مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ۱۳-۱
Volume 4, Issue 3, Autumn 2024, 1-13
http://emj.ardakan.ac.ir/article_729541.html

امکان‌سنجی کشت و معرفی اکوتیپ مناسب سالیکورنیا در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک و سرد با بررسی روش‌های مختلف بستر کشت (مطالعه موردی: زنجان)

پیمان اکبرزاده*[۱]، حسن شادمان[۲]، مهران اکبرزاده[۳]، فرهاد آقاجانلو[۴]، قباد رستمی‌زاد[۵]

CC BY

مقاله پژوهشی

۱. محقق پژوهشی، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
akbarzadeh1369@gmail.com
* نویسنده مسئول

۲. محقق پژوهشی، گروه آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
h.shadman.a@gmail.com

۳. دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست، پژوهشکده انگور، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.
mehranakbarzadeh92@gmail.com

۴. استادیار پژوهشی، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
faghajanloo@yahoo.com

۵. استادیار پژوهشی، گروه آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
rostamizad60@gmail.com

شناسه مقاله: ۱۱۱۳-۲۵۰۸
شماره صفحه پیاپی: ۸۴۰-۸۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
زمان پذیرش: ۱۷ روز

استناددهی:
اکبرزاده، پ.، شادمان، ح.، اکبرزاده، م.، آقاجانلو، ف.، و رستمی‌زاد، ق. (۱۴۰۳). امکان‌سنجی کشت و معرفی اکوتیپ مناسب سالیکورنیا در اکوسیستم های نیمه‌خشک و سرد با بررسی روش‌های مختلف بستر کشت (مطالعه موردی شهر زنجان). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۳)۴، ۱۳-۱.

چکیده

این پژوهش باهدف ارزیابی امکان‌سنجی کشت گیاه هالوفیت سالیکورنیا (*Salicornia spp.*) در اقلیم نیمه‌خشک و سرد زنجان، شناسایی روش بهینه آماده‌سازی بستر و انتخاب اکوتیپ مناسب انجام شد. پنج روش مختلف کشت با تمرکز بر ترکیب بذر و بسترهای متفاوت آزمایش گردید. نتایج نشان داد که روش کاشت بذر مخلوط با ماسه‌بادی و کود دامی (نسبت ۳ به ۱) در شیارهای کم‌عمق، با دستیابی به نرخ جوانه‌زنی ۹۵ درصد (میانگین تکرارها: ۹۳ درصد، ۹۶ درصد، ۹۶ درصد)، بهترین عملکرد را در خاک سنگین و فشرده منطقه داشت. این روش با بهبود تهویه و نفوذپذیری خاک، شرایط مطلوبی برای استقرار گیاه فراهم کرد، درحالی‌که روش‌های دیگر (با جوانه‌زنی ۲ تا ۱۵ درصد) به دلیل فشردگی خاک یا پوشش نامناسب، موفقیت محدودی داشتند. در بخش مقایسه اکوتیپ‌ها، سه اکوتیپ بوشهر، مرکزی و گرگان در شرایط اقلیمی زنجان ارزیابی شدند. اکوتیپ بوشهر در شاخص‌های کلیدی رشد برتری داشت؛ ارتفاع گیاه ۱۷ سانتی‌متر (۳۶ درصد بیشتر از مرکزی با ۱۲/۵ سانتی‌متر، مشابه گرگان با ۱۷/۵ سانتی‌متر)، سطح پوشش برگ ۱۷ سانتی‌متر مربع (۷۰ درصد بیشتر از مرکزی با ۱۰ سانتی‌متر مربع، ۲۱ درصد بیشتر از گرگان با ۱۴ سانتی‌متر مربع) و بیوماس خشک ۵/۵ گرم (۶۹ درصد بیشتر از مرکزی با ۳/۲۵ گرم، ۲۲ درصد بیشتر از گرگان با ۴/۵ گرم). تحلیل واریانس یک‌طرفه تفاوت‌های معنی‌دار آماری را در تمامی پارامترها تأیید کرد ($p < ۰/۰۱$)، این یافته‌ها نشان‌دهنده سازگاری بالای اکوتیپ بوشهر با شرایط سرد و نیمه‌خشک زنجان است که آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای کشت پایدار و احیای اراضی شور تبدیل می‌کند. استفاده از سالیکورنیا در این مناطق می‌تواند با بهره‌گیری از آب‌شور، به توسعه کشاورزی پایدار و تولید علوفه یا روغن خوراکی کمک کند. پیشنهاد می‌شود تحقیقات تکمیلی بر بهینه‌سازی مدیریت کشت، بررسی اثرات بلندمدت شوری و دما و توسعه ژرم‌پلاسم بهبودیافته متمرکز شود تا تجاری‌سازی این گیاه در اقلیم‌های مشابه تسهیل گردد.

واژگان کلیدی:

سالیکورنیا، کشت نیمه‌خشک، جوانه‌زنی، بیوماس خشک، احیای زیستی.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.729541

۱- مقدمه

کشت سالیکورنیا[1]به‌عنوان یک گیاه هالوفیت و شور پسند، اخیراً به دلیل پتانسیل بالای آن در بهره‌برداری از منابع آب‌شور و خاک‌های نامرغوب، مورد توجه فراوان محققان و کشاورزان قرارگرفته است (بزرگمهر و همکاران، ۱۴۰۳؛ Ventura et al., 2011). سالیکورنیا از خانواده Amaranthaceae است و می‌تواند در آب‌های شور با درجه قلیائیت تا ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر و خاک‌های نامرغوب رشد کند و علاوه‌بر تولید علوفه، روغن خوراکی و جذب کربن، قابلیت‌های متعددی دارد (Glenn et al., 1998؛ خوش‌خلق‌سیما و همکاران، ۱۳۹۹). این گیاه با توانایی رشد در شرایط سخت و شور، می‌تواند راهکاری نوین برای توسعه کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد. اگرچه بیشتر تحقیقات تاکنون بر روی کشت سالیکورنیا در مناطق گرم و خشک یا نیمه گرمسیری متمرکز بوده است (Daoud et al., 2001؛ رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰). اطلاعات محدودی درباره امکان‌سنجی و سازگاری این گیاه در اقلیم‌های سرد و نیمه‌خشک وجود دارد (Daoud et al., 2001؛ Koshida et al., 2024). مناطق نیمه‌خشک ایران با محدودیت شدید منابع آب شیرین و وجود خاک‌های شور مواجه‌اند؛ در چنین شرایطی معرفی گیاهان متحمل به شوری مانند سالیکورنیا می‌تواند افق‌های جدیدی برای کشاورزی پایدار گشوده و به بهبود کیفیت زیست‌محیطی و اقتصادی کمک کند (بزرگمهر و همکاران، ۱۴۰۳؛ عالی‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و سرد، اهمیت انتخاب اکوتیپ‌های سازگار سالیکورنیا برای این مناطق را دوچندان می‌کند (Daoud et al., 2001). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که عملکرد سالیکورنیا وابسته به گونه و اکوتیپ است؛ برای مثال، اکوتیپ بوشهر (*S. sinus persica*) در مقایسه با گونه بیگلوی (*S. bigelovii*) و اکوتیپ‌های مرکزی و گرگان، عملکرد علوفه‌ای بالاتری تحت آبیاری با آب دریا از خود نشان داده است (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰). با این حال، سازگاری آن در اقلیم‌های سرد مانند زنجان همچنان نیازمند بررسی‌های عمیق‌تر است. افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش وزن خشک علوفه در گونه بیگلوی می‌شود، اما اکوتیپ بوشهر مقاومت بالاتری از خود نشان می‌دهد (Izadi et al., 2024؛ Zerai et al., 2010). سالیکورنیا با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، از جمله تحمل شوری بالا، کاربردهای چندمنظوره در تولید بیو دیزل، علوفه، سبزی خوراکی و بهبود کیفیت خاک، پتانسیل بالایی برای پاسخگویی به چالش‌های کمبود منابع آب شیرین و افزایش تقاضای جهانی برای غذا و انرژی دارد. گونه‌هایی مانند *Salicornia bigelovii* قادرند با آبیاری آب دریا عملکردی معادل ۲ تن بذر در هکتار تولید کنند که قابل‌مقایسه با محصولاتی همچون سویا است (Glenn et al., 1999؛ Puccinelli et al., 2024). از طرفی ممکن است، خاکستر بالای شاخساره سالیکورنیا (۴۷ تا ۵۴ درصد) به دلیل تجمع یون‌های Na^+ و Cl^- ممکن است مصرف علوفه توسط دام را محدود کند (رنجبر و دهقانی، ۱۳۹۷؛ Norman et al., 2013). مطالعات داخلی و خارجی متعدد نشان داده‌اند که سالیکورنیا طیف وسیعی از شوری را تحمل می‌کند و بهترین عملکرد آن در بازه ۵ تا ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر (۵۰–۲۵۰ میلی‌مولار NaCl) مشاهده شده است، هرچند در برخی گزارش‌ها رشد مناسب حتی تا ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌مولار NaCl نیز ثبت شده است (Ventura and Sagi, 2013؛ Lombardi et al., 2022؛Puccinelli et al., 2024). در ایران، بررسی اکوتیپ‌های بومی *S. persica*، *S. sinus-persica* و اکوتیپ‌های گرگان و ارومیه نشان می‌دهد که تحت آبیاری با آب دریا و شوری بالا (۶۰ دسی‌زیمنس بر متر) سالانه حدود ۱۰/۴ تن زیست‌توده خشک در هکتار تولید می‌شود و گونه *S. sinus-persica* بسته به زمان برداشت ممکن است ۴۰ درصد عملکرد بیشتری نسبت به میانگین داشته باشد (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۱). مطالعه‌ای دیگر در چویبده آبادان روی *Salicornia persica* نشان داد که این گیاه به شرایط غرقابی پاسخ مثبت دارد و استفاده از بذر محلی و کاشت اوایل بهمن‌ماه در موفقیت کشت مؤثر است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۹۶). در دانشگاه گیلان، بررسی کشت *Salicornia europaea* در شرایط کنترل‌شده و تحت شوری صفر تا ۶۰۰ میلی‌مولار NaCl انجام شد و باززایی اندام هوایی با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد بررسی شد. بیشترین نرخ باززایی (۶۶/۶۷ درصد) در ترکیب ۱۰۰ میلی‌مول NaCl به همراه ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر هورمون سیتوکینین[2]و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیترهورمون اکسین[3]حاصل شد (محمودی و دانش، ۱۳۹۸). مطالعه‌ای دیگر به بررسی رشد و تحمل انواع سالیکورنیا (*S. europaea* و *S. persica*) در شرایط تنش شوری و خشکی پرداخت و نشان داد گونه *S. persica* جوانه‌زنی سریع‌تر و مقاومت بهتری نسبت به شوری و خشکی دارد (درویشی و همکاران، ۱۳۹۲). از منظر تولید انرژی، مطالعه‌ای در گلستان با سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل محیطی، مناطق مناسب برای کشت *Salicornia bigelovi*به‌منظور تولید بیودیزل شناسایی کرد و پتانسیل تولید سالانه سوخت بیودیزل با استفاده از این‌گونه در این استان حدود ۲۰۱ میلیون لیتر تخمین زده شد (نوراللهی و همکاران، ۲۰۱۵). در حوزه فتوشیمیایی و کاربردهای غذایی سنتی، منابع نشان داده‌اند که سالیکورنیا در ایران به‌صورت سبزی، ترشی و محصولات گیاهی سنتی مصرف می‌شود (نژادقنبر، ۱۳۹۶). گزینش اکوتیپ اهمیت حیاتی دارد؛ مطالعه روی اکوتیپ‌های *S. persica* از فلات مرکزی، ارومیه و بوشهر نشان داد که اکوتیپ‌های فلات مرکزی و ارومیه در شوری ۱۰ تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد علوفه‌ای و کیفیت تغذیه‌ای بهتری دارند، در مقابل اکوتیپ بوشهر بازده پایین‌تری نشان می‌دهد (Izadi et al., 2025). در فاز استقرار و تکثیر، بذر و قلمه دو مسیر کلیدی هستند. جوانه‌زنی بذر نیاز نوری ندارد و بهترین دما ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (حمیدی و همکاران، ۱۴۰۳). قلمه‌گیری در *S. europaea* نیز موفق بوده و ریشه‌زایی و تجمع زیست‌توده بهتر در محلول ۱/۵ درصد NaCl گزارش‌شده است (Koshida et al., 2024). مدیریت

