مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

کشاورزی امنیت مبنا بر پایه‌ی گیاه‌پالایی در اراضی شور نامتعارف با تمرکز بر گیاه *سالیکورنیا*

نوع مقاله: مروری

فاطمه لونی[۱]، نیراعظم خوش‌خلق سیما*[۲]

۱- گروه زیست شناسی سیستم‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- گروه فیزیولوژی ملکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

ksima@abrii.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳

صفحه ۱۰۶-۹۱

چکیده

جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به نه میلیارد نفر می‌رسد، تامین غذای این جمعیت از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش‌روی جامعه جهانی است. احیای زمین‌های آلوده، استفاده از منابع آبی شور و کشاورزی در خاک‌های شور نامتعارف، استفاده از محصولات متنوع برای تولید غذای بیشتر برای جمعیت رو به رشد جهان، از روش‌های مقابله با تهدید تغییرات اقلیمی است. در این میان، شوری خاک مانعی بزرگ برای کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تلقی می‌شود که باعث تخریب زمین، بیابان‌زایی و کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود. به‌تازگی مفهوم گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان به‌عنوان حذف‌کننده آلاینده‌ها از خاک مورد توجه قرار گرفته‌است. از جمله این گیاهان می‌توان به هالوفیت‌ها اشاره کرد. *سالیکورنیا* (*Salicornia* spp.) گیاهی است هالوفیت که توانایی جذب نمک از خاک و ذخیره در برگ را دارد و با داشتن خصوصیات منحصر به فردی مانند تحمل زیاد نسبت به شوری و امکان استفاده از آب شور برای آبیاری به‌عنوان گیاهی استراتژیک شناخته می‌شود. باتوجه به کمبود اراضی زراعی قابل کشت در ایران، استفاده از *سالیکورنیا* با ایجاد پتانسیل بهره‌برداری از اراضی غیر زراعی شور با هدف گیاه‌پالایی و استفاده از منابع آبی شور و نامتعارف کشور می‌تواند تا ۵ میلیون هکتار به اراضی زراعی کشور اضافه کند. با در نظرگرفتن کاربردهای صنعتی و زیست محیطی *سالیکورنیا* می‌توان از آن جهت ایجاد نسل جدید صنعت کشاورزی هالوفیت مبنا در راستای اقتصاد مقاومتی برای ایجاد امنیت غذایی در حوزه کشاورزی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد مقاومتی، امنیت غذایی، گیاه‌پالایی، شوری، *سالیکورنیا*.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

مقدمه

تغییرات آب و هوایی و نقش آن بر شوری خاک

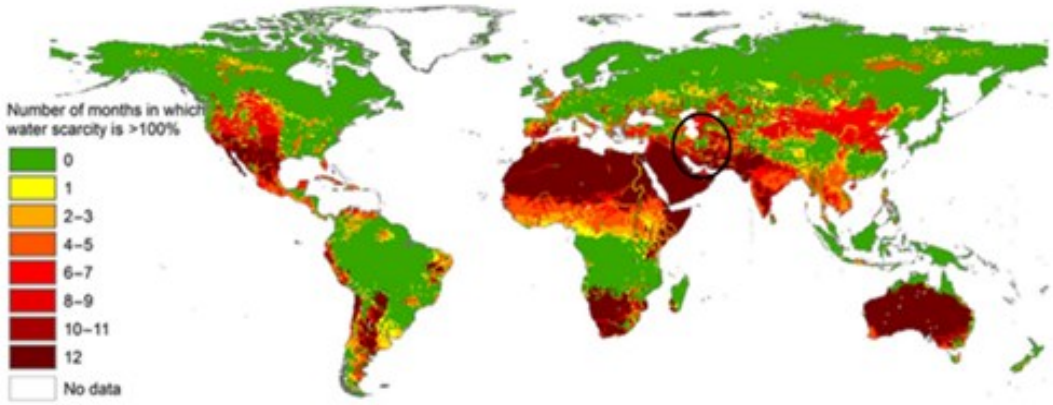
تغییرات آب و هوایی و امنیت غذایی دو موضوع اصلی قرن بیست و یکم هستند. جمعیت جهان در سال ۲۰۱۸، هفت میلیارد نفر گزارش شد و انتظار می رود که این میزان ۳۵ درصد افزایش یابد و در سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر برسد. براساس اعلام سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، برای تامین غذای جمعیت در حال رشد جهان در آینده، تولید محصولات زراعی باید حداقل ۶۰ درصد افزایش یابد (Zeinalabedini et al. 2021). منابع خاک و آب برای زندگی بر روی زمین اساسی است و با مسائل جهانی مانند امنیت غذایی و آب، حفاظت از تنوع زیستی و سلامت انسان ارتباط حیاتی دارند (Ullah et al. 2021). نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان وجود ندارد و تنها راه‌حل بهبود روش‌های استفاده از سایر منابع آبی است. یکی از مشکلات عمده در خصوص منابع محدود آب شیرین افزایش روز افزون جمعیت جهان است. بخش کشاورزی با خشکسالی، بارندگی شدید، نوسانات دما، شوری و حملات آفات به محصولات عمده غذایی به شدت تهدید می‌شود (Mukhopadhyay et al. 2021). از این میان شوری در زمین‌های کشاورزی نیمه خشک و ساحلی و به ویژه در مناطق خشک جهان مشهودتر است. تغییرات در الگوهای آب و هوایی منجر به تناوب خشکسالی مکرر یا بارندگی بیشتر از مقدار متوسط برای بیش از یک دهه شده است. حرکت رو به بالای آب در مناطق با سطح آب کم عمق و مناطق ساحلی با نفوذ آب دریا منجر به شوری ناحیه ریشه شده است باید توجه داشت که تغییرات بارندگی و دما تأثیر بیشتری بر شوری خاک دارد (Ayanlade et al. 2018). در مطالعه‌ای (Bannari and Al-Ali 2020) گزارش شده است که اثرات بلندمدت افزایش دما و کاهش بارندگی به مدت ۳۰ سال با افزایش شوری خاک در مناطق خشک همبستگی مثبت دارد. علاوه‌بر سایر عوامل موثر بر مسئله کم آبی و بحران آب می‌توان خسارت‌های وارد شده به وسیله انسان به محیط زیست مانند آسیب رساندن به منابع آب، مصرف بیش از حد و بی رویه آن ، عدم مدیریت درست بهره‌برداری از منابع آب و تغییرات جوی زمین و روند گرمایشی زمین را نیز بر آن اضافه کرد (Corwin. 2021). شکل یک بحران آب در وسعت جهانی را نشان می‌دهد که کشور ما نیز جزء مناطق دچار بحران شدید است.

