اثر شوری کلرید سدیم و غرقاب شدن خاک بر ویژگی‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط گلخانه‌ای

نصرت‌اله نجفی* و المیرا سرهنگ‌زاده[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۹)

چکیده

شوری و غرقاب از مهمترین تنش‌های غیرزیستی محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان در دنیا می‌باشند. این دو تنش می‌توانند به‌طور هم‌زمان رخ داده و بر رشد گیاهان از جمله ذرت اثر تجمعی داشته باشند. در یک آزمایش گلخانه‌ای، تأثیر شوری کلرید سدیم و غرقاب شدن خاک و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های رشد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ مطالعه گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار، شامل مدت غرقاب شدن خاک در پنج سطح (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ روز) و شوری عصاره اشباع خاک در چهار سطح (۰/۱۱، ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گردید. نتایج نشان داد که تأثیر شوری بر وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی، نسبت وزن تر بخش هوایی به وزن تر ریشه، شاخص کلروفیل برگ‌ها و ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. با افزایش سطح شوری، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل و ارتفاع گیاه کاهش یافتند. تأثیر مدت غرقاب بر وزن تر و خشک بخش هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها معنی‌دار بود، ولی بر وزن تر و خشک ریشه، نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه و ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه، شاخص کلروفیل و ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافتند. اثر متقابل غرقاب و سطوح شوری بر وزن تر بخش هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها معنی‌دار بود، ولی بر سایر ویژگی‌های تعیین شده معنی‌دار نبود. بیشترین وزن تر بخش هوایی در تیمار شاهد و کمترین آن در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۰ روز غرقاب به دست آمد. بخش هوایی ذرت نسبت به تنش‌های غرقاب و شوری حساس‌تر از ریشه‌ها بود. نتایج نشان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک (۲ روز) بر ویژگی‌های رشد ذرت علوفه‌ای اثر طولانی مدت داشتند.

واژه‌های کلیدی: تنش، ذرت، کلروفیل، شوری، غرقاب

مقدمه

شوری آب و خاک یکی از مشکلات عمده کشاورزی در سطح جهان است (۶). گاهی دو تنش شوری و غرقاب به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهند. به‌طوری که یا خاک شور غرقاب می‌شود و یا خاک غیرشور با آب شور غرقاب می‌گردد (۴۳). بررسی‌ها نشان داده است که قسمت عمده اراضی شور با مشکل غرقاب دائمی یا متناوب مواجه‌اند (۶ و ۴۸) و هم‌زمان بودن این دو تنش سبب تشدید آثار هر کدام از آنها می‌شود (۴ و ۱۶). پاسخ گیاه به شوری بسته به غلظت و ترکیب نمک در محلول خاک و زمان مواجه شدن با شوری متفاوت می‌باشد (۱۱). به‌طور کلی، گیاهانی که در محیط شور زندگی می‌کنند، با سه مشکل عمده مواجه هستند:

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n-najafi@tabrizu.ac.ir

۱. تنش خشکی ناشی از پتانسیل آبی کم محیط ریشه نسبت به پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی،
۲. عدم تعادل عناصر غذایی ناشی از کاهش جذب، انتقال و توزیع عناصر غذایی مانند کلسیم و پتاسیم،
۳. سمیت یونی مربوط به جذب زیاد سدیم و کلرید که اثرات زیان‌آوری بر غشاهای سلولی و سیستم‌های آنزیمی دارند (۸، ۱۴، ۱۹، ۳۳، ۳۹ و ۴۷).

مهمترین اثر شوری بر گیاهان زراعی توقف رشد آنهاست. کاهش سطح برگ سریع‌ترین پاسخ گیاه به شوری است و با افزایش سطح شوری، توسعه برگ‌ها متوقف می‌گردد (۳۵ و ۳۹). بر اثر شوری، به‌دنبال کاهش سطح برگ، میزان جذب نور و ظرفیت کل فتوسنتز کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش تأمین فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ می‌گردد. در نتیجه، تولید برگ‌های جدید با مشکل مواجه شده و نشانه‌های سوختگی در برگ‌های بالغ مشاهده می‌شود (۳ و ۳۵). گیاه ذرت در مرحله جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه بیشتر از مراحل بعدی رشد به شوری حساسیت دارد (۲). رشد ریشه در مقایسه با رشد بخش هوایی کمتر تحت تأثیر شوری می‌باشد. ولی ممکن است شوری موجب تغییرات مورفولوژیک و آناتومیک در ریشه تعدادی از گونه‌ها شود (۴۲).

تأمین مقدار کافی آب در خاک هم برای رشد گیاه و هم برای انتقال مواد غذایی به سمت ریشه ضروری است؛ اما گاهی افزایش بیش از حد آب در منطقه ریشه برای اغلب گیاهان مشکلاتی را ایجاد می‌کند و سبب کاهش محصول در بسیاری از رقم‌ها می‌شود (۲۵). آبیاری بیش از حد، بارندگی با شدت و مدت زیاد، طغیان رودخانه‌ها و وقوع سیل و بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و سطح آب دریاها سبب غرقاب شدن خاک‌های کشاورزی می‌گردد. میزان تحمل یا سازگاری گیاهان به شرایط غرقاب به نوع گیاه، رقم، اندام گیاه، مرحله رشد گیاه، مدت غرقاب شدن خاک و ویژگی‌های خاک نظیر پ- هاش، مواد آلی و دما بستگی دارد (۳۲). کاهش رشد و عملکرد دانه گندم با افزایش مدت غرقاب شدن خاک گزارش شده است (۳۲ و ۴۹). یو و همکاران (۵۳) گزارش دادند که غرقاب شدن خاک به‌مدت دو تا چهار هفته سرعت رشد و وزن خشک گیاهان جو، ذرت، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و گندم را کاهش داد. خسارت ناشی از غرقاب کامل در ذرت، آفتابگردان و گندم شدت کمتری داشت که به‌علت تخلخل بیشتر ریشه این گیاهان در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه بود. نتایج نشان داد که تحمل در برابر غرقاب به تهویه داخلی گیاه مربوط است و ممکن است گیاه با افزایش تخلخل ریشه نسبت به غرقاب شدن خاک متحمل شود. در گونه‌های ناسازگار با شرایط غرقاب، در صورت ادامه شرایط غرقاب، در مدت چند روز، به‌صورت مرحله‌ای، نشانه‌های آسیب‌دیدگی در گیاهان نمایان می‌شود. حدود چهار تا هشت روز بعد از آغاز غرقاب، رشد بخش هوایی کاهش می‌یابد و رشد ریشه به‌طور کامل متوقف می‌گردد (۳۳ و ۵۱). پس از غرقاب شدن خاک، نشانه‌هایی مثل پژمردگی و پیچیدگی برگ‌ها به‌سمت پایین در انواع گیاهان علفی غیرمتحمل غرقاب، می‌تواند مشاهده شود که ناشی از کاهش تراوایی ریشه نسبت به آب و تجمع اتیلن در بخش هوایی می‌باشد. از دیگر اثرات غرقاب شدن خاک، می‌توان به پیری زودرس برگ‌ها، به‌ویژه برگ‌های پایین، و کاهش یا توقف رشد ساقه اشاره کرد (۳۳). اثر مضر غرقاب شدن خاک بر رشد ریشه عمدتاً به‌دلیل کمبود اکسیژن در محیط پیرامون ریشه است (۱۷). این کمبود اکسیژن، تأثیر خود را بر متابولیسم ریشه، به‌صورت مختل نمودن تعادل هورمونی گیاه (۱۰، ۲۲، ۲۶ و ۴۱)، کاهش نفوذپذیری ریشه نسبت به آب (۲۳ و ۳۳) و کاهش سرعت جذب عناصر غذایی (۲۹ و ۴۴) نشان می‌دهد. غرقاب شدن خاک از ساخت و جابجایی هورمون‌های سیتو-کینین و جیبرلین در ریشه جلوگیری می‌کند (۳۳). پزشکی (۴۰) به سفیدی نوک ریشه‌های نازک، کاهش زیست‌توده ریشه و کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه در اکثر گیاهان در پاسخ به غرقاب شدن خاک اشاره کرد. کاهلاون و اشرف (۲۴) گزارش دادند که ذرت و سورگوم از گیاهان حساس به غرقاب می‌باشند. لیزاسو و ریچی (۳۱) گزارش دادند که غرقاب شدن

