University of Birjand

Journal homepage: https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 1, pp. 229-245 (Spring 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4533.2035

Original article

Evaluation of forage production potential in the sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.) intercropping systems under drought stress

S. Pourali[1], F. Aghayari[2*], M.R. Ardakani[3], F. Paknejad[3], F. Golzardi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received 25 July 2021; Accepted 12 October 2021

Extended abstract

Introduction

According to studies, the agricultural sector is the largest consumer of water and in this sector, paying attention to optimal water consumption is very important. On the other hand, climate change and the spread of environmental stresses in recent years have reduced crop yields; therefore, the need to identify appropriate solutions to deal with such situations is fully felt. Restoring diversity to agricultural ecosystems and its effective management is recognized as one of the important strategies in sustainable agriculture. Mixed cropping as a sample of sustainable systems in agriculture pursues goals such as creating ecological balance, greater utilization of resources, and increasing crop yields. The most important benefit of intercropping systems compared to monoculture systems is the increase in production per unit of area, which of course has not always been achievable and this advantage is achieved only when the plants that make up the mixture are completely different in terms of how and how much to use growth factors (water, light, and nutrients). Therefore, when plants with different morphological characteristics are grown in a mixture next to each other, they can make optimal use of environmental factors and as a result, their total yield increases per unit of area. The present study aimed to evaluate the forage production potential in the replacement and additive intercropping systems of sorghum and red clover under different irrigation regimes.

Materials and methods

This experiment was conducted as split plots based on a randomized complete block design with three repetitions during the 2017 and 2018 cropping seasons at the Research Farm of Damavand Natural Resources Department. The main factor was the irrigation regime at three levels including irrigation with 100% field capacity (full irrigation as control), irrigation with 75% field capacity (moderate stress), and irrigation with 50% field capacity (severe stress). Different cropping systems were considered as sub-factors, including 75% sorghum + 25% clover, 50% sorghum + 50% clover, and 25% sorghum + 75% clover as replacement intercropping systems; 100% sorghum + 50% clover, 50% sorghum + 100% clover, and 100% sorghum + 100% clover as additive intercropping systems, and the monocultures of sorghum and red clover as control. Each experimental plot consisted of six planting rows with a length

* Corresponding author: Fayaz Aghayari; E-Mail: aghayari_ir@yahoo.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

of six meters with a distance between the lines of 60 cm. In order to prevent water leakage to adjacent plots, the distance between the main plots was four planting lines. In this experiment, forage sorghum of the Speedfeed cultivar and red clover of the Nassim cultivar were used. For planting sorghum and clover in monoculture treatments, 15 and 25 kg of seeds per hectare were used respectively. Also, for planting intercropping treatments based on mixing ratios of 25, 50, and 75%, 3.75, 7.50, and 11.25 kg of sorghum seeds and 6.25, 12.50, and 18.75 kg of clover seeds per hectare were consumed respectively. Experimental treatments were irrigated by the furrow method. The irrigation cycle was adjusted based on draining 40% of available water in the root zone under full irrigation conditions. Irrigation water depth in full irrigation treatment was determined based on the soil moisture deficiency (relative to the point of field capacity) at the time of irrigation through sampling. Irrigation water depths in moderate and severe stress treatments were considered based on 75% and 50% of full irrigation water depth, respectively. It should be noted that after the establishment of sorghum plants, thinning operations were performed and its density was adjusted based on 20 plants per square meter. In this experiment, the planting pattern was in rows and the change of mixing ratios was applied based on the change in the number of planting rows of sorghum and clover. In monocultures and replacement intercropping systems, planting operations were performed in the middle of the ridges, while in additive intercropping treatments, a two-row pattern was used and each species was planted on one side of the ridges.

Results and discussion

The results of variance analysis showed that the effect of year, irrigation regime, and cropping system and the interaction of irrigation regime × cropping system on fresh and dry forage yield of clover, sorghum, and total yield were significant. The highest fresh and dry forage yields (65.169 and 14.059 ton ha^{-1}, respectively) were obtained in the additive intercropping system of 100% sorghum + 100% clover under the full irrigation regime, whereas the minimum fresh and dry forage yields (4.191 and 0.920 ton ha^{-1}, respectively) were recorded in clover monoculture under severe drought stress. Under moderate and severe drought stress, the maximum fresh and dry forage yields were obtained in sorghum monoculture and then in the additive intercropping system of 100% sorghum + 100% clover. Furthermore, the effect of the cropping system and the interaction of irrigation regime × cropping system on the land equivalent ratio (LER) for fresh and dry forage production were significant. The highest land equivalent ratio for fresh and dry forage production (1.719 and 1.723, respectively) was obtained in the additive intercropping system of 100% sorghum + 100% clover under full irrigation, whereas the lowest land equivalent ratio for fresh and dry forage production (1.024 and 1.022, respectively) was recorded in replacement intercropping system of 25% clover + 75% sorghum under full irrigation.

Conclusion

According to the results of this study, the additive intercropping system of 100% sorghum + 100% clover can be recommended as the superior treatment in all irrigation regimes, whereas sorghum monoculture was suitable only in moderate and severe drought stress regimes.

***Keywords*:** Cultivation pattern, Irrigation regime, Forage yield, Dry matter, Land equivalent ratio

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4533.2035

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل تولید علوفه در نظام‌های کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و شبدر قرمز (*Trifolium pratense* L.) تحت تنش خشکی

ساناز پورعلی[۱]، فیاض آقایاری[۲*]، محمدرضا اردکانی[۲]، فرزاد پاک‌نژاد[۳]، فرید گل‌زردی[۴]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۴. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
الگوی کشت
رژیم آبیاری
عملکرد علوفه
ماده خشک
نسبت برابری زمین

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۵/۰۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۲۰

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۲

۱۶(۱): ۲۲۹-۲۴۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی سورگوم با شبدر قرمز در سطوح مختلف آبیاری بر پتانسیل تولید علوفه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی اداره منابع طبیعی دماوند اجرا شد. رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح شامل آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید) به‌عنوان عامل اصلی و الگوهای مختلف کشت مخلوط در هشت سطح (شامل: ۷۵٪ سورگوم +۲۵٪ شبدر، ۵۰٪ سورگوم +۵۰٪ شبدر و ۲۵٪ سورگوم +۷۵٪ شبدر به‌عنوان نظام‌های کشت مخلوط جایگزینی؛ ۱۰۰٪ سورگوم +۵۰٪ شبدر، ۵۰٪ سورگوم +۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم +۱۰۰٪ شبدر به‌عنوان نظام‌های کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص سورگوم و شبدر قرمز به‌عنوان شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سال، رژیم آبیاری و کشت مخلوط و اثر متقابل رژیم آبیاری و کشت مخلوط بر عملکرد علوفه تر و خشکِ شبدر، سورگوم و عملکرد کل معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۶۵/۱۶۹ و ۱۴/۰۵۹ تن در هکتار) در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم +۱۰۰٪ شبدر تحت رژیم آبیاری کامل حاصل شد، درحالی‌که حداقل عملکرد علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۴/۱۹۱ و ۰/۹۲۰ تن در هکتار) در کشت خالص شبدر تحت تنش خشکی شدید ثبت شد. تحت تنش خشکی متوسط و شدید، حداکثر عملکرد علوفه تر و خشک، در کشت خالص سورگوم و پس از آن در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم+۱۰۰٪ شبدر حاصل شد. بیشترین نسبت برابری زمین برای تولید علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۱/۷۱۹ و ۱/۷۲۳) نیز در تیمار کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم+۱۰۰٪ شبدر و آبیاری کامل حاصل شد. بر اساس نتایج این مطالعه، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم +۱۰۰٪ شبدر به‌عنوان تیمار برتر در تمام رژیم‌های آبیاری و کشت خالص سورگوم فقط در رژیم‌های تنش خشکی متوسط و شدید قابل‌توصیه می‌باشند.

مقدمه

بر اساس مطالعات انجام‌شده، بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است و توجه به مصرف بهینه آب در این بخش اهمیت بالایی دارد. از طرف دیگر تغییر اقلیم و گسترش تنش‌های محیطی در سال‌های اخیر باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی شده است؛ بنابراین لزوم شناسایی راهکارهای مناسب برای مقابله با چنین شرایطی به طور کامل احساس می‌شود (Golzardi et al., 2012). روش‌های مناسب کاربرد آب در مزرعه از راهکارهای مدیریتی مؤثر در ارتقای بهره‌وری مصرف آب هستند. کم‌آبیاری روشی است که در آن گیاهان به‌صورت هدفمند تحت آبیاری قرار می‌گیرند (Golzardi et al., 2017). بازگرداندن تنوع به زیست‌بوم‌های زراعی و مدیریت مؤثر آن، به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم در

* نگارنده پاسخگو: فیاض آقایاری. پست الکترونیک: aghayari_ir@yahoo.com

کشاورزی پایدار شناخته می‌شود. کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی، اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع و افزایش عملکرد گیاهان زراعی را دنبال می‌کند (Lithourgidis et al., 2006).

