Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Evaluation of forage maize (*Zea mays* L.) yield in intercropping with pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under deficit irrigation and spermidine foliar application

Zohreh Emdadi[1], Seyed Mohammad Bagher Hoseini[2*], Mohammad Reza Jahansuz[3], Behnam Kamkar[4]

[1] PhD Student in Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: z.emdadi.1389@gmail.com
[2] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: bhoseini@ut.ac.ir
[3] Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: jahansuz@ut.ac.ir
[4] Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: behnam.kamkar@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/09/25
Revised: 2022/11/08
Accepted: 2022/12/17

Keywords:
Evaporation pan
Intercropping pattern
Land equivalent ratio
Semi-arid areas
Sustainability

ABSTRACT

Background and objectives: Providing future food demand by providing a solution to achieve greater water use efficiency in the water shortage throughout the world, is a major priority in agriculture. Therefore, in arid and semi-arid countries, it is necessary to use methods to improve irrigation management in all maize planting systems. The use of intercropping systems in arid areas where water deficiency poses a serious threat to agricultural sustainability is an effective strategy to reduce the challenge of water scarcity. Deficit irrigation, which means reducing water consumption per unit area, is another way to manage irrigation. Another management strategy to improve production and increase plant tolerance to water scarcity is the use of polyamines as an external source that increases plant tolerance and growth. This study was performed to evaluate the yield of forage maize and pinto bean under deficit irrigation and spermidine foliar application treatments.

Materials and Methods: An experiment was conducted as split split plots based on a randomized complete block design with three replications. Main plots comprised three irrigation levels ((based on 60 (as control: NI), 80 and 100 mm cumulative evaporation from Class A evaporation pan as deficit irrigation (DI_{80} and DI_{100})), subplots included foliar and non-foliar spraying of spermidine and sub-sub-plots consisted five intercropping pattern (maize monoculture (Z), bean monoculture (F), intercropping of 50% maize: 50% bean, (Z %50: F %50), 80% maize: 60% bean (Z %80: F %60) and 80% maize: 40% bean (Z %80: F %40). It was carried out in the research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources of the University of Tehran in the 2009-2010 year.

Results: the result showed that the experimental treatments was significant on maize Fresh and dry forage yield, bean grain and biological yield, bean and maize leaf area index. Due to the higher

planting area in bean and maize monoculture treatments, the highest bean grain yield (2.62 t/ha) and fresh yield of maize (66.53 t/ha) were related to monoculture under normal irrigation and spraying treatments, Land Equivalent Ratio (LER) in all intercropping patterns was more than one, indicating their superiority over monoculture treatments that indicated higher ground productivity in intercropping pattern than in monoculture of crops all levels of irrigation. Deficit irrigation up to 80 mm, decreased maize Fresh and dry forage yield, bean grain and biological yield less than 10 percent and spermidine increased all traits values. The lowest bean grain yield (0.56 t/ha) and fresh yield of maize (29.92 t/ha) were obtained from 80%: 40% and 50%: 50% under the lowest irrigation rate and non-foliar spraying, respectively.

Conclusion: the result showed that intercropping pattern and spraying treatments is usefulness. Due to the slight decrease in forage maize yield in 80 mm evaporation and additive intercropping patterns (less than 6 and 20%, respectively, compared to monoculture under normal irrigation and non- foliar spraying), if the goal is to produce forage maize, deficit irrigation up to 80 mm evaporation from the pan and additive intercropping along with spermidine foliar application is recommended for maize and bean cultivation to increase the sustainability and forage production in Karaj area.

Cite this article: Emdadi, Z., Bagher Hoseini, S.M., Jahansuz, M.R., Kamkar, B. 2023. Evaluation of forage maize (*Zea mays* L.) yield in intercropping with pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under deficit irrigation and spermidine foliar application r. *Crop Production Journal*, 16 (1), 177-200.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.20613.2534
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

ارزیابی عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسپرمیدین

زهره امدادی[۱]، سیدمحمدباقر حسینی[۲*]، محمدرضا جهانسوز[۳]، بهنام کامکار[۴]

[۱] دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: z.emdadi.1389@gmail.com

[۲] دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: bhoseini@ut.ac.ir

[۳] استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: jahansuz@ut.ac.ir

[۴] استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: behnam.kamkar@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

واژه‌های کلیدی:
روغن
عملکرد
کلزا
Pseudomonas

چکیده

سابقه و هدف: تأمین نیازهای غذایی آینده با ارائه راهکاری جهت دست‌یابی به کارایی مصرف آب بیش‌تر با توجه به مسئله کمبود آب در جهان، به‌عنوان اولویت اصلی در کشاورزی مطرح است. بنابراین، در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک، لازم است روش‌هایی جهت بهبود مدیریت آبیاری در همه‌ی سیستم‌های کاشت ذرت، به‌کار گرفته شود. استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط در مناطق خشک که کمبود آب، به‌عنوان یک تهدید جدی در پایداری کشاورزی است، راهبردی موثر در کاهش چالش کم‌آبی می‌باشد. کم‌آبیاری، به معنای کاهش آب مصرفی در واحد زمین، روشی دیگر برای مدیریت آبیاری است. یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی بهبود تولید و افزایش تحمل گیاهان در برابر کمبود آب، استفاده از پلی‌آمین‌ها به عنوان منابع خارجی است که افزایش تحمل و رشد گیاه را در پی دارد. این پژوهش با هدف بررسی عملکرد ذرت علوفه‌ای و لوبیاچیتی در شرایط کم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسپرمیدین، انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی عملکرد ذرت علوفه‌ای و لوبیاچیتی در شرایط کم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسپرمیدین، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی در برگیرنده سه سطح آبیاری بر اساس ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (به ترتیب به‌عنوان شاهد و دو سطح کم‌آبیاری)، کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی اسپرمیدین و کرت‌های فرعی - فرعی در برگیرنده پنج الگوی کشت مخلوط (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیاچیتی، کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیاچیتی، کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت: ۶۰ درصد لوبیا چیتی و کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت: ۴۰ درصد لوبیاچیتی) بود که در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی روی صفات عملکرد علوفه تر و

خشک ذرت، عملکرد دانه و ماده خشک لوبیا چیتی و شاخص سطح برگ گیاهان مورد بررسی معنادار بود. اگرچه با توجه به افزایش سطح زیر کشت ذرت و لوبیا در تیمارهای تک کشتی، بیش‌ترین عملکرد دانه لوبیا (۲/٦۲ تن در هکتار) و عملکرد علوفه تر ذرت (٦٦/۵۳ تن در هکتار) مربوط به تیمار تک کشتی تحت آبیاری نرمال و محلول‌پاشی بود، میزان نسبت برابری زمین (LER) در تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و در سطوح آبیاری بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری و سودمندی کشت مخلوط نسبت به تیمارهای تک کشتی در هر دو شرایط کم‌آبیاری و آبیاری نرمال است. کاهش میزان آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر، منجر به کاهش کم‌تر از ۱۰ درصد عملکرد علوفه تر و خشک ذرت و عملکرد دانه و ماده خشک لوبیا چیتی شد و محلول‌پاشی اسپرمیدین منجر به افزایش تمامی صفات گردید. کم‌ترین عملکرد دانه لوبیا (۰/٥٦ تن در هکتار) و علوفه تر ذرت (۲۹/۹۲ تن در هکتار) به ترتیب از کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت: ٤۰ درصد لوبیاچیتی و کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت: ۵۰درصد لوبیاچیتی تحت کم‌ترین میزان آبیاری و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده از این مطالعه اثر مفید کشت مخلوط لوبیاچیتی با ذرت و کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین بر بهره‌وری منابع را نشان داد و با توجه به افت ناچیز عملکرد علوفه ذرت در کم‌آبیاری ۸۰ میلی‌متر و الگوهای کشت مخلوط افزایشی (به‌ترتیب کم‌تر از شش و ۲۰ درصد نسبت به تیمار کشت خالص در آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی) به نظر می‌رسد چنانچه هدف تولید علوفه ذرت باشد، می‌توان کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کشت مخلوط افزایشی همراه با محلول‌پاشی اسپرمیدین را برای کشت ذرت و لوبیا جهت افزایش پایداری و تولید علوفه در منطقه کرج به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، پایداری، تشتک تبخیر، مناطق نیمه‌خشک، نسبت برابری زمین.

استناد: امدادی، ز.، حسینی، س.م.ب.، جهانسوز، م.ر.، کامکار، ب. (۱٤۰۲). ارزیابی عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسپرمیدین. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱٦ (۱)، ۲۰۰-۱۷۷.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20613.2534

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

از بین عوامل زنده و غیر زنده محیطی مؤثر بر رشد، تأمین آب به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر تولید و بهره‌وری گیاهان مطرح است و با توجه به عدم قطعیت و محدودیت منابع آبی، تولیدکنندگان کشاورزی که وابسته به آبیاری هستند، به دنبال راه‌حل‌هایی برای بهینه کردن تولید از طریق چگونگی مدیریت توزیع منابع محدود آب می‌باشند (۱، ۲). به عبارتی، مدیریت نامطلوب در استفاده از منابع آبی و خاکی به‌ویژه در نظام‌های رایج کشت که منجر به تهدید امنیت منابع جهانی شده است، ضرورت به‌کارگیری تمهیداتی جهت کاهش هدرروی این منابع در بوم نظام‌های کشاورزی را توجیه می‌کند (۳).

گیاه ذرت در طیف گسترده‌ای از مناطق زراعی و اقلیمی در جهان قادر به رشد بوده و جزء اصلی غذای انسان و دام و امنیت غذایی جهانی می‌باشد (٤). ذرت علاوه بر این‌که به مقدار آب بیش‌تری احتیاج دارد، یکی از گیاهان حساس به کمبود آب محسوب می‌شود (٥). میزان آب مورد نیاز طی دوره رشد ذرت (۱۱۰-۸۰ روز) ۸۰۰-۵۰۰ میلی‌متر بوده و تأمین نیازهای غذایی آینده با ارائه راهکاری جهت دست‌یابی به کارایی مصرف آب بیش‌تر با توجه به مسئله کمبود آب در جهان، به‌عنوان اولویت اصلی در کشاورزی است (٤). بنابراین، در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک، لازم است روش‌هایی به‌منظور بهبود مدیریت آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب در همه‌ی سیستم‌های کاشت ذرت، به‌کار گرفته شود (٦).

