به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰
صفحه‌های ۱۳۹-۱۲۷

مقاله پژوهشی:

اثر تنش شوری بر برخی عناصر معدنی و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی زنیان

سعید دوازده امامی[1*]، شکوفه انتشاری[2]، مرضیه الهدادی[3]، شهرام یاسمنی[4]
۱. دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، اصفهان، ایران.
۲. استادیار، گروه فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه پیام نور اصفهان، اصفهان، ایران.
۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه پیام نور اصفهان، اصفهان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

چکیده
به‌منظور بررسی اثر شوری بر برخی ویژگی‌های گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum* L. C.B. Clarke)، آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در اصفهان در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارها سطوح مختلف آب شور ۳ (شاهد)، ٦، ۹ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. صفاتی شامل عملکرد، ویژگی‌های بیوشیمیایی، عناصر معدنی، میزان و کیفیت اسانس بذر تعیین شدند. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد بذر شد. تغییر اجزای اسانس بذر در اثر تنش شوری کم بود. مهم‌ترین ترکیب در اسانس تیمول بود که ٥٦/١ تا ٦١/٢ درصد اسانس را به‌خود اختصاص داد. بیش‌ترین غلظت پروتئین کل (ریشه ۳/٦ و اندام هوایی ۸/۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) به تیمار شاهد اختصاص داشت و با افزایش سطوح شوری به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. افزایش شوری، میزان پرولین و قندهای احیاکننده را افزایش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان پرولین ریشه ۱۲ میلی‌گرم در گرم ماده تر و قندهای احیاکننده (ریشه ۳۰/۵ و اندام هوایی ٦۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. افزایش سطوح شوری میزان ترکیبات فنلی اندام هوایی را افزایش داد اما این افزایش معنی‌دار نبود. تیمار ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین غلظت پتاسیم (ریشه ۵ و اندام هوایی ۲۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) و بیش‌ترین غلظت سدیم (ریشه ٥٤ و اندام هوایی ٦٤ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) را داشت. با توجه به نتایج حاصله، با افزایش شوری میزان اسمولیت‌های مقاوم‌کننده در گیاه زنیان افزایش یافت.

کلیدواژه‌ها: آب شور، اسانس، پرولین، سدیم، عملکرد.

Effect of Salinity Stress on Some Mineral Contents and Biochemical Parameters of Ajowan

Saeid Davazdahemami[1*], Shekoofeh Enteshari[2], Marzieh Allahdadi[3], Shahram Yasamani[4]
1. Associate Professor, Natural Resources Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Plant Physiology, Payam Noor of Isfahan, Isfahan, Iran.
3. Former Ph.D. Student, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. Former M.Sc. Student, Department of Plant Physiology, Payam Noor of Isfahan, Isfahan, Iran.
Received: February 12, 2020 Accepted: September 1, 2020

Abstract
In order to investigate the effect of irrigation water salinity on some characteristics of Ajowan (*Carum copticum* L. C.B. Clarke), a field experiment has been conducted in a completely randomized design with 3 replications in Isfahan, Iran during 2013. The treatments involve different levels of saline water, namely 2.5 (control), 6, 9, and 18 $dS.m^{-1}$. The determined traits include the yield, biochemical parameters, mineral contents, and seed essential oil content and quality. Results show that increasing salinity decreases biological yield and seed yield. Changes in essential oil components, caused by salinity, have been low, showing no specific trend. The major compound in the seed essential oil of *C. capticum* is thymol (56.1% to 61.2% of the essential oil). The highest concentration of total protein (root: 3.6 and shoot: 8.2 mg g^{-1} DW) is assigned to the control treatment, dropping significantly as salinity levels rise. Increasing salinity enhances the amount of proline and reducing sugars so that the highest amount of root proline, equal to 12 mg g^{-1} FW, and reducing sugars (root: 30.5 and shoot: 62 mg g^{-1} DW) comes from salinity of 18 $dS.m^{-1}$. Increasing salinity levels raises the amount of phenolic compounds in the shoot, though this increase has not been considerable. The treatment of 18 $dS.m^{-1}$ has had the lowest concentration of K^+ (root: 5 and shoot: 22 mg g^{-1} DW) and the highest concentration of Na^+ (root: 54 and shoot: 64 mg g^{-1} DW). It can be concluded that by increasing salinity levels, the amount of resistant osmolytes rises.

Keywords: Essential oil, Na^+, proline, salt water, yield.

