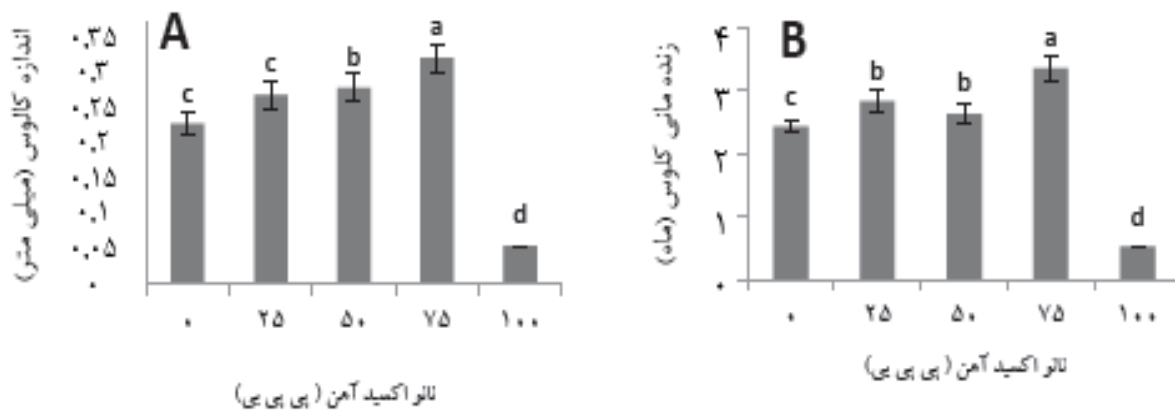
میانگین مربعات							منابع تغییرات
زنده ماندن کالوس ساقه	اندازه کالوس ساقه	زنده ماندن کالوس برگ	اندازه کالوس برگ	زنده ماندن کالوس ریشه	اندازه کالوس ریشه	درجه آزادی	
۲۹/۳۸**	۰/۲۴۰**	۴۱/۸۶۸**	۰/۳۴۵**	۴۰/۶۴۲**	۰/۳۶۲**	۴	نانو اکسید آهن
۱/۶۶۴	۰/۰۲۲	۰/۶۷۶	۰/۰۰۶	۱/۴۰۴	۰/۰۰۵	۲۰	خطای آزمایشی
۰/۴۴۰	۰/۰۰۵	۰/۴۹۶	۰/۰۰۹	۰/۳۳۲	۰/۰۰۵	۱۰۰	خطای نمونه‌گیری

NS: عدم اختلاف معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪ (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)

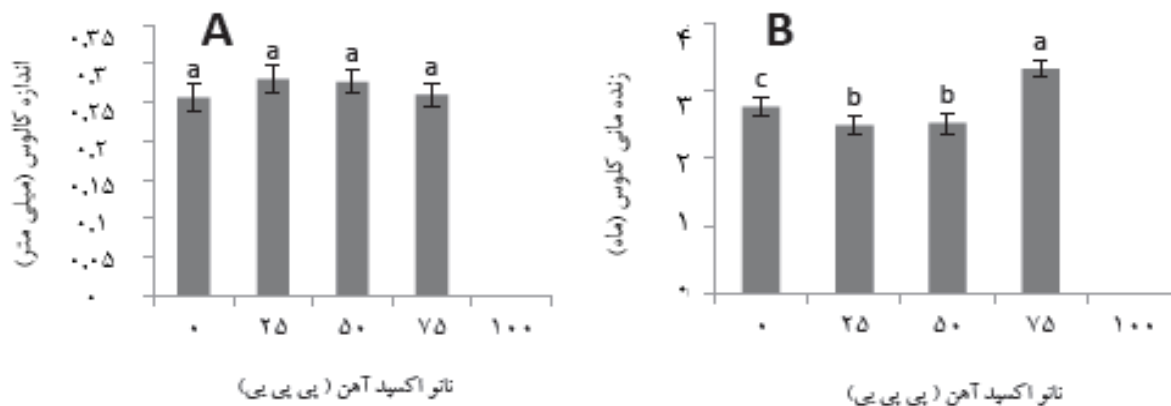
جدول ۷۶. نتایج مقایسه میانگین نانوذرات اکسید آهن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی پی) بر اندازه و زنده‌مانی کالوس گل‌راعی در شرایط درون شیشه‌ای

نانو ذرات اکسید آهن (ppb)	اندازه کالوس	زنده‌مانی کالوس	اندازه کالوس	زنده‌مانی کالوس	اندازه کالوس	زنده‌مانی کالوس
۰	ریشه	برگ	برگ	برگ	ساقه	ساقه
۲۵	۰/۲۶ a	۲/۳۸ b	۰/۲۴ b	۲/۳۸ b	۰/۲۲ c	۲/۴۴ c
۵۰	۰/۲۸ a	۲/۳۶ c	۰/۲۶ b	۲/۳۶ c	۰/۲۵ c	۲/۸۳ b
۷۵	۰/۲۶ a	۳/۳۶ a	۰/۲۲ b	۳/۳۶ a	۰/۳۰ a	۲/۶۳ b
۱۰۰	۰/۰۰ b	۰/۰۰ d	۰/۰۰ c	۰/۰۰ d	۰/۰۵ d	۰/۵۲ d

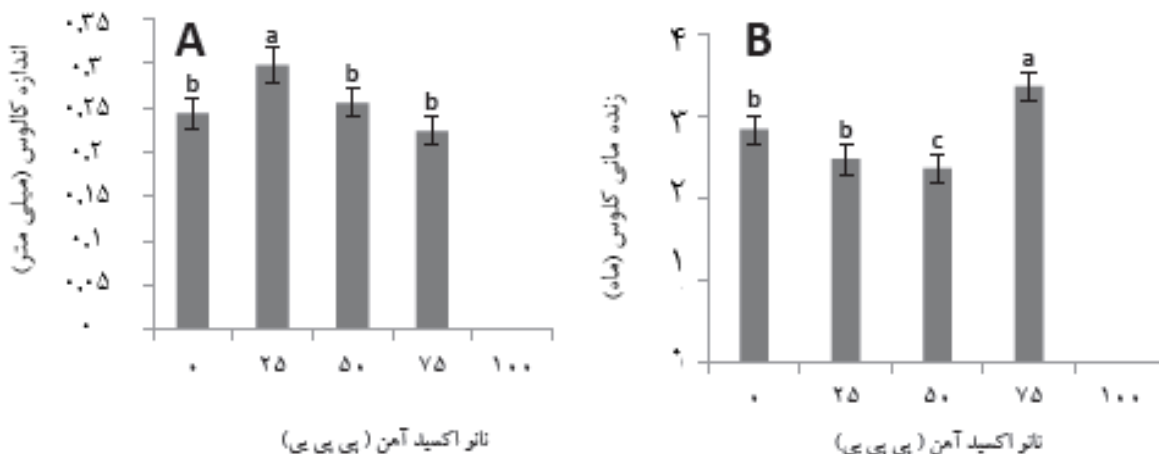
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون آماری دانکن در سطح ۰.۱٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۰۸. ریزنمونه ساقه گل‌راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B): زنده‌مانی کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۰۹. ریزنمونه ریشه گل‌راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B): زنده‌مانی کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۱۰. ریزنمونه برگ گل‌راعی در غلظت‌های مختلف نانو اکسید آهن (A): اندازه کالوس (B): زنده ماندن کالوس (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)

اثر منفی یا مثبت نانوذرات به علت سطح ویژه زیاد آن‌ها است. عناصر در حد نانو دارای سطح ویژه زیادی هستند و همین سطح ویژه، کارکرد آن‌ها را بسیار افزایش می‌دهد. اثر مثبت نانوذرات اکسید روی بر میزان کال‌زایی و زنده ماندن کالوس شاید به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در این مسیر باشد، زیرا روی از کوفاکتورهای مهم دخیل در فعالیت آنزیم‌ها است و این ذرات به دلیل سطح ویژه زیاد، شاید توانسته باشند کارکرد این آنزیم‌ها را افزایش دهند، که برای اثبات این مسئله به تحقیقات بیشتری نیاز است. عامل مهم بعدی میزان تحمل سلول هاست، زیرا نانوذرات اکسید روی در همان غلظتی دارای اثرات مثبت بودند، که نانوذرات اکسید آهن دارای اثرات منفی بود. احتمالاً سلول‌ها به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌بی نانو اکسید روی متحمل بوده‌اند و این غلظت توانسته است باعث ایجاد اثرات مثبت شود، در حالی که غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌بی نانو اکسید آهن برای سلول‌ها سمی بوده و منجر به مرگ گیاهچه‌ها شده است. این دلیل می‌تواند برای کاربرد خالص نانوذرات آهن و روی در محیط کشت نیز صادق باشد (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۱۱. کالوس‌زایی ریزنمونه ساقه در مجاورت نانو اکسید روی (۱۰۰ پی‌پی‌بی) (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۱۱۲. مرگ ریزنمونه‌های ساقه در محیط حاوی نانوذرات اکسید آهن (۱۰۰ پی بی بی) (شرفی و همکاران، ۱۳۹۳)

رز. ۳-۱-۲-۴-۳

نام فارسی: رز

نام علمی: *Rosa hybrida*

تیره: Rosaceae

گل رز متعلق به خانواده گل سرخیان است. این گیاهان در بخش‌های وسیعی از کره زمین پراکنده هستند و از لحاظ نحوه رشد و شکل بوته و تولید گل به انواع رزهای مینیاتوری، پاسیویی، هیبرید چای، فلورینبدا، درختچه‌ای، بالارو و رونده تقسیم می‌شوند (شکل ۱۱۳). جنس رز دارای ۱۲۰ گونه می‌باشد، که از مناطق سرد شمالی تا مناطق نیمه گرمسیری پراکنده است. در تولید رزهای بریدنی گلخانه‌های از ارقام هیبرید چای و فلورینبدا که تولید گل انتهایی می‌کنند، استفاده می‌شود. گل‌های شاخه بریده را به سه دسته اصلی تقسیم می‌کنند (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳):

- هیبرید چای: به رزهای تک‌شاخه‌ای گفته می‌شود، که قطر گل ۹ سانتی‌متر یا بیشتر باشد.

- Sweet hearts: به رزهایی گفته می‌شود، که قطر گل کمتر از ۹ سانتی‌متر باشد.

- رزهای اسپری: به رزهایی گفته می‌شود، که حداقل ۳ غنچه بر روی یک شاخه باشد.