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت در کشور و به دنبال آن افزایش تقاضا برای غذا، نیاز به توسعه کشاورزی در کشور بیش از پیش ضروری بنظر می‌آید. براساس آمار منتشر شده از سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، ۸۰۰

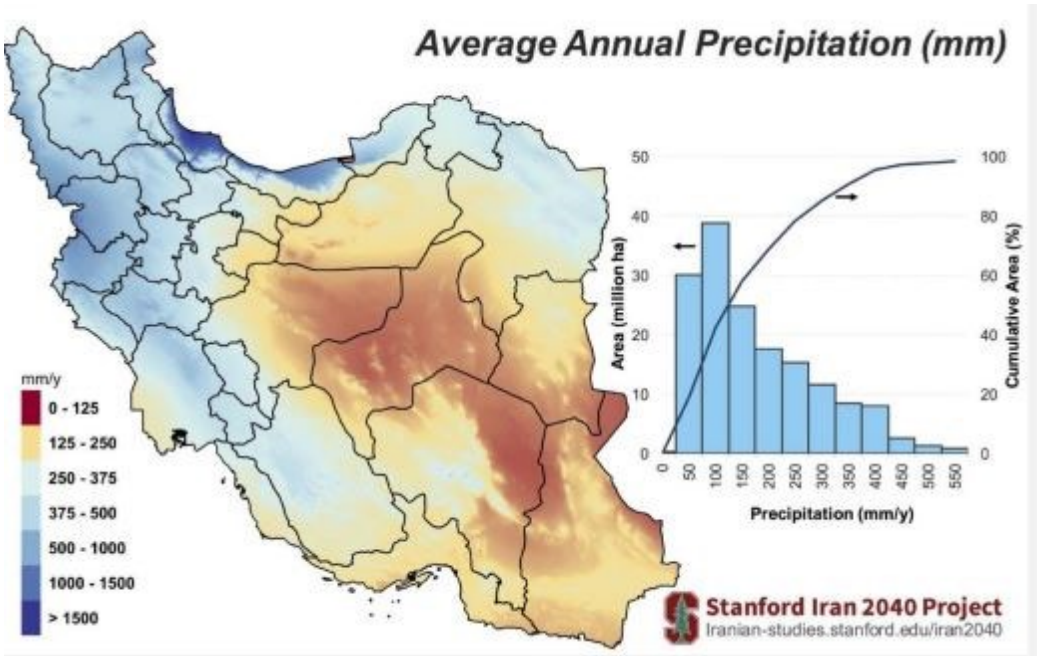
[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

میلیون نفر با گرسنگی مزمن مواجه هستند (Alkharabsheh et al. 2021). همچنین کشور ما در کمربند خشک جهانی قرار دارد و منابع آبی محدود در ایران یکی از عوامل بازدارنده اصلی در توسعه کشاورزی است. از طرفی دیگر وجود خاک‌های شور وسیع در ایران که مساحتی حدود ۳۴ درصد از وسعت کل کشور را به خود اختصاص داده‌اند عامل بازدارنده دیگری در راستای توسعه کشاورزی است.

(الف)



(ب)



شکل ۱- (الف) بحران آب در وسعت جهانی (Bond et al. 2019) (ب) میزان بارش سالیانه در ایران (Mesgaran et al. 2016)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

شوری خاک در جهان و ایران

شوری خاک بر ۲۰٪ زمین‌های کشاورزی که ۴۰٪ غذای جهان را تولید می‌کند تاثیر می‌گذارد (Xu et al. 2017). شوری با اثرات مخربی که بر روی سلول‌های گیاهی از جمله آسیب یونی و برهم زدن تعادل اسمزی دارد، رشد و بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند (Pan et al. 2020). به‌همین‌منظور توسعه و استفاده از زمین‌های شور-قلیایی با هدف اصلاح ژرم پلاسم متحمل به نمک راه‌حلی برای بهبود اراضی شور محسوب می‌شود (Flowers. 2004). سطح زراعی قابل کشت زمین در سال ۲۰۲۰، ۴/۷ بیلیون هکتار گزارش شده است (FAO. 2023).

طبق آمار منتشر شده سازمان خوار و بار جهانی (FAO) شوری در ۴۲۰ میلیون هکتار از اراضی جهان در عمق (۳۰-۰ سانتیمتر) و ۸۳۳ میلیون هکتار شوری در عمق (۱۰۰-۳۰ سانتیمتر) وجود دارد (FAO. 2021)، علاوه‌براین، یک میلیارد هکتار از ارضی تحت تاثیر شوری قرار دارند که این میزان معادل بیش از ۲۰ درصد کل اراضی قابل کشت آبی است (Qadir et al. 2014). توزیع و پراکندگی اراضی شور در سطح جهان یکنواخت نیست. به‌طوریکه قاره آسیا (به خصوص خاورمیانه) ۷/۴ میلیون کیلومترمربع و قاره آفریقا با حدود ۲/۲۹۲ میلیون کیلومترمربع اراضی شور دارای بیشترین سطح اراضی شور است. پس از آن قاره استرالیا و اقیانوسیه با حدود ۱/۳۱۳ میلیون کیلومترمربع، آمریکای جنوبی ۰/۵۲۷ میلیون کیلومترمربع، آمریکای شمالی ۰/۴۲۲ میلیون کیلومترمربع و اروپا ۰/۰۲۴ میلیون کیومترمربع دارای اراضی شور است (Hassani et al. 2020).

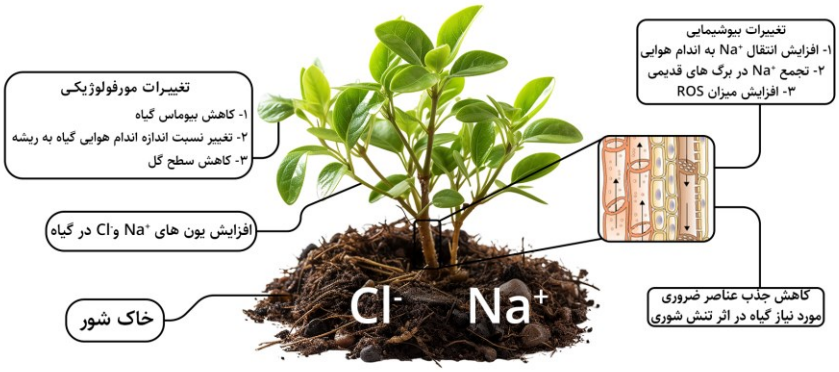
اثرات شوری بر گیاهان و کشاورزی

تنش شوری با اثر منفی بر فرآیند جوانه‌زنی، فتوسنتز، قابلیت دسترسی آب برای گیاه و اختلال در فرآیندهای آنزیمی و بیوشیمیایی، موجب کاهش وزن خشک در گیاهان می‌شود. پژوهشگران کاهش پایداری غشای سلولی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز، کاهش تورژسانس سلول‌ها، بهم ریختگی یکپارچگی کلروپلاست، کاهش تعداد میتوکندری در نتیجه کاهش توسعه برگ‌ها، تجمع یون سدیم در برگ و در نهایت کاهش عملکرد دانه را به‌عنوان خسارت‌های عمده ناشی از تنش شوری در گیاهان زراعی بیان کرده‌اند (Kwon et al. 2019).

