Journal of Range & Watershed Management
https://jrwm.ut.ac.ir/

Volume 77 (4)
Online ISSN: 2423-7795

Comparing some morphological and physiological properties of *Salsola imbricata* planted in capsule cultivation method with hydrogel, nanoclay and bacteria substrates and common cultivation method in soil

Parviz Alizadeh | Ali Tavili*✉ | Mohammad Ali Zare Chahouki | Mohammad Jafari

Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
E-mail: atavili@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 23 Jul. 2024
Revised: 25 Aug. 2024
Accepted: 27 Aug. 2024
Published online: 21 Dec. 2024

Keywords:
Bacteria,
Capsule culture,
Hydrogel,
Nanoclay,
Salsola imbricata.

Abstract

Water scarcity and moisture stress are fundamental abiotic stress factors that negatively affect the productivity of natural resources through physiological and morphological changes in plants. In this research, biodegradable mesh plates were used to create culture capsules with bacterial, hydrogel, and nanoclay substrates, into which seedlings of *Salsola imbricata* were transferred. Seedlings in nylon pots, representing the conventional cultivation method in rangeland reclamation projects, were cultivated in the ground as a control. A completely randomized design with two factors of cultivation type (capsule and conventional method) and capsule type (hydrogel, bacteria, and nanoclay) was applied in the greenhouse of the Faculty of Natural Resources at the University of Tehran. The results showed a significant effect of hydrogel capsule culture on all morphological traits of the *Salsola imbricata* seedlings. The length of the stem increased by 42.6%, the diameter of the collar by 14.8%, and the dry biomass of the root and aerial organs increased by 7.2% and 23.7%, respectively. Additionally, regarding some physiological traits of the investigated plant, chlorophyll content was also affected by the type of capsule culture, with concentrations in hydrogel, bacteria, and nanoclay cultures showing increases of 56.8%, 32.1%, and 36.9%, respectively. The results also revealed that proline concentration in seedlings grown in hydrogel capsules decreased by 33.20% compared to those grown using conventional culture methods. Furthermore, soluble sugar content in seedlings grown in hydrogel capsules showed a reduction of 20.78% compared to the conventional culture method. Overall, the results indicated differences in morphological and physiological characteristics of *Salsola imbricata* based on the type of cultivation method used, demonstrating that capsule cultivation is a suitable alternative for biological reclamation projects in arid and semi-arid lands.

Cite this article: Alizadeh, P., Tavili, A., Zare Chahouki, M.A., Jafari, M. (2024). Comparison some morphological and physiological properties of Salsola imbricata planted in capsule cultivation method with hydrogel, nanoclay and bacteria substrates and common cultivation method in soil. *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (4), 507-523. DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2024.379793.1777

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

نشریه مرتع و آبخیزداری

دوره ۷۷ (۴)
شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

مقایسه برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه *Salsola imbricata* در روش کشت کپسولی با بسترهای هیدروژل، نانورس و باکتری و کاشت متداول در خاک

پرویز علیزاده | علی طویلی* | محمدعلی زارع چاهوکی | محمد جعفری

گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: atavili@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
باکتری،
نانورس،
کشت کپسولی، هیدروژل،
Salsola imbricata

چکیده

کم‌آبی و تنش رطوبتی یک عامل تنش‌زای غیرزیستی اساسی است که با ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان، بر بهره‌وری منابع طبیعی تأثیر منفی می‌گذارد. در این پژوهش پس از ساخت کپسول‌های کشت از صفحات مشبک زیست‌تخریب‌پذیر با بسترهای باکتری، هیدروژل و نانورس نشاهای گیاه *Salsola imbricata* به کپسول‌های مذکور منتقل شده و با نهال‌های گلدانی به‌عنوان روش کاشت متداول (شاهد) مورد مقایسه قرار گرفتند. کاشت نهال‌های کپسولی و گلدانی در بستر آماده شده گلخانه انجام شد. تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل نوع کشت (کپسولی و متداول) و نوع کپسول (هیدروژل، باکتری و نانورس) در گلخانه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران صورت گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر تأثیر معنی‌دار نوع کشت کپسولی هیدروژل بر تمامی صفات موفورلوژیک موردبررسی گیاه بود؛ به‌طوری‌که اندازه طول ساقه با افزایش۴۲/۶ درصد، قطر یقه ۱۴/۸ درصد و زیست‌توده خشک ریشه و اندام هوایی نیز به ترتیب با افزایش ۷/۲ و ۲۳/۷ درصد، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. علاوه براین، در مورد برخی صفات فیزیولوژیک موردبررسی گیاه، میزان کلروفیل نیز تحت تأثیر نوع کشت کپسولی قرار گرفت و غلظت آن در کشت کپسولی هیدروژل، باکتری و نانورس به ترتیب افزایش ۵۶/۸، ۳۲/۱ و ۳۶/۹ درصدی را نشان دادند. همچنین، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت پرولین در گیاهان رشد یافته در کپسول هیدروژل نسبت به کشت متداول ۳۳/۲۰ درصد کاهش یافت. این روند کاهش در محتوای قند محلول گیاهان رشد کرده در کپسول هیدروژل نسبت به کشت متداول ۲۰/۷۸ به دست آمد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش بیانگر تفاوت تاثیر روش کاشت‌های موردبررسی بر صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک گونه *Salsola imbricata* به‌عنوان یک گیاه مطلوب به‌منظور احیای مراتع مناطق خشک و نیمه خشک بود و امکان استفاده از نوع کشت کپسولی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کاشت معمولی گیاه در خاک در برنامه‌های توسعه بیولوژیک را نشان داد.

استناد: علیزاده؛ پرویز، طویلی؛ علی، زارع چاهوکی؛ محمدعلی، جعفری؛ محمد (۱۴۰۳). مقایسه برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه *Salsola imbricata* در روش کشت کپسولی با بسترهای هیدروژل، نانورس و باکتری و کشت متداول در خاک. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۷(۴)، ۵۲۳-۵۰۷.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/jrwm.2024.379793.1777

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

زمین‌های خشک با داشتن مساحتی معادل ۵/۲ میلیارد هکتار تقریباً ۴۰ درصد از سطح زمین را پوشش می‌دهند (Huang et al. 2016). در حال حاضر بیشتر این مناطق به‌طورجدی تحت تأثیر فرآیندهای تغییرات اقلیمی قرار دارند (Reynolds et al. 2016). تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های پی‌درپی و کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاهان، منجر به سناریوهای بیابان‌زایی می‌شود که در آن اکوسیستم‌هایی همچون مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک توانایی خود را برای تولید خدمات اکوسیستمی از دست می‌دهند (Collins et al., 2016). در آینده نزدیک، به دلیل از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی در مراتع مناطق خشک جهان، کاهش ورودی‌های مواد آلی به خاک مراتع در اکوسیستم‌های این مناطق مورد انتظار است (Ghimire & Khanal, 2020; Chuckran et al., 2020). نتیجه این تغییرات در کوتاه‌مدت، کاهش محتوای کربن آلی خاک و ناپایداری در خاک (An et al. 2019) و در بلندمدت، ظرفیت نگهداری آب کمتر، کاهش نفوذپذیری و تشکیل سله در خاک پیش‌بینی می‌شود (Lozano et al., 2017). در نهایت، به دلیل عدم وجود آب موجود در نیمرخ خاک، پوشش گیاهی قادر به استقرار مجدد نخواهد بود و در نتیجه جریان‌های سطحی آب افزایش یافته و فرسایش خاک رخ خواهد داد (Li et al., 2020; DeVilleneuve et al., 2023). با از بین رفتن پوشش گیاهی، محتوای بانک بذر و مواد مغذی کاهش می‌یابد و چرخه دوم کاهش محتوای کربن آلی خاک آغاز می‌شود (Zhang et al., 2021) که با این بازخورد ممکن است پوشش گیاهی به‌طور خود به خود در مراتع زمین‌های خشک قابل‌برگشت نباشد؛ بنابراین، برای بازگرداندن شرایط طبیعی و پوشش گیاهی در مراتع تخریب‌شده و یا در حال تخریب، احیای پوشش گیاهی جهت متعادل‌سازی شرایط نامتوازن رشد جمعیت و ممانعت از افزایش تخریب و فرسایش خاک ضروری به نظر می‌رسد.

از جنبه تاریخی، استفاده از انواع مختلف کودهای دامی و کشت مستقیم بذر در سیستم‌های مناطق خشک و دیم به‌عنوان یک روش سنتی احیای بیولوژیکی در کشاورزی مرسوم بوده است (Miller et al., 2020; Obour et al., 2017). بااین‌حال، به دلیل وقوع انقلاب سبز در نیمه دوم قرن بیستم، این عمل در جهت افزایش تولید در کشاورزی و بهره‌برداری انبوه از منابع طبیعی، با سناریوی استفاده از کودهای شیمیایی، انواع علف‌کش‌ها و سموم دفع آفات، جایگزین شد (John & Babu., 2021). در حال حاضر با توجه به تغییرات وسیع در آب‌وهوای جهان، بروز پدیده‌هایی همچون خشکسالی‌های متوالی، نامتوازن بودن بارندگی‌های فصلی و کاهش منابع آبی به‌ویژه در مناطق خشک که منجر به ایجاد شرایط محیطی نامطلوب شده است، اثربخشی و عملکرد شیوه‌های سنتی کم‌رنگ‌تر شده است (Szopa et al., 2022). لذا امروزه محققان و پژوهشگران به دنبال استفاده از فناوری‌های نوین با رویکرد استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (کود دامی، بقایای گیاهی و مواد معدنی) به‌منظور حفظ رطوبت و احتباس آب در خاک، تقویت و اصلاح خاک و احیای پوشش گیاهی بدون آسیب‌زدن به اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک هستند. با توجه به مطالعات انجام شده و یا در حال پژوهش، بهره‌گیری از این شیوه‌ها در حال پیشرفت است (Iqbal et al., 2023).

