Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 4, 2025, p. 643-659

Effect of Irrigation Interval and Corn (*Zea mays* L.)-Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Intercropping on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Fodder

Saeed Sadeghzadeh Hemayati[1*], Hamed Mansouri[2] and Mohsen Shahsavarpour[3]

1- Associate Professor, Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2- Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
3- M.Sc. Graduated, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran.
(*- Corresponding author's Email: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)

Received: 01-03-2024
Revised: 14-05-2024
Accepted: 25-05-2024
Available Online: 22-01-2025

How to cite this article:
Sadeghzadeh Hemayati, S., Mansouri, H., & Shahsavarpour, M. (2025). Effect of irrigation interval and corn (*Zea mays* L.)-sorghum (*Sorghum bicolor* L.) intercropping on the quantitative and qualitative characteristics of fodder. *Journal of Agroecology*, *16*(4), 643-659. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.86693.1190

Introduction

Iran is located in the arid and semi-arid region of the world and is considered one of the low-rainfall regions of the world (Khatami et al., 2020). The agricultural sector is considered to be the major water consumer therefore paying attention to the optimal use of water in this sector is of great importance, and any saving in this sector is considered an effective contribution to saving water resources (Khajeh Khezri et al., 2018). The selection of suitable cultivation patterns and systems is one of the useful solutions for the optimal use of production resources, including water. In agricultural systems with limited resources, the use of intercropping is of particular importance. It has been reported that between 16 and 22 percent of the production of the agricultural sector in the world is supplied through various intercropping systems (Chamkhi et al., 2022). Many studies have been done regarding the intercropping of two C4 fodder plants in the investigation of their performance under mixed cultivation conditions. The value of LER in corn (*Zea mays* L.) – sorghum (*Sorghum bicolor* L.) intercropping under normal irrigation and moisture stress conditions were reported as 1.35 and 1.62 respectively, which indicated the superiority of corn and sorghum intercropping over the monoculture of both plants, especially under stress conditions. In all countries of the world - especially in Iran - research and progress in fodder production, management and exploitation of these plants have received less attention than other plants. This experiment was carried out with the aim of evaluating the quantitative and qualitative performance of two types of forage corn and sorghum in the intercropping system and the responses of these plants to different levels of drought stress.

Materials and Methods

The experiment was carried out as strip plots based on randomized complete block design with three replications in Hasharabad village, Regan city, Kerman province. In this experiment, the irrigation regimes with

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2024.86693.1190

three levels were considered as a vertical plot and different proportions of corn and sorghum mixture with five levels as a horizontal plot. The vertical plot includes three levels of irrigation 100 mm of evaporation from the class A evaporation pan (control), 175 mm of evaporation from the class A evaporation pan (mild stress) and 250 mm of evaporation from the class A evaporation pan (severe stress). The horizontal plot also has five levels of different proportions of fodder corn and sorghum, including monoculture of corn (M), intercropping of three-quarters of corn + one-quarter of sorghum (3M:1S), one-half of corn + one half of sorghum (2M:2S), one-quarter of corn + three-quarters of sorghum (1M:3S) and monoculture sorghum (S). Quality characteristics included Dry Matter Digestibility (DMD), Water Soluble Carbohydrates (WSC), Crude Protein (CP), Acid Detergent Fiber (ADF), Total ASH, and Crude Fiber (CF) were measured and analysed. In order to calculate the benefits of intercropping, the evaluation indicators of intercropping, including Land Equivalent Ratio (LER), Actual Yield Loss (AYL) and Intercropping Advantage (IA) were used (Javanshir et al., 2000). Data were analyzed using SAS 9.1 software, and the means were separated by the least significant difference test at 5% probability level.

Results and Discussion

The experimental results revealed that as the irrigation interval increased and drought stress intensified, there was a decrease in total fodder yield, total ash content, acid detergent fiber, dry matter digestibility, and the yield of protein and crude fiber in the fodder. Regarding the effect of intercropping on the qualitative characteristics of fodder, the findings indicated that an increase in the proportion of sorghum in the intercropping system led to a significant reduction in the share of leaves in the total sorghum biomass, water-soluble carbohydrates, acid detergent fiber, and fodder digestibility. The evaluation of the advantage of intercropping based on LER and AYL index showed that the intercropping of 75% corn with 25% sorghum in severe water shortage stress (irrigation after 250 mm evaporation) compared to other ratios intercropping had a higher superiority than the monoculture of the species.

Conclusion

In general, the results of this experiment showed that the use of intercropping, especially under conditions of limited irrigation, can be a suitable solution to improve fodder production compared to pure cultivation.

Keywords: Advantage of intercropping, Irrigation restriction, Quality of fodder, Replacement intercropping

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۶۵۹-۶۴۳

اثر دور آبیاری و کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) علوفه‌ای بر خصوصیات کمی و کیفی علوفه

سعید صادق‌زاده حمایتی[1*]، حامد منصوری[2] و محسن شهسوارپور[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵

چکیده

به منظور ارزیابی سودمندی کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های نواری در منطقه ریگان استان کرمان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری با سه سطح (۱۰۰، ۱۷۵ و ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان کرت عمودی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی ذرت (*Zea mays* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) با پنج سطح (کشت خالص ذرت علوفه‌ای (M)، کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای (3M:1S)، کشت ۵۰ درصد ذرت علوفه‌ای + ۵۰ درصد سورگوم علوفه‌ای (2M:2S)، کشت ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای (1M:3S) و کشت خالص سورگوم علوفه‌ای (S)) به‌عنوان کرت افقی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری از عملکرد علوفه کل، خاکستر کل و عملکرد پروتئین و فیبر خام کاسته شد. افزایش سهم سورگوم در مخلوط با کاهش میزان سهم برگ در زیست‌توده گیاه سورگوم، کربوهیدرات‌های محلول در آب و قابلیت هضم علوفه همراه شد. بیشترین و کمترین عملکرد علوفه خشک با ۱۴/۳۵ و ۱۱/۶۴ تن در هکتار به‌ترتیب مربوط به دور آبیاری بعد از ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر بود. ارزیابی سودمندی کشت مخلوط براساس شاخص نسبت برابری زمین و افت واقعی عملکرد نشان داد که تیمار ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم در شرایط تنش و نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد سورگوم در شرایط نرمال آبیاری در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط از برتری بالاتری نسبت به کشت خالص گونه‌ها برخوردار بود. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از کشت مخلوط گونه‌ها به‌ویژه در شرایط محدودیت آبیاری می‌تواند راهکار مناسبی در جهت بهبود تولید علوفه در مقایسه با کشت خالص گونه‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: سودمندی کشت مخلوط، کشت جایگزینی، کیفیت علوفه، محدودیت آبیاری

مقدمه

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین واقع شده است و جزء مناطق کم‌بارش دنیا محسوب می‌شود (Khatami et al., 2020) که متوسط بارندگی سالیانه آن ۲۳۰ میلی‌متر است. پراکنش بارش‌ها در کشور، گاهی منطبق با نیازهای زراعی نبوده و با توجه به اینکه تولید محصولات کشاورزی به‌شدت به تأمین منابع آب وابسته است، دور آبیاری اثرات منفی شدیدی بر تولید گذاشته و همواره محصولات دچار تنش طولانی و یا موقت می‌شوند (Cominelli & Tonelli, 2010). بنابراین، باید با مدیریت مطلوب، امکان استفاده بهینه از مناطق نیمه‌خشک را میسر کرده و به سطح زیرکشت و

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.86693.1190

بازدهی این مناطق افزود. در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان دسترسی به عملکرد بالا فقط از طریق آبیاری امکان‌پذیر است و به دلیل نیاز شدید به آب در این مناطق اگر مدیریت مصرف آب مناسب نباشد، عملکرد محصول کاهش یافته و موجب تلف شدن آب خواهد شد (Oweis & Hachum, 2006). بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به‌شمار می‌آید، بنابراین توجه به مصرف بهینه آب در این بخش از اهمیت زیادی برخوردار است (Khajeh Khezri et al., 2018).

