

ارزیابی عملکرد علوفه، کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی

محمد زمانیان^{۱*}، فرید گل‌زردی^۱

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: m.zamanian@areeo.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.369467.1289

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

چکیده

به منظور مقایسه ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در شرایط تنش کم‌آبی، تأثیر دو رژیم آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری) بر عملکرد علوفه، بهره‌وری آب و شاخص‌های تحمل به خشکی پنج ژنوتیپ (پارس، زابل، الشتر، اقلید و هراتی) در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه صفات مورد بررسی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری کامل، اکوتیپ هراتی بیشترین مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک طی سه چین (به ترتیب ۹۱/۱۹ و ۱۳/۰۲ تن در هکتار) را داشت، در حالی که در شرایط کم‌آبیاری حداکثر مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۶۸/۰۷ و ۱۰/۷۹ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل حاصل شد. حداکثر کارایی مصرف آب (۱/۴۵۵) کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب) در سال دوم و توسط اکوتیپ زابل تحت شرایط کم‌آبیاری حاصل شد در حالی که حداقل کارایی (۰/۸۹۹) کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب) در سال اول تحت شرایط آبیاری کامل و در اکوتیپ زابل ثبت گردید. تیمار تنش خشکی در ژنوتیپ‌های پارس، الشتر، اقلید، هراتی و زابل در مقایسه با آبیاری کامل، باعث کاهش عملکرد ماده خشک به ترتیب به میزان ۲۴/۰، ۲۱/۷، ۲۳/۴، ۲۳/۸ و ۱۱/۹ درصد شد. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اکوتیپ زابل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبیاری شناسایی شدند. به طور کلی نتایج نشان داد که در شرایط فراهمی آب آبیاری، اکوتیپ هراتی و در شرایط محدودیت آبی، اکوتیپ زابل برای کشت در مناطق نیمه‌خشک کشور قابل توصیه هستند.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، حساسیت به تنش، علوفه تازه، کم‌آبیاری، ماده خشک

مقدمه

ژنتیکی موجود (به خصوص توده‌های محلی) شناسایی و پتانسیل تولید آن‌ها در شرایط مختلف تعیین شود (Mishra *et al.*, 2018; Khalilian *et al.*, 2022). مطالعات نشان داده است که در بین توده‌های محلی و اکوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بسیاری وجود دارد که می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای توسعه ارقام مقاوم به خشکی استفاده کرد (Panda *et al.*, 2021). بنابراین شناسایی و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، به عنوان یکی از اهداف اصلی به‌نژادگران در مقابله با مشکل کمبود منابع آبی مطرح می‌باشد (Sabouri *et al.*, 2022).

شبدرها متعلق به جنس تریفولیوم جزو مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای خانواده لگومینوز در مناطق معتدل و مرطوب دنیا هستند که از نظر علوفه‌ای و مرتعی دارای ارزش بسیار زیادی می‌باشند و در تغذیه دام‌ها نقش بسزایی دارند (Bakhtiyari *et al.*, 2020; Pourali *et al.*, 2023). بعد از یونجه، شبدرها با ۷۰ هزار هکتار، بیشترین سطح زیر کشت لگوم‌های علوفه‌ای

تغییرات اقلیمی، گسترش خشکسالی‌ها و محدودیت آب آبیاری، باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و تهدید امنیت غذایی در سال‌های اخیر شده است (Nazari *et al.*, 2017; Balazadeh *et al.*, 2021). تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است که اثرات متعددی بر مراحل مختلف رشد و نمو گیاه داشته و نظام‌های کشاورزی و تولید غذا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Baghdadi *et al.*, 2021). از آنجا که کمبود منابع آب آبیاری تولید علوفه را به شدت تحت تأثیر می‌گذارد، ضروری است به راه‌کارهای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و کشت گونه‌ها و ارقام متحمل به خشکی توجه شود (Farhadi *et al.*, 2022). در این راستا شناسایی و اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف آب و بهبود پایداری عملکرد در شرایط مختلف محیطی شود (Pandey and Shukla, 2015). برای تولید ارقام برتر ابتدا لازم است تنوع

توجه به شرایط کم‌آبی و گسترش خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر و همچنین افزایش جمعیت و تقاضای رو به رشد برای محصولات دامی در کشور ضروری است پتانسیل تولید علوفه در اکوتیپ‌های شبدر ایرانی موجود در کشور مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف مقایسه عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب آبیاری ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری انجام شد. یکی دیگر از اهداف این آزمایش ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (۳۵ درجه و ۸۰ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۹۷ دقیقه غربی) طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. رژیم‌های آبیاری در دو سطح (شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری با تأمین به ترتیب ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی شبدر) به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در پنج سطح (رقم پارس و اکوتیپ‌های زابل، الشتر، اقلید و هراتی) به عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی دارای آب و هوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک بود. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت اجرای آزمایش، ابتدا زمین شخم و سپس دو مرتبه دیسک عمود بر هم زده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و نیاز غذایی شبدر، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان آغازگر به خاک اضافه شد و به همراه شخم با خاک مخلوط گردید. فاصله بین تکرارها دو متر و فاصله بین کرت‌های اصلی نیز دو متر در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی شامل چهار خط پنج متری با فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ شهریور هر سال توسط نیروی کارگری با مصرف ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار و عمق کاشت دو سانتی‌متری صورت گرفت. آبیاری با روش جوپچه‌ای و دور هفت روز یک‌بار انجام شد (بر اساس عرف منطقه) و مقدار آب آبیاری مورد نیاز

در کشور را دارند (Zamanian, 2021). شبدرها به علت داشتن ارقام جدید و توده‌های بومی متنوع، سازگار و پرمحصول و امکان استفاده و بهره‌برداری از بارندگی‌های پاییزه (آب سبز)، می‌توانند جایگاه ویژه‌ای در تأمین علوفه موردنیاز کشور داشته باشند (Balazadeh et al., 2021). از مهم‌ترین گونه‌های شبدر که در ایران مورد کشت و کار قرار می‌گیرند می‌توان به شبدر ایرانی، شبدر برسیم، شبدر قرمز و شبدر لاکی اشاره کرد (Zamanian, 2021). شبدر ایرانی گیاهی یکساله و پاییزه، بومی ایران و با کیفیت علوفه بالا است که در زمستان به صورت خوابیده و در بهار به صورت ایستاده رشد می‌کند (Zamanian and Shahverdi, 2017).

تنش خشکی می‌تواند تولید لگوم‌های علوفه‌ای را به شدت تحت تأثیر قرار دهد و منجر به کاهش عملکرد با توجه به شدت و مدت زمان بروز تنش گردد (Liu et al., 2018; Barjas et al., 2022). به خوبی مشخص شده است که لگوم‌های علوفه‌ای در حساسیت به خشکی متفاوت هستند (Liu et al., 2018). تأثیر تنش خشکی بر تولید علوفه لگوم‌های پاییزه هم‌چون شبدر ایرانی و نخود علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد متفاوت است و عملکرد ماده خشک و دانه این گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ates, 2016). گزارش شده است که تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی و دمای بالا رشد و گره‌زایی ریشه در لگوم‌ها را کاهش می‌دهند، مانع از فعالیت نیتروژن‌زایی می‌گردند، و از این طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و عملکرد را کاهش می‌دهند (Lipiec et al., 2013).

