



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۲۹-۱۵

DOI: 10.22059/jci.2021.312749.2470

مقاله پژوهشی:

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی علوفه حاصل از سری‌های افزایشی یونجه‌حلزونی در مخلوط با سورگوم در شرایط کم‌آبیاری

سعید شرفی*

استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

جبران کمبود آب در بخش کشاورزی نیازمند بهره‌گیری از روش‌های صحیح مدیریت زراعی می‌باشد. هدف از اجرای این آزمایش بررسی اثرهای سطوح کم‌آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه سورگوم بر صفات کمی و کیفی الگوی کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و یونجه‌حلزونی (*Medicago scutellata* L.) بود. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۹۸ و ۹۷-۹۶ در کرمانشاه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد (به‌عنوان کرت‌های اصلی) و نسبت‌های کشت خالص سورگوم، کشت خالص یونجه‌حلزونی، کشت ۱۰۰ درصد سورگوم توأم با سری‌های افزایشی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد یونجه‌حلزونی (به‌عنوان کرت‌های فرعی) بود. بر اساس نتایج آزمایش بیش‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۵۳۵۷۸/۴۵ و ۱۳۳۰۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار) در کشت ۱۰۰ سورگوم+ ۱۰۰ یونجه‌حلزونی و در تیمار ۱۲۵ درصد نیازآبی حاصل شد که علاوه بر استفاده مؤثر از زمین (نسبت برابری زمین ۱/۲۹)، افزایش ۸۳۴/۸۲ کیلوگرم در هکتار علوفه تر و ۶۳/۳۶ کیلوگرم علوفه خشک را در مقایسه با کشت خالص سورگوم با نیاز آبی ۱۲۵ درصد در پی داشت. با کاهش سهم یونجه‌حلزونی در مخلوط، میزان پروتئین ۱۱/۰۵ درصد کاهش یافت. هم‌چنین بیش‌ترین درصد خاکستر خام (۱۱/۷۹ درصد) و ماده خشک قابل هضم علوفه (۸۱/۰۴ درصد) در علوفه در تیمار کشت خالص سورگوم و بیش‌ترین درصد الیاف غیرمحلول در شوبنده اسیدی در الگوی کشت خالص یونجه‌حلزونی (۳۰/۹۴ درصد) مشاهده شد. به‌طورکلی ممکن است که کشت مخلوط سورگوم با یونجه‌حلزونی (تراکم ۱۰۰:۱۰۰)، علاوه بر بهبود کمی و کیفی علوفه، افزایش بهره‌وری آب را نیز در پی داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری آب آبیاری، درصد پروتئین، عملکرد علوفه، مخلوط افزایشی، نسبت برابری زمین.

Evaluation of Quantitative and Qualitative Yield of Forage from Additive Series of Snail Medic in Intercropping with Sorghum under Low Irrigation Condition

Saeed Sharafi*

Assistant Professor, Department of Environment Science and Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

Received: November 29, 2020

Accepted: January 26, 2021

Abstract

Compensating water shortage requires the use of proper agricultural management methods. Thus, the present experiment aims at investigating different irrigation levels based on water requirement of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) on qualitative and quantitative yield of forage produced by combined cropping patterns of sorghum and snail medic (*Medicago scutellata* L.). The experiment is conducted in split plots design based on randomized complete blocks with three replications in two years (2017-2018 and 2018-2019). The treatments include irrigation levels of 50%, 75%, 100%, and 125% (as the main plot) and cropping patterns sole-cropping sorghum, sole-cropping snail medic, cropping pattern of 100% sorghum with additive series of 50%, 75%, and 100% snail medic (as the subplot). Results show that the highest fresh and dry forage yield are obtained in 125% water requirement as well as 100% sorghum and 100% snail medic (with 53578.45 and 13302.68 kg ha⁻¹). In addition to the effective application of land (land equivalent ratio = 1.29), fresh and dry forage yield have increased by 834 and 63.36 kg ha⁻¹, respectively. The analysis of forage quality show that with a decrease in the portion of the snail medic, the percentage of protein has decreased by 11.05%. Also, the highest percentage of crude ash and digestible matter have been obtained in the treatment of sorghum sole cropping (11.79% and 81.04%, respectively) and the highest percentage of acid detergent fiber in the treatment of snail medic sole cropping (30.94%). According to the results, it is possible that the use of crop with low water requirements like snail medic in mix cropping system (100:100) increases the quality and quantity of forage, boosting water productivity as well.

Keywords: Additive intercropping, crop water productivity, forage yield, land equivalent ratio, protein percentage.

۱. مقدمه

خاصی برخوردار است (Forouzandeh *et al.*, 2012). زیرا جذب یا کارایی تشعشع در کشت مخلوط افزایش یافته و مدت زمان کوتاهی سطح زمین را می‌پوشاند (Umeh *et al.*, 2017). از طرفی نیز، کشت مخلوط به‌عنوان یک روش اقتصادی جهت تولید بیشتر با سطوح نهاده‌های خارجی کم‌تر در نظر می‌گیرند. این افزایش بهره‌وری به‌ویژه برای کشاورزان خرده‌پا و مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بسیاری برخوردار است (Monti *et al.*, 2016; Paudel, 2016). یکی از دلایل افزایش بهره‌وری آب در کشت مخلوط به‌ویژه غلات چهارکرنه با لگوم را می‌توان به کاهش تبخیر آب از سطح خاک (به‌دلیل سایه‌انداز گیاه چهارکرنه) در مقایسه با کشت خالص آنها نسبت داد، زیرا ریشه گیاهان در این الگوی مخلوط مدت زمان بیشتری از رطوبت خاک استفاده می‌کنند. براساس نتایج حاصل از بررسی کشت مخلوط سورگوم با لوبیای قرمز مشخص شد که کارایی مصرف آب در الگوی مخلوط به‌ترتیب ۲۹/۴ و ۱۲/۲ درصد بیش‌تر از کشت خالص سورگوم و لوبیا قرمز گزارش شد (Khajeh Khezri *et al.*, 2018).

Eskandari & Alizadeh, (2016) Javanmard *et al.* (2016) و Sharafi (2020a) با بررسی کیفیت علوفه در الگوهای مختلف کشت مخلوط گزارش نمودند که عملکرد علوفه خشک ذرت در کشت مخلوط به‌ترتیب با بقولات ماشک گل‌خوشه‌ای، گاو‌دانه و یونجه‌حلزونی کاهش یافت، ولیکن میزان قابلیت هضم ماده خشک ذرت در کشت مخلوط با بقولات افزایش نشان داد. براساس نتایج پژوهش‌گران مخلوط‌های با تراکم بالا نسبت به کشت خالص باعث استفاده بهتر از فضاهای خالی موجود به‌نفع گونه‌های زراعی و تولید عملکرد بهتر می‌شوند (Moradi *et al.*, 2015). هم‌چنین در طی دوره‌های زمانی مختلف به‌ویژه در فصل خشک، متنوع‌ترین بوم‌نظام‌ها، تولید بیش‌تری در مقایسه با بوم‌نظام‌های دارای تنوع کم‌تر داشتند.

کمبود آب بزرگ‌ترین چالش مدیریت کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از طرف دیگر وقوع خشکسالی‌های اخیر، از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و بهره‌وری محصولات زراعی به‌ویژه در این مناطق می‌باشد (Sharafi *et al.*, 2016). براساس مطالعات صورت گرفته، پدیده خشکسالی در بسیاری از مناطق کشور شایع است (Abedi & Pakniyat, 2010; Sharafi & Mir Karim, 2020c). هم‌چنین به‌دلیل صنعتی‌شدن و توسعه شهری، زمین‌های کشاورزی و آب آبیاری به‌سرعت در حال کاهش هستند. از این‌رو مدیریت منابع آب با استفاده روش‌های مدیریت زراعی منجر به افزایش ظرفیت رطوبت خاک و بهبود راندمان مصرف آب می‌شود (Iglesias & Garrote, 2015). یکی از روش‌های مدیریت مزرعه به‌کارگیری سیستم‌های زراعی مناسب برای هر منطقه است که به‌عنوان یک راه‌کار مؤثر در افزایش پایداری و امنیت غذایی مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران و سیاست‌مداران می‌باشد (Forouzandeh *et al.*, 2012).

