



## عنوان مقاله: کودهای زیستی: راهکاری پایدار برای بهبود حاصلخیزی خاک و کشاورزی پایدار

نام و نام خانوادگی نویسنده اول: معصومه امانی

ادرس نویسنده اول: گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

نام و نام خانوادگی نویسنده دوم: سمانه جودی

ادرس نویسنده دوم: گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

روای یک کشاورز از دیرباز بهبود ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی خاک است که مواد مغذی و آب مناسب را برای گیاهان فراهم می کند و به ریشه های گیاه کمک می کند تا رشد کنند و عملکرد محصول را در شرایط نامساعد محیطی حفظ کنند. میکروارگانیسم ها می توانند با ارتقاء در دسترس بودن مواد مغذی (P، N)، و پتاسیم (K) از خاک و کسب توسط گیاهان عمل کنند و در نتیجه بهره وری بیشتر محصولات مهم را به همراه داشته باشند. در طول ۱۰۰ سال گذشته کودهای شیمیایی، آفت کش ها و علف کش ها به سرعت به سنگ بنای اشکال بسیار پربار کشاورزی تبدیل شده اند. با این حال، همراه با استفاده، استفاده بیش از حد و سوء استفاده از آنها، خطر آلودگی، تغییرات جدی در تعادل اکولوژیکی و مسمومیت ها را به همراه دارد.

واژگان کلیدی: خاک، کشاورزی، گیاهان، میکروارگانیسم

## ۱. مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای غذا نیز افزایش می یابد و تقاضای جهانی برای محصولات کشاورزی به دلیل افزایش جمعیت انسانی در حال افزایش است. برای مقابله با چالش های کمبود مواد غذایی ناشی از افزایش جمعیت، جایگزین های مختلف کشاورزی از جمله استفاده از کودهای شیمیایی یا مصنوعی، آفت کش ها و حشره کش ها برای تولید محصولات با عملکرد بالا در کوتاه ترین زمان ممکن و محافظت از آنها در برابر خطرات استفاده شده است. با این حال، استفاده از این کودها و حشره کش ها نگرانی عمومی زیادی را در مورد پایداری، ایمنی و امنیت عرضه مواد غذایی ایجاد کرده است. مطالعات نشان داده است که مقدار قابل توجهی از باقیمانده آفت کش ها در مواد غذایی مدت ها پس از برداشتن آنها از مزارع برای مصرف انسان وجود دارد. از این رو، نیاز به جایگزین هایی مانند کود زیستی در تضمین ایمنی و امنیت غذایی است. علاوه بر این، کودهای مصنوعی که از مواد مغذی مختلفی مانند نیتروژن (N<sub>2</sub>)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و گوگرد تشکیل شده اند در صورت استفاده بیش از مقدار لازم ممکن است مضر شوند. کودهای زیستی میکروارگانیسم هایی هستند که با افزایش عرضه مواد مغذی به گیاه میزبان هنگامی که به دانه ها، گیاهان یا خاک داده می شوند، از رشد گیاهان حمایت می کنند. کودهای زیستی به طور گسترده برای تسریع فعالیت های میکروبی استفاده می شود که دسترسی به مواد مغذی را افزایش می دهد که گیاهان می توانند به راحتی جذب شوند. آنها حاصلخیزی خاک را با تثبیت N<sub>2</sub> اتمسفر و حل شدن فسفات های نامحلول در خاک افزایش می دهند و در نتیجه مواد شیمیایی محرک رشد گیاه را تولید می کنند (۱). مدل های کشاورزی سنتی به شدت به کودها و آفت کش های مصنوعی متکی هستند، که علیرغم مزایایی که در تضمین عملکرد محصول دارند، می توانند منجر به مسائل زیست محیطی مانند آلودگی خاک و آب و اثرات نامطلوب سلامتی ناشی از اوتروفیکاسیون<sup>۱</sup> و شکوفه های مضر جلبک شوند. یک جایگزین پایدار و سازگار با محیط زیست برای شیوه های سنتی استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی است. (Santos, F et al. ۲۰۲۴)