نانو ذراتی مثل نانورس که در مقیاس نانو تشکیل‌شده‌اند، دارای قابلیت جذب و نگهداری آب مناسبی هستند که آن‌ها را برای کاربرد در بهبود رطوبت خاک ایده‌آل می‌کند. همچنین، واکنش‌پذیری زیاد، نسبت سطح به حجم بالا و شیمی منحصربه‌فرد از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی استثنایی نانوذرات (نانورس) است که توانسته راه‌حل‌های نوآورانه‌ای را برای مجموعه‌ای از مسائل محیط‌زیستی، احیای اکولوژیکی خاک و بیولوژیکی پوشش گیاهی ارائه کند (Sethi et al., 2023).

علیرغم استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک مانند هیدروژل و نانورس‌ها، در سال‌های اخیر، علاقه فزاینده‌ای به تثبیت میکروارگانیسم‌های تنظیم‌کننده رشد گیاه (باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و تک‌یاخته‌ها) به وجود آمده است (Gupta et al., 2015). کپسوله‌سازی میکروارگانیسم‌ها می‌تواند جذب مواد مغذی و آب توسط گیاهان را بهبود بخشد و بر عملکرد رویشی تأثیر مثبت بگذارد تا گیاهان را از تنش‌های محیطی، آفات و حتی عوامل بیماری‌زا محافظت کند (Stamenković et al., 2018)؛ بنابراین، افزایش عملکرد گیاهان در کپسوله‌سازی مواد اصلاح‌کننده خاک را می‌توان مربوط به خصوصیات آن‌ها از قبیل جذب آب و حفظ رطوبت خاک، افزایش

جذب و تثبیت عناصر مغذی، افزایش حلالیت مواد معدنی و افزایش تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین و اکسین دانست (Bakhshandeh et al., 2020). در مورد استفاده از دو باکتری *Pseudomonas fluorescens* و *Chroococcum azotobactore* به منظور بهبود عملکرد و رشد گیاه، آزمایشی توسط نیشو[1] و همکاران (۲۰۲۲) بر روی گیاه سویا (*Glycine max*) انجام شد که نتایج حاکی از افزایش رشد و بهبود در عملکرد گیاه سویا بود (Nishu et al., 2022).

بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که قدیمی‌ترین مطالعات دهه گذشته در فناوری‌های ساخت کپسول‌ها توسط جان[2] و همکاران (۲۰۱۱)، جنبه‌های فن‌آوری علمی مرتبط با اصلاح‌کننده‌های (میکروارگانیسم) خاک (Bashan et al., 2014) و بحث حامل‌ها توسط مالوزا[3] و همکاران (۲۰۱۴) و اسکوبیتز[4] و همکاران (۲۰۱۳) صورت گرفته است.

با توجه به این موضوع که اکثر مطالعات انجام شده در مورد کپسوله‌سازی مواد اصلاح‌کننده خاک ازجمله هیدروژل، نانورس و باکتری مربوط به محصولات زراعی است و در مورد گیاهان مرتعی مناطق خشک و نیمه خشک به‌منظور احیای بیولوژیکی پوشش گیاهی مراتع تخریب‌شده و یا در حال تخریب مطالعات کمی انجام شده است؛ ازاین‌رو هدف این پژوهش بررسی اثر روش جدید کپسوله‌سازی هیدروژل، باکتری و نانورس بر احیای پوشش گیاهی با گونه گیاهی *Salsola imbricata* در مقایسه با شیوه سنتی و مرسوم کاشت نهال گلدانی به منظور احیای بیولوژیک بوده است. گیاه *Salsola imbricata* جزو گیاهان پایا و بوته‌ای به ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر است که در بیابان‌های ایران پراکنش دارد. این گیاه به دلیل تولید علوفه زیاد نقش مهمی در تأمین علوفه دام و اصلاح و احیای بیولوژیکی مراتع خشک دارد (Elnaggar et al., 2018). بر همین اساس یافتن روش‌هایی نوین برای استقرار کم‌هزینه با مصرف آب کم‌تر این گیاه در مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. تیمارهای آزمایشی

این پژوهش در گلخانه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. در این آزمایش دو روش کاشت شامل کشت کپسولی و کاشت متداول در مرتع در نظر گرفته شد. تیمارهای موردنظر برای دو روش کاشت شامل سه حالت۱- کشت در بستر هیدروژلی، ۲- کشت در بستر نانورسی و ۳- کشت در بستر باکتریایی برای روش کشت کپسولی و روش کاشت متداول در مرتع (نهال گلدانی) به‌عنوان شاهد، بودند. تأثیر تیمارهای مذکور بر صفات مرفو-فیزیولوژیک گیاه *Salsola imbricata* موردبررسی قرار گرفت.

۲-۲. آنالیز خاک

از آنجایی که انجام تحقیق گلخانه‌ای با استفاده از خاک عرصه کاشت نهال‌ها انجام شد، بر همین اساس ابتدا خاک عرصه کاشت آنالیز شد (جدول ۱).

۲-۳. ساخت کپسول

کپسول‌های کشت موردنیاز این تحقیق از صفحات مشبک تهیه‌شده از نشاسته با پایه مواد پلیمری زیست تخریب‌پذیر به شکل استوانه با ارتفاع ۲۰ و قطر ۸ سانتی‌متر ساخته شد. صفحات تجزیه‌پذیر در بخش تحقیقاتی شرکت خصوصی با فرمول اختصاصی با ترکیب نشاسته

[1] Nishu
[2] John
[3] Malusá
[4] Schoebitz

و مواد پلیمری به دست آمد. پس از تولید صفحات تجزیه‌شونده، برای ساخت کپسول، صفحه تولید شده در ابعاد ۲۰ در ۳۰ سانتی‌متر برش داده شد و سپس سوراخ‌های بدنه در آن تعبیه شد. ضخامت دیواره کپسول‌های کشت ۳ میلی‌متر و سوراخ‌های تعبیه‌شده در آن به قطر ۵ میلی‌متر بود (شکل ۱). از کپسول ساخته‌شده با مشخصات ذکرشده برای هر سه کپسول باکتریایی، هیدروژلی و نانورسی استفاده شد.

جدول ۱. نتایج آنالیز تجزیه نمونه‌های خاک قبل از کاشت (میانگین نمونه‌ها)

ویژگی‌ها	مقدار	واحد	ویژگی‌ها	مقدار	واحد
سیلت	۳۷	درصد	N^+	۲۳	(mg/kg)
رس	۳۴	درصد	P^+	۷/۷۶	(mg/kg)
شن	۲۹	درصد	K^+	۱۱۱	(mg/kg)
اسیدیته خاک (pH)	۸/۱	-	Ca^{++}	۳۵۳	(mg/kg)
هدایت اکتریکی (EC)	۲/۶۳	(dS/m)	Mg^{++}	۱۷۹	(mg/kg)
ماده آلی خاک	۲/۱	درصد	Na^+	۱۸۰	(mg/kg)

شکل ۱. کپسول‌های ساخته شده در تحقیق

در کپسول‌های باکتری، از دو نوع باکتری *Pseudomonas fluorescens* و *Chroococcum azotobactore* استفاده شد. هر دو نوع باکتری مورد استفاده در این کپسول از موسسه تحقیقات آب و خاک تهران، بخش تحقیقات بیولوژیکی خاک تهیه گردید. دو باکتری مورد استفاده در این مطالعه، باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که به بهبود رشد و استقرار گیاهان کمک می‌کنند. این باکتری‌ها با افزایش جذب مواد مغذی و تحریک گیاه به تولید هورمون‌های رشد، به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط تنش بهتری عمل کنند به طوری که باکتری *Chroococcum azotobactore* از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفر به آمونیاک، منبع ذخیره‌ای از نیتروژن را برای گیاه فراهم می‌کند. باکتری *Pseudomonas fluorescens* نیز با تحریک گیاه برای تولید هورمون رشد گیاهی مانند ایندول-۳- استیک اسید، باعث رشد ریشه و ساقه گیاه می‌شود. علت انتخاب این دو باکتری در این پژوهش به دلیل توانایی‌های خاص آن‌ها در بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش رطوبتی و کمک به بهبود عملکرد گیاهان بوده است. با این حال، باکتری‌های دیگری مانند *Pseudomonas fluorescens* و *Azospirillum brasilense* نیز وجود دارند که در مطالعات مختلف به عنوان محرک‌های رشد گیاهان معرفی شده‌اند. این باکتری‌ها در شرایط تنش رطوبتی و شوری به بهبود عملکرد گیاهان کمک کرده‌اند (Verma et al., 2018). مقدار باکتری مورد استفاده برای هر

کپسول کشت ۱۰ گرم بود که در مرحله آماده‌سازی به خاک داخل کپسول افزوده شد. کپسول‌های هیدروژلی از مخلوط ۰/۴ درصد وزنی خاک منطقه موردمطالعه با هیدروژل آکوازورب تهیه شد (Saeedi et al. 2021) و کپسول‌های نانورس از اختلاط ۰/۵ درصد وزنی خاک کپسول پرشده از خاک منطقه و ذرات نانورس مونت‌موریلونیت با اندازه کمتر از ۲۵ نانومتر (Lynsey Hart. 2020; Yang et al., 2023) ساخته شدند. نکته قابل ذکر این‌که مقدار نانورس مصرف‌شده در این پژوهش بر اساس توصیه و گزارش تحقیقات علمی محققان بود. برای تهیه یک مخلوط همگن، عمل اختلاط به مدت ۳۰ دقیقه در تمامی کپسول‌ها به طول انجامید.