انتخاب الگوها و سیستم‌های مناسب کشت از جمله راهکارهای مفید در استفاده بهینه از منابع تولید از جمله آب می‌باشد. در سیستم-های کشاورزی با منابع محدود استفاده از کشت مخلوط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گزارش شده است که تقریباً بین ۱۶ تا ۲۲ درصد تولیدات بخش کشاورزی در جهان از طریق سیستم‌های مختلف کشت مخلوط تأمین می‌گردد (Chamkhi et al., 2022). کشت مخلوط به‌عنوان یک نمونه از سامانه‌های کشاورزی پایدار، اهدافی همچون تعادل اکولوژیکی، استفاده کارآمدتر از منابع و افزایش حاصلخیزی خاک را دنبال می‌کند (Dahmardeh & Hodiani, 2016). در کشت مخلوط با تلفیق نیازهای اکولوژیکی دو یا چند گیاه زراعی سازگار با محیط که دارای نیازهای متفاوتی می‌باشند از منابع موجود مانند آب و عناصر غذایی به‌نحو کارآمدتر و مطلوبی بهره‌برداری می‌گردد (Hasanvand et al., 2019a). در کشت مخلوط از یک طرف با توجه به تفاوت در عمق فعالیت ریشه، رقابت بین گیاهان برای جذب آب و عناصر غذایی مورد نیاز کمتر بوده (Ogindo & Walker, 2005; Sarto et al., 2020) و از طرف دیگر، ترشحات ریشه دو گیاه با هم مخلوط شده و فراهمی عناصر در ریزوسفر افزایش می‌یابد (Ahmadvand & Hajinia, 2019). بنابراین، در سیستم کشت مخلوط، جذب عناصر غذایی افزایش یافته و منجر به تولید بیشتر نسبت به تک‌کشتی گونه‌ها می‌شود (Zhang et al., 2012). مطالعات زیادی در خصوص بررسی عملکرد گیاهان علوفه‌ای چهار کربنه در شرایط کشت مخلوط صورت گرفته است. در تحقیقی گزارش شد که کشت مخلوط دو گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) نسبت به تک‌کشتی از نسبت برابری زمین بالاتری برخوردار بود که این موضوع برتری کشت مخلوط سورگوم و ارزن نسبت به تک‌کشتی آن‌ها را نشان داد (Heydari, 2015). نتایج تحقیقی نشان داد که عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت و سورگوم در مقایسه با کشت خالص آن‌ها به‌میزان ۲۴ درصد بیشتر بود (Lesoing & Francis, 1999). نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سورگوم در شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی به‌ترتیب ۱/۳۵ و ۱/۶۲ گزارش شد که بیانگر برتری کشت مخلوط ذرت و سورگوم نسبت به تک‌کشتی آن‌ها در شرایط تنش کم‌آبی بود (Beheshti et al., 2019). مشخص شده است که کشت مخلوط علاوه‌بر افزایش عملکرد کمّی کل علوفه، باعث افزایش عملکرد کیفی علوفه نیز می‌گردد (Hasanvand et al., 2019b). بنابراین، استفاده از کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای می‌تواند منجر به افزایش عملکرد کمّی و کیفی علوفه در مقایسه با تک‌کشتی آن‌ها نیز گردد.

در همه کشورهای جهان به‌ویژه در ایران، تحقیق و پیشرفت در زمینه گیاهان علوفه‌ای نسبت به سایر گیاهان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ارزش اصلی علوفه به ارزش اقتصادی گوشت، شیر و سایر فرآورده‌های دامی مربوط می‌شود که با تغذیه دام از علوفه تولید می‌شوند (Arzani, 2008). بنابراین، علوفه‌هایی که دارای خوش-خوراکی و مقدار جذب ماده خشک بالایی باشند، در اولویت انتخاب دامدار قرار دارند. ذرت به‌دلیل دارا بودن مقدار کم دیواره سلولی غیر قابل هضم، کربوهیدرات‌های زیاد و نسبت بیشتر دانه در کل علوفه از ارزش هضمی بالایی برخوردار بوده و برای دام، خوش‌خوراک است. سورگوم علوفه‌ای نسبت به ذرت، دیواره سلولی آن غیر قابل هضم‌تر و نسبت کمتر دانه در کل علوفه را داشته و خوش‌خوراکی و ارزش تغذیه‌ای کمتری نسبت به ذرت دارد (Oliver et al., 2004). در مناطقی که میزان بارندگی آن‌ها پایین بوده و ذرت عملکرد مطلوبی تولید نکند، استفاده از سورگوم می‌تواند راهکار مناسبی برای جایگزینی با ذرت باشد، زیرا سورگوم به‌دلیل مقاومت نسبتاً بالا به شرایط کم‌آبی و ریشه‌دوانی بیشتر در لایه‌های عمیق‌تر خاک برای جذب آب از کارآیی بالاتری برخوردار است (Sarto et al., 2021). به‌طور کلی، در شرایط عدم تنش رطوبتی و در شرایطی که محدودیتی از لحاظ تأمین آب برای گیاه ذرت وجود نداشته باشد، کشت ذرت بهترین گزینه برای تولید علوفه می‌باشد؛ امّا در شرایط وجود محدودیت آبی که در اکثر مناطق کشور با آن مواجه هستیم، کشت مخلوط ذرت و سورگوم راهکار مناسبی به‌عنوان جایگزین گیاه ذرت می‌باشد. شهرستان ریگان دارای آب‌وهوای گرم و خشک بوده و ذرت و سورگوم سهم قابل ملاحظه‌ای در تناوب زراعی منطقه ایفا می‌کنند. با توجه به مشکل

کمبود آب به‌خصوص در ماه‌های تابستان و ضرورت تأمین گیاهان علوفه‌ای و انتخاب و کاشت گیاهان مناسب و دارای بازده بالا، این آزمایش با هدف ارزیابی عملکرد کمّی و کیفی دو گونه ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سیستم کشت مخلوط و عکس‌العمل این گیاهان نسبت به سطوح مختلف دور آبیاری در منطقه ریگان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در در روستای حشرآباد منطقه ریگان با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه شرقی با ارتفاع ۶۴۰ متر از سطح دریا اجرا شد. شهرستان ریگان دارای آب‌وهوای گرم و خشک و در فاصله ۲۸۵ کیلومتری مرکز استان کرمان واقع شده است. میانگین حداکثر و حداقل دمای سالیانه منطقه در سال اجرای آزمایش به‌ترتیب معادل ۳۲/۳ و ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۵۹/۴ میلی‌متر بود (جدول ۱).

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، نمونه مرکبی از دو عمق صفر تا ۳۰ و۳۰ تا۶۰ سانتی‌متر نیمرخ خاک تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن توسط آزمایشگاه آب بید کرمان تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش

Table 1- Climate characteristics of the experiment site in 2019

	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	میانگین سال Average annual
دمای حداکثر Max temperature(°C)	31.3	35.4	42.8	44.6	43.2	42.0	38.0	27.8	23.2	13.9	20.1	25.3	32.3
دمای حداقل Min temperature(°C)	17.7	23.2	27.7	29.8	29.4	24.7	22.2	13.5	9.6	2.2	8.6	13.3	18.5
بارندگی Precipitation (mm)	36.6	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	1.0	6.6	12.8	0.2	1.8	59.4

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the experiment soil

خصوصیات خاک Soil characteristics	عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر Depth (0-30 cm)	عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر Depth (30-60 cm)
بافت Texture	لومی شنی Sandy loam	لومی شنی Sandy loam
کربن آلی Organic C (%)	0.15	0.15
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	4.16	3.12
pH	8.1	7.8
نیتروژن کل Total N (%)	0.15	0.15
فسفر قابل جذب Absorbable P ($mg.kg^{-1}$)	1.2	1.5
پتاسیم قابل جذب Absorbable K ($mg.kg^{-1}$)	151	142

این پژوهش به‌صورت کرت‌های نواری (استریپ پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش،

دور آبیاری با سه سطح به‌عنوان کرت عمودی و نسبت‌های مختلف مخلوط ذرت و سورگوم با پنج سطح به‌عنوان کرت افقی در نظر گرفته شد. کرت عمودی شامل سه سطح آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (I_{100})، آبیاری پس از ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (I_{175}) و آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (I_{250}) بود. کرت افقی نیز در پنج سطح نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای شامل کشت خالص ذرت علوفه‌ای (M)، کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای (3M:1S)، کشت ۵۰ درصد ذرت علوفه‌ای + ۵۰ درصد سورگوم علوفه‌ای (2M:2S)، کشت ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای (1M:3S) و کشت خالص سورگوم علوفه‌ای (S) بود.

