

ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و برخی از اجزای آن در کشت مخلوط (سورگوم - لوبیا قرمز)

عطیه خواجه خضری^۱، عباس رضایی استخریویه^{۲*} و سودابه گلستانی کرمانی^۳

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۲ - نویسنده مسئول، استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. استادیار پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. rezaei@mail.uk.ac.ir
۳ - استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۴

چکیده

برای ارزیابی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و اجزای آن در کشت مخلوط سورگوم-لوبیا قرمز، پژوهشی در سال ۹۴-۹۳ در قالب کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه شهید باهنر اجرا شد. پنج سطح آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه هرکدام با ۷۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی) بر پنج نسبت کشت سورگوم - لوبیا قرمز (صد درصد سورگوم، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد سورگوم و صد درصد لوبیا قرمز) اعمال شد. در نهایت ارتفاع، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، بهره‌وری مصرف آب، نسبت برابری زمین و شاخص‌های رقابتی گیاهان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اعمال تنش آبی بر تمامی صفات تأثیر معنی‌داری و خشکی موضعی ریشه، باعث افزایش ۲۹/۴ درصد بهره‌وری آب در گیاه سورگوم و ۱۲/۲ درصد در گیاه لوبیا قرمز (در یک سطح تنش و نسبت کشت ثابت) در مقایسه با کم آبیاری سنتی گردید.

کلید واژه‌ها: بهره‌وری مصرف آب، کشت مخلوط، شاخص‌های رقابتی، نسبت برابری زمین، خشکی موضعی ریشه.

(Akunda, 2001). کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ارزن علوفه‌ای نشان داد عملکرد محصول در کشت مخلوط با نسبت ۵۰:۵۰، ۳۷ درصد بیشتر از تک‌کشتی است (Hosseini et al., 2003). محاسبه شاخص رقابتی نشان داد در بین نسبت‌های کشت کلزا با نخود و عدس، رقابت کمتری در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ وجود دارد (Tahir et al., 2003). در کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی و ذرت سه سطح تنش رطوبتی شامل: آبیاری کامل، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، اعمال شد. نتایج نشان داد رژیم‌های آبیاری اثر معنی‌داری بر میزان جوانه‌زنی و عملکرد ذرت نداشته و رژیم ۶۰ درصد کمترین میزان رشد را داشت (Adeniran, 2004). در کشت مخلوط سویا و گندم بهره‌وری مصرف آب بیشتر از کشت خالص بود (Caviglia et al., 2004). افزایش عملکرد در کشت‌های مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی تأیید شده (Myaka, et al, 2006). در کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا از منابع محیطی با کارایی بیشتری استفاده گردید (Morales et al., 2009). با استفاده از کشت مخلوط می‌توان از شدت غیر قابل پیش‌بینی تنش خشکی و طول دوره آن کاست و افت عملکرد را کاهش داد (Ansari et al, 2014).

کشت مخلوط سویا - ذرت در سطوح مختلف آبیاری نشان داد کم آبیاری سبب بهبود راندمان مصرف آب شده و نسبت برابری زمین بزرگتر از یک خواهد بود (Sherif and Mahmoud,

مقدمه

بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب است. توجه به مصرف بهینه آب در این بخش اهمیت بالایی دارد. روش‌های مناسب کاربرد آب در مزرعه از راهکارهای مدیریتی مؤثر در ارتقای بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. کم آبیاری روشی است که در آن گیاهان به‌صورت هدفمند تحت آبیاری قرار می‌گیرند. این روش در مورد گیاهان با ریشه سطحی به سختی انجام می‌شود. حساسیت گیاه به خشکی و سطحی بودن ریشه گیاه، در اعمال دوره‌های کوتاه تنش روی محصول و کیفیت آن مؤثر است (Shahnazari et al., 2007). گیاهان در مراحل رشد درجاتی از کمبود آب را تجربه می‌کنند. این امر بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه اثر مستقیم دارد (Dhanda and Sethi, 1998).

سیستم مناسب کشت از راه‌کارهای مؤثر استفاده مفید از منابع آبی است. کشت مخلوط در ترکیب با مدیریت‌های کم آبیاری، تأثیر ویژه‌ای در کاهش مصرف آب دارد. عملکرد کشت مخلوط بیشتر از کشت انفرادی (خالص) است. در کشت مخلوط از سطح استفاده بهتری می‌شود در نتیجه مکان بیشتری از خاک توسط اندام‌های هوایی و ریشه‌های گیاهان پوشیده و فرسایش و آبشویی خاک به حداقل می‌رسد. در اغلب موارد از کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص تولید بیشتری در واحد سطح به‌دست می‌آید

خواجه خضری و همکاران: ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و...

۱۰۰ درصد لوبیا قرمز (B100) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. جانمایی طرح در شکل (۱) آمده است. قبل از کشت، براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه آزمایشگاه، سوپر فسفات تریپل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. در دوره رشد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان سرک به خاک داده شد. پس از شخم و آماده سازی، جوی و پشته ها به عرض ۵۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر و طول ۶ متر ایجاد و زمین کرت بندی شد. در هر کرت پنج ردیف در نظر گرفته شد. بین دو کرت یک ردیف کشت نشده و بین بلوک ها ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. کشت سورگوم (رقم اسپیدفید) و لوبیا قرمز (رقم ناز) به صورت ردیفی در عمق ۳ و به فاصله ۱۰ سانتی متر در اردیبهشت ماه انجام شد. بعد از استقرار گیاه اعمال تنش شروع و تا زمان برداشت به طول انجامید. مبارزه با علف های هرز و آفات در تمام دوران رشد به صورت یکسان انجام شد. نیاز آبی گیاهان با استفاده از لایسیمتر بیلان آبی موجود در مزرعه تعیین شد. نسبت کشت، ۵۰ درصد سورگوم درون لایسیمتر رعایت شد. دور آبیاری بر اساس عرف منطقه هفت روز انتخاب، آب مورد نیاز هر تیمار برای تنش (۷۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و با کنتور حجمی در قالب دو روش خشکی موضعی ریشه و کم آبیاری سنتی به کرت ها داده شد. از کاشت تا برداشت برای سورگوم ۱۲۰ و برای لوبیا ۷۰ روز طول کشید. با اتمام دوره رشد ردیف های حاشیه حذف و نمونه گیری از ردیف های میانی انجام و برخی از صفات دو گیاه اندازه گیری شد.

2015). کشت مخلوط برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک می باشد. با توجه به کاهش شدید منابع، تحقیق در زمینه اعمال روش های کم آبیاری در این کشت لازم است. تاکنون اثر اعمال مدیریت های مختلف آبیاری از جمله کم آبیاری متناوب در سطوح مختلف تنش، روی کشت های خالص گیاهان زراعی مورد مطالعه قرار گرفته؛ اما این مهم در مورد کشت های مخلوط کمتر بررسی شده است، در پژوهش حاضر به مطالعه نوعی از کشت مخلوط توام با روش های مختلف کم آبیاری پرداخته می شود.

مواد و روش ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۹۴-۹۳ در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان با ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۱۷۵۳/۸ متر ارتفاع از سطح دریا، اجرا شد. اقلیم منطقه با روش دومارتن، نیمه خشک با ۱۷/۱ درجه سانتی گراد دمای سالانه تعیین شده است (Bakhtiari et al. 2010). برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) آمده است. تحقیق در قالب کرت های یک بار خرد شده بر پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری کامل (FI)، تنش خشکی ۷۵ و ۶۰ درصد در قالب دو روش کم آبیاری سنتی (DI) و خشکی موضعی ریشه (PRD)) به عنوان فاکتور اصلی اعمال شدند. نسبت های کشت مخلوط (۱۰۰ درصد سورگوم (S100)، ۷۵ درصد سورگوم (S75)، ۵۰ درصد سورگوم (S50)، ۲۵ درصد سورگوم (S25) و

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	چگالی ظاهری (gr cm ⁻³)	Ec (dS m ⁻¹)	pH	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	رطوبت حجمی در FC (%)	رطوبت حجمی در PWP (%)
۰-۳۰	۵۸/۴	۱۶/۵	۲۵/۰۴	S-C-L	۱/۵۱	۴/۰۳	۷/۶۲	۳/۲	۳۵۰	۲۱	۱۰
۳۰-۶۰	۷۸	۱۰	۱۲	S-L	۱/۵۱	۳/۳	۷/۷	۴	۳۵۲	۲۰	۹

تکرار اول	
FI-S50	FI-S25
FI-B100	FI-S100
FI-S75	DI60-S25
DI60-S75	DI60-S50
DI60-B100	DI60-S100
PRD75-S100	PRD75-S75
PRD75-S50	PRD75-S25
PRD75-B100	DI75-B100
DI75-S50	DI75-S25
DI75-S75	DI75-S100
PRD60-S50	PRD60-B100
PRD60-S100	PRD60-S25
PRD60-S75	

تکرار دوم	
FI-B100	FI-S50
FI-S100	FI-S25
FI-S75	DI60-S50
DI60-B100	DI60-S75
DI60-S25	DI60-S100
DI75-B100	DI75-S25
DI75-S50	PRD75-S25
DI75-S100	DI75-S75
PRD60-S100	PRD60-S25
PRD60-S75	PRD60-B100
PRD60-S50	PRD75-S50
PRD75-B100	PRD75-S75
PRD75-S25	PRD75-S100

تکرار سوم	
DI60-S100	DI60-S50
DI60-B100	DI60-S75
DI60-S25	FI-S25
FI-S75	FI-S100
FI-B100	FI-S50
DI75-S100	DI75-S75
DI75-S25	DI75-S50
DI75-B100	PRD60-S25
PRD60-S75	PRD60-S50
PRD60-B100	PRD60-S100
PRD75-S25	PRD75-S50
PRD75-S75	PRD75-B100
PRD75-S100	

شکل ۱- جانمایی طرح

$$CR = \left(\frac{LER_a}{LER_b} \right) * \left(\frac{Z_{ba}}{Z_{ab}} \right) \quad (5)$$

در این معادله: LER_a : نسبت برابری زمین مخصوص سورگوم و LER_b : نسبت برابری زمین لوبیا قرمز می‌باشد. برای ارزیابی کشت مخلوط شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{S_a * Y_b + Y_a}{S_b} \quad (6)$$

در این معادله: S_a و S_b : عملکرد سورگوم و لوبیا در کشت خالص (گرم)، Y_a و Y_b : عملکرد سورگوم و لوبیا در کشت مخلوط (گرم) است.

