نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۴۶۸-۴۵۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 30, No. 3, Fall 2016, P. 457-468
ISSN: 2008 - 4730

تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های کاهو (*Lactuca Sativa* L.)

مریم زارع[1*]- براتعلی فاخری[2]- سارا فرخ‌زاده[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۳

چکیده

با توجه به گسترش اراضی شور در دنیا و ایران، شناسایی ارقام متحمل به شوری اهمیت زیادی دارد. انتخاب ارقام مقاوم به شوری از طریق کشت در محیط هیدروپونیک روشی کم هزینه و مطمئن جهت صرفه‌جویی در زمان محسوب می‌شود. به منظور ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی گیاهچه کاهو به تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل به صورت کشت هیدروپونیک انجام شد. در این آزمایش تأثیر سه سطح شوری (۰، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) بر خصوصیات مورفولوژیکی ۱۵ ژنوتیپ کاهو بررسی شد. نتایج نشان دادند که شوری بر روی رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های کاهو تأثیر معنی‌داری ($P\leq$ ۰/۰۱) داشتند. براساس نتایج آزمایش ژنوتیپ کاهوی برگی ورزنه اصفهان بیشترین مقدار طول بوته و ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa بیشترین طول ریشه را به خود اختصاص دادند. افزایش تنش شوری منجر به کاهش معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) طول بوته در همه ژنوتیپ‌های کاهو شد. با استفاده از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa در گروه ژنوتیپ متحمل به شوری و ژنوتیپ‌های کاهوپیچ اورست، Lettuce May Queen، Curly endive hair angel و Romaine lettuce long blonde Galaica در گروه ژنوتیپ‌های حساس به شوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که غلظت بحرانی حساسیت به تنش شوری در اندام‌های گیاه از قبیل طول ریشه، طول بوته، وزن تر بوته و وزن خشک بوته، سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش، طول بوته، طول ریشه، وزن تر بوته، هیدروپونیک

مقدمه

رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌گردد. در بین تنش‌های غیرزنده، تنش شوری در سطح جهان خسارات گسترده‌ای به گیاهان وارد نموده است (۱۶). طبق گزارش فائو بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از سطح زمین‌های دنیا با مشکل شوری مواجه هستند که سه برابر مساحتی است که توسط کشاورزان کشت می‌گردد (۱۳). وسعت اراضی شور در ایران حدود ۲۵ میلیون هکتار است که معادل ۱۵ درصد از اراضی کشور می‌باشد (۱۶). شوری خاک زراعی و آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک است. در این مناطق کمبود بارندگی، تبخیر زیاد و زهکشی نامناسب باعث تجمع نمک در ناحیه ریشه گیاهان و ایجاد تنش شوری در آن‌ها می‌شود (۲۰). تنش شوری بر رشد و نمو گیاهان به‌وسیله سمیت یونی، برهم زدن تعادل یونی و پتانسیل اسمزی و همچنین بوسیله تنش‌های ثانویه‌ای چون اختلال تغذیه‌ای، تخریب غشای سلولی، سمیت متابولیک و جلوگیری از فعالیت فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (۵). کاهش رشد در گیاهان تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل کاهش ذخایر انرژی گیاه باشد که این امر متأثر از کاهش و اختلال فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاه می‌باشد (۲۱). همچنین از دیگر دلایل کاهش تولید محصول بر هم خوردن تعادل در جذب عناصر ضروری، آب و تنش اکسیداتیو می‌باشد (۲۳ و ۲۶). محققین مطالعات متعددی را در گیاهان زراعی تحت شرایط تنش شوری انجام داده‌اند و در بررسی جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های چهار گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris*)، کلم پیچ (*Brassica oleracea capitata* L.)، تاج خروس (*Amaranthus paniculatus*) و کلم صحرایی (*Brassica compestris*) تحت تأثیر شوری، کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن تر

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح گیاهان باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: Maryam.zare2210@gmail.com)
۲ - دانشیار اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۳ - دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه زابل و مدرس دانشگاه پیام نور فارس، مرکز داراب

ریشه‌چه و ساقه‌چه را گزارش کردند (۱۷). بنگال و همکاران (۶)، کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی در گیاه گوجه‌فرنگی را با افزایش شوری گزارش کرده‌اند. همچنین نتایج حاصل از اثرات سطوح مختلف شوری حاصل از نمک کلرید سدیم بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های پنج رقم کاهو، نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهو با افزایش شوری به شدت کاهش یافته و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شامل طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و همچنین وزن تر و خشک کاهو با زیاد شدن غلظت نمک در محلول کاهش یافتند (۸).

کشت بدون خاک یا هیدروپونیک روشی است که گیاهان در یک بستر کشت ویژه بدون استفاده از خاک پرورش می‌یابند. کشت هیدروپونیک به‌عنوان بهترین تکنولوژی تولید گیاهی نه تنها برای جوامع بشری به منظور تهیه سبزی‌های سالم، بلکه برای جوامع با محدودیت زمین، نیروی کار و منابع استفاده می‌شود، به‌طوری که تعداد زیادی شرکت‌های هیدروپونیک تجاری در سطح جهان وجود دارند. بذر گیاهان کوچک‌تر نظیر کاهوها، سبزی‌های برگی و سایر سبزی‌ها را می‌توان به طور مستقیم در محیط هیدروپونیک کشت کرد (۲). سبزی‌ها به سبب ارزش غذایی فراوان در بسیاری ممالک دنیا جزء غذاهای اصلی به شمار می‌آیند. تولید سبزی به لحاظ اهمیت تازه‌خوری و فرآوری زیاد آن در بین گیاهان زراعی از اهمیت بسیاری برخوردار است و از نظر تولید جهانی در مقام چهارم پس از گندم، برنج و ذرت قرار دارد. کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی یکساله از خانواده مرکبیان و روز بلند است که در تابستان به گل می‌نشیند (۲۸). کاهو حاوی مقدار زیادی مواد معدنی ضروری همچون کلسیم، فسفر، آهن، پتاسیم، سدیم و همچنین مقدار کمی منیزیم و گوگرد برای سلامتی انسان است و منبع غنی ویتامین‌های A، B، K و C محسوب می‌شود (۱۰). طی دو دهه اخیر تولید جهانی کاهو افزایش چشمگیری داشته است. توسعه منابع ژنی، تولید ارقام متحمل به انواع تنش‌های زیستی و غیر زیستی، ارزش تغذیه‌ای و اهمیت فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو از عمده‌ترین دلایل افزایش سطح زیر کشت این محصول در دنیا به شمار می‌رود (۲۴). با توجه به اهمیت سبزی‌ها و نیز با توجه به وسعت اراضی شور، این تحقیق به منظور بررسی اثر شوری بر رشد اولیه گیاهچه کاهو (*Lactuca sativa*) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش ویژگی‌های رشد گیاهچه کاهو از نظر تحمل به شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل انجام شد. عوامل مورد بررسی در این آزمایش شامل ۱۵ ژنوتیپ کاهو (جدول ۱) و سطوح شوری (۰، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر) بودند که برای تهیه این غلظت‌ها ازکلرید سدیم استفاده شد. به منظور ضدعفونی، بذرهای مورد مطالعه به مدت ده ثانیه در الکل ۹۶ درصد و سپس به مدت ۵۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱/۵درصد، قرار گرفتند و پس از آن چندین بار با آب مقطر استریل شستشو داده شدند، سپس بذور ضدعفونی شده در گلدان‌های پلاستیکی حاوی کوکوپیت و پرلیت، کشت داده شدند. پس از رشد این بذور تا مرحلهٔ دو تا سه برگی، گیاهچه‌های حاصل به سیستم هیدروپونیک حاوی محلول غذایی هوگلند انتقال داده شدند. پس از مستقر شدن گیاهان در محیط هیدروپونیک، اعمال تنش انجام گرفت. به منظور جلوگیری از مواجه شدن گیاهان با تنش شدید، اعمال تنش شوری به تدریج در روز با اضافه کردن نمک کلریدسدیم به محلول هوگلند صورت گرفت. EC آب با دستگاه ECمتر اندازه‌گیری می‌شد تا به EC مورد نظر برسد. ده روز پس از اعمال تنش شوری جهت مطالعه صفات مورفولوژیک، نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات مورفولوژیکی شامل طول ریشه، طول بوته، نسبت طول ریشه به طول بوته، وزن تر ریشه، وزن تر بوته، وزن خشک ریشه، وزن خشک بوته، نسبت وزن تر ریشه به وزن تر بوته، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته، طول برگ و عرض برگ اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری طول ریشه، طول بوته، طول برگ و عرض برگ از خط‌کش میلی‌متری استفاده گردید. وزن‌تر و خشک بخش هوایی و ریشه گیاهان با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری وزن خشک بوته و ریشه پس از قرار گرفتن نمونه‌های تر به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد آون صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از دستور Proc GLM و آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) و همچنین تجزیه کلاستر به روش وارد در محیط نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد.

