مروری جامع بر نقش نانوفناوری در صنایع کشاورزی

فرشته علیزاده[۱]، سارا دانشجو*[۲]

۱-دانشجوی دکتری ریززیست فناوری، گروه ریززیست فناوری، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲-استادیار، گروه ریززیست فناوری، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*صندوق پستی ۱۱۱-۱٤۱۱٥، تهران، ایران

s.daneshjou@modares.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۲/۰۸/۲٤ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۱/۰٦

چکیده

تضمین امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه به‌دلیل بازده پایین بخش کشاورزی، تخریب منابع طبیعی، تلفات محصول، ارزش افزوده اندک و رشد بالای جمعیت بسیار چالش برانگیز است بنابراین محققان در تلاش هستند تا فناوری‌های جدیدتری را برای افزایش عرضه محصولات کشاورزی اتخاذ کنند. یکی از این فناوری‌ها، فناوری نانو است. نانو فناوری، علم تولید، ساخت و به‌کارگیری مواد در سطوح اتمی و مولکولی است و می‌تواند با کمک ابزارهای جدید صنایع مختلفی از جمله صنعت کشاورزی را دگرگون کند. نانوفناوری با به‌کارگیری مواد جدید مانند نانوکودها، نانوعلف‌کش‌ها، نانوآفت‌کش‌ها و... سبب تقویت خاک و افزایش رشد گیاهان می شود و به کمک ابزارهای جدید مانند نانوحسگرها و سیستم‌های رسانش هوشمند، به موقع عوامل بیماری‌زا را در گیاهان شناسایی می‌کند. به همین دلایل نانوفناوری می‌تواند یک راه امیدوارکننده برای افزایش بهره‌وری محصولات در حوزه کشاورزی باشد.

کلید واژگان: کشاورزی، نانوآفت‌کش، نانوحشره‌کش، نانوقارچ‌کش، نانوعلف‌کش، نانوفناوری

۱-مقدمه

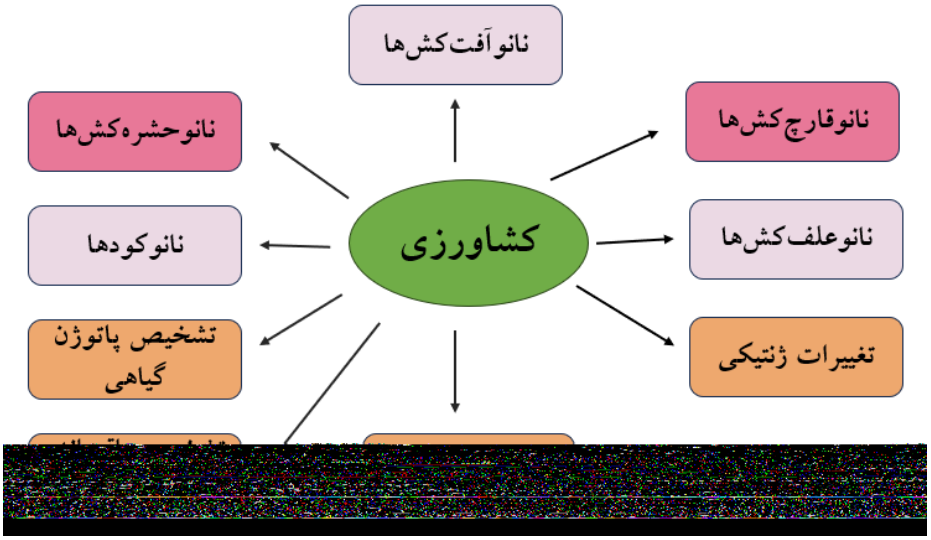
کشاورزی پایه اصلی کشورهای در حال توسعه محسوب می شود و بیش از ٦۰ در صد جمعیت برای امرار معاش به آن متکی هســـتند. محققین در حوزه کشـــاورزی با طیف گستردهای از چالش‌ها مانند رکود در عملکرد محصولات، راندمان پایین جذب مواد مغذی توســط گیاهان، کاهش مواد آلی خاک، کمبود عناصــر مغذی، تغییرات آب و هوایی، کاهش زمین‌های قابل کشت، کاهش دسترسی به آب و کمبود نیروی کار مواجه هســتند اما علی‌رغم محدودیت های فراوانی که وجود دارد، برای مقابله با چالش‌های امنیت غذایی باید به رشد پایدار در کشاورزی برســند بنابراین برای پرداختن به این مشــکلات، نیاز به کشــف فناوری نانو داشــتند [۱]. نانومواد به‌دلیل اندازه کوچک، داشتن اشکال متنوع، نسبت سطح به حجم بالا، فعالیت هدفمند و خواص منحصر به فرد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌توانند به خوبی در صــنایع و رشــته‌های مختلف ایفای نقش کنند [٦-۲]. به همین دلیل کشــاورزان در ســراســر جهان بر اســتفاده از نوآوری‌ها و فناوری‌های جدید برای افزایش تولید محصــولات کشــاورزی ترغیب شــده‌اند. تلاش های کنونی به اســتفاده از محرک های اصــلاح‌شــده با نانو و کشــاورزی دقیق متمرکز هســتند. راندمان کشــاورزی، بهبود خاک، اســتفاده مناســب از آب، توزیع مواد غذایی در فروشــگاه‌ها با حفظ کیفیت آن‌ها از عوامل اساسی تامین مواد غذایی هستند که ممکن است از طریق پیشرفت در تحقیقات نانوتکنولوژی بهبود یابند [۸-۷]. فناوری جدیدتری که باعث افزایش تولید و کاهش هدر رفت مواد غذایی می شود و برای حفظ استانداردهای زندگی و بهبود امنیت غذایی مهم اســت و راه حل موثری برای ایمنی غذا و سلامت انسان ارائه می‌دهد. فناوری نانو در بهبود محصــول، حفاظت از محصــول، تصــفیه آب و اصــلاح مواد ســمی کاربرد دارد. نانوتکنولوژی می‌تواند مســیری را برای تولید مواد غذایی با کیفیت فوق‌العاده به شــکل کارآمد همراه با القای فراهمی زیســتی مواد مغذی فراهم کند. بســیاری از تحقیقات بر افزایش کاربرد فناوری نانو برای تولید محصــولات کشــاورزی و فرآوری مواد غذایی متمرکز هســتند[۱۱-۹]. افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه های پس از برداشــت، افزایش عملکرد کودها و مدیریت آفات، تحویل هوشــمند مواد مغذی،جداســازی زیســتی پروتئین‌ها، نمونه برداری ســریع از آلاینده‌های بیولوژیکی و شیمیایی، محصور کردن نانومواد مغذی، بسته بندی ضــدمیکروبی و اســتفاده از حسـگرها جهت ردیابی عوامل بیماری‌زا از حوزه‌های جدید نانوفناوری در صنعت کشاورزی محسوب می شود[۱٤-۱۲]. مقاله مروری پیش رو نیز با هدف ارائه راهکارهای نوین و کاربرد علم نانو در حل مسائل و معضلات فوق الذکر در صنعت کشاورزی تدوین و گردآوری شده‌است.

۲- نانوفناوری و کشاورزی

فناوری نانو یک عرصــه در حال پیشــرفت اســت که با طبیعت فرار شته‌ای خود می‌تواند سبب رشد بسیاری از علوم از جمله کشــاورزی شــود. کاربردهای عمده این فناوری در کشاورزی و صنایع وابسته را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.

۱-۲ نقش نانوفناوری در کشاورزی

ســیســتم‌های کشـاورزی جهانی در عصـر تغییرات اقلیمی متنوع کنونی مانند تغییرات آب و هوایی، افزایش دما، افزایش گاز های گلخانه‌ای و تغییر روند بارندگی با تهدیدات غیرمنتظره متعددی مواجه هســتند. با این حال، فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند فناوری نانو روشی مفید برای بهبود تولید محصول و تضمین پایداری برای دستیابی به امنیت غذایی اســت. نانوتکنولوژی کاربردهای گســترده‌ای در کشـــاورزی به‌ویژه در زمینه تولید و حفاظت از محصــولات دارد. در کشــاورزی، از فناوری نانو برای افزایش تولید مواد غذایی با ارزش ، باکیفیت و با ایمنی معادل یا حتی بالاتر استفاده می‌شود.



شکل ۱ کاربرد نانوفناوری در کشاورزی [۲۷]

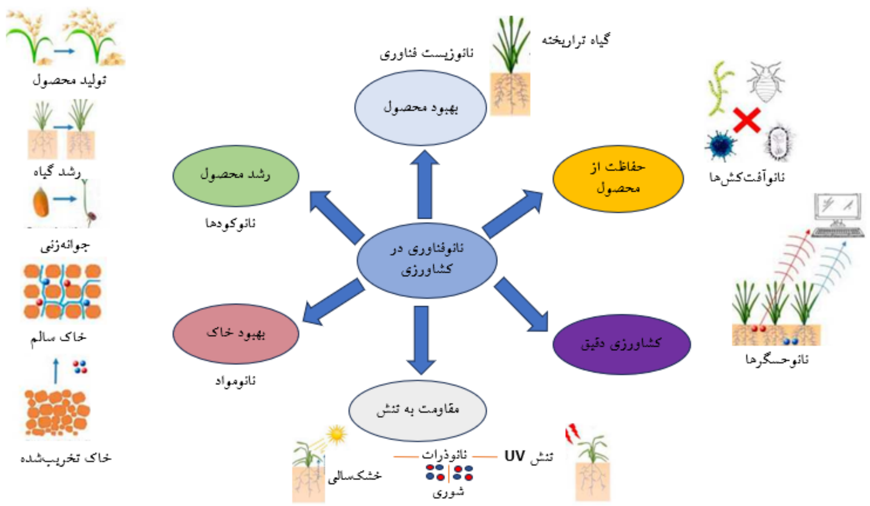
با استفاده از نانوفناوری می‌توان مواد رادیواکتیو را به ترکیباتی که کمتر سمی هستند، تبدیل کرد. به‌طور مشابه، اصلاح محیطی به روش‌های مختلفی برای حذف آلاینده‌ها از رسانه‌های مختلف نیاز دارد که در آن فناوری‌های نانو مفید واقع می‌شوند[۱۶و۱۵]. سه نوع مواد مبتنی بر نانو جهت پاکسازی محیط به نام پلیمرها، کربن‌ها و مواد معدنی وجود دارند[۱۷]. نانومواد به‌طور موثر آلاینده‌ها و آلاینده‌های بیولوژیکی را از اجزای مختلف محیطی حذف می‌کنند. آن‌ها به‌عنوان جاذب، کاتالیزور و کمپلکس عمل می‌کنند. این اشکال نانومواد برای حذف کربن مونواکسید، سولفور دی اکسید، منیزیم، آهن، منیزیم اکسید، تیتانیوم دی اکسید، تنگستن اکسید و فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی مانند هیدروکربن‌های معطر، هیدروکربن‌های آلیفاتیک و مواد بیولوژیکی مانند پاتوژن‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، انگل‌ها و باکتری‌ها، استفاده می‌شوند[۱۹و۱۸]. علاوه بر این، استفاده گسترده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی سنتی محیط زیست را آلوده کرده و تنوع زیستی را تحت تاثیر قرار داده‌است[۲۰]. برای مبارزه با این مشکل، چندین محصول بر پایه فناوری نانو مانند نانو کودها، نانو علف‌کش‌ها، نانو آفت‌کش‌ها، نانوحسگرها، نانو قارچ‌کش‌ها و نانو حشره‌کش‌ها در حال توسعه هستند [۲۲و۲۱]. نانوتکنولوژی نقش مهمی در بخش کشاورزی ایفا می‌کند و استفاده از آن در محصولات کشاورزی می‌تواند رشد گیاهان را پایش کرده و همچنین بیماری‌ها را تشخیص دهد[۲۲]. نانومواد در کشاورزی برای جایگزینی روش‌های مرسوم حفاظت از گیاهان استفاده شده‌است. علاوه بر این، فناوری نانو برای افزایش عملکرد در گیاهان با رهایش کنترل‌شده و کاهش از دست دادن عناصر غذایی به کار گرفته شده‌است[۲۳]. نانوذرات مختلف مانند آلومینیوم، اکسید روی و روی، اکسیدهای تیتانیوم، سیلیکون، اکسید سزیم، مس و اکسیدهای آلومینیوم، برای افزایش تولید گیاهان زراعی مختلف استفاده می‌شوند و از گیاهان محافظت می‌کنند و پایداری مواد غذایی را افزایش می‌دهند. نانوذراتی مانند نقره بجز خواص ضدمیکروبی، تأثیر زیادی بر کیفیت عملکرد گیاهان دارند و به ارزش غذایی بالا در صنعت غذا کمک می‌کنند[۲۴]. نانوتیوب‌ها پتانسیل احیای صنایع غذایی و بهره‌وری کشاورزی را دارند و می‌توانند معیشت کشاورزان و مردم فقیر را بهبود

بخشند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که آلومینیوم، روی و روی اکسید به‌طور قابل ملاحظه‌ای سرعت جوانه‌زنی و رشد ریشه‌های گیاهی مانند تربچه، کاهو، خیار، انگور و ذرت را افزایش می‌دهند[۲۶و۲۲]. نانوذرات نقره همچنین برای ظهور نهال در گندم، نانوذرات اکسید روی برای ظهور نهال در ماش و گوگرد برای ظهور نهال در گوجه فرنگی مفید هستند [۲۵]. علاوه بر این، ویژگی‌های زایشی و رویشی درختان میوه مانند توت‌فرنگی، قهوه، خرما، انار، انبه و انگور توسط کودهای نانو مانند روی، منگنز و منیزیم بهبود زیادی یافته است[۲۶]. شکل ۲ کاربرد فناوری نانو در کشاورزی دقیق را نشان می‌دهد[۲۷].

