نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۲۰-۴۱۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 413-420

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر کم‌آبیاری گیاه سالیکورنیا با آب دریا بر عملکرد زیست‌توده و شاخص بهره‌وری آب در منطقه بوشهر

محمدحسن رحیمیان[1*]، یوسف هاشمی‌نژاد[2]، فرهاد دهقانی[3]، غلامحسن رنجبر[4] و مجتبی پورمقدم[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی پاسخ گیاه سالیکورنیا (*Salicornia persica* Akhani subsp. *persica*) به کاهش حجم آب مصرفی و تعیین روابط بین آب مصرفی و عملکرد زیست‌توده تحت شرایط آبیاری با آب خلیج فارس در ساحل دلوار واقع در استان بوشهر انجام شد. تیمارهای موردنظر شامل T1، T2، T3، T4، T5 و T6 بودند که با اعمال مقادیر مختلف آب مصرفی در طول فصل رشد و اندازه‌گیری حجم آب کاربردی نهایی توسط کنتورهای حجمی، به ترتیب مقادیر ۶۷۰۰، ۸۸۰۰، ۹۶۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۱۸۰۰ و ۱۴۷۰۰ مترمکعب بر هکتار در این تیمارها اعمال گردیدند. نتایج نشان داد که در تیمارهای T1 تا T5 و علیرغم افزایش قابل‌توجه حجم آب کاربردی، تفاوت معنی‌داری در عملکرد زیست‌توده حاصل نگردید و میانگین عملکرد ماده خشک این تیمارها در حدود ۳ تن در هکتار بود؛ اما افزایش حجم آب کاربردی در تیمار T6، تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر عملکرد زیست‌توده داشت و سبب افزایش آن به ۴/۶ تن در هکتار گردید. تحت شرایط مزرعه‌ای مذکور، شاخص کارایی مصرف آب سالیکورنیا (WUE) بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد؛ بنابراین، علی‌رغم اینکه امکان کم‌آبیاری سالیکورنیا با آب دریا وجود داشته و نیازهای زنده‌مانی آن قابل تأمین است، اما دستیابی به عملکردهای مناسب (حدود ۵ تن در هکتار و یا بیشتر)، مستلزم تأمین به‌موقع و کافی آب دریا و کوتاه کردن دور آبیاری‌ها در مزارع سالیکورنیا خواهد بود؛ بنابراین، نتایج این پژوهش تائید کننده پاسخ مثبت سالیکورنیا به افزایش حجم آب مصرفی و تأثیر معنی‌دار کم‌آبیاری بر افت تولید زیست‌توده است. همچنین، به دلیل ضرورت تواتر بالای آبیاری‌ها در مورد این گیاه، مسئله تأمین حجم آب قابل‌توجه برای این گیاه را به مهم‌ترین چالش توسعه مزارع سالیکورنیا در سواحل جنوبی کشور تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، دور آبیاری، سالیکورنیا، شور زیست، نیاز آبی

مقدمه

تلاش‌های بین‌المللی برای تولید محصولات شور زیست به‌صورت غذا، علوفه، سوخت و مواد شیمیایی از دهه ۱۹۷۰ تحت عنوان کشاورزی شور زیست با استفاده از منابع آب نامتعارف مانند زه‌آب اراضی کشاورزی و یا آب دریا شروع شد (Hollaender, 2012). درعین‌حال این مفهوم از طرف برخی متخصصین کشاورزی با بدبینی‌هایی مواجه بوده است (Engelbert and Breckle, 2009 ; Scheuring, 1984)، با این‌حال آزمایش‌های مزرعه‌ای و گلخانه‌ای که در طی ۴۰ سال گذشته انجام شده‌اند به‌وضوح نشان داده‌اند که گیاهان شور زیست توان تولید بیومس و دانه/میوه بالایی حتی در مقادیری از شوری منطقه ریشه که تا حد شوری آب دریا و بالاتر است را دارند (Rozema and Schat, 2013). سالیکورنیا یکی از نمونه‌های موفق کشت گیاهان شور زیست در سواحل دریاها با اهداف اقتصادی است (Glenn et al., 1998). این گیاه از یک‌ساله و از خانواده کنوپودیاسه با ساقه‌های آبدار و گوشتی است که به‌طور طبیعی

۱ - استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۲- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۳- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۴- دانشیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۵ – کارشناس شرکت توسعه آب و نیروی ایران، وزارت نیرو، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: ایمیل: mhrahimian@gmail.com)
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.12.1

در سواحل و آبراه‌های اطراف دریاها و حاشیه مانداب‌های شور رشد می‌کند (محمدی و همکاران ۱۳۸۹)؛ بنابراین، امکان کشت و توسعه سالیکورنیا در سواحل شمالی و جنوبی کشور و آبیاری آن با آب شور دریا وجود دارد.