* نویسنده مسئول
Email: s.12emami@areeo.ac.ir

۱. مقدمه

زنیان (*Carum copticum* L. C.B. Clarke) با نام انگلیسی Ajowan گیاهی متعلق به تیره چتریان یا Apiaceae است. این گیاه علفی، یک‌ساله، دارای ساقه ایستاده به ارتفاع ۳۰ تا۱۰۰ سانتی‌متر، برگ‌های منقسم با بریدگی زیاد و نازک، گل‌های سفید به‌صورت چتر مرکب و میوه کوچک بیضوی شکل به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد است و در ایران، هند و مصر می‌روید (Najafi, 2011). زنیان حاوی ترکیبات مختلفی مانند کربوهیدرات‌ها، گلیکوزیدها، ساپونین‌ها و ترکیبات فنلی (کارواکرول)، اسانس (تیمول)، ترپئین، پاراسیمن و بتاپینن، پروتئین، چربی، فیبر و مواد معدنی از قبیل کلسیم، فسفر، آهن و اسید نیکوتین (نیاسین) است (Stamp, 2003). نسبت ترکیبات موجود در هر گیاه به ژنوتیپ، فصل برداشت، کیفیت خاک، مکان کشت، مدیریت زراعی، مصرف آفت‌کش‌ها، آبیاری و عوامل دیگر بستگی دارد (Avio *et al.*, 2020). بذر زنیان به‌عنوان اندام دارویی گیاه، به‌واسطه داشتن اسانس از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است (Davazdahemami & Majnoon Hosseini, 2014) و علاوه بر مصارف دارویی، به‌صورت گسترده‌ای در صنایع غذایی کاربرد دارد. ریشه و بذر زنیان از دیرباز در طب سنتی کاربرد داشته و به‌عنوان بادشکن، ضد تهوع، ملین، کرم‌کش، کاهش‌دهنده کلسترول خون، خلط‌آور، تقویت‌کننده معده، اشتهاآور و از بین‌برنده بوی بد دهان مورد استفاده بوده است (Najafi, 2011). اسانس حاصل از بذرها به‌شدت ضدعفونی‌کننده، ضد اسپاسم و دیورتیک هستند (Sabar, 2010). هم‌چنین زنیان حاوی ترکیباتی است که فعالیت‌های بیولوژیکی مانند خاصیت ضدمیکروبی را نشان می‌دهند (Shafeghat *et al.*, 2016).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. نمک‌ها با کاهش پتانسیل اسمزی، اثر سمیت ویژه یون‌ها و اثر بر تعادل تغذیه‌ای گیاه می‌توانند رشد، جوانه‌زنی، تغذیه و متابولیسم گیاهان را متأثر سازند (Munns, 2005). تحمل به شوری در گیاهان فرایند پیچیده‌ای است که در آن تغییرات مورفولوژیکی، فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درگیر هستند. رشد در شرایط تنش شوری، نتیجه فرایندهای سازگاری مانند انتقال یون و جایگزینی آن‌ها، سنتز محلول‌های اسمزی و تغییر و تبدیل پروتئین‌ها برای حفظ و بازسازی سلول‌ها است (Munns & Tester, 2008). کشور ایران پس از هند و پاکستان با دارابودن ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شـور در صدر کشورهای در معرض تهدید از نظر تنش شوری محسوب می‌شود. در حال حاضر سطح کل اراضی فاریاب ایران ۷/۳ میلیون هکتار و سطح کل اراضی زراعی مبتلا به درجات مختلف شوری خـاک، آب و یا هر دو، ۳/۵ میلیون هکتار برآورد شده است (Ranjbar and Pirasteh-Anosheh, 2015). زنیان در بسیاری از نقاط ایران کشت می‌شود و از متحمل‌ترین گیاهان دارویی نسبت به تنش شوری محسوب می‌شود (Davazdahemami & Majnoon Hosseini, 2014). نتایج به‌دست‌آمده توسط پژوهش‌گران مختلف نشان می‌دهد تنش شوری بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه زنیان تأثیرگذار است. شوری سبب کاهش عملکرد بذر و اسانس و ویژگی‌های مورفولوژیکی (به‌جز تعداد چترک در چتر) زنیان شد (Ramezani *et al.*, 2017). هم‌چنین مطالعات متعددی اثرات بازدارنده تنش شوری را بر شاخص‌های جوانه‌زنی زنیان نشان داده‌اند (Sadati *et al.*, 2014; Sadeghi Gol *et al.*, 2014; Shiri & Hokmalipour, 2018).

با توجه به توسعه شوری در اراضی کشاورزی و وجود منابع آب شور، لزوم تعیین حد تحمل به شوری گیاهان مختلف به‌ویژه گیاهان دارویی ضروری است و استفاده از گیاهان متحمل به شوری به‌عنوان یک عامل مدیریتی در شرایط آب یا خاک شور توصیه می‌شود. هم‌چنین

ازآنجایی‌که گیاه دارویی زنیان یکی از گیاهان دارویی ارزشمند و بومی ایران است کشت وسیع این گیاه مستلزم شرایط آب‌وهوایی خاصی در ایران است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد، میزان عناصر معدنی، ویژگی‌های بیوشیمیایی، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی زنیان به‌اجرا در آمد.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر برخی ویژگی‌های گیاه دارویی زنیان (ژنوتیپ مشهد)، آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان (۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی به ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا) در سال ۱۳۹۲ انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

تیمارهای آب شور با حل‌کردن کلرور سدیم در بشکه‌های ۳۰۰ لیتری و تعیین مرتب EC با دستگاه برای تیمارهای شاهد (۳)، ٦، ۹ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر و اعمال آن بر گیاهان از مرحله هشت تا ۱۰ برگی تا زمان و در هر آبیاری به میزان ۱۰۰ لیتر به‌ازای هر مترمربع اعمال شد. کاشت در تاریخ ۲۱ خردادماه انجام گرفت. بذرها به‌صورت ردیفی با فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر و بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر در عمق پنج سانتی‌متری خاک در کرت‌هایی با دیواره سیمانی و کف خاکی به مساحت سه مترمربع، با فاصله یک متر از همدیگر کاشته شدند. هنگام کاشت به‌دلیل ریزبودن بذور تراکم بوته بیش‌تر در نظر گرفته شد و پس از مرحله ۸-٦ برگی اقدام به تنک‌کردن مزرعه گردید. اولین آبیاری بعد از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی براساس سنجش رطوبت خاک با دستگاه TDR (Model SabtaBarbara 6050X, USA) اعمال شد. در طی فصل رشد سم‌پاشی و تیمار کودی اعمال نشد. وجین علف‌های هرز با دست انجام شد. برداشت اندام هوایی در مرحله ۲۰-۱۰ درصد گلدهی در تاریخ ۲۱ مردادماه (٦۰ روز پس از کاشت) از سطحی معادل یک مترمربع با کف‌برکردن گیاه با داس انجام شد و با توزین آن، عملکرد بیولوژیک تعیین شد. اندام برداشت‌شده در سایه و به‌طور طبیعی در میانگین دماهای روز ۳۸ و شب ۳۰ درجه سانتی‌گراد در حد ١٤ درصد رطوبت خشک گردید. محتوای قندهای احیاکننده (Somogyi, 1952)، ترکیبات فنلی (Lalma & Sonald, 1999)، پروتئین (Lowry *et al*., 1951) و پرولین (Bates *et al*., 1973) با دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, Japan UV-2600/2700) تعیین شدند. هم‌چنین دو عنصر مهم در تنش شوری یعنی سدیم و پتاسیم به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (PerkinElmer 5500, USA) اندازه‌گیری شدند (Hanlon, 1998).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

ECe ($dS.m^{-1}$)	pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	رس (%)	سیلت(%)	شن (%)	سنگریزه (%)
۱/۷۵	۷/٦٤	۱/٤٤	۰/۱٤	۲۰	۲۲	۵۸	۲۰-۲۵

ادامه جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Na^{+} (meq/l)	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$ (meq/l)	Cl^{-} (meq/l)	SO_4^{-2} (meq/l)	HCO_3^{-}(meq/l)	کاتیون‌ها (meq/l)	آنیون‌ها (meq/l)
۲۵	۸۵	۳٦	۵۵/۲	۱۰/۸	۱۱۰	۱۰۲