در روش کشت معمولی در خاک (یا همان روش کشت متداول گیاهان در مرتع و مناطق بیابانی) از گلدان‌های نایلونی زهکش‌دار هم حجم کشت کپسولی استفاده شد تا ازنظر مقدار وزن خاک پر شده تفاوتی وجود نداشته باشد. بستر کشت متداول (سنتی) خاک منطقه موردمطالعه بود.

۴-۲. تولید نشاء

بذور گونه *Salsola imbricata* از مرکز تحقیقات شوری یزد تهیه شد و پس از آماده‌سازی جهت تولید نشاء در سینی‌های کشت پرشده از خاک مخصوص نشاء کشت گردید و با آب شهری آبیاری شد. آبیاری در مرحله تهیه نشا تا ظهور جوانه‌ها و رشد آن‌ها تا مرحله ۴ تا ۶ برگی به‌صورت مداوم برای گونه گیاهی ادامه داشت (شکل ۲).

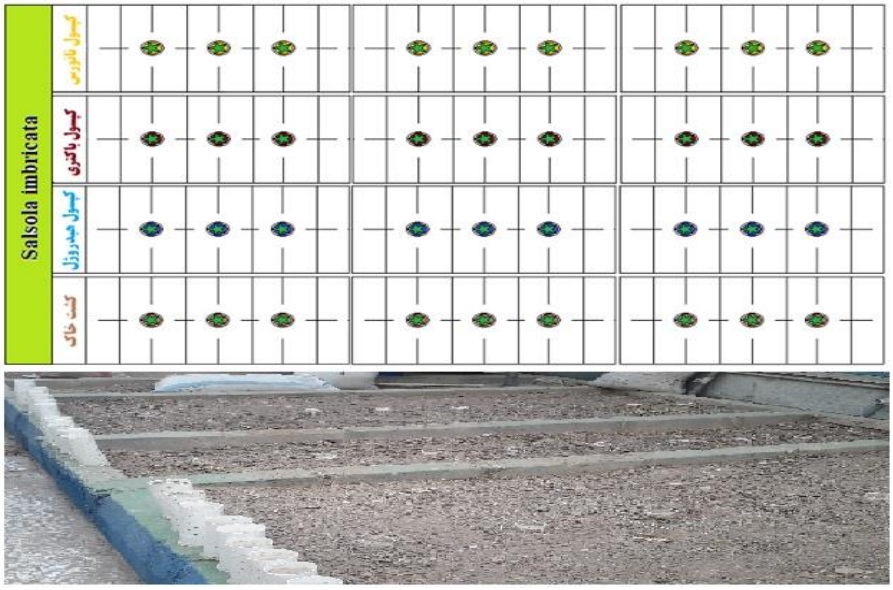
شکل ۲. تولید نشاء گلخانه‌ای

پس از آماده شدن کپسول‌های کشت و گلدان‌های پر شده از خاک منطقه موردمطالعه، نشاهای هم‌اندازه گیاه *Salsola imbricata* که ازنظر ارتفاع یکسان بودند به کپسول‌ها و گلدان‌های کشت معمولی انتقال یافت. یک هفته پس از انتقال نشاها به کپسول‌های کشت و گلدان‌های نایلونی، عملیات کاشت گلخانه‌ای در کرت‌هایی که از خاک مراتع موردنظر برای ادامه پژوهش در بخش مطالعه عرصه‌ای در گام بعد، پر شده بود، انجام شد. فاصله بین پایه‌های گیاهی و ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر و ابعاد حفره‌های کشت در کرت‌ها، به‌صورت قطر ۱۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل۳). در این پژوهش، تعداد دفعات آبیاری در طول دوره رشد با احتساب آبیاری بلافاصله پس از کشت نهال‌ها در کرت‌های گلخانه، ۴ بار و به فاصله زمانی ۲۵ روز یکبار و هر بار به ازای هر نهال مقدار ۱ لیتر بود.

۵-۲. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک گیاه

پس از گذشت ۹۰ روز از انتقال نهال‌ها به بسترهای کشت کپسولی (هیدروژل، نانورس و باکتری) و کاشت معمولی گیاه در خاک، نمونه‌های گیاهی بعد از یک دوره رشد در مرحله پنجه‌زنی کامل و قبل از گل‌دهی برداشت و پس از شستشو با آب مقطر اندام هوایی از ریشه جدا شدند. وزن تر (FW) نمونه‌های گیاهی بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک (DW) نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت خشک شدن

در کوره‌ای با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن از ترازوی آزمایشگاهی Sartarius مدل BP211D با دقت ۰/۰۰۱ استفاده گردید. قطر یقه نمونه‌های گیاهی برحسب میلی‌متر با کولیس دیجیتال و طول ریشه و اندام هوائی گیاه با استفاده از متر به دست آمد.



شکل ۳. آماده‌سازی کرت‌ها و الگوی کاشت نشاها در گلخانه

۶-۲. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه

در این پژوهش، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید نمونه‌های گیاهی *Salsola imbricata* بر اساس روش آرنون[1] (۱۹۴۹)، اسیدآمینه پرولین از روش بتیس[2] و همکاران (۱۹۷۳) و قند کل نمونه‌های گیاهی از روش مک‌کریدی[3] و همکاران (۱۹۵۰) تعیین گردید.

۳. یافته‌های پژوهش

۱-۳. اثر نوع کشت بر صفات مرفولوژیک گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع کشت بر صفات مرفولوژیک گیاه نشان داد که تمامی صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

۱-۱-۳. طول، قطر و ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین مقدار طول ریشه معادل ۲۴/۲۲ سانتی‌متر در کاشت کپسولی نانورس و کمترین آن معادل ۲۱/۶۳ سانتی‌متر در کشت معمولی گیاه در خاک مشاهده شد. نکته قابل‌توجه این‌که بین طول ریشه گیاهان کپسول نانورس با کپسول باکتری و طول ریشه کپسول باکتری با هیدروژل و کشت کپسولی هیدروژلی با طول ریشه گیاهان کشت معمولی از نظر آماری