مقادیر اندازه‌گیری شده با نرم افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جداول (۲) و (۳) و نتایج مقایسه میانگین صفات در جداول (۴) و (۵) و شکل‌های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) آمده است. براساس نتایج این جداول در مورد عملکرد و اجزای آن بحث می‌شود.

۱- ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری در سطح یک، نسبت‌های کشت در سطح پنج و اثر متقابل در سطح یک درصد روی ارتفاع گیاه سورگوم معنی‌دار است (جدول ۲). اعمال تنش باعث کاهش ارتفاع سورگوم شد. بیشترین ارتفاع در گیاهان تحت آبیاری کامل با نسبت کشت ۷۵ درصد سورگوم، به مقدار ۱۹۷/۵۳ سانتی‌متر اتفاق افتاد که اختلاف معنی‌داری با گیاهان تحت تیمارهای آبیاری کامل با نسبت ۱۰۰ و ۵۰ درصد سورگوم نداشت. کمترین مقدار این صفت در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه آبیاری با ۶۰ درصد و نسبت کشت ۷۵ درصد سورگوم به مقدار ۷۲/۶۷ سانتی‌متر مشاهده گردید که نسبت به گیاهان تحت آبیاری کامل ۶۳/۲۱ درصد کاهش داشت (جدول ۴). اختلاف ارتفاع گیاه لوبیا بین تیمارهای آبیاری اعمال شده، نسبت‌های مختلف کشت و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین مقدار ارتفاع گیاه در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل و نسبت ۲۵ درصد سورگوم، برابر با ۵۶ سانتی‌متر و کمترین مقدار آن در خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۲۵ درصد سورگوم، به مقدار ۱۷/۶۶ سانتی‌متر مشاهده گردید که نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل ۶۸/۴۶ درصد کاهش داشت (جدول ۵).

برای ارتفاع، طول بلندترین شاخه از سطح خاک اندازه‌گیری شد. اندام هوایی گیاه قطع و تعداد برگ‌ها شمرده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، مجموع ساقه و برگ گیاه وزن، در آن با دمای ۷۰ درجه، به مدت ۴۸ ساعت خشک و مجدداً توزین شد. به منظور ارزیابی نسبت برابری زمین (Land Equivalent Ratio) از معادله (۱) استفاده شد.

$$LER = \frac{P_1}{M_1} + \frac{P_2}{M_2} \quad (1)$$

در این معادله: P_1 و P_2 : عملکرد سورگوم و لوبیا در کشت مخلوط (گرم)، M_1 و M_2 : عملکرد سورگوم و لوبیا در کشت خالص (گرم) است. بهره‌وری مصرف آب از تقسیم عملکرد بر حجم آب مصرفی، بدون احتساب بارندگی محاسبه شد (۲) (Ehdaie and Waines, 1994).

$$WP = \frac{Y}{V} \quad (2)$$

در این معادله: WP: بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y: وزن تر محصول (کیلوگرم)، V: حجم آب مصرفی (متر مکعب) است.

برای ارزیابی رقابت از ضریب تراکم نسبی (K) که معیاری از غالبیت نسبی یک جز نسبت به جز دیگر است استفاده شد (Agegnehu et al., 2006) این ضرایب با روابط (۳) و (۴) محاسبه گردیدند.

$$K_{ab} = \frac{Y_{ab} * Z_{ba}}{(Y_{aa} - Y_{ab}) * Z_{ab}} \quad (3)$$

$$K_{ba} = \frac{Y_{ba} * Z_{ab}}{(Y_{bb} - Y_{ba}) * Z_{ba}} \quad (4)$$

در این معادلات: K_{ba} و K_{ab} : به ترتیب ضریب تراکم نسبی سورگوم و لوبیا قرمز، Y_{bb} و Y_{aa} : عملکرد سورگوم و لوبیا قرمز در کشت خالص، Y_{ba} و Y_{ab} : عملکرد سورگوم و لوبیا قرمز در کشت مخلوط و Z_{ba} و Z_{ab} : نسبت کشت هر جزء در کشت مخلوط می‌باشند. بیشتر بودن ضریب تراکم نسبی کل ($K_{ba} * K_{ab}$) نشانگر کارایی بالاتر آن سیستم از نظر رقابتی است.

شاخص دیگری (نسبت رقابتی (CR)) در کشت مخلوط وجود دارد (Willey and Rao, 1980). در این شاخص مقادیر نسبت برابری زمین برای هر جزء در مخلوط، همراه با سهم نسبی کشت شده از هر جزء در نظر گرفته شده و با معادله (۵) محاسبه می‌شود (Davies and Hartung, 2004).

خواجه خضری و همکاران: ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و...

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی سورگوم در الگوهای مختلف کشت مخلوط سورگوم - لوبیا قرمز

میانگین مربعات (MS)						منابع	درجه
تغییر	آزادی	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	وزن تر اندام هوایی (gr)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	شاخص سطح برگ	بهره‌وری مصرف آب (kg m ⁻³)
تکرار	۲	۱۸۲۱/۱۰ ^{ns}	۱۹۵/۳۵ ^{ns}	۴۱۳/۰۸ ^{ns}	۱۶/۵۲ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
نوع آبیاری	۴	۱۴۷۱۵/۷۶ ^{**}	۲۷۹/۸۵ ^{**}	۴۷۴۴۷/۶ ^{**}	۱۸۹۷/۹۰ ^{**}	۲۱/۵۰ ^{**}	۳۴/۴۹ ^{**}
خطای ۱	۸	۲۱۲/۰۳	۶/۵۵	۴۱۳/۰۷	۱۶/۵۲	۰/۰۸	۰/۰۷
نسبت کشت مخلوط	۳	۷۱۶/۴۹*	۲۸/۶۳ ^{**}	۱۷۸۴/۳۵*	۷۱/۳۷*	۲/۴۶ ^{**}	۱/۴۰ ^{**}
آبیاری × نسبت کشت	۱۲	۷۵۴/۰۱ ^{**}	۱۲/۵۱ ^{**}	۳۵۴۹/۶۰ ^{**}	۱۴۱/۹۸ ^{**}	۰/۵۸ ^{**}	۲/۱۲ ^{**}
خطای ۲	۳۰	۲۰۵/۸۰	۲/۴۷	۵۷۱/۹۵	۲۲/۸۷	۰/۲۰	۰/۰۷
ضریب تغییرات %		۱۲/۳۳	۱۲/۹۹	۱۳/۷۸	۱۳/۷۸	۱۱/۸۷	۱۰/۱۰

***، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی لوبیا قرمز در الگوهای مختلف کشت مخلوط سورگوم - لوبیا قرمز

میانگین مربعات (MS)						منابع	درجه
تغییر	آزادی	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	وزن تر اندام هوایی (gr)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	شاخص سطح برگ	بهره‌وری مصرف آب (kg m ⁻³)
تکرار	۲	۲۲۳/۳۸ ^{ns}	۳۱۸/۹۵ ^{ns}	۱۳/۸۰ ^{ns}	۱/۴۲ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
نوع آبیاری	۴	۱۱۲/۲۹ ^{**}	۳۹۱۸/۶۴ ^{**}	۲۶۷/۸۹*	۱۱/۰۱*	۵/۶۱ ^{**}	۳/۰۴ ^{**}
خطای ۱	۸	۳۸/۰۷	۲۰۳/۸۰	۳۲/۵۱	۰/۸۴	۰/۰۹	۰/۰۴
نسبت کشت مخلوط	۳	۴۷۲/۳۲ ^{**}	۲۷۹۰/۱۹ ^{**}	۲۷۷/۷۸*	۱۰/۲۰*	۰/۴۸*	۰/۲۵ ^{**}
آبیاری × نسبت کشت	۱۲	۳۶۸/۹۸ ^{**}	۱۱۷۴/۷۶ ^{**}	۳۲۴/۳۴*	۱۲/۵۱*	۲/۱۶ ^{**}	۰/۴۷*
خطای ۲	۳۰	۲۰/۱۳	۷۶/۷۰	۹۵/۲۶	۴/۵۰	۰/۱۱	۰/۰۵
ضریب تغییرات %		۱۵/۴۰	۲۲/۲۸	۲۵/۹۴	۲۶/۷۶	۱۹/۷۸	۴۶/۱۲

***، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار

گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد نیاز آبی و ۵۰ درصد نسبت کشت ۱۴/۳ و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و کشت ۵۰ درصد، ۸۰ درصد نسبت به گیاهان تحت تیمار کم آبیاری سنتی با آبیاری و نسبت کشت مشابه، افزایش داشت. این نتایج، برتری روش خشکی موضعی ریشه را نسبت به کم آبیاری سنتی نشان می‌دهد. این برتری به دلیل استفاده بهتر از املاح و ذخایر آبی موجود در خاک می‌باشد. اعمال تناوب و تر و خشک شدن متوالی ریشه باعث رشد ریشه‌های موئین و افزایش قابلیت جذب ریشه و در نهایت افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Hassan et al. 2003; Shahnazari et al. 2007). لگوم باعث افزایش تثبیت نیتروژن در خاک و جذب آن توسط سورگوم می‌شود. افزایش غلظت نیتروژن در خاک و قابلیت جذب ریشه باعث افزایش ارتفاع در شرایط خشکی موضعی ریشه در کشت‌های مخلوط می‌شود. در تحقیقات مشابه افزایش ارتفاع گیاه گزارش شده است (Banik et al. 2006; Qurashi-Adel, 2005).

