اثر رقابت گیاهی بر کارایی مصرف آب کشت مخلوط شنبلیله و سیاه دانه در رژیم‌های مختلف رطوبتی

سیف‌اله فلاح[۱]*، راضیه کاکولوند و علی عباسی سورکی

استاد گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، ایران.

Falah1357@yahoo.com

دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، ایران.

r.kakolvand@gmail.com

استادیار ، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، ایران.

aabasi59@yahoo.com

چکیده

افزایش کارایی مصرف آب یکی از مهم‌ترین راهکارهایی است که در کاهش بحران کمبود آب مؤثر است. در این راستا اثر رقابت گیاهی بر کارایی آب مصرفی شنبلیله و سیاه دانه تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش سه رژیم مختلف رطوبتی شامل W1؛ بدون تنش (آبیاری کامل)، W2؛ تنش ملایم (آبیاری بر اساس ۷۵ درصد W1)، W3؛ تنش شدید (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد W1) به عنوان عامل اصلی و پنج آرایش کشت شامل کشت خالص شنبلیله، کشت خالص سیاه دانه و سه نسبت مخلوط (۲:۱، ۱:۱، ۱:۲ شنبلیله و سیاهدانه) به عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان کارایی مصرف آب در تولید دانه مربوط به ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (با نسبت ۱:۲) است. در شرایط تنش ملایم، میزان کارایی مصرف آب مربوط به ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۱:۲) از کشت خالص تحت شرایط بدون تنش بیشتر بود. در شرایط بدون تنش، بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تولید زیست توده در تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) و کمترین مقدار آن در کشت خالص سیاه دانه نشان داده شد. نسبت برابری آب در تیمارهای مخلوط در مقایسه با کشت خالص دو گیاه شنبلیله و سیاه دانه از برتری بیشتری برخوردار بود به گونه‌ای که در شرایط تنش ملایم بیشترین نسبت برابری آب در تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) به ترتیب با میانگین ۱/۴۷ و ۱/۴۴ مشاهده شد. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که ایجاد رقابت بین گونه‌ای در گیاهان رهیافت مهمی برای افزایش راندمان مصرف آب و تولید محصول در شرایط تنش خشکی است.

واژه‌های کلیدی: نسبت برابری آب، تنش خشکی، آرایش کشت، زیست توده.

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، ایران.

* – دریافت: بهمن ۱۳۹۵ و پذیرش: **بهمن ۱۳۹٦**

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک دسترسی به آب آبیاری در حال کاهش است (فلاح و همکاران، ۱۳۹۱)، بنابراین افزایش پایدار تولید غذا در این مناطق نیازمند استفاده کارآمد زمین و آب است (بای و همکاران، ۲۰۱٦). کارایی مصرف آب در محصولات کشاورزی نزدیک ۰/۷ کیلوگرم عملکرد بر متر مکعب آب مصرفی است و برای خوداتکایی در تولید محصولات کشاورزی لازم است که مقدار کارایی مصرف آب به حدود ۱/۳ کیلوگرم در متر مکعب برسد. برای رسیدن به چنین شرایطی، مدیریت آب آبیاری به عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار بر کارایی مصرف آب نسبت به سایر نهاده‌ها است (خرمی‌وفا و همکاران، ۱۳۹۰).

راهبرد چندکشتی به دلیل تولید ماده خشک بیشتر (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳) در افزایش کارایی مصرف آب مؤثر است (مائو و همکاران، ۲۰۱۲). در رابطه با مصرف آب در چند کشتی، اصل تولید رقابتی و رقابت اجزای چند کشتی برای دستیابی به آب نقش کلیدی و اهمیت فراوانی دارد. این در حالی است که انتخاب نامناسب اجزای چند کشتی، به دلیل محدودیت رطوبت- منجر به چیرگی یک محصول بر محصول دیگر و ایجاد خسارت اقتصادی می‌شود (زانگ و لی، ۲۰۰۳). الگوهای جذب آب در گیاهانی که به صورت مخلوط کشت می‌شوند با کشت خالص تفاوت دارد (خرمی‌وفا و همکاران،۱۳۹۰). در واقع جذب آب توسط یک گیاه به ظرفیت ریشه‌ای آن و توزیع ریشه در نیمرخ خاک بستگی دارد. بر این اساس گیاهانی که دارای سیستم ریشه‌ای عمیق باشند ممکن است آب عمق پایین‌تر را مصرف کنند (فرانسیس، ۱۹۸۹) و توسعه بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در مزرعه ظرفیت جذب بهینه آب را افزایش می‌دهد. در شرایط آبیاری مطلوب کشت مخلوط ذرت/گندم نسبت به میانگین وزنی کشت خالص آب بیشتری مصرف نمود. تنش آب رقابت بین گونه‌ای را تشدید نمود و محدویت مناسب آب می‌تواند اثرات مکملی را در کشت مخلوط افزایش دهد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).اغلب پژوهش‌های چند کشتی بر روی عملکرد گیاهان تمرکز دارند و کارایی مصرف آب کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. برخی گزارش‌ها حاکی است که کارایی مصرف آب در کشت مخلوط ۹۹ تا ۱۸ درصد بیشتر از کشت خالص است؛ زیرا در کشت مخلوط، گیاهان از منابع محیطی استفاده بهتری می‌کنند (دیویس و همکارن، ۱۹۸٦) و در چنین شرایطی بهره‌وری از نیروی انسانی، زمین زراعی و آب مصرفی بالا است (نعمت‌الهی و همکاران،۲۰۱۳). در کشت مخلوط گندم/ذرت میزان مصرف آب بیشتر از کشت خالص بود ولی افزایش ۱٤۲ درصدی عملکرد نسبت به کشت خالص گندم و ۲۳ درصدی نسبت به کشت خالص ذرت موجب افزایش ۲٦ درصدی کارایی مصرف آب شد (هو و همکاران، ۲۰۱٦). در پژوهش‌های دیگری نشان داده شد که کارایی مصرف آب کشت مخلوط ذرت/ گندم مشابه میانگین وزنی کشت خالص آنها بود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵) ولی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سورگم/لوبیا چشم بلبلی ٥٤/٦٥ درصد بیشتر از کشت خالص سورگم بود (چیمونیو و همکاران، ۲۰۱٦).

