نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۵ / شماره ۳/ ۱۴۰۰

اثر سطوح مختلف شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* **Willd**)

محسن سیلسپور[۱]

عضو هیئت علمی بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ورامین، ایران.**mseilsep@yahoo.com**

دریافت: خرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

به‌منظور بررسی تنش شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کینوا، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. عامل شوری آب در پنج سطح (آب‌مقطر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل رقم در دو سطح (تیتیکاکا و ردکاردینا) در نظر گرفته شد. اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آنها بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاه‌چه، شاخص بنیه و شاخص تحمل ساقه‌چه و ریشه‌چه معنی‌دار بود. تنش شوری کلیه صفات اندازه‌گیری شده را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که این کاهش در رقم ردکاردینا بیشتر از رقم تیتیکاکا بود. تنش شوری آب تا سطح پنج دسی‌زیمنس بر متر تاثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذر رقم تیتیکاکا نداشت، درحالی که در مورد رقم ردکاردینا تفاوت درصد جوانه‌زنی بین سطوح شاهد آب مقطر و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰٪ از تیمار بدون تنش شوری (تیمار شاهد) در هر دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد، درحالی که درصد جوانه‌زنی در تنش شوری آب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر در رقم تیتیکاکا ۱/۴٪، ۴/۹٪، ۱۴/۳٪ و ۲۱٪ و در رقم ردکاردینا به ترتیب ۲/۶٪، ۶/۶٪، ۱۸/۳٪ و ۲۹/۷٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. طول ساقه‌چه ارقام در سطح شوری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۶/۸٪، ۱۴/۰٪، ۲۷/۶٪ و ۳۹/۶٪ برای رقم تیتیکاکا و ۷/۳٪، ۱۹/۹٪، ۴۳/۷٪ و ۵۳/۸٪ برای ردکاردینا نسبت به شاهد کاهش نشان داد که این درصد کاهش برای طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا، ۲/۱٪، ۱۲/۶٪، ۳۲/۶٪ و ۴۴/۲٪ و در رقم ردکاردینا ۶/۴٪، ۲۱/۲٪، ۳۸/۲٪ و ۵۷/۹٪ بود. تنش شوری آب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب شد تا وزن خشک گیاهچه رقم تیتیکاکا ۱۲/۷٪، ۲۷/۱٪، ۳۶/۸٪ و ۴۶/۶٪ و در رقم ردکاردینا ۱۱/۴٪، ۲۷/۸٪، ۴۵/۰٪ و ۵۷/۱٪ کاهش یابد. نتایج به‌دست آمده حاکی از حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب در مرحله جوانه‌زنی در مقایسه با رقم تیتیکاکا بود.

واژه‌های کلیدی: درصد جوانه‌زنی، کینوا رقم تیتیکاکا، کینوا رقم ردکاردینا، وزن خشک گیاهچه

---

[۱] - آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ورامین.

مقدمه

تنش‌های محیطی مثل خشکی و شوری عامل محدودکننده‌ای در نمو گیاهان بوده و باعث کاهش عملکرد آن‌ها می‌شوند. افزایش جمعیت جهان، روند کاهش منابع آب شیرین و شور شدن زمین‌های زراعی، بررسی امکان به‌کارگیری و کشت گیاهان متحمل در شرایط نامناسب محیطی را ضروری ساخته است (اکبری مقدم و همکاران، ۲۰۱۱).

نتایج مطالعات نشان داده است که نزدیک به ۸۰۰ میلیون هکتار یا ۲۰ درصد اراضی قابل کشت دنیا تحت تأثیر شوری خاک می‌باشند (رنگاسامی، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، یکی از چالش‌های اساسی که در سراسر جهان وجود دارد، کاهش عملکرد گیاهان به‌دلیل تنش شوری حاصل از آب‌وخاک شور است (مونز و تستر، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که ۹۷/۵ درصد آب‌های جهان شور است و هم‌چنین در بسیاری از نواحی، زمین‌های شور درصد زیادی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند. به همین دلیل، شوری آب‌وخاک امروزه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در سطح جهان است (بارت لناردز، ۲۰۰۳)؛ بنابراین حساسیت محصولات عمده زراعی غیر-شورزیست از یک طرف و تغییرات تدریجی اقلیمی، از قبیل بروز پدیده خشکسالی، موجب شده است که پژوهش در زمینه گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی از جمله کینوا، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۴؛ جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳؛ تروگنیتز، ۲۰۰۳؛ کویرو و ایسا، ۲۰۰۳)؛ بنابراین بررسی روش‌های جدید برای کاهش این چالش‌ها ضروری است. یکی از این روش‌ها کاشت گیاهان شورپسند (هالوفیت) است که به سطوح بالایی از شوری خاک متحمل هستند (کویرو و همکاران، ۲۰۰۸).

تنش شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش جذب یون‌های غذایی موردنیاز از قبیل کلسیم و پتاسیم بر جوانه‌زنی بذور و رشد آنان تأثیر می‌گذارد (غولام و فارز، ۲۰۱۱). به‌طور کلی شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و هم‌چنین کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌گردد (آدولف و همکاران، ۲۰۱۱). تفاوت در تحمل به شوری نه تنها در میان جنس‌ها و گونه‌ها، بلکه حتی در داخل یک گونه نیز مشاهده می‌شود (حقانی و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاه تحت شرایط شوری به ترکیب نمک، غلظت نمک و مرحلهٔ رشد گیاه بستگی دارد (فینچ ساواج و همکاران، ۲۰۰۴). جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال‌شدن جنین گیاه است. شوری به عنوان یک تنش غیرزنده ناملایمات بسیاری را برای بذر در دوره جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. شوری، با کاهش پتانسیل اسمزی محیط، نخست موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و در مرحله بعد، سمیت و تغییرات فعالیت‌های آنزیمی را به دنبال دارد (ماسای و همکاران، ۲۰۰۴).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یکی از گیاهان زراعی شورزیست شبه‌غلات است که از خانواده آمارانتاسه است (هاریادی و همکاران، ۲۰۱۱). این گیاه پتانسیل زیادی برای کشت و کار در نواحی شور را داراست (شابالا و همکاران، ۲۰۱۳؛ ذوفینو و همکاران، ۲۰۱۰؛ هاریادی و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طوری که گزارش شده است گیاه کینوا می‌تواند با آب دریا، چرخه زندگی خود را کامل نماید و دانه تولید کند (کویرو و همکاران، ۲۰۰۸). این گیاه حاوی میزان زیادی ویتامین‌های A، B_2، E و مواد معدنی مانند کلسیم، آهن، مس، منیزیم و روی است (ریپوکاراسکو و همکاران، ۲۰۰۳). به‌دلیل همین خواص بی‌نظیر، این گیاه از طرف سازمان فائو به عنوان یکی از گیاهانی که نقش مهمی در امنیت غذایی در قرن ۲۱ ایفا می‌کند، معرفی شده است (جاکوبسن، ۲۰۰۳). این ویژگی ها موجب شده است تا کینوا یک گیاه مناسب برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد، مناطقی که کمبود آب و شوری از مشکلات عمده کشاورزی آن‌ها است (پرادو و همکاران، ۲۰۰۰).