مهم‌ترین سودمندی نظام‌های کشت مخلوط نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی، افزایش تولید در واحد سطح است که البته همیشه نیز دست‌یافتنی نبوده و تنها زمانی که گیاهان تشکیل‌دهندهٔ کشت مخلوط، ازنظر نحوه و میزان استفاده از عوامل رشد (آب، نور و مواد غذایی) کاملاً با یکدیگر متفاوت باشند، این مزیت حاصل می‌گردد و می‌توانند از عوامل محیطی به‌خوبی استفاده کرده و درنتیجه مجموع عملکرد آن‌ها در واحد سطح افزایش می‌یابد (Nazari et al., 2012). علاوه بر این در نظام‌های کشت مخلوط استفاده مؤثرتری از آب می‌شود و به همین دلیل کاربرد این سیستم کشت در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا بیشتر رواج دارد. با انتخاب صحیح گیاهان در کشت مخلوط، سیستم متفاوت ریشه‌ای آن‌ها، باعث جذب آب از اعماق و بخش‌های مختلف خاک شده و هدرروی آب (به‌صورت تبخیر یا ثقلی کاهش) می‌یابد؛ بنابراین امکان مصرف مقدار آبی که در کشت خالص قابل‌استفاده نبود و از دسترس گیاه خارج می‌شد، با نظام کشت مخلوط فراهم می‌شود و بهره‌وری آب افزایش می‌یابد (Sani et al., 2011).

یو و همکاران (Yu et al., 2015) با فراتحلیل روی ۳۳۱۳ مقاله در زمینه کشت مخلوط گزارش کردند که کشت مخلوط گیاهان سه‌کربنه (C_3) با چهارکربنه (C_4) نسبت به کشت مخلوط گیاهان سه‌کربنه با سه‌کربنه موفق‌تر بوده و میزان عملکرد را بیشتر افزایش داده است. سنجانی و همکاران (Sanjani et al., 2009) پس از بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط سورگوم و لوبیا چشم‌بلبلی گزارش کردند که بیشترین عملکرد در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم +۴۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی حاصل شد. ولدیملاک و همکاران (Woldeamlak et al., 2006) با مطالعه کشت مخلوط جو و گندم تحت تنش خشکی، با مقادیر بزرگ‌تر از یک به‌دست‌آمده برای نسبت برابری زمین مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را اعلام کردند و همچنین به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی سبب بهبود عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌شود.

زراعت لگومینوز با برخورداری از انواع ریزوبیوم‌ها در ریشه‌های خود قادرند با همزیستی مسالمت‌آمیز با باکتری‌ها ضمن تأمین بخشی از ازت خود زمینه‌های افزایش باروری و حاصلخیزی خاک را نیز فراهم آورند. همین امر سبب افزایش عملکرد علوفه شده است (Balazadeh et al., 2021).

مطابق با پژوهش خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2013) در نظام کشت مخلوط باقلا و ذرت، بیشترین نسبت برابری زمین در شرایط تنش خشکی بدون شخم‌زنی و با مصرف ۸۰٪ آب موردنیاز به دست آمد.

باتوجه‌به مطالب ذکرشده و وجود گزارش‌های متعدد مبنی بر برتری نظام‌های کشت مخلوط گیاهان زراعی سه‌کربنه (C_3) با چهارکربنه (C_4) و همچنین وجود مشکل کمبود آب در کشور، این پژوهش با هدف ارزیابی پتانسیل نظام‌های کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی سورگوم علوفه‌ای و شبدر قرمز برای تولید علوفه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۴ تیمار و ۳ تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی شمس (اداره منابع طبیعی دماوند) اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح شامل آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد)، آبیاری با ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) بود. الگوهای مختلف کشت مخلوط به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند که شامل: ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر، ۵۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر و ۲۵٪ سورگوم + ۷۵٪ شبدر به‌عنوان نظام‌های کشت مخلوط جایگزینی؛ ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر، ۵۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر به‌عنوان نظام‌های کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص سورگوم و شبدر قرمز به‌عنوان شاهد بودند. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول شش متر با فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور، فاصله بین کرت‌های اصلی چهار خط نکاشت در نظر گرفته شد. در این آزمایش از سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید و شبدر قرمز رقم نسیم استفاده شد.

جهت کاشت سورگوم و شبدر در تیمارهای کشت خالص، به ترتیب ۱۵ و ۲۵ کیلوگرم بذر در هر هکتار استفاده شد. به‌منظور کاشت تیمارهای مخلوط نیز بر اساس نسبت اختلاط ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصدی، به ترتیب ۳/۷۵، ۷/۵۰ و ۱۱/۲۵ کیلوگرم بذر سورگوم و ۶/۲۵، ۱۲/۵۰ و ۱۸/۷۵ کیلوگرم بذر شبدر در هر هکتار مصرف شد. آبیاری تیمارهای آزمایشی به‌صورت غرقابی انجام گردید. دور آبیاری بر اساس تخلیه ۴۰ درصد آب در دسترس در محدوده ریشه در شرایط آبیاری کامل تنظیم شد. عمق آب آبیاری در تیمارهای مربوط به آبیاری کامل بر اساس کمبود رطوبت خاک نسبت به نقطه ظرفیت زراعی در زمان آبیاری از طریق نمونه‌برداری تعیین شد و مقادیر عمق آب آبیاری در تیمارهای مربوط به تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب بر اساس ۷۵ و ۵۰ درصد عمق آب آبیاری کامل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که بعد از استقرار بوته‌های سورگوم، عملیات تنک‌سازی انجام و تراکم آن بر اساس ۲۰ بوته در مترمربع تنظیم گردید. در این آزمایش الگوی کاشت به‌صورت ردیفی بود و تغییر نسبت‌های مخلوط بر اساس تغییر تعداد ردیف‌های کاشت سورگوم و شبدر اعمال می‌گردد. در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی، عملیات کاشت در وسط پشته‌ها انجام شد درحالی‌که در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی، از الگوی دو ردیفه استفاده شد و هرگونه در یک طرف پشته‌ها کاشته شدند. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ و داده‌های دما و بارندگی در منطقه موردمطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experimental site

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn
		dS m^{-1}	%	ppm						
Sandy silt	7.6	2.8	0.22	0.17	10	12	2.8	12	0.16	0.9

جدول ۲. داده‌های دما و بارندگی در فصول زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در منطقه موردمطالعه

Table 2. Temperature and precipitation during 2017 and 2018 growing seasons, at the experimental site

سال Year	Month	ماه	دمای حداقل T_{min}	دمای حداکثر T_{max}	دمای متوسط T_{mean}	بارندگی Prec.
			°C			mm
۱۳۹۶ 2017	June	خرداد- تیر	9.7	33.7	23.45	0.00
	July	تیر- مرداد	12.5	35.3	25.18	27.71
	August	مرداد- شهریور	12.4	32.2	23.69	0.20
	September	شهریور- مهر	9.0	31.1	20.20	0.00
	October	مهر- آبان	1.8	24.3	12.87	20.42
۱۳۹۷ 2018	June	خرداد- تیر	10.9	33.6	23.40	31.00
	July	تیر- مرداد	16.1	35.7	27.78	0.00
	August	مرداد- شهریور	15.4	34.7	25.4	3.70
	September	شهریور- مهر	9.8	32.6	20.18	6.20
	October	مهر- آبان	1.4	25.9	12.30	65.71

جهت تعیین عملکرد علوفه، از چهار ردیف وسط هر کرت با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثر حاشیه‌ای)، بوته‌ها برداشت و بعد از توزین، عملکرد علوفه تر سورگوم و شبدر به تفکیک محاسبه شد. جهت تعیین عملکرد علوفه خشک در هر کرت، نمونه‌های تر سورگوم و شبدر به طور تصادفی انتخاب و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا ثابت‌شدن وزن، خشک شدند. درنهایت بر اساس درصد ماده خشکِ تعیین‌شده در نمونه‌های سورگوم و شبدر، عملکرد علوفه خشک این گیاهان در هر کرت محاسبه شد.

