

استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی ایران

آناهیتا پهلوان^۱، محمود سلوکی^۲، براتعلی فاخری^۲، بهمن فاضلی نسب^{۳*}

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: bfazelinasab@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.226842.1067

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

چکیده

ختمی خبازی از تیره ختمی و از مهم‌ترین گیاهان دارویی است که به‌صورت وحشی وجود داشته و در طب سنتی در درمان بسیاری از بیماری‌ها به‌کاربرده شده است. این بررسی با هدف مطالعه شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در ارزیابی ۹ اکوتیپ مختلف ختمی خبازی ایران در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت گلدانی اجرا شد. بیشترین قطر ساقه (۹/۵۸ میلی‌متر)، طول ریشه (۶۱/۲۲ سانتی‌متر)، وزن تر ریشه (۱۸/۸۶ گرم)، وزن خشک ریشه (۴/۸۴ گرم) و محتوای پرولین (۰/۶۱۴) متعلق به اکوتیپ مشهد بود. تعداد برگ، همبستگی منفی و معنی‌داری با وزن تر گیاه داشته، درحالی‌که با ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است. بیشترین همبستگی در صفات مورفولوژیکی بین وزن تر با وزن خشک ریشه ($P < 0.01$) و در صفات فیزیولوژیکی بین کارتنوئید و کلروفیل b ($P < 0.05$) بود. بیشترین تعداد گل و بیشترین تعداد بذر در بوته نیز در اکوتیپ‌های بندرعباس و تربت‌حیدریه بود. بر اساس رگرسیون گام‌به‌گام در مدل‌های ارائه‌شده، وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بیشترین تأثیر مثبت را بر طول ریشه داشته اما قطر ساقه و وزن تر گیاه بیشترین تأثیر منفی بر طول ریشه را داشته‌اند. کلروفیل b بیشترین تأثیر منفی و مستقیم بر عملکرد پرولین را داشته اما کلروفیل a، کارتنوئید، کربوهیدرات و پروتئین کل به ترتیب بیشترین تأثیر مثبت بر عملکرد پرولین را داشته‌اند. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، اکوتیپ مشهد از لحاظ اکثر صفات مورفوفیزیولوژیکی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها در سطح بالاتری بود و در نتیجه جهت توسعه و اصلاح ختمی خبازی، اکوتیپ مشهد به‌عنوان یکی از والدین اصلی اصلاحی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، صفات مورفولوژیکی، طول ریشه، قطر ساقه، کارتنوئید

مقدمه

(2011). ترکیبات شیمیایی برگ ختمی خبازی شامل پلی‌فنول، ویتامین C، E و بتاکاروتن، گاسیپتین ۳، گلوکوسید، فلاونوئید است (Shale et al., 2005). مهم‌ترین مواد موجود در گل‌های ختمی خبازی، ال-آرابینوز، ال-رامنوز، دی-گالاکتوز رونیک اسید گزارش شده است. گل‌ها بیش از ۱۰ درصد موسیلاژ دارند که در اثر هیدرولیز، تبدیل به گالاکتوز، آرابینوز، گلوکز رامنوز و اسیدگالاکتورونیک می‌شود (Omidbeigi, 2012). همچنین گل‌های ختمی خبازی حاوی مقدار کمی تانن و حدود یک‌دهم درصد لوکوآنتوسیانین‌ها و آنتوسیانین است. ترکیبات شیمیایی تمام لندام‌های ختمی خبازی از جمله ریشه، دارای تانن، مواد لعابی فراوان، قند، اکسالات کلسیم، مواد رزینی و پکتیک هستند (Shale et al., 2005).

در اسانس (عطرمایه) برگ گیاه ختمی خبازی، تعداد ۱۸

ختمی خبازی (*Malva sylvestris* L.) از تیره ختمی، گیاهی یک‌ساله، دوساله و یا به‌ندرت چندساله است (Razavi et al., 2011). منشأ آن آسیای میانه گزارش شده اما تقریباً در تمام نقاط جهان رشد می‌کند (Shoshtariyan et al., 2010). در ایران ۷ گونه از ختمی خبازی (*M. M. verticillata* L. *M. M. leiocarpa* *M. iljini* *leonardi* I. Riedl *M. M. sylvestris* L و *M. armeniaca aegyptia* var شده است (Pakravan, 2006).

ختمی خبازی غنی از ویتامین‌های A، B و C بوده و به‌عنوان یکی از گیاهان مؤثر در کاهش عوارض سرماخوردگی به‌ویژه سرفه، همچنین در درمان التهاب تنفسی، مجاری ادراری و گوارشی و نیز جوش‌های پوستی است (Mustafa and Ali, 2006).

با تنش خشکی، از طریق مکانیسم‌های مختلف مانند فرار، اجتناب یا تحمل، سازگار می‌شوند. در این بین، تحمل به خشکی در برخی گیاهان با توسعه سیستم‌های عمیق ریشه همراه بوده است (Kashiwagi *et al.*, 2006). همچنین برخی گیاهان با افزایش کارتنوئیدها در کاهش خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد و حفاظت دستگاه فتوسنتزی در مقابل تنش اکسیداتیو مؤثر بوده‌اند و به‌نوبه خود میزان کلروفیل گیاه را افزایش داده‌اند (Azooz, 2009).

تأثیر تیمار هگزاکونازول بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ختمی خبازی تحت تنش خشکی بررسی و سپس صفات فیزیومورفولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ گیاه مورد سنجش قرار گرفته و مشخص شده است که اثرات متقابل تنش خشکی و تیمار هگزاکونازول، موجب کاهش طول ساقه، ریشه و سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه، وزن تر و خشک و غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردیده اما تیمارها تأثیری بر روی تعداد برگ، کلروفیل a، b، کل و پروتئین کل نداشته‌اند (Kashefi and Bahri, 2019).

در تحقیقی اثر آلودگی هوا بر روی غلظت پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و صفات تشریحی-ریخت‌شناسی پنیرک گل ریز مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده که آلودگی هوا باعث افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات محلول در پنیرک گل ریز شده است. در بررسی‌های تشریحی تغییرات بارز در بافت اپیدرم و بافت کلانشیم مشاهده شده که همه این تغییرات در جهت افزایش مقاومت در گیاه بوده است (Seyyednejad *et al.*, 2013).

تأثیر استرس کادمیوم بر رشد و صفات فیزیولوژیک در *Phoenix dactylifera L*؛ و نقش پرولین اگزوزن در کاهش استرس کادمیوم بررسی و به این نتیجه رسیدند که استرس کادمیوم باعث کاهش رشد، محتوای عناصر مغذی (Ca^{2+} ، Mg^{2+} و K^{+})، شاخص پایداری غشاء (MSI)، محتوای نشاسته و فعالیت گایاکول پراکسیداز (POD) شده اما باعث افزایش H_2O_2 ، قند محلول، فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) و همچنین کل پلی‌فنول‌ها شده است. جالب‌توجه است، پرولین اگزوزن به‌طور مؤثری اثرات سوء کادمیوم را روی *phoenix dactylifera L* کاهش داده و در کل هنگامی که پرولین به گیاهان تنش‌زا اضافه شده، رشد و تغذیه معدنی افزایش یافته

ترکیب شناسایی شده است که عمده‌ترین آن‌ها اسپاتونول، دلتاکادین، لینالول، آلفا ترپینیل استات، آلفا کادینول، بتا اودسومول، کوبنول و لینالیل استات هستند (Javidnia *et al.*, 2002). گزارش شده که بیشترین میزان فنل، فلاونوئید و خواص آنتی‌اکسیدانی مربوط به برگ و کمترین میزان مربوط به بذر ختمی بوده است (Beghdad *et al.*, 2014).