به‌طور ویژه شوری باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و پایداری پروتئین‌های کلیدی فتوسنتز مانند روبیسکو (RuBisCO: ribulose-1,5-bisphophate carboxylase/oxygenase) می‌شود. شوری همچنین پیام‌رسانی قندهایی مانند ساکارز و فروکتوز را دچار مشکل می‌کند (Zhao et al. 2021).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

تنش شوری ۲۰٪ سطح زیر کشت جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش ۲۰ درصدی عملکرد می‌شود (Zaman et al. 2018). استفاده بی‌وقفه از آب‌های زیرزمینی منجر به افزایش شدید شوری خاک می‌شود. برای آبیاری محصولات زراعی از آب‌های زیرزمینی با کیفیت خوب انجام نمی‌شود که این امر موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود. آبیاری به ندرت با آبی انجام می‌شود که فاقد بعضی از نمک‌ها باشد، بنابراین تا زمانی که مدیریت سیستم‌های آبیاری نتواند نمک‌ها را از طریق آب‌شویی از پروفیل خاک خارج کند، املاح در خاک تجمع می‌یابند. یک پنجم اراضی آبی جهان در معرض شوری است، و روزانه به‌طور متوسط ۲۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی که در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند به طور نامطلوبی در معرض مشکلات ناشی از شوری آب قرار می‌گیرند. (شکل ۲) (Hammami et al. 2020).



شکل ۲- تنش شوری موجب تغییرات مورفورژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود.

گیاه‌پالایی

اصلاح خاک‌های شور به‌طور عمده از طریق اعمال اصلاحات شیمیایی حاصل شده است. از تکنیک‌های اصلاح خاک‌های شور: شست‌وشو با آب، افزودن ترمیم‌کننده‌های ارگانیک به‌عنوان بهبوددهنده وضعیت خاک، بافت خاک و ظرفیت آب‌شویی و افزودن ترمیم‌کننده‌های شیمیایی است (Shaygan and Baumgartl, 2022). با این حال، هزینه‌های اصلاح خاک‌های شور در دو دهه گذشته به دلیل تقاضاهای رقابتی صنعت و کاهش یارانه‌های دولتی بخش کشاورزی در چندین کشور در حال توسعه، افزایش چشمگیری داشته است. با توجه به این نکته که میزان آب شیرین در دسترس برای اصلاح خاک بسیار اندک است و اصلاح خاک شور از طریق اصلاحات شیمیایی، از لحاظ زیست محیطی و اقتصادی به صرفه نیست

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

بنابراین، کشت گونه‌های متحمل به نمک می‌تواند راه کاری موثر برای بهبود این وضعیت باشد. به‌تازگی تکنیکی جدید ایمن و پاک از نظر زیست محیطی به نام گیاه‌پالایی برای رفع مشکل خاک‌های آلوده به شوری و فلزات سنگین معرفی شده است. گیاه‌پالایی یا Phytoremediation در اصطلاح یونانی از دوکلمه Phyto به معنی گیاه و Remedium به معنای چاره یا علاج ساخته شده‌است و به مفهوم استفاده از گیاه برای احیاء و اصلاح خاک است (Lee et al. 2023).

مکانیسم گیاه‌پالایی بر مبنای جذب آلودگی از طریق ریشه گیاه است. عناصر آلوده‌کننده خاک می‌توانند در گیاه ذخیره وتوسط گیاه جذب و دفع شوند و یا اینکه پس از جذب توسط گیاه دچار تغییراتی شوند. گیاه‌پالایی از لحاظ مکانیسم بر یک اصل پایه استوار است و آن جذب آلودگی از طریق ریشه گیاه است (Naeem et al. 2023). در این روش از گونه‌های حذف کننده نمک (یون) برای کنترل شوری و حفظ پایداری مزارع کشاورزی استفاده می‌شود. خاک های شور را می‌توان از طریق پوشش گیاهی با استفاده از هالوفیت‌ها اصلاح کرد. میزان تولید محصول، تحمل در شرایط تنش‌های غیرزیستی، مقاومت گیاه در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله عوامل کلیدی برای انتخاب گیاه مناسب برای احیاء و بازسازی خاک آلوده است. ریشه هالوفیت‌ها با رشد در عمق خاک باعث عبور جریان هوا و آب می‌شود و از این طریق به بهبود وضعیت خاک کمک می‌کند. این گیاهان نه تنها خاک‌های آلوده به نمک را اصلاح می‌کنند، بلکه غذا، علوفه، سوخت زیستی و مواد خام صنعتی را نیز تأمین می‌کنند و از این طریق درآمد کشاورزان صاحب زمین‌های آلوده به نمک را افزایش می‌دهند (Hasanuzzaman et al. 2014).

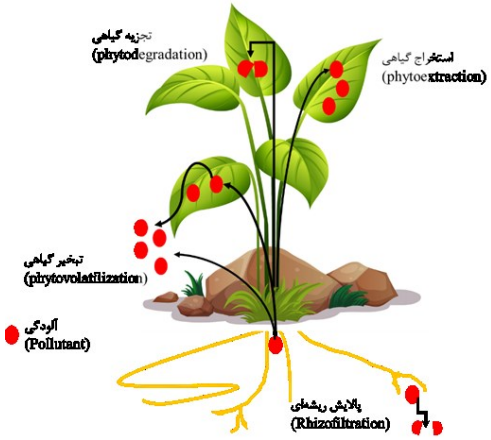
گیاه‌پالایی اراضی شور دارای مزایای مختلفی ازجمله، عدم نیاز به سرمایه‌گذاری برای خرید اصلاح‌کننده‌های شیمیایی، درآمدزایی از طریق برداشت گیاهان رشد کرده، افزایش پایداری خاکدانه و ایجاد ماکروپور که بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و نفوذ ریشه را به دنبال دارد، افزایش دسترسی عناصر غذایی خاک پس از گیاه‌پالایی و بهبود عمق خاک است (Rafati et al. 2021).

