مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۱ شماره ۲ صفحه های ۱۲۳ تا ۱۳۸ (۱۳۹۹)
مقاله پژوهشی

تأثیر کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و میزان اسانس بیست جمعیت پونه وحشی ایرانی[1]

Effect of Deficit Irrigation on Physiological Traits, Yield and Essential Oil Content of Twenty Iranian Wild Mint (*Mentha longifolia* L.) Populations

علیرضا مشرفی عراقی*، حسین نعمتی، مجید عزیزی، نسرین مشتاقی و محمود شور[2]

چکیده

پونه وحشی با نام علمی *Mentha longifolia* L. یکی از باارزش‌ترین گیاهان چندساله، نیساگ‌دار، معطر و علفی از تیره نعناسانان است. در این پژوهش، تأثیر تنش کم‌آبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ۲۰ جمعیت مختلف پونه وحشی به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شد. کنترل رطوبت خاک با استفاده از تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰ ٪ (شاهد) و ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی انجام شد. در این بررسی، ویژگی‌های فیزیولوژیک از جمله کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، پرولین، کربوهیدرات کل، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، هدایت روزنه‌ای، عنصرهای سدیم و پتاسیم، عملکرد ماده خشک و بازده اسانس بررسی شد. از نظر ویژگی‌های مورد ارزیابی بین جمعیت‌ها در دو سطح تیمار کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) وجود داشت. جمعیت‌های متحمل دارای بیشترین بازده اسانس (۴/۶۹ ٪)، محتوای نسبی آب (۶۹/۹۱ ٪)، کلروفیل کل (۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم) و پرولین (۲/۸۰ میکرومول بر گرم) در تنش کم‌آبی بودند. نتیجه‌های همبستگی بین عملکرد ماده خشک با همه ویژگی‌ها به‌جز مقدار کاروتنوئید معنی‌دار بود. در نهایت، به‌ترتیب پنج جمعیت هرمزگان، خوزستان، خراسان جنوبی، کرمان-۱ و لرستان به‌عنوان جمعیت‌های متحمل به کم‌آبی برتری داشتند و برای برنامه‌های به‌نژادی معرفی می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پرولین، پونه وحشی، کم‌آبیاری.

مقدمه

در بین تنش‌هایی که سبب تغییر پتانسیل آبی یاخته می‌شوند، خشکی شایع‌ترین تنش محیطی و مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصول‌های کشاورزی در سرتاسر جهان است. کمبود ذخایر آبی، پراکندگی نامتعادل بارش و بهره‌وری بسیار کم از جمله دشواری‌های مهم در ایران هستند. بهینه کردن الگوی کشت براساس نیاز آبی یعنی در سیستم کشت مزرعه‌ها از گیاهانی استفاده شود که ضمن نیاز کمتر به آبیاری، دارای بازده اقتصادی برابر و حتی بیشتر در مقایسه با دیگر گیاهان اهلی باشند. بدیهی است در بین گیاهان دارویی نیز آن‌هایی که سال‌ها در یک اقلیم رشد کرده و به آن محیط سازگار شده‌اند، توانایی تحمل بیشتری به شرایط نامساعد آن محیط در مقایسه با سایرین دارند (۱).

پونه وحشی با نام علمی *Mentha longifolia* L. گیاهی چندساله، علفی، نیساگ‌دار، معطر و یکی از ارزشمندترین گیاهان دارویی از تیره نعناسانان[3]، زیرتیرهٔ Nepetoideae، قبیله Mentheae و جنس نعناسا (*Mentha*) است (۶). گونه‌های جنس *Mentha* دارای ریشه‌های افشان هستند که می‌تواند به هنگام رویارویی با شرایط کم‌آبی، رشد آن‌ها را محدود نماید. در این گیاهان هم‌چنین نیساگ‌ها و ریشه‌ها در ناحیه سطحی خاک می‌باشند، بنابراین وجود مقدار آب کافی طی رشد نیساگ‌ها در

۱- تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۱۴

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار، استاد گروه علوم باغبانی، دانشیار گروه بیوتکنولوژی و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (moshrefi_alireza@yahoo.com).

۳- Lamiaceae

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

فصل بهار ضروری است (۲۲)، به‌طوری که در نواحی خشک و نیمه‌خشک، افزایش دمای هوا به‌ویژه در تابستان سبب افزایش دمای خاک شده و در چنین شرایطی به آبیاری پی در پی نیاز خواهند داشت. بنابراین، با توجه به حساسیت گونه‌های مختلف جنس نعناسا به کاهش آب خاک در طی فصل رشد و خطر فرسایش ژنتیکی آن‌ها، پژوهشگران بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری را برای ارزیابی واکنش این گیاهان به شرایط تنش کم‌آبی پیشنهاد کرده‌اند (۶).

در میان ویژگی‌های فیزیولوژیک، محتوای نسبی آب یکی از شاخص‌هایی است که برای سنجش وضعیت آب گیاه کاربرد دارد. به‌طور کلی، جمعیت‌های با محتوای نسبی آب بالا برای مناطق خشک مناسب‌ترند، زیرا می‌توانند بدون بستن روزنه‌های خود و از راه قابلیت تنظیم اسمزی، آب بیش‌تری را حفظ نمایند (۵). در تنش خشکی و گرما، حفظ کلروفیل برگ از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل به تنش است. غلظت کلروفیل به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل به خشکی گیاه شناخته می‌شود، زیرا یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد. بنابراین، کاهش آن در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای در فتوسنتز به حساب آید (۳). از طرفی، پرولین پایدارترین اسید آمینه است که در شرایط نامساعد انباشت آن بیش‌تر می‌شود. از مهم‌ترین اثرهای فیزیولوژیک انباشت پرولین، نقش آن به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده فشار اسمزی و عامل حفاظت‌کننده ساختمان غشاء و پروتئین‌ها می‌باشد. دلیل انباشت پرولین در گیاهان در تنش خشکی افزایش ساخت پرولین (در اثر کاهش اکسیداسیون گلوتامات) و نیز کاهش مصرف آن برای ساخته شدن پروتئین‌ها (به‌خاطر توقف رشد گیاه) می‌باشد (۲). در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشاء در اثر رادیکال‌های هیدروکسیل حالت کروی گرفته و ساختار آن به ساختار منفذدار تبدیل شده و نشت یونی روی می‌دهد. یکی از روش‌های تعیین مقدار خسارت به غشای یاخته‌ای، اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از بافت‌ها می‌باشد. نشت این ماده‌ها سبب افزایش هدایت الکتریکی محلول شده و این تغییر افزایشی به‌عنوان نشانه‌ای از آسیب یا مرگ یاخته تلقی می‌شود (۲). هم‌چنین، پژوهش‌ها نشان داده است که عملکرد ماده خشک و اسانس گیاهان دارویی نیز زیر تأثیر عوامل محیطی از جمله شدت تابش نور، دما و مقدار آب آبیاری قرار می‌گیرند (۱۷).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تنوع ویژگی‌های فیزیولوژیک مرتبط با تنش خشکی به منظور ارزیابی واکنش جمعیت‌های مختلف پونه وحشی در شرایط کشت یکسان بود. در نهایت، جمعیت‌های برتر از لحاظ تحمل به شرایط کم‌آبی با بیشترین عملکرد خشک و میزان اسانس برای اهلی‌سازی و به‌نژادی رقم‌های جدید معرفی شدند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، اثر تنش کم‌آبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکردی ۲۰ جمعیت مختلف پونه وحشی ایران به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده (تنش کم‌آبی عامل اصلی و جمعیت‌ها عامل فرعی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی سال‌های ۹۶ و ۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. بذر جمعیت‌های پونه وحشی به‌عنوان ماده‌های گیاهی از بانک ژن مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شدند (جدول ۱) و نقشه پراکندگی جمعیت‌ها در شکل ۱ آورده شده است. دلیل انتخاب این جمعیت‌ها وجود بیشینه پراکندگی و تنوع اقلیمی زیستگاه اصلی آن‌ها بود. ابتدا بذرهای مورد بررسی در نیمه فروردین درون فضای گلخانه در سینی‌های کشت در بستر کوکوپیت و پرلایت با نسبت حجمی- حجمی (۱:۵) کاشته شده و در شرایط مه‌پاشی ممتد با آب و زیر پوشش پلاستیک در دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس در نیمه خرداد در مرحله ۴ تا ۶ برگی، ۴۵ نشاء یکنواخت از هر جمعیت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر به کرت‌هایی با ابعاد ۱/۵ در ۳ متر و ۵۰ سانتی‌متر فاصله بین ردیف‌ها در سه تکرار منتقل شدند. شرایط تنش با دو سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (کم‌آبی) از نیمه تیرماه تا نیمه مهرماه، به‌مدت سه ماه و در دو سال آزمایش اعمال گردید. به‌منظور مقایسه این جمعیت‌ها مستقل از عوامل محیطی، تمام گیاهان تا مرحله گلدهی در شرایط اقلیمی و خاکی یکسان در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد (مختصات: عرض جغرافیایی '۱۵ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی '۳۸ °۵۹ شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) رشد کردند (جدول ۲).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