بذور در زمان رسیدگی کامل در تاریخ ۱۵ مهرماه (۱۱۵ روز پس از کاشت) جهت تعیین عملکرد بذر و اسانس‌گیری برداشت شدند Davazdahemami & Majnoon Hosseini, (2014). برای اسانس‌گیری از ۵۰ گرم بذر آسیاب‌شده استفاده شد. اسانس‌گیری توسط دستگاه کلونجر (laborota 4003, Heidolph, Germany) به‌روش تقطیر با آب به‌مدت دو تا سه ساعت انجام شد. درصد اسانس و عملکرد اسانس طبق روابط زیر مورد محاسبه قرار گرفتند:

رابطه (۱) = درصد اسانس

۱۰۰ × (بذر مصرفی/ وزن اسانس)

رابطه (۲) = عملکرد اسانس

درصد اسانس بذر × عملکرد بذر

اسانس‌ها توسط سرنگ به شیشه‌های کوچک منتقل شد و به‌منظور جلوگیری از تابش نور با فویل آلومینیومی پوشانده و در یخچال قرار داده شدند. به‌منظور جداسازی و شناسایی ترکیب‌های اسانس، از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنجی جرمی استفاده شد. دستگاه کروماتوگرافی گازی Shimadzu (GC) مدل 9A و مجهز به ستون DB-5 (به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر که سطح داخلی آن با فاز ساکن از جنس Dimethyl siloxane, 5% phenyl پوشیده شده، استفاده شد.

در زمان تزریق نمونه‌ها به GC و GC/MS، یک میکرولیتر نمونه اسانس در دو میلی‌لیتر دی‌کلرومتان رقیق شد. نمونه‌های آماده‌شده ابتدا به دستگاه کروماتوگراف گازی تزریق شد و مناسب‌ترین برنامه‌ریزی حرارتی ستون برای جداسازی کامل ترکیب‌های اسانس به‌دست آمد. هم‌چنین ترکیب‌های تشکیل‌دهنده هر اسانس و شاخص بازداری هر ترکیب نیز محاسبه گردید. شناسایی ترکیب‌های اسانس با استفاده از اندیس‌های بازداری (Retention Index) و بررسی طیف‌های جرمی پیشنهادی کتابخانه‌های کامپیوتری دستگاه کروماتوگراف طیف‌سنج جرمی و مقایسه این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد صورت گرفت (Haghiroalsadat , 2010). با توجه به هزینه بالای آنالیز اسانس در زمان انجام پژوهش (هر نمونه ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار تومان)، هر نمونه اسانس برای تزریق به دستگاه از مخلوط‌کردن سه تکرار هر تیمار به‌دست آمد. بنابراین گزارش آنالیز کیفی محدود به ارایه جدول اجزای اسانس شد و فاقد جدول تجزیه واریانس اسانس بود.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل با نرم‌افزار SPSS (نسخه 16.0) و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن در سطح پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم افزار Excel رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

اندازه‌گیری تعدادی از صفات خاک در پایان آزمایش نشان داد شوری خاک در لایه های سطحی خاک (۳۰-۰) در تیمارهای ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس آب آبیاری به‌ترتیب معادل آب آبیاری و برای تیمار ۱۸ آب آبیاری حدود ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. این اعداد با توجه به سبک‌بودن خاک و میزان آب‌شویی ناشی از حجم مناسب آب (۱۰۰ لیتر برای هر مترمربع) منطقی به‌نظر می‌رسد. میزان افزایش پی.اچ. در تیمار شوری ۱۸، بالاترین مقدار و حدود ۰/٦ واحد بود و کاهش ۵۰ درصدی کربن آلی به‌واسطه کم‌شدن سهم زیست‌توده تولیدی در خاک به‌واسطه شوری بوده و توجیه‌پذیر است.

۳. ۱. ویژگی‌های بیوشیمیایی

۳. ۱. ۱. قندهای احیاکننده

با توجه به نتایج جدول (۲) اثر سطوح مختلف شوری بر میزان قندهای احیاکننده در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش سطوح شوری غلظت قندهای احیاکننده هم در ریشه و هم در اندام هوایی به‌شدت افزایش یافت. بیش‌ترین میزان قندهای احیاکننده ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب به میزان ۳۰/۵ و ٦۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک در تیمار ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه زنیان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		قندهای احیاکننده		پروتئین		پرولین		فنل
		اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شوری	۳	۱۷۳۳/۹**	۲۲٤/۹**	۱۱/٦۹**	۳/۹**	۳٦/۸۳**	۱۰/٦۹**	۰/۸۲ ns
خطا	۸	۵/۹	۵/۹۳	۷/۷۵	۱/٤۱	۱/٦۲	۰/۹۳	۰/۵۷
ضریب تغییرات		۷/۳	۱۵/۵	۲۰/۱	۱۵/٦	۱٦/٦	۱۲/۱	۲٤/۹

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه زنیان

سطوح شوری	قندهای احیاکننده (mg g^{-1} DW)		پروتئین (mg g^{-1} D)		فنل اندام هوایی	پرولین (mg g^{-1} FW)	
(dS.m^{-1})	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	(mg g^{-1} DW)	اندام هوایی	ریشه
شاهد	۱ d	۰/۷ d	۸/۲ a	۳/٦ a	۱/٤ a	۰/٤ d	۰/٦ c
٦	۱/۸c	۱/٦ c	٦/۱ b	۲/٦ b	۱/۷ a	۰/٦ c	۰/۹ b
۹	٤/٤ b	۲/٤ b	۵/۵ b	۲/۳b	۲/۱ a	۰/۸ b	۰/۸ b
۱۸	٦/۲ a	۳/۱ a	۲/۹ c	۱/۵ c	۲/٦ a	۱/۲ a	۱/۲ a