با افزایش تنش، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. در واقع کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد. کاهش ارتفاع گیاه را می‌توان به دلیل اختلال در فنوسنتز نسبت داد. تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشد گیاه، باعث کاهش ارتفاع می‌شود. هرچه اعمال تنش به انتهای فصل رشد نزدیک‌تر باشد تأثیر کمتری بر ارتفاع دارد. کاهش ارتفاع گیاه در کشت مخلوط تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل سایه‌اندازی گیاهان، جذب نور، جذب آب و... باشد. مقایسه نتایج حاصل از اعمال مدیریت‌های مختلف کم آبیاری در یک سطح تنش و نسبت کشت، نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و ۲۵ درصد کشت گیاه سورگوم، ۲/۵ درصد نسبت به گیاهان تحت کم آبیاری سنتی با همان مقدار آبیاری و نسبت کشت، افزایش داشت. در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۲۵ کشت سورگوم نیز این صفت ۱۷/۹ درصد نسبت به گیاهان تحت کم آبیاری سنتی مشابه افزایش داشت. ارتفاع لوبیا در

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

روی صفات مورد بررسی در سورگوم

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	وزن تر اندام هوایی (gT)	وزن خشک اندام هوایی (gD)	شاخص سطح برگ
FI-S100	۱۸۷/۵ ^a	۲۱/۰ ^{ab}	۲۸۱/۳۳ ^a	۵۶/۲۶ ^a	۵/۵۲ ^a
FI-S75	۱۹۷/۵۳ ^a	۲۳/۳۳ ^a	۲۵۹/۴۷ ^a	۵۱/۸۹ ^{ab}	۵/۱۵ ^{ab}
FI-S50	۱۷۱/۰ ^a	۱۸/۶۷ ^{abcd}	۲۸۴/۱ ^a	۵۶/۸۲ ^a	۴/۷۰ ^b
FI-S25	۱۴۰/۶۷ ^b	۲۰/۶۷ ^{ab}	۲۴۶/۵۰ ^{ab}	۴۹/۳۰ ^{ab}	۵/۷۱ ^a
DI75-S100	۱۳۴/۰ ^{bcd}	۱۵/۳۳ ^{bcdef}	۱۴۷/۰۸ ^{de}	۲۹/۴۱ ^{de}	۳/۳۴ ^c
DI75-S75	۱۲۶/۳۳ ^{bcd}	۱۱/۰ ^{efgh}	۱۴۵/۹۷ ^{de}	۲۹/۱۹ ^{de}	۲/۳۳ ^{ef}
DI75-S50	۱۳۷/۳۳ ^{bc}	۸/۳۳ ^{fgh}	۱۴۱/۹۱ ^{de}	۲۸/۲۸ ^{de}	۲/۴۵ ^e
DI75-S25	۹۸/۵۰ ^{efg}	۱۲/۵۰ ^{cdefgh}	۱۲۰/۶۳ ^e	۲۴/۱۳ ^e	۲/۸۹ ^{cde}
DI60-S100	۸۴/۶۷ ^{fg}	۸/۰ ^{fgh}	۱۰۵/۸۷ ^{ef}	۲۱/۱۷ ^{ef}	۲/۳۶ ^{ef}
DI60-S75	۸۳/۶۷ ^{fg}	۵/۳۳ ^h	۶۵/۷۲ ^f	۱۳/۱۴ ^f	۲/۳۸ ^{ef}
DI60-S50	۹۷/۸۳ ^{efg}	۱۱/۳۳ ^{defgh}	۱۱۶/۰ ^e	۲۳/۲۰ ^e	۱/۴۲ ^g
DI60-S25	۸۹/۳۳ ^{fg}	۷/۶۷ ^{gh}	۱۲۸/۲۲ ^e	۲۵/۶۴ ^e	۱/۵۹ ^{fg}
PRD75-S100	۱۱۴/۱۷ ^{bcd}	۱۹/۳۳ ^{abc}	۱۳۵/۷۵ ^e	۲۷/۱۵ ^e	۴/۹۶ ^{ab}
PRD75-S75	۹۹/۳۳ ^{defg}	۱۵/۳۳ ^{bcdef}	۲۱۷/۲۵ ^{bc}	۴۲/۴۵ ^{bc}	۴/۴۴ ^b
PRD75-S50	۱۰۰/۳۳ ^{defg}	۱۴/۳۳ ^{bcdefg}	۱۴۴/۲۵ ^{de}	۲۸/۸۵ ^{de}	۴/۳۷ ^b
PRD75-S25	۱۰۱/۰ ^{defg}	۱۶/۰ ^{bcde}	۲۴۹/۸۳ ^{ab}	۴۹/۹۶ ^{ab}	۴/۴۵ ^b
PRD60-S100	۸۷/۰ ^{fg}	۱۴/۳۳ ^{bcdefg}	۱۱۸/۷۵ ^e	۲۳/۷۵ ^e	۴/۶۵ ^b
PRD60-S75	۷۲/۶۷ ^g	۱۲/۰ ^{cdefgh}	۱۱۵/۱۰ ^e	۲۳/۰ ^e	۲/۵۰ ^{de}
PRD60-S50	۱۰۳/۶۷ ^{cdefg}	۱۵/۰ ^{bcdefg}	۱۸۶/۰۸ ^{dc}	۳۷/۲۱ ^{cd}	۳/۴۱ ^c
PRD60-S25	۱۰۵/۳۳ ^{cdefg}	۱۱/۳۳ ^{defgh}	۱۴۹/۹۲ ^{de}	۲۹/۹۸ ^{de}	۳/۰ ^{cde}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