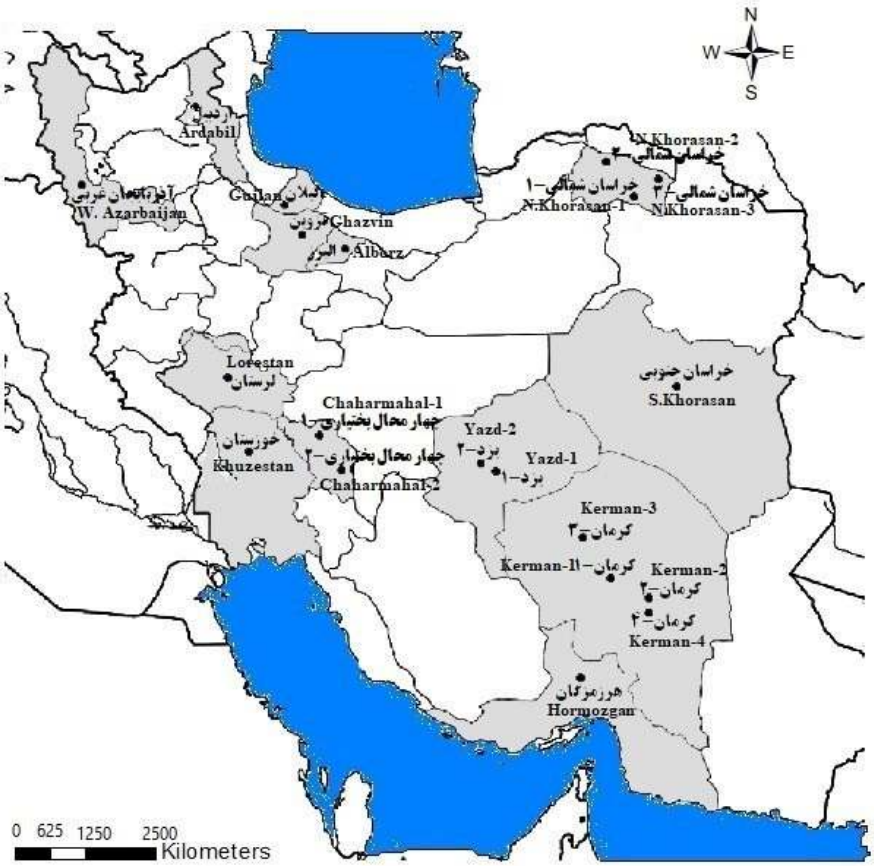


Fig. 1. Geographical distribution map of the studied populations of *M. longifolia*.

شکل ۱- نقشه پراکندگی جغرافیایی جمعیت‌های مورد مطالعه پونه وحشی.

جدول ۱- مکان جغرافیایی و شرایط اقلیمی فصل تابستان جمعیت‌های مورد مطالعه پونه وحشی.

Table 1. Geographic location and summer climatic conditions of the studied wild mint populations.

استان Province	شهر City	کمینه دما Min. temp. (°C)	بیشینه دما Max. temp. (°C)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	بارندگی فصلی Seasonal precipitation (mm)	اقلیم Climate
اردبیل Ardabil	رضی Razi	11.80	31.77	38°39'2'	48°07'05"	1472	24.51	نیمه‌خشک Semi-arid
البرز Alborz	کرج Karaj	12.91	37.41	35°58'1'	51°21'15"	2170	11.63	مرطوب Wet
آذربایجان غربی W. Azarbaijan	سلماس Salmas	10.65	34.38	37°07'0'	44°34'40"	1824	32.39	مدیترانه‌ای Mediteranean
قزوین Ghazvin	قزوین Ghazvin	11.37	38.15	36°28'4'	50°24'29"	1650	11.76	نیمه‌خشک Semi-wet
گیلان Guilan	رودبار Rudbar	17.81	37.54	36°55'1'	49°24'58"	1348	8.76	خیلی مرطوب Very-wet
کرمان-۱ Kerman-1	جیرفت Jiroft	11.81	38.47	29°28'0'	56°42'44"	2972	10.04	نیمه‌خشک Semi-arid
کرمان-۲ Kerman-2	رابر Rabor	8.88	37.40	29°23'3'	57°13'07"	3240	13.25	نیمه‌خشک Semi-arid
کرمان-۳ Kerman-3	رفسنجان Rafsanjan	15.43	39.71	30°29'3'	56°36'30"	1900	1.96	خشک Arid

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

کرمان-۴ Kerman-4	بردسیر Bardsir	8.88	37.40	29°30'0'	57°14'31"	3415	2.65	مدیترانه‌ای Mediteranean
یزد-۱ Yazd-1	مهریز Mahriz	18.32	39.51	31°35'0'	54°13'00"	1914	0.18	خشک Arid
یزد-۲ Yazd-2	تفت Taft	16.66	39.11	31°35'3'	54°07'35"	2538	0.18	خشک Arid
هرمزگان Hormuzgan	بندرعباس Bandarabas	26.70	42.08	28°03'0'	56°01'28"	1270	1.36	خشک Arid
خراسان شمالی-۱ N. Khurasan-1	اسفراین Esfaraen	12.34	37.25	37°06'5'	57°40'38"	1689	4.18	نیمه‌خشک Semi-arid
خراسان شمالی-۲ N. Khurasan-2	مانه و سملقان Mane-semelghan	12.48	38.47	37°28'0'	56°53'58"	1653	18.44	نیمه‌خشک Semi-arid
خراسان شمالی-۳ N. Khurasan-3	فاروج Farouj	12.34	37.25	37°17'0'	58°10'26"	1153	4.18	نیمه‌خشک Semi-arid
خراسان جنوبی S. Khurasan	بیرجند Birjand	10.43	38.40	35°89'3'	58°47'07"	1959	1.13	خشک Arid
لرستان Lorestan	خرم آباد Khoramabad	17.10	41.43	33°31'0'	47°59'00"	1043	3.43	مرطوب Wet
چهارمحال بختیاری-۱ Chaharmahal-1	شهرکرد Shahrekord	7.07	35.46	32°21'16	50°28'14"	2533	4.55	خیلی مرطوب Very wet
خوزستان Khuzestan	شوشتر Shoushtar	25.56	48.45	32°08'3'	48°50'33"	61	0.00	خشک Arid
چهارمحال بختیاری-۲ Chaharmahal-2	بروجن Broujen	6.76	33.09	31°52'3'	50°57'57"	2447	2.62	خیلی مرطوب Very wet

To classify the climate, the Domarten climatic method has been used.

برای طبقه‌بندی اقلیم از روش اقلیم‌نمای دومارتن استفاده گردیده است.

جدول ۲- شرایط خاکی و اقلیمی فصل تابستان در مزرعه پژوهشی مورد بررسی.

Table 2. The edaphic and climatic conditions of the summer season of the studied research field.

شرایط آب و هوایی مزرعه در فصل تابستان The weather condition of the field in the summer season						
سال Year	بیشینه دما Max temp (˚C)	کمینه دما Min temp (˚C)	میانگین دما Mean temp (˚C)	سرعت باد Wind speed (m/s)	بارش Precipitation (mm)	تبخیر Evaporation (mm)
1395	39.36	14.16	25.93	4	0.9	444
1396	38.73	14.86	25.50	3.6	0	416
آنالیز خاک مزرعه Analysis of the field soil						
بافت خاک Texture	پی‌اچ pH	مادّه‌های آلی O.M (%)	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	پتاسیم K (mg/Kg)	فسفر P (mg/Kg)	نیتروژن N (%)
Silty loam سیلتی لوم	7.83	1.27	485	225	12.3	0.068

در این پژوهش روش کنترل رطوبت خاک و به‌کارگیری تیمار آبیاری براساس ظرفیت زراعی بود (۱). با توجه به پژوهش‌های انجام شده، تیمار آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان آستانه تحمل پونه وحشی در نظر گرفته شد (۶). آخرین آبیاری کامل اول تیرماه انجام شد و پس از آن، گیاهان با آبیاری در سطوح مختلف ۱۰۰ درصد به‌عنوان شاهد و ۶۰ درصد