نظام‌های کشت مخلوط، در اثر تعاملات مثبت و استفاده کامل و بهینه از منابع، تولید مواد غذایی در واحد مصرف آب و سایر نهاده‌ها را در محصولات غالب افزایش و تأثیر کمبود آب را روی برخی از گونه‌های مغلوب کاهش می‌دهند و بدین ترتیب افزایش بهره‌وری از منابع مختلف در جوامع گیاهی حتی تحت شرایط کمبود آب را منجر می‌شوند (۳). در واقع کشت مخلوط از طریق افزایش تنوع با تفاوت طول ریشه گیاهان در سیستم و جذب آب و عناصر غذایی از لایه‌های متفاوت خاک (٦)، اختلاف زمانی و مکانی اوج تقاضا برای منابع در خاک در مراحل حساس رشد از جمله پر کردن دانه، عامل کاهش رقابت برای منابع بین محصولات زراعی و استفاده مؤثر از آب قابل دسترس و در نتیجه افزایش بهره‌وری سامانه‌ها می‌شوند (۷، ۸). بنابراین، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط در مناطق خشک که کمبود آب، به‌عنوان یک تهدید جدی در پایداری کشاورزی است، راهبردی مؤثر در کاهش چالش کم‌آبی می‌باشد (٦).

کم‌آبیاری، به معنای کاهش آب مصرفی در واحد زمین، روشی دیگر برای مدیریت آبیاری است و امروزه استفاده از شیوه کم‌آبیاری به‌عنوان یک استراتژی بهینه برای پاسخ به منابع محدود آب، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (۱، ۲). در پژوهشی، کم‌آبیاری منجر به کاهش تنها هفت درصد از عملکرد ذرت نسبت به آبیاری کامل شد. در حالی‌که کارایی مصرف آب را دو تا سه برابر افزایش داد (۹). در نتیجه می‌توان کم‌آبیاری را، به‌عنوان روشی برای ثبات و پایداری عملکرد در مناطق نیمه‌خشک و افزایش بهره‌وری مصرف آب به جای حصول حداکثر عملکرد مطرح نمود (۱۰).

ترکیبات آلی مانند پلی‌آمین‌ها در شرایط وقوع تنش‌های محیطی، نقش حفاظتی در گیاه بازی می‌کنند و سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها می‌شوند. در واقع، ارقام متحمل به خشکی از طریق تجمع پلی آمین‌ها با تنش مقابله می‌کنند (۱۱، ۱۲). بنابراین، یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی بهبود تولید و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش، استفاده از این ترکیبات به‌عنوان منابع خارجی است که افزایش تحمل و در

نتیجه افزایش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارد که امروزه توجه زیادی به خود جلب کرده است (۱۱، ۱۲، ۱۳). پلی‌آمین‌ها ترکیبات نیتروژنی و پلی سنتتیک با وزن مولکولی پایین هستند که زنجیره‌های کربن بلند دارند و دارای گروه‌های متفاوت آمینه هستند (۱۱، ۱۲، ۱۳). پلی‌آمین‌ها شامل اسپرمین، اسپرمیدین و پوتریسین به شکل آزاد، محلول و غیر محلول در همه سلول‌های یوکاریوتی و پروکاریوتی وجود دارند و در نتیجه عملکرد فیزیولوژیکی و شیمیایی چندگانه، به‌عنوان تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در ارتباط با رشد، توسعه و تنش‌های غیر زنده گیاهان عمل می‌کنند (۱۳). گزارش شده که در اثر کاربرد اسپرمیدین، به میزان ۱۰ درصد ارتفاع ساقه، ۳۲ درصد وزن خشک ساقه و به میزان ۱۷ درصد عملکرد دانه لوبیا در مقایسه با تیمار کنترل در شرایط کم‌آبی، افزایش یافته است (۱٤). همچنین اسپرمیدین، تجزیه کلروفیل را در برگ‌های ذرت تحت تنش خشکی بوسیله تنظیم فعالیت آنزیم‌های مربوط به بیوسنتز کلروفیل به تاخیر انداخت و بدین ترتیب سبب بهبود فتوسنتز و عملکرد در شرایط تنش خشکی شد (۱۵).

تاکنون مطالعات مختلفی به‌منظور بررسی الگوی کشت بهینه و مزیت کشت مخلوط ذرت و لوبیا انجام شده و تأثیر مثبت‌شان بر کیفیت علوفه مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سعی بر آن بوده است تا سطح بهینه آبیاری از طریق پاسخ گیاهان ذرت و لوبیا چیتی به منابع محدود آب با راه‌کارهایی مانند استراتژی کم‌آبیاری، محلول‌پاشی اسپرمیدین و کشت مخلوط، مورد بررسی قرار گیرد و به‌منظور مدیریت منابع آبی و کاهش خسارت حاصل از کمبود آب، روش بهینه برای ثبات و پایداری عملکرد در مناطق نیمه‌خشک و افزایش بهره‌وری مصرف آب (عملکرد در واحد آب مصرفی) به جای افزایش عملکرد، معرفی گردد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح کم‌آبیاری، محلول‌پاشی اسپرمیدین و نسبت‌های مختلف الگوی کشت مخلوط ذرت و لوبیا چیتی به‌عنوان راهکاری در شرایط کمبود آب و برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب در این شرایط انجام شد.

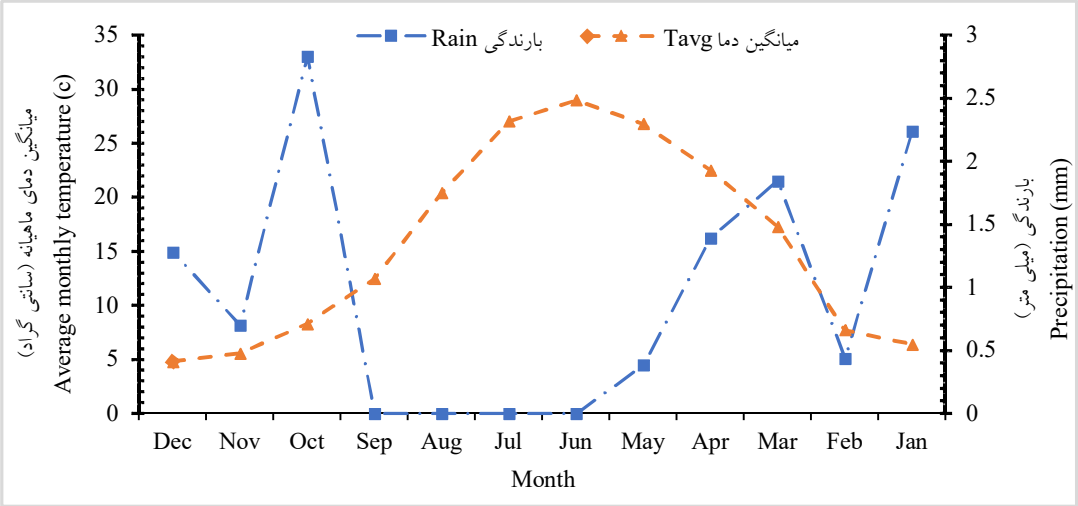
مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹ – ۱۳۹۸ در مزرعه آموزشی - پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در دولت‌آباد کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و شش دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی در ارتفاع حدود ۱۳۱۲ متری از سطح دریا اجرا شد. شهرستان کرج با بارندگی سالیانه ۲٤۷ میلی‌متر، دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. نتایج آزمون خاک و میانگین بارندگی ماهیانه مکان آزمایش طی سال زراعی ۹۹–۱۳۹۸ در جدول و شکل (۱) نشان داده شده است (آمار و اطلاعات هواشناسی استان البرز– سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان البرز).

جدول ۱– ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1. Soil physicochemical properties of the experimental field.

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	پی‌اچ pH	کربن آلی (درصد) OC (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	بافت Texture	نیتروژن (درصد) N (%)	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)
0-30	2.01	7.3	1.69	34.1	29.5	36.4	Silty clay loam	1.25	54.72	32.59



شکل ۱- میانگین بارندگی و دمای ماهیانه در طول فصل رشد سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (داده‌های اداره کل هواشناسی استان البرز).

Figure1- Mean of Precipitation and temperature of monthly during the growing season in 2019-2020.

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی در برگیرنده سطوح آبیاری در سه سطح، بر اساس ٦٠ (به‌عنوان شاهد: NI با در نظر گرفتن میانگینی از نیاز آبی متوسط هر دو گیاه)، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان کم‌آبیاری (به‌ترتیب DI100 و DI80) در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین (SPD و Non SPD) (به‌عنوان یک ترکیب نیتروژنی تنظیم‌کننده رشد گیاهی با فرمول خطی NH2(CH2)3NH(CH2)4NH2 و تهیه شده از نمایندگی شرکت Sigma- Aldrich آمریکا واقع در تهران)، با غلظت نیم میلی‌مولار بود. کرت‌های فرعی – فرعی در برگیرنده تیمارهای نوع کشت با آرایش کاشت ۲:۲ (دو ردیف از هر گیاه) در پنج سطح (کشت خالص ذرت (Z%100) رقم ٤١٠، کشت خالص لوبیا چیتی نیمه‌ایستاده (F%100) رقم غفار، کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت با ۵۰ درصد لوبیا چیتی (Z%50:F%50)، کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت با ٦٠ درصد لوبیا چیتی (Z%80:F%60) و کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت با ٤٠ درصد لوبیا چیتی (Z%80:F%40)) بود. ارقام مورد نظر براساس ویژگی‌های متوسط رس، تحمل به خشکی انتخاب و از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند و از ارقامی هستند که کشت آن‌ها در کرج توصیه شده است. کشت ذرت علوفه‌ای و لوبیا چیتی، در نیمه اول تیرماه و بعد از برداشت غلات و به‌عنوان کشت دوم، به‌صورت دستی انجام شد. در این پژوهش، تراکم بوته مورد استفاده برای تک کشتی ذرت ۸۳۰۰۰ و لوبیا چیتی ۲۰۰۰۰ بوته در هکتار بر اساس توصیه منبع تهیه بذور (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) در نظر گرفته شد. برای اعمال تیمارهای کشت مخلوط افزایشی، فاصله بین ردیف‌ها نصف و تراکم بذرها بدین ترتیب افزایش یافت. در ارتباط با تفکیک اثر افزایش تراکم از اثر تیمار (کشت مخلوط) لازم به توضیح است که در این پژوهش، افزایش تراکم ماهیت این تیمار را مشخص می‌کند. درواقع افزایش تراکم روشی در کشت مخلوط است که در واحد سطح یکسان با افزایش تراکم گیاهان زراعی می‌توان از زمین در صورت مناسب بودن سایر شرایط عملکرد بیش‌تری کسب نمود.

