Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 4, Winter 2023 (203-218)
DOI: 10.22059/IJFCS.2022.330330.654852

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱ (ص ۲۰۳-۲۱۸)

The effects of tillage systems, water stress and nitrogen fertilizer on yield and quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

Ebrahim Zeinvand Lorestani[1], Mohammadreza Jahansouz[2*], Mostafa Oveisi[3], Ali Ahmadi[2], Saeid Soufizadeh[4]

1, 2, 3. Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

(Received: October 5, 2021- Accepted: March 24, 2022)

ABSTRACT

Conservative tillage and drought resistant crops can be efficient solution to alleviate climate change impacts. We evaluated tillage effect, water deficit and nitrogen level on sorghum in a split-split plot experiment with three replications. Main plots were conventional tillage and no tillage, sub plots were 30, 60, and 90% of sorghum water requirement, and sub-sub plots were consisted of 0, 50, and 100% of recommended nitrogen. Results showed that the highest forage yield (12263 kg ha-1) was obtained with no till and 100% nitrogen. Also, the yield of sorghum in no till with moderate water stress was equal to the yield in conventional tillage with partial water stress. Under partial water stress, qualitative traits including crude fiber, acid detergent fiber and neutral detergent fiber in no till had lower values than conventional tillage. In addition, qualitative traits including digestible dry matter and water-soluble carbohydrates in no till treatment with 100% nitrogen were higher than conventional tillage. The highest percentage of crude protein in conventional tillage was obtained by using 100% nitrogen. It seems that conservation tillage can achieve acceptable yield and quality in sorghum with less water than conventional tillage, but it requires long-term and additional research.

Keywords: Conservational tillage, nitrogen fertilizer, no-tillage, protein forage, water stress.

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی، تنش کم‌آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و کیفیت سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.)

ابراهیم زینوند لرستانی[۱]، محمدرضا جهانسوز[۲*]، مصطفی اویسی[۳]، علی احمدی[۲]، سعید صوفی‌زاده[۴]

۱و۲و۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج، ٤- استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰٤)

چکیده

استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و محصولات مقاوم به کم‌آبی می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش تبعات منفی تغییرات اقلیم باشد. اثر روش‌های خاک‌ورزی، سطوح تنش آبیاری و نیتروژن بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای در آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خردشده با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. کرت اصلی شامل روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی، کرت فرعی شامل تنش آبی در سه سطح ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه و کرت فرعی شامل کود نیتروژن در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد میزان مورد نیاز گیاه بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد علوفه خشک (۱۲/۳ تن در هکتار) در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با تنش آبی جزیی به‌دست آمد. همچنین میزان عملکرد سورگوم در تنش متوسط آبی در خاک‌ورزی حفاظتی برابر با میزان عملکرد در خاک‌ورزی مرسوم با تنش آبی جزیی بود. در شرایط تنش آبی جزیی صفات کیفی فیبر خام، الیاف نامحلول در شویندهٔ اسیدی و خنثی در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم دارای مقدار کمتری بودند. علاوه بر این، صفات کیفی ماده خشک قابل هضم و کربوهیدرات‌های محلول در آب در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم مقدار بیشتری داشتند. بیشترین میزان پروتئین خام در خاک‌ورزی مرسوم با مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌دست آمد. به نظر می‌رسد با خاک‌ورزی حفاظتی می‌توان با میزان آب کمتر نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به عملکرد و کیفیتی قابل قبول در گیاه سورگوم دست یافت، اما نیازمند تحقیقات بلندمدت و تکمیلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، پروتئین علوفه، تنش کم‌آبی، خاک‌ورزی، کود نیتروژن.

*Corresponding author E-mail: jahansuz@ut.ac.ir

مقدمه

به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور لازم است که از گیاهان علوفه‌ای که با شرایط آب و هوایی و خاکی کشور سازگار بوده و دارای عملکرد و کیفیت مناسب جهت تأمین علوفه دامی می‌باشند استفاده کرد. لذا سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) گیاه مناسبی است که می‌توان آن را در برنامه‌ریزی‌های کشت قرار داد و به اشکال متفاوت در تغذیه دام‌ها بکار برد. سورگوم به دلیل استفاده‌های متعدد در صنایع غذایی، تغذیه دام و انسان و سوخت‌های زیستی یکی از پنج گیاه اصلی کشت‌شده در سراسر جهان می‌باشد (Tari *et al*., 2013). سورگوم نسبت به سایر گیاهان چهارکربنه در برابر تنش‌های محیطی نسبتاً مقاوم‌تر بوده و به‌راحتی می‌تواند در محیط‌های با شرایط سخت سازگار شود (Li *et al*., 2010). همچنین سورگوم دارای برخی ویژگی‌های برتر مانند عملکرد و کیفیت مطلوب در شرایط تنش می‌باشد. سورگوم به دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای خود، مقاومت قابل توجهی در برابر تنش‌های خشکی و شوری دارد و می‌تواند در مقایسه با بسیاری از گیاهان عملکرد خوبی داشته باشد (Tari *et al*., 2013). مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی در کشور کمبود آب و بارش‌های خیلی کم سالیانه به‌ویژه در فصل تابستان می‌باشد. لذا استفاده از روش‌های توسعه‌یافته به منظور حفظ و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک بسیار ضروری بوده و لازم است که همسو با کشاورزی پایدار از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (خاک‌ورزی حداقل و یا بدون خاک‌ورزی) استفاده شود (Najafinezhad *et al*., 2005). خاک‌ورزی رایج از یک طرف با ایجاد اثرات نامطلوب در درازمدت روی خصوصیات خاک باعث ازبین‌رفتن و تحلیل منابع آب و خاک شده و از سوی دیگر سبب افزایش هزینه‌های انرژی می‌شود (Castellini & Ventrella, 2012). باقی‌ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی سبب کاهش رواناب، کاهش تبخیر و تعرق از سطح خاک، کاهش بهم‌خوردگی خاک هنگام آماده-کردن زمین برای کاشت، افزایش نفوذپذیری آب در خاک، افزایش رطوبت خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در بعضی مواقع سبب کاهش جمعیت علف‌های هرز می‌شود (Singh *et al*., 2003). Shuang *et al*. (2013) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در روش بدون شخم (بدون خاک‌ورزی) و به‌ویژه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، میزان آب ذخیره‌شده در خاک، راندمان مصرف آب، رشد و عملکرد گیاهان سویا و ذرت در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بیشتر می‌باشد. همچنین مشاهده شده است که خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر بهبود عملکرد دانه، سبب کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۱۵/۸ درصد شده است (Jin *et al*., 2009). کود نیتروژن و آبیاری از نهاده‌های اولیه در تولیدات کشاورزی هستند و تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت گیاهان دارند. گزارش شده است که اثرات متقابل نیتروژن و آبیاری به طور قابل توجهی عملکرد و کیفیت علوفه و همچنین ترکیبات غذایی دانه‌های سورگوم را بهبود می‌بخشند. تنش آبی بسته به شدت و مرحله رشدی گیاه می‌تواند روی رشد و عملکرد سورگوم تأثیر منفی بگذارد. بعضی از محققان گزارش کرده‌اند که تنش آبی در مرحله پس از گلدهی سورگوم تأثیر منفی بر عملکرد دانه، بیوماس و تجمع قند ساقه می‌گذارد (Tovignan *et al*., 2016; Kamal *et al*., 2018). همچنین وقوع تنش آبی در مرحله پس از جوانه‌زنی