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

به‌عنوان تنش کم‌آبی، تیمار شدند. برای این منظور، یک کرت ۳ × ۳ متر در مزرعه انتخاب و در اطراف آن پشته ایجاد و از آب پر شد. برای جلوگیری از تبخیر، سطح پلات بی‌درنگ با پلاستیک پوشانده شد. هر ۱۲ ساعت، نمونه‌ای از وسط قطعه برداشته و درصد رطوبت وزنی آن محاسبه شد. هنگامی که رطوبت خاک در دو اندازه‌گیری متوالی برابر شد و خاک به ظرفیت زراعی رسید. نمونه خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. از اختلاف وزن تر و وزن خشک خاک، مقدار رطوبت وزنی محاسبه شد. از حاصل‌ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک، درصد رطوبت حجمی خاک به‌دست آمد و در رابطه (۱) قرار داده شد (۱).

$$\%\theta def = \%\theta fc - \%\theta w \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Fn = \theta def \times dz \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Iv = Fn \times S \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۱) θfc رطوبت در حد ظرفیت زراعی و θw مقدار رطوبت فعلی خاک قبل از آبیاری هستند. همچنین، %θdef مقدار کمبود رطوبت خاک برای آبیاری (در هر متر عمق خاک) است. در رابطه (۲) dz عمق لایه خاک (۰/۳ متر) و (Fn) عمق آبیاری برحسب متر است. در رابطه (۳) وقتی عمق آبیاری در مساحت قطعه S (۴/۵ مترمربع) ضرب شود، حجم آبیاری (Iv) به‌صورت مترمکعب به‌دست می‌آید و با ضرب این عدد در ۱۰۰۰ مقدار حجم برحسب لیتر به‌دست خواهد آمد.

در طی دوره رشد، تبادلات گازی و هدایت روزنه‌ای در تیمارهای مختلف با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز[۱] مورد ارزیابی قرار گرفت. بوته‌ها در ۱۵ مهر سال دوم کشت زمانی که همه جمعیت‌ها به بیشینه گلدهی رسیدند با حذف نیم متر اثر حاشیه‌ای در فاصله ۵ سانتی‌متری از سطح خاک برداشت شدند. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک، نمونه‌ها به‌مدت چهار روز در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. محتوای نسبی آب برگ[۲]، براساس روش kirnak و همکاران (۱۶) اندازه‌گیری شد. غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل، کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید در پایان دوره تنش و طبق روش گزارش شده توسط Dere و همکاران (۱۳) اندازه‌گیری شد. تهیه عصاره و اندازه‌گیری پرولین آزاد برگ به روش Bates و همکاران (۸) انجام شد. اندازه‌گیری درصد نشت یونی از روش Beltrano و Ronco (۱۰) صورت گرفت. اندازه‌گیری کربوهیدرات کل به روش آنترون Hedge و Hofreiter (۱۵) انجام گرفت. مقدار سدیم و پتاسیم به روش اکسیداسیون خشک Beaton و Case (۹) سنجیده شد. اسانس‌گیری با استفاده از ۳۰ گرم برگ (خشک شده در شرایط سایه و دمای اتاق) از هر جمعیت در سه تکرار به‌مدت سه ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر با توجه به روش توصیه شده در British Pharmacopoeia (۱۱) انجام شد. عملکرد اسانس نیز حاصل‌ضرب مقدار اسانس در عملکرد مادهٔ خشک بود (۲۵).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون کمینه معنی‌داری LSD در سطح احتمال ۵ ٪ انجام شد. محاسبه ضرایب همبستگی ویژگی‌های مورد بررسی با روش Pearson توسط نرم‌افزار SPSS Ver. 22 انجام گرفت. نقشه پراکنش جغرافیایی جمعیت‌ها با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.4 رسم گردید.

نتایج و بحث

نتیجه‌های تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت بین جمعیت‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر تنش کم‌آبی بر ویژگی‌های کلروفیل a، هدایت الکتریکی، هدایت روزنه‌ای، کربوهیدرات کل، عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر دیگر ویژگی‌ها به‌جز سدیم، پتاسیم و کاروتنوئید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. برهمکنش جمعیت در تنش کم‌آبی برای همه ویژگی‌ها به‌جز کاروتنوئید، محتوای نسبی آب، بازده اسانس و کربوهیدرات کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است).

در بین ویژگی‌های مورد ارزیابی، مقایسه محتوای نسبی آب پژوهش حاضر نشان داد که جمعیت‌های هرمزگان (۸۱/۷۹ درصد)، لرستان (۷۶/۲۵ درصد) و خوزستان (۷۹/۰۸ درصد) بیشترین مقدار محتوای نسبی آب را داشتند که زیر تأثیر تنش کم‌آبی این مقدار به‌ترتیب به ۶۹/۹۱ ، ۶۶/۶۲ و ۶۵/۳۰ درصد کاهش یافت. این سه جمعیت با داشتن بیشترین محتوای نسبی آب به‌احتمال از تحمل به خشکی بیشتری نسبت به دیگر جمعیت‌ها برخوردار بودند. از سوی دیگر، جمعیت یزد-۲ با ۵۴/۴۹

۱- LCA4, Decagon device, Pullamn, Washington, USA

۲- Relative water content (RWC)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

درصد کمترین مقدار محتوای نسبی آب را داشت که زیر تأثیر تنش کم‌آبی به ۴۱/۶۳ درصد کاهش یافت (شکل ۲). اگرچه در همه جمعیت‌ها زیر شرایط تنش کم آبی مقدار محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، اما این درصد کاهش در بین جمعیت‌ها متفاوت بود، به‌طوری که جمعیت البرز با ۳۳/۶۴ درصد کاهش بیشترین و جمعیت کرمان-۱ با ۸/۵۷ درصد کاهش کمترین تغییر را در مقدار محتوای نسبی آب نشان داد (شکل ۲). طبق پژوهش‌های به‌عمل آمده، اگر محتوای نسبی آب برگ در گیاهان عالی به ۳۵ تا ۷۰ درصد برسد، در شدت نور بالا، ظرفیت فتوسنتزی کاهش یافته و در صورت آب‌گیری مجدد، به‌کندی بهبود می‌یابد، اما کمتر از ۳۵ درصد آسیب غیرقابل برگشت است. در این پژوهش، در هیچ یک از جمعیت‌ها در شرایط کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ به کمتر از ۴۰ درصد کاهش نیافت (۱۸).

بازده تولید اسانس در گیاهان رویشگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مقدار اسانس برحسب درصد وزنی - وزنی مربوط به جمعیت هرمزگان با ۴/۶۹ درصد در سطح شاهد و با ۴/۳۳ درصد در سطح تنش بود و کمترین مقدار اسانس نیز در جمعیت چهارمحال-۲ با ۰/۵۳ درصد در سطح شاهد و ۰/۴۳ درصد در سطح تنش مشاهده شد (شکل ۳). بر اساس پژوهش‌های به عمل آمده، گیاهانی که بیشتر در تنش رطوبتی بوده و ارتفاع از سطح دریای آن‌ها کمتر است، بازده اسانس بیشتری دارند (۲۵). با توجه به شکل ۱ و جدول ۱، در این پژوهش مشاهده شد جمعیت‌هایی که بومی مناطق نیمه خشک، با تبخیر و تعرق بالا و ارتفاع کم هستند، از جمله هرمزگان، خوزستان و کرمان-۱ دارای بیشترین بازده اسانس می‌باشند. مقدار اسانس از جمله ویژگی‌هایی است که زیر تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی است. با توجه به این‌که همه جمعیت‌های این پژوهش در یک محیط و در شرایط اقلیمی به‌تقریب یکسانی کشت شده‌اند، تفاوت در مقدار اسانس را می‌توان تا حدی به جمعیت گیاه نسبت داد (۴). هم‌چنین، شرایط کم‌آبی مقدار اسانس را فقط ۲/۲۰ درصد در جمعیت خراسان شمالی-۲ افزایش داد، اما این افزایش در جمعیت یزد- ۲ در حدود ۵۲/۲۲ درصد بود (شکل ۳). شاید یکی از سازوکارهای انتخاب طبیعی در رویشگاه‌های وحشی برای تحمل به تنش بیشتر برخی جمعیت‌ها در مقایسه با دیگران، مقدار تولید اسانس بیشتر باشد، زیرا گفته می‌شود که اسانس‌ها ظرفیت گرمایی ویژه بالایی دارند و در شرایط تنش خشکی (تولید گرما در گیاه) با ذخیرهٔ گرما و محافظت در برابر آسیب دمایی، به گیاه کمک می‌کنند (۱۴). تنش کم‌آبی فتوسنتز و متبولیت‌های اولیه را کاهش می‌دهد و در اثر آن گیاه مسیر تولید متابولیت‌های ثانویه را به‌عنوان یک سازوکار دفاعی فعال می‌کند (۲۵). از لحاظ عملکرد اسانس نیز تنوع و واکنش جمعیت‌های مختلف زیر تأثیر شرایط تیمار آبیاری متفاوت بود. به‌طوری که، مقادیر عملکرد اسانس زیر تنش کم‌آبی از ۱۹/۶۳ تا ۳۰۵/۵۱ کیلوگرم بر هکتار و در شاهد از ۲۰/۸۵ تا ۳۷۵/۷ کیلوگرم بر هکتار در بین جمعیت‌های چهارمحال بختیاری-۲ و هرمزگان متغیر بود (جدول ۳).

کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبی به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، کاهش ساخت کلروفیل و تغییر در ساختار تیلاکوئید است (۴). بنابراین، جمعیت‌هایی که بتوانند زیر تنش کم‌آبی کلروفیل خود را حفظ کنند، از کارایی فتوسنتز بیشتری برخودارند. تنش کم آبی، موجب کاهش غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ در بیشتر جمعیت‌های مورد بررسی شد. به‌طوری که کلروفیل b زیر شرایط تنش کم‌آبی در تمام جمعیت‌ها کاهش یافت، در حالی که کلروفیل a در جمعیت‌های کرمان-۱، چهارمحال بختیاری-۱، آذربایجان غربی، قزوین، یزد-۲، خراسان شمالی-۲، خراسان جنوبی و خراسان شمالی-۳ زیر شرایط تنش کم‌آبی روند افزایشی نشان داد، اما در دیگر جمعیت‌ها روند کاهشی داشت (جدول ۳). گزارش گردیده است که تنش خشکی منجر به کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در نعنا ژاپنی (*Mentha arvensis* L.) گردید (۲۱). با این وجود، در برخی از گزارش‌ها افزایش مقدار کلروفیل a نیز در شرایط تنش کم‌آبی گزارش شده است (۲۴). در بررسی حاضر مشاهده گردید نسبت کلروفیل a به b و کاروتنوئید به کلروفیل کل در شرایط تنش کم‌آبی به‌جز در جمعیت‌های لرستان و کرمان-۳ افزایش پیدا کرد، به‌طوری که بیشترین و کمترین نسبت کلروفیل a به b با ۲/۹۵ و ۰/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌ترتیب در جمعیت‌های چهارمحال بختیاری-۱ و یزد-۱ مشاهده گردید (جدول ۳).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

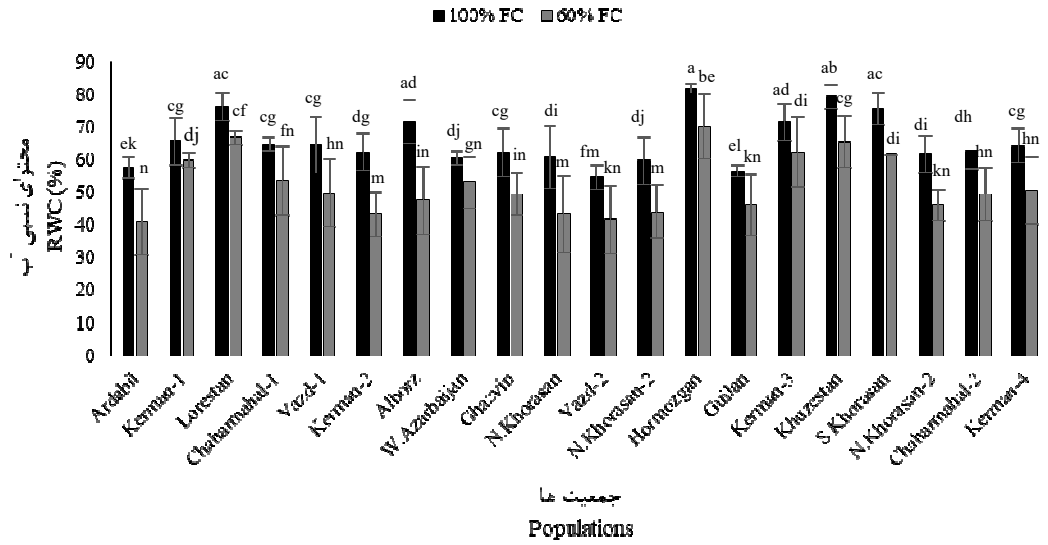


Fig. 2. Effect of water deficiency stress on RWC percentage of the leaf of the wild mint populations (In each column, the means which are common at least in one alphabet, based on the LSD test is not significant at the 5% probability level).

شکل ۲- تأثیر تنش کم‌آبی بر درصد محتوای نسبی آب برگ جمعیت‌های پونه وحشی (در هر ستون میانگین‌هایی که دستکم در یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

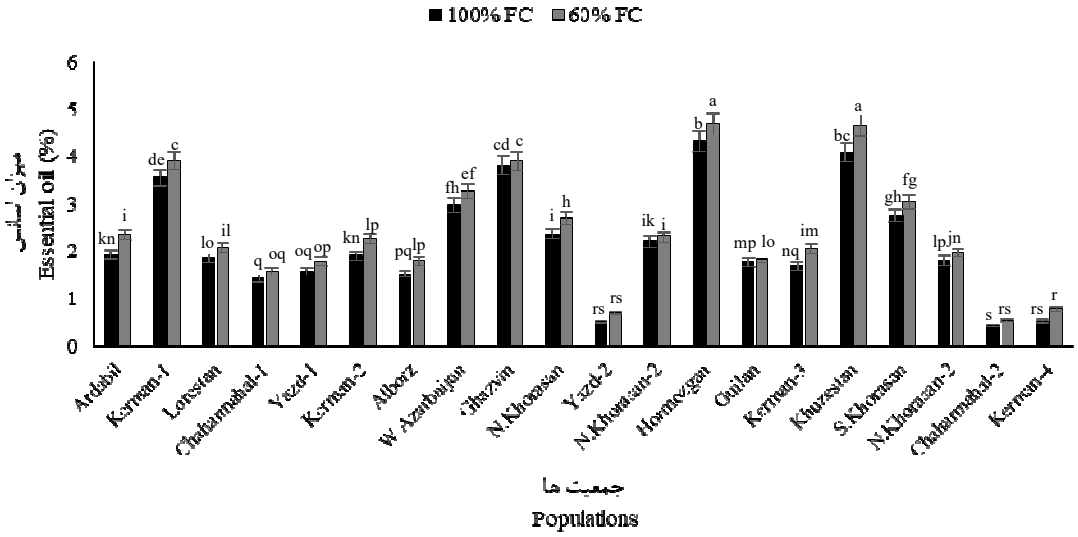


Fig. 3. Effect of water deficiency stress on the essential oil content of the wild mint populations (In each column, the means which are common at least in one alphabet, based on the LSD test is not significant at the 5% probability level).

شکل ۳- تأثیر تنش کم‌آبی بر درصد اسانس جمعیت‌های پونه وحشی (در هر ستون میانگین‌هایی که دستکم در یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

براساس بررسی‌های انجام شده با افزایش تنش خشکی، مقدار کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a به b افزایش می‌یابد، زیرا تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که علت این افزایش، کاهش سیستم‌های آنتن و کمپلکس جمع‌کننده نور نسبت به فعالیت فتوسیستم دو باشد (۷). مقایسه میانگین پژوهش حاضر نیز

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

نشان داد که به‌جز در جمعیت‌های چهارمحال بختیاری-۱، کرمان-۲ و البرز در دیگر جمعیت‌ها نسبت کلروفیل a به b افزایش یافت. کلروفیل کل به‌جز در جمعیت‌های خراسان شمالی-۳ و یزد-۲ در سایر جمعیت‌ها کاهش یافت (جدول ۳). طبق نظر حیدری شریف آباد (۳)، از دست رفتن آب بافت‌های برگ نه تنها از ساخته شدن کلروفیل جلوگیری می‌کند، بلکه سبب شکسته شدن کلروپلاست و کاهش غلظت کلروفیل می‌شود. از آن‌جایی که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش‌ماده مشترکی به نام گلوتامات ساخته می‌شوند، بنابراین، می‌توان گفت که افزایش ساخت پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش ساخت کلروفیل می‌گردد (۲۳). نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که جمعیت‌های پونه وحشی از نظر غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی تاحدی با یکدیگر تفاوت داشته و ممکن است مقدارهای متفاوتی از تحمل به تنش کم آبی را از خود بروز دهند.