1. Salicornia spp.
2. Benzyladenine
3. aphthaleneacetic acid

آب و زهکش برای رشد بهینه ضروری است. در امارات، کشت *S. bigelovii* با آب‌های بسیار شور موفق بوده و آبشویی کنترل‌شده و پایش قلیائیت خاک، بهره‌وری اقتصادی را بهبود داده است (Al-Tamimi et al., 2023). از لحاظ کیفیت علوفه دارای علوفه با کیفیت مناسبی است به شرطی که کیفیت علوفه و ایمنی تغذیه‌ای باید با پایش عناصر و تنظیم جیره حفظ شود (بزرگمهر و همکاران، ۱۴۰۳). از منظر فیزیولوژی و زیست‌فناوری، انباشت نمک در واکوئل و پمپ‌های Na^+/H^+ نقش مهمی در تحمل شوری دارد (Fussy and Papenbrock, 2024). اکثر مطالعات تاکنون بر مناطق ساحلی متمرکز بوده‌اند (Yucel et al., 2017). عملکرد و کشت سالیکورنیا در اقلیم سرد و نیمه‌خشک کمتر بررسی‌شده است. همچنین، تأثیر ترکیب بسترهای کشت مختلف نظیر ماسه، کود آلی و خاک‌های شور بر رشد و عملکرد این گیاه نیز نیازمند پژوهش‌های گسترده‌تری است (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به کاهش کیفیت منابع آبی و شور شدن و بی‌کیفیت شدن رودخانه‌های زنجان‌رود و قزل‌اوزن در این استان (خوب و همکاران، ۱۳۹۶)، ضرورت کشت گیاهان مقاوم به شوری مانند سالیکورنیا بیش از پیش احساس می‌شود می‌دهد (Izadi et al., 2025). این گونه‌ها می‌توانند در شرایط محدودیت منابع آب شیرین و افزایش شوری، به حفظ کشاورزی پایدار و توسعه اقتصادی منطقه کمک کنند. ترکیب این عوامل اقلیمی و شرایط منابع آبی، سالیکورنیا را به‌عنوان گونه‌ای مناسب برای کشت در این منطقه معرفی می‌کند، زیرا این گیاه هالوفیت توانایی تحمل شوری بالا و رشد در شرایط کم‌آبی را دارد (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۱؛ Fussy and Papenbrock, 2024)؛ بنابراین، انتخاب منطقه زنجان به‌عنوان منطقه موردمطالعه، فرصتی مناسب برای بررسی امکان‌سنجی کشت سالیکورنیا در اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد و مدیریت منابع محدود آبی فراهم می‌آورد و نتایج حاصل می‌تواند الگوی مناسبی برای توسعه کشاورزی پایدار در مناطق مشابه کشور باشد. باوجود مزایای متعدد سالیکورنیا، تاکنون پژوهش جامعی در خصوص امکان‌سنجی کشت و معرفی اکوتیپ مناسب در اقلیم سرد و نیمه‌خشک انجام‌نشده است. انتخاب اکوتیپ مناسب و بررسی روش‌های مختلف بستر کشت، شامل خاکی، هیدروپونیک و ترکیبی، از چالش‌های اصلی توسعه کشت این گیاه در مناطق نیمه‌خشک و سرد است. استان زنجان با منابع آب محدود و اراضی شور، نیازمند راهکارهای پایدار برای تولید علوفه و محصولات چندمنظوره است. مطالعه حاضر باهدف شناسایی اکوتیپ‌های سازگار و بهینه‌سازی روش‌های بستر کشت طراحی‌شده تا علاوه بر بهره‌برداری اقتصادی، به توسعه کشاورزی پایدار و مدیریت منابع آب‌شور منطقه کمک کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه

منطقه موردمطالعه این تحقیق به دلیل شرایط اقلیمی خاص و ویژگی‌های منحصر به فرد آن، با در نظر گرفتن معیارهایی همچون میزان بارندگی سالانه، دمای متوسط، نوسانات دمایی، پوشش گیاهی بومی و دسترسی به منابع آب، انتخاب شده است. استان زنجان در شمال غربی ایران واقع شده و دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است که با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم و خشک مشخص می‌شود. میزان متوسط بارندگی سالانه در این منطقه بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است که نشان‌دهنده محدودیت منابع آب و نیاز به بهره‌برداری بهینه از منابع موجود است. دمای هوا در فصل زمستان معمولاً زیر صفر درجه سانتی‌گراد است و در برخی روزهای زمستان دما می‌تواند به بیش از منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد نیز برسد که این یخبندان‌های شدید از ویژگی‌های بارز اقلیم این منطقه محسوب می‌شوند و می‌توانند بر رشد و توسعه گیاهان اثرگذار باشند. منطقه کشت در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان در شهر زنجان، کیلومتر ۵ جاده فرودگاه واقع شده است (شکل‌های ۱و ۲).

۲-۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف امکان‌سنجی کشت سالیکورنیا در منطقه نیمه‌خشک و سرد زنجان و تعیین بهترین روش آماده‌سازی بستر، در بازه زمانی فروردین ۱۴۰۴ تا مرداد ۱۴۰۴ انجام شد. در این راستا، پنج مدل کشت مختلف با هدف بهینه‌سازی فرآیند جوانه‌زنی و استقرار گیاه در شرایط خاک سنگین و فشرده منطقه آزمایش گردید.