سورگوم به مدت سه تا چهار هفته باعث کاهش سطح برگ، تعرق و فتوسنتز می‌شود (Dwivedi *et al*., 2008; Tari *et al*., 2013). تنش آبی بر خصوصیات کیفی سورگوم شامل فیبر خام، قند، خاکستر کل و پروتئین تأثیر منفی می‌گذارد (Bibi *et al*., 2012; Kuchenmeister *et al*., 2013). گیاهانی که دچار تنش آبی می‌شوند لیگنین و الیاف نامحلول در شوینده خنثی بیشتری را تجمع می‌دهند (Carmi *et al*., 2006). تحقیقات نشان داده است که با مصرف کود اوره، میزان ماده خشک و عملکرد علوفه تر در سورگوم علوفه‌ای بیشتر شده است (Mirlohi *et al*., 2000). همچنین کمبود نیتروژن خاک با کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل و فتوسنتز منجر به کاهش بیوماس سورگوم شده است (Zhao *et al*., 2005; Hirel *et al*., 2007; Mahama *et al*., 2014). بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان نیتروژن، میزان پروتئین خام، خاکستر کل و کربوهیدرات کل در سورگوم نیز افزایش یافته است (Reiad *et al*., 1995) و این امر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Mirlohi *et al*., 2000). با توجه به موارد ذکرشده، این سوال‌ها مطرح می‌شود که با توجه به ماهیت خاک‌ورزی حفاظتی در حفظ رطوبت خاک اگر با گیاهی مانند سورگوم که از گیاهان مقاوم به خشکی به‌شمار می‌رود تلفیق شود تا چه اندازه می‌تواند در عملکرد و کیفیت محصول موثر باشد؟ همچنین با سطوح مختلف آبیاری و تغییر روش خاک‌ورزی، مقدار بهینه کود چه میزان می‌باشد؟ آیا می‌توان با بهینه‌کردن مصرف کود و استفاده از یک گیاه مقاوم به خشکی در ترکیب با خاکورزی حفاظتی اثر تغییر اقلیم (کم‌آبی) را کاهش داد؟ لذا این بررسی به منظور ارزیابی اثرهای متقابل نیتروژن و آب بر کیفیت و عملکرد سورگوم علوفه‌ای در روش‌های مختلف خاک‌ورزی انجام شد.

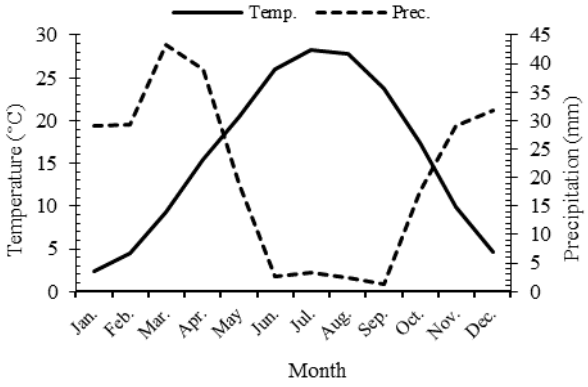
مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال ۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی-پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ۱۳۱۲ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. متوسط دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به‌ترتیب در بهمن‌ماه (۲/۹- درجهٔ سانتی‌گراد) و تیر ماه (۳۴/۶ درجهٔ سانتی‌گراد) است. براساس آمار ایستگاه سینوپتیک کرج، متوسط بارندگی ۳۳ ساله این منطقه تقریباً ۲۴۸ میلی‌متر بوده که مقدار ۱۷۳ میلی‌متر (۶۹/۸ درصد) از بارش‌ها در نیمهٔ نخست سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۱ درصد) از آن در سه ماههٔ سوم سال زراعی (فصل بهار) و بقیه ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱ درصد) نیز در فصل تابستان رخ می‌دهد (شکل ۱). این شهرستان دارای اقلیم نیمه‌خشک و با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل می‌باشد (Ghaemi, 2016). به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، قبل از کاشت سورگوم نمونه‌برداری مرکب از عمق‌های صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت.

بافت خاک مزرعه لومی رسی بود و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

این آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این تحقیق خاک‌ورزی در دو سطح شامل خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار تا عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، دوبار دیسک عمود برهم و

کارنده‌ی پنوماتیک) و بی‌خاک‌ورزی (کاشت با کارندهٔ مخصوص بی‌خاک‌ورزی پنوماتیک شرکت تراشکده) به عنوان عامل اصلی و سطوح آبیاری در سه سطح تنش جزیی، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب بر اساس ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان عامل فرعی و سه سطح کود نیتروژن شامل بدون کوددهی نیتروژن (N_0)، ۵۰ (N_{50}) و ۱۰۰ (N_{100}) درصد میزان توصیه‌شده بر اساس آنالیز خاک و توصیه کودی Motesharezadeh & Mousavi, (2018) به‌ترتیب به مقدار صفر، ۱۷۵ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان عامل فرعی فرعی بودند.



شکل ۱- میانگین دما و بارش ماهانه از دورهٔ دراز مدت (۱۳۶۳-۱۳۹۶) در ایستگاه سینوپتیک کرج.

Figure 1. Average monthly temperature and precipitation from long-term (1985-2017) at Karaj synoptic station.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

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

Soil texture	Depth (cm)	Available K	Available P	pH	EC	Sand	Silt	Clay	OC	Total N	FC	PWP	BD
		(mg kg^{-1})			(dS m^{-1})	%							g/cm^3
Clay Loam	0-30	126	8.3	8.1	0.97	25	44	31	0.79	0.09	25.39	12.42	1.38
Clay Loam	30-60	125	2.2	8.5	1.11	26	44	30	0.52	0.07	24.89	12.24	1.49

برای تعیین زمان آبیاری برای تیمار شاهد (بدون تنش خشکی)، دو یا سه روز بعد از هر آبیاری رطوبت خاک به‌طور مرتب و روزانه در عمق توسعه ریشه در مراحل مختلف رشد گیاه به وسیله دستگاه رطوبت‌سنج خاک ساخت شرکت IMKO آلمان (مدل Manual Handheld device HD2) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عمق توسعه ریشه در مراحل مختلف رشد با حفر نیم‌رخ خاک نسبت به اندازه‌گیری عمق توسعه ریشه اقدام شد. زمانی که تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک به اندازه مورد نظر (MAD= 0.55) (Reddy & Nayak, 2018) کاهش یافت، کرت مذکور آبیاری شد. به عبارت دیگر، به محض اینکه رطوبت خاک در عمق مؤثر ریشه به حد ذیل می‌رسید آبیاری صورت می‌گرفت (Alizadeh, 2004):

$$\theta_{MAD\ \%55} = FC - (FC - PWP) \times 0.55 \quad (۱)$$

که در این رابطه $\theta_{MAD\%55}$ درصد رطوبت حجمی خاک هنگامی است که ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک تخلیه شده است، و FC و PWP به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم هستند. برای محاسبه عمق آبیاری در هر نوبت آبیاری، از رابطه زیر استفاده شد (Alizadeh, 2004):