طی سال‌های اخیر کم‌آبیاری به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای به حداکثر رساندن کارایی مصرف آب آبیاری مطرح شده است (Karimi Azar et al., 2022). هدف اصلی کم‌آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری یا کاهش دفعات آبیاری می‌باشد (Du et al., 2015). از آنجا که تنش خشکی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی، اثرات متعددی بر مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی داشته و نظام‌های کشاورزی و تولید غذا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Baghdadi et al., 2021)، لازم است ارقام متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شناسایی شوند (Gharibeshghi and Mozafari, 2017). با

در تیمار آبیاری کامل با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Chaichi *et al.*, 2015):

$$I_n = 0.623 \times A \times K_c \times ET_0 \times IE^{-1} \quad (1)$$

که در آن I_n حجم آب آبیاری بر حسب گالن است که در نهایت برای محاسبه میزان آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری به مترمکعب تبدیل شد، A سطح کانوپی در مترمربع که در معادله فوق به فوت مربع تبدیل می‌شود، K_c ضریب گیاهی شبدر، ET_0 تبخیر و تعرق بالقوه هفتگی (برحسب اینچ) و IE راندمان آبیاری (معادل با ۶۵ درصد) است. میزان ET_0 با استفاده از روش Penman-Monteith محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998). مقدار متوسط ضریب گیاهی برای شبدر بر اساس گزارشات فائو استخراج شد. دور آبیاری در همه تیمارها هفت روز یکبار بود و رژیم‌های آبیاری بر اساس میزان آب مصرفی در هر نوبت اعمال شدند. بنابراین در تیمار کم‌آبیاری از ۷۵ درصد آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل استفاده شد. اندازه‌گیری و کنترل دقیق میزان آب مصرفی در هر نوبت با استفاده از کنتور حجمی انجام شد. طی سال اول و دوم مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۱۰۱۲۵ و ۱۱۹۸۵ مترمکعب در هکتار و در تیمار کم‌آبیاری ۷۵۹۴ و ۸۹۸۹ مترمکعب در هکتار بود.

جدول ۱- دما، رطوبت نسبی، میزان تبخیر و بارندگی در مزرعه آزمایشی

Table 1- Temperature, relative humidity, evaporation and rainfall at experimental site

ماه Month	دما Temperature (°C)						رطوبت نسبی Relative humidity (%)		تبخیر Evaporation (mm)		بارندگی Rainfall (mm)	
	حداکثر Maximum		حداقل Minimum		میانگین Mean		۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018
	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018						
شهریور September	32	32	16	17	24	24	34	35	268	266	0	0.81
مهر October	24	23	11	11	17	17	38	53	175	138	4.8	29.12
آبان November	17	13	6	5	11	9	43	73	89	71	0.64	65.91
آذر December	12	11	2	4	7	7	50	62	36	42	4.72	34.32
دی January	9	9	0	0	4	4	54	61	0	0	19.84	61.53
بهمن February	11	10	2	1	6	5	65	56	0	0	30.62	12.23
اسفند March	21	13	8	3	15	8	39	59	0	0	14.11	91.94
فروردین April	20	18	8	7	14	12	51	57	188	115	45.8	41.86
اردیبهشت May	26	28	12	13	18	21	55	44	191	240	57.06	12.03
خرداد June	34	35	17	19	26	28	37	29	334	297	7.23	0.02

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه آزمایشی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۸ و ۱۳۹۷-۹۸

Table 2- Physical and chemical properties of the soil in the experimental field during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons

Year	K P		N	OC	pH	FC	PWP	بافت خاک Soil texture
	(mg kg ⁻¹)							
۱۳۹۶-۱۳۹۷	256	12.6	0.06	0.58	7.2	33	11	لوم رسی
2017-2018								Clay loam
۱۳۹۷-۱۳۹۸	248	12.1	0.05	0.56	7.2	32	10	لوم رسی
2018-2019								Clay loam

OC: کربن آلی، FC: ظرفیت زراعی، PWP: نقطه پژمردگی دائم.

OC: Organic carbon, FC: Field capacity, PWP: Permanent wilting point.

در این مطالعه صفات عملکرد علوفه تازه و ماده خشک، کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک، تعداد روز تا گل‌دهی و شاخص‌های تحمل به خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. معیار برداشت علوفه، مرحله ۱۰ درصد گل‌دهی در نظر گرفته شد (Balazadeh et al., 2021) و تعداد کل چین‌ها در هر سال آزمایش سه چین بود. جهت تعیین عملکرد علوفه تازه، دو ردیف وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثرات حاشیه‌ای)، برداشت و توزین شد. جهت تعیین محتوی ماده خشک، دو کیلوگرم نمونه علوفه تازه از هر کرت توسط اون هواخشک با دمای ۶۵ درجه تا رسیدن به وزن ثابت (۴۸ ساعت) خشک (Ashoori et al., 2021) و توزین شدند و بر اساس محتوی ماده خشک در هر نمونه، عملکرد ماده خشک در هر کرت و در هکتار محاسبه گردید. کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Baghdadi et al., 2021; Balazadeh et al., 2021):

شاخص‌های مذکور بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Y_p)، عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی (Y_s)، میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (\bar{Y}_p) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی (\bar{Y}_s) محاسبه شدند. محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها و ارزیابی همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش با استفاده از نرم‌افزار آنالین iPASTIC انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش نیز از نرم‌افزار XLSTAT 2019 استفاده شد. قبل از انجام تجزیه آماری، پراکنش داده‌ها توسط آزمون شاپیرو ویلک^۱ در نرم‌افزار SAS9.1 بررسی شد و نرمال بودن آن‌ها به اثبات رسید. سپس با توجه به همگنی خطاهای آزمایشی طی دو سال آزمایش، تجزیه واریانس مرکب توسط نرم‌افزار SAS9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. در مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه، به منظور تسهیل ارزیابی ژنوتیپ‌ها از روش برش‌دهی بر روی سال \times رژیم آبیاری استفاده شد.

$$IWUE = \text{Yield} / \text{WU} \quad (2)$$

که در آن، IWUE کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک (بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (بر حسب کیلوگرم در هکتار) و WU حجم آب آبیاری مصرفی (بر حسب مترمکعب در هکتار) می‌باشد. کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه در واقع میزان علوفه تازه تولید شده (بر حسب کیلوگرم) به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری را نشان می‌دهد درحالی‌که کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک بیانگر میزان ماده خشک تولیدی (بر حسب کیلوگرم) به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری می‌باشد (Baghdadi et al., 2021;)

¹- Shapiro-Wilk Test

جدول ۳- رابطه‌های مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 3- Equations used to calculate stress tolerance and susceptibility indices

رابطه	شماره رابطه	منبع
Equation	Equation No.	Reference
$TOL = Y_p - Y_s$	(۳)	(Rosielle and Hamblin, 1981)
$STI = (Y_s \times Y_p) / (\bar{Y}_p)^2$	(۴)	(Fernandez, 1992)
$SSI = ((1 - (Y_s/Y_p)) / ((1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)))$	(۵)	(Fischer and Maurer, 1978)
$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	(۶)	(Rosielle and Hamblin, 1981)
$GMP = (Y_p \times Y_s)^{0.5}$	(۷)	(Fernandez, 1992)
$HM = 2(Y_s \times Y_p) / (Y_s + Y_p)$	(۸)	(Bidinger et al., 1987)
$RSI = (Y_s/Y_p) / (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$	(۹)	(Fischer and Wood, 1979)
$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	(۱۰)	(Gavuzzi et al., 1997)
$YSI = Y_s / Y_p$	(۱۱)	(Bouslama and Schapaugh, 1984)

Y_p : عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Y_s : عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، \bar{Y}_p : میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، \bar{Y}_s : میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، TOL : شاخص تحمل، MP : میانگین بهره‌وری، GMP : میانگین هندسی بهره‌وری، HM : میانگین هارمونیک، SSI : شاخص حساسیت به تنش، STI : شاخص تحمل به تنش، YI : شاخص عملکرد، YSI : شاخص پایداری عملکرد، RSI : شاخص تنش نسبی.

Y_p : genotype yield under non-stress condition; Y_s : genotype yield under stress condition; \bar{Y}_p : mean yield of all genotypes under non-stress condition; \bar{Y}_s : mean yield of all genotypes under stress condition; TOL : tolerance index; MP : mean productivity; GMP : geometric mean productivity; HM : harmonic mean; SSI : stress susceptibility index; STI : stress tolerance index; YI : yield index; YSI : yield stability index; RSI : relative stress index.