کاروتنوئیدها دومین گروه مهم رنگدانه‌های گیاهی هستند که افزون بر نقشی که در فتوسنتز و جذب نور دارند، به‌عنوان محافظین کلروفیل نیز عمل می‌کنند. کاروتنوئیدها از ترکیب‌های دفاعی با نقش آنتی‌اکسیدانی هستند که در شرایط تنش، اثر مضر گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن را خنثی می‌سازند. به همین دلیل، کاروتنوئیدها می‌توانند نشانگرهای خوبی برای ارزیابی تنش خشکی باشند (۱۸). در ارزیابی مقدار کاروتنوئید مشاهده گردید که به‌جز جمعیت‌های اردبیل، یزد-۱، کرمان-۲ و خراسان شمالی-۲ مقدار کاروتنوئید در دیگر جمعیت‌ها زیر شرایط تنش کم‌آبی افزایش نشان داد. از سویی نسبت کاروتنوئید به کلروفیل کل زیر شرایط تنش کم‌آبی در همه جمعیت‌ها به‌جز جمعیت خراسان شمالی-۳ افزایش یافت (جدول ۳). افزایش نسبت کاروتنوئید به کلروفیل کل زیر تنش کم‌آبی در شش گونه‌ی گیاهی (*Pyracantha fortuneana*, *Rosa cymosa*, *Broussonetia papyrifera*, *Cinnamomum bodinieri*, *Platycarya longipes*, *Pteroceltis tatarinowii*) در چین نشان‌دهنده نقش مهم این رنگدانه در محافظت از کلروفیل است (۱۹). کاروتنوئیدها دیرتر از کلروفیل و آخرین رنگدانه‌هایی هستند که در تنش زیستی تخریب و تجزیه می‌شوند. این امر بیانگر آن است که جمعیت‌های با مقدار کاروتنوئید بیشتر، توانایی بیشتری برای تحمل شرایط تنش کم‌آبی دارند (۴).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

جدول ۳ - مقایسه میانگین برهمکنش جمعیت در تیمار خشکی بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی جمعیت‌های پونه وحشی.

Table 3. Mean comparison of interactions of population and drought treatment on some physiological traits of the wild mint populations.

جمعیت‌ها Populations	عملکرد ماده خشک Dry biomass yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity (mol H_2O m^{-2} S^{-1})	کربوهیدرات کل Total carbohydrate ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	پرولین Proline (µmol. g^{-1} Fresh weight)	کاروتنوئید\ کلروفیل کل Carotenoid/total Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیلa\ b Chlorophyll a/b ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیل کل Total Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)
100 % FC												
Ardabil	657.50^{df}	126.51^{gi}	27.67^{hj}	49.58^{dk}	40.63^{ot}	0.72^{lo}	0.69^{kl}	0.35^{cj}	1.33^{hm}	0.52^{b}	1.13^{b}	1.45^{b}
Kerman-1	836.50^{a}	297.48^{c}	20.86^{jl}	62.37^{ac}	64.02^{eg}	0.59^{qr}	0.92^{gk}	0.23^{pq}	0.66^{lm}	0.25^{lp}	0.76^{dg}	0.49^{os}
Lorestan	737.50^{bc}	136.34^{gh}	18.33^{kl}	51.60^{dh}	70.47^{df}	0.87^{h}	0.79^{il}	0.40^{ad}	2.05^{ai}	0.51^{b}	0.85^{cd}	1.70^{a}
Chaharmal-1	588.33^{gj}	83.28^{nq}	40.16^{eg}	43.47^{hn}	39.69^{pt}	0.63^{pr}	1.49^{bf}	0.30^{hp}	1.11^{im}	0.20^{pt}	0.48^{jp}	0.53^{nr}
Yazd-1	522.50^{kl}	82.77^{oq}	29.82^{hi}	47.65^{ek}	47.52^{lq}	0.73^{kn}	1.12^{el}	0.39^{be}	1.47^{em}	0.35^{fh}	0.71^{dh}	1.04^{eg}
Kerman-2	607.50^{fh}	115.74^{ik}	19.39^{jl}	48.97^{dk}	40.86^{nt}	0.89^{h}	1.35^{ch}	0.30^{hp}	1.66^{dk}	0.23^{mq}	0.45^{lq}	0.71^{jn}
Alborz	487.50^{lm}	74.2^{pq}	21.88^{il}	35.53^{mr}	41.58^{mt}	0.73^{kn}	0.74^{jl}	0.30^{hp}	1.53^{el}	0.40^{de}	0.82^{ce}	1.20^{ce}
W.Azarbaijan	817.50^{a}	243.42^{d}	19.61^{jl}	53.43^{cg}	50.17^{jo}	0.80^{ik}	0.89^{gl}	0.23^{oq}	1.16^{im}	0.27^{jn}	0.64^{em}	0.71^{jn}
Ghazvin	827.50^{a}	315.35^{c}	20.89^{jl}	58.07^{bd}	46.47^{lr}	0.79^{jl}	0.85^{hl}	0.29^{jp}	0.68^{lm}	0.34^{fi}	1.01^{bc}	0.67^{ko}
N.Khorasan-1	722.00^{bc}	170.83^{f}	18.11^{kl}	41.33^{jn}	57.74^{gk}	0.69^{np}	0.74^{jl}	0.36^{cj}	1.08^{jm}	0.48^{bc}	1.16^{b}	1.25^{cd}
Yazd-2	553.27^{ik}	29.02^{r}	16.50^{kl}	33.67^{ns}	32.36^{t}	0.49^{t}	1.25^{dj}	0.25^{nq}	0.53^{m}	0.20^{qt}	0.67^{dj}	0.32^{s}
N.Khorasan-2	640.20^{dh}	141.45^{g}	39.53^{eg}	52.33^{dh}	57.74^{gk}	0.66^{oq}	1.24^{dj}	0.25^{mq}	0.64^{lm}	0.21^{os}	0.67^{dk}	0.37^{rs}
Hormozgan	867.67^{a}	375.7^{a}	13.70^{l}	69.83^{a}	96.1^{b}	2.05^{c}	0.74^{jl}	0.41^{ac}	1.14^{im}	0.65^{a}	1.52^{a}	1.71^{a}
Guilan	691.83^{cd}	123.25^{gi}	19.33^{jl}	37.50^{lq}	49.28^{jp}	0.58^{rs}	0.94^{gl}	0.34^{cl}	1.28^{im}	0.36^{ef}	0.80^{df}	1.02^{eg}
Kerman-3	605.00^{fi}	102.63^{kp}	21.51^{il}	40.10^{ko}	35.58^{st}	0.62^{qr}	0.64^{l}	0.23^{pq}	2.88^{ab}	0.35^{fg}	0.46^{kq}	1.31^{bc}
Khuzestan	855.00^{a}	350.57^{b}	18.69^{kl}	65.30^{ab}	76.47^{cd}	1.95^{d}	0.86^{hl}	0.39^{be}	0.92^{km}	0.45^{cd}	1.18^{b}	1.09^{df}
S.Khorasan	756.00^{b}	207.93^{e}	20.18^{jl}	52.55^{ch}	78.36^{cd}	1.86^{e}	1.02^{gl}	0.31^{fp}	1.21^{im}	0.30^{gk}	0.70^{di}	0.81^{hk}
N.Khorasan-3	667.50^{de}	120.4^{hk}	22.81^{ik}	48.90^{dk}	46.32^{lr}	1.03^{g}	1.35^{ch}	0.20^{q}	0.96^{km}	0.15^{t}	0.41^{or}	0.36^{rs}
Chaharmahal-2	485.00^{lm}	20.85^{r}	33.33^{gh}	35.13^{ms}	51.36^{hm}	0.77^{km}	1.36^{ch}	0.39^{bf}	2.20^{ah}	0.29^{jl}	0.46^{kq}	0.97^{fh}
Kerman-4	587.17^{hj}	30.52^{r}	24.54^{ik}	36.47^{lr}	36.65^{rt}	0.87^{h}	1.03^{fl}	0.36^{ci}	2.30^{af}	0.36^{ef}	0.55^{ho}	1.26^{cd}

In each column, the means that are common in at least one letter, , are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

در هر ستون، میانگین‌هایی که دستکم در یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

جدول ۳- ادامه.

Table 3. Continued.

