

The Impact of Seed Inoculation with Different Strains of Plant Growth-Promoting Bacteria on the Quantity and Quality of *Lens Culinaris* L. Yield in Rainfed Condition

Zaman Moradi¹, Mohsen Saeidi^{2*}, Rouhallah Sharifi³, Farzad Mondani²

Received: August 23, 2023

Accepted: March 15, 2024

1- Graduate of M.Sc. in Agrotechnology, Dept. of Plant Genetics and Production, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept., of Plant Genetics and Production, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.

3- Assoc. Prof., Plant Protection, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.

*Corresponding Author: Email: msaeidi@razi.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: With the increase in the world's population and demand for agricultural products, there is a need for sustainable and environmentally friendly methods to increase crop production. Therefore, this research investigated the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR) on lentil in rainfed condition.

Materials & Methods: According to results, ten strains of PGPR were chosen from the Western collection in Iran. Out of those ten, the top six strains (*Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus*, *Bacillus* sp., *Bacillus licheniformis*, *Achromobacter* sp.) were tested in a preliminary greenhouse experiment. Their impact on the yield quality and quantity, as well as the growth characteristics of three lentil cultivars (Local kordish, Bileh-Sawar, and Kimia), was then investigated in a rainfed environment in Kermanshah using a factorial experiment based on RCBD.

Results: The results showed that the Kimia and Local kordish cultivars had the highest and lowest seed yield, with 1750 and 1290 kg.ha⁻¹, respectively. The Kurdish local variety's grain protein percentage (19.60%) was significantly higher than the breaded cultivars of Kimia and Bileh-Sawar. PGPRs caused a significant increase in grain and biomass yield and seed protein percentage. The highest grain and biomass yield were obtained in the treatment with *Bacillus licheniformis* and *Pseudomonas putida* strains with 1640 and 4600 kg.ha⁻¹, respectively.

Conclusion: Based on the results, it appears that treating lentil crop with PGPRs could be an effective and eco-friendly solution to enhance both the quantity and quality of grain yield in rainfed cultivation within arid and semi-arid regions.

Keywords: Grain Weight, Growing-Degree-Day, Grain Number per Plant, Plant Height, Protein



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Mohsen Saeidi Email: msaeidi@razi.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58098.3103>



اثر تلقیح بذر با سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد گیاه بر کمیت و کیفیت عملکرد عدس (*Lens Culinaris L.*) در شرایط دیم

زمان مرادی^۱، محسن سعیدی^{۲*}، روح‌اله شریفی^۳، فرزاد مندنی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵
--------------------------	-------------------------

۱- دانش آموخته فوق لیسانس آگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی گیاهپزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: Email: msaeidi@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: با افزایش جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، به کارگیری روش‌های پایدار و سازگار با محیط زیست برای افزایش تولید گیاهان زراعی نیاز است. بنابراین اثر سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد بر کمیت و کیفیت عملکرد عدس در شرایط دیم بررسی شد.

مواد و روش‌ها: براساس یافته‌های قبلی، از کلکسیون باکتری‌های محرک رشد گیاه غرب ایران، ۱۰ سویه انتخاب شدند. سپس از بین آن‌ها، شش سویه برتر (*Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus*, *Bacillus sp.*, *Bacillus licheniformis*, *Achromobacter sp.*) در آزمایش مقدماتی گلخانه‌ای انتخاب شد و اثر آن‌ها بر کمیت و کیفیت عملکرد و برخی خصوصیات رشدی سه رقم عدس (محلی کردی، بیل سوار و کیمیا) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، رقم‌های کیمیا و محلی کردی به ترتیب با ۱۷۵۰ و ۱۲۹۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند. درصد پروتئین دانه رقم محلی کردی (۱۹/۶۰ درصد) به طور معنی‌داری از رقم‌های اصلاح شده کیمیا و بیل سوار بیش‌تر بود. باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و زیست‌توده و درصد پروتئین دانه شدند. بیش‌ترین عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب در تیمار با سویه‌های *Bacillus licheniformis* و *Pseudomonas putida* با ۱۶۴۰ و ۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده، اعمال تیمار باکتری محرک رشد گیاه می‌تواند یکی از راهکارهای موثر و دوستدار محیط زیست جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد دانه عدس در کشت دیم مناطق خشک و نیمه خشک باشد.

واژه های کلیدی: ارتفاع بوته، پروتئین، تعداد دانه در بوته، درجه-روز-رشد، وزن دانه

مقدمه

حبوبات بعد از غلات نقش بسیار مهمی در تامین امنیت غذایی بشر دارند. دانه حبوبات منبع پروتئین، غنی از مواد مغذی فعال زیستی، و دارای مقدار زیادی مواد مغذی مانند ویتامین‌ها (تیامین، ریبوفلاوین، پیریدوکسین، ویتامین E، B و اسید فولیک)، مواد معدنی (کلسیم، آهن، روی، منیزیم، فسفر، پتاسیم و سلنیوم)، فیبرهای محلول و نامحلول می‌باشد. البته ممکن است حاوی ترکیبات ضد تغذیه‌ای هم باشند (هنچین و همکاران ۲۰۱۷، آهن و همکاران ۲۰۱۹، چنگ و همکاران ۲۰۱۹). عدس (*Lens culinaris*) از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی اهلی شده جهان محسوب است. مانند دیگر حبوبات، عدس به طور متوسط حاوی حدود ۲۶ درصد پروتئین خام هستند. در مطالعات مختلف تنوع ژنتیکی بالایی برای محتوای پروتئین دانه عدس از ۱۹ تا ۳۷ درصد گزارش شده است (ارسکین و همکاران ۱۹۸۵، خزائی و همکاران ۲۰۱۹). در سال ۲۰۲۱، کل سطح زیر کشت عدس در جهان حدود ۵/۶ میلیون هکتار، تولید و عملکرد سالانه آن به ترتیب ۵/۶ میلیون تن و ۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران در حدود ۱۳۴ هزار هکتار و میزان تولید سالانه حدود ۸۰ هزار تن با میانگین ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار است (فائو ۲۰۲۱). براساس گزارش‌های فائو، از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۸ سالانه و به طور متوسط ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سطح جهانی عملکرد عدس افزایش پیدا کرده است (فائو ۲۰۲۰).

کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. کشت عدس اغلب در ایران به صورت دیم و سنتی صورت می‌گیرد. در این مناطق پایین بودن رطوبت خاک، آهکی و قلیایی بودن خاک، ماده آلی کم خاک، شوری محلول خاک، و عدم توازن در مصرف کودهای حاوی عناصر غذایی پرمصرف از دلایل اصلی محدودیت رشد و پایین بودن عملکرد گیاهان زراعی از جمله عدس است (نریمان و همکاران ۲۰۱۰). در روش‌های مرسوم زراعت از کودهای شیمیایی زیادی

برای افزایش بهره‌وری استفاده می‌کنند که تهدیدی برای اکوسیستم‌های کشاورزی مانند آلودگی زنجیره غذایی، تخریب کیفیت خاک، آلودگی آب و غیره است. برای غلبه بر همه این مشکلات، باید به سمت کشاورزی پایدار حرکت کرد. یکی از این اقدامات استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ به جای کودهای شیمیایی معمول است. این باکتری‌ها در خاک زندگی می‌کنند و با ناحیه ریزوسفری گیاهان مرتبط هستند. در این شرایط با سازوکارهای مختلف از جمله تحریک تولید فیتوهورمون‌ها در سلول‌های ریشه، تولید سیدروفورها و کمک به محلول‌شدن مواد غذایی درون خاک و غیره، سبب تحریک رشد گیاهان می‌شوند (کومار و همکاران ۲۰۲۲، ساریخانی و امینی ۲۰۲۰).

از مهم‌ترین گونه‌های باکتری محرک رشد به ریزوبیوم، آزوسپیریوم، ازتوباکتر، مایکوباکتریوم، باسیلوس، سراتیا، زانتوموناس، پروتئوس و سودوموناس می‌توان اشاره نمود (دال کورتیو و همکاران ۲۰۱۷). این باکتری‌ها فعالانه در انحلال و جذب مواد غذایی از محلول خاک، معدنی شدن آن‌ها و سرکوب بیماری‌ها نقش دارند (مینا و همکاران ۲۰۱۷، شارما و شانموگام ۲۰۱۷). ساریتا و تولامادوگو (۲۰۱۷) و چترجی (۲۰۱۷) نیز در همین ارتباط گزارش نمودند که فعالیت باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل حل شدن مواد غذایی (N، P، K، Zn و S) در محلول خاک، تولید سیدروفور، انتقال پیام و کنترل آفات می‌باشد.

در این ارتباط قلاوند و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه اثر باکتری‌های محرک رشد (حل‌کننده فسفات و ریزوبیوم) بر عملکرد دانه عدس (رقم کیمیا) در شرایط دیم گزارش نمودند، باکتری‌های ریزوبیوم اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه داشت. کاربرد همزمان باکتری‌های ریزوبیوم با باکتری‌های حل‌کننده فسفات در این بررسی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بویان و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر تلقیح بذر عدس رقم باری با چهار سویه باکتری ریزوبیوم (شامل: BARIRlc-104، BARIRlc-105، BARIRlc-106، BARIRlc-107) بر

عملکرد دانه به این نتیجه رسیدند که در دو سال متوالی ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ این باکتری‌ها به ترتیب موجب افزایش ۳۷ و ۶۰ درصدی عملکرد دانه شدند. صیدمرادی و مظفری (۲۰۲۰) گزارش نمودند که پرایمینگ بذر با باکتری ریزوبیوم همراه با باکتری‌های محرک رشد به ویژه تیمار مصرف توأم /زوتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و پروتئین دانه عدس در مقایسه با تیمار عدم مصرف ریزوبیوم و باکتری‌های محرک رشد شد. در بررسی‌های دیگر باکتری حل‌کننده فسفات باعث افزایش وزن صد دانه و محتوای پروتئین دانه لوبیا (رضاپور کاویشاهی ۲۰۱۵) و افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن هزاردانه و درصد پروتئین دانه گندم شدند (انصاری و همکاران ۲۰۱۷).

