Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
Islamic Azad University Gorgan Branch
PSI انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran

Investigation of the effects of plant density and planting date on quantitative and qualitative yield of forage mustard under normal and saline conditions

Hasan Amiri[1], Hossein Ajamnorouzi[2*], Mohammad Taghi Feyzbakhsh[3], Mohammad Reza Dadashi[4]

[1] Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, E-mail: h.amiri329@gmail.com
[2] Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, E-mail: hosseinajamnorouzi99@yahoo.com
[3] Department of Horticulture and Agronomy, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran, E-mail: feyz_54@yahoo.com
[4] Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, E-mail: morezda@yahoo.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 14.12.2021
Revised: 09.04.2022
Accepted: 11.04.2022
Published:23.09.2023

Keywords
Fiber
Plant density
Planting date
Roline
Protein

Abstract

In order to investigate the effects of soil salinity, plant density, and planting date on quantitative and qualitative yield of mustard forage, an experiment was conducted in 2016 at Gorgan Nemoone Farm Research Station as a split-split plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor of soil salinity (2 and 10 dS/m), sub-factor of planting date (6 November, 21 November, 6 December, 21 December, and 5 January), and sub sub-factor of plant density at three levels (208000, 277000, and 416000 plants per hectare) were considered. Results showed the interactions of environment × planting date on all studied traits including fresh weight, dry weight, percentage of leaf protein, percentage of stem protein, percentage of pod protein, percentage of total protein, protein yield, percentage of leaf fibers, percentage of stem fibers, percentage of pod fibers, percentage of total fibers, fiber yield, and leaf proline concentration were significant. The interaction effect of environment × planting density was also significant on all characteristics under study except for leaf protein percentage and leaf proline concentration. Moreover, the interaction effect of planting date and planting density was significant on all characteristics under study except for stem protein percentage and leaf proline concentration. Generally, it is concluded that the cultivation of forage mustard on November 6 and with planting density of 208,000 plants per hectare produces the highest fresh and dry weight of forage and protein yield, as well as the lowest amount of fiber.

Cite this article as: Amiri, H., Ajamnorouzi, H., Feyzbakhsh, M.T., Dadashi, M.R. (2023). Investigation of the effects of plant density and planting date on quantitative and qualitative yield of forage mustard under normal and saline conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(3): 138-155.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1947256.1755

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

بررسی اثرات تراکم بوته و تاریخ کاشت بر عملکرد کمی و کیفی خردل علوفه‌ای (*Brassica Juncea*) در شرایط شور و نرمال

حسن امیری[۱]، حسین عجم نوروزی[۲]*، محمدتقی فیض بخش[۳]، محمدرضا داداشی[٤]

[۱] گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: h.amiri329@gmail.com
[۲] گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: hosseinajamnorouzi99@yahoo.com
[۳] بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،گرگان، ایران، رایانامه: feyz_54@yahoo.com
[٤] گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: morezda@yahoo.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۹/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۱/۲۲
تاریخ چاپ: ۱٤۰۲/۰۷/۰۱

واژه‌های کلیدی:
تراکم بوته
تاریخ کاشت
پروتئین
الیاف
پرولین

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات شوری خاک، تراکم بوته و تاریخ کاشت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه خردل علوفه‌ای (لاین S-83)، آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در ایستگاه تحقیقات مزرعه نمونه گرگان به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شوری خاک (۲ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، فاکتور فرعی تاریخ کاشت (۱۵ آبان، ۳۰ آبان، ۱۵ آذر، ۳۰ آذر و ۱۵دی) و فاکتور فرعی فرعی تراکم بوته در سه سطح (۲۰۸۰۰۰، ۲۷۷۰۰۰ و ٤۱٦۰۰۰) بوته در هکتار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اثرات متقابل محیط × تاریخ کاشت بر کلیه صفات مورد بررسی شامل وزن تر، وزن خشک، درصد پروتئین برگ، درصد پروتئین ساقه، درصد پروتئین غلاف، درصد پروتئین کل، عملکرد پروتئین، درصد الیاف برگ، درصد الیاف ساقه، درصد الیاف غلاف، درصد الیاف کل، عملکرد الیاف و غلظت پرولین برگ معنی‌دار بود. اثر متقابل محیط × تراکم کاشت نیز بر کلیه صفات مذکور به جز درصد پروتئین برگ و غلظت پرولین برگ معنی‌دار گزارش شد. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × تراکم کاشت نیز تنها بر درصد پروتئین ساقه و غلظت پرولین برگ معنی‌دار نبود. به‌طورکلی می‌توان گفت کشت خردل علوفه‌ای در تاریخ ۱۵ آبان و تراکم ۲۰۸ هزاربوته در هکتار موجب تولید بیشترین وزن تر و خشک علوفه و عملکرد پروتئین و همچنین کمترین میزان الیاف خواهد شد.

استناد: امیری، حسن؛ عجم نوروزی، حسین؛ فیض بخش، محمدتقی؛ داداشی، محمدرضا. (۱٤۰۲). بررسی اثرات تراکم بوته و تاریخ کاشت بر عملکرد کمی و کیفی خردل علوفه‌ای (*Brassica Juncea*) در شرایط شور و نرمال. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸ (۳)، ۱۵۵-۱۳۸.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
Doi: 10.30495/iper.2022.1947256.1755

مقدمه

امروزه تأمین علوفه که بخش قابل توجهی از جیره نشخوارکننده‌ها را تشکیل می‌دهد، از موارد قابل توجه در کشاورزی می‌باشد. از گیاهان علوفه‌ای که به صورت علوفه تازه و یا سیلویی مورد استفاده دام قرار می‌گیرد، گیاهان خانواده براسیکا می‌باشد. گیاهان این خانواده به‌دلیل رشد سریع، عملکرد بالا و کیفیت مطلوب علوفه‌ای و قابلیت هضم بالایی که دارند، در بخش تأمین علوفه اهمیت زیادی دارند (Ayres and clements, 2002).

خردل علوفه‌ای (*Brassica Juncea*) گیاهی از خانواده چلیپاییان، تیره شب‌بو (*Cruciferae*) و جنس کلمیان (*Brassica*) می‌باشد. این گیاه علفی، یکساله و خودرو بوده، که در ارتفاعات آسیای شرقی و آفریقا به‌صورت وحشی می‌روید. همچنین، خردل علوفه‌ای گیاهی نسبتاً مقاوم به خشکی و شوری می‌باشد که یک منبع تغذیه‌ای ارزشمند جهت تعلیف دام در مناطق شور محسوب می‌گردد (Hoppe, 2001). مطالعات نشان داد که در منطقه گلستان (انبارالوم) میزان عملکرد خردل علوفه‌ای می‌تواند به ٤٠ تن در هکتار برسد. بنابراین، این گیاه جایگزین مناسبی برای تولید علوفه است (Feyzbakhsh, 2009). ایشان همچنین بیان نمودند از آنجایی که خردل علوفه‌ای در پاییز کشت می‌گردد، می تواند در تأمین علوفه مورد نیاز در اوایل بهار مورد توجه قرار گیرد، چرا که در این زمان عموماً علوفه سیلویی و ذخیره شده در دامداری‌ها رو به اتمام بوده و خردل می‌تواند کمبودهای مذکور را جبران نماید.

در آینده نزدیک، شوری خاک که ناشی از فعالیت‌های طبیعی یا انسانی است، حدود نیمی از سطح کشت محصولات زراعی را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار خواهد داد و به دنبال آن تأثیرات منفی بر تولید موفق محصولات زراعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایجاد خواهد کرد (Omara and El-Gaafarey, 2018). گزارش شده است که در شرایط تنش شوری، جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، ارتفاع بوته (نسبت اندام هوایی به ریشه)، عملکرد ماده خشک، الگوی ساقه‌دهی و تشکیل غلاف را به طور قابل توجهی در گیاه خردل کاهش خواهد یافت. همچنین تنش شوری می‌تواند عملکرد بیولوژیک و دانه خردل را به ترتیب ۵۰ و ۷۰ درصد کاهش دهد. شدت اثر شوری با توجه به گونه‌های مختلف گیاهی، نوع آنها و سطح شوری متفاوت است که ممکن است بر رشد و عملکرد خردل تأثیر بگذارد (Phour and Sindhu, 2020). در تحقیقی که با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف NaCl (۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) بر رشد و اجزای عملکرد گیاه خردل علوفه‌ای رقم PBR 210 انجام شد، گزارش شد که شوری باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه در بوته می‌گردد. تجمع ماده خشک کل و تقسیم آن به ساقه و خورجین‌ها نیز در شرایط شور به شدت کاهش یافت. علاوه بر این، تیمارهای NaCl، درصد روغن، پروتئین، نشاسته و کل قندهای محلول را در دانه کاهش داد (Setia et al., 2010).

انتخاب تراکم مناسب نقش مهمی بر افزایش عملکرد محصولات زراعی دارد. در تراکم‌های پایین گیاهان تمایل دارند تا بیشتر بیوماس تولیدشده را به ساختارهای زایشی برسانند (Kleunen et al., 2001; Weiner, 2004) اما در مقابل در تراکم‌های بالا تمایل گیاهان به انتقال مواد پرورده به ساختارهای رویشی بیشتر است (Weiner, 2004). با افزایش تراکم بوته دسترسی نسبی به منابع مانند آب، فضا و عناصر غذایی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش بیوماس و عملکرد دانه تک‌بوته می‌گردد (Li-chao et al., 2018). از طرفی افزایش تعداد بوته محصولات زراعی

در متر مربع موجب افزایش تعداد گل‌آذین در سطح شده و به صورت بسیار کم نیز بر تعداد دانه مؤثر است (Qun et al., 2020). ایجاد تراکم بهینه گیاه کلزا و خردل در واحد سطح برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه ضروری است. بنابراین، تراکم جمعیت بر عملکرد و ماده خشک این گیاهان تأثیر می‌گذارد (Johnson et al., 2003). زمانی که دو یا چند گیاه به عامل خاصی برای رشد نیاز دارند و زمانی که عرضه فوری این عامل کمتر از تقاضای گیاهان باشد، عملکرد کلزا و خردل می‌تواند تحت تأثیر تنش رقابتی درون‌گونه‌ای قرار گیرد. به خوبی ثابت شده است که محیط زراعی با توجه به شدت نور و غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند نقش حیاتی در فتوسنتز و در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک و رشد رویشی گیاه داشته باشد. از این رو تراکم گیاهی می‌تواند با تأثیر بر دو پارامتر مذکور نقش مهمی در عملکرد محصولات مختلف از جمله خردل علوفه‌ای داشته باشد (Mamun et al., 2014).