کشت مخلوط غلات یکساله با گیاهانی از خانواده بقولات در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مرسوم است (Dhima *et al.*, 2007)، زیرا مشخص شده که کشت مخلوط غلات و بقولات به‌طور معمول محتوای نیتروژن و عملکرد دانه در واحد سطح را به‌علت تثبیت زیستی نیتروژن توسط بقولات در مقایسه با کشت خالص غلات افزایش می‌دهد (Nabati Nasaz *et al.*, 2016). هم‌چنین هدف از این سیستم کاشت، افزایش عملکرد در بعد زمان و مکان است. در این نوع کشت، بهره‌وری گیاهان در استفاده از منابع محیطی افزایش می‌یابد (Vrignon-Brenans *et al.*, 2016; Eskandari & Alizadeh Amraie, 2016; Bybee-Finley & Ryan, 2018). در کشت مخلوط به‌دلیل ایجاد تنوع‌زیستی گیاهان و سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت

نیاز به ارزیابی گیاهان متحمل به شرایط خشکی و هم‌زمان معرفی روش‌های مدیریتی نظیر استفاده از نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از طریق چنین بررسی‌هایی ضروری است، لذا پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کم‌آبایی بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه حاصل از نسبت‌های افزایشی کشت مخلوط سورگوم و یونجه‌حلزونی، انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مشخصات محل مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه‌ای در کرمانشاه با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ اجرا گردید. براساس شاخص طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک بود. قبل از کاشت از اعماق مختلف خاک مزرعه جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک نمونه‌برداری شد (جدول ۱). برای تعیین منحنی ویژگی‌های رطوبتی، یک نمونه مرکب از چندین نقطه و سه عمق مختلف تهیه و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

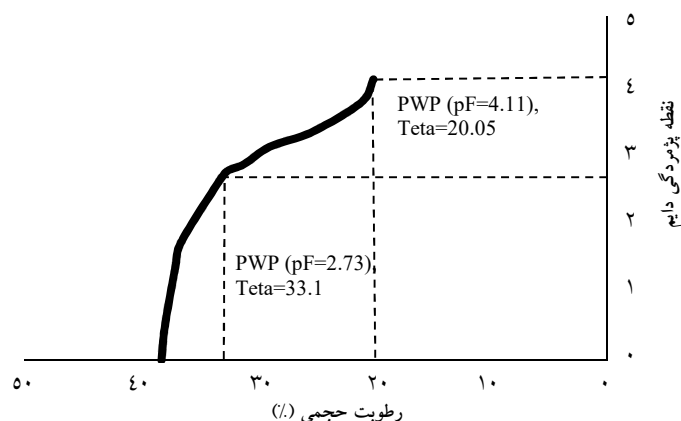
دلیل این امر ممکن است کارایی بهتر در استفاده از منابع محیطی نظیر آب، نور و عناصر غذایی باشد. از طرف دیگر، برخی پژوهش‌گران دریافته‌اند که نسبت‌های کشت درهم مخلوط، سطح برگ کم‌تری نسبت به کشت ردیفی داشتند که نتیجه آن کاهش روند تجمع ماده خشک و به دنبال آن کاهش عملکرد علوفه تر و عملکرد اقتصادی بود (Pooramir *et al.*, 2010; Huňady & Hochman, 2014).

Sharafi (2020a) در کشت مخلوط ذرت علوفه‌ای با یونجه‌حلزونی نتیجه گرفت که عملکرد علوفه خشک و تر مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن‌ها، نسبت برابری زمین^۱ و کیفیت علوفه (در مقایسه با کشت خالص ذرت) بالاتری داشته که این امر به دلیل بهره‌گیری ذرت از بقایای نیتروژن یونجه‌حلزونی و کاهش رقابت برون گونه‌ای با علف‌های هرز بود. هم‌چنین Sanderson *et al.* (2013)، با بررسی تراکم‌های مطلوب مخلوط غلات و بقولات دریافته‌اند که اختصاص یک‌سوم زمین به لگوم‌ها در مخلوط بازده بیش‌تری در مقایسه با سایر تراکم‌ها دارد. بنابراین باتوجه به تأمین علوفه با کیفیت در شرایطی که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی است و با عنایت به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر و

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت	نسبت رس/شن/سیلت (%)	ظرفیت زراعی (%)	ظرفیت مخصوص (%)	تقطعه‌پذیری دانه (mm)	آب قابل دسترس (mm)	اسیدیته	شوری (ds.m ⁻¹)	ماده آلی (%)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
۱۵-۰	سیلت رس لوم	۶۳/۲ رس / ۳۱/۲ شن / ۵/۶ سیلت	۲۷	۱/۵۷	۱۳	۱۳	۷/۳	۰/۱۳	۱/۵۱	۰/۱۷	۴	۱۰۰
۳۰-۱۵	سیلت رس لوم	۵۹/۴ رس / ۱۱/۱ شن / ۱۱/۱ سیلت	۲۴	۱/۴۸	۱۰	۱۵	۷/۸	۰/۱۳	۱/۶۴	۰/۱۸	۸	۱۱۰
۴۵-۳۰	سیلت رس لوم	۵۳/۷ رس / ۱۳/۵ شن / ۱۳/۵ سیلت	۱۹	۱/۴۱	۷	۱۳	۷/۸	۰/۱۴	۱/۵۹	۰/۱۸	۱۰	۱۲۰

1. Land Equivalent Ratio (LER)



شکل ۱. منحنی خصوصیات رطوبتی خاک مزرعه آزمایشی

کرت‌های اصلی ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. تراکم کشت خالص برای سورگوم ۱۲ بوته در مترمربع و برای یونجه‌حلزونی ۸۵ بوته در مترمربع (معادل ۱۲۵ گرم در مترمربع) تعیین شد. کاشت یونجه‌حلزونی در فواصل ردیف‌های سورگوم صورت پذیرفت. به‌غیر از وجین و آبیاری، سایر عملیات داشت به‌صورت یکسان و هم‌زمان برای کلیه تیمارها انجام شد. جهت برنامه‌ریزی آبیاری و اعمال رژیم‌های مختلف آب، براساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قراردادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار، از رابطه (۱) استفاده شد (Alizadeh, 2004):

$$\text{رابطه (۱)} \quad SMD = (W_{FC} - W_1) \times A_S \times D \times C$$

که در آن، SMD؛ کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)، W_1 و W_{FC} ؛ به‌ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود خاک، A_S ؛ وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D ؛ عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) و C ؛ ضرایب هر تیمار (درصد) می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک جهت تعیین هر دور آبیاری، با استفاده از استوانه نمونه‌برداری از عمق توسعه ریشه سورگوم اقدام به نمونه‌برداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا نمونه‌ها وزن شدند و در ادامه به‌مدت ۲۴ ساعت داخل آون با دمای

۲.۲. اجرای آزمایش

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، طی دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۷ و ۹۷-۱۳۹۶) اجرا شد. در این آزمایش سطوح کم‌آبیاری شامل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* Var) به‌عنوان کرت‌های اصلی و پنج نسبت افزایشی الگوی مخلوط شامل کشت خالص سورگوم، کشت خالص یونجه‌حلزونی (*Medicago scutellata* Var) و کشت ۱۰۰ درصد سورگوم توأم با نسبت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد یونجه‌حلزونی به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند.