اعداد دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شوری به‌طور بالقوه باعث افزایش مقدار قند می‌شود، البته سطحی از شوری که این تغییر را ایجاد می‌کند در مورد برگ، شوری کم و در ریشه، شوری بالا است (Mansouri *et al*., 2007). هنگامی‌که پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد تجمع قندها نقش محافظت‌کننده اسمزی داشته و گیاهان را از خطر اثرات ثانویه تنش اسمزی یا تنش یونی حفظ می‌کنند. برخی گیاهان استفاده از یک یا دو ترکیب سازگار تنظیم اسمزی را بر بقیه ترجیح می‌دهند و مقدار کربنی که برای ساخت این املاح آلی به‌کار می‌رود در حدود ۱۰ درصد از کل وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد (Taiz & Zeiger, 2010). در شرایط آزمایشگاهی پس از تیمار کلرید سدیم به‌مدت ۲۸ روز، مقدار قندهای احیاکننده در اندام هوایی و ریشه زنیان افزایش یافت و تجمع این قندها در اندام هوایی در مقایسه با ریشه بیش‌تر بود (Razavizadeh *et al*., 2017). هم‌چنین بررسی اثر سه سطح شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) در گیاه زنیان در شرایط گلخانه نشان داد که شوری باعث افزایش قندهای محلول در زنیان گردید (Mirzaei *et al*., 2012).

۳. ۱. ۲. پروتئین کل

با توجه به نتایج جدول (۲) بین سطوح مختلف شوری از نظر میزان پروتئین کل اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. سنجش میزان پروتئین کل ریشه و اندام هوایی زنیان نشان داد که بیش‌ترین غلظت پروتئین کل ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب معادل ۳/٦ و ۸/۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک به تیمار شاهد اختصاص داشت و افزایش سطوح شوری سبب کاهش محتوای پروتئین کل زنیان شد (جدول ۳). یکی از راه‌های درک توانایی گیاه در برابر

تنش‌هایی از قبیل شوری آب آبیاری شناسایی تغییرات میزان پروتئین آن‌ها است (Renault, 2005). کاهش مقدار پروتئین کل به‌عنوان یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک در گیاهان احتمالاً منشأ تغذیه‌ای نداشته و به‌علت جلوگیری از بیوسنتز پروتئین تحت تأثیر تنش شوری انجام می‌پذیرد (Rezaei *et al*., 2004). شوری با تخریب مکانیسم‌های mRNAهای رونویسی و ترجمه سبب کاهش سنتز پروتئین‌ها می‌شود (Jiang & Duan, 2006). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با اثر تنش شوری بر تغییرات محتوای پروتئین زنیان انجام شده است. ارزیابی اثر سه سطح شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) در گیاه زنیان در شرایط گلخانه نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین زنیان در سطح تیمار شاهد و کم‌ترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار بود (Mirzaei *et al*., 2012). نتایج آزمایشی دیگر در رابطه با بررسی تأثیر تنش شوری بر میزان پروتئین کل گیاه زنیان حاکی از کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین کل این گیاه در شرایط شور بود (Razavizadeh *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر گزارش شد که با تشدید شرایط شوری آب آبیاری از شاهد به ۸ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ٤/٨٩ و ١٢/١٦ درصد از میزان پروتئین زنیان کاسته شد (Bijani *et al*., 2015).

۳. ۱. ۳. پرولین

اثر سطوح مختلف شوری بر محتوای پرولین زنیان در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این بود که در اندام هوایی و ریشه زنیان متناسب با افزایش شوری میزان پرولین هم تغییرات معنی‌داری را نشان داد. بیش‌ترین میزان پرولین ریشه ۱۲ میلی‌گرم در گرم ماده تر در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و میزان پرولین ریشه در دو سطح شوری ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). میزان پرولین در شرایط طبیعی در سلول بسیار اندک است ولی در شرایط شور بیوسنتز و تجمع آن در سیتوپلاسم افزایش می‌یابد. پرولین نقش‌های متعددی از جمله تنظیم اسمزی، جاروب‌کردن هیدروکسیل، تنظیم کردن pH سلولی، پایدارکردن ساختار پروتئین و محافظت از ماکرومولکول‌ها در مقابل هیدراته‌شدن و تنظیم پتانسیل رداکس را بر عهده دارد (Ashraf *et al*., 2004; Wang & Han, 2009). میزان غلظت پرولین زنیان در گلخانه تحت تأثیر تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. زنیان گیاهی به‌نسبت مقاوم به تنش شوری است اما سطوح بالای ٤ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ویژگی‌های کمی گیاه می‌شوند و در صورت وقوع شوری، این گیاه با به‌کارگیری مکانیزم تنظیم اسمزی و به‌وسیله افزایش تجمع پرولین و کربوهیدرات شرایط تنش را تا حدی تحمل می‌کند (Mardokhi *et al*., 2007). با افزایش سطح شوری تا ۱۲۰ میلی‌مول بر لیتر غلظت پرولین در اندام هوایی زنیان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Ashraf & Orooj, 2006). بررسی تأثیر پنج سطح شوری شاهد، ۲، ٤، ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بر دو توده محلی و پاکستانی زنیان در شرایط گلخانه نشان داد که غلظت پرولین تحت تأثیر تیمارهای تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Piri *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر در شرایط آزمایشگاهی پرولین اندام هوایی و ریشه زنیان تحت تأثیر تیمار کلریدسدیم افزایش یافت ولی محتوای پرولین تفاوت معنی‌داری در ریشه و اندام هوایی نشان نداد (Razavizadeh *et al*., 2017). افزایش میزان پرولین تحت شرایط آبیاری با آب شور در سایر گیاهان دارویی از جمله آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، مرزه (*Satureja hortensis* L.) و مورد (*Myrthus communis* L.) نیز گزارش شده است (Razavizadeh & Mohagheghiyan, 2015; Vojodi Mehrabani *et al*., 2017; Vafadar *et al*., 2018) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

۳. ۱. ٤. ترکیبات فنلی

اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنلی در گیاه زنیان تحت تنش شوری بیانگر این بود که با افزایش سطوح شوری میزان ترکیبات فنلی در اندام هوایی گیاه زنیان افزایش یافت اما این افزایش در هر چهار سطح شوری اعمال‌شده معنی‌دار نبود (جدول‌های ۲ و ۳). تغییرات غلظت ترکیبات فنلی احتمالاً به‌دلیل افزایش میزان ترکیباتی مانند لیگنین می‌باشد. این ترکیب سبب استحکام بیش‌تر دیواره سلولی می‌شود تا از ورود بی‌رویه نمک به گیاه جلوگیری کند. احتمالاً تنش شوری باعث فعال‌سازی آنزیم‌های ساخت ترکیبات فنلی برای افزایش مقاومت گیاه در برابر آسیب‌های ناشی از کلرید سدیم می‌شود تا فعالیت گیاه مختل نشود. از طرفی یک‌سری از ترکیبات فنلی نظیر اسیدکافئیک و اسیدفرولیک نیز با ایجاد اثر آللوپاتی از رشد و جوانه‌زنی گیاهان مجاور ممانعت می‌کنند و دسترسی گیاه به آب، نور و مواد غذایی موردنیاز را افزایش می‌دهند (Taiz & Zeiger, 2010). به‌طورکلی ترکیبات فنلی به‌طور روزافزون در صنایع مختلف دارویی، بهداشتی، غذایی و صنعتی کاربرد پیدا کرده‌اند (Tran *et al*., 2019).