تاریخ کاشت یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر نمو فنولوژیک، روابط بین منبع و مقصد و اختصاص مواد فتوسنتزی به قسمت‌های مختلف یک گیاه است (Khalil et al., 2010). انتخاب تاریخ کاشت مناسب به منظور جوانه‌زدن و سبز شدن سریع، یکنواخت و کامل بذرها همراه با تولید گیاهچه‌های قوی جهت تولید محصول بیشتر ضروری می‌باشد (Ivanovski et al., 2000). Khajepoor (۲۰۱۱) معتقد است هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمان مناسب کاشت رقم یا گروهی از ارقام یک گیاه است، به‌طوری که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان برای سبز شدن، استقرار و بقاء گیاهچه مناسب باشد، ضمن این که گیاه حتی‌الامکان در هر مرحله از رشد با شرایط مطلوب روبرو گردد و با شرایط نامساعد محیطی نیز برخورد نکند. تراکم‌های معمول در خردل با توجه به سایر عوامل مؤثر بر انتخاب تراکم از ۲۰۸۰۰۰ تا بیش از ٤۰۰ هزار بوته در هکتار متغیر است. بررسی‌های متعدد نشان داده است که افزایش عملکرد خردل از طریق فاصله ردیف کاشت مناسب به خاطر افزایش شاخص سطح برگ حاصل شد. همچنین عملکرد دانه با شاخص سطح برگ همبستگی خطی داشت. در آزمایشی Titokago and Gardner (۱۹۸۸) مشاهده نمودند که ارتفاع بوته خردل با افزایش تراکم به طور خطی افزایش یافت، اما وقتی تراکم خیلی افزایش یافت (بیش از ۳۰۰ هزار بوته در هکتار)، از ارتفاع آن کاسته شد که علت این امر را محدودیت مواد فتوسنتزی یا آب و مواد معدنی جهت رشد دانستند. Asgarnejad و همکاران (۱۳۹۱) نتایج آزمایش نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خوجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن خردل سیاه سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند و اثر تراکم فقط بر صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته خردل سیاه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شدند. کشت گیاه خردل علوفه‌ای به عنوان گیاه علوفه‌ای پرمحصول و قابل کشت در محدوده وسیعی از شرایط محیطی مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. همچنین کشت این گیاه در منطقه با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در زمینه تأثیرپذیری این گیاه از شوری خاک، تاریخ کاشت و تراکم بوته، مورد تردید است، این مطالعه با هدف تعیین بهترین تاریخ کشت، مطلوب ترین تراکم بوته در شرایط شور و غیر شور بر روی صفات کمی و کیفی گیاه خردل علوفه ای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش: آزمایش در سال زراعی (۱۳۹٤-۹۵) در ایستگاه تحقیقات شهر انبارالوم با طول جغرافیایی

٥٤ درجه و ٣٨ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی٣٧ درجه و ٩ دقیقه شمالی و ارتفاع (٥-) متر از سطح دریا انجام شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ١ ارایه شده است. مهم‌ترین ویژگی‌های آب و هوایی مانند دما، میزان تبخیر، بارندگی و رطوبت نسبی طی سال زراعی ٩٥-١٣٩٤ در جدول ٢ ارایه شد.

طرح آزمایشی: آزمایش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی گیاه خردل وحشی (لاین S-83) اجرا شد. فاکتور اصلی شوری خاک (٢ و ١٠ دسی‌زیمنس بر متر)، فاکتور فرعی تاریخ کاشت (١٥ آبان، ٣٠ آبان، ١٥ آذر، ٣٠ آذر و١٥دی) و فاکتور فرعی فرعی تراکم بوته در سه سطح (٢٠٨٠٠٠، ٢٧٧٠٠٠ و ٤١٦٠٠٠) بوته در هکتار در نظر گرفته شد. کشت در دو خاک شور و غیر شور صورت گرفت. تراکم بوته از طریق فواصل بین خطوط کاشت ٢٤، ٣٦ و ٤٨ سانتی‌متر ایجاد شد و فاصله روی ردیف ١٠ سانتی‌متر به‌طور ثابت در نظر گرفته شد. هر تیمار در ٤ خط به طول ٦ متر به صورت دستی کشت گردید، فاصله بین تکرارها در این آزمایش٢ متر و بین کرت‌ها در هر تکرار نیز ١ متر (نکاشت) جهت کم‌کردن اثر سایه‌اندازی و انجام عملیات داشت، یادداشت‌برداری منظور گردید.

جدول ١: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت.

خصوصیات خاک	واحد	محیط شور	محیط غیر شور
عمق خاک	سانتی‌متر	٠-٣٠	٠-٣٠
هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	٩/٩	١/٩٥
اسیدیته خاک (pH)	-	٧/٣٨	٧/١٨
ماده آلی	%	١/١	١/٢
فسفر قابل جذب	mg/kg	٢٤/٧	٢٠/٨
پتاسیم قابل جذب	mg/kg	٤٤٠	٧٦٠
شن	%	١٤	١٢
سیلت	%	٥٦	٥٢
رس	%	٣٠	٣٦
بافت خاک	-	سیلتی رسی لومی	سیلتی رسی لومی

جدول ٢: شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد خردل علوفه ای در سال اجرای آزمایش (١٣٩٤-٩٥)

ماه‌های سال	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	تبخیر ماهانه (میلی‌متر)	میزان بارندگی (میلی‌متر)
آبان	٣/٤	٣٣/٤	٥١/٨	١٠٦
آذر	-١/١	٢٢/٦	٣٢/٢	٤١/٧
دی	٠/١	٢٨/٥	٣٦/١	٤٥/٣
بهمن	-١/٨	٢٤/٥	٣١	٧٩/٥
اسفند	٠/٣	٢٦/٣	٢٩/٦	٥٣/٣
فروردین	٣	٢٨/٨	٦٧/٤	٧٦/٦
اردیبهشت	٦/٤	٣٧/٢	١١١/٨	٣٦/٥
خرداد	١٤/١	٣٧/٩	١٦٦/٧	٦٢/٦

در موقع برداشت، از ده بوته به‌طور تصادفی میانگین‌گیری انجام شد و متوسط وزن تر تک‌بوته ثبت گردید. همچنین جهت اندازه‌گیری وزن خشک، یک نمونه از علوفه تر در هر کرت به آون منتقل گردیده و در حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت خشک شد تا درصد ماده خشک به دست آمد (Aoac, 1984).

پروتئین و الیاف خام: برای تعیین درصد پروتئین و الیاف خام علوفه، ابتدا، برگ، ساقه و غلاف در نمونه‌ها جدا و به آزمایشگاه فرستاده شد. همچنین برای تعیین درصد پروتئین و الیاف خام کل نیز یک نمونه کامل از تک بوته در نظر گرفته شد. به منظور تعیین میزان پروتئین دانه از دستگاه میکروکجلدال استفاده شد. به طوری که ۰/۵ گرم ماده گیاهی به‌صورت خشک، پودر و الک شده در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری میکروکجلدال خشک ریخته و مقداری کاتالیست و ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. بعد از این‌که رنگ آبی تیره پدیدار و محتوای ارلن خنک شد عمل تقطیر با دستگاه مارخام انجام شد. آب مقطر را در ارلن به جوش آورده و شیر باز نگه داشته شد. موقعی که بخار از مسیر لوله بخار عبور کرد، ۱۰ میلی‌لیتر آلیکوت پس از هضم در داخل اتاقک تقطیر به‌وسیله قیف مسدودکننده شیشه‌ای رسوب داده شد. هر مرتبه، قیف دوبار با یک میلی‌لیتر آب شستشو گردید. مسدودکننده شیشه‌ای جایگزین شده و ۱۰ میلی‌لیتر سود ٤٠ درصد در قیف ریخته شد. انتهای پایینی تغلیظ‌کننده در ۲۰ میلی‌لیتر اسیدبوریک موجود در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری قرار گرفت. موقعی که بخار از راه لوله پخش شد، شیر بسته شده و مسدودکننده شیشه‌ای را به آهستگی قرار داده و منتظر مانده تا هیدروکسید سدیم هضم شود. مسدودکننده بلافاصله جایگزین‌شده و تقطیر تا جمع‌آوری ۱۰۰ میلی‌لیتری ماده تقطیری ادامه یافت. بعد از این‌که مقدار کمی مایع تقطیر شد، از انتهای متراکم‌تر روی سطح اسیدبوریک بالا آمد. وقتی‌که تقطیر کامل شد، گرم کردن متوقف و مایع در اتاقک تقطیر به‌طور خودکار به داخل لوله رابط کشیده شد. سپس دستگاه برای تقطیر بعدی آماده شده و آمونیاک جمع‌آوری شده در اسیدبوریک با اسید سولفوریک ۰/۲۸ نرمال تیتر شده تا رنگ سبز ناپدید شود و محلول به رنگ صورتی در آید. سپس با کمک رابطه زیر میزان نیتروژن شلتوک محاسبه شد (Mulvaney and Bremner, 1982).

$$N\ content\ (\%) = (T-B)\times 10 \times N\ (1.4/W) \quad (1)$$

T= تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر اسید استاندارد)؛ B=تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر اسید استاندارد)؛ N=نرمالیته اسید استاندارد؛ W= وزن نمونه (گرم). اختلاف (T-B) به‌علّت هضم ۱۰ میلی‌لیتر باید در ۱۰ ضرب می‌شود. در مرحله بعد، درصد نیتروژن به دست آمده در عدد ٦/۲۵ ضرب شد و درصد پروتئین برگ، ساقه و غلاف به دست آمد. همچنین از حاصل‌ضرب درصد پروتئین و الیاف خام در وزن خشک آن، عملکرد پروتئین و الیاف به دست آمد.