نتایج و بحث

گیاهان زراعی مختلف به اثبات رسیده است (Ghasemi *et al.*, 2019; Sadeghinejad *et al.*, 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). کم‌آبی و دمای بالا سبب تسریع در زودرسی گیاهان می‌شود و این واکنش به عنوان یکی از مهمترین مکانیزم‌های فرار از شرایط تنش به شمار می‌رود (Jazayeri and Rezaei, 2006).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم و همچنین مجموع آن‌ها و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه و ماده خشک به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سال \times آبیاری \times ژنوتیپ قرار گرفتند (جداول ۵ و ۶). اثر سال بر عملکرد علوفه تازه و ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک معنی‌دار بود، به‌نحوی که در سال دوم میزان این صفات افزایش یافت (جداول ۷ و ۸). بیشترین مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۱۰۳/۳۳ و ۱۵/۴۰ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل و تحت رژیم آبیاری کامل در سال دوم حاصل شد. این ترکیب تیماری در چین اول، دوم و سوم هم جزو گروه آماری برتر رتبه‌بندی شد (جداول ۷ و ۸). کمترین عملکرد علوفه تازه در سال اول (۶۵/۸۸ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل و در سال دوم (۹۲/۶۸ تن در هکتار) توسط رقم پارس به دست آمد (جدول ۷).

مقایسه ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی از نظر تعداد روز تا گل‌دهی تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری نشان داد که تنش خشکی در تمامی ژنوتیپ‌ها و سال‌های موردبررسی، طول دوره رشد را کاهش داد و سبب زودرسی گیاه شبدر شد (جدول ۴). بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی در چین اول و کمترین آن در چین سوم مشاهده شد که با توجه به روند افزایش دما طی این دوره زمانی (جدول ۱)، منطقی به نظر می‌رسد. بیشتر بودن تعداد روز تا گل‌دهی در سال دوم نیز با دمای کمتر هوا طی این دوره مرتبط است (جدول ۱). شدیدترین کاهش تعداد روز تا گل‌دهی تحت تأثیر تنش خشکی در چین اول سال دوم و در اکوتیپ اقلید (۱۴ روز) و رقم پارس (۱۳ روز) مشاهده شد. به طور کلی در هر سه چین بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی طی سال دوم و رژیم آبیاری کامل ثبت شد و کمترین میزان این صفت در سال اول و تحت شرایط کم‌آبیاری مشاهده گردید (جدول ۴). در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی نیز تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زابل کمترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد. رژیم کم‌آبیاری سبب شد تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زابل طی چین‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۲، ۳ و ۱ روز در سال اول و ۶، ۳ و ۳ روز در سال دوم کاهش یابد (جدول ۴). کاهش تعداد روز تا گل‌دهی بر اثر تنش خشکی و گرما در

جدول ۴- تعداد روز تا گلدهی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸

Table 4- Days to flowering of Persian clover genotypes under full irrigation and deficit irrigation regimes during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons

سال	رژیم آبیاری	ژنوتیپ	چین ۱	چین ۲	چین ۳
Year	Irrigation regime	Genotype	Cut 1	Cut 2	Cut 3
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	228	26	24
		Aleshtar	231	28	21
		Eghlid	231	27	21
		Harati	222	27	25
		Zabol	217	26	24
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	220	24	21
		Aleshtar	225	24	19
		Eghlid	223	24	19
		Harati	218	23	21
		Zabol	215	24	23
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	235	28	26
		Aleshtar	233	28	26
		Eghlid	238	30	23
		Harati	238	29	27
		Zabol	238	30	27
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	222	26	22
		Aleshtar	228	26	22
		Eghlid	224	27	21
		Harati	228	26	24
		Zabol	232	27	24

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد علوفه تازه و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 5- Analysis of variance of fresh forage yield and irrigation water-use efficiency for forage production (IWUE-FFY) as affected by experimental treatments

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				کارایی مصرف آب
		چین ۱	چین ۲	چین ۳	مجموع	
S.O.V.	d.f.	Cut 1	Cut 2	Cut 3	Total	IWUE-FFY
سال	1	1605.80**	222.33**	242.60**	4978.61**	4.820 ^{ns}
Year						
بلوک (سال)	4	68.49	9.18	4.10	118.26	1.253
Block (Year)						
آبیاری	1	921.98 ^{ns}	828.07 ^{ns}	720.72 ^{ns}	7393.71 ^{ns}	0.030 ^{ns}
Irrigation						
سال × آبیاری	1	56.45 ^{ns}	10.33 ^{ns}	14.55 ^{ns}	65.83 ^{ns}	0.049 ^{ns}
Year × Irrigation						
خطای اصلی	4	11.62	6.44	1.51	28.39	0.368
Error a						
رقم	4	81.88 ^{ns}	19.14 ^{ns}	122.95**	39.52 ^{ns}	0.382 ^{ns}
Cultivar						
سال × رقم	4	189.63**	5.61 ^{ns}	5.52 ^{ns}	232.14*	2.526*
Year × Cultivar						
آبیاری × رقم	4	38.52 ^{ns}	14.23 ^{ns}	12.25 ^{ns}	46.84 ^{ns}	0.527 ^{ns}
Irrigation × Cultivar						
سال × آبیاری × رقم	4	36.01*	16.45**	8.79**	34.43*	0.377*
Year × Irrigation × Cultivar						
خطای آزمایشی	32	12.05	3.60	1.86	11.80	0.134
Error						
ضریب تغییرات	-	8.02	8.83	11.75	9.49	9.68
CV (%)						

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns: not significant; ** and * represent significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 6- Analysis of variance of dry matter yield and irrigation water-use efficiency for dry matter production (IWUE-DMY) as affected by experimental treatments

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares				
		چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۳ Cut 3	مجموع Total	کارایی مصرف آب IWUE-DMY
سال Year	1	32.76*	10.76**	11.81**	154.75**	0.2795*
بلوک (سال) Block (Year)	4	1.93	0.13	0.08	2.67	0.0276
آبیاری Irrigation	1	15.81 ^{ns}	5.67 ^{ns}	14.33 ^{ns}	102.86 ^{ns}	0.0587 ^{ns}
سال × آبیاری Year × Irrigation	1	1.69 ^{ns}	0.23 ^{ns}	1.35 ^{ns}	3.93 ^{ns}	0.0018 ^{ns}
خطای اصلی Error a	4	0.40	0.05	0.03	0.67	0.0092
رقم Cultivar	4	1.24 ^{ns}	0.27 ^{ns}	3.86**	0.88 ^{ns}	0.0083 ^{ns}
سال × رقم Year × Cultivar	4	4.33**	0.24 ^{ns}	0.11 ^{ns}	5.80**	0.0599**
آبیاری × رقم Irrigation × Cultivar	4	0.56 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.36 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.0174 ^{ns}
سال × آبیاری × رقم Year × Irrigation × Cultivar	4	0.72*	0.20*	0.29**	1.30*	0.0136*
خطای آزمایشی Error	32	0.26	0.07	0.05	0.37	0.0047
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.62	9.11	11.20	10.43	10.94

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns: not significant; ** and * represent significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

اشاره نمود (Balazadeh *et al.*, 2021).