علی‌رغم اثرات مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه بر کارایی گیاهان، تحقیقات جامعی در ارتباط با اثر این باکتری‌ها بر خصوصیات رشدی و عملکرد عدس به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایران انجام نشده است. بر این اساس این تحقیق با هدف مقایسه اثر سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد جمع‌آوری شده از مناطق غرب کشور بر کمیت و کیفیت عملکرد دانه رقم‌های مختلف عدس و در شرایط دیم منطقه آب و هوایی کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت کشت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای انجام شد. در گلخانه از ۱۰ سویه باکتری استفاده شد.

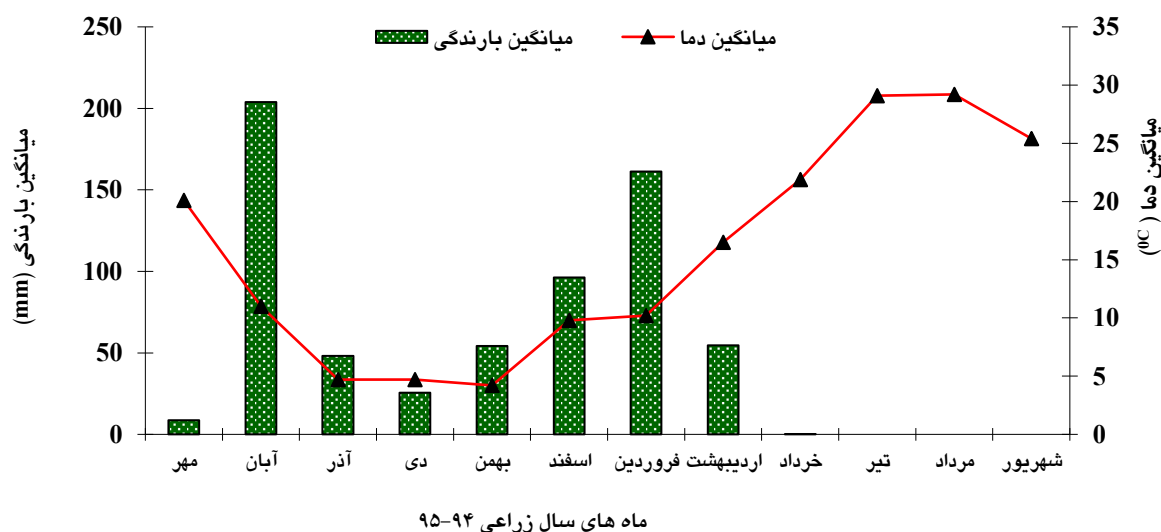
براساس عملکرد به دست آمده در آزمایش گلخانه‌ای، شش سویه برتر جهت بررسی مزرعه‌ای انتخاب شدند (نتایج ارائه نشده است). بررسی مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت کشت دیم و در تاریخ کاشت ۲۱ اسفند ماه ۱۳۹۵ انجام شد. به این منظور از آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور و در سه تکرار و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. در این آزمایش، فاکتور اول، رقم‌های عدس (۱- محلی کردی، ۲- بیله سوار و ۳- کیمیا) و فاکتور دوم، شش سویه مختلف از باکتری محرک رشد گیاه به همراه تیمار شاهد بودند. اسامی باکتری‌ها در جدول ۱ ذکر شده‌اند. محل جمع‌آوری این باکتری‌ها مناطق مختلف استان کرمانشاه بود. شناسایی آن‌ها در آزمایشگاه گروه گیاهپزشکی دانشگاه رازی انجام شد. به منظور تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه کلیه عملیات در محیط سایه و دور از نور آفتاب انجام گرفت. برای این منظور با توجه به نتایج تحقیقات مختلف (سیدشریفی و خرم‌دل ۲۰۱۵، حق بهاری ۲۰۱۳، کمری ۲۰۱۶ و طرفی و همکاران ۲۰۱۴)، مقدار هفت گرم از مایع تلقیح که دارای حدود 10^7 عدد از باکتری زنده و فعال بود با مقدار مشخص از بذر به همراه محلول ۲۰ درصد صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح استفاده شد (قنبری و همکاران ۲۰۲۰). پس از خشک شدن بذرها جهت کشت به مزرعه منتقل شدند. خصوصیات فیزیکوشیمایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ و تغییرات دما و بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در شکل ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه

ردیف	نام علمی باکتری محرک رشد گیاه	ردیف	نام علمی باکتری محرک رشد گیاه
۱	<i>Achromobacter</i> sp.	۴	<i>Pseudomonas putida</i>
۲	<i>Bacillus</i> sp.	۵	<i>Bacillus cereus</i>
۳	<i>Bacillus licheniformis</i>	۶	<i>Bacillus megaterium</i>

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمایش خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی متری محل انجام تحقیق

پارامترها	پارامترها
نیتروژن (%)	۱۴/۷
فسفر (mg kg^{-1})	۴۲
پتاسیم (mg kg^{-1})	۴۳/۳
مس (mg kg^{-1})	سیلی - رسی
روی (mg kg^{-1})	۷/۲۶
منگنز (mg kg^{-1})	۰/۶۲
آهن (mg kg^{-1})	۱/۶۸
	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})
	مواد آلی خاک (%)



شکل ۱- منحنی میانگین دما و بارندگی در محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵

از تاریخ ۲۰ تا ۲۷ خرداد ماه، همزمان با رسیدگی تکنولوژیک (خشک شدن کامل بوته و رسیدن رطوبت بذر به حدود ۲۰ درصد) و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت، برداشت انجام شد. ترتیب رسیدگی ارقام به ترتیب رقم محلی، بیله سوار و کیمیا بود. به این منظور از هر کرت یک متر مربع برداشت شد. در ادامه عملکرد دانه و زیست‌توده محاسبه شدند. از تقسیم نمودن عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده و ضرب عدد به دست آمده در ۱۰۰، شاخص برداشت محاسبه شد. برای محاسبه وزن هزار دانه، سه تکرار ۱۰۰ تایی انتخاب و بعد از توزین با ترازوی حساس، میانگین آن‌ها به عنوان وزن هر دانه لحاظ شد. جهت اندازه‌گیری صفت‌های تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف (نیام) در بوته، تعداد غلاف پر در بوته، تعداد غلاف خالی در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه‌های فرعی در ساقه اصلی، تعداد

عملیات تهیه زمین به صورت شخم با گاو آهن برگردان‌دار، خردکردن کلوخه‌ها و تسطیح در اوایل پاییز انجام شد و یک هفته قبل از کشت در اواسط اسفندماه جهت حذف علف‌های هرز سبز شده در مزرعه، با استفاده از گاوآهن قلمی شخم سطحی زده شد. کشت به صورت خطی در پنج خط و هر خط به طول چهار متر در هر کرت با فواصل خطوط کشت ۲۲/۵ سانتی‌متر و فاصله بذر روی خط یک سانتی‌متر با عمق کاشت دو سانتی‌متر انجام شد. با توجه به سابقه کشت عدس در سال‌های قبل در مزرعه، تلقیح بذر با باکتری ریزوبیوم انجام نشد. براساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (سولفات آمونیوم) استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز نیز به صورت دستی و در چند نوبت صورت گرفت. علف‌های هرز غالب مزرعه پیچک صحرایی، خردل وحشی، طوق، بی‌تی‌راخ، شیرین بیان، علف هفت‌بند بود.

حرارتی رسیدگی (از زمان کاشت تا زمانی که ۷۰ درصد رنگ بوته‌ها و کپسول‌ها زرد شدند) با استفاده از فرمول زیر اندازه‌گیری شدند (سرمدنیا و کوچکی ۱۹۹۷).

$$GDD = \left\{ \sum \left(\frac{T_{Max} + T_{min}}{2} - T_b \right) \right\}$$

درصد پروتئین دانه و ساقه و عملکرد پروتئین دانه: به منظور اندازه‌گیری درصد پروتئین از روش کج‌دال استفاده شد (والینگ و همکاران ۱۹۸۹). با استفاده از این روش درصد نیتروژن محاسبه شد. در ادامه با استفاده از معادله ۲ درصد پروتئین و با استفاده از معادله ۳، عملکرد پروتئین محاسبه شد.

$$Protein (\%) = N (\%) \times 6.25$$

$$Protein\ yield\ (kg\ ha^{-1}) = Protein\ content\ (\%) \times Seed\ yield\ (kg\ ha^{-1}) \quad (معادله\ 3)$$

مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲) رقم کیمیا با ۱۷۵۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین و رقم محلی کردی با ۱۲۹۰ کیلوگرم در هکتار دارای کم‌ترین عملکرد دانه بود. تفاوت ۴۵۰ کیلوگرمی بین عملکرد رقم‌های مورد بررسی، بیانگر این موضوع است که ژنوتیپ یا رقم یکی از فاکتورهای مهم و تاثیر گذار بر عملکرد دانه است. بنابراین یکی از راهکارهای موثر در افزایش عملکرد گیاه عدس در شرایط کشت دیم و افزایش آن در واحد سطح شناسایی و یا اصلاح ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد بالا توسط به نژادگران است. در خاک‌های زراعی مناطق خشک و نیمه-خشک همانند محل انجام این تحقیق کمبود مواد غذایی قابل جذب و رطوبت خاک دو عامل اصلی محدود کننده رشد گیاهان زراعی از جمله عدس و عملکرد پایین آن مخصوصاً در شرایط دیم است (کومار و همکاران ۲۰۲۲ و سارنالاکشمی و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین هر عاملی که بتواند این دو محدودیت را کاهش دهد، می‌تواند نقش کلیدی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی مخصوصاً عدس در شرایط دیم داشته باشد.

شاخه‌های فرعی فرعی در ساقه اصلی، و ارتفاع بوته از پنج بوته تصادفی استفاده شد.

نیاز حرارتی گلدهی (از زمان کاشت تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های هر واحد آزمایشی گل دادند) و نیاز (معادله ۱)

در معادله فوق، GDD^1 مخفف درجه - روز - رشد یا نیاز حرارتی، T_{max} و T_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل دمای شبانه‌روز و T_b دمای پایه می‌باشند. دمای پایه برای عدس پنج درجه سانتی‌گراد لحاظ شد (اکتروزمان و همکاران ۲۰۲۲).