۳. ۱. ۵. عناصر معدنی

با افزایش شوری از ۲/۵ تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پتاسیم ریشه از ۱۲/۱ به ۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک کاهش پیدا کرد. در بافت هوایی نیز تیمارهای شوری غلظت پتاسیم اندام هوایی را از ۵۰ به ۲۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک کاهش دادند و تیمارهای ۲/۵ و ٦ دسی‌زیمنس از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ٤).

به‌نظر می‌رسد تغییر غلظت پتاسیم تحت شرایط تنش شوری به آهستگی رخ می‌دهد و در شوری‌های پایین تفاوت قابل‌توجهی نشان نمی‌دهد بلکه در شوری‌های بالاتر است که این کاهش غلظت چشم‌گیر می‌شود. میزان کاهش پتاسیم در بافت ریشه بیش‌تر از اندام هوایی بود و گیاه غلظت بیش‌تری از پتاسیم را در اندام هوایی خود حفظ کرد میزان سدیم اندام هوایی و ریشه گیاه زنیان با افزایش شوری به‌صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب معادل ٥٤ و ٦٤ میلی‌گرم در گرم ماده خشک به تیمار ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت. با این‌حال افزایش مقدار غلظت سدیم در اندام هوایی بیش‌تر از تغییر غلظت آن در بافت ریشه بود (جدول ٤). نتایج پژوهشی گلخانه‌ای نشان داد که نسبت یون پتاسیم به سدیم و یون کلسیم به سدیم در اندام هوایی زنیان در مقایسه با ریشه‌ها در شرایط تنش شوری بالاتر بود (Ashraf & Orooj, 2006).

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر عناصر معدنی گیاه زنیان

سطوح شوری ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ g^{-1}\ DW$)		سدیم ($mg\ g^{-1}\ DW$)	
	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه
شاهد	۵۰ a	۱۲/۱ a	۱۰ d	۱۵ d
٦	٤٥ a	۱۰/۸ b	۲۲ c	۲۵ c
۹	۳۷ b	۷/۸ c	۳٤ b	٤۰ b
۱۸	۲۲ c	۵ d	٦٤ a	٥٤ a

اعداد دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

روند کاهش پتاسیم و افزایش سدیم تحت تنش شوری در گیاهان دارویی دیگری مانند گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)، سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.) و مرزه نیز گزارش شده است (Makkizadeh Tafti *et al*., 2008; Hussain *et al*., 2009; Rahimi & Kafi, 2010; Vojodi Mehrabani *et al*., 2017). همراه با افزایش شوری (NaCl) گیاهان تمایل دارند یون Na^+ بیش‌تری را در خود نگه دارند و یون K^+ را به خارج بفرستند (Tamam *et al*., 2008). کاهش یون پتاسیم با تنش شوری برای فرایندهای بیوشیمیایی سلول مضر است. پتاسیم پتانسیل اسمزی لازم برای جذب آب در سلول‌های گیاهی را فراهم می‌کند، بنابراین جذب K^+ برای تورگر سلول و برقراری فرایندهای بیوشیمیایی در شرایط شوری اساسی است (Kaydan *et al*., 2007). ویژگی‌های انتقالی Na و K با مقاومت NaCl در گیاهان همبستگی دارد. شرایط شوری می‌تواند صعود پتاسیم را به‌وسیله گیاهان کاهش دهد. سدیم، یون مثبت اصلی در خاک‌ها و آب‌های شور است. سطوح بالای سدیم می‌تواند کلسیم را از غشای ریشه‌ها به خوبی جابه‌جا کند و به‌طور انتخابی روی غشاهای مربوط به صعود و بالاگیری پتاسیم اثر بگذارد. علاوه بر این، غلظت‌های بالای سدیم می‌تواند با افزایش پتاسیم تداخل پیدا کند. صعود سطوح کم پتاسیم بیرونی برای پتاسیم بسیار اختصاصی است اما سدیم می‌تواند به‌طور رقابتی از ورود این غلظت‌های بالای پتاسیم جلوگیری کند (Al-karaki, 2000).

۳. ۲. صفات زراعی

۳.۲. ۱. عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک

اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک زنیان در واحد سطح در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ٦) بالاترین عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک در شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب به میزان ۱۸۷٤ و ۱۲۳٦٤ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان آن ۱۰۹۰ و ۷۹٦۳ کیلوگرم در هکتار در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری بر برخی صفات گیاه زنیان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد بذر	عملکرد بیولوژیک	اسانس بذر	عملکرد اسانس بذر
شوری	۳	٤۱۹۵۰۰**	۱۳۸۱٦۰۰۰**	۰/۰٤٦۱ ns	۰/٦۳۷۹**
خطا	۸	٦۳۹۰	۸٤٦۰۰	۰/۰۸۷	۰/٤۰٦۹
ضریب تغییرات (٪)		۵/۵٤	۲/۷۵	۷/٦٦	۱۱/٤

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ٦. مقایسه میانگین برخی صفات زنیان در سطوح مختلف شوری

شوری ($dS.m^{-1}$)	عملکرد بذر ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	اسانس بذر (%)	عملکرد اسانس بذر ($L\ ha^{-1}$)
شاهد	۱۸۷٤ a	۱۲۳٦٤ a	٤ a	۷٤ a
٦	۱۵٦۳ a	۱۱۳٤٦ b	۳/۸ a	۵۹ b
۹	۱٤۷۳ b	۱۰٤۸۸ c	۳/۹ a	۵۸ b
۱۸	۱۰۹۰ c	۷۹٦۳ d	۳/۷ a	٤۰ c