بیشترین عملکرد ماده خشک در سال اول (۱۱/۲۲ تن در هکتار) توسط اکوتیپ الشتر در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان آن در اکوتیپ زابل به دست آمد به نحوی که برتری عملکرد اکوتیپ الشتر نسبت به اکوتیپ زابل در حدود ۲۳ درصد بود (جدول ۸). عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم روند کاهشی داشت به نحوی که بیشترین تولید علوفه در چین اول و کمترین آن در چین سوم ثبت گردید (جدول ۷ و ۸). هر چند کم‌آبیاری عملکرد ماده خشک را در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش داد اما درصد کاهش در طی سال‌ها و چین‌های مورد بررسی یکسان نبود، به طوری که در چین سوم و سال دوم حساسیت بیشتری به تنش خشکی مشاهده شد. شدیدترین کاهش عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی (۴۰/۱ درصد) در چین سوم و سال دوم ثبت گردید که دامنه

در شرایط کم‌آبیاری نیز بیشترین عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۸۲/۰۸ و ۱۳/۰۸ تن در هکتار) در اکوتیپ زابل و سال دوم ثبت شد، در حالی که در سال اول اکوتیپ اقلید با تولید ۶۰/۲۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد علوفه تازه در شرایط کم‌آبیاری را نشان داد (جدول ۷ و ۸). کمترین عملکرد علوفه تازه تحت شرایط کم‌آبیاری در سال اول (۵۳/۹۶ تن در هکتار) توسط اکوتیپ هراتی و در سال دوم (۶۵/۳۸ تن در هکتار) توسط رقم پارس تولید شد (جدول ۷). کاهش عملکرد علوفه شبدر در شرایط تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Nikou *et al.*, 2014; Nematollahi *et al.*, 2020). از علل کاهش عملکرد شبدر در شرایط تنش خشکی می‌توان به تسریع گل‌دهی و کاهش دوره رشد، کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد برگ، افزایش نرخ تنفس گیاه و کاهش فتوسنتز خالص و در نهایت کاهش تولید ماده خشک علوفه

نتایج با یافته‌های سایر محققین نیز مطابقت دارد (Bakhtiyari et al., 2020; Balazadeh et al., 2021). در بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه گونه‌های مختلف شبدر گزارش شده است که در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط، شبدر لاکه و در شرایط تنش خشکی شدید شبدر ایرانی عملکرد علوفه بالاتری داشتند (Nematollahi et al., 2020).

تغییرات عملکرد از ۲۸/۲- درصد در اکتوپ زایل تا ۵۴/۸- درصد در اکتوپ الشتر متفاوت بود (جدول ۷ و ۸). از جمله دلایل کاهش شدید عملکرد ماده خشک در چین سوم و سال دوم مصادف شدن دوره رشد شبدر با هوای گرم و سیستم فتوسنتزی سه‌کربنه این گیاه بود. اطلاعات هواشناسی هم موید این موضوع است به‌نحوی که در زمان رشد چین سوم در سال دوم میانگین دمای هوا بیشتر از سال اول بود (جدول ۱). این

جدول ۷- اثر متقابل سال × تنش خشکی × ژنوتیپ بر عملکرد علوفه تازه و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه شبدر ایرانی (برش‌دهی بر روی سال و رژیم آبیاری)

Table 7- The interaction of year × drought stress × genotype on fresh forage yield and irrigation water-use efficiency for forage production of Persian clover, IWUE-FFY (sliced upon the year and irrigation regime)

سال Year	رژیم آبیاری Irrigation regime	ژنوتیپ Genotype	عملکرد علوفه تازه Fresh forage yield (ton ha ⁻¹)				کارایی مصرف آب برای تولید علوفه تازه IWUE-FFY (kg m ⁻³)
			چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۳ Cut 3	مجموع Total	
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	42.70	20.58	14.11	77.40	7.644
		Aleshtar	44.70	20.81	7.31	78.83	7.786
		Eghlid	49.66	25.05	7.41	82.13	8.112
		Harati	37.85	26.05	18.51	82.41	8.140
		Zabol	30.21	20.06	15.60	65.88	6.507
		LSD _{0.05}	4.23	2.78	2.72	5.36	0.530
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	35.35	15.48	7.13	57.96	7.634
		Aleshtar	40.36	14.95	4.58	59.90	7.888
		Eghlid	38.81	17.43	4.00	60.25	7.934
		Harati	33.31	13.23	7.41	53.96	7.107
Zabol		27.78	16.16	10.10	54.05	7.118	
	LSD _{0.05}	2.99	3.77	2.57	6.27	0.826	
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	51.76	23.66	17.25	92.68	7.733
		Aleshtar	51.50	26.16	17.25	94.91	7.920
		Eghlid	54.83	30.25	12.25	97.33	8.121
		Harati	52.96	26.00	21.00	99.96	8.341
		Zabol	55.50	27.58	20.25	103.33	8.622
		LSD _{0.05}	10.89	4.52	3.36	7.26	0.607
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	36.46	19.33	9.58	65.38	7.274
		Aleshtar	46.66	20.08	7.33	74.08	8.242
		Eghlid	41.90	20.16	6.91	68.98	7.674
		Harati	43.63	20.41	12.16	76.21	8.479
Zabol		49.00	20.66	12.41	82.08	9.132	
	LSD _{0.05}	5.02	2.94	1.06	6.81	0.758	
LSD _{0.05} (Year×Irrigation×Genotype)			4.61	3.08	2.69	5.71	0.610

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

The means with similar letters in each column are not statistically significant (LSD, $\alpha=0.05$)

جدول ۸- اثر متقابل سال × تنش خشکی × ژنوتیپ بر عملکرد ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک شبدر ایرانی (برش‌دهی بر روی سال و رژیم آبیاری)

Table 8- The interaction of year × drought stress × genotype on dry matter yield and irrigation water-use efficiency for dry matter of Persian clover, IWUE-DMY (sliced upon the year and irrigation regime) production

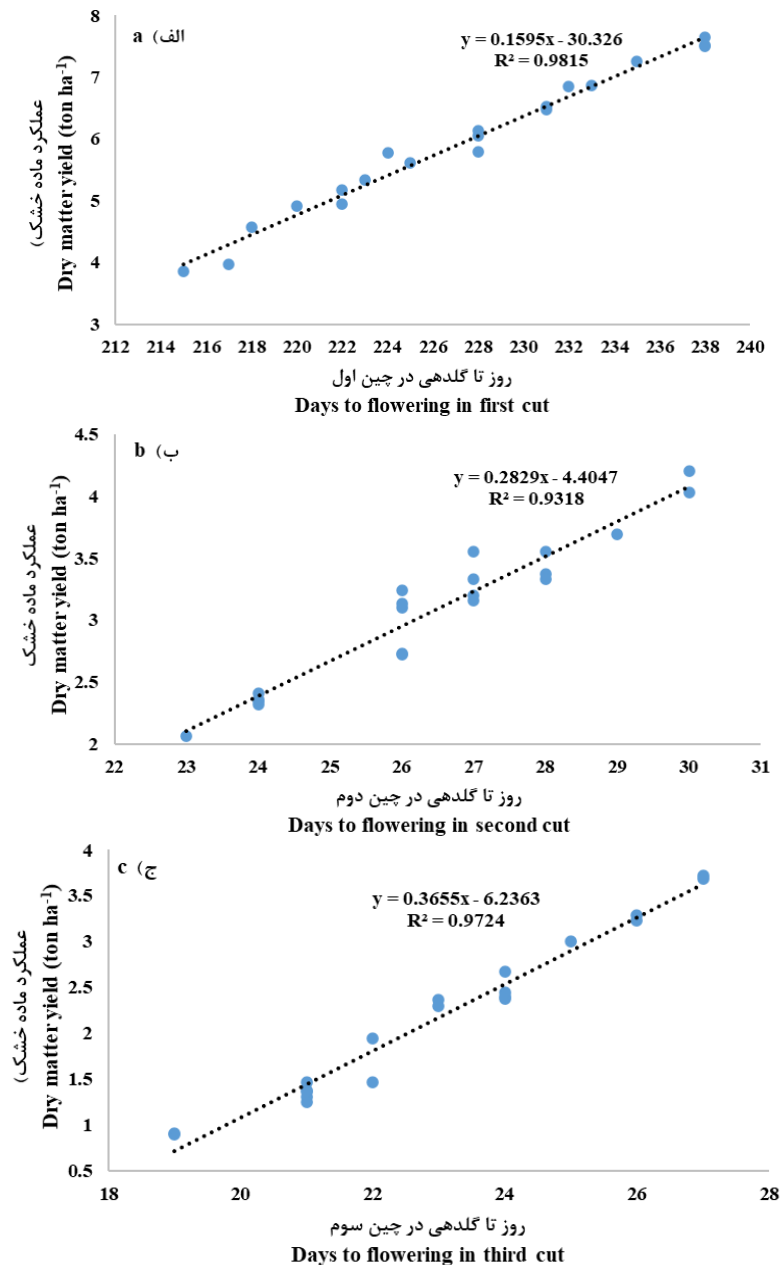
سال Year	رژیم آبیاری Irrigation regime	ژنوتیپ Genotype	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (ton ha ⁻¹)				کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک IWUE-DMY (kg m ⁻³)
			چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۳ Cut 3	مجموع Total	
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	5.80	2.73	2.37	10.91	1.078
		Aleshtar	6.53	3.37	1.31	11.22	1.108
		Eghlid	6.48	3.20	1.25	10.93	1.080
		Harati	4.95	3.16	3.00	11.12	1.098
		Zabol	3.97	2.72	2.40	9.10	0.899
	LSD _{0.05}	0.72	0.45	0.35	0.99	0.098	
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	4.91	2.34	1.37	8.63	1.136
		Aleshtar	5.61	2.32	0.91	8.85	1.166
		Eghlid	5.33	2.41	0.90	8.65	1.140
		Harati	4.57	2.06	1.46	8.10	1.068
Zabol		3.85	2.36	2.29	8.50	1.120	
LSD _{0.05}	0.63	0.59	0.37	1.38	0.182		
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	7.26	3.33	3.29	13.88	1.158
		Aleshtar	6.87	3.55	3.23	13.65	1.139
		Eghlid	7.50	4.20	2.36	14.05	1.172
		Harati	7.52	3.69	3.69	14.91	1.244
		Zabol	7.65	4.03	3.72	15.40	1.285
	LSD _{0.05}	1.39	0.61	0.65	0.97	0.082	
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	5.17	3.10	1.94	10.21	1.137
		Aleshtar	6.14	3.13	1.46	10.73	1.194
		Eghlid	5.78	3.33	1.36	10.48	1.167
		Harati	6.05	3.24	2.44	11.73	1.305
Zabol		6.85	3.55	2.67	13.08	1.455	
LSD _{0.05}	0.91	0.46	0.39	1.19	0.133		
LSD _{0.05} (Year×Irrigation×Genotype)			0.83	0.55	0.41	1.01	0.114