۲-۲-۱- آماده‌سازی زمین و روش‌های کشت

زمین آزمایش ابتدا با استفاده از گاوآهن پنجه غازی شخم زده شد تا خاک شکسته، تهویه و برای کشت آماده شود. سپس با به‌کارگیری ابزارهای مختلف شیارهایی به عمق و شکل متفاوت ایجاد گردید (شکل ۳). پنج روش کشت با در نظر گرفتن تفاوت در عمق کاشت، میزان پوشش بذر و ترکیب بستر (خاک، کود دامی و ماسه بادی) که هر یک از این عوامل از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهان شورپسند به‌ویژه سالیکورنیا هستند (Koshida et al., 2024)، انتخاب و به شرح ذیل اجرا شد:

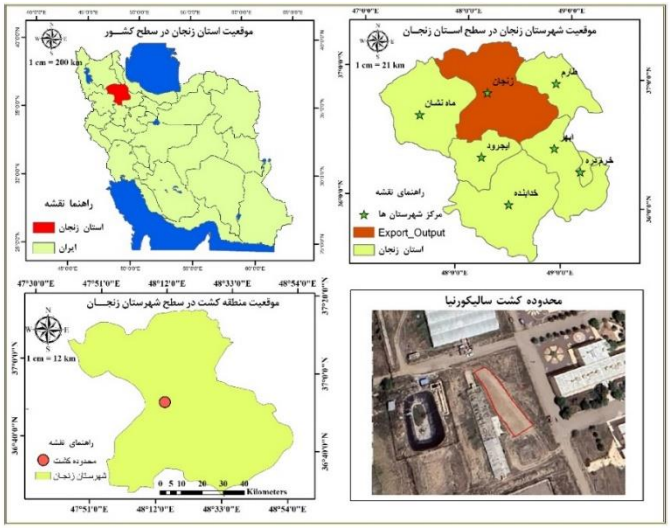
روش اول: ایجاد شیار به عمق حدود ۵ سانتی‌متر، بذرپاشی داخل شیار و پوشش دادن بذرها با لایه‌نازکی از خاک توسط مالیه.

روش دوم: بذرپاشی داخل شیارها بدون پوشش خاک روی بذرها.

روش سوم: مخلوط کردن بذرها با خاک نرم و کود دامی و کشت مخلوط حاصل داخل شیارها.

روش چهارم: ایجاد شیارهای کم‌عمق کمتر از نیم سانتی‌متر، کاشت بذر در شیار و پوشش دادن آن با لایه‌ای نازک (۲ تا ۳ میلی‌متر) از خاک نرم.

روش پنجم: مخلوط کردن بذرها با ماسه بادی و کود دامی به نسبت ۳ به ۱ و کشت ردیفی این مخلوط در شیارهای کم‌عمق.



شکل (۱): موقعیت منطقه کشت در سطح کشور و استان

شکل (۲): نمای از مزرعه در اکوتیپ‌های مختلف

شکل (۳): آماده‌سازی بستر کشت و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ

۲-۲-۲- شرایط خاک و اقلیم

خاک منطقه آزمایش از نوع سنگین و فشرده بوده که نفوذپذیری و تهویه محدودی دارد و همچنین میزان سنگ و سنگ‌ریزه بیش از ۳۰ درصد است (نتایج بررسی میدانی) و عمق خاک در بعضی نقاط از زمین ۱۰ سانتی‌متر و گاها در برخی نقاط تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر بوده است؛ بعد از این عمق خاک به سنگ‌بستر و لایه سخت وجود داشت. نمای از خاک زمین کشت در شکل (۴) نشان داده شده است.

شکل (٤): نمای از خاک زمین کشت با عمق ۱۰ سانتی‌متر و درصد بالای سنگ و سنگریزه

اقلیم منطقه نیمه‌خشک و سرد است؛ میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد گزارش‌شده است (سازمان هواشناسی، ۱۴۰۳). این شرایط محیطی چالش‌هایی را برای کشت موفقیت‌آمیز سالیکورنیا ایجاد می‌کند که در طراحی روش‌های کشت مدنظر قرار گرفت.

۲-۲-۳- ارزیابی رشد و جوانه‌زنی

در هر روش کشت، درصد جوانه‌زنی، میزان بقا و شاخص‌های رشد شامل ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک در بازه‌های زمانی مشخص (هفته اول تا دوازدهم پس از کشت) اندازه‌گیری شدند. داده‌ها در سه تکرار مستقل جمع‌آوری‌شده و به‌صورت میانگین و انحراف معیار گزارش گردید. میزان رشد در مراحل مختلف از جمله استقرار کامل و قبل از شروع بذردهی اندازه‌گیری شد.

۲-۲-٤- تحلیل آماری

برای مقایسه کارایی روش‌های کشت و تفاوت‌های بین اکوتیپ‌ها، تحلیل واریانس یک‌طرفه[1]انجام شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار، آزمون تعقیبی توکی[2]جهت تشخیص تفاوت میان گروه‌ها به‌کار گرفته شد. سطح معنی‌داری آماری برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مناسب، شامل نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گردید.

۳- نتایج

۳-۱- بررسی درصد جوانی زنی و انتخاب روش مناسب کشت

نتایج حاصل از پنج روش مختلف کشت سالیکورنیا در منطقه نیمه‌خشک و سرد زنجان نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه نوع آماده‌سازی بستر و ترکیب بذر با مواد مختلف بر جوانه‌زنی و استقرار گیاه است. در روش‌های اول، دوم و چهارم که عمق شیارها بیش‌تر و یا پوشش خاک بر روی بذر اعمال‌شده بود، به دلیل سنگینی و فشردگی خاک منطقه، جوانه‌زنی بسیار محدود رخ داد. این امر نشان می‌دهد که خاک سنگین و فشرده باعث محدودیت نفوذ آب‌وهوا به بذر و ریشه‌های نوپا شده است.

روش سوم که بذرها با خاک نرم و کود دامی مخلوط شدند، تنها توانست ۱۵ درصد جوانه‌زنی ایجاد کند که این میزان برای کشت تجاری قابل‌قبول نیست و نشان از مشکلاتی در بهبود بستر کشت دارد.

روش پنجم با میانگین ۹۵ درصد جوانه‌زنی بهترین عملکرد را داشته است. این درصد بسیار بالا نشان می‌دهد که مخلوط بذر با ماسه‌بادی و کود دامی (نسبت ۳: ۱) توانسته شرایط بهینه برای جوانه‌زنی و استقرار گیاه فراهم کند. در مقابل، روش سوم با ۱۵ درصد جوانه‌زنی، عملکرد متوسطی دارد و نشان می‌دهد که مخلوط بذر با خاک نرم و کود دامی به‌تنهایی برای اصلاح خاک سنگین کافی نیست و نیاز به اصلاح بیشتر یا افزودنی‌های دیگر وجود دارد. روش‌های اول و چهارم هر دو با ۵ درصد و روش دوم با ۲ درصد جوانه‌زنی، کمترین موفقیت را داشتند که این امر می‌تواند به دلیل عمق نامناسب شیارها، فشردگی خاک و عدم وجود مواد اصلاح‌کننده بافت خاک باشد. در نهایت، روش پنجم که بذرها با ماسه‌بادی و کود دامی به نسبت ۳ به ۱ مخلوط شده و در شیارهای کم‌عمق کشت شدند، موفقیت بسیار بالایی داشت و بیش از ۹۵ درصد بذرها جوانه زدند و گیاهان به‌خوبی مستقر شدند. این نشان‌دهنده اهمیت اصلاح بستر کشت با استفاده از مواد سبک و آلی جهت افزایش تهویه و نفوذپذیری خاک در شرایط خاک سنگین و سرد منطقه زنجان است (جدول ۱ و شکل ۵).

در این مطالعه، پنج روش مختلف کشت سالیکورنیا در سه تکرار مستقل آزمایش شدند تا قابلیت تکرارپذیری و دقت نتایج بررسی شود. نتایج درصد جوانه‌زنی بذر برای هر روش و هر تکرار به شرح زیر است:

1. One-way ANOVA
2. Tukey’s HSD

روش اول: درصد جوانه‌زنی در سه تکرار به ترتیب ۴ درصد، ۵ درصد و ۶ درصد ثبت شد که میانگین آن ۵ درصد است با انحراف معیار یک درصد است. این مقادیر نشان‌دهنده جوانه‌زنی پایین و عدم موفقیت کافی روش اول است. انحراف معیار کم، ثبات نتایج در تکرارها را نشان می‌دهد اما درصد جوانه‌زنی ناچیز است.