روی صفات مورد بررسی در لوبیا قرمز

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	وزن تر اندام هوایی (gT)	وزن خشک اندام هوایی (gD)	شاخص سطح برگ
FI-S75	۱۹/۳۳ ^{gh}	۴۰/۳۳ ^{defg}	۴۴/۷۰ ^{ab}	۹/۱۶ ^a	۲/۴۶ ^a
FI-S50	۲۱/۳۳ ^{gh}	۵۲/۰ ^{cd}	۳۹/۵۰ ^{ab}	۷/۸۳ ^b	۲/۳۳ ^{ab}
FI-S25	۵۶/۰ ^a	۱۳۱/۰ ^a	۴۵/۲۳ ^a	۹/۰ ^a	۲/۸۹ ^a
FI-B100	۲۲/۶۶ ^{gh}	۷۷/۶۶ ^b	۳۹/۹۶ ^{ab}	۸/۳۳ ^{ab}	۲/۷۳ ^a
DI75-S75	۳۵/۳۳ ^{bcd}	۱۸/۳۳ ^{hi}	۳۶/۶۶ ^{ab}	۷/۵۰ ^{bc}	۱/۴۸ ^{cdef}
DI75-S50	۲۵/۶۶ ^{efgh}	۱۶/۰ ⁱ	۳۶/۳۳ ^{ab}	۷/۳۳ ^{bc}	۱/۴۲ ^{cdef}
DI75-S25	۴۰/۳۳ ^{bc}	۲۶/۶۶ ^{fghi}	۳۳/۳۳ ^{ab}	۸/۱۶ ^{ab}	۱/۱۵ ^{cdefg}
DI75-B100	۳۷/۶۶ ^{bcd}	۶۷/۰ ^{bc}	۳۱/۸۳ ^{ab}	۶/۶۶ ^{cdef}	۱/۵۱ ^{cde}
DI60-S75	۲۳/۰ ^{gh}	۳۰/۶۶ ^{efghi}	۲۷/۰ ^b	۵/۶۶ ^{def}	۰/۸۶ ^{fg}
DI60-S50	۲۵/۰ ^{fgh}	۳۱/۰ ^{efghi}	۳۲/۳۳ ^{ab}	۶/۸۳ ^{cde}	۱/۰ ^{defg}
DI60-S25	۲۷/۳۳ ^{efgh}	۲۶/۶۶ ^{fghi}	۳۸/۴۸ ^{ab}	۸/۰ ^{ab}	۰/۶۶ ^g
DI60-B100	۳۴/۶۶ ^{cdef}	۴۵/۶۶ ^{def}	۲۹/۳۳ ^{ab}	۶/۰ ^{cdef}	۰/۹۱ ^{efg}
PRD75-S75	۲۴/۰ ^{gh}	۴۹/۶۶ ^{cde}	۳۲/۳۳ ^{ab}	۷/۳۳ ^{bc}	۱/۶ ^{dc}
PRD75-S50	۲۹/۳۳ ^{defg}	۴۴/۰ ^{def}	۳۷/۵۰ ^{ab}	۷/۳۳ ^{bc}	۲/۲۸ ^{ab}
PRD75-S25	۴۱/۶۶ ^{bc}	۴۲/۳۳ ^{def}	۴۰/۶۳ ^{ab}	۸/۱۶ ^{ab}	۲/۲۹ ^{ab}
PRD75-B100	۴۲/۰ ^{bc}	۶۵/۶۶ ^{bc}	۳۲/۶۶ ^{ab}	۶/۵۰ ^{cdef}	۲/۴۳ ^a
PRD60-S75	۲۳/۳۳ ^{gh}	۲۱/۰ ^{ghi}	۲۹/۳۳ ^{ab}	۵/۸۳ ^{def}	۰/۹۷ ^{defg}
PRD60-S50	۴۵/۰ ^b	۳۸/۳۳ ^{defgh}	۲۸/۰ ^{ab}	۵/۶۶ ^{def}	۱/۵۹ ^{dc}
PRD60-S25	۱۷/۶۶ ^h	۳۴/۰ ^{def}	۳۵/۳۶ ^{ab}	۴/۶۶ ^g	۱/۴۷ ^{cdef}
PRD60-B100	۴۳/۶۶ ^{bc}	۴۵/۰ ^{def}	۲۷/۶۶ ^{ab}	۷/۱۶ ^{cd}	۱/۷۹ ^{bc}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۲- تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری، نسبت‌های مختلف کشت و اثر متقابل‌شان در سطح یک درصد روی تعداد برگ گیاه سورگوم معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش باعث کاهش تعداد برگ نسبت به آبیاری کامل شد. بیشترین تعداد برگ سورگوم در تیمار آبیاری کامل و نسبت کشت ۷۵ درصد سورگوم به تعداد ۲۳ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای آبیاری کامل با نسبت ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد کشت سورگوم نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد برگ (پنج برگ) در گیاهان تحت تیمار کم آبیاری سنتی با آبیاری ۶۰ درصد و کشت سورگوم به نسبت ۷۵ درصد مشاهده گردید، که نسبت به نمونه آبیاری کامل، ۷۷/۱ درصد کاهش داشت (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس تعداد برگ لوبیا قرمز نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارهای آبی اعمال‌شده، نسبت‌های مختلف کشت و اثر متقابل‌شان در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین تعداد برگ لوبیا در تیمار آبیاری کامل و نسبت کشت ۲۵ درصد سورگوم به تعداد ۱۳۱ برگ و کمترین آن در کم آبیاری سنتی با آبیاری ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نسبت کشت، به تعداد ۱۶ برگ مشاهده گردید که نسبت به آبیاری کامل، ۸۷/۷ درصد کاهش داشت (جدول ۵). در این مطالعه اعمال تنش خشکی بعد از استقرار گیاه انجام شده که این امر روی کاهش تعداد برگ تأثیرگذار بود. کاهش تعداد برگ از روش‌های مقاومت گیاه در برابر خشکی و عاملی برای انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه است (Munne- Bosch and Alegre, 2004). کاهش سطح و تعداد برگ در اثر افزایش تنش خشکی، سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و افزایش مقاومت گیاهان در برابر خشکی می‌شود (Khurana and Singh, 2000). گزارشات دیگر این نتایج را تایید می‌کنند (Petropoulos et al., 2008; Shafshak et al., 1989).

تعداد برگ سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری و نسبت کشت ۵۰ درصد، ۷۲ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و نسبت ۵۰ درصد، ۳۲/۳ درصد نسبت به کم آبیاری سنتی مشابه، افزایش داشت. تعداد برگ در گیاهان تحت خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری و نسبت ۲۵ درصد سورگوم ۵۸/۷ درصد و در خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۲۵ درصد سورگوم، ۶۵ درصد نسبت به کم آبیاری سنتی با همین شرایط افزایش داشت. در کشت مخلوط باید گیاهان اثر رقابتی کمتری داشته و به نوعی مکمل یکدیگر باشند. سورگوم و لوبیا نمونه‌ای از آن است. لوبیا نیتروژن خاک را تثبیت می‌کند که به‌راحتی توسط سورگوم جذب و در افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه از جمله تعداد برگ موثر است. ریشه سورگوم افشان بوده و قابلیت جذب بیشتر آب و املاح را از لایه‌های مختلف خاک دارد. این ویژگی در شرایط اعمال تنش به‌دلیل عمیق بودن سیستم ریشه‌ای و جذب

بیشتر آب و املاح می‌تواند مفید و موثر باشد و منجر به افزایش عملکرد نهایی شود.

۳- وزن تر اندام هوایی

تجزیه واریانس نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبی در سطح یک، نسبت‌های مختلف کشت در سطح پنج و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد روی وزن تر اندام هوایی معنی‌دار است (جدول ۲). تنش خشکی اعمال‌شده باعث کاهش وزن تر اندام هوایی مخلوط شده است (جدول ۴). بیشترین مقدار این صفت برای سورگوم در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل با نسبت کشت ۵۰ درصد به‌مقدار ۲۸۴/۱۰ گرم در بوته و کمترین مقدار آن در تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد نیاز آبی و نسبت کشت سورگوم ۷۵ درصد، ۶۵/۷۲ گرم در بوته مشاهده گردید که با گیاهان تحت تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد نیاز آبی و نسبت سورگوم ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌دار نداشت و نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل، ۷۶/۸ درصد کاهش داشت (جدول ۴). تجزیه واریانس وزن تر اندام هوایی لوبیا نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبی اعمال‌شده، نسبت‌های مختلف کشت و اثر متقابل‌شان در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی لوبیا در تیمار آبیاری کامل و نسبت ۲۵ درصد سورگوم به‌مقدار ۴۵/۲۳ گرم در بوته مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی نداشت و کمترین مقدار آن در تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد نیاز آبی و نسبت سورگوم به‌مقدار ۷۵ درصد، به‌میزان ۲۷ گرم در بوته مشاهده گردید که نسبت به نمونه آبیاری کامل ۴۰/۳ درصد کاهش داشت (جدول ۵). کاهش وزن تر اندام هوایی گیاه تحت شرایط خشکی ممکن است به‌دلیل سرکوب تقسیم سلول و رشد آن در نتیجه فشار تورژانس پایین باشد. کاهش این صفت در کشت مخلوط تحت تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی گیاهان بر یکدیگر، جذب عناصر غذایی توسط یکی از گیاهان و جذب بیشتر آب توسط گیاه دیگر باشد (Ghosh, 2004). مقایسه وزن تر اندام هوایی سورگوم در تیمارهای خشکی موضعی ریشه نشان می‌دهد اعمال این نوع مدیریت کم آبیاری در مقایسه با کم آبیاری سنتی برتری نسبی دارد. به‌طوری‌که وزن تر اندام هوایی سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و الگوی کشت ۷۵ درصد سورگوم، ۴۸/۸ درصد و در تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و الگوی کشت ۷۵ درصد سورگوم، ۷۵/۱ درصد نسبت به کم آبیاری سنتی با همان شرایط افزایش داشت. مقایسه وزن تر اندام هوایی لوبیا در تیمارهای خشکی موضعی ریشه و کم آبیاری سنتی نشان می‌دهد که وزن تر اندام هوایی لوبیا در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری و نسبت کشت ۵۰ درصد ۴/۲ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و نسبت کشت ۵۰ درصد به‌مقدار ۱۵/۲ درصد نسبت به کم آبیاری سنتی با همان شرایط افزایش داشت. به نظر می‌رسد زنده ماندن و فعال بودن

خشک اندام هوایی گیاه لوبیا در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت کشت سورگوم، ۲/۳ درصد کاهش و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت کشت سورگوم، ۳ درصد افزایش نسبت به گیاهان تحت کم آبیاری سنتی مشابه دارند.

۵- شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ یکی از متغیرهای مهم در مطالعات اقلیمی، اکولوژیکی و تحقیقات زراعی به شمار می‌رود. اندازه‌گیری دقیق این شاخص برای درک اثرات متقابل بین رشد و نمو گیاه و محیط امری ضروری است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری، نسبت‌های کشت و اثر متقابل‌شان بر سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). تنش باعث کاهش این صفت شده است (جدول ۴). بیشترین مقدار این صفت در سورگوم از گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل با نسبت کشت ۲۵ درصد سورگوم، به مقدار ۵/۷۱، به دست آمد که با تیمارهای آبیاری کامل با نسبت کشت ۷۵ و ۱۰۰ درصد سورگوم اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین آن در گیاهان تحت تیمار کم آبیاری سنتی با آبیاری ۶۰ درصد گیاه همراه با نسبت ۵۰ درصد، به مقدار ۱/۴۲ گرم در بوته مشاهده شد که با تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد نیاز آبی و ۲۵ درصد کشت سورگوم، اختلاف معنی‌دار نداشته و ۷۵/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش داشت (جدول ۴). تجزیه واریانس شاخص سطح برگ لوبیا قرمز نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبی‌اعمال شده در سطح یک، نسبت‌های مختلف کشت در سطح پنج و اثر متقابل‌شان در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ لوبیا از تیمار آبیاری کامل با نسبت ۲۵ درصد سورگوم به مقدار ۲/۸۹ و کمترین مقدار از تیمار کم آبیاری سنتی با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۲۵ درصد سورگوم به مقدار ۰/۶۶، به دست آمد که ۷۷/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش داشت (جدول ۵).