$$Dn = (FC - \theta) \times Dr \times n\% \quad (۲)$$

که در آن Dn مقدار آب در هر آبیاری (mm)، FC درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری، Dr عمق مؤثر ریشه (cm) و n% ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد از عمق آبیاری می‌باشد. میزان آب مصرفی برای تنش‌های آبی جزیی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه)، متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌ترتیب ۶۶۱۴، ۴۸۵۱ و ۳۵۲۸ متر مکعب در هکتار بود. آبیاری تا زمان استقرار گیاه در مرحله شش یا هفت‌برگی (حدوداً ۳۰ روز بعد از کاشت) برای همه‌ی تیمارها یکسان انجام شد. از این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری برای هر تیمار اعمال شد. میزان آب کاربردی هر تیمار در هر آبیاری توسط کنتور اندازه‌گیری شد و آبیاری به صورت قطره‌ای و توسط تیپ صورت گرفت. کود اوره در دو نوبت (در زمان کاشت و در مرحله ۶ تا ۷ برگی) با دست و به‌صورت نواری در پای بوته‌ها قرار داده شد. همچنین کودهای فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی Motesharezadeh & Mousavi, (2018) به‌ترتیب به مقدار ۹۰ و ۲۶۴ کیلوگرم در هکتار هم‌زمان با کاشت مصرف شد. زمین قبل از اجرای آزمایش، تحت کشت جو قرار داشت. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول ۱۰ متر بود. بذرهای سورگوم رقم اسپیدفید در تاریخ ۲۰ تیرماه در ردیف‌هایی به فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر با فاصله‌ی روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۱۷۰ هزار بوته در هکتار) و عمق ۴-۳ سانتی‌متر کشت شد. بذرهای سورگوم اسپیدفید از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. به منظور جلوگیری از نفوذ آب و کود به کرت‌های مجاور، فاصله بین هر دو کرت فرعی فرعی ۱/۲ متر (معادل دو پشته ۶۰ سانتی‌متری)، بین دو کرت فرعی ۱/۵ متر و بین دو بلوک ۱۰ متر در نظر گرفته شد. ردیف‌های اول و ششم و دو متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. برداشت ۲/۴ متر مربع از وسط ردیف‌های سوم و چهارم هر کرت به صورت کف‌بُر انجام شد و بلافاصله توزین و وزن تَر تعیین شد. برداشت در پنجم مهرماه انجام شد. سپس این بوته‌ها در داخل پاکت قرار داده شده و بعد از ۷۲ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک آن‌ها تعیین شد. از نمونه‌های خشک‌شده، مقداری آسیاب‌شده و اندازه‌گیری صفات مربوط به کیفیت علوفه شامل میزان پروتئین خام (CP[1])، الیاف نامحلول در شوینده‌ٔ اسیدی (ADF[2])، الیاف نامحلول در شوینده‌ٔ خنثی (NDF[3])، کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC[4])، خاکستر (Ash)، فیبر خام (CF[5]) و مادهٔ خشک قابل هضم (DMD[6]) با استفاده از دستگاه NIRS[7] (مدل ۸۶۲۰ Inframatic) مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و براساس روش ارائه‌شده توسط Jafari *et al.* (2003) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس، از آنجایی‌که صفات مورد بررسی تحت تأثیر برهمکنش‌های دوگانه و سه‌گانه معنی‌دار شده‌اند، لذا مقایسه میانگین صفات را بر مبنای اثر متقابل آن‌ها تجزیه کرده و اثر اصلی آنها مورد بررسی قرار نگرفت (Soltani, 2006).

1- Crude Protein
2- Acid Detergent Fiber
3- Neutral Detergent Fiber
4- Water Soluble Carbohydrates
5- Crude Fiber
6- Dry Matter Digestibility
7- Near Infrared Reflectance Spectroscopy

عملکرد علوفه خشک (TDW[8])

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد علوفه خشک سورگوم تحت تأثیر اثر اصلی تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش‌های دوگانه خاک‌ورزی + تنش آبی و تنش آبی + کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که تیمار تنش آبی جزیی در خاک‌ورزی حفاظتی از نظر عملکرد علوفه خشک در گروه برتر جای گرفت و نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، ۱۰/۳۵ درصد عملکرد بالاتری داشت. همچنین میزان عملکرد علوفه خشک در تیمار تنش متوسط آبی در خاک‌ورزی حفاظتی تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش آبی جزیی در خاک‌ورزی مرسوم نداشت (جدول ۳).

Shuang *et al*. (2013) در تحقیقات خود دریافتند که در خاک‌ورزی حفاظتی میزان آب ذخیره‌شده در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک میزان کارایی مصرف آب، میزان رشد و عملکرد گیاهان سویا و ذرت در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بیشتر می‌باشد. خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل وجود بقایا در سطح خاک و در نتیجه کاهش تبخیر باعث افزایش عملکرد می‌شود (Norwood, 2000).

همچنین بر اساس جدول ۳، کم‌ترین میزان عملکرد علوفه خشک در هر دو روش خاک‌ورزی در تنش شدید آبی رخ داد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. این موضوع نشان می‌دهد که تنش آبی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه خشک در گیاه سورگوم شده است و نتایج مشابهی نیز در تحقیقات گذشته در خصوص تأثیر منفی تنش آبی بر عملکرد علوفه سورگوم گزارش شده است (Saeed & El-Nadi, 1998; Haji Hasani Asl *et al*., 2010; Khazaei, 2017; Safaee Torghabeh *et al*., 2018; Kaplan *et al*., 2019). تنش آبی از طریق بستن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی سبب کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Reddy *et al*., 2004).

با توجه به جدول ۴، بیش‌ترین مقدار عملکرد علوفه خشک مربوط به تیمار تنش آبی جزیی به همراه مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن بود که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار تنش آبی شدید و عدم مصرف کود نیتروژن بود. در تنش‌های آبی متوسط و شدید با افزایش مصرف کود نیتروژن، عملکرد علوفه نیز افزایش یافت. این نتایج تأثیر مثبت کود نیتروژن و اثر تعدیل‌کنندگی آن در شرایط تنش خشکی بر عملکرد علوفه را نشان می‌دهد (Asadi & Eshghizadeh, 2020). در بررسی اثر تنش کم‌آبی و کود نیتروژن روی دو رقم سورگوم مشخص شد که در شرایط تنش آبی متوسط و شدید (به‌ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با افزایش میزان کود نیتروژن از ۳۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار مقدار عملکرد علوفه تر بهبود یافت و کمترین میزان عملکرد علوفه در مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد (Emam *et al*., 2014). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان گزارش شده است (Beyaert & Roy, 2005; Keramat, 2015).

نسبت برگ به ساقه

ضخامت دیواره سلولی در برگ‌ها نسبت به ساقه کمتر است. همچنین برگ‌ها نسبت به ساقه‌ها از پروتئین بیشتری برخوردار هستند. لذا ساقه در مقایسه با برگ‌ها کیفیت کمتری داشته، بنابراین نسبت برگ به ساقه در تعیین کیفیت علوفه بسیار مهم می‌باشد (Buxton, 1996). نسبت برگ به ساقه تحت تاثیر اثر اصلی تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش‌های

8- Total Dry Weight

دوگانه خاک‌ورزی + آبی و خاک‌ورزی + کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی.