جدول(۱): تأثیر روش کشت بر میزان جوانه‌زنی بذر

روش کشت	شرح مختصر	میانگین درصد جوانه‌زنی (درصد)	موفقیت کلی
روش اول	شیار ۵ سانتی‌متری + پوشش خاک	۵	ناموفق
روش دوم	شیار ۵ سانتی‌متری بدون پوشش	۳	ناموفق
روش سوم	مخلوط بذر با خاک نرم و کود دامی	۱۵	ناکافی
روش چهارم	شیار کم‌عمق + پوشش نازک خاک	۵	ناموفق
روش پنجم	مخلوط بذر با ماسه‌بادی و کود دامی	۹۵	موفقیت بالا

شکل (۵): تصویری از جوانه‌ها یک هفته بعد از کشت (روش پنجم)

روش دوم: درصد جوانه‌زنی در تکرارهای اول تا سوم به ترتیب ۳ درصد، ۱ درصد و ۲ درصد گزارش شد که میانگین ۲ درصد با انحراف معیار یک درصد را به همراه دارد. این مقادیر بسیار پایین‌تر از روش اول است و نشان‌دهنده کارایی بسیار کم این روش در شرایط آزمایش است.

روش سوم: درصد جوانه‌زنی در این روش به‌طور محسوسی افزایش‌یافته و در تکرارهای ۱۵ درصد، ۱۳ درصد و ۱۷ درصد ثبت‌شده است که میانگین ۱۵ درصد و انحراف معیار ۲ درصد را نشان می‌دهد. این بهبود نسبت به دو روش قبلی بیانگر تأثیر مثبت ترکیب بذر با خاک نرم و کود دامی بر جوانه‌زنی است.

روش چهارم: مشابه روش اول، درصد جوانه‌زنی در سه تکرار ۶ درصد، ۵ درصد و چهار درصد بود که میانگین ۵ درصد و انحراف معیار یک درصد را نشان می‌دهد؛ بنابراین این روش نیز از نظر جوانه‌زنی عملکرد پایینی داشته است.

روش پنجم: بهترین عملکرد متعلق به این روش است که درصد جوانه‌زنی بسیار بالا و پایدار را نشان می‌دهد. تکرارهای اول تا سوم به ترتیب ۹۳ درصد، ۹۶ درصد و ۹۶ درصد بودند که میانگین ۹۵ درصد با انحراف معیار ۱/۷۳ درصد را نشان می‌دهد. این ارقام تأییدکننده موفقیت بالای روش مخلوط بذر با ماسه‌بادی و کود دامی در شیارهای کم‌عمق است (شکل ۶).

به‌طور کلی، تکرارهای متعدد هر روش، قابلیت اطمینان داده‌ها و تکرارپذیری نتایج را تأیید می‌کنند. انحراف معیار پایین در تمامی روش‌ها نشان‌دهنده ثبات قابل‌قبول در اجرای آزمایش‌ها است؛ با این حال، تفاوت قابل‌توجه میان درصدهای جوانه‌زنی روش پنجم نسبت به سایر روش‌ها بیانگر برتری علمی و عملی این روش برای کشت موفق سالیکورنیا در شرایط اقلیمی و خاک منطقه زنجان است. انحراف معیار پایین در تمام روش‌ها نشان‌دهنده پایداری نسبی نتایج در تکرارهای آزمایشی است (جدول ۲).

تفاوت میانگین درصد جوانه‌زنی بین روش‌های مختلف کشت بسیار معنی‌دار است ($p < 0.0001$). مقدار F بزرگ (۳۴۰/۲۷) نشان‌دهنده اختلاف قوی بین گروه‌ها است. این تحلیل آماری به‌طور قاطع تأیید می‌کند که نوع روش کشت تأثیر چشم‌گیری بر جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا دارد و تغییر در ترکیب بستر کشت منجر به تفاوت‌های آماری معنی‌داری می‌شود (جدول ۳).

مقایسه روش‌های کشت با استفاده از آزمون توکی نتایج جفت به جفت بررسی شد نتایج نشان داد که روش پنجم نسبت به همه روش‌ها تفاوت معنی‌دار و چشم‌گیری دارد ($p < 0.0001$) که نشان از برتری قاطع این روش در جوانه‌زنی دارد؛ روش سوم نیز نسبت به روش‌های اول، دوم و چهارم تفاوت معنی‌داری دارد ($p < 0.05$) اما با توجه به درصد پایین‌تر، هنوز کاربردی بودن آن محدود است. روش‌های اول، دوم و چهارم تفاوت معنی‌داری باهم ندارند ($p > 0.05$) و می‌توان گفت که عملکرد مشابهی در شرایط خاک سنگین و بدون اصلاح مناسب دارند.

جدول (۲): درصد جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا در ۵ روش مختلف کشت (۳ تکرار)

روش کشت	تکرار ۱ (درصد)	تکرار ۲ (درصد)	تکرار ۳ (درصد)	میانگین (درصد)	انحراف معیار (درصد)
روش اول	۴	۵	۶	۵	۱
روش دوم	۳	۱	۲	۲	۱
روش سوم	۱۵	۱۳	۱۷	۱۵	۱
روش چهارم	۶	۵	۴	۵	۱
روش پنجم	۹۳	۹۶	۹۶	۹۵	۱/۷۳

شکل (٦): رشد جوانه‌ها در انتهای هفته سوم پس از کشت (روش پنجم)

جدول (۳): تحلیل واریانس درصد جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا در پنج روش مختلف کشت

منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقدار F	مقدار p
بین گروه‌ها	۴	۲۳۴۵۰	۵۸۶۲/۵	۳۴۰/۲۷	< ۰/۰۰۰۱
درون گروه‌ها	۱۰	۱۷۲	۱۷/۲		
کل	۱۴	۲۳۶۲۲			

روش پنجم (۹۵ درصد جوانه‌زنی) به‌طور معنی‌داری بهترین عملکرد را نسبت به همه روش‌های دیگر دارد ($p < 0.0001$). در روش سوم (۱۵ درصد جوانه‌زنی) نسبت به روش‌های اول، دوم و چهارم بهتر است و تفاوت معنی‌داری با آن‌ها دارد ($p < 0.05$). تفاوت بین روش‌های اول (۵ درصد)، دوم (۲ درصد) و چهارم (۵ درصد) معنی‌دار نیست و عملکرد مشابهی دارند (جدول ۴).

جدول (٤): آزمون تعقیبی توکی

مقایسه روش‌ها	تفاوت میانگین (درصد)	معنی‌داری (p-value)
روش سوم VS روش پنجم	۸۰	$p < 0.0001$
روش اول VS روش پنجم	۹۰	$p < 0.0001$
روش دوم VS روش پنجم	۹۳	$p < 0.0001$
روش چهارم VS روش پنجم	۹۰	$p < 0.0001$
روش اول VS روش سوم	۱۰	$p = 0.02$
روش دوم VS روش سوم	۱۳	$p = 0.01$
روش چهارم VS روش سوم	۱۰	$p = 0.02$
روش دوم VS روش اول	۳	$p = 0.15$ (غیر معنادار)
روش چهارم VS روش اول	۰	$p = 1.00$ (غیر معنادار)
روش چهارم VS روش دوم	۳	$p = 0.15$ (غیر معنادار)

۳-۲-مقایسه رشد و عملکرد هر اکوتیپ بعد از استقرار کامل

۳-۲-۱-ارتفاع گیاه

در هفته دهم اکوتیپ بوشهر با میانگین ۱۷ سانتی‌متر، نسبت به اکوتیپ مرکزی (۱۲/۵ سانتی‌متر) تقریباً ۳۶ درصد افزایش ارتفاع دارد. در مقایسه با اکوتیپ گرگان (۱۷/۵ سانتی‌متر)، ارتفاع بوشهر تقریباً برابر است (نسبت ۰/۹۷) که نشان‌دهنده رشد مشابه این دو اکوتیپ از نظر ارتفاع است. این موضوع ممکن است نشان‌دهنده سازگاری بهتر بوشهر و گرگان به شرایط محیطی مشابه، یا تفاوت ژنتیکی کمتر در این ویژگی باشد.

۳-۲-۲-سطح پوشش برگ

بوشهر سطح پوشش برگ متوسط ۱۷ سانتی‌متر مربع دارد که نسبت به مرکزی (۱۰ سانتی‌متر مربع) حدود ۷۰ درصد بیشتر است؛ همچنین نسبت به گرگان (۱۴ سانتی‌متر مربع) حدود ۲۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد. سطح پوشش برگ به‌عنوان شاخص مهمی از توان فتوسنتزی و ظرفیت جذب نور شناخته می‌شود، بنابراین اکوتیپ بوشهر از نظر عملکرد فتوسنتزی پتانسیل بالاتری دارد.