هر کرت دارای شش ردیف کاشت به‌طول هشت متر و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین بوته‌ها روی ردیف برای ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای به‌ترتیب معادل ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر و عمق کاشت به‌ترتیب معادل پنج و سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم بوته ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای به‌ترتیب معادل ۸/۸۸ و ۱۳/۳۳ بوته در مترمربع بود. فاصله افقی بین کرت‌های مجاور و فاصله عمودی بین کرت‌ها، معادل دو متر در نظر گرفته شد. رقم مورد کاشت برای ذرت علوفه‌ای، رقم سینگل کراس ۷۰۴ و برای سورگوم علوفه‌ای، رقم اسپیدفید که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان تهیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور مبارزه با علف‌های هرز، یک ماه قبل از اجرای آزمایش با علف‌کش آترازین + لاسو (یک لیتر در هکتار) اقدام به سم‌پاشی شد. سپس زمین به‌وسیله دیسک سنگین بر هم زده شد و پس از گذشت ۱۵ روز، اقدام به آبیاری زمین و بعد از سه روز (پس از گاورو شدن خاک) اقدام به آماده‌سازی خاک شامل شخم، دو دیسک عمودبرهم و لولر شد. به‌منظور تهیه بستر بذر، اقدام به ایجاد جوی و پشته در سطح زمین شد. کشت به‌صورت کپه‌ای و هیرم‌کاری در تاریخ ۱۵ مرداد صورت پذیرفت. مصرف کود نیتروژن در دو نوبت (همزمان با کاشت و مرحله پنج تا هفت برگی) و مصرف کودهای سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه‌های کودی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت در زمان کاشت، حدود ۱۰ سانتی‌متر زیر بذر به‌صورت خطی مصرف شد. آبیاری براساس سطوح مورد آزمایش تنش به‌روش نشتی انجام شد. حجم آب آبیاری به‌ترتیب برای تیمارهای I_{100}، I_{175} و I_{250} برابر با ۷۳۴۸، ۴۴۹۰ و ۳۱۳۹ مترمکعب در هکتار بود. لازم به ذکر است که پس از کاشت تا مرحله چهار برگی، آبیاری به‌صورت معمول انجام و سپس سطوح تنش اعمال شد. طی فصل رشد، علف‌های هرز مزرعه (شامل کهورک، جغجغه، اویارسلام، سلمه تره و پیچک صحرایی) به‌صورت مکانیکی مهار شد. محصول علوفه در یک چین و در تاریخ ۲۵ آبان توسط کارگر برداشت شد. برداشت علوفه در مرحله خمیری دانه‌های ذرت و پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای دو ردیف میانی هر کرت، از ارتفاع هشت سانتی‌متری بالای خاک انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه، پس از تعیین وزن تر و نمونه‌برداری، برگ‌ها و ساقه به‌ترتیب به‌مدت ۴۸ و ۷۲ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس وزن خشک آن‌ها توزین و ثبت شد.

برای اندازه‌گیری کیفیت علوفه، در سال‌های اخیر تکنولوژی طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR)[1] توسعه فراوانی یافته و اندازه‌گیری ترکیبات فرآورده‌های زراعی و دامی با این سیستم امکان‌پذیر شده است. تکنولوژی NIR براساس جذب و انعکاس اشعه مادون قرمز در طول موج‌های بین ۲۵۰۰–۷۰۰ نانومتر استوار است. در این روش، اشعه بر جسم تابانیده می‌شود و انرژی منعکس شده (R) از نمونه براساس LogL/R اندازه‌گیری می‌شود و براساس برازش معادله‌های خطی رگرسیونی چند متغیره بین انرژی‌های منعکس شده از جسم و داده‌های شیمیایی دستگاه کالیبره می‌شود (Jafari et al., 2003). دقت NIR بستگی به دقت در کالیبراسیون آن دارد. بنابراین، روش‌های استاندارد آزمایشگاهی باید دقیق و استاندارد باشند و نمونه‌های علوفه مورد استفاده باید دامنه کافی برای صفات داشته باشند، پس از کالیبراسیون دستگاه NIR، اندازه‌گیری صفات کیفی شامل درصد ماده خشک قابل هضم (DMD)[2]، درصد کربوهیدرات محلول در آب (WSC)[3]، پروتئین خام (CP)[4]، دیواره سلولی منهای همی سلولز (ADF)[5]، خاکستر کل (ASH)[6] و فیبر خام (CF)[7] در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع براساس روش ارائه شده

1-Near infrared reflectance spectroscopy
2-Dry matter digestibility
3-Water soluble carbohydrates
4-Crude protein
5-Acid detergent fiber
6-Total ash
7-Crude fiber

توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) انجام شد. لازم به توضیح است که نمونه علوفه از هر کرت شامل مخلوطی از ساقه، برگ، دانه و بلال به نسبت مورد اندازه‌گیری در وزن خشک این اندام‌ها و نیز نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بود. به‌منظور تعیین میزان سودمندی کشت مخلوط، شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط شامل کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL)[1]، نسبت برابری زمین (LER)[2] و سودمندی کشت مخلوط (IA)[3] (Javanshir et al., 2000) محاسبه شد.

نسبت برابری زمین (LER) متداول‌ترین و مهم‌ترین شاخص ارزیابی کشت مخلوط است، این شاخص اولین بار توسط مید و وایلی (Mead & Wiley, 1980) پیشنهاد شد و نشانگر مقدار زمین مورد نیاز کشت خالص هر یک از اجزاء مخلوط برای تولید عملکرد مشابه کشت مخلوط آن‌ها می‌باشد. برای محاسبه شاخص نسبت برابری زمین از معادله ۱ استفاده شد.

$$LER = LER_a + LER_b = Y_{ab} / Y_{aa} + Y_{ba} / Y_{bb}$$ معادله (۱)

که در آن، Y_{aa} و Y_{bb}: به‌ترتیب عملکرد کشت خالص اجزاء a و b؛ Y_{ab}، Y_{ba}: نیز به‌ترتیب عملکرد کشت مخلوط اجزاء a و b را شامل می‌شود. افزایش یا کاهش عملکرد واقعی (AYL) نیز از طریق معادله ۲ محاسبه شد.

$$AYL = AYL_a + AYL_b = \left[LER_a \times \left(\frac{100}{Z_{ab}}\right) - 1\right] + \left[LER_b \times \left(\frac{100}{Z_{ba}}\right) - 1\right]$$ معادله (۲)

که در آن، AYL_a و AYL_b: به‌ترتیب افزایش و کاهش عملکرد واقعی گونه a و گونه b در کشت مخلوط، Z_{ab}: سهم گونه a در کشت مخلوط و Z_{ba}: سهم گونه b در کشت مخلوط است. در نهایت نیز شاخص سودمندی کشت مخلوط از معادله ۳ به‌دست آمد.