(معادله ۲)

در هنگام تجزیه دانه‌ها، نرمال بودن آن‌ها توسط نرم افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث:

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) رقم-های مورد بررسی از نظر سایر صفات‌های مورد بررسی و در سطح احتمال ۰/۰۱ با هم تفاوت معنی‌دار داشتند. اثر فاکتور باکتری‌های محرک رشد نیز به غیر از صفت-های شاخص برداشت و تعداد شاخه‌های فرعی، بر سایر صفات‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شد. اثر متقابل رقم $\times$ باکتری نیز به غیر از صفات‌های عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در ساقه اصلی بر دیگر صفات‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای آن در رقم‌های مختلف عدس در شرایط دیم در منطقه آب و هوایی کرمانشاه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیست-توده	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	تعداد دانه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف پر در بوته	تعداد دانه در غلاف
بلوک	۲	۴۵۳ ^{ns}	۱۹۱۵ ^{ns}	۲/۵ ^{ns}	۲/۴۴ ^{ns}	۲۹/۷۳ ^{**}	۱۶/۹۱ ^{ns}	۱۳/۷۳ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}
باکتری (A)	۶	۱۳۵۳ ^{**}	۴۶۲۶ ^{**}	۱۷/۲۰ ^{ns}	۶/۶۳ ^{**}	۱۲۸ ^{**}	۵۱/۸۷ ^{**}	۶۵/۴۲ ^{**}	۰/۰۹۹ ^{**}
رقم (B)	۲	۱۲۰۴۸ ^{**}	۱۷۶۱۹ ^{**}	۴۹۲ ^{**}	۳۰۹۵ ^{**}	۱۰۷۲ ^{**}	۲۳۲ ^{**}	۹۹/۸۲ ^{**}	۱/۲۵ ^{**}
اثر متقابل A*B	۱۲	۴۶۴ ^{ns}	۱۷۳۰ ^{ns}	۲۰/۴۱ ^{ns}	۱/۶۹ ^{ns}	۵۶/۱۹ ^{**}	۲۳/۵۸ ^{**}	۱۵/۷۲ ^{**}	۰/۰۴۷ ^{ns}
خطای آزمایشی	۴۰	۲۶۰	۹۷۴	۱۲/۴۰	۱/۷۰	۵/۶۸	۵/۴۸	۴/۹۳	۰/۰۲۵
ضریب تغییرات (%)		۱۰/۸۶	۹/۳۵	۱۰/۳۵	۳/۰۲	۱۳/۶۶	۱۳/۱۷	۱۹/۹۸	۱۶/۹۲

ادامه جدول ۳

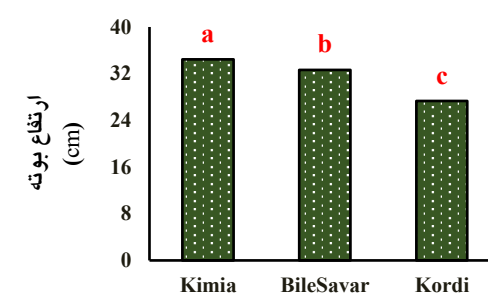
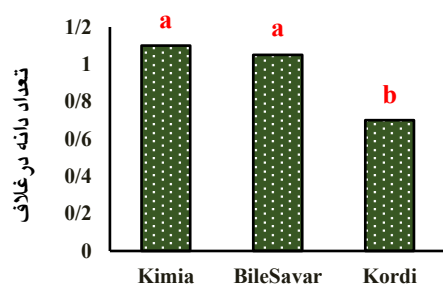
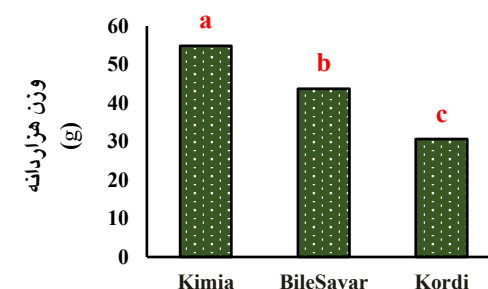
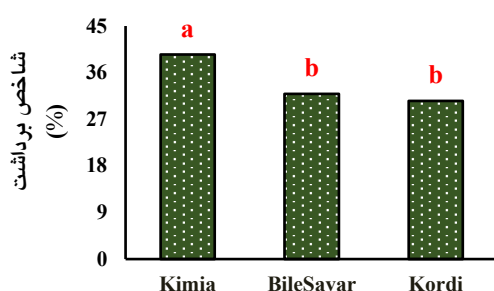
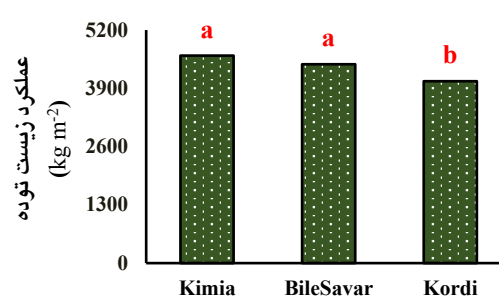
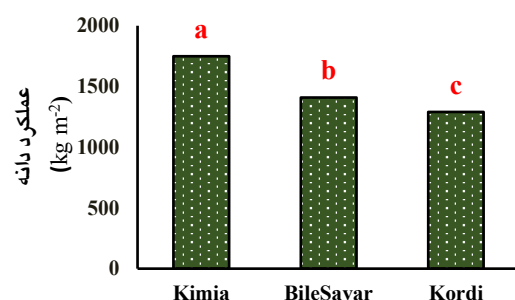
منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین ساقه	پروتئین دانه	عملکرد پروتئین دانه	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی در ساقه	نیاز حرارتی گلدهی	نیاز حرارتی رسیدگی
بلوک	۲	۰/۴۱۴ ^{ns}	۶/۴۱ [*]	۱۵/۷۳ ^{ns}	۰/۰۴۸ ^{ns}	۳/۲۸ ^{**}	۷۹/۴۹ ^{ns}	۳۱۵۱ ^{ns}
باکتری (A)	۶	۱۱/۷۶ ^{**}	۹/۰۸ ^{**}	۱۱۸ ^{**}	۱۰/۹۳ ^{**}	۰/۷۸۴ ^{ns}	۱۶۸۱ ^{**}	۱۱۹۶۶ ^{**}
رقم (B)	۲	۴/۳۲ ^{**}	۶/۰۷ [*]	۴۰۰ ^{**}	۲۸۹ ^{**}	۸/۱۷ ^{**}	۱۵۷۴۴ ^{**}	۳۱۷۹۲ ^{**}
اثر متقابل A*B	۱۲	۲/۲۵ ^{**}	۳/۸۹ [*]	۳۴/۲۶ [*]	۱/۷۳ ^{ns}	۰/۴۸۰ ^{ns}	۶۰۷ ^{**}	۴۵۰۶ ^{**}
خطای آزمایشی	۴۰	۰/۷۷۸	۱/۴۷	۱۴/۴۲	۱/۹۳	۰/۴۴۳	۱۹۲	۱۱۷۳
ضریب تغییرات (%)		۱۰/۸۶	۱۱/۶۵	۵/۷۲	۱۲/۰۷	۴/۴۲	۲۰/۵۰	۲/۴۰

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

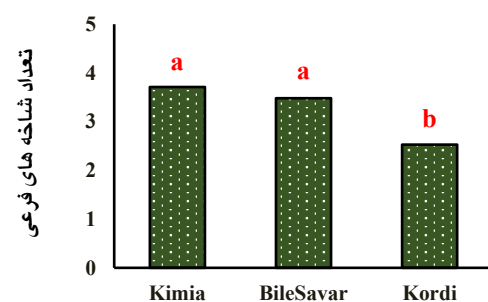
رشد و نمو و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. روش‌های مستقیم تاثیر این باکتری‌ها، سنتز بعضی از ترکیبات شیمیایی و یا کمک به جذب عناصر غذایی از خاک است (الختیار و همکاران ۲۰۱۵).

علاوه بر این، سویه‌های مختلف باکتری‌های تنظیم کننده رشد گیاه، با تنظیم تولید برخی هورمون‌های گیاهی سبب توسعه بیش‌تر ریشه شده و تولید ماده خشک ریشه را افزایش می‌دهند. این اثر سبب دسترسی گیاه به حجم بیش‌تری از خاک و منابع آن و در نتیجه بهبود رشد گیاه می‌شوند (جعفری و همکاران ۲۰۱۷). نتیجه این فرآیند باعث توسعه سیستم ریشه و جذب بهتر آب، عناصر غذایی و افزایش تحمل به تنش خشکی و در نهایت موجب افزایش عملکرد و اجزای آن می‌شود.

سایر باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۳). در این شرایط، تلقیح بذر با سویه باکتری *Bacillus licheniformis* با ۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین و تلقیح بذر با سویه *Bacillus megaterium* با ۱۴۴۰ کیلوگرم در هکتار دارای کم‌ترین اثر در بین سویه‌ها بود. تیمار شاهد با تولید ۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، دارای کم‌ترین عملکرد دانه بود. افزایش عملکرد دانه در گیاهان زراعی با کاربرد باکتری‌های محرک رشد توسط بناویدس و همکاران (۲۰۲۳)، مزرعه و همکاران (۲۰۱۹)، پندی و همکاران (۲۰۱۸)، بویان و همکاران (۲۰۱۴)، قلاوند و همکاران (۲۰۱۴) و سعیدی و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد به طور مستقیم یا غیرمستقیم سبب تحریک



رقم های عدس



رقم های عدس

شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه و برخی صفات‌های مرتبط با آن در رقم‌های مختلف عدس تحت شرایط اعمال تیمار باکتری‌های محرک رشد در کشت دیم در منطقه آب و هوایی کرمانشاه.