اعداد دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

تنش شوری در بسیاری از گیاهان سبب کاهش کل ماده خشک، ارتفاع گیاه و سطح برگ می‌شود. تغییرات در رشد گیاه نتیجه تأثیر زیان‌آور شوری بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه می‌باشد (Frary *et al.,* 2010). غلظت‌های بالای نمک‌های محلول به‌واسطه افزایش فشار اسمزی، سمیت یونی و با محدودکردن جذب آب توسط ریشه، رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jouyban, 2012). هم‌چنین از راه پیری زودرس برگ، کاهش فعالیت فتوسنتزی و سطح فتوسنتزکننده سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Hussain *et al.,* 2004; James *et al.*, 2006). نتایج یک آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که افزایش سطح شوری از صفر تا ۱۲۰ میلی‌مول بر لیتر باعث کاهش معنی‌دار زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه‌ها و هم‌چنین عملکرد بذر زنیان شد. گرچه، اثر منفی نمک بر عملکرد دانه نسبت به تولید زیست‌توده در مرحله رویشی مشهودتر بود و باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد بذر شد (Ashraf & Orooj, 2006). افزایش شوری آب آبیاری سبب کاهش قابل‌توجه عملکرد بذر زنیان شد، به‌طوری‌که ۱۹/۸۹ درصد افت عملکرد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (Bijani *et al*., 2015). هم‌چنین در پژوهشی دیگر ارزیابی سطوح مختلف شوری (صفر، ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش عملکرد بذر و زیست‌توده ریشه و ساقه زنیان می‌شود (Abdoli *et al*., 2020). تأثیر منفی تنش شوری بر عملکرد بیولوژیک در سایر گیاهان دارویی مانند بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) و بومادران هزار برگ (*Achillea millefolium*) نیز به اثبات رسیده است (Davazdahemami *et al.,* 2010; Dehghan & Rahimmalek, 2018) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

۳. ۲. ۲. کمیت و کیفیت اسانس بذر

براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ٦) درصد اسانس بذر از ۳/۷ تا ٤ میلی‌لیتر تغییر کرد و همه میانگین‌ها در یک گروه آماری قرار داشتند. حداکثر عملکرد اسانس بذر در واحد سطح به‌ترتیب ۷٤ لیتر در هکتار در شوری ۳ و حداقل آن ٤۰ لیتر در هکتار در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. تأثیر تنش شوری بر عملکرد و درصد اسانس زنیان در شرایط گلخانه توسط سایر پژوهش‌گران گزارش شده است. با افزایش تنش شوری از سطح شاهد تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر درصد اسانس دو توده محلی و پاکستانی زنیان افزایش یافت (Piri *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر مشخص شد که با تشدید تنش شوری از شاهد به ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر بر درصد اسانس زنیان افزوده و از عملکرد اسانس آن کاسته شد (Bijani *et al*., 2015).

نتایج حاصل از تجزیه کیفی اسانس به‌دست‌آمده از بذر زنیان در تیمارهای شوری نشان داد مهم‌ترین جزو در همه تیمارها تیمول بود که ٥٦/۱ تا ٦۱/۲ درصد اسانس را به خود اختصاص داد (جدول ۷).

دومین ترکیب گاماترپینن به میزان ۲۱/۷ تا ۲۲ درصد، ترکیب سوم پاراسیمن به میزان ۱۳/٦ تا ۱٤/٥ درصد و دو ترکیب لیمونن و کارواکرول به‌ترتیب در مقادیر کم‌تر از ۳/۲ و ۰/٦ درصد، مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده اسانس بذر زنیان در این آزمایش بودند که سه ترکیب اول در کلیه تیمارها بیش‌ترین ۹۱ درصد اسانس را به خود اختصاص دادند. به‌طورکلی تغییر اجزا در اثر اعمال تیمارهای شوری ناچیز بود و تغییرات آن نیز از روند خاصی پیروی نمی‌کرد. پژوهش‌ها نشان داده است که علاوه بر ژنوتیپ عوامل متعددی از جمله شرایط محیطی بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس تأثیر می‌گذارند.

جدول ۷. درصد ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بذر زنیان در سطوح مختلف شوری

اجزای اسانس	شاخص بازداری	شوری ($dS.m^{-1}$)			
		شاهد	٦	۹	۱۸
α-pinene	۹۲۷	۰/۱	۰/۱	۰	۰
Sabinene	۹٦۸	۰/۳	۰/٤	۰/۲	۰/۱
β-pinene	۹۷۲	۰/۵	۰/٦	۰/۱	۰/۳
Myrcene	۹۸۵	۰/٦	۰/۵	۰/٦	۰/٤
α-phellandrene	۱۰۰۰	۰/۵	۰/٤	۰/۷	۰
α-terpinene	۱۰۰۸	۰/٤	۰/۳	۰/۲	۰/٤
p-cymene	۱۰۱۹	۱۳/٦	۱۳/۹	۱٤/۵	۱٤/۲
Limonene	۱۰۲۲	۲/۳	۳/۱	۰/۹	۰/۷
γ-terpinene	۱۰۵٦	۲۲	۲۲/٤	۲۲	۲۱/۷
Thymol	۱۲۹۵	۵٦/۱	۵٦/۱	۵۷/٤	٦۱/۲
Carvacrol	۱۲۹۸	۰	۰/٦	۰/۳	۰/۳