تحمل به شوری در گیاهان در مراحل مختلف رشد متفاوت است، به گونه‌ای که در اکثر گیاهان تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی کم‌تر از مرحله نشایی و رشد کامل است (لاچلی و گراتان، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که آستانه تحمل به شوری کینوا رقم تیتیکاکا در محیط خاک در مراحل جوانه‌زنی، گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب ۸، ۲۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر است (ملکی و همکاران، ۲۰۱۸). از جمله تأثیرات شوری بر گیاه هالوفیت کینوا می‌توان به روند کاهشی درصد جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، عملکرد دانه، کیفیت دانه، تعداد کل دانه‌های کینوا، وزن تر و خشک دانه در اثر افزایش شوری اشاره کرد (کویرو و همکاران، ۲۰۰۸). پانوسیو و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور بررسی اثر آبیاری با آب شور حاصل از اختلاط آب دریا و آب شهری بر جوانه‌زنی و عملکرد گیاه کینوا نشان دادند که افزایش شوری باعث کاهش طول ریشه، طول ساقه، مورفولوژی ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی گردید.

مراحل اولیه رشد گیاه از جمله جوانه‌زنی بذور، از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه است که به مقدار زیادی تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. به‌عبارتی دیگر، مراحل جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه‌ی گیاهچه از جمله مراحل بحرانی برای استقرار گیاه در شرایط تنش شوری است (میسرا و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که سرعت جوانه‌زنی بذور کینوا با افزایش شوری کاهش یافته است (پانوسیو و همکاران، ۲۰۱۴). طی پژوهش دیگری در خصوص تأثیر آب شور حاصل از اختلاط آب دریا با آب شهر (نسبت‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد اختلاط و سطوح شوری ۰/۵، ۸/۰، ۱۱/۷، ۱۵/۵ دسی-زیمنس بر متر) بر جوانه‌زنی بذور کینوا رقم ساجاما نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار شاهد شوری (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به‌دست آمد و تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذور گردید (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت، به گونه‌ای که بیشترین طول ساقه‌چه از تیمار شاهد و کمترین طول ساقه‌چه از تیمار شوری ۱۵/۵ دسی زیمنس بر متر حاصل شد. تنش شوری تأثیر منفی بر شاخص بنیه داشت. به گونه-ای که کمترین شاخص بنیه از تیمار تنش شوری ۱۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). طی پژوهش دیگری، در خصوص واکنش سه رقم کینوا (تیتیکاکا، جیز وQ26) در شش سطح شوری (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) در محیط کشت پتری‌دیش نشان داده شد که خصوصیات جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر توأم رقم و تنش شوری قرار گرفته است. حداکثر جوانه‌زنی، بهترین یکنواختی جوانه‌زنی، بیشترین بنیه بذر، بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط بدون تنش (شاهد) و کمترین مقادیر در تیمار شوری ۵۰ دسی-زیمنس‌بر متر مشاهده شد. رقم تیتیکاکا در تیمار شاهد بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به ترتیب با میانگین ۵/۵۳ و ۵/۵۷ سانتی‌متر نشان داد. این درحالی بود که در تیمار شوری ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۴ و ۰/۳ سانتی‌متر کمترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را داشت. علیرغم تأثیرپذیری معنی‌دار هر سه رقم مورد پژوهش و کاهش چشمگیر شاخص‌های جوانه‌زنی در سطوح بالای شوری، رقم تیتیکاکا نسبت به دو رقم دیگر، آستانه تحمل بالاتری داشت (انصاری اردلی و همکاران، ۱۴۰۰).

با توجه به لزوم کاربرد آب‌های شور در تولید محصولات کشاورزی و کمبود پژوهش‌های صورت‌گرفته در خصوص تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور کینوا، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی دو رقم کینوا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری آب بر ویژگی-های جوانه‌زنی بذر گیاه کینوا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل (سطوح مختلف شوری آب و رقم) و سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. عامل شوری

آب در پنج سطح آب‌مقطر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و عامل رقم شامل دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا بود. در کشور پژوهش‌های زیادی در خصوص سازگاری و پایداری ارقام کینوا صورت نگرفته است. با این وصف، رقم تیتیکاکا بیشترین سطح کشت در کشور را داراست و یکی از شناخته‌شده ترین ارقام تجاری کینوا است. بر اساس پژوهش‌های پیشین، این رقم از تحمل نسبتاً خوبی به شوری برخوردار است. همچنین ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا با میانگین ۴۲ و ۵۳ روز تا گلدهی، از ارقام زودرس کینوا هستند که نیاز آبی کمتری نسبت به سایر ارقام دارند. همچنین عملکرد دانه این ارقام به ترتیب ۱۱۸۸ و ۱۰۵۷ کیلوگرم در هکتار است که از برتری نسبی عملکرد نسبت به سایر ارقام برخوردارند (باقری و همکاران، ۱۳۹۹).

برای تهیه سطوح مختلف شوری آب آبیاری از آب شور طبیعی رودخانه‌شور واقع در جنوب ورامین با شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد که نتایج تجزیه شیمیایی آن در جدول یک درج شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیائی آب آبیاری

SAR	K^+ mg/l	Na^+ mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} mg/l	SO_4^{2-} mg/l	cl^- mg/l	HCO_3^- mg/l	CO_3^{2-} mg/l	pH	EC dS/m
۸۶/۰	۰/۶۵	۱۶۶/۴	۱۶/۱	۲۱/۸	۵۱/۶	۱۵۰/۸	۲/۸	۰/۲۲	۷/۶۷	۲۰

سایر سطوح شوری آب از طریق رقیق‌سازی آب شور با آب مقطر به‌دست آمد. جوانه‌زنی بذور در پتری‌دیش با قطر ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. ابتدا پتری‌دیش‌ها برای جلوگیری از آلودگی، به‌وسیله پنبه آغشته به الکل ضدعفونی گردیدند، سپس در کف هر پتری‌دیش کاغذ صافی استریل قرار داده شد، در ادامه به هر پتری‌دیش ۱۰ سانتی‌متر مکعب آب شور طبق تیمارهای پژوهش اضافه شد. بذور با محلول هیپوکلریت سدیم نیم درصد به مدت چهار دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر کاملاً شستشو داده شدند. در هر پتری‌دیش، ۳۰ عدد بذر ضدعفونی شده قرار گرفت. پتری‌دیش‌ها به‌مدت هفت روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در داخل انکوباتور قرار داده شدند. تعداد بذور جوانه‌زده بذور با طول ریشه‌چه سه میلی‌متر به‌صورت روزانه ثبت گردید. پس از هفت روز، شاخص‌های جوانه-زنی شامل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲)، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه (رابطه ۳)، شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه (رابطه ۴) و شاخص بنیه (رابطه ۵) اندازه‌گیری شد (رحیمی و کافی، ۲۰۱۰).