تاریخ کاشت برای هر دو گیاه سورگوم و یونجه‌حلزونی به‌صورت هم‌زمان و در روز ۱۸ خردادماه تعیین شد. جهت کاهش اثرهای رکود بذر ۲۴ ساعت قبل از کاشت، بذرهای یونجه‌حلزونی به‌مدت شش ساعت در شدت میدان مغناطیسی ۲۵۰ میلی‌تسلا قرار گرفتند (Sharafi, 2020b). روش کاشت به‌صورت دستی و در داخل کرت انجام شد. به‌منظور حصول یکنواختی عملیات داشت، از روش آبیاری کرتی استفاده شد. ابعاد کرت‌ها ۳×۵ متر، فاصله‌ی کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله

موردنیاز برای هر یک از تیمارهای تنش آبی اعمال شد (جدول ۱).

۳.۲. نسبت برابری زمین

در این مطالعه جهت مقایسه آگرواکولوژیک سطوح مختلف الگوی کشت از رابطه نسبت برابری زمین استفاده شد:

$$LER = [LER_I + LER_J] = \left[\frac{Y_{II}}{Y_{II}} + \frac{Y_{II}}{Y_{II}} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، Y_{II} ؛ عملکرد گونه I در کشت خالص، Y_{II} ؛ عملکرد گونه J در کشت خالص، Y_{II} ؛ عملکرد گونه I در کشت مخلوط، Y_{II} ؛ عملکرد گونه J در کشت مخلوط، LER_I ؛ LER_J جزئی گونه I است. چنانچه LER کل برابر با یک باشد، تفاوتی بین سودمندی نظام‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط وجود ندارد و اگر بیشتر از یک باشد، کارایی نظام کشت مخلوط بیشتر از نظام تک‌کشتی است. بر این اساس، LER جزئی بیشتر از ۰/۵ گویای سودمندی بیشتر کشت مخلوط گیاه زراعی نسبت به وضعیت تک‌کشتی آن می‌باشد (Wang et al., 2012; Talukder et al., 2015).

۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند و دوباره توزین شدند. در نهایت با توجه به اختلاف رطوبت بین قبل و بعد از قرارگرفتن در آن، رطوبت موجود در خاک قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. در ادامه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (1600 F1, Iran) نمونه به مدت ۲۴ ساعت در مکش ۰/۳۳- مگاپاسکال قرار داده شد و سپس رطوبت آن اندازه‌گیری شد و مقدار آن برابر با ظرفیت زراعی تعیین شد.

هم‌چنین با توجه به رابطه تعیین عمق آبیاری (رابطه ۱)، تیمار شاهد (آبیاری کامل) به عنوان تیمار مبنای جهت تعیین میزان آب مصرفی در نظر گرفته شد و در همین راستا عمق آب آبیاری برای تعیین نیاز کامل آبیاری در این تیمار محاسبه شد. عمق آب موردنیاز در سایر تیمارها با معیار قراردادن عمق آبیاری در تیمار شاهد و ضریب هر تیمار محاسبه شد. در جدول (۲)، رطوبت خاک قبل از آبیاری و عمق آب مصرفی در هر تیمار ارایه شده است. بنابراین با معیار قراردادن تیمار شاهد (آبیاری کامل) عمق آب موردنیاز برای هر آبیاری محاسبه شد و با توجه به مساحت کرت، حجم آب موردنیاز برآورد شد و با استفاده از کنتور حجمی، آب

جدول ۲. زمان‌بندی، رطوبت خاک و عمق آب مصرفی برای تیمارهای نیازآبی سورگوم

آب مصرفی (mm)										
۱۲۵ درصد نیازآبی		۱۰۰ درصد نیازآبی		۷۵ درصد نیازآبی		۵۰ درصد نیازآبی		تاریخ آبیاری	روز پس از کاشت	ردیف
رطوبت	آب مصرفی	رطوبت	آب مصرفی	رطوبت	آب مصرفی	رطوبت	آب مصرفی			
۳۳	۳۵	۳۰/۴	۳۵	۲۹/۸	۳۵	۲۸/۳	۳۵	۲۰ خرداد	۲	۱
۲۸/۶	۷۸	۲۸/۴	۶۵	۲۹/۱	۴۳	۲۹	۳۰	۲۸ خرداد	۱۰	۲
۲۸	۹۰	۲۷/۶	۷۷	۲۸/۰۸	۵۵	۲۷/۹	۳۸	۸ تیر	۲۱	۳
۲۷/۳	۱۰۱	۲۷/۲	۸۴	۲۷/۳	۶۳	۲۷/۲	۴۳	۱۹ تیر	۳۲	۴
۲۶/۶	۱۱۴	۲۶/۵	۹۲	۲۶/۷	۷۰	۲۶/۶	۴۸	۳۱ تیر	۴۳	۵
۲۶/۱	۱۲۳	۲۶	۱۰۲	۲۶/۴	۷۴	۲۵/۹	۵۳	۱۵ مرداد	۵۸	۶
۲۶/۷	۱۱۳	۲۶/۷	۹۱	۲۷/۲	۶۴	۲۶/۶	۴۶	۳۰ مرداد	۷۳	۷
۲۷/۵	۹۸	۲۷/۴	۷۸	۲۸/۲	۵۳	۲۷/۶	۴۰	۱۶ شهریور	۹۰	۸
۷۵۲		۶۲۴		۴۵۷		۳۳۳		مجموع (mm)		
۷۵۲۰		۶۲۴۰		۴۵۷۰		۳۳۳۰		مجموع (mm.ha ⁻¹)		

۴.۲. ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری^۱

در نظام‌های کشاورزی بهره‌وری مصرف آب در گیاه نشان‌دهنده میزان ماده تولیدی گیاه به‌ازای واحد آب مصرفی است (Molden, 1997)، که از طریق رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$CWP_1 = \frac{TDM}{WU} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، CWP_1 ؛ بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، TDM؛ بیانگر کل ماده خشک تولیدشده توسط گیاه (کیلوگرم) و WU؛ مقدار آب به‌کار برده‌شده برای زراعت (مجموع مقادیر بارندگی و آبیاری) می‌باشد. به‌دلیل این‌که عملیات کاشت در اواخر بهار صورت گرفت، مقدار بارندگی در رابطه فوق صفر در نظر گرفته شد.

۵.۲. ارزیابی صفات کمی و کیفی علوفه

در پایان فصل رشد از هر کرت آزمایش و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای یک متر مربع از بوته‌ها در هر تیمار برداشت شد. جهت ارزیابی عملکرد علوفه تر، نمونه‌برداری از یونجه حلزونی در مرحله غلاف‌دهی و برای سورگوم در مرحله ظهور خوشه‌ها و به‌صورت هم‌زمان به‌عمل آمد، سپس نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت توزین شدند. همچنین جهت بررسی عملکرد علوفه خشک، نمونه‌های برداشت‌شده در درجه‌حرارت ۷۵ درجه سلسیوس تا ثابت‌ماندن وزن خشک درون آن قرار گرفتند و دوباره توزین شدند. جهت تعیین کیفیت علوفه در مراحل مختلف رشد، نمونه‌برداری صورت گرفت. صفات کیفی شامل میزان پروتئین خام^۲، میزان خاکستر خام^۳، ماده خشک قابل‌هضم^۴، میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی^۵،

میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب^۶ در زمان برداشت علوفه موردسنجش قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا نمونه‌ها با آسیاب (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA) و با استفاده از غربال یک میلی‌متری آسیاب شدند. الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی با روش Van Soest *et al.* (1994) و با استفاده از دستگاه تجزیه الیاف آنکوم (Fiber Analyzer, Ankom 200, Ankom Technology) (Crop, Fairprt, NY, USA) در کیسه‌های آنکوم (ANKOM F57) و همراه با آلفا‌آمیلاز مقاوم به حرارت اندازه‌گیری شدند. پروتئین خام با دستگاه کلدال (Kjeldahl Vap50 Gerhardt, Germany) تعیین گردید. بدین منظور پس از قراردادن نمونه‌ها در دستگاه، با استفاده از رابطه ۴، نیتروژن موجود در نمونه اندازه‌گیری شد:

$$T.N = \frac{[(T - B) \times N \times 0.014 \times 100]}{S} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن، T.N؛ نیتروژن کل (درصد)، T؛ حجم اسید مصرفی برای تیترا نمونه (میلی‌لیتر)، B؛ حجم اسید مصرفی برای حجم‌سنجی شاهد (میلی‌لیتر)، S؛ وزن نمونه گیاهی (گرم) و N؛ نرمالیت اسیدسولفوریک (۰/۰۲ نرمال). پس از اندازه‌گیری نیتروژن کل نمونه، با اعمال ضریب ۶/۲۵ درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای مختلف محاسبه شد. خاکستر خام نمونه‌ها به‌مدت ۱۲ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تعیین شد (AOAC, 2000). برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول در آب از روش طیف‌سنجی فنل سولفوریک استفاده شد (Dubois *et al.*, 1956).