از طرفی دیگر، یکی از مشکلات فعلی کشور در رابطه با پرورش دام و تولید پروتئین حیوانی، کمبود علوفه است و نکته مسلم در این زمینه اینکه، روند رو به رشد شوری منابع آب و خاک به‌گونه‌ای است که کاشت گیاهان علوفه‌ای متداول با توجه به حساسیت به شوری آن‌ها (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷) با استفاده از منابع موجود و متعارف جوابگوی کسری علوفه موردنیاز نبوده و در آینده‌ای نه‌چندان دور، دورنمای نگران‌کننده‌ای را در تولید علوفه به تصویر خواهد کشید. لذا به‌کارگیری گیاهان علوفه‌ای با درجه تحمل بالا به شوری و همچنین استفاده از منابع آب شور و نامتعارف نظیر آب‌های شور دریاها در سواحل شمالی و جنوبی کشور اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. به همین دلایل، سالیکورنیا یکی از گیاهانی است که ضمن تأمین بخشی از علوفه موردنیاز، می‌تواند در محیط‌های شور و بسیار شور (نظیر سواحل دریاها)، رشد کرده و تولید زیست‌توده نماید؛ بنابراین؛ انجام تحقیقات کاربردی در زمینه این گیاه ضروری و اولویت‌دار بوده و می‌تواند در حل مشکلات موجود کشورمان کارساز باشد. در مورد این گیاه، تحقیقات بین‌المللی متعددی انجام‌شده که از جمله آن‌ها می‌توان به مسئله نیاز آبی سالیکورنیا اشاره نمود. به‌عنوان‌مثال، گزارش شده است که گیاه سالیکورنیا در صورت آبیاری با آب دریا (۵۲ دسی زیمنس بر متر) و یا آب زهکشی بسیار شور (۴۹ دسی زیمنس بر متر)، بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر تبخیر تشتک به آب نیاز دارد (Grattan et al., 2008). در مطالعه گراتان و همکاران نیز تبخیر و تعرق صورت گرفته از لایسیمترهای سالیکورنیا بین ۴ تا ۶ برابر تبخیر صورت گرفته از خاک لخت عنوان شده است که بیانگر شدت بالای تعرق این گیاه نسبت به مجموع تبخیر و تعرق از سطح مزرعه می‌باشد (Grattan et al., 2008). آن‌ها اذعان نموده‌اند که نسبت تعرق (T) به تبخیر و تعرق (ET) سالیکورنیا در طول فصل رشد به بیشتر از ۷۸٪ نیز می‌رسد. همچنین در مطالعه گلن و همکاران (۱۹۹۷) تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از لایسیمترها در حدود ۶۵٪ عمق آب کاربردی در تمامی تیمارها بوده است. در مطالعه ایشان، میانگین نسبت تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از لایسیمترهای تحت کشت سالیکورنیا (E_t) به میزان تبخیر از تشتک (E_{pan}) طی دو سال متوالی آزمایش به ترتیب حدود ۱/۰۱ و ۱/۴۶ بوده است (Grattan et al., 2008). در زمینه ضریب گیاهی سالیکورنیا (K_c) که بیانگر نسبت تبخیر و تعرق گیاه سالیکورنیا به تبخیر و تعرق گیاه مرجع بوده و مرتبط با مسئله تعیین نیاز آبی این گیاه می‌باشد، مطالعاتی انجام شده است. به‌عنوان‌مثال، بنس و همکاران این ضریب را برای مزارع آزمایشی تحت شرایط شور، برابر با ۱/۱ به دست آورده‌اند (Benes et al., 2005). در کشورمان نیز ضریب گیاهی سالیکورنیا مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفته است. به‌عنوان‌مثال، بیرامی و همکاران (۱۳۹۹)، ضریب گیاهی سالیکورنیا را برای شوری‌های مختلف آب آبیاری (۸ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر) در شرایط لایسیمتری در منطقه یزد اندازه‌گیری کرده و در مراحل مختلف رشد بین ۱/۰۶ تا ۱/۵۸ گزارش کرده‌اند. نتایج همه بررسی‌ها نشان‌دهنده نیاز آبی نسبتاً بالای این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای و سایر شور زیست‌ها است. اهمیت این مسئله هنگامی مشخص‌تر خواهد شد که مواردی نظیر امکان آبشوئی مواد مغذی خاک در اثر آبیاری بیش از حد مزرعه، ضرورت تأمین نیازهای زهکشی مزرعه در شرایط ماندابی و غرقابی شدن زمین، تبعات زیست‌محیطی استفاده از آب شور در خاک سواحل و همچنین، ضرورت ایجاد تأسیسات بزرگ آبیاری و تأمین انرژی لازم برای انتقال حجم قابل‌توجه آب به طرح‌های توسعه‌ای سالیکورنیا نیز در نظر گرفته شوند. از طرفی دیگر، در مطالعات پیشین، به امکان‌سنجی کاهش حجم آب مصرفی در مزارع سالیکورنیا و راهکارهای مربوطه کمتر توجه شده و یا به آن پرداخته نشده است. لذا انجام تحقیقات و مطالعات در خصوص امکان‌سنجی عملیات کم‌آبیاری این گیاه در شرایط مزرعه‌ای و تأثیر کم‌آبیاری بر میزان تولید محصول در شرایط اقلیمی کشورمان با هدف کاهش حجم آب مصرفی، کاهش هزینه‌های آبیاری و انرژی لازم برای انتقال آب به مزارع سالیکورنیا ضروری خواهد بود. به‌عبارتی‌دیگر، تعیین رابطه حجم آب مصرفی و عملکرد سالیکورنیا جهت دستیابی به مقدار بهینه مصرف آب در مزرعه یکی از موضوعات ضروری در خصوص این گیاه است. این تحقیق به بررسی پاسخ گیاه سالیکورنیا (*S. persica* Akhani subsp. *persica*) به کاهش حجم آب مصرفی و تعیین روابط بین آب مصرفی و عملکرد زیست‌توده سالیکورنیا تحت شرایط آبیاری مستقیم با آب خلیج فارس در استان بوشهر پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌منظور بررسی پاسخ گیاه سالیکورنیا (*S. persica* Akhani subsp. *persica*) به کاهش حجم آب مصرفی و تعیین روابط بین آب مصرفی و عملکرد زیست‌توده تحت شرایط آبیاری با آب دریا، در ایستگاه تحقیقات شوری واقع در ساحل خلیج فارس در منطقه دلوار (استان بوشهر) انجام شد. ایستگاه مذکور در طول و عرض جغرافیایی ^{o}۵۱ ′۰۴ شرقی و ^{o}۲۸ ′۴۲ شمالی قرار گرفته است. در ابتدای تحقیق، تیمارهای آبیاری شامل مقادیر فرضی ۴۰٪ ۷۰٪ ۱۰۰٪ ۱۳۰٪ ۱۶۰٪، ۱۹۰٪ تبخیر و تعرق (ET_o) تعریف شدند که به ترتیب تحت عناوین تیمارهای T1، T2، T3، T4، T5 و T6 شناخته می‌شوند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. کرت‌های آزمایشی در ابعاد ۱*۲۰ متر طراحی شدند.