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد زیست‌توده (شکل ۲)، نشان داد که کلیه باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده نسبت به تیمار شاهد شدند. بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده در این شرایط توسط سویه

رقم‌های کیمیا و بیله‌سوار به ترتیب با ۴۶۳۰ و ۴۴۴۰ کیلوگرم در هکتار به طور معنی‌داری دارای عملکرد زیست‌توده بیش‌تر نسبت به رقم محلی کردی با ۴۰۶۰ کیلوگرم در هکتار بودند (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر

تلقیح بذر با این باکتری‌ها تأثیر معنی‌داری بر روی شاخص‌های کمی رشد داشته و باعث افزایش عملکرد علوفه‌تر و خشک و همچنین افزایش ارتفاع و تعداد گره بر روی ریشه شده است، مطابقت دارد.

از نظر شاخص برداشت (شکل ۱)، رقم کیمیا با ۳۹/۵۳ درصد نسبت به رقم‌های محلی کردی و بیل‌سوار (به ترتیب با ۳۰/۵۴ و ۳۱/۹۲ درصد) عملکرد دانه بیشتری تولید نمود. تیمارهای باکتری محرک رشد اثر معنی‌دار بر شاخص برداشت نداشتند (جدول ۳). برخلاف نتایج این تحقیق، سگایه و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که باکتری‌های محرک رشد با افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده، سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شد.

رقم کیمیا با ۵۴/۸۸ گرم و رقم محلی کردی با ۳۰/۶۲ گرم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه را داشتند (شکل ۱). براساس مشاهدات، رقم‌های کیمیا و بیل‌سوار به دلیل درشتی دانه، دارای وزن هزاردانه بیش‌تری نسبت به رقم کردی (دانه ریز) هستند. وزن هزاردانه بستگی به اندازه بذر و مواد ذخیره‌ای آن دارد و از ۳۰ گرم در ارقام محلی تا ۶۰ گرم در ارقام اصلاح شده در نوسان است و ژنتیک عامل مهمی در کنترل این صفت می‌باشد (مرادی و همکاران ۲۰۲۲).

سایر سویه‌های باکتری محرک رشد به طور معنی‌داری سبب افزایش وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۳). البته بین تیمارهای باکتری محرک رشد تفاوت معنی‌داری دیده نشد. نتایج این تحقیق با اثر تلقیح جدایه‌های باکتری *آزوسپیریوم لیپوفرورم* و *سودوموناس فلورسنس* بر روی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه برنج رقم طارم که توسط حاجی‌پور (۲۰۱۴) از شش نمونه خاک فرا ریشه‌ای گیاه برنج از شهرستان محمد آباد استان مازندران انجام شد مطابقت دارد. این محقق اعلام کرد که بیش‌تر جدایه‌ها توان حلالیت فسفر معدنی، تولید سیدروفور، تولید هورمون رشد ایندول استیک اسید، تثبیت زیستی نیتروژن را دارا بودند و تأثیر تلقیح جدایه‌های *آزوسپیریوم* و *سودوموناس* روی ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، تعداد خوشه، وزن اندام

باکتری *Pseudomonas putida* با ۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار شاهد با ۳۹۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. سایر سویه‌های باکتری از این نظر با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات مرتبط با عملکرد دانه و زیست‌توده، افزایش معنی‌دار این صفات تحت تأثیر تیمارهای باکتری محرک رشد بیش‌تر به دلیل تأثیر معنی‌دار این باکتری‌ها در افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف و ارتفاع بوته بود (شکل ۲). به نظر می‌رسد در این تحقیق باکتری‌های محرک رشد گیاه احتمالاً با افزایش دسترسی گیاه به حجم بیش‌تری از منابع آبی و غذایی درون خاک، سبب تسریع در رشد رویشی از طریق افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته و در نهایت افزایش عملکرد زیست‌توده و عملکرد گیاه می‌شوند (اولنسکا و همکاران ۲۰۲۰). در تایید این نتیجه‌گیری، مخرجی و همکاران (۲۰۲۳)، کاظمی‌اسکویی و همکاران (۲۰۲۱) و طرفی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تیمارهای تلقیح با باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش زیست‌توده، افزایش تشکیل گره و کارایی استفاده از فسفر و همچنین افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد سرشاخه گلدار، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و سرعت رشد گیاه شد. همچنین یاداو و همکاران (۱۹۹۲) در مورد تأثیر باکتری‌های جنس *آزوسپیریوم* و *ریزوبیوم* به تنهایی و با هم بر خصوصیات رشدی عدس اعلام کردند که تیمارهای باکتری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه نسبت به شرایط شاهد شدند. در این شرایط، بیش‌ترین عملکرد دانه و کاه در تیمار کاربرد توأم *آزوسپیریوم* و *ریزوبیوم* به دست آمد. چان‌وای و همکاران (۱۹۸۹) با بررسی تأثیر ریزوباکتری‌ها بر رشد گیاه دریافتند که رقم‌های عدس که با باکتری‌های حل‌کننده فسفات تلقیح شدند، عملکرد زیست‌توده بیش‌تری داشته و کارایی استفاده از فسفر در آن‌ها افزایش یافت. نتیجه تحقیق حاضر با نتایج تحقیق اعظمی و همکاران (۲۰۱۵) که با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات شامل سویه‌های *سودوموناس پوتیدا* و *ریزوبیوم* اعلام کردند،

خشک هوایی، وزن تراندام هوایی، تعداد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در سطح پنج درصد معنی دار گردید. همچنین

در تحقیقی دیگر گولر و همکاران (۲۰۰۱) بر روی گیاه نخود نشان دادند که صفت وزن صد دانه، یکی از

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و باکتری محرک رشد بر صفات مختلف مرتبط با عملکرد دانه در رقم‌های مختلف عدس تحت تیمارهای مختلف باکتری محرک رشد در شرایط دیم در منطقه کرمانشاه

تعداد غلاف پر در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	باکتری محرک رشد گیاه	رقم
۶/۰۷ ^{ijk}	۱۴/۰۷ ^{g-j}	۱۱/۶۷ ^{fgh}	Control	کیمیا
۱۲/۷ ^{c-h}	۲۰/۲۰ ^{bcd}	۲۱/۳۳ ^d	<i>Bacillus</i> sp.	
۱۱/۱۳ ^{c-h}	۱۸/۸۰ ^{c-f}	۲۱/۰۰ ^d	<i>Bacillus licheniformis</i>	
۱۳/۸۷ ^{a-e}	۲۲/۲۰ ^{abc}	۲۴/۶۷ ^{bcd}	<i>Pseudomonas putida</i>	
۱۲/۶ ^{b-h}	۱۶/۲۷ ^{d-h}	۱۴/۳۳ ^{ef}	<i>Bacillus cereus</i>	
۱۱/۴۷ ^{c-h}	۱۸/۴۷ ^{c-g}	۲۳/۰۰ ^{cd}	<i>Bacillus megaterium</i>	
۱۴/۴۰ ^{a-d}	۲۱/۷۳ ^{abc}	۲۵/۰۰ ^{bcd}	<i>Achromobacter</i> sp.	
۶/۶۷ ^{ijk}	۱۴/۶۷ ^{f-i}	۱۱/۳۳ ^{fgh}	Control	بیله سوار
۱۳/۶۷ ^{a-f}	۲۱/۰۰ ^{abc}	۲۴/۳۳ ^{bcd}	<i>Bacillus</i> sp.	
۱۶/۵۳ ^{ab}	۲۲/۸۷ ^{abc}	۲۷/۳۳ ^{abc}	<i>Bacillus licheniformis</i>	
۱۲/۱۳ ^{c-h}	۱۹/۴۷ ^{b-c}	۲۲/۰۰ ^d	<i>Pseudomonas putida</i>	
۱۴/۷۳ ^{abc}	۲۳/۷۳ ^{ab}	۲۸/۰۰ ^{ab}	<i>Bacillus cereus</i>	
۹/۲۳ ^{g-j}	۱۶/۲۳ ^{d-h}	۱۶/۰۰ ^e	<i>Bacillus megaterium</i>	
۱۷/۸۰ ^a	۲۵/۱۳ ^a	۳۰/۶۷ ^a	<i>Achromobacter</i> sp.	
۳/۴۰ ^k	۱۰/۰۷ ^j	۵/۶۷ ⁱ	Control	محلی کردی
۸/۵۰ ^{hij}	۱۱/۸۳ ^{hij}	۱۰/۰۰ ^{f-i}	<i>Bacillus</i> sp.	
۹/۶۰ ^{c-j}	۱۴/۶۰ ^{f-i}	۹/۶۷ ^{ghi}	<i>Bacillus licheniformis</i>	
۱۳/۰۰ ^{b-g}	۱۹/۰۰ ^{c-f}	۱۱/۰۰ ^{fgh}	<i>Pseudomonas putida</i>	
۹/۴۰ ^{f-j}	۱۵/۰۷ ^{c-i}	۱۲/۰۰ ^{efg}	<i>Bacillus cereus</i>	
۱۰/۳۷ ^{d-i}	۱۶/۰۳ ^{d-h}	۹/۶۷ ^{ghi}	<i>Bacillus megaterium</i>	
۶/۷۳ ^{ijk}	۱۱/۷۳ ^{ij}	۷/۳۳ ^{hi}	<i>Achromobacter</i> sp.	

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

بودند. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق حاجی پور (۲۰۱۴) و یاداو و همکاران (۱۹۹۲) مطابقت دارد و از تأثیر باکتری *Achromobacter* sp. در بین ارقام و سویه‌ها چنین استنباط می‌شود که این سویه احتمالاً سبب تثبیت نیتروژن و طولانی شدن دوره پرشدن دانه در ارقام عدس شده، و در نهایت افزایش تعداد دانه در بوته را به همراه داشته است و صفت تعداد دانه در بوته یکی از صفات‌های مهم و موثر در شکل‌گیری عملکرد دانه است (گولر و همکاران، ۲۰۰۱).