۶.۲. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از نمونه‌برداری، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد (SAS, 2009). مقایسه میانگین صفات موردنظر با استفاده

1. Crop Water Productivity (CWP)
2. Crude Protein (CP)
3. Crude Ash (CA)
4. Dry Mater Digestibility (DMD)
5. Acid Detergent Fiber (ADF)

6. Water Soluble Carbohydrates (WSC)

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی علوفه حاصل از سری‌های افزایشی یونجه‌حلزونی در مخلوط با سورگوم در شرایط کم‌آبایی

یونجه‌حلزونی به‌دست آمد (به‌ترتیب ۵۳۵۷۸/۴۵ و ۱۳۳۰۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار).

به‌دلیل این‌که سورگوم گیاه اصلی در مخلوط به‌حساب می‌آید و تغییری در نسبت آن در مخلوط اعمال نشده است، انتظار هم می‌رفت این گیاه سهم عمده‌ای در تولید علوفه داشته باشد. هرچند عملکرد علوفه تر و خشک به‌دست‌آمده در این تیمار از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱۲۵ درصد نیازآبی و کشت خالص سورگوم، ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰سورگوم+ ۱۰۰ یونجه‌حلزونی و سورگوم خالص نداشت.

نقش مکملی یونجه‌حلزونی در مخلوط با سورگوم منجر به افزایش ۸۳۴/۸۲ کیلوگرم در هکتار علوفه تر و ۶۳/۳۶ کیلوگرم علوفه خشک بیش‌تر در مقایسه با کشت سورگوم خالص در تیمار نیاز آبی ۱۲۵ درصد شد. در واقع علاوه بر استفاده مؤثر از زمین (نسبت برابری زمین ۱/۲۹)، با همان آب استفاده‌شده برای کشت خالص سورگوم، ۱/۵۵ درصد علوفه بیش‌تر تولید شده است (جدول ۴).

از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. هم‌چنین ضریب همبستگی پیرسون بین کلیه صفات کمی و کیفی علوفه حاصل از الگوی کشت مخلوط تعیین شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. صفات کمی

نتایج تجزیه واریانس برای صفات کمی موردبررسی نشان داد که بین اثرهای ساده تأمین نیاز آبی، نسبت‌های کشت مخلوط و برهمکنش دوگانه بین آن‌ها برای صفات علوفه خشک، علوفه تر، نسبت برابری زمین و بهره‌وری آب آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. براساس این نتایج اثر سال بر صفات مذکور نیز معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۴)، بیش‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک در تیمار تأمین ۱۲۵ درصد نیاز آبی و الگوی کشت سورگوم همراه با ۱۰۰ درصد

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب صفات کمی الگوی کشت سورگوم و یونجه‌حلزونی در سطوح مختلف

آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		علوفه‌تر	علوفه‌خشک	نسبت برابری زمین
سال	۱	۲۱۵۸۵۱۶۶۶۷**	۲۵۱۵۱۵۹۲۸**	۰/۴۲۲**
تکرار (سال)	۴	۵۸۰۷۱۹۰	۵۸۲۸۱۰	۰/۰۰۳
نیاز آبی	۳	۵۶۱۷۵۲۶۶۷۴**	۳۴۹۲۵۸۱۹۳**	۰/۱۵۱**
نیاز آبی × سال	۳	۶۲۶۱۲۲۸۴**	۸۵۷۸۰۰۸**	۰/۰۰۲۸*
الگوی کشت	۴	۱۵۴۹۸۸۰۰۲۰**	۱۰۴۰۲۹۹۴۴**	۰/۶۶۶**
سال × الگوی کشت	۱۲	۵۶۶۲۳۰۲۱**	۳۲۵۶۵۸۱**	۰/۰۲۶**
نیاز آبی × الگوی کشت	۴	۱۸۴۴۸۸۱۲۹**	۱۴۸۴۹۹۸۹**	۰/۰۸۳**
سال × نیاز آبی × الگوی کشت	۱۲	۵۷۰۹۷۱۹**	۵۳۶۴۶۱*	۰/۰۰۵**
خطای آزمایش	۶۴	۱۴۶۸۷۷۸	۲۵۷۱۳۹	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۵۸	۱۵/۹۹	۵/۱۹
				۳/۵۳

n.s, * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح کم‌تر از ۵ و ۱ درصد.

یونجه‌حلزونی هیچ‌گونه رقابتی با سورگوم در جذب آب نداشته است. از طرف دیگر در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی میزان بهره‌وری آب آبیاری در همه الگوهای مخلوط مورد بررسی در این آزمایش کم‌تر از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۴). در همین راستا، در تیمار نسبت کامل سورگوم با یونجه‌حلزونی (تراکم ۱۰۰:۱۰۰) و تأمین ۱۲۵، ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار ۵۰ درصدی نیاز آبی، عملکرد علوفه تر به ترتیب ۶۱/۱۸، ۶۰ و ۳۷/۹ درصد افزایش داشت. در مقایسه نتایج تولید کشت خالص سورگوم با تراکم کامل سورگوم و یونجه‌حلزونی در مخلوط مشخص شد که عملکرد علوفه تر و خشک افزایش یافته است (جدول ۴). با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و نیاز به علوفه در این مناطق، کشت و تولید گیاهان علوفه‌ای به‌ویژه گیاهان متحمل به خشکی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین یکی از راه‌کارهای مناسب، صرفه‌جویی در میزان و مدیریت مصرف آب می‌باشد. بر همین اساس اگر در منطقه‌ای آب کافی در دسترس نباشد، کشت خالص گیاهان آب‌بر (نظیر ذرت و یونجه چندساله) اقتصادی نخواهد بود؛ اما الگوی کشت خالص سورگوم علوفه‌ای و یا مخلوط با یونجه‌حلزونی می‌تواند تا حدودی جایگزین مصرف بی‌رویه آب شود (جدول ۴).

۲.۳. صفات کیفی علوفه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، هر یک از اثرهای ساده سطوح نیاز آبی و الگوی کشت مخلوط برای کلیه صفات درصد پروتئین خام، خاکستر خام، ماده خشک قابل هضم، لیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات محلول در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین اثر متقابل سطوح نیاز آبی × الگوی کشت نیز برای کلیه صفات مورد بررسی در این پژوهش در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

در پژوهشی *EyshiRezaee et al.* (2011) دلیل کاهش ماده خشک در کشت مخلوط جو، نخود و سنبلیه را کاهش ورود نور به داخل کانوپی گزارش نمودند و بیان داشتند کاهش ورود نور باعث سایه‌اندازی و افزایش میزان اختصاص مواد به ساقه برای جذب نور می‌شود. طی پژوهشی دیگر مشخص شده میزان تولید در کشت مخلوط غله-لگوم، به دلیل عدم وجود آرایش منظم و افزایش رقابت درون‌گونه‌ای، کاهش می‌یابد که علت احتمالی آن تشدید رقابت درون‌گونه‌ای و اثر منفی آن بر وزن خشک غله، به دلیل عدم وجود تراکم مناسب از گیاهان غله و لگوم در مجاورت هم ذکر شده است (Ghalenoee et al., 2017).