کاهش سطح برگ حاصل کاهش تعداد برگ است تا اندازه هر برگ (Chapman and Westgate, 1993). دلیل کاهش سطح برگ در تنش خشکی، کاهش آماس سلولی است که موجب کاهش تقسیم سلولی و تمایز زودرس می‌شود. دلیل کاهش در کشت مخلوط سایه اندازی گیاهان بر یکدیگر و کاهش جذب نور، جذب آب و... می‌باشد (Zhang et al. 1993). مقایسه شاخص سطح برگ سورگوم در تیمارهای خشکی موضعی ریشه نشانگر برتری این نوع مدیریت کم آبیاری نسبت به کم آبیاری سنتی است. در مدیریت خشکی موضعی ریشه، به دلیل تولید آسبیزیک اسید در بخش خشک ریشه و انتقال آن به اندام هوایی، گیاه روزه‌های خود را به طور نسبی بسته و از طریق کاهش هدایت روزه‌های میزان فتوسنتز و شاخص کلروفیل را در سطح بالاتری حفظ کرده و در نتیجه از کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ و عملکرد جلوگیری می‌کند (Davies, and Hartung, 2004). این نتایج

ریشه گیاه در شرایط خشکی موضعی ریشه و جذب بهتر آب و املاح موجود در خاک، در کنار افزایش منابع نیتروژن در خاک که نتیجه استفاده از خانواده لگوم در کشت مخلوط است، می‌تواند باعث بهبود رشد اندام هوایی گیاه در روش خشکی موضعی ریشه شود. در پژوهش حاضر وزن تر اندام هوایی گیاه در تمام سطوح خشکی نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد. این نتیجه با گزارشات ارایه شده هم‌خوانی دارد (Ghosh et al. 2009; Arje, 2007).

۴- وزن خشک اندام هوایی

تجزیه واریانس نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری در سطح یک، نسبت‌های کشت در سطح پنج و اثر متقابل‌شان در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). تنش باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی شده است (جدول ۴). بیشترین مقدار این صفت برای سورگوم در گیاهان تحت آبیاری کامل با نسبت کشت ۵۰ درصد، به مقدار ۵۶/۸۲ گرم در بوته و کمترین آن در تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت کشت، به مقدار ۱۳/۱۴ گرم در بوته مشاهده گردید که با تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ درصد نسبت کشت سورگوم اختلاف معنی‌دار نداشت و نسبت به آبیاری کامل ۷۶/۸ درصد کاهش داشت (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس این صفت در لوبیا نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبی‌اعمال شده، نسبت‌های مختلف کشت و اثر متقابل‌شان در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین مقدار این صفت در لوبیا از تیمار آبیاری کامل با ۷۵ درصد نسبت کشت به مقدار ۹/۱۶ گرم در بوته و کمترین مقدار از تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و ۲۵ درصد نسبت سورگوم، به مقدار ۴/۶۶ گرم در بوته به دست آمد که نسبت به نمونه آبیاری کامل ۴۹/۱ درصد کاهش داشت (جدول ۵). کاهش وزن اندام هوایی گیاه در اثر تنش خشکی عمدتاً ناشی از کاهش تشعشع جذب شده توسط گیاه و یا کاهش بازده استفاده از تابش و یا ترکیبی از این دو می‌باشد (Tesfye, Walke and Tsubo, 2006). کاهش وزن خشک اندام هوایی در کشت مخلوط تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل سایه‌اندازی گیاهان بر یکدیگر، جذب عناصر غذایی توسط یکی از گیاهان، جذب بیشتر آب توسط گیاه دیگر، کاهش ارتفاع، کاهش تعداد برگ و در نتیجه کاهش وزن اندام هوایی باشد (Ghosh, 2004). نتایج ارائه شده در این بخش با نتایج گزارش شده، هم‌خوانی دارد (Ghosh, et al. 2009; Boutraa and Sanders, 2001). وزن خشک اندام هوایی سورگوم در تیمارهای خشکی موضعی ریشه نشان می‌دهد اعمال این نوع کم آبیاری برتری نسبی در مقایسه با کم آبیاری سنتی دارد. وزن خشک اندام هوایی سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت کشت سورگوم، ۴/۸ درصد و در تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت کشت سورگوم، ۷۵/۱ درصد نسبت به تیمارهای کم آبیاری سنتی افزایش داشت. وزن

خواجه خضری و همکاران: ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و...

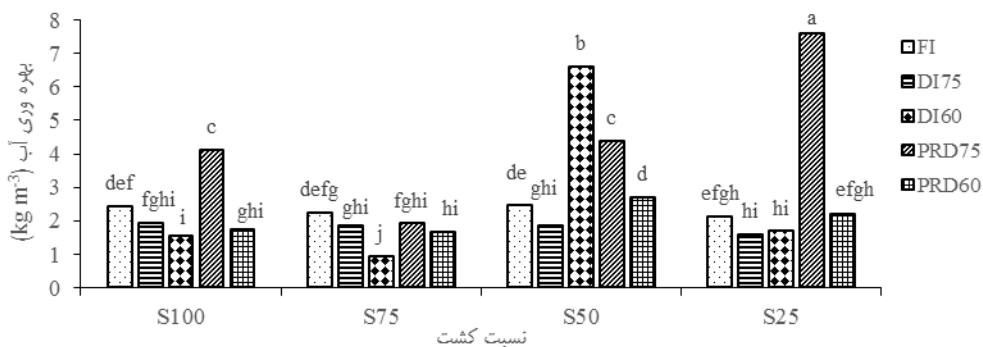
لوبیا از گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت کشت ۲۵ درصد سورگوم به مقدار ۲/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن از تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد آبیاری و نسبت ۲۵ درصد به میزان ۰/۱۶ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد که ۹۴/۴ درصد نسبت به خشکی موضعی ریشه با ۷۵ درصد آبیاری کاهش داشت (شکل ۳). با مقایسه دو تکنیک کم آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه مشاهده شد که این صفت در سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت کشت ۲۵ درصد مقدار ۲/۶۵ درصد و در گیاهان تحت خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۲۵ درصد ۲۹/۴ درصد نسبت به کم آبیاری مشابه افزایش داشت. در لوبیا این صفت در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت ۵۰ درصد حدود ۸۶/۴۴ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت ۵۰ درصد مقدار ۱۲/۲ درصد نسبت به گیاهان تحت کم آبیاری سنتی مشابه افزایش داشت. در خشکی موضعی ریشه ترشح هورمون‌های گیاهی از جمله آبسزیک اسید که منجر به بسته شدن نسبی روزنه‌ها می‌شود، از تعرق و هدررفت آب از گیاه در مقایسه با کم آبیاری سنتی جلوگیری کرده که این امر منجر به استفاده بهتر از آب و در نهایت افزایش وزن اندام هوایی گیاه و در مجموع باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب می‌شود. نتایج گزارشات ارائه شده در مورد بهره‌وری مصرف آب در کشت‌های مخلوط متفاوت است. نتایج به دست آمده با نتیجه پژوهش متعددی همخوانی دارد (Borhom, 2001; Caviglia et al., 2004; Khoramivafaet al. 2013). بیشترین بهره‌وری مصرف آب از آبیاری کامل گزارش شده است (Shiri-e-Janagard et al. 2009). گزارش شده بهره‌وری مصرف آب در کشت مخلوط کاهش پیدا می‌کند. به دلیل این که شرایط اقلیمی و محیطی، بافت خاک، شدت تنش وارد شده و نوع واریته مورد استفاده در این گزارش‌ها متفاوت بوده و همگی در مزرعه انجام شده‌اند، تفاوت‌های ارائه شده مورد انتظار می‌باشد (Xu, et al., 2008).

با گزارش برخی از محققین مبنی بر برتری روش خشکی موضعی ریشه در مقایسه با کم آبیاری معمولی مطابقت دارد (Hassan et al. 2003; Shahnazari et al. 2007).

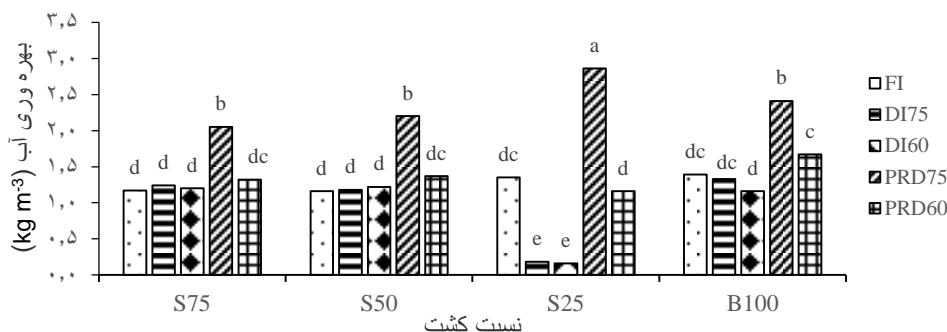
شاخص سطح برگ در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و نسبت سورگوم ۷۵ درصد، ۹۱/۳ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری به مقدار ۶۰ درصد و نسبت ۷۵ درصد، پنج درصد نسبت به کم آبیاری سنتی مشابه افزایش داشت. شاخص سطح برگ لوبیا در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت سورگوم برابر با ۸/۱ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری به مقدار ۶۰ درصد و نسبت ۷۵ درصد، ۱۲/۷ درصد نسبت به کم آبیاری سنتی با همین درصد آبیاری و الگوی کشت افزایش داشت. کاهش سطح برگ لوبیا در شرایط تنش شوری و خشکی گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Wang et al., 2001). در کشت مخلوط گندم و شبدر قرمز گزارشات مشابهی ارائه شده است (Singeret et al. 2007).