نتایج و بحث

طول ریشه: براساس نتایج آزمایش، اثر ژنوتیپ و اثر شوری بر روی طول ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر اصلی تنش بر صفت طول ریشه (جدول ۳) مشاهده شد که با افزایش میزان شوری طول ریشه کاهش یافت به‌طوری که در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، طول ریشه برابر با ۰۸۸/ ۵ میلی‌متر بود. در بررسی ژنوتیپ‌های مختلف کاهو اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (جدول ۲). به طوری که صفت طول ریشه در ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa برابر با ۸/۰۴۰ میلی‌متر و در ژنوتیپ Cabbage Milan Aubervilliers برابر با ۴/۹۹۹ میلی متر بود، که به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

جدول ۱- اسامی ۱۵ ژنوتیپ کاهو مورد مطالعه
Table 1- Names of the 15 studied lettuce genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype Number	ژنوتیپ Genotype
1	Lechuga Romana larga verde- Teresa (Romaine lettuce long green Teresa)
2	کاهوی سالادی فردوس Lettuce Ferdows
3	Lettuce Salad
4	کاهو پیچ اورست Lettuce Everest
5	Lechuga Reina de Mayo (Lettuce May Queen)
6	Escarola rizada Cabello de ángel (Curly endive hair angel)
7	Lechuga Romana larga rubia- Galaica (Romaine lettuce long blonde Galaica)
8	Col de Milan Aubervilliers (Cabbage Milan Aubervilliers)
9	کاهو پیچ بلند (کونکویستادور)
10	کاهو پیچ تهران
11	کاهو برگی یزد
12	کاهوپیچ پاسارگاد
13	کاهو برگی ورزنه اصفهان
14	کاهوپیچ طالخونچه اصفهان
15	کاهوبرگی نائین اصفهان

جمیل و همکاران (۱۷) بیان داشتند که طول ریشه و ساقه مهم‌ترین صفات ارزیابی تنش شوری می‌باشند، زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک است و آب را ازخاک جذب می‌کند و ساقه آن را به قسمت‌های گیاه می‌رساند. کاهش رشد ریشه و ساقه می‌تواند ناشی از اثرهای سمی سدیم وکلر و یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه باشد. همچنین سوختگی میانه برگ‌ها و سرشاخه‌ها در اثر تجمع بیش از حد کلر، که معمولاً با کلروزه شدن حاشیه برگ‌ها توأم است، رخ می‌دهد. تنش شوری ایجاد شده توسط غلظت‌های بالای NaCl موجب از بین رفتن تعادل اسمزی و درنتیجه آب کشیدگی بافت‌ها و از بین رفتن آماس سلولی می‌گردد (۱۴و ۲۷) و در غلظت‌های بالا نیز منجر به پژمردگی اندام‌های هوایی می‌شود (۲۱ و ۲۳). بهاردواج و همکاران (۷) گزارش کردند که با افزایش غلظت شوری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد. جوادی و همکاران (۱۸) نیز با مطالعه تأثیر شوری بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های چهار گونه گیاه دارویی گزارش کردند که تنش شوری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را در گونه‌های مورد مطالعه تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش این صفات گردید.

طول بوته: نتایج نشان دادند که ژنوتیپ‌های کاهو در سطوح مختلف شوری از نظر طول بوته متفاوت بودند (جدول ۲) و افزایش تنش شوری منجر به کاهش معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) این صفت در همه ژنوتیپ‌ها شد. طول بوته در سطح شاهد برابر با ۱۵/۳۱۵ میلی‌متر و در سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۹/۸۱۴ میلی‌متر بود (جدول ۳). براساس نتایج آزمایش بیشترین مقدار طول بوته در ژنوتیپ کاهوبرگی ورزنه اصفهان برابر با ۱۷/۲۶۸ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در ژنوتیپ Curly endive hair angel برابر با ۷/۰۹۶ میلی‌متر بود، به‌دست آمد (جدول ۴). با افزایش میزان شوری نسبت طول ریشه به طول بوته افزایش پیدا کرد که این نسبت در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر برابر با ۲۷/۶۱۳ درصد و در سطح شاهد برابر با ۱۰/۶۴۶ درصد بود. بیشترین نسبت طول ریشه به طول بوته مربوط به ژنوتیپ Curly endive hair angel بود، در صورتی‌که ژنوتیپ‌های Romaine lettuce long green Teresa و Lettuce May Queen نسبت به این صفت جزء پایین‌ترین گروه بودند. با توجه به نتایج آزمایش بیشترین اختلاف بین شوری در ژنوتیپ‌های کاهو در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد و با افزایش میزان شوری، نسبت طول ریشه به طول بوته شروع به افزایش می‌کند. به‌طوری که در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر ژنوتیپ Curly endive hair angel در گروه بالاتر قرار گرفت (جدول ۵). نیو و همکاران (۲۵) معتقدند که بعد از جذب آب و هم زمان با آن یکسری از هورمون‌ها و تعدادی از آنزیم‌های مهم درون بذر از جمله لیپاز، پروتئاز، آمیلاز و غیره ترشح می‌شوند، که باعث می‌شود تا موادغذایی اندوخته در بذر از جمله نشاسته تجزیه شده و در آب حل شوند و از این طریق انرژی لازم برای خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه و رشد آن‌ها فراهم گردد که در شوری‌های بالا، مکانیسم فعالیت درون بذر دستخوش تغییر شده و این مراحل مختل