در بررسی روند رشد این گروه‌ها در هلند مشخص شده است، که هیبرید چای در سال ۲۰۰۰ نسبت به ۱۹۹۹ حدود ۲ درصد افزایش داشت، اما سطح ارقام sweet hearts رو به کاهش است، ولی با این وجود برخی ارقام (Sacha و Escimo) رشد خوبی دارند. رزهای اسپری نیز کمتر از ۳ درصد تولیدات هلند را در بر می‌گیرند. گل رز در تمامی رنگ‌ها دیده می‌شود و در این مورد تنها یک استثناء وجود دارد و آن نبود رزهای آبی است (باقری، ۱۳۹۴). در انواعی که تولید گل انتهایی می‌کنند (هیبرید چای، فلورینبدا، پاسیویی و مینیاتوری)، هر ساله شاخه‌های جدید از جوانه‌های سال قبل رشد می‌کنند و بعد از تولید گل در انتهای شاخه، رشد آن متوقف می‌شود و شاخه‌های جدید دوباره از جوانه‌های زیرگل تولید می‌شود، که بسته به رقم و شرایط آب و هوایی ممکن است تولید گل بکند یا نکند. برخی از ارقام گل رز، دائم گل هستند و گل‌دهی در آن‌ها در بیشتر مواقع سال انجام می‌گیرد، ولی بیشتر ارقام در هوای خنک بهار و پاییز گل‌دار می‌شوند. رزهای گلخانه‌ای در تمام طول سال قادر به تولید گل هستند و تنها باید شرایط رشدی

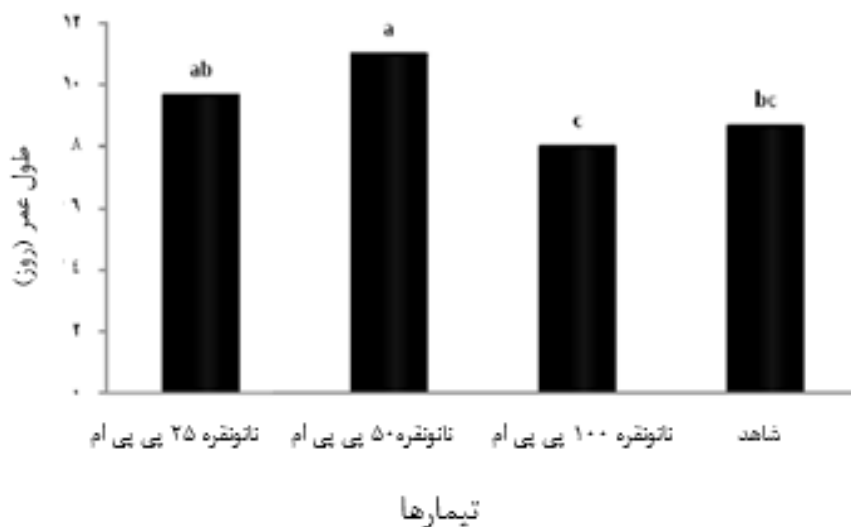
مناسب برای آن‌ها فراهم گردد. در محیط‌های کشت خاکی، خاک می‌بایستی از نوع سبک لومی‌شنی یا لومی‌رسی با حاصلخیزی مناسب باشد. خاک بایستی از تهویه مناسب برخوردار باشد (باقری، ۱۳۹۴). اسیدیته مناسب خاک نیز بین ۶-۷ می‌باشد. در کشت‌های خاکی، ۳-۴ تن کود دامی پوسیده را به هر هزار متر مربع اضافه می‌کنند و بعد از مخلوط یکنواخت اقدام به کشت پایه‌های رز می‌کند. در روش کشت بدون خاک از بسترهایی نظیر پشم سنگ، کوکوپیت یا لیکا و پرلیت استفاده می‌کنند، که به صورت کشت بستری در بسترهایی به عرض حدود ۵۰ سانتی‌متر با دو ردیف و به عمق ۳۰ سانتی‌متر کشت انجام می‌شود (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳). البته در روش نسبتاً مرسوم هم کشت به صورت گلدانی بر روی سکوهایی به ارتفاع ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و در گلدان حاوی مواد بستری به صورت تک‌بوته یا دو بوته کشت انجام می‌شود. در هر یک از این روش‌ها مطلوب است، گیاه ارتفاع مناسبی برای عمل بندینگ از سطح زمین را داشته باشد. در زمینه دما، حداقل درجه حرارت تحمل گیاه صفر و حداکثر ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. درخصوص تفاوت درجه حرارت شب و روز، بهترین تفاوت مربوط به ۶ تا ۱۰ درجه است. دمای انتخابی برای رزهای گلخانه‌ای با توجه به شدت نور و موقع سال متفاوت است. به طور کلی، دمای گلخانه را در شب ۱۶ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد، در روزهای کم‌آفتاب، ۲۱ درجه سانتی‌گراد و در روزهای با آفتاب زیاد ۲۶ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد انتخاب می‌کنند. در این شرایط دمایی، گل‌ها بعد از حدود ۴۰-۴۸ روز آماده برداشت می‌شوند. دمای حداقل خاک ۱۵ درجه سانتی‌گراد است، که نبایستی از این دما کمتر شود. نور نیز از فاکتورهای محیطی مهم در تولید رز است. گیاه رز به شدت‌های بالای نور احتیاج دارد. به این خاطر بهترین گلخانه از لحاظ پوشش، گلخانه‌های شیشه‌ای است. البته شدت نورهای خیلی زیاد علاوه بر افزایش دمای گلخانه بر روی کیفیت و رنگ گل‌ها تاثیر منفی دارد. البته میزان شدت نور به رقم و درجه حرارت بستگی دارد (باقری، ۱۳۹۴).



شکل ۱۱۳. گیاه رز

در کشورهای مثل هلند گاهاً به دلیل کمی شدت نور در زمستان از نورهای مصنوعی نیز برای برخی واریته استفاده می‌کنند، ولی در ایران به علت آفتاب فراوان در اکثر استان‌ها، نیازی به این کار نیست. معمولاً میزان نور مناسب بین ۳۰ تا ۵۵ هزار لوکس متغیر است. رطوبت نسبی همان رطوبت است، که در هوای اطراف گیاه و محیط گلخانه وجود دارد. این میزان رطوبت که با رطوبت‌سنج قابل اندازه‌گیری است، در حدود ۶۰ درصد می‌باشد (مرادی‌نژاد، ۱۳۹۳). زیادی آن باعث بروز بیماری‌های قارچی مثل لکه سیاه و سفیدک می‌شود و کمبود آن نیز باعث کاهش رشد گیاه و کیفیت محصول می‌شود. تولید رزهای گلخانه‌ای در بسترهای خاکی و یا غیرخاکی انجام می‌گیرد. بسترهای خاکی هزینه اولیه پایینی داشته و نیاز به مدیریت دقیق ندارند، در صورتی که بسترهای غیرخاکی (هیدروپونیک)، هزینه احداث بالاتری داشته و احتیاج به مدیریت دقیق و کنترل دائمی دارند. در صورت سرمایه‌گذاری دائمی و بالا، بهتر است از بسترهای غیرخاکی استفاده گردد. خاک مناسب ترکیبی است از ۶۰ درصد خاک لومی با ۴۰ درصد مواد افزودنی مانند پیت، ماسه، پوسته بذر، پوست درختان، تراشه چوب، خاک اره، کود دامی کاملاً پوسیده، که موجب اصلاح فیزیک خاک می‌گردد. pH بین ۵/۵ تا ۶ محیط مناسبی برای رزهای گلخانه‌ای است.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی اثر نانوذرات نقره بر روی کیفیت و طول عمر گل بریده رز رقم فول هاوس *Rosa hybrid cv. Full house*" به این نتیجه رسیدند، که تیمار نانوذرات نقره با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام موجب تعویق پیری گل‌های بریده رز و افزایش طول عمر آن‌ها شد (باقری، ۱۳۹۴) (شکل ۱۱۴).



شکل ۱۱۴. اثر ساده تیمار بر طول عمر گل بریده رز. حروف غیریکسان بیان‌کننده وجود تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

همچنین تیمار نانوذرات نقره ۱۰۰ پی‌پی‌ام، اثرات نامطلوبی بر روی صفات مورد ارزیابی داشت، به طوری که کمترین طول عمر را به خود اختصاص داد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

۴-۲-۱-۳. پرپوش

نام فارسی: پرپوش

نام علمی: *Vinca Rosea*

تیره: خرزهره (*APOCYNACEAE*)

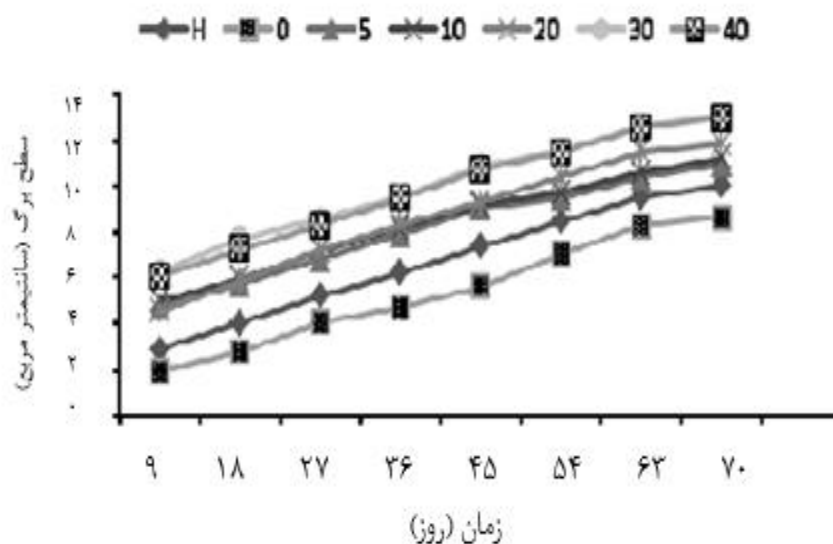
این گیاه کوچک همیشه سبز در حال رشد به ۱ متر بلندی می‌رسد. دارای برگ‌های بیضی‌شکل به طول ۲/۵ تا ۹ سانتی‌متر و عرض ۱ تا ۳/۵ سانتی‌متر به رنگ سبز براق می‌باشد. این برگ‌ها بدون کرک، با دم‌برگ کوتاه به طول ۱ تا ۱/۸ سانتی‌متر است، که در یک زوج متضاد قرار گرفته‌اند (باقری، ۱۳۹۴). دارای گل سفید مایل به صورتی تیره با مرکز قرمز هستند، با یک لوله‌ی پایه ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر و جام گل با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر با پنج گلبرگ. میوه آن یک جفت از فولیکول به طول ۲-۴ سانتی‌متر و ۳ میلی‌متر عرض است (شکل ۱۱۵). دوره گلدهی این گیاه در تابستان است و از اواخر خردادماه تا اولین سرماهای پاییزه امکان‌پذیر است. گل پرپوش مکان آفتابی و دارای خاک مرطوب را می‌پسندد و به خاک گلدانی لومی، آبیاری مرتب و کود مایع در هر ماه نیاز دارد. حداقل دمای قابل تحمل آن ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دوره گلدهی این گیاه در تابستان است و از اواخر خردادماه تا اولین سرماهای پاییزه امکان‌پذیر است. برای تکثیر و پرورش، نشای این گیاه را در بهار خریداری کنید. رشد این گیاه از دانه، به کندی انجام می‌گیرد، اما اگر می‌خواهید خودتان این کار را انجام دهید، در داخل خانه ۱۰ تا ۱۲ هفته قبل از آخرین یخبندان، دانه را در عمق ۶ میلی‌متری بکارید، تا وقتی که دانه‌ها جوانه بزنند، گلدان‌ها را در محلی گرم (۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) قرار دهید. بعد گلدان‌ها را به اتاقی با دمای معمولی ببرید. ۱۲ هفته پس از آخرین یخبندان یعنی وقتی که خاک گرم شد، نهال‌ها را بیرون ببرید. اوایل تابستان نوک ساقه‌ها را بچینید، تا گیاه متراکم‌تر شده و گل‌های آن بیشتر شوند (مرادی نژاد، ۱۳۹۳).



شکل ۱۱۵. گیاه پرپوش

عسگری و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی تحت عنوان "بررسی اثر نانوکود آهن بر رشد برگ، مقدار کربوهیدرات و آنتی‌اکسیدان‌های پرپوش" نانوذرات اکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار تمامی پارامترهای رشد برگ و مقدار کربوهیدرات برگ شده است، ولی هیچ اثری بر روی مقدار پرولین، مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها و تراکم روزنه برگ نداشته است

جدول ۷۷ تا ۷۹ و اشکال ۱۱۶ تا ۱۱۸). در این تحقیق، تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و محیط غذایی هوگلند کامل H به عنوان شاهد (محتوی کلات آهن Fe-EDTA بدون نانوذرات اکسید آهن) بر سطح برگ گیاهان پرپوش ۹ تا ۷۰ بررسی گردید.



شکل ۱۱۶. تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و محیط غذایی هوگلند کامل H به عنوان شاهد (محتوی کلات آهن Fe-EDTA بدون نانوذرات اکسید آهن) بر سطح برگ گیاهان پرپوش ۹ تا ۷۰ روزه نسبت به زمان. هر منحنی نشان دهنده تغییرات سطح برگ در یک غلظت خاص نانوذرات اکسید آهن یا هوگلند می باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۷۷. آنالیز واریانس اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و هوگلند کامل (محتوی کلات آهن) به عنوان شاهد بر شاخص های رشد برگ، تراکم و دهانه روزنه در اپیدرم فوقانی (ad) و تحتانی (ab) برگ گیاه پرپوش ۷۰ روزه. مقایسه برای هر شاخص جداگانه انجام شده است.