$$\mathrm{Gp} = 100\,\frac{\mathrm{NG}}{\mathrm{NT}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

Gp: درصد جوانه‌زنی، NG: تعداد بذور جوانه‌زده در طول هفت روز و NT: تعداد کل بذور است.

$$\mathrm{Rs} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mathrm{Si}}{\mathrm{Di}} \qquad (۲)$$

که در این رابطه:

Rs :سرعت جوانه‌زنی، Si :تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، Di :تعداد روز تا شماره n ام است.

$$St = 100\,\frac{SDWs}{SDWns} \qquad (۳)$$

در این رابطه:

St :شاخص تحمل ساقه‌چه، $SDWs$:وزن خشک ساقه-چه در شرایط تنش شوری آب و $SDWns$:وزن خشک ساقه‌چه در شرایط بدون تنش شوری آب (تیمار شاهد) است.

$$Rt = 100\,\frac{RDWs}{RDWns} \qquad (۴)$$

در این رابطه:

Rt :شاخص تحمل ریشه‌چه، $RDWs$:وزن خشک ریشه‌چه در شرایط تنش شوری آب و $RDWns$:وزن خشک ریشه‌چه در شرایط بدون تنش شوری آب می-باشد.

$$Vt = 100\,\frac{Ls \times Gp}{100} \qquad (۵)$$

که در این رابطه:

Vt :شاخص بنیه (Seedling vigor index)، Ls :میانگین طول گیاهچه و Gp :درصد جوانه‌زنی است.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه آماری شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک‌درصد آماری گروه‌بندی شدند. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

خلاصه جدول تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاه‌چه	وزن خشک گیاه‌چه	شاخص بنیه	شاخص تحمل ساقه‌چه	شاخص تحمل ریشه‌چه
تکرار	۲	۳/۶ ns	۱۳/۲ ns	۱/۶ ns	۰/۸ ns	۴/۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۴/۰ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns
عامل شوری آب	۴	۶۸۵/۴**	۲۶۶/۲**	۱۹/۴**	۱۳/۶**	۶۵/۶**	۰/۰۰۳**	۱۰۵/۵**	۰/۲۸**	۰/۲۳**
عامل رقم	۱	۷۲/۰**	۲۳/۶**	۶/۳**	۲/۰**	۱۵/۳**	۰/۰۰۲**	۱۷/۵**	۰/۰۲**	۰/۰۴**
اثر متقابل رقم و شوری آب	۴	۱۷/۷**	۲/۷**	۰/۶**	۰/۱**	۱/۱**	۰/۰۰۱ns	۱/۱**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱**
اشتباه	۱۸	۰/۷	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۱

علامت** به معنی تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد آماری است.
علامت ns به معنی عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد آماری است.

اثر تنش شوری آب، اثر رقم و اثر متقابل تنش شوری آب و رقم بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاه‌چه و شاخص‌های بنیه، تحمل ساقه‌چه و تحمل ریشه‌چه معنی‌دار بود. در مورد صفت وزن خشک گیاهچه، تنها اثر رقم و اثر شوری آب معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش شوری و رقم بر صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- اثر متقابل شوری آب (dS/m) و رقم بر صفات اندازه‌گیری شده

تیمار	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (Seed/day)	طول ساقه‌چه (cm)	طول ریشه‌چه (cm)	طول گیاه‌چه (cm)	شاخص بنیه	شاخص تحمل ساقه‌چه (%)	شاخص تحمل ریشه‌چه (%)
شوری (۰) رقم تیتیکاکا	۱۰۰^{a}	۲۷/۱^{a}	۹/۴^{a}	۷/۰^{a}	۱۶/۵^{a}	۱۶/۵^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
شوری (۰) رقم ردکاردینا	۱۰۰^{a}	۲۶/۷^{a}	۹/۱^{ab}	۶/۹^{a}	۱۶/۱^{ab}	۱۶/۱^{ab}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
شوری (۵) رقم تیتیکاکا	۹۸/۵^{ab}	۲۶/۱^{ab}	۸/۷^{bc}	۶/۹^{a}	۱۵/۷^{bc}	۱۵/۴^{b}	۹۲^{ab}	۸۹^{b}
شوری (۵) رقم ردکاردینا	۹۷/۴^{b}	۲۵/۲^{b}	۸/۴^{cd}	۶/۵^{b}	۱۵/۰^{cd}	۱۴/۵^{c}	۸۸^{bc}	۸۷^{b}
شوری (۱۰) رقم تیتیکاکا	۹۵/۰^{c}	۲۴/۰^{c}	۸/۱^{e}	۶/۱^{c}	۱۴/۳^{d}	۱۳/۴^{d}	۸۲^{c}	۸۲^{bc}
شوری (۱۰) رقم ردکاردینا	۹۳/۳^{c}	۲۲/۹^{d}	۷/۳^{e}	۵/۵^{d}	۱۲/۸^{e}	۱۱/۸^{e}	۷۴^{d}	۷۵^{cd}
شوری (۱۵) رقم تیتیکاکا	۸۵/۶^{d}	۱۷/۵^{e}	۶/۸^{e}	۴/۷^{e}	۱۱/۶^{f}	۹/۹^{f}	۶۳^{e}	۶۹^{d}
شوری (۱۵) رقم ردکاردینا	۸۱/۶^{e}	۱۴/۶^{f}	۵/۱^{g}	۴/۳^{f}	۹/۴^{g}	۷/۶^{g}	۵۸^{ef}	۵۳^{e}
شوری (۲۰) رقم تیتیکاکا	۷۹/۰^{f}	۱۳/۳^{g}	۵/۷^{f}	۳/۹^{g}	۹/۶^{g}	۷/۶^{g}	۵۲^{f}	۵۸^{e}
شوری (۲۰) رقم ردکاردینا	۷۰/۳^{g}	۹/۷^{h}	۴/۲^{h}	۲/۹^{h}	۷/۲^{h}	۵/۱^{h}	۴۰^{g}	۴۳^{f}

اعدادی که حروف انگلیسی مشابه دارند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد آماری ندارند

درصد و سرعت جوانه‌زنی

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). در این خصوص بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار بدون تنش شوری آب و هر دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین درصد جوانه‌زنی

بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۷۰/۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). درصد جوانه‌زنی بذور رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری)، ۲۱ و ۲۹/۷ درصد کاهش جوانه‌زنی نشان دادند که موید حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب نسبت به رقم تیتیکاکا در مرحله جوانه‌زنی بود.