## ۲. کود های زیستی

کودهای زیستی توانایی بهبود سلامت خاک، بهره وری محصول، پایداری و پالایش محیط خاک از تنش های زنده و غیر زنده را دارند. استفاده از کودهای زیستی می تواند به طور موثری مصرف کودهای شیمیایی و آفت کش ها را کاهش دهد و مقادیر مناسبی از ریز مغذی ها و درشت مغذی ها و همچنین هورمون های گیاهی را در خاک حفظ کند. (Tariq, M et al. ۲۰۲۲)

اصطلاح کود زیستی به دلیل درک بهتر تعامل خاک-گیاه و میکروارگانیسم تصفیه شده است. در بررسی انجام شده توسط Malusá و همکاران. (۲۰۱۷)، در ابتدا یک کود زیستی فقط از ارگانیسم های ریزوسفری تشکیل شده بود که قادر به بهبود استفاده از مواد مغذی خاک هستند، اما جایگزین آنها نمی شوند. مفاهیم جدیدتر نشان می دهد که کودهای زیستی که به عنوان تلقیح، زیست تلقیح یا فرمولاسیون زیستی نیز شناخته می شوند، محصولاتی هستند که از میکروارگانیسم های مفید به دو صورت فعال یا غیرفعال تشکیل شده اند که با یک سویه یا به صورت مخلوط فرموله شده اند (Santos, F et al. ۲۰۲۴). تلقیح های میکروبی که به عنوان کودهای زیستی نیز شناخته می شوند، محصولات ارگانیکی هستند که حاوی میکروارگانیسم های خاصی هستند که از ریشه ها و مناطق ریشه گیاه به دست می آیند. مشخص شده است که آنها رشد و عملکرد گیاهان را ۱۰ تا ۴۰ درصد افزایش می دهند. آنها نه تنها مواد مغذی را به خاک اضافه می کنند تا حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول را بهبود بخشند، بلکه از گیاه در برابر آفات و بیماری ها نیز محافظت می کنند. مزیت دیگر این است که کودهای زیستی پس از ۳ تا ۴ سال استفاده مداوم دیگر لازم نیست، زیرا تلقیح والدین برای رشد و تکثیر کافی است. چندین میکروارگانیسم، از جمله باکتری های خاک تثبیت کننده نیتروژن و سیانوباکتری ها، باکتری های حل کننده فسفات، کپک ها و قارچ ها به طور معمول به عنوان کودهای زیستی مورد استفاده قرار می گیرند. (Daniel, A et al. ۲۰۲۲). آلو و همکاران (۲۰۲۲) گزارش داد که کاربرد کودهای

<sup>۱</sup> eutrophication

زیستی می تواند عملکرد محصولات مختلف را تا ۲۵ درصد بهبود بخشد و نیاز نیتروژن (N) را تا ۵۰ درصد و نیاز به فسفر (P) را تا ۲۵ درصد در کشاورزی کاهش دهد. بنابراین کود زیستی می تواند سلامت خاک و گیاه را بهبود بخشد (Santos, F et al. ۲۰۲۴).

### ۳. تاریخچه کود های زیستی

تاریخچه تجاری کودهای زیستی به سال ۱۸۹۵ برمی گردد. اولین کود زیستی در سال ۱۸۹۵ توسط ناب و هیلتنز در آمریکا معرفی شد. این محققین با جداسازی باکتری های ریزوبیوم همزیست باقلا از گره های ریشه ای نسبت به خالص سازی و تکثیر آن اقدام کردند (۹). در اواخر دهه ۱۹۵۰، چندین مطالعه با تلقیح قارچ های میکوریزی آربوسکولار، اثرات مثبت تقویت رشد گیاه (PGP) را از طریق جذب فسفر (P) گزارش کردند (Singh, M et al. ۲۰۱۹). تحقیقات کودهای زیستی را می توان به سه مرحله تقسیم کرد. مرحله اول (۱۹۸۰-۲۰۰۵) بر تثبیت نیتروژن متمرکز بود. مرحله دوم (۲۰۱۵-۲۰۰۶) بر مکانیسم های افزایش عملکرد گیاه متمرکز بود. مرحله سوم (۲۰۱۶-۲۰۲۲) استفاده از کودهای زیستی برای بهبود محیط خاک بود (Guangxu Zhao et al.). اولین کودهای زیستی مورد استفاده در ایران مایع تلقیح های ریزوبیومی سویا بودند که از اوایل دهه ۱۳۴۰ از کمپانی آمریکایی نیتراژین وارد و همگام با توسعه کشت سویا در ایران مصرف شدند (اسدی رحمانی و دیگر همکاران، ۱۳۹۱).