Table 2. Variance analysis (Mean square) of the effects of different treatments on studied traits of forage sorghum.

S.O.V.	df	Total dry weight	leaf/stem ratio	Crude protein	Crude fiber	Neutral detergen fiber	Acid detergent fiber	Dry matter digestibility	Water soluble carbohydrate
Replication	2	7434341^{ns}	0.004^{ns}	2.07^{ns}	21.93^{ns}	56.64^{ns}	18.97*	62.49*	18.42^{ns}
Tillage (A)	1	4404980^{ns}	0.42^{ns}	17.20^{ns}	26.72^{ns}	34.35^{ns}	68.09**	59.70*	9.52^{ns}
E_a	2	4250007	0.03	1.33	1.73	10.06	0.28	2.1	12.02
Water stress (B)	2	23799262**	0.01*	13.67**	51.92**	156.51**	139.30**	84.58**	66.21*
A × B	2	1766198*	0.01*	1.96^{ns}	8.46**	20.52**	6.83**	26.10**	17.83^{ns}
E_b	8	313753	0.002	1.42	0.42	2.13	0.74	1.81	11.81
N. fertilizer (C)	2	33759676**	0.008*	22.39**	58.05**	105.58**	95.50**	91.92**	54.14**
A × C	2	205544^{ns}	0.02**	1.65*	6.50**	12.85**	9.04**	13.67**	15.75**
B × C	4	902888**	0.003^{ns}	1.06^{ns}	0.26^{ns}	2.57^{ns}	1.44^{ns}	12.86**	1.81^{ns}
A × B × C	4	345744^{ns}	0.006^{ns}	0.34^{ns}	0.19^{ns}	11.22**	3.51*	1.25^{ns}	1.87^{ns}
E_c	24	213253	0.002	0.41	0.68	1.24	1.14	2.31	1.11
C.V.	-	4.42	7.81	6.74	2.22	2.35	3.42	2.4	9.69

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری واریانس در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

ns indicates no significant effect, * and ** indicate significant effects of the treatments at p-value of 5% and 1%, respectively.

جدول ۳- برهمکنش نوع مدیریت خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم علوفه‌ای.

Table 3. Interaction effects of soil management and irrigation levels on some studied traits of forage sorghum.

Treatment		Total dry weight (kg ha^{-1})	leaf/stem ratio	Crude Fiber (%)	Neutral detergen Fiber (%)	Acid detergent fiber (%)	Dry matter digestibility (%)
Tillage	Water stress (%)						
No-tillage	90	12263a	0.66b	37.53b	48.50b	32.16b	61.27bc
	60	10507bc	0.72a	36.87b	46.65c	30.75c	61.96ab
	30	9363d	0.72a	35.29c	44.54d	27.40e	63.20a
Conventional tillage	90	11000b	0.52cd	40.52a	52.56a	35.75a	56.66d
	60	10100c	0.49d	37.41b	47.05bc	31.92b	60.06c
	30	9320d	0.56c	35.99c	44.86d	29.38d	63.40a

حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد.

Means with the same letters are not statistically significant.

جدول ۴- برهمکنش سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم علوفه‌ای.

Table 4. Interaction effects of irrigation levels and nitrogen levels on some studied traits of forage sorghum.

Treatment		Total dry weight (kg ha^{-1})	Dry matter digestibility (%)
Water stress (%)	N. fertilizer*		
90	N_{100}	13315a	60.22d
	N_{50}	11628b	58.24e
	N_0	9953cd	58.43de
60	N_{100}	11827b	63.07bc
	N_{50}	9892cd	62.06c
	N_0	9192e	57.90e
30	N_{100}	10365c	66.13a
	N_{50}	9504de	64.09b
	N_0	8156f	59.67de

حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. *N_0، N_{50} و N_{100}: به‌ترتیب صفر، ۱۷۵ و ۳۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

*N_0, N_{50} and N_{100}: 0, 175 and 350 Kg/ha nitrogen fertilizer. Means with the same letters are not statistically significant.

براساس مقایسه میانگین‌ها نسبت برگ به ساقه در دو روش خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین یک رابطه مثبت بین این صفت با تیمار تنش آبی و رابطه منفی با کود نیتروژن مشاهده شد. به‌نحوی‌که با کاهش شدت تنش آبی، نسبت برگ به ساقه کاهش و با افزایش شدت تنش آبی میزان این صفت نیز افزایش

نشان داد. علاوه‌براین با افزایش یا کاهش مصرف کود نیتروژن، میزان نسبت برگ به ساقه نیز به‌ترتیب کاهش و یا افزایش یافت (جدول ۶). با بررسی برهمکنش دوگانه خاک‌ورزی و تنش آبی مشاهده شد که بیشترین مقدار نسبت برگ به ساقه در هر دو روش خاک‌ورزی در شرایط تنش آبی شدید قرار داشت. مقدار این صفت در خاک‌ورزی حفاظتی با تنش آبی شدید ۱۱/۵ درصد بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم با همان شرایط آبی بود. کمترین مقدار نسبت برگ به ساقه نیز در خاک‌ورزی مرسوم با تنش آبی متوسط مشاهده شد (جدول ۳). در تطابق با نتایج این تحقیق، Sayyadi Azar *et al.* (2018) روی گیاه سورگوم و Rostamza *et al.* (2011) روی گیاه ارزن مرواریدی دریافتند که با افزایش دور آبیاری، نسبت برگ به ساقه افزایش می‌یابد. در واقع در شرایط تنش آبی، رشد ساقه نسبت به برگ بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته و سبب افزایش نسبت برگ به ساقه می‌شود. در برهمکنش خاک‌ورزی و کود نیتروژن، تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با مصرف ۵۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه و عدم مصرف کود نیتروژن بیشترین میزان نسبت برگ به ساقه را به خود اختصاص دادند و از نظر آماری در یک گروه قرار داشتند. همچنین کمترین میزان این صفت نیز در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم با مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه قرار داشت که تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

گزارش تحقیق Khalesro *et al.* (2011) نشان داد که در بررسی تیمار شاهد (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) با تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، نسبت برگ به ساقه در ارزن مرواریدی، ذرت و سورگوم با افزایش مصرف کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد.

جدول ۵- برهمکنش نوع مدیریت خاک‌ورزی و سطوح کود نیتروژن بر میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم علوفه‌ای.

Table 5. Interaction effects of soil management and nitrogen levels on some studied traits of forage sorghum.

Treatment		leaf/stem ratio	Crude Protein (%)	Crude Fiber (%)	Neutral detergen Fiber (%)	Acid detergent fiber (%)	Dry matter digestibility (%)	Water soluble Carbohydrate (%)
Tillage	N. fertilizer*							
No-tillage	N_{100}	0.65b	9.92b	39.02a	50.25a	33.26a	65.13a	13.99a
	N_{50}	0.74a	8.68c	36.44c	45.04d	29.69c	62.37b	11.26bc
	N_0	0.71a	8.27c	34.23d	44.40d	27.36d	58.93d	8.66e
Conventional tillage	N_{100}	0.53cd	11.48a	39.22a	49.94a	34.26a	61.16bc	11.37b
	N_{50}	0.49d	10.07b	37.85b	47.96b	31.64b	60.55c	10.26cd
	N_0	0.55c	8.70c	36.84c	46.57c	31.15b	58.41d	9.77d

حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. N_0، N_{50} و N_{100}: به‌ترتیب صفر، ۱۷۵ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

Means with the same letters are not statistically significant. *N_0, N_{50} and N_{100}: 0, 175 and 350 Kg/ha nitrogen fertilizer.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورد ارزیابی در سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی.