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

گروه بافت	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	آهک (٪)	SP (٪)	pH (۱:۱)	ECe (dS/m)
شن لومی	۷۰	۱۸	۱۲	ناچیز	۳۲	۷/۶۳	۰/۱۱

ادامه جدول ۱

ماده آلی (٪)	N (٪)	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
						(mg/kg)				
۰/۱۱	۰/۰۸	۵/۷	۵۰۲/۷	۱۰۸/۸	۱۱۴۹/۲	۹۹/۱	۱/۸	۱/۱	۰/۸۵	۱/۳

خاک سبب کاهش سطح برگ‌ها، کاهش شدت فتوسنتز برگ‌ها و پیری زودرس برگ‌های ذرت می‌گردد. گراسینی و همکاران (۱۸) نیز کاهش سطح برگ گیاه آفتابگردان در شرایط غرقاب را گزارش نمودند. به گزارش نایدو (۳۶) اثر تلفیقی شوری و غرقاب بر رشد اندام‌های هوایی و ریشه و بسیاری از فعالیت-های گیاه معنی‌دار است.

ذرت، بعد از گندم و برنج، سومین محصول در میان غلات است. توسعه کشت این محصول از نظر تأمین غذای دام، طیور و انسان از اهمیت زیادی برخوردار است (۱). در خاک‌های شور، غلظت سدیم و کلرید در محلول خاک معمولاً از اغلب عناصر بیشتر می‌باشد (۱۹ و ۳۳). با توجه به مطالب در پیش گفته شده، هدف از این پژوهش، بررسی اثر شوری کلرید سدیم و مدت غرقاب شدن خاک و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های رشد گیاه ذرت علوفه‌ای می‌باشد. بررسی منابع نشان داد که در این زمینه در دنیا کارهای محدودی انجام شده است و در داخل کشور نیز کار مشابهی یافت نشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی شامل شوری در چهار سطح (۰/۱۱، ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و مدت غرقاب شدن خاک در پنج سطح (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ روز) و با سه تکرار انجام شد. خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب گردید و از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از هواخشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (۳۸)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیم (۲۸)، روی، آهن، منگنز، مس، سرب و کادمیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA (۳۰)، پ- هاش خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (۳۴) و هدایت الکتریکی آن در عصاره اشباع (۲۰)، بافت خاک به روش هیدرومتر (۹)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (۳۷) و کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (۴۵) اندازه‌گیری شد. برای کشت گیاه از گلدان‌های حاوی ۲/۵ کیلوگرم خاک با بافت شن لومی استفاده شد. علت انتخاب خاک با بافت سبک این بود که در پایان آزمایش، جمع‌آوری سیستم ریشه‌ای گیاه و جداسازی آنها از خاک تسهیل گردد و پس از زهکشی آب اضافی سریعتر خارج گردد. براساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) کودهای شیمیایی مورد نیاز قبل از کشت گیاه به‌صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد و خوب مخلوط گردید.

برای کشت گیاه، ابتدا بذرهای ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند. سپس در میان چند لایه پارچه متقالی تمیز و مرطوب قرار داده شدند تا جوانه بزنند. تعداد شش بذر جوانه‌دار شده در عمق ۲/۵ سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها کشت گردید و در شرایط گلخانه با

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر شوری و غرقاب بر وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه
شوری	۳	۱۹۵۷/۲**	۱۲۴۸/۶**	۱۱۶/۸**	۱۸۳/۰**
غرقاب	۴	۲۳۹۲/۳**	۳۷۲/۷ ns	۶۸/۳**	۱۸/۳ns
شوری× غرقاب	۱۲	۲۱۲/۴**	۴۷/۲ns	۲۵/۴۸ns	۷/۸۸۲ns
خطای آزمایشی	۴۰	۸۹/۶۴	۲۸۹/۳۷	۱۵/۶۰	۸/۳۸۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۵/۷۱	۱۳/۹۰	۱۵/۶۳	۱۸/۶۳

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۵۵ درصد نگه‌داری شدند. رطوبت خاک گلدان‌ها روزانه از طریق توزین در دامنه FC–FC ۰/۷ نگه‌داری شد. بعد از رشد و استقرار گیاه، بوته‌های ضعیف حذف شده و سه بوته یک‌نواخت و سالم ذرت در هر گلدان نگه‌داری شد. تیمارهای شوری و غرقاب بعد از رسیدن گیاهان به مرحله پنج برگی و به‌طور هم‌زمان اعمال گردید. برای اعمال سطوح شوری، ابتدا یک محلول کلرید سدیم با غلظت معین تهیه نموده و حجم‌های مختلفی از آن به‌تدریج طوری به خاک گلدان‌ها افزوده شد که قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از ۰/۱۱ در سطح شاهد به ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یابد. افزایش تدریجی سطح شوری خاک برای جلوگیری از وارد شدن شوک نمکی به گیاه انجام شد. سپس سطوح غرقاب شدن خاک گلدان‌ها (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ روز) اعمال گردید. ارتفاع آب غرقاب در سطح خاک گلدان‌ها سه سانتی‌متر بود (۱۷). در پایان هر یک از دوره‌های غرقاب، گلدان‌ها با ایجاد سوراخ‌هایی در ته آنها زهکشی شدند و زه‌آب آنها جمع‌آوری شد و در مراحل بعدی رشد با این زه‌آب آبیاری شدند تا بر شوری و غلظت‌های عناصر غذایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد. پس از زهکشی اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند (حدود ۳۵ روز) تا معلوم شود اثر غرقاب با گذشت زمان برطرف می‌شود یا این‌که تا مدت طولانی باقی می‌ماند. پس از اعمال تیمارها، شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD 502, Minolta, Japan)، ارتفاع گیاه با متر و قطر ساقه در محل طوقه با کولیس اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه نیز از خاک جدا شد. وزن تر بخش هوایی و ریشه بعد از برداشت با ترازو (دقت ۰/۰۰۱± گرم) تعیین شد. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه، نمونه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و ۷۲ ساعت نگه‌داری شدند. سپس وزن خشک آنها با ترازو (دقت ۰/۰۰۱± گرم) تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC، تحلیل رگرسیون با نرم‌افزار SPSS و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده است. این خاک غیرشور بوده و دارای پ- هاش قلیایی، بافت درشت، آهک ناچیز و ماده آلی خیلی کم بود.