### ۴. طبقه بندی کود های زیستی

کودهای زیستی بر اساس عملکرد و نحوه عملکردشان به انواع مختلفی دسته بندی می شوند. کودهای زیستی رایج مورد استفاده عبارتند از تثبیت کننده نیتروژن (N-fixer)، حل کننده پتاسیم (K-solubilizer)، حل کننده فسفر (P-solubilizer)، و ریزوباکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) (Nosheen S et al. ۲۰۲۱).

#### ۴.۱ کودهای زیستی تثبیت کننده نیتروژن<sup>۲</sup>

نیتروژن محدودترین عامل تغذیه ای برای رشد گیاه است. جو حاوی حدود ۸۰ درصد نیتروژن در حالت آزاد است، اما بیشتر گیاهان نمی توانند از نیتروژن اتمسفر استفاده کنند. یک گروه تخصصی از میکروب ها برای تثبیت این نیتروژن و در دسترس قرار دادن آن در اختیار گیاه لازم است. این میکروارگانیسم ها به عنوان ثابت کننده های بیولوژیکی نیتروژن (BNFs) شناخته می شوند. آنها N<sub>2</sub> بی اثر را به شکل آلی قابل استفاده برای گیاه تبدیل می کنند. در گیاهان، تا ۲۵ درصد از کل نیتروژن از تثبیت N حاصل می شود. ریشه گیاهان موادی را در خاک آزاد می کند که از کلونیزاسیون و تثبیت نیتروژن توسط باکتری ها در ریزوسفر گیاهان حمایت می کند (Nosheen S et al. ۲۰۲۱).

##### ۴.۱.۱ سیانوباکتر

اقدامات "انقلاب سبز" همچنین برای افزایش بهره وری کشاورزی و کاهش خطر کودهای شیمیایی بر سلامت انسان و همچنین محیط زیست موثر است. بنابراین، "فناوری سبز" توسط محققان برای ایجاد محیط دوستدار محیط زیست با بهره برداری از میکروب ها مورد استفاده قرار گرفته است. فناوری