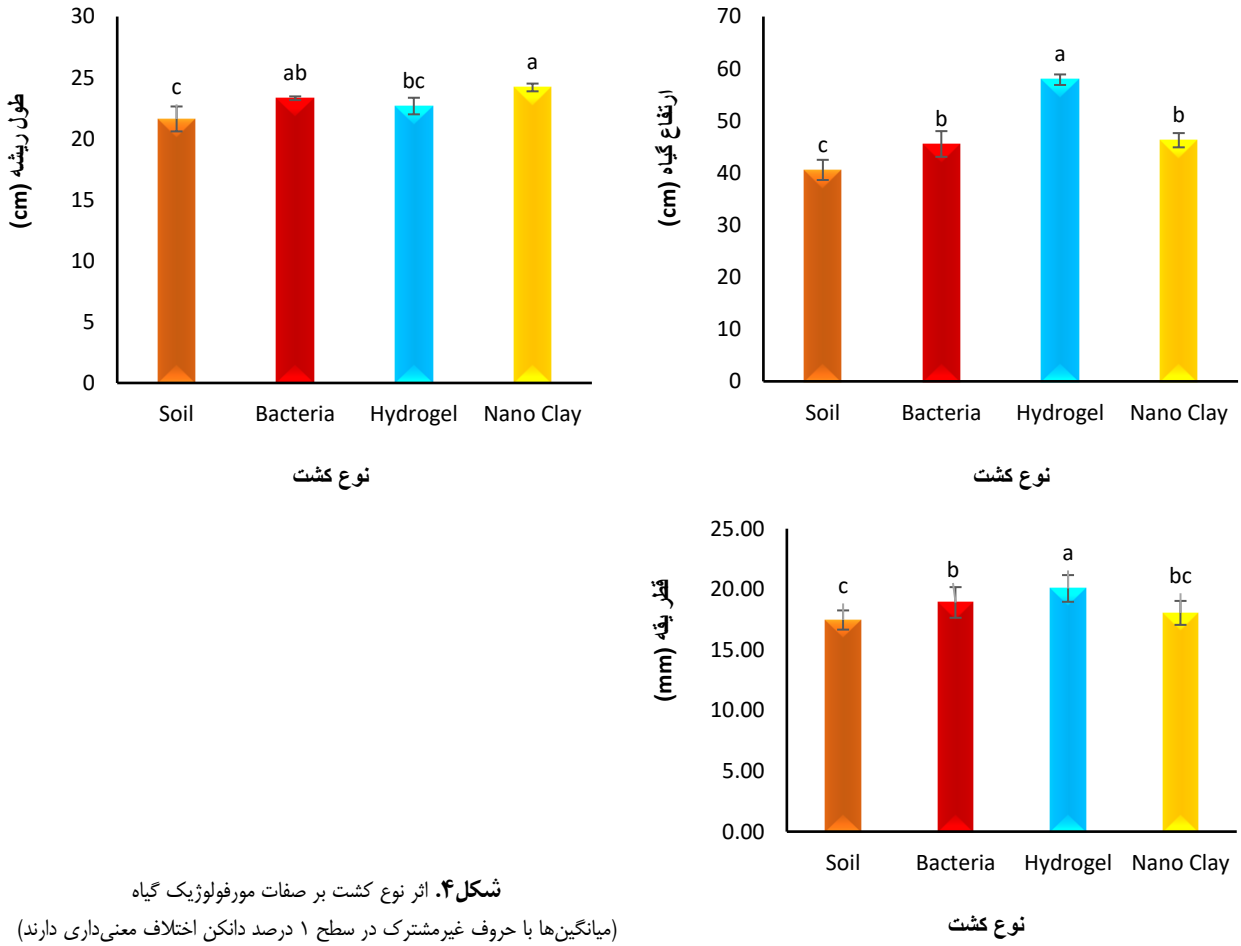
[1] Arnon
[2] Bates
[3] McCready

اختلاف معنی‌دار نشـد. علاوه. علاوه بر طول ریشـه، سـایر فاکتورهای مورفولوژیک گیاه نظیر قطر یقه و ارتفاع گیاه نیز تحت تأثیر نوع کشـت قرار گرفت به‌طوری‌که بیشـترین مقدار قطر یقه معادل ۲۰/۰۶ میلی‌متر و ارتفاع گیاه معادل ۵۷/۸۸ سـانتی‌متر در کشـت کپسـولی هیدروژل و کمترین مقادیر به ترتیب با ۱۷/۴۶ میلی‌متر و ۴۰/۵۷ سـانتی‌متر در کاشـت معمولی گیاه در خاک به دسـت آمد؛ این در حالی بود که اختلاف معنی‌داری در قطر یقه و ارتفاع گیاه در پایه‌های گیاهی کپسـول باکتری با پایه‌های گیاهی کپسـول نانورس وجود نداشـت که نشان از کارایی بیشتر کشت کپسولی در مقایسه با کاشت معمولی برای این صفات بود. (شکل ۴).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر نوع کشت بر صفات مرفولوژیک *Salsola imbricata*

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	قطر یقه (میلی‌متر)
نوع بستر کشت	۱۲	۴۸۳/۲۹**	۱۹/۳۵**	۹/۳۹**	۵/۰۳**	۱۱/۵۳**
خطا	۳۲	۴/۰۳	۲/۵۲	۱/۷۴	۰/۸۱	۱/۱۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۶۰	۸/۷۴	۲/۳۵	۱۲/۴۴	۵/۵۷

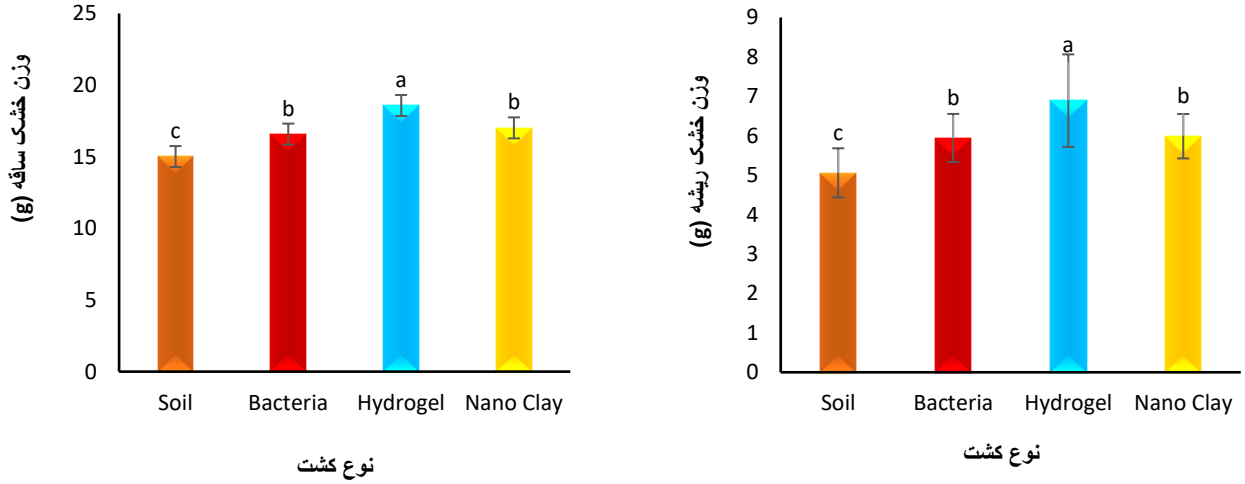
– **، معنی‌دار در سطح یک درصد آزمون دانکن.



شکل۴. اثر نوع کشت بر صفات مورفولوژیک گیاه
(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۱ درصد دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

۲-۱-۳. زیست‌توده خشک گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین این پژوهش، بیشترین مقدار زیست‌توده خشک اندام هوایی برابر با ۱۸/۵۷ گرم در کشت کپسولی هیدروژل و کمترین آن با مقدار ۸/۳۵ گرم بر وزن خشک گیاه، در کاشت معمولی مشاهده گردید. با این توضیح که همانند ارتفاع گیاه، تفاوتی در زیست‌توده خشک اندام هوایی گیاهان رشد کرده در کشت کپسولی باکتری و نانورس وجود نداشت. این نتیجه با توجه به بیشتر بودن طول ساقه و قطر یقه گیاهان در کشت کپسولی منطقی به نظر می‌رسد. زیست‌توده خشک ریشه گیاه سالسولا نیز تحت تأثیر نوع کشت کپسولی قرار گرفت و بیشترین وزن مربوط به کشت کپسولی هیدروژل (۶/۸۹ گرم بر وزن خشک گیاه) و کمترین آن در کشت معمولی (۵/۰۵ گرم بر وزن خشک گیاه) به دست آمد. کپسول نانورس و باکتری به ترتیب با داشتن مقادیر ۵/۹۸ و ۵/۹۴ گرم بر وزن خشک گیاه، در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند (شکل۵).



شکل ۵. اثر نوع کشت بر زیست‌توده خشک گیاه

(میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۱ درصد دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

۲-۳. اثر نوع کشت بر صفات فیزیولوژیک گیاه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر نوع کشت بر محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل (t)، پرولین و قند کل محلول گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

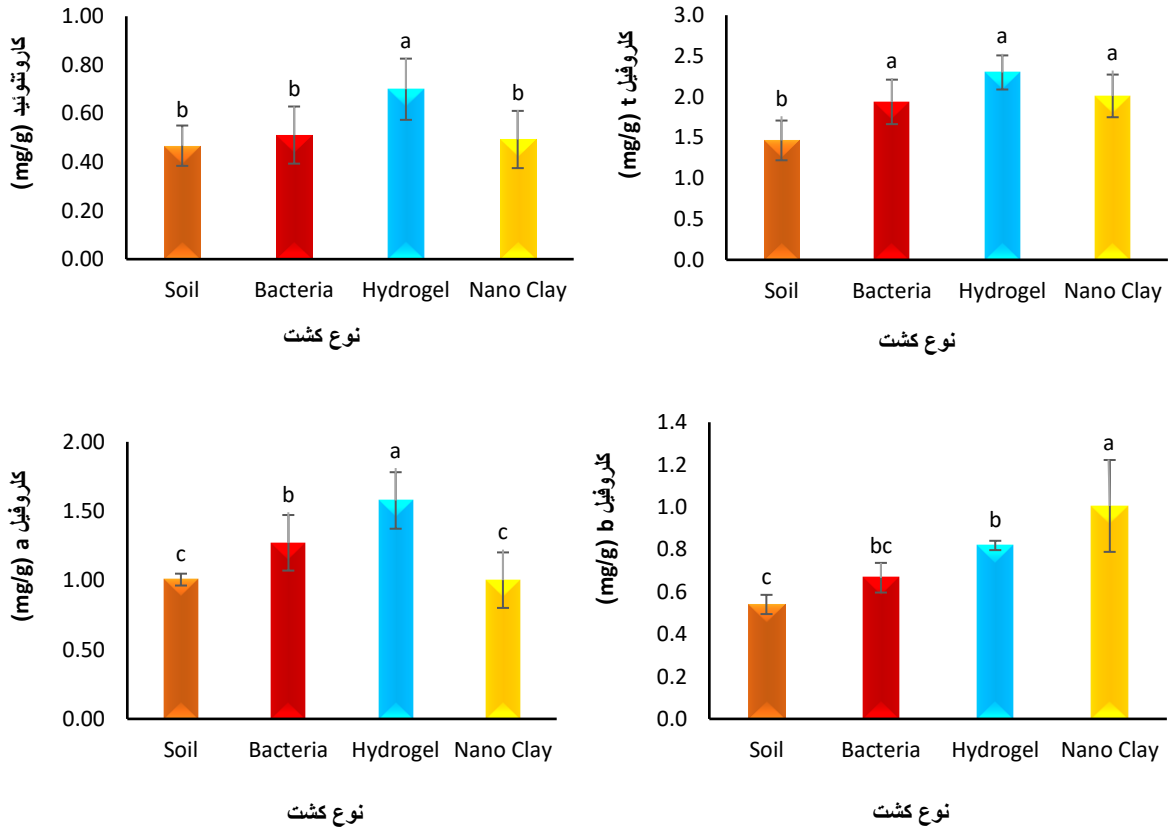
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر نوع کشت بر صفات مرفولوژیکی گیاه *Salsola imbricata*