۳-۲-۳-بیوماس خشک

اکوتیپ بوشهر با ۵/۵ گرم بیوماس خشک، نسبت به مرکزی (۳/۲۵ گرم) حدود ۶۹ درصد بیشتر و نسبت به گرگان (۴/۵ گرم) ۲۲ درصد افزایش تولید زیست‌توده دارد. افزایش بیوماس خشک منعکس‌کننده عملکرد بهتر رشد کلی و ذخیره مواد مغذی در بوشهر است که می‌تواند باعث افزایش مقاومت و تولید محصول بهتر در شرایط محیطی مطالعه شود (جدول ۵).

اکوتیپ بوشهر در بیشتر پارامترهای کلیدی رشد از جمله سطح پوشش برگ و بیوماس خشک نسبت به دو اکوتیپ دیگر، عملکرد برتری دارد. افزایش قابل‌توجه در سطح پوشش برگ و بیوماس خشک نشان می‌دهد که بوشهر پتانسیل بالاتری برای جذب نور و تبدیل انرژی به زیست‌توده دارد. ارتفاع گیاه در بوشهر و گرگان تقریباً برابر است، اما تفاوت عمده در میزان سطح برگ و بیوماس خشک نشان از تفاوت کیفیت رشد بین این دو دارد.

جدول (۵): مقایسه رشد و عملکرد هر اکوتیپ

پارامتر	بوشهر (Mean ± SD)	مرکزی (Mean ± SD)	گرگان (Mean ± SD)	نسبت بوشهر/مرکزی	نسبت بوشهر/گرگان
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	۱۷ ± ۳/۵	۱۲/۵ ± ۲/۵	۱۷/۵ ± ۲/۵	۱/۳۶	۰/۹۷
سطح پوشش برگ (سانتی‌متر مربع)	۱۷ ± ۳/۴	۱۰ ± ۲	۱۴ ± ۲/۸	۱/۷	۱/۲۱
بیوماس خشک (گرم)	۵/۵ ± ۱	۳/۲۵ ± ۰/۶	۴/۵ ± ۰/۹	۱/۶۹	۱/۲۲

۳-۳- بررسی سه پارامتر مهم رشد گیاه شامل ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک در زمان استقرار کامل و زمان شروع فاز بذر

نتایج جدول (۶) نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه را برای سه پارامتر مهم رشد گیاه شامل ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک در زمان استقرار کامل در هفته نهم نشان می‌دهد. در این تحلیل، هدف بررسی تفاوت‌های معنادار آماری بین سه اکوتیپ بوشهر، مرکزی و گرگان است.

مقدار F که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، نسبت واریانس بین گروه‌ها به واریانس درون گروه‌ها است. به بیان ساده‌تر، هر چه مقدار F بزرگ‌تر باشد، نشان می‌دهد که اختلاف میانگین‌ها بین گروه‌ها نسبت به تغییرات درون هر گروه بیشتر است. این موضوع می‌تواند نشانه‌ای از تفاوت واقعی بین اکوتیپ‌ها در پارامترهای موردمطالعه باشد.

در این جدول، مقدار F برای ارتفاع گیاه برابر ۸/۷۵ است که به‌وضوح نسبت قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. این یعنی تغییرات میانگین ارتفاع گیاهان بین اکوتیپ‌ها نسبت به نوسانات درون‌گروهی آن‌ها بیشتر است. مقدار p مربوط به این پارامتر ۰/۰۰۴ است که به‌مراتب کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است. این امر بیانگر رد فرض صفر است؛ یعنی فرض اینکه میانگین ارتفاع گیاهان در سه اکوتیپ برابر است، با قاطعیت رد می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حداقل یکی از این اکوتیپ‌ها ارتفاع گیاه معنی‌داری متفاوتی نسبت به دیگری دارد.

برای پارامتر سطح پوشش برگ، مقدار F برابر ۹/۳۲ و مقدار p برابر ۰/۰۰۳ است. این نتایج مجدداً نشان می‌دهد که بین سه اکوتیپ در میزان پوشش برگ تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد. سطح پوشش برگ به‌عنوان یک شاخص مهم برای ظرفیت فتوسنتزی گیاهان و در نهایت تولید انرژی و رشد، نقش کلیدی دارد؛ بنابراین، تفاوت معنادار در این شاخص می‌تواند نشانه تفاوت کیفیت رشد و سازگاری هر اکوتیپ با محیط باشد.

پارامتر بیوماس خشک نیز با مقدار F برابر ۷/۵۸ و مقدار p معادل ۰/۰۰۷ نشان می‌دهد که تولید زیست‌توده خشک گیاهان در سه اکوتیپ مورد بررسی از نظر آماری متفاوت است. بیوماس خشک شاخصی از عملکرد کلی گیاه در جذب مواد مغذی و رشد است و تفاوت معنادار آن می‌تواند بر کیفیت و کمیت محصول تأثیرگذار باشد.

در مجموع، نتایج آنالیز واریانس بیان می‌کند که تفاوت‌های مشاهده شده در ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک میان سه اکوتیپ بوشهر، مرکزی و گرگان از نظر آماری معنی‌دار است و نمی‌توان آن‌ها را ناشی از تصادف یا نوسانات درون‌گروهی قلمداد کرد. این بدان معناست که هر یک

از اکوتیپ‌ها دارای ویژگی‌های رشد منحصربه‌فردی هستند که می‌تواند ناشی از عوامل ژنتیکی، تفاوت در سازگاری با شرایط محیطی یا هر دو باشد (جدول ۶).

جدول (٦): نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه را برای سه پارامتر مهم رشد در زمان استقرار کامل

پارامتر	مقدار F	درجه آزادی بین گروه‌ها (df1)	درجه آزادی درون‌گروهی (df2)	مقدار p	نتیجه
ارتفاع گیاه	۸/۷۵	۲	۱۲	۰/۰۰۴	**
سطح پوشش برگ (درصد)	۹/۳۲	۲	۱۲	۰/۰۰۳	**
بیوماس خشک (گرم)	۷/۵۸	۲	۱۲	۰/۰۰۷	**

**تفاوت‌ها با یک ستاره (*) برای $p < 0.05$، دوستاره (**) برای $p < 0.01$ و ns برای تفاوت غیر معنادار نشان داده شد.

نتایج جدول (۷) نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه را برای سه پارامتر مهم رشد گیاه شامل ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک در هفته دوازدهم، زمان شروع فاز بذر، نشان می‌دهد. هدف بررسی تفاوت‌های معنادار آماری بین سه اکوتیپ بوشهر، گرگان و مرکزی است.

ـ برای ارتفاع گیاه، گونه بوشهر ۴۳ سانتیمتر، گرگان ۳۸ سانتیمتر و مرکزی ۲۰ سانتی‌متر شدند (شکل ۷). مقدار F برابر ۱۸/۲ و مقدار p برابر ۰/۰۰۰۵ است که نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار و بسیار قوی بین اکوتیپ‌ها است.

ـ برای سطح پوشش برگ (درصد)، مقادیر به ترتیب بوشهر ۲۸، گرگان ۱۹ و مرکزی ۱۵ درصد شد. مقدار F برابر ۱۲/۷ و مقدار p برابر ۰/۰۰۲، تفاوت بین اکوتیپ‌ها را نشان می‌دهد.

ـ بیوماس خشک (گرم) به ترتیب ۶۵، ۵۸ و ۳۲ گزارش شد. مقدار F برابر ۱۶/۷ و مقدار p معادل ۰/۰۰۲، تفاوت معنی‌دار تولید زیست‌توده خشک بین اکوتیپ‌ها را نشان می‌دهد.

در مجموع، نتایج آنالیز واریانس بیان می‌کند که تفاوت‌های مشاهده شده در ارتفاع گیاه، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک میان سه اکوتیپ بوشهر، گرگان و مرکزی از نظر آماری معنی‌دار است و ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و سازگاری با شرایط محیطی است.

شکل (۷): اندازه‌گیری ارتفاع سالیکورنیا اکوتیپ بوشهر

جدول (۷): نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه را برای سه پارامتر مهم رشد در زمان شروع فاز بذر

پارامتر	اکوتیپ بوشهر	اکوتیپ گرگان	اکوتیپ مرکزی	مقدار F	df1	df2	مقدار p	نتیجه
ارتفاع گیاه	۴۳	۳۸	۲۰	۱۸/۲	۲	۱۲	۰/۰۰۰۵	**
سطح پوشش برگ (درصد)	۲۸	۱۹	۱۵	۱۲/۷	۲	۱۲	۰/۰۰۲	**
بیوماس خشک (گرم)	۶۵	۵۸	۳۲	۱۶/۷	۲	۱۲	۰/۰۰۲	**

۳-٤- تحلیل روند رشد از هفته ۹ تا هفته ۱۲

نتایج مشاهده‌شده در هفته ۱۲ نشان می‌دهد که اکوتیپ بوشهر با ارتفاع ۴۳ سانتی‌متر نسبت به گرگان (۳۸ سانتی‌متر) و مرکزی (۲۰ سانتی‌متر) بیشترین رشد ارتفاعی را داشته است. این اختلاف، بیانگر سازگاری بهتر اکوتیپ بوشهر با شرایط مزرعه و منابع آبی مورداستفاده است. تفاوت‌های ارتفاع بین اکوتیپ‌ها از نظر آماری نیز معنادار است ($F=18.2$، $p=0.0005$).