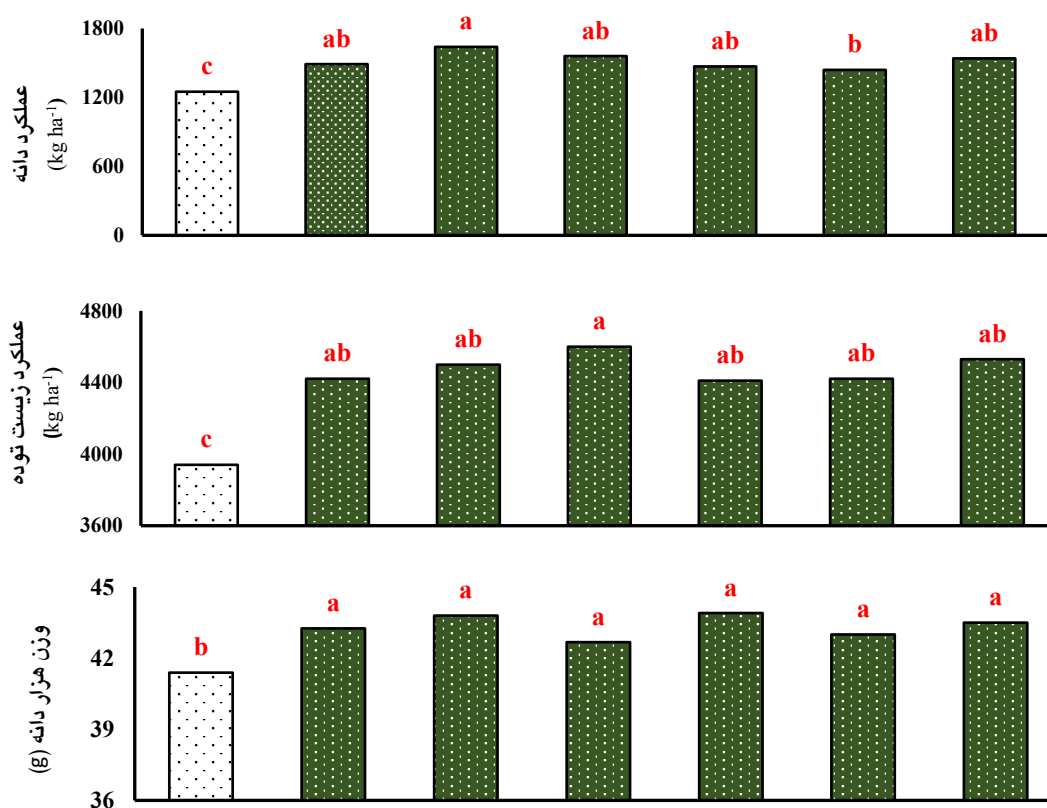
مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × باکتری بر صفت تعداد غلاف در بوته (جدول ۴) نشان داد که سویه باکتری *Achromobacter* sp. در رقم بیله‌سوار با ۲۵/۱۳ عدد

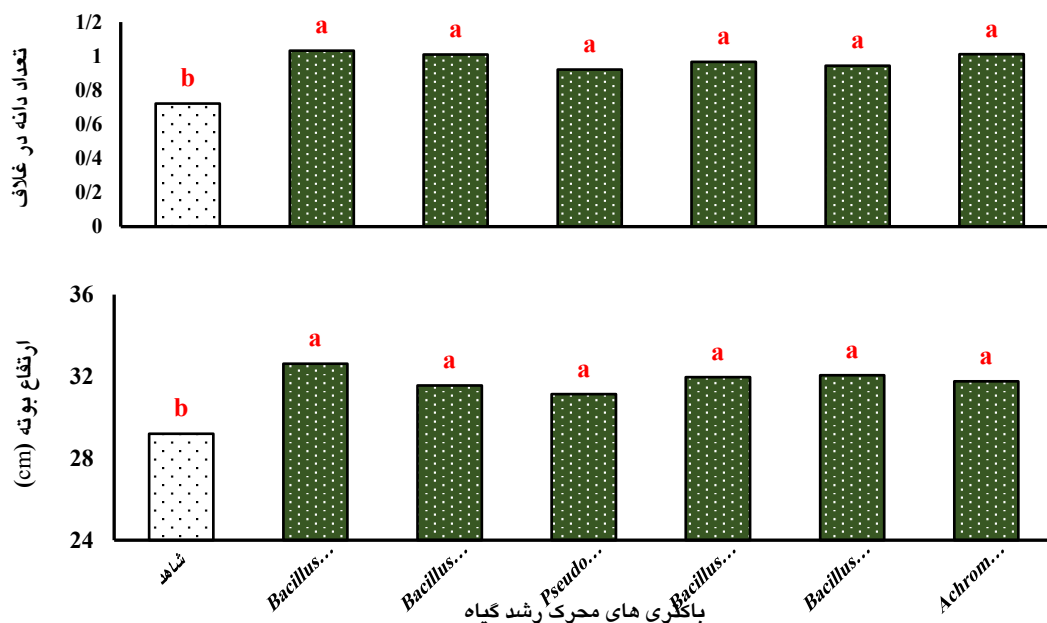
صفت‌های مهم و موثر بر عملکرد است که با تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته به ترتیب بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه دارد.

بررسی اثر متقابل رقم × باکتری (جدول ۴) بر صفت تعداد دانه در بوته نشان داد که سویه باکتری *Achromobacter* sp. در رقم بیله سوار و تیمار شاهد در رقم کیمیا با ۳۰/۶۷ دارای بیشترین و تیمار شاهد در رقم کردی با ۵/۶۷ دارای کمترین تعداد دانه در بوته بودند. در رقم کیمیا بیشترین تعداد دانه در بوته مربوط به سویه *Pseudomonas putida* و در رقم بیله سوار بیشترین تأثیر مربوط به سویه *Achromobacter* sp. و در رقم محلی کردی به سویه *Bacillus cereus* مربوط

نامحدود است و غلاف‌های پایین بزرگ‌تر از غلاف‌های فوقانی می‌باشند و بروز تنش خشکی انتهای فصل سبب کاهش شدید سرعت فتوسنتز شده و با تسریع مراحل نمو گیاه، موجب پیری زودرس و کاهش دوره پرشدن دانه می‌شود. در ضمن تامین نیاز آبی گیاه از دوره گل‌دهی تا دوره پرشدن دانه بسیار اهمیت دارد و بحرانی‌ترین مرحله نیاز به آب در گیاه عدس مرحله گل‌دهی است (زروال و همکاران ۲۰۲۲)، بنابراین غلاف‌های فوقانی فرصت پرکردن دانه را پیدا نمی‌کنند و همین مسئله سبب افزایش تعداد غلاف‌های خالی روی بوته خواهد شد و رقم‌های کیمیا و ببله سوار به علت افزایش ارتفاع و شاخ و برگ‌های بیشتر، دارای تعداد گل و غلاف و در نهایت داری غلاف خالی بیش‌تر بودند.

دارای بیش‌ترین و تیمار شاهد در رقم محلی کردی با ۱۰/۰۷ عدد دارای کم‌ترین تعداد غلاف در بوته بودند. در رقم کیمیا بین سویه‌های باکتری بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته مربوط به سویه‌های *Pseudomonas putida* و *Achromobacter* sp. و در رقم ببله سوار سویه *Achromobacter* sp. و در رقم محلی کردی سویه *Pseudomonas putida* و بین سایر سویه‌ها نسبت به هم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج این تحقیق با تحقیق حاجی پور (۲۰۱۴) و یاداو و همکاران (۱۹۹۲) که در بحث تعداد دانه در بوته بیان شد مطابقت دارد. همچنین صفت تعداد غلاف در بوته هم یکی از صفت‌های مهم و موثر در شکل‌گیری عملکرد دانه است (گولر و همکاران، ۲۰۰۱). با توجه به اینکه عدس گیاهی رشد





شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف رقم‌های مختلف عدس تحت تیمار باکتری‌های محرک رشد در شرایط دیم در منطقه آب و هوایی کرمانشاه.

(میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

دارای کم‌ترین و رقم بیله‌سوار با ۱/۰۵ تفاوت معنی‌داری با رقم کیمیا نداشت. تمامی سویه‌های باکتری موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار شاهد شدند، ولی بین سویه‌های باکتری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۳). در رقم محلی کردی تعداد دانه در غلاف یک عدد ولی در رقم‌های کیمیا و بیله سوار بیشتر از یک می‌باشد، نتایج این تحقیق نشان دهنده اثر رقم بر صفت تعداد دانه در غلاف است. بر این اساس رقم‌های اصلاح شده (کیمیا و بیله‌سوار) دارای پتانسیل عملکرد بیش‌تری نسبت به رقم بومی بودند. مقایسه میانگین سویه‌های باکتری نشان دهنده نقش مثبت آن‌ها در افزایش صفت تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار شاهد بود. این نتایج موافق با یافته‌های ارزانش و فرجی (۲۰۱۵) بود.

رقم کیمیا با ۴۷/۳۴ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین و رقم محلی کردی با ۲۷/۳۱ سانتی‌متر دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بودند (شکل ۲). این اختلاف ارتفاع در بین رقم‌های مورد بررسی، بیش‌تر به تیپ رشدی آن‌ها که در اصل یک خصوصیت ژنتیکی است و به تاریخ کاشت و تراکم بذر و همچنین به شرایط محیطی نیز بستگی دارد. کم

مطالعه اثر متقابل رقم × باکتری محرک رشد (جدول ۴) نشان داد که بیش‌ترین تعداد غلاف پر در بوته مربوط به سویه‌های باکتری *Bacillus* و *Achromobacter sp. licheniformis* در رقم بیله سوار و کم‌ترین مربوط به تیمار شاهد در رقم محلی کردی بود. تمامی سویه‌ها سبب افزایش تعداد غلاف پر در رقم‌های مورد بررسی عدس نسبت به تیمار شاهد شدند، ولی بین سویه‌های باکتری از نظر تاثیر بر این صفت تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. باکتری‌های محرک رشد با شکستن پیوندهای بین فسفر و کلسیم، سبب توسعه بیش‌تر ریشه شده و تولید ماده خشک را افزایش داده و در نهایت سبب دسترسی گیاه به حجم بیش‌تری از خاک و منابع آن می‌شوند (جعفری و همکاران ۲۰۱۷). همین مسئله سبب افزایش تولید فتواسیمیلات‌ها شده و در نهایت افزایش تعداد غلاف پر در بوته را افزایش می‌دهند. لازم به ذکر است که تعداد غلاف پر تشکیل شده در گیاه به طورقابل توجهی به ژنوتیپ گیاه نیز بستگی دارد (نجفی و همکاران ۲۰۱۵). مقایسه میانگین مربوط به اثر رقم بر صفت تعداد دانه در غلاف نشان داد (شکل ۲)، رقم کیمیا با ۱/۱۰ دارای بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف و رقم محلی کردی با ۰/۷

تیمار تلقیح باکتری *Bacillus sp.* بیش‌ترین تأثیر را بر وزن خشک برگ، تعداد سرشاخه‌های گلدار، سطح برگ، درصد و عملکرد اسانس داشت.

بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در رقم محلی کردی و تیمار سویه باکتری *Bacillus megaterium* (۲۴/۰۳ درصد) و کم‌ترین آن (۱۸/۷۷ درصد) مربوط به تیمار شاهد در رقم کیمیا بود (جدول ۵). در رقم کیمیا تمامی سویه‌های باکتری دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد بودند، ولی سویه‌های باکتری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در رقم‌های کیمیا و بیل سوار تمامی اعمال سویه‌های مختلف باکتری سبب افزایش معنی‌دار درصد پروتئین دانه شدند، ولی بین سویه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در رقم محلی کردی اعمال تیمار *Bacillus megaterium* و بعد از آن *Bacillus cereus* دارای بیش‌ترین اثر معنی‌دار بر درصد پروتئین دانه شدند، ولی بقیه سویه‌ها با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. از این نتیجه چنین استنباط می‌شود که رقم محلی کردی علی‌رغم برخورداری از عملکرد دانه پایین‌تر نسبت به رقم‌های کیمیا و بیل سوار (اصلاح شده)، دارای درصد پروتئین دانه بیش‌تر بود. نتایج این تحقیق با تحقیق خان و همکاران (۲۰۱۹) که روی گیاه نخود انجام دادند و گزارش دادند که باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و تحریک رشد در نهایت سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود، مطابقت دارد. رضاپورکوشیانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با تحقیق بر روی گیاه زراعی لوبیای محلی گیلان گزارش کردند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش درصد پروتئین دانه شدند.

مطابق نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، علی‌رغم بالاتر بودن درصد پروتئین دانه رقم محلی نسبت به دو رقم اصلاح شده کیمیا و بیل سوار، عملکرد پروتئین رقم بیل سوار از دو رقم اصلاح شده کم‌تر بود. پایین‌تر بودن عملکرد پروتئین رقم محلی در این شرایط به عملکرد دانه کم‌تر این رقم نسبت به دو رقم اصلاح

بودن ارتفاع رقم کردی احتمالاً به دلیل کاهش سرعت و دوره رشد رویشی و کوتاه بودن دوره رشد زایشی که در اثر برخورد گیاه با عوامل تنش‌زای آخر فصل برای حفظ بقاء اتفاق می‌افتد و موجب می‌شود این رقم به سرعت وارد فاز زایشی برای تولید دانه شود، به طور غیر مستقیم سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود. دو رقم دیگر به دلیل سرعت و دوره رشد طولانی‌تر دارای ارتفاع بیش‌تری نسبت به رقم کردی بوده‌اند. نتایج بدست آمده با نتیجه تحقیق موخرجی و همکاران (۲۰۲۳) که گزارش نمودند بین رقم‌های عدس از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری وجود دارد و این تفاوت بیش‌تر تحت تأثیر تراکم و تاریخ کاشت بود، مطابقت دارد. تمامی سویه‌های باکتری سبب افزایش ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۳). این در حالی است که بین سویه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اختلاف معنی‌دار سویه‌ها نسبت به تیمار شاهد نشان دهنده نقش مؤثر باکتری‌های محرک رشد در جذب آب و مواد غذایی از خاک و تسریع رشد و نمو و افزایش هورمون‌های رشد و در نهایت افزایش ارتفاع بود. این نتایج با یافته‌های به دست آمده از گزارش سیدشریفی (۲۰۱۳) روی گیاه زراعی آفتابگردان و همچنین محمود و همکاران (۲۰۱۹) روی گیاه عدس که گزارش نمودند باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود، مطابقت دارد. طرفی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر تیمارهای بیولوژیک بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل: *Rhodococcus sp.*، *Corynebacterium sp.*، *Bacillus Mycobacterium sp.*، *Pseudomonas putida*، *Azotobacter sp.*، *Pseudomonas fluorescens* بر شاخص‌های مورفولوژیک و میزان اسانس گیاه دارویی بادرنشبو را بررسی نموده و نشان دادند تیمارهای تلقیح باکتری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد سرشاخه گلدار، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد بیولوژیک، سرعت رشد گیاه، سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، درصد اسانس و عملکرد اسانس اثر معنی‌داری داشتند و

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و باکتری محرک رشد بر عملکرد پروتئین دانه و نیاز حرارتی گلدهی و نیاز حرارتی رسیدگی در رقم‌های مختلف عدس تحت تیمارهای مختلف باکتری محرک رشد در شرایط دیم در منطقه کرمانشاه

رقم	نیاز حرارتی رسیدگی (Growing Degree Days)	نیاز حرارتی گلدهی (Growing Degree Days)	پروتئین ساقه (%)	عملکرد پروتئین دانه (kg ha ⁻¹)	پروتئین دانه (%)	باکتری محرک رشد گیاه
کیمیا	۱۰۹۵ ^{fgh}	۶۰۱ ^a	۱۰/۲۰ ^a	۲۷/۱۷ ^{f-i}	۱۸/۷۷ ^f	Control
	۱۱۷۲ ^{a-c}	۶۰۱ ^a	۶/۷۷ ^{def}	۳۷/۹۷ ^{abc}	۲۱/۴۳ ^{b-c}	<i>Bacillus</i> sp.
	۱۲۱۱ ^{ab}	۶۰۶ ^a	۷/۴۰ ^{c-f}	۴۴/۵۰ ^a	۲۰/۷۳ ^{b-f}	<i>Bacillus</i>
	۱۲۲۸ ^a	۶۰۶ ^a	۷/۸۰ ^{cde}	۴۲/۰۷ ^{ab}	۲۲/۴۷ ^{a-d}	<i>Pseudomonas</i>
	۱۱۴۶ ^{b-f}	۶۰۱ ^a	۷/۰۳ ^{def}	۳۲/۷۰ ^{c-g}	۲۰/۱۳ ^{def}	<i>Bacillus cereus</i>
	۱۱۵۹ ^{b-f}	۶۰۶ ^a	۶/۰۳ ^{fg}	۳۳/۸۳ ^{c-f}	۲۰/۷۰ ^{b-f}	<i>Bacillus</i>
	۱۱۹۲ ^{abc}	۶۰۱ ^a	۸/۰۰ ^{cde}	۳۶/۵۰ ^{bcd}	۲۰/۴۰ ^{c-f}	<i>Achromobacter</i>
بیله سوار	۱۰۲۶ ⁱ	۵۱۲ ^c	۹/۷۰ ^{ab}	۲۳/۷۰ ^{hi}	۱۸/۹۳ ^f	Control
	۱۰۲۷ ^{c-h}	۵۸۷ ^{ab}	۷/۲۰ ^{c-f}	۳۰/۰۳ ^{d-h}	۲۱/۰۳ ^{b-f}	<i>Bacillus</i> sp.
	۱۱۳۹ ^{c-g}	۵۸۳ ^{ab}	۶/۸۷ ^{def}	۲۹/۷۷ ^{d-h}	۲۰/۸۳ ^{b-f}	<i>Bacillus</i>
	۱۰۶۹ ^{hi}	۵۹۲ ^a	۷/۰۰ ^{def}	۳۱/۳۰ ^{c-g}	۲۲/۶۰ ^{abc}	<i>Pseudomonas</i>
	۱۱۶۶ ^{a-c}	۵۸۷ ^{ab}	۵/۸۰ ^{fg}	۳۰/۸۳ ^{c-h}	۱۹/۶۰ ^{cf}	<i>Bacillus cereus</i>
	۱۱۰۷ ^{e-h}	۵۸۳ ^{ab}	۸/۱۰ ^{cde}	۳۲/۴۰ ^{c-g}	۲۲/۱۷ ^{a-d}	<i>Bacillus</i>
	۱۱۷۸ ^{a-d}	۵۸۳ ^{ab}	۵/۰۰ ^g	۳۵/۷۳ ^{b-c}	۲۲/۱۳ ^{a-d}	<i>Achromobacter</i>
محلی کردی	۱۰۲۶ ⁱ	۵۲۲ ^{de}	۹/۹۰ ^{ab}	۲۰/۷۳ ⁱ	۱۹/۶۰ ^c	Control
	۱۰۷۶ ^{ghi}	۵۵۱ ^c	۸/۰۷ ^{cde}	۳۷/۷۳ ^{fgh}	۲۱/۸۷ ^{a-c}	<i>Bacillus</i> sp.
	۱۰۹۵ ^{fgh}	۵۵۶ ^c	۸/۷۷ ^{abc}	۳۰/۲۷ ^{d-h}	۲۲/۲۳ ^{a-d}	<i>Bacillus</i>
	۱۱۶۵ ^{a-c}	۵۵۱ ^c	۸/۵۰ ^{bcd}	۲۹/۰۰ ^{e-h}	۲۰/۲۳ ^{c-f}	<i>Pseudomonas</i>
	۱۱۱۴ ^{d-h}	۵۶۳ ^{bc}	۶/۶۷ ^{ef}	۳۰/۸۳ ^{c-h}	۲۳/۰۳ ^{ab}	<i>Bacillus cereus</i>
	۱۱۳۳ ^{c-h}	۵۴۵ ^{cd}	۶/۸۷ ^{def}	۳۲/۴۰ ^{c-g}	۲۴/۰۳ ^a	<i>Bacillus</i>
	۱۰۷۰ ^{hi}	۵۵۱ ^c	۷/۲۳ ^{c-f}	۲۵/۷۷ ^{ghi}	۲۱/۰۷ ^{b-f}	<i>Achromobacter</i>