پرولین: درصد پرولین با استفاده از روش باتیس و همکاران (Bates et al., 1977) صورت گرفت که برای اندازه‌گیری صفت غلظت پرولین از چهار برگ بالایی بوته‌ها در زمان گل‌دهی گیاه استفاده شد. برای سنجش پرولین، ۰/۰۵گرم از بافت تازه گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید سه درصد سائیده و سپس به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰g دور سانتریفیوژ شد. مقدار دو میلی‌لیتر از محلول رویی همراه با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در بنماری قرار گرفت. بلافاصله پس از آن لوله‌های حاوی مخلوط در حمام

یخ، سرد گردید. سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به آن اضافه و تکان داده شد و به‌مدت ۲۰ ثانیه ثابت نگه داشته شد تا دو فاز جدا گردند. از فاز فوقانی برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده و جذب آنها در طول موج ۵۱۸ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتری خوانده شد. برای محاسبه مقدار پرولین از منحنی استاندارد استفاده شد و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

در پایان، تجزیه واریانس داده‌ها به وسیله نرم افزار رایانه‌ای آماری SAS انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها از طریق آزمون به روش LSD انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر محیط (شوری خاک)، تاریخ کاشت و تراکم کاشت بر صفات مورد بررسی در خردل علوفه‌ای در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثرات ساده محیط، تاریخ کاشت و تراکم کاشت و همچنین اثرات متقابل محیط × تاریخ کاشت بر کلیه صفات مورد بررسی شامل وزن تر، وزن خشک، درصد پروتئین برگ، درصد پروتئین ساقه، درصد پروتئین غلاف، درصد پروتئین کل، عملکرد پروتئین، درصد الیاف برگ، درصد الیاف ساقه، درصد الیاف غلاف، درصد الیاف کل، عملکرد الیاف و غلظت پرولین برگ معنی‌دار بود. اثر متقابل محیط×تراکم کاشت نیز بر کلیه صفات مذکور به جز درصد پروتئین برگ و غلظت پرولین برگ معنی‌دار گزارش شد. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × تراکم کاشت نیز تنها بر درصد پروتئین ساقه و غلظت پرولین برگ معنی‌دار نبود. در نهایت با بررسی اثرات متقابل سه‌گانه محیط×تاریخ کاشت×تراکم کاشت مشخص گردید که هیچ یک از صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثرات متقابل سه گانه قرار نگرفتند.

وزن تر و خشک کل علوفه: نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تاریخ کاشت نشان داد که وزن تر (۵۹/۲۱ تن در هکتار) و خشک کل در محیط غیر شور (۱٤/۹۱ تن در هکتار) و در تاریخ کاشت ۱۵ آبان بیشترین میزان را نشان داد که با تاریخ کاشت ۳۰ آبان در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). کمترین میزان وزن تر کل (۳٦/۰۷ تن در هکتار) و وزن خشک کل (۹/۰۲ تن در هکتار) در محیط شور و در تاریخ کاشت ۱۵ دی مشاهده شد. همچنین با بررسی نتایج می‌توان دریافت که در محیط غیر شور با تأخیر در تاریخ کاشت از ۱۵ آبان به ۱۵ دی وزن تر کل ۱۷/٦٦ درصد و وزن خشک کل ۱٦/۳٦ درصد کاهش یافت. همچنین در محیط شور نیز این میزان به‌ترتیب ۱۷/۱۰ و ۲۱/۳٦ درصد به دست آمد (شکل ۱).

همچنین نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تراکم کاشت نیز بیانگر افزایش وزن تر و خشک کل در محیط شور نسبت به محیط غیر شور و در تراکم‌های ۲۰۸ و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار بود، به‌طوری‌که در محیط شور نسبت به محیط غیر شور در تراکم‌های ۲۰۸ و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار میزان وزن تر کل به‌ترتیب ۲۳/۳۵ درصد و ۲٤/۸۹ درصد کاهش نشان داد. کمترین میزان وزن تر و خشک کل علوفه خردل نیز در محیط شور و تراکم ٤۱٦ هزار بوته در هکتار به‌ترتیب با میزان ۳۸/۵۸ و ۹/۵۵ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۳).

نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت × تراکم کاشت نشان داد که در هر سه تراکم ۲۰۸، ۲۷۷ و ٤۱٦ هزار در هکتار، وزن تر کل و وزن خشک کل خردل علوفه‌ای در تاریخ کاشت‌های ۱۵ آبان، ۳۰ آبان، ۱۵ آذر و ۳۰ آذر نسبت به تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی بیشتر بود (جدول ٤).

جدول ۳. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) وزن تر کل، وزن خشک کل، پروتئین اندام‌های هوایی، الیاف اندام‌های هوایی و غلظت پرولین تحت تأثیر محیط، تراکم کاشت و تاریخ کاشت در خردل علوفه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر کل	وزن خشک کل	پروتئین برگ	پروتئین ساقه	پروتئین غلاف	پروتئین کل	عملکرد پروتئین	الیاف برگ	الیاف ساقه	الیاف غلاف	الیاف کل	عملکرد الیاف	غلظت پرولین
تکرار	۲	۰/۱۷۳	۰/۰۱٤	٥٦/٤٨	۷۱/۰۸	۲۰/۱۳	٤٤/٥۱	۹۸/۱۱	۳۱۹/۱۸	۷٤٦/٦٥	۸۲۰/٤٥	٥۹٥/٥٥	۷٤٥/۳۲	۱۷/۳٥
محیط	۱	۳٦۰/۹**	۲٤۷/۷**	۸۹/۱**	۸٦/۸**	۱۱/۳۱**	۱۰۳**	۹۲/۲**	۱٦۳/۰۸**	۱۰٦/۳٦**	۱۸۹/۱۷**	۱٤۸/۹۲**	۱٦٥/۱۲**	۹۹/۹۸**
خطای a	۲	۳/٦۲	۰/۱۹٤	۳۲/۳۷	۳۱/٦٥	٤/۷۱	۱٤/٦٦	۱۱/۱٦	۷/٦۲	۱۹/۷۸	٦۷/۹٦	۲٤/۲۰	۲۰/٦۸	۳۰/٤٥
تاریخ کاشت	٤	۲۹۷/۰۲**	۱٦/۱۲**	٤/۱٥**	۳/۰۲**	۱۳/۱۷**	۹/۱۲**	۷/۰٥**	٥٥/٦۹**	٦٦/۰۳**	٤۳/۲٥**	٥۲/٥٥**	٦٥/٦٤**	۳۷/٦۲**
محیط × تاریخ کاشت	٤	٤/٥۳**	۰/۱٤٦**	۱/۳۲**	۳/۸۸**	۳/۸۸**	۳/٦۳**	۲/۲۸۳**	۱۲/۹٤**	۹۹/٥٦**	۷۲/۷۱**	٤٦/۱۷**	٥٤/۳۳**	۱۰/٥۹**
خطای b	۱٦	۲/۰۲	۰/۰٤۹	۰/۸٥	۰/٤٤۲	۰/٥۳۱	۰/۹٤۸	۰/۷٤۸	۳/۲٤	۱٥/۷۰	۲۰/۷۸	٥/۱۹۲	٦/۳٤۱	٦/۰۷
تراکم کاشت	۲	۳۳۷/۷**	۲٤/۰۹**	۱/۱۲**	۰/۲٤٦**	۱/۰۲**	۰/٦٥۱**	۰/٤۳۱**	۱/٥٤**	۳۱/۰۰**	۱۲/۲٥**	۱۰/٤۲**	۲/٤۷**	٤/٤۰ns
محیط × تراکم کاشت	۲	٤/٥٦**	٦/۸٥**	۰/۲۷۸ns	۱/۱۱**	۰/۱٥۹**	۱/٦٦**	۱/۹۲**	۳/۰۳**	۵۸/۰۰**	۸۰/۰۲**	۱۰/٦۷**	۲/۰۷**	۷/۰۸ns
تاریخ کاشت × تراکم کاشت	۸	۱/٤٦۸**	۱/۰۷**	۰/۱۷٥ns	۰/۰٤٥ns	۱/۱۷٦**	۱/٥۲**	۱/٤۲**	۲/۳٥**	۲۱/٦٤**	۱۳/۰٦**	۲/۹۲**	۳/۰٤**	٦/۸۱ns
محیط × تاریخ کاشت × تراکم کاشت	۸	۰/۱٤ns	۰/۰۸ns	۰/۰۸۷ns	۰/۰٤۱ns	۰/۰٥۲ns	۰/۰۲۱ns	۰/۰۳۱ns	۰/۳۳۷ns	۰/۲۲٤ns	۸/۳٤ns	۱/۱٥ns	۱/٥۳ns	۷/۷ns
خطای کل	۸۹	۰/۲۲	۰/۷٥	۲/۷۷	۰/۱۷٦	۰/۰۸٦	۰/۳٤٤	۰/۱٤٤	۰/٤۱۹	۱۱/۱۱	۱۱/۷۱	۲/٤۳	۱/٦۹	۷/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۹۸	۸/۲۷	۱٥/۸۰	۱۰/۹۲	٥/٤۲	۷/٦٤	۸/٦٤	٦/۳۸	٦/۸٦	۱۳/٦۹	۷/۰۲	۷/۰۲	۹/۹٤

*و **به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns برابر با عدم تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر تراکم کاشت و تاریخ کاشت بر وزن تر و خشک و پروتئین اندام‌های هوایی در خردل علوفه‌ای

