

## گیاه به عنوان گزینش گر طبیعی: کاربرد باکتری‌های بومی محرک رشد گیاه برای افزایش

### مقاومت گندم به شوری تحت آبیاری با آب دریا

مهدی شهابی رکنی<sup>۱</sup>، حسن اعتصامی<sup>۱\*</sup>، علیرضا راهب<sup>۱</sup>، عرفان توسلیان<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

\* hassanetesami@ut.ac.ir

#### چکیده

شوری خاک و کمبود منابع آب شیرین از چالش‌های اصلی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. استفاده از آب دریا می‌تواند راهکاری پایدار برای تأمین نیاز آبی باشد، اما شوری بالا ( $EC > 4 \text{ dS/m}$ ) رشد گیاه و حاصلخیزی خاک را محدود می‌کند. در این پژوهش، با هدف بهبود سازگاری گندم در آبیاری با آب دریا، ۵۱۰ جدایه باکتریایی از ریزوسفر و اندوسفر گیاهان شورپسند مناطق ساحلی جنوب ایران جداسازی شد. برخلاف انتخاب متداول بر پایه متابولیت‌ها، در این مطالعه گیاه به‌عنوان انتخابگر هوشمند میکروبی استفاده شد. جدایه‌های مقاوم به شوری و بدون اثرات آنتاگونیستی، در قالب کنسرسیوم‌های باکتریایی به شش رقم گندم (پیشگام، نارین، ارگ، افق، بم و برزگر) تلقیح شدند. گیاهان تحت آبیاری با آب دریای عمان ( $EC = 50 \text{ dS/m}$ ) قرار گرفتند و شاخص‌های رشدی ارزیابی شد. برخی کنسرسیوم‌ها موجب افزایش زیست‌توده ( $127\%$  در افق و  $228\%$  در پیشگام با کنسرسیوم ۳) و ارتفاع گیاه شدند، در حالی که برخی اثر منفی داشتند (کاهش  $33\%$  وزن خشک در ارگ با کنسرسیوم ۷). توالی‌یابی خاک ریزوسفر نشان داد اگرچه ۱۲۲ واحد تاکسونومی عملکردی مشترک وجود داشت، ترکیب میکروبی تیمارهای کارآمد، به‌ویژه کنسرسیوم ۳ در افق، متمایز بود. این نتایج نشان می‌دهد موفقیت تلقیح میکروبی به سازگاری ژنوتیپ و ترکیب میکروبی وابسته است و می‌تواند راهکاری پایدار برای تولید گندم در شرایط شوری شدید باشد.

**واژگان کلیدی:** تنظیم کننده های رشد گیاه، تاب‌آوری گیاه، سازگاری میکروبی، کشاورزی پایدار، تحمل شوری

#### ۱- مقدمه

کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است که امنیت غذایی و توسعه پایدار را تهدید می‌کند. افزایش جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد (United Nations, 2022)، نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی را افزایش داده است. همزمان، تغییرات اقلیمی با افزایش دما و تغییر الگوهای بارش، منابع آب شیرین را تحت فشار قرار داده است (Caretta et al., 2022). با توجه به اینکه بیش از ۷۰ درصد آب شیرین قابل دسترس به کشاورزی اختصاص می‌یابد، استفاده از منابع آبی جایگزین مانند آب دریا اجتناب‌ناپذیر است. آب دریا به عنوان منبعی تقریباً نامحدود مطرح است اگرچه فناوری‌های نمک‌زدایی استفاده از این منبع را ممکن ساخته‌است (Jones et al., 2019)، اما کاربرد آب نمک‌زدایی‌شده در کشاورزی به دلیل غلظت بالای یون‌های مضر می‌تواند منجر به شوری و سدیمی شدن خاک شود. شوری خاک یکی از جدی‌ترین موانع بهره‌وری کشاورزی است که بر اساس گزارش‌های FAO (2024) حدود یک میلیارد هکتار از اراضی جهان را تحت تأثیر قرار داده است. شوری نه تنها رشد گیاه را مختل می‌کند، بلکه چرخه‌های بیوژئوشیمیایی خاک مانند نیتروژن را نیز برهم می‌زند (Meng et al., 2025). همچنین، شوری تنوع میکروبی خاک را کاهش داده و همزیستی‌های مفید را تضعیف می‌کند (Savastano et al., 2024). در میان راهکارهای مقابله با شوری، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه به عنوان رویکردی پایدار مطرح است (Gao et al., 2022) با این حال، بسیاری از جدایه‌های باکتریایی که در آزمایشگاه عملکرد خوبی نشان می‌دهند، در شرایط مزرعه موفق نیستند (Bacilio et al., 2017). این شکاف نشان‌دهنده اهمیت نقش گیاه در انتخاب میکروبی‌های مفید است. پژوهش حاضر با اتخاذ این رویکرد نوین، بر شناسایی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی متمرکز است که نه تنها به طور طبیعی توسط گیاهان بومی شورپسند در مناطق ساحلی جنوب ایران انتخاب