نیروهای تکامل، در مناطق جغرافیایی مختلف جمعیت‌هایی از یک گونه به وجود می‌آورند که از نظر فعالیت‌های رشدی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، گیاه‌شناسی و در نهایت ژنتیکی متمایزند. بنابراین، در صورت وارد کردن یک گونه دارویی به صنعت، هر سازوکاری که در نظر گرفته شود اعم از بهره‌برداری از رویشگاه‌های طبیعی، اهلی کردن (در مورد جمعیت‌های وحشی) و یا اصلاح (انواع کشت شده) نیازمند بررسی ژنتیکی و شناسایی هویت و ویژگی‌های شیمیایی تولیدی ژرم‌پلاسم گونه دارویی مورد نظر است تا مواد اولیه با امنیت، پایداری و کارایی مناسب تأمین شود. بنابراین، با بررسی‌های دقیق ساختاری، فنوتیپی، شیمیایی و ژنتیکی جمعیت‌های طبیعی یک گیاه می‌توان نسبت به انتخاب آن‌ها و یا نمونه‌هایی از درون آن‌ها به‌عنوان گامی مهم در جهت فرایند اهلی کردن گیاه دارویی مورد نظر اقدام کرد (Alemzadeh Ansari *et al.*, 2014; Babalar *et al.*, 2013; Fazelienasab *et al.*, 2004).

در تولید گیاهان دارویی علاوه بر عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی تحت کشت نیز از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا عوامل محیطی با تأثیر بر رشد رویشی و فیزیولوژی گیاهان بر کیفیت و کمیت مواد مؤثره محصول نیز مؤثر هستند (Davari *et al.*, 2018; Fazeli-nasab and Fooladvand, 2016). اولین شاخص‌هایی که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند، رشد و فتوسنتز بوده و برای به حداقل رساندن این تأثیرات و تلفات عملکرد بایستی مهم‌ترین پارامترهای رشد از جمله شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه، زیست‌توده، وزن صد دانه و عملکرد گیاه ارزیابی و همچنین درک بهتری از شاخص‌های متنوع مورفولوژیکی (طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و غیره) و فیزیولوژیکی (میزان پرولین، میزان کارتنوئید و غیره) مرتبط با عملکرد به دست آید (Sachdeva *et al.*, 2018) و بر این اساس ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی گیاهان، جهت مقابله

تنوع درون گونه‌ای، تنوعی لندک بین اکوتیپ‌های یافته‌اند و یا گاهی هیچ‌گونه تنوعی وجود نداشته است، نمی‌توان به‌عنوان یک پیش‌فرض برای هرگونه در نظر گرفت.

در ایران، تحقیقات محدودی بر روی شناسایی و ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی صورت گرفته است، بنابراین بررسی دقیق ژنوتیپ‌های بومی موجود در کشور جهت برنامه‌ریزی تحقیقات به نژادی و به زراعی بعدی هدف تحقیق حاضر است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۹ اکوتیپ ختمی خبازی در سال ۱۳۹۶ از رویشگاه‌های مختلف ایران (مشهد، تربت حیدریه، فریمان، زابل، زرن، جیرفت، رودبار، بندرعباس و خرم‌دشت) جمع‌آوری (جدول ۱) و در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه تربت حیدریه شناسایی شد، سپس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۷ در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل کشت و در اردیبهشت ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذور مربوط به هر اکوتیپ در گلدان‌های پنج لیتری (بعد از جوله‌زنی و تنک کردن، تعداد پنج بوته از هر اکوتیپ در هر گلدان) و در بستر کشت، مخلوطی از خاک زراعی، کوکو پیت، پرلیت، کود حیوانی کاملاً پوسیده هر کدام به نسبت مساوی کشت شدند. آبیاری بر اساس شرایط دمایی سیستان و حاکم بر گلخانه و همچنین ظرفیت زراعی خاک ترکیبی گلدان‌ها محاسبه و به‌صورت مرتب تا زمان گلدهی انجام شد.

صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده

در مرحله گلدهی کامل، قطر ساقه و طول ساقه سه گیاه از هر گلدان به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای هر تیمار لحاظ گردید. در این مرحله تعداد گل‌های دارای بذر و تعداد برگ‌های هر گیاه شمارش شد. وزن تر و وزن خشک ریشه، ساقه و گیاه کامل با ترازو دیجیتال (دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های تر در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Paykarestan et al., 2012).

است (Zouari et al., 2016).

ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان برای برنامه‌های اصلاحی و حفاظت از ذخایر توارثی، حیاتی بوده و اطلاع از سطح تنوع ژنتیکی در گونه گیاهی برای انتخاب والدین جهت رسیدن به دو رگ مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است (Singh, 2003). تنوع ژنتیکی می‌تواند به‌وسیله تخمین فاصله ژنتیکی با استفاده از اطلاعات شجره یا با استفاده از نشانگرهای مولکولی شناسایی شود (Stachel et al., 2000).

به‌منظور تخمین این تنوع انواع مختلفی از سیستم‌های نشانگری توسط به‌نژادگران گیاهی استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به نشانگرهای ریخت‌شناختی و مولکولی شامل بیوشیمیایی و DNA اشاره کرد.

در تحقیقی، تنوع ژنتیکی ۱۸ اکوتیپ پنیرک (*Malva neglecta*) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج نشان داده است که بیشترین تشابه را اکوتیپ G۴ با اکوتیپ G۹ با ضریب ۰/۸۴ داشته‌اند. کمترین تشابه مربوط به اکوتیپ G۱ با اکوتیپ‌های G۹، اکوتیپ G۱۵ با G۶ و G۸ با ضرایب تشابه ۰/۵۷ بوده است (Noorian and Shirvani, 2020).

ارزیابی ژنتیکی برخی جمعیت‌های پنیرک با استفاده از نشانگر مولکولی ISSR و آیزوایم‌ها بررسی و به این نتیجه رسیده‌اند که پراکنش اکوتیپ‌ها بر اساس تنوع ژنتیکی با تنوع جغرافیایی تطابق نداشته است. ضمناً گزارش داده‌اند که ممکن است علت این موضوع جدایی منشأ جغرافیایی ژنوتیپ‌ها یا ایجاد و تجمع جهش‌های ژنتیکی مجزا در سطح ژنوم باشد که باعث ایجاد تنوع در آن‌ها نسبت به یکدیگر شده است. درحالی‌که در تعداد دیگری از ژنوتیپ‌ها چنین تطابقی دیده نشده که این امر می‌تواند به دلیل منشأ مشترک، مهاجرت و انتقال باشد (Hammad, 2009).