تراکم کاشت	تاریخ کاشت	وزن تر کل	وزن خشک کل	پروتئین برگ	پروتئین غلاف	پروتئین کل	عملکرد پروتئین کل
	۱۵ آبان	۵۳/۵۳^{ab}	۱۳/۳۸^{ab}	۱۱/۹۳^{a}	۱۰/٤٦^{a}	۸/۹۳^{a}	۱۱۹^{a}
۲۰۸هزار	۳۰ آبان	۵۱/۵۰^{abc}	۱۲/۸۸^{abc}	۱۱/٤۷^{ab}	۸/۸۷^{cd}	۸/۲٦$^{a-d}$	۱۰۵/۷۱^{ab}
بوته در	۱۵ آذر	٤۹/٦٤$^{a-d}$	۱۲/۳٤$^{a-d}$	۱۰/۸۵^{ab}	۸/۵۱^{def}	۷/۷۰$^{b-f}$	۹٤/۲۷^{bcd}
هکتار	۳۰ آذر	٤۷/۱۸^{bcd}	۱۱/٤٦^{cde}	۱۰/۱۰^{ab}	۸/۱۸$^{d-g}$	۷/۳۰$^{c-f}$	۸٦/۱۷$^{c-f}$
	۱۵ دی	٤۳/٦۰^{cde}	۱۱/۰٦^{cde}	۹/٤۲^{b}	۷/۷۹^{efg}	٦/۹٦^{ef}	۷٦/۷۲^{fg}
	۱۵ آبان	۵۵/۸۲^{a}	۱۳/۹۹^{a}	۱۱/٤٤^{ab}	۹/۹^{ab}	۸/۵۰^{ab}	۱۱۸/۲۵^{a}
۲۷۷هزار	۳۰ آبان	۵۳/۵۹^{ab}	۱۳/۳۸^{ab}	۱۱/٤۷^{ab}	۸/۸۳^{cde}	۸/۱۸$^{a-d}$	۱۰۸/۵۹^{ab}
بوته در	۱۵ آذر	۵۱/۵۷^{abc}	۱۲/۹۲^{abc}	۱۰/۱۸^{ab}	۸/٤۷^{def}	۷/۵۲$^{b-f}$	۹٦/۵۵^{bcd}
هکتار	۳۰ آذر	٤۹/۰۱$^{a-d}$	۱۲/۳۳$^{a-d}$	۹/۹۳^{ab}	۸/۱۸$^{d-g}$	۷/۲۳^{def}	۸۹$^{c-e}$
	۱۵ دی	٤٤/۹۵^{cde}	۱۱/٤٤$^{c-e}$	۹/۳۸^{b}	۷/۷۳^{fg}	٦/۸^{f}	۷۷/٤۹^{efg}
	۱۵ آبان	٤۸/۸۳$^{a-d}$	۱۲/۲۲$^{a-d}$	۱۱/۲۲^{ab}	۹/۵٦^{bc}	۸/۳۸^{abc}	۱۰۱/۷٦^{bc}
٤۱٦هزار	۳۰ آبان	٤۷/٤۸^{bcd}	۱۱/۷۹^{cde}	۱۱/۳۰^{ab}	۸/۵۸^{def}	۷/۹۸$^{a-e}$	۹۲/۸٦$^{b-e}$
بوته	۱۵ آذر	٤٤/۹۲^{cde}	۱۰/۸۸^{cde}	۱۰/۲۰^{ab}	۸/٤۲^{def}	۷/٤۵$^{b-f}$	۸۰/۵٦$^{d-g}$
درهکتار	۳۰ آذر	٤۲/٦۸^{de}	۱۰/۷۱^{ed}	۹/۹۲^{ab}	۸/۸$^{d-g}$	۷/۲۰^{def}	۷٦/۹۹^{efg}
	۱۵ دی	۳۸/٤۳^{e}	۹/۷۵^{e}	۹/۳۷^{b}	۷/۵۰^{g}	٦/٦۸^{f}	٦٤/۸۳^{g}

در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تراکم کاشت و تاریخ کاشت بر درصد الیاف اندام‌های هوایی در خردل علوفه‌ای

تراکم‌کاشت	تاریخ کاشت	الیاف برگ	الیاف ساقه	الیاف غلاف	الیاف کل	عملکرد الیاف
	۱۵ آبان	۱۷/۱۰^{e}	٤۳/۹۷^{cde}	۲۳/۹۷^{b}	۳۰/٦۵^{cde}	٤۰٦/۸۲^{a}
۲۰۸هزار	۳۰ آبان	۱۷/٦۷^{e}	٤۸/۱۷^{cd}	۲۳/٦۷^{bcd}	۲۹/۸۲^{de}	۳۸۲/۱۸$^{a-e}$
بوته در	۱۵ آذر	۱۸/۸۳^{cde}	٤۸/۵۰^{bcd}	۲۳/۸۳^{bcd}	۳۰/۳۷^{cde}	۳۷۲/۸٦$^{a-e}$
هکتار	۳۰ آذر	۱۹/۸۳^{bcd}	٤۹/۱۷^{bcd}	۲۵^{bcd}	۳۱/۳۲$^{b-e}$	۳٦۹/٤۰$^{a-e}$
	۱۵ دی	۲۱/۱۷^{ab}	۵۱/۲۱^{abc}	۲٦/۲۹$^{a-d}$	۳۲/۸۷^{abc}	۳٦۱/۷۸$^{a-e}$
	۱۵ آبان	۱۷/۲۲^{e}	٤۷/۲۵^{d}	۲۲/٦۰^{cd}	۲۹^{e}	٤۰٤/۲۱^{ab}
۲۷۷هزار	۳۰ آبان	۱۷/۹۲^{de}	٤۷/٦۷^{cd}	۲٤/۰۳$^{a-d}$	۲۹/۸۸^{de}	۳۹۷/۷۹^{abc}
بوته در	۱۵ آذر	۱۸/۲۵^{cde}	٤۸/۷۵^{bcd}	۲٤/۱٦$^{a-d}$	۳۰/٦^{cde}	۳۹۳/٤٤^{abc}
هکتار	۳۰ آذر	۲۰/۲۵^{abc}	۵۰/۱۸$^{a-d}$	۲۵/۵۰$^{a-d}$	۳۱/۹۵^{bcd}	۳۹۹/۲۸$^{a-d}$
	۱۵ دی	۲۱/٦۰^{ab}	۵۲/۲۰^{ab}	۲۷/۵۲a^{b}	۳۳/۵۸^{ab}	۳۸۲/۵٤$^{a-e}$
	۱۵ آبان	۱۷/۳۷^{e}	٤۷/۲۳^{d}	۲۲/۱۷^{d}	۲۸/۹۰^{e}	۳۵۱/٤۲$^{a-e}$
٤۱٦هزار	۳۰ آبان	۱۸/۲۵c^{de}	٤۷/۹۲^{cd}	۲۳/۸۳^{bcd}	۲۹/۹۵^{de}	۳٤۹/۱٦$^{b-e}$
بوته در	۱۵ آذر	۱۸/۸۳^{cde}	٤۹/۰۷^{bcd}	۲٤/۵۷$^{a-d}$	۳۰/۸۰^{cde}	۳۳۳/۰۲^{e}
هکتار	۳۰ آذر	۲۰/۲۵^{abc}	۵۰/۵۸$^{a-d}$	۲٦/۰۸$^{a-d}$	۳۲/۲۹$^{a-d}$	۳٤۲/۸۱^{cde}
	۱۵ دی	۲۲/۱۷^{a}	۵۳/۳۳^{a}	۲۸/٦۳^{a}	۳٤/۷۱^{a}	۳۳۵/۹۹^{de}

در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

در واقع می‌توان گفت که با تأخیر در تاریخ کاشت در هر سه تراکم ۲۰۸ هزار، ۲۷۷ هزار و ٤١٦ هزار بوته در هکتار، از میزان وزن تر کل و وزن خشک کل کاسته شد (جدول ٤)، به‌طوری‌که در هر سه تراکم بوته مذکور تاریخ کاشت ۱۵ دی کمترین میزان وزن تر کل و وزن خشک کل را به خود اختصاص داد. همچنین تنها در تراکم ۲۷۷ هزار بوته در هکتار بود که با تأخیر در کاشت تا ۳۰ آذر، وزن تر کل و وزن خشک کل در بیشترین میزان قرار گرفت و این مسئله در سایر تراکم‌ها مشاهده نشد (جدول ٤).

درصد پروتئین اندام‌های هوایی: با بررسی نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تاریخ کاشت مشخص شد که بیشترین درصد پروتئین برگ در شرایط شور و در تاریخ کاشت‌های ۱۵ آبان (۱۲/۱۲)، ۳۰ آبان (۱۱/۹۱) و ۱۵ آذر (۱۰/٦۱) به دست آمد که با درصد پروتئین برگ در شرایط غیر شور و در تاریخ کاشت‌های ۱۵ آبان (۱۰/۹۳)، ۳۰ آبان (۱۰/۹۱) اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین بیشترین درصد پروتئین ساقه نیز در شرایط شور و در تاریخ‌های کاشت ۱۵ آبان (٤/۷)، ۳۰ آبان (٤/۵۷)، ۱۵ آذر (٤/۱٤) و ۳۰ آذر (۳/۹٦) به دست آمد، اما بیشترین درصد پروتئین غلاف فقط در شرایط شور و در تاریخ کاشت ۱۵ آبان مشاهده شد (۱۰/۲۷). از طرفی نتایج نشان داد که بیشترین میزان درصد پروتئین کل در شرایط شور و در تاریخ کاشت‌های ۱۵ آبان (۹/۰٤) و ۳۰ آبان (۸/٦۳) حاصل شد. در نهایت بیشترین میزان عملکرد پروتئین نیز فقط در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۱/۳ تن در هکتار) و در شرایط غیر شور حاصل شد (شکل ۱).