Table 6. Mean comparison of the effects of treatments on studied traits of forage sorghum.

Treatment	Total dry weight (kg ha^{-1})	leaf/stem ratio	Crude Protein (%)	Crude Fiber (%)	Neutral detergen Fiber (%)	Acid detergent fiber (%)	Dry matter digestibility (%)	Water soluble Carbohydrate (%)
Water stress (%)								
90	11631a	0.59b	8.65b	39.03a	50.53a	33.95a	58.96c	8.82b
60	10303b	0.60ab	9.52ab	37.14b	46.85b	31.34b	61.01b	11.22ab
30	9341c	0.64a	10.39a	35.64c	44.70c	28.39c	63.03a	12.61a
N. fertilizer*								
N_{100}	11835a	0.59b	10.70a	39.12a	50.10a	33.76a	63.14a	12.68a
N_{50}	10341b	0.62ab	9.38b	37.14b	46.50b	30.66b	61.46b	10.76b
N_0	9100c	0.63a	8.49c	35.54c	45.49c	29.26c	58.67c	9.21c

حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. N_0، N_{50} و N_{100}: به‌ترتیب صفر، ۵۷۱ و ۰۵۳ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

Means with the same letters are not statistically significant. *N_0, N_{50} and N_{100}: 0, 175 and 350 Kg/ha nitrogen fertilizer.

پروتئین خام

تجزیه واریانس این صفت نشان داد که پروتئین خام تحت تأثیر اثر اصلی تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش دوگانه خاک‌ورزی + کود نیتروژن معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین این صفت نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی، میزان پروتئین خام نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که میزان پروتئین خام در تنش آبی شدید نسبت به شرایط تنش متوسط و تنش آبی جزیی به‌ترتیب ۸/۳۷ و ۱۶/۷۴ درصد بیشتر بود (جدول ۶). Jahanzada *et al.* (2013) در بررسی اثر تنش آبی روی کیفیت سورگوم دریافتند که میزان پروتئین خام در سورگوم با افزایش دور آبیاری افزایش می‌یابد. بررسی‌های دیگر نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (Haberle *et al*., 2008; Kaplan *et al*., 2019). در این بررسی یک رابطه منفی بین میزان پروتئین خام با رطوبت خاک و عملکرد علوفه خشک دیده می‌شود (جدول ۶). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که به دلیل کاهش تولید ماده خشک در واحد سطح در شرایط تنش آبی، از رقیق‌شدن عنصر غذایی در بافت گیاه کاسته شده و این امر سبب افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاه شده است (Najafinezhad *et al*., 2014). با افزایش مصرف کود نیتروژن مقدار پروتئین نیز افزایش یافت و بیشترین مقدار پروتئین با مصرف ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۶). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود نیتروژن نشان داد در دو روش خاک‌ورزی، با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان پروتئین خام نیز افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پروتئین خام در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به همراه مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن و کم‌ترین آن در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با عدم مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با خاک‌ورزی مرسوم نداشت (جدول ۵). علاوه‌براین، میزان پروتئین در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۵۰ درصد کود نیتروژن با تیمار خاک‌ورزی حفاظتی و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. اینکه با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان پروتئین خام نیز افزایش یابد با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Tang *et al*., 2018, Kaplan *et al*., 2019). از آنجایی‌که بین میزان پروتئین خام در علوفه با میزان نیتروژن موجود در بافت‌های گیاه رابطه مسقیمی وجود دارد، در نتیجه با افزایش مصرف کود نیتروژن، میزان پروتئین علوفه نیز افزایش نشان داده است (Rostamza *et al*., 2011).

فیبر خام

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فیبر خام تحت تأثیر اثر اصلی تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش‌های دوگانه خاک‌ورزی + تنش آبی و خاک‌ورزی + کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین فیبر خام با بهبود شرایط آبیاری و نزدیک‌شدن به شرایط نرمال میزان فیبر خام نیز افزایش داشت. همچنین بیشترین مقدار این صفت در مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن و کمترین مقدار در عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد (جدول ۶). بررسی برهمکنش خاک‌ورزی و تنش آبی نشان داد که در هر دو روش خاک‌ورزی، با کاهش تنش آبی میزان فیبر خام افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فیبر خام در تیمار تنش آبی جزیی در خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمد. همچنین در خاک‌ورزی حفاظتی بیش‌ترین میزان فیبر خام در شرایط تنش آبی جزیی بود که با تیمار تنش آبی متوسط در خاک‌ورزی مرسوم تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری نداشت. کم‌ترین میزان فیبر خام در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با تنش آبی شدید قرار داشت که با تیمار تنش آبی

شدید در خاک‌ورزی مرسوم تفاوت آماری نداشت. Rostamza *et al.* (2011) روی گیاه ارزن مرواریدی و Carmi *et al.* (2006) روی گیاه سورگوم نتیجه گرفتند که یک رابطه منفی بین تنش آبی و میزان فیبر خام وجود دارد. اثر متقابل خاک‌ورزی و کود نیتروژن نشان داد که در هر دو روش خاک‌ورزی با افزایش مصرف کود نیتروژن بر میزان فیبر خام افزوده شد (جدول ۵). به‌نحوی‌که بیش‌ترین مقدار فیبر خام در تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی نداشت. همچنین کم‌ترین مقدار این صفت در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی قرار داشت. نتیجه به‌دست آمده در این تحقیق با نتیجه سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Ahmadi *et al.*, 2005; Javadi *et al.*, 2010). از آنجایی‌که با بهبود شرایط آبیاری و تامین کود مورد نیاز گیاه، میزان رشد گیاه و در نتیجه نسبت برگ به ساقه بیشتر شده است (جدول‌های ۳و ۵)، لذا میزان بافت‌های استحکامی و نگهدارنده گیاه یا به‌عبارتی کربوهیدرات‌های ساختمانی (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) نیز بیشتر می‌شود (Bagherirad *et al.*, 2007).

جدول ۷- برهمکنش نوع مدیریت خاک‌ورزی، سطوح آبیاری و سطوح کود نیتروژن بر میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم علوفه‌ای.

Table 7. Interaction effects of soil management, irrigation levels and nitrogen levels on some studied traits of forage sorghum.