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

سبب افزایش درصد پروتئین دانه شده و این امر خود موجب افزایش عملکرد پروتئین دانه خواهد شد. بیش‌ترین درصد پروتئین ساقه (جدول ۵)، مربوط به تیمار شاهد در رقم کیمیا (۱۰/۲ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار آکرموباکتر در رقم بیله سوار (۵ درصد) بود. همچنین تیمارهای شاهد در هر سه رقم نسبت به سویه‌های باکتری دارای درصد پروتئین ساقه بالاتری بودند. علت اختلاف معنی‌دار سویه‌های باکتری نسبت به تیمار شاهد در هر سه رقم می‌تواند به دلیل انتقال مجدد پروتئین از ساقه به دانه (مخزن) باشد. عامل تحریک انتقال مجدد پروتئین ساقه در این شرایط می‌تواند به دلیل اثرات باکتری‌های محرک رشد گیاه باشد. به طوریکه باکتری‌های محرک رشد با تسریع این روند سبب تخلیه زودتر پروتئین از ساقه به دانه می‌شوند. به عبارتی مواد فتوسنتزی تا قبل از گلدهی بیشتر در ساقه انباشته

شده مرتبط است. باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد شدند، ولی بین باکتری‌های محرک رشد گیاه در هر سه رقم از نظر افزایش عملکرد پروتئین دانه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بیش‌ترین عملکرد پروتئین دانه در این شرایط به ترتیب مربوط به سویه باکتری *Bacillus licheniformis* و *Pseudomonas putida* در رقم کیمیا و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد در رقم محلی کردی بود. از آنجا که بین میزان گره‌بندی و تثبیت نیتروژن و همچنین بین عملکرد پروتئین دانه با عملکرد دانه رابطه مستقیمی وجود دارد، بنابراین هر عاملی نظیر وزن دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته که بر عملکرد دانه مؤثر باشند، بر عملکرد پروتئین دانه هم تأثیر خواهند گذاشت. باکتری‌های محرک رشد با افزایش گره‌بندی و تثبیت نیتروژن (مخرجی و همکاران ۲۰۲۳)

سویه‌های باکتری در افزایش طول دوره رشد گیاه می‌باشد. این باکتری‌ها با تسهیل در جذب رطوبت و مواد غذایی از محلول خاک مخصوصاً در شرایط کشت دیم و تحریک تولید هورمون‌های محرک رشد سبب افزایش طول دوره رشد و نمو گیاهان و در نتیجه آن افزایش نیاز حرارتی و افزایش عملکرد دانه می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۱۹، کومار و همکاران ۲۰۲۲، وکسیان و همکاران ۲۰۲۲ و لئو و همکاران ۲۰۲۳).

نتیجه‌گیری کلی

بارندگی مناسب ۹۶، ۱۶۱ و ۵۴ میلی‌متری بارندگی برای کشت عدس دیم به ترتیب در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت از مهم‌ترین دلایل بالاتر بودن متوسط عملکرد هر سه رقم (کیما با ۱۷۵۰، بیله‌سوار با ۱۴۵۰ و محلی کردی ۱۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به متوسط عملکرد کشور (۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۱). نتایج نشان داد اصلاح رقم‌های کیما و بیله‌سوار با بذرهای درشت‌تر، برای صفی نظیر عملکرد انجام شده است و به همین دلیل درصد پروتئین دانه آن‌ها از رقم محلی کردی (۶۰/۱۹ درصد) به طور معنی‌داری کمتر بود. بنابراین با توجه به اهمیت پروتئین دانه در شکل‌گیری کیفیت عملکرد دانه عدس، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات پیش‌رو جهت اصلاح عدس، علاوه بر کمیت عملکرد، درصد پروتئین دانه نیز مدنظر قرار گیرد.

باکتری‌های محرک رشد گیاه عملکرد دانه و اجزاء آن، پروتئین دانه و صفات‌های مورد بررسی در این تحقیق را نسبت به تیمار شاهد بهبود دادند. در ارتباط با افزایش عملکرد دانه باکتری *Bacillus licheniformis* برتر بود و بین سایر باکتری‌های بررسی شده جهت افزایش عملکرد دانه بیش‌تر قابل پیشنهاد است. از آنجا که اعمال این باکتری‌ها ساده و کم‌هزینه بوده و برعکس کودهای شیمیایی باعث آلودگی خاک مزرعه نمی‌شوند و از سویی دیگر کمیت و کیفیت عملکرد دانه را به طور معنی‌دار افزایش می‌دهند، به نظر می‌رسد که یکی از راهکارهای توانمندسازی عدس در مناطق خشک و نیمه خشک جهت

می‌شوند و بعد از مراحل گلدهی و غلاف‌بندی به دانه منتقل می‌شوند (کوان و همکاران ۲۰۱۶).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۲) در پایان فصل رشد، رقم کیما با ۳/۷۱ دارای بیش‌ترین و رقم محلی کردی با ۲/۵۳ دارای کم‌ترین تعداد شاخه فرعی در ساقه اصلی بود و رقم بیله سوار با ۳/۴۸ تفاوت معنی‌داری با رقم کیما نداشت. تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی در بوته از دیگر صفات مهم مؤثر بر عملکرد گیاهان بوده که بیش‌تر تحت تأثیر ژنتیک، تراکم، تاریخ کاشت و شرایط محیطی می‌باشد (پاکباز و همکاران ۲۰۱۵). تعداد شاخه فرعی کم‌تر در رقم محلی ممکن است ناشی از حساسیت این رقم به تنش خشکی و دلیل بیش‌تر بودن تعداد شاخه‌های فرعی در دو رقم کیما و بیله سوار ناشی از افزایش تعداد برگ و سطوح فتوسنتز کننده است که نتیجه این تغییرات به افزایش تعداد دانه در گیاه هم منجر می‌شود (صادقی نژاد و همکاران ۲۰۱۴). بر خلاف یافته‌های طرفی و همکاران (۲۰۱۴) باکتری‌های محرک رشد اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های فرعی گیاه در این تحقیق نداشتند.

اصولاً گیاه برای سپری کردن هریک از مراحل نمو، به مقدار معینی گرما نیاز دارد که به صورت واحدهای حرارتی بیان می‌گردد (اسلم و همکاران ۲۰۱۷). براساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین نیاز حرارتی از زمان کاشت تا گلدهی و رسیدگی مربوط به رقم کیما به ترتیب با ۶۰۱ و ۱۰۹۵ درجه روز رشد بود. بین دو رقم بیله سوار و رقم محلی تفاوت معنی‌داری در این ارتباط دیده نشد. اعمال تیمار باکتری‌های محرک رشد به جز در مورد نیاز حرارتی رقم کیما جهت گلدهی، در بقیه موارد سبب افزایش نیاز حرارتی شد. بیش‌ترین مقدار نیاز حرارتی تا رسیدن گیاه به گلدهی و رسیدگی، مربوط به سویه‌های باکتری در رقم کیما با ۶۰۶ و ۱۲۲۸ درجه روز رشد و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد در رقم بیله سوار با ۵۱۲ و ۱۰۲۴ درجه روز رشد بود (جدول ۵). بیش‌تر بودن نیاز حرارتی سویه‌های باکتری نسبت به تیمارهای شاهد در هر سه رقم نشان دهنده نقش مؤثر

استفاده از شرایط محیطی مانند جذب آب و مواد غذایی،
 استفاده از باکتری‌های محرک رشد باشد.
 نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را از
 دانشگاه رازی جهت حمایت مالی و تامین شرایط مورد
 نیاز این تحقیق ابراز می‌دارند.

منابع مورد استفاده

- Ahnen RT, Jonnalagadda SS and Slavin JL. 2019. Role of plant protein in nutrition, wellness, and health. *Nutrition reviews*, 77(11): 735-47. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz028>
- Aktar-Uz-Zaman M, Haque MA, Sarker A, Alam MA, Rohman MM, Ali MO, Alkhateeb MA, Gaber A and Hossain A. (2022). Selection of Lentil (*Lens Culinaris* Medik) Genotypes suitable for high-temperature Conditions Based on Stress tolerance indices and principal component analysis. *Life*, 12(11):1719.
- Ansari MH, Hashemabadi D and Yadegari M. 2017. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on eco physiological characteristics of two wheat cultivars under reinfed condition. *Plant Productions*, 40(2): 75-88. <https://doi.org/10.22055/ppd.2017.13121>
- Arzanesh MH and Faraji A. 2015. Effect of plant growth promoting bacteria (*Azospirillum sp.*) on physiology and yield of two oilseed rapes. *Journal of Sol Biology*, 2(2): 159-171. <https://doi.org/10.22092/sbj.2015.100866>
- Aslam MA, Ahmed M, Stöckle CO, Higgins SS, Hassan FU and Hayat R. 2017. Can growing degree days and photoperiod predict spring wheat phenology? *Frontiers in Environmental Science*, 5: 57. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.000573>
- Azamei R, Ardakani M and Gomarian M. 2015. Assessment of qualitative and quantitative characters of two Persian clover ecotypes inoculated by *Rhizobium leguminosarum* biovartrifoli and *Pseudomonas putida* Bacteria. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3): 513-523. <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.26093>
- Benavides HS, Uribe-Velez D and Restrepo-Díaz H. 2023. Evaluation of brassinosteroids and plant growth-promoting bacteria on the growth and yield of *Lactuca sativa* L. under soilless cultivation conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2232390>
- Bhuiyan MAH, Khanam D, Rahman MT, Sheikh MHR and Bhuiyan MMH. 2014. Performance of single and mixed rhizobia inoculants on nodulation, dry matter and seed yield of lentil (*Lens culinaris*). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(1): 105-112. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20147>
- Chanway CP, Hynes RK and Nelson LM. 1989. Plant growth- promoting rhizobacteria: effect on growth and nitrogen fixation of Lentil (*Lens esculenta* Moench) and pea (*Pisum sativum* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 21: 511-517. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90123-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90123-5)
- Chatterjee A, Singh S, Agrawal C, Yadav S, Rai R and Rai LC. 2017. Role of algae as a biofertilizer. In *Algal green chemistry* (pp. 189-200), *Recent Progress in Biotechnology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63784-0.00010-2>
- Cheng A, Raai MN, Zain NAM, Massawe F, Singh A and Wan-Mohtar WAAQI. 2019. In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes. *Food Security*, 11: 1205-1215. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00977-0>
- Dal Cortivo C, Barion G, Visioli G, Mattarozzi M, Mosca G and Vamerali T. 2017. Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247: 396-408. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.006>