بر اساس نتایج، اختلاف آماری بین سطوح آبیاری بسیار چشم‌گیر بود، به طوری که عملکرد علوفه تر حاصل از کشت خالص سورگوم در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۶۱/۵۹، ۶۰/۴۲ و ۳۶/۷۳ درصد کم‌تر از تیمارهای ۱۲۵، ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بود. این نتایج برای کشت خالص یونجه‌حلزونی در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۶۶/۱۸، ۶۵/۱۴ و ۴۶/۶۵ درصد کم‌تر از تیمارهای ۱۲۵، ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گزارش شد (جدول ۴). این اختلاف عملکرد در اثر میزان مصرف آب به دست آمد، بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که سورگوم پتانسیل بالایی در واکنش به تیمار بیش‌آبیاری دارد، بنابراین می‌بایست از گیاهی در مخلوط با آن استفاده نمود که بتواند کمبود آب را تا حدودی تحمل نماید (Stoltz & Nadeau, 2014; Paudel, 2016).

بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰+سورگوم و ۱۰۰ یونجه‌حلزونی و کشت خالص سورگوم همراه با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۲/۸۳ و ۲/۸۲ کیلوگرم به‌ازای هر یک مترمکعب آب دریافتی) مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که در تیمار الگوی مخلوط ۱۰۰+سورگوم ۱۰۰ یونجه‌حلزونی میزان بهره‌وری آب در مقایسه با کشت خالص سورگوم یکسان بوده است و بر همین اصل

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی علوفه حاصل از سری های افزایشی یونجه حلزونی در مخلوط با سورگوم در شرایط کم آبیاری

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آبیاری × الگوی کشت سورگوم با یونجه حلزونی بر عملکرد علوفه تر و خشک و

نسبت برابری زمین		نسبت		نسبت برابری زمین		نسبت	
آبیاری	الگوی مخلوط	علوفه تر (kg.ha ⁻¹)	علوفه خشک (kg.ha ⁻¹)	بهره وری آب آبیاری (kg.m ⁻³)	نسبت برابری زمین	نسبت	بهره وری آب آبیاری (kg.m ⁻³)
۵۰ درصد نیازآبی	سورگوم خالص	۲۰۲۵۶/۱۸ l	۵۰۹۰/۳۱ h	۱/۱۱ de	-	-	۱/۱۱ de
	۱۰۰ سورگوم + ۵۰ یونجه حلزونی	۱۷۸۲۳/۲۲ n	۴۸۱۸/۷۷ hi	۰/۷۳ ef	۰/۸۸ d	۰/۸۸ d	۰/۷۳ ef
	۱۰۰ سورگوم + ۷۵ یونجه حلزونی	۱۸۹۹۷/۲۴ m	۵۱۱۱/۷۵ h	۰/۸۷ e	۰/۹۷ c	۰/۹۷ c	۰/۸۷ e
	۱۰۰ سورگوم + ۱۰۰ یونجه حلزونی	۲۰۷۹۶/۳۹ l	۵۰۸۳/۲۶ h	۱/۱۲ de	۰/۹۹ c	۰/۹۹ c	۱/۱۲ de
	یونجه حلزونی خالص	۹۲۷۷/۶ o	۲۴۲۶ k	۰/۲۸ g	-	-	۰/۲۸ g
۷۵ درصد نیازآبی	سورگوم خالص	۳۲۰۱۹/۱۳ h	۸۰۵۵/۴۸ ef	۱/۷ c	-	-	۱/۷ c
	۱۰۰ سورگوم + ۵۰ یونجه حلزونی	۲۵۸۱۰/۳۳ k	۶۵۱۲/۷۳ g	۰/۸۶ e	۰/۹۱ cd	۰/۹۱ cd	۰/۸۶ e
	۱۰۰ سورگوم + ۷۵ یونجه حلزونی	۲۹۰۴۴/۹۵ i	۷۲۷۹/۸ f	۱/۱۴ de	۰/۹۷ c	۰/۹۷ c	۱/۱۴ de
	۱۰۰ سورگوم + ۱۰۰ یونجه حلزونی	۳۳۴۹۳/۲۹ g	۸۲۶۹/۱۵ e	۱/۸۷ bc	۱/۰۴ bc	۱/۰۴ bc	۱/۸۷ bc
	یونجه حلزونی خالص	۱۷۳۹۳/۲۹ n	۳۵۵۰/۹۶ j	۰/۳۸ fg	-	-	۰/۳۸ fg
۱۰۰ درصد نیازآبی	سورگوم خالص	۵۱۱۷۸/۲۳ b	۱۲۸۳۴/۴۵ ab	۲/۸۲ a	-	-	۲/۸۲ a
	۱۰۰ سورگوم + ۵۰ یونجه حلزونی	۴۴۰۲۱/۳۶ f	۱۱۰۸۱/۰۶ d	۱/۷۱ c	۱/۰۲ bc	۱/۰۲ bc	۱/۷۱ c
	۱۰۰ سورگوم + ۷۵ یونجه حلزونی	۴۸۱۲۵/۷۶ d	۱۲۱۹۲/۳۱ bc	۲/۰۷ b	۱/۰۹ b	۱/۰۹ b	۲/۰۷ b
	۱۰۰ سورگوم + ۱۰۰ یونجه حلزونی	۵۱۹۹۵/۲۶ ab	۱۲۸۹۵/۸۸ ab	۲/۸۳ a	۱/۱۸ ab	۱/۱۸ ab	۲/۸۳ a
	یونجه حلزونی خالص	۲۶۶۱۶/۲۸ jk	۶۶۷۰/۳۲ g	۰/۴۳ f	-	-	۰/۴۳ f
۱۲۵ درصد نیازآبی	سورگوم خالص	۵۲۷۴۳/۶۳ ab	۱۳۲۳۹/۳۲ a	۱/۷ c	-	-	۱/۷ c
	۱۰۰ سورگوم + ۵۰ یونجه حلزونی	۴۵۳۶۳/۷۴ e	۱۱۴۳۰/۶۲ cd	۱/۱۱ de	۱/۱۲ b	۱/۱۲ b	۱/۱۱ de
	۱۰۰ سورگوم + ۷۵ یونجه حلزونی	۴۹۵۹۵/۴۶ c	۱۲۵۷۶/۹۲ b	۱/۲۶ d	۱/۱۹ ab	۱/۱۹ ab	۱/۲۶ d
	۱۰۰ سورگوم + ۱۰۰ یونجه حلزونی	۵۳۵۷۸/۴۵ a	۱۳۳۰۲/۶۸ a	۱/۷۱ c	۱/۲۹ a	۱/۲۹ a	۱/۷۱ c
	یونجه حلزونی خالص	۲۷۴۳۷/۶۱ j	۶۸۸۰/۷۴ g	۰/۳۶ fg	-	-	۰/۳۶ fg

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب صفات بیوشیمیایی الگوی کشت سورگوم و یونجه حلزونی در سطوح