در مورد سطح پوشش برگ، روند افزایش از هفته ۹ تا هفته ۱۲ مشاهده شد، اما مقادیر مطلق نسبت به هفته ۹ کاهش‌یافته و به ترتیب بوشهر ۲۸ درصد، گرگان ۱۹ درصد و مرکزی ۱۵ درصد گزارش شد. این کاهش می‌تواند به دلیل شروع فاز بذر و تمرکز انرژی گیاه بر تولید اندام‌زایشی باشد. مقایسه آماری نشان می‌دهد که اختلاف سطح پوشش برگ بین اکوتیپ‌ها معنادار است ($F=12.7$، $p=0.002$).

پارامتر بیوماس خشک نیز با روند افزایشی همراه بود و مقادیر هفته ۱۲ برای بوشهر، گرگان و مرکزی به ترتیب ۶۵، ۵۸ و ۳۲ گرم گزارش شد. تفاوت‌های میانگین این پارامتر بین اکوتیپ‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار است ($F=16.7$، $p=0.002$). افزایش بیوماس خشک با آغاز فاز بذر نشان‌دهنده انتقال منابع گیاه از رشد رویشی به رشد زایشی است و نقش ژنتیک و سازگاری اکوتیپ‌ها با محیط را برجسته می‌کند؛ درمجموع، نتایج نشان می‌دهد که:

_ اکوتیپ بوشهر بیشترین عملکرد کلی را دارد و برای کشت تجاری در شرایط مشابه مزرعه‌ای مناسب است.

_ گرگان در میان اکوتیپ‌ها متوسط عمل می‌کند و می‌تواند به‌عنوان جایگزین در برنامه‌های متنوع کشت مورداستفاده قرار گیرد.

_ اکوتیپ مرکزی با عملکرد پایین‌تر، نیازمند مدیریت ویژه یا اصلاح ژنتیکی برای بهبود رشد در شرایط مشابه است.

این تحلیل نشان می‌دهد که انتخاب اکوتیپ مناسب و توجه به فاز رشد گیاه برای بهینه‌سازی عملکرد و تولید زیست‌توده و بذر اهمیت بالایی دارد.

۳-۵-تعیین ماه مناسب کشت

در این مطالعه، پنج روش کشت مختلف برای سالیکورنیا با هدف یافتن بهترین شرایط جوانه‌زنی و استقرار گیاه در اقلیم نیمه‌خشک و سرد زنجان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تکرارهای متعدد نشان داد که بهترین موفقیت کشت و بیشترین درصد جوانه‌زنی در روش پنجم حاصل شد که در شیارهای کم‌عمق و با مخلوط بذر، ماسه‌بادی و کود دامی اجرا گردید.

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و زمان اجرای آزمایش‌ها، مشاهده شد که کشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه بهترین عملکرد را به لحاظ جوانه‌زنی، رشد اولیه و استقرار گیاه به همراه داشت. در این بازه زمانی، دما و رطوبت خاک برای فرآیند جوانه‌زنی مناسب بوده و از مخاطرات سرمای دیررس و تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند. همچنین، این زمان کشت امکان بهره‌برداری از طول دوره رشد بهینه را فراهم ساخته است.

در مقابل، کشت در ماه‌های زودتر به دلیل سرمای نسبی خاک و هوا، باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و تأخیر در رشد شد که با توجه به نتایج روش‌های اول تا چهارم قابل‌مشاهده بود. از این‌رو، نتایج تکرارهای متعدد و مقایسه روش‌های کشت مختلف مؤید این است که نیمه دوم اردیبهشت به‌عنوان فصل مناسب کشت سالیکورنیا در منطقه زنجان توصیه می‌شود تا بهترین شرایط برای رشد و توسعه گیاه فراهم گردد.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که روش کشت و نوع بستر تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر موفقیت جوانه‌زنی و استقرار سالیکورنیا در شرایط نیمه‌خشک و سرد زنجان دارد. بالاترین درصد جوانه‌زنی (بیش از ۹۵ درصد) در روش پنجم، یعنی مخلوط کردن بذر با ماسه‌بادی و کود دامی به نسبت ۳ به ۱ و کاشت در شیارهای کم‌عمق، به‌دست آمد. این نتیجه با یافته‌های Ventura et al. (۲۰۱۱) همخوانی دارد که استفاده از مواد اصلاح‌کننده سبک و آلی را به‌عنوان راهبردی مؤثر برای بهبود تهویه و نفوذپذیری خاک‌های سنگین توصیه کرده‌اند. ماسه‌بادی با کاهش چگالی ظاهری و افزایش فضای خلل و فرج، شرایط مناسبی برای تبادل هوا و نفوذ آب فراهم می‌آورد، درحالی‌که کود دامی علاوه بر تأمین مواد غذایی، رطوبت بستر را پایدار نگه می‌دارد و محیط میکروبی مفیدی ایجاد می‌کند. تفاوت معنی‌دار عملکرد روش پنجم نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد که در خاک‌های سنگین و فشرده، اصلاح فیزیکی بستر پیش‌شرط اساسی برای کشت موفق سالیکورنیا است. روش‌های دارای شیارهای عمیق یا پوشش سنگین خاک (روش‌های اول، دوم و چهارم) به دلیل افزایش فشار مکانیکی بر بذر و کاهش اکسیژن‌رسانی، عملکرد ضعیفی داشتند. این امر اهمیت طراحی بستر کشت متناسب با ویژگی‌های فیزیکی خاک را برجسته می‌کند، همان‌طور که Glenn et al. (۱۹۹۹) در مطالعه آبیاری محصولات با آب دریا اشاره کرده‌اند که عملکرد بیوماس سالیکورنیا وابسته به مقدار آب دریا و شرایط خاک است. در مقایسه با مطالعات هوشمندزاده و همکاران (۱۳۹۶) که کشت در خاک سنگین چویبده آبادان با استفاده از بذر محلی و کاشت اوایل بهمن‌ماه را موفق گزارش کردند، نتایج حاضر نشان می‌دهد که در اقلیم سرد زنجان، ترکیب ماسه و کود دامی برای غلبه بر محدودیت‌های خاک سنگین ضروری‌تر است. در بخش ارزیابی اکوتیپ‌ها، اکوتیپ بوشهر در اغلب شاخص‌های رشد (ارتفاع، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک) برتری معنی‌داری نسبت به اکوتیپ‌های مرکزی و گرگان نشان داد. برتری بوشهر در تولید بیوماس خشک (۶۹ درصد بیشتر از مرکزی و ۲۲ درصد بیشتر از گرگان) حاکی از سازگاری بالای آن با شرایط اقلیمی زنجان است. این یافته با گزارش رنجبر و همکاران (۱۴۰۰) مبنی بر عملکرد بهتر اکوتیپ بوشهر در شرایط شوری بالا همسو است و نشان می‌دهد که این اکوتیپ علاوه بر تحمل شوری، توانایی رشد در دماهای پایین‌تر و یخبندان‌های متناوب را نیز دارد. به‌نظر می‌رسد تفاوت‌های ژنتیکی در کارایی فتوسنتزی و استفاده از منابع، عامل اصلی این برتری باشد، همان‌طور که Izadi et al. (۲۰۲۴) در بررسی اکوتیپ‌های *S. persica* از فلات مرکزی، ارومیه و بوشهر گزارش کردند که اکوتیپ بوشهر بازده پایین‌تری در شوری ۱۰ تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد، اما در مطالعه حاضر، برتری آن در اقلیم سرد برجسته است. در مقایسه با Glenn et al. (۱۹۹۹) که عملکرد *S. bigelovii* با آبیاری آب دریا را معادل ۲ تن بذر در هکتار گزارش کردند، نتایج حاضر پتانسیل بالاتری برای اکوتیپ بوشهر در تولید بیوماس خشک (۵/۵ گرم در گیاه) نشان می‌دهد که می‌تواند با بهینه‌سازی مقیاس کشت، به سطوح تجاری برسد. همچنین، Koshida et al. (۲۰۲۴) در بررسی قلمه گیر *S. europaea*، ریشه‌زایی بهتر در محلول ۱/۵ درصد NaCl را گزارش کردند که باتحمل شوری بالای اکوتیپ بوشهر در مطالعه ما همخوانی دارد.