تنوع ژنتیکی ۲۰ ژنوتیپ گونه گیاهی در معرض خطر *Mangifera indica* بررسی شده و نتایج نشان داده است که بین اکوتیپ‌های پنیرک مورد مطالعه تنوع ژنتیکی وجود داشته و از آنجایی‌که این اکوتیپ‌ها نماینده توده‌های پنیرک موجود در بانک ژن می‌باشند لذا در بین کل اکوتیپ‌های موجود در بانک ژن نیز تنوع فراوانی وجود داشته است (Gajera et al., 2011)؛ بنابراین این مطلب را که در اکثر مطالعات مربوط به ارزشیابی

جدول ۱- مشخصات جمعیت‌های گیاه دارویی ختمی خبازی (*M. sylvestris* L.)Table 1- Specification of the population of *M. sylvestris* L.

ردیف Row	محل جمع آوری Origin		موقعیت جغرافیایی Geographic Situation		
	شهر City	استان Province	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)
1	مشهد Mashhad	خراسان رضوی Khorasan Razavi	36, 20', 9.8''	59, 32', 40''	1050
2	بندرعباس Bandar Abbas	هرمزگان Hormozgan	27, 11', 43''	56, 17', 1.4''	25
3	تربت‌حیدریه Torbat Heydariyeh	خراسان رضوی Khorasan Razavi	35, 16', 56.6''	59, 13', 16.8''	1365
4	فریمان Fariman	خراسان رضوی Khorasan Razavi	35, 16', 56.6''	59, 13', 16.8''	1404
5	زرند Zarand	کرمان Kerman	30, 48', 38.7''	56, 33', 57.09''	1657
6	رودبار Rudbar	کرمان Kerman	28, 2', 19.5''	57, 59', 13.8''	488
7	جیرفت Jiroft	کرمان Kerman	28, 40', 46.8''	57, 44', 43.11''	680
8	خرمدشت Khorramdasht	تهران Tehran	35, 43', 20.8''	51, 15', 49.4''	1277
9	زابل Zabol	سیستان و بلوچستان Sistan va Baluchestan	31, 1', 51.07''	61, 29', 49.8''	482

W برابر با وزن تر نمونه برگ است.

صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده

صفات کلروفیل a (رابطه شماره ۱)، کلروفیل b (رابطه شماره ۲) و کارتنوئید (رابطه شماره ۳) به روش آرنون (Arnon, 1965) و با استفاده از معادلات زیر صورت گرفت. میزان جذب نمونه‌ها برای کلروفیل a و b و کارتنوئید به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ با استفاده از اسپکتروفتومتر (ساخت آمریکا، شرکت Unico و مدل UV-2100) صورت گرفت.

(۱)

$$\text{Chlorophyll a} = (12.7 (A663)) - ((2.69) (A645))$$

$$(V/1000(W))$$

(۲)

$$\text{Chlorophyll b} = (22.9(A645)) - (4.88(A663))$$

$$(V/1000(W))$$

(۳)

$$\text{Carotenoides} = A480 + (0/114(A663) - (0/638(A645))$$

در روابط فوق A شدت جذب در طول موج‌های مربوط برحسب نانومتر است. در این رابطه، V برابر با حجم محلول و

اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات محلول و پروتئین کل

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و کربوهیدرات محلول به روش کلس و آنسل (Keleş and Öncel, 2002) و پروتئین به روش بردفورد (Bradford, 1976) انجام شد.

تجزیه آماری داده‌ها

به منظور محاسبه ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورفولوژیک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری صفات با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9 و Excel انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل تجزیه واریانس نشان داد که اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی از لحاظ صفات مورفولوژیکی و

رشد و عملکرد گیاهان در اکوسیستم‌ها، تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر نوع گونه، اقلیم منطقه، محیط خاک، ارتفاع از سطح دریا و موقعیت جغرافیایی قرار دارد. تنوع زیاد صفات مورد مطالعه در جمعیت‌های مورد بررسی نشان‌دهنده این است که انتخاب تک ژنوتیپ‌ها برای اصلاح جامعه گیاهی از لحاظ صفات مورد مطالعه مؤثر خواهد بود (Omidbeigi, 1996). در کل می‌توان گفت که وجود اختلاف معنی‌دار بین صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بیانگر وجود تنوع ژنتیکی است که اولین گام در اصلاح و استفاده بهینه از ژنوتیپ بومی است (Shaykh and Bazi, 2013). در تحقیق حاضر نیز مشخص شد که اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی از لحاظ صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی دارای اختلافات گوناگون و تنوع زیادی هستند.

در بررسی ویژگی‌های مورفولوژی دو اکوتیپ پونه، مشخص شده که بین اکوتیپ‌های مختلف به لحاظ ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد ساقه‌های جانبی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است (Abbaszadeh *et al.*, 2012). همچنین در تحقیقی دیگر، مشخص شده است اثر ارتفاع گیاه و نوع اکوتیپ به‌طور معنی‌داری خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گزنه را تحت تأثیر قرار داده و از طرفی نیز طول برگ، عرض برگ و لندام هوایی گیاه با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش یافته است (Najarfiruzjaie *et al.*, 2014). در تحقیق حاضر مشخص شد گیاهانی که دارای شاخ و برگ بیشتر بودند الزاماً مواد فیتوشیمیایی بیشتری نداشتند اما گیاهانی که دارای وزن خشک و تر ریشه بیشتر و همچنین طول ریشه بیشتر بودند، دارای مواد فیتوشیمیایی بیشتر نیز بودند که می‌تواند به این دلیل نیز باشد که گیاهانی که طول ریشه بیشتر داشتند با جذب مواد غذایی بیشتر، توانستند ثبات بیشتری در تولید مواد شیمیایی داشته است.

پرویلین یکی از اسیدآمین‌های فعال در پدیده اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد و گزارش‌هایی نیز بر وجود همبستگی مثبت بین انباشت پرویلین و سازش به شرایط تنش اسمزی و خشکی در گیاهان ذکر شده است (Babaie *et al.*, 2010; Larkunthod *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018). در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد بیشترین انباشت پرویلین را داشته و بر اساس همبستگی

فیتوشیمیایی متفاوت بوده‌اند ($P < 0.01$) (جدول‌های ۲ و ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد اکوتیپ مشهد از نظر صفات قطر ساقه، طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، اکوتیپ رودبار از نظر وزن تر لندام هوایی، اکوتیپ بندرعباس از نظر وزن تر و خشک لندام هوایی، تعداد برگ در بوته، تعداد گل، تعداد بذر و تعداد گل، اکوتیپ تربت‌حیدریه از نظر تعداد گل و تعداد بذر در بوته دارای برتری معنی‌دار نسبت به سایر ارقام بودند (جدول ۴).

بیشترین ارتفاع ساقه (۴۰/۵۵ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ جیرفت و کمترین میزان ارتفاع ساقه (۱/۸۱ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ مشهد بود. افزایش ارتفاع در گیاهان به دلیل تشکیل برگ‌های بیشتر باعث افزایش جذب نور خورشید شده و از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی موجب محصول دهی بهتر می‌شود (Feizi and Fahmideh, 2017). بیشترین قطر ساقه (۹/۵۸ میلی‌متر) متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین قطر ساقه (۳/۵۴ میلی‌متر) متعلق به اکوتیپ زابل بود. بیشترین طول ریشه با ۶۱/۲۲ سانتی‌متر متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین طول ریشه با ۹/۵۵ سانتی‌متر متعلق به اکوتیپ رودبار بود (جدول ۴).