شده‌اند، بلکه توسط یک گیاه غیرشورپسند (گندم) نیز مورد انتخاب قرار گرفته‌اند. این تحقیق با هدف جداسازی و ارزیابی باکتری‌های مقاوم به شوری و بررسی توانایی آن‌ها در کاهش اثرات منفی آبیاری با آب دریا بر گیاه گندم طراحی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- جداسازی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی از گیاهان شورپسند

با هدف جداسازی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی، نمونه‌برداری از گونه‌های گیاهی (*Salicornia*, *Nicotiana tabacum*، *Suaeda*, *Ammophila*, *Tamarix aphylla*, *Salsola drummondii*, *Calotropis procera*, *Avicennia marina*, *perennans*, *fruticosa*, *Suaeda aegyptiaca*, *Suaeda vermiculata*, *Alhagi*, *Alhagi*, *Salsola imbricata*, *Caroxylon imbricatum*, *Suaeda aegyptiaca*, *Suaeda vermiculata*, *fruticosa*، *maurorum*، *Salsola komarovii*، *Vachellia nilotica*، *Acacia arabica*، *Salvadora persica*، *Capparis decidua*) سازگار با آب شور در مناطق ساحلی بندر جاسک واقع در استان هرمزگان انجام شد. پس از شناسایی گیاهان با کمک منابع گیاه‌شناسی و افراد محلی، خاک ریزوسفری و بافت ریشه نمونه‌ها جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای برآورد جمعیت میکروبی قابل کشت از روش شمارش کلونی بر روی محیط نوترینت آگار معمولی و نوترینت آگار حاوی ۲ درصد نمک استفاده گردید. جهت جداسازی باکتری‌های اندوفیتی، پس از ضدعفونی سطحی ریشه‌ها، بافت ریشه له شده و در آب مقطر استریل مخلوط گردید. سوسپانسیون حاصل بر روی محیط کشت نوترینت آگار کشت داده شده و پس از گرماگذاری در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های فنوتیپی تفکیک و برای مطالعات بعدی انتخاب شدند. صحت فرآیند ضدعفونی سطحی با کشت آب شستشوی نهایی بر روی محیط کشت تأیید گردید.

۲-۲- ارزیابی تحمل جدایه‌های باکتریایی به تنش شوری

به منظور انتخاب جدایه‌های متحمل به شوری، جدایه باکتریایی خالص سازی شده در محیط کشت مابعد نوترینت براث (NB) حاوی سطوح مختلف شوری (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد کلرید سدیم) کشت داده شده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $28 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. رشد باکتری‌ها با اندازه‌گیری چگالی نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر ارزیابی گردید. بر این اساس، جدایه‌ها به دو گروه متحمل به شوری (قادر به رشد در محیط حاوی بیش از ۱۵ درصد کلرید سدیم) و حساس به شوری (فاقد رشد در این شرایط) تقسیم‌بندی شدند. جدایه‌های فاقد رشد قابل توجه در ۱۲ ساعت اولیه، به دلیل توانایی رقابتی پایین در محیط‌های پیچیده، از مطالعات بعدی حذف شدند.