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a (میلی‌گرم /گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم /گرم)	کلروفیل کل (t) (میلی‌گرم /گرم)	پرولین (میلی‌گرم /گرم)	قند کل محلول (میلی‌گرم /گرم)
نوع بستر کشت	۳	۰/۶۷**	۰/۴۵**	۱/۶۶**	۱/۲۶**	۶۳۹۸۳/۵۸**
خطا	۳۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۵	۵۴۴۷/۳۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۳	۱۱/۶۷	۱۲/۸۰	۴/۲۹	۴/۸۷

- **، معنی‌دار در سطح یک درصد آزمون دانکن.

۱-۲-۳. کلروفیل a، b، t و کاروتنوئید گیاه

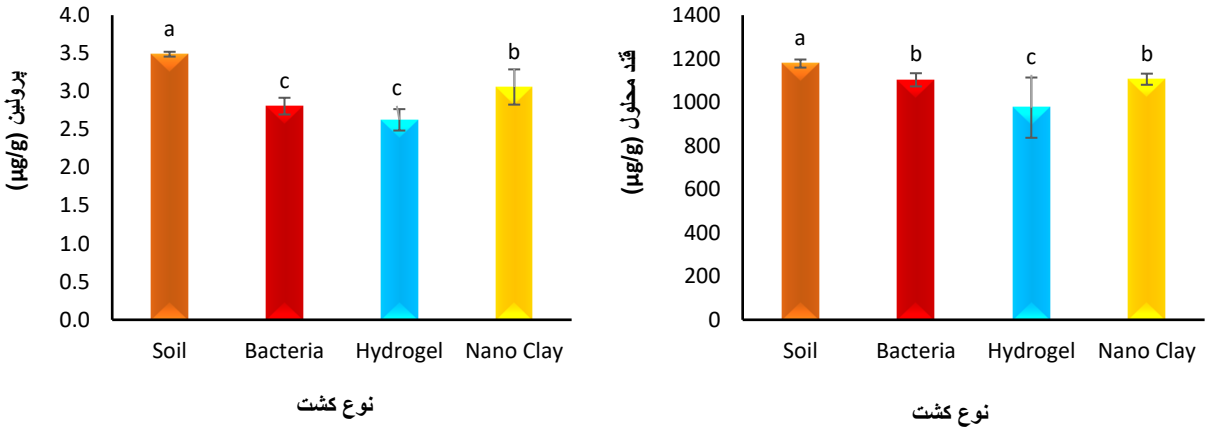
نتایج آزمون دانکن نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل a مربوط به کشت کپسولی هیدروژل با مقداری برابر با ۱/۵۷ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه بود. کپسول باکتری با داشتن ۱/۲۷ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه رتبه دوم را به خود اختصاص داد و در محتوای کلروفیل a گیاهان کپسول نانورس و کشت معمولی در خاک تفاوتی دیده نشد. این در حالی بود که مقدار کلروفیل a در گیاهان کشت معمولی (۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه) کمترین مقدار را داشتند و همراه با کپسول نانورس در رتبه سوم قرار گرفتند. بیشترین محتوای کلروفیل b در گیاهان کپسول نانورس (۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه) دیده شد. کپسول‌ها هیدروژل و نانورس به ترتیب با داشتن مقادیری معادل ۰/۷۱ و ۰/۶۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه به دلیل نداشتن اختلاف معنی‌دار به‌طور مشترک در رتبه دوم قرار گرفتند و کمترین محتوای کلروفیل b نیز متعلق به گیاهان کشت معمولی (۰/۴۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه) در خاک بود که رتبه سوم را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این مقدار محتوای کلروفیل کل (t) گیاه نیز تحت تأثیر نوع کشت قرار گرفت و کشت کپسولی هیدروژل (۲/۲۹ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه) بالاترین مقدار را داشت درحالی‌که کمترین مقدار متعلق به گیاهان کشت معمولی (۱/۴۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر گیاه) بود با این تفاوت که اختلاف معنی‌داری بین کلروفیل کل (t) هیچ‌کدام یک از گیاهان کشت کپسولی هیدروژل، نانورس و باکتری وجود نداشت. بیشترین کارتنوئید به‌دست‌آمده در کپسول هیدروژل نشان از تأثیر تیمار نوع کشت بر محتوای کارتنوئید گیاهان بود؛ هرچند در محتوای کاروتنوئید گیاهان کپسول باکتری و نانورس و کشت معمولی اختلافی وجود نداشت اما گیاهان رشد یافته در کشت کپسولی هیدروژل (۰/۶۹ میلی‌گرم برگرم وزن خشک گیاه) بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار کاروتنوئید نیز در گیاهان کشت معمولی (۰/۴۶ میلی‌گرم برگرم وزن خشک گیاه) اندازه‌گیری شد (شکل ۶).



شکل۶. اثر نوع کشت بر کلروفیل و کاروتنوئید گیاه (میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۱ درصد دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

۲-۲-۳. پرولین و قند کل محلول گیاه

بررسی میانگین داده‌ها نشان داد که برخلاف محتوای کلروفیل گیاه، محتوای پرولین و قند کل محلول سالسولا ایمبریکاتا در حالت کشت کپسولی از یک روند کاهشی برخوردار بود به‌طوری‌که کمترین محتوای پرولین مربوط به کشت کپسولی نانورس، باکتری و هیدروژل به ترتیب با مقادیری معادل ۳/۰۵، ۲/۸۰ و ۲/۶۲ میکروگرم برگرم وزن خشک گیاه بود درحالی‌که بیشترین مقدار پرولین در پایه‌های کشت معمولی در خاک (۳/۴۹ میکروگرم برگرم وزن خشک گیاه) به دست آمد. بین محتوای پرولین گیاهان کپسول نانورس و باکتری تفاوتی مشاهده نشد. این روند کاهشی در محتوای قند کل محلول گیاهان کشت کپسولی نیز محسوس بود. کمترین مقدار قند محلول، مربوط به گیاهان کشت کپسولی هیدروژل بود که با داشتن غلظتی برابر با ۹۷۴/۸۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه در رتبه سوم قرار گرفتند و در محتوای قند محلول کپسول‌های باکتری و نانورس اختلافی ازنظر آماری دیده نشد ازاین‌رو، رتبه دوم محتوای قند محلول به گیاهان کپسول‌های باکتری و نانورس تعلق داشت. در این میان، رتبه اول ازنظر محتوای قند محلول متعلق به گیاهان کشت معمولی (۱۱۷۷/ میکروگرم برگرم وزن خشک گیاه) در خاک بود (شکل ۷).



شکل ۷. اثر نوع کشت بر صفات پرولین و قند کل محلول گیاه (میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در سطح ۱ درصد دانکن اختلاف معنی‌داری دارند)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۱-۴. صفات مورفولوژیک گیاه

آنچه از نتایج این پژوهش به دست آمد افزایش ویژگی‌های مورفولوژیک گونه *Salsola imbricata* تحت تأثیر نوع کشت کپسولی نسبت به کاشت معمولی گیاه در خاک بود به‌طوری‌که اندازه قطر یقه، طول ساقه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه گیاهان رشد یافته در کپسول هیدروژل به ترتیب ۱۴/۸۹، ۴۲/۶۶، ۲۳/۷۱ و ۷/۲۱ درصد در مقایسه با کاشت معمولی در خاک بیشتر بود با این تفاوت که در طول ریشه، هرچند تفاوتی در گیاهان کپسول نانورس نسبت به سایر کپسول هیدروژل و باکتری وجود نداشت اما به ترتیب روند افزایشی ۶/۶۹ و ۳/۵۸ درصدی دیده شد که این مقدار نسبت به گیاهان کشت شده در خاک برابر با ۱۱/۹۷ درصد بود.