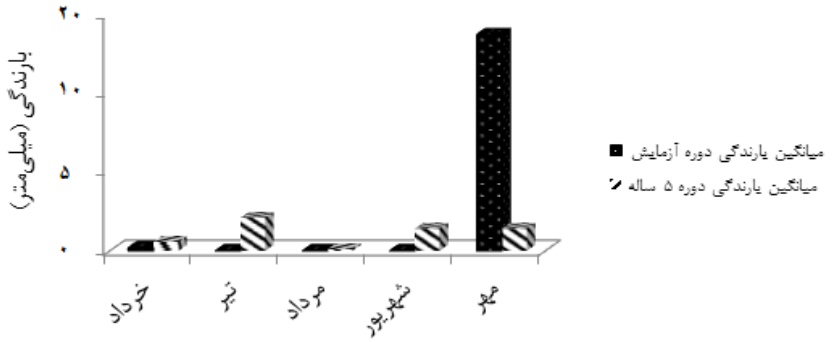
نسبت برابری آب (WER) کارایی استفاده از منبع آب در کشت مخلوط را مشخص می‌کند و در کشت مخلوط ذرت/نخودفرنگی محدوده ۰/۸۷- تا ۱/۱٦ بود (مائو و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه دیگری نسبت برابری آب برای کشت مخلوط زردآلو با بادام زمینی، ارزن و سیب زمینی شیرین به ترتیب ۱/۳۹، ۱/۵۱ و ۱/۳٤ بود. کشت مخلوط زردآلو با ارزن کمترین آب را مصرف نمود ولی بالاترین عملکرد را تولید نمود (بای و همکاران، ۲۰۱٦). نسبت برابری آب بین در آزمایش نسبت کاشت و تراکم بوته کشت مخلوط ذرت/سویا بین ۰/۸٤ تا ۱/٦۸ گزارش گردید (رن و همکاران، ۲۰۱٦). محدوده متفاوت نسبت برابری آب نشاندهنده تغییرات در اثر کشت مخلوط بر کارایی مصرف آب است (بای و همکاران، ۲۰۱٦؛ رن و همکاران، ۲۰۱٦).

با توجه به محدودیت آب در شرایط اقلیمی کشور به‌ویژه برای محصولات بهاره و تابستانه، هر گونه راهبرد افزایش کارایی مصرف آب برای پایداری تولید محصولات کشاورزی ضروری می‌باشد؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر رقابت گیاهی بر کارایی استفاده از آب و زمین در کشت دو گیاه شنبلیله و سیاه دانه رژیم‌های مختلف رطوبتی اجرا گردید.

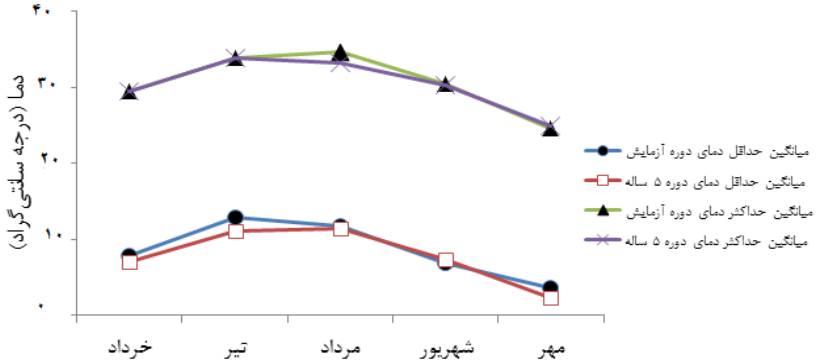
مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ٤۹ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۲۱۱٦ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۳ انجام شد. اطلاعات هواشناسی (شکل ۱ و ۲) نشان می‌دهد که عدم بارش طی فصل رشد محصولات بهاره-تابستانه حاکی از ضرورت آبیاری گیاهان است. علاوه بر این شدت دمای بالا توأم با وزش باد و هم‌چنین روزهای طولانی می‌تواند میزان تبخیر - تعرق پتانسیل و بالطبع تلفات آب را در اکوسیستم‌های کشاورزی افزایش می‌دهد.