۲-۳- غربالگری جدایه‌های برتر محرک رشد گیاه توسط گندم

در این مطالعه، به جای روش متداول غربالگری جدایه‌های باکتریایی بر اساس ویژگی‌های متابولیتی (مانند تولید هورمون، حل‌کنندگی فسفات، آزادسازی پتاسیم یا تولید سیدروفور)، از ارقام مختلف گندم به‌عنوان معیاری برای انتخاب مؤثرترین جدایه‌های محرک رشد گیاه و سازگار با شرایط تنش شوری استفاده شد. جدایه‌ها بر اساس معیارهای مقاومت به شوری، ماهیت اندوفیتی یا ریزوسفری، و عدم بروز اثرات آنتاگونیستی متقابل دسته‌بندی شده و در قالب کنسرسیون‌های مختلف به ریشه ارقام گندم (پیشگام، نارین، ارگ، افق، بم و برزگر) در شرایط آزمایش گلخانه‌ای تلقیح شدند. این رویکرد امکان ارزیابی عملکرد همزمان چندین سویه باکتریایی و تعیین بهترین ترکیب میکروبی برای بهبود رشد گندم تحت تنش شوری را فراهم کرد. خاک مورد استفاده در این تحقیق از مزارع تحت کشت منطقه آبیگ در استان البرز تهیه شد (خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است). پس از توزین و انتقال خاک به گلدان‌های ۵ کیلوگرمی، رطوبت خاک در طول دوره رشد در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب (WHC) تنظیم و حفظ گردید. نیاز کودی گیاهان بر اساس نتایج آنالیز خاک برای تمام تیمارها به صورت یکسان اعمال شد. به هر گلدان (حاوی ۳۰ عدد گیاهچه گندم) مخلوطی متشکل از ۲۶ جدایه باکتریایی تلقیح گردید. با در نظر گرفتن ۶ رقم مختلف گندم و ۱۷ گلدان برای هر رقم (شامل تیمار شاهد)، در مجموع ۱۰۲ گلدان آماده‌سازی و کشت شد. آبیاری گیاهان با استفاده از آب دریای عمان (خصوصیات در جدول ۲) انجام پذیرفت. از پایان هفته دوم رشد (مرحله پنجه‌زنی)، آبیاری به صورت تدریجی با آب دریا آغاز شد و به تدریج نسبت آب دریا افزایش یافت تا اینکه از ابتدای ماه سوم به بعد، آبیاری به طور کامل با آب دریا انجام شد. پس از گذشت ۳ ماه از کشت، آبیاری متوقف گردید و اندام هوایی گیاهان برداشت شد. پارامترهای ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شده و از

خاک ریزوسفر هر تیمار نمونه برداری به عمل آمد. جهت بررسی تنوع میکروبی، DNA خاک‌های ریزوسفری با استفاده از کیت استخراج DNA شرکت MPbio استخراج و تجزیه و تحلیل‌های مربوطه توسط شرکت Novogene انجام پذیرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

بافت خاک	pH گل اشباع	EC عصاره گل اشباع (dS/m)	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم فراهم (mg/kg)	آهن فراهم (mg/kg)	روی فراهم (mg/kg)	فسفر فراهم (mg/kg)
لوم	۷/۴۶	۲/۱۲	۱۴/۳۵	۰/۲۹	۳۲۵	۲/۵	۱/۱	۳/۲

جدول ۲- برخی ویژگی‌های آب دریا

pH	EC (dS/m)	پتاسیم (mg/l)	سدیم (mg/l)
۷/۷	۵۰/۶	۵۵۴/۰۹	۱۹۷۴۵/۳۰

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- جدایه های ریزوسفری و اندوفیتی گیاهان شورپسند