براساس فارماکوپه هند و انگلستان اسانس بذر زنیان باید بیش از ٤۰ درصد تیمول داشته باشد در فارماکوپه ایران میزان تیمول مورد قبول اسانس ٤۵ تا ۵۰ درصد اعلام شده است (Momeni & Shahrokhi, 2014). اسانس زنیان حاوی تیمول، گاماترپینن و پاراسیمن است (Mohagheghzadeh *et al*., 2007). بررسی اثر شوری (۰/۳، ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر عملکرد و ترکیبات اسانس گیاه زنیان نشان داد که در تیمارهای مختلف شوری تغییر درصد ترکیبات اسانس کم بود. مهم‌ترین اجزا اسانس تیمول و گاماترپینن بود. درصد تیمول حدود ۸ درصد، گاماترپینن کم‌تر از ٤ درصد و پاراسیمن به میزان کم‌تر از ۲ درصد تغییر نمودند. در کشت بهاره میزان گاماترپینن با افزایش شوری افزایش و میزان تیمول با افزایش شوری کاهش یافت. میزان پاراسیمن با افزایش شوری تغییر چندانی نشان نداد. در کشت تابستانه بیش‌ترین میزان گاماترپینن در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس به‌دست آمد (Dokhani *et al*., 2012). تغییر ترکیبات اسانس تحت تنش شوری در گیاهان دیگر نیز گزارش شده است. نتایج یک بررسی نشان داد که افزایش شوری سبب کاهش میزان دو ترکیب اصلی سابینن هیدرات و ترپینن ٤- ال در گیاه مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) شد (Baatour *et al*., 2010). با افزایش شوری میزان پی-سیمن و گاما-ترپینن در اسانس آویشن افزایش و میزان تیمول کاهش یافت (Razavizadeh & Mohagheghiyan, 2015).

٤. نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد در صورت کشت زنیان در اراضی شور (تا حد ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر)، عملکرد بیولوژیک و عملکرد بذر گیاه کاهش معنی‌دار پیدا می‌کند، ولی درصد اسانس تغییر معنی‌داری ندارد و کیفیت اسانس هم تغییر محسوسی ندارد و در شرایط مشابه این آزمایش، از نظر میزان تیمول، درحد بالاتر از میزان تعیین‌شده در فارماکوپه‌های معتبر قرار دارد. این نتایج نشان داد گیاه زنیان با افزایش یک سری از پارامترهای بیوشیمیایی هم‌چون پرولین، قندهای احیاکننده و ترکیبات فنلی در برابر تنش

شوری از خود مقاومت نشان داد. با توجه به تجارب نگارندگان در کشت موفق پاییزه، بهاره و کشت دوم تابستانه این گیاه، به‌عنوان یک توصیه کاربردی، به‌نظر می‌رسد در طراحی الگوی کشت منطقه‌ای، این گیاه را می‌توان به‌عنوان یک گیاه دارویی قابل‌کشت به‌جای گندم، جو (در کشت پاییزه) و آفتابگردان (در کشت بهاره یا تابستانه) که از محصولات متحمل به شوری محسوب می‌شوند، معرفی نمود و تا حد مرسوم در این محصولات، از آب شور برای آبیاری آن استفاده نمود. انتظار می‌رود در حد تحمل این محصولات، افت عملکرد این گیاه هم معنی‌دار نباشد. زراعت متابولیت‌های ارزشمندی مانند ترکیبات فنلی (مثل تیمول و کارواکرول) یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری عوامل تولید است (Sulaiman *et al*., 2019).

۵. تشکر و قدردانی

از همکاران تکنسین و نیروهای کارگری بخش تحقیقات منابع طبیعی مرکز اصفهان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abdoli, S., Ghassemi-Golezani, K., & Alizadeh-Salteh, S. (2020). Responses of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research,* 1-15.

Al-karaki, G.N. (2000). Growth, sodium and potassium uptake and translocation in salt stressed Tomato. *Journal of Plant Nutrition, 23*(3), 369-379.

Ashraf, M., & Orooj, A. (2006). Salt Stress Effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant Ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). *Journal of Arid Environments,* 64(2), 209-220.

Avio, L., Maggini, R., Ujvari, G., Incrocci, L., Giovannetti, M., & Turrini, A. (2020). Phenolics content and antioxidant activity in the leaves of two artichoke cultivars are differentially affected by six mycorrhizal symbionts. *Scientia Horticulturae,* 264(10954), 1-8.

Baatour, O., Kaddour, R., Aidi Wannes, W., Lachaa, M., & Marzouk, B. (2010). Salt effects on the growth, mineral nutrition, essential oil yield and composition of marjoram (*Origanum majorana* L.). *Acta Physiology Plant, 32*, 45–51.

Bijani, M., Yadollahi, P., Heidari, M., Latifi, M., Asgharipour, M.R., & Ramrudi, M. (2015). Effect of saline water and chemicalorganic fertilizers on nutrient uptake and yield of ajowan (*Carum copticum* (L.) C. B. Clarke). *Journal of Crop Ecophysiology*, 7(22), 66-141. (in Persian).

Davazdahemami, S., & Majnoon Hosseini, N. (2014). Cultivation and production of certain herbs and spices. Tehran University Press (3rd edition). (In Persian).

Davazdahemami, S., Jahansooz, M.R. Mazaheri, D., & Sefidkon, F. (2010). Effects of irrigation water salinity on germination, emergency, biological yield, essence quality and quantity of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Plant Production Technology,* 10(1), 25-33. (in Persian).

Dehghan, A., & Rahimmalek, M. (2018). The effect of salt stress on morphological traits and essential oil content of Iranian and foreign yarrow (*Achillea millefolium* L.) genotypes. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 9* (2), 23-38. (In Persian).

Dokhani, S., Mortezaei-Nejhad, F., & Davazdahemami, S. (2012). Effect of sowing season on growth and oil chemical composition of Ajowain (*Carum capticom* L.) under salinity stress. *Journal of Herbal Drugs (An International Journal on Medicinal Herbs),* 3(2), 81-88.

Frary, A., Gol, D., Kels, D., Okmen, B., Pinar, H., Sigva, O., Yemenicioglu, H.A., & Doganlar, S. (2010). Salt tolerance in *Solanum pennellii*, antioxidant response and related QTL. *BMC Plant Biology,* 10, 58.

Haghiroalsadat F. 2010. The chemical assessment of seed essence and the Comparison of antioxidant effect among three native medicinal plants of the Yazd province (*Bunium persicum* Boiss., *Cuminum cyminum* L., *Trachyspermum copticum* L.). Shahid Beheshti University. Faculty of Biosciences. MSC Thesis. (In Persian).

Hanlon, E.A. (1998). Elemental determination by atomic absorption spectrophotometry. In, 14 Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, Karla, Y.P. (Ed). CRC Pres, USA., 15 ISBN, 1-57444-124-8, pp, 157-164.

Hussain, A., Khan, Z.I., Ashraf, M., Rashid, M.H., & Akhtar, M.S. (2004). Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and Coj- 84. *International Journal of Agriculture and Biology,* 1, 188-191.