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه رژیم مختلف رطوبتی شامل W1؛ بدون تنش (آبیاری کامل)، W2؛ تنش ملایم (آبیاری بر اساس ۷۵ درصد W1)، W3؛ تنش شدید (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد W1) به عنوان عامل اصلی و پنج آرایش کشت شامل کشت خالص شنبلیله، کشت خالص سیاه دانه و سه نسبت مخلوط (۲:۱، ۱:۱، ۱:۲ شنبلیله و سیاه‌دانه) به عنوان عامل فرعی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. قبل از تهیه بستر، نمونه مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه گردید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن در آزمایشگاه تعیین شد (جدول ۱). رطوبت ارائه شده در جدول ۱ براساس درصد حجمی است.



شکل ۱- میانگین بارندگی ماهیانه سال ۱۳۹۳ و دوره ۵ سال قبل از آن (۹۲-۸۸) (اداره هواشناسی چهار محال بختیاری، ۱۳۹۳)



شکل ۲- میانگین دمای ماهیانه سال ۱۳۹۳ و دوره پنج سال قبل از آن (۹۲-۸۸) (اداره هواشناسی چهار محال بختیاری، ۱۳۹۳)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

ویژگی	بافت	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم
واحد	–	dS/m	–	%	%	%
خاک	رسی لوم	۱/۴۷	۷/۹۸	۰/۷۶	۲۳/۱۱	۸/۹۱

برای محاسبه کل آب قابل استفاده گیاه (TAW) و همچنین هم‌چنین رطوبت سهل الوصول (RAW) بر حسب میلی‌متر به ترتیب از روابط ۱ و ۲ استفاده شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$TAW = 1000\ (\theta_{FC} - \theta_{WP})\ Zr \qquad (۱)$$

$$RAW = p \times TAW \qquad (۲)$$

θ_{FC} = مقدار آب در ظرفیت زراعی (متر مکعب بر متر مکعب)، θ_{wp} = مقدار آب در نقطه پژمردگی (متر مکعب بر متر مکعب)، Zr= عمق ریشه (متر). p ضریب سهل‌الوصول بوده و برای هر دو گیاه ۰/۵ در نظر گرفته شد.

براساس رابطه فوق الذکر، برای تیمار آبیاری کامل ۳۵/۵٦ میلی‌متر، برای تیمار تنش ملایم ۲٦/٦۷ میلی‌متر و تیمار تنش شدید ۱۷/۷۸ میلی‌متر توسط کنتور اعمال شد. تیمارهای تنش خشکی بعد از پنج برگی گیاه شنبلیله و تنک کردن مزرعه اعمال شدند. زمان هر اتفاق آبیاری توسط دستگاه تتاپروپ در ۰/۷ ظرفیت زراعی مزرعه برای تیمار آبیاری کامل در هر آرایش کشت متناظر انجام شد و حجم آب مورد نیاز بر اساس روابط بذور شنبلیله و سیاه دانه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و کاشت هر دو گیاه در تاریخ ۱۷ خرداد به صورت هم‌زمان در ردیف‌هایی با فواصل ۲۵ سانتی‌متری و با تراکم بالا در کرت‌هایی به ابعاد ۲/۵×۲/۲۵ متر انجام شد. در مرحله چهار برگی، گیاهان برای رسیدن به تراکم مطلوب (۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع برای شنبلیله و سیاه دانه) تنک شدند. در طول آزمایش وجین دستی علف‌های هرز انجام شد.

محتوای نسبی آب برگ

قبل از پایان تنش محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. ابتدا از برگ تمام تیمارهای آزمایشی نمونه برداری شده و بلافاصله در یخ قرارگرفت. وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد، سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده و به مدت ۲٤ ساعت در سردخانه (دمای چهار درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. پس از آن وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری گردید. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین در رابطه زیر محتوای نسبی آب برگ (RWC) به دست آمد.

$$RWC=(W_f-W_d) \times 100/(W_t-W_d) \qquad (۳)$$

W_d= وزن خشک برگ پس از قرار گرفتن در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ٤۸ ساعت

W_t= وزن اشباع برگ پس از قرار گرفتن درآب مقطر به مدت ۲٤ ساعت

W_f= وزن اولیه برگ

طول ریشه

در مرحله انتهایی گلدهی (یک مرداد ماه) در هر کرت ۱۰ بوته از هر گیاه به صورت تصادفی انتخاب گردید و طول ریشه به‌وسیله خط کش اندازه‌گیری شد.

حجم ریشه

در مرحله پایان مرحله گلدهی (سه مرداد ماه)، در هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب گردید و حجم ریشه توسط استوانه مندرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری اندازه‌گیری شد، به طوری که اختلاف حجم آب اولیه و حجم آب پس از غوطه‌ور ساختن ریشه‌ها تعیین کننده حجم ریشه بود.

میزان نور دریافتی

میزان نور رسیده به سطح کانوپی و کف کانوپی گیاهان با دستگاه نورسنج (Sun scan) مدل LP-80 اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نور در یک روز آفتابی در فاصله ساعت ۱۵-۱۱ در مرحله اوایل پرشدن دانه‌ها در غلاف‌ها و کپسول‌ها (۱۷ مرداد ماه) انجام شد. میزان نور دریافت شده نهایی توسط کانوپی‌های کشت خالص و کشت مخلوط از طریق اختلاف نور در بالای کانوپی و کف کانوپی محاسبه گردید (تسفای و همکاران، ۲۰۰٦).

کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب در تولید دانه از حاصل تقسیم عملکرد دانه سیاه دانه و شنبلیله بر مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد محاسبه شد (قاسمی و فلاح، ۱۳۹۳).

$$WUEs = \frac{Ys}{WU} \qquad (٤)$$

Ys،WUEs و WU به ترتیب بیانگر کارایی مصرف آب (کیلوگرم در متر مکعب)، عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) می‌باشند.

کارایی مصرف آب در تولید بیوماس از حاصل تقسیم ماده خشک سیاه دانه و شنبلیله (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد محاسبه شد (قاسمی و فلاح، ۱۳۹۳).

$$WUEb = \frac{Yb}{WU} \qquad (٥)$$

Yb،WUE*b* و WU به ترتیب بیانگر کارایی مصرف آب، ماده خشک و آب مصرفی می‌باشند.

نسبت برابری آب

مزیت استفاده از آب در کشت مخلوط به صورت شاخص جدیدی تحت عنوان نسبت برابری آب (WER) تعریف می‌شود که از رابطه (٦) محاسبه می‌شود (مائو و همکاران، ۲۰۱۲).

$$WER=WER_A+WER_B=\frac{\frac{Yint,A}{WUint,A}}{\frac{Ymono,A}{WUmono,A}}+\frac{\frac{Yint,B}{WUint,B}}{\frac{Ymono,B}{WUmono,B}}=\frac{WEUint,A}{WUEmono,A}+\frac{WUEint,B}{WUEmono,B} \qquad (٦)$$

که $WEU_{mono,A}$ و $WEU_{mono,B}$ اثربخشی استفاده از آب کشت خالص گونه A و B هستند. $WUE_{int,A}$ و $WUE_{int,B}$ اثر بخشی استفاده از آب در گونه‌های A و B در کشت مخلوط هستند. WUE به عنوان بازده محصول هر واحد A یا B از کل آب استفاده شده در کشت مخلوط می‌باشد (قیاسی برای تعریف LER). $Y_{int,A}$ و $Y_{mono,A}$ به ترتیب عملکرد گونه A در کشت مخلوط و کشت خالص است. $Y_{int,B}$ و $Y_{mono,B}$ به ترتیب عملکرد گونه B در کشت مخلوط و کشت خالص است. WU_{int} آب مصرفی در کل سیستم کشت مخلوط، $WU_{mono,A}$ و $WU_{mono,B}$ آب مصرفی برای محصولات A وB در کشت‌های خالص هستند. در صورتی که WER بزرگتر از یک مزیت استفاده از آب را در کشت مخلوط نشان می‌دهد. در صورتی که WER کوچک‌تر از یک باشد زیان استفاده از آب را نشان می‌دهد (مائو و همکاران، ۲۰۱۲). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام گردید؛ و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عمق ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عمق ریشه برای گیاه شنبلیله بیانگر اختلاف معنی‌دار بین رژیم‌های مختلف رطوبتی و آرایش کشت در سطح احتمال خطای یک درصد بود اما اثر متقابل این عوامل معنی‌دار نشد (جدول ۲). برای عمق ریشه گیاه سیاه دانه نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم رطوبتی، آرایش کشت و اثرات متقابل تنش خشکی با آرایش کشت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین در شکل ۳ الف برای گیاه شنبلیله

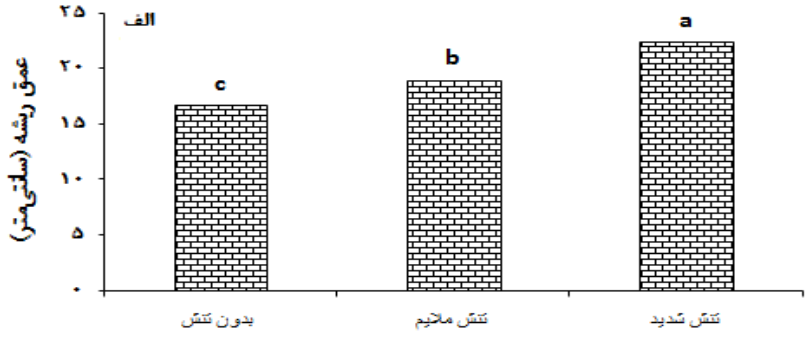
نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان عمق ریشه افزایش پیدا می‌کند به طوری که در شرایط تنش شدید بیشترین مقدار عمق ریشه نشان داد. گیاهان هنگام مواجه شدن با تنش رطوبتی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه باعث افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس می‌شود (میشل و همکاران، ۲۰۰۹). نتیجه مقایسه میانگین‌ها برای آرایش کشت نشان داد که بیشترین مقدار عمق ریشه در کشت خالص شنبلیله حاصل شد و بین نسبت‌های کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳ ب). وجود رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص می‌تواند دلیل احتمالی افزایش عمق ریشه در شرایط کشت خالص باشد.