بیشترین سرعت جوانه‌زنی به میزان ۲۷/۱ و ۲۶/۷ بذر جوانه‌زده در روز از تیمار بدون تنش شوری آب و ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۹/۷ بذر بر روز به‌دست آمد (جدول ۳). در کلیه سطوح شوری آب (به‌جز سطح صفر)، سرعت جوانه‌زنی بذور رقم ردکاردینا کمتر از رقم تیتیکاکا بود. سرعت جوانه‌زنی بذور رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری آب)، به ترتیب ۵۰/۹ و ۶۳/۶ درصد کاهش داشت که موید حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب بود.

جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال شدن جنین گیاه است. شوری آب به عنوان یک تنش غیرزنده بسیاری ناملایمات را برای بذر در دوره جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. شوری آب، با کاهش پتانسیل اسمزی محیط نخست موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و در مرحله بعد، سمیت و تغییرات فعالیت‌های آنزیمی را به دنبال دارد (مونز، ۲۰۰۵).

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران منطبق بود. طی یک پژوهش، اثر تنش شوری آب بر درصد جوانه‌زنی بذر کینوا رقم تیتیکاکا نشان داد که بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد با ۱۰۰ درصد و کمترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۹۰ درصد مربوط به تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار بدون تنش شوری آب و هر دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین درصد جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی-زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۷۰/۳ درصد به-دست آمد نتایج یک پژوهش در خصوص اثر تنش شوری آب بر سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا نشان داد که بیشترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا به میزان ۲۷ و ۲۲ بذر در روز مربوط به تیمار شاهد بدون محدودیت شوری آب و تیمار شوری آب ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین سرعت جوانه‌زنی به میزان ۲۷/۱ و ۲۶/۷ از تیمار بدون تنش شوری آب و ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۹/۷ بذر بر روز به‌دست آمد (جدول ۲). طی پژوهش دیگری نشان داده شد که درصد جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری آب کاهش می‌یابد (هاریادی و همکاران، ۲۰۱۱). اثرات بازدارندگی کلرید سدیم بر روی جوانه‌زنی بذر می‌تواند به‌دلیل تأثیر مستقیم آن بر روی رشد جنین باشد، همچنین پژوهشگران دریافتند که طویل شدن محور جنینی شدیداً به‌واسطه‌ی سطح بالای کلرید سدیم موجود در محلول آبیاری بازداشته می‌شود (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸.، شریفی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر، کلرید سدیم به دلیل اثر بازدارندگی در جذب آب به‌وسیله‌ی بذر، تعداد بذور جوانه‌زده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸).

نتایج مشابهی در مورد سایر گیاهان نیز به‌دست آمده است (شهید و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهشگران دریافتند که اثر بازدارندگی کلرید سدیم بر جوانه‌زنی بذر به جذب یون‌های کلر و سدیم توسط هیپوکوتیل بستگی دارد (تورهان و آیاز، ۲۰۰۴). در مطالعه انجام شده به‌منظور بررسی اثر آب خالص به عنوان شاهد و شوری با نمک‌های مختلف به صورت مجزا بر جوانه‌زنی کینوا، نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش شوری آب

کاهش یافته است (پونسیو و همکاران، ۲۰۱۴) که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. مختل‌شدن آنزیم‌های مؤثر در متابولیسم به‌دلیل اتصال یون‌ها به ساختمان مولکولی آن-ها عامل اصلی این کاهش می‌باشد (یزدانی بیوکی و همکاران، ۲۰۱۰).

در شرایط تنش، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده و یا جذب به‌کندی صورت می‌گیرد. در چنین حالتی فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به-آرامی انجام می‌شود و درنتیجه مدت زمان لازم برای جوانه-زنی افزایش می‌یابد (دی و کار، ۱۹۹۵).

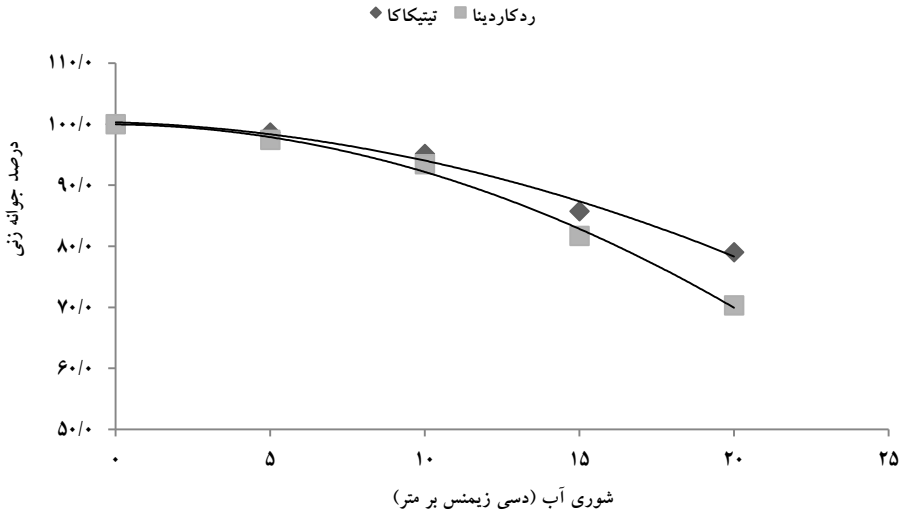
بین سطوح مختلف شوری آب و درصد جوانه‌زنی ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۱) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد (روابط ۶ و ۷). هم‌چنین بین سطوح مختلف شوری آب و سرعت جوانه‌زنی ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۷ وجود داشت (شکل ۲) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می-کرد (روابط ۸ و ۹).

رابطه ۶ (رگرسیون شوری آب با درصد جوانه‌زنی رقم تیتیکاکا)
$$Y = -0.0471X^2 - 0.155X + 100.3 \quad n = 5, P < 0.05$$

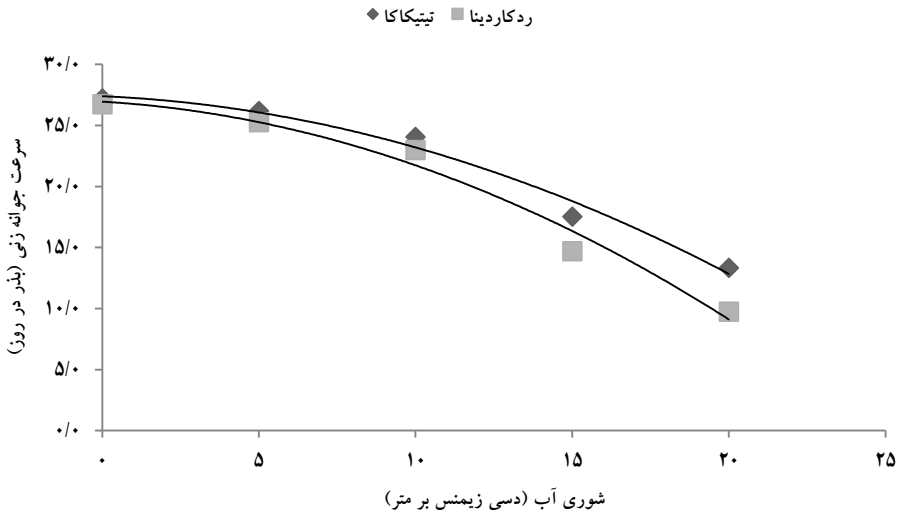
رابطه ۷ (رگرسیون شوری آب با درصد جوانه‌زنی رقمردکاردینا)
$$Y = -0.072X^2 - 0.0536X + 99.9 \quad n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۸ (رگرسیون شوری آب با سرعت جوانه‌زنی رقم تیتیکاکا)
$$Y = -0.0308X^2 - 0.111X + 27.38 \quad n = 5, P < 0.05$$