جهت تعیین سودمندی نسبی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، از نسبت برابری زمین (LER=Land Equivalent Ratio) استفاده می‌شود. نسبت برابری زمین

عبارت است از نسبت سطح موردنیاز برای تک‌کشتی به سطحی از کشت مخلوط که در شرایط مدیریتی یکسان، عملکردی معادل تک‌کشتی داشته باشد؛ به‌عبارت‌دیگر این نسبت از مجموع عملکرد نسبی محصولات در کشت مخلوط به دست می‌آید. البته عملکرد نسبی محصول برابر است با نسبت عملکرد محصول در کشت مخلوط به عملکرد آن در حالت کشت خالص. اگر این نسبت بیشتر از عدد یک باشد در این صورت کارایی کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص است و چنانچه کمتر از یک باشد، کارایی کشت خالص بیشتر خواهد بود. محاسبه شاخص نسبت برابری زمین با استفاده از معادله‌های ۱، ۲ و ۳ انجام شد (Yilmaz et al., 2015).

$$LER_{Standard} = LER_c + LER_s \quad [۱]$$

$$LER_c = Y_{ci} \div Y_{cmax} \quad [۲]$$

$$LER_s = Y_{si} \div Y_{smax} \quad [۳]$$

در این معادله‌ها LER_c و LER_s به ترتیب عملکرد نسبی شبدر و سورگوم، Y_{ci} و Ysi به ترتیب عملکرد شبدر و سورگوم در شرایط کشت مخلوط و Y_{Cmax} و Y_{Smax} به ترتیب حداکثر عملکرد شبدر و سورگوم در شرایط تک‌کشتی است.

در پایان باتوجه‌به نتایج آزمون بارتلت مبنی بر همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال، داده‌ها با درنظرگرفتن اثر سال به‌عنوان عامل تصادفی، مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه تر شبدر قرمز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال، کشت مخلوط، اثر متقابل سال در کشت مخلوط، اثر رژیم آبیاری در کشت مخلوط در سطح احتمال ۱٪ و اثر رژیم آبیاری در سطح ۵٪ بر عملکرد علوفه تر شبدر معنی‌دار شدند (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد عملکرد علوفه‌تر شبدر در سال اول آزمایش (۴/۶۲۰ تن در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم (۴/۲۲۹ تن علوفه تر در هکتار) بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد گرم‌تر بودن هوا در سال ۱۳۹۷ و سیستم فتوسنتزی شبدر باعث کاهش عملکرد آن در این سال شده است. شبدر گیاهی با سیستم فتوسنتزی C_3 است و نرخ فتوسنتز آن به افزایش دمای هوا و شدت تابش دریافتی واکنش منفی نشان می‌دهد (Yamori et al., 2014).

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه تر شبدر (۹/۲۲ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت خالص شبدر و کمترین مقدار آن (۱/۲۹ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر حاصل شد. تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال نیز با تولید به ترتیب ۷/۳۹۸ و ۷/۳۰۲ تن علوفه تر شبدر در هکتار توانستند از این لحاظ در رتبه دوم قرار بگیرند (جدول ۵).

زراعت مخلوط شبدر و سورگوم با آرایش کانوپی مناسب باعث برخورداری حداکثری و استفاده از فضاهای مناسب جذب نور کافی و بالا، وسط و پایین اشکوب‌های گیاهی، زمینه را برای توزیع مناسب نور جهت افزایش عملکرد گیاه فراهم می‌سازد (Alderfasi et al., 2016). باتوجه‌به کاهش‌یافتن دما و میزان نور در کشت مخلوط شبدر و سورگوم، راندمان فتوسنتز در شبدر بهبودیافته و سبب افزایش عملکرد در کشت مخلوط می‌شود. اگرچه در کشت خالص گاهی میزان علوفه نسبت به کشت مخلوط بیشتر است، ولی گاهی زمان لازم است تا در یک دوره طولانی از سال زراعی علوفه در دسترس باشد؛ لذا اگر انتخاب گونه‌های مختلف گیاهان در کشت مخلوط بر مبنای صحیح باشد می‌توان عملکرد قابل‌توجهی در کشت مخلوط به دست آورد (Alizadeh et al., 2017).

عملکرد علوفه خشک شبدر قرمز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال، کشت مخلوط، اثر متقابل سال در کشت مخلوط و اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط در سطح احتمال ۱٪ و اثر رژیم آبیاری، اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط در سطح احتمال ۵٪ بر عملکرد علوفه خشک شبدر معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد علوفه خشک شبدر در سال اول آزمایش (۰/۹۴۸ تن در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم (با تولید ۰/۸۶۳ تن علوفه خشک در هکتار) بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری×کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک شبدر (۱/۸۵۵ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت خالص شبدر و

کمترین مقدار آن (۰/۲۸۵ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر حاصل شد. تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال با تولید به ترتیب ۱/۴۶۰ و ۱/۴۲۸ تن علوفه خشک شبدر در هکتار توانستند از این لحاظ در رتبه دوم قرار بگیرند (جدول ۵).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه تر و خشک شبدر و سورگوم

Table 3. Results of analysis of variance of fresh and dry forage yield of clover and sorghum

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی (d.f)	عملکرد علوفه تر شبدر Fresh forage yield of clover	عملکرد علوفه تر سورگوم Fresh forage yield of sorghum	عملکرد کل علوفه تر Total fresh forage yield
Year (Y)	سال	1	4.821**	412.224*	286.901*
Block	بلوک	4	0.196^{ns}	29.641^{ns}	28.549^{ns}
Irriation Regime (I)	رژیم آبیاری	2	104.224*	1946.5**	2578.33**
I × Y	سال × رژیم آبیاری	2	1.130^{ns}	6.513^{ns}	2.175^{ns}
Main Error	خطای اصلی	8	0.257	15.601	13.495
Mixed Cultivation (M)	کشت مخلوط	7	48.282**	2198.6**	4160.82**
Y×M	سال×کشت مخلوط	7	3.745**	18.144^{ns}	31.813*
I×M	رژیم آبیاری×مخلوط	14	2.521**	72.547**	89.685**
Y×I× M	سال×رژیم آبیاری×کشت مخلوط	14	0.510^{ns}	1.589^{ns}	2.280^{ns}
Trial Error	خطای آزمایشی	84	0.308	12.562	11.757
C.V%	ضریب تغییرات	-	12.542	9.486	9.377

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی (d.f)	عملکرد علوفه خشک شبدر Dry forage yield of clover	عملکرد علوفه خشک سورگوم Dry forage yield of sorghum	عملکرد کل علوفه خشک Total dry forage yield
Year (Y)	سال	1	0.231**	20.418*	14.264*
Block	بلوک	4	0.008^{ns}	1.811^{ns}	1.713^{ns}
Irriation Regime (I)	رژیم آبیاری	2	3.210*	62.230**	81.77**
I × Y	سال × رژیم آبیاری	2	0.065*	0.194^{ns}	0.049^{ns}
Main Error	خطای اصلی	8	0.011	1.116	0.969
Mixed Cultivation (M)	کشت مخلوط	7	2.111**	109.231**	210.761**
Y×M	سال×کشت مخلوط	7	0.157**	0.904^{ns}	1.584*
I×M	رژیم آبیاری×مخلوط	14	0.090**	3.021**	3.536**
Y×I× M	سال×رژیم آبیاری×کشت مخلوط	14	0.018^{ns}	0.109^{ns}	0.127^{ns}
Trial Error	خطای آزمایشی	84	0.013	0.756	0.699
C.V%	ضریب تغییرات	-	12.494	10.375	10.289

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد؛ .n.s: غیرمعنی‌دار

**and *: Significant at the 1% and 5% level of probability, respectively, ns: Non-significant

جدول ۴. عملکرد علوفه تر و خشک شبدر و سورگوم و مجموع عملکرد تحت تأثیر سال

Table 4. Fresh and dry forage yield of clover and sorghum and total yield as affected by year