Treatment			Neutral detergen Fiber (%)	Acid detergent fiber (%)
Tillage	Water stress (%)	N. fertilizer*		
No-tillage	90	N_{100}	54.20a	35.92ab
		N_{50}	46.34efg	31.59c
		N_0	44.96hig	28.96efg
	60	N_{100}	48.30cd	34.40b
		N_{50}	45.34gfh	30.48ecd
		N_0	46.31efg	27.38ihg
	30	N_{100}	48.25cd	29.46efd
		N_{50}	43.43ij	26.99ih
		N_0	41.94j	25.76i
Conventional tillage	90	N_{100}	53.44a	36.68a
		N_{50}	52.77ab	35.02ab
		N_0	51.48b	35.54ab
	60	N_{100}	49.21c	34.43b
		N_{50}	47.44ecd	31.13cd
		N_0	44.50hig	30.21ecd
	30	N_{100}	48.18efd	31.67c
		N_{50}	43.68hij	28.76efhg
		N_0	43.74hij	27.71fhg

حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. N_0، N_{50} و N_{100}: به‌ترتیب صفر، ۱۷۵ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

Means with the same letters are not statistically significant. *N_0, N_{50} and N_{100}: 0, 175 and 350 Kg/ha nitrogen fertilizer.

الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و الیاف نامحلول در شویندهٔ اسیدی

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر اصلی تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش‌های دوگانه خاک‌ورزی + تنش آبی و خاک‌ورزی + کود نیتروژن و برهمکنش سه‌گانه بر صفت‌های الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی در این تحقیق بود (جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین این دو صفت، با کاهش تنش آبی، میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی افزایش یافت. Jahanzad *et al.* (2013) و Kaplan *et al.* (2019) در بررسی‌های خود دریافتند

که میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی در گیاه سورگوم با کاهش دور آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین بین میزان مصرف کود نیتروژن و میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی رابطه مستقیمی دیده شد (جدول ۶). در برخی مطالعات نیز با افزایش مصرف نیتروژن، میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی افزایش نشان داده است که همسو با نتایج این تحقیق می‌باشد (Tang *et al*., 2018).

اما در تحقیقات دیگر افزایش کود نیتروژن اثر معنی‌داری روی الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی نداشت (Rostamza *et al*., 2011; Tang *et al*., 2018) و یا سبب کاهش این صفات شد (Ramroudi *et al*., 2010; Kaplan *et al*., 2019). برهمکنش سه‌گانه خاک‌ورزی + تنش آبی + کود نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی در تیمار تنش آبی جزیی با مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری با خاک‌ورزی حفاظتی نداشت و کم‌ترین میزان آن در تیمار تنش آبی شدید با عدم مصرف کود نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم بود که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار خاک‌ورزی حفاظتی نداشت (جدول ۷). همچنین بیش‌ترین میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ اسیدی در تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژن با تنش آبی جزیی در خاک‌ورزی مرسوم قرار داشت که تفاوت آماری با خاک‌ورزی حفاظتی نداشت. کم‌ترین میزان آن در تیمار تنش آبی شدید و عدم مصرف کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی مشاهده شد. گزارش‌های متعددی حاکی از اثر غیر معنی‌دار روش‌های مختلف خاک‌ورزی روی الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی در گیاهان مختلف می‌باشد (Ramroudi *et al*., 2010; Sohail *et al*., 2021). الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی از جمله صفات کیفی هستند که میزان آن‌ها در ساقه نسبت به سایر قسمت‌های گیاه بیشتر می‌باشد (Kaplan *et al*., 2019). لذا با افزایش مصرف کود نیتروژن و کاهش تنش آبی، نسبت برگ به ساقه کاهش یافته (جدول‌های ۳ و ۵) و در نتیجه میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی نیز افزایش می‌یابد (Kaplan *et al*., 2014).

ماده خشک قابل هضم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ماده خشک قابل هضم تحت تأثیر اثر اصلی خاک‌ورزی، تنش آبی و کود نیتروژن و برهمکنش‌های دوگانه معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها اثر نوع خاک‌ورزی روی صفت ماده خشک قابل هضم معنی‌دار بود. بیشترین میزان ماده خشک قابل هضم در تنش آبی شدید و کمترین مقدار آن در تنش جزیی آبی مشاهده شد. همچنین با افزایش مقدار کود نیتروژن میزان ماده خشک قابل هضم هم افزایش نشان داد (جدول ۶). برهمکنش خاک‌ورزی و تنش آبی نشان داد که در هر دو روش خاک‌ورزی، با افزایش شدت تنش آبی بر میزان ماده خشک قابل هضم افزوده شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان ماده خشک قابل هضم در تیمار تنش آبی شدید در خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با تنش‌های آبی شدید و متوسط نداشت. کم‌ترین میزان ماده خشک قابل هضم در تیمار تنش آبی جزیی در خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. از آنجایی‌که با کاهش تنش آبی بر میزان الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی افزوده می‌شود و با توجه به همبستگی منفی آن‌ها با ماده خشک قابل هضم، کاهش ماده خشک قابل هضم قابل انتظار

می‌باشد (جدول ۳) (Lithourgidis *et al*., 2006; Francisco *et al*., 2009). Idowu *et al*. (2019) در مقایسه روش‌های خاک‌ورزی روی کیفیت علوفه ذرت گزارش کردند که درصد ماده خشک قابل هضم ذرت در روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به مرسوم بیش‌تر می‌باشد. Jahanzada *et al*. (2013) نشان دادند که در شرایط آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر (آبیاری بهینه)، از میزان ماده خشک قابل هضم سورگوم کاسته شد و دلیل آن را رابطه منفی بین ماده خشک قابل هضم با الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی بیان کردند. اثر متقابل خاک‌ورزی و کود نیتروژن نشان داد که در هر دو روش خاک‌ورزی، با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان ماده خشک قابل هضم نیز افزایش پیدا کرد (جدول ۵) که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت داشت (Zhao *et al*., 2005; Hugar, 2010; Saini, 2012). افزایش مصرف کود نیتروژن میزان فتوسنتز در گیاه را بهبود داده و سبب ساخته‌شدن کربوهیدرات‌ها به‌ویژه نشاسته در گیاه سورگوم می‌شود و ماده خشک قابل هضم گیاه افزایش می‌یابد (Zahid *et al*., 2002). بیش‌ترین میزان ماده خشک قابل هضم با مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی مشاهده شد. همچنین میزان ماده خشک قابل هضم در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با مصرف ۵۰ درصد کود نیتروژن از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار خاک‌ورزی مرسوم با مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن نداشت. با توجه به جدول ۴، در برهمکنش تنش آبی و کود نیتروژن، بالاترین میزان ماده خشک قابل هضم در شرایط تنش آبی شدید و مصرف بیش‌ترین میزان کود نیتروژن به‌دست آمد. همچنین مشاهده شد که در هر سه سطح آبیاری و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن، کم‌ترین میزان ماده خشک قابل هضم مشاهده شد که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