منبع تغییر	تعداد برگ	سطح برگ Cm ²	وزن برگ		دهانه روزنه		تراکم روزنه	
			تر	خشک	(ad)	(ab)	(ad)	(ab)
نانو آهن	۰/۴۹ ^{ns}	۴۷/۱۲**	۳۱/۹۸**	۵۰/۹۹**	۳/۰۲*	۱۸/۷۱**	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}

ns: معنی دار نیست * معنی دار در سطح ۵٪ ** معنی دار در سطح ۱٪ (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳)

جدول ۷۸. آنالیز واریانس اثر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و هوگلند کامل (محتوی کلات آهن) به عنوان شاهد بر میزان پرولین، کربوهیدرات، IC₅₀، درصد مهار رادیکال آزاد ۱٪ و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز SOD، گایاگول پراکسیداز GPX و کاتالاز CAT پرپوش ۷۰ روزه. مقایسه برای هر شاخص جداگانه انجام شده است.

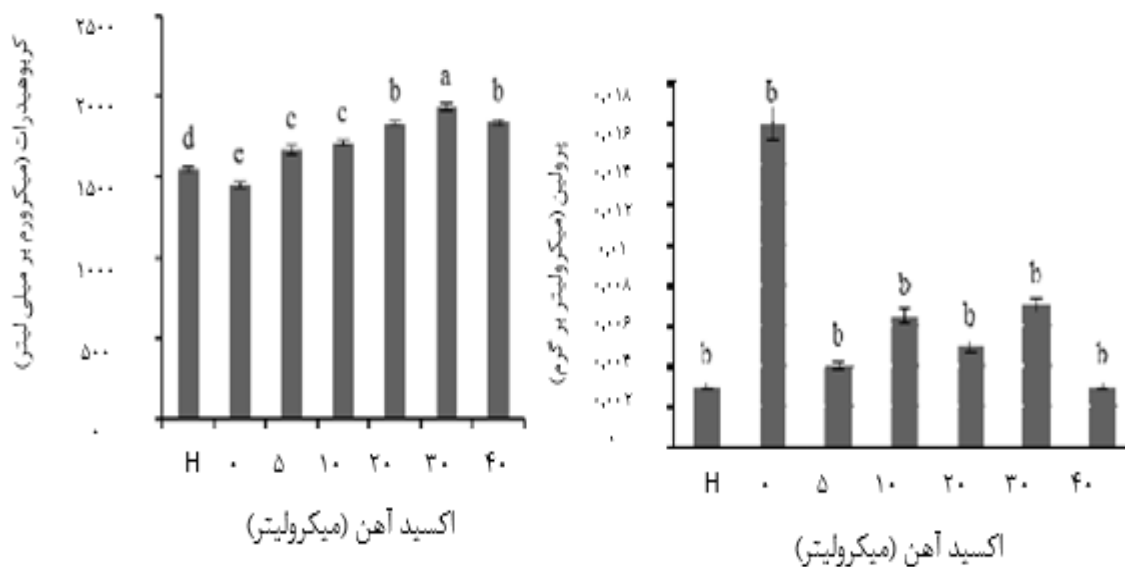
منبع تغییر	پرولین	کربوهیدرات	IC ₅₀	I %	SOD	GPX	Catalase
نانو آهن	۶/۲۲*	۹۱/۷۶**	۵/۴۹*	۱۱/۶۵*	۶/۲۰*	۸/۳۴**	۱۲/۰۱ ^{ns}

ns: معنی دار نیست * معنی دار در سطح ۵٪ ** معنی دار در سطح ۱٪ (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳)

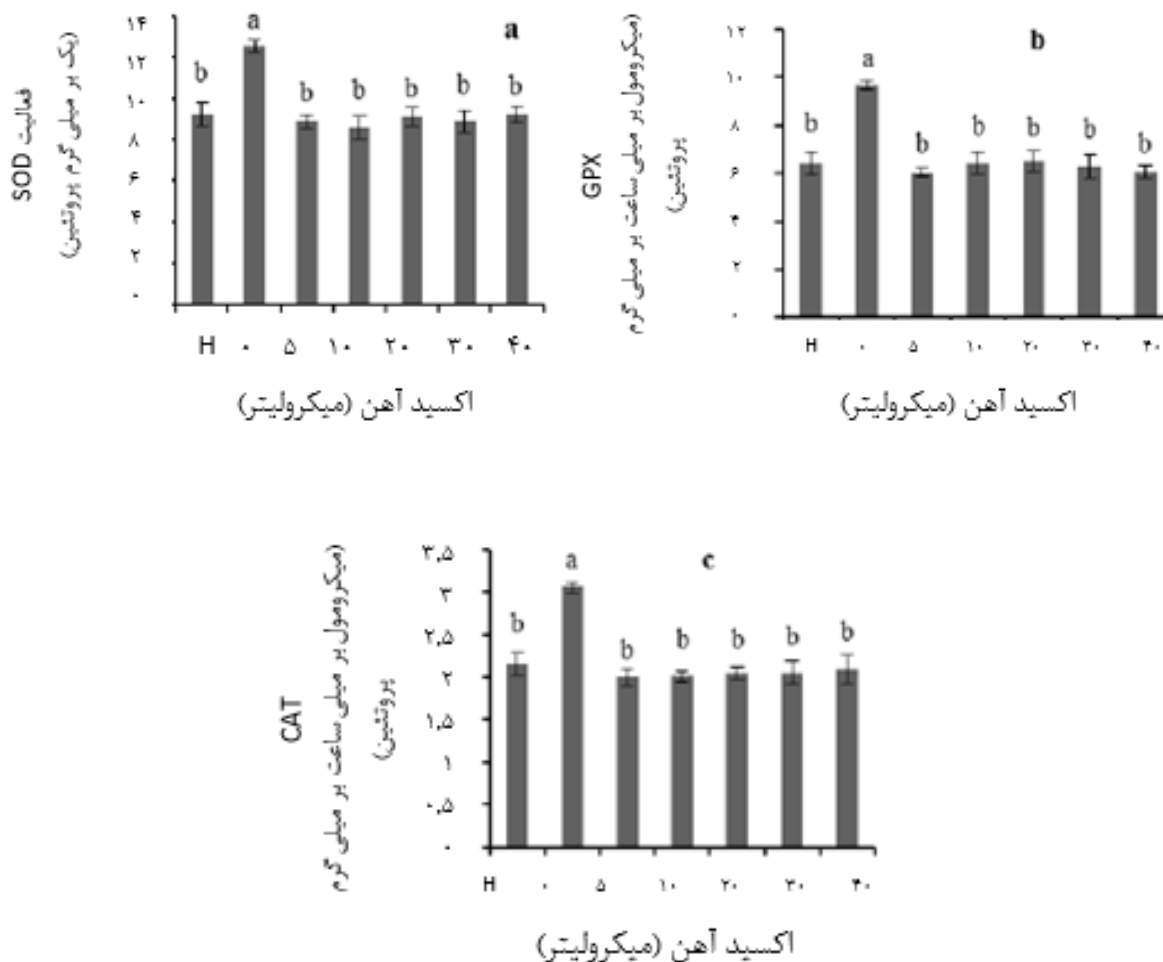
جدول ۷۹. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و محیط هوگلند کامل (محتوی کلات آهن) به عنوان شاهد بر وزن تر برگ LFW و وزن خشک برگ LDW (گرم)، گشودگی دهانه روزنه SO (μm) در اپیدرم فوقانی ab و تحتانی ad برگ، توانایی مهار رادیکال آزاد I% و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل IC₅₀(mg.ml) گیاهان پرپوش ۷۰ روزه. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن است. هر عدد جدول میانگین ۳ تکرار \pm SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است.

شاخص	شاهد	۰	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
LFW	۰/۳۷ c \pm ۰/۰۵	۰/۲۳ d \pm ۰/۰۲	۰/۴۶ bc \pm ۰/۰۴	۰/۵۵ b \pm ۰/۰۱	۰/۵۶ b \pm ۰/۰۲	۰/۷۷ a \pm ۰/۰۶	۰/۷۲ a \pm ۰/۰۴
LDW	۰/۰۴۰ d \pm ۰/۰۰۱	۰/۰۲۴ c \pm ۰/۰۰۲	۰/۰۵۱ c \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۶۳ b \pm ۰/۰۰۱	۰/۰۶۵ b \pm ۰/۰۰۲	۰/۰۸۳ a \pm ۰/۰۰۴	۰/۰۸۱ a \pm ۰/۰۰۱
SO(ab)	۱۰/۱۶ a \pm ۰/۵۴	۷/۹۷ b \pm ۰/۲۳	۱۰/۳۹ a \pm ۰/۶۲	۱۰/۲۴ a \pm ۰/۶۴	۱۰/۳۵ a \pm ۰/۴۶	۱۰/۳۸ a \pm ۰/۶۸	۱۰/۵۷ a \pm ۰/۲۸
SO(ab)	۱۱/۸۶ a \pm ۰/۲۸	۹/۲۳ b \pm ۰/۱۰	۱۱/۷۹ a \pm ۰/۳۰	۱۱/۵۸ a \pm ۰/۱۶	۱۲/۰۰ a \pm ۰/۲۱	۱۱/۹۱ a \pm ۰/۳۱	۱۲/۰۸ a \pm ۰/۱۱
I%	۶/۵۶ b \pm ۰/۲۹	۱۰/۱۵ a \pm ۰/۱۹	۶/۷۳ b \pm ۰/۳۲	۶/۶۶ b \pm ۰/۱۴	۶/۷۷ b \pm ۰/۲۴	۶/۶۹ b \pm ۰/۳۹	۶/۸۱ b \pm ۰/۴۳
IC ₅₀	۱۶/۱۸ a \pm ۰/۷۵	۱۲/۳۴ b \pm ۰/۸۰	۱۶/۹۱ a \pm ۰/۹۲	۱۶/۴۲ a \pm ۰/۶۱	۱۶/۷۱ a \pm ۰/۳۵	۱۶/۵۲ a \pm ۰/۲۹	۱۶/۸۰ a \pm ۰/۸۳

نتایج نشان می‌دهد، که نانوذرات اکسید آهن باعث افزایش معنی‌داری تمامی پارامترهای رشد برگ و مقدار کربوهیدرات برگ در مقایسه با گیاهان کنترل شده است، ولی هیچ اثری بر مقدار پرولین و مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها و تراکم روزنه برگ نداشته است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۱۷. تاثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و محیط غذایی هوگلند H کامل به عنوان شاهد (محتوی کلات آهن Fe-EDTA بدون نانوذرات اکسید آهن) بر میزان پروکلین و کربوهیدرات گیاه پرپوش ۷۰ روزه. خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیر مشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن بر اساس آزمون دانکن (سطح ۰.۰۱) می‌باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۱۸. تاثیر سطوح مختلف نانوذرات اکسید آهن (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میکرولیتر) و محیط غذایی هوگلند H کامل به عنوان شاهد (محتوی کلات آهن بدون نانوذرات اکسید آهن) بر میزان فعالیت آنتی اکسیدان های گیاه پریش ۷۰ روزه. (A) سوپراکسید دیسموتاز، (b) گایاکول پراکسیداز و (C) کاتالاز. خطوط نشان دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیر مشابه نشان دهنده معنی دار بودن بر اساس آزمون دانکن می باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).

بیشترین مقدار پارامترهای رشد برگ در سطح ۳۰ میکرولیتر نانوذرات اکسید آهن به دست آمد و کمترین مقدار این پارامترها، در سطح صفر میکرولیتر نانوذرات اکسید آهن حاصل گردید. از این جهت غلظت صفر برای گیاه تنش محسوب می شود. بنابراین استفاده از کود نانوذرات اکسید آهن به دلیل کاهش اثرات مضر که کودهای شیمیایی در محیط دارند، پیشنهاد می شود (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).