وزن تر و خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه تحت اثر اصلی شوری و غرقاب

اثر اصلی	سطح	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
		(گرم در گلدان)			
شوری (dS/m)	۰	۱۸۰/۷ a	۲۸/۵۸ a	۱۱۵/۷ bc	۱۸/۵۸ a
	۲	۱۶۶/۲ b	۲۵/۹۴ ab	۱۲۸/۹ ab	۱۷/۷۴ a
	۴	۱۶۳/۱ b	۲۴/۶۷ bc	۱۳۱/۵ a	۱۵/۰۰ b
	۸	۱۵۳/۱ c	۲۱/۸۶ c	۱۱۳/۴ c	۱۰/۸۲ c
غرقاب (روز)	۰	۱۷۶/۴ a	۲۷/۵۰ a	۱۲۸/۶ a	۱۶/۵۴ a
	۲	۱۷۵/۲ a	۲۶/۶۶ a	۱۲۳/۶ ab	۱۶/۲۳ a
	۴	۱۷۱/۲ a	۲۶/۸۱ a	۱۲۱ ab	۱۶/۱۵ a
	۸	۱۶۴/۱b	۲۲/۵۶b	۱۲۴/۹ab	۱۵/۲۵ab
	۲۰	۱۴۲/۱ c	۲۲/۷۶b	۱۱۳/۷b	۱۳/۴۹b

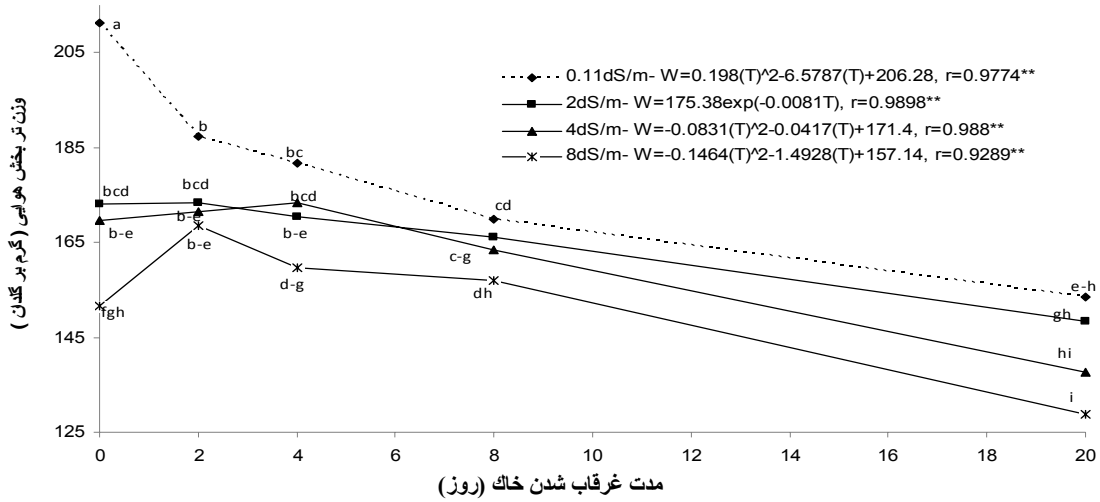
در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۴. رابطه میان شوری عصاره اشباع خاک (ECe) و وزن تر بخش هوایی ذرت (W) در زمان‌های مختلف غرقاب

مدت غرقاب (روز)	رابطه رگرسیونی	ضریب همبستگی
۰	W=199.66-6.6457(ECe)	۰/۹۰۳*
۲	W=182.34-2.04(ECe)	۰/۸۳۳^{ns}
۴	W=179.86-2.4671(ECe)	۰/۹۲۷*
۸	W=169.56-1.5671(ECe)	۰/۹۹۹**
۲۰	W=153.18-3.18(ECe)	۰/۹۸۴**

شوری (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح شوری، وزن تر بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. سطح آستانه شوری ذرت علوفه‌ای ۱/۸ dS/m گزارش شده است (۲۱). رشد و عملکرد گیاه در شوری بیشتر از سطح آستانه کاهش می‌یابد. میان میانگین وزن تر بخش هوایی برحسب گرم در گلدان و سطوح شوری عصاره اشباع خاک برحسب dS/m در زمان‌های مختلف غرقاب روابط خطی معکوس وجود داشت (جدول ۴). بیشترین وزن تر بخش هوایی در شوری ۰/۱۱ dS/m (شاهد) و کمترین وزن تر بخش هوایی در شوری ۸ dS/m بود. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی غرقاب (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک وزن تر بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، میان مدت غرقاب شدن خاک برحسب روز و وزن تر بخش هوایی ذرت برحسب گرم در گلدان روابط معنی‌داری در هر یک از سطوح شوری مشاهده گردید که با استفاده از آنها می‌توان وزن تر بخش هوایی ذرت را در زمان‌های مختلف پس از غرقاب با دقت نسبتاً خوبی پیش‌بینی کرد. کمترین وزن تر بخش هوایی در ۲۰ روز غرقاب و بیشترین آن در سطح بدون غرقاب (شاهد) بود.

اثر غرقاب شدن خاک بر وزن تر بخش هوایی به سطوح شوری خاک بستگی داشت و برعکس (شکل ۱). در سطح بدون شوری، با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، وزن تر بخش



شکل ۱. اثر شوری و مدت غرقاب شدن خاک بر وزن تر بخش هوایی ذرت

هوایی به‌طور پیوسته کاهش یافت. در سطح شوری ۲ dS/m، تا ۲ روز پس از غرقاب شدن خاک، وزن تر بخش هوایی تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرد ولی پس از آن کاهش یافت. عدم تغییر وزن تر بخش هوایی در سطوح اولیه غرقاب را می‌توان چنین توجیه کرد که تا ۲ روز غرقاب، اثر تنش شوری بر کاهش وزن تر بخش هوایی مهمتر از اثر تنش غرقاب بوده است. در نتیجه، مطابق قانون حداقل لیبیگ، اثر غرقاب مشابه سطح شوری شاهد ظاهر نشده است. در دو سطح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش اولیه وزن تر بخش هوایی را می‌توان به رقیق شدن محلول خاک بر اثر افزودن آب برای غرقاب کردن خاک نسبت داد که سبب کاهش اثر تنش شوری بر رشد گیاه می‌گردد. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، اثر تنش غرقاب و کمبود اکسیژن سبب کاهش وزن تر بخش هوایی می‌گردد. تیمار شاهد (بدون غرقاب و بدون شوری) بیشترین و شوری ۸ dS/m و ۲۰ روز غرقاب کمترین وزن تر بخش هوایی را داشتند (شکل ۱). درو و سیسورو (۱۵) مشاهده کردند که وزن تر بخش هوایی گندم با غرقاب شدن خاک به مدت دو و چهار روز تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نکرد ولی در سطح ۲۰ روز غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تروت و درو (۵۱) نتایج مشابهی را در گیاه جو گزارش دادند.