به‌منظور کاهش اثرات احتمالی دو تیمار مجاور بر همدیگر، فاصله‌ای بین هر دو کرت مجاور در نظر گرفته شد. همچنین برای سهولت کنترل و دقت در اندازه‌گیری آب مصرفی، آبیاری‌ها از طریق لوله‌گذاری و نصب هیدرانت در ابتدای هر کرت و با روش بابلر انجام شدند. انتخاب روش آبیاری بابلر برای این تحقیق با توجه به امکان‌پذیری اعمال مقادیر مختلف حجم آب آبیاری در کرت‌ها به‌ویژه در مورد تیمارهای T1، T2 و T3 بود. دور و روزهای مناسب آبیاری بر اساس شواهد مزرعه‌ای تنظیم‌شده و برای تمامی تیمارها یکسان و بین ۳ تا ۴ روز در طول فصل در نظر گرفته شد. در این تحقیق کاشت گیاه به روش بذرکاری و به میزان ۱۵ کیلوگرم بر هکتار در اواسط اسفند ماه انجام شد. تعیین نیاز کودی بر اساس آزمون خاک در مراحل مختلف رشد بود. کودهای استفاده‌شده عمدتاً شامل کودهای سولفات آمونیوم و سوپر فسفات تریپل بوده است. کود سولفات آمونیوم به‌صورت سرک و هر دو هفته یک‌بار به میزان ۵۰ کیلوگرم بر هکتار قبل از آبیاری‌ها داده شده است. همچنین میزان مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار قبل از کشت و به‌صورت پخش سطحی در داخل کرت‌ها بوده است. همچنین، به‌منظور برآورد متوسط شوری خاک ناحیه ریشه در طول فصل رشد، نمونه‌گیری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری در زمان‌های مختلف انجام شد.

برای برآورد تبخیر و تعرق از دستگاه هواشناسی اتوماتیک نصب‌شده در محل استفاده شد. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری پارامترهای موردنیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی) بوده و امکان برداشت داده‌های آن به‌صورت روزانه وجود داشت. حجم آب آبیاری پس از برداشت آمار روزانه ثبت‌شده توسط ایستگاه هواشناسی و محاسبه تبخیر و تعرق تجمعی در فاصله بین دو آبیاری (به کمک روش استاندارد فائو پنمن مانتیث ASCE) به دست آمد. تمامی مراحل مربوط به محاسبه تبخیر و تعرق و محاسبه حجم آب موردنیاز برای هر تیمار به‌صورت یک نرم‌افزار طراحی شد تا پس از برداشت آمار هواشناسی و جایگذاری در آن، حجم آب لازم در هر تیمار تعیین گردد. نهایتاً میزان آب ورودی به هر کرت در طول فصل از طریق کنتور حجمی اندازه‌گیری و ثبت شد. بر این اساس، برای تیمارهای T1، T2، T3، T4، T5 و T6 به ترتیب مقادیر ۶۷۰۰، ۸۸۰۰، ۹۶۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۱۸۰۰ و ۱۴۷۰۰ مترمکعب بر هکتار در طول فصل رشد اعمال گردیدند. در اوایل شهریورماه، عملیات برداشت محصول و تعیین عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) انجام شد. این کار از طریق قرار دادن کادر ۰/۵ در ۰/۵ مترمربعی در هر کرت، برداشت سالیکورنیا، خشک‌کردن بوته‌ها و نهایتاً تعیین عملکرد ماده خشک در سطح پلات و تبدیل آن به واحد کیلوگرم در هکتار (kg/ha) صورت پذیرفت. با توجه به اندازه‌گیری مجموع حجم آب مصرفی در طول فصل رشد و عملکرد محصول، اقدام به محاسبه شاخص بهره‌وری آب سالیکورنیا (WP) شد. این شاخص به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$WP = \frac{DM}{AW} \quad (۱)$$