- اطمینان فر، م. ر. خضرای، ح. ع. ۱۳۹۰. اصول فیزیکی میکروسکوپی الکترونیکی - آشنایی با SEM, TEM و AEM. انتشارات جهاد دانشگاهی. ۲۲۸ ص.
- ایوانی، ر. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر ذرات دی اکسید سیلیسیم نانو و غیرنانو بر تحمل به تنش کم‌آبی گیاهچه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.). پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- باقری، ع.، نام آور، ع. و فاضلی، س. ا. م. ۱۳۹۴. آموزش جامع باغبانی. انتشارات فرهنگ نور. ۲۵۲ ص.
- بهداد، آ. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر آللوپاتی درمنه خراسانی (*Artemisia khorassanica* Podl) در مراحل مختلف رشد و نمو بر جوانه‌زنی، رشد و برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاه بروموس کوه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- بهنام، ح. ۱۳۹۲. اثر ذرات نانو و غیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد جوانه‌زنی گیاه سرخارگل تحت تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربت‌حیدریه.
- پیوندی، م.، پرنده، ه. و میرزا، م. ۱۳۹۰. مقایسه‌ی تاثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ریحان (*Ocimum basilicum*). مجله‌ی تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی و مولکولی، ۱ (۴): ۱-۱۱.
- ثقه الاسلامی، م. ج.، موسوی، س. غ. ر.، فیضی، ح. و برهمند، ع. ا. ۱۳۹۱. بررسی برخی ویژگی‌های جوانه زنی بذر زنیان تولید شده تحت تاثیر تنش خشکی، نانوقره و میدان مغناطیس، مجموعه مقالات دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، ۴ تا ۵ آبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
- جان محمدی، م.، آل ابراهیم، م. ت.، راشد محصل، م. ح.، محمدی، ح.، کازرونی، ا. و مجد، ر. ۱۳۸۴. اثر عصاره آبی تلخه (*Acroptilon repens* L.) بر جوانه‌زنی و رشد اولیه ماش (*Vigna radiata* L.). مجموعه مقالات اولین همایش ملی حبوبات، ۲۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد.
- چهره‌نگار، ف. ۱۳۸۲. نگاهی به ذرت دانه‌ای، انتشارات آوای مهر.
- چاکرالحسینی، م. ر.، رونقی، ع. مفتون، م. و کریمیان، ن. ع. ۱۳۸۱. واکنش سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶: ۹۱-۱۰۱.
- حاجی شریف، ا. ۱۳۸۶. اسرار گیاهان دارویی، تهران، انتشارات حافظ نوین.
- صادق حسنی، ص و سمیعی، ل. ۱۳۸۷. روش دینامیک تفرق نوری برای مطالعه اندازه نانوذرات. ماهنامه فناوری نانو، ۷ (۱۳۰): ۲۸۷-۲۸۴.
- حمزه‌پور، ن.، ملکوتی، م. ج. و مجیدی، ع. ۱۳۸۹. برهمکنش عناصر روی، آهن و منگنز در اندام‌های مختلف گندم. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۴ (۱): ۸-۱.
- خیامیم، س.، مظاهری، د.، بنایان اول، م.، گوهری، ج و جهانسوز، م. ر. ۱۳۸۶. بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و تکنولوژیک چغندرقد در سطوح مختلف تراکم و کود نیتروژن. مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۶۰: ۲۱-۲۹.

- خیرخواه، م. ۱۳۹۰. ارزیابی ویژگی‌های اکولوژیکی گونه کاکوتی چندساله (*clinopodioides Lam Ziziphora*) در عرصه‌های طبیعی و امکان‌سنجی اهلی‌سازی آن در نظام زراعی کم‌نهاد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- دانشور، م. ح. ۱۳۹۴. پرورش سبزی. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز. ۴۷۰ ص.
- دیوبند، ل.، بهزاد، م. و برومندنسب، س. ۱۳۹۱. بررسی کارایی نانوذرات تهیه شده از خاکستر برگ سدر در حذف سرب از محیط‌های آبی. *فصلنامه بهداشت محیط*، ۵ (۱): ۱-۱۵.
- رحیمی، ز.، کافی، م. ۱۳۸۹. مقایسه تاثیر سطوح مختلف شوری و سیلیسیوم در تولید زیست‌توده، مقدار سدیم و پتاسیم برگ و ریشه خرفه (*Portulaca oleracea L.*). *نشریه آب و خاک*. ۲۴ (۲): ۳۶۷ - ۳۷۴.
- رضوانی، ن. و سروش‌زاده، ع. ۱۳۹۳. تاثیر نانوقره بر خصوصیات رشد رویشی زعفران. *نشریه زراعت و فناوری زعفران*، ۲ (۱): ۹۱-۱۰۴.
- سیم‌چی، ع. ۱۳۸۷. آشنایی با نانوذرات (خواص، روش‌های تولید و کاربرد). چاپ اول انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران. ۲۸۰ ص.
- صالحی، م. و تمسکنی، ف. ۱۳۸۷. تاثیر نانوسید در تیمار بذری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم تحت تنش شوری. خلاصه مقالات اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران، ۲۳ تا ۲۴ آبان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- طوسی، ا. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر محلول‌پاشی نانوذره منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد ذرت علوفه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- عاقلی، ن.، علی اکبرخانی، ز.، بهنام، ح. و فیضی، ح. ۱۳۹۵. تحریک جوانه‌زنی بذر خارمریم (*Silybum marianum L*) با استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و میدان مغناطیسی. نخستین همایش ملی گیاهان دارویی معطر و ادویه‌ای، ۱ اردیبهشت، دانشگاه گنبد کاووس.
- عظیمی، ر.، حشمتی، غ.، کیانیان، م. ک. و فیضی، ح. ۱۳۹۷. تاثیر نانوذرات دی اکسید سیلیسیم بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه مرتعی برموس کوه‌ای داغی (*Bromus kopetdaghensis Drobov*). *فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم*، ۸ (۱): ۹-۱.
- عزیز، گ. ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی و برگ‌زدایی بر برخی خصوصیات کمی آویشن شیرازی، کاکوتی، آویشن باغی و کلپوره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عسگری، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر نانوکود آهن بر رشد برگ، مقدار کربوهیدرات و آنتی‌اکسیدان‌های پرپوش. *مجله فرایند و کارکرد گیاهی*، ۳ (۷): ۴۳-۵۶.
- عماد، م. ۱۳۷۸. پراکنش گونه‌های گیاهان دارویی و صنعتی جنگلی و مرتعی ایران. موسسه توسعه روستایی ایران. ۳۱۲ ص.
- عماد، مهدی، ۱۳۸۰. شناسایی گیاهان دارویی و صنعتی جنگلی و مرتعی و موارد مصرف آن‌ها. موسسه توسعه روستایی ایران. ۱۲۲ ص.

- فاضل‌زاده، س.ع. ۱۳۹۶. اصلاح نباتات در گیاهان زراعی. انتشارات پوران پژوهش. ۴۴۲ ص.
- فغانی، ف. ز. ۱۳۹۶. بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی و مراحل فنولوژیکی محصول گندم و پنبه در گرگان. پایان نامه ارشد، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان.
- فروتن، س. م.، شکیب، ا. عابدی پورقاز، ی. و قنبری، ح. ۱۳۹۳. تولید و پرورش سبزی. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران. ۲۲۷ ص.
- فیضی، ح.، رضوانی مقدم، پ.، فتوت، ا. و شاه طهماسبی، ن. ۱۳۹۰. واکنش بذر گندم به غلظت‌های مختلف نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) در مقایسه با ذرات غیرنانو. مجموعه مقالات دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، ۴ آبان، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- فیضی، ح.، رضوانی مقدم، پ. و برهمند، ع. ا. ۱۳۹۰. اثر کاربرد نانوذرات نقره، میدان مغناطیسی، باریوم و لیتیوم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های زراعی گندم. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۴ (۲): ۲۴۸-۲۳۹.
- فیضی، ح.، رضوانی مقدم، پ.، صحابی، ح. و امیرمادی، ش. ۱۳۹۱. تحریک جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوجه فرنگی با استفاده از میدان مغناطیسی و خیساندن بذر. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۶ (۳): ۳۴۹-۳۴۳.
- فیضی، ح. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۹۲. اثرات غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی اکسید تیتانیوم بر جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه رازیانه. مجموعه مقالات نخستین همایش ملی کاربرد گیاهان دارویی در سبک زندگی و طب سنتی، ۶ آذر، دانشگاه تربت حیدریه.
- قاسمی سراب بادیه، ف.، فاضلی، آ.، آرمینیان، ع.، صحرايي، ر. و صفری، ه. ۱۳۹۶. ارزیابی تاثیر نانوذرات نقره بر شاخص‌های سیتوژنتیکی در شش رقم جو زراعی. *مجله پژوهش‌های سلولی و ملکولی*، ۳۰ (۱): ۶۵-۵۵.
- قاسمی فسایی، ر.، رونقی، ع.، مفتون، م. و کریمی‌ان، ن. ۱۳۸۵. تاثیر آهن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی دانه ژنوتیپ‌های سویا. *مجله کشاورزی*، ۲۹: ۱-۱۲.
- کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. چاپ اول دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۴۷۲ ص.
- کرمی مهربان، س. ۱۳۹۲. بررسی بیوشیمیایی و ژنتیکی نانوذرات نقره بر روی گیاه گوجه فرنگی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم پایه.
- کریمی، ه. ۱۳۸۷. گیاهان زراعی. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۷۱۶ ص.
- کریمی، ز. ۱۳۹۳. اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف نانو کود آهن و کود کلات آهن معمولی بر جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاه ماش. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته سیستماتیک اکولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۸۵. بکارگیری روش آبیاری قطره‌ای در کشت پسته از دیدگاه مسائل اقتصادی و اجتماعی در مناطق خشک و نیمه خشک (منطقه مورد مطالعه، سیرجان). *مجله علمی تاغ دانشگاه تهران*، ۸ (۱): ۳۹-۲۹.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۸۹. بررسی گیاهان بومی و معرفی گونه‌های جدید جهت احیای سامانه محیطی و کنترل فرسایش باد (مطالعه موردی: اراضی جنوبی دریاچه حوض السلطان قم). مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، ۲۷ بهمن، یزد.

- کیانیان، م.ک.، ۱۳۸۹. کنترل بیابان‌زایی و احیای اکوسیستم‌های خشک با هدف توسعه پایدار به کمک ترسیب کربن (مطالعه موردی: اراضی حاشیه دریاچه نمک کاشان). مجموعه مقالات دومین همایش ملی دانشجویی مرتع، آبخیز، بیابان، ۴ اسفند، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- کیانیان، م.ک.، ۱۳۹۱. بررسی خاصیت آللوپاتی در گیاه یولاف. مجموعه مقالات کنفرانس ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و تولید ملی، ۱۵ آذر، دانشگاه ملایر.
- کیانیان، م.ک.، ۱۳۹۱. اهمیت خاک در کشاورزی ارگانیک، مجموعه مقالات کنفرانس ملی مدیریت جامع حوزه های آبخیز و تولید ملی، ۱۵ آذر، دانشگاه ملایر.
- کیانیان، م. ک. ۱۳۹۱. سرمایه‌دگی و یخبندان و راه‌های مبارزه با آن برای محصولات باغی و کشاورزی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، ۲۰ اسفند، سالن همایش‌های وزارت کشور.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی عوامل بیوفیزیکی موثر بر تولید محصولات کشاورزی و آسیب‌پذیری محیط‌های روستایی. انتشارات دانشگاه سمنان، سمنان. ۱۳۳ ص.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۲. ترسیب کربن در خاک‌های مناطق خشک، انتشارات دانشگاه سمنان، سمنان. ۲۶۹ ص.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۲. دستیابی به مدیریت پایدار منابع طبیعی از طریق کاهش اثرات خشکسالی و ارتقاء وضع معیشتی جوامع بومی و محلی. مجموعه مقالات نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری در ایران، ۸ آبان، دانشگاه یزد.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۲. مدیریت و تکنیک‌های مهار بیابان‌زایی در ایران. نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، ۸ تا ۹ آبان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۲. بررسی عوامل محیطی موثر بر استقرار و گسترش گونه‌های گیاهی مناطق خشک با استفاده از آنالیز چندمتغیره (مطالعه موردی: اراضی جنوبی دریاچه حوض السلطان قم). سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۸ تا ۱۰ بهمن، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی کشت گیاهان روزبلند و روزکوتاه با تاکید بر عوامل اقلیمی با استفاده از GIS در استان همدان). اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، ۱۳ تا ۱۴ شهریور، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف مس خاک بر میزان تجمع عنصر روی در اندام‌های مختلف درخت *Eucalyptus camadulensis*. دومین همایش ملی بیابان، ۲۰ تا ۲۱ آبان، دانشگاه سمنان.
- کیانیان، م.ک. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف سرب خاک بر میزان تجمع عنصر کادمیوم در اندام‌های مختلف درخت *Eucalyptus camadulensis*. دومین همایش ملی بیابان، ۲۰ تا ۲۱ آبان، دانشگاه سمنان.
- گوهری، ج. و کلارستاقی، ک. ۱۳۷۲. بررسی برخی ویژگی‌های تغذیه چغندر قند. گزارش پژوهشی. موسسه تحقیقات چغندر قند. کرج.
- مرادی‌نژاد، ف. ۱۳۹۳. اصول باغبانی، انتشارات فرهنگ جامع. ۳۷۰ ص.
- نادری، ش. و محبت، ع. ۱۳۷۶. ارزیابی بروز ژن پروتئین پوششی ویروس‌های گیاهی در گیاهان انتقال ژن یافته شبدر سفید. پژوهش و سازندگی، ۳۴: ۶۸-۷۳.