همچنین از نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تراکم کاشت می‌توان دریافت که کمترین درصد پروتئین ساقه (۳/۱۹)، پروتئین غلاف (۸/۰۵) و پروتئین کل (۷/۰٤) در شرایط غیرشور و در تراکم ٤١٦ هزار بوته در هکتار به دست آمد. از طرفی کمترین عملکرد پروتئین کل نیز در شرایط شور و در تراکم‌های ۲۰۸ هزار (۰/۸۷٦ تن در هکتار) و ٤١٦ هزار بوته در هکتار (۰/۷۵۵ تن در هکتار) حاصل شد (شکل ۳). با بررسی نتایج می‌توان مشاهده کرد که بیشترین میزان عملکرد پروتئین کل مربوط به شرایط غیرشور و در تراکم‌های کشت ۲۰۸ هزار (۱/۵ تن در هکتار) و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار (۱/۷ تن در هکتار) بود (شکل ۳).

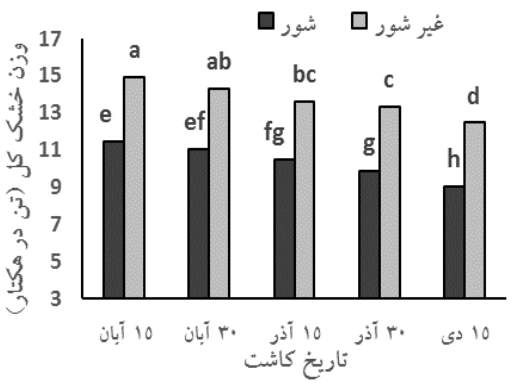
با بررسی نتایج مقایسات میانگین تاریخ کاشت × تراکم کاشت می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین میزان درصد پروتئین کل و عملکرد پروتئین کل در تراکم‌های ۲۰۸ هزار و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار و در تاریخ‌های کاشت ۱۵ آبان و ۳۰ آبان مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که با تأخیر در تاریخ کاشت در هر سه تراکم از میزان درصد پروتئین کل و عملکرد پروتئین کل کاسته شد (جدول ٤).

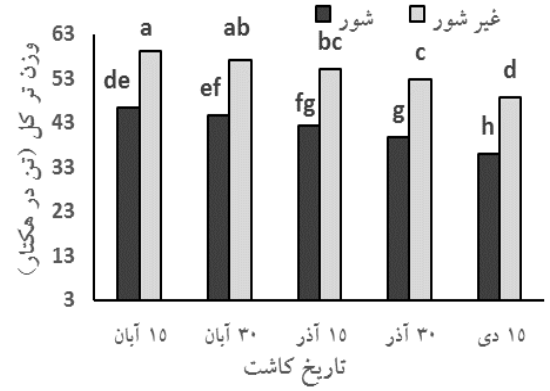
درصد الیاف اندام‌های هوایی: نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تاریخ کاشت نشان داد که هم در شرایط شور و هم در شرایط غیرشور، با تأخیر در تاریخ کاشت از ۱۵ آبان به ۱۵ دی، بر میزان الیاف برگ و الیاف ساقه افزوده شد، به طوری که کمترین میزان آن در تاریخ ۱۵ آبان و ۳۰ آبان و در شرایط غیر شور مشاهده شد (شکل ۲). همچنین بیشترین میزان الیاف غلاف در شرایط شور و در هر ۵ تاریخ کاشت مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. از طرفی بیشترین میزان الیاف غلاف در شرایط غیر شور و در تاریخ کاشت ۱۵ دی به دست آمد که با تاریخ کاشت ۳۰ آذر اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). بیشترین درصد الیاف کل نیز تنها در شرایط شور و در تاریخ کاشت ۱۵ دی (۳٤/۹) به دست آمد، اما بالاترین میزان عملکرد الیاف تنها در شرایط غیر شور مشاهده شد که در هر ۵

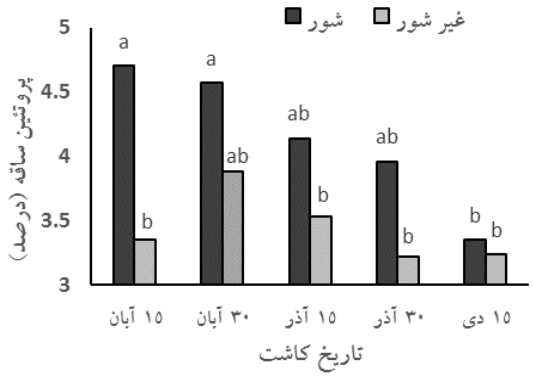
تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان نداد. بیشترین میزان پرولین نیز در شرایط شور مشاهده شد که با شرایط غیر شور اختلاف معنی‌داری را نشان داد و در یک گروه آماری قرار نگرفتند (شکل ۲).

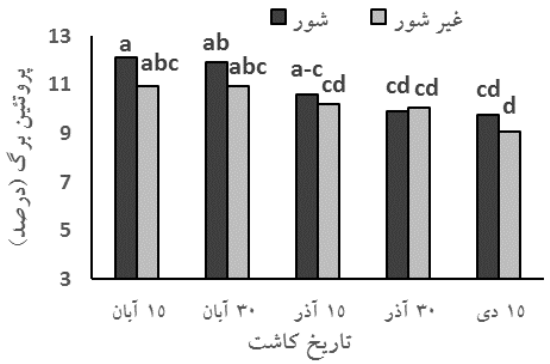
همچنین از نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل محیط × تراکم کاشت می‌توان دریافت که بیشترین درصد الیاف برگ، الیاف ساقه، الیاف غلاف و الیاف کل در شرایط شور و در هر سه تراکم ۲۰۸ هزار، ۲۷۷ هزار و ٤١٦ هزار بوته در هکتار به دست آمد. از طرفی بیشترین عملکرد الیاف تنها در شرایط غیر شور و در تراکم های ۲۰۸ هزار و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار مشاهده شد. بیشترین غلظت پرولین نیز در شرایط شور و در هر سه تراکم مشاهده شد (شکل ٤).

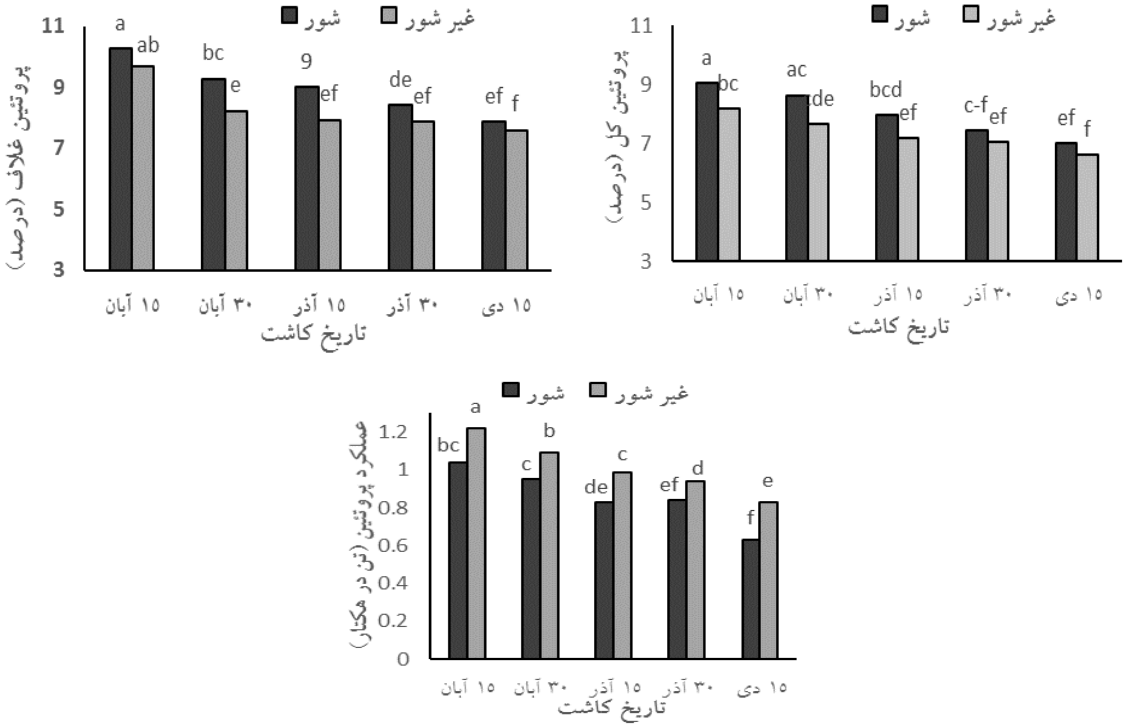
با بررسی مقایسات میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت × تراکم کاشت مشاهده شد که بیشترین درصد الیاف برگ، الیاف ساقه، الیاف غلاف و الیاف کل در تراکم ۲۰۸ هزار بوته در هکتار در تاریخ کاشت ۱۵ دی مشاهده شد. همچنین در تراکم ۲۷۷ هزار بوته در هکتار بیشترین درصد الیاف برگ، الیاف ساقه و الیاف غلاف در تاریخ‌های کاشت ۳۰ آذر و ۱۵ دی به دست آمد، اما بیشترین درصد الیاف کل فقط در تاریخ کاشت ۱۵ دی مشاهده شد (جدول ۵). از طرفی در تراکم ٤١٦ هزار در بوته، بیشترین درصد الیاف برگ، الیاف ساقه و الیاف کل در تاریخ‌های کاشت ۳۰ آذر و ۱۵ دی مشاهده شد، اما بیشترین درصد الیاف علاوه بر ۲ تاریخ کاشت مذکور در تاریخ کاشت ۱۵ آذر نیز مشاهده شد (جدول ۵). در نهایت با بررسی نتایج عملکرد الیاف می‌توان نتیجه گرفت که در تراکم کاشت‌های ۲۰۸ و ۲۷۷ هزار بوته در هکتار، هر ۵ تاریخ کاشت از بیشترین عملکرد الیاف برخوردار بودند، اما در تراکم ٤١٦ هزار بوته در هکتار تنها در تاریخ کاشت ۱۵ آبان بیشترین عملکرد الیاف خردل علوفه‌ای مشاهده شد (جدول ۵).