<sup>۲</sup> Nitrogen Fixing Biofertilizers

سبز چندین جنبه از استفاده از سیانوباکتری ها را برای بهبود بهره وری محصول و حاصلخیزی خاک مورد بحث قرار می دهد. سیانوباکتری ها می توانند طیف وسیعی از آلاینده ها را تخریب کنند و نقش های مختلفی را در اکوسیستم خاک برای حفظ حاصلخیزی خاک انجام دهند. جلبک های سبز آبی یا سیانوباکتر ها موجودات فتوسنتزی هستند که به هشت خانواده مختلف تعلق دارند. آنها رشد گیاه را با تولید اکسین، اسید ایندول استیک و اسید جیبرلیک و همچنین تثبیت تقریباً ۳۰-۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مزارع برنج غوطه ور تقویت می کنند (Mishra D et al. ۲۰۱۳). سیانوباکتری ها میکروارگانیسم های نوظهور برای توسعه کشاورزی پایدار هستند. سیانوباکترها فراوان ترین گروه از موجودات روی زمین هستند. آنها اتوتروف هستند و در محیط های متنوع به ویژه در آب های دریایی و شیرین یافت می شوند. آب دریا غنی ترین منبع مواد مغذی برای کشت سیانوباکتری ها است. آن ها می توانند ۱۵۰ جنس که تاکنون شناسایی شده اند را پوشش دهند. آنها ویژگی های قدیمی ترین فسیل های مربوط به بیش از ۳.۵ میلیارد سال پیش را دارند. آنها همچنین دارای اهمیت تکاملی هستند زیرا آن ها مسئول محیط اکسیژنی امروزی هستند. دیازوتروف<sup>۲</sup> ها سیانوباکتری هستند که برای تولید کودهای زیستی سازگار با محیط زیست مفید هستند که به راحتی در دسترس هستند و هزینه کمتری دارند. آنها می توانند کمبود نیتروژن در گیاهان را کنترل کنند، تهویه خاک، ظرفیت نگهداری آب را بهبود بخشند و ویتامین B۱۲ را اضافه کنند. سیانوباکترها برای رشد، نمو و تولید محصولات ارگانیک ارزشمند نیازی به میزبان ندارند. سونگ و همکاران بیان کرد که سیانوباکتری ها نقش اصلی را در حفظ و ایجاد حاصلخیزی خاک ایفا می کنند، در نتیجه عملکرد به عنوان یک کود زیستی طبیعی دارند. س زیست توده سیانوباکتری ها را می توان برای بهبود کیفیت محصولات غذایی، خواص فیزیوشیمیایی خاک، کنترل بیماری های منتقله از خاک، مواد آلی افزوده شده، انتشار مواد محرک رشد، حل کردن فسفات های نامحلول، استفاده به عنوان مواد مغذی و نیز استفاده کرد. در داروسازی از این رو، کودهای زیستی تهیه شده از سیانوباکتری ها مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست هستند. سیانوباکتری ها دارای پتانسیل ظهور به عنوان کود زیستی هستند. آنها توانایی استفاده از CO<sub>2</sub>، آب و مواد مغذی را برای تبدیل انرژی خورشیدی به زیست توده دارند. کاربردهای موثر سیانوباکتری ها در شیوه های کشاورزی برای کاهش گرمایش زمین با کاهش گاز CO<sub>2</sub> گزارش شده است (Chittora, D et al. ۲۰۲۰).

## ۴.۱.۲ آزوسپیریلوم<sup>۴</sup>

آزوسپیریلوم یک باکتری گرم منفی و هوازی تثبیت کننده نیتروژن است که ندول تشکیل نمی دهد و از خانواده Spirilaceae است. هنگامی که A. *brasiliense* sp. به ذرت تلقیح شد، تولید هورمون های گیاهی مختلف به طور قابل توجهی افزایش یافت و در نتیجه رشد ذرت افزایش قابل توجهی داشت. فیزیولوژی و معماری ریشه ذرت در نتیجه افزایش سنتز چندین هورمون گیاهی تغییر کرد که منجر به افزایش مصرف مواد معدنی توسط گیاه شد (Mishra P et al. ۲۰۱۴).

## ۴.۱.۳ آزولا<sup>۵</sup>

آزولا دارای محتوای نیتروژن ۴ تا ۵ درصد به صورت خشک و ۰.۲ تا ۰.۴ درصد در حالت مرطوب است. جنبه مهم استفاده از آزولا به عنوان کود زیستی این است که به سرعت در خاک تجزیه می شود و نیتروژن را به طور موثر در اختیار گیاهان برنج قرار می دهد. علاوه بر این، به تامین فسفر، پتاسیم، روی، آهن، مولیبدن و سایر ریز مغذی ها می افزاید (Al Abboud M et al. ۲۰۱۴).