- نادری ش. و محبت، ع. ۱۳۷۶. استراتژی‌های تولید گیاهان انتقال ژن یافته مقاوم به ویروس‌ها. پژوهش و سازندگی، ۳۴: ۶۵-۶۲.
- نادری، ش. و محبت، ع. ۱۳۷۷. تحقیقات بیوتکنولوژی در راستای افزایش بازده جنگل‌ها و مراتع. رهیافت، ۱۹: ۵۴-۵۸.
- ناصری، م.، آروئی، ح.، نعمتی، س. ح. و کافی، م. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد سیلیکات سدیم بر صفات کمی و کیفی شنبلیله در شرایط شوری (*Trigonella foenum graecum* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- نجف‌زاده، ع. ۱۳۸۷. دیدگاهی بر فناوری نانو "مجموعه مقالات". چاپ اول محقق اردبیلی. ۵۳۶ ص.
- نقدی‌آبادی، ح. ع.، یزدانی، د.، نظری، ف.، و ساجد، م. ع.، ۱۳۸۱. تغییرات فصلی عملکرد و ترکیبات اسانس آویشن در تراکم‌های مختلف کاشت. فصلنامه گیاهان دارویی، ۵: ۵۱-۵۶.
- نقش، ن.، نیکبخت، ز. و دودی، م. ۱۳۹۱. اثرات همافزایی نانوذرات مس و اسانس روغنی گیاه بادرنجبویه در مهار رشد باکتری استافیلوکوکوس آرنوس مقاوم، مجله علمی پژوهشی فیض. ۱۶ (۷): ۶۰۲-۶۰۱.
- مظاهری‌نیا، س. ۱۳۸۹. مقایسه اثر اکسید آهن نانو و معمولی همراه با کمپوست زیاله شهری گرانوله گوگردی بر آهن و برخی عناصر غذایی دیگر در خاک و گیاه گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- مظفریان، و. ۱۳۷۵. فرهنگ نام‌های گیاهان ایران. فرهنگ معاصر، تهران. ۷۴۰ ص.
- مقیمی، ج. ۱۳۸۴. معرفی برخی گونه‌های مهم مرتعی مناسب برای توسعه و اصلاح مراتع ایران. چاپ اول انتشارات آرون، تهران. ۶۷۲ ص.
- میرحیدر، ح. ۱۳۸۵. معارف گیاهی. چاپ پنجم دفتر نشر فرهنگ اسلامی، تهران. ۵۶۰ ص.
- وطن‌خواه دولت‌سرا، ج. ۱۳۸۳. نانوتکنولوژی علم پایه و تکنولوژی نوظهور. چاپ چهارم انتشارات طراح تهران، تهران، ۳۴۶ ص.
- یزدانی، ف. ۱۳۹۶. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات مدرسان شریف، تهران. ۲۸۸ ص.

- Akbari, B., Pirhadi Tavandashti, M., and Zandrahimi, M. 2011. Particle Size Characterization of Nanoparticles- a Practical Application. *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*, 8 (2) : 48-56.
- Adhikari, T., Kundu, S., SubbaRao, A., 2013. Impact of SiO₂ and Mo Nano Particles on Seed Germination of Rice (*Oryza Sativa L.*). *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4:809–816.
- Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W., and Kaufman, P.B. 1998. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa L.*). *Monitored By Electrolyte Leakage. Plant Production Science*, 1:96–103.
- Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F., and Kaufmann, B., 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa L.*). *Crop Production and Improvement Technology*, 34: 225–234.
- Ahmad, A., Awan G.H., Aziz S., 2007. Synthesis and applications of TiO₂ nanoparticles. *Pakistan engineering congress*, 676:405–407.
- Ahmed, M., U. Qadeer, and M.A. Aslam, 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal Agricultural Research*, 6:594–607.
- Aladjadjiyan, A., 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *Journal of Central European Agriculture*, 8:369–380.
- Alcaraz-Lopez, C., Botia M., Alcaraz C. F., and Riquelme F., 2004. Effects of calcium-containing foliar sprays combined with titanium and algae extract on plum fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 713–729.
- Al-Aghabary, K., Z. Zhu and Q. Shi. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and anti-oxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal Plant Nutrition*, 27: 2101-2115.
- Alcaraz-López C., Botía M., Alcaraz C. F., and Riquelme F., 2005. Induction of fruit calcium assimilation and its influence on the quality of table grapes. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3:335–343.
- Alizadeh, O., Majidi, I., Nadian, H., Nour- Mohammadi, G., Amerian, M., 2007. Effect of water stress and nitrogen rates on yield and components of Maize (*Zea mays L.*). *Journal of Agricultural*, 13(2): 427–434.
- Arbabian, S., Majd A., Flahian F., and H. Samimi, 2001. The effect of magnetic field on germination and early growth in tree varieties *Arachis hypogaea*. *Journal of Biological Science*, 2:3227–3535.
- Asli, S., Neumann P.M., 2009. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. *Plant Cell Environment*, 32:577–584.
- Avinash, C.P., Sanjay S.S., Yadav R.S., 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*, *Journal of Experimental Nanoscience*, 5:488–497.

- Azimi, R., Feizi, H., Khajeh Hosseini, M., 2013. Can Bulk and Nanosized Titanium Dioxide Particles Improve Seed Germination Features of Wheatgrass (*Agropyron desertorum*), *Not Scientia Biologicae*, 5(3):325–331.
- Azimi, R., Jankju Borzelabad, M., Feizi, H., and Azimi, A. 2014. Interaction of SiO₂ nanoparticles with seed prechilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum L.*). *Polish Journal of Chemical Technology*, 16 (3): 25.
- Azimi, R., Heshmati, G. A., Kianian M. K., and Hossein Jafari, S., 2016. Investigation Poterium sanguisorba Seeds Germination Characteristics under Thermal Treatments Influence for Establish Pasture, *Journal of Rangeland Science*, 6 (1): 53-62
- Azimi, R, Heshmati G. A., and Kavandi, Reza. 2016. Evaluation of SiO₂ Nanoparticles Effects on Seed Germination in *Astragalus squarrosus*, *Journal of Rangeland Science*, 6 (2): 135- 143.
- Azimi, R., Heshmati G. A., and Kianian, M. K. 2018. Effects of Drought Stress and Mycorrhiza on Viability and Vegetative Growth Characteristics of *Ziziphora clinopodioides Lam.*, *Journal of Rangeland Science*, 8 (3): 253- 263.
- Azimi, R., Jafari, S. H., Kianian, M.K., Khaksarzade, V., and Amini. A. 2016. Studying Arbuscular Mycorrhiza Symbiotic Effects on Establishment and Morphological Characteristics of *Bromus kopetdaghensis* in Cadmium Contaminated Soil. *Taiwan Water Conservancy*, 64(3): 82-91.
- Azimi, R., Farzam, M., Pessarakli, M., and Kianian, M. K. 2018. Mycorrhiza inoculation effects on seedling establishment, survival and morphological properties of *Ziziphora clinopodioides Lam.* *Journal of Plant Nutrition*, 41(20): 2692–2704
- Bailey, R. 2003. The smaller the better (long but interesting), Reason Newsletter, 15pp.<http://reason.com/archives.2003.12.01.the-smaller-the-better>.
- Balastra, M. L. F., Perez, C. M., Juliano, B. O., and villreal, P. 1989. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hult. *Canadian Journal of Borany*, 45:2356-2363.
- Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A., and Punes, V. 2009. Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. *Chemosphere*, 75: 850–857.
- Bedrosian, A.J., and Hanna W.J., 1966. Trace element relationships in New Jersey soils. *Soil Science*, 101:50–56.
- Berahmand, A.A., Ghafariyan Panahi A., Sahabi H., Feizi H., Rezvani Moghaddam P., Shahtahmassebi N., Fotovat A., Karimpour H., and Gallehgir O. 2012. Effects silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays L.*). *Biological Trace Element Research*, 149:419–424
- Bilalis, D., Katsenios N., Efthimiadou A., Efthimiadis P., and Karkanis A. 2012. Pulsed electromagnetic fields effect in oregano rooting and vegetative propagation: a potential new organic method. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, 62: 94–99.

- Boonyanitipong, L. P., Kositsup B., Kumar P., Baruah S., and Dutta J. 2011. Toxicity of ZnO and TiO₂ nanoparticles on germinating rice seed. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 1:282–285.
- Bukvic, G., Antunovic, M., Popovic, S., and Rastija, M., 2003. Effect of P and Zn fertilization on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). *Plant Soil Environ*, 49: 505–510.
- Byrne, S. D. H., and Rouse R. E., 1994. Greenhouse screening of citrus rootstocks for tolerance to bicarbonate-induced iron chlorosis. *HortScience*, 29:113–116.
- Cakmak, T., Dumlupinar, R., and Erdal, S. 2009. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics*, 30:1–10.
- Carvajal, M., and Alcaraz C. F. 1998. Why titanium is a beneficial element for plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(4):655–664.
- Casals, E., Vazquez-Campos S., Bastus N.G., and Puntès V. 2008. Distribution and potential toxicity of engineered inorganic nanoparticles and carbon nanostructures in biological systems. *Trends in Analytical Chemistry*, 27:672–683
- Celik, O., Atak, C., and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in *Paulownia* node cultures. *Journal Central European Agriculture*, 9:297–304.
- Chao, L., and Walker D. R. 1967. Effect of a magnetic field on the germination of apple, apricot, and peach seeds. *Horticultural Science*, 2:152–153.
- Chen, W., Yao, X., Cai, K., and Chen, J. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142(1): 67-76.
- Choi, O., Kanjun Deng, K., Kim, N., Ross, L., Surampalli, R.Y., and Hu, Z. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. *Water Research*, 42(12): 3066-3074.
- Datnoff, L. E., Deren, C. W., and Snyder, G. H. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection*, 16:525–531.
- De Souza, A., Garcí, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porrás, E., and Licea, L. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. *Bioelectromagnetics*, 27:247–257.
- Dhawi, F., and Al-Khayri J. M. 2009. Magnetic fields induce changes in photosynthetic pigments content in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings. *The Open Agriculture Journal*, 3:1–5.
- Dhawi, F. J., Al-Khayri, M., and Hassan., E. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) *Res. J. Agric. Biol. Sciences*, 5:161–166.
- DietzK., J., and Herth S. 2011. Plant nanotoxicology. *Trends in Plant Science*, 16:582–589.