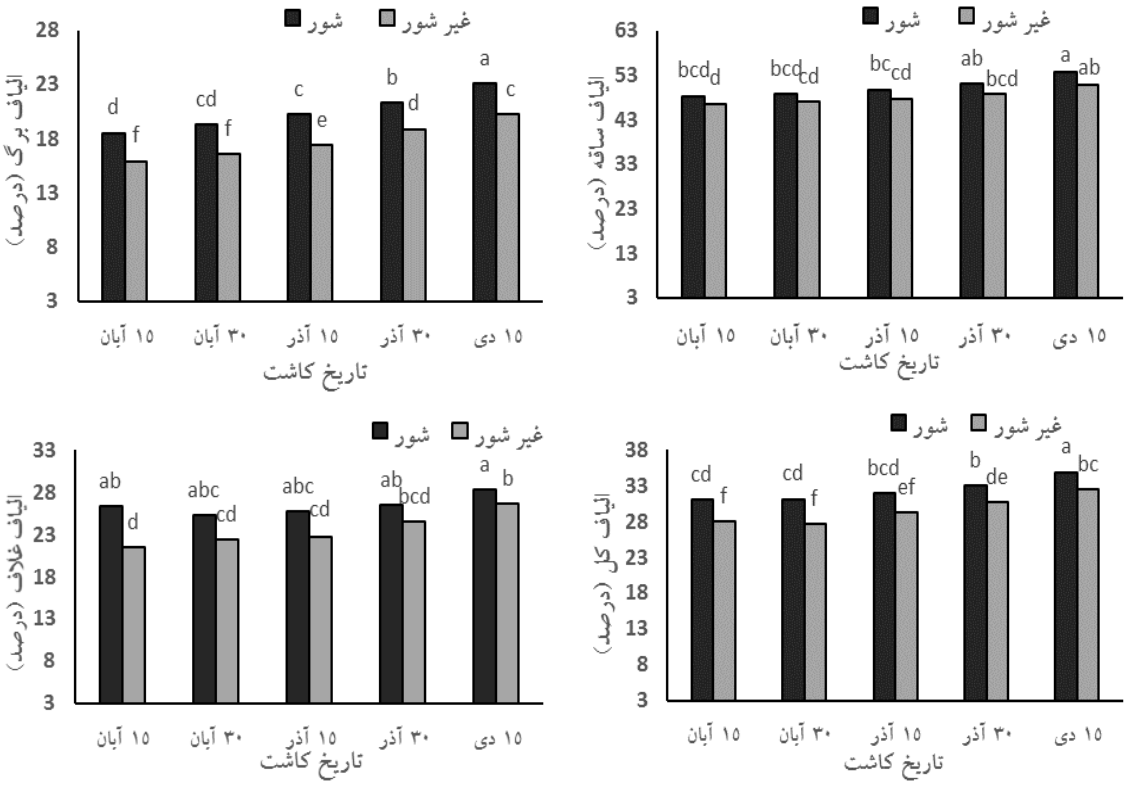


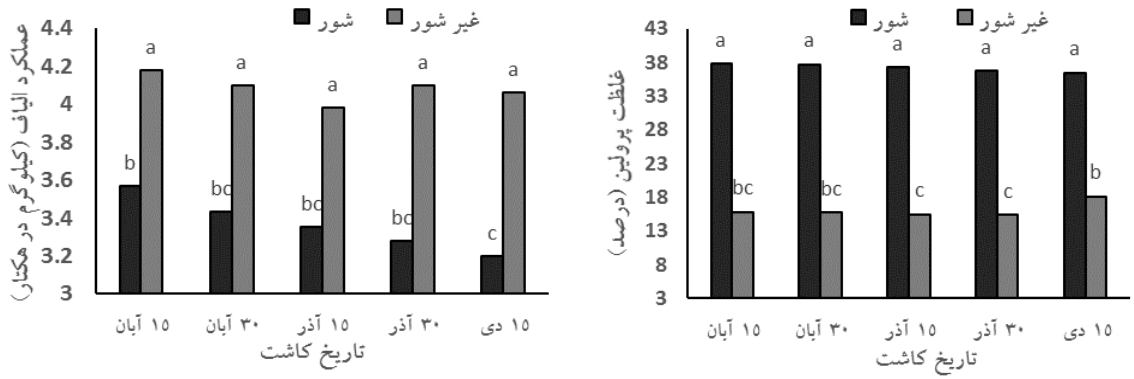




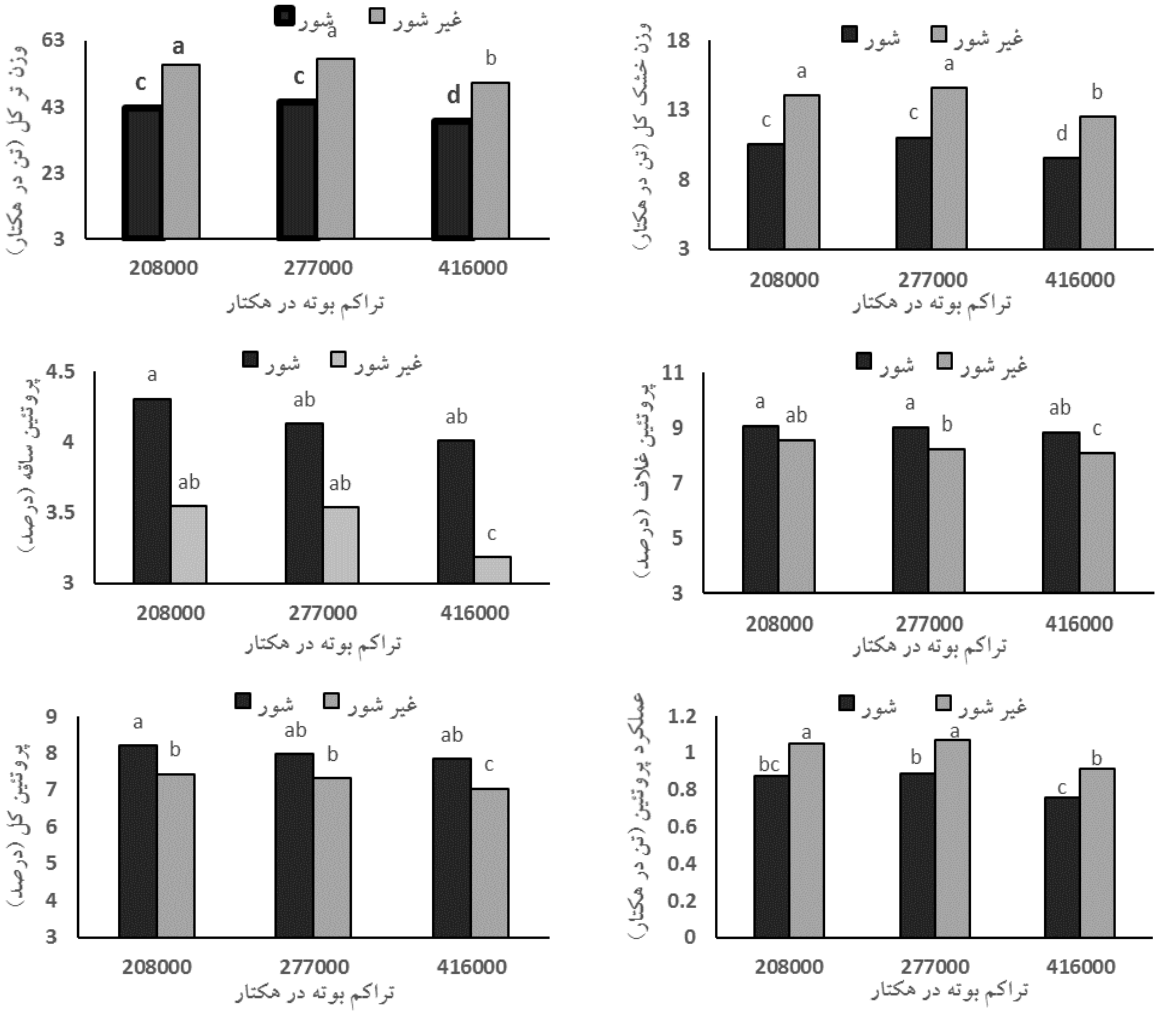


شکل ۱: اثر متقابل محیط و تاریخ کاشت بر وزن تر کل، وزن خشک کل، پروتئین برگ، پروتئین ساقه، پروتئین غلاف، پروتئین کل و عملکرد پروتئین در خردل علوفه‌ای. در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