بنابراین، افزایش تراکم در کشت مخلوط افزایشی به‌عنوان یک تیمار جداگانه نیست و در واقع در این حالت واحد سطح یا زمین مورد استفاده افزایش نیافته بلکه در واحد سطح برابر با تغییر فاصله بوته‌ها یا همان تغییر تراکم و افزایش تعداد بوته‌ها نسبت به حالت تک کشتی، آزمایش انجام می‌شود. بنابراین اثر افزایش تراکم در کشت‌های افزایشی جدای از تیمار نیست و کشت خالص در اینجا با کشت افزایشی به عنوان دو تیمار مقایسه شده‌اند. در واقع همان تیمار تراکم، نوعی از پیاده سازی کشت مخلوط می باشد و به عنوان تیمار جداگانه محسوب نمی‌شود. در کشت‌های مخلوط افزایشی مجموع نسبت‌های کشت دو گیاه بیش‌تر از صد و یا در واقع بیش‌تر از تک کشتی درنظر گرفته شد. در این شرایط می‌بایست تراکم بوته گیاه اصلی (در اینجا ذرت با تراکم مطلوب ۸۳۰۰۰ بوته در هکتار در کشت ۱۰۰ درصد ذرت) بیش‌تر از گیاه فرعی (در اینجا لوبیا با تراکم مطلوب ۲۰۰۰۰۰ بوته در هکتار در کشت ۱۰۰ درصد لوبیا) باشد. در بیش‌تر موارد در کشت‌های مخلوط افزایشی تراکم گیاه اصلی (در اینجا ذرت) ثابت در نظر گرفته شده و گیاه دوم به عنوان گیاه فرعی به آن اضافه می‌شود. بنابراین، ترجیح داده شد در مخلوط‌های افزایشی به جای استفاده از تراکم ۱۰۰ درصد ذرت، از تراکم ۸۰ درصد ذرت (٦٦٤۰۰ بوته در هکتار ذرت) استفاده شود که در نهایت با تراکم ٦۰ درصد لوبیا (۱۲۰۰۰۰بوته در هکتار لوبیا) تراکم کل (مجموع تراکم دو گیاه) نسبت به تراکم مرجع، ٤۰ درصد افزایش پیدا کرده است. در کشت مخلوط افزایشی ۸۰:٤۰ نیز تراکم ۸۰ درصد ذرت (٦٦٤۰۰ بوته در هکتار ذرت) با تراکم ٤۰ درصد از ۲۰۰۰۰۰ بوته لوبیا (یعنی ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار لوبیا در مخلوط افزایشی ٤۰ درصد لوبیا) در مجموع تراکم کل ۲۰ درصد نسبت به تراکم مرجع افزایش پیدا کرده است.

مراحل داشت مانند کنترل علف‌های هرز به موقع و به روش معمول انجام شد. کودپاشی بر اساس نیاز رشدی گیاهان (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره برای ذرت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره برای لوبیا) به صورت یک سوم کود اوره در زمان کاشت و مابقی کود با اقساط مساوی در مراحل هشت برگی و تا گلدهی یا گرده‌افشانی به کرت‌های آزمایشی داده شد. ۱۵۰ کیلو گرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل نیز در اوایل بهار به کرت‌ها داه شده بود.

اولین آبیاری به‌منظور تسهیل در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت به‌صورت آبیاری سنگین انجام شد و آبیاری‌های بعدی با توجه به برنامه‌ی اعمال کم‌آبیاری و تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و نصب تیپ آبیاری و کنتور، انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه به استفاده از کنتور در تیمارهای مختلف کم آبیاری، مقدار آب ورودی به پلات‌ها در تمام تیمارها یکسان نبود. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، گیاهان در مجموع آب کم‌تری نسبت به تیمار ۸۰ میلی‌متر دریافت می‌کردند. همچنین فاصله زمانی بین دو آبیاری در یک تیمار (دور آبیاری) که بر اساس تبخیر تجمعی از اداره هواشناسی بدست می‌آمد، متفاوت بوده است. به این معنا که تیمار ۸۰ میلی‌متر کم آبیاری یک بار با فاصله ۸ روز، یکبار با فاصله ۱۲ روز و یا ۱۵ روز (دور آبیاری‌های متفاوت) اتفاق افتاده است. بدین ترتیب آبیاری هر تیمار (زمان رسیدن به تیمار دور آبیاری در هر بار آبیاری)، پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به مقدار تیمار مورد نظر (با استفاده از ثبت روزانه میزان تبخیر از اداره هواشناسی) و با حجم مشخص به ازای هر تیمار انجام شد. نیاز آبی هر گیاه، با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی به صورت زیر تعیین شد (۱٦).

رابطه ۱: $ET_C = K_C.ET_0$ $(ET_0 = K_P.Epan)$

که در این‌جا ET_C تبخیر و تعرق گیاه زراعی مورد نظر (میلی‌متر بر روز) می‌باشد که برای محاسبه آن می‌بایست ابتداً ET_0 یعنی تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) را از حاصل ضرب K_P یعنی ضریب تشت (بدون واحد) در Epan یعنی تبخیر تشت (میلی‌متر بر روز) به‌دست آورده و سپس در K_C که برای گیاهان مختلف در شرایط استاندارد توسط سازمان فائو در نشریه شماره ۵۶ منتشر شده است ضرب نمود (۱۶). در این پژوهش، برای تعیین ضرایب گیاهی، میانگینی از متوسط ضرایب محاسبه شده ذرت و لوبیا از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶، استفاده شد که با توجه به موقعیت و محل استقرار، به طور میانگین ۱/۲۰ منظور شد. مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری (حجم آب مورد نیاز هر تیمار در هر بار آبیاری)، با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر (که طی ماه‌های کاشت تا زمان گلدهی در ذرت علوفه‌ای که مصادف با اتمام اعمال کم‌آبیاری بود، بارندگی رخ نداد)، مساحت هر کرت، راندمان آبیاری (۸۰ درصد) با استفاده از کنتور، اندازه گیری و کنترل شد. به این ترتیب اعمال کم‌آبیاری بعد از استقرار کامل گیاه از مرحله ۶-۸ برگی ذرت تا زمان گلدهی در ذرت علوفه‌ی ادامه داشت. به منظور تعیین سطح برگ در مرحله گلدهی با استفاده از یک کوادرات یک مترمربعی نمونه‌گیری انجام و بعد از جدا کردن برگ‌ها، سطح آن‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Windias 3، ایران) اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری برای تخمین عملکرد علوفه ذرت در نیمه دوم شهریور ماه و زمانی انجام شد که بلال‌ها در مرحله شیری به خمیری نرم بودند. برداشت لوبیا چیتی نیز در نیمه اول مهر ماه و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با حذف اثر حاشیه و از ردیف‌های میانی به‌طور کاملاً تصادفی انجام شد. نسبت برابری زمین (Land Equivalent Ratio) از معادله (۲) به‌دست آمد (۱۷) که در آن P_1 و P_2 عملکرد ذرت و لوبیا به تفکیک در کشت مخلوط (گرم) و M_1 و M_2 عملکرد ذرت و هر یک از بقولات به تفکیک در کشت خالص هر یک (بر حسب گرم) است:

رابطه ۲: $$LER = \frac{P1}{M1} + \frac{P2}{M2}$$

به منظور تجزیه داده‌ها، در ابتدا نرمال بودن و همگنی واریانس با استفاده از آزمون‌های شاپیرو- ویلک (Shapiro-Wilk) و بارتلت (Bartlet) مورد بررسی قرار گرفت (۱۸) و با توجه عدم نرمال بودن داده‌ها، از تبدیل Box-Cox جهت نرمال‌سازی استفاده شد (۱۸) که یک روش تبدیل خودکار داده محسوب می‌گردد. در این نوع تبدیل پارامتر λ برای داده‌ها محاسبه شده و بر اساس مقدار عددی آن، نوع تبدیل داده بر مبنای روابط زیر تعیین می‌شود:

$(y+1^{\lambda}-1)/\lambda$	$y \geq 0; \lambda \neq 0$
$\log(y+1)$	$y \geq 0; \lambda = 0$
$-(-y+1^{2-\lambda}-1)/(2-\lambda)$	$y < 0; \lambda \neq 2$
$-\log(-y+1)$	$y < 0; \lambda = 2$

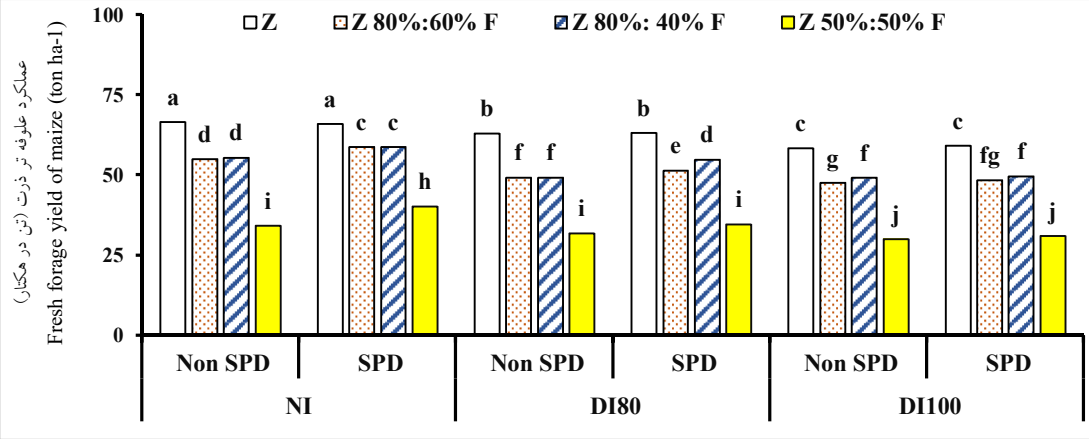
جهت محاسبه λ و تبدیل داده‌ها، تابع Box-Cox از بسته MASS در نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش حاضر کلیه صفت‌ها بر اساس این روش تبدیل شده است. تجزیه واریانس داده‌ها براساس آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار R انجام و براساس داده‌های تبدیل شده گزارش شده است. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱) استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد تر علوفه ذرت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که برهم‌کنش سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × الگوی کشت مخلوط به جزء عملکرد وزن خشک ذرت، روی تمامی صفات در سطح