رابطه ۹ (رگرسیون شوری آب با سرعت جوانه‌زنی رقم ردکاردینا)
$$Y = -0.037X^2 - 0.151X + 26.94 \quad n = 5, P < 0.05$$



شکل ۱- همبستگی شوری آب با درصد جوانه‌زنی ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا



شکل ۲- همبستگی شوری آب با سرعت جوانه‌زنی ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر صفات طول ساقه‌چه و ریشه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین طول ساقه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری صفر به ترتیب ۹/۴ و ۹/۱ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر طول ساقه‌چه داشت، به‌گونه‌ای که در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ساقه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به‌ترتیب به ۵/۷ و ۴/۲ میلی‌متر رسید که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به‌ترتیب ۳۹/۶ و ۵۳/۸ درصد کاهش داشت. در سطوح شوری آب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس، طول ساقه‌چه رقم ردکاردینا کمتر از طول ساقه‌چه رقم تیتیکاکا بود که موید حساسیت بیشتر این رقم به شوری بود (جدول ۳). هم‌چنین، بیشترین طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به ترتیب ۷/۰ و ۶/۹ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر ریشه‌چه داشت. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۳/۹ و ۲/۹ میلی‌متر کاهش یافت که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به ترتیب ۴۴/۲ و ۵۷/۹ درصد کاهش داشتند. نتایج نشان داد که در سطوح شوری آب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه‌چه رقم ردکاردینا کمتر از طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا بود که موید حساسیت بیشتر این رقم به شوری آب بود (جدول ۳).

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کینوا با تنش شوری آب کاهش می‌یابد. طی یک پژوهش، بیشترین طول ساقه‌چه از تیمار شاهد بدون محدودیت شوری آب به میزان ۷/۹۶ سانتی‌متر حاصل شد و با افزایش سطوح شوری آب کاهش یافت. هم‌چنین بیشترین طول ریشه‌چه از تیمار بدون محدودیت شوری آب و کم‌ترین طول ریشه چه به میزان ۲/۹ سانتی‌متر از تیمار شوری آب ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جمیل و شریفان، ۲۰۱۸). نتایج پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز بر کاهش طول ساقه‌چه با تنش شوری دلالت دارد (کویرو و ایسا، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین طول ساقه چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به‌ترتیب ۹/۴ و ۹/۱ میلی‌متر بود. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ساقه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به‌ترتیب به ۵/۷ و ۴/۲ میلی‌متر رسید که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به ترتیب ۳۹/۶ و ۵۳/۸ درصد کاهش داشت. بیشترین طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به‌ترتیب ۷/۰ و ۶/۹ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر ریشه‌چه

داشت. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه-چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۳/۹ و ۲/۹ میلی‌متر کاهش یافت. پژوهشگران دریافتند که تحت تنش شوری، عملکرد هورمون سیتوکینین در ریشه‌چه متوقف می‌شود و موجب کاهش طول ریشه می‌گردد، بنابراین طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای اندازه‌گیری تحمل به تنش شوری در گیاهان مختلف است (نور و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج یک پژوهش دیگر در خصوص استفاده از آب دریا با نسبت‌های حجمی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بر جوانه‌زنی و مرحله رشد نشایی کینوا نشان داد که شاخص‌های رشد مثل طول ریشه و ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و محتوای نسبی آب برگ با شوری کاهش معنی‌دار نشان می-دهند (پونسیو و همکاران، ۲۰۱۴).

علت کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌دلیل جلوگیری از انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین ذکر شده است. علاوه بر این با افزایش شوری محلول، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها کمتر شده در نتیجه رشد گیاهچه (اعم از ریشه‌چه و ساقه‌چه) دچار نقصان می‌شود. پژوهش‌های نسبتاً زیادی که بر روی گیاهان زراعی مختلف انجام‌شده بیانگر این واقعیت است که با افزایش شوری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱).

بین سطوح مختلف شوری آب و طول ساقه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۷ وجود داشت (شکل ۳) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این روابط طول ساقه‌چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری آب به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۸ و ۹). هم‌چنین بین سطوح مختلف شوری آب و طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۲) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این روابط طول ریشه‌چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۱۰ و ۱۱).

$$Y = -0.00431X^2 - 0.1009X + 9.44 \quad n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۸ (رگرسیون شوری آب با طول ساقه‌چه رقم تیتیکاکا)

$$Y = -0.0042X^2 - 0.178X + 9.28 \quad n = 5, P < 0.05$$

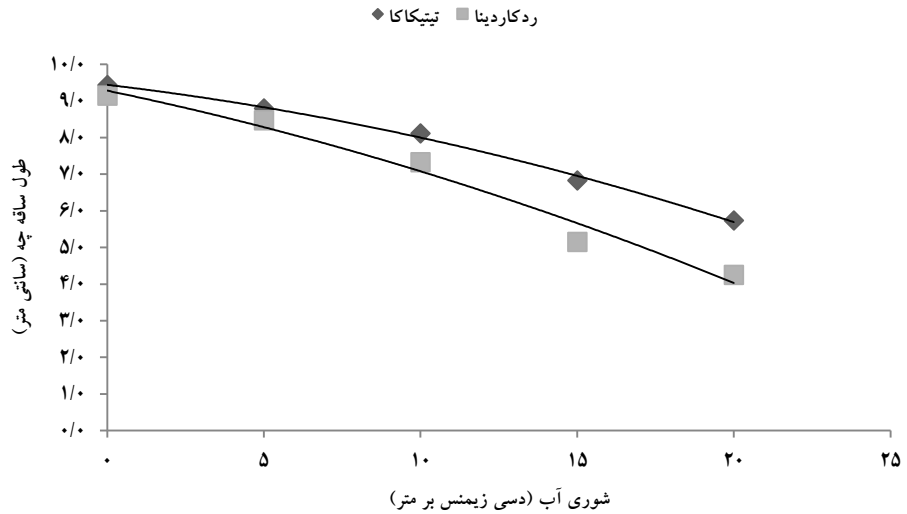
رابطه ۹ (رگرسیون شوری آب با طول ساقه‌چه رقم ردکاردینا)