میانگین مربعات		میانگین مربعات		میانگین مربعات		میانگین مربعات		میانگین مربعات	
منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین خام	خاکستر خام	ماده قابل هضم	الیاف غیر محلول در شونده اسیدی	کربوهیدرات های محلول	میانگین مربعات	میانگین مربعات	میانگین مربعات
سال	۱	۶/۱۳**	۳/۳۱**	۲/۱۲**	۴۱۴/۳۳**	۱/۷۵ ^{ns}	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
تکرار (سال)	۴	۰/۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۹۴	۰/۰۶۱	۱/۰۹	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
نیاز آبی	۳	۱۸/۸۲**	۳/۱۵**	۱۳/۴۹**	۱۱/۲۰۸**	۳۰/۸۷**	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
نیاز آبی × سال	۳	۱/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۷۳**	۲۷/۷۲**	۱۹/۸۲**	۴/۰۳**	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
الگوی کشت	۴	۴۲۹/۵۹**	۲۰/۱۰۶**	۶۷۷/۲۹**	۳۵۵/۷**	۳۲۵/۳۸**	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
سال × الگوی کشت	۱۲	۱/۲۹ ^{ns}	۰/۱۲۳**	۰/۸۳۴**	۱/۰۸**	۱/۱۲ ^{ns}	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
نیاز آبی × الگوی کشت	۴	۴/۴۹**	۰/۴۲**	۱۹/۸۲**	۷/۱۳**	۲/۹۵**	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
سال × نیاز آبی × الگوی کشت	۱۲	۱/۰۷ ^{ns}	۰/۰۴۱**	۱/۳۲**	۱/۰۱۴**	۰/۸۴ ^{ns}	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
خطای آزمایش	۶۴	۰/۸۲	۰/۶۱۲	۰/۰۴۸	۰/۰۷۴	۰/۶۸۹	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۵۴	۱/۴۲	۱۰/۲۹	۱۱/۱۹	۷/۸۹	۱۱۴۳۰/۶۲	۱۳۳۰۲/۶۸	۶۸۸۰/۷۴

^{ns}, ^{**} و ^{***} به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح کم تر از ۵ و ۱ درصد

بزرگوار کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

کشت بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت علوفه داشته است، با کاهش سهم آن درصد پروتئین کاهش معنی‌داری داشته است (جدول ۷). براساس نتایج پژوهش‌گران مشخص شده میزان خوش‌خوراکی علوفه تولیدی رابطه مستقیمی با درصد پروتئین دارد، زیرا با افزایش تراکم گیاهی، بهره‌برداری از منابع به‌علت افزایش رقابت گیاهان در مخلوط، به‌شدت کاهش یافته و درصد پروتئین گیاه نیز در اثر رقابت درون گونه‌ای کاهش می‌یابد (Bedoussac & Justes, 2011; Barati *et al.*, 2015; Pellicano *et al.*, 2015; Sharafi, 2020a).

براساس نتایج مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی در جدول (۶)، بیش‌ترین درصد پروتئین خام در تیمار کشت خالص یونجه‌حلزونی (۱۹/۹۱ درصد) مشاهده شد. با توجه به اضافه‌شدن یونجه‌حلزونی در مخلوط با سورگوم در مقایسه با کشت خالص آن درصد پروتئین ۱۱/۸۳ درصد افزایش یافت. بنابراین هم‌زمان با افزایش عملکرد علوفه خشک، عملکرد کیفی نیز افزایش نشان داد (جدول ۶). این نتایج گویای آن است که میزان پروتئین خام ارتباط مستقیمی با نوع گیاه (یونجه‌حلزونی) و سطوح آبیاری دارد. افزایش سهم یونجه‌حلزونی در الگوی

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آبیاری × الگوی کشت سورگوم با یونجه‌حلزونی بر صفات بیوشیمیایی

آبیاری	الگوی مخلوط	پروتئین خام (%)	خاکستر خام (%)	ماده قابل هضم (%)	الیاف غیرمحلول در شونیده اسیدی (%)	کربوهیدرات محلول (%)
۵۰ درصد نیازیابی	سورگوم خالص	۸/۰۸ g	۱۰/۶۹ ab	۷۹/۵۸ a	۱۹/۰۶ de	۷/۲ f
	۱۰۰ سورگوم+۵۰ یونجه‌حلزونی	۱۰/۹۷ e	۷/۵۹ c	۷۸/۷۴ ab	۲۰/۲۳ de	۹/۷۷ d
	۱۰۰ سورگوم+۷۵ یونجه‌حلزونی	۱۲/۰۷ d	۶/۷۶ cd	۷۷/۸۴ ab	۲۱/۷۴ d	۱۰/۷۵ c
	۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی	۱۳/۱۳ c	۶/۹۶ cd	۷۵/۶۲ b	۲۲/۵ cd	۱۱/۷ c
	یونجه‌حلزونی خالص	۱۹/۹۱ a	۴/۷۱ e	۶۶/۶۲ c	۲۸/۴۳ b	۱۷/۷۳ a
۷۵ درصد نیازیابی	سورگوم خالص	۹/۷۲ f	۱۰/۷۶ ab	۸۰/۰۲ a	۱۹/۳۶ de	۸/۶۸ de
	۱۰۰ سورگوم+۵۰ یونجه‌حلزونی	۱۰/۱۹ ef	۷/۴۲ c	۷۸/۸۱ ab	۲۰/۱۷ de	۹/۰۷ d
	۱۰۰ سورگوم+۷۵ یونجه‌حلزونی	۱۱/۰۵ e	۶/۷۳ cd	۷۷/۱۷ ab	۲۱/۴۱ d	۹/۸۴ cd
	۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی	۱۲/۶ cd	۶/۸۹ cd	۷۶/۲۸ b	۲۳/۲۲ c	۱۱/۲۳ c
	یونجه‌حلزونی خالص	۱۹/۳۲ a	۴/۷۹ e	۶۶/۲۸ c	۲۸/۴۲ b	۱۷/۲ a
۱۰۰ درصد نیازیابی	سورگوم خالص	۷/۶۳ gh	۱۰/۷۲ ab	۷۹/۳۴ a	۱۹/۸۵ de	۶/۷۹ f
	۱۰۰ سورگوم+۵۰ یونجه‌حلزونی	۹/۲۱ fg	۷/۴۶ c	۷۷/۳۱ ab	۲۰/۵۷ de	۸/۲ e
	۱۰۰ سورگوم+۷۵ یونجه‌حلزونی	۱۰/۱۲ ef	۵/۷۶ d	۷۶/۱۲ b	۲۱/۵۷ d	۹/۰۱ de
	۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی	۱۱/۴۳ de	۴/۹۵ de	۷۴/۶۶ b	۲۲/۷۴ cd	۱۰/۱۹ cd
	یونجه‌حلزونی خالص	۱۸/۸۸ a	۴/۶۱ e	۶۵/۸۵ c	۲۹/۸۵ ab	۱۶/۸ a
۱۲۵ درصد نیازیابی	سورگوم خالص	۷/۵ h	۱۱/۷۹ a	۸۱/۰۴ a	۲۰/۵۷ de	۶/۱۷ fg
	۱۰۰ سورگوم+۵۰ یونجه‌حلزونی	۹/۰۵ fg	۶/۹۱ cd	۷۸/۹۷ ab	۲۱/۳۲ d	۷/۴۴ ef
	۱۰۰ سورگوم+۷۵ یونجه‌حلزونی	۹/۹۴ ef	۵/۲۳ d	۷۷/۷۶ ab	۲۲/۳۵ cd	۸/۱۲ e
	۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی	۱۱/۲۳ de	۵/۴۵ d	۷۶/۲۷ b	۲۳/۵۷ c	۹/۲۴ d
	یونجه‌حلزونی خالص	۱۸/۵۵ ab	۴/۴۷ c	۶۷/۲۷ c	۳۰/۹۴ a	۱۵/۱۶ b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

تیمارهای سورگوم خالص و سورگوم در مخلوط کم‌ترین درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی مشاهده شد. با افزایش تأمین نیاز آبی درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی افزایش داشت، اما میزان آن در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار ۱۲۵ درصد فقط ۲/۵۱ درصد کاهش نشان داد.

درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی تجلی سهم دیواره سلولی شامل سلولز و لیگنین (به‌استثنای همی‌سلولز) در جیره دام بوده و بیانگر قابلیت هضم علوفه توسط دام است، که با افزایش این شاخص از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود (Pooramir et al., 2010). به‌طورکلی، از این نتایج می‌توان چنین استنباط نمود که حضور گیاهی از خانواده بقولات در مخلوط (به‌دلیل بالاتر بودن میزان پروتئین خام بقولات نسبت به غلات) علاوه بر افزایش میزان درصد پروتئین خام، به قابلیت هضم علوفه توسط دام نیز کمک می‌نماید (Nabati Nasaz et al., 2016)، زیرا اگر اجزای مخلوط مکمل یکدیگر باشند، جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بوده و در نتیجه علاوه بر افزایش عملکرد کمی، کیفیت علوفه نیز افزایش خواهد یافت (Mikic et al., 2015; Sharafi, 2020a).

نتایج مطالعه Amiri & Jafari Ashraf (2016) در کشت مخلوط یونجه با سه گونه گراس سردسیری نشان داد که کم‌ترین مقدار الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و بیش‌ترین میزان قابلیت هضم ماده خشک به گیاه یونجه اختصاص داشت. براساس مطالعات Salehi et al. (2019) کشت مخلوط تربیتیکاله با لگوم‌ها باعث بهبود کیفیت علوفه آن شد. این موضوع می‌تواند به کاهش درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و افزایش درصد پروتئین خام علوفه تربیتیکاله در کشت مخلوط با لگوم‌ها مربوط باشد. هم‌چنین آن‌ها گزارش کردند که قابلیت هضم ماده

درصد خاکستر علوفه دلالت بر حضور مواد معدنی در بافت‌های گیاهی دارد. لذا هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، مواد معدنی بیش‌تری در اختیار دام قرار خواهد گرفت و در نهایت ارزش غذایی علوفه برای دام بیش‌تر خواهد بود. بیش‌ترین درصد خاکستر خام در علوفه در تیمار کشت خالص سورگوم (۱۱/۷۹ درصد) مشاهده شد، هرچند که بین هیچ‌یک از سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، رابطه معکوسی بین درصد پروتئین خام و درصد خاکستر وجود دارد؛ به‌نحوی که با افزایش حجم بافت‌های گیاهی، درصد پروتئین خام کاهش یافت. انتظار می‌رود انتخاب هم‌زمان گیاهان چهارکربنه (سورگوم) با بقولات سه‌کربنه چنین نتایجی را به‌همراه داشته باشد. گیاهان چهارکربنه جثه بزرگ‌تری دارند و در نتیجه سهم بیش‌تری از منابع را به‌خود اختصاص می‌دهند (Moghadam, 2017). بر همین اساس، با افزایش سهم یونجه‌حلزونی در مخلوط، درصد خاکستر خام کاهش نشان داد. این مقادیر کم‌تر از هر یک از تیمارهای کشت خالص سورگوم بود (جدول ۶).

براساس نتایج آزمایش، ماده قابل هضم تحت تأثیر مستقیم سورگوم در الگوی کشت قرار داشت، به‌نحوی که حداکثر میزان ماده قابل هضم در کشت خالص سورگوم (۸۱/۰۴ درصد) و در تیمار نیاز آبی ۱۲۵ درصد مشاهده شد، هرچند که اختلاف معنی‌داری با هیچ‌یک از تیمارهای سطوح آبیاری نداشت (جدول ۶). هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی در الگوی کشت خالص یونجه‌حلزونی (۳۰/۹۴ درصد) مشاهده شد. درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی ارتباط معکوسی با حضور سورگوم در تیمارهای مورد بررسی داشت، به نحوی که در

همچنین بیشترین همبستگی منفی و معنی دار بین نسبت برابری زمین با درصد خاکستر خام (** $0/9$ -)، قابلیت هضم ماده خشک با درصد پروتئین خام و قابلیت هضم با کربوهیدرات‌های محلول (** $0/89$ -) وجود داشت. ماده خشک قابل هضم نیز همبستگی منفی با الیاف غیر محلول در شوینده اسیدی نشان داد (** $0/74$ -). درصد پروتئین خام همبستگی مثبتی با الیاف غیر محلول در شوینده اسیدی (** $0/81$) داشت. از طرف دیگر بهره‌وری آب آبیاری همبستگی منفی با کلیه صفات کیفی مورد بررسی (به جز درصد خاکستر خام) در این پژوهش نشان داد (جدول ۷).

براساس نتایج Arzani (2011) و Salehi *et al.* (2019)، متغیرهای افزایش کیفیت علوفه (نیترژن، پروتئین خام و مواد معدنی) و متغیرهای کاهشده کیفیت علوفه (الیاف خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی)، بر هضم‌پذیری علوفه تأثیر دارند.

خشک با درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی همبستگی منفی و با مقدار نیترژن و پروتئین خام همبستگی مثبت دارد. میزان هضم‌پذیری گیاه با قسمت‌های مختلف دیواره سلولی به‌ویژه الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و درصد نیترژن جذب‌شده ارتباط دارد.

۳.۳. آزمون همبستگی

با توجه به نتایج ضریب همبستگی پیرسون، بیشترین همبستگی مثبت بین علوفه خشک با علوفه تر، درصد پروتئین خام با کربوهیدرات‌های محلول در آب مشاهده شد (** $0/98$). علوفه خشک و علوفه تر همبستگی مثبت و معنی داری با نسبت برابری زمین (در سطح پنج درصد) قابلیت هضم ماده خشک و بهره‌وری آب آبیاری در سطح یک درصد و همبستگی منفی و معنی داری با درصد پروتئین خام و الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی در سطح پنج درصد داشتند.

جدول ۷. ضرایب همبستگی پیرسون برای صفات علوفه تر و خشک، نسبت برابری زمین، پروتئین خام، خاکستر خام، قابلیت هضم

ماده خشک، الیاف غیر محلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات‌های محلول در آب

کد	صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	علوفه تر									
۲	علوفه خشک	$0/98^{**}$								
۳	نسبت برابری زمین	$0/38^*$	$0/39^*$							
۴	پروتئین خام	$-0/53^{**}$	$-0/54^{**}$	$-0/34^*$	۱					
۵	خاکستر خام	$-0/04n.s$	$-0/05n.s$	$-0/9^{**}$	$0/1n.s$	۱				
۶	قابلیت هضم	$0/41^{**}$	$0/43^{**}$	$0/36^*$	$-0/89^{**}$	$-0/15n.s$	۱			
۷	الیاف غیرمحلول	$-0/38^*$	$-0/41^{**}$	$-0/35^*$	$0/81^{**}$	$0/12n.s$	$-0/74^{**}$	۱		
۸	کربوهیدرات محلول	$-0/56^{**}$	$-0/56^{**}$	$-0/34^*$	$0/98^{**}$	$0/09n.s$	$-0/89^{**}$	$0/76^{**}$	۱	
۹	بهره‌وری آب آبیاری	$0/78^{**}$	$0/8^{**}$	$0/46^{**}$	$-0/67^{**}$	$-0/14n.s$	$0/63^{**}$	$-0/71^{**}$	$-0/64^{**}$	۱

n.s.، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح کم‌تر از ۵ و ۱ درصد.