جمعیت‌ها Populations	عملکرد ماده خشک Dry matter yield Yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity (mol H_2O m^{-2} S^{-1})	کربوهیدرات کل Total Carbohydrate ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	پرولین Proline (µmol. g^{-1} FW)	کاروتنوئید\ کلروفیل کل Carotenoid/ Chlorophyll total ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیلa \b Chlorophyll a/b ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیل کل Chlorophyll total ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیلb Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ Fresh weight)
60% FC												
Ardabil	444.17^{mq}	104.49^{jm}	57.12^{bc}	30.50^{ot}	50.87^{in}	0.86^{hi}	1.13^{el}	0.35^{ck}	1.37^{gm}	0.31^{gj}	0.65^{dl}	0.89^{gj}
Kerman-1	623.17^{eh}	244.68^{d}	52.50^{cd}	51.27^{dj}	82.36^{c}	2.05^{c}	1.25^{dj}	0.26^{kq}	2.18^{ah}	0.21^{os}	0.36^{or}	0.71^{jn}
Lorestan	524.17^{kl}	109.19^{il}	52.73^{cd}	42.12^{in}	82.5^{c}	1.96^{d}	1.68^{bd}	0.47^{ab}	1.37^{fm}	0.28^{jm}	0.61^{fn}	0.80^{hl}
Chaharmal-1	475.00^{ln}	75^{pq}	60.02^{ac}	39.87^{kp}	52.69^{hl}	0.69^{np}	1.78^{bc}	0.33^{cm}	2.95^{a}	0.19^{qt}	0.24^{r}	0.71^{jn}
Yazd-1	409.17^{os}	72.93^{q}	68.29^{a}	41.78^{in}	58.91^{gj}	0.85^{hj}	1.34^{ch}	0.38^{cg}	2.65^{ac}	0.29^{il}	0.43^{mr}	1.01^{fg}
Kerman-2	394.17^{ps}	89.43^{lp}	46.48^{de}	41.73^{in}	48.58^{kp}	1.07^{g}	1.62^{be}	0.28^{jq}	1.44^{em}	0.18^{rt}	0.41^{nr}	0.46^{ps}
Alborz	374.17^{s}	67.05q	64.66^{ab}	33.70^{ns}	44.58^{ls}	0.91^{h}	1.10^{el}	0.34^{cl}	1.47^{em}	0.31^{gj}	0.63^{em}	0.91^{fi}
W.Azarbaijan	604.17^{fi}	198.06^{e}	58.45^{bc}	46.10^{fl}	61.36^{fh}	1.01^{g}	1.23^{dj}	0.30^{hp}	1.93^{bj}	0.25^{lp}	0.46^{kq}	0.80^{hl}
Ghazvin	614.17^{eh}	240.17^{d}	35.99^{fh}	48.87^{dk}	53.25hl	1.05^{g}	1.19^{dk}	0.30^{gp}	2.59^{ad}	0.25^{ko}	0.36^{or}	0.92^{fi}
N.Khorasan-1	608.67^{fh}	164.21^{f}	39.91^{eg}	26.53^{rt}	71.65^{de}	0.79^{jl}	1.24^{dj}	0.39^{G}	2.22^{bh}	0.32^{fj}	0.50^{ip}	1.10^{df}
Yazd-2	428.17^{nr}	30.21^{r}	59.98^{ac}	21.33^{t}	42.28^{mt}	0.53^{st}	1.30^{ci}	0.28^{jq}	1.65^{ek}	0.21^{os}	0.44^{mr}	0.63^{lp}
N.Khorasan-2	447.73^{mp}	103.44^{jn}	40.16^{eg}	43.12^{hn}	74.72^{cd}	0.79^{jl}	1.40^{bg}	0.26^{lq}	2.39^{ad}	0.19^{qt}	0.31^{pr}	0.64^{kp}
Hormozgan	650.83^{df}	305.51^{c}	35.59^{fh}	57.37^{be}	118.08^{a}	2.80^{a}	2.40^{a}	0.48^{a}	1.20^{im}	0.17^{st}	0.38^{or}	0.42^{qs}
Guilan	478.50^{ln}	87.28^{mq}	42.92^{ef}	30.40^{ot}	53.47hl	0.64^{pr}	1.88^{ab}	0.33^{cm}	2.01^{aj}	0.19^{qt}	0.34^{pr}	0.60^{mq}
Kerman-3	391.67^{qs}	80.65^{pq}	63.26^{ab}	29.73^{qt}	37.88^{qt}	0.71^{mo}	1.32^{ch}	0.27^{jq}	1.88^{ck}	0.21^{os}	0.39^{or}	0.67^{ko}
Khuzestan	641.67^{dg}	298.81^{c}	41.23^{eg}	54.43^{cf}	93.69^{b}	2.31^{b}	1.25^{dj}	0.38^{ch}	1.68^{ek}	0.30^{hl}	0.56^{ho}	0.94^{fh}
S.Khorasan	542.67^{jk}	165.46^{f}	42.20^{ef}	43.97^{hm}	93.41^{b}	2.34^{b}	1.19^{dk}	0.35^{cj}	2.26^{af}	0.30^{il}	0.52^{ip}	0.97^{fh}
N.Khorasan-3	454.17^{mo}	89.36^{lp}	52.57^{cd}	40.63^{kn}	60.52^{fi}	1.15^{f}	1.37^{bh}	0.23^{oq}	2.32^{af}	0.17^{rt}	0.27^{qr}	0.59^{mq}
Chaharmahal-2	375.33^{rs}	19.63^{r}	64.39^{ab}	25.47^{st}	63.76^{eg}	0.85^{hj}	1.47^{bf}	0.32^{dn}	2.34^{ae}	0.22^{os}	0.33^{pr}	0.75^{im}
Kerman-4	407.17^{os}	31.81^{r}	45.25^{de}	30.00^{pt}	50.08^{jo}	1.05^{g}	1.49^{bf}	0.31^{eo}	2.75^{ac}	0.22^{nr}	0.32^{pr}	0.79^{hl}

In each column, the means that are common in at least one letter, , are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

در هر ستون، میانگین‌هایی که دستکم در یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

بررسی محتوای پرولین در گونه خُرفه ساحلی (*Sesuvium potulacastrum* L.) نشان داد که انباشت پرولین زیر شرایط تنش خشکی افزایش یافت (۲۵). نتیجه‌های مطالعه حاضر نیز حاکی از افزایش غلظت پرولین آزاد برگ زیر تأثیر تنش کم‌آبی در همه جمعیت‌های پونه وحشی بود، به‌طوری که جمعیت کرمان-۱ زیر تأثیر تنش کم آبی با ۷۲/۲۱ درصد افزایش، بیشترین تغییر و جمعیت خوزستان با ۱/۲۹ درصد افزایش، تغییر چندانی نداشت. جمعیت هرمزگان با ۲/۹ میکرومول بر گرم بیشترین مقدار پرولین را داشت که زیر تأثیر تنش کم آبی ۲۳/۶۸ درصد افزایش نشان داد و جمعیت یزد-۲ با ۰/۴۹ میکرومول بر گرم کمترین مقدار پرولین را داشت که این مقدار زیر تأثیر تنش کم آبی ۷/۵۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳). این موضوع نشان می‌دهد که گونه مورد بررسی، پرولین را به‌عنوان محلول سازشی در تنظیم و حفظ پتانسیل اسمزی استفاده می‌کند. هم‌چنین، نتیجه‌های مقایسه میانگین نشان داد که تیمار تنش کم‌آبی بر مقدار کربوهیدرات کل اثر معنی‌داری داشت و با افزایش تنش، مقدار کربوهیدرات کل افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین محتوای کربوهیدرات کل با ۱۱۸/۰۸ میلی‌گرم بر گرم در جمعیت هرمزگان در تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۳). اثر فیزیولوژیک قندها، جلوگیری از اتصال بین غشاهای مجاور، نگهداری لیپیدها و پایداری پروتئین‌های غشاء از راه پیوند هیدروژنی با آن‌ها و ایجاد دنباله‌های خطی است (۴).

نتیجه‌ها نشان داد که مقدار نشت یونی در همه جمعیت‌های پونه وحشی زیر تنش افزایش یافت به‌طوری که بیشترین و کمترین هدایت الکتریکی به‌ترتیب در شرایط ۶۰ درصد ظرفیت زراعی در جمعیت یزد-۱ با ۶۸/۲۹ درصد و هرمزگان با ۳۵/۵۹ درصد بود. از سوی دیگر، نتیجه‌های اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم نیز با مقدار هدایت الکتریکی تا حدودی مطابقت داشت به‌طوری که بیشترین و کمترین درصد یون سدیم در شرایط ۶۰ درصد ظرفیت زراعی در جمعیت یزد-۲ با ۱/۲۲ درصد و در جمعیت هرمزگان با ۰/۳۰ درصد بود (شکل ۴). تنش کم‌آبی تغییرهایی را در فسفولیپیدهای غشا ایجاد می‌کند و نشت یونی رخ می‌دهد (۵)، بنابراین، جمعیت‌هایی که غشاء آن‌ها در اثر تنش کم‌آبی کم‌تر صدمه ببینند، از شاخص تحمل به کم‌آبی بیشتری برخوردار هستند.