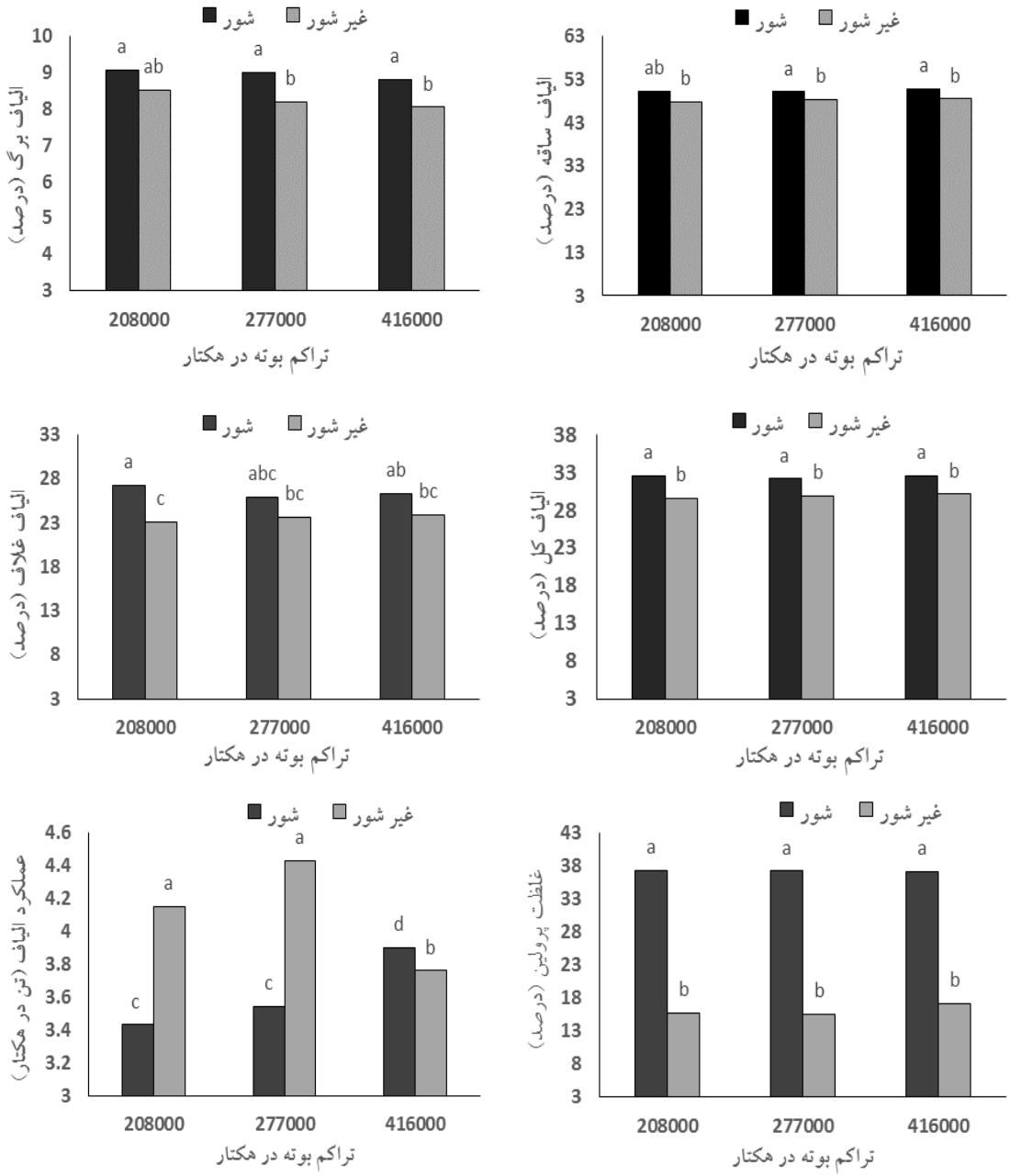




شکل ۲: اثر متقابل محیط و تاریخ کاشت بر الیاف برگ، الیاف ساقه، الیاف غلاف، الیاف کل و عملکرد الیاف و غلظت پرولین در خردل علوفه‌ای. در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۳: اثر متقابل محیط و تراکم کاشت بر وزن تر کل، وزن خشک کل، پروتئین ساقه، پروتئین غلاف، پروتئین کل و عملکرد پروتئین در خردل علوفه‌ای. در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ٤: اثر متقابل محیط و تراکم کاشت بر الیاف برگ، الیاف ساقه، الیاف غلاف، الیاف کل و عملکرد الیاف و غلظت پرولین در خردل علوفه‌ای. در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

بحث

با بررسی نتایج مطالعه حاضر می‌توان دریافت بیشترین وزن تر و خشک خردل علوفه‌ای در تاریخ کاشت‌های زود هنگام بدست آمد و با تأخیر در کاشت، عملکرد وزن تر و خشک آن کاهش یافت. مطالعات گوناگون در مناطق مختلف ایران بیانگر کاهش عملکرد بیولوژیک با تأخیر در تاریخ کاشت در ذرت علوفه‌ای می‌باشد (Mukhtapor et al., 2007; Hashemi et al., 2001). گزارش شده است که زمان کاشت مناسب سبب می‌شود گیاهان به دلیل مناسب

بودن شرایط محیطی فرصت کافی برای تکمیل کلیه مراحل رویشی و زایشی خود را داشته باشد و در نهایت، بوته‌های قوی‌تر و با عملکرد بیولوژیک بیشتری را تولید کند (Huking et al.,2010). از طرفی درصد پروتئین با تأخیر در کاشت خردل علوفه‌ای کاهش یافت. در واقع تأخیر در تاریخ کاشت باعث شد که خردل علوفه ای در مراحل حساس رشدی نظیر گل‌دهی به روزهای گرم برخورد کرده و باعث افزایش تنفس در گیاه و تجزیه پروتئین و بنابراین کاهش درصد پروتئین اندام‌های هوایی در گیاه شد (Amrai, 2012). همچنین در مطالعه حاضر تأخیر در کاشت موجب کاهش درصد فیبر خردل علوفه‌ای گردید و به‌طورکلی افزایش درصد فیبر سبب کاهش درصد پروتئین می‌گردد (Abazar et al., 2005). با تأخیر در کاشت و برخورد گیاه به روزهای گرم و شرایط آب و هوایی نامناسب انتهای فصل رشد، بافت گیاه حالت خشبی به خود گرفته و الیاف سلولزی و لگنین در گیاه افزایش می‌یابد (Zlatev, and Yordanov, 2007). Arzani (۲۰۰۹) نیز گزارش نمود با گذشت زمان متغیرهای کاهنده ارزش غذایی علوفه (نظیر میزان الیاف) افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای، میزان فیبر ذرت علوفه‌ای با تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Salama et al., 2019). افزایش دما از ۲٤ تا ۳۳-۲۸ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش وزن ساقه و افزایش الیاف خام گیاهان علوفه‌ای سه‌کربنه و چهار کربنه می‌شود، بدیهی است که افزایش میزان فیبر با تأخیر در کاشت با کاهش مواد آلی قابل‌هضم همراه بوده است (Deinum and Dirven, 1972, 1975). لازم به ذکر است که روند کاهش وزن تر و خشک، درصد پروتئین و درصد الیاف اندام‌های هوایی در هر دو شرایط شور و غیرشور قابل مشاهده است و روند کاهش در شرایط شور بیشتر از شرایط غیرشور بود.

نتایج نشان داد با افزایش تراکم کاشت به ٤١٦٠٠٠ بوته در هکتار میزان وزن تر و خشک کل، عملکرد پروتئین و عملکرد الیاف کاهش معنی‌داری در هر دو شرایط شور و غیرشور داشت. Mamun و همکاران (۲۰۱٤) مشاهده کردند که در تراکم‌های ۱۰۰-٤۰ بوته در مترمربع خردل علوفه‌ای با کاهش رقابت بین و درون گیاهی، تعداد شاخ و برگ و به دنبال آن تعداد غلاف در بوته بیشتری تولید می‌شود که به دلیل جذب مؤثر عناصر غذایی، انجام فتوسنتز بالاتر می باشد که خود باعث افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Kazemini et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تراکم‌های بالاتر از ۷۵ بوته در مترمربع منجر به افزایش ارتفاع گیاه و عملکرد علوفه خشک کلزا گردید و همچنین تراکم‌های بالای کلزا به شدت منجر به کاهش بیوماس علف هرز شد (Tavassoli et al., 2018). نتایج مطالعات Mojaddam و همکاران (۲۰۱٦) نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی جو به ترتیب در تراکم ۵۰۰ و ۳۰۰ بوته در هکتار به‌دست آمد. اما بیشترین و کمترین درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه در جو به‌ترتیب در تراکم ۳۰۰ و ۵۰۰ بوته در هکتار حاصل شد. ایشان بیان کردند که در تراکم بالاتر گیاه از تابش خورشید و رطوبت و حاصلخیزی خاک و دیگر عوامل مؤثر در رشد به خوبی استفاده کرده و عملکرد ماده خشک در واحد سطح افزایش می‌یابد. از طرفی افزایش تراکم به بیشتر از حد بهینه موجب کاهش درصد پروتئین می‌گردد، به طوری که Parvizi و همکاران (2011) گزارش نموده‌اند که با افزایش تراکم، درصد پروتئین کاهش می‌یابد که دلیل این امر رقابت بوته‌ها برای جذب نیتروژن در واحد سطح و در نتیجه کاهش سطح نیتروژن دریافتی برای هر بوته بود. نتایج مطالعات گذشته در مورد رابطه بین تراکم گیاه و نسبت فیبر متناقض گزارش شده است. به‌عنوان

مثـال Iptas و Acar (۲۰۰٦) تغییـرات معنـی‌داری در محتوای فیبر خـام در بـین تـراکم‌هـای مختلـف گیـاه گزارش کردند، اما Carpici و همکـاران (۲۰۱۰)، ایـن میـزان را غیـر معنـی‌دار گـزارش نمودنـد. در مطالعـه حاضر، تراکم گیاه برمحتـوای فیبـر خـام اثـر کـم امـا معنی‌دار داشت. افـزایش محتـوای لیگنـین مـرتبط بـا کاهش تراکم گیاه برای چندین گیاه گـزارش شـد، بـه عنوان مثال گنـدم (Zheng et al., 2017)، گنـدم سـیاه (wang et al., 2015)، و ذرت (Shi et al., 2016). نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که در تراکم‌های کم بوته، قطر سـاقه، ضـخامت دیـواره و وزن خشـک در واحد طول افزایش می‌یابد و علاوه بر بهبـود سـاختار دسته‌های اسکلرنشیمی و آوندی، لیگنینی شـدن سـاقه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