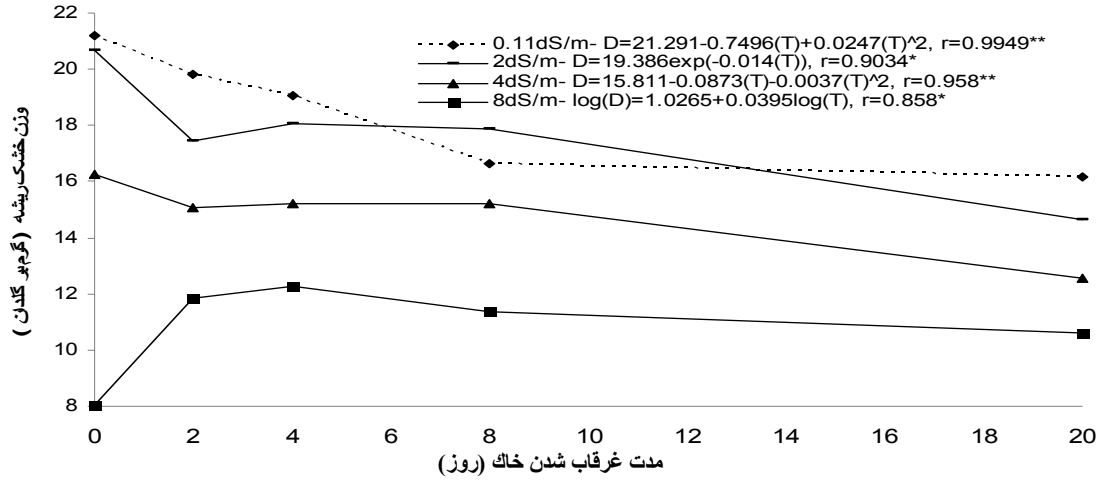
به‌طور کلی، غرقاب شدن خاک از طرق مختلف بر رشد گیاه اثر می‌گذارد که عبارت‌اند از (۷ و ۳۳): ۱) اثر بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی؛ برای مثال کاهش قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه در خاک به‌دلیل هدررفت آن از طریق فرایند نیترات‌زدایی و بروز کمبود نیتروژن در گیاه، ۲) تولید اتانول و متابولیت‌های سمی برای گیاه؛ پس از غرقاب شدن خاک، بر اثر کمبود اکسیژن، در ریشه‌های گیاه متابولیسم بی‌هوازی (فرایند تخمیر) انجام می‌شود و سبب تشکیل و انباشته شدن اتانول و لاکتات می‌گردد که به رشد گیاه آسیب می‌زند، ۳) در متابولیسم بی‌هوازی (فرایند تخمیر) ATP کمتری تولید می‌شود که سبب مختل شدن وظایف سلول‌های گیاه می‌گردد، ۴) کاهش تولید کلروفیل یا تجزیه آن سبب کاهش شدت فتوسنتز و بروز کمبود کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌گردد که رشد گیاه را کم می‌کند. در تأیید این مطلب، افزودن گلوکز به محیط رشد گیاه اثر مضر غرقاب بر رشد ریشه‌ها را کاهش می‌دهد و ۵) غرقاب شدن خاک از ساخت و انتقال هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین به اندام‌های هوایی جلوگیری می‌کند؛ در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، هورمون‌های اتیلن و آبسیزیک اسید در ریشه انباشته می‌شوند و می‌توانند به اندام‌های هوایی نیز انتقال یابند و

رشد گیاه بر اثر زیادی آنها کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، غرقاب شدن خاک سبب بروز اختلالات هورمونی در گیاه می‌شود. کاهش رشد گیاه در شرایط شور به کاهش میزان آب و پتانسیل آب برگ‌ها، ساقه و ریشه گیاهان رشد یافته در شرایط شور نسبت داده شده است که سبب کاهش آب ورودی به گیاه می‌شود. در نتیجه، رشد بخش هوایی و ریشه کاهش می‌یابد (۵). کاهش وزن تر گیاهان مختلف بر اثر شوری به‌وسیله سایر محققین نیز گزارش شده است (۵، ۳۹ و ۵۲).

روند تأثیر غرقاب و شوری بر وزن تر و خشک بخش هوایی متفاوت بود. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل این نتیجه تشکیل ریشه‌های نابجا و با تخلخل زیاد در برخی تیمارهای با غرقاب و شوری بود (۳۳) که علی‌رغم وزن تر زیاد، وزن خشک کمی داشتند. لذا، نتایج اثر تیمارها بر وزن خشک بخش هوایی نیز ارائه گردید. تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر شوری و غرقاب بر وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار ولی اثر متقابل آنها غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطوح شوری، وزن خشک بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین وزن خشک بخش هوایی در سطح شوری شاهد و کمترین آن در سطح شوری ۸ dS/m بود. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک به ۴ روز، وزن خشک بخش هوایی تغییر معنی‌داری نکرد ولی پس از آن کاهش یافت (جدول ۳). کوپر (۱۲) اثر تیمارهای مختلف شوری و غرقاب را بر دو گیاه *Plantago maritime* و *Festuca rubra* به‌مدت دو ماه بررسی و مشاهده کرد که اثر متقابل شوری و غرقاب بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار نبود، ولی که اثر اصلی شوری و غرقاب بر وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با افزایش مدت غرقاب و سطح شوری، وزن خشک بخش هوایی کم شد. تیکل و همکاران (۵۰) با بررسی اثر غرقاب و شوری بر دو گونه لگوم علوفه‌ای چند ساله مشاهده کردند که با غرقاب شدن خاک، وزن خشک بخش هوایی *Lotus tenus* حدود ۲۱٪ و *Lotus corniculatus* حدود ۳۰٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. هم‌چنین در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، *Lotus tenus* ۴۴٪ و *Lotus corniculatus* ۴۵٪ نسبت به شاهد کاهش محصول نشان دادند. درو و سیسورو (۱۵) نشان دادند که وزن خشک بخش هوایی جو با افزایش مدت غرقاب کاهش یافت. تروت و درو (۵۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