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

The means with similar letters in each column are not statistically significant (LSD, $\alpha=0.05$).

فتوسنتز می‌گردد اما با پیشرفت تنش خشکی، کاهش در فتوسنتز بیشتر به دلیل عوامل غیرروزی می‌باشد (Chaves *et al.*, 2009). عملکرد علوفه و ماده خشک شبدر با رشد و نمو استولون و میزان تولید برگ در گره‌های استولون تعیین می‌شود (Marshall *et al.*, 2015). در آزمایشی بر روی هیبریدهای شبدر سفید (*Trifolium repens*) و قفقازی (*Trifolium ambiguum*) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شد که شبدر قفقازی تحمل بیشتری به خشکسالی نسبت به شبدر سفید دارد و تحت شرایط تنش خشکی شبدر قفقازی محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ بیشتری را نسبت به شبدر سفید حفظ می‌کند (Marshall *et al.*, 2015).

در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش تعداد روز تا گل‌دهی، عملکرد ماده خشک بهبود یافت و ژنوتیپ‌هایی که طول دوره رشدشان کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، عملکرد بیشتری داشتند. در مطالعه دیگری نیز گزارش شد که با افزایش طول دوره رشد، عملکرد شبدر افزایش یافت (Shoushi Dezfuli *et al.*, 2019). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، تأمین دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی مشکل می‌سازد (Chaves *et al.*, 2002) و فتوسنتز و رشد سلول همراه با هم، از جمله اولین فرآیندهایی هستند که تحت تأثیر خشکی کاهش می‌یابند (Munns *et al.*, 2006). در شرایط تنش ملایم هدایت روزنه‌ای به مقدار اندک کاهش یافته و موجب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و در نتیجه محدودیت



شکل ۱- رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گلدهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی طی چین‌های اول (الف)، دوم (ب) و سوم (ج)

Figure 1- Regression relationship between dry matter yield and number of days to flowering in Persian clover genotypes during the first (a), second (b) and third (c) cut

کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (شکل ۱). بیشتر بودن شیب رابطه خطی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی در چین سوم نسبت به چین دوم و در چین دوم نسبت به چین اول (شکل ۱) با تغییرات دمای هوای مرتبط است، به نحوی که در چین سوم هوا گرم‌تر بود و طی هر روز، میزان بیشتری از نیاز حرارتی شبدر تأمین می‌شد در حالی که در چین اول میانگین دمای هوا کمتر بود و به همین نسبت نیاز حرارتی

در شکل ۱ رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی طی چین‌های اول، دوم و سوم ارائه شده است. بر این اساس با افزایش تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی، عملکرد ماده خشک در هر سه چین به طور خطی افزایش می‌یابد. به ازای هر یک روز کاهش در تعداد روز تا گل‌دهی طی چین‌های اول، دوم و سوم، عملکرد ماده خشک به ترتیب حدود ۱۶۰، ۲۸۳ و ۳۶۶

خشک (به ترتیب ۹/۱۳۲ و ۱/۴۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در اکوتیپ زابل تحت تنش خشکی در سال دوم ثبت گردید در حالی که کمترین میزان آن‌ها (به ترتیب ۶/۵۰۷ و ۰/۸۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در اکوتیپ زابل تحت آبیاری کامل در سال اول مشاهده شد (جداول ۷ و ۸). واکنش کارایی مصرف آب آبیاری به تنش خشکی وابسته به ژنوتیپ بود و در برخی ژنوتیپ‌ها کارایی مصرف آب تحت کم آبیاری کاهش و در برخی افزایش یافت. بیشترین افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی در اکوتیپ زابل مشاهده شد به نحوی که کم آبیاری در سال اول و دوم به ترتیب سبب افزایش ۲۴/۶ و ۱۳/۲ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک در این ژنوتیپ شد (جدول ۸). مدیریت آب از طریق تغییر در کمیت آبیاری در مراحل مختلف رشد سبب به حداقل رسیدن تبخیر و افزایش کارایی آب برای رشد گیاه می‌شود (Zou *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد در شرایط کم آبی، ژنوتیپ‌های شبدر با بستن روزنه‌ها یا کاهش سطح برگ باعث کاهش تعرق و تلفات آب شده و موجبات افزایش کارایی مصرف آب را فراهم می‌آورند (Balazadeh *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای گزارش شد که تحت تنش خشکی، کارایی مصرف آب برای تولید بیوماس نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) افزایش یافت (Farhadi *et al.*, 2022).

مقادیر محاسبه شده شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل به خشکی به ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

کمتری طی هر روز تأمین می‌شد (جدول ۴). بنابراین در چین اول حساسیت کمتری به کاهش طول دوره رشد مشاهده شد، در حالی که در چین سوم بیشترین حساسیت وجود داشت (شکل ۱). با توجه به اثر تنش خشکی بر زودرسی و کاهش تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی (جدول ۴) و هم‌چنین با در نظر گرفتن رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی (شکل ۱)، می‌توان کاهش عملکرد علوفه تحت تنش خشکی را با کاهش تعداد روز تا گل‌دهی شبدر مرتبط دانست. تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زابل کمترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد (جدول ۴) و از آنجائی که رابطه خطی مستقیمی بین تعداد روز تا گل‌دهی و عملکرد ماده خشک وجود داشت (شکل ۱)، حداکثر عملکرد علوفه در شرایط کم آبیاری در اکوتیپ زابل (با بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی) ثبت شد (جداول ۷ و ۸). مطالعات مختلفی نشان داده است که تنش خشکی سبب زودرسی گیاهان زراعی می‌شود که این واکنش به عنوان یکی از مهمترین مکانیزم‌های فرار از شرایط تنش به شمار می‌رود (Ghasemi *et al.*, 2019; Sadeghinejad *et al.*, 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). هر چند قابلیت فرار از تنش به اطمینان از تکمیل چرخه زندگی گیاه و تولید بذر کمک می‌کند ولی وقتی هدف از کشت تولید علوفه باشد، این مکانیزم چندان مطلوب نیست زیرا سبب کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک و علوفه تولیدی خواهد شد (Balazadeh *et al.*, 2021).