معادله (۳)

$$IA = \left[\left(\frac{pa}{pa + pb}\right) \times AYL_a\right] + \left[\left(\frac{pb}{pa + pb}\right) \times AYL_b\right]$$

که در آن، pa: قیمت هر واحد محصول گونه a و pb: قیمت هر واحد گونه b است. ازآنجاکه شاخص سودمندی با توجه به قیمت هر واحد محصول محاسبه می‌شود، در این شاخص براساس قیمت محصولات در منطقه، قیمت هر کیلوگرم محصول ذرت ۲۸۰۰۰ ریال و قیمت هر کیلوگرم محصول سورگوم ۲۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد. داده با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.1 تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[4] در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سهم برگ از کل زیست‌توده

دور آبیاری، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و اثر متقابل دو عامل تأثیر معنی‌داری بر سهم برگ از کل زیست‌توده ذرت علوفه‌ای نداشت (جدول ۳). در سورگوم نیز تأثیر دور آبیاری بر سهم برگ از کل زیست‌توده سورگوم معنی‌دار نشد. اگر چه سهم برگ در سورگوم تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قرار نگرفت، ولی نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری، سهم برگ در سورگوم افزایش داشت. صیادی آذر و همکاران (Sayyadi Azar et al., 2019) نیز در بررسی اثر دور آبیاری بر گیاه سورگوم گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری، نسبت برگ افزایش داشت. نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت گذاشت (جدول ۳)، به‌نحوی‌که با افزایش سهم سورگوم در مخلوط، از سهم برگ در کل زیست‌توده گیاه کاسته شد و بیشترین سهم برگ (۶/۸۳–۷/۱۸ درصد) با ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد سورگوم در مخلوط حاصل شد و در کشت خالص سورگوم علوفه‌ای، سهم برگ از کل زیست‌توده به ۶/۱۷ درصد کاهش یافت (جدول ۴). بین اجزاء عملکرد در گیاهان علوفه‌ای، برگ دارای ارزش غذایی بالایی است و ساقه ارزش غذایی کمتری دارد. بنابراین، با افزایش نسبت برگ به ساقه، کیفیت علوفه افزایش می‌یابد (Arzani et al., 2004). علاوه‌براین، قابلیت هضم برگ بیشتر از ساقه است و با افزایش نسبت برگ به ساقه معمولاً کیفیت علوفه افزایش می‌یابد (Lemaire & Belanger, 2019).

کربوهیدرات‌های محلول در آب

تأثیر دور آبیاری بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب معنی‌دار نبود (جدول ۳). این در حالی است که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفه گذاشت (جدول ۳). علی‌رغم عدم اثر معنی‌دار دور آبیاری بر کربوهیدرات‌های محلول در

1-Actual yield loss
2-Land equivalent ratio
3-Intercropping advantage
4-Least significant difference

آب ، میزان این صفت با افزایش دور آبیاری، افزایش نشان داد. کربوهیدرات‌های محلول در آب نه‌تنها نقش مهمی در مقاومت به سرما و چرای دام دارند، بلکه تأثیر بسزایی در افزایش کیفیت علوفه نیز دارند. بنابراین، از کربوهیدرات‌های محلول در آب به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی کیفی علوفه بعد از صفت قابلیت هضم علوفه نام برده می‌شود (Nakhzari Moghaddam, 2016).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و کشت مخلوط بر برخی خصوصیات کمی و کیفی ذرت و سورگوم علوفه‌ای

Table 3- The results of variance analysis of irrigation interval and intercropping effects on some quantitative and qualitative characteristics of fodder corn and sorghum

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سهم برگ در ذرت Leaf share in corn	سهم برگ در سورگوم Leaf share in sorghum	کربوهیدرات محلول در آب WSC	دیواره سلولی منهای همی سلولز ADF	قابلیت هضم علوفه DMD	خاکستر کل ASH	عملکرد علوفه خشک Dry fodder yield	عملکرد پروتئین خام CP yield	عملکرد فیبرخام CF yield
تکرار Replication	2	0.55^{ns}	2.80^{ns}	11.36^{ns}	19.98^{ns}	8.99^{ns}	1.71^{ns}	4.35^{ns}	0.05^{ns}	0.24^{ns}
دور آبیاری Irrigation interval (A)	2	1.24^{ns}	5.50^{ns}	41.59^{ns}	521.3*	710.1*	1.48*	29.9**	0.33*	0.25**
خطای a Error a	4	0.774	3.28	27.7	36.8	57.3	0.252	0.936	0.056	0.250
کشت مخلوط Intercropping (B)	3	0.11^{ns}	2.45*	162.6**	211.4**	439.9*	0.55^{ns}	7.20^{ns}	0.06^{ns}	3.29*
خطای b Error b	6	0.473	0.413	7.87	21.91	74.34	0.412	2.63	0.042	0.540
A×B	6	1.12^{ns}	1.27^{ns}	16.3^{ns}	27.9^{ns}	118.6*	0.51^{ns}	8.83^{ns}	0.05^{ns}	1.45^{ns}
خطای b Error b	12	0.49	1.498	7.887	12.872	47.381	0.396	7.237	0.052	1.641
CV (%)	-	12.29	17.79	10.94	13.55	20.93	13.90	20.35	22.01	21.74

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

ns, * and **: non-significant, significant at the 1% and 5% probability level, respectively.

WSC: کربوهیدرات محلول‌درآب، ADF: دیواره‌سلولی منهای همی‌سلولز، DMD: قابلیت هضم علوفه، ASH: خاکسترکل، CP: عملکرد پروتئین خام، CF: عملکرد فیبر خام

WSC: water soluble carbohydrates, ADF: acid detergent fiber, DMD: dry matter digestibility, ASH: total Ash, CP: crude protein, CF: crude fiber

رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2015) نیز نتایج مشابهی در خصوص افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب با افزایش دور آبیاری را گزارش و بیان نمودند که افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب با افزایش دور آبیاری را می‌توان به توقف رشد گیاه یا ساخت این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول نسبت داد. کمترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب (۱۹/۵۵ درصد) به کشت خالص سورگوم علوفه‌ای اختصاص داشت و افزایش مقدار ذرت در ترکیب کشت مخلوط منجر به افزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب شد. بیشترین کربوهیدرات‌های محلول در آب نیز به ترکیب کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم (۲۷/۹۶ درصد) و کشت خالص ذرت (۳۰/۴۵ درصد) اختصاص داشت (جدول ۴). در مطالعه‌ای، مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب با افزایش سهم ذرت از ۲۵ درصد به ۷۵ درصد در کشت مخلوط ذرت و سورگوم منجر به افزایش ۵/۰۴ میلی‌گرم بر گرم در علوفه گردید که این افزایش به‌دلیل کمتر بودن مقدار دیواره سلولی در ذرت نسبت به سورگوم بیان شد، زیرا به دنبال کمتر شدن دیواره سلولی، سهم بخش کربوهیدرات‌های محلول افزایش می‌یابد (Rahmanian Sharifabad et al., 2023).

دیواره سلولی منهای همی‌سلولز

تأثیر دور آبیاری بر میزان دیواره سلولی منهای همی‌سلولز در سطح پنج درصد معنی‌دار (p-value ≤ 0.05) بود (جدول ۳). نتایج

نشان داد که با افزایش دور آبیاری، میزان دیواره سلولی منهای همی‌سلولز کاهش یافت، به‌طوری‌که تیمار آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر کمترین میزان دیواره سلولی منهای همی‌سلولز (۱۲/۷۴ درصد) را داشته و نسبت به دور آبیاری پس از ۱۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۴۸ و ۳۰/۷۵ درصد از دیواره سلولی منهای همی‌سلولز کمتری برخوردار بود (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های برخی خصوصیات کمّی و کیفی علوفه تحت تأثیر دور آبیاری و کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای

Table 4- Mean comparison of some quantitative and qualitative characteristics of fodder as affected by irrigation interval and corn-sorghum intercropping

تیمار Treatment	عملکرد فیبرخام CF yield	عملکرد پروتئین خام CP yield	عملکرد علوفه خشک dry fodder yield	خاکستر کل ASH	قابلیت هضم علوفه DMD	دیواره سلولی منهای همی سلولز ADF	کربوهیدرات محلول در آب WSC	سهم برگ در سورگوم leaf share in sorghum	سهم برگ در ذرت leaf share in corn
	(ton.ha^{-1})						(%)		
دور آبیاری Irrigation interval									
I_{100}	6.52	1.17	14.35	4.56	29.79	18.40	23.88	6.52	5.58
I_{175}	6.01	1.07	13.67	4.82	32.38	14.56	25.96	6.68	5.44
I_{250}	5.15	0.873	11.64	4.20	36.47	12.74	27.18	7.64	6.05
LSD (5%)	0.42	0.21	1.87	0.39	3.08	4.01	3.51	2.08	0.98
کشت مخلوط Intercropping									
M	5.15	0.973	12.10	4.22	43.51	9.71	30.45	-	5.79
3M:1S	5.85	1.15	13.52	4.64	35.60	13.02	27.96	7.18	5.64
2M:2S	5.46	0.934	12.45	4.43	29.68	13.41	26.97	7.34	5.78
1M:3S	6.57	1.05	13.98	4.46	30.39	17.87	23.44	6.83	5.56
S	6.42	1.07	14.05	4.88	25.22	22.18	19.56	6.16	-
LSD (5%)	0.85	0.24	2.87	0.74	9.94	5.39	3.23	0.74	0.79