احتمال یک درصد و روی شاخص سطح برگ ذرت و نسبت برابری زمین در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود. مقایسه میانگین اثرات سه جانبه سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × الگوی کشت مخلوط (شکل۲) نشان داد بیش‌ترین مقدار عملکرد علوفه تر ذرت (٦٦/٥٣ تن در هکتار) مربوط به تیمار تک کشتی تحت شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی شده با اسپرمیدین بود. کم‌ترین مقدار عملکرد علوفه تر نیز (۲۹/۹۲ تن در هکتار) در کشت مخلوط جایگزینی تحت کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک و شرایط عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. با کاهش میزان آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک، ۱۲/۱۷ درصد از عملکرد علوفه تر ذرت نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص کاسته شد. در حالی‌که اعمال کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، ٥/٢٤ درصد کاهش عمکرد علوفه تر ذرت را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص در پی داشت که با توجه به افت ناچیز عملکرد در ۸۰ میلی‌متر تبخیر، می‌توان این مقدار آبیاری را برای دست‌یابی به عملکرد بهینه ذرت در شرایط آب‌و هوایی کرج به‌کار برد. در تمامی سطوح تیمارهای آبی، پس از تیمار تک کشتی، تیمارهای افزایشی ٦٠ درصد :۸۰ درصد و ٤٠ درصد :۸۰ درصد در آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی بیش‌ترین عملکرد علوفه تر در هکتار را تولید کردند که به ترتیب ١٧/٤٥ و ١٦/٧٢ درصد کاهش عمکرد علوفه تر ذرت را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص در پی داشت. همچنین تیمار محلول‌پاشی با اسپرمیدین در تمامی سطوح آبیاری و الگوی کشت مخلوط عملکرد علوفه‌تر بیش‌تری داشت. طی بررسی تأثیر نظام‌های کشت مخلوط، بیش‌ترین عملکرد در هکتار در کشت خالص ذرت مشاهده شد که به نظر می‌رسد به‌دلیل کاهش رقابت برون گونه‌ای لوبیا نسبت به رقابت درون گونه‌ای ذرت در تیمار کشت مخلوط جایگزینی، فراهمی فضای بیش‌تر برای رشد ذرت، انتقال بیش‌تر ماده فتوسنتزی به بلال‌ها و سطح زیر کشت بیش‌تر بوته‌ها در کشت خالص باشد (۱۹). در کشت مخلوط الگوی کشت و سطح زیر کشت، به‌عنوان متغیّری تأثیرگذار روی عملکرد است. بنابراین بهتر است که عملکرد در واحد تک بوته در تراکم و سطح بهینه با کشت مخلوط مقایسه شود (۲۰). طی بررسی تأثیر کشت مخلوط و کم‌آبیاری مشاهده شد که ذرت در تک کشتی و تحت آبیاری نرمال، بیش‌ترین عملکرد علوفه را به‌دست آورد و با اعمال کم‌آبیاری از عملکرد علوفه ذرت کاسته شد (۲۱). کاهش عملکرد ذرت در سیستم کشت مخلوط نسبت به عملکرد ذرت در سیستم کشت خالص می‌تواند در نتیجه کاهش وزن دانه ذرت در کشت مخلوط باشد (۲۲). همچنین در پژوهشی، کاهش آبیاری باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکرد ذرت شد. درحالی‌که محلول پاشی ۰/۱ میلی مولار اسپرمیدین، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌ها، اثر کمبود آب بر عملکرد را کاهش داد. به‌طوری که محلول‌پاشی باعث ۸ درصد افزایش عملکرد در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال شد (۲۳). پژوهش‌گران بین مقادیر عملکرد دانه ذرت و سویا در سیستم کشت مخلوط و تک کشتی با مقدار آب مصرفی همبستگی گزارش کردند. به‌طوری که کاهش میزان آب آبیاری به دلیل کاهش رطوبت موجود در خاک منجر به کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود که باعث کاهش عملکرد ذرت و سویا در کشت مخلوط شده و بیش‌ترین عملکرد از تیمار آبیاری نرمال به‌دست می‌آید (۲۲). عملکرد پایین ذرت در مقادیر آب کم‌تر مصرف شده ممکن است به دلیل عوامل متعددی باشد. رشد سلول‌ها مهم‌ترین فرآیندی است که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد و کاهش رشد سلول‌ها

منجر به کاهش ارتفاع و رشد اندام هوایی در گیاه می‌شود. همچنین، تعامل قوی بین آب و در دسترس بودن مواد مغذی گیاه وجود دارد (۲٤). گزارش شده است که مقدار کم‌تر آب موجود در خاک باعث تأخیر ریشه‌زایی می‌شود که همراه با کاهش در سطح برگ و وزن خشک ساقه و ریشه بوده و کاهش عملکرد به دلیل فتوسنتز کم‌تر، در این شرایط مشاهده می‌شود. این تغییرات مورفولوژیکی در رشد را می‌توان به عنوان سازگاری مورفولوژیکی گیاه با تنش‌های آبی و محیطی برای کاهش تعرق و کاهش مصرف آب در نظر گرفت (۲٤). فرآیند جذب نیتروژن نیز تا حد زیادی به تحرک آب در خاک بستگی دارد. زیرا نیتروژن فقط می‌تواند توسط ریشه‌ها جذب شود و پس از حل شدن در آب به قسمت بالای زمینی گیاهان منتقل شود. بدین ترتیب کمبود آب باعث کاهش جذب آمونیوم و نیترات از طریق تاثیر منفی بر ریشه‌ها توسط گیاهان می‌شود (۲۳). محلول‌پاشی اسپرمیدین از طریق افزایش سرعت انتقال نیترات در آوند چوبی منجر به سازگاری رشد و نمو گیاهان در محیط های نوسان‌دار و تنش‌زا می‌شود (۲۳).

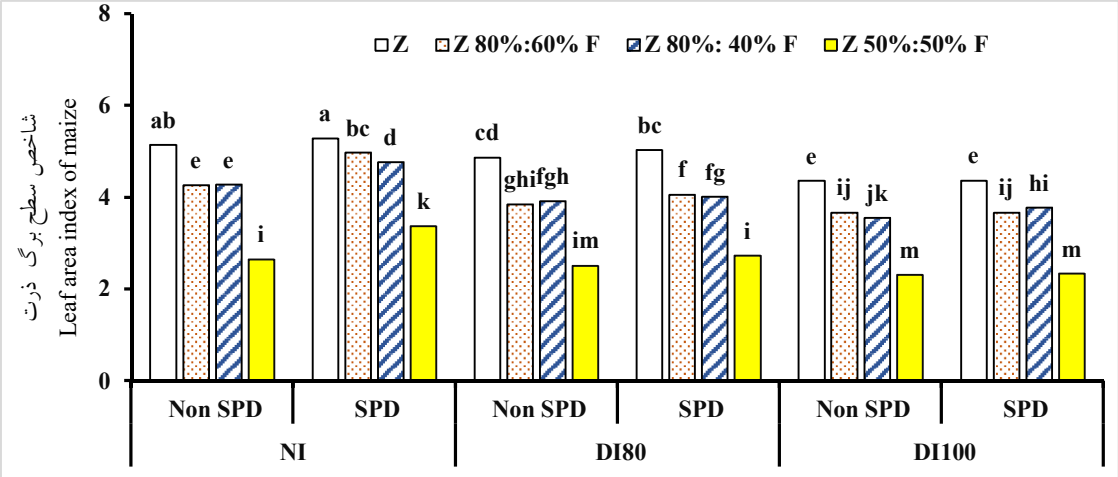


شکل۲- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی اسپرمیدین و کشت مخلوط بر عملکرد علوفه تر ذرت (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 2- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying, and intercropping on fresh forage yield of maize (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

شاخص سطح برگ ذرت: مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × الگوی کشت مخلوط روی شاخص سطح برگ ذرت نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ (۵/۲۹) مربوط به تیمار تک کشتی تحت شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی با اسپرمیدین بود (شکل ۳). کم‌ترین مقدار شاخص سطح برگ ذرت نیز (۲/۳۱) در تیمار کشت مخلوط جایگزینی با کاهش میزان آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد که با محلول‌پاشی در این شرایط تفاوت معناداری نداشت. با کاهش میزان آبیاری از شاخص سطح برگ ذرت در تمامی الگوهای کشت مخلوط کاسته شد. همچنین در تمامی سطوح تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی، پس از تیمار تک کشتی، تیمارهای افزایشی ٦۰ درصد :۸۰ درصد و ٤۰ درصد :۸۰ درصد بیشترین شاخص سطح برگ را تولید کردند که به نظر می‌رسد با توجه به الگوی کشت مناسب جهت بهبود دریافت و کاهش تلفات نور و دیگر منابع در کشت

مخلوط باشد. در تمام الگوهای کشت و در تمام سطوح آبیاری، تیمار محلول‌پاشی با اسپرمیدین شاخص سطح برگ بیش‌تری نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت. در بررسی تأثیر کم‌آبیاری روی سطح برگ ذرت، بیش‌ترین سطح برگ ذرت با آبیاری نرمال و کم‌ترین میزان آن در کم‌آبیاری به‌دست آمد (۲۱). در اثر محلول‌پاشی اسپرمیدین، شاخص سطح برگ لوبیا در شرایط کمبود آب، نسبت به حالت عدم محلول‌پاشی افزایش نشان داد (۱۴). از آن‌جاکه غشاهای سلولی اولین نقطه اصلی در سلول هستند که در معرض آسیب‌های ناشی از استرس قرار می‌گیرند و افزایش درصد نشت الکترولیت منجر به مرگ سلول می‌شود، استفاده از پلی‌آمین‌ها که باعث افزایش پایداری غشای سلولی است، در این شرایط توصیه شده است (۲۵). نتایج مطالعات نشان داده است که در مقایسه با ذرت تحت آبیاری نرمال، میزان کلروفیل برگ ذرت تحت کمبود آب به طور معناداری در تمام مراحل کاهش یافت و محلول‌پاشی ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش میزان کلروفیل برگ ذرت در شرایط کمبود آب شد (۲۳). گزارش شده که محلول‌پاشی اسپرمیدین، میزان فتوسنتز خالص را پس از گلدهی حفظ می‌کند و باعث می‌شود سرعت فتوسنتز به آرامی کاهش یابد و برگ‌ها یک دوره عملکرد فتوسنتزی طولانی را حفظ کنند. بدین ترتیب شرایط برای جذب و سنتز کربوهیدرات‌های بیش‌تر برای تامین پر شدن دانه و افزایش تجمع محصولات فتوسنتزی مهیا می‌شود (۲۳). درواقع، در شرایط کمبود آب در مقایسه با آبیاری نرمال، محلول‌پاشی با اسپرمیدین، به طور موثر پیری برگ را در مرحله پس از گلدهی به تاخیر انداخت و مقادیر سطح برگ و فتوسنتز بالاتر و فعالیت و رشد بیش‌تر ریشه را باعث شد که تجمع ماده خشک بالا را تضمین می کند (۲۳).



شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ ذرت (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 3- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on leaf area Index of maize (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data)

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی اسپرمیدین و الگوی کشت مخلوط بر صفات ذرت و لوبیا (بر اساس داده‌های تبدیل شده).