می‌شوند

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده ارقام کاهو تحت تیمارهای مختلف شوری

Table 2- Analysis of variance of evaluated traits of lettuce cultivars under salinity different treatments

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Means of Squares									
		طول ریشه Root Length (mm)	طول بوته Plant Length (mm)	طول ریشه/ طول بوته Root / Plant Length	وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g)	وزن خشک‌ریشه Root Dry Weight (g)	وزن تر بوته Plant Fresh Weight (g)	وزن خشک بوته Plant Dry Weight (g)	وزن تر ریشه/ وزن تر بوته PFW/RFW	وزن خشک ریشه/وزن خشک بوته RDW/PDW	طول برگ Leaf Length (mm)	عرض برگ Leaf Width (mm)
ژنوتیپ Genotype	14	4.392**	83.767**	561.909**	0.00103**	0.000042**	0.32005**	0.001131**	0.07277**	0.044195**	20.893**	0.4754**
شوری Salinity	2	41.654**	340.767**	3451.53**	0.00789**	0.000054**	2.979**	0.00665**	0.02121**	0.065218**	78.043**	4.6145**
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	28	0.59022n.s	4.757n.s	126.844**	0.0003**	0.000005**	0.07938**	0.000165**	0.01976**	0.009267**	0.8937n.s	0.0883n.s
خطا Error	90	0.5028	5.464	12.667	0.00005	0.0000023	0.00935	0.0000255	0.001366	0.000199	1.2104	0.12093
ضریب تغییرات CV (%)		11.37	18.67	19.91	15.44	14.59	20.14	19.17	25.77	8.73	15.35	19.95

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار (α=۵٪)، بسیار معنی‌دار (α=۱٪) و غیر معنی‌دار (ns)

*, ** and ns: Significant (α= 5%), highly significant (α= 1%) and non-significant, respectively

جدول۳- مقایسه میانگین‌های صفات مختلف ژنوتیپ‌های کاهو در سطوح مختلف شوری

Table 3-Mean comparison of different traits of lettuce genotypes at different levels of salinity

سطوح شوری Salinity Levels	طول ریشه Root Length (mm)	طول بوته Plant Length (mm)	طول ریشه/ طول بوته Root / plant length	وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g)	وزن خشک ریشه Root Dry Weight (g)	وزن تر بوته Plant Fresh Weight (g)	وزن خشک بوته Plant Dry Weight (g)	وزن تر ریشه/ وزن تر بوته PFW/RFW	وزن خشک ریشه/ وزن خشک بوته	طول برگ Leaf Length (mm)	عرض برگ Leaf Width (mm)
a=۰	7.012a	15.315a	10.646c	0.05974a	0.00452a	0.748a	0.0393a	0.1287b	0.1401b	8.467a	2.089a
a=2	6.044b	12.441b	15.363b	0.04608b	0.00299b	0.457b	0.0244b	0.1330b	0.1394b	7.198b	1.681b
a=4	5.088c	9.814c	27.613a	0.03326c	0.00239c	0.234c	0.0152c	0.1683a	0.2057a	5.834c	1.458c

میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شده‌اند (α=۵٪) و تفاوت میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک معنی‌دار نیست

Means in each column by similar letter(s) are not significantly different (α=5%), using LSD test

و با کاهش و یا توقف رشد به دلیل عدم انتقال موادغذایی از لپه به ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه وزن خشک آن‌ها کاهش می‌یابد. بازدارندگی شوری بر رشد گیاهچه توسط سایر محققان نیز گزارش شده است به عنوان مثال در پژوهشی بر روی اسفرزه با افزایش تنش شوری، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت (۱۵). سلطانی و همکاران (۳۶) اظهار داشتند که شوری، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود را کاهش داد و با افزایش شوری بر میزان این کاهش افزوده شد. رحیمیان و همکاران (۳۱) بیان نمودند که کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در محلول کلرید سدیم احتمالاً به دلیل سمیت یون‌ها و اثر منفی آن بر غشا سلول است. فلاحی و همکاران (۱۲) نیز در بررسی بر روی گیاه دارویی مریم گلی گزارش کردند که با افزایش سطح شوری طول گیاهچه کاهش یافت. یارنیا و همکاران (۳۸) نیز با مطالعه روی تأثیر کربنات کلسیم بر مقاومت به شوری ارقام یونجه گزارش کردند که ارتفاع گیاه در فاکتور رقم، فاکتور تنش و نیز اثر متقابل رقم در تنش، در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند، و همچنین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه با اثر متقابل رقم و تنش شوری اختلاف معنی‌دار داشت. با افزایش شوری طول ریشه و طول بوته در ژنوتیپ‌های کاهو کاهش پیدا کرد. در سطوح ۰، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار از نظر طول ریشه و طول بوته در ژنوتیپ‌های کاهو مشاهده شد. اما با افزایش میزان شوری نسبت طول ریشه به طول بوته افزایش پیدا کرد که بیشترین مقدار این نسبت در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر بدست آمد. دلیل این پدیده این می‌باشد که در محیط تنش، گیاه انرژی بیشتری برای استقرار و رشد ریشه مصرف می‌کند و به همین دلیل در اثر تنش، رشد ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است. کاهش رشدی گیاهان تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل کاهش ذخایر انرژی گیاه باشد که این امر از طریق کاهش و اختلال فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی در گیاهان مختلف نظیر گندم، لوبیا و پنبه گزارش شده است (۲۱و۳۰).