۶- بهره‌وری مصرف آب

اختلاف بین تیمارهای آبیاری، نسبت‌های کشت و اثر متقابل‌شان بر بهره‌وری مصرف آب سورگوم در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). تنش خشکی باعث بهبود این صفت در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شده است (شکل ۲). بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری به مقدار ۷۵ درصد و نسبت سورگوم ۲۵ درصد به مقدار ۷/۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن از تیمار کم آبیاری سنتی با ۶۰ درصد آبیاری و ۷۵ درصد نسبت سورگوم ۰/۹۶ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد که ۸۷/۳ درصد نسبت به تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد کاهش داشت (شکل ۲). تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب لوبیا نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری در سطح یک، نسبت‌های کشت در سطح یک و اثر متقابل‌شان در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین بهره‌وری مصرف آب



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط روی صفت بهره‌وری مصرف آب گیاه سورگوم



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط روی صفت بهره‌وری مصرف آب گیاه لوبیا قرمز

۷- نسبت برابری زمین (LER)

ارزیابی شاخص‌های رقابتی در کشت مخلوط حایز اهمیت است. برخی از مهمترین شاخص‌های رقابتی در این قسمت محاسبه می‌شود (جدول ۶).

الف - ضریب تراکم نسبی (k): هر چه تراکم نسبی کل (k) سورگوم × k لوبیا قرمز) بزرگتر باشد، دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر داشته و کارایی سیستم افزایش می‌یابد. حالت جبرانی افزایش عملکرد در جزء سرکوب‌کننده (غالب) و کاهش عملکرد در جزء مغلوب در سیستم‌های کشت مخلوط، سه حالت در بر دارد: برتری عملکرد (مقادیر نسبت برابری زمین و K بزرگتر از ۱)، زبان عملکرد (مقادیر نسبت برابری زمین و K کوچکتر از ۱) و حد واسط (مقادیر نسبت برابری زمین و K برابر با ۱) (Vandermeer, 1989). در این تحقیق تمامی نسبت‌های کشت مخلوط سورگوم و لوبیا دارای ضریب تراکم نسبی بیشتر از یک بودند که نشانگر کارایی بالای این سیستم کشت مخلوط و استفاده بهتر از شرایط محیطی می‌باشد زراعت این دو گیاه به‌صورت مخلوط سودمند و از برتری معنی‌دار عملکرد برخوردار است (جدول ۶). سودمندی کشت غلات با بادام زمینی نسبت به تک کشتی آن‌ها، گزارش شده است (Ghosh, 2004). برای کشت مخلوط سورگوم - سویا به نتایج مشابهی گزارش شده (Ghosh et al. 2006).

ب - شاخص CR: شاخص CR معیار مناسبی برای ارزیابی توانایی رقابتی اجزا است. مقادیر CR کوچکتر از یک برای یک جزء در مخلوط بدین معنی است که آن جزء اثرات رقابتی کمتری دارد و به‌عنوان یک گیاه مطلوب، برای کشت مخلوط تلقی می‌گردد (Willey and Rao, 1980). این مقادیر در کلیه تیمارهای گیاه سورگوم بیشتر از یک است که بیانگر برتری گیاه سورگوم نسبت به لوبیا در استفاده بهتر این محصول از منابع در کشت مخلوط و نشانگر قدرت رقابتی بیشتر این گیاه در جذب برخی از عناصر غذایی است. دلیل این برتری می‌تواند ارتفاع بیشتر و سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر گیاه سورگوم در مقایسه با لوبیا قرمز باشد. تحت چنین شرایطی سورگوم به‌عنوان یک گیاه مطلوب در مخلوط با لوبیا قرمز است که توانایی رقابتی بسیار کمتری دارد.

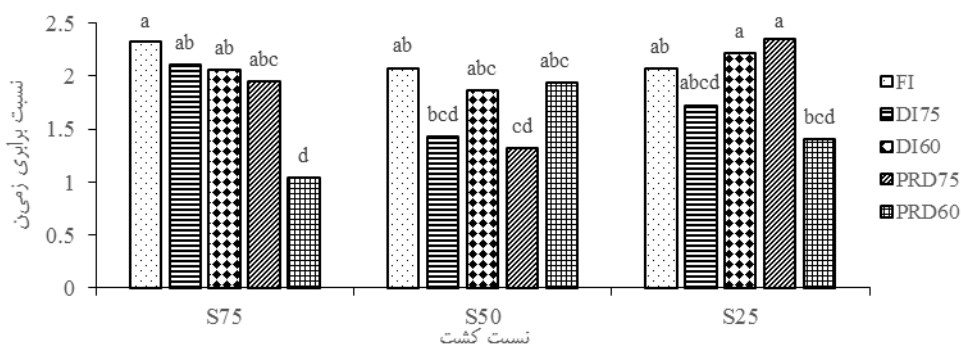
نسبت برابری زمین براساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌گردد. مفهوم این شاخص این است که برای به‌دست آوردن مقدار محصول یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به صورت تک کشتی مورد نیاز است. اگر نسبت برابری زمین بیشتر از یک باشد، کشت مخلوط برتر از کشت خالص بوده و ترجیح داده می‌شود. در این تحقیق تمامی تیمارهای کشت مخلوط سورگوم و لوبیا قرمز نسبت برابری زمین بزرگتر از یک داشتند. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین در سورگوم از گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری به مقدار ۷۵ درصد و نسبت سورگوم به مقدار ۲۵ درصد، معادل ۲/۳۴ و کمترین آن از گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری به مقدار ۶۰ درصد و نسبت سورگوم به مقدار ۷۵ درصد معادل ۱/۰۳ به‌دست آمد (شکل ۴). بیشترین میزان نسبت برابری زمین در لوبیا در تیمار آبیاری کامل با نسبت کشت ۷۵ درصد معادل ۲/۵۵ و کمترین آن در تیمار کم‌آبیاری سنتی، آبیاری با ۶۰ درصد و نسبت ۵۰ درصد معادل ۱/۰۴ به‌دست آمد (شکل ۵). نسبت برابری زمین در گیاه سورگوم در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت سورگوم ۲۵ درصد، ۳۶/۸ درصد و در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت سورگوم برابر با ۲۵ درصد، ۵۷/۸ درصد نسبت به کم‌آبیاری سنتی در همان درصد آبیاری و نسبت کشت افزایش داشت. این صفت در لوبیا در گیاهان تحت تیمار خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد و نسبت سورگوم برابر ۱۱/۸ و در گیاهان تحت خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۶۰ درصد و نسبت سورگوم ۷۵ درصد ۲۱/۷ درصد نسبت به کم‌آبیاری سنتی در همان درصد آبیاری و نسبت کشت افزایش داشت. در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت برابری زمین افزایش یافت که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (Davis et al., 1985).

۸- شاخص‌های رقابتی

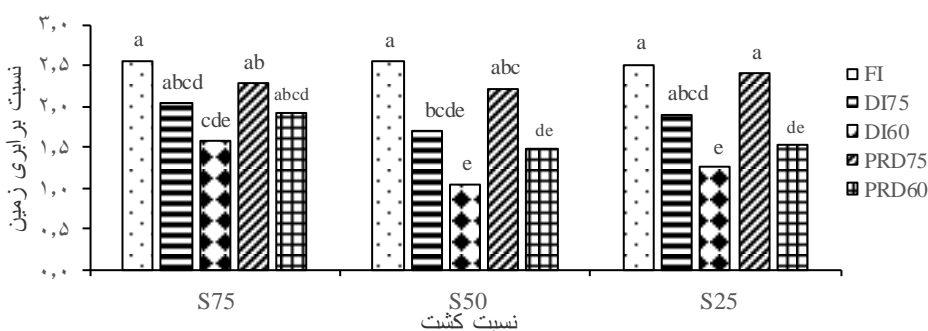
خواجه خضری و همکاران: ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و...

این اساس مشاهده می‌شود تیمارهای خشکی موضعی ریشه با آبیاری بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و نسبت‌های کشت سورگوم برابر با ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد دارای بالاترین مقدار SPI هستند.