از عمده محدودیت‌های گیاه‌پالایی روند آهسته تر نسبت به متوسط روش‌های سنتی است. گیاهان در هر فصل رشد فقط مقدار کمی از آلودگی را اصلاح یا کاهش می‌دهند، پس طی چندین دهه یک منطقه را به‌طور مناسب پاکسازی می‌کنند. به‌علاوه محدودیت‌هایی برای رشد گیاه وجود دارد مثل دما، نوع خاک و دسترسی به آب که می‌تواند یک منطقه را برای گیاه‌پالایی نامناسب کند. سیستم های پالایش گیاه نمی‌تواند بطور کامل از آب

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

شویی آلاینده‌ها به داخل آب زیر زمینی جلوگیری کنند (Kumar et al. 2021).

در فرآیند گیاه‌پالایی، گیاهان مکانیسم‌های مختلفی را در مقابله با شوری خاک از خود نشان می‌دهند که از جمله می‌توان به مهمترین تکنیک‌های استفاده شده در گیاه‌پالایی، پالایش ریشه‌ای (rhizofiltration)، تثبیت گیاهی (phytostabiliz)، تبخیر گیاهی (phytovolatilization) و استخراج گیاهی (phytoextraction) اشاره کرد (شکل ۳). بنابراین، انتخاب گونه گیاهی با توجه به هدف فرآیند گیاه‌پالایی متفاوت بوده و از مراحل تعیین‌کننده این فرآیند است (Kafle et al. 2022). با وجود اینکه فرآیند گیاه‌پالایی هزینه بسیار پایین‌تری نسبت به دیگر روش‌ها دارند، اما با توجه به اینکه انجام این فرآیند در اراضی کشاورزی آلوده مستلزم جایگزینی کشت فعلی است، بنابراین انتخاب گونه‌های گیاهی در این شرایط باید طوری باشد که علاوه‌بر بحث پاکسازی خاک، توجیه اقتصادی مناسبی نیز برای کشاورز داشته باشد. چنین اقدامی در صورت اجرا و مدیریت صحیح می‌تواند به تولید غذای سالم برای انسان و دام در اراضی کشاورزی آلوده و همچنین مدیریت و احیای پوشش گیاهی مراتع اطراف معادن منجر شود. برخی دیگر از گونه‌های گیاهی با توانایی جذب و انتقال نمک نیز علاوه‌بر پاکسازی خاک، به دلیل داشتن ارزش افزوده بالا می‌توانند موجب سودآوری مناسب و بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان شوند. بنابراین، انتخاب گیاهان جایگزین در اراضی شور با بهره‌وری اقتصادی مناسب مانند گیاهان هالوفیت، جهت برداشت آلاینده‌ها از خاک، می‌تواند یک استراتژی موثر برای مدیریت و پاکسازی اراضی آلوده باشد (Khoshkholgh Sima et al. 2019).



شکل ۳- تکنیک‌های استفاده شده در گیاه‌پالایی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

کشاورزی شور و گیاهان شورپسند

کشاورزی هالوفیت مبنا می‌تواند سازگاری به محیط‌های شور و کاهش میزان آب تازه را آسان کند. همچنین بسیاری از نمک‌ها، خاک را جهت کشت نامناسب می‌کنند که با این روش خاک‌های شور تبدیل به مناطق کشاورزی سودمند می‌شوند. در این روش می‌توان شوری را فرصتی برای بهره‌برداری پایدار از منابع شور و غیرقابل استفاده دانست. اگرچه مفهوم کشاورزی شور جدید نیست پژوهش‌های محدودی که نتایج حاصل از آن قابل استناد برای مقیاس وسیع باشد، انجام شده است. در ابتدا نیاز به ارزیابی تحمل به شوری گونه‌های گیاهی برای کشت در شرایط شور است. از آنجایی که محصولات سنتی نسبتاً به شوری خاک حساس هستند و تنها قابل کشت در شوری‌های متوسط هستند قابل کشت کردن هالوفیت‌ها باید مورد بررسی قرار گیرد.

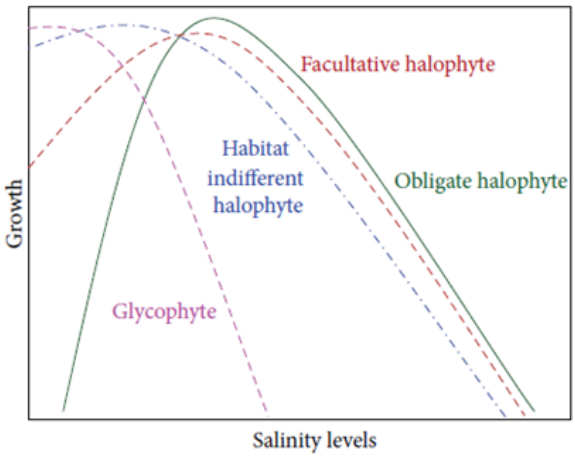
در بحث مقاومت به شوری دو نوع طبقه‌بندی گیاهی وجود دارد: هالوفیت‌ها و گلیکوفیت‌ها. هالوفیت‌ها در به دست آوردن مواد مغذی از یک محیط بسیار شور مهارت دارند، در شرایطی که گلیکوفیت‌ها توانایی رشد و نمو در شرایط شوری را ندارند (Alishahi et al. 2020). بسیاری از گیاهان سازگار با نمک از هالوفیت‌های خاکزی (terrestrial halophytes) هستند که شامل گیاهان یکساله، چند ساله علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی است و بعضی از آنها به‌طور منحصر با آب دریا رشد می‌کنند (Yuan et al. 2022). هالوفیت‌ها گیاهان بسیار متحمل به نمک هستند که می‌توانند در مناطقی با سطوح شوری بالاتر از ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl رشد کنند و شامل بیش از ۶۰۰ گونه از جنس‌ها و گونه‌های مختلف هستند (Komaresofla et al. 2019).

در مقابل، گلیکوفیت‌ها گیاهان حساس به شوری هستند که در آنها رشد و نمو به‌طور معکوس با شور شدن خاک مهار می‌شود (Zhao et al. 2021).

هالوفیت‌ها را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: ۱- اجباری ۲- اختیاری ۳- هالوفیت‌های بی تفاوت (شکل ۴). هالوفیت‌های اجباری فقط در زیستگاه‌های شور رشد می‌کنند و در شوری بالا رشد و نمو مناسب دارند. گونه‌هایی از خانواده‌ی *Chenopodiaceae* در این گروه قرار دارند. هالوفیت‌های اختیاری می‌توانند در شرایط شور رشد کنند، اما رشد بهینه آن‌ها در شرایط بدون نمک یا حداقل کم نمک است. گونه‌های *Cyperaceae*، *Cyperaceae* و *Poaceae* متعلق به این گروه هستند. هالوفیت‌های بی‌تفاوت نسبت به محیط رشد خود حساس نیستند و در شرایط شور شدن خاک در مقایسه با گیاهان حساس قادر به ادامه رشد و نمو هستند. *Chenopodium glaucum* و *Myosurus minimus* از جمله

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

گیاهانی هستند کـه می‌تواننـد در هـر زیسـتگاهی رشد کنند (Hasanuzzaman et al. 2014).