بیشترین مقدار وزن تر و وزن خشک ریشه متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین مقدار متعلق به اکوتیپ جیرفت بود. بیشترین مقدار وزن تر گیاه در اکوتیپ رودبار و کمترین مقدار در اکوتیپ خرم‌دشت مشاهده شد. بیشترین مقدار وزن خشک گیاه و تعداد برگ در بوته، متعلق به اکوتیپ بندرعباس و کمترین آن متعلق به خرم‌دشت بود. بیشترین تعداد گل و تعداد بذر در بوته نیز در اکوتیپ‌های بندرعباس و تربت‌حیدریه مشاهده شد و کمترین آن متعلق به اکوتیپ جیرفت و فریمان بود (جدول ۴).

آزمون دانکن نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در اکوتیپ فریمان، کمترین میزان کلروفیل b در اکوتیپ‌های مشهد و رودبار، کمترین میزان کارتنوئید در اکوتیپ بندرعباس، بیشترین میزان پرویلین و کربوهیدرات به ترتیب در اکوتیپ‌های مشهد و رودبار، کمترین میزان پرویلین در اکوتیپ زابل، کمترین میزان کربوهیدرات در اکوتیپ تربت‌حیدریه، بیشترین میزان پروتئین کل در اکوتیپ جیرفت و کمترین میزان پروتئین کل در اکوتیپ‌های فریمان، تربت‌حیدریه، بندرعباس و خرم‌دشت مشاهده شد (جدول ۵).

پرولین و قندهای محلول در لندام‌های هوایی گردید (Lotfi *et al.*, 2014). همچنین گزارش شده که طول ریشه با پرولین گیاه همبستگی مثبت داشته (Babaie *et al.*, 2010) در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد، پرولین بیشتری داشت از طرفی دیگر طول ریشه بیشتری نیز نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشته است.

بین پرولین و تحمل به خشکی، می‌توان گفت این اکوتیپ متحمل به خشکی خواهد بود هر چند جهت اثبات این قضیه، بایستی آزمایش‌های تکمیلی صورت گیرد. از طرفی بین پرولین و تنش خشکی همبستگی بوده به طوری که گزارش شده تنش خشکی بر بیشتر صفات مورفولوژیک و عملکرد سرشاخه گل‌دار و برگ اثر منفی داشته اما موجب افزایش طول ریشه، میزان

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 2- Analysis of variance of morphological traits in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع اندام هوایی Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول ریشه Root length	وزن تر ریشه Root wet weight	وزن خشک ریشه Plant dry weight	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers	تعداد بذر در بوته Number of seeds
اکوتیپ Ecotype	8	2798.73**	41.77**	2174.75**	305.85**	21.85**	346.99**	9.78**	734.92**	151.38**	114.25**
خطا Error	72	23.27	2.3584	34.23	4.490	0.3978	20.674	1.1134	40.867	23.679	13.290

**؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۱

**؛ significant at the level of 0.01

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 3- Analysis of variance of physiologic traits in different *M. sylvestris* genotypes

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chlorophyll-a	کلروفیل b Chlorophyll-b	کارتنوئید Carotenoids	پروتئین کل Total Protein	کربوهیدرات Carbohydrate	پرولین Proline
اکوتیپ Ecotype	8	0.0943*	0.0250**	0.0598**	0.0213**	0.1655**	0.803**
خطا Error	18	0.0299	0.0031	0.0094	0.0010	0.0179	0.0029
CV	-	14.69	12.01	8.44	14.58	9.04	13.20

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

** and * significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively

پرولین (Sreevalli *et al.*, 2000) Petriwinkle medicina L. و قندهای محلول افزایش یافته و این افزایش غلظت اسمولیت‌های سازگار مانند کربوهیدرات و پرولین تحت تأثیر تنش محیطی مانند خشکی نیز به اثبات رسیده است (Heidari and Karami, 2014). به نظر می‌رسد که تجمع ترکیباتی همانند پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه تحت

در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم‌آبی چندین اسیدآمینو افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی فقط اسیدآمینو پرولین بیشتر تجمع و ذخیره شده و در مطالعاتی با افزایش تنش خشکی در بادرنجبویه (Ardekani *et al.*, 2007)، بادرنجبویه (Safikhani, 2006) مریم‌گلی (Bettaieb *et al.*, 2009)، Cymbopogon martinii (Fatima *et al.*, 1999) و

ضرب همبستگی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد مطالعه

ضرایب همبستگی ساده بین صفات ارزیابی مورد مطالعه، محاسبه شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که بین تعداد برگ با ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی، همبستگی مثبت و معنی‌دار، درحالی‌که بین تعداد برگ با وزن تر اندام هوایی همبستگی منفی و معنی‌دار بوده است. تعداد بذر با وزن تر ریشه و قطر ساقه و وزن خشک ریشه اثر منفی و معنی‌داری را دارا بود. تعداد بذر با وزن خشک اندام هوایی و تعداد گل اثر همبستگی مثبت و معنی‌داری را داشته است.

تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند (Good and Zaplachinski, 1994)؛ اما در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد هر چند نسبت به اکوتیپ ختمی خبازی بندرعباس در رتبه دوم وزن تر اندام‌های بوده اما بر اساس تمامی صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده بیشترین مقدار داشته است یعنی تجمع ترکیباتی همانند پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه نتوانسته عملکرد گیاه را کاهش دهد که می‌تواند به علت طول ریشه و قطر ساقه بیشتر این اکوتیپ نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دانست.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژی در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 4- Mean comparison of the morphological traits in different *M. sylvestris* L. ecotypes

اکوتیپ Ecotype	ارتفاع اندام هوایی Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (m)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر ریشه Root wet weight (g)	وزن خشک ریشه Plant dry weight (g)	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight (g)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers	تعداد بذر در بوته Number of seeds
زابل Zabol	33.66b	3.54d	13.44ef	1.18ef	0.47de	18.18c	4.08b	30.66ab	20.11a	17.11b
بندرعباس Bandar Abbas	36.77ab	3.93d	15.00f	0.62f	0.27de	24.23a	5.64a	30.77a	23.77a	20.55a
جیرفت Jiroft	40.55a	3.75d	17.22de	0.48f	0.20e	19.02bc	3.72bc	22.88c	14.33b	12.33c
رودبار Rudbar	33.55b	4.14cd	9.55f	0.65f	0.27de	25.49a	3.14bcd	24.00c	14.22b	12.11c
زرند Zarand	3.61c	5.51c	21.88cd	5.62bc	2.23bc	13.63d	2.25d	12.00d	20.11a	17.11b
تربت حیدریه Torbat	3.33c	3.88d	23.44c	3.16de	0.82d	10.41de	2.84cd	8.22d	23.77a	20.55a
Heydariyeh فریمان Fariman	2.27c	7.74b	29.22b	6.85b	2.70b	18.44c	3.55bc	24.44c	14.33b	12.33c
مشهد Mashhad	1.81c	9.58a	61.22a	18.86a	4.84a	23.23ab	3.37bc	24.66bc	14.22b	12.11c
خرمدشت Khorramdasht	3.55c	3.71d	32.66b	4.69cd	1.69c	7.59e	2.23d	7.44d	20.11a	17.11b

میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are statistically not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 5- Mean comparison of physiological traits in different *M. sylvestris* ecotype

اکوتیپ Ecotype	کلروفیل A Chlorophyll-A(mg/mL)	کلروفیل B Chlorophyll-B(mg/mL)	کارتنوئید Carotenoids (mg/mL)	پروتئین کل Total Protein (mg/mL)	کربوهیدرات Carbohydrate (mg/mL)	پرولین Proline (mg/mL)
زابل Zabol	0.877bcd	0.429cdef	1.114bc	0.237b	1.350def	0.154f
بندرعباس Bandar Abbas	0.937bcd	0.401def	0.975c	0.143c	1.748ab	0.456cd
جیرفت Jiroft	0.907bcd	0.565ab	1.136bc	0.369a	1.625abc	0.401d
رودبار Rudbar	0.862cd	0.492bcd	1.222b	0.271b	1.850a	0.552ab
زرنند Zarand	0.754d	0.390ef	1.076bc	0.243b	1.570bcd	0.501bc
تربت حیدریه Torbat Heydariyeh	0.902bcd	0.465cde	1.129bc	0.180c	1.125f	0.233ef
فریمان Fariman	1.330a	0.634a	1.481a	0.136c	1.427cde	0.554ab
مشهد Mashhad	1.166ab	0.345f	1.067bc	0.238b	1.315ef	0.614a
خرمدشت Khorramdasht	1.056cd	0.512bc	1.135bc	0.133c	1.305ef	0.254e

میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are statistically not significant

رگرسیون بر روی صفات طول ریشه، وزن خشک گیاه و وزن تر گیاه و صفت فیزیولوژیک محتوای پرولین از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. پس از بررسی هم‌راستایی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده صفات مزاحم از ادامه محاسبات حذف و پس از آن تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بر روی سایر صفات انجام شد. در این مدل مقدار آلفا برای ورود و خروج متغیرها از مدل رگرسیون به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام اثر صفات بر عملکرد وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه و طول ریشه و به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد که در وزن تر گیاه شش صفت ارتفاع گیاه از طوقه، طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک گیاه، تعداد برگ در بوته و تعداد گل به ترتیب وارد مدل شدند و در وزن خشک گیاه پنج صفت طول ریشه، وزن تر ریشه، تعداد برگ در بوته، تعداد بذر در بوته و وزن تر گیاه به ترتیب وارد مدل شدند و در طول ریشه چهار صفت به ترتیب قطر ساقه، وزن تر ریشه، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه وارد مدل شدند (معادله ۱).

ضرایب معادله مذکور، تأثیر نسبی تغییرات هر یک از

با تعیین ضریب همبستگی مشخص شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن تر ریشه با وزن خشک ریشه ($r=0/96$)، وزن تر گیاه با وزن خشک گیاه ($r=0/73$)، تعداد بذر در بوته با تعداد گل ($0/91$)، وزن خشک ریشه با قطر ساقه ($0/78$)، تعداد برگ در بوته با وزن خشک ($r=0/79$) وجود دارد. ارتفاع گیاه از طوقه با وزن خشک ریشه ($-0/66$)، وزن تر ریشه ($-0/59$)، طول ریشه ($-0/61$) و همچنین با قطر ساقه ($-0/45$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشته است.

بین کارتنوئید با کلروفیل a ($0/612$) و کلروفیل b ($0/782$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین کلروفیل a و کلروفیل b ($0/532$) و همچنین بین پرولین و کربوهیدرات ($0/404$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین صفات پرولین، کربوهیدرات و پروتئین کل با کلروفیل a و کلروفیل b همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷).

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام

به منظور حذف اثر صفات غیر مؤثر یا کم تأثیر در مدل

متغیرهای موجود در مدل را بر وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه و طول ریشه نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، طبق ضرایب این معادله، تغییر وزن تر گیاه به ازای هر واحد تغییر ارتفاع گیاه از طوقه ۰/۰۹ واحد است درحالی‌که به ازای هر واحد افزایش یا کاهش طول ریشه ۰/۲۷ واحد خواهد بود.

جدول ۶- مقادیر ضرایب همبستگی صفات در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 6- Amounts of traits correlation coefficient in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	ارتفاع اندام هوایی Plant height(cm)	قطر ساقه Stem diameter(mm)	طول ریشه Root length(cm)	وزن تر ریشه Root fresh weight(g)	وزن خشک ریشه Plant dry weight(g)	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight(g)	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight(g)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers
قطر ساقه Stem diameter	-0.45**								
طول ریشه Root length	-0.061**	0.64**							
وزن تر ریشه Root fresh weight	-0.59**	0.75**	0.94**						
وزن خشک ریشه Root dry weight	-0.66**	0.78**	0.89**	0.96**					
وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight	0.51**	0.25*	-0.02 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.07 ^{ns}				
وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight	0.52**	0.02 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.73**			
تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	0.59**	0.14 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.87**	0.79*		
تعداد گل Number of flowers	0.07 ^{ns}	-0.26*	-0.19 ^{ns}	-0.24*	-0.24*	-0.05 ^{ns}	0.30**	0.06 ^{ns}	
تعداد بذر در بوته Seed number	0.05 ^{ns}	-0.30**	-0.20 ^{ns}	-0.25*	-0.27*	-0.12 ^{ns}	0.25*	0.01 ^{ns}	0.91**

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

** and * significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively; ns none-significant

جدول ۷- مقادیر ضرایب همبستگی صفات در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 7- Amounts of traits correlation coefficient in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	کلروفیل a Chlorophyll-a	کلروفیل b Chlorophyll-b	کارتنوئید Carotenoids	پروتئین کل Total Protein	کربوهیدرات Carbohydrate
کلروفیل b Chlorophyll-b	0.532**				
کارتنوئید Carotenoids	0.612**	0.783**			
پروتئین کل Total Protein	-0.355 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	-0.979 ^{ns}		
کربوهیدرات Carbohydrate	-0.231 ^{ns}	0.037 ^{ns}	-0.061 ^{ns}	0.283 ^{ns}	
پرولین Proline	0.285 ^{ns}	-0.021 ^{ns}	0.205 ^{ns}	0.113 ^{ns}	0.404*

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

** and * significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively; ns none-significant

بیشترین اثر روی طول ریشه بودند و ۰/۹۲ درصد تغییرات این صفت را توجیه کردند. طول ریشه و وزن تر ریشه و تعداد برگ

نتایج ضرایب رگرسیون گام‌به‌گام (معادله ۱) نشان داد که قطر ساقه، وزن تر ریشه، وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه دارای

معادله ۲- مقادیر ضرایب رگرسیونی متغیرهای

وارد شده به مدل رگرسیون گام به گام صفات فیزیولوژیک

$$\begin{aligned} & - \text{ (کلروفیل a) } = 0/42440 + 0/60102 - \text{ پرولین} \\ & \text{ (کارتنوئید) } = 0/4750 + \text{ (کلروفیل b) } + 1/16193 \\ & \text{ (پروتئین) } = 0/399 + \text{ (کربوهیدرات) } + 0/3467 \end{aligned}$$