۲-۲ تقویت خاک[1]

خاک، به‌عنوان یک جسم طبیعی، یک حوزه با واسطه کربن آلی با فازهای مایع، جامد و گاز است که در اندازه های مختلف برهم‌کنش دارند و مجموعه‌ای از محصولات و خدمات اکوسیستمی را تولید می‌کنند. مشاهده شده‌است که کربن آلی خاک تأثیر قابل توجهی بر کیفیت، عملکرد و سلامت خاک دارد. دگرگونی‌های کربن، نگهداری ساختار خاک و چرخه مواد مغذی نقش مهمی در حفظ سلامت خاک دارند [۲۹و۲۸]. این عوامل در درجه اول به فرایند بیوشیمیایی و فعالیت‌های میکروبی وابسته هستند. اگر بتوان این فعالیت را با کاربردهای نانومواد افزایش داد، ممکن است منجر به بهبود حاصلخیزی و سلامت خاک شود. حاصلخیزی و بهره‌وری خاک به تعاملات میکروارگانیسم‌ها و حیوانات خاک بستگی دارد زیرا اعتقاد بر این است که تنوع زیستی خاک عامل اصلی و تعیین کننده کشاورزی است. مطالعات نشان داده‌اند که سلامت خاک‌های تیمار شده با اکسید گرافن و نانولوله‌های کربنی فعالیت آنزیم خاک را در کوتاه مدت کاهش داده و تاثیر قابل توجهی بر زیست توده میکروبی ندارد[۳۰].

شرایط خاکی که گیاهان در آن رشد می‌کنند تأثیر زیادی بر آن ها دارد. در این زمینه، متغیرهای تنش خاک مانند نمک، خشکی، اسیدیته، دمای منطقه ریشه، در دسترس بودن مواد مغذی و عملکرد زیستی خاک برای بازده محصول حیاتی هستند.



شکل ۲ کاربردهای نانوفناوری در کشاورزی دقیق[۲۷].

[1] Reinforcement the soil

تغییر در میکروبیوم خاک به‌دست آمده از طریق فناوری نانو نه تنها سلامت خاک را بهبود می بخشد، بلکه تولید محصول را نیز افزایش می‌دهد[۳۱]. نگهداری از سیستم خاک به معنای حفظ pH خاک، به مواد آلی بسیاری نیاز دارد و کاری دشوار است، بنابراین از نانوذرات جهت فعال کردن آنزیم‌های خاک استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید[1] با بهبود فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، جذب نیتروژن را بهبود می‌بخشند[۳۲]. کلروپلاست‌ها مکان‌های کلیدی برای ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاهان زراعی هستند و تغییر ناشی از تیتانیوم دی اکسید در سطوح ROS ممکن است با اصلاح در عملیات کلروپلاست مرتبط باشد. گنجاندن نانومواد در خاک می‌تواند میکروب‌های ریزوسفری یا میکروب‌های مهم کشاورزی را دستکاری کند و عملکرد آن‌ها را بهبود دهد، دسترسی به مواد مغذی برای گیاهان را تسهیل کند و دریچه جدیدی را برای سلامت خاک باز نماید. نانوذرات مس، روی اکسید، تیتانیوم دی اکسید و نقره بر جمعیت میکروبی در خاک تأثیر نمی‌گذارند[۳۳]. اما نانوذرات اکسید مس از طریق باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، می‌توانند سطح نیتروژن خاک را افزایش دهند[۳٤]. گزارش شده‌است که هیدروژل‌ها، نانورس‌ها و نانوزئولیت‌ها ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهند و از این رو به‌عنوان منبع آزادسازی کند آب عمل می‌کنند و دوره‌های کمبود آب را در طول فصل زراعی کاهش می‌دهند. کاربرد چنین سیستم‌هایی هم برای اهداف کشاورزی و هم برای احیای جنگل‌های مناطق تخریب‌شده مطلوب‌است[۳۵]. زئولیت‌ها، دسته‌ای از مواد معدنی هستند که به‌طور طبیعی با ساختار لایه‌ای شبیه لانه زنبوری به‌عنوان جایگزین کودهای سنتی به‌کار می‌روند و می‌توانند برای تخلیه آهسته مواد مغذی به اکوسیستم استفاده شوند [۳٦]. یک مطالعه نشان داد که استفاده از نانومواد corban-based رشد گیاه *Z. mays* را با بهبود جذب مواد مغذی افزایش می‌دهند و همچنین حاصلخیزی خاک را با تحریک آنزیم‌های خاک بهبود می‌بخشند [۳۷]. نانومواد مبتنی بر فلز، مانند آهن، مس، کبالت و اکسید روی، در شرایط تنش خشکی افزایش رشد را در گیاه *Glycine max* نشان دادند [۳۸]. تعداد زیادی از میکروب‌ها مانند *Bacillus* ،*Brevibacterium frigoritolerans* *thuringiensis* و *Bacillus velezensis* با تامین مواد لازم از طریق ترشح ریشه، استرس نمکی را کاهش می‌دهند [۳۹]. شوری یک عامل استرس‌زا است که از رشد گیاهان جلوگیری و فرایندهای رشد آن‌ها را کند می‌کند و تولید کشاورزی را در معرض خطر قرار می‌دهد[٤۰]. به‌طور معمول، استرس اسمزی و یونی، که توسط استرس نمک ایجاد می‌شود بر فرایندهای متابولیک اساسی سنتز پروتئین، متابولیسم گلوکز و متابولیسم لیپید تأثیر می‌گذارد. افزایش غیرمعمول Na^+ و Cl^- در گیاهان استرس اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و همچنین سمیت سلولی و عدم تعادل تغذیه‌ای را نشان می‌دهد که باید با استقرار یک روش تنظیم اسمزی دنبال شود. در طول فرایند تنظیم اسمزی، گیاه مولکول‌های آلی مانند گلیسین بتائین، اسیدهای آمینه، قندها، ترکیبات آمونیوم چهارتایی و پلی ال‌ها را به دست می‌آورد و پتانسیل اسمزی را بیشتر کاهش می‌دهد[٤۱]. علاوه بر این، اختلال در عملکرد غشای گیاه و اختلال متابولیک سلولی پیامدهای مستقیم افزایش تجمع Na^+ در بافت‌های گیاهی تحت تنش نمکی است [٤۲]. در نتیجه، افزایش سطح یون Na^+ باعث استرس اسمزی می‌شود که منجر به کمبود آب در سلول ها و همچنین کاهش پتانسیل آب می‌شود. چندین تکنیک برای اصلاح تعادل یونی و هموستاز اسمزی استفاده شده‌اند. مکانیسم‌های زیربنای تحمل گیاهان فعال شده با فناوری نانو در برابر تنش شوری

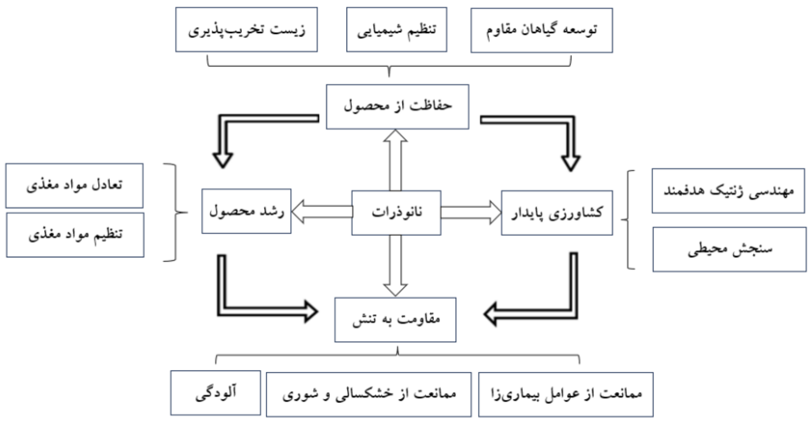
1 TiO2

عمدتاً با تمرکز بر نحوه مداخله در حفظ هموستاز ROS، تلاش برای بهبود توانایی گیاه در حذف Na^+ و حفظ K^+، تشدید تولید اکسید نیتریک، افزایش فعالیت آمیلاز برای افزایش محتوای قند محلول و کاهش فعالیت لیپوکسیژناز برای کاهش آسیب اکسیداتیو غشاء است[٤٤و٤٣و٣١]. در یک مطالعه، پتانسیل کاهش تنش شوری نانومواد مختلف مانند سیلیس، روی و زئولیت، در گیاه *Solanum tuberosum L.* ارزیابی و رشد گیاه، فیزیولوژی و عملکرد آن، محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز برگ و هدایت روزنه‌ای در دو آزمایش جداگانه در خاک شنی متاثر از نمک به‌همراه یک یا چند ترکیب از نانومواد مختلف ثبت شد و نتایج نشان داد که پارامترهای اندازه‌گیری فوق با استفاده از نانومواد در مقایسه با شاهد تیمار نشده به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافتند. علاوه بر این، استفاده از نانومواد در خاک سبب افزایش غلظت عناصر غذایی در بافت گیاه، پرولین و هورمون اسید جیبرلیک در برگ‌ها و افزایش محتوای پروتئین، کربوهیدرات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در غده شد. در مقایسه با سایر تیمارها، ورودی ترکیبی نانومواد مختلف، رشد بهتر گیاه، پاسخ‌های فیزیولوژیکی، سرعت تعرق، عناصر درون‌زا و پایین‌ترین سطوح اسید آبسیزیک برگ را نشان داد[٤٥]. شکل ۳ اثر نانوفناوری بر رشد گیاه را ارائه می‌کند [۱۵].

۳-۲. تقویت جوانه‌زنی بذر[1]

عملکرد دانه مهم‌ترین عامل در تعیین بهره‌وری محصول است. معمولاً، بذرهای آزمایش‌شده در آزمایشگاه برای کشت در بین کشاورزان توزیع می شوند اما بیشتر اوقات بذرهای ارائه‌شده میزان زنده‌مانی کمی دارند. روش‌های مبتنی بر نانوذرات برای بهبود جوانه‌زنی بذر در حال توسعه هستند[٤٧و٤٦]. استفاده از نانومواد، نانوتکنولوژی کشاورزی را به روشی موثر برای بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و عملکرد محصول تبدیل کرده‌است.

جدول ۱ اثر نانوذرات مختلف بر رشد و فیزیولوژی گیاهان مختلف را نشان می‌دهد [٥٢–٤٨و٤٥]. نانوذرات مورد استفاده در پوشش بذر ممکن است جوانه‌زنی بذر را با جذب سریعتر مواد مغذی و بهبود رشد گیاه تشویق کنند.