I_{100}: آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، I_{175}: آبیاری پس از ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر، I_{250}: آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر
M: ذرت، S: سورگوم

I_{100}: irrigation after 100 mm evaporation from class A evaporation pan, I_{175}: irrigation after 175 mm evaporation from class A evaporation pan, I_{250}: irrigation after 250 mm evaporation from class A evaporation pan
M: Corn, S: Sorghum

WSC: کربوهیدرات محلول‌درآب، ADF: دیواره‌سلولی منهای همی‌سلولز، DMD: قابلیت هضم علوفه، ASH: خاکسترکل، CP: عملکرد پروتئین خام، CF: عملکرد فیبر خام
WSC: water soluble carbohydrates, ADF: acid detergent fiber, DMD: dry matter digestibility, ASH: total ash, CP: crude protein, CF: crude fiber

صفت دیواره سلولی منهای همی‌سلولز که بیان‌کننده میزان دیواره سلولی گیاه می‌باشد، به‌عنوان عاملی مهم و تأثیرگزار بر کیفیت علوفه است که افزایش آن موجب کاهش قابلیت هضم علوفه می‌گردد (Francisco et al., 2009). کاهش میزان دیواره سلولی منهای همی‌سلولز با افزایش دور آبیاری در مطالعات دیگر (Jahanzad et al., 2013; Carmi et al., 2006) نیز گزارش شد که با یافته‌های تحقیق مطابقت داشت. نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر دیواره سلولی منهای همی‌سلولز علوفه گذاشت (جدول ۳). کمترین مقدار دیواره سلولی منهای همی‌سلولز (۹/۷۱ درصد) به کشت خالص ذرت علوفه‌ای و بیشترین مقدار به کشت خالص سورگوم علوفه‌ای (۲۲/۱۸ درصد) اختصاص داشت. با افزایش مقدار سورگوم در ترکیب کشت مخلوط بر مقدار دیواره سلولی منهای همی‌سلولز علوفه حاصل افزوده شد (جدول ۴). بیشترین دیواره سلولی منهای همی‌سلولز در بین سطوح مختلف کشت مخلوط نیز در کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای (۱۷/۸۷ درصد) به‌دست آمد.

قابلیت هضم علوفه

تیمار دور آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد (p-value $\leq$ 0.05) بر میزان قابلیت هضم علوفه داشت (جدول ۳)، به‌طوری‌که

با افزایش دور آبیاری قابلیت هضم علوفه افزایش یافت. دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به ۱۰۰ و ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب ۲۲/۴ و ۱۲/۶ درصد قابلیت هضم علوفه بیشتری برخوردار بود (جدول ۴). قابلیت هضم علوفه، کارآیی تبدیل عناصر مغذی به‌وسیله دام را بهبود بخشیده و مهم‌ترین صفت برای افزایش وزن دام و تولید شیر محسوب می‌گردد (Yilmaz et al., 2015). با توجه به کاهشی بودن میزان دیواره سلولی منهای همی‌سلولز علوفه، با افزایش دور آبیاری می‌توان دلیل افزایش قابلیت هضم علوفه با اعمال دور آبیاری را به ارتباط و همبستگی منفی بین دیواره سلولی منهای همی‌سلولز و قابلیت هضم علوفه نسبت داد. جهان زاد و همکاران (Jahanzad et al., 2013) بیان کردند که قابلیت هضم علوفه در آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش معنی‌داری داشت و دلیل این موضوع را همبستگی منفی با میزان دیواره سلولی ذکر کردند. لایتورگایدیس‌و همکاران (Lithourgidis et al., 2006) نیز پایین بودن قابلیت هضم علوفه را به بالا بودن دیواره سلولی منهای همی‌سلولز آن نسبت دادند.

نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سطح احتمال یک درصد بر میزان قابلیت هضم علوفه تأثیر گذاشت (جدول ۳). همراه با افزایش سهم سورگوم علوفه‌ای در مخلوط، از قابلیت هضم علوفه کاسته شد (جدول ۴). کمترین مقدار قابلیت هضم علوفه (۲۵/۲۲ درصد) به کشت خالص سورگوم علوفه‌ای اختصاص داشته و به‌تدریج با افزایش سهم ذرت در مخلوط، بر میزان قابلیت هضم علوفه افزوده شد (جدول ۴). با افزایش سهم ذرت علوفه‌ای به ۷۵ درصد مخلوط، قابلیت هضم علوفه به بیشترین سطح خود در بین سطوح مختلف کشت مخلوط (۳۵/۶ درصد) رسید (جدول ۴). لیتورگیدیز و همکاران (Lithourgidis et al., 2011) در بررسی اثر کشت مخلوط بر میزان قابلیت هضم علوفه نیز گزارش نمودند که سیستم کشت مخلوط از قابلیت هضم علوفه بیشتری در مقایسه با سیستم تک‌کشتی برخوردار است. اثر متقابل دور آبیاری × نسبت‌های کشت مخلوط بر میزان قابلیت هضم علوفه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار (p-value ≤ 0.05) بود (جدول ۳). این تأثیر به‌نحوی بود که افزایش دور آبیاری در سطوح کشت خالص ذرت علوفه‌ای و کشت مخلوط به نسبت ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای، موجب افزایش میزان قابلیت هضم علوفه شده و در نسبت‌های کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای و کشت خالص سورگوم علوفه‌ای، افزایش دور آبیاری به کاهش میزان قابلیت هضم علوفه منجر شد (جدول ۵). در مجموع، کمترین میزان قابلیت هضم علوفه در تیمار ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای در دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر (۱۸/۵۲ درصد) و بیشترین میزان آن در کشت خالص ذرت علوفه‌ای با دور آبیاری ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر (۴۴/۴۱ درصد) حاصل شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین قابلیت هضم علوفه (DMD)حاصل از کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر برهم‌کنش دور آبیاری × کشت مخلوط

Table 5- Mean comparison of dry matter digestibility (DMD) in fodder produced from corn and sorghum intercropping as affected by irrigation interval × intercropping interaction

دور آبیاری Irrigation interval	کشت مخلوط Intercropping				
	M	3M:1S	2M:2S	1M:3S	S
I_{100}	44.19	30.27	34.61	41.84	31.43
I_{175}	44.41	40.08	26.74	30.79	19.90
I_{250}	41.93	36.46	27.69	18.52	24.34
LSD 5%=12.24					

I_{100}: آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، I_{175}: آبیاری پس از ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر، I_{250}: آبیاری پس از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر
M: ذرت، S: سورگوم

I_{100}: irrigation after 100 mm evaporation from class A evaporation pan, I_{175} : irrigation after 175 mm evaporation from class A evaporation pan, I_{250}: irrigation after 250 mm evaporation from class A evaporation pan
M: corn, S: sorghum

خاکستر کل

تأثیر دور آبیاری بر میزان خاکستر کل علوفه، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری از ۱۰۰ به ۱۷۵ میلی‌متر، تفاوت معنی‌داری در میزان خاکستر کل علوفه وجود

نداشت، امّا با افزایش دور آبیاری به ۲۵۰ میلی‌متر، از میزان خاکستر کل علوفه کاسته شد (جدول ۴). به عبارت دیگر، افزایش دور آبیاری به ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر، تأثیر معنی‌داری بر میزان خاکستر کل علوفه نسبت به دور آبیاری نرمال (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) نداشت، درصورتی‌که با اعمال دور آبیاری در ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر، میزان خاکستر کل نیز کاهش یافت. کاهش کیفیت گیاهان با اعمال دور آبیاری توسط احمدوند و حاجی نیا (Ahmadvand & Hajinia, 2019) نیز گزارش شد، به‌طوری‌که کاهش غلظت فسفر در کشت مخلوط ارزن و سویا (*Glycin max* L.) با اعمال تنش آبی از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب کاهش ۶۷/۱۴ و ۴۰/۷ درصد را شامل گردید. خاکستر کل نشان‌دهنده میزان مواد معدنی موجود در بافت‌های مختلف گیاه بوده و جذب این مواد در شرایط تنش رطوبتی به‌دلیل کاهش سرعت انتشار عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه کاهش می‌یابد (Marshner, 1995). دور آبیاری از طریق تأثیر بر میزان جذب و حلالیت عناصر، تعرق، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای منجر به کاهش جذب عناصر در گیاه شده (Hopkins & Huner, 2009) و در نتیجه، میزان مواد معدنی یا خاکستر کل گیاه کاهش می‌یابد.