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش خوش‌خوراکی و کیفیت علوفه تولیدی تحت تأثیر مستقیم یونجه‌حلزونی قرار گرفت. همچنین عملکرد علوفه خشک تیمار ۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی در قیاس با کشت خالص سورگوم به‌ترتیب در تیمارهای نیاز آبی ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد افزایش یافت، لذا می‌توان اظهار داشت یونجه‌حلزونی علاوه بر بهبود کیفیت علوفه در مخلوط، نقش مهمی در بهبود بهره‌وری آب نیز داشته است و هنگامی که از تراکم کامل در مخلوط برخوردار باشد عملکرد کمی علوفه نیز مقادیر قابل توجهی افزایش می‌یابد. بر همین اساس، در تیمار الگوی کشت ۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی و تیمار تأمین نیاز آبی ۱۲۵ درصد در مقایسه همین الگوی کشت با تیمار تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب مقادیر ۱۲۸۰ و ۲۹۵۰ میلی‌متر آب در مقیاس هکتار مصرف نموده است. به‌عبارت دیگر مصرف این مقدار آب در مقایسه با تیمار تأمین نیاز آبی ۱۰۰ درصد، تنها منجر به افزایش ۳۹۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد علوفه خشک شده است. همچنین براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که با افزایش مقدار آب مصرفی، عملکرد علوفه تر و خشک کشت خالص سورگوم به‌شدت افزایش یافته و اجازه رشد چندانی به یونجه‌حلزونی نداده است. بنابراین انتظار می‌رود در مناطقی که میزان دسترسی به آب کافی نیست، تیمار تأمین ۷۵ درصد به‌همراه کشت مخلوط ۱۰۰ سورگوم و ۱۰۰ یونجه‌حلزونی می‌تواند حدود بیش از ۶۰ درصد نیاز علوفه خشک را تأمین نماید، بدون آن‌که در کیفیت علوفه تولیدی کاهش معنی‌داری مشاهده شود. بنابراین در مناطق بسیار خشک که درجه حرارت هوا اجازه رشد به سایر گیاهان زراعی را نمی‌دهد و از طرفی نیز دسترسی به آب کافی امکان‌پذیر نمی‌باشد، علاوه بر کشت‌های خالص یونجه‌حلزونی و سورگوم، کشت

مخلوط ۱۰۰ سورگوم+۱۰۰ یونجه‌حلزونی با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی آن‌ها نیز می‌تواند پیشنهاد شود.

۵. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهش و فناوری و مسئول محترم آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست دانشگاه اراک به سبب حمایت‌های مادی و معنوی ایشان برای انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46, 27-34. <https://doi.org/10.17221/67/2009-CJGPB>.
- Alizadeh, A. (2004). *Soil, water, plant relationship* (4th Ed.). University of Imam Reza Press. pp. 470. (In Persian).
- AOAC. (2000). *Association of official analytical chemists*. Official methods of analysis, 17th ed., Arlington, VA.
- Arzani, H. (2011). *Quality of forage and the daily requirement of grazing livestock from pasture*. Publication of Tehran University. (In Persian).
- Barati, S., Bassiri, M., Vahabi, M. R., Mosaddeghi, M. R., & Tarkesh, M. (2015). Yield evaluation of *Medicago sativa* L. and *Bromus tomentellus* Boiss. in mono-cropping and intercropping. *Journal of Rangeland*, 8(4), 318-327. (In Persian).
- Bedoussac, L., & Justes, E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Research*, 124(1), 25-36.
- Bybee-Finley, K., & Ryan, M. (2018). Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture*, 8, 1-24. doi:10.3390/agriculture8060080
- Dhima, K. V., Lithourgidis, A. A., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100, 249-256.

- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebes, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annual Chemistry*, 28, 350-356.
- Eskandari, H., & Alizadeh-Amraie, A. (2016). Evaluation of growth and species composition of weeds in maize-cowpea intercropping based on additive series under organic farming condition. *Journal of Agroecology*, 8(2), 227-240. (In Persian).
- EyshiRezaee, A., Rezvani Moghadam, P., Khazae, F. H., & Mohammad Abadi, P. (2011). Effect of density and pattern of mixed cultivars of millet and soybean on yield performance and their forage components. *Journal of Iranian Crop Researches*, 9(1), 50-59. (In Persian).
- Forouzandeh, M., Fanoudi, M., Arazmjou, E., & Tabiei, H. (2012). Effect of drought stress and types of fertilizers on the quantity and quality of medicinal plant Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Indian Journal of Innovations and Developments*, 1(10), 734-737.
- Ghalenoee, S., Koocheki, A., Poryazdi, M., & Jahan, M. (2017). Effect of different treatments on row crop and mixed of sesame and bean Yield and Yield Components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(3), 588-602. (In Persian).
- Huňady, I., & Hochman, M. (2014). Potential of legume-Cereal intercropping for increasing yields and yield stability for self-sufficiency with animal fodder in organic farming. *Czech Journal Genetic Plant Breeding*, 50(2), 185-194.
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155, 113-124.
- Javanmard, A., Rostami, A., Nourain, M., & Gharakhani, G. (2016). Agronomic, ecological and economic evaluation of mixed wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dryland conditions of Maragheh. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 26(1), 19-37. (In Persian).
- Javanmard, A., & Eskandari, H. (2014). Examination of some competitive parameters and quality of forage in different patterns of maize crop cultivation with cluster flowers, beans, dill and clover. *Journal of Crop Production*, 7(3), 89-108.
- Khajeh Khezri, A., Rezaei Estakhroei, 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)
- Mikic, A., Cupina, B., Rubiales, D., Mihailovic, V., Sarunaite, L., Fustec, J., Antanasovic, S., Krstic, D., Bedoussac, L., Zoric, L., Dordevic, V., Peric, V., & Srebric, M. (2015). Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. *Advances in Agronomy*, 130, 337-419.
- Molden, D. (1997). *Accounting for water use and productivity*. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 16 pp.
- Moradi, P., Asghari, J., Mohsenabadi, G., & Samiezadeh, H. (2015). Role of triple intercropping system in weeds control and Naked-Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 93, 17-31. (In Persian).
- Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., Preiti, G., & Pristeri, A. (2016). Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 196, 379-388.
- Nabati Nasaz, M., Gholipoori, A., & Mostafavi Rad, M. (2016). Evaluation of forage yield and some corn traits (*Zea mays* L.) under the influence of mixed cultivations with peanut (*Arachis hypogea* L.) and nitrogen levels. *Journal of Agroecology*, 8(1), 70-81. (In Persian).
- Pellicano, A., Romeo, M., Pristeri, A., Preiti, G., & Monti, M. (2015). Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 827-835.
- Paudel, M.N. (2016). Multiple cropping for raising productivity and farm income if small farmers. *Journal of Nepal Agricultural Research Council*, 37-45.
- Pooramir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2010). Evaluation of yield and yield components in sesame and pea intercropping replacement series. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 8(5), 757-747.
- Sanderson, M. A., Brink, G., Stout, R., & Ruth, L. (2013). Grass-legume proportions in forage seed mixtures and effects on herbage yield and weed abundance. *Agronomy Journal*, 105(5), 1289-1297. doi:10.2134/agronj2013.0131.
- SAS Institute. (2009). *The SAS system for Windows Release 9.2*. SAS Institute, Cary NC.
- Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, I., & Behrozyar, H. K. (2019). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 59-76. (In Persian).
- Sharafi, S. (2020a). Effects of different irrigation

- levels on the qualitative and quantitative performance of forage in the cropping of corn (*Zea mays* L.) with snail medic (*Medicago scutellata* L.) in competition with weeds. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3), 24-42. (In Persian).
- Sharafi, S. (2020b). Effect of scarification, stratification, ultrasonic waves and magnetic field in *Medicago scutellata* Affected by Salinity and Drought Stresses. Final Report of Research Project, Arak University. (In Persian).
- Sharafi, S., & Karim, N. M. (2020c). Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 759-770.
- Sharafi, S., Ramroudi, M., Nassiri, M., Galavi, M., & Kamali, G. A. (2016). Role of early warning systems for sustainable agriculture in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 734-751.
- Stoltz, E., & Nadeau, E. (2014). Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, 169, 21-29.
- Talukder, A. R., Rahman, J., Nahar, L., Rahman, M. M., & Kaiser, N. (2015). Mixed cropping onion with different plant population of sweet gourd. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 8(5), 45-50.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. In Van Soest, P.J. (ed.) fiber and physicochemical properties of feeds. 2nd ed. Cornell University Press. Ithaca and London. Pp. 140-155.
- Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Jeuffroy, M. H., & David, C. (2016). Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. *European Journal of Agronomy*, 75, 89-98.
- Umesh, M. R., Chittapur, B. M., & Jagadeesha, N. (2017). Solar radiation utilization efficiency in cereal-legume intercropping systems. A review. *Agricultural Reviews*, 38(1), 72-75.