شکل ۳ اثر نانوفناوری بر رشد گیاه [۱۵]

[1] Improvement of seed germination

جدول ۱ اثر نانوذرات مختلف بر رشد و فیزیولوژی گیاهان [۵۲-۴۸ و۴۵]

نانوذرات	گیاهان	اثر
مس	گوجه فرنگی	بهبود رشد و خاصیت ضدقارچی
برون، سیلیس، روی و زئولیت	سیب زمینی	بهبود تولید محصول در استرس نمکی
نقره	گندم	دفاع آنتی‌اکسیدانی
تیتانیوم دی اکسید و اکسید روی	چغندر	افزایش رشد گیاه با کاهش شاخص‌های بیماری
سیلیس و تیتانیوم دی اکسید	برنج	دفاع آنتی‌اکسیدانی (با کاهش غلظت کادمیوم)
اکسید مس	کاهو	افزایش تعرق و هدایت روزنه‌ای
منیزیم اکسید	تنباکو و گوجه فرنگی	تقویت رشد گیاه
اکسید روی	بادمجان	مدیریت بیماری گیاهی

نانومواد جذب شده از طریق پو شش بذر ممکن ا ست با تغییر در سبز شدن گیاهچه، طول ریشه و ساقه، فعالیت‌های آنزیمی (مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، لیپید پراکسیداز)، فتوسنتز، تنفس و بهره وری محصول بر روی جوا نه‌زنی بذر تاثیر بگذار ند [۵۴و۵۳]. گزارش شده‌است که نانوذرات نقره جوانه‌زنی بذر و تاثیر ضد میکروبی را بر روی لوبیا سبز در یک محیط معمولی و سرد افزایش می‌دهند [55]. اثر نانوذرات طلا و نقره بر رشد گیاه *Mimusops laurifolia* بررسی شد و مشخص شد که نانوذرات نقره در ر شد گیاهچه نسبت به نانوذرات طلا موثرتر هستند [۵۶]. اثرات ارتقاء رشد نانوذرات کلسیم اکسید در گیاه *Bengal gram* مطالعه شد و نتایج نشان داد که نانوذرات کلسیم اکسید نیز به‌عنوان یک درشت مغذی عمل می‌کنند [۵۷]. پلگرینو[1] و همکاران با نانوذرات اکسید مس کار کرد ند و کاربرد آن در جوانه‌زنی بذر *Lactuca sativa L.*, را گزارش دادند [۵۸]. برای تولید یک محصول که تحت تنش شوری است، یکی از مهم‌ترین مراحل جوانه‌زنی بذر می‌باشد که می‌تواند به رشد قوی و استقرار بهتر گیاه منجر شود. اضافه‌کردن سیلیکون[2] می‌تواند مقاومت بذر را در برابر نمک بهبود بخشد و فعالیت فتوسنتزی سلول‌های برگ جو را افزایش‌دهد[۵۹]. پرایمینگ بذر گندم با نانوذرات اکسید روی و نانوذرات آهن بر تجمع کادمیوم بررسی شد و نتایج نشان داد که نانوذرات سبب افزایش زیست توده و کاهش سمیت کادمیوم می‌شوند [۶۰]. استفاده از نانوذرات سیلیس باعث بهبود جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش شوری می‌شود [۶۱]. تأثیر نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان توسط بسیاری از محققان ارزیابی شده‌است. در یکی از مطالعات، بذر اسفناج حاوی تیتانیوم دی اکسید[3] تا ۷۳ درصد جوانه‌زنی را بهبود بخشید و سرعت فتوسنتز را افزایش

[1] Pelegrino
[2] Silicon
[3] Tio2

داد. علاوه براین، با کاهش اندازه ذرات، جوانه‌زنی هم بیشتر شد. با این حال، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نگرانی هایی برای سلامتی انسان دارند که می‌توان با استفاده از نانوذره طلا آن را کاهش داد[۶۲]. اثر نانوذرات اکسید روی بر شاخص جوانه‌زنی و رشد ریشه برنج و نخود بررسی شد. اثر نانوذرات اکسید روی بر روی جوانه‌زنی ۳۰-۳۷ درصد بود که بیشتر از روش های معمولی است. دوز بالاتر آن باعث اثرات سمی گیاهی در گیاهان نخود شد، در حالی که چنین اثراتی برای گیاهان برنج مشاهده نشد. نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های پایین نیز سبب رشد گندم و ذرت شده‌اند [۶۴و۶۳]. نانوامولسیون‌های روغن زردچوبه[1] و نانوذرات نقره به عنوان عوامل نانوپرایمینگ برای جوانه‌زنی بذر هندوانه ریور ساید[2] و ماکسیما[3] در شرایط مزرعه و گلخانه مورد استفاده قرار گرفتند. بذرهای هندوانه پرایمینگ با نانوذرات نقره جوانه‌زنی، رشد و عملکرد افزایش یافته‌ای را در تمام شرایط مورد مطالعه in-vivo/in-vitro نشان دادند[۶۵]. این مطالعات اهمیت نانوتکنولوژی را در بهبود تنش غیرزیستی گیاهان نشان می‌دهد. چنین کاربردهایی از فناوری نانو می‌تواند برای مقابله با خشکسالی، گرما و تنش‌های زیستی و همچنین ویروس‌ها مفید باشد.

۴-۲ افزایش راندمان مصرف آب[4]

عمدتاً در بسیاری از نقاط جهان، برای کشاورزی از منابع آب شیرین استفاده می‌شود. مصرف کم‌تر آب برای تولیدات کشاورزی نکته‌ای کلیدی است. در حال حاضر، بیشتر آبی که برای رشد محصولات کشاورزی استفاده می‌شود، از رطوبت خاک دیم حاصل می‌شود و کشاورزی بدون آبیاری حدود ۶۰ درصد از تولید را در کشورهای در حال توسعه تشکیل می‌دهد. با استفاده از نانوذرات می‌توان راندمان مصرف آب را افزایش داد به‌عنوان مثال نانولوله‌های کربنی تعرق و جذب آب را در گیاهان بهبود می‌بخشند[۶۶]. تقویت پروتئین‌های کلیدی کانال آب به‌نام آکواپورین‌ها[5] با استفاده از نانولوله‌های کربنی[6] باعث بهبود جذب آب در دیواره سلولی ریشه تنباکو[7] شده‌است [۶۷]. نانوذرات دی اکسید سریم[8] منجر به افزایش عملکرد گوجه فرنگی گونه *Solanum lycopersicum* شدند [۶۸]. استفاده از نانوذرات طلا[9] ظرفیت جذب قوی و افزایش کارایی مصرف آب را با کاهش نگرانی‌های ایمنی زیستی نشان داده‌است [۶۹]. محصولات مبتنی بر نانوذرات مانند اکسید سریم، اکسید تیتانیوم و نقره دارای خواص عالی هستند و می‌توانند در مناطقی مانند بیابان‌ها که کمبود آب وجود دارد، استفاده شوند. تنش شوری می‌تواند باعث کمبود آب و کاهش رشد در گیاهان شود[۷۲-۷۰]. نشان داده شده است که نانوذرات مهندسی شده با کاهش اتلاف و افزایش جذب آب، حفظ آب را در گیاهان بهبود می‌بخشند. نانوذرات اکسید گرافن عاملدار شده با پرولین دارای پتانسیل بهبود احتباس آب در گیاهان تحت شرایط تنش شوری هستند[۷۳].

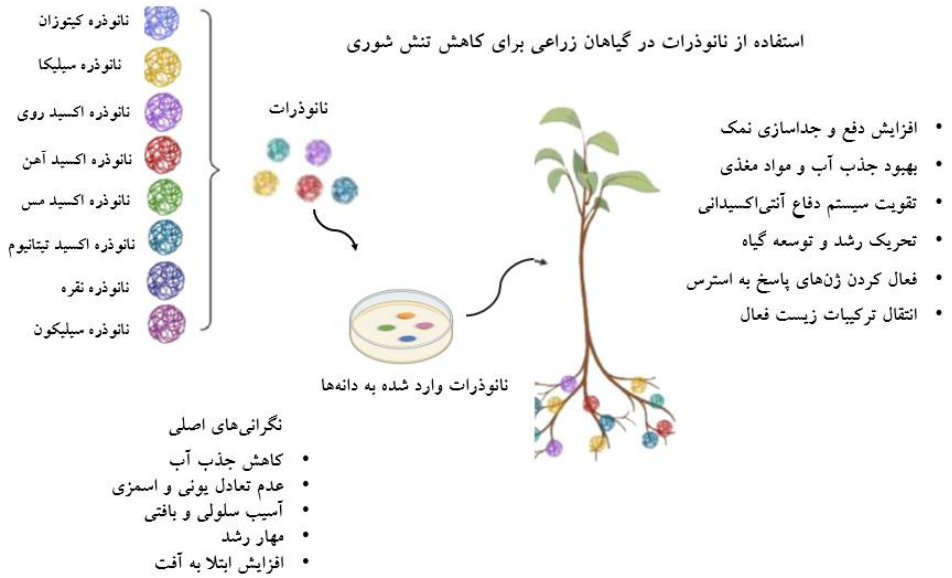
اکسید گرافن یک نانو ماده دو بعدی با سطح بزرگ و ظرفیت جذب بالا است. این نانوذره یک لایه محافظ روی سطح برگ تشکیل می‌دهد تا میزان تعرق و از دست دادن آب را کاهش دهد، بنابراین، محتوای نسبی آب، پتانسیل آب برگ و کارایی مصرف آب را همانطور که در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش نمکی گزارش شده است، بهبود می‌بخشد[۷۴]. نانوذرات سیلیس نیز ظرفیت افزایش جذب و نگهداری آب در گیاهان را افزایش می‌دهند. نانوذرات سیلیس به‌دلیل سطح وسیعی که دارند، یک سوسپانسیون کلوئیدی پایدار در آب تشکیل می‌دهند که کاربرد آن‌ها را

[1] Turmeric oil nanoemulsions
[2] Riverside
[3] Maxima
[4] Increase water use efficiency
[5] Aquaporins
[6] Carbon nanotubes
[7] Tobacco
[8] Ceo2
[9] Au NP

برای گیاهان آسان می‌کند. استفاده از نانوذرات سیلیس برای افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود وضعیت آب و رشد گیاهان ذرت در شرایط تنش شوری گزارش شده است[۷۵]. صالحی لیسار[1] و بخشایشان آگدام[2] گزارش دادند که کاربرد نانوذرات سیلیس در گیاهان گندم تحت تنش نمکی به‌طور قابل توجهی محتوای نسبی و راندمان مصرف آب گیاهان را افزایش می‌دهد که با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی همراه است و به کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از استرس نمک در گیاهان کمک می‌کند [۷۶]. شکل ٤ نگرانی‌های عمده ناشی از تنش شوری در گیاهان زراعی و استفاده از نانوذرات برای کاهش تنش شوری و افزایش جذب آب در آن‌ها را نشان می‌دهد.

۵-۲ نانوزیست پالایی[3]

محیط زیست آلوده (به عنوان مثال، خاک، آب، هوا) به‌عنوان یک موضوع مهم در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شود. این آلاینده‌ها می‌توانند از منشأهای مختلفی از جمله بهره‌برداری های صنعتی، فعالیت های معدنی و فعالیت های کشاورزی پدید آیند. زمین های آلوده به آلاینده‌های سمی با غلظت بالا، اکوسیستم کشاورزی را از بین می‌برند بنابراین اصلاح فرایند دفع آلاینده ها از اکوسیستم‌های مختلف، ضروری است. در طول دهه گذشته، فناوری نانو در کشاورزی قدرت پیدا کرده است و عامل تاثیرگذار در کشاورزی فعلی است. در بین محققان، نانو پالایی برای محافظت از زمین در برابر آلاینده ها و بهبود تکنیک‌های تصفیه موجود برای مبارزه با آلودگی در سراسر جهان مورد توجه عمیقی قرار گرفته است [۷۸]. در بسیاری از کشورها، استفاده از کلرهای ارگانیک موجود در آفت‌کش ها به‌دلیل اثرات نامطلوب آن ها محدود شده‌است.



شکل ٤ نگرانی‌های عمده ناشی از تنش شوری در گیاهان زراعی و استفاده از نانوذرات در گیاهان برای کاهش تنش شوری و افزایش جذب آب [۷۷].

[1] Salehi-Lisar
[2] Bakhshayeshan-Agdam
[3] Nanobioremediation

صنایع غذایی و پساب های آب و کشاورزی از تولیدکنندگان عمده کلر ارگانیک هستند که سبب آلودگی محیط زیست می‌شوند. امروزه انواع مختلفی از نانومواد برای تخریب ترکیبات خاصی استفاده می شوند. نانوذراتی مانند اکسید تیتانیوم و آهن به‌عنوان جاذب‌های عالی در نظر گرفته می‌شوند و در فتوکاتالیزورها کارآمد هستند. پالایش اورانیوم، تصفیه آب های زیرزمینی، تصفیه هیدروکربنی، تصفیه پسماند جامد، تصفیه فاضلاب و تصفیه فلزات سنگین از کاربردهای اصلی نانوتکنولوژی است[۷۹].طیف گسترده ای از نانومواد بر اساس اشکال مختلف مانند نانومواد کربن دار، زئولیت، پلیمرهای طبیعی، مواد مغناطیسی، اکسیدهای فلزی، مواد فلزی و سیلیس ساخته شده‌اند و توانایی‌شان برای حذف یون‌های مختلف فلزات سنگین مانند جیوه، مس و نیکل از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته‌است[۸۰]. آلودگی خاک کشاورزی به فلزات سنگین و اثرات مضر آن‌ها بر گیاهان زراعی یک نگرانی زیست محیطی مهم است. وجود این عناصر سمی تهدیدی جدی برای تعادل اکولوژیکی خاک محسوب می شود. اثرات مستقیم فلزات سنگین بر گیاهان شامل کاهش بیوماس گیاهی، کاهش فتوسنتز، کاهش محتوای پروتئین و پیگمانت ها و کاهش تنفس و اثرات غیر مستقیم فلزات سنگین بر گیاهان شامل افزایش غیرفعالسازی آنزیم، افزایش آسیب و مرگ سلولی، افزایش آسیب به DNA و لیپید و افزایش انحراف کروموزومی است[۸۱]. زیست پالایی با استفاده از نانوذرات برای ترکیبات دیر تجزیه پذیر مانند آفت‌کش‌ها بسیار مهم است. ترکیبات مضر موجود در آفت‌کش‌ها ممکن است تجزیه یا به ترکیباتی که کمتر مضر هستند، تبدیل شوند. نانوذراتی مانند اکسید آلومینیوم، دی اکسید تیتانیوم و فولرن‌ها برای تمیز کردن خاک و تصفیه آب استفاده می‌شوند [۸۲]. در گزارشات اخیر، نانومواد اکسید آهن پوشش داده شده برای بهبود اثربخشی زیست پالایی خاک آلوده به سرب و کادمیوم توسط باکتری *Halomonas sp* استفاده شدند و نتایج نشان داد که حذف ۱۰۰ درصد سرب پس از ۲۴ ساعت و کادمیوم پس از ۴۸ ساعت در مقایسه با حذف آن‌ها به تنهایی توسط باکتری یا به تنهایی توسط نانومواد اتفاق میفتد[۸۳].