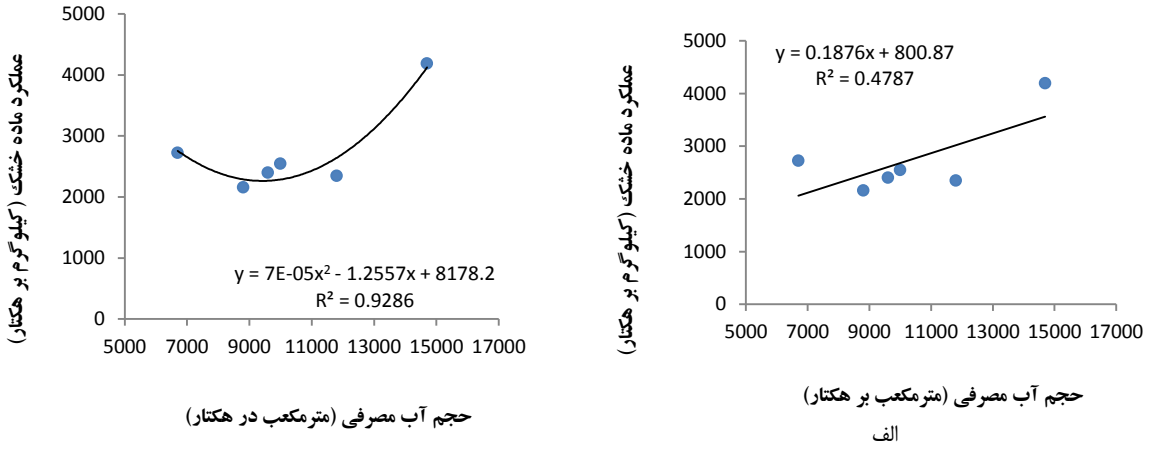
که در آن DM ماده خشک تولیدی سالیکورنیا بر حسب کیلوگرم بر هکتار (kg/ha)، AW حجم آب مصرفی هر کرت بر حسب مترمکعب بر هکتار (m^3/ha) و WP شاخص بهره‌وری آب سالیکورنیا بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3) می‌باشد. در برخی مراجع، از از شاخص بهره‌وری آب (Water Productivity) به‌عنوان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Physical Water Productivity) و همچنین شاخص کارایی مصرف آب (WUE) هم نامبرده شده است. پس از اندازه‌گیری حجم آب مصرفی هر تیمار، تعیین عملکرد و اندازه‌گیری شوری خاک اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط‌های نرم‌افزاری SPSS، SAS و اکسل شد. برای بررسی همبستگی آماری بین پارامترهای مختلف از ماتریس همبستگی (Correlation Matrix) استفاده گردید. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون آماری LSD استفاده شد. به‌منظور بررسی روابط بین عملکرد محصول - آب مصرفی (تابع تولید) از مدل‌های مختلف نظیر مدل خطی ساده و چندجمله‌ای استفاده شد.

نتایج و بحث

الف - رابطه عملکرد با آب مصرفی

شکل ۱ نتایج بررسی روابط عملکرد محصول- آب مصرفی و پاسخ سالیکورنیا (*S. persica* Akhani subsp. *persica*) به کاهش حجم آب مصرفی تحت شرایط آبیاری با آب خلیج فارس را نمایش می‌دهد. در این شکل، روابط خطی و چندجمله‌ای بر اساس داده‌های میانگین ۱۸ کرت آزمایشی (میانگین ۳ تکرار در هر یک از تیمارهای آزمایشی) بررسی شده است. اگرچه در مشاهده رابطه خطی عملکرد محصول- آب مصرفی (شکل ۱-الف)، افزایش تولید زیست‌توده به ازای افزایش حجم آب مصرفی کاملاً مشهود است، اما مقایسه آماری عملکردها با یکدیگر از طریق آزمون LSD و بررسی معنی‌داری اختلاف بین تیمارها نشان می‌دهد که با تغییر معنی‌دار حجم آب کاربردی از تیمار T1 تا T5 (میانگین حجم آب مصرفی این تیمارها بین ۶۷۰۰ تا ۱۱۸۰۰ مترمکعب بر هکتار بوده است)، عملکرد زیست‌توده سالیکورنیا تغییرات محسوس و معنی‌داری از لحاظ آماری نداشته و میانگین ماده خشک این تیمارها نسبتاً ثابت و در حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آمده است؛ اما افزایش حجم آب کاربردی در تیمار T6 (دارای میانگین آب مصرفی ۱۴۷۰۰ مترمکعب بر هکتار)، باعث تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر عملکرد زیست‌توده سالیکورنیا و افزایش وزن ماده خشک به ۴۶۰۰ کیلوگرم بر هکتار گردید. حتی بر اساس نتایج آزمون LSD، میانگین عملکرد علوفه در

تیمار T6 به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. این قضیه به کمک شکل شماره ۱-ب نیز قابل استنباط است؛ به‌طوری‌که در اثر افزایش حجم آب مصرفی تا مقدار تقریبی ۱۲ هزار مترمکعب بر هکتار، تغییر مشهود و قابل‌توجهی در تولید زیست‌توده حاصل نگردیده و پس از این نقطه، افزایش تولید حاصل شده است. با توجه به معادلات خط و محاسبات صورت گرفته، نقطه عطف نمودار چندجمله‌ای ارائه شده در شکل ۱-ب، حدود ۹ هزار مترمکعب بر هکتار می‌باشد و انتظار می‌رود که در شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی، توصیه و اعمال مقادیر کمتر حجم آب کاربردی برای این گیاه (تقریباً کمتر از ۹ هزار مترمکعب در هکتار)، نتواند به تولید مناسب و قابل‌قبول علوفه سالیکورنیا منجر شود. همچنین، این نمودار نشان می‌دهد که اگرچه امکان کم‌آبیاری سالیکورنیا با آب دریا وجود دارد و نیازهای زنده‌مانی این گیاه در مقادیر کمتر از ۹ هزار مترمکعب بر هکتار نیز تأمین می‌شود، اما دستیابی به عملکردهای زیست‌توده بالاتر (حدود ۵ تن بر هکتار و بیشتر)، مستلزم تأمین به‌موقع و کافی آب موردنیاز خواهد بود. به‌طوری‌که؛ افزایش حجم آب کاربردی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد سالیکورنیا خواهد گذاشت و آن را به‌طور معنی‌داری افزایش خواهد داد. پیشنهاد می‌شود که افزایش حجم آب ورودی به مزرعه در طول فصل، از طریق کاهش دور آبیاری‌ها صورت گیرد. در این پژوهش دور آبیاری مزرعه در اواسط فصل رشد و در ایام گرم سال، بین سه تا چهار روز بوده که توصیه می‌شود به دو تا سه روز کاهش یابد.