وزن تر ریشه و بوته: وزن تر ریشه و بوته در ژنوتیپ‌های کاهو به طور معنی‌داری ($P\leq$ ۰/۰۱) تحت تأثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفت (جدول ۲) و افزایش تنش شوری در ژنوتیپ‌های کاهو کاهش معنی‌دار این صفت را به همراه داشت، به طوری که بیشترین مقدار وزن تر ریشه و بوته در ژنوتیپ‌های کاهو در سطح شاهد و کمترین مقدار آن در سطح ۴ دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۳). با افزایش میزان شوری نسبت وزن تر ریشه به وزن تر بوته افزایش پیدا کرد. در سطح شاهد و شوری ۲ دسی زیمنس برمتر تفاوت معنی‌داری برای این صفات مشاهده نشد و کمترین میزان نسبت وزن‌تر ریشه به وزن‌تر بوته مربوط به سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳). بیشترین وزن‌تر ریشه مربوط به ژنوتیپ‌های Lettuce May Queen و کاهو پیچ بلند بود و کمترین وزن‌تر ریشه به ژنوتیپ‌های کاهوپیچ پاسارگاد و کاهوبرگی نائین اختصاص داشت (جدول ۴). همچنین بیشترین وزن‌تر بوته مربوط به ژنوتیپ green Teresa Romaine lettuce long که برابر با ۰/۹۱۷۱۱ گرم بود و ژنوتیپ‌های Curly endive hair angel و Cabbage Milan Aubervilliers به‌ترتیب با میزان ۰/۲۰۱۸۹ و ۰/۱۶۶۸۰ گرم کمترین وزن‌تر بوته را به خود اختصاص دادند که این ژنوتیپ‌ها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). نسبت وزن‌تر ریشه به وزن تر بوته در ژنوتیپ-های مختلف نشان داد (جدول ۴) که ژنوتیپ Curly endive hair angel بیشترین نسبت و ژنوتیپ کاهو پیچ تهران کمترین نسبت را به خود اختصاص دادند. براساس نتایج به‌دست آمده، در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، ژنوتیپ‌های کاهو پیچ اورست بیشترین وزن‌تر ریشه (۰/۰۵۵۸ گرم) و ژنوتیپ کاهو پیچ بلند بیشترین وزن‌تر بوته (۰/۵۳۶۷ گرم) را به خود اختصاص دادند. همچنین بیشترین نسبت وزن‌تر ریشه به وزن‌تر بوته در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر مربوط به ژنوتیپ کاهوپیچ اورست بود (جدول ۵). وزن‌تر ریشه در کلیه ژنوتیپ‌های کاهو با افزایش مقدار NaCl رابطه معکوس داشت به‌طوری که در کلیه مطالعات، نتایج حاصل، حاکی از کاهش شدید وزن‌تر ریشه بود. از جمله دلایلی که می‌توان برای این کاهش وزنی در گیاهان مورد مطالعه بیان نمود، از بین رفتن تعادل اسمزی می-باشد، که از آثار مخرب شوری به حساب می‌آید (۲۷). گیاهان برای تحمل شوری به تنظیم اسمزی نیاز دارند و یکی از راه‌های تنظیم اسمزی ساخت مواد آلی مانند سوربیتول، پرولین و گلایسین در بافتها است. ساخت این مواد برای گیاهان با صرف انرژی مصرفی برای تنظیم اسمزی باعث کاهش رشد اندام هوایی در گیاه می‌گردد (۱۲). مصرف بیش از حد انرژی جهت تولید برخی از مواد آلی که نقش پایدارسازی تعادل اسمزی را دارند، با جذب یون‌ها انجام می‌شود، که از دیگر عوامل کاهش وزن اندام‌های هوایی محسوب می‌شود (۲۱ و ۳۵). افزایش میزان NaCl از تیمار شاهد تا غلظت ۴ دسی زیمنس برمتر سبب کاهش وزن‌تر و خشک ریشه و بوته در ژنوتیپ‌های مختلف کاهو گردید. ووتسلا و همکاران (۳۷) گزارش کردند که با افزایش شوری از ۲/۵ به ۱۰ds/m، جوانه‌زنی، سبز شدن و وزن‌تر و خشک ریشه گوجه‌فرنگی کاهش یافت. آل مسکری و همکاران (۱)، نیز گزارش کردند که در گیاه کاهو رقم Paris Islands cos در سیستم لایه نازک محلول غذایی NFT[1] ، وزن‌تر و وزن خشک بوته، وزن‌تر و خشک ریشه، درصد وزن خشک ریشه به‌طورقابل‌توجهی تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت، در حالی که نسبت وزن‌تر ساقه به

1- Nutrient Film Technique

ریشه و نسبت وزن خشک ساقه به ریشه اثر کمی در پاسخ به شوری نشان دادند که با نتایج به‌دست آمده مشابهت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده کاهو تحت تأثیر اثر متقابل شوری و ژنوتیپ

Table 5- Mean comparison of traits at different lettuce under salinity levels and genotypes

ژنوتیپ Genotype	طول ریشه Root Length (mm)				طول بوته Plant Length (mm)				طول ریشه/ طول بوته Root / Plant Length			
	شاهد Control	2	4		شاهد Control	2	4		شاهد Control	2	4	
	شوری Salinity (ds/m)											
2	7.411^{b-f}	6.278^{f-l}	5.756^{h-o}		12.500^{f-l}	9.767^{j-m}	7.889^{l-n}		9.935^{e-i}	16.808^{i-n}	35.937^{cd}	
3	6.389^{f-k}	5.620^{j-p}	5.111^{m-r}		11.250^{g-l}	9.778^{j-m}	8.000^{l-n}		14.512^{k-q}	17.754^{h-m}	22.626^{g-i}	
4	7.778^{a-d}	5.667^{j-p}	4.917^{m-r}		12.778^{f-j}	10.222^{i-m}	7.850^{l-n}		14.156^{k-r}	15.401^{k-o}	37.254^{c}	
5	6.582^{e-j}	6.059^{g-m}	4.591^{p-r}		12.447^{f-j}	10.151^{i-m}	8.508^{k-n}		8.305^{st}	8.636^{r-t}	15.255^{k-o}	
6	7.900^{a-c}	5.256^{g-q}	4.306^{r}		8.483^{k-n}	6.989^{mn}	5.817^{n}		17.975^{h-l}	30.308^{de}	65.267^{a}	
7	6.544^{e-j}	5.972^{g-n}	5.070^{m-r}		15.732^{c-f}	14.628^{d-g}	11.611^{g-k}		8.894^{p-t}	14.685^{k-p}	18.811^{h-k}	
8	5.894^{g-o}	4.925^{m-r}	4.178^{r}		13.222^{c-j}	7.422^{mn}	5.167^{n}		22.178^{g-j}	24.880^{c-g}	50.029^{b}	
9	7.256^{c-f}	7.007^{c-g}	6.354^{f-k}		13.000^{f-j}	11.201^{g-l}	10.056^{i-m}		12.140^{m-t}	12.099^{m-t}	12.065^{m-t}	
10	6.669^{d-i}	50756^{h-o}	4.850^{n-r}		17.069^{b-d}	13.344^{e-i}	12.375^{f-j}		7.036^{t}	11.621^{n-t}	18.603^{h-l}	
11	6.056^{g-m}	5.806^{h-o}	4.757^{o-r}		19.456^{ab}	15.772^{c-f}	10.356^{i-m}		6.495^{t}	14.160^{k-r}	27.011^{e-g}	
12	7.006^{c-g}	5.917^{g-n}	4.400^{qr}		17.200^{b-d}	13.994^{d-h}	11.600^{g-k}		7.690^{st}	17.348^{i-n}	13.476^{k-s}	
13	7.000^{c-g}	6.587^{e-j}	4.964^{m-r}		21.769^{a}	18.290^{a-c}	11.744^{g-k}		8.484^{r-t}	12.920^{l-s}	29.834^{e}	
14	7.549^{b-e}	5.878^{g-o}	5.035^{m-r}		17.039^{b-d}	12.778^{f-j}	12.078^{g-j}		6.516^{t}	10.159^{o-t}	23.382^{f-h}	
15	6.311^{f-l}	5.460^{j-q}	5.185^{l-r}		18.922^{a-c}	15.590^{d-f}	11.100^{h-l}		8.785^{q-t}	15.587^{k-o}	28.523^{ef}	

میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شده‌اند (α=5%) و تفاوت میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک معنی‌دار نیست

Means in each column by similar letter(s) are not significantly different (α=5%), using LSD test

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده کاهو تحت تأثیر اثر متقابل شوری و ژنوتیپ

Continued Table 5- Mean comparison of traits at different lettuce under salinity and genotypes

وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g)				وزن خشک ریشه Root Dry Weight (g)			وزن تر بوته Plant Fresh Weight (g)			وزن خشک بوته Plant Dry Weight (g)		
							شوری Salinity (ds/m)					
ژنوتیپ Genotype	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4
1	0.084^{ab}	0.0587^{d-f}	0.0352^{n-s}	0.0025^{l-m}	0.0016^{pq}	0.0014^{q}	1.341^{a}	1.049^{b}	0.356^{i-n}	0.0471^{e-e}	0.0265^{l-j}	0.0210^{m-k}
2	0.059^{d-f}	0.0493^{e-l}	0.0389^{i-q}	0.0037^{e-g}	0.0028^{h-n}	0.0022^{n-p}	0.7582^{cd}	0.4063^{h-k}	0.161^{p-r}	0.0433^{d-f}	0.0159^{m}	0.0126^{m-q}
3	0.059^{d-f}	0.0351^{n-s}	0.0325^{o-t}	0.0034^{e-i}	0.0021^{n-p}	0.0018^{o-q}	0.3727^{i-m}	0.2911^{j-q}	0.2183^{m-r}	0.1413^{m-o}	0.0131^{m-q}	0.0069^{q-o}
4	0.059^{d-f}	0.0502^{e-i}	0.0558^{d-g}	0.0054^{ab}	0.0035^{e-h}	0.0027^{j-n}	0.4979^{e-i}	0.4128^{h-k}	0.2028^{m-r}	0.0206^{k-m}	0.0147^{o-m}	0.0057^{pq}
5	0.083^{ab}	0.0735^{bc}	0.0368^{m-r}	0.003^{g-m}	0.0025^{m-o}	0.0022^{n-p}	0.7949^{c}	0.5931^{ef}	0.3233^{j-o}	0.0185^{lm}	0.0138^{m}-p	0.0051^{q}
6	0.0822^{ab}	0.0466^{g-m}	0.0194^{uv}	0.0040^{de}	0.0027^{j-n}	0.0023^{m-p}	0.3896^{h-l}	0.1478^{qr}	0.0683^{r}	0.0166^{m}	0.0144^{o-m}	0.0127^{m-q}
7	0.038^{j-q}	0.0361^{m-r}	0.0307^{o-t}	0.0051^{a-c}	0.0033^{e-k}	0.0028^{h-n}	0.7840^{c}	0.4122^{h-k}	0.2695^{k-q}	0.0327^{g-j}	0.0272^{i-k}	0.0202^{m-k}
8	0.058^{d-f}	0.0381^{l-r}	0.0282^{q-v}	0.0036^{e-g}	0.0025^{l-n}	0.0021^{n-q}	0.2393^{l-q}	0.1788^{o-r}	0.0822^{r}	0.0272^{i-k}	0.0131^{m-q}	0.007^{n-q}
9	0.0869^{a}	0.052^{e-h}	0.0494^{e-j}	0.0050^{bc}	0.0037^{e-g}	0.0027^{i-n}	0.6125^{de}	0.5700^{e-g}	0.5367^{e-h}	0.0354^{f-h}	0.0148^{o-m}	0.0152^{mn}
10	0.0483^{f-l}	0.0427^{h-o}	0.0215^{t-v}	0.0047^{cd}	0.0033^{e-j}	0.0026^{k-n}	0.7797^{c}	0.4397^{f-j}	0.3176^{j-p}	0.0526^{bc}	0.0353^{f-i}	0.0184^{lm}
11	0.060^{de}	0.0436^{h-o}	0.027^{r-v}	0.0058^{a}	0.0028^{h-n}	0.0022^{n-p}	0.8209^{c}	0.436^{g-j}	0.1850^{o-r}	0.0586^{b}	0.0400^{g-e}	0.0278^{h-k}
12	0.038^{k-r}	0.0333^{o-s}	0.0244^{s-v}	0.0047^{dc}	0.0033^{e-l}	0.0027^{j-n}	0.7956^{c}	0.3787^{i-l}	0.300^{j-q}	0.0504^{cd}	0.0296^{j-h}	0.0156^{m}
13	0.051^{e-h}	0.0638^{cd}	0.0461^{g-n}	0.0057^{ab}	0.0038^{ef}	0.0028^{h-n}	0.8900^{c}	0.5792^{e-g}	0.1727^{o-r}	0.0499^{cd}	0.0429^{f-d}	0.0293^{j-h}
14	0.049^{e-j}	0.0389^{i-q}	0.0189^{v}	0.0057^{ab}	0.0038^{e-g}	0.0032^{f-l}	1.374^{a}	0.6090^{de}	0.1790^{o-r}	0.0477^{e-e}	0.0261^{l-j}	0.0156^{m}
15	0.04^{l-p}	0.0297^{p-u}	0.0340^{o-s}	0.0055^{ab}	0.0033^{e-j}	0.0024^{m-o}	0.766^{cd}	0.3562^{i-n}	0.1505^{qr}	0.0752^{a}	0.0396^{g-e}	0.0163^{m}

میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شده‌اند (α=٪۵) و تفاوت میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک معنی‌دار نیست

Means in each column by similar letter(s) are not significantly different (α=5%), using LSD test

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده کاهو تحت تأثیر اثر متقابل شوری و ژنوتیپ

Continued Table 5- Mean comparison of traits at different lettuce under salinity and genotypes