۲-۶. مدیریت بیماری‌های گیاهی[1]

در مدیریت بیماری های گیاهی، مهم‌ترین بخش درک فرایند آلودگی و تکثیر و پس از آن بررسی روش‌هایی است که از طریق آن می‌توان این امر را کاهش داد. می‌توان از نانوتکنولوژی به‌عنوان یک سلاح و ابزار جدید جهت مدیریت بیماری‌های گیاهی بهره جست. به‌طور کلی، استفاده از نانوذرات برای محافظت از گیاهان می‌تواند از طریق دو مکانیسم مختلف اتفاق بیفتد: (الف) نانوذرات خود محافظت از محصول را فراهم کنند یا (ب) نانوذرات به‌عنوان حامل آفت‌کش‌های موجود به شکل اسپری استفاده شوند [۸۴]. *Botrytis cinerea* یک پاتوژن مهم پس از برداشت محصول است که سبب بیماری کپک خاکستری می شود و مقدار زیادی از میوه‌ها و سبزیجاتی را که دارای اهمیت اقتصادی زیادی هستند، در طول فصل رشد و ذخیره سازی پس از برداشت از بین می‌برد. در طول نگهداری محصولات زراعی، غلبه بر این بیماری بسیار مهم است زیرا این پاتوژن در دماهای پایین هم رشد می‌کند و به سرعت در بین سبزیجات و میوه ها پخش‌می شود[۸۵]. مشاهده شده‌است که رشد *Botrytis cinerea* می‌تواند مستقیماً توسط نانو اکسید روی، نانو کلسیم و نانوسیلیکون همراه با فیلم کیتوزان مهار شود [۸۶]. نانومواد اکسید فلزی مانند اکسید روی، اکسید تیتانیوم و اکسید مس به‌دلیل سمیت ذاتی، به‌طور گسترده برای محافظت از گیاهان در برابر عفونت های پاتوژن استفاده می‌شوند و نشان داده شده است که نانوذرات

[1] Diseases management of plant

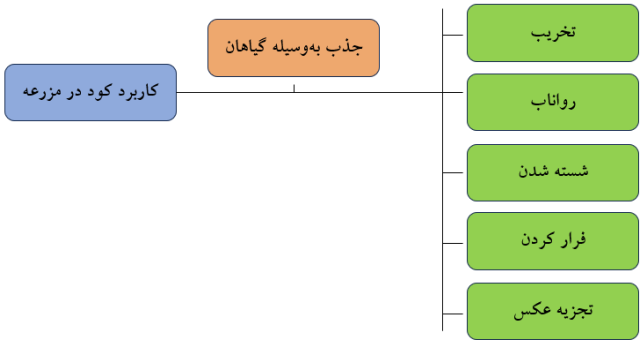
اکسید روی می‌توانند به‌طور موثر رشد قارچ هایی مانند *Fusarium graminearum*، *Aspergillus flavus*، *Aspergillus niger*، *Aspergillus fumigatus* و *F. culmorum* را مهار کنند [۲۱]. نانوذرات نقره در برابر انتریت هموراژیک تحریک کننده اشریشیا کلی *O157:H7* و مخمر قوی هستند[۸۷]. نانوفیلم‌های بیسموت اصلاح‌شده در تشخیص *E. coli* استفاده می‌شوند[۸۸].

۷-۲. نانوکودها[1]

کودها ترکیبات شیمیایی هستند که مواد مغذی را برای گیاه فراهم می‌کنند[۸۹]. کود های معمولی مانند اوره، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مونوآمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات به‌طور گسترده‌ای برای تکمیل مواد مغذی خاک استفاده می‌شوند اما به‌دلیل شسته‌شدن، راندمان پایینی دارند که این راندمان برای نیتروژن ۳۵-۳۰ درصد، برای فسفر ۲۰-۱۸ درصد و برای پتاسیم ۴۰-۳۵ درصد است که منجر به خسارت اقتصادی و مشکلات زیست محیطی از جمله آلودگی آب و کاهش حاصلخیزی خاک می‌شوند. شکل ۵ سرنوشت کودها پس از استفاده در زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد [۹۰].

جامعه علمی در حال حاضر به توسعه نانوکودهایی با رهایش آهسته روی آورده‌است. نانو کودها حامل مواد مغذی هستند که با استفاده از بسترهایی با ابعاد نانومتری ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تولید می‌شوند. نانو ذرات سطح وسیعی دارند و می‌توانند مواد مغذی فراوانی را در خود نگه دارند و آن‌ها را به آرامی و پیوسته آزاد کنند به‌طوری که جذب مواد مغذی مطابق با نیاز گیاه و محصولات کشاورزی را بدون هیچ گونه نقصی تسهیل می‌کنند. به عنوان مثال، ترکیب هیدروکسی آپاتیت با اوره به محققان این امکان را داده است که کودهایی با رهش آهسته تولید کنند که به تدریج مواد مغذی گیاه را آزاد می‌کند. علاوه بر این، اثرات زیست محیطی ناشی از آزادسازی مواد مغذی اضافی، توسعه کودهای موثرتر و سازگار با محیط زیست را ضروری کرده است[۹۱].

نانوکودها نویدبخش کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی هستند زیرا سبب کاهش مصرف نیتروژن می‌شوند و حاوی مواد مغذی و مواد محرک رشد می باشند که در نانو پلیمرها یا امولسیون‌ها محصور شده‌اند[۹۲]. تأخیر در انتشار مواد مغذی، افزایش تولید، بهبود فتوسنتز، افزایش دوره اثرگذاری کود و افزایش مواد مغذی خاک سبب بهبود رشد گیاه می‌شوند[۹۳]. کودها نقش به‌سزایی در پیشرفت کشاورزی و دست‌یابی به هدف امنیت غذایی و کشاورزی پایدار دارند و نتایج امیدوارکننده‌ای را برای ارتقای رشد گیاهان نشان داده‌اند[۹۵و۹۴].



شکل ۵ سرنوشت کودها پس از استفاده در مزارع [۹۰].

[1] Nanofertilizers

۸-۲ نانوعلف‌کش‌ها[1]

مواد شـیمیایی کشـاورزی به‌طور مداوم برای بهبود تولید مواد غذایی اسـتفاده می‌شـوند و اسـتفاده بی رویه از آن‌ها باعث آسیب به سلامت عمومی و آلودگی محیط می شود [۹۷و۹۶]. تقریباً سـالیانه چهار میلیون تن آفت‌کش برای تولید غذا در سراسر جهان استفاده می‌شود[۹۹و۹۸]. که از این تعداد ٤۰ درصد علف کش، ۳۰ درصد حشره کش و ۲۰ درصـد قارچ کش‌ها هسـتند[۱۰۰]. مقدار بسـیار زیاد آفت‌کش‌های مورد استفاده به‌دلیل چسبندگی کم این مواد فعال روی برگ‌ها، جذب بالای آن‌ها توسـط خاک و بی‌ثباتی فیزیکوشیمیاییشان است[۹٦]. تحقیقات قبلی نشان داده است که تنها ۰٫۱ درصد از آفت‌کش‌ها به اندازه کافی برای رسـیدن به آفت مورد نظر باقی می‌مانند، در حالی که بقیه به‌طور مسـتقیم به محیط اطراف پخش می‌شـوند [۱۰۲و۱۰۱]. علف‌های هرز گیاهان عملکرد محصـول را کاهش می‌دهند بنابراین نیاز به حذف به موقع از زمین‌های کشـاورزی دارند. علف‌کش‌های معمولی علف‌های هرز را از قسـمت‌های بالای گیاه از بین می‌برند و غده‌ها یا ریشـه‌هایی از علف هرز را که می‌توانند مجدد در شـرایط مسـاعـد جوانـه‌بزننـد را از بین نمی‌برنـد[۱۰۳]. نـانو علف‌کش‌ها پخش، چسـبندگی و زمان تماس بیشـتری را روی برگ‌ها نشان داده‌اند و قادر به کنترل رهاسازی یون‌ها و مولکول‌های زیستی هستند[۱۰۵و۱۰٤].

۹-۲ نانوآفت‌کش‌ها[2]

آفات گیاهی یک تهدید بزرگ برای تولید محصـولات زراعی هسـتند و نیاز به اقدامات کنترلی دقیق دارند. در روش‌های مرسـوم برای کنترل آفات از انواع مختلفی از آفت‌کش‌های شیمیایی استفاده می‌کنند که بیشتر آنها باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر موجودات و محیط زیسـت می‌شـود [۱۰٦]. برای محافظت از محیط زیسـت و نجات گونه‌ها، باید از آفت‌کش‌های طبیعی و سـازگار با محیط زیست استفاده شود. اهمیت نانوذرات به‌عنوان آفت‌کش، جذب آسـان، تحویل کنترل‌شـده و کارآمدی بالا، حتی در دوزهای پایین اسـت. در طیف وسـیع، نانومواد دارای خواص ضـد میکروبی قوی هسـتند که باعث می‌شـود از آن‌ها به‌طور مسـتقیم به‌عنوان آفت‌کش برای گیاهان و خوراکی‌ها در برابر حشـرات بیماری‌زا و آفات اسـتفاده شـود. نانومواد مختلفی به‌عنوان نانو آفت‌کش ها یا نانوحامل‌ها برای رسـاندن آفت‌کش‌ها در محل عمل استفاده می شوند [۱۰۸و۱۰۷]. جدول ۲ لیست نانوموادی که می‌توانند به‌عنوان نانوآفت‌کش مورد استفاده قرار گیرند را نشان می‌دهد [۱۰۹و۹٦].

۱۰-۲ نانوحشره‌کش‌ها[3]

حشـرات ناقل بیماری های مختلف گیاهی هسـتند که به محصـولات زراعی آسـیب می‌رسـانند و بنابراین نیاز به کنترل فعـال دارنـد. چنـدین حشـره‌کش مبتنی بر مواد شیمیایی برای جلوگیری از تولیدمثل یا کشتن آنها استفاده شده‌است[۱۱۰]. با این‌حال، حشره‌کش‌های مبتنی بر مواد شـیمیایی دارای معایب متعددی هسـتند، زیرا در اثر نور، دما، میکروارگانیسـم‌ها و هیدرولیز تجزیه می‌شـوند. بنابراین، تنها مقدار کمی از این حشـره کش‌ها به محل مورد نظر می‌رسد. در نتیجه استفاده مکرر از حشره‌کش‌ها برای کنترل حشـرات ضـروری اسـت که هزینه تولید محصول را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، استفاده از حشره کش‌ها به اکوسیستم و سلامت انسان آسیب می‌رساند [۱۱۱]. برای مبارزه با این مشکلات، چندین حشره‌کش بر پایه نانوذرات در حال فرمول‌بندی و آزمایش هسـتند. به‌عنوان مثال، نانوذرات اکسید روی نرخ مرگ و میر ۹۱/٦ درصـد را در برابر مگس *Trialeurodes vaporariorum* فراهم می‌کنند [۱۱۲].

[1] Nanoherbicides
[2] Nanopesticides
[3] Nanoinsecticides

جدول ۲ فهرستی از نانومواد مختلف مورد استفاده به‌عنوان نانوآفت‌کش [۱۰۹و۱۰۸و۹۶].

نانومواد	حشره	بیماری	اثر
نانوذرات روتنون برپایه کیتوزان	*Solenopsis Invicta*	به محصولات گیاهی (سبزیجات) آسیب می‌رساند	فعالیت حشره‌کشی موثر در برابر مورچه‌های آتشین قرمز
دلتامترین لود شده با نانوذرات مزوپورسیلیکا	*Eurygaster integriceps*	عامل استرس‌زای زیستی	از بین رفتن کمی و کیفی در مزارع گندم و جو
مولیبدن دی سولفید/مزوپور سیلیکا/ سیکلودکسترین	*Rhizoctonia solani/ Fusarium graminearum*	سوختگی غلاف برنج و گندم	ضدقارچ
نانوذرات مزوپور سیلیکا	*Fusarium* sp.	عفونت	کاهش بیماری
نانوذرات مس	*Clavibacter michiganensis*	عفونت باکتریایی	مقاومت در برابر عفونت

استفاده از نانوذرات نقره و طلا سبب کاهش وزن لارو *Pericallia ricini* می‌شوند[۱۱۳]. نانو حشره‌کش‌ها با رهایش کنترل‌شده، اثربخشی حشره‌کش‌های طبیعی و شیمیایی را افزایش می‌دهند و حمل آ سان و ایمنی دارند. حشره کش ها در طیف وسیعی از نانوفرمولاسیون های پلیمری و غیر پلیمری، از جمله نانوال یاف، نانوژل ها، نانوکره‌ها، میسل‌ها، نانوامولسیون‌ها و نانوکپسول‌ها به کار گرفته شده‌اند. انواع پلی ساکاریدها مانند کیتوزان، آلژینات‌ها، نشاسته و پلی استرها برای سنتز نانو حشره کش‌ها در نظر گرفته شده‌اند[۱۱٤].