- Doshi, R., Braida W., Christodoulatos C., Wazne, M., and O'Connor G. 2008. Nano-aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plants and soil communities. *Environmental Research*, 106:296–303.
- Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., and Tsuji, W. 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal Plant Nutrition*, 31:355–365.
- DuarteDiaz, C. E., Riquenes J. A., Sotolongo, B., Portuondo, M. A., Quintana, E. O., and Perez, R. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Horticulture Abstracts*, 69:494.
- DuarteDiaz, C. E., Riquenes, J. A., Sotolongo, B., Portuondo, M.A., Quintana, E.O., and Perez, R. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Horticulture Abstracts*, 69:494.
- Dumon, J. C., and Ernst W. H. O. 1988. Titanium in plants. *Journal of Plant Physiology*, 133: 203–209
- Drexler, E. 1986. Engines of Creation the Coming Era of Nanotechnology. Massachusetts Institute of Technology.
- Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y., and Joo, S. W. 2014. Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letter*, 9(1): 393.
- El-Temsah, Y. S., and Joner, E. J. 2012. Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil. *Environmental Toxicology*, 27:42–49.
- Eneji, E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., An, P., Hattori, T., and Tsuji, W. 2005. Effect of calcium silicate on growth and dry matter yield of *Chloris gayana* and *Sorghum sudanense* under two soil water regimes. *Grass Forage Science*, 60:393–398.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annuals Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50: 641–664.
- Elawad, S. H., Gascho, G. J., Street, J. J. 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. 1. *Growth and yield. Agron. J*, 74: 781–783.
- Epstein, E. 1991. The anomaly of silicon in plant biology. *proc. natl. acad. sci. USA*, 91:11–17.
- Esitken, A., and Turan, M. 2004. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of Strawberry (*Fragaria ananassa cv. Camarosa*). *Soil and Plant Sci*, 54:135–139.
- Esmaeeli, M., Kherir Fam, M., Deilam, H., Akbarlo, M., and Sabori, H. 2011. Effects of cutting the amount of production two species of pasture *Festuca ovina*, *Agropyron elongatum*. *Journal of Range*, 1:72–81.
- Faqenabi, F., Tajbakhsh, M., Bernooshi, I., Saber-Rezaii, M., Tahri, F., Parvizi, S., Izadkhan, M., Hasanzadeh Gorttapeh, A., and Sedqi, H. 2009. The effect of magnetic field on

growth, development and yield of safflower and its comparison with other treatments. *Research Journal. of Biology Science*, 4:174–178.

- Fatemi, R., Kahrarian, B., Ghnbari, A., and Valizadeh, M. 2006. The Evaluation of Different Irrigation Regimes and Water Requirement on Yield and Yield Components of Corn. *Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University*, 12(1), 133–141.
- Feizi, H., Berahmand, A., Rezvani Moghaddam, P., Fotovat, A., Tahmasbi, N. 2010. Application Magnetic Field and Silver Nano Particles in growth and yield of maize. National Conference on Nano Science and Nano Technology, February 16-18, Yazd.
- Feizi, H., Sahabi, H., Rezvani Moghaddam, P., Shahtahmassebi, N., Gallehghir, O., Amirmoradi, S. 2012. Impact of intensity and exposure duration of magnetic field on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*). *Notulae Scientia Biologicae*, 4(1):116–120.
- Feizi, H., Jahedi Pour, S., and Hassanzadeh Rad, K. 2013. Biological Response of Muskmelon (*Cucumis melo L.*) to Magnetic Field and Silver Nanoparticles, *Annual Review & Research in Biology*, 3(4): 794–804.
- Feizi, H., Amirmoradi, S., Abdollahi, F., and Jahedi Pour, S. 2013. Comparative Effects of Nanosized and Bulk Titanium Dioxide Concentrations on Medicinal, *Plant Salvia officinalis L.*, *Annual Review & Research in Biology*, 3(4): 814–824.
- Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L., Rezvani Moghaddam, P. 2013. Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare Mill*). *Chemosphere*, 91: 506–511.
- Feitston, J. S., Pyne, J., and Kim, L., 1992. *thuringiensis*: insects and beyond. *Biotechnology, Bacillus*, 10: 271–275.
- Florez, M., Carbonell M. V., and Martinez, E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental Experimental Botany*, 59:68–75.
- Foltete, A. S., Masfaraud, J. F., Bigorgne, E., Nahmani, J., Chaurand, P., Botta, C., Labille, J., Rose, J., Féraud, J. F., Cotelle, S. 2011. Environmental impact of sunscreen nanomaterials: Ecotoxicity and genotoxicity of altered TiO₂ nanocomposites on *Vicia faba*. *Environmental Pollution*, 159: 2515–2522.
- Fredrick, J. R., Below, F. E., Hesketh, J. D. 1990. Carbohydrate, nitrogen and dry matter accumulation and partitioning of maize hybrids under drought stress. *Ann. Bot.*, 66: 407–415.
- Gao, F., Hong, F., Liu, C., Zheng, L., Su, M., Wu, X., Yang, F., Wu, C., and Yang, P. 2008. Mechanism of nano-anatase TiO₂ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. *Biological Trace Element Research*, 111: 239–253.
- Ghorbanpour, A., Mami, Y., Ashournezhad, M., Abri, F., Amani, M. 2011. Effect of salinity and drought stress on germination of fenugreek. *African Journal of Agricultural Research*, 24:5529–5532.

- Gong, H., Chen, K., Zhao, Z., Chen, G., Zhou, W. 2008. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*, 52(3): 592–596.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., and Zhang, C. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*, 26:1055–1063.
- Garcia, R. F., and Arza, P. L. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: theoretical considerations. *Bioelectromagnetics*, 22:589–595.
- Grewal, H. S., Williams, R. 2000. Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *Journal Plant Nutrition*, 23: 942–962.
- Gubbels, G. H. 1982. Seedling growth and yield response of flax, buckwheat, sunflower and field pea after preceding magnetic treatment. *Canadian Journal of Plant Science*, 62:61–64.
- Guha, M. M., and Mitchell R. L. 1965. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. I. Sampling techniques. *Plant Soil*, 23:323–338.
- Guha, M. M., and Mitchell R. L. 1966. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes. *Plant Soil*, 24:90–112.
- Gunes, A., Kadioglu, Y. K., Pilbeam, D. J., Inala, A., Cobana, S., and Aksu, A. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence. *Comm. Soil Science*, 39:1904–1927.
- Haghghi, M., Afifipour, Z., Mozafarian, M. 2012. The effect of N-Si on Tomato seed germination under salinity levels. *Journal Biology Environmental Science*, 6 (16): 87–90 .
- Hamacher, M., Marcus, K., Stühler, K., Van Hall, A., Warscheid, B., Meyer, H. E. 2006. Proteomics in Drug Research. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 362 P.
- Hamayun, M., Sohn, E. Y., Khan, S. A., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., and Lee, I. J. 2010. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress on growth and endogenous plant growth hormones of soybean (*Glycine max L.*). *Pak J. Bot*, 42:1713–1722.
- Handy, R. D., Owen, R., Valsami-Jones, E. 2008. The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: Current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. *Ecotoxicology*, 17:315–325.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T. 1990. Plant propagation: principles and practices. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 647 P.
- Hasegawa, R. H., Fonseca, H., Fancelli, A. L., Dasilva, V. N., Schammass. E. A., Reis, T. A., Correa, B. 2008. Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*, 19: 36–43.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M., and Lux, A. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum*, 123:459–466.
- Hilal, M. H., Shata, S. M., Abdel-Dayem, A. A., and Hilal, M. M. 2002. Application of magnetic technologies in desert agriculture. III. Effect of magnetized water on yield and

uptake of certain elements by citrus in relation to nutrients mobilization in soil. *Egyptian Journal of Soil Science*, 42:43–55.

- Hodson, M. J. and Evans, D. E. 1995. Aluminium-silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany*, 46: 161–171.

- Howell, T. A., Evett, S. R., Tolk, J. A., and Schneider, A. D. 2004. Evaporation of full and deficit-irrigated, and dry land cotton on the Northern Texas High Plains. *Journal Irrigation Drainage*, 130(4): 277–285.

- Hruby, M., Cigler, P., Kuzel, S. 2002. Contribution to understanding the mechanism of titanium action in plant. *Journal Plant Nutrition*, 25:577–598.

- Huang, B., NeSmith D. S., Bridges, D. C. and Johnson, J. W. 1995. Responses of squash to salinity, water logging, and subsequent drainage: Root and shoot growth. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 141–145.

- Inman, O. L., Barclay, G., and Hubbard, M. 1935. Effect of titanium chloride on the formation of chlorophyll in *Zea mays*. *Plant Physiology*, 10:821–822.

- ISTA, 2009. ISTA rules. International Seed Testing Association, Zurich.

- Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H. R., Moradi, A. 2010. Effect of TiO₂ Nanoparticles Spraying on Agronomic characteristics of Wheat under condition drought stress. *Journal Crop Ecophysiology*, 2(4): 295–301.

- Jacobs, J., Ward, G., McKenzie, F. 2004. Effects of irrigation strategies on dry matter yields and water use efficiency of a range of forage species. New directions for a diverse planet. 4th International Crop Science Congress in conjunction with the 12th Australian Agronomy Conference and the 5th Asian Crop Science Conference, Brisbane, Australia, 26 September-1 October.

- Janas, R., Szafirowska, A., Kosowski, S. 2002. Effect of titanium on eggplant yielding. *Vegetable Crops Research Bullten*, 57:37-44.

- Janislampi, K. W. 2012. Effect of Silicon on Plant Growth and Drought Stress Tolerance. All graduate theses and dissertations. 1360 P.

- Ma, J. F., Yamaji, N., Tamai, K., and Mitani, N. 2007. Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. *Plant Physiology*, 145: 919–924.

- Jillavekatesa, A., Dapkunas, S. J. Lum, L. H. 2001. “Particle size characterization” NIST Recommended Practise Guide. U.S. Government Printing Office. 72 P.

- Joliano, B. O. 1993. Rice in human nutrition. FAO Food and nutrition series. No. 26. FAO.Rome.

- Kang, S. J., Lee, Y. J., Kim, B. M., Choi, Y. J., and Chung, H. W. 2011. Cytotoxicity and Genotoxicity of titanium dioxide nanoparticles in UVA-irradiated normal peripheral blood lymphocytes. *Drug Chemistry Toxicology*, 34: 277–284.

- Kanwal, A., Ali, A., and Shoaib, K. 2006. In vitro microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar kuroda- A new variety in Pakistan. *International Journal Agriculture Biology*, 8 (3): 337-340.

- Karimi, Z., Pourakbar, L., and Feizi, H. 2014. Comparison Effect of Nano-iron Chelate and Iron Chelate on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of Mung Bean (*Vigna radiate L.*). *Advances in Environmental Biology*, 8(13): 916–930.
- Kavi, P. S. 1977. The effect of magnetic treatment of soybean seed on its moisture absorbing capacity. *Science Culture*, 43:405-406.
- Kaya, C., Tuna, L., and Higgs, D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water – stress condition. *Journal Plant Nutrition*, 29:1469– 1480.
- Keck, C. M., Müller, R. H. 2008. Size analysis of submicron particles by laser diffractometry 90% of the published measurements are false. *Int. j. pharm.*, 355: 150–163.
- Kerpesi, I., Stefanovits-Banyai E., Kispal J., and Sardi E. 2001. Influence of Ti (IV)-ascorbate on soluble carbohydrate content in wheat seedlings exposed to cadmium. *Acta Agronomica Hungarica*, 49:311-318.
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., and Biris A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*, 3(10): 3221_3227.
- Khot, L. R., Sankaran, S., Mari Maja, J., Ehsani, R., Schuster, E. W. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Protection*, 35:64–70.
- Kianian, M. K. 2006. Investigation of environmental factors (groundwater, climate, soil physical-chemical properties and topography) on establishment and expansion of plant types by multivariate analysis (case study: Eshtehards Shour river region, Karaj, Iran), 1 st international conference on water, ecosystems and sustainable development in arid and semi-arid zones, October 9-15, China.
- Kianian, M. K. 2011. Arid Ecosystems Management and Sustainability: Studying Effective factors on Halophyte Plants Presentation in Playa by Statistical Relations for further Carbon Sequestration (Case study: Sirjan Playa, Iran). 11th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies, September 7–9, CEST, Greece.
- Kianian, M. K. 2013. Investigation of Pedological Criterion on Rangeland Desertification (Case Study: South of Rude-Shoor Watershed, *DESERT*: 17 (2): 291–298.
- Kianian, M. K., and Jafari, Z. 2016. Floristic Composition, Life Forms and Geographical Distribution (Case Study: Lashgardar Rangelands of Malayer, Iran). *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(1): 140-148.
- Kianian, M. K. The Effect of Some Moisture Retention Techniques on Soil and *Nitraria schoberi* Establishment and Growth Properties (Case Study: Southern Desert Lands of Semnan city), 2017. PhD Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Kiss, F., Deak, G., Feher, M., Balogh, A., Szabolsci, L., and Pais, I. 1985. The effect of titanium and gallium in photosynthetic rate of algae. *Journal of Plant Nutrition*, 8:825–832.