ژنوتیپ Genotype	وزن تر ریشه/ وزن تر بوته PFW/RFW			وزن خشک ریشه/ وزن خشک بوته RDW/PDW			طول برگ Leaf Length (mm)			عرض برگ Leaf Width (mm)		
						شوری Salinity (ds/m)						
	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4	شاهد Control	2	4
1	0.0816^{k-o}	0.1174^{g-m}	0.0692^{l-o}	0.0440^{p}	0.0682^{o}	0.0683^{o}	11.893^{a}	10.444^{a-c}	8.789^{c-g}	2.229^{b-e}	1.973^{c-h}	1.583^{g-l}
2	0.0938^{i-o}	0.1757^{fg}	0.2535^{d}	0.0711^{o}	0.1685^{i-k}	0.1832^{h-j}	7.578^{f-j}	7.167^{f-l}	5.678^{k-m}	1.711^{e-l}	1.478^{h-l}	1.300^{j-l}
3	0.1518^{f-i}	0.1329^{f-k}	0.1424^{f-g}	0.2431^{ef}	0.1885^{hi}	$0.2218f^{g}$	6.383^{h-m}	5.856^{j-m}	5.172^{mn}	1.578^{g-l}	1.400^{j-l}	1.230^{kl}
4	0.1156^{g-m}	0.1826^{ef}	0.5580^{a}	0.2632^{e}	0.2194^{g}	0.3814^{b}	7.789^{f-i}	5.567^{l-n}	5.056^{m-o}	1.778^{d-k}	1.378^{j-l}	1.290^{j-l}
5	0.2382^{de}	0.2665^{d}	0.3349^{c}	0.2166^{g}	0.1621^{jk}	0.4714^{a}	8.835^{c-f}	8.538^{d-g}	6.561^{h-l}	2.782^{a}	2.282^{a-d}	1.647^{g-l}
6	0.4455^{b}	0.3481^{c}	0.1589^{f-h}	0.2871^{d}	0.1872^{hi}	0.1931^{h}	8.383^{d-g}	5.300^{mn}	3.906^{n-p}	2.039^{c-g}	1.328^{j-l}	1.217^{l}
7	0.1696^{f-h}	0.0779^{k-o}	0.0758^{k-o}	0.1215^{m}	0.1233^{m}	0.1506^{kl}	9.650^{b-d}	8.528^{d-g}	6.523^{h-m}	2.264^{a-d}	1.667^{g-l}	1.548^{g-l}
8	0.1779^{f}	0.1503^{f-i}	0.2465^{d}	0.1269^{m}	0.1722^{h-k}	0.3282^{c}	5.094^{m-o}	3.389^{op}	2.778^{p}	1.811^{d-j}	1.517^{g-l}	1.345^{j-l}
9	0.1261^{f-l}	0.152^{f-i}	0.1695^{f-h}	0.1212^{m}	0.2164^{g}	0.2216^{fg}	8.044^{d-h}	7.489^{f-j}	5.744^{k-m}	2.411^{a-e}	1.956^{c-h}	1.589^{g-l}
10	0.0422^{o}	0.0386^{o}	0.0534^{no}	0.0892^{no}	0.0814^{o}	0.1656^{i-k}	10.578^{ab}	8.400^{d-g}	6.289^{i-m}	2.258^{a-e}	1.656^{g-l}	1.465^{h-l}
11	0.0728^{k-o}	0.0514^{o}	0.0542^{no}	0.1067^{mn}	0.0773^{o}	0.0798^{o}	7.986^{d-i}	7.399^{f-k}	5.917^{j-m}	1.969^{c-h}	1.629^{g-l}	1.518^{g-l}
12	0.0346^{o}	0.0553^{no}	0.0743^{k-o}	0.0872^{no}	0.1289^{lm}	0.1628^{jk}	9.669^{b-d}	8.078^{d-h}	7.103^{g-l}	1.856^{d-i}	1.678^{f-l}	1.561^{g-l}
13	0.0634^{m-o}	0.1119^{h-n}	0.1310^{f-k}	0.1139^{m}	0.0817^{o}	0.0890^{no}	7.867^{e-i}	7.675^{f-i}	6.450^{h-m}	1.830^{d-j}	1.742^{d-l}	1.527^{g-l}
14	0.0747^{k-o}	0.0871^{j-o}	0.0491^{o}	0.1294^{lm}	0.1282^{lm}	0.2185^{g}	9.520^{b-e}	7.800^{e-i}	6.436^{h-m}	2.222^{b-f}	2.039^{c-g}	1.670^{g-l}
15	0.0434^{o}	0.0484^{o}	0.1514^{f-i}	0.0802^{o}	0.0891^{no}	0.1505^{kl}	7.738^{f-i}	6.356^{h-m}	5.108^{m-o}	2.605^{ab}	1.492^{g-l}	1.386^{i-l}

میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شده‌اند (α=٪۵) و تفاوت میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک معنی‌دار نیست

Means in each column by similar letter(s) are not significantly different (α=5%), using LSD test

در ژنوتیپ‌های مختلف کاهو با افزایش شوری نسبت وزن‌تر و خشک ریشه به وزن‌تر و خشک بوته افزایش یافت. کاهش نسبت اندام هوایی به ریشه تحت شرایط تنش شوری نشان می‌دهد که اندام‌های هوایی نسبت به ریشه در برابر افزایش غلظت NaCl حساس‌تر می‌باشند که این امر می‌تواند به این دلیل باشد که ریشه می‌تواند با برخی از سازوکارها نظیر چوب پنبه‌ای شدن لایه‌های زیر اپیدرم و یا ذخیره سازی نمک در پوست ریشه در برابر تنش شوری مقاومت کند (۹).

وزن خشک ریشه و بوته

وزن خشک ریشه و بوته در ژنوتیپ‌های کاهو به طور معنی‌داری (P≤ ۰/۰۱) تحت تأثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفت (جدول ۲). در صفت وزن خشک ریشه و بوته نیز این حالت مشاهده گردید که با افزایش شوری وزن خشک ریشه و بوته کاهش پیدا کرد. به طوری که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه و بوته در ژنوتیپ‌های کاهو در سطح شاهد و کمترین مقدار آن در سطح ۴ دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۳). با افزایش میزان شوری نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته افزایش پیدا کرد. با این حال، در سطح شاهد و شوری ۲ دسی زیمنس برمتر تفاوت معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد وکمترین میزان نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته مربوط به سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۳).

براساس نتایج آزمایش، بیشترین وکمترین وزن خشک ریشه به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های کاهوپیچ طالخونچه اصفهان و green Romaine lettuce long Teresa به ترتیب با مقادیر ۰/۰۰۴۲۲ گرم و ۰/۰۰۱۸۳گرم به‌دست آمد. بیشترین وزن خشک بوته به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های کاهوبرگی نائین اصفهان، کاهو برگی یزد و کاهو برگی ورزنه اصفهان با مقادیر ۰/۰۴۳۶۸، ۰/۰۴۲۱۲ و ۰/۰۴۰۷۰ گرم بود که این ژنوتیپ‌ها نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). در صورتی‌که ژنوتیپ‌های Cabbage Milan Aubervilliers، Curly endive hair angel، کاهو پیچ اورست، Lettuce May Queen و Lettuce Salad به‌ترتیب کمترین وزن خشک بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). همچنین ژنوتیپ‌های کاهو پیچ اورست وLettuce May Queen بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته را به خود اختصاص دادند و کمترین نسبت این صفت مربوط به ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، ژنوتیپ کاهوپیچ طالخونچه اصفهان بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۰۰۳۲ گرم) و ژنوتیپ کاهو برگی ورزنه اصفهان بیشترین وزن خشک بوته (۰/۰۲۹۳ گرم) را به خود اختصاص دادند. همچنین ژنوتیپ Lettuce May Queen بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۵). تنش شوری از طریق کاهش تکثیر سلولی و کاهش مدت تجمع ماده خشک باعث کوتاه شدن میانگره‌ها شده و ارتفاع بوته و در نتیجه وزن خشک برگ و اندام هوایی را کاهش می‌دهد (۱۹). کاهش وزن‌تر و خشک گیاهچه در گیاهان دیگر نیز مشاهده شده است (۳۲ و ۳۳). اعتصامی نیا (۱۱) گزارش کرد که با افزایش سطوح تنش شوری، وزن خشک گیاهچه در ۱۰ گیاه دارویی به صورت خطی کاهش یافت. سلامی و همکاران (۳۴) نیز گزارش کردند در اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژی سنبل الطیب و زیره سبز، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه، طول ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، بیوماس و نسبت اندام هوایی به ریشه گیاهان با افزایش غلظت‌های شوری کاهش یافت.