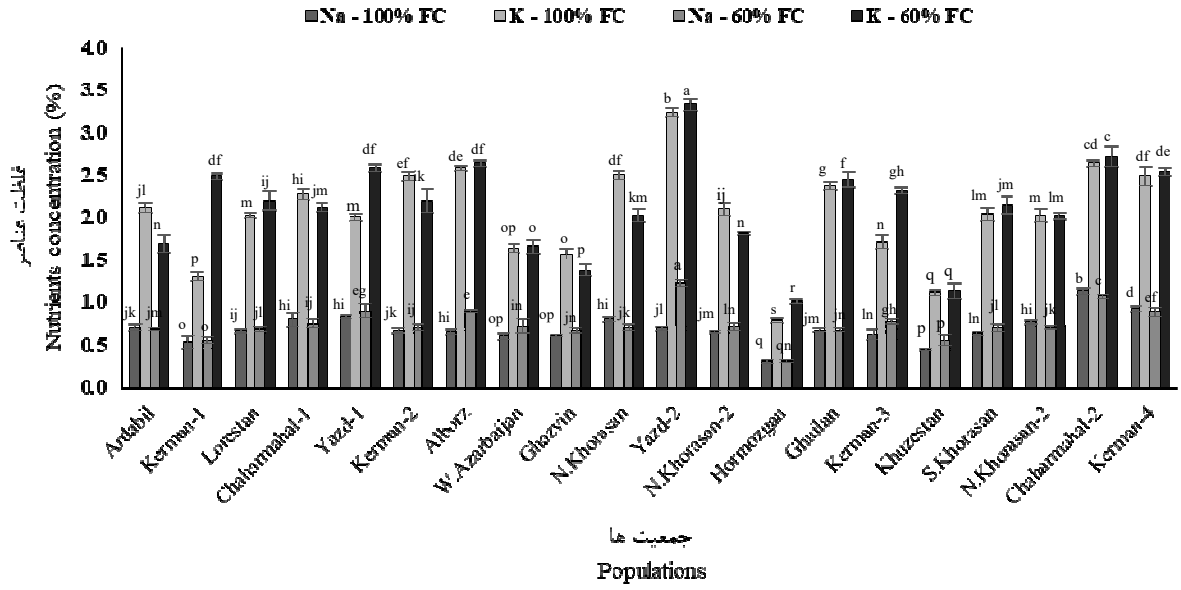


Fig. 4. Interaction of water deficiency stress and populations on the percentage of sodium and potassium in the aerial part of the wild mint populations (In each column, the means which are common at least in one alphabet, based on the LSD test is not significant at the 5% probability level).

شکل ۴- برهمکنش تنش کم‌آبی و جمعیت بر درصد سدیم و پتاسیم در اندام هوایی جمعیت‌های پونه وحشی (در هر ستون میانگین‌هایی که دستکم در یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

در ارتباط با مقدار هدایت روزنه‌ای نتیجه‌ها حاکی از آن بود که در همه جمعیت‌ها به‌جز جمعیت کرمان-۱ و یزد-۱ زیر شرایط تنش کم‌آبی مقدار هدایت روزنه‌ای کاهش یافت (جدول ۳). در پژوهش صورت گرفته روی دو توده کوشیا (*Kochia scoparia* L. Schrader) کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش کم‌آبی، کاهش فتوسنتز را نیز توجیه نمود (۲۰). هنگامی که تنش خشکی اعمال می‌شود، کمبود آب سبب بسته شدن جزئی روزنه‌ها می‌گردد، بنابراین با توجه به کاهش هدایت روزنه‌ای، به مقدار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

چشمگیری از تبادل دی‌اکسیدکربن کاسته می‌شود و در نتیجه، به‌دلیل مصرف بسیار کمتر از $NADPH+H^+$ و ATP، گلوکز کمتری در چرخه کالوین ساخته شده و ساخت متابولیت‌های اولیه کاهش می‌یابد (۴). این امر می‌تواند همبستگی مثبت (r=۰/۴۲) بین هدایت روزنه‌ای و کربوهیدرات کل را توجیه نماید (جدول ۴). هم‌چنین شاخص پرولین با کربوهیدرات کل همبستگی مثبت بالایی (r=۰/۸۳) داشت که نشان از همسویی این دو ویژگی در تحمل تنش کم‌آبی بین جمعیت‌های پونه وحشی است (جدول ۴).

نتیجه‌های بررسی همبستگی بین دیگر ویژگی‌های فیزیولوژیک پونه وحشی حاکی از آن بود که همبستگی معنی‌داری بین بیشتر ویژگی‌های فیزیولوژیک با عملکرد و بازده اسانس وجود داشت. به‌طوری که بازده اسانس با ویژگی‌های فیزیولوژیک از جمله پرولین (r=۰/۶۵)، کربوهیدرات کل (r=۰/۶۵) و هدایت روزنه‌ای (r=۰/۶۸) بالاترین همبستگی مثبت اما با مقدار سدیم (r=-۰/۷۹) و پتاسیم (r=-۰/۸۱) همبستگی منفی داشت و با دیگر ویژگی‌ها از جمله نشت یونی (r=-۰/۱۶)، مقدار کاروتنوئید (r=۰/۱۳)، کلروفیل a (r=۰/۰۵) و کلروفیل کل (r=۰/۱۸) همبستگی معنی‌داری نداشت. از طرفی، عملکرد ماده خشک نیز با همه ویژگی‌ها به‌جز مقدار کاروتنوئید (r=۰/۰۶) همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۴).

در بین دیگر ویژگی‌ها، محتوای نسبی آب با پرولین (r=۰/۴۲)، کلروفیل b (r=۰/۴۴) و کلروفیل کل (r=۰/۴۵) همبستگی مثبت و با نشت یونی (r=-۰/۵۲) همبستگی منفی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴). پژوهشگران همبستگی مثبتی را بین محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل و فعالیت پروتئین رابیسکو مشاهده کردند (۱۲). افزون بر این، در مطالعه حاضر، سدیم و پتاسیم با هدایت روزنه‌ای همبستگی منفی (r=-۰/۶۹) داشتند. نشت یونی و مقدار سدیم همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (r=۰/۳۸) را نشان دادند، اما این ویژگی‌ها با محتوای نسبی آب، پرولین، کربوهیدرات کل و رنگدانه‌ها همبستگی منفی داشتند (جدول ۴).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

جدول ۴- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیولوژیک میان جمعیت‌های پونه وحشی.

Table 4. Correlation between physiological characteristics among wild mint populations.

	Chl a ($mg.^{g-1}FW$)	Chl b ($mg.^{g-1}FW$)	Chl total ($mg.^{g-1}FW$)	Car ($mg.^{g-1}FW$)	Pro ($\mu mol.^{g-1}FW$)	Ch ($mg.^{g-1}FW$)	EL ($mg.^{g-1}FW$)	RWC (%)	LP ($mol\ H_2Om^{-2}S^{-1}$)	Na (%)	K (%)	Y ($g.m^{-2}$)	EO (%)	EOY ($kg.ha^{-1}$)
Chl a ($mg.^{g-1}FW$)	1													
Chl b ($mg.^{g-1}FW$)	0.50**	1												
Chl total ($mg.^{g-1}FW$)	0.89**	0.85**	1											
Car ($mg.^{g-1}FW$)	0.50**	0.27**	0.45**	1										
Pro ($\mu mol.^{g-1}FW$)	0.07	0.09	0.09	0.36**	1									
Ch ($mg.^{g-1}FW$)	0.09	0.09	0.10	0.40**	0.83**	1								
EL ($mg.^{g-1}FW$)	-0.28**	-0.54**	-0.47**	-0.02	0.001	0.03	1							
RWC (%)	0.35**	0.44**	0.45**	0.23*	0.42**	0.32**	-0.52**	1						
LP ($mol\ H_2Om^{-2}S^{-1}$)	0.11	0.44**	0.30**	0.05	0.45**	0.42**	-0.45**	0.54**	1					
Na (%)	-0.08	-0.36**	-0.24**	-0.11	-0.54**	-0.55**	0.38**	-.045**	-0.69**	1				
K (%)	-0.17	-0.30**	-0.26**	-0.17	-0.50**	-0.54**	0.27**	-0.40**	-0.69**	0.77**	1			
Y ($g.m^{-2}$)	0.25**	0.62**	0.49**	0.06	0.24**	0.28**	-0.73**	0.57**	0.70**	-0.60**	-0.57**	1		
EO (%)	0.05	0.28**	0.18	0.13	0.65**	0.65**	-0.16	0.33**	0.68**	-0.79**	-0.81**	0.58**	1	
EOY ($kg\ ha^{-1}$)	0.13	0.46**	0.33**	0.14	0.58**	0.60**	-0.38**	0.46**	0.76**	-0.79**	-0.82**	0.79**	0.94**	1