<sup>۲</sup> Diazotrophes

<sup>۴</sup> Azospirillum

<sup>۵</sup> Azolla

## ۴.۲ ریزوباکتریهای محرک رشد گیاه<sup>۶</sup>

استفاده از ریزوباکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) در کشاورزی به طور مداوم در حال افزایش است زیرا ابزاری موثر برای جایگزینی استفاده از کودهای شیمیایی، آفت کش ها و سایر مکمل های مضر ارائه می دهد. مواد محرک رشد در مقادیر زیادی توسط این میکروارگانیسم های ریزوسفر تولید می شوند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر مورفولوژی و فیزیولوژی کلی محصولات تأثیر می گذارند (Sumbul, A et al. ۲۰۲۰).

### ۴.۲.۱ آزوتوباکتر<sup>۷</sup>

گروهی از باکتری های گرم منفی، آزاد و هوازی تثبیت کننده نیتروژن است که در خاک ساکن هستند. شکل آنها بیضی یا کروی است و در شرایط نامساعد محیطی کیست های دیواره ضخیم (سلول های خفته مقاوم در برابر شرایط مضر) را تشکیل می دهند. جنس *Azotobacter* در سال ۱۹۰۱ توسط میکروبیولوژیست هلندی، گیاه شناس و بنیانگذار میکروبیولوژی محیطی-Beijerinck و همکارانش به عنوان اولین تثبیت کننده نیتروژن آزاد هوازی شناخته شد. این باکتری ها از نیتروژن اتمسفر برای سنتز پروتئین سلولی خود استفاده می کنند که در خاک معدنی می شود و بخش قابل توجهی از نیتروژن موجود از منبع خاک را به گیاهان زراعی می دهد. آنها از طریق بیوسنتز مواد فعال بیولوژیکی، تحریک میکروب های ریزوسفری، تولید مهارکننده های بیماری زای گیاهی، تغییر جذب مواد مغذی و در نهایت بزرگ نمایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تأثیرات مفیدی بر رشد و عملکرد محصول دارند (Sumbul, A et al. ۲۰۲۰).

### ۴.۳ حل کننده فسفات<sup>۸</sup>

علیرغم این واقعیت که فسفر در خاک فراوان است، اکثریت آن نامحلول است و از این رو برای حمایت از رشد گیاه غیرقابل دسترسی است، زیرا گیاهان آن را فقط به دو شکل محلول جذب می کنند: تک پایه و دو پایه. فسفر غیر آلی، مانند آپاتیت، یا فسفر آلی، مانند اینوزیتول فسفات (فیتات خاک)، فسفومونو استرها و فسفوتریسترها ممکن است وجود داشته باشد. علاوه بر این، بسیاری از فسفر معدنی محلول مورد استفاده در کودهای شیمیایی پس از استفاده در مزرعه به سرعت بی حرکت می شود. در نتیجه برای گیاهان در دسترس نیست و از این رو هدر می رود. میکروب هایی که می توانند فسفر معدنی را حل کنند، نقش مهمی در این تنظیمات به عنوان یک گزینه بالقوه برای تامین فسفر به گیاهان دارند. در نتیجه، آنها به عنوان یک کود زیستی امیدوار کننده در نظر گرفته می شوند، زیرا ممکن است فسفر لازم را حتی از منابع با کیفیت پایین برای گیاهان فراهم کنند. اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مانند اسیدهای گلوکونیک و سیتریک که توسط چندین میکروارگانیسم خاک تولید می شوند، مسئول حل شدن فسفر معدنی هستند. سودوموناس، باسیلوس، ریزوبیوم، بورکولدریا، آکروموباکتر، آگروباکتریوم، میکروکوکوس، استوباکتر، فلاووباکتریوم و اروینیا از جمله باکتری هایی هستند که توانایی حل شدن فسفر غیر آلی نامحلول را دارند. باکتری های حل کننده فسفات معمولاً به تعداد زیاد در خاک و ریزوسفرهای گیاهی یافت می شوند. اینها شامل سویه های هوازی و بی هوازی هستند که سویه های هوازی در خاک های غوطه ور بیشتر رایج است (Youssef M et al. ۲۰۱۴).