یافته‌ها همچنین نشان داد که زمان کاشت نقش مهمی در موفقیت کشت دارد. کشت در نیمه دوم اردیبهشت که هم‌زمان با افزایش تدریجی دمای خاک و کاهش خطر سرمای دیررس است، بهترین نتایج را به‌همراه داشت. این نتیجه با مطالعات پیشین در مناطق مشابه (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۹۶) که تأکید بر کاشت در بازه‌های زمانی با دمای معتدل داشتند، مطابقت دارد. در مقابل، کشت زودهنگام با دمای پایین خاک، موجب تأخیر در جوانه‌زنی و کاهش بقا شد که با گزارش حمیدی و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر بهترین دمای جوانه‌زنی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد همسو است. از نظر کاربردی، نتایج این تحقیق بیانگر آن است که با انتخاب روش بستر مناسب و اکوتیپ سازگار، می‌توان سالیکورنیا را به‌عنوان یک گزینه پایدار برای احیای اراضی شور و توسعه کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک سرد معرفی کرد. استفاده از منابع آب‌شور و بی‌کیفیت که در بسیاری از مناطق کشور رو به افزایش است، می‌تواند با کشت این گیاه به فرصتی اقتصادی و زیست‌محیطی تبدیل شود، همان‌طور که Ventura and Sagi (۲۰۱۳) پتانسیل سالیکورنیا برای تولید بیودیزل و علوفه را برجسته کرده‌اند. بذرهای سالیکورنیا با محتوای روغن بالا (۳۰ تا ۴۰ درصد) پتانسیل قابل‌توجهی برای تولید روغن خوراکی و سوخت‌های زیستی دارند (Ventura and Sagi, 2013) و بیوماس سبز آن می‌تواند به‌عنوان علوفه در جیره‌های دامی مناطق خشک مورد استفاده قرار گیرد، اگرچه .Norman et al (۲۰۱۳) به محدودیت‌های ناشی از تجمع یون‌های Na^+ و Cl^- اشاره‌کرده‌اند. با این حال، برای تجاری‌سازی این گیاه در اقلیم‌های سرد، چالش‌هایی همچون کمبود ژرم‌پلاسم بهبودیافته، نیاز به ماشین‌آلات تخصصی برداشت و مدیریت دقیق منابع آب باید مدنظر قرار گیرد. همچنین، بررسی بلندمدت اثرات شوری و دما بر عملکرد سالیکورنیا، به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای و طی چرخه‌های رشد متوالی، می‌تواند به بهینه‌سازی مدیریت کشت کمک کند، همان‌طور که .Al-Tamimi et al (۲۰۲۳) در امارات بر اهمیت آبشویی کنترل‌شده تأکید کرده‌اند. در مجموع، این پژوهش نه‌تنها امکان‌سنجی موفقیت کشت سالیکورنیا در زنجان را اثبات کرد، بلکه راهکارهای عملی برای بهبود استقرار و عملکرد این گیاه در خاک‌های سنگین و شرایط نیمه‌خشک سرد ارائه داد. ترکیب یافته‌های حاضر با برنامه‌های اصلاح نژاد و توسعه فناوری‌های کاشت و برداشت با الهام از مطالعات جهانی مانند .Puccinelli et al (۲۰۲۴) در سیستم‌های هیدروپونیک شور، می‌تواند مسیر را برای بهره‌برداری پایدار و اقتصادی از این‌گونه ارزشمند در مناطق مشابه هموار سازد. با این‌حال، برای تجاری‌سازی این گیاه در اقلیم‌های سرد، چالش‌هایی همچون کمبود ژرم‌پلاسم بهبودیافته، نیاز به ماشین‌آلات تخصصی برداشت و مدیریت دقیق منابع آب باید مدنظر قرار گیرد. همچنین، بررسی بلندمدت اثرات شوری و دما بر عملکرد سالیکورنیا، به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای و طی چرخه‌های رشد متوالی، می‌تواند به بهینه‌سازی مدیریت کشت کمک کند. در مجموع، این پژوهش نه‌تنها امکان‌سنجی موفقیت کشت سالیکورنیا در زنجان را اثبات کرد، بلکه راهکارهای عملی برای بهبود استقرار و عملکرد این گیاه در خاک‌های سنگین و شرایط نیمه‌خشک سرد ارائه داد. ترکیب یافته‌های حاضر با برنامه‌های اصلاح نژاد و توسعه فناوری‌های کاشت و برداشت می‌تواند مسیر را برای بهره‌برداری پایدار و اقتصادی از این‌گونه ارزشمند در مناطق مشابه هموار سازد.

نتایج این پژوهش به‌طور قاطع نشان داد که انتخاب روش بستر کشت و اکوتیپ سازگار، دو عامل کلیدی در موفقیت کشت سالیکورنیا در شرایط نیمه‌خشک و سرد زنجان هستند. برتری روش پنجم، شامل مخلوط بذر با ماسه‌بادی و کود دامی به نسبت ۳ به ۱ و کاشت در شیارهای کم‌عمق، با دستیابی به بیش از ۹۵ درصد جوانه‌زنی، اهمیت اصلاح فیزیکی خاک‌های سنگین و بهبود تهویه و نفوذپذیری بستر را برجسته می‌کند. از نظر اکوتیپ، بوشهر در تمامی شاخص‌های رشد شامل ارتفاع، سطح پوشش برگ و بیوماس خشک، عملکرد برتری نسبت به اکوتیپ‌های مرکزی و گرگان داشت و به‌عنوان گزینه‌ای ایده‌آل برای کشت در این اقلیم معرفی می‌شود. همگرایی این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین، به‌ویژه رنجبر و همکاران (۱۴۰۰)، اعتبار علمی این انتخاب را تقویت می‌کند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب راهبردیِ انتخاب اکوتیپ بوشهر با مدیریت بهینه بستر، نه‌تنها امکان بهره‌برداری پایدار از منابع آب‌شور و خاک‌های نامرغوب را فراهم می‌سازد، بلکه می‌تواند الگویی عملی و اقتصادی برای توسعه کشاورزی مقاوم به تنش در مناطق مشابه کشور ارائه دهد.

تقدیر و تشکر

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی و پشتیبانی ارزشمند **سازمان بسیج علمی، پژوهشی و فناوری استان زنجان** و **بسیج مهندسی کشاورزی استان زنجان** که نقش مؤثری در اجرای این پروژه داشتند، صمیمانه قدردانی نمایند. همچنین، از جناب آقای دکتر انصاری، مهندس حسنی و مهندس میرزایی، ناظران سازمان مربوطه، به دلیل نظارت و همکاری در اجرای پروژه، کمال تشکر و امتنان راداریم. حمایت‌های ایشان و سایر همکاران، زمینه‌ساز اجرای موفق این طرح پژوهشی گردید؛ و همچنین از **دکتر رنجبر** هیئت‌علمی مرکز تحقیقات شوری یزد که در خصوص تأمین بذر نهایت همکاری را داشته‌اند کمال تشکر را دارم و از خدای متعال برای ایشان آرزوی سلامتی و تندرستی خواستارم.

منابع

بزرگمهر، ع.، عسگری، ح. ر.، فرزام، م.، و رنجبر، غ. (۱۴۰۳). تأثیر آب شور بر تجمع عناصر و کیفیت علوفه در گونه‌های مختلف سالیکورنیا. علوم تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی، (۲)۱۷، ۳۳۵–۳۱۹.

حمیدی، ع.، اسکوئی، ب.، و شایان‌فر، ع. (۱۴۰۳). مطالعه بر روی شرایط بهینه دما، نور، مدت زمان و بستر برای جوانه‌زنی بذر سه گونه سالیکورنیا. تحقیقات بذر ایران، (۲)۱۱، ۴۰–۱۹.

خوب، ن.، امین‌نژاد، ب.، و امیدی، ا. (۱۳۹۶). پایش کیفی و تعیین سهم رودخانه‌های واریزی بر افزایش شوری رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی استان زنجان با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K. منابع آب، (۳۲)۱۰، ۴۴–۳۳.

خوش‌خلق سیما، ن. ا.، عبادی، ع.، ریاحی سامانی، ن.، و روحانی. ب.(۱۳۹۹). سالیکورنیا: کاربردها، توان اقتصادی، کشت و بهره برداری. تهران: نشر آموزش، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

درویشی، ع.، ملکی، م.، و آقاله، م. (۱۳۹۲). مطالعه رشد Salicornia europaea و S. persica جهت کشت در اقلیم‌های شور و خشک. سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران. آذر۱۳۹۲.

رنجبر، غ. ح.، و دهقانی، ف. (۱۳۹۷). مقایسه میزان خاکستر و درصد روغن دو گونه Salicornia sinus persicaو Salicornia bigelovii آبیاری شده با آب دریا. پانزدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، شهریور ۱۳۹۷.

رنجبر، غ.، دهقانی، ف.، عال‌ءالدین، آ.، سلطانی گردفرامرزی، و.، و کشتکار، س. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد برخی گونه‌ها و اکوتیپ‌های سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریا و آب شور زیرزمینی. پژوهش آب در کشاورزی، (۲)۳۵، ۱۹۹–۱۸۷.