سال (Year)	عملکرد علوفه تر شبدر Fresh forage yield of clover	عملکرد علوفه تر سورگوم Fresh forage yield of sorghum	عملکرد کل علوفه تر Total fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک شبدر Dry forage yield of clover	عملکرد علوفه خشک سورگوم Dry forage yield of sorghum	عملکرد کل علوفه خشک Total dry forage yield
	---------- t ha^{-1} ----------					
۱۳۹۶-2017	4.620 ^{a}	35.554 ^{a}	40.174 ^{b}	0.948 ^{a}	7.980 ^{b}	8.928 ^{b}
۱۳۹۷-2018	4.229 ^{b}	39.172 ^{b}	43.401 ^{a}	0.863 ^{b}	8.785 ^{a}	9.648 ^{a}

توضیح: در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters within a column are not significantly different according to LSD

جدول ۵. عملکرد علوفه تر و خشک شبدر و سورگوم و مجموع عملکرد تحت‌تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و کشت مخلوط

Table 5. Fresh and dry forage yield of clover and sorghum and total yield as affected by interaction of irrigation regime and intercropping

رژیم آبیاری Irrigation regime	نسبت اختلاط Mixing ratio		عملکرد علوفه تر شبدر Clover fresh forage yield	عملکرد علوفه تر سورگوم Sorghum fresh forage yield	عملکرد کل علوفه تر Total fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک شبدر Clover dry forage yield	عملکرد علوفه خشک سورگوم Sorghum dry forage yield	عملکرد کل علوفه خشک Total dry forage yield
	سورگوم Sorghum	شبدر Clover	---------- t ha^{-1} ----------					
آبیاری کامل Full irrigation	100٪	100٪	7.302 ^{b}	57.867 ^{a}	65.169 ^{a}	1.428 ^{b}	12.631 ^{a}	14.059 ^{a}
	100٪	50٪	4.473 $^{d-f}$	56.220 ^{b}	60.693 ^{b}	0.858 ^{ef}	12.081 ^{b}	12.940 ^{b}
	50٪	100٪	7.398 ^{b}	34.856 ^{fg}	42.255 ^{g}	1.460 ^{b}	7.554 ^{h}	9.013 ^{h}
	100٪	0	-	57.209 ^{ab}	57.209 ^{c}	-	12.386 ^{ab}	12.386 ^{c}
	75٪	25٪	2.581 $^{i-k}$	45.317 ^{d}	47.898 ^{f}	0.505 ^{hi}	9.786 ^{e}	10.291 ^{f}
	50٪	50٪	4.388 ^{ef}	34.042 ^{g}	38.429 ^{h}	0.850 ^{ef}	7.405 ^{h}	8.255 ^{i}
	25٪	75٪	7.121 ^{bc}	23.034 ^{j}	30.154 ^{j}	1.401 ^{b}	5.077 ^{k}	6.479 ^{k}
	0	100٪	9.221 ^{a}	-	9.221 ^{m}	1.855 ^{a}	-	1.855 ^{n}
تنش متوسط Moderate stress	100٪	100٪	5.077 ^{de}	44.791 ^{d}	49.868 ^{de}	1.041 ^{cd}	10.038 ^{de}	11.08 ^{e}
	100٪	50٪	3.138 $^{h-j}$	45.069 ^{d}	48.207 ^{fe}	0.633 ^{gh}	10.243 ^{d}	10.876 ^{e}
	50٪	100٪	5.321 ^{d}	26.989 ^{i}	32.310 ^{i}	1.094 ^{c}	6.081 ^{j}	7.176 ^{j}
	100٪	0	-	51.458 ^{c}	51.458 ^{d}	-	11.566 ^{c}	11.566 ^{d}
	75٪	25٪	1.835 ^{kl}	41.708 ^{e}	43.544 ^{g}	0.378 ^{ij}	9.341 ^{f}	9.719 ^{g}
	50٪	50٪	3.167 ^{hi}	30.929 ^{h}	34.096 ^{i}	0.645 ^{gh}	6.965 ^{i}	7.610 ^{j}
	25٪	75٪	5.016 ^{de}	21.877 ^{j}	26.893 ^{k}	1.037 ^{cd}	4.969 ^{k}	6.006 ^{l}
	0	100٪	6.373 ^{c}	-	6.373 ^{n}	1.333 ^{b}	-	1.333 ^{o}
تنش شدید Severe stress	100٪	100٪	3.410 $^{g-i}$	35.227 ^{fg}	38.637 ^{h}	0.747 ^{fg}	8.202 ^{g}	8.949 ^{h}
	100٪	50٪	2.231 ^{k}	35.647 ^{f}	37.877 ^{h}	0.482 ^{hi}	8.385 ^{g}	8.867 ^{h}
	50٪	100٪	3.743 $^{f-h}$	19.415 ^{k}	23.159 ^{l}	0.831 ^{ef}	4.547 ^{l}	5.378 ^{m}
	100٪	0	-	42.152 ^{e}	42.152 ^{g}	-	9.876 ^{de}	9.877 ^{fg}
	75٪	25٪	1.296 ^{l}	35.733 ^{f}	37.029 ^{h}	0.285 ^{j}	8.360 ^{g}	8.645 ^{hi}
	50٪	50٪	2.257 ^{jk}	25.812 ^{i}	28.070 ^{k}	0.490 ^{hi}	6.013 ^{j}	6.503 ^{k}
	25٪	75٪	3.375 $^{g-i}$	19.273 ^{k}	22.648 ^{l}	0.744 ^{fg}	4.521 ^{l}	5.263 ^{m}
	0	100٪	4.191 $^{e-g}$	-	4.191 ^{o}	0.920 ^{de}	-	0.920 ^{o}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters within a column are not significantly different according to LSD ($p \leq 0.05$)

رشد سورگوم در دوره‌های خشک در مواجه با کم‌آبی متوقف می‌شود و با شروع بارندگی یا آبیاری، دوباره شروع به رشد می‌کند. شبدر به دلیل داشتن ریشه ضخیم، عمودی و همچنین وجود گره‌های حاوی باکتری تثبیت‌کننده ازت، مقاوم‌بودن به کم‌آبی، استفاده مناسب از فضای کانوپی و جذب نور عملکرد بالایی نسبت به کشت مخلوط داشت (Baghdadi et al., 2021; Balazadeh et al., 2021).

عملکرد علوفه تر سورگوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر سال در سطح احتمال ۵٪ درصد، اثر رژیم آبیاری، کشت مخلوط و اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد علوفه تر سورگوم معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد علوفه تر سورگوم در سال اول آزمایش (۳۵/۵۵۴ تن در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (با تولید ۳۹/۱۷۲ تن علوفه تر در هکتار) بود (جدول ۴). زراعت لگومینوز با برخورداری از انواع ریزوبیوم‌ها در ریشه‌های خود قادرند با همزیستی مسالمت‌آمیز با باکتری‌ها ضمن تأمین بخشی از ازت خود زمینه‌های افزایش باروری و حاصلخیزی خاک را نیز فراهم می‌آورند. همین امر سبب افزایش عملکرد سورگوم در سال دوم شده است (Ashoori et al., 2021). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه تر سورگوم (۵۷/۸۶ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۱۹/۳۷ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت مخلوط ۲۵٪ سورگوم + ۷۵٪ شبدر حاصل شد. تیمارهای کشت خالص سورگوم و کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال نیز با تولید به ترتیب ۵۷/۲۱ و ۵۶/۲۲ تن علوفه تر سورگوم در هکتار توانستند از این لحاظ در رتبه دوم قرار بگیرند (جدول ۵).

در کشت مخلوط باید گیاهان اثر رقابتی کمتری داشته و به‌نوعی مکمل یکدیگر باشند. شبدر باعث افزایش تثبیت نیتروژن در خاک و جذب آن توسط سورگوم می‌شود. افزایش غلظت نیتروژن در خاک و قابلیت جذب ریشه باعث افزایش عملکرد علوفه تر سورگوم، در شرایط اعمال تنش متوسط می‌شود (Khazaei, 2017). در تحقیقات مشابه افزایش عملکرد در کشت مخلوط، گزارش شده است. شبدر نیتروژن خاک را تثبیت می‌کند. ساختمان ریشه در سورگوم افشان بوده و قابلیت جذب بیشتر آب و املاح را از لایه‌های مختلف خاک دارد. این ویژگی در شرایط اعمال تنش به دلیل عمیق بودن سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر آب و املاح می‌تواند مفید و مؤثر باشد و منجر به افزایش عملکرد علوفه شود (Raei et al., 2006).