۱۱-۲ نانوقارچ‌کش‌ها[1]

پاتوژن‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد به بافت‌های گیاه حمله می‌کنند. برخی از پاتوژن‌های قارچی مانند *Fusarium* spp Botrytis cinerea، *Phythophora* spp گیاهان هوایی و تعداد کمی از قسمت‌های زمینی گیاه را آلوده می‌کنند و باعث از بین رفتن عملکرد محصول می شوند. روش‌های کنترل این پاتوژن‌ها شامل استفاده از قارچ‌کش شیمیایی است که در طبیعت بسیار سمی و غیرقابل تجزیه است و محیط را آلوده می‌کند و بر سلامت انسان تاثیر می‌گذارد. برای مقابله با مشکلات مرتبط با کاربرد کودهای شیمیایی در این زمینه، توسعه قارچ‌کش سازگار با محیط زیست مبتنی بر نانومواد برای پایداری کشاورزی انجام شده‌است[۱۱۵]. ترکیب کیتوزان (CS) و نقره (Ag) (Ag@CS NPs) فعالیت ضد قارچی قابل توجهی را در برابر قارچ *Pyricularia oryzae*، که برنج را آلوده می‌کند نشان داده‌است[۱۱٦]. فعالیت ضد قارچی نانوذرات نقره همچنین در برابر قارچ *Candida* spp گزارش شده‌است[۱۱۷].

۱۲-۲ نانوبارکد[2]

در زندگی روزمره، بارکدینگ نقش اساسی در مدیریت دام و کشاورزی دارد. نانوذرات برای تولید نانوبارکدها باید توسط ماشین خوانا، ماندگار، به‌راحتی قابل رمزگذاری و بسیار مقیاس‌پذیر با شند. فناوری نانو در برچسب‌گذاری محصولات کشاورزی و غذایی استفاده می شوند. نانومیله های بریده شده نانوبارکدها با آبکاری ذرات فلزی مانند طلا، نقره، آلومینیوم، روی ساخته می‌شوند و در برچسب‌های ID در زمینه علامت گذاری ژنتیکی گیاهان مقاوم به خشکی، حشرات، آفات و گیاهان مقاوم به شوری به شیوه‌ای مقرون به صرفه استفاده می‌شوند. پردازش زیستی نانوبارکدها در نظارت بر کیفیت محصول، جدای

[1] Nanofungicides

[2] Nanobarcode

از تشـــخیص بیماری نیز مفید اســـت. نقاط‌کوانتومی نیز به‌عنوان نانوبارکدهایی که توســـط گروهی از دانشـــمندان برای تشخیص پاتوژن‌های گیاهی با تکنیک‌های کمی‌سازی بیان ژن ایجاد شده‌اند، استفاده می‌شوند[۹۲].

۱۳-۲ نانوحسگرها[1] در کشاورزی

روش‌های رایج و سنتی تشخیص پاتوژن‌های گیاهی برپایه مشـــاهده میکروســـکوپی،کشـــت پاتوژن و روش‌های ایمونولوژیکی و مولکولی می‌باشند که اغلب زمانبر هستند و ممکن اســـت در نتـایج خطـا ایجـاد کننـد. کـاربرد نانوبیوسنسور در آسیب‌شناسی گیاهی، تشخیص پاتوژن‌ها، تشـــخیص ســـموم و مواد شـــیمیایی و فلزات ســـنگین و تشـــخیص کمبود مواد مغذی برای گیاه یک رویکرد جدید برای تشخیص پاتوژن‌های گیاهی است که سریع و دقیق‌تر هســـتند[۹۲]. علاوه براین، نانوحســـگرها می‌توانند کیفیت دانه را با تشـــخیص نوع فســـاد تشـــخیص دهند و به آنالیت‌های مختلف در محیط ذخیره‌ســـازی مواد غذایی پاســـخ دهند. هزاران نانوذره را می‌توان روی یک حســـگر قرار داد تا به درستی اسپورهای قارچی و حشرات مضر موجود در انبار را تشـــخیص دهند. امروزه از ســـموم دفع آفات برای بهبود محصـــولات اســـتفاده می‌شـــود. وقتی آفت‌کش‌ها در محیط تخریب می‌شـــوند، مقداری بقایای سمی در خاک آزاد می‌شود که ممکن است از طریق آب و خاک آلوده وارد زنجیره غذایی شـــوند بنابراین روش‌های دقیق تشخیص آفت‌کش برای اندازه‌گیری وضعیت آلودگی خاک مورد نیاز است که می‌توان برخلاف روش‌های سنتی زمانبر مانند انواع کروماتوگرافی و طیف ســنجی جرمی، از حسگرها بهره جست که ارزان‌تر و سریع‌تر هستند و نیازی به پیش تصفیه نمونه ندارند[۸۲]. به عنوان مثال، یک روش الکترو شیمیایی مغناطیسی ایمنی برای تشخیص باقیمانده آترازین در نمونه‌ها توســـعه داده شـــد[۱۱۸]. ابزارهای تشـــخیصـــی زودهنگام و کارآمدی برای مدیریت عوامل بیماری‌زا و آفات بر پایه فناوری CRISPR-Cas توســـعه داده شـده‌اند. این سیسـتم متشـکل از اندونوکلئاز Cas و RNA راهنمـا اســـت کـه می‌توانـد بـه‌طور دقیق، اســیدنوکلئیک‌های هدف را شــناســایی کند و برش دهد. اصـل کار این اسـت که تحت هدایت یک RNA، معروف به crRNA، پروتئین CRISPR-Cas می‌تواند توالی DNA هدف را پیدا کرده و حذف کند. Cas12 هم می‌تواند DNA هدف را بشـــکافد و هم فعالیت برش جانبی برای DNA تک رشـــته داشـــته باشـــد. هنگامی‌که کمپلکس crRNA-Cas12a به اهداف DNA خاص خود متصـــل شـــود، فعالیت برش Cas12a فعال شـــده و رشـــته‌های ssDNA غیرهدف را به‌طور غیراختصاصی و بدون تبعیض می‌شـــکافد[۱۲۰و۱۱۹]. در یک مثال برای تشـــخیص آفت‌کش‌های ارگانوفســـفره یک ســـنجش فلئورســـنت بر مبنای فناوری CRISPR-Cas12a انجام شـــد. در این طراحی از نانوصفحات منگنزاکسید به‌دلیل خواص منحصر به فردشـــان به‌عنوان پلی برای دســـتیابی به تشـــخیص با حساسـیت بالا اسـتفاده شـد. این خواص منحصـر به‌فرد شـامل سـنتز آسـان، پایداری بالا، حلالیت خوب در آب، هزینه کم، ظرفیت جذب نور گسترده، توانایی اکسیداسیون قوی و رفتار ذاتی شـــبیه اکســـیداز بود. هنگامی که مورفولوژی صـفحات توسـط عوامل کاهنده، مانند اسـید اسکوربیک و گلوتاتیون تغییر یابد، مقدار زیادی یون منگنز تولید می‌شود. یون منگنز به‌عنوان کوفاکتور DNAzyme را برای جداســازی رشـته‌ها فعال می‌کند. این فرایند به‌خوبی استراتژی‌های مختلف تقویت سیگنال مبتنی بر DNA را به هم مرتبط می‌کند و تشخیص آنالیت با حساسیت بالا را فراهم می‌کند. علاوه بر این، یون‌های منگنز می‌توانند به عنوان شتاب‌دهنده فعالیت ترانس برش سیستم CRISPR-Cas12a عمل کنند و حساسیت روش‌های تشخیص مبتنی بر ســـیســـتم CRISPR-Cas12a را تا حد زیادی بهبود

[1] Nanosensor

بخشند. علاوه بر نانوصفحات منگنزاکسید از استیل کولین استراز نیز استفاده شد که استیل تیوکولین را به تیوکولین هیدرولیز می‌کرد و تیوکولین صفحات منگنزاکسید را تخریب می‌کرد و موجب آزادسازی یون‌های منگنز می‌شد. یون‌های منگنز سبب فعالسازی DNAzyme می‌شدند و سپس رشته DNA کوتاه، سیستم CRISPR-Cas12a را فعال می‌کرد تا کاوشگر گزارشگر DNA نشاندار شده با مهارکننده فلئوفور را بشکند و در نتیجه شدت فلئورسنس افزایش میافت. در حضور آفت‌کش ارگانوفسفره، فعالیت استیل کولین استراز سرکوب می‌شد و شدت فلئورسنس کاهش میافت. در این طراحی، یک واکنش آبشاری دو آنزیمی برای فعال کردن سیستم CRISPR-Cas12a ایجاد شده‌بود. اولین واکنش آنزیمی، تخریب نانوصفحات منگنزاکسید با واسطه استیل کولین استراز بود و محصول اولین واکنش آنزیمی باعث ایجاد واکنش آنزیمی دوم می‌شد. یعنی یون‌های منگنز، DNAzyme را فعال می‌کردند تا رشته سوبسترای آن را در محل RNA بشکنند. رشته DNA کوتاه تولید شده با crRNA هیبرید می‌شد و برش ترانس سیستم CRISPR-Cas12a را فعال می‌کرد. حساسیت بالای این روش به ترکیب عالی خواص برجسته نانوصفحات منگنزاکسید و تقویت سیگنال آنزیمی، از جمله واکنش‌های آنزیمی استیل کولین استراز، DNAzyme و CRISPR-Cas12a نسبت داده می‌شود. این استراتژی جدید می‌تواند کاربرد فناوری CRISPR-Cas12a را در ایمنی مواد غذایی و حفاظت از محیط زیست گسترش دهد[۱۲۱].

۳- چالش های مرتبط با فناوری نانو در صنعت کشاورزی

۳-۱ هزینه تولید نانومواد

امروزه کاربردهای مختلف فناوری نانو در بخش کشاورزی در مراحل ابتدایی خود قرار دارند اما در آینده ابزارها و فنون مرتبط با فنانوری نانو در حوزه‌های مختلف، رشد خواهد کرد. دولت‌ها و شرکت‌های خصوصی سعی می‌کنند تا سیاست و برنامه‌هایی را به افزایش تحقیقات نانو و هموار کردن مسیر تجاری‌سازی تحقیقات اختصاص دهند. تجاری سازی شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که در نهایت به ساخت نمونه اولیه و بهینه‌سازی فرایندهای موجود در عرضه محصول ختم می شود. تجاری سازی، فرایندی پرهزینه و زمانبر است و نمی‌توان به خروجی آن اطمینان کرد. تجاری سازی تحقیقات دانشگاهی حدودا به ٦ سال زمان نیاز دارد ونانوفناوری هم دخیل شود احتمالا به ۱۰ سال زمان نیاز خواهد داشت. بهترین راه برای پیاده‌سازی طرح‌های نانو تاسیس شرکت می‌باشد. علاوه بر این برای تاسیس شرکت نیز می‌توان با کارآفرینان ارتباط گرفت اما سرمایه مورد نیاز برای راه اندازی آزمایشگاه و فراهم آوردن مواد آزمایشگاهی و سایر امکانات برای انجام فعالیت‌های تحقیقاتی و ایجاد فناوری بسیار بالا خواهد بود[۱۲٤-۱۲۲].

۳-۲ موانع تجاری‌سازی

موانع تجاری‌سازی فناوری نانو به پنج دسته مسائل زیرساختی، مدیریتی، فرهنگی- اجتماعی و اقتصادی تقسیم می شوند. منظور از مانع زیر ساختی این است که قانون و مقررات کار و تجارت برای راه‌اندازی کسب و کارهای نانو منعطف نیست و در قوانین تجاری مرتبط با فعالیت‌های جدید ضعف احساس می‌شود. در بخش موانع علمی می‌توان به نداشتن آگاهی کافی کارشناسان در مورد قابلیت‌های نانو، ضعف آموزش‌های آکادمیک مرتبط با کارآفرینی و مدیریت سرمایه گذاری ریسک پذیر اشاره کرد. در مورد موانع ساختاری می‌توان به ضعف شبکه سازی بین محققین و کارآفرینان، عدم تعامل و ارتباط کافی بین دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی نانو و کمبود منابع مالی لازم برای سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه شرکت‌ها اشاره کرد. منظور از موانع مالی نیز عدم دسترسی کافی به بودجه دولتی برای انجام طرح و عدم وجود

زیرساخت مناسب برای تامین مالی شرکت‌های نوپا است. از موانع سیاست گذاری نیز می‌توان به فقدان رویکرد دولتی موثر در جذب طرح های نوین اشاره کرد. موانع زیست محیطی نیز شامل خطرهای زیست محیطی ناشی از کاربردهای نانو در صنعت غذا و کشاورزی، خطرهای ایمنی شغلی در تولید و استفاده از نانومواد توسط تولیدکنندگان و مصرف کنندگان و فقدان قوانین و نظارت‌های بهداشتی مبتنی بر استانداردهای فناوری نانو می‌شود[۱۲۴-۱۲۲].