شکل ۴- اثر شوری بر رشد گیاهان با درجه متفاوت مقاومت نسبت به پاسخ به شوری(Hasanuzzaman et al. 2014)

توسـعه زیسـت فنـاوری گیاه‌پـالایی در گـرو شناسـایی یـا ایجـاد گیـاه مناسـب بـا توانـایی و سازگاری بـالا و دارای ارزش اقتصـادی اسـت، از اینـرو، گیـاه «*Salicornia*» را بـا توجـه بـه خصوصیات و کاربردهای آن می توان مدنظر قرار داد.

سالیکورنیا

نام *سالیکورنیا* از کلمه لاتـین بـه معنـای نمـک گرفته شده است، یکی از متحمل‌تـرین گونـه‌هـای گیاهی به نمک در جهان اسـت. گیـاهی هالوفیـت است که می‌تواند تا ۱۰۰۰ میلـی مـولار NaCl یـا بیشـتر را تحمـل کنـد (Cárdenas-Pérez et al. 2021). *سالیکورنیا* به‌طور طبیعی در سواحل دریـا و حاشیه مانداب‌های شـور رشـد و تکامـل یافتـه است. ارتفاع این گیاه به‌طور معمـول کمتـر از ۳۰ سانتیمتر ساقه بندبند و آبدار، بـرگ‌هـا کوچـک و فلس مانند تا جایی‌که گاهی بی‌برگ تلقی می‌شود، اغلب گونه‌ها سبز رنگ و در پاییز شـاخه و بـرگ قرمز، گل‌ها هرمافرودیت و گرده‌افشانی از طریـق باد، میوه کوچک و آبدار و شامل یک بـذر منفـرد اسـت. تکثیـر *سـالیکورنیا* بـه وسـیله بـذر انجـام می‌شود و جوانـه‌زنی بـذر تحـت تـنش شـوری و تغییرات فشار اسمزی کاهش می‌یابد (Cárdenas-Pérez et al. 2022). چرخـه زنـدگی *سـالیکورنیا* شامل مرحله پراکندگی و جوانه‌زنی بـذر، مرحلـه جوانی، مرحله رشد رویشی نمایی، مرحله گلدهی، مرحله باردهی و مرحله رسیدگی است. *سالیکورنیا* می‌تواند در آب‌های نمکی غوطه‌ور باشد و از نظر چرخه فتوسنتزی سیکل C4 دارد. تقریباً بـه طـول دوره رشـدی معـادل ۲۰۰ روز در شـرایط آب و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

هوایی نیمه استوایی و با استفاده از آب دریا نیاز دارد، که این وضعیت در سواحل جنوبی، مناطق شور و باتلاقی کشورمان به خوبی حکم فرما است. *سالیکورنیا* در صنایع دارویی و کاغذسازی نیز کاربرد دارد. همچنین، به‌دلیل محتوای سلولزی این گیاه و میزان زیست‌توده‌ی بالای آن، به‌عنوان سوخت زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zeinalabedini et al. 2021; Moatabarniya et al. 2022). *سالیکورنیا* حاوی مقدار قابل توجهی NaCl (۵۵/۶٪) و مواد معدنی با طعم شور قوی است که می‌تواند جایگزین نمک خوراکی شود. شاخساره‌های خشک *سالیکورنیا* به‌عنوان جایگزین طبیعی نمک در اشکال مختلف استفاده می‌شود (Antunes et al. 2018). دانه *سالیکورنیا* حاوی ۲۶ تا ۳۳ درصد روغن است که از این جهت مشابه گیاه گلرنگ است، همچنین دارای ۳۰ تا ۳۳ درصد پروتئین است. اعضایی از *Salicornioideae* نامزدهای امیدبخشی برای کشاورزی در مناطق شور هستند. به‌عنوان مثال، *Salicornia bigelovii* Torr به‌عنوان یک گیاه هالوفیت به منظور کشت در مناطق شور و تولید روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد (Katschnig et al. 2013; Zeinalabedini et al. 2021). ایران خاستگاه برخی گونه‌های *سالیکورنیا* است. گونه‌هایی از *سالیکورنیا* در ایران به‌طور عمده در بخش‌های مرکزی، غربی و شمالی گسترده شده‌است، از این جهت، انتخاب گونه‌های بومی *سالیکورنیا* می‌تواند راه‌حل مناسبی برای توسعه کشاورزی در برابر تغییرات اقلیمی ایران باشد و همچنین در ایجاد نسل جدید صنعت کشاورزی هالوفیت مبنا در راستای اقتصاد مقاومتی جهت ایجاد امنیت غذایی در حوزه کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۵).



شکل ۵- *سالیکورنیا* (تصاویر از نویسندگان).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

سالیکورنیا به‌طور موثری در کاهش مقدار نمک و فلزات سنگین ایفای نقش می‌کند و می‌توان از آن به‌عنوان گیاه نامزد برای گیاه‌پالایی در مناطق شور و آلوده به فلزات سنگین نام برد. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای که توسط معتبرنیا و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد میزان تجمع NO^{-}_{3} و NH^{+}_{4} در ریشه گیاه به‌طور معناداری افزایش پیدا کرد (Moatabarniya et al. 2022). همچنین *سالیکورنیا* باعث کاهش سلنیوم از خاک‌های شور و آلوده به فلزات سنگین می‌شود (Cárdenas-Pérez et al. 2022).