عملکرد کل علوفه خشک

نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر عملکرد کل علوفه خشک نداشت، درحالی‌که اثر دور آبیاری بر عملکرد کل علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد علوفه خشک با ۱۴/۳۵ و ۱۱/۶۴ تن در هکتار به‌ترتیب مربوط به دور آبیاری بعد از ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر بود. اختلاف آماری معنی‌داری بین دو تیمار دور آبیاری ۱۰۰ و ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر از لحاظ عملکرد علوفه خشک مشاهده نشد؛ با این وجود افزایش دور آبیاری از ۱۰۰ به ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر، با کاهش ۴/۷۶ درصدی عملکرد کل علوفه همراه بود (جدول ۴). این در حالی است که افزایش دور آبیاری به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر ، موجب شد که به‌شکل معنی‌داری عملکرد کل علوفه کاهش یافته و به ۱۱/۶۴ تن در هکتار برسد که کاهش ۱۸/۹ درصدی نسبت به دور آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر را شامل شد (جدول ۴). آبیاری دیرتر به‌دلیل کاهش میزان رشد رویشی گیاه، میزان وزن تر اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) را کاهش می‌دهد (Shrestha et al., 2006). موسوی و همکاران (Mosavi et al., 2008) طی آزمایشی نشان دادند که اثر دور آبیاری بر تمامی صفات عملکرد تر و خشک کل، عملکرد خشک و تر برگ و ساقه و گل‌آذین علوفه معنی‌دار بود و افزایش دور آبیاری سبب کاهش معنی‌دار این صفات شد. صیادی آذر و همکاران (Sayyadi Azar et al., 2019) اعلام نمودند که با افزایش دور آبیاری از میزان عملکرد علوفه کاسته شد، به‌طوری‌که افزایش دور آبیاری از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر منجر به کاهش ۲۶ درصدی عملکرد علوفه گردید. کاهش میزان عملکرد علوفه با افزایش دور آبیاری، به کاهش جذب عناصر غذایی، کاهش سطح برگ و فتوسنتز گیاه و افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاه نسبت داده می‌شود (Marsalis et al., 2010).

عملکرد پروتئین خام علوفه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر عملکرد پروتئین خام در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، امّا اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط روی عملکرد پروتئین خام معنی‌دار نبود (جدول ۳). اختلاف معنی‌داری در عملکرد پروتئین خام بین دو رژیم آبیاری ۱۰۰ و ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر وجود نداشت، با این وجود افزایش دور آبیاری از ۱۰۰ به ۱۷۵ میلی‌متر منجر به کاهش ۸/۵ درصدی عملکرد پروتئین خام شد؛ این در حالی است که با افزایش دور آبیاری به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد پروتئین خام، ۲۵/۱۹ درصد کاهش یافت (جدول ۴). کاهش درصد پروتئین با افزایش دور آبیاری توسط میسرا (Misra, 1994) نیز گزارش شده است. علت این امر را می‌توان به تجزیه برخی پروتئین‌ها و عدم سنتز دوباره آن‌ها در این شرایط مربوط دانست (Kramer, 1983).

عملکرد فیبر خام علوفه

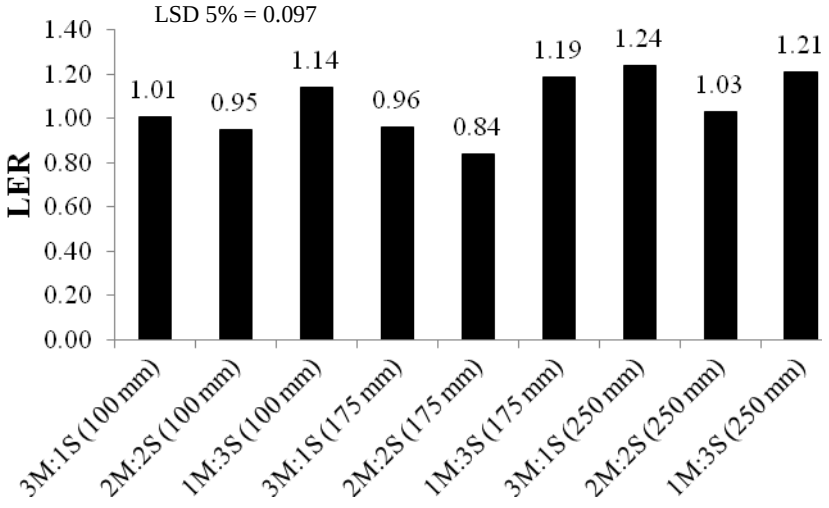
عملکرد فیبر خام علوفه از لحاظ آماری تحت تأثیر تیمارهای مختلف رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد و کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). افزایش دور آبیاری از ۱۰۰ به ۱۷۵ و ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب باعث کاهش ۷/۹۳ و ۲۱/۱۱ درصدی عملکرد فیبر خام علوفه گردید (جدول ۴). تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد فیبر خام علوفه نشان داد که همراه با افزایش سهم سورگوم علوفه‌ای بر عملکرد فیبر خام علوفه افزوده شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد فیبر خام علوفه در تیمار

کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای با ۶/۵۷ تن در هکتار و کمترین مقدار آن در کشت خالص ذرت به‌میزان ۵/۱۶ تن در هکتار تولید شد (جدول ۴). در تحقیقی که به منظور مقایسه عملکرد سه گیاه علوفه‌ای تحت شرایط آبیاری محدود انجام شده بود، عملکرد بیشتر ماده خشک ذرت علوفه‌ای در مقایسه با سورگوم علوفه‌ای گزارش شد و علت بالا بودن مقدار عملکرد علوفه خشک در ذرت به داشتن بافت‌های خشبی در مقایسه با سورگوم علوفه‌ای نسبت داده شد (Nabati & Rezvani Moghadam, 2010). با توجه به این ویژگی ژنتیکی و همچنین با توجه به مقدار علوفه تر این گیاهان انتظار می‌رود که مقدار علوفه خشک بالا بوده و از روند علوفه تر پیروی کند.

ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

نتایج نشان داد که در اکثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط در سطوح مختلف آبیاری، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود (شکل ۱) که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Balasubramanian & Sekayange, 1990; Ahmadvand & Hajinia, 2019). بیشترین نسبت برابری زمین به کاشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر (۱/۲۴) و کمترین آن به کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت علوفه‌ای + ۵۰ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر (۰/۸۴) اختصاص داشت (شکل ۱). نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری دیربه‌دیر، استفاده از سیستم کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص منجر به کارآیی بیشتر در تولید علوفه شد. همچنین کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر (با نسبت برابری زمین معادل ۱/۲۱) در مقایسه با آبیاری نرمال (۱۰۰ میلی‌متر تبخیر با نسبت برابری زمین ۱/۱۴) از ۰/۷ نسبت برابری زمین بالاتری برخوردار بود. بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2019) نیز گزارش کردند که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در شرایط نرمال و تنش بیشتر از یک بوده و این برتری در شرایط محدودیت آبی بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود که دلیل این موضوع را افزایش کارآیی مصرف آب و استفاده بهتر از منابع آبی در شرایط تنش و در نتیجه، افزایش نسبت برابری زمین نسبت به شرایط نرمال آبیاری بیان کردند.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری × کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای بر نسبت برابری زمین

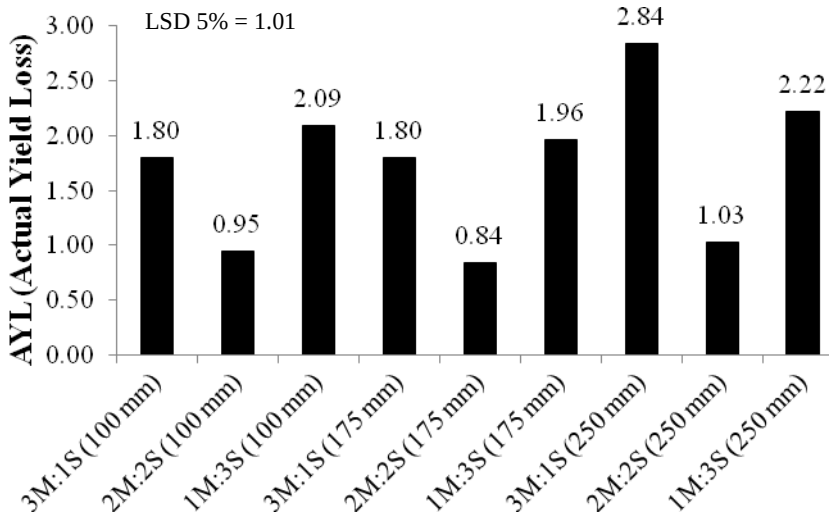
Fig. 1- Mean comparison of irrigation interval × corn and sorghum intercropping interaction on LER

3M:1S (۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم)، **2M:2S** (۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد سورگوم)، **1M:3S** (۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد سورگوم)

3M:1S (75% corn + 25% sorghum), 2M:2S (50% corn + 50% sorghum), 1M:3S (25% corn + 75% sorghum)

افت واقعی عملکرد نتایج آزمایش در خصوص اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط

در سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین افت واقعی عملکرد (۲/۸۴) در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای در تنش شدید کم‌آبی یعنی با دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر و و کمترین مقدار (۰/۸۴) در کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت علوفه‌ای + ۵۰ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۱۷۵ میلی‌متر به‌دست آمد (شکل ۲). اگر شاخص افت واقعی عملکرد مثبت باشد، برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و در صورتی که مقدار این شاخص منفی باشد، برتری کشت خالص را نسبت به کشت مخلوط نشان می‌دهد (Mansouri et al., 2013). بنابراین، با توجه به مقادیر مثبت به‌دست آمده برای شاخص افت واقعی عملکرد در آزمایش می‌توان عنوان کرد که کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای نسبت به کشت خالص هر دو گونه برتری داشت. در بررسی کشت مخلوط ذرت با ارزن نیز مشخص شد که مقادیر شاخص افت واقعی عملکرد برای تیمارهای مختلف کشت مخلوط مورد بررسی مثبت بود که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بود که علت این امر، استفاده بهتر از منابع تولید در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص و مهار جمعیت علف‌های هرز در کشت مخلوط عنوان شد (Shaygan et al., 2008).



شکل ۲- افت واقعی عملکرد (AYL) ترکیب‌های مختلف تیماری دور آبیاری × نسبت‌های کشت مخلوط

Fig. 2- AYL values for different treatments of irrigation interval × intercropping

3M:1S (۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم)، **2M:2S** (۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد سورگوم)، **1M:3S** (۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد سورگوم)

3M:1S (75% corn + 25% sorghum), 2M:2S (50% corn + 50% sorghum), 1M:3S (25% corn + 75% sorghum)

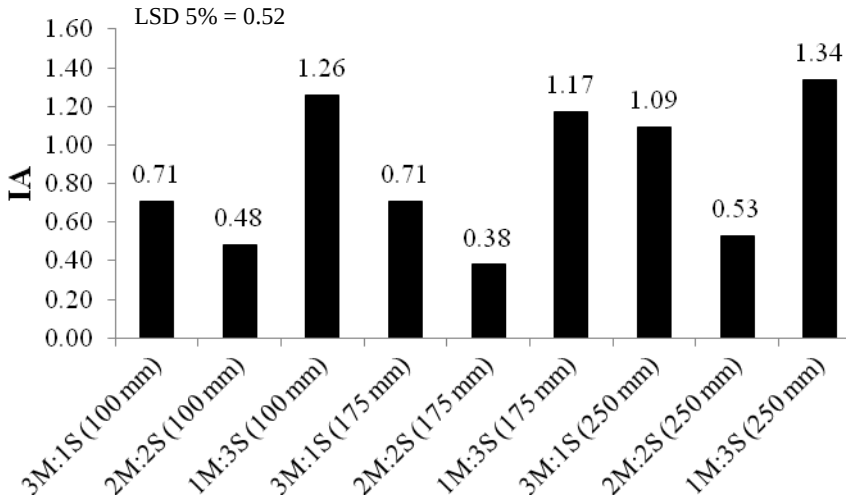
سودمندی کشت مخلوط

با توجه به اینکه شاخص سودمندی کشت مخلوط تاکید بر سودمندی اقتصادی کشت مخلوط دارد، نتایج به‌دست آمده در این شاخص با دیگر شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط در این مطالعه متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین شاخص سودمندی کشت مخلوط در کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر (۱/۳۴) به‌دست آمد، امّا همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، در شاخص‌های LER و AYL، بالاترین برتری کشت مخلوط در کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای + ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای با دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر مشاهده شد. کمترین شاخص سودمندی کشت مخلوط نیز مربوط به کاشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت علوفه‌ای + ۵۰ درصد سورگوم علوفه‌ای در دور آبیاری ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر (۰/۳۸) بود (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دور آبیاری، عملکرد علوفه کل، میزان خاکستر کل، عملکرد پروتئین خام و عملکرد فیبر خام علوفه کاهش یافت. در بررسی اثر کشت مخلوط بر خصوصیات کیفی علوفه، نتایج حاکی از این بود که با افزایش سهم سورگوم در کشت مخلوط، میزان سهم برگ در کل زیست‌توده گیاه سورگوم، قندهای محلول در آب و قابلیت هضم علوفه کاهش معنی‌داری داشت. به‌طور کلی، ارزیابی سودمندی کشت مخلوط براساس شاخص

LER و AYL نشان داد که کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت علوفه‌ای به همراه ۲۵ درصد سورگوم علوفه‌ای در تنش شدید کم‌آبی (دور آبیاری ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر) در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط از برتری بالاتری نسبت به تک‌کشتی گونه‌ها برخوردار بود.



شکل ۳- سودمندی کشت مخلوط (IA) در ترکیب‌های مختلف تیماری دور آبیاری × نسبت‌های کشت مخلوط

Fig. 3- IA values for different treatments of irrigation interval × intercropping

3M:1S (۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم)، **2M:2S** (۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد سورگوم)، **1M:3S** (۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد سورگوم)

3M:1S (75% corn + 25% sorghum), 2M:2S (50% corn + 50% sorghum), 1M:3S (25% corn + 75% sorghum)

البته لازم به ذکر است که براساس شاخص IA که تأکید بر سودمندی اقتصادی کشت مخلوط دارد، کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت علوفه‌ای به همراه ۷۵ درصد سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش شدید رطوبتی به‌عنوان بهترین نسبت کشت مخلوط معرفی شد. در شرایط تنش، اختلاف آماری معنی‌داری بین دو تیمار ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سورگوم و تیمار ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد سورگوم براساس شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط مشاهده نشد. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از کشت مخلوط گونه‌ها به‌ویژه در شرایط محدودیت آبیاری می‌تواند راهکار مناسبی در جهت بهبود تولید علوفه در مقایسه با کشت خالص گونه‌ها باشد. با توجه به نتایج سودمندی کشت مخلوط، تیمار ۷۵ درصد ذرت به همراه ۲۵ درصد سورگوم در شرایط تنش و نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد ذرت به همراه ۷۵ درصد سورگوم در شرایط نرمال آبیاری به‌عنوان تیمار برتر عنوان شد.