$$Y = -0.0058X^2 - 0.053X + 7.18 \quad n = 5, P < 0.05$$

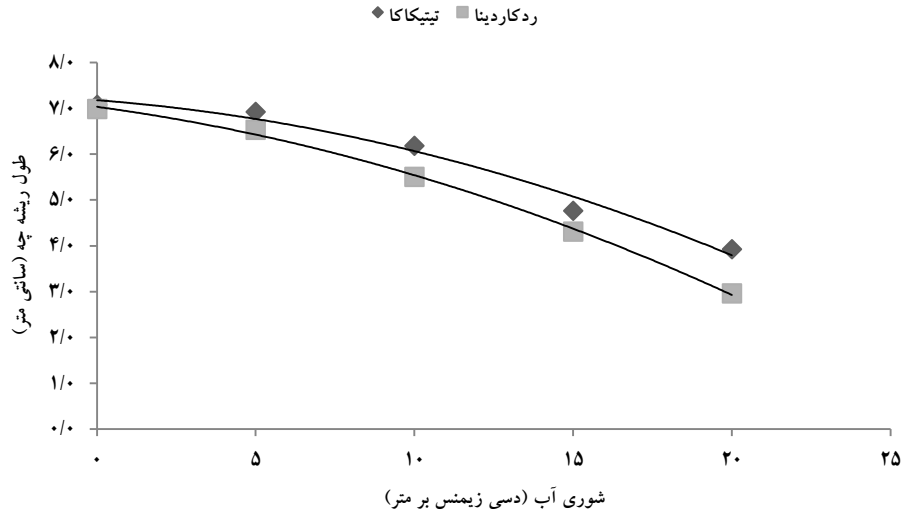
رابطه ۱۰ (رگرسیون شوری آب با طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا)

$$Y = -0.0056X^2 - 0.093X + 7.03 \quad n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۱۱ (رگرسیون شوری آب با طول ریشه‌چه رقم ردکاردینا)



شکل ۳- همبستگی شوری آب با طول ساقه‌چه دو رقم کینوا



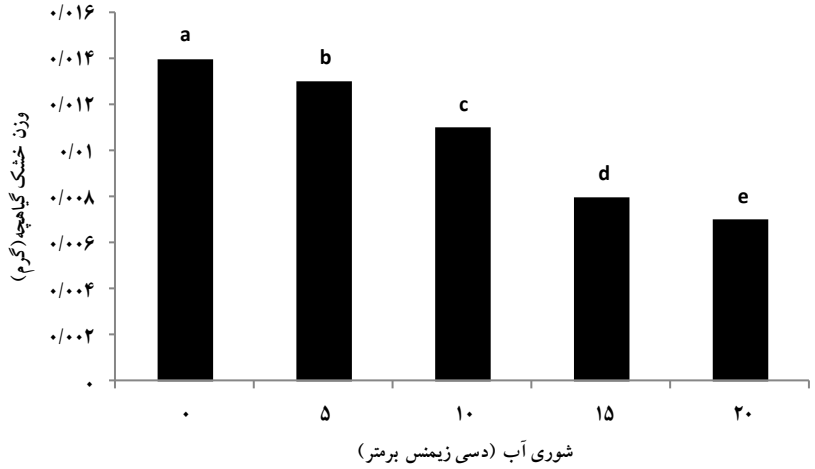
شکل ۴- همبستگی شوری آب با طول ریشه‌چه ارقام کینوا

وزن خشک گیاه‌چه

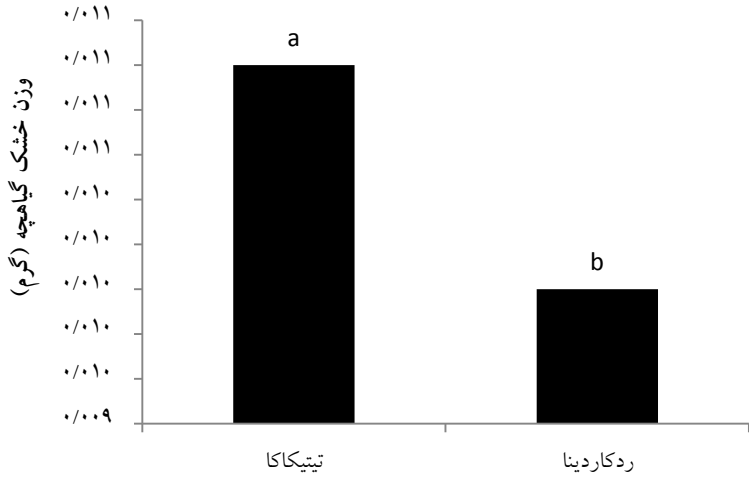
اثر شوری آب بر وزن خشک گیاه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاه‌چه می‌گردد. بیشترین وزن خشک گیاه‌چه از تیمار بدون تنش شوری آب به‌دست آمد. در این تیمار میانگین وزن خشک گیاه‌چه ۱۴ میلی‌گرم بود که در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به هفت میلی‌گرم رسید که موید ۵۰ درصد کاهش وزن خشک گیاه-چه بود (شکل ۵). اثر رقم نیز بر وزن خشک گیاه‌چه معنی-دار بود. میانگین وزن خشک گیاه‌چه در رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب ۱۱ و ۱۰ میلی‌گرم بود که تفاوت آماری معنی‌دار با هم داشتند (شکل ۶).

نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر پژوهشگران مطابقت داشت (چاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج یک پژوهش نشان داد که وزن تر و خشک گیاه‌چه کینوا با افزایش سطوح مختلف شوری کاهش یافت (جمیل و شریفان، ۲۰۱۸). کاهش وزن خشک گیاه‌چه در اثر شوری آب به‌دلیل کاهش رشد ریشه در نتیجه کاهش سیتوکینین (نور و همکاران، ۲۰۰۱) و کاهش جذب آب و مختل شدن فرایندهای متابولیک و تقسیم سلولی نسبت داده

می‌شود (دی و کار، ۱۹۹۵). هم‌چنین، تفاوت در ژرم‌پلاسم-های مختلف کینوا نسبت به شوری نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (رویتز و همکاران، ۲۰۱۶؛ لانگ، ۲۰۱۶).