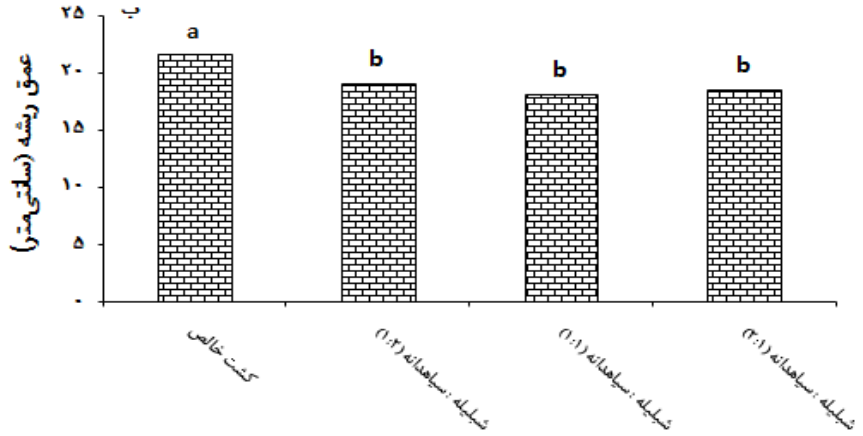
در شرایط بدون تنش، بیشترین عمق ریشه در تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۲:۱) به دست آمد که با تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) اختلاف آماری نشان نداد (شکل ٤). در شرایط تنش ملایم، بیشترین مقدار عمق ریشه در کشت خالص و تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۱:۱) مشاهده شد. در شرایط تنش شدید، کشت خالص سیاه دانه و تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) بیشترین مقدار عمق ریشه را دارا بودند. هنگامی که گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود ریشه نقش مهمی را در بقا آن بازی می‌کند. در این ارتباط گزارش شده است که در گیاه سویا و لوبیا بیشترین عمق ریشه در سال‌های خشک و خاک‌های با رطوبت کم مشاهده می‌شود (مریل و همکاران، ۲۰۰۲؛ آش و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۲- تجریه واریانس (میانگین مربعات) اثر آرایش کشت بر میزان عمق ریشه، حجم ریشه و محتوای نسبی آب برگ در گیاه شنبلیله و سیاه دانه تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

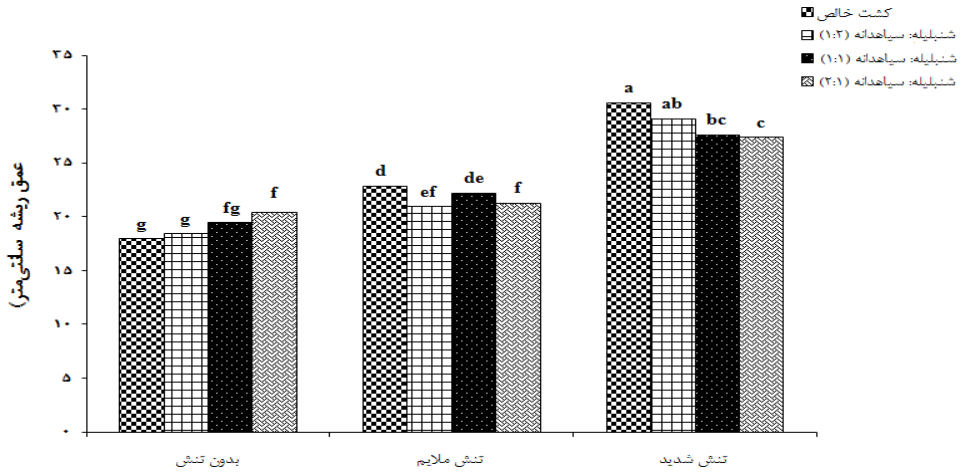
منبع تغییرات	درجه آزادی	عمق ریشه		حجم ریشه		محتوای نسبی آب برگ	
		شنبلیله	سیاه دانه	شنبلیله	سیاه دانه	شنبلیله	سیاه دانه
تکرار	۲	۰/۴^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۱/۴۲^{ns}	۱/۴۷^{ns}	۰/۸^{ns}	۷/۷^{ns}
رژیم رطوبتی (S)	۲	۹۷/۶۳**	۲۹۳**	۴۵/۳۲**	۴۳/۰۸**	۱۲۹۲**	۸۲۹**
خطای اصلی	۴	۳/۰۷	۰/۸۱۱	۰/۸۷	۱/۶۹	۸/۲	۸/۵
آرایش کشت (P)	۳	۲۱/۰۶**	۵/۳۳**	۱۴/۰۵**	۲۱/۸۵**	۲۲۵**	۲۲۴**
S× P	۶	۴/۴۵^{ns}	۴/۸۶**	۱/۳۴^{ns}	۱/۶۵*	۱۲/۴^{ns}	۱۹/۰۳*
خطای فرعی	۱۸	۴/۴۲	۰/۹۸	۰/۵۸	۰/۷۸	۱۲/۰۸	۵/۰۲۳

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد.