وزن تر و خشک ریشه

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر شوری بر وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، ولی اثر غرقاب و اثر متقابل شوری و غرقاب بر وزن تر ریشه معنی‌دار نبود. معنی‌دار نشدن اثر غرقاب شدن خاک بر وزن تر ریشه گیاه ذرت ممکن است ناشی از دو عامل باشد: یکی توانایی بازیابی این گیاه پس از قطع غرقاب و انجام زهکشی می‌باشد؛ زیرا در این بررسی پس از زهکشی گلدان‌ها به گیاهان اجازه داده شد تا بیش از یک ماه در شرایط عادی به رشد خود ادامه دهند. دیگری، عدم اثر قابل‌ملاحظه غرقاب بر ویژگی‌های مذکور به‌دلیل متحمل بودن گیاه ذرت می‌باشد. برای مشخص‌تر شدن موضوع، انجام تحقیقات بیشتر در این مورد و تعیین ویژگی‌های رشد گیاه بلافاصله پس از اتمام غرقاب و زهکشی توصیه می‌گردد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح شوری، وزن تر ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. شاید یکی از دلایل افزایش وزن تر ریشه با افزودن نمک کلرید سدیم مربوط به C_4 بودن فتوسنتز گیاه ذرت باشد. چون بسیاری از گیاهان C_4 به سدیم به عنوان یک عنصر غذایی ضروری نیاز دارند. از طرف دیگر، هم سدیم و هم کلرید در ایجاد فشار تورمی در سلول‌های ریشه و در نتیجه تقسیم سلول‌ها و رشد آنها مؤثرند. کاهش بعدی وزن تر ریشه با افزایش سطح شوری ناشی از زیادی یون‌های سدیم و کلرید می‌باشد که باعث مسمومیت سلول‌ها و



شکل ۲. اثر شوری و مدت غرقاب شدن خاک بر وزن خشک ریشه

ایجاد عدم تعادل تغذیه‌ای در سلول‌ها شده و رشد ریشه را کاهش می‌دهد (۲۱). وحید و همکاران (۵۲) با اعمال سه سطح شوری صفر، ۴۰ و ۸۰ مول بر مترمکعب بر سه رقم لوبیای سودانی مشاهده کردند که با افزایش سطح شوری، وزن تر ریشه هر سه رقم کاهش یافت. با توجه به این‌که با افزایش سطح شوری، وزن تر بخش هوایی پیوسته روند کاهشی داشت، افزایش وزن تر ریشه تا سطح ۴ dS/m نشان دهنده این است که حساسیت وزن تر ریشه ذرت به شوری کمتر از بخش هوایی بود. این نتیجه با گزارش کرامر و باومن (۱۳) مطابقت داشت. آنان مشاهده کردند که حساسیت ریشه ذرت به شوری کمتر از بخش هوایی می‌باشد و بیان داشتند که سطوحی از شوری که از رشد قسمت‌های هوایی جلوگیری می‌کند، ممکن است بر رشد ریشه تأثیر چندانی نداشته باشد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن تر بخش هوایی در این سطوح شوری اختصاص بخشی از کربوهیدرات‌های تولید شده در بخش هوایی به رشد ریشه‌ها باشد.

مقایسه میانگین‌های وزن تر ریشه تحت اثر اصلی غرقاب شدن خاک (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک تا ۸ روز، وزن تر ریشه تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۲۰ روز غرقاب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با مقایسه اثر مدت غرقاب شدن خاک بر وزن تر بخش هوایی و ریشه در جدول ۳ مشاهده گردید که وزن تر بخش هوایی به‌طور معنی‌داری در سطح ۸ روز غرقاب کاهش یافت (حدود ۷٪ نسبت به شاهد). در حالی که در این سطح غرقاب، وزن تر ریشه تغییر معنی‌داری نکرد. هم‌چنین، در سطح ۲۰ روز غرقاب، وزن تر بخش هوایی نسبت به شاهد ۱۹/۴۴٪ و وزن تر ریشه ۱۱/۵۸٪ کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهند که حساسیت وزن تر ریشه ذرت به غرقاب شدن خاک کمتر از بخش هوایی می‌باشد.

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی شوری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار، ولی اثر اصلی غرقاب و اثر متقابل شوری و غرقاب غیرمعنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۲ dS/m، وزن خشک ریشه تغییر معنی‌داری نکرد، ولی در سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میانگین وزن خشک ریشه در سطح بدون شوری (شاهد) و کمترین آن در شوری ۸ dS/m بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه تحت اثر اصلی غرقاب شدن خاک (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک تا ۸ روز، وزن خشک ریشه تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۲۰ روز غرقاب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این نتیجه با گزارش‌های وحید و همکاران (۵۲) و

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر شوری و غرقاب بر نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه، شاخص کلروفیل، ارتفاع و قطر ساقه ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه	شاخص کلروفیل	ارتفاع	قطر ساقه
شوری	۳	۰/۲۹۶**	۹/۱۵**	۸۲۸/۷۷**	۰/۰۷۸ ns
غرقاب	۴	۰/۰۶۶ ns	۹/۷۲**	۷۰/۱۸ ns	۰/۰۹۲ ns
شوری× غرقاب	۱۲	۰/۰۱ ns	۳/۵۹**	۱۲/۲۵ns	۰/۰۷۴ns
خطای آزمایشی	۴۰	۰/۰۴	۱/۵۶	۳۱/۹۰	۰/۰۵۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۵/۰۵	۱۲/۱۷	۸/۹۴	۱۱/۹۲

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیرمعنی‌دار

تیکل و همکاران (۵۰) مطابقت داشت. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بین مدت غرقاب شدن خاک (T) برحسب روز و وزن خشک ریشه (D) برحسب گرم در گلدان در سطوح مختلف شوری روابط معنی‌داری وجود دارد که با استفاده از آنها می‌توان میزان ماده خشک ریشه را در زمان‌های مختلف پس از غرقاب با دقت نسبتاً خوبی پیش‌بینی کرد. به‌دلیل وجود این روابط (داشتن روند)، علی‌رغم معنی‌دار نشدن اثر متقابل غرقاب و شوری بر وزن خشک ریشه، شکل ۲ رسم گردید، ولی حروف معنی‌داری به‌دلیل معنی‌دار نشدن اثر متقابل آورده نشد. شکل ۲ روند تغییرات وزن خشک ریشه را در سطوح مختلف شوری و غرقاب نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود روند تغییرات وزن خشک ریشه با افزایش مدت غرقاب شدن خاک در سطوح مختلف شوری خاک متفاوت بود. در سطوح شوری ۰/۱۱، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک ریشه با افزایش مدت غرقاب شدن خاک روند کاهشی داشت، ولی در سطح ۸ dS/m تا ۴ روز غرقاب روند افزایشی و بعد کاهشی داشت. به‌نظر می‌رسد در سطح ۸ dS/m بیشتر بودن وزن خشک ریشه در شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب (هرچند از لحاظ آماری معنی‌دار نبود) مربوط به رقیق شدن محلول خاک در شرایط غرقاب و کاهش اثر شوری بر رشد گیاه می‌باشد.

نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه

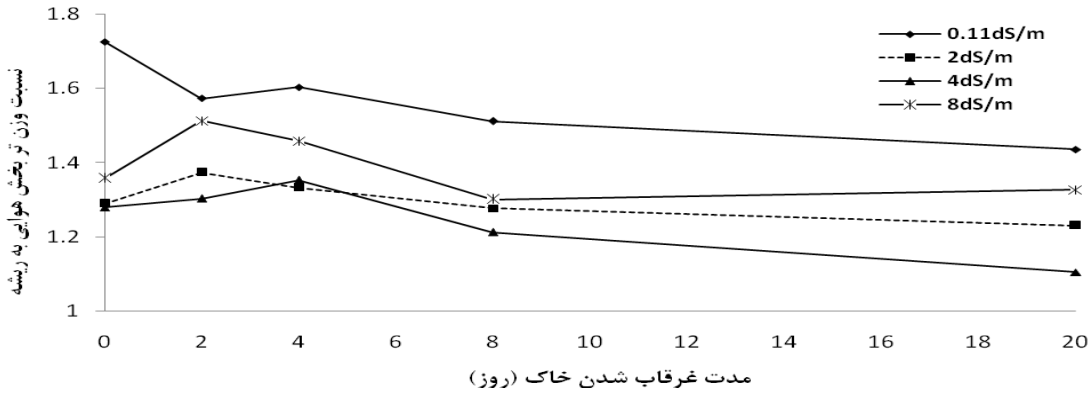
تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر شوری بر نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار ولی اثر اصلی غرقاب و اثر متقابل شوری و غرقاب غیرمعنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه با افزایش سطح شوری نسبت به سطح شاهد کاهش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که حساسیت وزن تر بخش هوایی گیاه ذرت به شوری بیشتر از وزن تر ریشه می‌باشد که با گزارش‌های کرامر و باومن (۱۳) و پولژاکوف و لرنر (۴۲) مطابقت داشت.

روند تغییرات نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه با افزایش مدت غرقاب شدن خاک در سطوح مختلف شوری خاک متفاوت بود (شکل ۳). در سطح شوری شاهد با افزایش مدت غرقاب شدن خاک این نسبت روند کاهشی داشت که نشان می‌دهد در شرایط غیرشور حساسیت وزن تر بخش هوایی گیاه ذرت به مدت غرقاب بیشتر از وزن تر ریشه می‌باشد. در سایر سطوح شوری این نسبت روند افزایشی و سپس کاهشی داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که در شرایط شور، حساسیت وزن تر بخش هوایی گیاه ذرت به دوره‌های غرقاب کوتاه کمتر از وزن تر ریشه می‌باشد. ولی در غرقاب طولانی مدت این حساسیت عکس می‌شود. این نتایج را اینگونه می‌توان توضیح داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک ریشه‌های نابجا در محل طوقه تشکیل می‌شوند که سبب کاهش نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه و کاهش حساسیت آن در برابر غرقاب می‌گردند.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل، ارتفاع، قطر ساقه و نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه تحت اثر اصلی شوری و غرقاب

اثر اصلی	سطح	شاخص کلروفیل	ارتفاع (سانتی‌متر)	قطر ساقه (سانتی‌متر)	نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه
شوری (dS/m)	۰	۱۰/۵۳ a	۷۰/۲۳ a	۲/۰۰ a	۱/۵ a
	۲	۱۱/۱۵ a	۶۷/۷۰ a	۱/۹۷ a	۱/۳ b
	۴	۱۰/۰۸ ab	۶۱/۱۷ b	۱/۸۹ a	۱/۲ b
	۸	۶/۲۹ b	۵۳/۶۱ c	۲/۰۶ a	۱/۳ b
غرقاب (روز)	۰	۱۰/۶۳ ab	۶۶/۱۷ a	۲/۰۹ a	۱/۱۴ a
	۲	۱۰/۱۴ b	۶۴/۳۹ a	۲/۰۱ ab	۱/۴۴ a
	۴	۱۱/۳۱ a	۶۳/۵۴ ab	۲/۰۲ ab	۱/۴۳ a
	۸	۱۰/۳۸ ab	۶۲/۰۰ab	۱/۸۸b	۱/۳۲ a
	۲۰	۸/۸۵ c	۵۹/۷۹b	۱/۹۱ab	۱/۲۷ a

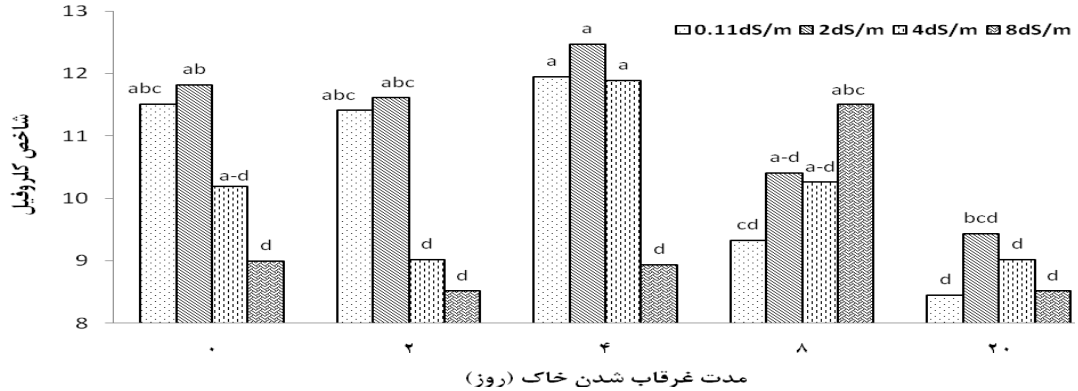
در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند



شکل ۳. اثر شوری و مدت غرقاب شدن خاک بر نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه

شاخص کلروفیل برگ‌ها

غلظت کلروفیل برگ شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن است و می‌تواند شاخصی از فعالیت فتوسنتزی گیاه باشد. تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر شاخص کلروفیل برگ‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک شاخص کلروفیل برگ‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد افزایش اولیه شاخص کلروفیل برگ‌ها را می‌توان به کاهش وزن تر و سطح برگ‌ها و وقوع اثر تغلیظ نسبت داد؛ در حالی که کاهش شاخص کلروفیل برگ‌ها در سطوح بالاتر مدت غرقاب ناشی از تجزیه کلروفیل می‌باشد (۳۳). درو و سیسورو (۱۵) مشاهده کردند که پنج روز پس از غرقاب شدن محیط رشد جو، نوک برگ‌های اول و دوم بر اثر تجزیه کلروفیل زرد شدند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۴ dS/m شاخص کلروفیل برگ‌ها تغییر معنی‌داری نکرد، ولی پس از آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اثر تنش شوری، تغذیه گیاه مختل شده و کلروفیل یا کم تشکیل شده و یا این‌که تجزیه می‌شود. در نتیجه، غلظت آن کاهش یافته و دستگاه کلروفیل‌سنج عدد کمتری را نشان می‌دهد. کاهش



شکل ۴ . اثر شوری کلرید سدیم و مدت غرقاب شدن خاک بر شاخص کلروفیل برگ‌ها

جدول ۷. رابطه میان شوری عصاره اشباع خاک (ECe) و ارتفاع ذرت (H) در زمان‌های مختلف غرقاب