رنجبر، غ.، دهقانی، ف.، و رحیمیان، م. (۱۴۰۱). گونه‌های بومی سالیکورنیا با ارزش اقتصادی در فلور ایران. طبیعت ایران، (۱)۷، ۵۰–۴۵.

سازمان هواشناسی کشور (۱۴۰۲). گزارش سالانه وضعیت اقلیم و پدیده‌های جوی ایران در سال ۱۴۰۲. تهران: سازمان هواشناسی کشور.

عالی‌پور، س.، سلطانی، ا.، الهدادی، ا.، قربانی‌جاوید، م.، و اکبری، غ. (۱۴۰۱). تأثیر تاریخ کاشت و شوری بر پایداری زیستی سالیکورنیا (Salicornia iranica) در برابر تنش ریزگرد. تولید گیاهان زراعی، (۱)۱۵، ۲۰۴–۱۸۷.

محمودی، ع.، و دانش، م. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر شوری روی برخی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و کشت درون شیشه‌ای گیاه هالوفیت.Salicornia europaea. اصلاح گیاهان زراعی، (۲۹)۱۱، ۱۶۸–۱۶۱.

نژادقنبر، م. (۱۳۹۶). معرفی کاربردهای گونه Salicornia سالیکورنیا. نخستین کنفرانس بین‌المللی علوم کشاورزی، دامی، منابع طبیعی، محیط زیست، گردشگری روستایی و گیاهان دارویی کشورهای اسلامی، مشهد، آبان ۱۳۹۶.

هوشمندزاده، ع.، پورمقدم، م.، یزدان‌پناه، م.، و شکوهی‌فر، م. (۱۳۹۶). امکان‌سنجی کشت گیاه سالیکورنیا در خاک با بافت سنگین (مطالعه موردی: منطقه چویبده آبادان). اولین همایش ملی شوروزی، یزد، آبان ۱۳۹۶.

Al-Tamimi, M., Green, S., Abou Dahr, W., Al-Muaini, A., Lyra, D., Ammar, K., Dawoud, M., Kenyon, P., Kemp, P., Kennedy, L., McLachlan, A., and Clothier, B. (2023). Drainage, salt-leaching impacts, and the growth of Salicornia bigelovii irrigated with different saline waters. Agricultural Water Management, 289, 108441.

Daoud, S., Harrouni, M. C., and Bengueddour, R. (2001). Biomass production and ion composition of some halophytes irrigated with different seawater dilutions. In First International Conference on Saltwater Intrusion and Costal Aquifers Monitoring, Modeling, and Management. Essaouira, Morocco.

Fussy, A., and Papenbrock, J. (2024). Molecular analysis of the reactions in Salicornia europaea to varying NaCl concentrations at various stages of development to better exploit its potential as a new crop plant. Frontiers in Plant Science, 15, 1454541.

Glenn, E. P., Brown, J. J., and Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. Critical reviews in plant sciences, 18(2), 227-255.

Izadi, Y., Nabipour, M., and Ranjbar, G. (2025). Variations in growth, physiology and fodder quality among salicornia persica ecotypes irrigated with persian gulf seawater. Scientific Reports, 15(1), 28850.

Koshida, K., Kawagishi, K., and Ito, Y. (2025). Cutting propagation of Salicornia europaea L. and the optimum NaCl and nutrient solution levels for its rooting and growth. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 100(2), 265-271.

Lombardi, T., Bertacchi, A., Pistelli, L., Pardossi, A., Pecchia, S., Toffanin, A., and Sanmartin, C. (2022). Biological and agronomic traits of the main halophytes widespread in the Mediterranean region as potential new vegetable crops. Horticulturae, 8(3), 195.

Noorollahi, Y., Sokhansefat, S., Sokhansefat, T., Rahmani, K., and Jalilinasrabadi, S. (2015). Biodiesel resources assessment and production capacity evaluation from Salicornia Plant in Golestan Province, Northeast Iran. International Journal of Renewable Energy Research, 5(3), 847-858.

Norman, H. C., Masters, D. G., and Barrett-Lennard, E. G. (2013). Halophytes as forages in saline landscapes: Interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. Environmental and Experimental Botany, *92*, 96-109.

Puccinelli, M., Marchioni, I., Botrini, L., Carmassi, G., Pardossi, A., and Pistelli, L. (2024). Growing Salicornia europaea L. with saline hydroponic or aquaculture wastewater. Horticulturae, 10(2), 196.

Ventura, Y., and Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for Salicornia and Sarcocornia. Environmental and Experimental Botany, 92, 144-153.

Ventura, Y., Eshel, A., Pasternak, D., and Sagi, M. (2011). The development of halophyte-based agriculture: Past and present. Annals of Botany, 107(3), 529–540.

Yucel, C., Farhan, M. J., Khairo, A. M., Ozer, G., Cetin, M., Ortas, I., and Islam, K. R. (2017). Evaluating Salicornia as a Potential Forage Crop to Remediate High Groundwater-Table Saline Soil under Continental Climates. International Journal of Plant & Soil Science.

Zerai, D. B., Glenn, E. P., Chatervedi, R., Zhongjin, L., Mamood, A. N., Nelson, S. G., and Ray, D. T. (2010). Potential for the improvement of Salicornia bigelovii through selective breeding. Ecological Engineering, 36, 730–739.

Management of Natural Ecosystems
Volume 4, Issue 3, Autumn 2024, 1-13
http://emj.ardakan.ac.ir/article_729541.html

Feasibility Study of Cultivation and Identification of a Suitable Ecotype of Salicornia in Cold Semi-Arid Ecosystems through Evaluation of Different Cultivation Bed Methods (Case Study: Zanjan)

Peyman Akbarzade[1]*, Hassan Shadman[2], Mehran Akbarzadeh[3], Farhad Aghajanlou[4], Ghobad Rostami zad[5]

CC BY

Research Article

1. Research Fellow, Forest and Rangeland Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zanjan, Iran.

akbarzadeh1369@gmail.com

*Corresponding author

2. Research Fellow, Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zanjan, Iran.

h.shadman.a@gmail.com

3. Ph.D. in Environmental Engineering, Grape Research Institute, Malayer University, Hamedan, Iran.

mehranakbarzadeh92@gmail.com

4. Research Assistant Professor, Forest and Rangeland Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zanjan, Iran.

faghajanloo@yahoo.com

5. Research Assistant Professor, Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zanjan, Iran.

rostamizad60@gmail.com

Article Code: 2508-1113
Countinus Pagination: 828-840

Received: 18 August 2025
Accepted: 03 September 2025
Online: 23 September 2025
Review speed: 17 days

Citation:
Akbarzade, P., Shadman, H., Akbarzadeh, M., Aghajanlou, F., and Rostami zad, G. (2024). Feasibility Study of Cultivation and Identification of a Suitable Ecotype of Salicornia in Cold Semi-Arid Ecosystems through Evaluation of Different Cultivation Bed Methods (Case Study: Zanjan, Iran). Management of Natural Ecosystems, 4(3), 1-13.

Abstract

This study aimed to evaluate the feasibility of cultivating the halophyte Salicornia (*Salicornia* spp.) in the cold semi-arid climate of Zanjan, to identify the optimal seedbedpreparation method, and to select a suitable ecotype. Five different cultivation methods, focusing on various seed–bed combinations, were tested. The results showed that sowing seeds mixed with sandy soiland farmyard manure (ratio 3:1) in shallow furrows achieved a germination rate of 95% (replicate means: 93%, 96%, 96%), and provided the best performance in the heavy, compact soils of the region. This method improved soil aeration and permeability, thereby creatingfavorable conditions for plant establishment, while other methods (with 2–15% germination) achieved only limited successdue to soil compaction or inadequate cover. In the ecotype comparison section, three ecotypes—Bushehr, Markazi, and Gorgan—were evaluated under Zanjan's climatic conditions. The Bushehr ecotype was superior in key growth indicators: plant height was 17 cm (36% higher than Markazi at 12.5 cm, similar to Gorgan at 17.5 cm), leaf cover area of 17 cm² (70% higher than Markazi at 10 cm², 21% higher than Gorgan at 14 cm²), and dry biomass of 5.5 g (69% higher than Markazi at 3.25 g, 22% higher than Gorgan at 4.5 g). One-way analysis of variance (ANOVA) confirmed statistically significant differences in all parameters ($p < 0.01$). These findings highlight the high adaptability of the Bushehr ecotype to Zanjan's cold semi-arid conditions, making it an ideal candidate for sustainable cultivation and saline land reclamation. Cultivating Salicornia in such areas can utilize saline water resources and contribute to sustainable agriculture and the production of forage or edible oil. Further research is recommended to optimizecultivation management, evaluatelong-term effects of salinity and temperature, and developimproved germplasm to thereby facilitating the commercialization of this plant in similar climates.

Key Words:

Salicornia, semi-arid cultivation, germination, dry biomass, biological restoration.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.729541