- Klancnik, K., Drobne, D., Valant, J., Dolenc Koce, J. 2011. Use of a modified Allium test with nanoTiO₂. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74: 85_92.
- Konishi, K., and Tsuge, T. 1936. Inorganic constituents of green-manure cops. *II. Journal Agricultural Chemistry Society*, 12:916–930.
- Kordas, L. 2002. The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11:527–530.
- Kuzel, S., Hruby, M., Cigler, P., Tlustos, P., and Nguyen Van P. 2003. Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. *Biological Trace Element Research*, 91:179–189.
- Lamb, T. A., and Morghan., T. 1993. Comparison of foliar and preplant applied nitrogen fertilizer for sugar beet. *Agronomy Journal*, 85:290–305.
- Lee, W. M., An, Y. J., Yoon, H., and Kwbon, H.S. 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for water in soluble nanoparticles. *Environment Toxicology Chemistry*, 27: 1915–1921.
- Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y., Braam, J., and Alvarez, P. J. J. 2010. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(3): 669–675.
- Leggewie, G., Willmitzer, L., and Reiesmier. 1997. Two cDNAs from potato are able J.W. complement a phosphate uptake-deficient Homutant: identification of phosphate transporter yeast higher plants. *The Plant Cell*, 9: 381–392.
- Lesko, K., Stefanovits-Banyai, E., Pais, I., and Simon-Sarkadi, L. 2002. Effect of cadmium and titanium ascorbate stress on biological active compounds in wheat seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 25:2571–2581.
- Liang, Y.C., Chen, Q. R., Liu, Q., Zhang, W. H., and Ding, R. X. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol*, 160: 1157–1164.
- Li, D., Lyon, D. Y., Li, Q., Alvarez, P. J. J. 2008. Effect of natural organic matter on the antibacterial activity of a fullerene water suspension. *Environmental Toxicology Chemistry*, 27: 1888–1894.
- Lin, B. S., Diao, S. Q., Li, C. H., Fang, L. J., Qiao, S. C., Yu, M. 2004. Effects of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai Larch seedlings. *Journal for Research CHN*, 15:138–140.
- Lin, D. and Xing, B. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150:243–250.
- Lin, I. J., and Yotvat, J. 1990. Exposure of irrigation and drinking water to magnetic field with controlled power and direction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 83:525–526.

- Liu, X. M., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S., Fang, R., Feng, Z. and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertility Science*, 11: 14–18.
- Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society American Journal*, 42: 421–428.
- Liu, X. M., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S., Fang, R., Feng, Z., and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertility Science*, 11:14–18.
- Lu, C., Zhang, C., Wen, J., Wu, G., and Tao, M. 2002. Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science*, 21(3): 168-171.
- Lu, C .M., Zhang, C. Y., Wu, J. Q., and Tao, M. X. 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science*, 21: 168–172.
- Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wu, J. Q., and Tao, M. X. 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science*, 21: 168–172.
- Maguire, I. D. 1982. Speed of germination- Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 22: 176–177.
- Ma, J., and Takahashi, E. 1991. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a p-deficient soil. *Plant soil*, 133: 151–155.
- Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science Plant Nutrition*, 50: 2002–2004.
- Ma, M., Geiser-Lee, J., Deng, Y., and Kolmakov, A. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of the Total Environment*, 408: 3053–3061.
- Ma, Z., Merkus, H. G., de Smet, J. G.A.E., Heffels, C., Scarlett, B. 2000. New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape, powder technology. *Powder Technology*, 111: 66–78.
- Mahalakshmi, V., Bidinger, F. R. 1985. Flowering response of Pearl millet to water stress during panicle development. *Ann. Appl. Biol*, 106: 571–578.
- Maheshwari, B. L., and Grewal, H. S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 96:1229–1236.
- Majd, A. and Shabrangi, A. 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. Progress In Electromagnetics Research Symposium, March 23–27, China.

- Malinowska, E., Kalembasa, S. 2012. The yield and content of Ti, Fe, Mn, Cu in celery leaves (*Apium graveolens* L. var. dulce Mill. Pers.) as result of tytanit application. *Acta Science Polish Hortorum Cultus*, 11: 69–80
- Maqsood, M., Azam A, S.N. 2007. Effects of environmental stress on growth, radiation use efficiency and yield of finger millet (*Eleusine coracona*). *Pakistan Journal Botany*, 39(2): 463–474.
- Martinez, E., Carbonell, M. V., and Florez, M. 2002. Magnetic stimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 21: 43_53.
- Martinez, E., Carbonell, M. V., Amaya, J. M., and Maqueda, R. 2009. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *International Agrophysics*, 23: 45–49.
- Matthews, S., Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigor differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science Technology*, 35: 200–212.
- Mazaherinia, S., Astarai, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Science Journal*, 7(1): 36– 40.
- Mazumdar, H., and Ahmed, G. U. 2011. Phytotoxicity effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa*. *International Journal of ChemTech Research*, 3: 1494–1500.
- Meiqiang, Y., Minging, H., Buzhou, M., and Tengcar, M. 2005. Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. *Journal of Plasma Science Technology*, 7: 3143–3147.
- Menard, A., Drobne, D., Jemec, A. 2011. Ecotoxicity of nanosized TiO₂. *Review of in vivo data. Environmental Pollution*, 159: 677–684.
- Merkus, G. 2009. Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality. Springer, Dordrecht. Netherlands. 533 P.
- Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X., Chen, L., Gao, F., Yang, F., and Li, Z. 2007. Effects of nanoanatase TiO₂ on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of Spinach. *Biological Trace Element Research*, 118: 120–130.
- Moaveni , P., Kheiri, T. 2011. TiO₂ Nano Particles Affected on Maize (*Zea mays* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science in Singapore by International Proceeding of Chemical, Biological & Environmental Engineering. *International Association of Computer Science and Information Technology Press*, 22: 160–163.
- Moon, J., D.C., and Sook, H. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of Electrostatics*, 48: 103–114.
- Mousavi, S. Gh., Mirhadi, M.G., Siadat, S.A., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F. 2009. Effect of water deficit and nitrogen fertilizer on yield and WUE of sorghum and millet forage. *Journal New Science Agriculture* 5(15): 101–114.

- Naderi, M. R., Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal Nanotech.* 11(1): 18–26.
- Nair, R. S., Varghese, H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Sakthi Kumar, D. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179: 154–163.
- Navarro. E., Baun A., Behra, R., Hartmann, N. B., Filser, J., Miao Ai-Jun Quigg, A., Santschi, P. H., and Sigg, L. 2008. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*, 17: 372–386.
- Nazari, R., Tag Abadi Ebrahimi, M. 2005. Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles and applications in the environment. Fourth Conference of Biotechnology, June 14, Kerman, Iran.
- Noran, R., Shani, R., and Lin, I. 1996. The effect of irrigation with magnetically treated water on the translocation of minerals in the soil. *Magnetic and Electrical Separation*, 7: 109_122.
- Osuna-canizales, F. J., De Datta, S. K., and Bonman, J. M. 1991. Nitrogen from and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. *Plant soil*, 135: 223–231.
- Owolade, O. F., Ogunleti, D. O., Adenekan, M. O. 2008. Titanium dioxide affected diseases, development and yield of edible cowpea. *Electronic Journal Environment Agriculture Food Chemistry*, 7(5): 2942_2947.
- Ozturk, G., and Yildirim, Z. 2010. A comparison of field performances of minitubers and micro tubers used in seed potato production. *Turkish Journal Field Crops*, 15(2): 141-147.
- Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. 1982. Methods of soil analysis. Part2: Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin. USA. 1143 P.
- Pais, I. 1983. The biological importance of titanium. *Journal of Plant Nutrition*, 6(1): 3_131.
- Pais, I., Fehér, M., Farkas, E., Szabó, Z., and Cornides, I. 1977. Titanium as a new trace element. *Communication Soil Science Plant Analysis*, 8: 407–410.
- Pais, I. 1991. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? pp. 59_77. In: I. Pais (ed.). Proceedings of IGBP Symposium, Budapest, Hungary.
- Parsi, N. 2007. Electromagnetic effects on soybeans. A thesis of Master of Science. University of Missouri- Colombia. 77 P.
- Parvizi, Y. Nabati, E. 2004. Effect of manure application and irrigation interval on yield indices and water use efficiency in maize (*Zea mays L.*). *Iranian J. of Pajouhesh & Sazandegi*, 63: 21–29.
- Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., Tavassoli, A. 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glaucum*) species notrified. *Iranian J. Agric. Sci., Islamic Azad University of Tabriz*, 3(10): 67–78.
- Pecora, R., 1985. Dynamic Light Scattering: Applications of Photon Correlation Spectroscopy. Springer US. Plenum Press, New York. 420 P.

- Phirke, P.S. and Umbarkar, S.P. 1998. Influence of magnetic treatment of oilseed on yield and dry matter. *PKV Research Journal*, 22: 130–132.
- Podlesny, J., Pietruszewski, S., and Podleoen, A. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. *Inter. Agrophysics*, 18:65–71.
- Pól, J., Strohalml, M., Havlíček, V., and Volný, M. 2010. Molecular mass spectrometry imaging in biomedical and life science research. *Histochemistry and Cell Biology*, 134 (5): 423-443.
- Pulz, A. L., Crusciol, C. A. C., Lemos, L. B., and Soratto., R. P. 2008. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Rev Bras Ciênc Solo*, 32: 1651–1659.
- Racuciu, M. and Creanga, D. E. 2007. TMA-OH coated magnetic nanoparticles internalized in vegetal tissues. *Romanian Journal of Physics*, 52: 395–395.
- Racuciu, M., Creanga, D., and Horga, I. 2008. Plant growth under static magnetic field influence. *Romania Journal Physics*, 53: 353–359.
- Racuciu, M., Miclaus, S., and Creanga, D. 2009. The response of plant tissues to magnetic fluid and electromagnetic exposure. *Romanian Journal Biophysics*, 19: 73–82.
- Radhakrishnan, R., and Ranjitha Kumari, B. D. 2012. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51: 139–144.
- Rezaye soukht abandani, R. and Ramezani, R. 2010. Study effect away irrigation and nitrogen fertilizer on index physiological growth and yield corn forage (hybrid s. c 704) The weather conditions province Mazandaran. *Journal Crop Physiology., Islamic Azad University of Ahvaz*. 2(3) : 19_44.
- Reynolds, G. H. 2002. Forward to the future nanotechnology and regulatory policy. Pacific Research Institute. 20 P.
- Rochalska1, M., Grabowska, K., and Ziarnik., A. 2008. Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. *Int. Agrophysics*. 23: 163–174
- Robichaud, C. O., Uyar, A. E., Darby, M. R., Zucker, L., and Wiesner, M. 2009. Estimates of upper bounds and trends in nano-TiO₂ production as a basis for exposure assessment. *Environmental Science and Technology*, 43: 4227–4233.
- Rochalska, M., Grabowska, K., and Ziarnik, A. 2008. Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. *International Agrophysics*, 23: 163–174.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., and Cuartero. J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal Plant Physiology*, 163:847_855.
- Ruffini Castiglione, M., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 2: 161–165.