کاهش رطوبت خاک و کمبود آب، فرآیندهای گیاهی را مختل می‌کند که با تشدید آن در دوره رویشی گیاه باعث توقف رشد در گیاه می‌شود. کاربرد هیدروژل در این پژوهش سبب افزایش صفات اندازه‌گیری شده گردید که علت آن را می‌توان مربوط به خواص و کارایی هیدروژل دانست، چون اغلب مواد ضروری برای رشد گیاه در خاک بر اساس فرآیند انتشار و جذب توسط ریشه صورت می‌گیرد که لازمه آن وجود آب و حفظ رطوبت در خاک است. این روند اثر هیدروژل روی عملکرد گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum*) (Arabi et al.,

2015) و بابونه (*Matricaria chamomilla*) (Pandey et al., 2000) نیز گزارش شده است. علاوه بر این، نتایج تحقیق الاسمر[1] و همکاران (2017) نشان داد که کاربرد هیدروژل به مقدار مناسب ۴ درصد وزنی در خاک‌های لومی رسی شنی، زیست‌توده تر و خشک گیاه ذرت (*Zea mays*) را تا ۲۵ درصد و زمان بقای نهال کاج (*Pinus pinea*) را نیز تا ۹۰ درصد افزایش داده است. جانسون و وودهاوس[2] (۱۹۹۰) گزارش دادند که ماده خشک گندم (*Triticum aestivum* L.) با کاربرد هیدروژل افزایش یافت.

همان‌گونه که مشاهده شد استفاده از هیدروژل افزایش ۴۲/۶۶ درصدی طول ساقه و به‌تبع آن افزایش ۲۱/۷۱ درصدی زیست‌توده خشک اندام هوایی گیاه را نشان داد که با نتایج تحقیقات در خصوص سویا (*Glycine max*) (Galeş et al., 2016)، گیاه گندم (Kolesnikov et al., 2021)، همچنین، در ریشه بلوط (*Quercus suber*) (Chirino et al., 2011) و افزایش قطر یقه گیاه بامطالعه اثر هیدروژل روی قطر یقه گیاه ذرت (*Zea mays*) (Albalasmeh et al., 2022) مطابقت داشت.

۲-۴. صفات فیزیولوژیک گیاه

غلظت کلروفیل در این پژوهش بر اساس نتایج میانگین داده‌ها نشان از افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل (t) در کشت کپسولی گیاه *Salsola imbricata* نسبت به کشت معمولی در خاک داشت. روند افزایشی کلروفیل a در گیاهان کشت کپسولی هیدروژل نسبت به گیاهان کشت معمولی برابر با ۵۶/۴۸ درصد بود. این روند افزایشی در غلظت کلروفیل a کپسول هیدروژل نسبت به کپسول باکتریایی و نانورسی نیز مشهود بود به‌طوری‌که به ترتیب افزایش ۲۳/۶۲ و ۵۶/۱۲ درصدی از خود نشان داد. همان‌گونه که از روند افزایش محتوای کلروفیل a مشخص شد، تفاوتی بین غلظت کلروفیل a گیاهان کپسول نانورس با کشت معمولی گیاه در خاک وجود نداشت.

مقدار کلروفیل b علاوه بر این‌که در کپسول نانورس بیشتر از دو کپسول دیگر بود؛ نسبت به کشت معمولی گیاه در خاک نیز مقدار بالاتری داشت که نشان از تأثیر کشت کپسولی بر محتوای غلظت کلروفیل b در گیاه *Salsola imbricata* دارد به‌طوری‌که این افزایش در کپسول نانورس نسبت به کشت معمولی برابر با ۱۱۸ درصد به دست آمد. با توجه به این موضوع که مقدار کلروفیل کل (t) گیاه از جمع دو کلروفیل a و b محاسبه شد ازاین‌رو، غلظت کلروفیل کل (t) گیاه سالسولا ایمبریکاتا در نوع کشت کپسولی نسبت به کشت معمولی بیشتر شد. این غلظت به‌دست‌آمده در کپسول هیدروژل نسبت به کشت معمولی افزایش ۵۶/۸۴ درصدی را نشان داد. در مقایسه مقدار کلروفیل کل (t) بین گیاهان کشت کپسولی تفاوتی دیده نشد؛ بااین‌حال، این مقدار در کپسول هیدروژل به ترتیب نسبت به کپسول باکتریایی و نانورسی ۱۸/۶۵ و ۱۴/۱۵ درصد بالاتر بود.

استفاده از هیدروژل‌ها می‌تواند محتوای کلروفیل و شاخص پایداری کلروفیل را در گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد بدون هیدروژل افزایش دهد؛ این نتیجه حاصل مطالعه ویوک[3] و همکاران (۲۰۲۰) روی بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) و احمد[4] و همکاران (۲۰۱۵) بود. نتایج تحقیقی در استفاده از هیدروژل به مقدار ۱ گرم در دسی‌مترمکعب نیز نشان داد که محتوای کلروفیل در برگ‌های گیاه ادریسی (*Hydrangea paniculata*) و (*Physocarpus opulifolius*) به‌اندازه ۸ درصد افزایش داشت (Pacholczak et al., 2023).

کاهش در رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر کم‌آبی و کمبود رطوبت خاک، به کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگ‌دانه کلروفیل، صدمه اکسیداتیو به لیپیدهای کلروپلاست، رنگ‌دانه‌ها و پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود (Hamzei et al., 2017). با توجه به کاهش پروتئین و افزایش غلظت پرولین در گیاهان کشت معمولی در خاک نسبت به گیاهان کشت کپسولی در این پژوهش، همچنین افزایش مقدار کلروفیل در گیاهان با کاربرد هیدروژل و افزایش و حفظ رطوبت خاک و نتایج گزارش شده توسط محققان روی گیاهانی چون همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) (Soliman et al., 2024)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays*) (Pedroza et al., 2017) و آتریپلکس

[1] El-Asmar
[2] Johnson & Woodhouse.
[3] Vivek
[4] Ahmed

(*Atriplex nummularia*) (Alghamdi et al., 2023)، می‌توان بیان کرد که بهبود محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی با کاربرد هیدروژل احتمالاً به دلیل توانایی هیدروژل در افزایش دسترسی به رطوبت خاک و کاهش تنش آب/ مغذی در گیاهان است (Pedroza et al., 2017)؛ بنابراین نتایج این پژوهش با نتایج دیگر محققان همسوئی و مطابقت داشت.

هنگامی‌که گیاهان در معرض چندین نوع تنش غیرزیستی، عمدتاً هیدریک، قرار می‌گیرند، می‌توانند تغییراتی را در مورد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و متابولیک ایجاد کنند. افزایش املاح سازگار، مانند پرولین و غلظت کل قند محلول، نمونه‌ای از این پاسخ‌ها است. چنین رفتاری با تحمل گیاه، ازجمله، به تنش آبی مرتبط است، زیرا قادر به حفظ آماسیدگی گیاه، از طریق کاهش پتانسیل آب ریشه است که به جذب آب کمک می‌کند (Kishor, 2014).

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت کل قند محلول و پرولین در گیاهان رشد یافته در کشت معمولی در خاک نسبت به کشت کپسولی هیدروژل به ترتیب ۲۰/۷۸ و ۳۲/۲۰ درصد افزایش داشت. این روند افزایشی غلظت کل قند محلول و سنتز پرولین به ترتیب در گیاهان رشد یافته در کشت معمولی خاک در مقایسه با کشت کپسولی باکتریایی (۶/۷۸ و ۲۴/۶۴ درصد) و نانورسی (۶/۵۰ و۱۴/۴۲ درصد) نیز مشاهده شد.

کاهش کل قندهای محلول با کاربرد هیدروژل احتمالاً به دلیل بهبود فرآیندها و فعالیت‌های متابولیک هیدروژل است که منجر به سنتز اسیدهای آلی، متابولیت‌ها و گلوکز بیشتر به‌جای تجمع قندهای محلول می‌شود (Abd El-Aziz et al., 2022)، لذا، روند کاهشی غلظت کل قند محلول در گیاه *Salsola imbricata* نشان از تأثیر مثبت کاربرد هیدروژل و حتی باکتری و نانورس در کاهش تنش آبی نسبت به کشت معمولی گیاهان در خاک بود؛ ازاین‌رو، تحقیقات سایر پژوهشگران در مورد کاهش غلظت کل قند محلول در استفاده از هیدروژل در ریحان (*Ocimum basilicum*) (Moradi et al., 2023)، نعناع (*Mentha piperita* L.) (Sepehri et al., 2023) گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Dehkordi & Seyyedboveir, 2013) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Ghias et al., 2022) نشان از همخوانی نتایج این پژوهش با سایر مطالعات داشت.

افزایش سنتز پرولین ناشی از افزایش پلی‌آمین‌ها، آرژنین، اورنیتین، گلوتامین و گلوتامات حاصل از مسیرهای کاتابولیک است (Sodek, 2004). نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از هیدروژل محتوای کل قند محلول و غلظت پرولین که در شرایط کم‌آبی در گیاهان افزایش نشان می‌دهد، نزولی بوده و موجب کاهش غلظت شده است. این روند بیانگر نقش بهبوددهندگی هیدروژل نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌های نانورس و باکتری خاک جهت حفظ رطوبت و کاهش تنش خشکی در گیاهان است. در راستای این پژوهش روچا[1] و همکاران (۲۰۲۳) گزارش دادند که تنش خشکی و کمبود آب در گیاه قهوه (*Coffea*) پس از ۱۴۰ روز، سبب افزایش غلظت پرولین در این گیاه شده است. همچنین در مطالعات دیگر، کاهش مقدار پرولین با استفاده از هیدروژل توسط دانشمندی و عزیزی (۲۰۰۹) در ریحان (*Ocimum basilicum*)، خارمریم (*Silybum marianum*) (Gundala, 2014) و پیاز (*Allium cepa*) (El Bergui et al., 2023) نیز گزارش شده است. این امر تأکید بر مطابقت نتایج پژوهش ما با مطالعات سایر محققان دارد.