حداکثر کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه و ماده

جدول ۹- شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی

Table 9- Drought tolerance indices in Persian clover genotypes

ژنوتیپ Genotype	Yp (ton.ha ⁻¹)	Ys (ton.ha ⁻¹)	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Pars	12.40	9.42	2.98	10.91	10.81	10.71	1.14	0.57	0.95	0.76	0.96
Aleshtar	12.44	9.74	2.70	11.09	11.01	10.93	1.03	0.77	0.99	0.78	0.99
Eghlid	12.49	9.57	2.92	11.03	10.93	10.84	1.11	0.76	0.97	0.77	0.97
Harati	13.02	9.92	3.10	11.47	11.36	11.26	1.13	0.82	1.00	0.76	0.96
Zabol	12.25	10.79	1.46	11.52	11.50	11.47	0.57	0.84	1.09	0.88	1.12

Yp: عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی.

Yp: genotype yield under non-stress condition; Ys: genotype yield under stress condition; TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index.

جدول ۱۰- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 10- Ranking of Persian clover genotypes based on drought tolerance indices

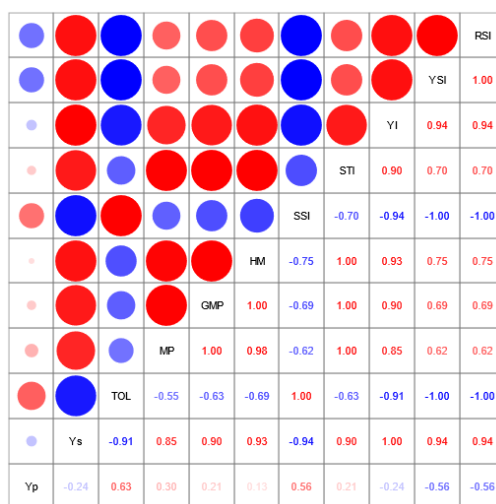
ژنوتیپ Genotype	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	SR	AR	SD
Pars	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	53	4.82	0.40
Aleshtar	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	29	2.64	0.50
Eghlid	2	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	38	3.45	0.69
Harati	1	2	5	2	2	2	4	2	2	4	4	30	2.73	1.27
Zabol	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	1.36	1.21

Yp: عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی، SR: مجموع رتبه‌ها، AR: میانگین رتبه‌ها، SD: انحراف معیار.

Yp: genotype yield under non-stress condition; Ys: genotype yield under stress condition; TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index; SR: sum of ranks; AR: average of ranks; SD: standard deviation.

تجزیه همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد ماده خشک استفاده شد (شکل ۲). بر این اساس شاخص‌های TOL، SSI، RSI و YSI که بالاترین همبستگی را با عملکرد ماده خشک تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری داشتند، به عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها در این مطالعه شناسایی شدند (شکل ۲).

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اکوتیپ زلیل بیشترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP، HM، YI و STI و کمترین میزان شاخص‌های TOL، SSI، RSI و YSI را داشت (جدول ۹) و با کسب کمترین میانگین رتبه به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد (جدول ۱۰). به منظور شناسایی بهترین شاخص‌ها برای رتبه‌بندی تیمارها از نظر تحمل به خشکی از



شکل ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد ماده خشک شبدر تحت شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی (Ys)

Figure 2- Correlation coefficients between drought tolerance indices and clover dry matter yield under full irrigation conditions (Yp) and drought stress (Ys)

TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی

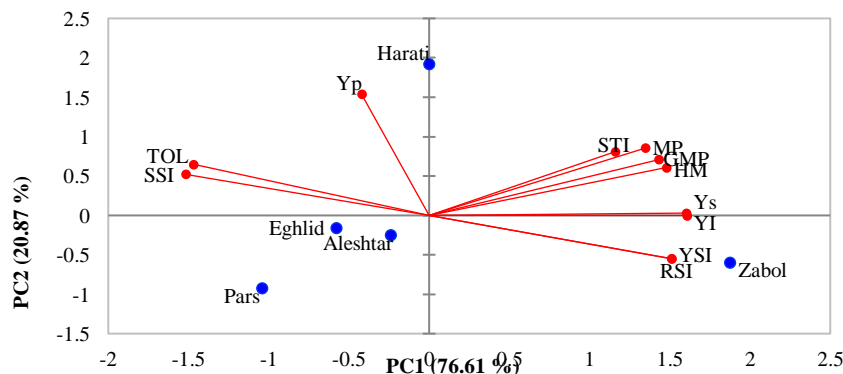
TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index.

بررسی و شرایط هر آزمایش دارد، به نحوی که در ارزیابی تحمل به خشکی اکوتیپ‌های شبدر یک‌ساله عنوان شد که شاخص‌های

شاخص‌های مطلوب برای شناسایی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها در هر مطالعه متفاوت است و بستگی به صفت مورد

رشد زایشی کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد؛ اما زمانی که هدف از کشت، تولید علوفه (ماده خشک) باشد، کاهش طول دوره رشد و زودرسی ناشی از تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شده و در این شرایط ژنوتیپ‌هایی که طول دوره رشدشان کمتر تحت تأثیر قرار بگیرد، تولید علوفه و تحمل به خشکی بیشتری خواهند داشت (Baghdadi and Golzardi, 2022). مقادیر بزرگ‌تر از یک در شاخص SSI، حساسیت بیشتر از میانگین ژنوتیپ نسبت به کم‌آبایی را نشان می‌دهد (Sabouri et al., 2022). همانطور که در جدول ۹ مشخص است، ژنوتیپ‌های پارس، هراتی، اقلید و الشتر دارای شاخص SSI بزرگ‌تر از یک می‌باشند ولی میزان این شاخص در اکوتیپ زابل کوچکتر از یک است (جدول ۹) که تأیید مجددی بر تحمل به خشکی بالای این ژنوتیپ می‌باشد (Alizadeh et al., 2017). از آنجایی که معمولاً هیچ یک از شاخص‌های تحمل به تنش به تنهایی قادر به شناسایی تیمارهای مطلوب نیستند، لازم است از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شود (Thiry et al., 2016). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی بین عملکرد ماده خشک تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبایی و نه شاخص تحمل به خشکی (در مجموع ۱۱ صفت) نشان داد که ۲۰/۸۷۲ درصد از تغییرات توسط مؤلفه اصلی اول و ۹۷/۴۸۰ درصد از تغییرات توسط مؤلفه اصلی دوم توجیه شد که در مجموع ۹۷/۴۸۰ درصد از کل تغییرات را شامل گردید (شکل ۳).

MP، GMP، HM و STI بیشترین همبستگی را با عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش داشتند و به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شبدر معرفی شدند (Nikou et al., 2014). در بررسی عملکرد دانه گندم نان در شرایط نرمال و تنش نیز گزارش شد که شاخص‌های GMP، MP و STI با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند و به عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها شناسایی شدند (Singh et al., 2018). در این مطالعه شاخص‌های MP، GMP، HM، YI و STI با وجود همبستگی بالا با عملکرد ماده خشک در شرایط تنش خشکی، همبستگی معنی‌داری با عملکرد در شرایط آبیاری کامل ندارند و بدین جهت جزو شاخص‌های مطلوب در این آزمایش محسوب نمی‌شوند. بر اساس شاخص‌های مطلوب در آزمایش حاضر نیز اکوتیپ زابل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبایی شناسایی شدند. از آنجا که صفت تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ‌های زابل و الشتر کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به نظر می‌رسد دلیل تحمل به خشکی بالاتر این اکوتیپ‌ها، بیشتر بودن تعداد روز تا گل‌دهی آن‌ها باشد (Ghasemi et al., 2019; Sadeghinejad et al., 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). به نظر می‌رسد وقتی عملکرد دانه یک محصول مدنظر باشد، کاهش طول دوره رشد (زودرسی) و فرار از خشکی ویژگی مطلوبی باشد و به تحمل به خشکی آن کمک نماید، زیرا با کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و افزایش میزان انتقال مجدد از برگ‌ها و ساقه‌ها به دانه،