Table 2- Analysis of variance of the effect of irrigation levels, spermidine application, and intercropping pattern on maize and common bean traits (based on transformed data).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)						
		ذرت Maize			لوبیا Common bean			
		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد علوفه خشک Biological yield	عملکرد دانه در هکتار Grain yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد زیست توده Biological yield	نسبت برابری زمین LER
تکرار Replication	2	29392 ^{ns}	1.077 ^{ns}	312.3 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.0056 ^{ns}	0.0010 ^{ns}	0.0097 ^{ns}
آبیاری (Ir) Irrigation	2	430730 ***	12.893 ***	1064.5 **	1.61 ***	0.016 ***	0.0084 ***	0.0452 *
اشتباه الف Error	4	3264	0.134	25.7	0.00044	0.00004	0.000007	0.0032
محلول‌پاشی اسپرمیدین SPD	1	84751 ***	3.407 ***	793.8 ***	0.248 ***	0.0038 ***	0.0028 ***	0.0286 *
آبیاری× محلول‌پاشی Ir × SPD	2	10028 **	1.045 ***	84.7 **	0.0035 *	0.00011 ***	0.00018 ***	0.0150 ^{ns}
اشتباه ب Error	6	577	0.038	6.9	0.00037	0.000001	0.000001	0.0033
کشت مخلوط (In) Intercropping	3	2738188 ***	42.337 ***	7344.3 ***	2.297 ***	0.47 ***	0.202 ***	0.0280 ***
کشت مخلوط × آبیاری Ir×In	6	10814 ***	0.287 ***	16.3 ***	0.029 ***	0.00078 ***	0.00029 ***	0.0246 ***
کشت مخلوط × محلول‌پاشی In×SPD	3	10434 ***	0.113 *	12.9 **	0.0047 ***	0.00016 ***	0.00017 ***	0.00095 ^{ns}
کشت مخلوط × آبیاری × محلول‌پاشی In×Ir×SPD	6	5107 ***	0.125 *	4.7 ^{ns}	0.0097 ***	0.00007 ***	0.00007 ***	0.0080 *
خطای آزمایش Error	36	739	0.039	2.7	0.00052	0.00002	0.000004	0.0025
ضریب تغییرات (درصد) (%) CV	-	22.31	23.01	21.82	1.29	23.23	12.01	26.13

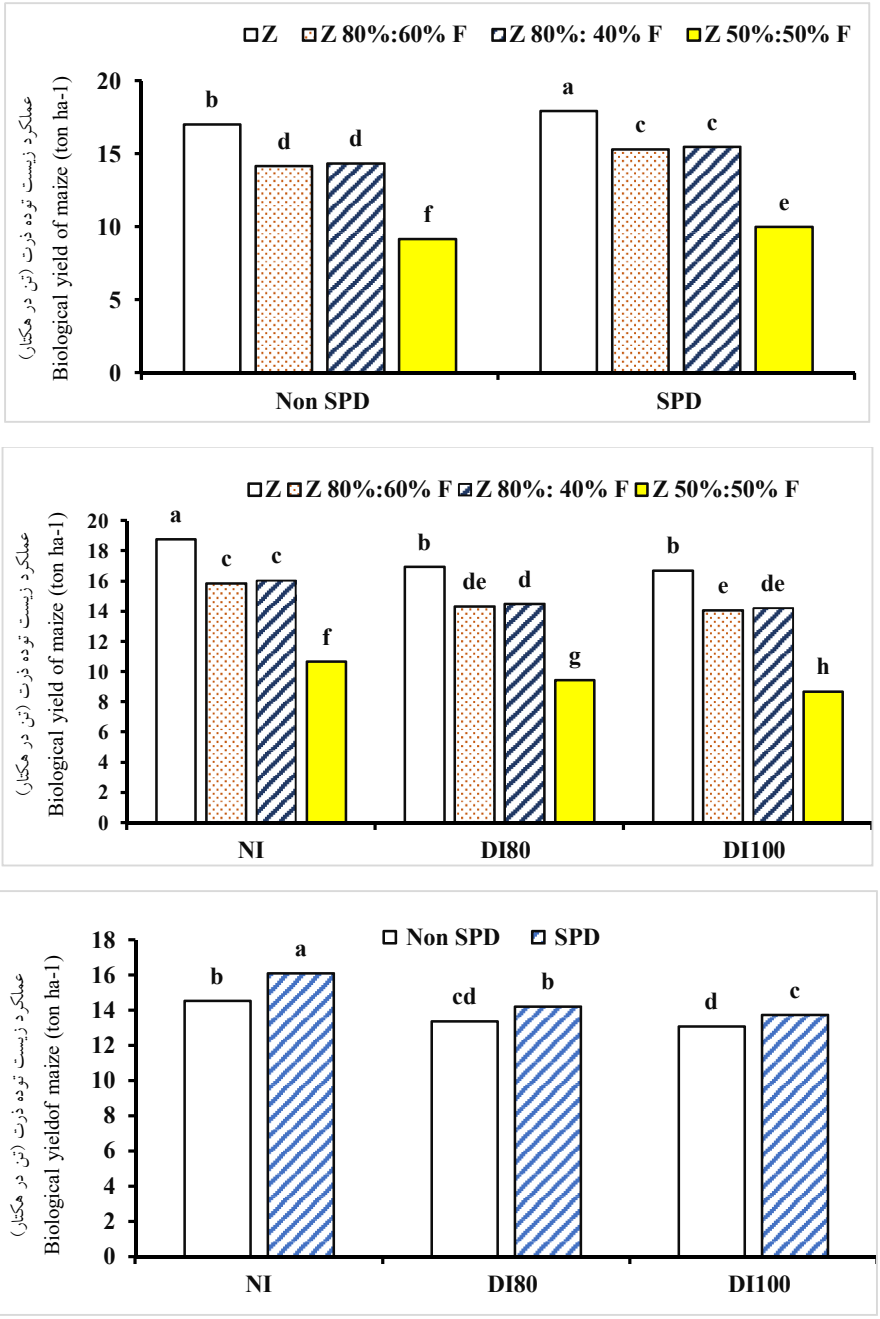
مقادیر ارائه شده در جدول مربوط به آنالیز تجزیه واریانس برای داده‌های تغییرشکل‌یافته برای کل صفات است.

Reported values in the table are obtained from the analysis of the variance of transformed data for all variables.

ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار؛ *، **، *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ است.

ns: non-significant difference; *, **, *** indicate significance levels of 0.05, 0.01, and 0.001, respectively.

عملکرد علوفه خشک ذرت: از آن‌جاکه اثر سه جانبه سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × الگوی کشت مخلوط روی صفت عملکرد علوفه خشک ذرت معنادار نبود، مقایسه میانگین اثرات دو جانبه انجام شد. در بررسی مقایسه میانگین اثرات دو جانبه آبیاری × محلول‌پاشی (شکل ٤) مشاهده شد که محلول‌پاشی اسپرمیدین در تمامی سطوح آبیاری سبب افزایش عملکرد علوفه خشک ذرت می‌شود. مقایسه میانگین اثرات دو جانبه الگوی کشت مخلوط× آبیاری نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد علوفه خشک در هکتار (۱۸/۷۸ تن در هکتار) متعلق به تک کشتی و آبیاری نرمال و کم‌ترین آن (۸/٦۹ تن در هکتار) نیز متعلق به کشت مخلوط جایگزینی و با کاهش میزان آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک بود که به‌دلیل سطح زیر کشت بیش‌تر ذرت در تیمار تک کشتی می‌باشد. در حالی‌که اعمال کم‌آبیاری تا ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در کشت خالص و عدم محلول‌پاشی، به ترتیب ۹/٦۳ و ۱۰/۹٦ درصد کاهش عمکرد ماده خشک علوفه ذرت را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص (شاهد) در پی داشت که با توجه به افت ناچیز عملکرد چنانچه علوفه خشک مدنظر باشد، می‌توان کم‌آبیاری را برای کشت ذرت در شرایط آب‌وهوایی کرج به‌کار برد. بعد از تک کشتی کشت مخلوط ٤۰ درصد :۸۰ درصد و ٦۰ درصد :۸۰ درصد در تمام سطوح آبیاری عملکرد علوفه خشک بیش‌تری داشته و کشت مخلوط جایگزینی کم‌ترین عملکرد علوفه خشک در هکتار را در تمامی سطوح آبیاری داشت. به‌طوی‌که هر یک از سطوح کشت مخلوط افزایشی در آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۱٤/۵۳ و ۱۵/٤۹ درصد کاهش عمکرد علوفه خشک ذرت را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص (شاهد) در پی داشت که با توجه به افت نسبتا پایین عملکرد علوفه و نیاز به پایداری تولید که در سیستم کشت مخلوط قابل دست‌یابی است، چنانچه تولید علوفه ذرت هدف اصلی باشد، می‌توان کشت مخلوط افزایشی را در مناطق نیمه‌خشک توصیه نمود. ضمن این‌که در بررسی اثر متقابل الگوی کشت × محلول‌پاشی، در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، محلول‌پاشی با اسپرمیدین نسبت به عدم محلول‌پاشی از عملکرد علوفه خشک بیش‌تری برخوردار بود. پژوهش‌گران بیش‌ترین عملکرد ماده خشک ذرت (۲٤ تن در هکتار) را (به میزان ۱۲ درصد بیش‌تر از مخلوط) در سیستم کشت خالص مشاهده کردند که به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای ذرت در تک کشتی مربوط دانستند (۲٦). این کاهش ۱۲ درصدی عملکرد قابل قبول بوده و به رقابت درون گونه‌ای کم‌تر ذرت در کشت خالص، برای منابع طبیعی در مقایسه با ذرت کشت شده به صورت مخلوط با لوبیا اشاره می‌کند (۲٦). کم‌آبیاری عملکرد ذرت را نسبت به آبیاری کامل هفت درصد کاهش داد و ۹۲ درصد از عملکرد زمانی به‌دست آمد که تنها ۸۰ درصد از نیاز آبی ذرت تأمین شد (۹). استفاده از پلی‌آمین‌ها که در فرآیندهای متابولیکی مربوط به رشد ذرت، مانند تقسیم سلولی، پیری برگ، ترجمه پروتئین و غیره شرکت می کنند (۲۳)، از طریق افزایش ارتفاع ساقه، سطح برگ و وزن ساقه سبب افزایش ماده خشک می‌شود (۲۷). بیش‌ترین عملکرد ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای در رژیم آبیاری کامل گزارش شده و دلیل این امر به این واقعیت مرتبط است که آبیاری مکرر رطوبت کافی را برای گیاه در لایه سطحی خاک، جایی که تراکم بالاتر ریشه‌های ذرت حضور دارد فراهم می‌کند و بنابراین تغذیه بهتر صورت گرفته و عملکرد بالاتر به‌دست می‌آید (۹، ۲۸).