عملکرد علوفه خشک سورگوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر سال در سطح احتمال ۵٪ و اثر رژیم آبیاری، کشت مخلوط و اثر متقابل کشت مخلوط در رژیم آبیاری در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد علوفه خشک سورگوم معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد علوفه خشک سورگوم در سال اول آزمایش (۷/۹۸۰ تن در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (با تولید ۸/۷۸۵ تن علوفه خشک سورگوم در هکتار) بود (جدول ۴). گرم‌تر بودن هوا در سال ۹۷ شرایط را برای رشد سورگوم که یک گیاه یک‌ساله و چهارکربنه است فراهم‌تر کرده است. تثبیت کربن موجب افزایش بازده فتوسنتزی شده است. باتوجه‌به اینکه بیشترین فتوسنتز این گیاه در دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه است، با افزایش گرما نرخ فتوسنتز افزایش می‌یابد، درنتیجه گیاه تحت گرما و خشکی کارایی بالاتری خواهد داشت. (Yamori et al., 2014). معنی‌دار شدن اثر سال به علت گرم‌تر بودن هوا در سال ۹۷ بود که سبب افزایش عملکرد سورگوم و کاهش عملکرد شبدر در همهٔ تیمارها به یک‌میزان مشخص نسبت به سال ۹۶ شد.

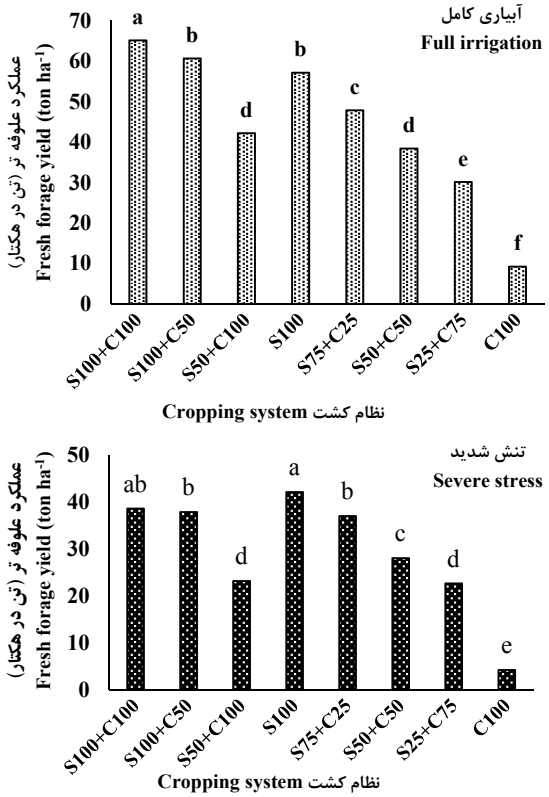
افزایش عملکرد نسبی در کشت مخلوط افزایشی در شرایط آبیاری نرمال و دردسترس‌بودن آب و مواد غذایی باتوجه‌به متفاوت‌بودن سیستم ریشه‌ای در گیاهان انتخابی نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی است (Abdi and Habibi, 2018). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک سورگوم (۱۲/۶۳۱ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۴/۵۲۱ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت مخلوط ۲۵٪ سورگوم + ۷۵٪ شبدر حاصل شد. تیمارهای کشت خالص سورگوم و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال نیز با تولید به ترتیب ۱۲/۳۸ و ۱۲/۰۸۱ تن علوفه خشک سورگوم در هکتار توانستند از این لحاظ در رتبه دوم قرار بگیرند (جدول ۵). کشت گیاه سورگوم با ریشه طویل در مجاورت گیاه شبدر

با ریشه‌سطحی باعث می‌شود که ریشه سورگوم در عمق بیشتری از خاک نفوذ کند و درنتیجه از آب و مواد غذایی موجود در طبقات پایین خاک نیز استفاده شود (Raei et al., 2006).

عملکرد کل علوفه‌ی تر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال و اثر متقابل سال در کشت مخلوط در سطح احتمال ۵٪ و اثر رژیم آبیاری، کشت مخلوط و اثر متقابل کشت مخلوط در رژیم آبیاری در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد کل علوفه‌ی تر معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد کل علوفه تر در سال اول آزمایش (۴۰/۱۷۴ تن در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (با تولید ۴۳/۴۰۱ تن علوفه تر در هکتار) بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد کل علوفه تر (۶۵/۱۶۹ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۴/۱۹۱ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت خالص شبدر حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال نیز با تولید ۶۰/۶۹۳ تن علوفه تر در هکتار توانست از این لحاظ در رتبه دوم قرار بگیرد (جدول ۵). بررسی نتایج اثر متقابل رژیم آبیاری و کشت مخلوط نشان داد بیشترین عملکرد علوفه تر تحت رژیم آبیاری نرمال در کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم+ ۱۰۰٪ شبدر و تحت رژیم‌های تنش متوسط و شدید در کشت خالص سورگوم حاصل شد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و نظام کشت بر عملکرد علوفه تر (برش‌دهی بر روی رژیم آبیاری)؛ در نظام‌های کشت موردبررسی، حروف C و S به‌ترتیب نشان‌دهنده شبدر و سورگوم و اعداد ذکرشده در آن‌ها نشان‌دهنده نسبت‌های اختلاط (بر حسب درصد) می‌باشند.

Fig.1. Interaction of drought stress and cropping system on fresh forage yield (sliced upon irrigation regime); In the studied cropping systems, the letters C and S represent clover and sorghum, respectively, and the numbers mentioned in them indicate the mixing ratios (%).

اهلوات و اهاراما (Ahlawat and Aharama, 2004) در تحقیق خود نتیجه گرفتند که در کشت مخلوط گندم و عدس، تفاوت اجزا کشت مخلوط ازنظر خصوصیات ریشه‌ای، باعث افزایش کارایی استفاده از آب و افزایش عملکرد شد. در بسیاری از نقاط جهان، زراعت مخلوط به دلیل استفاده حداکثر از منابع طبیعی، کاهش ریسک تولید، موازنه در امر تغذیه، حاصلخیزی خاک و نیز افزایش مقدار تولید در واحد سطح بر تک‌کشتی برتری یافته که دلیل آن استفاده بهتر از

عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است (Dashtaki and Chaichi, 2012).

بختیاری و همکاران (Bakhtiyari et al., 2020) در بررسی کشت مخلوط گونه‌های مختلف شبدر مشاهده نمودند که در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی میزان عملکرد علوفه کل افزایش یافته است.

طبق تحقیقی که شریف و محمود (Sherif and Mahmoud, 2015) بر روی کشت مخلوط سویا - ذرت در سطوح مختلف آبیاری به‌منظور تأثیر کم‌آبیاری و کشت مخلوط سویا - ذرت روی عملکرد انجام دادند نتیجه گرفتند که کم‌آبیاری سبب گسترش ساختمان ریشه جهت جذب آب شده است و سبب افزایش عملکرد در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص دو گونه دارای مزیت بود. زراعت لگومینوز با برخورداری از انواع ریزوبیوم‌ها در ریشه‌های خود قادرند با همزیستی مسالمت‌آمیز با باکتری‌ها ضمن تأمین بخشی از ازت خود زمینه‌های افزایش باروری و حاصلخیزی خاک را نیز فراهم آوردند. همین امر سبب افزایش عملکرد علوفه شده است (Ashoori et al., 2021).

عملکرد کل علوفهٔ خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال و اثر متقابل سال در کشت مخلوط در سطح احتمال ۵٪ و اثر رژیم آبیاری، کشت مخلوط و اثر متقابل کشت مخلوط در رژیم آبیاری در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد کل علوفه‌ی خشک معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد کل علوفه خشک در سال اول آزمایش (۸/۹۲۸ تن در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (با تولید ۹/۶۴۸ تن علوفه خشک در هکتار) بود (جدول ۴). در کشت مخلوط به دلیل رقابت بین گیاهان باید دررابطه‌با انتخاب گیاهان کشت مخلوط دقت کافی انجام شود تا رقابت بین‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد نشود. به دلیل این‌که برخی از گیاهان از ریشه خود موادی ترشح می‌کنند که می‌تواند بر سایر گیاهان مؤثر باشد و در اینجا یک مدیریت صحیح زراعی باید طوری اعمال شود که اثر ترشحات ریشه به‌عنوان یک عامل مخرب نباشد؛ بلکه سبب افزایش جذب مواد بشود به دلیل اینکه در بعضی از گیاهان ترشحات گیاه هم‌جوار باعث افزایش جذب مواد غذایی و درنهایت افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Ashoori et al., 2021). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد کل علوفه خشک (۱۴/۰۵۹ تن در هکتار) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۰/۹۲۰ تن در هکتار) در تنش شدید و کشت خالص شبدر حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت آبیاری نرمال با تولید ۱۲/۹۴۰ تن کل علوفه خشک در هکتار در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۵). نتایج بررسی اثر متقابل رژیم آبیاری و کشت مخلوط نشان داد بیشترین عملکرد علوفه خشک تحت رژیم آبیاری نرمال در کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم+ ۱۰۰٪ شبدر و تحت رژیم‌های تنش متوسط و شدید در کشت خالص سورگوم حاصل شد (شکل ۲).