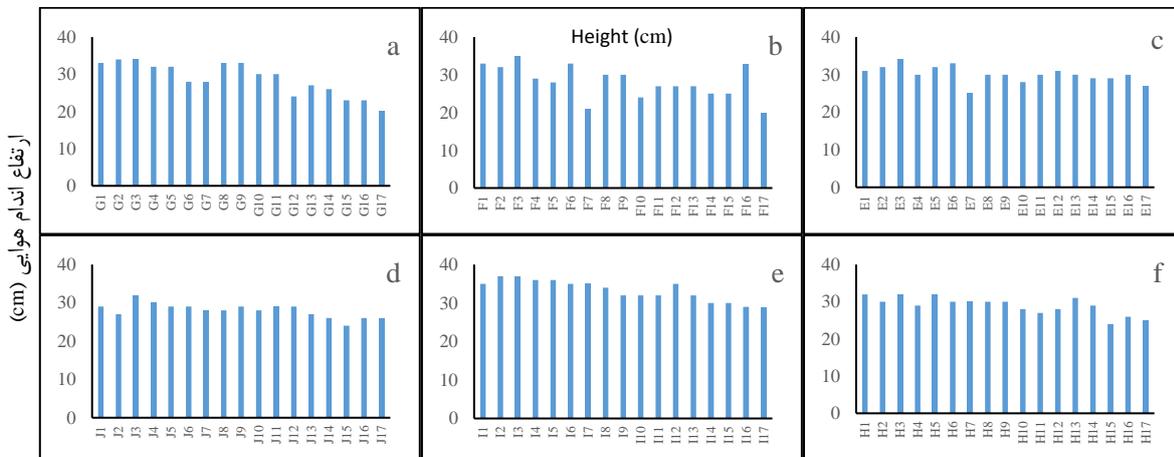
از ۱۹ گونه شورپسند نمونه برداری شد. در مجموع ۵۱۰ جدایه ریزوسفری و اندوفیتی خالص سازی و در محیط NB با شوری‌های ۷۰، ۹، ۱۱۳، ۶، ۱۴۱، ۶ و ۱۶۲ dS/m کشت شدند. نتایج نشان داد ۱۲۸ جدایه متحمل و ۱۷۶ حساس به شوری هستند. بجز دسته ۱۱۲ عددی جدایه‌های اندوفیتی، بقیه به دلیل رشد کند حذف شدند.

#### ۳-۲- اثر ارقام مختلف گندم در انتخاب کنسرسیوم باکتریایی برتر

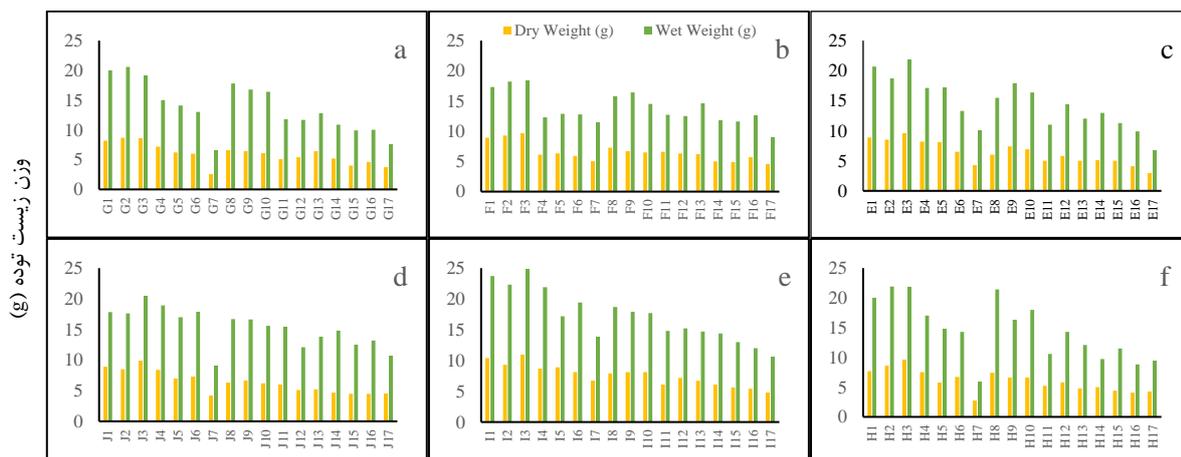
۴۱۶ جدایه منتخب در قالب کنسرسیوم‌های ۲۶ تایی (۷ اندوفیتی، ۱۱ حساس و ۸ متحمل به شوری) در ۱۶ گروه تقسیم بندی و به شش رقم گندم تلقیح شدند. طبق اشکال ۱ و ۲، در کنسرسیوم ۳ و رقم افق بیشترین زیست توده و ارتفاع مشاهده شد (افزایش ۱۲۷٪ وزن خشک و ۲۸٪ ارتفاع اندام هوایی). بهبود مشابهی در ارقام دیگر نیز ثبت شد: بم (۷۰ و ۱۳۰ درصد)، نارین (۷۵ و ۱۰۸ درصد)، پیشگام (۲۶ و ۲۲۸ درصد)، برزگر (۲۳ و ۱۲۳ درصد) و ارگ (۲۸ و ۱۲۹ درصد). در شرایط بدون تلقیح، ارقام متحمل (نارین، بم، ارگ، افق، برزگر) افزایش وزنی بین ۲۸ تا ۶۶ درصد نسبت به برزگر نشان دادند. با وجود نتایج بالاتر در پیشگام، رقم افق بیشترین سازگاری در آبیاری با آب دریا (EC=50 dS/m) را نشان داد. علاوه بر اثرات مثبت، کنسرسیوم ۷ موجب کاهش رشد شد (۳۳٪ در رقم ارگ). این موضوع با گزارش‌هایی همخوانی دارد که نشان می‌دهند تلقیح PGPR در سطوح تنش شدید یا بدون تنش می‌تواند بی‌اثر یا حتی منفی باشد (Bokhari et al., 2019) که اهمیت انتخاب دقیق ترکیب جدایه‌ها و نقش تعامل ژنوتیپ گیاهی و مایه تلقیح باکتریایی را برجسته می‌سازد.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که توسعه ژنوتیپ‌های جدید گندم می‌تواند به‌طور مؤثری تحمل به شوری را افزایش دهد. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های گندم واکنش‌های بسیار متفاوتی به تنش شوری داشتند. ارقام حساس با کاهش شدید در صفات رشدی و فیزیولوژیک مواجه شدند. در نتیجه تحمل به شوری نه تنها به حفظ رشد و فتوسنتز مرتبط است، بلکه به توانایی ژنوتیپ‌ها در تنظیم تعادل یونی، تجمع پرولین و تقویت سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی نیز وابسته است (Patwa et al., 2024). همچنین اثرات مشابهی از کنسرسیوم‌های باکتریایی بر پارامترهای رشدی گیاه در شرایط شور گزارش شده است؛ به دلیل نتایج متغیر استفاده از یک سویه منفرد PGPR در شرایط شوری، تلقیح کنسرسیوم باکتریایی به‌عنوان رویکردی موثرتر مطرح شده است (Khan et al., 2022). در مقایسه با اندوفیت‌ها، باکتری‌های ریزوسفری مقاومت بیشتری به تنش شوری نشان دادند که احتمالاً ناشی از سازگاری بهتر آن‌ها با شوری بالای موجود در سطح ریشه است (Komaresofla et al., 2019). در کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، انباشت نیتروژن دانه در گندم تحت آبیاری با آب شور به میزان ۵۷ درصد نسبت به عدم تلقیح باکتری افزایش گزارش شد (Alharbi et al., 2023). این یافته‌ها نشان می‌دهد که کنسرسیوم‌های