تولید روغن از *سالیکورنیا* در خاک‌های شور (EC 300 mM) از نظر اقتصادی و امنیت غذایی به صرفه‌تر است (Reiahisamani et al. 2018). *سالیکورنیا* نقش مهمی در حفظ اکوسیستم مناطق ساحلی دارد به اینصورت که به‌عنوان یک گیاه حائل در مناطق ساحلی، مانع فرسایش خاک تحت تاثیر نیروی موج‌های قوی آب می‌شود و از طرفی دیگر به کاهش و از بین بردن آلاینده‌های خاک و آب کمک می‌کند (Ekanayake et al. 2023). نتایج مطالعه‌ای که به منظور بررسی نقش هالوفیت‌ها در گیاه‌پالایی در اراضی شور بستر دریاچه ارومیه انجام شد، *سالیکورنیا* نقش موثرتری در افزایش جذب Na^{+}، K^{+}، Ca^{2+}، Mn^{2+}، Fe^{2+} در مقایسه با سایر گیاهان سلمک (*Atriplex verruciferae*)، مانند شورباتلاقی (*Halocnemum strobilaceous*) دارد (Ahmadi et al. 2022). کادمیوم (cd) به‌طور عمده در ریشه *سالیکورنیا* ذخیره می‌شود و از این جهت کشت *سالیکورنیا* به بهبود وضعیت خاک آلوده به کادمیوم کمک می‌کند (Pedro et al. 2013). در مطالعه‌ای دیگر میزان جذب NaCl توسط *سالیکورنیا* در زمین‌هایی که با آب آلوده آبیاری می‌شوند، بررسی شد. نسبت طول ریشه به ساقه با افزایش غلظت نمک کاهش یافت در حالیکه، میزان تجمع Na^{+} و Cl^{-} در طول دوره رشد گیاه افزایش یافت. به‌طوریکه میزان جذب Na^{+}، ۵۱٪ و میزان جذب Cl^{-}، ۳۳٪ اندازه‌گیری شد (Kannan et al. 2009).

تاثیر فسفر و کلسیم بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی *سالیکورنیا* مورد آزمایش قرارگرفت و مشخص شد، میزان تولید زیست‌توده در اندام هوایی در غلظت ۲۰۰ mM NaCl به نسبت غلظت ۵۰۰ mM NaCl افزایش یافت و در حضور کلسیم و فسفر در شرایط شوری نیز میزان تولید زیست‌توده افزایش یافت. همچنین مشخص شد در غلظت‌های ۵۰۰ mM NaCl در حضور فسفر میزان جذب پتاسیم در بخش هوایی *سالیکورنیا* کاهش می‌یابد و در غلظت ۵۰۰ mM NaCl در حضور کلسیم میزان جذب پتاسیم در بخش هوایی کاهش می‌یابد. درحالی‌که در غلظت ۴۰۰ mM NaCl در حضور فسفر میزان جذب Na

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

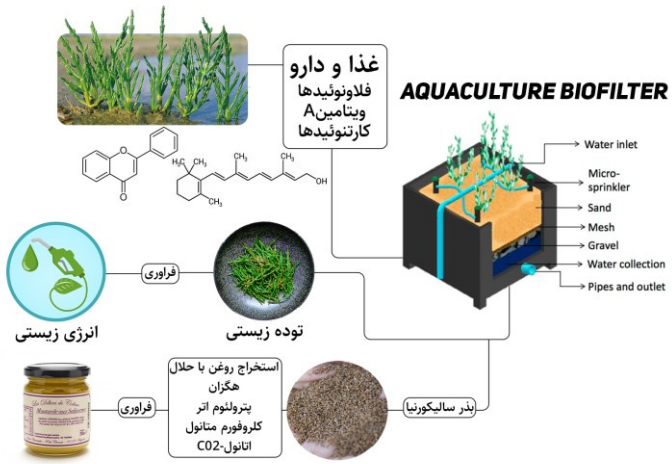
در اندام هوایی افزایش یافت و در غلظت mM ۴۰۰ NaCl در حضور کلسیم میزان جذب Na در اندام هوایی افزایش می‌یابد (Khoshkholgh Sima et al. 2019). در مطالعه‌ای دیگر میزان تولید روغن در دانه *سالیکورنیا* در غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار NaCl مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد در غلظت ۶۰۰ mM NaCl میزان تولید روغن در دانه *سالیکورنیا* در مقایسه با دو حالت دیگر بسیار بیش‌تر است (Reiahisamani et al. 2018). میزان گیاه‌پالایی سه گیاه هالوفیت *Salsola crassa*، *Salicornia europaea* و *Bienertia cycloptera* در شرایط شوری متفاوت با (۲، ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و آبیاری با غلظت‌های مختلف از چهار عنصر Na، Cl، Ca و Mg اندازه‌گیری شد و مشخص شد، سالیکورنیا به نسبت دو گیاه دیگر در شرایط EC=۱۰ میزان جذب بالاتری از Na و Cl در اندام‌های هوایی خود دارد (Farzi et al. 2017). در پژوهشی میزان جذب فلزات مانند Zn، Pb، Ni، Cd، Cu و Fe در سه مرحله رشد رویشی، گلدهی و رسیدگی، دو و چهار روز پس از آبیاری توسط فاضلاب‌های آلوده در زمین‌های شور اطراف دریاچه ارومیه توسط گیاه *سالیکورنیا* اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد، میزان جذب Fe و Cu در مرحله رسیدگی به نسبت دو مرحله زایشی و رویشی در اندام هوایی بیشتر است. علاوه‌براین، میزان انتقال و تجمع فلزات سنگین در مرحله گلدهی بیش‌تر است و به ترتیب عناصر Cd، Pb، Ni، Zn و Cu در قسمت هوایی سالیکورنیا ذخیره می‌شوند (Khalilzadeh et al. 2021). میزان جذب Ni توسط *Salicornia iranica* اندازه‌گیری شد به این صورت که میزان جذب ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل در چهار بازه زمانی ۳، ۲۴، ۴۸ ساعت و ۹۰ روز توسط سالیکورنیا اندازه‌گیری شد، به‌ترتیب میزان جذب نیکل در اندام هوایی ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ برابر بود (Kaviani et al. 2017). *سالیکورنیا* به‌عنوان گیاهی هالوفیت و نیتروفیل، به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای زمین‌های آلوده شده به نیترات به‌منظور گیاه‌پالایی معرفی می‌شود. میزان جذب نیترات توسط *Salicornia europaea* از خاک و آب اندازه‌گیری شد، در مطالعه‌ای میزان جذب نیترات در سه غلظت ۲، ۱۴ و ۵۰ میلی‌مولار به همراه تیمار توسط ۱۰۰ mM NaCl و ۱۰ میکرومولار NaSeO دو صورت کشت هیدورپونیک و کشت در خاک اندازه‌گیری شد و مشخص شد میزان جذب نیترات توسط *سالیکورنیا* با تیمار توسط نمک و سلنیوم افزایش می‌یابد (Mohammadzadeh and Hajiboland. 2022).

بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی مشترک اغلب کشورهای درحال توسعه وابستگی شدید آنها به تولید و صادرات یک یا چند محصول اولیه یا کشاورزی است که منجر به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

آسیب‌پذیری شدید آنها در برابر تغییرات قیمتی آن کالاها خواهد شد. راه نجات این کشورها گسترش پایه تولید صادراتی به تعداد زیادی از کشورهای جهان است. در کشور ما این امر به معنای گسترش صادرات غیرنفتی است. یکی از سیاست‌هایی که ممکن است در ارتباط با متنوع سازی اقتصاد و اقتصاد مقاومتی مطرح شود، خودکفایی در بخش کشاورزی است. باید توجه داشت که کارآیی در این بخش به مراتب با اهمیت‌تر از خودکفایی است. بومی بودن صنعت بهره‌برداری از هالوفیت‌های ایران از ویژگی‌های منحصر به فرد کشاورزی هالوفیت مبنا خواهد بود. با توجه به اینکه پاکسازی خاک‌ها یک فرآیند طولانی‌مدت و مرتبط با محیط و شرایط خاک است، حفظ یا بهبود وضعیت درآمدی کشاورزان در سطح قابل مقایسه با شرایط قبل از اجرای فرآیند پالایش، در راستای ایجاد انگیزه در کشاورزان و توجیه اقتصادی ضروری بنظر می‌آید. در حقیقت این فرآیند را می‌توان به‌صورت همزمان با دو هدف پاکسازی خاک‌های شور نامتعارف و نیز بهره‌وری اقتصادی و کشاورزی به کار گرفت. *سالیکورنیا*، به‌عنوان گیاهی سبز و گیاهی برای آینده که کشت آن در زمین‌های دارای شوری نامتعارف موجب بهبود وضعیت خاک در بلندمدت و ایجاد شغل برای کشاورزان می‌شود، مفید است. پیشنهاد می‌شود با استفاده از ظرفیت علمی متخصصان داخلی، فناوری کشت *سالیکورنیا* به‌عنوان یک گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی به سرعت در کشور مورد استفاده قرارگیرد. امید است نتیجه این کار با احداث واحدهای پژوهش و تولید و توسعه صنعتی در کشور موجب حفظ محیط زیست و اکوسیستم و در عین حال کاهش شوری خاک شود.



شکل ۶- خلاصه‌ای از کاربردهای سالیکورنیا

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

فهرست منابع References

Ahmadi F, Mohammadkhani N, Servati. 2022. Halophytes play important role in phytoremediation of salt-affected soils in the bed of Urmia Lake, Iran.Scientific Reports. 12(1): 12223.

Alishahi F, Alikhani HA, Khoshkholgh-Sima NA, Etesami H. 2020. Mining the roots of various species of the halophyte Suaeda for halotolerant nitrogen-fixing endophytic bacteria with the potential for promoting plant growth. International Microbiology. 23: 415-427.

Alkharabsheh HM, Seleiman MF, Hewedy OA, Battaglia ML, Jalal RS, Alhammad BA, Schillaci C, Ali N, Al-Doss A. 2021. Field crop responses and management strategies to mitigate soil salinity in modern agriculture: A review. Agronomy. 11(11): 2299.

Antunes M, Gago C, Branquinho A, Julião M, Guerreiro A, Miguel G, Faleiro M, Panagopoulos T. 2018. Behavior of Green salt from Salicornia ramosissima and Sarcocornia perennis through storage.

Ayanlade A, Radeny M, Morton JF, Muchaba T. 2018. Rainfall variability and drought characteristics in two agro-climatic zones: an assessment of climate change challenges in Africa. Science of the Total Environment. 630: 728-737.

Bannari A and Al-Ali ZM. 2020. Assessing climate change impact on soil salinity dynamics between 1987–2017 in arid landscape using Landsat TM, ETM+ and OLI data. Remote Sensing. 12(17): 2794.

Bond NR, Burrows RM, Kennard MJ, Bunn SE. 2019. Water scarcity as a driver of multiple stressor effects. Multiple stressors in river ecosystems. Elsevier. 111-129.

Cárdenas-Pérez S, Piernik A, Chanona-Pérez J, Grigore M, Perea-Flores M. 2021. An overview of the emerging trends of the *Salicornia* L. genus as a sustainable crop. Environmental and Experimental Botany. 191: 104606.

Cárdenas-Pérez S, Rajabi Dehnavi A, Leszczyński K, Lubińska-Mielińska S, Ludwiczak A, Piernik A. 2022. *Salicornia europaea* L. functional traits indicate its optimum growth. Plants. 11(8): 1051.

Corwin DL. 2021. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. European Journal of Soil Science. 72(2): 842-862.

Ekanayake S, Egodawatta C, Attanayake RN, Perera D. 2023. From salt pan to saucepan: *Salicornia*, a halophytic vegetable with an array of potential health benefits. Food Frontiers. 4 (2):641-676.

FAO. 2021. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, URL: http://faostat fao org.

FAO. 2023. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, URL: http://faostat fao org.

Farzi A, Borghei SM, Vossoughi M. 2017. The use of halophytic plants for salt phytoremediation in constructed wetlands. International Journal of Phytoremediation. 19(7): 643-650.

Flowers T. 2004. Improving salt stress tolerance. Journal of Experimental Botany. 55: 307-319.

Hammami Z, Qureshi AS, Sahli A, Gauffreteau A, Chamekh Z, Ben Azaiez FE, Ayadi S, Trifa Y. 2020. Modeling the effects of irrigation water salinity on growth, yield and water productivity of barley in three contrasted environments. Agronomy. 10(10): 1459.

Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MM, Bhowmik PC, Hossain MA, Rahman MM, Prasad MNV, Ozturk M, Fujita M. 2014. Potential use of halophytes to remediate saline soils. BioMed research International. 2014.

Hassani A, Azapagic A, Shokri N. 2020. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. Proceedings of the National Academy of Sciences. 117(52): 33017-33027.

Kafle A, Timilsina A, Gautam A, Adhikari K, Bhattarai A, Aryal N. 2022. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. Environmental Advances. 8: 100203.

Kannan PR, Deepa S, Yasothai A, Kanth SV, Rao JR, Chandrasekaran B. 2009. Phytoremediation of tannery wastewater treated lands: part 1: accumulation of NA+ and Cl-IN salicornia brachiata. J. Soc. Leather Technol. Chem. 93(6): 233-239.

Katschnig D, Broekman R, Rozema J. 2013. Salt tolerance in the halophyte Salicornia dolichostachya Moss: growth, morphology and physiology. Environmental and Experimental Botany 92: 32-42.

Kaviani E, Niazi A, Heydarian Z, Moghadam A, Ghasemi-Fasaei R, Abdollahzadeh T. 2017. Phytoremediation of Pb-contaminated soil by *Salicornia iranica*: key physiological and molecular mechanisms involved in Pb detoxification. CLEAN–Soil, Air, Water. 45(5): 1500964.

Khalilzadeh R, Pirzad A, Sepehr E, Khan S, Anwar S. 2021. The Salicornia europaea potential for phytoremediation of heavy metals in the soils under different times of wastewater irrigation in northwestern Iran. Environmental Science and Pollution Research 28: 47605-47618.