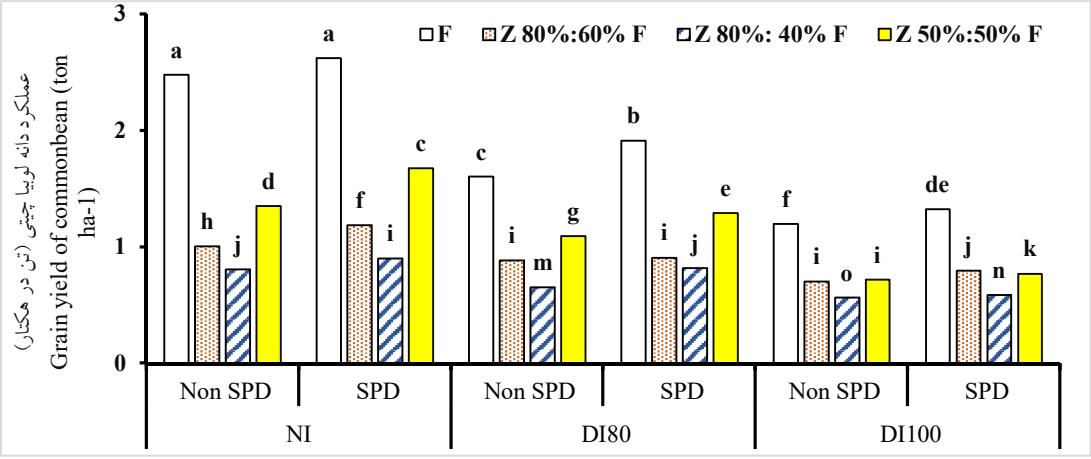
شکل ٤- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر عملکرد علوفه خشک ذرت (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 4- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on biological yield of maize (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

در پژوهشی، کاهش آبیاری، تجمع زیست‌توده ذرت و عملکرد ماده خشک و وزن خشک ریشه را به طور قابل توجهی کاهش داد. محلول‌پاشی اسپرمیدین در این شرایط اثر بازدارندگی کمبود آب بر رشد ذرت را کاهش داد. به‌طوریکه وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه ذرت تحت کمبود آب و محلول‌پاشی با اسپرمیدین به ترتیب ۲۲/۱۷ و ۱۰/۱۳ درصد افزایش یافت. همچنین طول، سطح و حجم

ریشه ذرت محلول‌پاشی شده با اسپرمیدین بین ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش یافت و بدین ترتیب اسپرمیدین، اثر بازدارندگی کمبود آب بر رشد ریشه ذرت را کاهش داد (۲۵). دلیل اصلی تأثیر کمبود آب بر عملکرد این است که عملکرد فیزیولوژیکی ریشه و برگ ذرت و تولید دانه را کاهش می‌دهد. درحالی‌که محلول‌پاشی اسپرمیدین می‌تواند جذب و استفاده از آب و مواد غذایی را با تقویت رشد و فعالیت ریشه و بهره‌وری از آب و مواد غذایی بهبود بخشیده و از طریق افزایش فتوسنتز، منجر به تأخیر در پیری برگ و بهبود عملکرد فیزیولوژیکی ریشه و برگ ذرت شده و در نهایت باعث بهبود عملکرد ذرت تحت کمبود آب شود (۲۳).

عملکرد دانه لوبیا چیتی: مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × الگوی کشت مخلوط (شکل ۵) روی عملکرد دانه در هکتار لوبیا نشان داد که بیش‌ترین عملکرد (۲/۶۲ تن در هکتار) مربوط به کشت خالص تحت شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی بود. کم‌ترین عملکرد لوبیا در هکتار نیز به میزان ۰/۵۶ تن در هکتار از ۴۰ درصد :۸۰ درصد تحت کم‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک و عدم محلول‌پاشی بود. در تمامی سطوح تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی، پس از تیمار تک کشتی، تیمار کشت مخلوط جایگزینی و سپس تیمارهای ۶۰ درصد :۸۰ درصد بیش‌ترین عملکرد دانه در هکتار لوبیا چیتی را تولید کردند که با توجه به الگوی کشت این تیمار که کم‌ترین سطح زیر کشت در هکتار را دارد، این امر قابل توجیه می‌باشد. با افزایش کم‌آبیاری از عملکرد دانه لوبیا چیتی در تمامی الگوهای کشت مخلوط کاسته شد. به‌طوری‌که اعمال کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در کشت خالص و عدم محلول‌پاشی، ۳۵/۶۲ درصد کاهش عمکرد دانه لوبیا را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص در پی داشت که با توجه به افت شدید عملکرد چنانچه هدف عملکرد دانه لوبیا باشد، این مقدار آبیاری توصیه نمی‌شود. همچنین در تمام تیمارهای کشت مخلوط و در تمام سطوح آبیاری، تیمار محلول‌پاشی با اسپرمیدین عملکرد دانه بیش‌تری نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت. گزارش شده که آرایش ردیفی مناسب از طریق افزایش فاصله ردیف‌ها در مخلوط در جهت دریافت مناسب‌تر منابع برای گیاه بقولات در سیستم کشت مخلوط مفید است (۲۹). طی بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا در شرایط کم‌آبیاری، لوبیا در کشت خالص، تحت آبیاری نرمال نسبت به کشت مخلوط بیش‌ترین عملکرد را به‌دست آورد. در حالی که کم‌ترین عملکرد لوبیا در شرایط کم‌آبیاری و کشت مخلوط بود (۲۱). در بررسی تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر عملکرد لوبیا، تک کشتی بیش‌ترین عملکرد دانه لوبیا (۲/۶۲تن در هکتار) و کشت مخلوط کم‌ترین عملکرد (۱/۵۸ تن در هکتار ۴۰ درصد کاهش عملکرد نسبت به تک کشتی) را داشت که علت آن رقابت بیش‌تر کشت مخلوط بر سر منابع در تراکم و سطح گزارش شده است (۲۶). طی بررسی کشت مخلوط ذرت و سویا در سطوح مختلف آبیاری، بیش‌ترین عملکرد سویا از تیمار آبیاری نرمال به‌دست آمد. کاهش عملکرد سویا در کشت خالص و تیمارهای آبیاری در مقایسه با کشت مخلوط سویا، بیش از ۳۰ تا ۵۰ درصد گزارش شد. درواقع کاهش عملکرد سویا بیش‌تر از ذرت بود و این عمدتاً به دلیل این است که سویا هنگام کشت مخلوط با ذرت دارای رقابت بین گونه‌ای و اثرات غلبه گیاه ذرت است که در سیستم های کشت مخلوط سویا و ذرت، عملکرد سویا بیش‌تر کاهش می‌یابد و عملکرد ذرت تمایل به بالاتر بودن دارد (۲۲).

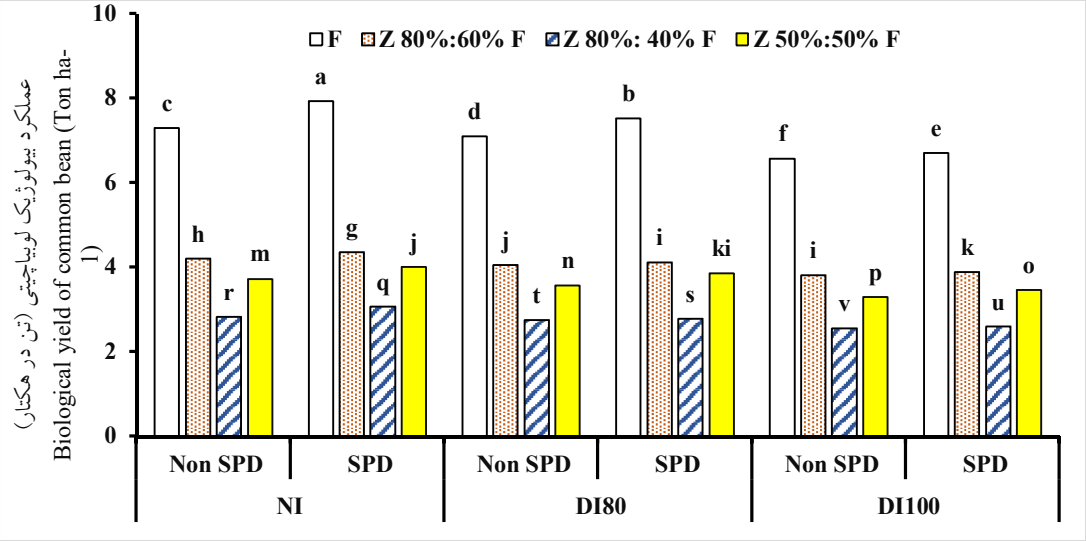


شکل۵- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر عملکرد دانه لوبیا (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 5- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on grain yield of common bean (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

عملکرد ماده خشک لوبیا چیتی: مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری × محلول‌پاشی× الگوی کشت مخلوط (شکل ٦) روی عملکرد زیست توده لوبیا نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد زیست توده لوبیا (۷/۹۳۰ تن در هکتار) مربوط به کشت خالص و بعد از آن مربوط به ٤٠ درصد :۸۰ درصد تحت شرایط آبیاری نرمال و بدون محلول‌پاشی بود که به علت سطح زیر کشت بیش‌تر لوبیا در تیمارهای کشت خالص، عملکرد زیست توده بیشتری نیز به‌دست آمد. با کاهش آبیاری از عملکرد زیست توده لوبیا در تمامی الگوهای کشت مخلوط کاسته شد و کم‌ترین مقدار عملکرد زیست توده لوبیا (۲/۵۵ تن در هکتار) در ٤٠ درصد :۸۰ درصد تحت کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک و عدم محلول‌پاشی بود. اعمال کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در کشت خالص و عدم محلول‌پاشی، ۲/۷٤ درصد کاهش عمکرد ماده خشک لوبیا را نسبت به آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی در کشت خالص در پی داشت که با توجه به افت ناچیز عملکرد ماده خشک در کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر، می‌توان این مقدار آبیاری را برای دست‌یابی به ماده خشک بهینه لوبیا در مناطق نیمه‌خشک توصیه نمود. در تمام الگوهای کشت و در تمام سطوح آبیاری، تیمار محلول‌پاشی با اسپرمیدین عملکرد زیست توده بیش‌تری نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت. در پژوهشی کاهش میزان آب آبیاری، ماده خشک تولید شده لوبیا را کاهش داد و محلول‌پاشی اسپرمیدین منجر به افزایش ۳۲ درصدی صفت شد (١٤). پژوهش‌گران گزارش کردند که از بین تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی و تک کشتی، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا و ذرت از تک کشتی هر یک به‌دست آمد. همچنین، کشت مخلوط افزایشی نسبت به جایگزینی از مقادیر بیش‌تر این صفات برخوردار بودند (۱۹). پژوهش‌گران گزارش کردند که وزن خشک گیاهان به طور معنی داری تحت تأثیر محلول پاشی، خشکی و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت و با افزایش تنش خشکی، وزن خشک گیاهان کاهش یافت. درحالی‌که وزن خشک با محلول‌پاشی اسپرمیدین رد شرایط کمبود آب به میزان ۵ درصد در

مقایسه با شاهد افزایش یافت. (۲۵). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که پلی‌آمین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تنظیم و تعادل آنتی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی را برقرار می‌سازند (۲۳).