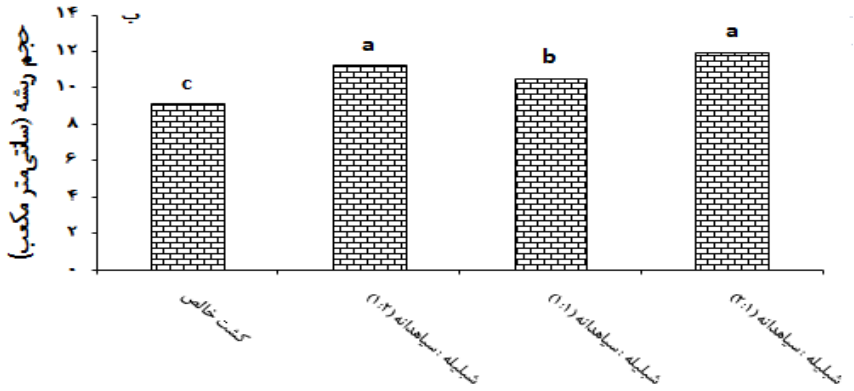
شکل ۳ - اثر رژیم رطوبتی (الف) و آرایش کشت (ب) بر عمق ریشه شنبلیله. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشد.



شکل ۴- اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر عمق ریشه سیاه دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند.

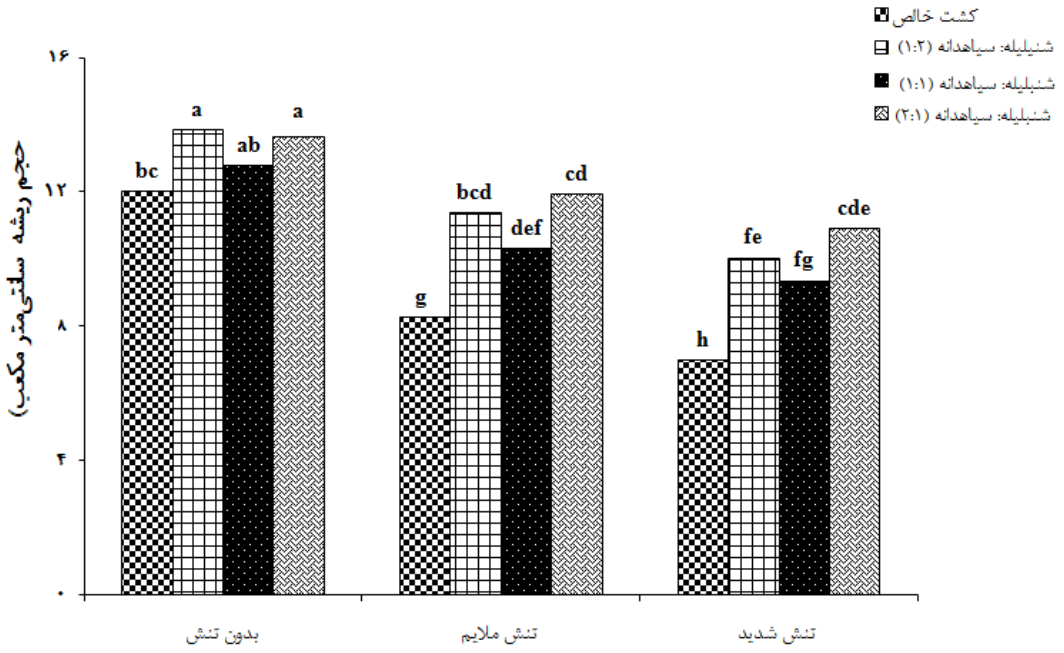
حجم ریشه

اثرات اصلی رژیم رطوبتی و آرایش کشت بر حجم ریشه هر دو گیاه در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد و برای گیاه سیاه دانه اثرات متقابل در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در گیاه شنبلیله تحت شرایط رطوبتی متفاوت، حجم ریشه تغییرات زیادی را به همراه داشته اشت به گونه‌ای که در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار حجم ریشه مشاهده گردید و با افزایش تنش خشکی این حجم کاسته شده و کمترین مقدار حجم ریشه تحت تنش شدید حاصل شد (شکل ۵ الف). از نظر آرایش کشت در گیاه شنبلیله می‌توان چنین بیان نمود که بیشترین مقدار حجم ریشه در تیمارهای مخلوط شنبلیله: سیاه دانه (۲:۱) و (۱:۲) و همچنین کمترین مقدار حجم ریشه در کشت خالص این گیاه بود (شکل ۵ ب).



شکل ۵- اثر رژیم رطوبتی (الف) و آرایش کشت (ب) بر حجم ریشه شنبلیله. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند

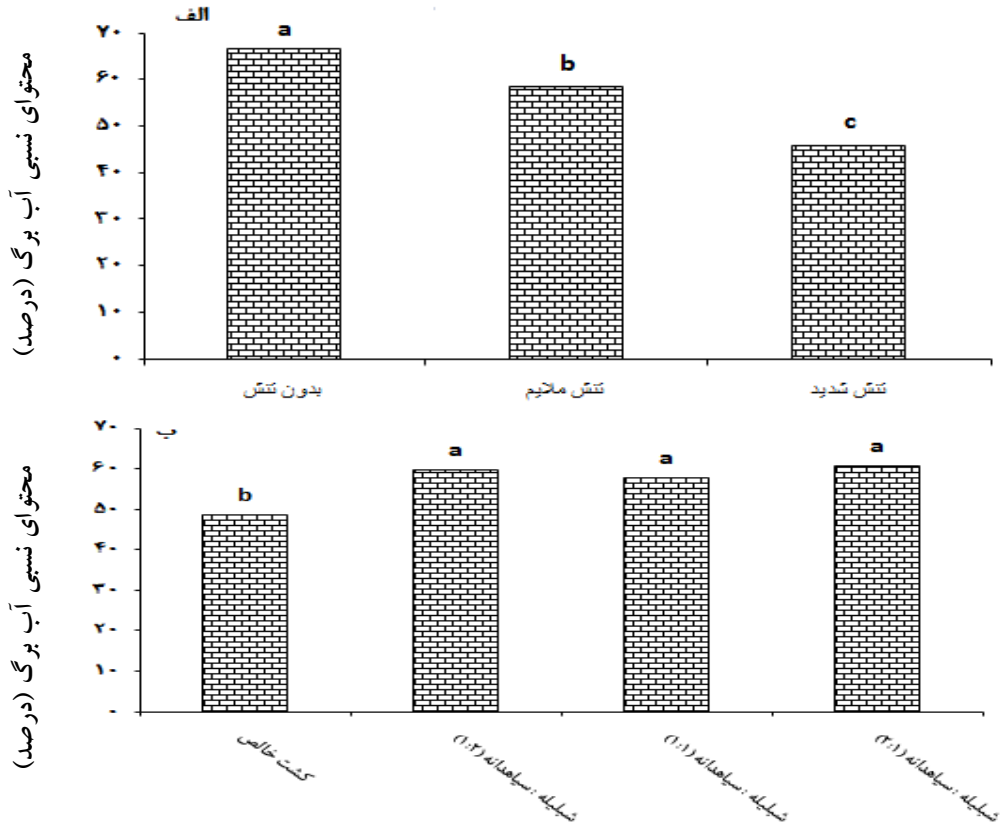
در شرایط بدون تنش بین تیمارهای مخلوط از نظر حجم ریشه اختلاف آماری وجود نداشت اما نسبت به کشت خالص به طور معنی‌داری بالاتر بود (شکل ٦). در شرایط تنش ملایم و تنش شدید، میزان کاهش حجم ریشه در کشت خالص سیاه دانه نسبت به تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود. گستردگی بیشتر ریشه دسترسی به آب را افزایش داده و موجب افزایش دوام گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود. کاهش گستردگی ریشه در هنگام تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب عناصر غذایی به دنبال کاهش رطوبت در منطقه ریشه می‌شود و به طور کلی افزایش گستردگی ریشه یکی از سازکارهای تحمل در برابر خشکی می‌باشد (اصغری پور و رفیعی، ۱۳۸۹).



شکل ۶- اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر حجم ریشه در سیاه دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند

محتوای نسبی آب برگ

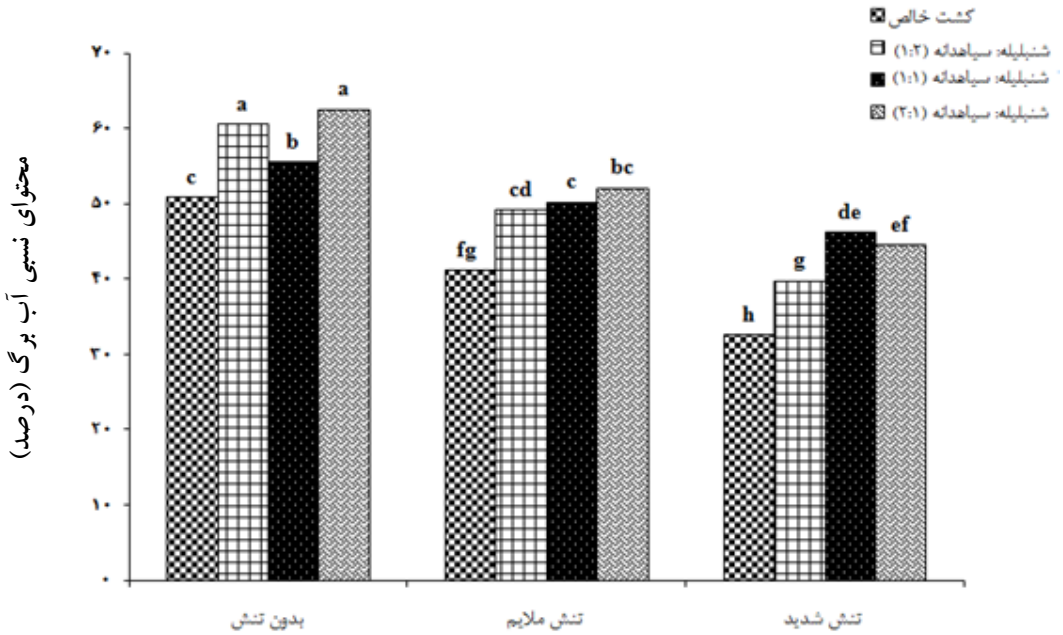
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای گیاه شنبلیله نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت تیمارهای رژیم رطوبتی و آرایش کشت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد اما اثر متقابل این دو عامل بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نبود. برای گیاه سیاه دانه مشاهده شد که اثرات اصلی رژیم رطوبتی و آرایش کشت و اثر متقابل بر محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در سطح احتمال خطای یک، یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).با توجه به مقایسه میانگین ها (شکل ۷ الف) می‌توان اعلام نمود که در گیاه شنبلیله با افزایش تنش خشکی میزان رطوبت نسبی برگ کاسته شد. به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار بدون تنش (با میانگین ٦٦/٤٥ درصد) وجود داشت و در تیمار تنش شدید (با میانگین ٤٤/٨٥ درصد) کمترین میزان رطوبت نسبی مشاهده شد. در شکل ۷ ب مشاهده می‌شود که بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمارهای مخلوط بود.