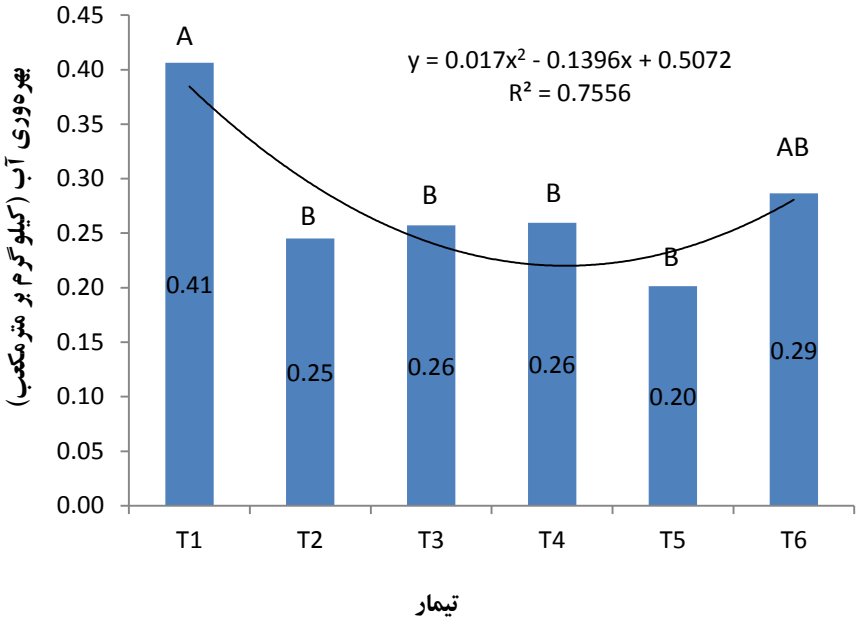
شکل ۱- روابط خطی و چندجمله‌ای بین حجم آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار) و عملکرد ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)

مسئله ضرورت کاهش دور آبیاری‌ها در اواسط فصل رشد گیاه (تابستان) بیانگر وجود یک چالش بزرگ در تأمین نیاز آبی مزارع سالیکورنیا به‌ویژه برای سطوح وسیع می‌باشد؛ به‌طوری‌که بهره‌بردار را ملزم به آبیاری کل سطح مزرعه در یک بازه زمانی کوتاه (مثلاً دو یا سه روز) می‌نماید و برای منظور، می‌بایست روزانه مساحت قابل‌توجهی از مزرعه (۳۰ تا ۵۰ درصد از کل مساحت مزرعه) تحت عملیات آبیاری قرار داشته باشد. از طرفی دیگر، نیروی کارگری و حداکثر ساعات آبیاری ممکن در طول شبانه‌روز به‌عنوان محدودیت‌های این مسئله بوده که سبب می‌شوند دبی لحظه‌ای طرح افزایش یافته و آبیاری مزارع سالیکورنیا تفاوت قابل‌توجهی با عملیات آبیاری سایر گیاهان داشته باشد. اهمیت این مسئله در حدی است که می‌تواند انرژی موردنیاز برای تأمین آب مزارع سالیکورنیا و هزینه‌های آبیاری در سطوح وسیع را افزایش داده و غیرقابل مقایسه با عملیات آبیاری در شرایط متعارف بنماید. در تحقیقات مشابه، بر مسئله نیاز آبی بالای این گیاه تأکید فراوان شده است (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Grattan et al., 2008؛ Benes et al., 2005). حتی در برخی از مراجع، طولانی بودن دوره رشد و هم‌زمانی آن با فصول گرم سال، به‌عنوان یکی از عوامل افزایش نیاز آبی سالیکورنیا در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای عنوان شده است (Garza-Torres et al., 2020). در تحقیق اخیر که در کشور مکزیک انجام شده است، تأثیر کاهش دور آبیاری بر افزایش انرژی و هزینه‌های مزارع سالیکورنیا نیز مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

ب - کارایی مصرف آب

عدم تغییر معنی‌دار زیست‌توده سالیکورنیا در تیمارهای T1 تا T5، موجب عدم تغییر قابل‌توجه شاخص بهره‌وری آب (WP) در تیمارهای T2 تا T5 شد و نسبت به تیمار T1 (علی‌رغم افزایش مصرف آب)، مقدار کمتری نیز به دست آمد (شکل ۲)؛ به‌طوری‌که این شاخص در مورد تیمار T1 برابر با ۰/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود و برای تیمارهای T2 تا T5 در حدود ۰/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست

آمد. در مورد تیمار T6، این عدد برابر با ۰/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به تیمارهای T2 تا T5 افزایش نسبتاً معنی‌داری داشت. از مهم‌ترین نکات قابل‌توجه در این زمینه قرارگیری مقادیر عددی شاخص بهره‌وری آب تکرارهای این آزمایش بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب است. در تحقیق دیگری که بر روی این گیاه در منطقه یزد و در شرایط کنترل‌شده لایسیمتری انجام شده است، شاخص بهره‌وری آب سالیکورنیا در تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹). در سایر مناطق دنیا نیز شاخص بهره‌وری آب سالیکورنیا در شرایط آبیاری با آب دریا حداکثر ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Glenn et al., 1997). مقایسه شاخص بهره‌وری آب این گیاه با سایر گیاهان نشان می‌دهد که مقدار عددی این شاخص برای سالیکورنیا نسبت به سایر گیاهان علوفه‌ای در شرایط متعارف به‌مراتب کمتر می‌باشد. به‌عنوان‌مثال این شاخص برای یونجه، سورگوم و ذرت علوفه‌ای به ترتیب در حدود ۱/۵، ۴/۰ و ۶/۰ کیلوگرم بر مترمکعب در یکی از مناطق گرم و خشک کشورمان گزارش شده است. از طرفی دیگر، در شوری بسیار بالای آب دریا، امکان رشد گیاه و تولید زیست‌توده برای علوفه‌های فوق‌الذکر و همچنین جمعیت زیادی از هالوفیت‌ها فراهم نیست؛ بنابراین، علی‌رغم تأثیر معنی‌دار شوری آب دریا بر کاهش زیست‌توده و وزن خشک آن، تولید گیاه سالیکورنیا با آب بسیار شور دریا حتی با مقادیر پایین بهره‌وری آب، از اهمیت بسزایی برخوردار خواهد بود. با این توضیحات، به نظر می‌رسد که شاخص بهره‌وری آب (WP) معیار چندان مناسبی برای مقایسه تولید سالیکورنیا (در شرایط شوری آب دریا) با تولید سایر گیاهان علوفه‌ای (در شرایط متعارف کیفیت آب آبیاری) نبوده و می‌تواند گمراه‌کننده نیز باشد. چرا که نهاده اصلی مصرفی در مورد این گیاه، آب دریا با شوری تقریبی ۵۵ دسی زیمنس بر متر بوده، درحالی‌که برای این شرایط، محدودیت‌های زیادی برای کشت سایر گیاهان علوفه‌ای (حتی هالوفیت‌ها) وجود دارد.



شکل ۲- رابطه بین حجم آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار) و بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمارهای مختلف آب مصرفی

ج- شوری خاک

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در طول فصل رشد، متوسط شوری عصاره اشباع خاک (ECe) بین ۴۷ تا ۵۷ دسی زیمنس بر متر به‌دست‌آمده که تقریباً برابر و تا حدودی، کمتر از شوری آب آبیاری بود. در پژوهش مذکور، شوری آب آبیاری (آب خلیج‌فارس) بین ۵۵ تا ۶۵ دسی زیمنس بر متر در زمان‌های مختلف در طول سال اندازه‌گیری شد و نسبت عددی شوری عصاره اشباع خاک به شوری آب آبیاری (که به‌طور متوسط برابر با ۰/۸۶ به دست می‌آید)، بیانگر نمایه‌ای تحت عنوان فاکتور غلظت (K) بوده و حکایت از وقوع متوسط کسر آبشوئی ۴۳٪ در مزارع سالیکورنیا دارد (Ayers and Westcot, 1989). در این کسر آبشوئی، به نظر می‌رسد که اعمال مقادیر مختلف حجم آب آبیاری به‌خوبی توانسته شوری خاک مزرعه

را کاهش داده و از تشدید اثرات منفی شوری خاک ناحیه ریشه بر گیاه حتی در تیمارهای T1 تا T3 که حجم کمتری از آب نسبت به تیمارهای T4 تا T6 به مصرف رسیده است، ممانعت به عمل آورد. از نکات حائز توجه در این پژوهش، عدم تغییر محسوس و معنی‌دار شوری خاک ناحیه ریشه در اثر افزایش حجم آب آبیاری است. به‌طوری‌که مقایسه میانگین شوری خاک تیمارهای مختلف بر اساس آزمون LSD و در سطح اطمینان ۹۵٪ عدم تفاوت شوری خاک در تیمارهای T1 تا T6 را نشان داد. این مسئله می‌تواند ناشی از افزایش جذب آب توسط گیاه سالیکورنیا در هنگام افزایش حجم آب آبیاری و مساعدتر شدن خاک ناحیه ریشه برای گیاه از نظر رطوبت و شوری می‌باشد که نهایتاً منجر به کاهش نفوذ عمقی آب در اثر افزایش آبیاری‌ها و حفظ کسر آبشویی در مقدار نسبتاً ثابت می‌باشد. در تحقیقات مشابه خارجی انجام‌شده در این زمینه بر افزایش جذب آب توسط سالیکورنیا در هنگام آبیاری با مقادیر بیشتر آب آبیاری (و به‌تبع آن، افزایش تولید زیست‌توده) تأکید کرده‌اند. شوری خاک در تمامی تیمارهای آزمایش، به دلیل اینکه با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌داری ندارند، همگی در سطح تأثیر مشابه هم قرار گرفته و لذا، تأثیر آن‌ها بر عملکرد محصول، معنی‌دار نشده و ضریب همبستگی پائینی بین شوری خاک و وزن زیست‌توده به دست آمده است (جدول ۱). این مسئله بدین مفهوم است که به جز تنش شوری (که از طریق آبشویی قابل‌کنترل است)، عامل یا عوامل دیگری نظیر تنش خشکی نیز بر عملکرد سالیکورنیا تأثیرگذار بوده و نقش اساسی‌تری نسبت به شوری ایفا می‌کند. از طرفی دیگر، با توجه به اثر معنی‌دار حجم آب مصرفی بر عملکرد سالیکورنیا (جدول ۱)، می‌توان نقش کاهش آب مصرفی و ایجاد تنش خشکی بر افت عملکرد زیست‌توده سالیکورنیا را غیرقابل‌انکار دانست. بنابراین، توصیه می‌شود که به راه‌های عملی کاهش تنش خشکی در مزارع سالیکورنیا به‌ویژه کاهش دور آبیاری، توجه ویژه‌ای صورت پذیرد.