- Erskine W, Williams PC and Nakkoul H. 1985. Genetic and environmental variation in the seed size, protein, yield, and cooking quality of lentils. *Field Crops Research*, 12: 153-161. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(85\)90061-9](https://doi.org/10.1016/0378-4290(85)90061-9)
- FAOSTAT (2021). Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/>
- FAOSTAT. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Ghalavand A, Tashakory Yazd J and Modares Sanavy AM. 2014. Effect of supplemental irrigation and dual application of phosphate solubilization bacteria and arbuscular mycorrhizae fungi on yield and water use efficiency of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in rainfed conditions of north Khorasan. *Journal of Agroecology*, 4(1): 55-71.
- Ghanbary1 E, Fathizadeh O and Tabari M. 2020. The effect of mycorrhizal fungi and growth-promoting rhizobacteria on the activity of antioxidant enzymes of Calotrope seedlings under drought stress. *Journal of Forest Research and Development*, 6(3): 477-489.
- Guler M, Sait-Adak M and Ullan H. 2001. Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*, 14(2): 161-166. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00086-1)
- Hagh Bahari M and Seyed Sharifi R. 2013. Influence of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, grain filling rate and period of wheat in different levels of soil salinity, *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1): 65-75. <https://doi.org/10.22077/escs.2013.138>
- Hajipour A. 2014. The mutual effect of *Azospirillum lipophrom* and *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the growth of tarem variety rice in a field plot. M.Sc. Thesis Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Henchion M, Hayes M, Mullen AM, Fenelon M and Tiwari B. 2017. Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7): 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Jafarbay J, Etesami M, Jahanifar S and Arzanesh MH. 2017. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on Yield and quotative of wheat cultivars under dry and irrigated conditions. *Journal of Crop Breeding*, 9(23): 44-57. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.44>
- Kamari H and Seyed Sharifi R. 2016. Effects of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and foliar application with nano-zinc oxide on yield and rate and period of grain filling of triticale. *Journal of Soil and Plant Interaction*, 6(24): 141- 154. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.4.141>
- Kazemi Oskuei B, Bandehagh A, Sarikhani M, Ghasemzadeh T. 2021. Effect of Enterobacter S16-3 as plant growth-promoting rhizobacteria on drought stress reduction in canola (*Brassica napus*) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4): 49-65. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.40180.2498>
- Khan N, Bano A, Rahman MA, Guo J, Kang Z and Babar MA. 2019. Comparative physiological and metabolic analysis reveals a complex mechanism involved in drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) induced by PGPR and PGRs. *Scientific reports*, 9(1): 2097. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38702-8>
- Khazaei H, Subedi M, Nickerson M, Martínez-Villaluenga C, Frias J and Vandenberg A. 2019. Seed protein of lentils: Current status, progress, and food applications. *Foods*, 8(9): 391. <https://doi.org/10.3390/foods8090391>
- Kuan KB, Othman R, Abdul Rahim K and Shamsuddin ZH. 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilization of maize under greenhouse conditions. *PloS one*, 11(3): e0152478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152478>
- Kumar M, Ahmad S and Singh RP. 2022. Plant growth promoting microbes: Diverse roles for sustainable and ecofriendly agriculture. *Energy Nexus*, 7: 100133. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100133>

- Lyu D, Backer R, Berru   F, Martinez-Farina C, Hui JP and Smith DL. 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with microbial growth improve biomass and secondary metabolite accumulation of *Cannabis sativa* L. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71(19): 7268-7277. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06961>
- Mahmood IA, Imran M, Sarwar M, Khan M, Sarwar MA, Ahmed S and Malik SR. 2019. Growth and yield of lentil (*Lens esculenta* L.) influenced by Zn application with PGPR inoculation under rain-fed conditions. Pakistan Journal of Agricultural Research, 32(3): 435-440. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2019/32.3.435.440>
- Mazrae F, Aynehband A, Fateh E and Gorooei A. 2019. The influence of PGPRs and planning methods on yield quantity and quality of Sesame in Ahvaz. Plant Productions, 42(2): 239-252. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.24474.1551>
- Meena VS, Meena SK, Verma JP, Kumar A, Aeron A, Mishra PK, Mishra JK, Bisht A, Pattanayak MN and Dotaniya ML. 2017. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. Ecological Engineering, 107: 8-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
- Moradi L, Siosemardeh A, Sohrabi Y, Bahramnejad B and Hosseinpanahi F. 2022. Dry matter remobilization and associated traits, grain yield stability, N utilization, and grain protein concentration in wheat cultivars under supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 263: 107449. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107449>
- Mukherjee B, Kumar Naskar M, Nath R, Atta K, Visha Kumari V, Banerjee P., Alamri S, Patra K, Laing A, Skalicky M and Hossain A. 2023. Growth, nodulation, yield, nitrogen uptake, and economics of lentil as influenced by sowing time, tillage, and management practices. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7: 1151111. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1151111>
- Najafi R, Vafabakhsh J, Taheri G and Zabihi HR. 2015. Effect of application of pseudomonas fluorescent strains on yield and yield components of rapeseed cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(2): 211-217. <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i2.49666>
- Narimani H, Rahimi MM, Ahmadihah A and Vaezi B. 2010. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. Archives of Applied Science Research, 2(6): 168-176.
- Ole  ska E, Ma  ek W, W  jcik M, Swiecicka I, Thijs S and Vangronsveld J. 2020. Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review. Science of the Total Environment, 743: 140682. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140682>
- Pakbaz N, Barary M, Mehrabi AA and Hatami A. 2015. Effects of Seed Priming on Morphophonological and Yield Characteristics of Different Lentil Genotypes (*Lens culinaris* L.) under Rain-fed and Supplemental Irrigation Conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 8(4): 535-552.
- Pandey C, Bajpai VK, Negi YK, Rather IA and Maheshwari DK. 2018. Effect of plant growth promoting *Bacillus* spp. on nutritional properties of *Amaranthus hypochondriacus* grains. Saudi Journal of Biological Sciences, 25(6): 1066-1071. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.003>
- Rezapour Kavishahi T, Ansari MH and Mostafavi Rad M. 2015. Effects of some phosphorus solubilizing bacteria strains on yield and agronomic traits in local bean of Guilan under different phosphate fertilizer rates. Journal of Crops Improvement, 17(3): 801-814. <https://doi.org/10.22059/jci.2015.54387>
- Sadeghinejad A, Modarres-Sanavy S, Tabatabaei S, Modares Vaneghi S. 2014. Effect of water deficit Stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Water and Soil Science, 24(2): 53-64.
- Saeidi M, Naserie B, Khorami Vafa M, Sharifi R and Khoshkhoui S. 2021. The effect of different methods of seed pretreatment on agronomic characteristics of flaxseed under post flowering drought stress in

- Kermanshah region. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(3): 227-247. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.39483.2479>
- Saritha M and Tollamadugu NP. 2019. The status of research and application of biofertilizers and biopesticides: global scenario. In Recent developments in applied microbiology and biochemistry (pp. 195-207). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00015-5>
- Sarmadnia A and Kouchaki A. 1997. Crop Physiology. Publication of University of Mashhad.
- Seyed Sharifi R. 2013. Study of qualitative and quantitative yield and some agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response of seed inoculation with PGPR in various levels of nitrogen fertilizer, Journal of Agroecology, 5(3): 308-317. <https://doi.org/10.22067/jag.v5i3.29003>
- Seyedsharifi R and Khorramdel S. 2015. Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, yield components and grain filling period of soybean (*Glycine max* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 13(4): 738-753. <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.32491>
- Seyyed-Moradi A and Mozaffari A. 2020. Investigation on the effect of seed priming with rhizobium bioinoculant and plant growth promoting rhizobacteria on chlorophyll, nutrients and grain yield in lentil under rainfed condition. Journal of Plant Ecophysiology, 12(2): 258-270. <https://doi.org/10.1001.1.20085958.1399.12.41.21.8>
- Sharma V and Shanmugam V. 2012. Purification and characterization of an extracellular 24 kDa chitobiosidase from the mycoparasitic fungus *Trichoderma saturnisporum*. Journal of basic microbiology, 52(3), 324-331. <https://doi.org/10.1002/jobm.201100145>
- Swarnalakshmi K, Yadav V, Tyagi D, Dhar DW, Kannepalli A and Kumar S. 2020. Significance of plant growth promoting rhizobacteria in grain legumes: Growth promotion and crop production. Plants, 9(11): 1596. <https://doi.org/10.3390/plants9111596>
- Tarafi V, Danesh shahraki A and Saeidi K. 2014. The effect of plant growth promoting bacteria on the morphological traits and the amount of essential oil of the medicinal plant Badrashbo. M.Sc. Thesis Shahrekord University.
- Tilak KV, Ranganayaki N, Pal KK, De R, Saxena AK, Nautiyal CS, Mittal S, Tripathi AK and Johri BN. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 10: 136-50.
- Tsegaye Z, Alemu T, Desta FA and Assefa F. 2022. Plant growth-promoting rhizobacterial inoculation to improve growth, yield, and grain nutrient uptake of teff varieties. Frontiers in Microbiology, 13: 896770. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.896770>
- Voccianti M, Grifoni M, Fusini D, Petruzzelli G and Franchi E. 2022. The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. Applied Sciences, 12(3): 1231. <https://doi.org/10.3390/app12031231>
- Waling I, Vark WV, Houba VJG and Van der lee JJ. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures Wageningen, Agriculture University, the Netherlands.
- Yadav K, Prasad V, Mandal K and Ahmad N. 1992. Effect of co-inoculation (*Azospirillum* and *Rhizobium*) on nodulation, yield nutrient uptake and quality of lentil in calcareous soil. Lense Newsletter, 19(2): 29-31.
- Zeroual A, Baidani A and Idrissi O. 2022. Drought stress in lentil (*Lens culinaris*, medik) and approaches for its management. Horticulturae, 9(1): 1. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010001>