آنچه از نتایج میانگین داده‌های این پژوهش به دست آمد، افزایش مقدار کاروتنوئید در کشت کپسولی از نوع هیدروژل بود به‌طوری‌که مقدار کاروتنوئید سالسولا ایمبریکاتای (*Salsola imbricata*) کپسول هیدروژل نسبت به غلظت کاروتنوئید این گیاه در کشت معمولی در خاک ۴۹/۷۷ درصد افزایش داشت. نکته قابل‌توجه این پژوهش نبود تفاوت بین غلظت کاروتنوئید گیاهان کپسول‌های باکتری و نانورس با کشت معمولی گیاه در خاک بود.

کاروتنوئیدها دسته‌ای از هیدروکربن‌ها هستند که در فرآیندهای بیولوژیکی مختلف گیاهان مانند فتوسنتز، محافظت از نور و استفاده از نور برای کنترل رشد ساختاری در گیاهان عمل می‌کنند (Nisar et al., 2015). تحت شرایط تنش خشکی ملایم، غلظت کاروتنوئیدها به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، هیدروژل‌ها می‌توانند با بهبود رطوبت خاک و دسترسی به مواد

[1] Rocha

مغذی، غلظت کاروتنوئیدها را در گیاهان افزایش دهند (Sepehri et al., 2023). مطالعه دیوژنز[1] و همکاران (۲۰۲۲) نشـان داد که کاربرد هیدروژل در کاکتوس (*Hylocereus undatus*) مقدار کاروتنوئید را نسـبت به گیاه شـاهد بدون هیدروژل افزایش داده اسـت. در مطالعه دیگری استفاده از هیدروژل سبب افزایش کارتنوئید در گیاه دیوخار ترکمنی (*Lycium depressum*) به‌اندازه ۲۵ درصد گزارش شده است (Shiran & Hertmani, 2021). هیدروژل‌ها ظرفیت جذب آب بالایی دارند که به حفظ رطوبت خاک و در دسترس بودن مواد مغذی برای ریشه گیاه کمک می‌کند. این بهبود عرضه آب و مواد مغذی می‌تواند رشد و فتوسنتز گیاه را تقویت کند و منجر به تولید کاروتنوئید بیشتر شود. بااین‌حال، حساسیت آن‌ها به تنش‌های محیطی عملکرد آن‌ها را محدود می‌کند؛ بنابراین کپسوله‌سازی ممکن است به غلبه بر این محدودیت‌ها کمک کند (Milivojević et al., 2023)؛ بنابراین، بر اسـاس نتایج این پژوهش، مقدار بالای جذب نیتروژن و نیز مقدار کلروفیل مناسب برای فتوسنتز سالسولا ایمبریکاتای کشت شده در کپسول هیدروژل، سبب افزایش کاروتنوئید در این گیاه است که با نتایج مطالعات محققان دیگر، همخوانی دارد.

۳-۴. نتیجه‌گیری

امروزه اسـتفاده از اصـلاح‌کننده‌های خاک مانند هیدروژل، باکتری‌ها و نانورس به‌عنوان بسـترهای کشـت در تنش‌های رطوبتی خاک و شـرایط کم‌آبی، به‌عنوان یک راهکار نوین در منابع طبیعی پایدار، توجه زیادی را به خود جلب کرده اسـت. این روش‌ها می‌توانند به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و همچنین افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش آبی کمک کنند.

به‌طورکلی، کشـت کپسـولی با کاربرد این بسـترها، می‌تواند بقا و کارایی میکروارگانیسـم‌ها را در شـرایط محیطی چالش‌برانگیز مانند خشکسالی و تنش رطوبتی خاک افزایش دهد؛ همچنین، رطوبت خاک را حفظ کرده و در نتیجه به گیاهان کمک کند تا در شرایط کم‌آبی بهتر رشد کنند. علاوه بر این، استفاده از نانورس‌ها می‌تواند به کاهش تنش‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک کمک کند و شرایط بهتری برای رشد گیاهان فراهم آورد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان بیان کرد استفاده از کشت کپسولی در مقایسه با کاشت معمولی نهال در خاک منجر به بهبود صفات فیزیولوژیکی در گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک شده و با افزایش ظرفیت رطوبتی خاک و افزایش جذب مواد مغذی، عملکرد و رشد مناسبی برای گیاه در پی دارد.

تحقیق حاضر در شرایط گلخانه ای انجام شده است، با اجرای این تحقیق در عرصه و حصول نتایج مشابه گلخانه می توان بر ظرفیت استفاده از باکتری‌های محصورشده، هیدروژل‌ها و نانورس‌ها در حالت کشت کپسولی به‌عنوان یک راهکار برای بهبود انعطاف‌پذیری گیاه در برابر تنش خشـکی تأکید نمود. این امر می تواند به افزایش بهره‌وری مراتع و احیای بیولوژیک مراتع تخریب‌شـده و یا در حال تخریب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک شایانی نماید. استفاده از چنین فناوری‌هایی می‌تواند رویکردی چند وجهی برای مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی و کمبود آب در منابع طبیعی ارائه دهد.

References

Abd El-Aziz, G. H., Ibrahim, A. S., & Fahmy, A. H. (2022). Using environmentally friendly hydrogels to alleviate the negative impact of drought on plant. Open *Journal of Applied Sciences*, 12(1), 111-133.

Ahmed, E. M., El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M. H., Aggor, F. S., & Nada, S. S. (2015). Response of snap bean plants to super absorbent hydrogel treatments under drought stress conditions. *Current Science International*, 4(3), 467-472.

Albalasmeh, A. A., Mohawesh, O., Gharaibeh, M. A., Alghamdi, A. G., Alajlouni, M. A., & Alqudah, A. M. (2022). Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 518-524.

[1] Diógenes

Alghamdi, S. A., Alharby, H. F., Abdelfattah, M. A., Mohamed, I. A., Hakeem, K. R., Rady, M. M., & Shaaban, A. (2023). Spirulina platensis-inoculated humified compost boosts rhizosphere soil hydro-physico-chemical properties and Atriplex nummularia forage yield and quality in an arid saline calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2215-2236.

Arabi, Z., Kaboosi, K., & Rezvan Talab, N. (2014). Effect of different levels of irrigation and superabsorbent hydrogel on morphological characteristics, yield and essential oil of anise plant. *Scientific Journal of Medicinal Plants*. 8(4), 51-66. (In Persian).

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant physiology*, 24(1), 1.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Shahsavarpour Lendeh, K., Gilani, Z., Yaghoubi Khanghahi, M., & Crecchio, C. (2020). Effects of plant growth promoting microorganism's inoculums on mineral nutrition, growth and productivity of rice (Oryza sativa L.). *Journal of Plant Nutrition*, 43(11), 1643-1660.

Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and soil*, 378, 1-33.

Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, *39*, 205-207.

Chirino, E., Vilagrosa, A., & Vallejo, V. R. (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil*, 344, 99-110.

Chuckran, P. F., Reibold, R., Throop, H. L., & Reed, S. C. (2020). Multiple mechanisms determine the effect of warming on plant litter decomposition in a dryland. *Soil Biology and Biochemistry*, 145, 107799.

Collins, S. L., Belnap, J., Grimm, N. B., Rudgers, J. A., Dahm, C. N., D'odorico, P., ... & Wolf, B. O. (2014). A multiscale, hierarchical model of pulse dynamics in arid-land ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45(1), 397-419.

Daneshmandi, S. M. & Azizi, M. (2009). Study the effect of drought stress and super absorbent polymer on some quantitative and qualitative characteristics of basil. In Proceedings of the 6th Congress of Iranian Horticultural Science, July 13 - 16, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian)

Dehkordi, D. K., & Seyyedboveir, S. (2013). Evaluation of super AB A 200 Superabsorbent on water use efficiency and yield response factor of SCKaroun701 corn under deficit irrigation. *Advances in Environmental Biology*, 4615-4623.

DeVilleneuve, S., Kelly, A., Miyanaka, N., Shanmuhasundaram, T., Murphree, P., & Wyatt, B. M. (2023). Impacts of vegetation and topsoil removal on soil erosion, soil moisture, and infiltration. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6(3), e20402.

Diógenes, M. F. S., Mendonça, V., de Medeiros Mendonça, L. F., de Moura, E. A., Reges, K. D. S. L., de Oliveira, L. M., & de Oliveira, A. M. F. (2022). Use of hydrogel in the irrigation management of white pitaya (Hylocereus undatus) seedlings: Biometrics and accumulation of organic and inorganic solutes. Semina: Ciências Agrárias, 43(2), 491-508.

El Bergui, O., Abouabdillah, A., Bourioug, M., Schmitz, D., Biel, M., Aboudrare, A., ... & Bouabid, R. (2023). Innovative solutions for drought: evaluating hydrogel application on onion cultivation (Allium cepa) in Morocco. *Water*, 15(11), 1972.

El-Asmar, J., Jaafar, H., Bashour, I., Farran, M. T., & Saoud, I. P. (2017). Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 45(7), 1700251.