اگرچه عملکرد اکثر گیاهان به ویژه گیاهان دارویی طی ده‌های گذشته افزایش یافته است، ولی فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی زمینه‌ساز این افزایش عملکرد به خوبی شناخته نشده‌اند (Tollenaar, 1991). برخی محققین به همبستگی مثبت صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد گیاهان دارویی پونه (*Mentha pulegium*)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) و آویشن (*Thymus vulgaris*) اشاره کردند (Kültür, 2007; MirzaeeNadooshan et al., 2001) از طرفی اگر منابع افزایش عملکرد گیاهان دارویی شناخته شوند ممکن است بتوان راه‌هایی را برای بهبود مدیریت زراعی و تغذیه‌ای مشخص نمود (O'Connor, 2019)، بر این اساس مطالعه تنوع در گیاهان خانواده پنیرکیان از جمله ختمی خبازی نه تنها اطلاعات مفیدی درباره حفظ اکوتیپ‌های آن فراهم می‌کند بلکه می‌تواند به منظور ارزیابی جمع‌آوری و کاربرد ژرم پلاسما این گیاهان در برنامه‌های اصلاحی و تولید تجاری مفید باشد.

نتیجه گیری کلی

در نتایج تجزیه همبستگی و رگرسیون گام به گام گیاه دارویی ختمی خبازی بیشترین ضرایب مثبت رگرسیون عملکرد صفت پرولین، صفت وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بر عملکرد طول ریشه داشتند که نشانگر نقش اساسی تر این صفات در افزایش عملکرد و قابلیت اصلاحی این صفات می‌باشند. در مجموع در مطالعه حاضر نشان داد که صفت مربوط به ریشه در جمعیت ختمی خبازی مشهود تأثیر مهمی در عملکرد نهایی داشته و اکوتیپ مشهود نیز مطلوب‌ترین بازده را از نظر صفات مورد ارزیابی نشان داده که به دلیل داشتن عملکرد بالا در این صفات برای بهره‌برداران نظیر مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و بخش‌های خصوصی که به امر کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی مبادرت دارند این اکوتیپ قابل توصیه است.

در بوته، تعداد بذر در بوته و وزن گیاه دارای بیشترین اثر در وزن خشک گیاه بودند و ۰/۷۶ درصد تغییرات این صفت را توجیه کردند همچنین ارتفاع گیاه از طوقه، طول ریشه و وزن تر ریشه، وزن خشک گیاه، تعداد برگ در بوته و تعداد گل دارای بیشترین اثر در وزن تر گیاه بودند و ۰/۸۴ درصد تغییرات این صفات را توجیه کردند.

نتایج این تجزیه گام به گام نشان داد که بیشترین اثر مستقیم و مثبت مربوط به صفت وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بر عملکرد طول ریشه داشت و قطر ساقه و وزن تر گیاه اثر منفی را بر روی طول ریشه داشت. منفی بودن وزن تر گیاه و قطر ساقه بر صفت طول ریشه مؤید این امر است که با افزایش طول ریشه قطر ساقه و وزن گیاه با کاهش مواجه می‌شود. طول ریشه و تعداد برگ در بوته و تعداد بذر در بوته و وزن گیاه اثر مثبت و وزن تر ریشه اثر منفی را بر روی وزن خشک گیاه داشت همچنین ارتفاع از طوقه گیاه و وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه و تعداد برگ در بوته و تعداد گل اثر مثبت و طول ریشه اثر منفی را بر روی عملکرد وزن تر گیاه داشت. منفی بودن طول ریشه بر صفت وزن تر گیاه مؤید این امر است که با افزایش وزن تر گیاه طول ریشه کاهش می‌یابد.

تجزیه رگرسیون برای عملکرد پرولین به عنوان متغیر تابع نتایج نشان داد که ۵ صفت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کربوهیدرات و پروتئین به ترتیب وارد مدل شدند و جمعاً ۰/۵۱ درصد از تغییرات صفت پرولین را توجیه نمودند (معادله ۲). با توجه به ضرایب رگرسیون به دست آمده مشاهده می‌شود که بیشترین ضرایب رگرسیون مربوط به صفت کارتنوئید است.

معادله ۱- مقادیر ضرایب رگرسیونی متغیرهای

وارد شده به مدل رگرسیون گام به گام صفات مورفولوژیک

$$\begin{aligned} & 0.27 - \text{ (ارتفاع از طوقه گیاه) } = 8.64 + 0.09 \text{ = وزن تر گیاه} \\ & \text{ (وزن خشک گیاه) } = 1.73 + \text{ (وزن تر ریشه) } + 1.02 \text{ (طول ریشه)} \\ & \text{ (تعداد گل) } = 0.14 + \text{ (تعداد برگ در بوته) } + 0.29 \\ & 0.16 - \text{ (طول ریشه) } = -1.14 + 0.05 \text{ = وزن خشک گیاه} \\ & \text{ (تعداد بذر) } = 0.07 + \text{ (تعداد برگ در بوته) } + 0.05 \text{ (وزن تر ریشه)} \\ & \text{ (وزن گیاه) } = 0.09 + \text{ (در بوته)} \\ & \text{ (وزن تر) } = 2.092 + \text{ (قطر ساقه) } - 0.82 - 17.84 \text{ = طول ریشه} \\ & \text{ (وزن خشک گیاه) } = 1.76 + \text{ (وزن تر گیاه) } - 0.48 \text{ (ریشه)} \end{aligned}$$

References

- Abbaszadeh, B., Rezaee, M. and Layegh haghghi, M., 2012. Investigation Morphological Characteristics and Essential Oil Component of 2 Ecotypes of Watermint (*Mentha aquatica* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 1, pp.248-257. doi: **20.1001.1.2717204.2012.11.41.33.9**
- Alemzadeh Ansari, N., Safaiyan, N., Mousavi, M. and Beiranvand, Z., 2014. Evaluation of genetic diversity some of Iranian parsley native populations using morphological characteristics and physiological properties. *Applied Crop Breeding*, 2, pp.139-152.
- Ardekani, M.R., Abbaszadeh, B., Sharifi-Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H. and Paknejad, F., 2007. The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23, pp.251-261. [In Persian]
- Arnon, D.I., 1965. Ferredoxin and Photosynthesis: An iron-containing protein is a key factor in energy transfer during photosynthesis. *Science*, 149(3691), pp.1460-1470. doi: **10.1126/science.149.3691.1460**
- Azooz, M., 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, pp.343-350. doi: **09-039/caj/2009/11-4-343-350**
- Babaie, K., Aminidehghi, M., Modares Sanavi, A., and Jabari, R., 2010. Effect of drought stress on morphological traits, proline content and thymol percentage in Thyme. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26, pp.239-251. [In Persian]. doi: **10.22092/ijmapr.2010.6939**
- Babalar, M., Khoshokhan, F., Fattahi Moghaddam, M.R. and Pourmeidani, A., 2013. An Evaluation of the Morphological Diversity and Oil Content in some Populations of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44, pp.119-128. [In Persian]. doi: **10.22059/ijhs.2013.35045**
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205-207. doi: **10.1007/bf00018060**
- Beghdad, M.C., Benammar, C., Bensalah, F., Sabri, F.-Z., Belarbi, M. and Chemat, F., 2014. Antioxidant activity, phenolic and flavonoid content in leaves, flowers, stems and seeds of mallow (*Malva sylvestris* L.) from North Western of Algeria. *African Journal of Biotechnology*, 13, pp.486-491. doi: **10.5897/ajb2013.12833**
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannas, W.A., Kchouk, M. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120, pp.271-275. doi: **10.1016/j.scienta.2008.10.016**
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, pp.248-254.
- Davari, A., Solouki, M. and Fazeli-Nasab, B., 2018. Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 5, pp.1-20.
- Fatima, S., Abad Farooqi, A., Ansari, S. and Sharma, S., 1999. Effect of water stress on growth and essential oil metabolism in *Cymbopogon martinii* (palmarosa) cultivars. *Journal of Essential Oil Research*, 11, pp.491-496.