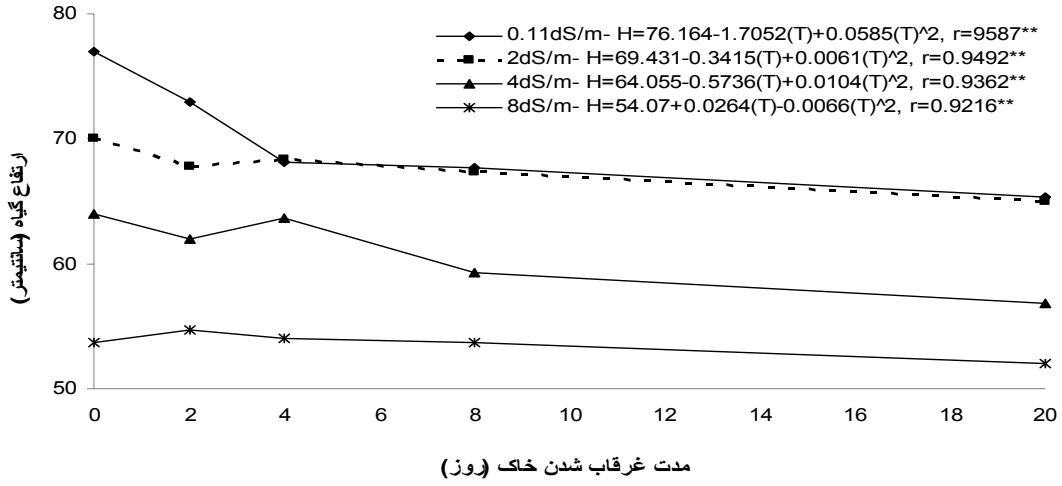
مدت غرقاب (روز)	رابطه رگرسیونی	ضریب همبستگی
صفر	H=76.449-2.9146(ECe)	۰/۹۹۶۵**
۲	H=72.53-2.3077(ECe)	۰/۹۹۲۸**
۴	H=70.316-1.9202(ECe)	۰/۹۶۵۶**
۸	H=68.803-1.9287(ECe)	۰/۹۶۳۹**
۲۰	H=66.294-1.8438(ECe)	۰/۹۵۶۳**

غلظت کلروفیل برگ‌ها به‌وسیله سایر محققین نیز گزارش شده است (۲۷).

مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برگ‌ها تحت اثر متقابل شوری و غرقاب (شکل ۴) نشان داد که اثر مدت غرقاب شدن خاک بر شاخص کلروفیل برگ‌ها در سطوح مختلف شوری متفاوت بود. در سطوح صفر، ۲ و ۴ روز غرقاب، با افزایش سطح شوری به dS/m ۸ شاخص کلروفیل برگ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ولی در دو سطح ۸ و ۲۰ روز غرقاب میان سطوح شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌نظر می‌رسد در سطوح بالاتر غرقاب، اثر تنش کمبود اکسیژن ناشی از غرقاب مهمتر از تنش شوری بوده است. درنتیجه، طبق قانون حداقل لیبیگ، میان سطوح شوری تفاوت معنی‌داری ایجاد نشده است. کمترین شاخص کلروفیل برگ‌ها در تیمار ۲۰ روز غرقاب و بدون شوری و بیشترین آن در تیمار ۴ روز غرقاب و شوری dS/m ۲ بود، هرچند که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشتند. شکل ۵ نشان می‌دهد که با غرقاب شدن خاک به مدت حداقل ۴ روز، آثار آن تا پایان دوره رشد بر شاخص کلروفیل برگ‌ها باقی می‌ماند که با گزارش مالیک و همکاران (۳۲) مطابقت داشت.

ارتفاع و قطر گیاه

تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر شوری بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار ولی اثر غرقاب و اثر متقابل شوری و غرقاب غیرمعنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که با افزایش سطح شوری، ارتفاع ذرت کاهش یافت که با نتایج سکیب و همکاران (۴۶) در گیاه گندم مطابقت دارد. میان سطوح شوری (EC_e) برحسب dS/m و میانگین ارتفاع گیاه (H) برحسب سانتی‌متر در زمان‌های مختلف غرقاب روابط رگرسیونی معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۷). با توجه به مقدار ضریب همبستگی، با استفاده از این روابط



شکل ۵ . اثر شوری و غرقاب بر ارتفاع گیاه

می‌توان ارتفاع ذرت را در سطوح مختلف شوری عصاره اشباع خاک با دقت خوبی پیش‌بینی کرد.

مقایسه میانگین‌های ارتفاع گیاه تحت اثر اصلی غرقاب (جدول ۶) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک به ۲۰ روز، ارتفاع ذرت به‌طور معنی‌داری نسبت به سطوح صفر و دو روز غرقاب کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بین مدت غرقاب (T) برحسب روز و ارتفاع گیاه (H) برحسب سانتی‌متر روابط رگرسیونی معنی‌داری در سطوح مختلف شوری وجود دارد. با توجه به مقدار ضریب همبستگی، با استفاده از این روابط می‌توان ارتفاع ذرت را در زمان‌های مختلف غرقاب شدن خاک با دقت خوبی پیش‌بینی کرد. شکل ۵ روند تغییرات ارتفاع گیاه را در سطوح مختلف شوری و غرقاب نشان می‌دهد. با افزایش سطوح شوری و مدت غرقاب شدن خاک، ارتفاع گیاه کاهش یافت که با نتایج سکیب و همکاران (۴۶) در گیاه گندم مطابقت داشت. کمترین ارتفاع گیاه مربوط به شوری ۸ dS/m و ۲۰ روز غرقاب و بیشترین ارتفاع در تیمار بدون شوری و بدون غرقاب بود.

تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر قطر ساقه در نزدیکی محل طوقه معنی‌دار نبودند.

نتیجه‌گیری

با افزایش سطح شوری، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل و ارتفاع گیاه ذرت کاهش یافت. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، نسبت وزن تر بخش هوایی به ریشه، شاخص کلروفیل و ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافتند. اثر متقابل غرقاب و شوری بر وزن تر بخش هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها معنی‌دار بود ولی بر سایر ویژگی‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود. بیشترین وزن تر بخش هوایی در تیمار شاهد و کمترین آن در سطح شوری ۸ dS/m و ۲۰ روز غرقاب بود. بخش هوایی ذرت نسبت به تنش‌های غرقاب و شوری حساس‌تر از ریشه بود. نتایج نشان داد که با غرقاب شدن خاک در یک مرحله از رشد گیاه ذرت، اثر آن بر رشد گیاه تا پایان دوره رشد باقی ماند.

منابع مورد استفاده

۱. تاجبخش، م. ۱۳۷۵. ذرت: زراعت، اصلاح، آفات و بیماری‌های آن. انتشارات احرار، تبریز.