References

1. Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2019). Effect of intercropping on water use efficiency, yield quantity and quality of millet and soybean in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(4), 97-113. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.230808.654302
2. Arzani, H. (2008). *Forage Quality and Daily Requirement of Grazing Animal*. University of Tehran Press, Tehran, Iran. p. 354.
3. Arzani, H., Zohdi, M., Fish, E., Amiri, G.Z., Nikkhah, A., & Wester, D. (2004). Phenological effects on forage quality of five grass species. *Journal of Range Management*, *57*(6), 624-629. https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0624:PEOFQO]2.0.CO;2
4. Balasubramanian, V., & Sekayange, L. (1990). Area harvests equivalency ratio for measuring efficiency in multi season intercropping. *Agronomy Journal*, *82*, 519-522. https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200030016x

5. Beheshti, A., Kiani Feriz, M.R., Basaf, M., & Nabavi, G. (2019). The impact of maize and sorghum intercropping on water use efficiency and forage production. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 7(2), 187-196. https://doi.org/10.22092/rafhc.2019.122230.1145
6. Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A., & Miron, J. (2006). Effects of irrigation and plant density on yield, composition and *in vitro* digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology, 131*, 120–132. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.02.005
7. Chamkhi, I., Cheto, S., Geistlinger, J., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2022). Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Industrial Crops and Products, 183*, 114958. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958
8. Cominelli, E., & Tonelli, C. (2010). Transgenic crops coping with water scarcity. *New Environmental Management, 185*, 21-30. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.08.005
9. Dahmardeh, M., & Hodiani, A. (2016). Assessment of soil elements in intercropping based on mathematical modelling. *Computers and Electronics in Agriculture, 122*, 218–224. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.036
10. Francisco, E., Govea, C., Muck, E.R., Armstrong, L.K., & Albrecht, K. (2009). Ferment ability of corn–lablab bean mixtures from different planting densities. *Animal Feed Science and Technology, 149*, 298–306. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.05.009
11. Hasanvand, M., Hoseini, M.B., & Jahansooz, M.R. (2019a). Effect of replacing ratios of maize: Sorghum intercropping on yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science, 50(3)*, 109-120. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.248035.654421
12. Hasanvand, M., Hoseini, M.B., & Jahansooz, M.R. (2019b). The effect of intercropping of maize: Sorghum on grain and forage yield. *Iranian Journal of Field Crop Science, 50(2)*, 11-21. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.233771.654325
13. Heydari, S. (2015). Evaluation of seed yield and yield components for intercropped foxtail millet (*Setaria italica*) and sorghum (*Sorghum bicolor*). M.Sc. Thesis, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. p. 78. (In Persian with English abstract).
14. Hopkins, W.G., & Huner, N.P.A. (2009). *Introduction to Plant Physiology*, Fourth Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
15. Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E.K. (2003). A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. Irish *Journal of Agricultural and Food Research*, *42*, 293-299.
16. Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R., & Dashtaki, M. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management, 117*, 62-69. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.001
17. Javanshir, A., Dabbagh, A., & Hamidi, A. (2000). *The Ecology of Intercropping*. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. p. 222. (In Persian with English abstract).
18. 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 abstract). https://doi.org/10.22055/jise.2018.13614
19. Khatami, S.S., Bouzarjomehri, K., Zarrin, A., & Falsolayman, M. (2022). Analysis of water resources management studies in Iran and the world. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 11*(2), 251-271. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73891.1136
20. Kramer, P.J. (1983). *Water Relation of Plants*. Academic Press, New York.
21. Lemaire, G., & Belanger, G. (2019). Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: A review. *Agriculture*, *10*(1), 5. https://doi.org/10.3390/agriculture10010005
22. Lesoing, G.W., & Francis, C.A. (1999). Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean. *Agronomy Journal*, *91*(5), 807-813. https://doi.org/10.2134/agronj1999.915807x
23. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A. & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, *34*, 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007

24. Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dhima K.V., Dordas, C.A., & Yaikoulaki, 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. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008
25. Mansouri, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., Saba, J., & Mansouri, H. (2013). The Effect of additive maize-bean intercropping on yield, yield components and weeds control in Zanjan climate conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 11*(3), 483-492. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i3.29751
26. Marsalis, M.A., Angadi, S.V., & Contreras-Govea, F.E. (2010). Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research, 116*, 52–57. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.009
27. Marshner, H. (1995). *Mineral Nutrient of Higher Plants*. Academic Press, London.
28. Mead, R., & Wiley, R.W. (1980). The concept of a "Land Equivalent Ratio" and advantage in yields from intercropping. *Experimental Agriculture, 16*(3), 217-228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978
29. Misra, A.N. (1994). Pearl millet, seedling establishment under variable soil moisture stress. *Acta Physiologia Plantarum, 16*(2), 101-103.
30. Mosavi, G., Seghat-eslami, M.J., Javadi, H., & Ansariniya, A. (2008). Effect of irrigation interval and planting pattern on grain yield and its components in forage sorghum cv. Speed- Feed under Birjand conditions. 10th Iranian Crop Science Congress. 18 August. Karaj, Iran. (In Persian)
31. Nabati, J., & Rezvani Moghaddam, P. (2010). Effect of irrigation intervals on the yield and morphological characteristics of forage millet, sorghum and corn. *Iranian Journal of Field Crop Science, 41*(1), 179-186. (In Persian with English abstract).
32. Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effect of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology, 8*(1), 47-58. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534
33. Ogindo, H.O., & Walker, S. (2005). Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rained maize- bean intercrop and component cropping in semi-arid region in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, 30*, 799-808. https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.023
34. Oliver, A.l., Grant, R.J., Pedersen, J.F., & Rear, J.O. (2004). Comparison of brown mbidrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage. *Journal of Dairy Science, 87*, 637-644. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73206-3
35. Oweis, T., & Hachum, A. (2006). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management, 80*(1-3), 57-73. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.004
36. Rahbari, A., Masood Sinaki, J., & Zarei, M. (2015). Effects of phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. *Journal of Agronomy Science, 5*(10), 27-38.
37. Rahmanian Sharifabad, N., Salehifar. E., & Foroghi, A. (2023). Effect of harvest stage and ratio of forage sorghum to corn silage on its nutritional value and degradability. *Iranian Journal of Animal Science Research, 14*(4), 487-504. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijasr.2022.70346.1024
38. Sarto, M.V., Borges, W.L., Sarto, J.R., Rice, C.W., & Rosolem, C.A. (2020). Root and shoot interactions in a tropical integrated crop–livestock–forest system. *Agricultural Systems, 181*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102796
39. Sarto, M.V., Borges, W.L., Bassegio, D., Rice, C., & Rosolem, C. A. (2021). Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. *Agronomy Journal, 113*(6), 4900-4915. https://doi.org/10.1002/agj2.20920
40. Sayyadi Azar, Z., Javanmard, A., Shekari, F., Abbasi, A., & Amani Machiani, M. (2019). Amount of production and nutritional value of cultivated forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) with integrated application of bio and chemical fertilizers under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology, 11*(3), 1021-1035. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.71013
41. Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., & Peyghambari, S.A. (2008). Effect of planting date and intercropping of maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. *Iranian Journal of Crop Science, 10*(1), 31-46. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1387.10.1.3.6

42. Shrestha, R., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Turner, D.W., & Speijers, J. (2006). A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. *Australian Journal of Agricultural Research, 57*(4), 427-438. https://doi.org/10.1071/AR05225
43. Yilmaz, Ş., 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*(1), 135–143. https://doi.org/10.3906/tar-1406-155
44. Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Liu, B.R., Zhou, Y.L., Yuan, L.X., Zhang, F.S., & Mi, G.H. (2012). The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. *Research Paoer, 55*, 993-1001. https://doi.org/10.1007/s11427-012-4396-6