٤- بحث و نتیجه‌گیری

فناوری نانو در بسیاری از زمینه و عرصه‌های علمی برای رفع مشکلات پیش قدم شده‌است زیرا ماهیتی بین‌رشته‌ای دارد و علوم مختلفی همچون فیزیک، شیمی، ریاضی، زیست و مهندسی مواد را به کار می‌گیرد. مواد در ابعاد نانو به‌دلیل ویژگی منحصر بفردی که در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی پیدا می‌کنند، بسیار کارآمد می‌شوند. همانطور که می‌دانیم در حوزه کشاورزی، تغییرات آب و هوایی، کمبود آب، کاهش باروری خاک، کاهش مواد مغذی خاک، مصرف بیش از حد از کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات، وجود فلزات سنگین در خاک و در حوزه غذا، رشد روز افزون جمعیت، تامین غذا برای این جمعیت رو به رشد، از بین رفتن منابع طبیعی، آلودگی‌های زیست محیطی و بیماری‌های ناشی از غذاهای آلوده همگی چالش‌هایی محسوب می شوند که محققین با آن‌ها روبه‌رو و در پی یافتن راه حلی بنیادین جهت رفع چالش‌های فوق الذکر هستند. رابطه بین فناوری نانو و علوم کشاورزی جهت رفع این چالش‌ها را می‌توان در زمینه‌های امنیت در کشاورزی و سیستم‌های تغذیه‌ای، ایجاد حسگرهای هوشمند برای پیشگیری و درمان بیماری گیاهی، ایجاد ابزار جدید برای پیشرفت در کشاورزی و بازیافت ضایعات مورد بررسی قرار داد. به کمک نانوفناوری می‌توان آنزیم های خاک را جهت جذب نیتروژن فعال و خاک را تقویت کرد و عملکرد میکروب‌های ریزوسفری را بهبود داد. نانوذرات مختلف می‌توانند سبب تقویت جوانه‌زنی بذر و رشد بیشتر گیاهان شوند. نانومواد مختلف راندمان مصرف آب را با تقویت کانال‌های آکواپورین افزایش می‌دهند. علم نانو به محققین کمک می‌کند تا محصولات اصلاح شده ژنتیکی با بهره‌وری بیشتر تولید کنند. با نانوکپسولاسیون می‌توان عوامل ضدمیکروبی، آفت‌کش و علف‌کش‌ها را به شکل کنترل شده و در محل خاص رهایش کرد. نانو علف‌کش‌ها پخش، چسبندگی و زمان تماس بیشتری را روی برگ‌ها نشان داده‌اند و قادر به کنترل رهاسازی یون ها و مولکول های زیستی هستند. برای محافظت از محیط زیست و نجات گونه‌ها، باید از آفت‌کش های طبیعی و سازگار با محیط زیست استفاده شود. اهمیت نانوذرات به‌عنوان آفت‌کش، جذب آسان، تحویل کنترل‌شده و کارآمدی بالا، حتی در دوزهای پایین است. در طیف و سیع، نانومواد دارای خواص ضد میکروبی قوی هستند که باعث می شود از آن‌ها به‌طور مستقیم به‌عنوان آفت‌کش برای گیاهان و خوراکی‌ها در برابر حشرات بیماری‌زا و آفات استفاده شود. نانو حشره‌کش‌ها با رهایش کنترل‌شده، اثربخشی حشره‌کش‌های طبیعی و شیمیایی را افزایش می‌دهند و حمل آسان و ایمنی دارند. نانوبارکدها در مدیریت دام و کشاورزی، نظارت بر کیفیت محصول و در زمینه علامت گذاری ژنتیکی گیاهان مقاوم به خشکی، حشرات، آفات و گیاهان مقاوم به شوری به‌کار گرفته می‌شوند. نانوبیوسنسورها در آسیب‌شناسی گیاهی، تشخیص پاتوژن‌ها، تشخیص سموم و مواد شیمیایی و فلزات سنگین و تشخیص کمبود مواد مغذی برای گیاه می‌تواند یک رویکرد جدید برای تشخیص پاتوژن‌های گیاهی هستند و می‌توانند کیفیت دانه را با تشخیص نوع فساد نظارت کنند و به آنالیت های مختلف در محیط ذخیره‌سازی مواد غذایی پاسخ دهند. به صورت کلی

استفاده از نانومواد در کشاورزی دقیق، هزینه‌ها و نیازهای نیروی کار را کاهش و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. گرچه فناوری نانو پیشرفت کرده است، کاستی‌های سیستم‌های تحویل نانوذرات فعلی نیز قابل توجه است. در حوزه مدیریت و ارزیابی ریسک، ایمنی و صحت فرآورده‌های غذایی، یک کالای عمومی در نظر گرفته می‌شود و حفاظت از این ایمنی بر عهده صنایع و دولت‌ها می‌باشد و در مبحث فناوری نانو، ایمنی مواد غذایی باید با آگاهی و اعتماد مردم همراه باشد. ایمنی مواد مورد استفاده جهت ساخت سیستم‌های تحویل نانوذرات باید بیشتر بررسی شوند و هنوز راه زیادی برای انتقال نانو مواد غذایی کاربردی از آزمایشگاه به صنعت و ناشناخته‌های بسیاری در رابطه با این فناوری وجود دارد و انجام تحقیقات بیشتر برای آگاهی از نتیجه تغییرات محصولات زراعی و تعامل آن‌ها با ماکرومولکول‌های موجود در سیستم‌های زنده ضروری است. کاربرد نانوتکنولوژی ممکن است نتایج تصادفی روی گیاهان و حیوانات داشته‌باشد بنابراین این تکنولوژی نیاز به ارزیابی کامل دارد. درک کامل سمیت نانومواد و عملکرد آن‌ها در مقیاس نانو برای کاربرد عملی فناوری نانو در صنایع مختلف بسیار مفید خواهد بود. علاوه بر این، باید سمیت نانومواد‌ی که خواص ضد باکتریایی دارند بر روی انسان و محیط زیست، ارزیابی شود. نانوذرات ممکن است در اندام و بافت‌های بدن به‌دلیل ابعاد کوچکتر تجمع کنند. حیوانات ممکن است نانوذرات را به ریه ها استنشاق کنند و اختلالات شدیدی پیدا کنند. بنابراین به صورت کلی می‌توان گفت که سمیت نانومواد برای سلول‌های پستانداران، بافت‌ها، اندام‌ها و اثر مزمن آن‌ها بر بدن انسان، مهاجرت نانومواد به غذا، تجمع زیستی نانومواد و تاثیر آنها بر اکوسیستم باید مورد ارزیابی و مطالعات بیشتر قرار گیرد. روش‌ها و ابزارهای دقیقی باید توسعه داده شوند تا دانش و اطلاعات ما در مورد ویژگی‌های نانومواد افزایش یابد و توسعه اسنادهای خاص در سطح جهانی برای ارزیابی ایمنی محصولات نانوتکنولوژی توصیه می‌شود. با توجه به مطالب فوق پیشنهاد می‌شود سیاست‌های حمایتی لازم در حوزه تجاری سازی محصولات نانویی در زمینه‌هایی مانند انتقال نتایج تحقیقات از دانشگاه‌ها به صنعت و کسب و کارهای موجود انجام شود. اطلاع رسانی هدفمند برای افزایش سطح آگاهی و دانش عامه مردم و تامین منابع انسانی متخصص صورت پذیرد. مراکز رشد، پارک‌های علم و فناوری، دفاتر ارتباط با صنعت راه‌اندازی و مدیریت شوند. بخشی از منابع مالی اختصاص یافته به فناوری‌های نانو به بازاریابی محصولات نانویی تخصیص پیدا کند. سخنرانی، نشست‌های علمی و سمینارهایی برای افزایش سطح آگاهی و اطلاعات مشتریان برگزار شود.

۵- منابع

[1] Elizabath, A., Babychan, M., Mathew, A. M., & Syriac, G. M. (2019). Application of nanotechnology in agriculture. Int. J. Pure Appl. Biosci, 7(2), 131-139.

[2] Singh, R., Dutt, S., Sharma, P., Sundramoorthy, A. K., Dubey, A., Singh, A., & Arya, S. (2023). Future of Nanotechnology in Food Industry: Challenges in Processing, Packaging, and Food Safety. *Glob Chall*, 7(4), 2200209. doi:10.1002/gch2.202200209

[3] Vijayakumar, MD., Surendhar, GJ., Natrayan, L., Patil, PP., Ram, PMB., Paramasivam, P. (2022). Evolution and Recent Scenario of Nanotechnology in Agriculture and Food Industries. *Journal of Nanomaterials*. 2022:1280411. https://doi.org/10.1155/2022/1280411

[4] Yadollahi, A., Arzani, K., Khoshghalb, H., (2010). The role of nanotechnology in horticultural crops postharvest management. *In: Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce*, vol. 875, pp. 49 56

[5] Potocnik, J., 2005. *Nanosciences and Nanotechnologies: an Action Plan for Europe 2005-2009*. *Commission of the European Communities*, Brussels, pp. 1–16.

[6] Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Romero, M., & Cummins, E. (2012).

Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science & Technology*, 24(1), 30-46. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.006

[7] Ashraf, S. A., Siddiqui, A. J., Elkhalifa, A. E. O., Khan, M. I., Patel, M., Alreshidi, M. & Adnan, M. (2021). Innovations in nanoscience for the sustainable development of food and agriculture with implications on health and environment. *Science of The Total Environment*, 768, 144990. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144990

[8] Sastry, R. K., Rashmi, H., & Rao, N. (2011). Nanotechnology for enhancing food security in India. *Food Policy*, 36(3), 391-400.

[9] Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R., & Kumar, A. (2015). Nanotechnology in agro-food: From field to plate. *Food Research International*, 69, 381-400. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.005

[10] Axelos, M. A., & Van de Voorde, M. (2017). *Nanotechnology in agriculture and food science*: John Wiley & Sons.

[11] Abobatta, W. F. (2018). *Nanotechnology application in agriculture*. Acta Scientific Agriculture, 2(6).

[12] Ravichandran, R. (2010). Nanotechnology Applications in Food and Food Processing: Innovative Green Approaches, Opportunities and Uncertainties for Global Market. *International Journal of Green Nanotechnology: Physics and Chemistry*, 1(2), P72-P96. doi:10.1080/19430871003684440

[13] Sadeghi, R., Rodriguez, R. J., Yao, Y., & Kokini, J. L. (2017). Advances in Nanotechnology as They Pertain to Food and Agriculture: Benefits and Risks. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 467-492. doi:10.1146/annurev-food-041715-033338

[14] Prasad, R., Bhattacharyya, A., Nguyen, Q.D., (2017a). Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Front. Microbiol*. 8,1014. doi: 10.3389/fmicb.2017.01014

[15] Husnain Gondal, A., & Tayyiba, L. (2022). Prospects of Using Nanotechnology in Agricultural Growth, Environment and Industrial Food Products. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 68-81. doi:10.7831/ras.10.0_68

[16] Saini, N., & Ledwani, L. (2022). Potential Applications of Nanotechnology in Agriculture: Conceptions, Characteristics, Prospects, and Limitations-A *Review*. *NanoWorld J*, 8(S1), S147-S161.

[17] Guerra, F. D., Attia, M. F., Whitehead, D. C., & Alexis, F. (2018). Nanotechnology for Environmental Remediation: Materials and Applications. *Molecules*, 23(7), 1760. Retrieved from https://www.mdpi.com/1420-3049/23/7/1760

[18] Yunus, I. S., Harwin, n., Kurniawan, A., Adityawarman, D., & Indarto, A. (2012). Nanotechnologies in water and air pollution treatment. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 136-148. doi:10.1080/21622515.2012.733966

[19] Khin, M., Nair, S., Veluru, J. b., Murugan, R., & Ramakrishna, S. (2012). A review on nanomaterials for environmental remediation. *Energy & Environmental Science*, 5, 8075. doi:10.1039/c2ee21818f

[20] Mukhopadhyay, S. S. (2014). Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. *Nanotechnol Sci Appl*, 7, 63-71. doi:10.2147/nsa.S39409

[21] He, X., Deng, H., & Hwang, H. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(1), 1-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002

[22] Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., & Tola, Y. B. (2021). Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: *food security implication and challenges. Heliyon*, 7(12), e08539. doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539

[23] Misra, A. N., Misra, M., & Singh, R. (2013). Nanotechnology in Agriculture and Food Industry. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, 16(2), 1-9.

[24] Al-Antary, TM., Kahlel, AMS., Ghidan, AY., & Asoufi HM. (2020). Effects of nanotechnology liquid fertilizers on fruit set and pods of broad bean (Vicia faba L.). *Fresen. Environ. Bull*. 29 (6): 4794–4798.