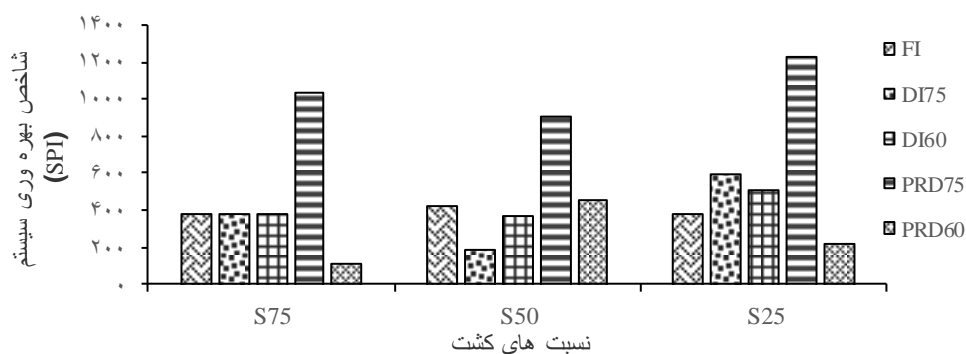
ج - شاخص بهره‌وری سیستم یا SPI: شاخص دیگری که در نهایت باروری و کارایی یک سیستم کشت مخلوط را نمایان می‌سازد شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) است که در شکل (۶) برای تمام تیمارهای کشت مخلوط محاسبه گردیده است. بالاتر بودن این شاخص نشانگر افزایش کارایی سیستم مخلوط است. بر



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط روی صفت نسبت برابری زمین گیاه سورگوم



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط روی صفت نسبت برابری زمین گیاه لوبیا قرمز



شکل ۶- شاخص بهره‌وری در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط سورگوم - لوبیا قرمز

جدول ۶- شاخص‌های رقابتی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سورگوم - لوبیا قرمز

نسبت رقابت (CR)		مقادیر ضریب تراکم نسبی (k)			تیمار
لوبیا قرمز	سورگوم	کل	لوبیا قرمز	سورگوم	
۰/۳۸	۲/۶۳	۲/۲۵	۱/۲۵	۱/۸۰	FI-S25
۰/۹۵	۱/۰۵	۲۱/۸۹	۲/۴۶	۸/۹۰	FI-S50
۰/۹۳	۱/۰۷	۱۰/۷۳	۲/۱۹	۴/۹۰	FI-S75
۰/۳۳	۲/۹۵	۲/۴۶	۱/۴۰	۱/۷۶	DI75-S25
۰/۹۴	۱/۰۶	۲/۵۳	۱/۱۰	۲/۳۰	DI75-S50
۰/۹۹	۱/۰۵	۲/۵۳	۲/۱۱	۱/۲۰	DI75-S75
۰/۳۶	۲/۷۶	۲/۱۱	۱/۴۱	۱/۵۰	DI60-S25
۰/۹۴	۱/۰۵	۱۵/۱۸	۲/۲۰	۶/۹۰	DI60-S50
۰/۶۹	۱/۴۴	۱۰/۷۷	۴/۱۳	۲/۶۱	DI60-S75
۰/۲۲	۴/۴۳	۳/۰۴	۱/۶۰	۱/۹۰	PRD75-S25
۰/۸۷	۱/۱۳	۱/۴۵	۱/۳۷	۱/۰۶	PRD75-S50
۰/۹۳	۱/۰۶	۸/۳۹	۱/۹۰	۴/۴۲	PRD75-S75
۰/۳۱	۳/۱۷	۱/۹۵	۱/۳۰	۱/۵۰	PRD60-S25
۰/۶۰	۱/۶۵	۲/۶۶	۱/۲۱	۲/۲۰	PRD60-S50
۰/۸۷	۱/۱۴	۱۵/۸۹	۶/۸۲	۲/۳۳	PRD60-S75

در هر نوبت باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. یافته‌های حاصل از این پژوهش برتری نسبی روش خشکی موضعی ریشه در بهبود صفات مورد بررسی به‌ویژه بهره‌وری مصرف آب را نسبت به کم‌آبیاری سنتی نشان داد و باعث افزایش ۲۹/۴ درصد بهره‌وری آب در گیاه سورگوم و ۱۲/۲ درصد در گیاه لوبیا قرمز در یک سطح تنش و نسبت کشت ثابت گردید. با ارزیابی شاخص‌های رقابتی این دو گیاه مشاهده شد که این سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای مزیت است و کاشت دو گیاه به‌صورت مخلوط با توجه به مقادیر بیشتر از یک ضریب تراکم نسبی (K) سودمند است.

نتیجه‌گیری

استفاده از نظام‌های زراعی مناسب و تعیین الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی براساس ویژگی‌های اکولوژیکی هر منطقه، یکی از راه‌کارهای موثر جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب است که باید به‌عنوان یک راهکار کاربردی مورد توجه قرار گیرد. کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، سیستمی پایدار و کارا است که می‌تواند از طریق استفاده بهینه از منابع، باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شود. یکی از راه‌کارهای مدیریتی مصرف آب در مزرعه اعمال کم‌آبیاری است. در واقع کم‌آبیاری یک روش بهینه برای تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب می‌باشد که از طریق حذف آبیاری‌های کم‌بازده و کاهش حجم آبیاری

منابع

- Adeniran, K.A., 2004. The effects of moisture stress on growth and yield of maize (*Zea Mays L.*) intercropped with cowpea (*Vigna umguiculata*). *Journal of Applied Science Engineering Technology*, 4 (2), pp.18-22.
- Agegnehu, G., Ghizaw, A. and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25 (3), pp. 202-207.
- Akunda, E.M., 2001. Intercropping and population density effects on yield component, seed quality and photosynthesis of sorghum and soybean. *Journal Food Technology, Africa*. 6 (3), pp.96 – 100.
- Ansari, M.A., Rana, K.S., Ansari, M.H., Baishya, L.K., Babu, S., Das, A. and Hari, O.M., 2014. Effect of transpiration suppressants and nutrients under rainfed conditions: An integral view on crop productivity and biological indices in millet/pulses intercropping system. *African Journal of Agricultural*, 9(3), pp.334- 344.
- Arje, J., 2007. Evaluating the intercropping of forage sorghum and hairy vetch at different levels of N fertilizer and planting patterns. MSc Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian with English Summary).
- Bakhtiari, B., Liaghat, A., KHalili, A. and Kjanjani, M.j., 2010. Evaluation of Two Hourly Combination Models for Estimation of Grass Reference Evapotranspiration (Case study: Climate of

- Kerman). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 13(50), pp.13-26. (In Persian with English Summary).
- 7- Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K. and Ghose, S.S., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24 (4), pp.325-332.
 - 8- Borhom, T.I.H., 2001. Studies on water requirements for some crops under different cropping systems, M. Sc. Thesis. Facultatis Agriculture. Cairo University, Egypt.
 - 9- Boutraa, T. and Sanders, F.E., 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy Crop Science*, 187 (4), pp.251-257.
 - 10- Caviglia, O.P., Sadras, V.O. and Andrade, F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crop Research*, 87 (2-3), pp.117-129.
 - 11- Chapman, P. and Westgate, M.E., 1993. Water deficit effects receptivity of maize silk. *Crop Science*, 33 (2), pp.279-282.
 - 12- Davis, J.H.C., Amezquita, M.C. and Munoz, J.E., 1985. Border effects and optimum plot sizes for climbing bean (*Phaseolus vulgaris*) and maize in association and monoculture. *Experimental Agriculture*, 17 (2), pp.127-135.
 - 13- Davies, W.J. and Hartung, W., 2004. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity? *Proceeding of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia*, Available at <http://www.cropscience.org.au/icsc2004>.
 - 14- Dhanda, S.S. and Sethi, G.S., 1998. Inheritance of exised- leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Euphytica*, 104 (1), pp.39-47.
 - 15- Ehdaie, B. and Waines, J.G., 1994. Growth and transpiration efficiency of efficiency of near isogenic lines for high in spring wheat. *Crop Science*, 34 (6), pp.1443- 1451.
 - 16- Ghosh, P.K., Manna, M.C., Bandyopadhyay, K.K., Tripathi, A.K., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L. and Subba Rao, A., 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98 (4), pp.1097-1108.
 - 17- Ghosh, P.K., 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*, 88 (2-3), pp.227-237.
 - 18- Ghosh, P.K., Tripathi, A.K., Bandyopadhyay, K.K. and Manna, M.C., 2009. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 31 (1), pp.43-50.
 - 19- Hassan, I.A., Mohd Razi, I., Mohd Mokhtaruddin, M. and Halimi, M.S., 2003. Effect of partial rootzone drying (PRD) on growth, yield and water use efficiency (WUE) of tomatoes on soilless culture. *Transactions of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 12, pp.128 - 139.
 - 20- Hosseini, S.M.B., Mazaheri, M.R., Jahansouz, M.R. and Yazdisamadi, B., 2003. The effects of nitrogen levels on yield and yield components of forage millet (*pennisetum americanum*) and cowpea (*vigna unguiculata*) in intercropping system. *Quarterly pajouhesh-va-sazandegi* 16(2), pp. 60-67.
 - 21- Khoramivafa, M., Ghasemi, E., Farhadi, B. and Najaphy, A., 2013. The Water Use Efficiency in Forage Maize at Maize/Faba bean Relay Intercropping in Deficit Irrigation and no Tillage Systems. *Internation Journal of Agronomy Plant Product*, 4 (11), pp.3134- 3139.