جدول ۱- ماتریس ضریب همبستگی (r) بین پارامترهای مختلف بر اساس داده‌های میانگین تیمارها

Parameter	AW (m^3/ha)	DM (kg/ha)	WP (kg/m^3)	ECe (avg)
AW (m^3/ha)	۱	۰/۶۹۲(*)	- ۰/۴۹۳	- ۰/۵۴۹
DM (kg/ha)		1	۰/۲۷۲	- ۰/۶۵۶
WP (kg/m^3)			۱	- ۰/۰۳۷
ECe (avg)				۱

AW: حجم آب کاربردی در طول فصل رشد (مترمکعب بر هکتار)، DM: ماده خشک برداشت‌شده (کیلوگرم بر هکتار)، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، EC_e (avg): متوسط هدایت الکتریکی لایه خاک ۳۰-۰ سانتیمتر در طول فصل رشد (دسی زیمنس بر متر)، * معنی‌دار بودن همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵

لازم به ذکر است که ناچیز بودن عمق توسعه ریشه سالیکورنیا در شرایط بسیار شور (که حداکثر به ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر می‌رسد) و غالب بودن روش آبیاری سطحی در این‌گونه مزارع، امکان وقوع کسرهای آبشویی بالا در هر نوبت آبیاری را محتمل می‌کند. به‌عبارتی‌دیگر، با توجه به اینکه سیستم آبیاری قابل توصیه در مزارع سالیکورنیا، از نوع سطحی (غرقابی) است، لذا انتظار کنترل و کاهش شوری خاک در این مزارع وجود دارد. به عبارتی، چنین می‌توان استنباط کرد که پایین بودن راندمان کاربرد آب در آبیاری غرقابی سالیکورنیا، یک مزیت برای این مزارع محسوب شده و تضمین‌کننده تأمین نیاز آبشویی مزرعه و کنترل شوری خاک ناحیه ریشه خواهد بود. از طرفی دیگر، وقوع کسرهای آبشویی بالا در مزرعه نمی‌تواند ضمانتی برای تأمین آب موردنیاز گیاه در طول فصل رشد و در نتیجه، کسب عملکرد مطلوب گیاه باشد. چرا که آبشویی در هر رویداد آبیاری اتفاق می‌افتد و بیانگر وضعیت رطوبت خاک و فراهمی آب برای گیاه در روزهای بین آبیاری‌ها نیست؛ بنابراین، چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دور آبیاری عامل بسیار مهم‌تری در مزارع سالیکورنیا محسوب شده و افزایش فاصله آبیاری‌ها، می‌تواند این گیاه را وارد تنش خشکی نماید و از تولید زیست‌توده آن بکاهد. در تحقیقات مشابه خارجی، امکان‌سنجی‌هایی بر روی آبیاری روزانه (و کمتر) گیاه سالیکورنیا در اواسط فصل رشد انجام شده و عمق آب آبیاری فصلی تا ۵۴۰۰ میلی‌متر نیز مدنظر قرار گرفته است (Garza-Torres et al., 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که در استان بوشهر و با آبیاری مستقیم گیاه سالیکورنیا با آب دریا (خلیج فارس) انجام شد، نشان داد که حجم آب آبیاری نقش مهمی در تولید زیست‌توده دارد و پیش‌بینی می‌شود که در صورت تأمین به‌موقع و کافی آب موردنیاز سالیکورنیا (از طریق کوتاه کردن دور آبیاری‌ها)، امکان دستیابی به عملکردهای بیشتر از ۵ تن در هکتار زیست‌توده خشک نیز در سطوح وسیع میسر باشد. بر این اساس، توصیه می‌شود که در اواسط فصل رشد و هم‌زمانی با ماه‌های گرم سال، دور آبیاری به دو روز یا کمتر کاهش یابد. نتیجه فوق تائید کننده پاسخ منفی گیاه سالیکورنیا به کاهش حجم آب مصرفی و تأثیر معنی‌دار کم‌آبیاری‌ها بر افت قابل‌توجه تولید است. این واقعیت بیانگر وجود یک چالش مهم در تأمین به‌موقع و کافی آب در مزارع سالیکورنیا بوده و اهمیت آن در حدی است که می‌تواند هزینه‌های

آبیاری در سطوح وسیع و انرژی موردنیاز برای تأمین آب مزارع سالیکورنیا را غیرقابل مقایسه با عملیات آبیاری مزارع تولید علوفه در محیط‌های متعارف نماید. علاوه بر این، امکان آبشویی مواد مغذی خاک در اثر بیش‌آبیاری مزرعه، ضرورت تأمین نیازهای زهکشی خاک در شرایط ماندابی و غرقابی شدن زمین و تبعات زیست‌محیطی استفاده از آب شور در خاک سواحل از دیگر مواردی است که در طرح‌های توسعه‌ای سالیکورنیا در سواحل می‌بایست موردتوجه و مطالعه بیشتری قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مساعدت‌های شرکت توسعه آب و نیروی ایران و همکاری‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر جهت اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

بیرامی، ح.، رحیمیان، م.ح.، و دهقانی، ف. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). ۳۴(۳): ۴۱۴-۴۰۱.

رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۹. ارزیابی نیاز آبی سالیکورنیا در سواحل جنوبی کشور، گزارش علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ص. ۸۶.

رنجبر، غ.ح. و آناقلی، ا. ۱۳۹۷. مفاهیم تنش شوری و واکنش گیاه. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۴۸ صفحه

محمدی، ح.، اکبری، غ.ع.، خوش‌خلق سیما، ن.ا. و مرادی، ف. ۱۳۸۹. بررسی رشد و نمو و خواص کیفی روغن سالیکورنیا به‌عنوان یک گیاه شور زیست و متحمل به شوری آب دریا. همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشأ روغنی. بجنورد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد.

هاشمی نژاد، ی. ۱۳۹۹. ارزیابی نیاز آبشویی سالیکورنیا در سواحل جنوبی کشور، گزارش علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ص. ۸۱.

Abdal, M.S. 2009. Salicornia Production in Kuwait. World Applied Sciences Journal 6 (8): 1033-1038

Ayers R.S. and Westcot D.W. 1989. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper (No. 29), FAO, Rome, Italy.

Benes, S.E., Grattan, S.R. and Robinson P.H. 2005. Cultivation of halophytes to reduce drainage volumes on the Westside San Joaquin Valley of California. Final report to the California State University Agricultural Research Initiative (ARI). Project #00-1-003. 18 Oct. 2005. Available at http://ari.calstate.edu/research/pdf/00-1-003/ FinalReport-00-1-003.pdf (verifi Ed 11 Mar. 2008).

Breckle, S.W. 2009. Is Sustainable Agriculture with Seawater Irrigation Realistic? Salinity and Water Stress: 187-196.

Engelbert, E.A., and Scheuring, A.F. 1984. Water scarcity: Impacts on western agriculture: Univ of California Press.

Garza-Torres, R., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay A., Lucero-Vega, G., Magallón-Barajas, F.G., García-Galindo, E., Fimbres-Acedo, Y., and Murillo-Amador, B. 2020. Environmental and Management Considerations for Adopting the Halophyte Salicornia bigelovii Torr. As a Sustainable Seawater-Irrigated Crop. Sustainability; 12, 707; doi: 10.3390/su12020707

Glenn, E., Miyamoto, S., Moore, D. and Brown, P. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. With seawater on sand in a coastal desert environment. Journal of Arid Environments, 36(4):711-730.

Glenn, E.P., Brown, J.J. and O'Leary, J.W. 1998. Irrigating crops with seawater. Scientific American. 279: 76–81.

Grattan, S.R., Benes, S.E., Peters, D.W., Diaz, F., 2008. Feasibility of irrigating pickleweed (*Salicornia bigelovii* Torr.) with hyper-saline drainage water. Journal of Environment Quality 37: S-149.

Hollaender, A. 2012. The biosaline concept: an approach to the utilization of underexploited resources (Vol. 14): Springer Science & Business Media.

Rozema, J., & Schat, H. 2013. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. Environmental and Experimental Botany. 92: 83-95.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 413-420

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۲۰-۴۱۳

The Effect of Deficit Irrigation of *Salicornia persica* With Seawater on Dry Matter and Water Productivity in Boushehr Region

M.H. Rahimian[1]*, Y. Hasheminejhad[2], F. Dehqani[3], G.H. Ranjbar[4], M. Pourmoqaddam[5]
Recived: Nov.27, 2021 Accepted: Feb.02, 2021

Abstract

This study was conducted to investigate the response of *S. persica* Akhani subsp. *persica*, directly irrigated with Persian Gulf saline water in Bushehr region, to reducing its applied water and to determine the relationships between applied water and dry matter. The experiment was performed in a randomized complete block design with 3 replications. The treatments included T1, T2, T3, T4, T5 and T6, with total applied water of 6700, 8800, 9600, 10000, 11800 and 14700 $m^3.ha^{-1}$, respectively. The results showed that the applied water has important role in the dry matter; So that in the treatments of T1 to T5 with a significant difference it applied water, no significant increase was obtained for the crop yield. The average dry matter of the treatments was relatively constant and about 3 $ton.ha^{-1}$. However, increasing the volume of applied water in T6 treatment had a positive and significant effect on dry matter and increased it to 4.6 $ton.ha^{-1}$. Under the mentioned field conditions, Salicornia water productivity (WP) was obtained between 0.15 to 0.44 $kg.m^{-3}$. Therefore, to achieve yields of 5 tons per hectare and more, a timely and sufficient water supply system (by shortening of the irrigation cycles) will be required for the Salicornia fields. The latter conclusion confirms the positive response of Salicornia to the increase of applied water, which can well illustrate the challenge of water supply importance in Salicornia fields.

Keywords: Applied water, Halophyte, Irrigation interval, Salicornia, Water requirement

1 - Assistant Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
2- Assistant Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
3- Assistant Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
4- Associate Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
5 - Research fellow, Ministry of Energy, Water Resources and Power Development Company, Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: mhrahimian@gmail.com)