[25] Salem, N., Al-Banna, L., Abdeen, A., Ibrahim, Q., & Awwad, A. (2016). Sulfur Nanoparticles Improves Root and Shoot Growth of Tomato. *Journal of Agricultural Science*, 8, 179. doi:10.5539/jas.v8n4p179
[26] Zahedi, S. M., Karimi, M., & Teixeira da Silva, J. A. (2020). The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. *J Sci Food Agric*, 100(1), 25-31. doi:10.1002/jsfa.10004
[27] Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of Nanotechnology in Plant Growth and Crop Protection: A Review. *Molecules*, 24(14). doi:10.3390/molecules24142558
[28] Jatav, H. S., Sharma, L., Sadhukhan, R., Singh, S. K., Singh, S., Rajput, V. D., & Sukirtee. (2020). An Overview of Micronutrients: Prospects and Implication in Crop Production. In *Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management*, pp. 1–30. doi:10.1007/978-3-030-49856-6_1
[29] Lal, R. (2020). Soil health and carbon management. *Food Energy Secur*., 5, 212–222. https://doi.org/10.1002/fes3.96
[30] Chung, H., Kim, M. J., Ko, K., Kim, J. H., Kwon, H. A., Hong, I., & Kim, W. (2015). Effects of graphene oxides on soil enzyme activity and microbial biomass. Sci Total Environ, 514, 307-313. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.077
[31] Rajput, V. D., Singh, A., Minkina, T., Rawat, S., Mandzhieva, S., Sushkova, S., & Upadhyay, S. K. (2021). Nano-Enabled Products: Challenges and Opportunities for Sustainable Agriculture. Plants, 10(12), 2727. Retrieved from https://www.mdpi.com/2223-7747/10/12/2727
[32] Gondal, A., Zafar, A., Zainab, D., Toor, MD., Sohail, S., Ameen, S., & Younas, N. (2021). A detailed review study of zinc involvement in animal, plant and human nutrition. *Indian J. of Pure Appl. Biosci*. 9 (2): 262–271.
[33] Shah, V., Jones, J., Dickman, J., & Greenman, S. (2014). Response of soil bacterial community to metal nanoparticles in biosolids. *J Hazard Mater*, 274, 399-403. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.04.003
[34] Bimová, P., Birosová, L., Vojs, M., Kromka, A., Gál, M., Tichý, J., Mackuľak, T. (2017). The influence of selected nanomaterials on microorganisms. *Monatshefte für Chemie Chemical Monthly*, 1-6. doi:10.1007/s00706-016-1911-7
[35] Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in Agriculture: Which Innovation Potential Does It Have? *Frontiers in Environmental Science*, 4. doi:10.3389/fenvs.2016.00020
[36] Sivarethinamohan, R., & Sujatha, s. (2021). Unlocking the potentials of using nanotechnology to stabilize agriculture and food production (Vol. 2327).
[37] Zhao, F., Xin, X., Cao, Y., Su, D., Ji, P., Zhu, Z., & He, Z. (2021). Use of Carbon Nanoparticles to Improve Soil Fertility, Crop Growth and Nutrient Uptake by Corn (Zea mays L.). *Nanomaterials (Basel)*, 11(10). doi:10.3390/nano11102717
[38] Linh, T. M., Mai, N. C., Hoe, P. T., Lien, L. Q., Ban, N. K., Hien, L. T. T., & Van, N. T. (2020). Metal-Based Nanoparticles Enhance Drought Tolerance in Soybean. *Journal of Nanomaterials*, 2020, 4056563. doi:10.1155/2020/4056563
[39] Ali, B., Wang, X., Saleem, M. H., Sumaira, Hafeez, A., Afridi, M. S., & Ali, S. (2022). PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes. Plants, 11(3), 345. Retrieved from https://www.mdpi.com/2223-7747/11/3/345
[40] Upadhyay, S. K., & Chauhan, P. K. (2022). Optimization of eco-friendly amendments as sustainable asset for salt-tolerant plant growth-promoting bacteria mediated maize (Zea Mays L.) plant growth, Na uptake reduction and saline soil restoration. *Environmental Research*, 211, 113081. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113081
[41] Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Barthakur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., & Siddique, K. H. M. (2017). Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiol Biochem*, 118, 199-217. doi:10.1016/j.plaphy.2017.06.020
[42] Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P. M. C., Watt, M., & Roessner, U. (2021).

physiological changes of beetroot. *International Journal of Vegetable Science*, 25(5), 409-430.
[51] Cai, L., Liu, M., Liu, Z., Yang, H., Sun, X., Chen, J., & Ding, W. (2018). MgONPs can boost plant growth: evidence from increased seedling growth, morpho-physiological activities, and Mg uptake in tobacco (Nicotiana tabacum L.). *Molecules*, 23(12), 3375.
[52] Imada, K., Sakai, S., Kajihara, H., Tanaka, S., & Ito, S. (2016). Magnesium oxide nanoparticles induce systemic resistance in tomato against bacterial wilt disease. *Plant Pathology*, 65(4), 551-560.
[53] Das, S., Mukherjee, A., Sengupta, G., & Singh, V. K. (2020). Overview of nanomaterials synthesis methods, characterization techniques and effect on seed germination. In Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants (pp. 371-401): Elsevier.
[54] Ali, S., Mehmood, A., & Khan, N. (2021). Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *Journal of Nanomaterials*, 2021, 1-17.
[55] Prażak, R., Święciło, A., Krzepiłko, A., Michałek, S., & Arczewska, M. (2020). Impact of Ag nanoparticles on seed germination and seedling growth of green beans in normal and chill temperatures. *Agriculture*, 10(8), 312.
[56] Alshehddi, L. A. A., & Bokhari, N. (2020). Influence of gold and silver nanoparticles on the germination and growth of Mimusops laurifolia seeds in the South-Western regions in Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences*, 27(1), 574-580.
[57] Gandhi, N., Shruthi, Y., Sirisha, G., & Anusha, C. (2021). Facile and eco-friendly method for synthesis of calcium oxide (CaO) nanoparticles and its potential application in agriculture. *Saudi J. Life Sci*, 6, 89-103.
[58] Pelegrino, M. T., Kohatsu, M. Y., Seabra, A. B., Monteiro, L. R., Gomes, D. G., Oliveira, H. C., &Lange, C. N. (2020). Effects of copper oxide nanoparticles on growth of lettuce (Lactuca sativa L.) seedlings and possible implications of nitric oxide in their antioxidative defense. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-14.
[59] Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S. (2011). Causes of salinity and plant Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge, perspectives and future directions. *Plant and Soil*, 461(1), 219-244.
[43] Etesami, H., Fatemi, H., & Rizwan, M. (2021). Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112769. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112769
[44] Zulfiqar, F., & Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiol Biochem*, 160, 257-268. doi:10.1016/j.plaphy.2021.01.028
[45] Mahmoud, A. W. M., Abdeldaym, E. A., Abdelaziz, S. M., El-Sawy, M. B. I., & Mottaleb, S. A. (2020). Synergetic Effects of Zinc, Boron, Silicon, and Zeolite Nanoparticles on Confer Tolerance in Potato Plants Subjected to Salinity. *Agronomy*, 10(1), 19. Retrieved from https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/19
[46] Manimaran, M. (2015). A review on nanotechnology and its implications in agriculture and food industry. *Asian J Plant Sci Res* 5:13–15
[47] Elizabath, A., Babychan, M., Merly Mathew, A., & Maria Syriac, G. (2019). Application of Nanotechnology in Agriculture. *Int. J. Pure App. Biosci*. 7 (2): 131-139. DOI: http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6493
[48] Lopez-Lima, D., Mtz-Enriquez, A. I., Carrión, G., Basurto-Cereceda, S., & Pariona, N. (2021). The bifunctional role of copper nanoparticles in tomato: Effective treatment for Fusarium wilt and plant growth promoter. *Scientia Horticulturae*, 277, 109810.
[49] Iqbal, M., Raja, N. I., Mashwani, Z. U. R., Wattoo, F. H., Hussain, M., Ejaz, M., & Saira, H. (2019). Assessment of AgNPs exposure on physiological and biochemical changes and antioxidative defence system in wheat (Triticum aestivum L) under heat stress. *IET nanobiotechnology*, 13(2), 230-236.
[50] Siddiqui, Z. A., Khan, M. R., Abd_Allah, E. F., & Parveen, A. (2019). Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles affect some bacterial diseases, and growth and

manifestations to salt stress: a review. *J Environ Biol*, 32(5), 667-685.
[60] Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269-277. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.09.120
[61] Sarkar, M. M., Rudra, P., Paul, P., Dua, T. K., & Roy, S. (2024). Enhanced adaptation to salinity stress in lentil seedlings through the use of trehalose-functionalized silica nanoparticles (TSiNPs): Exploring silica-sugar absorption and oxidative balance. Plant Physiology and Biochemistry, 206, 108309.
[62] Zheng, L., Hong, F., Lu, S., & Liu, C. (2005). Effect of nano-TiO 2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological trace element research, 104, 83-91.
[63] Cyriac, J., Melethil, K., Thomas, B., Sreejit, M., & Varghese, T. (2020). Synthesis of biogenic ZnO nanoparticles and its impact on seed germination and root growth of Oryza sativa L. and Vigna unguiculata L. Materials Today: *Proceedings*, 25, 224-229.
[64] Srivastav, A., Ganjewala, D., Singhal, R. K., Rajput, V. D., Minkina, T., Voloshina, M., ... & Shrivastava, M. (2021). Effect of ZnO nanoparticles on growth and biochemical responses of wheat and maize. Plants, 10(12), 2556.
[65] Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (Citrullus lanatus) at multi-locations in Texas. *Scientific reports*, 10(1), 5037
[66] Safdar, M., Kim, W., Park, S., Gwon, Y., Kim, Y. O., & Kim, J. (2022). Engineering plants with carbon nanotubes: a sustainable agriculture approach. Journal of Nanobiotechnology, 20(1), 1-30.
[67] Villagarcia, H., Dervishi, E., de Silva, K., Biris, A. S., & Khodakovskaya, M. V. (2012). Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants. *Small*, 8(15), 2328-2334.
[68] Wang, Q., Ma, X., Zhang, W., Pei, H., & Chen, Y. (2012). The impact of cerium oxide nanoparticles on tomato (Solanum lycopersicum L.) and its implications for food safety. *Metallomics*, 4(10), 1105-1112. doi:10.1039/c2mt20149f. doi: 10.1039/c2mt20149f
[69] Das, S. K., Das, A. R., & Guha, A. K. (2009). Gold nanoparticles: microbial synthesis and application in water hygiene management. *Langmuir*, 25(14), 8192-8199. doi:10.1021/la900585p
[70] X., Li., Y, Yan., J, Chen., W, Shen., L. Li. (2019). Effect of TiO2 nanoparticles on the growth and photosynthetic efficiency of tomato seedlings under salt stress. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 26 (15), pp. 15288-15297
[71] T.I, Sarhan., I.M, Al-Ashkar., G.N, Al-Karaki., A.M, Al-Quwaidhi. (2019). Silver nanoparticles improve growth and tolerance of wheat plants under salt stress. *J. Plant Growth Regul*. 38 (2), pp. 387-397
[72]
M, Kumari., S, Pandey., M, Kumar., R.K, Gupt a. (2020). Cerium oxide nanoparticles impair growth, physiological, and biochemical parameters in maize under salt stress. Environ. Sci. Pollut. Res., 27 (20), pp. 25762-25773
[73] Zahedi, S. M., Abolhassani, M., Hadian-Deljou, M., Feyzi, H., Akbari, A., Rasouli, F., ... & Gohari, G. (2023). Proline-functionalized graphene oxide nanoparticles (GO-pro NPs): A new engineered nanoparticle to ameliorate salinity stress on grape (Vitis vinifera l. cv sultana). Plant Stress, 7, 100128.
[74]
W, Wang., Q, Zhou., Y, Zhang., S, Wei., S, Li u., H, Liu. (2021). Graphene oxide nanoparticles enhance tomato growth and water use efficiency under salt stress. *J. Plant Growth Regul*. 40 (3), pp. 1151-1161
[75]
A, Rezazadeh., M, Ghorbanpour., P,R Moghad dam. (2021).Effects of silica nanoparticles on water retention, osmotic adjustment, and antioxidant activities of maize under salinity stress. *J. Plant Nutr*. 44 (1), pp. 37-51
[76] S.Y. Salehi-Lisar, H Bakhshayeshan-Agdam. (2015). Effects of silicon nanoparticles on salinity tolerance of wheat seedling at early