با بررسی نتایج مطالعه حاضر می‌توان دریافت کـه در تاریخ‌های کاشت و تراکم‌های کاشت مورد بررسی با افزایش شوری خاک از میـزان کلیـه صـفات مـورد بررسی کاهش یافـت. در شـرایط تـنش، اسـید آمینـه پرولین که نقش بسیار مـؤثری در ایجـاد مقاومـت در گیاه در برابر تنش را دارد، در گیاه افزایش می‌یابد. در نتیجه میزان پروتئین به تبع آن افزایش خواهـد یافـت. احتمالاً علت افزایش درصد پروتئین در محـیط شـور نیز همین عامل بوده است. پرولین به عنوان یک مـاده محافظت‌کننده غیـر سـمی، بـرای تنظـیم اسـمزی در شرایط شوری و دیگر تنش‌های محیطی مطـرح اسـت (Rahimi Tashi and Niknam, 2015). Beizavi و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که میزان پرولین در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور در تولید گندم افزایش نشان داد. از طـرف دیگـر شـوری باعـث اخـتلال در فرآیند فتوسنتز مـی‌شـود و تولیـد مـواد فتوسـنتزی و کربوهیدرات در گیاه کـاهش مـی‌یابـد. در طـی تـنش شوری، سنتز پـروتئین‌هـای بـرگ کـاهش مـی‌یابـد و تجزیه پروتئین خالص از طریق پروتئولیز پروتئین‌های ذخیره شده اتفاق می‌افتد. بنابراین نسبت پـروتئین بـه کربوهیدرات در گیاه افزایش خواهد یافت، به‌طوری‌که تنش شوری موجب کـاهش ارتفـاع بوتـه در گیاهـان می‌شود و نسبت برگ به ساقه در گیاه افزایش می‌یابد، با توجه به اینکه ساقه پروتئین کمتری نسبت به بـرگ دارد، افـزایش تـنش شـوری موجـب افـزایش میـزان پروتئین در گیاه می‌گـردد (Moaveni, 2010). شـوری خاک به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشـک بـرگ را در گیاه سـورگوم علوفـه‌ای کـاهش داد کـه از دلایـل آن کاهش فتوسنتز، تخریب غشاهای سلولی، کـاهش آب قابل دسترس و تجمع یون سدیم در برگ آن دانسـتند (Monirifar et al., 2020). در مطالعـه حاضـر هرچـه میزان نمک افزایش یافته است، میزان فیبر نیز افـزایش یافته است. از آنجایی که کیفیت علوفه گیاهان با میزان فیبر رابطه عکس دارد (Bayat et al., 2020)، افـزایش میزان شـوری خـاک موجـب کـاهش کیفیـت علوفـه می‌گـردد. Ashraf و همکـاران (۲۰۰٤) نیـز بـه نتـایج مشابهی در گندم دست یافتند، به طوری که با افـزایش شوری خاک، بر میزان الیـاف افـزوده و از کیفیـت آن کاسته شد. همچنـین نتـایج نشـان داد اگرچـه درصـد پروتئین و الیاف کل در شرایط شور بیشـتر از شـرایط غیر شور بود، اما عملکرد پروتئین و عملکرد الیاف در محـیط شـور نسـبت بـه محـیط غیـر شـور کـاهش معنی‌داری نشان داد که می‌توان بالاتر بودن وزن تـر و خشک خردل علوفه‌ای در محیط غیر شور نسـبت بـه محیط شور از دلایل اصلی آن دانست.

نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع می توان چنـین نتیجـه گرفـت کـه در منطقه انبارالوم در استان گلستان جهت تولید بیشـترین وزن تـر، وزن خشـک علوفـه و عملکـرد پـروتئین و همچنین کمترین میزان الیاف، بهترین تاریخ کاشـت و تراکم بوته خردل علوفه‌ای به ترتیـب ۱۵ آبـان مـاه و ۲۰۸ هزاربوته در هکتار می‌باشد.

References

Aoac. (1984). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Press. Washington, DC.

Ashraf, M.Y., Azmi, A.R., Khan, A.H. and Ala, S.A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiologiae Plantarum. 16(3): 185-191.

Ashraf, M. and McNeilly, T. (2004). Salinity tolerance in Brassica oilseeds. Critical Review of Plant Science. 23(2): 157-174.

Bates, L. S., Waldre, R. P. and Teare, I. D. (1977). Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205- 208.

Bayat, Z., Sadeghipoor, A., Yazdani, M.R. and Zolfaghari, A.A. (2020). Forage production and morphological characteristics of forage corn at different levels of water salinity and mulch. Rangeland Journal. 14(2): 248-271. (In Persian)

Beizavi, F., Baghizadeh, A., Mirzaei, S., Maleki, M. and Mozaffari, H. (2020). Investigation of some biochemical traits of tolerant and susceptible cultivars of Triticum bioticum under salinity stress. Journal of Crop Breeding. 12 (36): 216-234. (In Persian)

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982) Nitrogen-Total. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 595-624.

Carpici, E.B., Celik, N. and Bayram,G. (2010). Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. Turkish Journal of Field Crops. 15:128-32.

Deinum, B. and Dirven, J.G.P. (1972). Climate, nitrogen and grass. 5. Influence of age, light, intensity and temperature on the production and chemical composition of Corgo grass (Brachiaria ruziziensis Germain et Everard). Netherland Journal of Agricultural Science. 20: 125-32.

Deinum, B. and Dirven, J.G.P. (1975). Climate, nitrogen and grass. 6. Comparison of yield and chemical composition of some temperate and tropical grass species grown at different temperatures. Netherland Journal of Agricultural Science. 23:69-82.

Fyzbakhsh, M.T. (2009). preliminary assessment of new forage plants in Golestan province. The final report of the Centre for Agricultural Research and Natural Resources of Golestan. 60 Pp.

Hoppe, M. (2001). Voluntree camola a good forage. www.damparvaryrooz.blogfa.com/post-40.aspx.

Iptas S, Acar AA, 2006. Effects of hybrid and row spacing on maize forage yield and quality. Plant and Soil Environment. 52: 515-22.

Karimi. H. (2010). Range of range. University of Tehran Press. Papers 408.

Kazemeini, S.A., Edalat, M., Shekoofa, A. and Hamidi, R. (2010). Effect of Nitrogen and Plant Density on Rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Applied Science. 10(14): 1461-1465.

Kleunen, M.V., Fischer, M. and Schmid, B. (2001). Effects of intraspecific competition on size variation and reproductive allocation in a clonal plant. Oikos. 94: 515-524. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.940313.x.

Li-chao, Z., Rui-zhi, X., Bo, M., Shao-kun, L. and Da-ling, M. (2018). Evaluation and analysis of intraspecific competition in maize: A case study on plant density experiment. Journal of Integrative Agriculture. 17(10): 2235-2244.

Mamun, F., Ali, M. H., Chowdhury I. F., Hasanuzzaman, M. and Matin, M. A. (2014). Performance of Rapeseed and Mustard Varieties Grown Under Different Plant Density. Scientia Agriculturae. 8 (2): 70-75.

Moaveni, P, 2010. Basis of physiology of crops in dry and salty conditions. Ghods university publication (In Persian).

Mojaddam, M., Sakinejad, T., Shokoohfar, A. and Esmailipour, N. (2016). Effect of plant density and Cycocel on quantitative and protein characteristics of southern barely cultivar. Crop Physiology Journal. 29: 121-134. (In Persian)

Monirifar, H., Rashidi, V., Hassanzadeh, M., Ghorbi, M. and Ghassemi, S. (2020). Comparison of Salinity Tolerance of Common and Improved Genotypes of Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in Tabriz-plain. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. 30(1): 109-119. (In Persian)

Omara, A.E. and El-Gaafarey, T. (2018). Alleviation of Salinity Stress Effects in Forage Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) by Bradyrhizobium sp. Inoculation. Microbiology Research Journal International. 23(3): 1-16.

Parvizi, S., Amirnia, R., Bernousi, A., Pasban Islam, B., Hassanzadeh Ghort Tappeh, A. and Rai, (2011). The effect of different levels of density on grain filling speed and process, yield and yield components in pinto bean cultivars. Crop production research. (1): 87-69. (In Persian)

Phour, M. and Sindhu, S.S. (2020). Amelioration of salinity stress and growth stimulation of mustard (*Brassica juncea* L.) by salt-tolerant Pseudomonas species. Applied Soil Ecology 149: 103518.

Qun, H., Wei-qin, J., Shi, Q., Zhi-peng, X., Yajie, H., Bao-wei, G., Guodong, G., Hui, G., Hong-cheng, Z. and Hai-yan, W. (2020). Effect of wide-narrow row arrangement in mechanical pot-seedling transplanting and plant density on yield formation and grain quality of japonica rice. Journal of Integrative Agriculture. 19(5): 1197-1214.

Rahimi Tashi, T. and V. Niknam. (2015). Evaluation of salicylic acid pretreatment and salinity effect on some physiological and biochemical parameters in (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Research. Iranian Journal of Biology. 28(2): 297-306 (In Persian).

Salama, H.S.A. (2019). Yield and nutritive value of maize (*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. Italian Journal of Agronomy. 14: 1383.

Setia, N., Gupta, D. and Kaur, N. (2010). Effect of induced salinity stress on growth and yield of Indian mustard (*Brassica juncea*). Environment and Ecology. 28 (2): 967-968.

Shi, D.Y., Li, Y.H., Zhang, J.W., Liu, P., Zhao, B. and Dong, S.T. (2016). Effects of plant density and nitrogen rate on lodging-related stalk traits of summer maize. Plant, Soil and Environment. 62: 299-306.

Tavassoli, A., Mousavi, T., Piri, I. and Babaian, M. (2018). Effect of plant density and weed control on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Agroecology journal. 10 (1): (In Persian)

Wang, C., Ruan, R.W., Yuan, X. H., Hu, D., Yang, H., Li, Y. and Yi, Z.L. (2015). Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the lignin synthesis in the culm in relation to lodging resistance of buckwheat. Plant Production Science. 18: 218-27.

Weiner, J. (2004). Allocation, plasticity and allometry in plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 6: 207–215. https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083.

Zhao, G. Q., Ma, B. L. and Ren, C. Z. (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science. 47: 123-131.

Zheng, M., Chen, J., Shi, Y., Li, Y., Yin, Y., Yang, D., Luo, Y., Pang, D., Xu, X., Li, W., Ni, J., Wang, Y., Wang, Z. and Li, Y. (2017). Manipulation of lignin metabolism by plant densities and its relationship with lodging resistance in wheat. Scientific Reports. 7: 41805.

Zlatev, Z.S. and Yordanov, I.T. (2007). Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarin Journal of Plant Physiology. 30(3-4): 3-18.