Hussain, K., Majeed, A., Nawaz, K., Hayat, K., & Farrukh nisar, M. (2009). Effect of different levels of salinity on growth and ion contents of Black seed (*Nigella sativa* L.). *Current Research Journal of Biological Sciences, 1*(3), 135-138.

James, R.A., Davenport, R.J., & Munns, R. (2006). Physiological characterization of two genes for Na^+ exclusion in durum wheat, Nax1 and Nax2. *Plant Physiology,* 142, 1537-1547.

Jiang, L., & Duan, L. (2006). NaCl salinity stress decreased Bacillus thuringiensis (Bt) protein content of transgenic Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany,* 55(3), 315-320.

Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences, 2, 7-10.

Kaydan, D., Yagmur, M., & Okut, N. (2007). Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Cergisi,* 13(2), 114-119.

Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., & Naghdi Badi, H.A. (2008). Evaluation of salinity tolerance and absorption of salt by Borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants,* 24(3), 253-262.

Mansouri, H., Ahmadi Moghaddam, A., & Rohani, N. (2007). Response of mycorrhizal and non-mycorrhizal bean plants to salinity stress. *Iranian Journal of Biology,* 20(1), 80-88. (in Persian).

Mardokhi, B., Rejali, F., & Malakooti, M. (2007). Increasing resistance of wheat plant to salinity through inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi. In, 10th Soil Science Congress of Iran, Iran, 26 August 2007. (In Persian)

Mirzaei, S., Rahimi, A., Dashti, H., & Maddah Hosseini, S.H. (2012). The effect of using calcium and potassium in Ammi. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 10(1), 189-197. (in Persian).

Mohagheghzadeh, A., Faridi, P., & Ghasemi, Y. (2007). *Carum copticum* Benth and Hook, essential oil chemotypes. *Food Chemistry,* 100, 1217-1219.

Momeni, T., & Shahrokhi, N. (2015). Herbal essential oils and their therapeutic effects. University of Tehran Publications (4th edition). (In Persian).

Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance, bringing them together. New phytologist. Tansley reviews. CSIRO.

Najafi, S.H. (2011). Medicinal plants. Marandiz press, Mashhad. (In Persian).

Piri, I., Keshtegar, M., Tavassoli, A., & Babaeian, M. (2017). Effect of salinity on osmotic adjustment, yield and essence of local landraces Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Crop Ecophysiology,* 3(43), 519-530. (in Persian).

Rahimi, Z., & Kafi, M. (2010). Effects of salinity and silicon application on biomass accumulation, sodium and potassium content of leaves and roots of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Water and Soil,* 24(2), 374-367. (In Persian).

Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Sayyari Zohan, M., & Moosavi, S. (2017). Effect of salinity and foliar application of Zn and Fe on yield and morphological and quality traits of *Carum copticum*. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(4), 595-604. (in Persian). doi, 10.22077/escs.2017.634

Ranjbar, Gh., & Pirasteh-Anosheh, H. (2015). A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 17(2): 165 -178. (In Persian).

Razavizadeh, R., & Mohagheghiyan, N. (2015). An investigation of changes in antioxidant enzymes activities and secondary metabolites of thyme (*Thymus vulgaris*) seedlings under in vitro salt stress, *Iranian Journal of Plant Biology*, 26(7), 41-58. (In Persian).

Razavizadeh, R., Adabavazeh, F., & Rezaee Chermahini, M. (2017). Adaptive responses of *Carum copticum* to in vitro salt stress. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering,* 11(1), 37-42.

Renault, S. (2005). Response of red osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity, effects of supplemental calcium. *Physiological Plantarum,* 123, 75-81.

Rezaei, M.A., Khavarinejad, R., & Fahimi, H. (2004). Physiological response of cotton plant to different soil salinity. *Journal of Research and Construction in Agriculture and Horticulture,* 62, 81-89.

Sabar, A.G. (2010). A comparative biochemical study of proteins profile in Iraqi tract stones by using seeds of *Carum copticum*. *Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences,* 19(2), 38-41.

Sadati, S., Raoufi, A., Moradi, F., & Fallah Barzouki, S. (2014). Determination of salinity tolerance in the ecotypes of ajowan. *In, 13th Iranian Agronomy and Plant Breeding Congress and 3rd Seed Science and Technology Conference. 26 -28 August, Karaj, Iran.* (In Persian).

Sadeghi Gol, F., Sadat Nouri, S. A., & Ramshini, H. (2014). Evaluation of salinity tolerance in germination stage in 28 native populations of Ajowan medicinal plant. *In,13th Iranian Agronomy and Plant Breeding Congress and 3rd Seed Science and Technology Conference. 26 - 28 August, Karaj, Iran.* (In Persian).

Shafeghat, M., Najafi, S., & Razavi zadeh, R. (2016). Phytochemical and antibacterial properties of the essential oils of medical plant Ajowan (*Carum copticum* L.) by micro dilution method. *Iranian Journal of Infectious Diseases and Tropical Medicine.* 68*,* 43-47. (In Persian).

Stamp, N. (2003). Out of the quagmire of plant defense hypotheses. The Quarterly Review of Biology, 78(1), 23- 55.

Sulaiman, A., Umar M. Yunusa, U., Ibrahim, M., Bello, H., & Yunusa, I. (2019). Phytonutrients and mineral analysis of *Cymbopogan citratus* leaves. Chemistry Research Journal, 4(2), 79-86.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. 5th Ed, Sinauer Associates Inc., Sunderland.

Tamam, A., Alhamed, A.M.F.A., & Hemeda, M.M. (2008). Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Banysoif. *Australian Journal of crop science,* 1(3), 115-125.

Tran, T. K., Tran, T.H., Le, T.H, Xuan, T.L., Phan, Q.A., Cam, T.I., & Long, G.B. (2020). Development of an aromatic wax product containing natural Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 736.

Vafadar, Z., Rahimmalek, M., Sabzalian, M.R., & Nikbakht, A. (2018). Effect of salt stress and harvesting time on morphological and physiological characteristics of Myrtle (*Myrthus communis*). *Journal of Plant Process and Function, 7*(23), 33-44. (In Persian).

Vojodi Mehrabani, L., Hassanpour Aghdam, M., & Valizadeh Kamran, R. (2017). Growth and some physiological characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.) as affected by salinity stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(1), 99-110. (In Persian).