میکروبی می‌توانند رشد و زیست‌توده گیاه را حتی تحت تنش‌های شوری بهبود دهند. افزایش مشاهده‌شده در این پژوهش را می‌توان به چند سازوکار کلیدی نسبت داد: تولید آنزیم ACC دامیناز، بهبود تعادل یونی، بهبود دسترسی عناصر غذایی، حفظ وضعیت اسمزی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو (Shultana et al., 2022).



شکل ۱- اثر کنسرسیون باکتریایی بر ارتفاع اندام هوایی گندم (cm) تحت آبیاری با آب دریا. ارقام a-بم b-نارین c-پیشگام d-برزگر e-افق f-ارگ



شکل ۲- اثر کنسرسیون باکتریایی بر وزن خشک و تر اندام هوایی گندم تحت آبیاری با آب دریا. ارقام a-بم b-نارین c-پیشگام d-برزگر e-افق f-ارگ

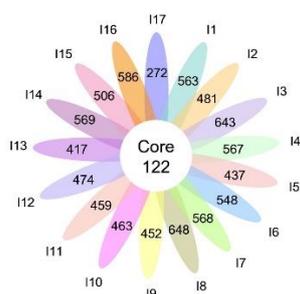
اگرچه اکثر مطالعات نشان‌دهنده تاثیرات مثبت PGPR بر رشد گیاه هستند، گزارشاتی وجود دارد که تلقیح PGPR تاثیر منفی یا کاهش رشد گیاه را در مقایسه با شاهد به دنبال داشته است (Etesami et al., 2025). همچنین، ورود PGPR غیربومی قادر است در قالب اثرات ماندگار و غیر قابل پیش‌بینی بر میکروبیوم خاک و عملکرد اکوسیستم بر جای گذارد (Moore et al., 2022). اگرچه هدف از تلقیح PGPR تقویت رشد گیاه است تا به نحوی از اثرات تنش کاسته شود، مطالعات نشان می‌دهند که در برخی شرایط، ناسازگاری سویه با جامعه میکروبی بومی خاک، تعاملات رقابتی یا حتی فشارهای محیطی می‌تواند اثربخشی تلقیح را کاهش دهد (Wang et al., 2022; Yang et al., 2024). مشاهدات ما در مورد کاهش رشد در کنسرسیون شماره ۷ به‌ویژه در رقم ارگ، با این گزارش‌ها مطابقت دارد (شکل ۳).