شکل ۵- اثر شوری بر وزن خشک گیاه چه کینوا



شکل ۶- اثر رقم بر وزن خشک گیاه چه کینوا

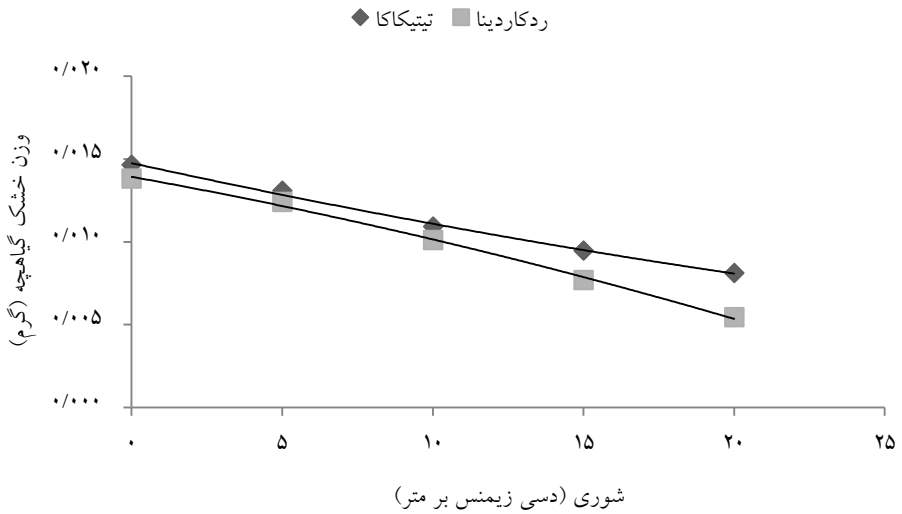
بین سطوح مختلف شوری آب و وزن خشک گیاه چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۷) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این روابط طول ساقه‌چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۱۲ و ۱۳).

رابطه ۱۲(رگرسیون شوری آب با وزن خشک گیاه چه رقم تیتیکاکا)

$$Y = 3E-06X^2 - 0.0004X + 0.0148 \quad n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۱۳ (رگرسیون شوری آب با وزن خشک گیاه چه رقم ردکاردینا)

$$Y = -5E-06X^2 - 0.0003X + 0.0139 \quad n = 5, P < 0.01$$



شکل ۷- همبستگی شوری آب با وزن خشک گیاه چه ارقام کینوا

شاخص بنیه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص بنیه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش معنی‌دار شاخص بنیه می‌گردد (جدول ۳). بیشترین شاخص بنیه ارقام کینوا در سطح صفر شوری آب به دست آمد. در این سطح شوری آب شاخص بنیه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۶/۱ بود. با افزایش سطح شوری آب، شاخص بنیه کاهش نشان داد، به‌گونه‌ای که کمترین شاخص بنیه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به‌ترتیب به مقدار ۷/۶ و ۵/۱ از سطح شوری آب ۲۰ دسی-زیمنس بر متر به‌دست آمد. در این سطح شوری آب، شاخص بنیه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری) به‌ترتیب ۵۳/۹ و ۶۸/۳ درصد کاهش داشت که نشان دهنده تحمل بیشتر رقم تیتیکاکا در مقایسه با رقم ردکاردینا به شوری بود (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده توسط سایر جمالی و شریفان (۲۰۱۸) مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص بنیه گیاه‌چه کینوا در اثر تنش شوری آب کاهش می‌یابد.

شاخص تحمل به شوری ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱). شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه در ارقام مورد مطالعه با افزایش شوری آب کاهش یافت. کمترین شاخص به شوری آب تحمل ساقه‌چه ارقام کینوا در شوری ۲۰ دسی-زیمنس به‌دست آمد که برای رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به‌ترتیب ۵۲ و ۴۰ درصد بود که با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج این شاخص نشان داد که ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در شرایط تنش شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، تنها ۵۲ و ۴۰ درصد وزن خشک ساقه-چه را در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری آب تولید کرده‌اند. هم‌چنین این نتیجه بر حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا در مقایسه با رقم تیتیکاکا به شوری آب شوری دلالت دارد.

اثر تنش شوری آب، اثر رقم و اثر متقابل تنش شوری آب و رقم بر شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه در ارقام مورد مطالعه با افزایش شوری آب کاهش می‌یابد. کمترین شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه ارقام کینوا در شوری آب ۲۰ دسی-زیمنس به‌دست آمد که برای رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب ۵۸ و ۴۳ درصد بود که با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج این شاخص نشان داد که ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در شرایط تنش شوری آب

۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، تنها ۵۸ و ۴۳ درصد وزن خشک ریشه‌چه را در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری آب تولید کرده‌اند. هم‌چنین این نتیجه بر حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا در مقایسه با رقم تیتیکاکا به تنش شوری آب دلالت داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاه چه کینوا می‌شود. کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاه چه با سطوح مختلف شوری آب همبستگی معنی‌دار داشت و از معادله درجه دوم پیروی می‌کرد. در خصوص صفات یاد شده رقم ردکاردینا حساسیت بیشتری در مقایسه با رقم تیتیکاکا نسبت به تنش شوری آب داشت. با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی عصاره اشباع آب خاک معادل ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر که شوری نسبتاً بالایی است، درصد جوانه‌زنی کینوا رقم تیتیکاکا تنها ۴/۹ درصد کاهش یافت؛ بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که رقم تیتیکاکا برای کشت در مناطق شور از مزیت بیشتری برخوردار است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس پروژه تحقیقاتی " امکان‌سنجی کشت نشایی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در شرایط خاک و آب شور " با شماره ۹۷۰۱۴۶-۰۹۵۵۱-۰۲۵-۱۰-۴۱-۱۲ اجرا شد که بدین وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ir)، موسسه تحقیقات خاک و آب (www.swri.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (www.tehran. areeo.ac.ir) تشکر می‌گردد. هم‌چنین از آقای دکتر موسی‌الرضا وفایی‌تبار، عضو محترم هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران که در تحلیل نتایج رگرسیون‌ها کمک شایانی نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد."

فهرست منابع

۱. انصاری اردلی، ی.، نبی پور, م.، روشنفکر, ح و باقری, م. ۱۴۰۰. ارزیابی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) در شرایط شور به‌کمک شاخص‌های جوانه‌زنی در محیط کنترل شده. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحات ۴۷۵-۴۸۵

۲. باقری، م.، عنافجه، ز.، طاهریان، م.، امامی، ع.، مولائی.، ع و کشاورز، س. ۱۳۹۹. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های منتخب کینوا در نظام‌های کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل، مجله علوم زراعی ایران. جلد ۲۲، شماره ۴، صفحات ۳۷۶-۳۸۷

۳. جمالی، س و شریفان، ح. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (*Cv. Titicaca*). نشریه پژوهش‌های حفاظت از آب و خاک. جلد ۲۵، شماره ۲، صفحات ۲۵۱-۲۶۶

۴. رحیمی، ز و کافی، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی خرفه (*Portulaca oleracea* L). مجله تحقیقات محصولات زراعی ایران. جلد ۸، شماره ۴، صفحات ۶۱۵-۶۲۱

۵. سلطانی، ع.، گالشی، س.، زینلی، ا. و لطیفی، ن. ۱۳۸۰. اثر ذخیره بذر بر جوانه‌زنی و رشد نخود تحت تأثیر شوری و اندازه بذر. علوم و تکنولوژی بذر. شماره ۲، صفحات ۵۱-۶۰.