Plant Disease Management. *Agronomy,* 8, 285. doi:10.3390/agronomy8120285
[85] Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & van Kan, J. A. (2007). Botrytis cinerea: the cause of grey mould disease. *Mol Plant Pathol,* 8(5), 561-580. doi:10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x
[۸۶]Zeng, X., Li, X., Xing, L., Liu, X., Luo, S., Wei, W., & Li, Y. (2009). Electrodeposition of chitosan-ionic liquid-glucose oxidase biocomposite onto nano-gold electrode for amperometric glucose sensing. *Biosens Bioelectron,* 24(9), 2898-2903. doi:10.1016/j.bios.2009.02.027
[87] Kim, JS., Kuk, E., Yu, KN., Kim, JH., Park, SJ., Lee, HJ., Kim, SH., Park, YK., Park, YH., Hwang, CY., Kim, YK., Lee, YS., Jeong, DH., Cho, MH. (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine* 3:95–101
[88] Zhang, W., Tang, H., Geng, P., Wang, Q., Jin, L., Wu, Z. (2007). Amperometric method for rapid detection of Escherichia coli by flow injection analysis using a bismuth nano-film modified glassy carbon electrode. *Electrochem Commun* 9:833–838
[89] Bottoms, M., & Emerson, SH. (2013). Chemistry, fertilizer, and the environment. *California Foundation for Agriculture in the Classroom* .pp 1–98.
[90] Preetha, P. S., & Balakrishnan, N. (2017). A review of nano fertilizers and their use and functions in soil. Int. J. Curr. Microbiol. *Appl. Sci*, 6(12), 3117-3133.
[91] Xiong, L., Wang, P., Hunter, M. N., & Kopittke, P. M. (2018). Bioavailability and movement of hydroxyapatite nanoparticles (HA-NPs) applied as a phosphorus fertiliser in soils. Environmental Science: *Nano*, 5(12), 2888-2898.
[92] Periakaruppan, R., Romanovski, V., Thirumalaisamy, S. K., Palanimuthu, V., Sampath, M. P., Anilkumar, A., & Selvaraj, K. S. V. (2023). Innovations in Modern Nanotechnology for the Sustainable Production of Agriculture. *ChemEngineering*, 7(4), 61. Retrieved from https://www.mdpi.com/2305-7084/7/4/61
[93] Bhandari, G., Dhasmana, A., Chaudhary, P., Gupta, S., Gangola, S., Gupta, A., & Slama, P. (2023). A Perspective Review on Green Nanotechnology in Agro-Ecosystems: growth stage. *Biol. Trace Elem. Res.*166 (2) , pp. 222-229
[77] Junedi, M. A., Mukhopadhyay, R., & Manjari, K. S. (2023). Alleviating salinity stress in crop plants using new engineered nanoparticles (ENPs). *Plant Stress*, 9, 100184. doi:https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100184
[78] Banerjee, S., Bose, S., Banerjee, S., & Chakraborty, U. (2023). Nanoremediation. In F. Fernandez-Luqueno & J. K. Patra (Eds.), Agricultural and Environmental Nanotechnology: Novel Technologies and their Ecological Impact (pp. 413-432). Singapore: Springer Nature Singapore.
[79] Rani, M., Shanker, U., & Jassal, V. (2017). Recent strategies for removal and degradation of persistent & toxic organochlorine pesticides using nanoparticles: A review. *J Environ Manage*, 190, 208-222. doi:10.1016/j.jenvman.2016.12.068
[80] Ethaib, S., Al-Qutaifia, S., Al-Ansari, N., & Zubaidi, S. L. (2022). Function of Nanomaterials in Removing Heavy Metals for Water and Wastewater Remediation: A Review. *Environments*, 9(10), 123. Retrieved from https://www.mdpi.com/2076-3298/9/10/123
[81] Ali, Q., Zia, M. A., Kamran, M., Shabaan, M., Zulfiqar, U., Ahmad, M., & Maqsood, M. F. (2023). Nanoremediation for heavy metal contamination: *A review. Hybrid Advances*, 4, 100091. doi:https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100091
[82] Bakshi, M., & Abhilash, P. C. (2020). Chapter 17 - Nanotechnology for soil remediation: Revitalizing the tarnished resource. In P. Singh, A. Borthakur, P. K. Mishra, & D. Tiwary (Eds.), Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants (pp. 345-370): Elsevier
[83] Alabresm, A., Chen, Y. P., Decho, A. W., & Lead, J. (2018). A novel method for the synergistic remediation of oil-water mixtures using nanoparticles and oil-degrading bacteria. *Science of The Total Environment*, 630, 1292-1297.
[84] Worrall, E., Hamid, A., Mody, K., Mitter, N., & Pappu, H. (2018). Nanotechnology for

Opportunities for Sustainable Agricultural Practices & amp; Environmental Remediation. *Agriculture*, 13(3), 668. Retrieved from https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/668
[94] Kim, D. Y., Kadam, A., Shinde, S., Saratale, R. G., Patra, J., & Ghodake, G. (2018). Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities. *J Sci Food Agric*, 98(3), 849-864. doi:10.1002/jsfa.8749
[95] Shojaei, T., Salleh, A., Tabatabaei, M., Mobli, H., Aghbashlo, M., Abdul Rashid, S., & Tan, T. (2019). Applications of Nanotechnology and Carbon Nanoparticles in Agriculture. In (pp. 247-277).
[96] Dong, J., Chen, W., Qin, D., Chen, Y., Li, J., Wang, C., & Du, X. (2021). Cyclodextrin polymer-valved MoS2-embedded mesoporous silica nanopesticides toward hierarchical targets via multidimensional stimuli of biological and natural environments. *Journal of hazardous materials*, 419, 126404.
[97] Okeke, E. S., Ezeorba, T. P. C., Mao, G., Chen, Y., Feng, W., & Wu, X. (2022). Nano-enabled agrochemicals/materials: Potential human health impact, risk assessment, management strategies and future prospects. *Environmental Pollution*, 295, 118722.
[98] Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., & Parihar, R. D. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1-16.
[99] Wang, D., Saleh, N. B., Byro, A., Zepp, R., Sahle-Demessie, E., Luxton, T. P., & White, J. C. (2022). Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. *Nature nanotechnology*, 17(4), 347-360.
[100] Rojas, S., Rodríguez-Diéguez, A., & Horcajada, P. (2022). Metal–organic frameworks in agriculture. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(15), 16983-17007.
[101] Liang, J., Yu, M., Guo, L., Cui, B., Zhao, X., Sun, C., & Zeng, Z. (2017). Bioinspired development of P (St–MAA)–avermectin nanoparticles with high affinity for foliage to enhance folia retention. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26), 6578-6584.
[102] Sarkar, M. R., Rashid, M. H.-o., Rahman, A., Kafi, M. A., Hosen, M. I., Rahman, M. S., & Khan, M. N. (2022). Recent advances in nanomaterials based sustainable agriculture: An overview. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100687.
[103] Ali, M., Rehman, I., Iqbal, A., Din, S., Qayyum Rao, A., Latif, A., & Husnain, T. (2014). Nanotechnology: A new frontier in Agriculture. *Advancement in Life Sciences*, 1, 129-138.
[104] Xiang, Y., Zhang, G., Chi, Y., Cai, D., & Wu, Z. (2017). Fabrication of a controllable nanopesticide system with magnetic collectability. *Chemical Engineering Journal*, 328, 320-330.
[105] Peixoto, S., Henriques, I., & Loureiro, S. (2021). Long-term effects of Cu (OH) 2 nanopesticide exposure on soil microbial communities. *Environmental Pollution*, 269, 116113.
[106] Elrahman SHA, Mostafa MAM (2015) Applications of nanotechnology in agriculture: an overview. Egyptian J Soil Sci 55:197–214
[107] Sharma, B., Lakra, U., Sharma, R., & Sharma, S. R. (2022). A comprehensive review on nanopesticides and nanofertilizers—A boon for agriculture. *Nano-enabled Agrochemicals in Agriculture*, 273-290.
[108] Zhang, Q., Ying, Y., & Ping, J. (2022). Recent advances in plant nanoscience. *Advanced Science*, 9(2), 2103414.
[109] Cumplido-Nájera, C. F., González-Morales, S., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. (2019). The application of copper nanoparticles and potassium silicate stimulate the tolerance to Clavibacter michiganensis in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 245, 82-89.
[110] Ragaei M, Sabry AH. (2014). Nanotechnology for insect pest control. *Int J Sci Environ Tech* 3:528–545.
[111] Bruno, P., Patrícia Luísa de Souza, B., Maria Fátima das Graças Fernandes da, S., João Batista, F., & Moacir Rossi, F. (2013). Polymeric Nanoparticle-Based Insecticides: A Controlled Release Purpose for Agrochemicals. In T. Stanislav (Ed.), Insecticides (pp. Ch. 20). Rijeka: IntechOpen
[112] Khooshe-Bast, Z., Sahebzadeh, N., Ghaffari-Moghaddam, M., & Mirshekar, A. (2016). Insecticidal effects of zinc oxide

nanoparticles and Beauveria bassiana TS11 on Trialeurodes vaporariorum (Westwood, 1856) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta agriculturae Slovenica*, 107, 299. doi:10.14720/aas.2016.107.2.04

[113] Sahayaraj, K., Madasamy, M., & Radhika, s. (2016). Insecticidal activity of bio-silver and gold nanoparticles against Pericallia ricini Fab. (Lepidaptera: Archidae). *Journal of Biopesticides*, 9, 63-72. doi:10.57182/jbiopestic.9.1.63-72

[114] Chand Mali, S., Raj, S., & Trivedi, R. (2020). Nanotechnology a novel approach to enhance crop productivity. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 24, 100821.

[115] Abd-Elsalam, K., & Alghuthaymi, M. (2015). Nanobiofungicides: are they the Next-Generation of Fungicides? *Journal of Nanotechnology and Materials Science*, 2, 1-3.

[۱۱۶] Pham, D. C., Nguyen, T. H., Ngoc, U. T. P., Le, N. T. T., Tran, T. V., & Nguyen, D. H. (2018). Preparation, Characterization and Antifungal Properties of Chitosan-Silver Nanoparticles Synergize Fungicide Against Pyricularia oryzae. *J Nanosci Nanotechnol*, 18(8), 5299-5305. doi:10.1166/jnn.2018.15400

[۱۱۷] Kim, S. W., Jung, J. H., Lamsal, K., Kim, Y. S., Min, J. S., & Lee, Y. S. (2012). Antifungal Effects of Silver Nanoparticles (AgNPs) against Various Plant Pathogenic Fungi. *Mycobiology*, 40(1), 53-58. doi:10.5941/myco.2012.40.1.053

[118] Zacco, E., Pividori, M. I., Alegret, S., Galve, R., & Marco, M. P. (2006). Electrochemical magnetoimmunosensing strategy for the detection of pesticides residues. *Anal Chem*, 78(6), 1780-1788. doi:10.1021/ac0512610

[119] Phan, Q. A., Truong, L. B., Medina-Cruz, D., Dincer, C., & Mostafavi, E. (2022). CRISPR/Cas-powered nanobiosensors for diagnostics. Biosensors and Bioelectronics, 197, 113732.

[120] Chen, K., Shen, Z., Wang, G., Gu, W., Zhao, S., Lin, Z., ... & Yan, T. (2022). Research progress of CRISPR-based biosensors and bioassays for molecular diagnosis. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10, 986233.

[121] Fu, R., Wang, Y., Liu, Y., Liu, H., Zhao, Q., Zhang, Y., ... & He, Y. (2022). CRISPR-Cas12a based fluorescence assay for organophosphorus pesticides in agricultural products. Food Chemistry, 387, 132919.

[122] حسینی، س.ف، کیوانی، ن. (۱۳۹۹). فناوری نانو و غذاهای فراسودمند، تحویل موثر ترکیبات زیست فعال، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

[123] سلیمانپور، م، حسینی، س.ج.ف، میردامادی، س.م، سرافرازی، ع. شناسایی موانع تجاری‌سازی فناوری نانو در بخش کشاورزی. چهارمین کنگره علوم ترویج و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایران.

[124] صفا، ل، حجازی، س.ی، حسینی، س.م، رضوانفر، ا. (۱۳۹۸). بررسی موانع تجاری‌سازی تولیدات حاصل از فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. دوره ۲، شماره ٤.

A comprehensive review of the application of nanotechnology in agricultural

Fereshteh Alizadeh[1], Sara Daneshjou[2*]

1. Phd student of Nanobiotechnology, Department of Nanobiotechnology, Faculty of Biological Science, Tarbiat Modares University
2. Assistant Professor, Department of Nanobiotechnology, Faculty of Biological Science, Tarbiat Modares University

alizadeh.fereshteh@modares.ac.ir

Receipt: 2023/11/15 Accepted: 2024/03/25

Abstract:
Ensuring food security in developing countries is highly challenging due to low productivity of the agriculture sector, degradation of natural resources, crop losses, less value addition, and high population growth. therefore, researchers are striving to adopt newer technologies to increase the supply of agricultural products. One of these technologies is nanotechnology. Nanotechnology is the science of producing, manufacturing and using materials at the atomic and molecular levels and it can transform various industries, including the agricultural industry, with the help of new tools. Nanotechnology By using new materials such as nanofertilizers, nanoherbicides, nanopesticides, etc., strengthens the soil and increases the growth of plants and with the help of new tools such as nano-sensors and intelligent delivery systems, identifies pathogenes in plants. For these reasons nanotechnology can be a promising way to increase the productivity of agricultural products.

Keywords: Agriculture, Nanofungicide, Nanoherbicide, Nanoinsecticide, Nanopesticide, Nanotechnology