شکل ۳- اثر تلقیح کنسرسیونهای مختلف باکتریایی گروه ۱۷ (بدون تلقیح) گروه ۳ (تأثیر مثبت نسبت به شاهد) گروه ۷ (تأثیر منفی نسبت به شاهد) بر خصوصیات رشدی گیاه گندم تحت آبیاری با آب دریا در ارقام افق (I)، بم (G) و برزگر (J)

در ایران، ارقامی همچون نارین، برزگر، افق و ارگ به طور رسمی برای کشت در اراضی شور معرفی شده‌اند. دامنه‌ی تحمل شوری این ارقام در محدوده EC خاک ۸ تا ۱۴ و EC آب ۸ تا ۱۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (امینی سفیداب و همکاران، ۱۴۰۱). با این حال، هدایت الکتریکی آب مورد استفاده ما برای آبیاری حدود ۵۰ dS/m بود (جدول ۲) که چندین برابر بالاتر از بازه‌های توصیه شده برای کشت این ارقام است.

نمودار گل (شکل ۴) در این مطالعه نشان داد که ۱۲۲ واحد عملکردی تاکسونومی (OTU) به عنوان هسته میکروبیوم در تمام تیمارها مشترک بودند. این نشان دهنده‌ی وجود یک بخش پایدار و پایه‌ای از میکروبیوم خاک است که مستقل از شرایط تیمار باقی می‌ماند. با این حال، تفاوت چشمگیر در تعداد OTU های منحصر به فرد بین تیمارها (از ۲۷۲ در I17 تا ۶۴۸ در I8) بیانگر تغییرپذیری جامعه میکروبی در پاسخ به تلقیح و شرایط تنش شوری است.



شکل ۴- اثر کنسرسیونهای مختلف باکتریایی بر واحدهای عملکردی تاکسونومی میکروبیوم ریزوسفری گیاه گندم تحت آبیاری با آب دریا در رقم افق

در تیمار I3 (کنسرسیون ۳ و رقم افق) با ۶۴۳ OTU اختصاصی و بیشترین شاخص‌های رشدی، در مقابل گروه ۷ با ۵۶۸ OTU اختصاصی علیرغم تنوع نسبتاً بالا رشد ضعیفی نشان داد، که بیانگر اهمیت کیفیت و سازگاری ترکیب میکروبی است نه صرفاً تعداد. همین موضوع در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Cardinale et al., 2015; Bacilio et al., 2017). تیمار شاهد (I17) با ۲۷۲ OTU اختصاصی کمترین تنوع و رشد را داشت، که نشان می‌دهد تلقیح میکروبی می‌تواند با افزودن تنوع و کارکردهای جدید، توان گیاه را در شرایط تنش افزایش دهد. این هم‌راستا با مفهوم رابطه گیاه-میکروبیوم است که گیاهان بدون همزیستی‌های میکروبی کارآمد نمی‌توانند پتانسیل کامل رشدی خود را در شرایط تنش بروز دهند. بنابراین می‌توان گفت که به طور کلی یک هسته میکروبیوم پایدار وجود دارد (122 OTU)، اما تنوع و ترکیب OTU های منحصر به فرد است که کیفیت پاسخ گیاه به تلقیح را تعیین می‌کند، و سازگاری ژنوتیپ گیاه-کنسرسیون میکروبی نقش کلیدی در تعیین عملکرد گیاه دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان دادند که رویکرد گیاه به‌عنوان گزینش‌گر طبیعی در کنار استفاده از کنسرسیونهای باکتریایی مقاوم به شوری، در ترکیب با ژنوتیپ‌های متحمل به شوری گندم، می‌تواند رشد و زیست‌توده گیاه را حتی تحت شرایط آبیاری با آب دریا با هدایت الکتریکی بسیار بالا (dS/m50) بهبود بخشد. در حالی که برخی کنسرسیونها موجب افزایش چشمگیر رشد شدند (مانند گروه ۳)، برخی دیگر اثرات منفی یا بی‌اثر بر جای گذاشتند (مانند گروه ۷). این نتایج بیانگر آن است که موفقیت تلقیح میکروبی نه تنها به ویژگی‌های عملکردی جدایه‌ها و غنای عددی میکروبی نیست، بلکه به سازگاری ژنوتیپ گیاه با ترکیب میکروبی، شرایط محیطی و برهم‌کنش‌های درون اجتماعی میکروبیومها نیز بستگی دارد. به طور کلی، رویکرد مبتنی بر انتخاب میکروبیومهای همزیست طبیعی گیاهان شورپسند می‌تواند راهکاری پایدار برای بهبود سازگاری گندم در کشاورزی مناطق ساحلی و بهره‌گیری از منابع آبی غیرمتعارف همچون آب دریا باشد.