doi: 10.1080/10412905.1999.9701193

- Fazalienasab, B., Omidi, M. and Amiritokaldani, M. 2004. Effects of abscisic acid on callus induction and regeneration of different wheat cultivars to mature embryo culture. *News directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Brisbane, Australia*, 26.
- Fazeli-nasab, B. and Fooladvand, Z. 2016. A Review on Iranian *Carum copticum* (L.): Composition and Biological Activities. *European Journal of Medicinal Plants*, 12, pp.1-8.
- Feizi, M. and Fahmideh, L., 2017. Evaluation of agronomic traits and Yield Potential Diversity Inbred Wheat Inbred Lines *Triticum aestivum* L. Derived from Roshan×Falat Cultivar. *Journal of Crop Breeding*, 8, pp.30-24. **doi: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.3.0**
- Gajera, H., Tomar, R., Patel, S., Viradia, R. and Golakiya, B. 2011. Comparison of RAPD and ISSR markers for genetic diversity analysis among different endangered *Mangifera indica* genotypes of Indian Gir forest region. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 20, pp.217-223. **doi: 10.1007/s13562-011-0049-2**
- Good, A.G. and Zaplachinski, S.T., 1994. The effects of drought stress on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90(1), pp.9-14. **doi: 10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x**
- Hammad, I. 2009. Genetic variation among *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvaceae) of different flower colors using ISSR and isozymes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, pp.113-125.
- Heidari, M. and Karami, V., 2014. Effects of different *mycorrhiza* species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13, pp.9-13. **doi: 10.1016/j.jssas.2012.12.002**
- Javidnia, K., Miri, R., Kamalinejad, M. and Nasiri, A., 2002. Composition of the essential oil of *Salvia mirzayanii* Rech. f. & Esfand from Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, 17, pp.465-467. **doi: 10.1002/ffj.1128**
- Kashefi, B. and Bahri, F., 2019. The effect of drought stress and hexaconazole on physio-morphological characteristics of *Malva sylvestris* L. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, pp.877-887. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2019.1591.1360**
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J. and Serraj, R., 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. *Field Crops Res*, 95, pp.171-181. **doi: 10.1016/j.fcr.2005.02.012**
- Keleş, Y. and Öncel, I., 2002. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163(4), pp.783-790. **doi: 10.1016/s0168-9452(02)00213-3**
- Kültür, Ş., 2007. Medicinal plants used in Kırklareli province (Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 111, pp.341-364. **doi: 10.1016/j.jep.2006.11.035**
- Larkunthod, P., Nounjan, N., Siangliw, J.L., Toojinda, T., Sanitchon, J., Jongdee, B. and Theerakulpisut, P., 2018. Physiological responses under drought stress of improved drought-tolerant rice lines and their parents. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46, pp.679-687. **doi: 10.15835/nbha46211188**
- Li, J., Phan, T.-T., Li, Y.-R., Xing, Y.-X. and Yang, L.-T., 2018. Isolation, Transformation and Overexpression of

- Sugarcane SoP5CS Gene for Drought Tolerance Improvement. *Sugar Tech*, 20, pp.464-473. **doi: 10.1007/s12355-017-0568-9**
- Lotfi, M., Abbaszadeh, B. and Mirza, M., 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 30, pp.19-29. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2014.5266**
- MirzaeeNadooshan, H., Rezaie, M.B. and Jaimand, K., 2001. Path analysis of the essential oil-related characters in *Mentha* spp. *Flavour and Fragrance Journal*, 16, pp.340-343. **doi: 10.1002/ffj.1007**
- Mustafa, A. and Ali, M., 2011. New steroidal lactones and homomonoterpenic glucoside from fruits of *Malva sylvestris* L. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 68, pp.393-401.
- Najarfiruzjaie, M., Hemati, K., Khorasaninejad, S., khani, A.D.G. and Fard, A.B., 2014. The effects of altitude on morphological characteristics and biochemical plant leaf *Urtica dioica* L. In Mazandaran and Golestan. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 9, pp.1-11. [In Persian]. **doi: 10.22092/jmpb.2020.343520.1232**
- Noroozi, M. and Kazemeini, S.A., 2013. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, pp.781-788. [In Persian].
- O'Connor, K. 2019. Selection strategies to improve yield in macadamia using component traits and genomics (A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland, 186 Pages).
- Omidbeigi, R., 1996. *Approaches to the production and processing of medicinal plants*, Vol 1 (Tehran: Fekrerroz). [In Persian].
- Omidbeigi, R., 2012. *Production and processing of medicinal plants*, 6 edn (Tehran). [In Persian].
- Pakravan, M., 2006. New findings of the genus *Malva* L. in Iran. *Iranian Journal of Botany*, 11, pp.247-249.
- Paykarestan, B., Seify, M., Anajafi, M. and Chavoshi, S., 2012. Effect of mint essence and ultraviolet on thyme and hock seed germination. *Journal of New Finding in Agricultural*, 6, pp.215-220. [In Persian].
- Razavi, M., Zarrini, G., Molavi, G. and Ghasemi, G., 2011. Bioactivity of *Malva Sylvestris* L., a Medicinal Plant from Iran. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14, pp.574-579.
- Sachdeva, S., Bharadwaj, C., Sharma, V., Patil, B., Soren, K., Roorkiwal, M., Varshney, R. and Bhat, K., 2018. Molecular and phenotypic diversity among chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes as a function of drought tolerance. *Crop Pasture Sci*, 69, pp.142-153. **doi: 10.1071/cp17284**
- Safikhani, F. 2006. Investigation on physiological resistance aspects under drought stress of *Dracocephalum moldavica* L (Chamran University). Ph.D. Thesis, Chamran University. 352 pp. [In Persian].
- Seyyednejad, S.M., Yusefi, M., Vaezi, J. and Karamizadeh, F., 2013. Air Pollution Effect on Physiological, Anatomical and Morphological Characteristics of Two Plant Species *Malva Parviflora* and *Hordeum Glaucum* in Steel Factory Area in Ahvaz. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 35, pp.105-116.
- Shale, T., Stirk, W. and Van Staden, J., 2005. Variation in antibacterial and anti-inflammatory activity of different growth forms of *Malva parviflora* and evidence for synergism of the anti-inflammatory compounds. *Journal of Ethnopharmacology*, 96, pp.325-330. **doi: 10.1016/j.jep.2004.09.032**