## ۵. فواید کود های زیستی در تولید مواد غذایی

<sup>۶</sup> plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)

<sup>۷</sup> *Azotobacter*

<sup>۸</sup> Phosphate Solubilization

برای رفع نیاز فزاینده به غذا، استفاده مداوم و بی رویه از کودهای مصنوعی یا شیمیایی بدون شک منجر به آلودگی و اصلاح اکوسیستم شده است. با این حال، اثرات طولانی مدت استفاده از کودهای مصنوعی یا شیمیایی حاصلخیزی خاک را کاهش داده و منجر به تولید محصولات مستعد بیماری شده است. برای تغذیه جمعیت رو به رشد با مقدار کمبود مواد مغذی موجود، جهان قطعاً نیاز به تشویق بهره‌وری کشاورزی به روشی پایدار و سازگار با محیط زیست دارد. از این رو، ارزیابی مجدد بسیاری از رویکردهای کشاورزی موجود، که شامل استفاده از کودهای شیمیایی، آفت کش ها، علف کش ها، قارچ کش ها و حشره کش ها می شود، ضروری است. با توجه به اثرات مضر کودهای شیمیایی یا مصنوعی، کودهای زیستی ممکن است جایگزین ایمن برای نهاده های شیمیایی باشند و تغییرات اکوسیستم را تا حد زیادی به حداقل برسانند. کودهای زیستی طبیعت مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست هستند و استفاده طولانی مدت آنها حاصلخیزی خاک را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد (Stewart W et al. ۲۰۱۲). مشخص شده است که استفاده از کودهای زیستی با افزایش پروتئین، اسیدهای آمینه حیاتی و ویتامین ها و تثبیت نیتروژن، عملکرد محصول را ۱۰ تا ۴۰ درصد افزایش می دهد (Bhardwaj D et al. ۲۰۱۴). کودهای زیستی تعدادی مزیت از جمله منبع کم هزینه مواد مغذی، تامین کننده عالی ریزترکیبات و ریز مغذی ها، تامین کنندگان مواد آلی، تولیدکنندگان هورمون رشد و وسیله ای برای مقابله با اثرات منفی کودهای شیمیایی را ارائه می دهند. میکروارگانیسم های مختلف اجزای مهم خاک هستند و نقش کلیدی در انواع فعالیت های زیستی در اکوسیستم خاک ایفا می کنند که خاک را برای بسیج مواد مغذی و توسعه طولانی مدت محصول فعال نگه می دارد. (Ahemad M et al. ۲۰۱۴).

## نتیجه گیری

توسعه کشاورزی برای تولید مواد غذایی یکی از قابل توجه ترین دستاوردهای تاریخ بشر است که انقلاب سبزی را به ارمغان می آورد که انسان را از گرسنگی محافظت می کند. در مقابل، فعالیت های کشاورزی فشرده مانند ورودی های بیش از حد خاک (کود، آفت کش ها و علف کش ها) بر محیط زیست (انتشار گازهای گلخانه ای، تخریب خاک و آلودگی آب) تأثیر منفی می گذارد. پایداری و سلامت انسان بیشتر به استفاده از کودهای شیمیایی و آفت کش ها بستگی دارد.

## Biofertilizer: A Sustainable Approach to Improving Soil Fertility and Sustainable Agriculture

First Author : Massome amani

Second Author: Samaneh judy

### Abstract:

A farmer's dream has always been to improve the chemical composition and physical structure of the soil, ensuring an adequate supply of nutrients and water for plants while supporting root growth and maintaining crop yields under adverse environmental conditions. Microorganisms play a crucial role by enhancing the availability of essential nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in the soil, facilitating their uptake by plants, and ultimately increasing the productivity of important crops.

Over the past ۱۰۰ years, chemical fertilizers, pesticides, and herbicides have rapidly become the cornerstone of highly productive agricultural systems. However, their excessive use and misuse have led to serious environmental concerns, including pollution, ecological imbalances, and toxicity risks.