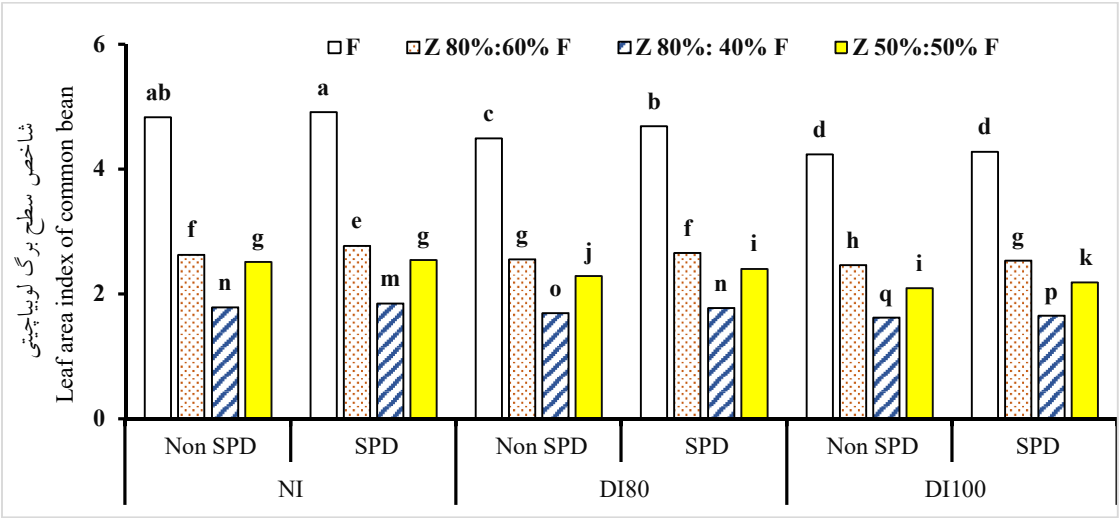


شکل ٦- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر عملکرد بیولوژیک لوبیا (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم-آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 6- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on biological yield of common bean (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

شاخص سطح برگ لوبیا چیتی: مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری × محلول‌پاشی × کشت مخلوط روی شاخص سطح برگ بوته لوبیا چیتی (شکل ۵) نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ (٤/٩١) مربوط به تک کشتی تحت شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی با اسپرمیدین بود (شکل ۷). کم‌ترین شاخص سطح برگ لوبیا نیز (١/٦٢) مربوط به ٤٠ درصد :٨٠ درصد تحت کاهش میزان آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک و عدم محلول‌پاشی بود. با افزایش کم‌آبیاری از شاخص سطح برگ لوبیا چیتی در نسبت‌های الگوی کشت مخلوط و محلول پاشی کاسته شد. در پژوهش حاضر، در تمامی سطوح تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی، پس از تیمار کشت خالص، تیمارهای افزایشی ٦٠ درصد :٨٠ درصد و سپس ٥٠ درصد :٥٠ درصد بیش‌ترین شاخص سطح برگ را تولید کرد که به نظر می‌رسد با توجه به الگوهای کشت مخلوط و امکان بهبود دریافت و کاهش تلفات نور و دیگر منابع در کشت مخلوط باشد. در تمام الگوهای کشت و در تمام سطوح آبیاری، تیمار محلول‌پاشی با اسپرمیدین شاخص سطح برگ بیش‌تری نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت. به‌طورکلی، افزایش تعداد ردیف‌های گیاه بقولات در کشت مخلوط باعث کاهش غالبیت گیاه دیگر می‌شود (۳۰). گزارش شده که به علت تأثیر رقابت و سایه‌اندازی ذرت روی لوبیا و کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه، کشت مخلوط منجر به کاهش شاخص سطح برگ لوبیا می‌شود و این مهم‌ترین عامل موثر در کاهش بیش‌تر فاکتورهای

موثر در اجزای عملکـرد لوبیـا خواهـد بـود (۲۶). در پژوهشی کم‌ترین شاخص سطح برگ لوبیا (۳/۲۳) در اثر کاهش میزان آبیاری، نسبت به شرایط آبیاری نرمال (۳/۸۶) به‌دست آمد (۳۱). همچنین، بیش‌ترین سـطح برگ لوبیا چشم بلبلـی در آبیـاری نرمـال و کم‌تـرین سطح برگ در کم‌آبیـاری گـزارش شـده اسـت (۲۱). مطالعات نشان داده است که پلی‌آمـین‌هـا مـانع بـاز و بسته شدن یک طرفه روزنه و پمپ‌های غشای سلولی لوبیا شده و از طریق مهار باز شدن روزنـه و تحریـک بسته شدن روزنه، هدایت روزنه‌ای گیاهان تیمار شـده با اسپرمیدین در شرایط کمبود آب، کم‌تر تحت تـأثیر قرار می‌گیرد (۳۲).

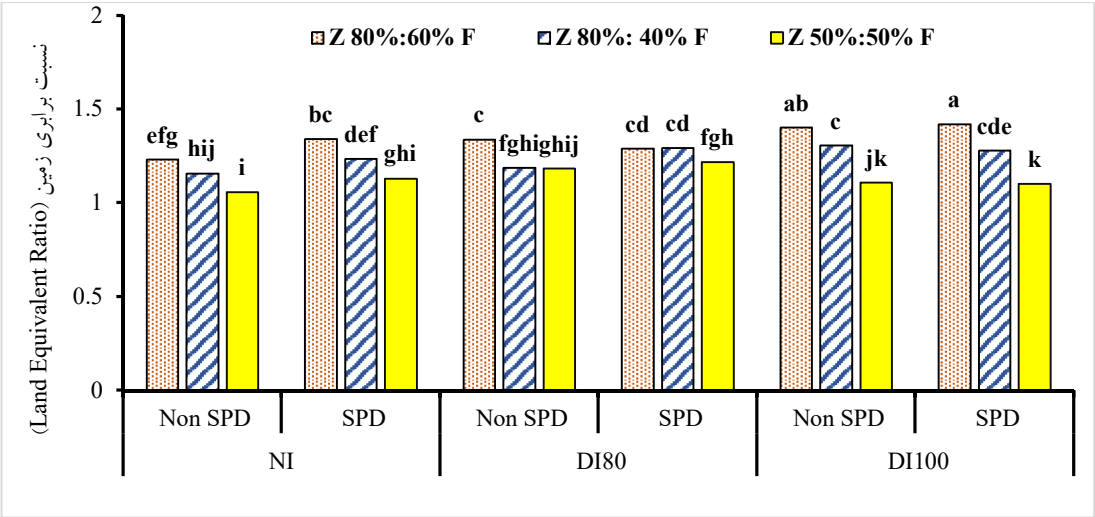


شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ لوبیا (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 7- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on leaf area index of common bean (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

نسـبت برابـری زمـین: در تمـامی الگوهـای کشـت مخلوط، میزان شاخص نسبت برابـری زمـین هـم در تیمار کم‌آبیاری و هم آبیاری کامل بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده‌ی مزیت کشت مخلوط نسـبت بـه کشـت خـالص اسـت. مقایسـه میـانگین بـرهم‌کنش سـطوح آبیاری × محلول‌پاشـی × کشـت مخلـوط (شـکل ۸) روی نسبت برابری زمین نشان داد کـه هـم در تیمـار کم‌آبیاری و هم آبیاری کامـل، تیمـار کشـت مخلـوط افزایشی ٦٠ درصد :٨٠ درصد بیش‌ترین نسبت برابری زمین را داشت. کم‌ترین میزان نسبت برابری زمین نیز در تیمـار ۵۰ درصـد :۵۰ درصـد و در تیمـار آبیـاری نرمال و عدم محلول‌پاشی مشاهده شـد. همچنـین در تمام نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، به‌جـز کشـت مخلـوط ٦٠ درصـد :٨٠ درصـد در کـم‌آبیـاری ٨٠ و کشت مخلوط ٤٠ درصـد :٨٠ درصـد در کـم‌آبیـاری ۱۰۰، در تمامی تیمارها، محلول‌پاشی نسـبت برابـری زمین بیش‌تری نسبت به عـدم محلـول‌پاشـی داشـت. بنـابراین، افـزایش نسـبت برابـری زمـین در سـطوح مختلف آبیاری می‌تواند متأثر از کاربرد اسپرمیدین بـه کاربرده شده در آزمـایش در کشـت مخلـوط باشـد و می‌توان با استفاده از محلول‌پاشی اسپرمیدین، تراکم و عملکرد را حتی در شـرایط کمبـود آب افـزایش داد.

درواقع به‌نظر می‌رسد افزایش جذب عناصر غذایی و آب به وسیله سیستم ریشه‌ای متفاوت در کشت مخلوط در شرایط کمبود آب باعث شد که LER افزایش یابد.



شکل ۸- اثر متقابل سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین (Z: ذرت و F: لوبیا چیتی و اعداد نشان‌دهنده درصد گیاه زراعی در تیمار کشت مخلوط؛ Non SPD: عدم محلول‌پاشی و SPD: محلول‌پاشی با اسپرمیدین؛ NI: آبیاری نرمال، DI80: کم‌آبیاری تا ۸۰ و DI100: کم‌آبیاری تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (بر اساس داده‌های اصلی).

Figure 8- Interacted effect of irrigation levels, spermidine spraying and intercropping on Land Equivalent Ratio (LER) (Z: zea and F: common bean and numbers: percent of crop in intercropping; NON SPD: non spraying and SPD: spermidine spraying; NI: normal irrigation, DI80: deficit irrigation 80 and DI100: deficit irrigation 100 mm cumulative evaporation pan) (based on original data).

طی بررسی مزیت تیمارهای کشت مخلوط، مشاهده شد LER کل در کشت مخلوط در تمامی تیمارهای آبی بیش‌تر از تک کشتی و بیش‌تر از یک بود و در کشت مخلوط ذرت و بقولات تولید در واحد سطح بیش‌تری نسبت به تک کشتی آن‌ها وجود داشت (۲۶). بالاترین میزان LER در ذرت و سویا زمانی بدست آمد که گیاهان با بیش‌ترین میزان آب آبیاری شدند و کم‌ترین آن زمانی بدست آمد که با کم‌ترین میزان آب آبیاری شدند. کاهش مقدار جزیی LER درگیاه سویا بیش‌تر از ذرت بود که به کاهش نسبت سویا به ذرت مربوط می‌باشد (۲۲). فاصله ردیف مناسب ذرت در کشت مخلوط جهت استفاده مؤثر از زمین مهم می‌باشد (۳۳). بیش‌ترین LER از کشت مخلوط ذرت و لوبیا تحت آبیاری نرمال به‌دست آمد و این مطلب مزیت اقتصادی کشت مخلوط را نسبت به تک کشتی مشخص می‌کند (۲۱). مقادیر کل LER در سطوح مختلف آبیاری به ترتیب ۱/۴۱، ۱/۲۸ و ۱/۱۹ بدست آمد که نشان می‌دهد که سطح زیر کشت تنها باید ۴۱، ۲۸ و ۱۹ درصد بیش‌تر از سطح کاشت با سیستم کشت مخلوط برای تولید عملکرد ترکیبی باشد. در این پژوهش به طور میانگین با کاهش سطوح آبیاری به ترتیب ۲۸،۸۳، ۲۱،۷۱ و ۱۶،۲۴ درصد از زمین صرفه جویی شد که می‌توان از آن برای سایر مصارف کشاورزی استفاده کرد (۲۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه اعمال کم-آبیاری باعث کاهش صفات مورد بررسی گردید، کشت مخلوط تأثیر مثبتی بر بهبود صفات مورد بررسی هم در شرایط کم‌آبیاری و هم در شرایط آبیاری نرمال داشت. بدین ترتیب و با توجه به افزایش سطح زیر کشت لوبیا و ذرت در تیمارهای تک کشتی