Elnaggar, A., El-Keblawy, A., Mosa, K. A., & Soliman, S. (2018). Drought tolerance during germination depends on light and temperature of incubation in Salsola imbricata, a desert shrub of Arabian deserts. Flora, 249, 156-163.

Galeş, D. C., Trincă, L. C., Cazacu, A., Peptu, C. A., & Jităreanu, G. (2016). Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morph physiological parameters. *Geoderma*, 267, 102-111.

Ghias, S., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., & Dehestani Ardakani, M. (2022). Effect of bio char and Hydrogel on Morph physiological and Biochemical Characteristics of Common Sage (Salvia officinalis L.) under Drought Stress. *Plant Productions*, 45(1), 67-80.

Ghimire, R., & Khanal, B. R. (2020). Soil organic matter dynamics in semiarid agroecosystems transitioning to dryland. PeerJ, 8, e10199.

Gundala, S. R. (2014). Phytocomplexity: Implications for Development of Novel Anticancer Therapeutics Using Dietary Agents.

Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K. & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. J. Microb. *Biochem. Technol*. 2015, 7, 96–102.

Hamzei, J., & Babaei, M. (2017). Study of quality and quantity of yield and land equivalent ratio of sunflower in intercropping series with bean.

Huang JianPing, H. J., Yu HaiPeng, Y. H., Guan XiaoDan, G. X., Wang Guoyin, W. G., & Guo RuiXia, G. R. (2016). Accelerated dryland expansion under climate change.

Iqbal, B., Li, G., Alabbosh, K. F., Hussain, H., Khan, I., Tariq, M., ... & Ahmad, N. (2023). Advancing environmental sustainability through microbial reprogramming in growth improvement, stress alleviation, and phytoremediation. *Plant Stress*, 100283.

John, D. A., & Babu, G. R. (2021). Lessons from the aftermaths of green revolution on food system and health. *Frontiers in sustainable food systems*, 5, 644559.

John, R. P., Tyagi, R. D., Brar, S. K., Surampalli, R. Y., & Prévost, D. (2011). Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery. *Critical reviews in biotechnology*, 31(3), 211-226.

Johnson, M. S. & Woodhouse, J. (1990). Effect of superabsorbent polymers on efficiency of water use by crop seeding. *Science of Food and Agriculture Journal* 52: 431-434.

Kishor, P.B.K, & Sreenivasulu, N. (2014). Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? *Plant, Cell and Environment*, 37: 300-11.

Kolesnikov, L. E., Uspenskaya, M. V., Kremenevskaya, M. I., Orlova, A. G., Zuev, E. V., & Kolesnikova, Y. R. (2021). Increase in the Yield of Cereals and Decrease in the Harmfulness of Pathogens When Using Acrylic Hydrogel and Protein Growth Stimulant. *Russian Agricultural Sciences*, 47, 377-385.

Li, T., Dong, J., & Yuan, W. (2020). Effects of precipitation and vegetation cover on annual runoff and sediment yield in Northeast China: A preliminary analysis. *Water Resources*, 47, 491-505.

Lozano-García, B., Muñoz-Rojas, M., & Parras-Alcántara, L. (2017). Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. *Science of the Total Environment*, 579, 1249-1259.

Lynsey Hart (2020). How to Make Liquid Nanoclay.Available online: https://nanografi.com/blog/how-to-make-liquid-nanoclay/ (accessed on 2 February 2024).

Malusá, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielska, J. (2012). Technologies for beneficial microorganism's inoculant used as bio fertilizers. *The scientific world journal*, 2012(1), 491206.

McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical chemistry*, *22*(9), 1156-1158.

Milivojević, M., Popović, A., Pajić-Lijaković, I., Šoštarić, I., Kolašinac, S., & Stevanović, Z. D. (2023). Alginate gel-based carriers for encapsulation of carotenoids: on challenges and applications. Gels, 9(8), 620.

Miller, J. J., Owen, M. L., Drury, C. F., & Chanasyk, D. S. (2022). Short-term legacy effects of feedlot manure amendments on surface soil CO2 efflux under irrigated silage barley in Southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 102(2), 309-317.

Moradi, M., Torabi Giglou, M., & Ahadzadeh, M. (2023). Effects of ascorbic acid on some morpho-physiological traits of basil (Ocimum basilicum L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(4), 568-588. In Persian.

Muñoz-Rojas, M., Abd-Elmabod, S. K., Zavala, L. M., De la Rosa, D., & Jordán, A. (2017). Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: A case study in Northern Egypt. *Agriculture, ecosystems & environment*, 238, 142-152.

Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular plant*, 8(1), 68-82.

Nishu, S. D., No, J. H., & Lee, T. K. (2022). Transcriptional response and plant growth promoting activity of Pseudomonas fluorescens DR397 under drought stress conditions. *Microbiology Spectrum*, *10*(4), e00979-22.

Obour, A., Stahlman, P., & Thompson, C. (2017). Long-term residual effects of feedlot manure application on crop yield and soil surface chemistry. *Journal of Plant Nutrition*, 40(3), 427-438.

Pacholczak, A., Nowakowska, K., & Monder, M. J. (2023). Starch-based superabsorbent enhances the growth and physiological traits of ornamental shrubs. *Agriculture*, 13(10), 1893.

Pandey, R.K., Maranville, J.W. & Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in sahelian environment. I: Grain yield and yield components. Agri. Water Man. 46(1): 1-13.

Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Trejo-Calzada, R. (2017). Hydrogel, biocompost and its effect on photosynthetic activity and production of forage maize plants (Zea mays L.). *Acta Agronómica*, 66(1), 63-68.

Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. science, 316(5826), 847-851.

Rocha, B. C. P., Martinez, H. E. P., Ribeiro, C., & Brito, D. S. (2023). Nitrogen metabolism in coffee plants subjected to water deficit and nitrate doses. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66, e23210060.

Saeedi, M., Nasireh, B., Khormi wafa, M., Sharifi, R., Khushkhoi, Shahab. (2021). The effect of different seed pretreatment methods on the agronomic characteristics of oilseed flax under drought stress conditions after flowering in Kermanshah region. 31(3), 227-247.

Schoebitz, M., López, M. D., & Roldán, A. (2013). Bio encapsulation of microbial inoculants for better soil–plant fertilization. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 751-765.

Sepehri, S., Abdoli, S., Asgari Lajayer, B., Astatkie, T., & Price, G. W. (2023). Changes in phytochemical properties and water use efficiency of peppermint (Mentha piperita L.) using superabsorbent polymer under drought stress. Scientific Reports, 13(1), 21989.

Sethi, S., Singh, A., Medha, Thakur, S., Kaith, B. S., & Khullar, S. (2023). Natural polymer-based nanocomposite hydrogels as environmental remediation devices. In Handbook of Green and Sustainable Nanotechnology: *Fundamentals, Developments and Applications* (pp. 407-441). Cham: Springer International Publishing.

Shiran, B., & Hertmani, A. (2021). The effect of Mycorrhizal fungus symbiosis on morphological traits, proline and gene expression under drought stress. *Modern Genetics Quarterly*, 16(4), 373-385.

Sodek L. Metabolismo do nitrogênio. Fisiologia Vegetal. (2004). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 94-113 p.

Soliman, D. M., Elkaramany, M. F., & El-sayed, I. M. (2024). Using hydrogel polymers to mitigate the negative impact of salinity stress on Calendula officinalis plants. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(2), 57-77.

Stamenković, S., Beškoski, V., Karabegović, I., Lazić, M., & Nikolić, N. (2018). Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(1), 21.

Szopa, D., Mielczarek, M., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Mikula, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2022). Encapsulation efficiency and survival of plant growth-promoting microorganisms in an alginate-based matrix–A systematic review and protocol for a practical approach. *Industrial crops and products*, 181, 114846.

Verma, S. K., Kingsley, K., Bergen, M., English, C., Elmore, M., Kharwar, R. N., & White, J. F. (2018). Bacterial endophytes from rice cut grass (Leersia oryzoides L.) increase growth, promote root gravitropic response, stimulate root hair formation, and protect rice seedlings from disease. Plant and Soil, 422, 223-238.

Vivek, M. S., Chandravanshi, P., Nataraju, S. P., Salimath, S., & Kumar Naik, A. H. (2020). Effect of hydrogel on chlorophyll content and chlorophyll stability index of groundnut (Arachis hypogaea L.) under rainfed condition. *Int J Chem Stud*, 8(3), 2211-2215.

Yang, X., Zhang, Y., Liang, J., & Zhang, X. (2023). Effect of soil configuration on alfalfa growth under drought stress. *Sustainability*, *15*(6), 5400.

Zaitchik, B. F., Rodell, M., Biasutti, M., & Seneviratne, S. I. (2023). Wetting and drying trends under climate change. *Nature Water*, 1(6), 502-513.

Zhang, H., B., Thomas, B. W., Beck, R., Willms, W. D., Li, Y., & Hao, X. (2019). Short term recovery of vegetation and soil after abandoning cultivated mixed grass prairies in Alberta, *Canada. Catena*, 173, 321-329.

Zhang, Z., Li, R., Zhao, C., & Qiang, S. (2021). Reduction in weed infestation through integrated depletion of the weed seed bank in a rice-wheat cropping system. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 10.