**Keywords:** Soil, Agriculture, Plants, Microorganisms

۱. Daniel, A. I., Fadaka, A. O., Gokul, A., Bakare, O. O., Aina, O., Fisher, S., Burt, A. F., Mavumengwana, V., Keyster, M., & Klein, A. (۲۰۲۲). Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety. *Microorganisms*, ۱۰(۶), ۱۲۲۰. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061220>
۲. Nosheen S., Ajmal I., Song Y. Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*. ۲۰۲۱;۱۳:۱۸۶۸. doi: 10.3390/su13041868.
۳. Tariq, M., Jameel, F., Ijaz, U., Abdullah, M., & Rashid, K. (۲۰۲۲). Biofertilizer microorganisms accompanying pathogenic attributes: a potential threat. *Physiology and molecular biology of plants : an international journal of functional plant biology*, ۲۸(۱), ۷۷-۹۰. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01138-y>
۴. Santos, F., Melkani, S., Oliveira-Paiva, C., Bini, D., Pavuluri, K., Gatiboni, L., Mahmud, A., Torres, M., McLamore, E., & Bhadha, J. H. (۲۰۲۴). Biofertilizer use in the United States: definition, regulation, and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, ۱۰۸(۱), ۵۱۱. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13347-4>
۵. Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (۲۰۲۰). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi journal of biological sciences*, ۲۷(۱۲), ۳۶۳۴-۳۶۴۰. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
۶. Chittora, D., Meena, M., Barupal, T., & Swapnil, P. (۲۰۲۰). Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture. *Biochemistry and biophysics reports*, ۲۲, ۱۰۰۷۳۷. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100737>
۷. Singh, M., Singh, D., Gupta, A., Pandey, K. D., Singh, P. K., and Kumar, A. (۲۰۱۹). "Plant growth promoting rhizobacteria," in *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture*, eds A. K. Singh, A. Kumar, and P. K. Singh (Cambridge, MA: Elsevier), ۴۱-۶۶. doi: 10.1016/B978-0-12-810879-1.00033-3
۸. Guangxu Zhao, Xiaoling Zhu, Gang Zheng, Guangfan Meng, Ziliang Dong, Ju Hye Baek, Che Ok Jeon, Yanlai Yao, Yuan Hu Xuan, Jie Zhang, Baolei Jia, Development of biofertilizers for sustainable agriculture over four decades (۱۹۸۰-۲۰۲۲)
۹. اسدی رحمانی، هادی، خاوازی، کاظم، اصغرزاده، احمد، رجالی، فرهاد، افشاری، میترا. (۱۳۹۱). کودهای زیستی در ایران: فرصت ها و چالش ها. پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۶ (۱ الف)، ۷۷-۸۷. SID. <https://sid.ir/paper/109080/fa>
۱۱. Mishra P., Dash D. Rejuvenation of biofertilizer for sustainable agriculture and economic development. *Consilience*. ۲۰۱۴;۱۱:۴۱-۶۱.
۱۲. Mishra D., Rajvir S., Mishra U., Kumar S.S. Role of bio-fertilizer in organic agriculture: A review. *Res. J. Recent Sci*. ۲۰۱۳;۲۲۷۷:۲۵۰۲.
۱۳. Al Abboud M., Ghany T.A., Alawlaqi M. Role of biofertilizers in agriculture: A brief review. *Mycopath*. ۲۰۱۴;۱۱:۹۵-۱۰۱.
۱۴. Youssef M., Eissa M. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes. A review. *J. Biotechnol. Pharm. Res*. ۲۰۱۴;۵:۱-۶.
۱۵. Stewart W., Roberts T. Food security and the role of fertilizer in supporting it. *Procedia Eng*. ۲۰۱۲;۴۶:۷۶-۸۲. doi: 10.1016/j.proeng.2012.09.448.
۱۶. Bhardwaj D., Ansari M.W., Sahoo R.K., Tuteja N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb. Cell Factories*. ۲۰۱۴;۱۳:۶۶. doi: 10.1186/1475-2859-13-66.
۱۷. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *J. King Saud Univ. Sci*. ۲۰۱۴;۲۶:۱-۲۰. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001