۶. شهیدی، ر.، کامکار، ب.، لطیفی، ن و گالشی، س. ۱۳۹۸. تاثیر سطوح و دوره‌های متفاوت اعمال تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو بدون پوشینه (*Hordeum vulgare* L.). مجله تولید گیاهان زراعی، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۴۹-۶۳

7. Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*. 92:43–54.
8. Akbari Moghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari. A. and Panjehkeh, N. 2011. Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia Journal of Sciences*. 9: 43-50.
9. Barrett- Lennard, E. G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: Causes, consequences and implications. *Plant and Soil*. 253: 35-54.
10. Finch-Savage, W.E., Dent, K.C. and Clark, L.J. 2004. Soak conditions and temperature following sowing in fluece the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (Pre-Sowing Seed Soak). *Field Crops Research*. 90: 361- 374.
11. Ghoulam, C. and Fares, K. 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) *Seed Scince. and Technolog*. 29: 357-364.
12. Hag ghani, M., Saffari, M. and Magsoudi-Moud, A.A. 2008. Effect of different levels of Nacl salinity on germination and Seedling growth of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agriculture Science*. 45: 449- 458.
13. Hariadi Y, Marandon K, Tian Y, Jacobsen S. E. and Shabala. S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.) plants grown at various salinity levels. *Journal* of *Experimental Botany*.62: 185-193.
14. Jacobsen S. E., Mujica. A and Jensen. C. R. 2003. Resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse, abiotic factors. *Journal of Experience Botany*. 54: 21-21.
15. Jacobsen, S. E., Liu, F and Jensen C. R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281-287.
16. Jacobsen, S. E., A. Mujica, and Jensen C. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19 (1–2):99–109.
17. Jacobsen, S. E., Quispe, H and Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. CIP Program Report, 2000, 403-408.
18. Koyro, H. W., Lieth, H and S. Eisa S. 2008. Salt tolerance of chenopodium quinoa willd. Grains of the Andes: Influence of salinity on biomass production, yield, and composition of reserves in the seeds, water and solute relations. *Tasks for Vegetation Sciences*, 43, 133-145.
19. Koyro, H.W and S. Eisa, S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa Willd. *Plant and Soil*. 302: 79-90.
20. Läuchli, A., and S. Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress. In Advances in molecular breedingtoward drought and salt tolerant crops, ed. M. A. Jenks, P. M. Hasegawa and S. M. Jain, 1–32. Netherlands: Springer. EBook ISBN: 978-1-4020-5578-2.
21. Long, N. V. 2016. Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences* 14(3):321–27.
22. Maleki, P., Bahrami, H.A., Saadat, S., Sharifi, F., Dehghany, F., 2016. Germination of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under Salinity Stress. Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments. ICBA, Dubai.
23. Massai, R., Remorin, D. and Tattini, M. 2004. Gas exchange, water relation and osmotic adjustment in two scion/rootstock combination of prunes under various salinity concentration. *Plant and Soil*. 259: 153- 162.
24. Misra, N. and Dwivedi, U.N. 2004. Genotypic difference in salinity tolerance of greengram cultivars. Plant Sci, No, 166. pp: 1135-1142.
25. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167(3): 645–663.

26. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review* of *Plant Biology*. 59, 651-681.
27. Noor, E., F. M. Azhar. And, Khan, A. L. 2001. Differences in responses of *gossypium hirsutum* L. varieties to NaCl salinity at seedling stage. *International Journal of Agriculture and Biology*. 3 (4): 345-347.
28. Panuccio M.R, Jacobsen S.E, Akhtar S.S, and Muscolo A. 2014. Effect of saline water on seed germination and earlyseedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6: plu047;
29. Panuccio, M. R., Jacobsen, S. E., Akhtar, S. S. and A. Muscolo. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*. 6,212-218.
30. Prado, F. E., C. Boero, M. Gallardo, and Gonzalez. J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugarcontent in Chenopodium quinoa Willd. *Seeds. Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 41:27–34.
31. Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37: 613-620.
32. Repo-Carrasco, R., Espinoza, C and Jacobsen S. E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19, 179-189.
33. Ruffino, A. M. C., Rosa, M., Hilal, M., Gonzalez, J. A and Prado F. E. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil*, 326, 213-224.
34. Ruiz, K., S. Biondi, E. Martínez, F. Orsini, F. Antognoni, and S. E. Jacobsen. 2016. Quinoa–A model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 150 (2):357–71.
35. Shabala, S., Hariadi, Y., and Jacobsen S. E. 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na+ loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiol*. 1; 170(10):906-14.
36. Trognitz, B. R. 2003. Prospects of breeding quinoa for tolerance to abiotic stress. *Food Reviews International*. 19: 129-137.
37. Turhan, H., and Ayaz, C. 2004. Effect of salinity on seedling emergence and growth of sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars. *International Journal of Agricultural Biological*, 6: 149-152.
38. Wilson C., Read, J.J and Abo-Kassem. E. 2004. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition*. 25: 2689 – 2704

Effects of Different Water Salinity Levels on Germination Characteristics of Two Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd)

M. Seilsepour [1]

Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.

mseilsep@yahoo.com

Received: July 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

In order to investigate effects of water salinity on germination characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), an experiment was conducted in a factorial and randomized complete blocks design with 10 treatments and three replication, in 2020. Salinity factor was considered at five levels (zero, 5, 10, 15 and 20 dS/m) and cultivars at two levels (Titicaca and Redcardina). Effects of salinity, cultivar, and their interaction were significant on germination percentage and its rate, length of shoot, root and seedling, vigor index, stem and root tolerance index. All characteristics were significantly reduced by salinity stress, with higher reduction in Redcardina than Titicaca. Salinity stress up to 5 dS/m had no significant effect on seed germination percentage of Titicaca, while in Redcardina, difference in germination percentage between distilled water (control) and salinity of 5 dS/m was significant. The highest germination percentage (100%) was obtained in treatment without salinity for both Titicaca and Redcardina. Germination percentage at salinity levels of 5, 10, 15 and 20 dS/m in Titicaca decreased by 1.4%, 4.9%, 14.3%, and 21%, and in Redcardina, by 2.6%, 6.6%, 18.3%, and 29.7% compared to the control. Stem length of cultivars at salinity levels of 5, 10, 15 and 20 dS/m compared to the control treatment were reduced by 6.8%, 14%, 27.6%, and 39.6% for Titicaca and 7.3%, 19.9%, 43.7% and 53.8% for Redcardina, respectively. This percentage reduction for root length of Titicaca was 2.1%, 12.6%, 32.6%, and 44.2% and for Redcardina was 6.4%, 21.2%, 38.2% and 57.9%. Salinity stress of 5, 10, 15 and 20 dS/m caused the dry weight of seedlings of Titicaca to decrease by 12.7%, 27.1%, 36.8% and 46.6% and in Redcardina by 11.4%, 27.8%, 45%, and 57.1%. Based on the results, Redcardina cultivar was more sensitive to salinity stress during germination than Titicaca.

Keyword: Germination percentage, Quinoa Redcardina cultivar, Quinoa Titicaca cultivar, Seedling dry weight

[1] - Corresponding author: Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, I.R.Iran.