Khoshkholgh Sima NA, Reiahi Samani N, Ebadi A, Ghaffari MR. 2019. Effects of calcium and

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

phosphorus enrichment on yield and physiological characteristics of Salicornia persica under different salinity levels. Journal of Plant Nutrition. 42(9): 971-981.

Khoshkholgh Sima NA, Ebadi A, Reiahisamani N, Rasekh B. 2019. Bio-based remediation of petroleum-contaminated saline soils: Challenges, the current state-of-the-art and future prospects. Journal of Environmental Management. 250: 109476.

Komaresofla BR, Alikhani HA, Etesami H, Khoshkholgh-Sima NA. 2019. Improved growth and salinity tolerance of the halophyte Salicornia sp. by co–inoculation with endophytic and rhizosphere bacteria. Applied Soil Ecology. 138: 160-170.

Kumar P, Kumar A, Kumar R. 2021. Phytoremediation and nanoremediation. New frontiers of nanomaterials in environmental science. 281-297.

Kwon OK, Mekapogu M, Kim KS. 2019. Effect of salinity stress on photosynthesis and related physiological responses in carnation (*Dianthus caryophyllus*). Horticulture, Environment, and Biotechnology. 60: 831-839.

Lee S-H, Park H, Kim J-G. 2023. Current status of and challenges for phytoremediation as a sustainable environmental management plan for abandoned mine areas in Korea. Sustainability. 15(3): 2761.

Mesgaran M, Madani K, Hashemi H, Azadi P. 2016. Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. Standford Iran. 2040.

Moatabarniya S, Rad AC, Sima NAK, Askari H, Zeinalabedini M, Hesarkhani Z, Ghaffari MR. 2022. Morphological and anatomical changes of Salicornia roots are associated with different salinity and nutrients conditions in contrasting genotypes. Rhizosphere. 24: 100629.

Mohammadzadeh P and Hajiboland R. 2022. Phytoremediation of nitrate contamination using two halophytic species, Portulaca oleracea and Salicornia europaea. Environmental Science and Pollution Research. 29(30): 46127-46144.

Mukhopadhyay R, Sarkar B, Jat HS, Sharma PC, Bolan NS. 2021. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. Journal of Environmental Management. 280: 111736.

Naeem M, Khadeeja AS, Maria A, Iftikhar U, Anwar A, Saleem M, Mazhar MW, Tariq I. 2023. Phytoremediation of Heavy Metals from Irrigation Water. Faisalabad, Pakistan, Glob Acad J Pharm Drug Res. 5.

Pan J, Peng F, Tedeschi A, Xue X, Wang T, Liao J, Zhang W, Huang C. 2020. Do halophytes and glycophytes differ in their interactions with arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress? A meta-analysis. Botanical studies. 61: 1-13.

Pedro CA, Santos MS, Ferreira SM, Gonçalves SC. 2013. The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant Salicornia ramosissima. Marine Environmental Research. 92: 197-205.

Qadir M, Quillérou E, Nangia V, Murtaza G, Singh M, Thomas RJ, Drechsel P, Noble AD. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural resources forum, Wiley Online Library.

Rafati M, Mohammadi Roozbahani M, Naseri Monfared H. 2021. Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of Albizia lebbeck and Conocarpus erectus from the city of Ahwaz. Forest and Wood Products. 73(4): 379-387.

Reiahisamani N, Esmaeili M, Khoshkholgh Sima NA, Zaefarian F, Zeinalabedini M. 2018. Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* L., along with its ability to produce forage in saline soils. Genetic Resources and Crop Evolution. 65: 1879-1891.

Shaygan M and Baumgartl T. 2022. Reclamation of salt-affected land: A review. Soil Systems. 6(3): 61.

Ullah A, Bano A, Khan N. 2021. Climate change and salinity effects on crops and chemical communication between plants and plant growth-promoting microorganisms under stress. Frontiers in Sustainable Food Systems. 5: 618092.

Xu Y, Zhao Y, Duan H, Sui N, Yuan F, Song J. 2017. Transcriptomic profiling of genes in matured dimorphic seeds of euhalophyte Suaeda salsa. BMC Genomics. 18: 1-14.

Yuan F, Wang X, Zhao B, Xu X, Shi M, Leng B, Dong X, Lu C, Feng Z, Guo J. 2022. The genome of the recretohalophyte *Limonium bicolor* provides insights into salt gland development and salinity adaptation during terrestrial evolution. Molecular Plant. 15(6): 1024-1044.

Zaman M, Shahid SA, Heng L. 2018. Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. 43-53.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

Zeinalabedini M, Khoshkholgh Sima NA, Ghaffari MR, Ebadi A, Farsi M. 2021. Application of DNA barcodes and spatial analysis in conservation genetics and modeling of Iranian Salicornia genetic resources. Plos One. 16(4): e0241162.
Zhao S, Zhang Q, Liu M, Zhou H, Ma C, Wang P. 2021. Regulation of plant responses to salt stress. International Journal of Molecular Sciences. 22(9): 4609.

Agricultural Security Based on Halophyte Cultivation in Non-Conventional Saline Lands with Emphasis on *Salicornia* Plant

Fatemeh Loni[1] and Nayer Azam Khoshkholgh Sima[2*]

1- Department of Systems Biology, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran.
2- Department of of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

ksima@abrii.ac.ir

Abstract

The world population is expected to reach 9 billion in 2050. As a result, providing food for this population is one of the biggest challenges facing the world community. Reclamation of polluted lands, use of saline water resources and agriculture in non-conventional salty soils, and use of numerous products to produce more food for the world's rising population are among the ways to contract with the threat of climate change. In the meantime, salinity is considered a big problem for agriculture in arid and semi-arid regions of the world, which causes land degradation, desertification, and reduced agricultural productivity. Recently, the concept of phytoremediation has received attention as a means of removing pollutants from the soil using plants. We can mention Halophytes among these plants. *Salicornia* (*Salicornia* spp.) is a halophyte plant with fleshy leaves that can absorb salt from the soil and store it in the leaf. This plant is known as a tactical plant due to its unique characteristics, such as high tolerance to salinity and the possibility of using salt water for irrigation. As the lack of cultivable agricultural lands in Iran, the use of *Salicornia* can add up to 5 million hectares to the country's agricultural lands by creating the potential of exploiting saline non-agricultural lands with the aim of plant treatment and using the country's unconventional and salty water resources. Considering the industrial and environmental applications of *Salicornia*, we can use this plant to create a new generation of the halophyte-based agricultural industry to create food security, which meets the requirements of the resistance economy.

Keywords: Resistance Economy, Food Security, Plant Breeding, Salinity, *Salicornia*.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]