- Shaykh, F. and Bazi, H. 2013. Investigation on the variation of indigenous populations of squash in Golestan province. In National Symposium on Natural Products and Medicinal Plants. [In Persian].
- Shoshtariyan, S., Ghahramanlo, A., Izadidarbandi, E. and Alirezaienoghondar, M., 2010. Effect of cropping pattern (cultivar distance) on yield of bacon bacon. *National Conference on Medicinal Plants and Recognition of its Economic Potential and its Occupation, Islamic Azad University, Birjand Branch*, [In Persian].
- Singh, S. 2003. Cluster analysis for heterosis in wheat [*Triticum aestivum* (L.) em. Theil.]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 63, pp.249-250.
- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. and Kulkarni, R., 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Agricultural and Food Sciences*. 22, pp.356-358.
- Stachel, M., Lelley, T., Grausgruber, H. and Vollmann, J. 2000. Application of microsatellites in wheat (*Triticum aestivum* L.) for studying genetic differentiation caused by selection for adaptation and use. *Theoretical and applied genetics*, 100, pp.242-248. doi: 10.1007/s001220050032
- Tollenaar, M., 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science*, 31, pp.119-124. doi: 10.2135/cropsci1991.0011183x003100010029x
- Zouari, M., Elloumi, N., Ahmed, C.B., Delmail, D., Rouina, B.B., Abdallah, F.B. and Labrousse, P., 2016. Exogenous proline enhances growth, mineral uptake, antioxidant defense, and reduces cadmium-induced oxidative damage in young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Ecological Engineering*, 86, pp.202-209. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.016

The use of morphological and physiological characteristics and regression step by step to the evaluation of the different ecotypes of Iranian Malva (*Malva sylvestris* L.)

Anahita Pahlavan¹, Mahmoud Solouki², Baratali Fakhri², Bahman Fazeli-Nasab^{3*}

¹ Department of Horticultural, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: bfazelinasab@gmail.com

Received: 13 April 2022

Accepted: 29 May 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.226842.1067

Abstract

Introduction: *Malva sylvestris*, commonly known as the common mallow, is a flowering plant species in the genus Malva. It is native to Europe, North Africa, and Western Asia, and has been introduced to other parts of the world. The plant has been known since ancient times and is considered the "type-species" for the genus. The leaves are edible and the plant (and seeds) are used as herbal remedies. *Malva sylvestris* is either a perennial or biennial plant. It spreads readily from seed and can self-seed prolifically. The seeds resemble small wheels or discs. The plant is known to be susceptible to a virus called Malva vein clearing potyvirus, which is transmitted by aphids. It also contains compounds such as malvin, malonylmalvin, and the naphthoquinone malvone A. The aim of this article is to evaluate the various (nine) ecotypes of Iranian *Malva sylvestris* L. by analyzing their morphological and physiological characteristics. By employing a step-by-step regression approach, the study seeks to identify significant traits that differentiate these ecotypes. The research intends to enhance understanding of the adaptive strategies of *Malva sylvestris* in diverse environmental conditions. Ultimately, the findings aim to contribute valuable insights for conservation efforts and the potential use of these ecotypes in horticulture and agriculture. This comprehensive evaluation will also provide a foundation for future studies on the species' ecological adaptability.

Materials and Methods: In this study, 9 ecotypes of *Malva sylvestris* were collected in 2017 from different habitats in Iran (Mashhad, Torbat-e Heydariyeh, Fariman, Zabol, Zarand, Jiroft, Rudbar, Bandar Abbas and Khorramdasht) (Table 1) and identified in the Herbarium of Torbat-e Heydariyeh University. They were then cultivated in a completely randomized design with three replications in late February 2018 in the greenhouse of the Agricultural Research Institute of the University of Zabol and evaluated in May 2019. The seeds of each ecotype were planted in 5-liter pots (after germination and thinning, five plants of each ecotype were kept in each pot) in a growing medium consisting of an equal mixture of agricultural soil, coco peat, perlite, and well-rotted animal manure. Irrigation was calculated based on the temperature conditions in Sistan and the greenhouse, as well as the field capacity of the pot mixture, and was carried out regularly until flowering. At full flowering, the stem diameter and length of three plants from each pot were randomly measured and their means were considered for each treatment. At this stage, the number of flowers with seeds and the number of leaves of each plant were counted. Fresh and dry weights of root, stem and whole plant were measured with a digital scale (0.01 g accuracy). For dry weight measurement, fresh samples were placed in an oven at 70°C for 48 hours. Chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid contents were determined. The absorbance of the samples for chlorophyll a and b and carotenoids was measured at wavelengths of 663, 645 and 470 nm, respectively, using a spectrophotometer. Proline, soluble carbohydrates, and protein were measured. Pearson correlation coefficients were used to calculate simple correlation coefficients between morphological traits. Statistical analysis of traits was performed using SAS Ver. 9 and Excel software, and means were compared by Duncan's method at 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion: The highest stem diameter (9.58 mm), root length (61.22 cm), root weight (18.86 g), root dry weight (4.84 g), and proline content (0.614) belonged to Mashhad ecotype. The number of leaves had a negative and significant correlation with the fresh weight of the plant, while it had a positive and significant correlation with plant height and shoot dry weight. Other traits did not show a significant correlation with the number of leaves per plant. The highest correlation was observed between morphological traits between fresh weight and leaf dry weight ($P < 0.01$) and in phytochemical traits between carotenoid and chlorophyll b ($P < 0.05$). Based on stepwise regression in the presented models, root weight and plant dry weight had the most positive effect on root length, but stem diameter and plant weight had the most negative effect. Chlorophyll b had the most negative and direct effect on proline yield, but chlorophyll a, carotenoids, carbohydrates, and total protein had the most positive effects, respectively. The variance analysis results indicated significant differences among the various ecotypes of *Malva sylvestris* regarding morphological and phytochemical traits ($P < 0.01$) (Tables 2 and 3). Mean comparisons revealed that the Mashhad ecotype excelled in stem diameter, root length, and fresh and dry root weight, while the Rudbar ecotype showed the highest fresh weight in aerial parts. The Bandar Abbas ecotype had superior fresh and dry weights of aerial parts, leaf count, flower count, and seed count, and the Torbat-e Heydariyeh ecotype was notable for flower and seed counts per plant (Table 4). The tallest stem (40.55 cm) was recorded in the Jiroft ecotype, while the shortest (1.81 cm) was from Mashhad. The greatest stem diameter (9.58 mm) belonged to the Mashhad ecotype, and the smallest (3.54 mm) was found in Zabol. Root length also varied, with the Mashhad ecotype having the longest (61.22 cm) and Rudbar the shortest (9.55 cm) (Table 4). The highest fresh and dry root weights were observed in the Mashhad ecotype, while the Jiroft ecotype had the lowest.

Conclusion: In the results of step-wise correlation and regression analysis of the medicinal plant *Malva sylvestris* L., the highest positive regression coefficients for yield were related to the traits of proline content, root fresh weight, and plant dry weight, which indicates their more fundamental role in increasing yield and their potential for improvement. Overall, the present study showed that root-related traits had an important effect on the final yield in the Mashhad population of *Malva sylvestris* L., and the Mashhad ecotype also showed the most desirable performance in terms of the evaluated traits. Due to its high performance in these traits, the Mashhad ecotype is recommended for researchers, universities, and private sectors involved in the cultivation and domestication of medicinal plants.

Keywords: Carotenoid, Morphological Traits, Proline, Root height, Stem diameter