شکل ۳- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک شبدر تحت آبیاری کامل (Yp)، عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش

Figure 3. Principal components analysis (PCA) based on the correlation matrix of clover dry matter yield under full irrigation conditions (Yp), dry matter yield under drought stress (Ys) and stress tolerance indices

به ژنوتیپ بود و در برخی ژنوتیپ‌ها کارایی مصرف آب آبیاری تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش و در برخی افزایش یافت. بیشترین افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی در اکوتیپ زابل مشاهده شد. عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم روند کاهشی داشت به نحوی که بیشترین تولید علوفه در چین اول و کمترین آن در چین سوم ثبت گردید. هر چند کم‌آبیاری عملکرد ماده خشک را در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش داد اما درصد کاهش در طی سال‌ها و چین‌های مورد بررسی یکسان نبود، به طوری که در چین سوم و سال دوم حساسیت بیشتری به تنش خشکی مشاهده شد. شدیدترین کاهش عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی در چین سوم و سال دوم ثبت گردید. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اکوتیپ زابل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبیاری شناسایی شدند. به طور کلی نتایج نشان داد که در شرایط فراهمی آب آبیاری، اکوتیپ هراتی و در شرایط محدودیت آبی، اکوتیپ زابل برای کشت در مناطق نیمه‌خشک کشور قابل توصیه هستند. از آنجا که اکوتیپ‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر از پتانسیل عملکرد مناسبی برخوردار بودند، پیشنهاد می‌شود از این اکوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای تولید ارقام پرمحصول و یا متحمل به خشکی استفاده شود. خصوصاً به نظر می‌رسد اکوتیپ زابل منبع ژنتیکی مناسبی برای تولید ارقام متحمل به خشکی شبدر در برنامه‌های اصلاحی آتی باشد.

سپاسگزاری

این مطالعه توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با کد مصوب ۹۴۱۴۴ - ۰۳ - ۰۳ - ۲ انجام شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های ریاست و کارکنان محترم این مؤسسه/سازمان تشکر و قدردانی می‌شود.

مؤلفه‌های سوم و چهارم نیز به ترتیب ۲/۴۹۵ و ۰/۰۲۴ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز اکوتیپ زابل با حداکثر مقادیر مؤلفه اصلی اول به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد، در حالی که رقم پارس با حداقل مقادیر مؤلفه اصلی اول بیشترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد. اکوتیپ هراتی نیز با حداکثر مقدار مؤلفه اصلی دوم به عنوان بهترین ژنوتیپ برای کشت در شرایط آبیاری کامل معرفی شد (شکل ۳). در مطالعه‌ای پس از بررسی میزان تحمل به خشکی ارقام مختلف شبدر برسیم و ایرانی گزارش شد که ارقام کرج، الیت، وین و الکس بیشترین تحمل را در برابر تنش خشکی نشان دادند (Alizadeh et al., 2017). مشابه با آزمایش حاضر، در مطالعه دیگری نیز از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده شد (Sabouri et al., 2022). در مطالعه تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر در مشهد گزارش شد که مؤلفه اصلی اول حدود ۶۶ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌های تحمل به تنش را توجیه کرد و شاخص‌های STI، MP، GMP و HM بیشترین نقش را در آن داشتند. مؤلفه دوم نیز حدود ۳۳ درصد از تغییرات موجود را توجیه کرد و در آن شاخص‌های TOL و SSI بیشترین نقش را داشتند (Abbasi et al., 2019). در مطالعه حاضر شاخص‌های Ys، YI، YSI، RSI، SSI، HM و GMP بیشترین نقش را در مؤلفه اصلی اول داشتند در حالی که عملکرد ماده خشک در شرایط آبیاری کامل (Yp) بیشترین نقش را در مؤلفه اصلی دوم داشت (شکل ۳). بنابراین مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در هر آزمایش بسته به نوع گیاه و شرایط محیطی می‌تواند متفاوت باشد (Singh et al., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

اکوتیپ‌های هراتی و زابل به ترتیب تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری، بیشترین عملکرد علوفه تازه و ماده خشک را تولید کردند. واکنش کارایی مصرف آب به تنش خشکی وابسته

References

- Abbasi, M.R., Hassanzadeh, A., Mahdipour, A., Anahid, S. and Safari, S., 2019. Forage yield in some Iranian wild trifolium genetic resources under different climatic and irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), pp.993-1004. **doi: 20.1001.1.16807073.2019.21.4.14.9**

- Alizadeh, B., Mostafavi, K. and Zamanian, M., 2017. Study of drought tolerance of Berseem and Persian clover cultivars. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 12(4), pp.67-76. [In Persian].
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, 56, pp.26-40.
- Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J. and Ilkaee, M.N., 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, 80,e1421. doi: **10.1590/1678-4499.20200423**
- Ates, E., 2016. Determining drought tolerance of new fodder pea and Persian clover genotypes at the germination and early seedling stages. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(12), pp.6020-6029.
- Baghdadi, A., Golzardi, F. and Hashemi, M., 2021. The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi-arid regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(10), pp. 5050-5060. doi: **10.1002/jsfa.12574**
- Baghdadi, A. and Golzardi, F., 2022. Forage Crops. ETKA Publication, Tehran, Iran. [In Persian].
- Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F., 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 11(1), pp.49-65.
- Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A., 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16), pp.1927-1942. doi: **10.1080/00103624.2021.1900228**
- Barjas, M., Mehravaran, L., Allahdou, M. and Ganjali, S., 2022. Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophysiological and biochemical traits of two varieties of mung bean. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.153-171. [In Persian]. doi: **10.22034/csrar.2022.309460.1139**
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(1), pp.49-59. doi: **10.1071/ar9870049**
- Bousslama, M. and Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), pp.933-937. doi: **10.2135/cropsci1984.0011183x002400050026x**
- Chaichi, M.R., Nurre, P., Slaven, J. and Rostamzadeh, M., 2015. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. *Crop Science*, 55(1), pp.386-393. doi: **10.2135/cropsci2013.10.0706**
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), pp.907-916. doi: **10.1093/aob/mcf105**
- Du, T., Kang, S., Zhang, J. and Davies, W.J., 2015. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), pp.2253-2269. doi: **10.1093/jxb/erv034**

- Farhadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Ilkaee, M.N. and Aghayari, F., 2022. Effects of limited irrigation and nitrogen rate on the herbage yield, water productivity, and nutritive value of sorghum silage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(5), pp.576-589.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress*, Taiwan, 13-18, pp.257-270.
- Fischer, R.A. and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), pp.897-912. doi: **10.1071/ar9780897**
- Fischer, R.A. and Wood, J.T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6), pp.1001-1020. doi: **10.1071/ar9791001**
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), pp.523-531. doi: **10.4141/p96-130**
- Gharibeshghi, A. and Mozafari, J., 2017. Study of genetic variation in sesame genotypes by using both drought stress indices and morphologic traits for screening in drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), pp.89-108. [In Persian]. doi: **10.22034/csrar.01.01.08**
- Ghasemi, A., Khazaei, M. and Fanaei, H., 2019. Effect of drought stress on yield and some physiological characteristics of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in different planting dates. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), pp.401-413. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2018.1332.1273**
- Jazayeri, M. and Rezaei, E., 2006. Evaluation of drought tolerance in oat cultivars in Isfahan climate. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 3, pp.393-404. [In Persian]. dor: **20.1001.1.24763594.1385.10.3.32.1**
- Karimi Azar, M., Majnoun Hosseini, N. and Bihamta, M., 2022. Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.129-139. [In Persian]. doi: **10.22034/csrar.2022.320744.1171**
- Khalilian, M.E., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A., 2022. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. *Cereal Research Communications*, 50(4), pp.1095-1104. doi: **10.1007/s42976-022-00244-7**
- Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K., 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27, pp.463-477. doi: **10.2478/intag-2013-0017**
- Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G. and Jia, Y., 2018. Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology*, 18,13. doi: **10.1186/s12870-017-1226-9**
- Marshall, A.H., Lowe, M. and Collins, R.P., 2015. Variation in response to moisture stress of young plants of interspecific hybrids between white clover (*T. repens* L.) and Caucasian clover (*T. ambiguum* M. Bieb.). *Agriculture*, 5, pp.353-366. doi: **10.3390/agriculture5020353**
- Mishra, S.S., Behera, P.K., Kumar, V., Lenka, S.K. and Panda, D., 2018. Physiological characterization and allelic