و تـأثیر مثبـت آبیـاری و محلـول‌پاشـی پلـی آمـین اسپرمیدین، بر رشد و عملکرد دانه و علوفه تر لوبیا و ذرت، کشت خالص در تیمار آبیاری نرمال و محلول-پاشی اسپرمیدین در هر دو گیاه بیش‌ترین عملکـرد را تولید کرد. همچنین، کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین تـأثیر مثبتی بر عملکـرد هـر دو گیـاه و همـین‌طـور نسـبت برابری زمین داشت. به طوری که کاربرد ایـن ترکیـب هم در شرایط کم‌آبیاری و هم در شرایط آبیاری نرمال منجر به افزایش میزان عملکرد گردید و تا حدودی از اثرات منفی کم‌آبیاری بر گیـاه کاسـت. میـزان نسـبت برابـری زمـین (LER) کـه در کشـت‌هـای مخلـوط نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر از زمـین اسـت، در تمـامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و در سطوح آبیاری بالاتر از یک بود که نشان‌دهنـده برتـری و سـودمندی کشت مخلوط نسبت به تیمارهای تک کشـتی در هـر دو شرایط کم‌آبیاری و آبیاری نرمال است. بـدین معنـا که کاشت ذرت و لوبیا چیتی در کشت مخلوط سـبب بهبود رشد گیاه و بهره‌وری از زمـین در ذرت و لوبیـا شده است. در نتیجه این مطالعه اثر مفید کشت مخلوط لوبیاچیتی با ذرت و کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین را بـر بهره‌وری منابع نشان داد. بدین ترتیب و بـا توجـه بـه افت نـاچیز عملکـرد علوفـه ذرت در DI_{80} و کشـت مخلوط افزایشی به‌نظر می‌رسد چنانچه هـدف علوفـه تولیدی ذرت باشد، می‌توان کم‌آبیاری تا ۸۰ میلی‌متـر تبخیر از تشتک و کشت مخلـوط افزایشـی همـراه بـا محلول‌پاشی اسپرمیدین را برای کشـت ذرت و لوبیـا جهت افزایش پایداری و تولید علوفه در منطقـه کـرج به‌کار برد. با توجـه بـه تـأثیر زمـان کـم‌آبیـاری روی عملکرد و کارایی مصرف آب، پیشنهاد می‌شـود کـم-آبیاری تنظیم شده در طی مراحل مختلف رشد، جهت توصیه زمان مناسب اعمال کـم‌آبیـاری مـورد بررسـی قرار بگیرد.

References

1.Manning, D.T., Lurbe, S., Comas, L.H., Trout, T.J., Flynn, N. and Fonte, S.J. 2018. Economic viability of deficit irrigation in the Western US. Agric. Water. Manag. 196. 114-123.

2.Zuazo, V.H.D., Garcia-Tejero, I.F., Rodriguez, B.C., Tarifa, D.F., Ruiz, B.G. and Sacristan, P.C. 2021. Deficit irrigation strategies for subtropical mango farming. A review. Agron. Sustain. Dev. 41: 1. 1-22.

3.Franco, J.G., King, S.R. and Volder, A. 2018. Component crop physiology and water use efficiency in response to intercropping. Eur. J. Agron. 93: 27-39.

4. ain, M., Kataria, S., Hirve, M. and Prajapati, R. 2019. Water deficit stress effects and responses in maize. In "Plant Abiotic Stress Tolerance". Springer, Agron. Mol. Bio. App. 129-151.

5.Liu, M., Li, M., Liu, K. and Sui, N. 2015. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. J. Agric. Sci. 7: 231.

6.Chen, G., Kong, X., Gan, Y., Zhang, R., Feng, F., Yu, A., Zhao, C., Wan, S. and Chai, Q. 2018. Enhancing the systems productivity and water use efficiency through coordinated soil water sharing and compensation in strip-intercropping. Sci. Reports. 8: 10494.

7.Abaye, A O., Trail, P., Thomason, W.E., Thompson, T.L., Gueye, F., Diedhiou, I., Diatta, M.B. and Faye, A. 2016. Evaluating intercropping (living cover) and mulching (desiccated cover) practices for increasing millet yields in Senegal. Agron. J. 108: 1742-1752.

8.Sharma, N., Singh, R.J., Mandal, D., Kumar, A,. Alam, N. and Keesstra, S. 2017. Increasing farmer's income and reducing soil erosion using intercropping in rainfed maize-wheat rotation of Himalaya, India. Agric. Eco. Environ. 247: 43-53.

9.Williams, J.J., Henry, W.B., Varco, J.J., Reynolds, D.B., Buehring, N.W., Krutz, L.J., Falconer, L.L. and Boykin, D.L. 2018. Deficit irrigation, planting date, and hybrid selection impacts on a mid-

south corn production system. Crop, Forage & Turfgrass Manag. 4: 1. 1-8.
10. Stepanovic, S., Rudnick, D. and Kruger, G. 2021. Impact of maize hybrid selection on water productivity under deficit irrigation in semiarid western Nebraska. Agric. Water. Manag. 244: 106610.
11. Galston, A.W. and Sawhney, R.K. 1990. Polyamines in plant physiology. Plant Physio. 94: 406-410.
12. Sharma, D.K., Dubey, A.K., Srivastav, M., Singh, A.K., Sairam, R.K., Pandey, R.N., Dahuja, A. and Kaur, C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of salt-sensitive citrus rootstock Karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl Stress. J. Plant. Growth. Regul. 30: 301-311.
13. Lenis, Y.Y., Elmetwally, M.A., Maldonado-Estrada, J.G. and Bazer, F.W. 2017. Physiological importance of polyamines. Zygote. 25: 3. 244-255.
14. Torabian, S., Shakiba, M.R., Mohammadi Nasab, A.D. and Toorchi, M. 2018. Exogenous spermidine affected leaf characteristics and growth of common bean under water deficit conditions. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 49: 11. 1289-301.
15. Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M.M. and Fujita, M. 2015. Exogenous spermidine alleviates low temperature injury in mung bean (*Vigna radiata* L.) seedlings by modulating ascorbate-glutathione and glyoxalase pathway. Int. J. Mol. Sci. 16: 30117-30132.
16. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300: 9. D05109.
17. Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B. and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratios. Field Crops Res. 100: 249-256.
18. Dormann, C. 2020. Environmental data analysis: an introduction with examples in R. Springer. 264 p.
19. Nasrollah Zadeh Asl, A., Valizadegan, E., Jalili, F. and Chavoshgoli, A. 2011. Valuation of corn (*Zea Mays* L.) and Pinto Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) intercropping based on additive and replacement methods. J. Res. Crop Sci. 4: 13. 115-129. (In Persian)
20. Namatsheve, T., Cardinael, R., Corbeels, M. and Chikowo, R. 2020. Productivity and biological N2-fixation in cereal-cowpea intercropping systems in sub-Saharan Africa. A review. Agron. Sustain. Dev. 40: 4. 1-12.
21. Aslam, M., Naeem, M., Rehman, A., Zafar, M.M., Iqbal, R., Shahzad, M.A., Khan, R.M.I. and Iqbal, J. 2021. Maize (*Zea mays* L.) intercropping with legumes enhances growth, dry matter and its forage yield under deficit irrigation. Int. J. Agric. Bio. 25: 1. 89-97.
22. El-Sherif, M.A. and Ali, M.M. 2015. Effect of deficit irrigation and soybean/maize intercropping on yield and water use efficiency. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 4: 12. 777-794.
23. Dong, L., Li, L., Meng, Y., Liu, H., Li, J., Yu, Y., Qian, C., Wei, S. and Gu, W. 2022. Exogenous Spermidine Optimizes Nitrogen Metabolism and Improves Maize Yield under Drought Stress Conditions. Agric. 12: 8. 1270.
24. Banon, S., Ochoa, J., Franco, J. A., Sánchez-Blanco, M. J. and Alarcon, J. J. 2003. Influence of water deficit and low air humidity in the nursery on survival of Rhamnus alaternus seedlings following planting. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 78: 4. 518-522. 25.
25. Oraee, T., Shoor, M., Tehranifar, A. and Nemati, H. 2019. Alleviation of drought stress effects by exogenous application of spermidine and salicylic acid on hollyhock (*Alcea rosea*). J. Ornamental plants. 9: 4. 303-318.
26. Lulie, B., Worku, W. and Beyene, S. 2016. Determinations of Haricot Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) planting density and spatial arrangement for staggered intercropping with maize (*Zea mays* L.) at Wondo Genet, Southern Ethiopia. Academic Research J. Agric. Sci. Res. 4: 6. 297-320.

27.Siddiqui, M.H., Alamri, S.A., Al-Khaishany, M.Y., Al-Qutami, M.A., Ali, H.M., AL-Rabiah, H. and Kalaji, H.M. 2017. Exogenous application of nitric oxide and spermidine reduces the negative effects of salt stress on Tomato. J. Hortic. Environ. Biotechnol. 58: 6. 537-547.

28.Reddy, M.M., Padmaja B. and Reddy, D.V.V. 2012. Response of maize (*Zea mays* L.) to irrigation scheduling and nitrogen doses under no till condition in rice fallows. J. Res. Angrau. 40: 1. 6-12.

29.Iqbal, N., Hussain, S., Ahmed, Z., Yang, F., Wang, X., Liu, W., Yong, T., Du, J., Shu, K., Yang, W. and Liu., J. 2019. Comparative analysis of maize–soybean strip intercropping systems: a review. Plant Pro. Sci. 22: 2. 131-142.

30.Moghadam, N. A., Dehghanpoor, A. and Rahemi, K.A. 2016. Effect of Nitrogen and intercropping cultivation ratios of replacement on forage yield and Barley and pea competition indicators. Crop Pro. 9: 1. 214-199. (In Persian)

31.Heshmat, K., Asgari Lajayer, B., Shakiba, M.R. and Astatkie, T. 2020. Assessment of physiological traits of common bean cultivars in response to water stress and molybdenum levels. J. Plant. Nutr. 44: 3. 366-372.

32.Shi, J., Fu, X. Z., Peng, T., Huang, X. S., Fan, Q. J. and Liu, J. H. 2010. Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of citrus in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal response. Tree Physio.. 30: 7. 914-922.

33.Yang, F., Wang, X., Liao, D., Lu, F., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wu, X., Du, J., Liu, J. and Yang, W. 2015. Yield response to different planting geometries in maize–Soybean relay strip intercropping systems. Agron. J. 107: 296-304.