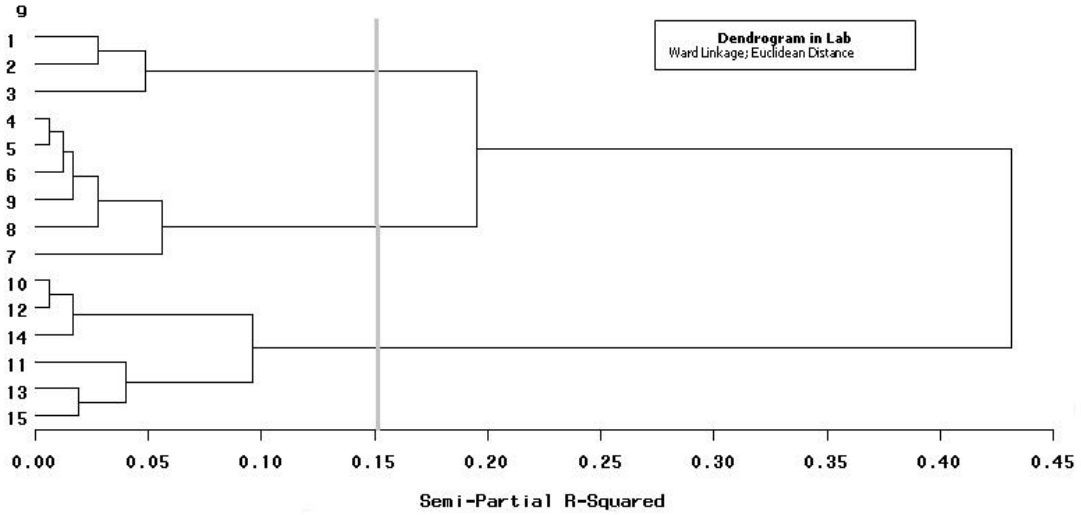
طول و عرض برگ

ژنوتیپ‌های کاهو در سطوح مختلف شوری از نظر طول و عرض برگ اختلاف معنی‌داری (P≤ ۰/۰۱) با هم داشتند (جدول ۲) و افزایش تنش شوری در همه ژنوتیپ‌ها با کاهش معنی‌دار این صفات مواجه بود. به طوری که بیشترین طول برگ و عرض برگ مربوط به سطح شاهد و کمترین طول برگ و عرض برگ مربوط به سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳). با بررسی طول و عرض برگ در ژنوتیپ‌های مختلف کاهو مشاهده شد که ژنوتیپ‌های green Teresa Romaine lettuce long و Cabbage Milan Aubervilliers به‌ترتیب بیشترین (۱۰/۳۷۶ میلی‌متر) و کمترین (۳/۷۵۴ میلی‌متر) طول برگ را داشتند. همچنین بیشترین و کمترین عرض برگ به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Lettuce May Queen (۲/۲۳۷ میلی‌متر) و Lettuce Salad (۱/۴۸۲ میلی‌متر) بود (جدول۴). اثر تنش شوری بر طول و عرض برگ در ژنوتیپ‌های کاهو نشان داد که با افزایش غلظت شوری، طول و عرض برگ در تمام گیاهان مورد مطالعه کاهش یافت. اختلال رشدی و از بین رفتن گیاهان در شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل کاهش و یا از بین رفتن سطح فتوسنتز کننده در اثر قرار گرفتن در معرض تنش شوری ایجاد شود (۲۹). سطوح بالای شوری باعث کاهش قابل توجه در پارامترهای رشد مانند سطح برگ، طول برگ و وزن‌خشک ریشه و ساقه می‌گردد (۳). اورسنجی و همکاران (۴) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش شوری وزن خشک و طول برگ زعفران به صورت معنی‌داری کاهش یافت.

تجزیه خوشه‌ای (کلاستر)

تجزیه خوشه‌ای بر اساس ۱۱ صفت مورد مطالعه (شکل ۱) در

سطح شوری۴ دسی زیمنس برمتر انجام شد و باعث تشکیل ۳ کلاستر گردید. کلاستر اول شامل ژنوتیپ‌های Romaine lettuce long green Teresa، کاهوی سالادی فردوس وLettuce Salad بود. ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa بیشترین وزن تر بوته را در شوری ۴ دسی زیمنس برمتر به خود اختصاص داد. ژنوتیپ‌های کاهوپیچ اورست،Lettuce May Queen، Curly endive hair angel، کاهوپیچ بلند، Cabbage Milan Aubervilliers وRomaine lettuce long blonde Galaica در گروه بعدی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها بعد از دسته اول تحمل بیشتری نسبت به شوری از خود نشان دادند و خصوصیات رویشی بالاتری داشتند. ژنوتیپ کاهوپیچ بلند بیشترین وزن‌تر ریشه و بوته را در سطح شوری ۴ دسی زیمنس بر متر داشت. کلاستر سوم شامل ژنوتیپ‌های کاهو پیچ تهران، کاهوپیچ پاسارگاد، کاهوپیچ طالخونچه اصفهان، کاهو برگی یزد، کاهو برگی ورزنه اصفهان و کاهوبرگی نائین اصفهان بودند. در این گروه ژنوتیپ کاهوپیچ طالخونچه اصفهان کمترین وزن‌تر ریشه و نسبت وزن‌تر ریشه به وزن‌تر بوته و ژنوتیپ کاهوبرگی یزد کمترین نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته را به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج آزمایش ژنوتیپ Romaine lettuce long green Teresa به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به شوری و ژنوتیپ کاهوپیچ طالخونچه اصفهان به‌عنوان ژنوتیپ حساس به شوری در بین ۱۵ ژنوتیپ مورد بررسی شناسایی شد و دیگر ژنوتیپ‌ها در گروه نیمه حساس به شوری قرار گرفتند. استفاده از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات جوانه‌زنی درگروه‌بندی ارقام توسط یارنیا و همکاران (۳۸) و محمدی و همکاران (۲۲) گزارش شده است.



شکل۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۵ ژنوتیپ کاهو در سطح شوری ٤ dS/m بر اساس ۱۱ صفت مورد مطالعه

Figure 1- Dendrogram of 15 lettuce genotypes cluster analysis at 4 dS/m salinity levels based on 11 studied traits

نتیجه‌گیری کلی

آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی روی ۱۵ ژنوتیپ کاهو با سه سطح شوری کلرید سدیم (۰، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) به صورت هیدروپونیک در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل انجام شد. نتایج حاکی از کاهش طول ریشه، طول بوته، وزن‌تر و خشک ریشه و وزن‌تر وخشک بوته و طول و عرض برگ با افزایش شوری بود. بنابراین با اندازه‌گیری پارامترهایی از کاهو که در برابر شوری حساسیت بیشتری نشان می‌دهند و نیز بررسی ارتباط میان این پارامترها می‌توان مدیریت بهتری در رابطه با رشد کاهو در مزارع شور و اصلاح گیاه برای تحمل به شوری جهت افزایش عملکرد انجام داد. با توجه به این که گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس یک متغییر انجام می‌گیرد نتیجه‌گیری قطعی از آن برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری محدود است به همین جهت برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از روش آماری چند متغیره تجزیه خوشه‌ای نیز استفاده گردید. براساس تجزیه خوشه‌ای سه کلاستر به‌دست آمد. کلاستر اول در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به شوری قرار گرفتند. در حالی که ژنوتیپ‌های کلاستر دوم بعد از دسته اول، تحمل بیشتر نسبت به شوری از خود نشان دادند و در گروه نیمه متحمل قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های کلاستر سوم کمترین مقادیر برای شاخص‌های تحمل را داشتند و در گروه حساس‌ترین به تنش شوری قرار گرفتند. با وجود این نتایج تحقیقات آزمایشگاهی به تنهایی برای معرفی کاهو مقاوم به شوری کافی نمی‌باشد و لازم است ادامه این تحقیق در شرایط خاک شور در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گیرند و در برنامه‌های اصلاحی آینده برای تحمل به شوری استفاده از ژنوتیپ