- diversity of selected drought tolerant traditional rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Koraput, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(6), pp.1035-1046. doi: **10.1007/s12298-018-0606-4**
- Munns, R., James, R.A. and Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), pp.1025-1043. doi: **10.1093/jxb/erj100**
- Nazari, S., Aboutalebian, M.A. and Golzardi, F., 2017. Seed priming improves seedling emergence time, root characteristics and yield of canola in the conditions of late sowing. *Agronomy Research*, 15(2), pp.501-514.
- Nematollahi, D., Eisvand, H.R., Modaeris Sanavy, S.A.M., Akbari, N. and Ismaili, A., 2020. Effects of low irrigation on yield quantity and quality of clover species under high input management conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), pp.47-57. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2019.251696.654444**
- Nikou, S., Pouryousef Miandoab, M. and Hassanzadeh Gorttpe, A., 2014. Evaluation of annual clover ecotypes by using drought tolerance indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, 31(3), pp.375-394. [In Persian].
- Panda, D., Mishra, S.S. and Behera, P.K., 2021. Drought tolerance in rice: Focus on recent mechanisms and approaches. *Rice Science*, 28(2), pp.119-132. doi: **10.1016/j.rsci.2021.01.002**
- Pandey, V. and Shukla, A., 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science*, 22(4), pp.147-161. doi: **10.1016/j.rsci.2015.04.001**
- Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Golzardi, F., 2023. Benefits from intercropped forage sorghum-red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), pp.1769-1780. doi: **10.1007/s10343-023-00833-4**
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), pp.943-946. doi: **10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x**
- Sabouri, A., Dadras, A.R., Azari, M., Saberi Kouchesfahani, A., Taslimi, M. and Jalalifar, R., 2022. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. *Scientific Reports*, 12,2163. doi: **10.1038/s41598-022-06123-9**
- Sadeghinejad, A., Modares Sanavi, S., Tabatabaei, S. and Modares, S., 2015. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Water and Soil Science*, 24, pp.53-64. [In Persian].
- Shoushi Dezfuli, A. A., Khorramian, M. and Assareh, A., 2019. Effect of sowing and irrigation cutoff date on seed yield and irrigation water use efficiency of spring berseem clover in Khuzestan. *Plant Productions*, 41(4), pp.69-82. [In Persian]. doi: **10.22055/ppd.2018.23152.1510**
- Singh, G., Kumar, P., Gupta, V., Tyagi, B. S., Singh, C., Sharma, A. K. and Singh, G. P., 2018. Multivariate approach to identify and characterize bread wheat (*Triticum aestivum*) germplasm for waterlogging tolerance in India. *Field Crops Research*, 221, pp.81-89. doi: **10.1016/j.fcr.2018.02.019**
- Thiry, A.A., ChavezDulanto, P.N, Reynolds, M.P. and Davies, W.J., 2016. How can we improve crop genotypes to increase stress resilience and productivity in a future climate? A new crop screening method based on productivity and resistance to abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 67(19), pp.5593-5603. doi: **10.1093/jxb/erw330**

- Zamanian, M., 2021. Introduction of clover types, cultivars and their place in forage production and agro-ecosystems. *Forage and Animal Feed*, 2(2), pp.85-90. [In Persian].
- Zamanian, M. and Shahverdi, M., 2017. Stability of forage yield of promising lines of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.). *Seed and Plant Journal*, 33(2), pp.177-194. [In Persian]. doi: **10.22092/spij.2017.115549**
- Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M. I., Qing, M., Azmat, M., Cai, H. and Siddique, K.H.M., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483. doi: **10.1016/j.agwat.2020.106483**

Evaluation of forage yield, water-use efficiency and drought tolerance of Persian clover genotypes

Mohammad Zamanian^{1*}, Farid Golzardi¹

¹ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author: m.zamanian@areeo.ac.ir

Received: 12 November 2022

Accepted: 2 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.369467.1289

Abstract

Introduction: Clover is considered as one of the most important forage crops of the leguminous family which is appropriate for temperate and humid areas. Insufficient water can severely affect the production of forage legumes leading to a reduction in yield based on the severity and duration of drought stress. Due to the relative sensitivity of clover to drought stress, the yield of this crop is affected by water scarcity, especially in arid and semi-arid regions. One of the effective solutions in the field of plant breeding for drought resistance is to identify stress-tolerant genotypes. This study aimed to compare the forage yield and water productivity of Persian clover genotypes under full irrigation and drought stress conditions, as well as evaluate their drought tolerance.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons. Irrigation regimes at two levels (full irrigation and deficit irrigation with supply 100% and 75% of clover water requirement, respectively) as the main factor and Persian clover genotypes at five levels (cultivar Pars, and ecotypes Zabol, Aleshtar, Eghlid, Harati) as sub-factor were evaluated. Each subplot consisted of four rows with a length of five meters and 50 cm between rows. The planting operation was carried out manually on September 11 of each year with 20 kg ha⁻¹ seeding rate. The volume of irrigation water was determined by the Penman–Monteith method and the counter meter was used to accurately measure and control the amount of applied water. In the first and second cropping seasons, the total volume of irrigation water used were equal to 10125 and 11985 for full irrigation and 7594 and 8989 for deficit irrigation conditions, respectively. In this study, the fresh forage and dry matter yields, irrigation water efficiency for production of fresh forage and dry matter, the days to flowering, and drought tolerance indices were investigated. For all three cuts, clover cultivars were harvested at the 10% flowering stage. To determine the fresh forage yield, the middle four rows of each plot were harvested and weighed. To determine the dry matter yield, fresh samples (2 kg plot⁻¹) were randomly selected and dried in a forced-air oven at 65 °C. Irrigation water-use efficiency was calculated from the ratio of yield to the amount of water consumed. The combined analysis of variance was performed using SAS_{9.1} and the means were compared by the LSD method at $P < 0.05$.

Results and Discussion: The fresh forage and dry matter yields in the first, second and third cuttings, as well as their total and the irrigation water-use efficiency for forage and dry matter production were significantly affected by the year × irrigation × genotype interaction. Ecotype Harati had the highest total fresh forage and dry matter yields during three cuts (91.19 and 13.02 ton ha⁻¹, respectively) in full irrigation conditions, whereas, under deficit irrigation conditions, the maximum total fresh forage and dry matter yields (68.07 and 10.79 ton ha⁻¹, respectively) were obtained by ecotype Zabol. The maximum water-use efficiency (1.455 kg dry matter m⁻³) was obtained in the second year and by ecotype Zabol under deficit irrigation conditions, whereas the minimum efficiency (0.899 kg dry matter m⁻³) was recorded in the first year under full irrigation conditions and in the ecotype Zabol. Drought stress treatment in genotypes Pars, Aleshtar, Eghlid, Harati and Zabol compared to full irrigation caused a decrease in dry matter yield by 24.0, 21.7, 23.4, 23.8 and 11.9%, respectively. Among the drought tolerance indices, tolerance index (TOL), stress sensitivity index (SSI), yield

stability index (YSI) and relative stress index (RSI) had the highest correlation with yield under full and deficit irrigation conditions. Based on the mentioned indices and principal components analysis (PCA), the ecotype Zabul, followed by ecotype Eleshtar were identified as the most tolerant genotypes to the deficit irrigation stress.

Conclusion: Overall, the results of this experiment demonstrated that in the irrigation water availability conditions, the ecotype Harati and in the water limitation conditions, the ecotype Zabol are recommended for cultivation in the semi-arid regions of the country.

Keywords: Deficit irrigation, Dry matter, Ecotype, Fresh forage, Stress sensitivity