گیاهان تشکیل‌دهنده کشت مخلوط معمولاً ازنظر نحوه و میزان استفاده از منابع طبیعی (آب، نور و عناصر غذایی) با یکدیگر متفاوت هستند. این گونه‌ها با خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت در مجاورت یکدیگر کشت می‌شوند و قادر خواهند بود از عوامل محیطی استفاده بهینه نمایند. هر چه تفاوت‌ها بیشتر باشد، رقابت بین‌گونه‌ای مساوی یا کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای است. در چنین حالتی گیاهان نه‌تنها با یکدیگر رقابت نمی‌کنند، بلکه مکمل یکدیگر نیز هستند (Francis, 1989).

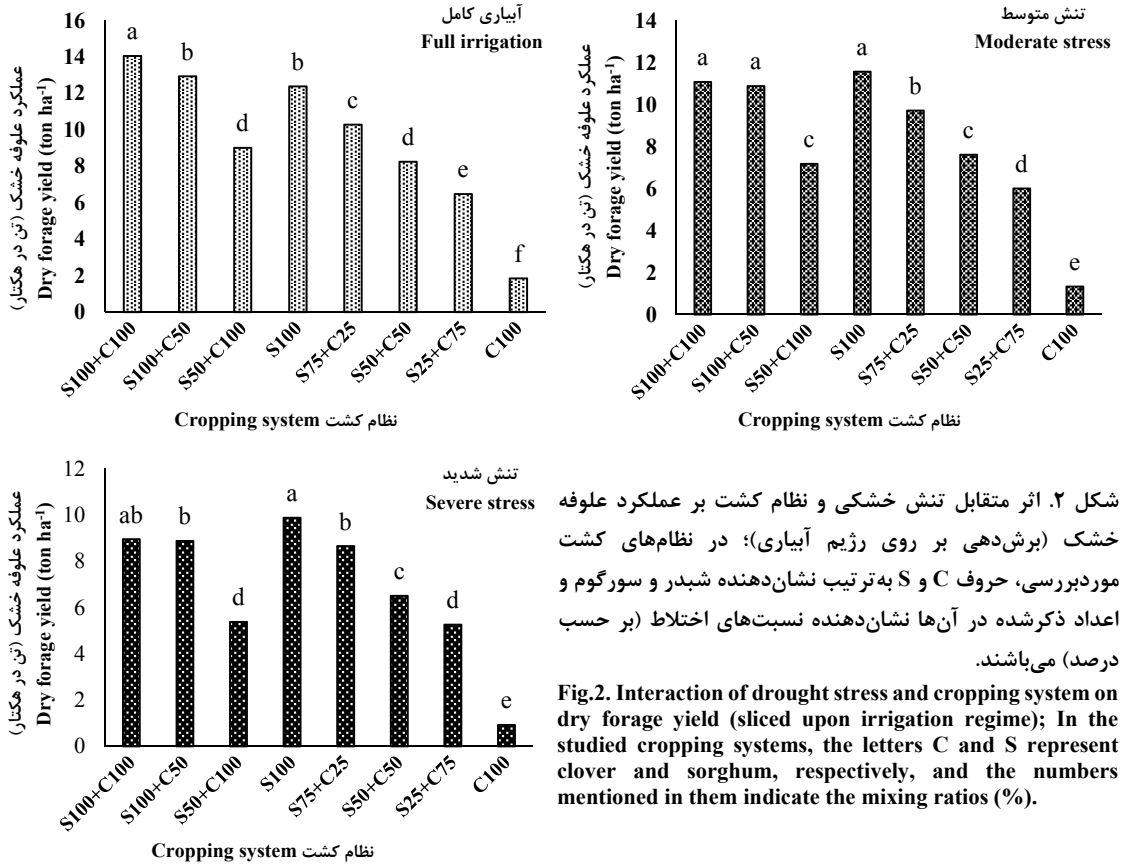
کشت مخلوط افزایشی گیاهان مختلف زراعی با یکدیگر باتوجه‌به ایجاد یک میکرو اکوسیستم رقابتی شدید، شرایطی را فراهم می‌کند که خسارت‌های علف هرز در این شرایط به حداقل ممکن می‌رسد. در شرایط خشک، به دلیل متفاوت‌بودن عمق گسترش ریشه گیاهان همراه در کشت مخلوط و استفاده مؤثر از رطوبت خاک و بنابراین تأثیر کمتر تنش رطوبتی مقدار محصول به میزان کمتری کاهش می‌یابد (Khajeh Khezri et al., 2018).

نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ تر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر سال و اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط، در سطح احتمال ۵٪، اثر کشت مخلوط و اثر متقابل سال در کشت مخلوط، در سطح احتمال ۱٪ بر نسبت برابری زمین برای کل علوفه‌ی تر معنی‌دار شد. مطابق نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، کشت مخلوط و اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط بر عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین اثر سال، کشت مخلوط، اثر متقابل سال در رژیم آبیاری و اثر

متقابل سال در کشت مخلوط بر عملکرد نسبی علوفه تر شبدر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط در جدول ۷ و اثر سال در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ تر در سال اول (۱/۱۹۰) به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (۱/۲۸۱) بود. در بسیاری از نقاط جهان، زراعت مخلوط به دلیل استفاده حداکثر از منابع محیطی، کاهش ریسک تولید، موازنه در امر تغذیه، حاصلخیزی خاک و نیز افزایش مقدار تولید در واحد سطح بر تک‌کشتی برتری یافته که دلیل آن استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است (Baghdadi et al., 2021).



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و نظام کشت بر عملکرد علوفه خشک (برش‌دهی بر روی رژیم آبیاری)؛ در نظام‌های کشت موردبررسی، حروف C و S به‌ترتیب نشان‌دهنده شبدر و سورگوم و اعداد ذکرشده در آن‌ها نشان‌دهنده نسبت‌های اختلاط (بر حسب درصد) می‌باشند.

Fig.2. Interaction of drought stress and cropping system on dry forage yield (sliced upon irrigation regime); In the studied cropping systems, the letters C and S represent clover and sorghum, respectively, and the numbers mentioned in them indicate the mixing ratios (%).

فنگ و همکاران (Fang et al., 2016) مشاهده کردند که مقادیر نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک به دست آمد که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است و همچنین عملکرد دو گیاه در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ تر (۱/۷۱۹) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۱/۰۳۳) در تنش شدید و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت تنش متوسط نیز با نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ تر (۱/۵۸۷) در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۷).

مطابق با پژوهش خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2013) در سیستم کشت مخلوط باقلا و ذرت، بیشترین میزان نسبت برابری زمین در شرایط تنش خشکی بدون به‌کارگیری سیستم شخم‌زنی و به‌کارگیری ۸۰٪ آب موردنیاز به دست آمد. در تحقیق انجام‌شده توسط رضوان بیدختی (Rezvan Bidokhti, 2004) نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیشتر از کشت خالص هریک از گیاهان نامبرده بود که این امر به بیشتر بودن شاخص سطح برگ کل در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص نسبت داده

شد که خود افزایش جذب نور در کانوپی و افزایش عملکرد در این تیمارها را به همراه داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم و ۱۰۰٪ شبدر (۰/۹۸۳) و تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم و ۵۰٪ شبدر (۰/۹۵۳) و کمترین مقدار آن در کشت مخلوط ۲۵٪ سورگوم + ۷۵٪ شبدر تحت سه شرایط آبیاری نرمال، تنش متوسط و تنش شدید (به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴۰۹ و ۰/۴۰۹) حاصل شد. تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت تنش متوسط و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت تنش متوسط، به ترتیب با تولید ۰/۸۴۳ و ۰/۸۳۹ عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم در جایگاه بعدی قرار گرفت (جدول۷). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی علوفه تر شبدر (۰/۸۰۶) تحت تنش متوسط و کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم و ۵۰٪ شبدر و کمترین مقدار آن (۰/۲۵۸) در آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر حاصل شد. (جدول ۷). اگرچه در کشت خالص گاهی میزان علوفه نسبت به کشت مخلوط بیشتر است، ولی گاهی اوقات احتیاج است تا در یک دوره طولانی از سال زراعی علوفه در دسترس باشد. لذا اگر انتخاب گونه‌های مختلف گیاهان در کشت مخلوط بر مبنای صحیح باشد می‌توان گیاهانی با رشد و نمو مختلف و مناسب انتخاب نمود تا در یک دوره طولانی از سال زراعی، علوفه لازم برای چرا موجود باشد (Ashoori et al., 2021).