- 22- Khurana, E. and Singh, J.S., 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. *Annals of Botany*, 6 (6), pp.1185-1192.
- 23- Morales, R.E.J., Escalante, E.J.A., Sosa, C.L. and Volke, H.V.H., 2009. Biomass, yield and land equivalent ratio of *Helianthus annuus* L. in sole crop and intercropped with *Phaseolus vulgaris* L. in high valleys of Mexico. *Tropical and Subtropical Agro ecosystems*, 10 (3), pp.431-439.
- 24- Munne-Bosch, S. and Alegre, L., 2004. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31 (3), pp.203-216.
- 25- Myaka, F.M., Sakala, W.D., Adu-Gyamfi, J.J., Kamalongo, D., Ngwira, A., Odgaard, R., Nielsen, N.E. and Jensen, H.H., 2006. Yields and accumulations of N and P in farmer-managed intercrops of maize-pigeonpea in semi-arid. *African Plant Soil*, 285 (1), pp.207-220.
- 26- Petropoulos, S.A., Polissiou, M.G. and Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Horticultural Science*, 115 (4), pp.393-397.
- 27- Qurashi-Adel, D.S., 2005. Growth and leaf nutrients content of Guava seedling (*Psidium guajava* L.) Intercropped with some legume cover crops. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 36(3), pp.109-119.
- 28- Shafshak, S.E., Shokr, E.S.E.I. and Ahmar, B.A., 1989. Studies on soybean and sunflower intercropping, plant characteristics, and yield components of soybean and sunflower. *Annals of Agricultural Science*, 24 (4), pp.1773-1793.
- 29- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, S.E., 2007. Effects of partial root zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field condition. *Field Crop Research*, 100 (1), pp.117-124.
- 30- Sherif, M.A. and Mahmoud, M.A., 2015. Effect of deficit irrigation and soybean/maize intercropping on yield and water use efficiency. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4 (12), pp.777-794.
- 31- Shiri-e-Janagard, M., Tobeh, A., Hokmalipour, S., Jamaati-e-Somarin, Sh., Abbasi, A. and Shahbazi, K., 2009. Potato (*Solanum Tuberosum* L.) response to drip irrigation regimes and plant arrangements during growth periods. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8(6), pp.390-399.
- 32- Singer, J.W., Sauer, T.S., Blaser, B.C. and Meek, D.W., 2007. Radiation use efficiency in dula winter cereal forage production systems. *American Society of Agronomy*, 99 (4), pp.1175 - 1179.
- 33- Tahir, M., Malik, M.A., Tanveer, A. and Ahmad, R., 2003. Competition functions of different canola-based intercropping systems. *Asian Journal of Plant Science*, 2 (1), pp.9-11.
- 34- Tesfye, K., Walke, S. and Tsubo, M., 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three gran legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy*, 25 (1), pp.60-70.
- 35- Vandermeer, J., 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University. Press, New York.
- 36- Wang, D., Shannon, M.C. and Grieve, C.M., 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in intercropping (soybean and beans). *Field crops Research*, 69 (3), pp.267-277.
- 37- Willey, R.W. and Rao, M.R., 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16 (2), pp.117-125.
- 38- Xu, B.C., Li, F.M. and Shan, L., 2008. Switch grass and milk vetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 28 (3), pp. 485-492.
- 39- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B. and Spiertz, J.H., 2008. Light interception and zimdahal, R.L. 1993. *Fundamental of Science*. Academic press Inc. USA, pp.91-133



EXTENDED ABSTRACT

Evaluating the effects of alternative and regulated deficit irrigation on yield and some components in intercropping (Sorghum – Red bean)

A. Khajeh Khezri¹, A. Rezaei Estakhroei^{2*} and S. Golestani Kermani³

- 1- MSC student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.
- 2* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman. Assistant professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. (abbasrezaei2@gmail.com).
- 3- Assistant professor, Department of water engineering, Faculty of agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.

Received: 15 October 2016

Accepted: 18 January 2017

Keywords: Deficit irrigation, Intercropping, Partial root zone drying, Water use efficiency.

Introduction

Irrigated agriculture is the main user of the available water resources. About 70% of the total water withdrawals and 60-80% of total consumptive water use are consumed in irrigation (Sepaskhah and Ahmadi, 2010). Due to changes in climatic parameters and reduction of available water resources, The application of water saving strategies such as deficit irrigation with choosing suitable cultivation system compatible with ecological characteristics of the area such as intercropping, can reduced water use consumption. Many researchers have studied the effects of these methods on some components of yield and water use efficiency (Anderian, 2004; Caviglia et al, 2004; Filho, 2000; Tahir et al, 2003). In recent years, the concept of alternate partial root-zone drying irrigation has been raised and attracted considerable interest. Partial root-zone drying technique (PRD) is a modified form of deficit irrigation which involves irrigation only one part of the root zone in each irrigation event, leaving another part to dry to certain soil water content before rewetting by shifting irrigation to the dry side (Sepaskhah and Ahmadi, 2010) that this technique has been less investigated in intercropping system. The objective of this study was to investigate the effects of regulated deficit irrigation (DI) and partial root-zone drying (PRD) on yield and some components of intercropping Sorghum- Red bean.

Methodology

In order to investigate the effects of deficit irrigation techniques on water use efficiency, yield and some components of intercropping, an experiment was carried out as split plots based on completely randomized block design with three replications at the Research Farm of Agricultural, Shahid Bahonar University of Kerman, during cropping season of 2014-2015. The first factor was irrigation treatment at five levels including: FI, DI75%, DI60%, PRD75%, PRD60%, and the second factor was intercropping patterns at five levels including: 100% Sorghum (Speedfeed cv.), 75% Sorghum, 50% Sorghum, 25% Sorghum, 100% Red Bean (Naz cv.). Sorghum and Red bean were planted on plots (6*2.5 m²). Each plot consisted of 5 rows with 0.5m spacing and 6m length. Actual water requirement was determined using a lysimeter with drainage system in farm. Then water content for each water treatment (60% and 75%) was calculated and it was applied

in two deficit irrigation technique (DI and PRD). At the end of the growth period, some properties of both plants including: height, leaf number, leaf area index, fresh and dry biomass, water use efficiency, land equivalent ratio and indicators competitive of intercropping were measured and analyzed with SASv.9 software.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the water stress decreased physiological characteristics of plant in all cultivation patterns. Maximum height of Sorghum (197.3 cm) and Red bean (56 cm) was observed at FI-Sorghum75% and FI-Sorghum25%, respectively. Maximum leaf number of Sorghum and Red bean was observed at FI-Sorghum of 75% and FI-Sorghum of 25%, and minimum leaf number of Sorghum and Red bean was observed at DI60-Sorghum of 75% and DI75-Sorghum 50%. Maximum fresh biomass of Sorghum (284.10 gr/plant) and Red bean (45.23 gr/plant) was observed at FI-Sorghum of 50% and FI-Sorghum 25% and minimum fresh biomass of Sorghum and (65.72 gr/plant) Red bean (27 gr/plant) was observed at DI60-Sorghum of 75% and DI60-Sorghum 75%.

Maximum dry biomass of Sorghum (56.82 gr/plant) and Red bean (9.16 gr/plant) was observed in FI-Sorghum50% and FI-Sorghum75%, respectively. Maximum leaf area index of Sorghum (5.71) and Red bean (2.89) was observed at FI- Sorghum of 25% and FI-Sorghum 25% and minimum LAI of Sorghum and Red bean was observed at DI60-Sorghum of 50% and DI60-Sorghum 25%. In this research, maximum water use efficiency of Sorghum (7.60 kg/m³) and Red bean (2.86 kg/m³) was observed at PRD of 75%-Sorghum25% and PRD75% - Sorghum 25%, respectively, and minimum WUE of Sorghum and Red bean was observed at DI60-Sorghum of 75% and DI60-Sorghum of 25%. Maximum land equivalent ratio of Sorghum and Red bean was observed at PRD75% - Sorghum25% and FI- Sorghum75%, respectively. This results showed that the PRD technique compared to DI, has improved yield and some components under water stress. PRD is a further development form of DI; it involves irrigating only part of the root zone leaving the other part to dry to a predetermined level before the next irrigation. Therefore, PRD allows the induction of the ABA – based root to shoot chemical signaling to regulate growth and water use and thereby increase water use efficiency. In addition , plant nutrient uptake can be improved by intercropping and it may be an important strategy to use N efficiently and to reduce the risks of N leaching that lead to more productivity and improving water use efficiency (Liu et al, 2005)

Conclusion

This study showed that the modified agricultural water managements such as partial root-zone drying (PRD) can improve WUE in dry and semi-dry area. In addition, choosing suitable intercropping system combined with this technique can more reduce water consumption and improve crop yield .

References

- 1- Adeniran, K.A., 2004. The effects of moisture stress on growth and yield of maize (*Zea Mays* L.) intercropped with cowpea (*Vigna umguiculata*). *Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 4 (2), pp.18-22.
- 2- Caviglia, O.P., Sadras, V.O. and Andrade F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*, 87 (2-3), pp. 117-129.
- 3- Filho, J.M.P.L., 2000. Physiological responses of maize and Cowpea to intercropping. *PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA*, 35(5), pp. 915-921.

- 4- Liu F., Jensen C.R., Shahnazari A., Andersen M.N. and Jacobsen S.E., 2005. ABA regulated stomatal and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Science*, 168(3), pp. 831-836.
- 5- Sepaskhah, A.R. and Ahmadi S.H., 2010. A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal Of Plant Production*, 4(4), pp. 241-258.
- 6- Tahir, M., Malik, M. A., Tanveer, A. and Ahmad R., 2003. Competition functions of different canola-based intercropping systems. *Asian Journal of Plant Science*, 2(1), pp. 9-11.