- Ruffini Castiglione, M., Giorgetti, L., Geri, C., Cremonini, R. 2010. The effects of nano TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis L.* and *Zea mays L.* *Journal of Nanoparticle Research*, 6: 2443–2449.
- Ruzic, R., and Jerman, I. 2002. Weak magnetic field decreases heat stress in cress seedlings. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 21: 69–80.
- Sakhini, L. 2007. Influence of Ca²⁺ in biological stimulating effects of AC magnetic fields on germination of bean seeds. *Journal Magnetic and Magnetic Materials*, 310: 1032–1034.
- Salari, M., Rezae, M., Mosavi Khuei, S. M., Marashi, P., and Moshefi, Z. 2007. Methods of synthesis of Titanium dioxide nanoparticles. *Journal of Iranian Ceramics*, 10: 36–44.
- Salehi, M., and Tamaskoni, F. 2008. Effect Nanocid at Seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. *Seed Science and Technology*. 2: 204-209.
- Sawada, O., Itoh, J., Fojita, K. 1995. Characteristics of photosynthesis and translocation of labeled photosynthate in husk leaves of sweet corn. *Crop Science*, 35: 480–485.
- Saquib, Q., Al-Khedhairi, A., Siddiqui, M. A., Abou-Tarboush, F. M., Azam, A., Musarrat J. 2011. Titanium dioxide nanoparticles induced cytotoxicity, oxidative stress and DNA damage in human amnion epithelial (WISH) cells. *Toxicology in Vitro*, 26: 351–61.
- Savant, N. K., Snyder, G. H., and Datnoff, L. E. 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, 58: 151–199.
- Sawada, O., Itoh, J., Fojita, K. 1995. Characteristics of photosynthesis and translocation of labeled photosynthate in husk leaves of sweet corn. *Crop Science*, 35: 480–485.
- Schrauzer, G. N. and Gut T. D. 1977. Photolysis of water and photoreduction of nitrogen on titanium dioxide. *Journal American Chemistry Society*, 99: 7189–7193.
- Seghatoleslami, M. J., Feizi, H., Mousavi, G. R., Berahmand, A. S. 2015. Effect of magnetic field and silver nanoparticles on yield and water use efficiency of *Carum copticum* under water stress conditions. *Polish Journal of Chemical Technology*, 17(1) : 110_ 114.
- Serpone, N., Salinaro, A., Emeline, A. 2001. Deleterious effects of sunscreen titanium dioxide nanoparticles on DNA efforts to limit DNA damage by particle surface modification. *Biological applications*, 4258: 86–98.
- Selim, A. H., El-Nady, M. F. 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. *Acta Astronautica*, 69: 387–396.
- Shah, V., and Belozerovala, I. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. *Water Air Soil Pollution*, 197: 143–148.
- Sharma, V., Shukla, R. K., Saxena, N., Parmar, D., Das, M., and Dhawan, A. 2009. DNA damaging potential of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells. *Toxicology Letters*, 185: 211–218.
- Sheidai, M., Rashid, S. 2007. Cytogenetic study of some *Hordeum L.* species in Iran. *Acta Biologica Szegediensis*, 51: 107–112.

- Sheykhabglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh Shisvan, M., and Sharifi, R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientiae Biologicae*, 2 (2): 112–113.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal Plant Physics*, 167: 1248–1252.
- Shewood, R. T., and Vance, C. P. 1980. Resistance of fungal penetration in gramineae. *Phytopathology*, 70: 273–279.
- Sheykhabglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh Shisvan, M., and Sharifi, R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientiae Biologicae*, 2 (2): 112–113.
- Shi, X., Sitharaman, B., Pham, Q. P., Spicer, P. P., Hudson, J. L., Wilson, L. J., Tour, J. M., Raphael, R. M., Mikos, A. G. 2008. In vitro cytotoxicity of single-walled carbon nanotube/biodegradable polymer nanocomposites. *Journal Biomedicine Material Research, A*, 9(3): 813–823.
- Shing, H., Chueh, P. J., Yun-Wei, L., Tung-Sheng, S., and Show-Mei, C. 2009. Disturbed mitotic progression and genome segregation are involved in cell transformation mediated by nano-TiO₂ long-term exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 241: 182–194.
- Singh, N., Mans Hian, B., Jenkins, G., Griffiths, S., Williams, P., Maffies, T., Wright, C., and Doak, S. 2009. Nano Genotoxicology: The DNA damaging potential of engineered nanomaterials. *Biomaterials Review*, 30: 3891–914.
- Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, E. 2008. Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phonological traits of three millet species. *Pakistan Journal Botany*, 40(4): 1555– 1560.
- Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi Heravan, A., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F. 2008. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five prosomillet genotypes. *Pakistan Journal Botany*, 40(4): 1427– 1432.
- Seghatoleslami, M. J., Majidi, E., Kafi, M., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F., Mousavi, S. Gh. 2005. Phenological and morphological response of three millets species to deficit irrigation. *J. Agric. Sci., Islamic Azad University*, 11(3): 89– 99.
- Senoner, M. and Unger, W. E. S. 2012. SIMS imaging of the nanoworld: applications in science and technology, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 27: 1050.
- Skocaj, M, Filipic, M., Petkovic, J., and Novak, S. 2011. Titanium dioxide in our everyday life; is it safe. *Radiological Oncology*, 45: 227–247.
- Skupien K., and Oszmianski, J. 2007. Influence of titanium treatment on antioxidants activity of strawberries. *Acta Science Polish Technology Alimentary*, 6:83–94

- Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., and Inanaga, S. 2010. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal Plant Nutrition*, 34: 71–82.
- Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, E., Tanaka, K., and Inanaga, S. 2009. Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. *Journal Plant Nutrition*. 32: 433–442.
- Stone, V., Johnston, H., Schins, R. 2009. Development of in vitro systems for nanotoxicology: methodological considerations in vitro methods for nanotoxicology. *Critical Reviews in Toxicology*, 39: 613–626.
- Tahmasbi, D., Zarghami, R., Azghandi, A. V., and Chaichi, M. 2011. Effects of nanosilver and nitroxin biofertilizer on yield and yield components of potato minitubers. *International Journal Agricultural Biology*, 13: 986–990.
- Thakkar, K. N., Snehit, S., Mhatre, M .S., Rasesh, Y., Parikh, M. S. 2009. Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine*, 6(2): 257–262.
- Thaloonth, M., Tawfik, M., Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. *World Journal Agricultural Science*, 2: 37_46.
- Teipel, U. 2005. Energetic Materials: Particle Processing and Characterization, WILEY-VCH. 621 P.
- Tlustos, P., Cígler, P., Hruby, M., Kuzel, S., Szaková, J., and Balik, J. 2005. The role of titanium in biomass production and its influence on essential elements' contents in field growing crops. *Plant Soil Environment*, 51:19–25.
- Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P., and Schiestl, R. 2009. Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *The Journal of Cancer Research*, 69: 1916–1930.
- Urban, C. 1999. Development of Fiber Optic Based Dynamic Light Scattering for a Characterization of Turbid Suspensions. Herbert Utz Verlag. 102 P.
- Valadabadi, S. A. 1999. Evaluation effect of eco-physiological drought stress on maize, sorghum and millet. MSc Thesis in Agronomy, Islamic Azad University in Tehran.
- Vashisth, A., and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167: 149–156.
- Vashisth, A., and Nagarajan, S. 2008. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Bioelectromagnetics*, 29: 571–578.
- Vasilevski, G. 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal Plant Physiology, Special Issue*, 2003: 179–186.

- Virgilio, A. L. D., Reigosa, M., Arnal, P. M., Fernandez, M., Mele, L. D. 2010. Comparative study of the cytotoxic and genotoxic effects of titanium oxide nanoparticles in chinese hamster ovary (CHO-K1) cells. *Journal of Hazardous Materials*, 177: 711–8.
- Wang, H., Kou, X., Pei, Z., Xiao, J. Q., Shan, X., and Xing, B. 2011. Physiological effects of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants. *Nanotoxicology*, 5: 30–42.
- Wang, L., Mao, J., Zhang, G., and Tu, M. 2007. Nano-cerium-element-doped titanium dioxide induces apoptosis of Bel 7402 human hepatoma cells in the presence of visible light. *World Journal of Gastroenterol*, 13: 4011–4014.
- Wang, Z., Aiguo, W., Ciacchi, L. C., and Wei, G. 2018. Recent Advances in Nanoporous Membranes for Water Purification, *nanomaterials Journal*, 8(2): 65.
- Welch, R. M. 1995. Micronutrient Nutrition of Plants. *Crit. Rev. Plant Sci*, 14: 49–82.
- Yan-Jun, D., Zi-Zhen, L., and Wen-Long, L. 2006. Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film. *Agric. Water Management*, 79: 265–279.
- Wilson M. R., Lightbody J. H., Donaldson. K., Sales. J., Stone. V. 2002. Interactions between ultrafine particles and transition metals in vivo and in vitro. *Toxicol Appl Pharm*, 184: 172–179.
- Wojcik. P., and Klamkowski, K. 2004. Szampion: Apple tree response to foliar titanium application. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 2033–2046.
- Wojcik, P., and Wojcik, M. 2001. Growth and nutrition of M.26 EMLA apple rootstock as influenced by titanium fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 24:1575–1588.
- Xu, A., Chai, Y., Nohmi, T., Hei, T. K. 2009. Genotoxic responses to titanium dioxide nanoparticles and fullerene in gpt delta transgenic MEF cells. *Particle and Fibre Toxicology*, 6: 1–13.
- Xuming, W., Fengqing, G., Linglan, M., Jie L., Sitao, Y., Ping Y., Fashui, H. 2008. Effects of nano-anatase on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase.oxygenase mRNA expression in spinach. *Biological Trace Element Research*, 126:280–289.
- Xu, R. 2002. Particle Characterization: light Scattering Methods. Kluwer Academic Publisher. 343 P.
- Yang, F, Liu, C., Gao, F., Su, M., Wu, X., Zheng, L., Hong, F., and Yang, P. 2007. The improvement of Spinach growth by nano anatase TiO₂ treatment is related to nitrogen photoreduction. *Biological Trace Element Research*, 119: 77–88.
- Yang, L., and Watts, D. J. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. *Toxicology Letter*, 158:122–132.
- Yinan, Y., Yuan, L., Yongqing, Y., and Chunyang., L. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. *Environal Experimental Botany*, 54:286–294.

- Yoshida, S., Narasero, S. A., and Ramirez, A. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. *Plant and soil*, 31: 48–56.
- Yoshida, S. 1975. The physiology of silicon in rice. taipei: food and fertilication technology center. (*fftc*) *Ttechnical Bulletin*, 25: 1–27.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14:415–421.
- Zhang, L., Hong, F., Lu, S., and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of Spinach. *Biol. Trace Element Res*, 105: 83–91.
- Zhang, P. P., Wang, H. X., Zhang, X. Y., Xu, W., Li, Y., Li, Q., Wei, G., and Su, Z. Q. 2015. Graphene film doped with silver nanoparticles: Self-assembly formation, structural characterizations, antibacterial ability, and biocompatibility. *Biomater. Sci.* 3: 852–860.
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide NPs by pumpkin plants. *Journal Environmental Monitoring*, 10: 713–717.

Nanotechnology Researches on Crops, No-crops, Medicinal and Ornamental Plants

Dr. Hassan Feizi

(Associate Professor, Plant Production Department, University of Torbat Heydarieh)

Dr. Reyhaneh Azimi

(PhD in Rangeland Sciences, Gorgan University Agricultural Sciences and Natural
Resources)

Dr. MohammadKia Kianian

(Assistant Professor, Desert Studies Faculty, Semnan University)

Nanotechnology Researches on Crops, Non-crops Medicinal and Ornamental Plants

Dr. Hassan Feizi

(Associate Professor, Plant Production Department, University of Torbat Heydarieh)

Dr. Reyhaneh Azimi

(PhD in Rangeland Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources)

Dr. MohammadKia Kianian

(Assistant Professor, Desert Studies Faculty, Semnan University)