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس نسبت برابری زمین برای تولید علوفه تر و خشک

Table 6. Results of analysis of variance of land equivalent ratio (LER) for fresh and dry forage production

منابع تغییرات (S.O.V.)	درجه آزادی (d.f.)	عملکرد نسبی علوفه تر شبدر Relative fresh forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم Relative fresh forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه تر Land equivalent ratio for total fresh forage	عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر Relative dry forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم Relative dry forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه خشک Land equivalent ratio for total dry forage
سال Year (Y)	1	0.332 **	0.011 ns	0.223 *	0.296 **	0.007 ns	0.215 ns
بلوک Block	4	0.003 ns	0.013 *	0.026 ns	0.002 ns	0.016 *	0.029 ns
رژیم آبیاری Irriation Regime (I)	2	0.005 ns	0.100 **	0.074 ns	0.003 ns	0.103 *	0.077 ns
سال×رژیم آبیاری I × Y	2	0.038 **	0.001 ns	0.028 ns	0.042 **	0.002 ns	0.039 ns
خطای اصلی Main Error	8	0.004	0.006	0.011	0.004	0.008	0.014
کشت مخلوط Mixed Cultivation (M)	5	0.760 **	0.670 **	0.814 **	0.765 **	0.661 **	0.804 **
سال×کشت مخلوط Y × M	5	0.044 **	0.006 ns	0.042 **	0.043 **	0.006 ns	0.044 **
رژیم آبیاری× مخلوط I × M	10	0.001 ns	0.019 **	0.019 *	0.001 ns	0.019 **	0.019 **
سال×رژیم‌آبیاری×کشت مخلوط Y × I × M	10	0.004 ns	0.001 ns	0.006 ns	0.004 ns	0.001 ns	0.004 ns
خطای آزمایشی Trial Error	60	0.006	0.004	0.011	0.006	0.005	0.012
ضریب تغییرات C.V%	-	13.835	10.086	8.568	14.056	11.049	8.995

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

**and *: Significant at the 1% and 5% level of probability, respectively, ns: Non-significant

جدول ۷. عملکرد نسبی علوفه تر و خشک شبدر و سورگوم و نسبت برابری زمین برای تولید علوفه تر و خشک تحت‌تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و کشت مخلوط

Table 7. Relative fresh and dry forage yield of clover and sorghum and land equivalent ratio for fresh and dry forage production as affected by interaction of irrigation regime and intercropping

رژیم آبیاری Irrigation regime	نسبت اختلاط Mixing ratio		عملکرد نسبی علوفه تر شبدر Relative fresh forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم Relative fresh forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه تر Land equivalent ratio for fresh forage	عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر Relative dry forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم Relative dry forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه خشک Land equivalent ratio for dry forage
	سورگوم Sorghum	شبدر Clover						
آبیاری کامل Full irrigation	100٪	100٪	0.736 ab	0.983 a	1.719 a	0.729 ab	0.995 a	1.723 a
	100٪	50٪	0.458 c	0.953 a	1.411 cd	0.446 c	0.949 b	1.395 cd
	50٪	100٪	0.76 ab	0.592 d	1.352 de	0.761 ab	0.593 e	1.354 de
	75٪	25٪	0.258 d	0.766 c	1.024 k	0.255 d	0.766 d	1.022 k
	50٪	50٪	0.457 c	0.578 de	1.034 jk	0.450 c	0.582 ef	1.032 k
	25٪	75٪	0.725 ab	0.390 g	1.114 i-k	0.723 ab	0.398 h	1.121 ij
تنش متوسط Moderate stress	100٪	100٪	0.748 ab	0.839 b	1.587 b	0.740 ab	0.823 c	1.563 b
	100٪	50٪	0.468 c	0.843 b	1.311 ef	0.454 c	0.840 c	1.294 ef
	50٪	100٪	0.806 a	0.504 f	1.310 ef	0.796 ab	0.450 g	1.294 ef
	75٪	25٪	0.272 d	0.777 c	1.049 jk	0.269 d	0.764 d	1.033 k
	50٪	50٪	0.486 c	0.579 d	1.065 i-k	0.474 c	0.571 ef	1.046 jk
	25٪	75٪	0.742 ab	0.409 g	1.151 g-i	0.739 ab	0.407 h	1.146 hi
تنش شدید Severe stress	100٪	100٪	0.729 ab	0.748 c	1.477 c	0.719 ab	0.748 d	1.467 c
	100٪	50٪	0.477 c	0.756 c	1.233 fg	0.464 c	0.764 d	1.228 fg
	50٪	100٪	0.802 ab	0.412 g	1.213 gh	0.802 a	0.413 h	1.215 gh
	75٪	25٪	0.276 d	0.757 c	1.033 k	0.273 d	0.760 d	1.033 k
	50٪	50٪	0.486 c	0.548 e	1.034 jk	0.475 c	0.548 f	1.023 k
	25٪	75٪	0.72 b	0.409 g	1.129 h-j	0.714 b	0.412 h	1.125 i

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters within a column are not significantly different according to LSD ($p \leq 0.05$)

نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر کشت مخلوط، اثر متقابل سال در کشت مخلوط و اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط در سطح احتمال ۱٪ بر نسبت برابری زمین برای کل علوفه‌ی خشک معنی‌دار شد. همچنین نتایج تجزیه واریانس عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم، نشان داد اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال ۵٪ و اثر کشت مخلوط، اثر متقابل رژیم آبیاری در کشت مخلوط و اثر متقابل سال در کشت مخلوط بر عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر نشان داد، اثر سال، کشت مخلوط، اثر متقابل سال در رژیم آبیاری و اثر متقابل سال در کشت مخلوط در سطح احتمال ۱٪ بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ خشک در سال اول آزمایش ۱/۱۸۴ به طور معنی‌داری کمتر از سال دوم تولید ۱/۲۷۳ بود (جدول ۸).

کشت مخلوط به‌عنوان یک عامل محافظ خاک نیز شناخته‌شده است، چون به‌وسیله پوشش انبوه و نسبتاً دائمی که در زمین ایجاد می‌کنند از فرسایش آبی و خاکی جلوگیری می‌کند و باعث حاصلخیزی زمین برای کشت در سال دوم می‌شود. همانند کشت مخلوط تأخیری که یک پوشش حفاظتی دائم و انبوه را ایجاد می‌کند. همان‌طور که مشهود است اصولاً عملیاتی مانند شخم و آماده‌سازی زمین باعث

جابه‌جایی و فرسایش خاک می‌شود، ولی کشت مخلوط خود به‌عنوان یک روشی که در آن عملیات شخم کمتر انجام می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل مناسب جهت جلوگیری از فرسایش خاک مطرح شود (Ashoori et al., 2021; Baghdadi et al., 2021).

عاشوری و همکاران (Ashoori et al., 2021) با بررسی کشت مخلوط شبدر برسیم و سورگوم در منطقه کرج نتیجه گرفتند که کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد سورگوم + ۱۰۰ درصد شبدر از بیشترین نسبت برابری زمین برای تولید ماده خشک و نیتروژن (به‌ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۷۱) برخوردار بود.

جدول ۸. عملکرد نسبی علوفه تر و خشک شبدر و سورگوم و نسبت برابری زمین برای تولید علوفه تر و خشک تحت‌تأثیر سال

Table 8. Relative fresh and dry forage yield of clover and sorghum and land equivalent ratio for fresh and dry forage production as affected by year

سال (Year)	عملکرد نسبی علوفه تر شبدر Relative fresh forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم Relative fresh forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه تر Land equivalent ratio for fresh forage	عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر Relative dry forage yield of clover	عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم Relative dry forage yield of sorghum	نسبت برابری زمین برای علوفه خشک Land equivalent ratio for dry forage
۱۳۹۶ 2017	0.523 b	0.668 a	1.190 b	0.519 b	0.665 a	1.184 b
۱۳۹۷ 2018	0.634 a	0.648 a	1.281 a	0.624 a	0.649 a	1.273 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters within a column are not significantly different according to LSD ($p \leq 0.05$)

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ خشک (۱/۷۲۳) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن در آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم و ۲۵٪ شبدر (۱/۰۲۲) و در تنش شدید و کشت مخلوط ۵۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر (۱/۰۲۳) حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت تنش متوسط نیز با نسبت برابری زمین برای کل علوفهٔ خشک به میزان ۱/۵۶۳ در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۷).