#### فهرست منابع

امینی سفیداب، اشکبوس، اکبری مقدم، حسین، صابری، محمد حسین، طباطبایی، محمد تقی، امین آزر، داوود، راوری، سید ذبیح الله، محمدی، علیرضا، افشاری، فرزاد، ذاکری، عبدالکریم، عطاحسینی، محمود، ملیحی پور، علی، صفوی، صفرعلی، ابراهیم نژاد، شاپور، تجلی، حمید، دهقانی، محمد حسین، شهبازی، کمال، طباطبایی، نصرت اله، دالوند، محمد، عبدی، حسن، مهرابی، رحیم، وهابزاده، مجتبی و حاجی آخوندی، هدایت. (۱۴۰۱). برزگر، رقم جدیدگندم آبی با سازگاری و پایداری عملکرد بالا، مناسب اراضی شور در اقلیم معتدل کشور. یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، ۱۱(۱)، ۱-۱۴.

Alharbi, K., Hafez, E.M., Omara, A.ED. et al. Zinc oxide nanoparticles and PGPR strengthen salinity tolerance and productivity of wheat irrigated with saline water in sodic-saline soil. *Plant Soil* 493, 475–495 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06245-7>

Bacilio, M., Moreno, M., Lopez-Aguilar, D. R., Bashan, Y. (2017). Scaling from the growth chamber to the greenhouse to the field: Demonstration of diminishing effects of mitigation of salinity in peppers inoculated with plant growth-promoting bacterium and humic acids. *Applied Soil Ecology*, 119, 327–338. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2017.07.002>

Bokhari, A., Essack, M., Lafi, F.F. (2019). Bioprospecting desert plant *Bacillus* endophytic strains for their potential to enhance plant stress tolerance. *Sci Rep* 9, 18154. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54685-y>

Cardinale M, Ratering S, Suarez C, Zapata Montoya AM, Geissler-Plaum R, Schnell S. (2015). Paradox of plant growth promotion potential of rhizobacteria and their actual promotion effect on growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. *Microbiol Res*. 181:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.08.002>

Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R. A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T. K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., Supratid, S. (2022). Water. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 551–712). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>

Etesami H. (2025). The dual nature of plant growth-promoting bacteria: Benefits, risks, and pathways to sustainable deployment. *Current research in microbial sciences*, 9, 100421. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100421>

FAO. (2024). Global status of salt-affected soils – Main report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd3044en>

Gao, Y., Zou, H., Wang, B., Yuan, F. (2022). Progress and Applications of Plant Growth-Promoting Bacteria in Salt Tolerance of Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7036. <https://doi.org/10.3390/ijms23137036>

Jones, E., Smakhtin, V., Qadir, Manzoor, van Vliet, M.T.H., Kang, S.-M., Qadir, M. (2019). The state of desalination and brine production: a global outlook. *Sci. Total Environ*. 657, 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>

Khan MY, Nadeem SM, Sohaib M, Waqas MR, Alotaibi F, Ali L, Zahir ZA, Al-Barakah FNI. (2022). Potential of plant growth promoting bacterial consortium for improving the growth and yield of wheat under saline conditions. *Front Microbiol*. 29;13:958522. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958522>