**،* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

**, * and ns are significant at a probability level of 1%, 5% and non-significant, respectively.

نشت یونی= EL کاروتنوئید\کلروفیل کل = Car/Chl total، کربوهیدرات کل = Ch، پرولین = Pro، کاروتنوئید = Car، کلروفیل a\b = Chl a/b، کلروفیل کل = Chl total، کلروفیل b = Chl b، کلروفیل a = Chla،
عملکرد اسانس = EOY، بازده اسانس = EO، عملکرد ماده خشک = Y، پتاسیم = K^+، یون سدیم = Na^+، هدایت روزنه‌ای = LP، محتوای نسبی آب = RWC،

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

نتیجه‌گیری

این پژوهش بیانگر آن بود که در زمان وقوع تنش کم‌آبی، جمعیت‌های متحمل‌تر مقدار محتوای نسبی آب، کلروفیل و کاروتنوئید بیشتری داشتند. تنش کم‌آبی منجر به افزایش معنی‌دار کربوهیدرات کل شد، البته این افزایش در جمعیت‌های متحمل بیشتر بود. در اثر تنش کم‌آبی در همه جمعیت‌ها افزایش مقدار پرولین مشاهده شد، ولی مقدار افزایش پرولین در جمعیت‌ها متفاوت بود. با توجه به ویژگی‌های مورد ارزیابی، مشاهده گردید که جمعیت هرمزگان با داشتن بیشترین مقدار رنگدانه‌ها، کربوهیدرات کل، پرولین، عملکرد ماده خشک و بازده اسانس نسبت به دیگر جمعیت‌ها به خشکی متحمل‌تر بود و جمعیت‌های خوزستان، خراسان جنوبی، کرمان-۱ و لرستان در مرتبه‌های بعدی به‌عنوان جمعیت‌های به‌نسبت متحمل به خشکی شناخته شدند. با این وجود، پیشنهاد می‌گردد آزمایش مقایسه بین جمعیت‌ها در زیست‌بوم‌های طبیعی در چند شرایط آب و هوایی مختلف انجام گیرد و در صورت دستیابی به نتیجه‌های مشابه، از این جمعیت‌ها به‌عنوان جمعیت‌های متحمل به خشکی برای برنامه‌های به‌نژادی و اهلی‌سازی استفاده گردد.

منابع References

۱- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. رابطه آب، خاک و گیاه. چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، ۴۸۴ ص.

۲- حکمت شعار، ح. ۱۳۷۲. .فیزیولوژی گیاهان درشرایط دشوار.(ترجمه). انتشارات نیکنام تبریز، ۲۵۱ ص.

۳- حیدری شریف آبادی، ح. ۱۳۷۹. گیاه، خشکی و خشکسالی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۲۰۰ ص.

۴- شریعت، ا.، ق.، کریم زاده.، م. ح. عصاره و ج. هادیان. ۱۳۹۷. کاربرد نویدبخش تنش خشکی به منظور افزایش کیفیت محصول گیاه داروئی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm) بومی ایران، ۱۷۷-۱۶۷: (۱)۴۹.

۵- کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی.، ع. کمندی.، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۹۱. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ ص.

۶- نظامی، س.، ح. نعمتی.، ح. آرویی و ع. باقری. ۱۳۸۵. تأثیر بررسی اثرات تنش کم آبی بر خصوصیات رویشی سه گونه نعنا. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۷۴-۵۹: (۱)۹.

7. Antolin, M.C., J. Yoller and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. Plant Sci. 107:159-165.

8. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39:205-207.

9. Beaton Jones, J. and V.W. Case 1990. Sampling, handling and analysing plant tissue samples. P 784, In: Westerman, R.L. (eds.). Soil testing and plant anal. 3rd ed. SSSA, Inc. Madison Wisconsin, USA.

10. Beltrano, J. and M.G. Ronco. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by arbuscular mycorrhizal fungus celomus clariodeum: Effect on growth and cell membrane stability. Braz. J. Plant Physiol. 20:29-31.

11. British pharmacopoeia. 1993. HMSO. (United Kingdom, London).

12. Castrillo, M. and I. Turujillo. 1994. Riboluse-1,5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French been plants under water stress and rewatering. Photosynthetica, 30:175-181.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

13. Dere, S., T. Gunes and R. Sivaci. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll – a, b and total carotenoid content of some algae spices using different solvents. J. Bot. 22:13-17.

14. Fasina, O.O. and Z. Coley. 2008. Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature: 35°c to 180°c. Int. J. Food Prop. 11:738-746.

15. Hedge, J.E. and B.T. Hofreiter. 1962. Carbohydrate Chemistry. Academic Press, New York, USA.

16. Kirnak, H., C. Kaya. I. Tas and D. Higgs. 2001. The influences of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulg. J. Plant Physiol. 27 (3-4):34-46.

17. Kleinawachter, M., J. Paulsen. E. Bloem. E. Schnug and Selmar. D. 2014. Moderate drought and signal transducer induced biosynthesis of relevant secondary metabolites in thyme (*Thymus vulgaris*), greatercelandine (*Chelidonium majus*) and parsley (*Petroselinum crispum*). Ind. Crops Prod. 64:158-166.

18. Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25:275-294.

19. Liu, C., Y. Liu. K. Guo. D. Fan. G. Li. Y. Zheng, L. Yu and R. Yong. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitate of southwestern China. Environ. Exp. Bot. 71:174-183.

20. Masoumi, A., M. Kafi. J. Nabati. H.R. Khazaei. K. Davari and M. Zare. 2012. Effect of water stress on water, leaf electrolit leakage, photpsynthesis, and chlorophyll photosynthesis in different growth stage on two population of *Kochia scoparia* under salt stress. Iran. J. Field Crops Res. 10(3):476-484.

21. Misra, A. and N.K. Srivastava. 2000. Influence of water stress on Japanese Mint. J. Herbs Spices Med. Plants. 7 (1):51-58.

22. Moshrefi-Araghi, A.R., S.H. Nemati, M. Shoor, M. Azizi Arani and N. Moshtaghi. 2018. Influence of water stress on agro-morphological traits and essential oil content among Iranian genotypes of *Mentha longifolia*. Proc. Natl. Acad.pp. 1-12.

23. Paleg, L.G. and D. Aspinall. 1981. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press, Sydney, Australia, 492 p.

24. Pizard, A., M.R. Shakiba. S. Zehtab-Salmasi. S.A. Mohammadi. R. Darvishzadeh and A. Samadi. 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, cholorophili, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. J. Med. Plants Res. 5:(24)83-2488.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

25. Slama, L., D. Messedi, T. Ghnaya, A. Savoure and C. Abdelly. 2006. Effects of water deficit on growth and proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. Environ. Exp. Bot. 56:(3): 31-238.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 21 (2): 123 - 138 (2020)
Research article

Effect of Deficit Irrigation on Physiological Traits, Yield and Essential Oil Content of Twenty Iranian Wild Mint (*Mentha longifolia* L.) Populations

A. Moshrefi–Araghi*, H. Nemati, M. Azizi, N. Moshtaghi and M. Shoor[1]

Mentha longifolia L. is one of the most valuable perennial, rhizomatous, aromatic and herbaceous plants belonging to the Lamiaceae family. In this study, the effects of deficit irrigation stress on physiological traits and yield of 20 different wild mint populations were evaluated by a split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications. Soil moisture control was performed using irrigation treatments based on 100% (control) and 60% of field capacity. In the current study, physiological traits including chlorophyll a, b and total, carotenoids, proline, total carbohydrate, relative water content, ion leakage, stomatal conductivity, sodium and potassium elements, dry matter yield and essential oil yield were investigated. There were significant differences (P<0.01) between populations in two levels of water deficit treatment. The most tolerant populations had the highest essential oil yield (4.69%), relative water content (69.91%), total chlorophyll (0.32 mg g^{-1}) and proline (2.80 µmol g^{-1}) under water deficit stress. Results of correlation between dry matter yield and all traits except carotenoid content were significant. Finally, five populations of Hormozgan, Khuzestan, South Khorasan, Kerman-1 and Lorestan respectively were identified as the tolerable populations and introduced for future breeding programs.

Keywords: Essential oil, Proline, Wild mint, Water deficit.

1. Ph.D. Student, Assistant Proffesor, Proffesor, Department of Horticulture Science, Associated Proffesor, Biotechnology, and Plant Breeding Department and Associated Proffesor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
*Corresponding author, Email: (moshrefi_alireza@yahoo.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.4.0]