کربوهیدرات‌های محلول در آب

جدول ۲ نشان داد که افزون بر اثرگذاری‌های اصلی تنش آبی و کود نیتروژن، برهمکنش دوگانه خاک‌ورزی + کود نیتروژن بر کربوهیدرات‌های محلول در آب معنی‌دار بود. میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب با افزایش شدت تنش آبی افزایش یافت. به‌نحوی- که بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول به تیمار تنش آبی شدید تعلق داشت که اختلاف معنی‌داری با تنش آبی متوسط نداشت (جدول ۶). همچنین کم‌ترین میزان صفت ذکر شده در تیمار تنش آبی جزیی مشاهده شد که نسبت به تنش آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۱۱/۰۲ و ۳۰/۰۵ درصد کاهش نشان داد. Jahanzad *et al*. (2013) در گیاه سورگوم علوفه‌ای و Rahbari *et al*. (2015) در گیاه ارزن علوفه‌ای دریافتند که با افزایش تنش آبی بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب افزده می‌شود. از مکانیسم‌های اصلی مقابله با تنش خشکی در گیاهان، افزایش قندهای محلول در آب و کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی کم می‌باشد. در واقع گیاه با این مکانیسم به تنظیم اسمزی در درون سلول کمک کرده و باعث حفظ و نگهداری غشای سلولی می‌گردد (Torknejad, 1999). با توجه به جدول ۵، در هر دو روش خاک‌ورزی با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب نیز افزایش یافت. به- طوری‌که بیش‌ترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی و کم‌ترین میزان آن در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی به‌دست آمد. پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه نتایج متفاوتی را در مورد تأثیر کود نیتروژن بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب گزارش

کرده‌اند. برخی مطالعات همسو با نتایج این تحقیق بوده (Ramroudi *et al*., 2010) و در برخی دیگر افزایش غلظت نیتروژن در خاک سبب کاهش کربوهیدرات‌های محلول شده است (Almodares *et al*., 2009; Ansari Ardali & AghaAlikhani, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش تنش آبی، اگر چه عملکرد علوفه افزایش یافت، اما صفات کیفی مانند فیبر خام، الیاف نامحلول در شویندهٔ خنثی و الیاف نامحلول در شویندهٔ اسیدی نیز افزایش یافتند. همچنین بین مصرف کود نیتروژن با عملکرد علوفه و صفات کیفی پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب و ماده خشک قابل هضم رابطه مستقیم دیده شد. اگر چه بین دو روش خاک‌ورزی از لحاظ عملکرد علوفه خشک و اکثر صفات کیفی تفاوتی وجود نداشت. اما افزایش مواد آلی خاک، صرفه‌جویی در زمان، کاهش آسیب به ساختمان خاک و نهایتا کاهش هزینه‌های تولید در جهت افزیش سود خالص برای زارعین در خاک‌ورزی حفاظتی را نبایستی فراموش کرد.

REFERENCES

1. Ahmadi, N., Zarghami, R., Ghoshchi, F. & Zand, B. (2005). Effect of nitrogen fertilizer and plant density on yield, protein and crude fiber percentage of silage corn in Varamin region. *The abstract of the 8th agronomy and plant breeding science congress of Iran*. 330 P.
2. Alizadeh, A. (2004). *Soil, water, plant relationship* (4th ed.). University of Emam Reza Press.
3. Almodares, A., Jafarinia, M., & Hadi, M. R. (2009). The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 6, 441-446.
4. Ansari Ardali, S. & Agha Alikhani, M. (2015). Effect of plant density and nitrogen fertilizer rate on forage yield and quality of cultivated amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(1), 35-36. (In Farsi)
5. Asadi, M. & Eshghizadeh, H. R. (2020). Effect of nitrogen on yield and some physiological characteristics of sorghum (*Sorghum* sp.) genotypes under drought stress. *Plant Process and Function*, 9(38), 228-244. (In Farsi)
6. Bagherirad, E., Dianati Tilaki, G. A., Mesdaghi, M. & Khani, M. (2007). An investigation on forage quality of three grasses (*Aeluropus lagopoides*, *Aeluropus littoralis*, *Puccinellia distans*) at saline and alkaline habitats of incheh-borun in Golestan province. *Animal Science*, 20(3), 157-163.
7. Beyaert, R. P. & Roy, R. C. (2005) Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum–sudangrass yield and nitrogen use. *Agronomy Journal*, 97, 1493-1501.
8. Bibi, A., Sadaqat, H., Tahir, M., Usman, B. F. & Ali, M. (2012). Genetic analysis of forage quality traits in sorghum-sudangrass hybrids under water stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(4), 1092-1100.
9. Buxton, D. R. (1996). Quality related characteristics of forages as in flounced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology*, 59, 37-49.
10. 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.
11. Castellini, M. & Ventrella, D. (2012). Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 124, 47-56.
12. Dwivedi, S. L., Perotti, E. & Ortiz, R. (2008). Towards molecular breeding of reproductive traits in cereal crops. *Plant Biotechnology Journal*, 6, 529-559.
13. Emam, Y., Maghsudi, K. & Moghimi, N. (2014). Effect of water stress and nitrogen rates on yield two forage sorghum cultivars. *Crop Production and Processing*, 3(10), 145-154. (In Farsi)

14. Fateh, E., Chaichi, M., Sharifi Ashorabadi, E., Mazaheri, D. & Jafari, A. A. (2009). Effects of soil fertilizing management (organic, integrated and chemical) on forage yield and quality traits of globe artichoke (*Cynara scolymus*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 2(40), 155-168. (In Farsi)
15. Francisco, E., Govea, C., Muck, E. R., Armstrong, L. K. & Albrecht, K. (2009). Fermentability of corn -lablab bean mixtures from different planting densities. *Animal Feed Science and Technology*, 149, 298-306.
16. Gao, H. W., Li, W. Y. & Li, H. W. (2003). Conservation tillage technology with Chinese characteristics. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2(2), 179.185.
17. Ghaemi, Z. (2016). Regional planning investigations of Alborz province. Retrieved August, 20, 2021, *Management and Planning Organization of Alborz Province*, from https://alborz.mporg.ir/FileSystem/View/File.aspx?FileId=c812cc61-e308-4e2b-b633-d59c1279234c&Mode=Preview.
18. Haberle, J., Svoboda, P., & Raimanova, I. (2008). The effect of post-anthesis water supply on grain nitrogen concentration and grain nitrogen yield of winter wheat. *Plant, Soil and Environment*, 54, 304-312.
19. Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A. H., Hosseini, N. & Rassaei Far, M. (2010). Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. *Crop Production Research*, 2(1), 63-74. (In Farsi)
20. Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B. & Gallais, A., (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2369-2387.
21. Hugar, A. Y. (2010). Influence of nitrogen and harvesting on dry matter and millable cane yield of sweet sorghum. *Agricultural Science Digest*, 30(1), 19-22.
22. Idowu, O. J., Sultana, S., Darapuneni, M., Beck, L. & Steiner, R. (2019). Short-term conservation tillage effects on corn silage yield and soil quality in an irrigated, arid agroecosystem. *Agronomy*, 9(8), 455.
23. 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.
24. Jafari. R., Seyed Sharifi, R. & Imani, A. A. (2012). Effects of nitrogen and harvesting date on fertilizer use efficiency and qualitative and quantitative yield of *Sorghum bicolor*. *Crops Improvement*, 14(2), 17-30. (In Farsi)
25. Jahansouz, M. R., Afshar, R. K., Heidari, H., & Hashemi, M. (2014). Evaluation of yield and quality of sorghum and millet as alternative forage crops to corn under normal and deficit irrigation regimes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 173(3834), 1-17.
26. 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.
27. Javadi, H., Saberi, M. H., Azari-Nasrabad, A. & Khosravi, S. (2010). Effect of amounts and methods of nitrogen application on yield and quality of forage sorghum (Speedfeed cv). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 384-392. (In Farsi)
28. Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L. & Huanwen, G. (2009). Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China plain. *Soil and Tillage Research*, 104, 198-205.
29. Kamal, N. M., Gorafi, Y. S. A., Tsujimoto, H. & Ghanim, A. M. A. (2018). Stay-green QTLs response in adaptation to post-flowering drought depends on the drought severity. *BioMed Research International*, 2018(1), 1-15.
30. Kaplan, M., Kara, K., Unlukara, A., Kale, H., Buyukkilic Beyzi, S., Varol, I. S., Kizilsimsek, M. & Kamalak, A. (2019). Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. *Agricultural Water Management*, 218, 30-36.
31. Kaplan, M., Kamalak, A., Kasra, A. A. & Guven, I. (2014). Effect of maturity stages on potential nutritive value, methane production and condensed tannin content of *Sanguisorba minor*. *Kafkas University Veteriner Faculty Journal*, 20(3), 445-449.
32. Karimi, R., Hashem, H. & Tajbakhsh, M. (2016). Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 2(26), 169-187. (In Farsi)
33. Keramat, S. (2015). *Response of sorghum genotypes to salinity and nitrogen under ambient and enriched levels of CO2*. M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology, Iran.