Komaresofla, B. R., Alikhani, H. A., Etesami, H., & Khoshkholgh-Sima, N. A. (2019). Improved growth and salinity tolerance of the halophyte *Salicornia* sp. by co-inoculation with endophytic and rhizosphere bacteria. *Applied Soil Ecology*, 138, 160-170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.022>

Meng, Y., Wang, T., Zhou, X., Yang, X., Hernández, M., Zhou, T., Lv, Q., Ren, X., Feng, H., Pan, H., & Hu, S. (2025). Evaluating the optimal land use pattern for saline-sodic soils from the perspective of nitrogen metabolism. *Environmental Technology & Innovation*, 40, 104363. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104363>

Moore, J. A. M., Abraham, P. E., Michener, J. K., Muchero, W., Cregger, M. A. (2022). Ecosystem consequences of introducing plant growth promoting rhizobacteria to managed systems and potential legacy effects. *The New phytologist*, 234(6), 1914–1918. <https://doi.org/10.1111/nph.18010>

Patwa, N., Pandey, V., Gupta, O.P. et al. Unravelling wheat genotypic responses: insights into salinity stress tolerance in relation to oxidative stress, antioxidant mechanisms, osmolyte accumulation and grain quality parameters. *BMC Plant Biol* 24, 875 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05508-4>

Savastano, N., & Bais, H. (2024). Synergism or Antagonism: Do Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Work Together to Benefit Plants? *International Journal of Plant Biology*, 15(4), 944-958. <https://doi.org/10.3390/ijpb15040067>

Shultana, R., Zuan, A. T. K., Naher, U. A., Islam, A. K. M. M., Rana, M. M., Rashid, M. H., Irin, I. J., Islam, S. S., Rim, A. A., Hasan, A. K. (2022). The PGPR Mechanisms of Salt Stress Adaptation and Plant Growth Promotion. *Agronomy*, 12(10), 2266. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102266>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. United Nations, New York. 55 p.

Wang, J., He, Y., Li, T., Li, C., Xu, X., Xiang, H., Wu, Z. (2022). Complex biochemical synergistic interactions between two rhizobacteria grown in consortium, *Bacillus subtilis* SL-44 and *Enterobacter hormaechei* Wu-15. *Rhizosphere*, 24, 100587. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100587>

Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434-451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>

## Plant as a Natural Selector: Application of Native Plant Growth-Promoting Bacteria to Enhance Wheat Salt Tolerance under Seawater Irrigation

Mahdi Shahabirokni<sup>1</sup>, Hassan Etesami<sup>1</sup>, Alireza Raheb<sup>1</sup>, Erfan Tavasolian<sup>1</sup>

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

### Abstract

Soil salinity and limited freshwater resources are major challenges for agriculture in arid and semi-arid regions. Seawater use can be a sustainable option to meet irrigation demand, but high salinity ( $EC > 4$  dS/m) severely restricts plant growth and soil fertility. In this study, to enhance wheat tolerance under seawater irrigation, 510 bacterial isolates were isolated from the rhizosphere and endosphere of halophytes in coastal areas of southern Iran. Unlike conventional selection based solely on plant growth-promoting traits, plants were employed here as intelligent selectors of microbes. Salt-tolerant and non-antagonistic isolates were assembled into bacterial consortia and inoculated into six wheat cultivars (Pishgam, Narin, Arg, Ofoq, Bam, Barzgar). Plants were irrigated with Oman Sea water ( $EC = 50$  dS/m) and growth parameters were evaluated. Certain consortia enhanced biomass (127% in Ofoq and 228% in Pishgam with consortium 3) and plant height, while others had negative effects (33% reduction in shoot dry weight in Arg with consortium 7). Rhizospheric soil sequencing revealed a shared core of 122 functional taxonomic units across treatments, yet the microbial composition of effective consortia, particularly consortium 3 in Ofoq, was distinct. These findings indicate that the success of microbial inoculation depends on genotype–microbiome compatibility, and that the use of native plant growth-promoting bacteria combined with active plant selection offers a sustainable approach to improving wheat production under severe salinity.

**Keywords:** Biostimulants, Plant resilience, Microbial adaptation, Sustainable agriculture, Salt tolerance