ولدیملاک و همکاران (Weldeamlak et al., 2006) با مطالعه کشت مخلوط جو و گندم تحت تنش خشکی، با مقادیر بزرگ‌تر از یک به‌دست‌آمده برای نسبت برابری زمین مزیت کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص اعلام کردند و همچنین به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب می‌شود. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی علوفه خشک سورگوم (۰/۹۹۵) تحت آبیاری نرمال و کشت مخلوط (۱۰۰٪ شبدر و ۱۰۰٪ سورگوم) و کمترین مقدار آن (۰/۳۹۸) در آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۲۵٪ سورگوم + ۷۵٪ شبدر حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۵۰٪ شبدر تحت تنش متوسط نیز با تولید ۰/۹۴۹ تن عملکرد نسبی علوفه تر سورگوم در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۷). مطابق با پژوهش (Sanjani et al., 2009) که بر روی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی و سورگوم صورت گرفت، کشت مخلوط افزایشی گیاهان مختلف زراعی با یکدیگر باتوجه‌به ایجاد یک میکرواکوسیستم رقابتی شدید، شرایطی را فراهم می‌کند که خسارت علف‌های هرز در این شرایط به حداقل ممکن می‌رسد. در شرایط خشک به دلیل متفاوت‌بودن عمق گسترش ریشه گیاهان همراه در مخلوط و استفاده مؤثر از رطوبت خاک و بنابراین تأثیر کمتر تنش رطوبتی مقدار محصول به میزان کمتری کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × کشت مخلوط نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر (۰/۸۰۲) تحت تنش شدید و کشت مخلوط (۵۰٪ سورگوم و ۱۰۰٪ شبدر) و کمترین مقدار آن (۰/۲۵۵) در آبیاری نرمال و کشت مخلوط ۷۵٪ سورگوم + ۲۵٪ شبدر حاصل شد. تیمار کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر تحت تنش متوسط با تولید ۰/۸۹۶ تن عملکرد نسبی علوفه خشک شبدر در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۷).

نتیجه‌گیری نهایی

یکی از نیازهای اساسی کشور که در سال‌های اخیر با مشکل کم‌آبی نیز مواجه شده است، تولید علوفه موردنیاز دام‌ها است

و یک راه ممکن برای افزایش محصول در واحد سطح، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط و چندکشتی است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که امکان افزایش تولید علوفه در نظام‌های کشت مخلوط سورگوم و شبدر قرمز تحت تنش خشکی و تحت رژیم‌های مختلف آبیاری وجود دارد. از میان الگوهای مختلف کشت مخلوط، نظام‌های کشت مخلوط افزایشی سورگوم و شبدر قرمز پتانسیل تولید علوفه بالاتری نسبت به نظام‌های جایگزینی داشتند و در میان الگوهای کشت‌افزایشی نیز تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر در رژیم‌های آبیاری مورد بررسی، بیشترین تولید علوفه تر و خشک و همچنین حداکثر نسبت برابری زمین را نشان داد. هرچند تحت تنش خشکی متوسط و شدید، حداکثر عملکرد علوفه تر و خشک در تیمار کشت خالص سورگوم حاصل شد، ولی باتوجه‌به اختلاف کم این تیمار با تیمار کشت مخلوط ۱۰۰٪ سورگوم + ۱۰۰٪ شبدر، می‌توان این نظام کشت مخلوط افزایشی را به‌عنوان تیمار برتر در تمامی سطوح آبیاری معرفی کرد.

منابع

Abdi, M., Habibi, M., 2018. The effect of water deficit stress on forage quality and quantity of two forage sorghum cutivars. Journal of Crop Ecology. 13, 35-40. [In Persian with English summary].

Ahlawat, A., Ahrama, R., 2004. Water and nitrogen manegment in wheat-lentil intercropping system under late-season condition. Journal of Aricultural Science. 105, 697-701.

Alderfasi, A.A., Selim, M.M., Alhammad, B.A., 2016. Evaluation of plant densities and various irrigation regimes of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under low water supply. Journal of Water Resource and Protection. 8, 1-11.

Alizadeh, B., Mostafavi, K. and Zamanian, M., 2017. Study of drought tolerance of Berseem and Persian clover cultivars. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 12, 67-76. [In Persian with English summary].

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J., Ilkaee. M.N., 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. Bragantia, 80, e1421.

Baghdadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Hashemi, M. and Ilkaee, M.N., 2021. Suitability and benefits from intercropped sorghum–amaranth under partial root□zone irrigation. Journal of the Science of Food and Agriculture. 101(14), 5918-5926.

Bakhtiyari, F., Zamanian, M., Golzardi, F., 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment. 11, 49-65.

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F., 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), 1927-1942.

Dashtaki, M., Chaichi, M.R., 2012. Intercropping of sorghum and chickling pea in limited irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science. 43, 311-321. [In Persian with English summary].

Fang, G., Martin, K., Guoyu, W., Peter, E.L., Wopke, W., 2016. Yield and yield components of wheat and maize in wheat-maize intercropping in the Netherlands. European Journal of Agronomy. 76, 17-27.

Francis, C.A., 1989. Biological efficiencies in multiple-cropping systems. Advances in Agronomy. 42, 1-42.

Golzardi, F., Baghdadi, A., Keshavarz Afshar, R., 2017. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. Crop and Pasture Science. 68(8), 726-734.

Golzardi, F., Vazan, S., Moosavinia, H., Tohidloo, G., 2012. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of swallow wort (*Cynanchum acutum* L.). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 4, 4524-4529.

Khajeh Khezri, A., Rezaei Estakhroeih, A., Golestani Kermani, S., 2018. Evaluating the effects of alternative and regulated deficit irrigation on yield and some components in intercropping (Sorghum – Red bean). Irrigation Sciences and Engineering. 41(2), 77-92. [In Persian with English summary].

Khazaei, A., 2017. Evaluation of drought tolerance in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) promising lines. Iranian Journal of Crop Sciences. 19(1), 73-85. [In Persian with English summary].

Khoramivafa, M., Ghasemi, E., Farhadi, B., Najaphy, A., 2013. The water use efficiency in forage maize at maize/faba bean realy intercroping in deficit irrigation and no tillage systems. International Journal of Agronomy Plant Production. 4, 3134-3139.

Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A. Yiakoulaki, M.D., 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. Field Crops Research. 99, 106-113.

Nazari Sh., Zand, E., Asadi, S., Golzardi, F., 2012. Effect of additive and replacement intercropping series of corn (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) on yield, yield components and weed biomass. Weed Research Journal. 4(2), 97-109. [In Persian with English summary].

Raei, Y., Javanshir, A., Ghasemi Golezani, K., 2006. Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) and egyptian clover (*Trifolium alexandrinum*) intercropping system. Agroecology Journal. 2(5), 19-32. [In Persian with English summary].

Rezvan Bidokhti, S., 2004. Comparison of different combinations of planting corn and beans. Master of Science Thesis in Agronomy. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [In Persian with English summary].

Sani, B.M., Danmowa, N.M., Sani, Y.A., Jaliya, M.M., 2011. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria. Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences. 19, 253-259.

Sanjani, S., Hosseini, M.B., Chaichi, M.R., Rezvan Beidokhti, S., 2009. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. Iranian Journal of Field Crops Research. 7(1), 85-95. [In Persian with English summary].

Sherif, M.A., Mahmoud, M.A., 2015. Effect of deficit irrigation and soybean/maize intercropping on yield and water use efficiency. International Jouurnal of Current Microbiology and Applied Sciences. 4, 777-794.

Woldeamlak, A., Kropff, M.J., Struik, P.C., 2006. Effect of drought stress on barley-wheat intercropping. African Crop Science Jouenal. 14, 185-195.

Yamori, W., Hikosaka, K., Way, D.A., 2014. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. Photosynthesis Research. 119, 101-117.

Yilmaz, S., Özel, A., Atak, M., Erayman, M., 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 39, 135-143.

Yu, Y., Stomph, T.J., Makowski, D., Werf, W.V.D., 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. Field Crops Research. 184, 133–144.