34. Khalesro, S., AghaAlikhani, M. & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2011). Effect of nitrogen rate on quantitative and qualitative forage yield of maize, pearl millet and sorghum in double cropping system. *Field Crops Research*, 8(6), 930-938. (In Persian)
35. Khazaei, A. (2017). Evaluation of drought tolerance in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) promising lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(1), 73-85. (In Farsi)
36. Kuchenmeister, K., Küchenmeister, F., Kayser, M., Wrage-Mönnig, N. & Isselstein, J. (2013). Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production*, 7, 693-710.
37. Lewis, D. C. & Mc Farlane, J. D. (1986). Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower and the diagnosis of manganese deficiency by plant issue and seed analysis. *Australian Journal Agriculture Research*, 37, 567-572.
38. Li, R., Zhang, H., Zhou, X., Guan, Y., Yao, F., Song, G., Wang, J. & Zhang, C. (2010). Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 1-15.
39. Liao, Y. C., Han, S. M. & Wen, X. X. (2002). Soil water content and crop yield effects of mechanized conservation tillage-cultivation system for dryland winter wheat in the Loess tableland. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4, 68-71.
40. 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.
41. Mahama, G. Y., Prasad, P. V. V., Mengel, D. B. & Tesso, T. T. (2014). Influence of nitrogen fertilizer on growth and yield of grain sorghum hybrids and inbred lines. *Agronomy Journal*, 106, 1623-1630.
42. Mirlohi, A., Bozorgvar, N. & Basiri, M. (2000). The effect of different amounts of nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of forage sorghum silage Tuesday hybrids. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 2, 105-116. (In Farsi)
43. Motesharezadeh, B. & Mousavi, S. M. (2018). *Balanced management of plant nutrition and 100 applied points in foliar fertilization*. Jihad Daneshgahi University of Tehran Press.
44. Myers, R. J. K. (1980). The root system of a grain sorghum crop. *Field Crop Research*, 3, 53-64.
45. Najafinezhad, H., Rashidi, N. & Ravari, S. Z. (2005). Effect of seedbed preparation methods on yield of grain maize and some soil properties in double cropping system. *Seed and Plant*, 21(2), 315-330. (In Farsi)
46. Najafinezhad, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Modarres Sanavy, S. A. M. & Naghavi, H. (2014). Effects of irrigation regimes and the use of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer on forage yield and water use efficiency of maize and sorghum in double cropping system under minimum tillage. *Seed and Plant Production Journal*, 30(3), 327-349. (In Farsi)
47. Norwood, C. A. (2000). Water use and yield of limited- irrigated and dryland corn. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 365-370.
48. Rahbari, A., Masood sinaki, J. & Zarei, M. (2015). Effects of phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. *Agronomy Science*, 5(10), 27-38.
49. Ramroudi, M., Mazaheri, D., Majnoon Hoseini, N., Hoseinzadeh, A. H. & Bagher Hoseini, S. M. (2010). The effects of cover crops, tillage systems and nitrogen rates on yield of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(4), 763-769. (In Farsi)
50. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 11(161), 1189-1202.
51. Reddy, S. R. & Nayak, P. (2018). Crop production with limited irrigation: A review. *Agricultural Reviews*, 39(1), 12-21.
52. Reiad, M. S., El-Hakeem, M. S., Hammada, M. A. & Abd-Alla, S. O. M. (1995). Chemical content of fodder sorghum plants as unfenced by nitrogen and organic manure fertilizers under Siwa Oasis conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 33, 623-635.
53. Rostamza, M., Chaichi, M. R., Jahansouz, M. R. & Alimadadi, A. (2011). Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, 98, 1607-1614.
54. Saeed, I. A. M. & El-Nadi, A. H. (1998). Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrigation Science*, 18, 67-71.

55. Safaee Torghabeh, M., Azari, A., Dashti, H. & Madah Hoseini, S. H. (2018). Effects of water stress on morphophysiological characteristics of millet (cv. Nutrifid) and sorghum (cv. Speedfeed) at different harvests. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(4), 69-82. (In Farsi)
56. Saini, A. (2012). Forage quality of sorghum (*Sorghum bicolor*) as influenced by irrigation, nitrogen levels and harvesting stage. *Indian Journal of Scientific Research*, 3(2), 67-72.
57. 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)
58. Shuang, L., Xing, Y. Z., Jingyi, Y. & Craig, F. D. (2013). Effect of conservation and conventional tillage on soil water storage, water use efficiency and productivity of corn and soybean in Northeast China. *Soil and Plant Science*, 63(5), 383-394.
59. Singh, H. P., Batish, D. R. & Kohli, R. K. (2003). Allelopathic in interaction and allelochemicals: New possibilities or sustainable weed management. *Plant Science*, 22, 239-311.
60. Sohail, S., Ansar, M., Skalicky, M., Wasaya, A., Soufan, W., Ahmad Yasir, T., El-Shehawi, A. M., Brestic, M., Sohidul Islam, M., Ali Raza, M. & EL Sabagh, A. (2021). Influence of tillage systems and cereals–legume mixture on fodder yield, quality and net returns under rainfed conditions. *Sustainability*, 13(4), 2172.
61. Soltani, A. (2006). *Re -consideration of application of statistical methods in agricultural researches*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press.
62. Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A. & Xie, G. (2018). Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research*, 215, 12-22.
63. Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z. & Poor, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stress: A review. *Agronomy and Crop Science*, 199, 264-274.
64. Torknejad, A. (1999). *Evaluation of annual medics ecological in Iran.* Ph.D. Thesis of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
65. Tovignan, T. K., Fonceka, D., Ndoye, I., Cisse, N. & Luquet, D. (2016). The sowing date and post-flowering water status affect the sugar and grain production of photoperiodic, sweet sorghum through the regulation of sink size and leaf area dynamics. *Field Crops Research*, 192, 67-77.
66. Zahid, M. S., Haqqani, A. M., Mufti, M. U. & Shafeeq, S. (2002). Optimization of N and P fertilizer for higher fodder yield and quality in mottgrass under irrigation-cum rained conditions of Pakistan. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(6), 690-693.
67. Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G. & Reddy, V. R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*, 22(4), 391-403.