کلاستر اول مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. AL-Maskri A., AL-Kharusi L., AL-Miqbali H. and Mumtaz Khan M. 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. International Journal of Agriculture and Biology, 12(3): 377–380.
2. Arzani, A. 2008. Soilless culture (hydroponic) home and trade. Publishing Center, Isfahan University of Technology. 196 pp. (in Persian)
3. Ashrafuzzaman M., Halim Khan M. A. and Shahidullah. S. M. 2002.Vegetative growth of maize (*Zea mays*) as affected by a range of salinity. Crops Research Hisar, 24: 286-291.
4. Avarseji Z., Kafi M., Sabet Teimouri M. and Orooji K. 2013. Investigation of salinity stress and potassium levels on morphophysiological characteristics of saffron. Journal of Plant Nutrition. 36: 299-310.
5. Baisakh N., Subudhi P. K. and Bhardwaj P. 2008. Primary responses to salt stress in a halophyte, smooth cordgrass (*Spartina alterniflora* Loisel). Funct Integr Genomics. 8:287-300.
6. Ben-Gal A and Shani U. 2002. Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. Plant Soil, 247:211-221
7 .Bhardwaj SH., Sharma N.K., Srivastava P.K., and Shukla G. 2010. Salt tolerance assessment in alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes. Botany Research Journal, 3: 1-6.
8 .Bijeh keshavarzi M.H., Mousavi Nick M. and Zain al-Abedin M. 2011. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of Lactuca sativa L. 1st National Conference on New Concepts in Agriculture., Islamic Azad University of Saveh. 1-5. (in Persian with English abstract)
9 .Chipa B.R., and Lal P. 1995. Na/K ratio as basis of salt tolerance in wheat. Aust. J. Agric. Res, 46: 533-539.
10. Decoteau, D.R. 2000.Vegetable Crops. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersy. pp: 464.
11. Ehteshamnia, A. 2006. Effects of salinity on seedling growth indices of 10 medicinal plants. 3th Medicinal Plant Symposium, Shahid Beheshti University. (In Persian).
12. Fallahi J., Ebadi M.T., Ghorbani R. 2009. The effects of salinity and drought stresses ongermination and seedling growth of clary(*salvia sclarea*). Environmental Stresses in Agricultural Sciences. 1(1): 57-67.(In Persian).
13 .FAO, 2008. Land and Plant Nutrition Management Service. http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush.
14 .Gorham, J. 1996. Mechanisms of salt tolerance of halophytes. In: Halophytes ecologic agriculture. (eds: R. C. Allah, C. V. Nalcolm and A. Aamdy). Marcel Dekker. Inc., 30-53.
15. Hosseini H., Rezvani Moghadam P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). Iranian Journal. Field Crop Research. 4(1), 15-22. (In Persian).
16 .Jafari, M. 1995. Portrait of salt and succulent halophyte. Research Institute of Forests and Rangelands. Tehran. 55 p. (in Persian)
17 .Jamil M., Lee D.B., Jung K.Y., Ashraf M. Lee, S.C., and Rha E.S. 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture. 7(2): 273-282.
18 .Javadi H., Saghat Al-Eslami M.J. and Mousavi G.H. 2014. Effect of salinity on the germination and seedling growth of four species of medicinal plants. Iranian Journal of Field Crops Research. 12 (1): 53-64. (in Persian)
19. Kafi M and Stewart D.A. 2002. Effects of salinity on growth and yield of 9 wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology, 12(1). (in Persian)
20. Kakhaki S.F., Nezami A., Parsa M. and Kafi M. 2014. Evaluation of yield and yield components of 43 Sesame (*Sesamun indicum* L.) Lines and Ecotypes under Irrigated with Saline Water. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(3): 378-386. (in Persian)
21. Kerepesi H., and Galiba G. 2000. Osmotic and salt stress induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedling. Crop Science, 40: 482-487.
22. Mohammadi R., Maly Amiri R. Taghavi M.R., and Caboly M.M. 2010. Genetic Diversity of Crop Yvnjhhay (West and North West) Iran, using microsatellite markers. Genetic modification of plants for forestry and Iran. 11-1.
23. Molassiotis A.N., Sotiropoulos T., Tanou G., Kofidis G., Diamantidis G., and Therios I. 2006. Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl, mannitiol or sorbitol. Biologia Plantarum, 50(1): 61-68.
24. Mou, B. 2008. Lettuce. pp. 75-116. In: Prohens, J., and Nuez, F. (eds.) Handbook of Plant Breeding. Vegetables I. Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae and Cucurbitaceae. Springer Science, New York, USA.
25.Niu X., Bressan R. A. Hasegawa P. M. and Pardo J. M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environment. Plant Physiology. 109: 735- 742.
26. Parida A.K., and Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3): 324-349.
27. Penuelas J., Isla R., Filella I., and Araus J.L. 1997. Visible and neart-infrared reflectance assessment of salinity

effects on barely. Crop Science., 37: 198-202.
28. Peyvast, GH. 2006. Olericulture. Daneshpazir Publications of . 487 pp. (in Persian)
29. Poustini, K. 1995. Physiological responses of two wheat cultivars to salinity stress. Iranian Journal of Agriculture Science. 26 (2): 57-64. (in Persian with English abstract)
30. Poustini k and Zehtab Salmasi S. 1997. Effect of salinity on dry matter production and remobilization in two wheat cultivars. Iranian Journal of Agriculture Science. 29(4): 11-17. (in Persian with English abstract)
31. Rahimian Mashhadi H., Bagheri Kazem Aabad A. and Paryab A. 1992. Potential effects of the polyethylene glycol and sodium chloride combined with temperature on germination of the masses of dryland wheat. Journal of Agricultural Science and Technology. 5(1): 37-46. (in Persian)
32. Safarnejad A., Salami M.R and Hamidi H. 2008. Morphological characterization of medicinal plants (*Plantago ovata*, *Plantago psyllium*) in response to salt stress. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. 75: 152-160. (in Persian)
33. Safarnejad A. and Hamidi H. 2008. Study of morphological characters of *Foeniculum vulgare* under salt stress. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 16(1): 125-140. (in Persian with English abstract)
34. Salami M.R., Safernejad A. and Hamidi H. 2007. Effect of salinity stress on morphological characters of *Cuminum cyminum* and *Valeriana officinalis*. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. 72: 77-83. (in Persian with English abstract)
35. Singh L., and Pal B. 2001. Effect for saline water and ferility levels on yield, potassium, zinc content and uptake by blonde psyllium (*Plantago ovata* Forsk.). Crops Research. (Hisar)., 22: 424-431.
36. Soltani A., Galeshi S., Zenali E., and Latifi N., 2001. Germination seed reserve utilization and growth of chicpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30: 51-60.
37. Voutsela S, Yarsi G, Petropoulos S.A, Khan E.M .2012. The effect of grafting of five different rootstocks on plant growth and yield of tomato plants cultivated outdoors and indoors under salinity stress. African Journal of Agricultural Research. 7(41): 5553–5557.
38. Yarnia M., Heydari Sharif Abad H., and Rahim Zadeh Khui F. 2005. Effect of carbonat calcium on tolerance to salinity in alfalfa figures. Journal in Agriculture Knowledge. 2: 9-21.