۲. حق‌نیا، غ. ۱۳۷۱. راهنمای تحمل گیاهان نسبت به شوری (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳. حیدری‌شریف‌آبادی، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

4. Akhtar, J., A. Shahzad, R. H. Qureshi, A. Nasseem and K. Mahmood. 2000. Testing of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against salinity and waterlogging. Pakis. J. Biol. Sci. 3: 1134-1137.
5. Bahatt, M. J., A. D. Patel, P. M. Bhatti and A. N. Pandey. 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauitiana*. J. Fruit Ornam. Plant Res. 16: 383-401.
6. Barrett- Lennard, E. G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: Causes, consequences and implications. Plant Soil 253: 35-54.
7. Bernardino, D. F. M. and C. J. R. Carvalho. 2000. Physiological and morphological responses of Barchiaria Spp. to flooding. Pesq. Agrop. Brasil. 35: 1954-1966.
8. Botrini, L., D. P. M. Lipucci and A. G. Graifenberg. 2000. Potassium affects sodium content in tomato plants growing in hydroponic cultivation under saline sodic stress. HortSci. 35: 1220-1222.
9. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
10. Burrows, W. J. and D. T. Carr. 1969. Effects of flooding the root system of sunflower plants on the cytokinin content of the xylem sap. Plant Physiol. 22: 1105-1112.
11. Clark, R. B. and R. R. Duncan. 1993. Selection of plants to tolerate soil salinity, acidity and mineral deficiencies. Proc. of the 1st International Crop Science Congress, Crop Sci. Soc. of Am., Madison, WI, USA, pp. 374-379.
12. Cooper, A. 1981. The effects of salinity and watelogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. New Phytol. 90: 263-275.
13. Cramer, G. R. and D. C. Bowman. 1991. Short term leaf elongation kinetics of maize in response to salinity are independent of the root. Plant Physiol. 95: 965-967.
14. Demiral, T. and I. Turkan. 2004. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environ. Exp. Bot. 53: 247-257.
15. Drew, M. C. and E. J. Sisworo. 1978. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. New Phytol. 82: 301-314.
16. Drew, M. C., J. Guenther and A. Lauchli. 1988. The combined effects of salinity and root anoxia on growth and net Na^+ and K^+ accumulation in *Zea mays* grown in solution culture. Annals Bot. 61: 41-53.
17. Grable, A. R. 1966. Soil aeration and plant growth. Adv. Agron. 18: 57-106.
18. Grassini, P., G. V. Indaco, M. L. Pereira, A. J. Hall and N. Trapani. 2007. Responses to short-term waterlogging during grain filling in sunflower. Field Crops Res. 101: 352-363.
19. Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999. Salinity- mineral nutrient relation in horticultural crops. Sci. Hort. 78: 127-157.
20. Gupta, P. K. 2000. Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.
21. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2004. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th Edition, Prentice Hall, USA.
22. Hiron, R. W. P. and S. T. C. Wright. 1973. The role of endogenous abscisic acid in the response of plants to stress. J. Exp. Bot. 24: 769-781.
23. Janes, B. E. 1974. The effect of variations in root environment on root growth and resistance to flow of water in intact plants. PP. 379-385. *In:* Bieleski et al. (Eds.), Mechanisms of Regulation of Plant Growth, The Royal Society of New Zealand, Wellington.
24. Kahlown, M. A. and M. Ashraf. 2005. Effect of shallow ground water table on crop water requirement and crop yield. Agric. Water Manage. 76: 24-35.
25. Kanwar, R. S., J. L. Baker and S. Mukhtar. 1988. Excessive soil water effect at various stages of development on the growth and yield of corn. Trans. ASAE 31: 133-141.
26. Kawase, M. 1972. Effect of flooding on ethylene concentration in horticultural plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97: 584-588.
27. Kholova, J., R. K. Sairam, R. C. Meena and G. C. Srivastava. 2009. Response of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal-ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. Biol. Plant. 53: 249-256.
28. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, and potassium. PP. 225-246. *In:* Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, ASA-SSA, Madison, WI, USA.
29. Letey, J., L.H. Stolzy, N. Valoras and T.E. Szuszkiewicz. 1962. The influence of soil oxygen on growth and mineral

concentrations of barley. Agron. J. 54: 538-540.
30. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
31. Lizaso, J. I. and J. T. Ritchie. 1997. Maize shoot and root response to root zone saturation during vegetative. Agron. J. 89: 125-134.
32. Malik, A. I., T. D. Colmer and H. Lamber. 2002. Short-term waterlogging has long- term effect on the growth and physiology of wheat. New Phytol. 153: 225-235.
33. Marshner, H. 1995. Mineral Nutrient of Higher Plants. Academic Press, London.
34. Mclean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP. 199-224. *In:* Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
35. Munns, R. and A. Termaat. 1986. Whole plant response to salinity. Austral. J. Plant Physiol. 13: 143-160.
36. Naidoo, G. 1985. Effect of waterlogging and salinity on plant-water relations and on the accumulation of solutes in three mangrove species. Aquat. Bot. 22: 133-143.
37. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 539-579. *In:* Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part II, 2nd Edition, ASA, SSSA, Madison, WI. USA.
38. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. *In:* Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part II, 2nd Edition, ASA, SSSA, Madison, WI, USA.
39. Parida, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicol. Environ. Safety 60: 324-349.
40. Pezeshki, S. R. 2001. Wetland plant response to soil flooding. Environ. Exp. Bot. 46: 299-312.
41. Philips, I. D. J. 1964. Root-shoot hormone reaction. Π. Changes in endogenous auxin concentrations produced by flooding of the root system in *Helianthus annuus*. Annals Bot. 28: 37-45.
42. Poljakoff, M. A. and H. R. Lerner. 1994. Plants in saline environment. PP. 65-96. *In:* Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, Inc. New York.
43. Qureshi, R. H. and E. G. Barrett-Lennard. 1998. Saline Agriculture for Irrigated Land in Pakistan. A Handbook Monograph No. 50, Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.
44. Reyes, D. M., L. H. Stolzy and C. K. Labanauskas. 1977. Temperature and oxygen effects in soil on nutrient uptake in jojoba seedlings. Agron. J. 69: 647-650.
45. Richards, L. A. 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook No. 60, USDA, USA.
46. Saqib, M., J. Akhtar and R. H. Qureshi. 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil. I. Grain yield and yield components. Soil Till. Res. 77: 169-177.
47. Shannon, M. C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Adv. Agron. 60: 75-120.
48. Smedema, L. K. and K. Shiati. 2002. Irrigation and salinity: A perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. Irrig. Drain. Syst. 16: 161-174.
49. Stienger, P. A. and V. Feller. 1991. Nutrient accumulation and translocation in maturing plants grown on waterlogging soil. Plant Soil 60: 87-95.
50. Teakle, N. L., D. Real and T. D. Colmer. 2006. Growth and ion relations in response to combined salinity and waterlogging in the perennial forage legumes *Lotus corniculatus* and *Lotus tenuis*. Plant Soil 289: 369-383.
51. Trought, M. C. T. and M. C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in young wheat plants in anaerobic solution cultures. J. Exp. Bot. 31: 1573-1585.
52. Waheed, A., I. A. Hafiz, G. Qadir, G. Murtaza, T. Mahmood and M. Ashraf. 2006. Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Pakis. J. Bot. 38: 1103-1117.
53. Yu, P. T., L. H. Stolzy and J. Letey. 1969. Survival of plants under prolonged flooded conditions. Agron. J. 61: 844-847.