شکل ۷- اثر رژیم رطوبتی (الف) و آرایش کشت (ب) بر محتوای نسبی آب برگ شنبلیله. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند

برای گیاه سیاه دانه می‌توان بیان داشت که بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار بدون تنش بود و با افزایش تنش خشکی تیمارهای کشت مخلوط از محتوای نسبی آب برگ بیشتر برخوردار بودند (شکل ۸). به طوری که بیشترین میزان آن در شرایط بدون تنش در نسبت کشت شنبلیله: سیاه دانه (۲:۱) و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید در کشت خالص مشاهده گردید. در شرایط تنش شدید، میزان رطوبت نسبی در تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۱) و (۲:۱) در مقایسه با کشت خالص تحت شرایط تنش ملایم برتری نشان داد. بسیاری از محققان معتقدند که کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش کم آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها

می‌باشد و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌دانند. به‌طوری که در شرایط تنش خشکی این هورمون در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد و همچنین به نظر می‌رسد بین محتوای نسبی آب برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به طوری که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۰۷). پس به نظر می‌رسد در آرایش‌های کشت مخلوط شنبلیله و سیاه دانه برتری نسبت به کشت خالص وجود داشته باشد. از طرفی، در تیمار بدون تنش در دو گیاه ذکر شده، بیشترین محتوای نسبی آب برگ وجود داشت که نشان‌دهنده رابطه عکس بین تنش خشکی و رطوبت جذب شده در ساختار گیاه تحت شرایط محیطی اعمال شده و کمبود آب در دسترس برای گیاهان است.



شکل ۸- اثر متقابل رژیم رطوبتی و آرایش کشت بر محتوای نسبی آب برگ در سیاه دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند.

نور دریافتی کانوپی

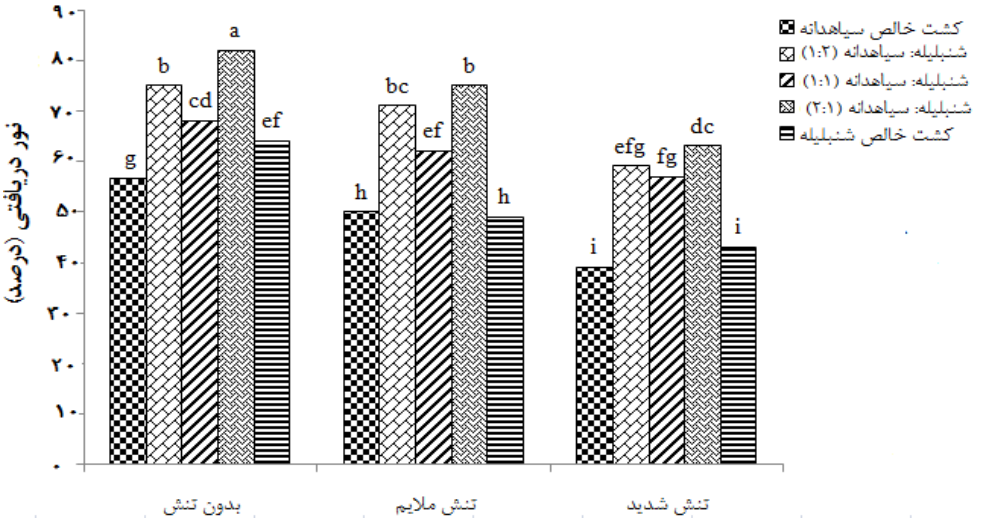
اثرات اصلی رژیم رطوبتی و آرایش کشت بر نور دریافتی به وسیله کانوپی در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر متقابل، این عوامل بر صفت یاد شده در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). شکل ۹ نشان می‌دهد که تحت شرایط بدون تنش، در تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۲:۱) با میانگین ۸۲ درصد و تحت شرایط تنش شدید، کشت خالص سیاه دانه با میانگین ۳۹ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان نور دریافتی در کانوپی دارا بودند. این در حالی است که تحت شرایط تنش شدید، میزان دریافت نور به وسیله کانوپی در تیمارهای مخلوط در مقایسه با کشت خالص هر دو گیاه (تحت شرایط تنش ملایم) و سیاه دانه در شرایط بدون تنش برتری داشت. نور منبع اصلی تولید زیست توده در گیاهان بوده و در بوم نظام‌های طبیعی رقابت برای نور سبب برتری برخی از گونه‌ها نسبت به سایر گونه‌ها می‌شود. بوته‌های شنبلیله و سیاه دانه به صورت مخلوط به دلیل ساختار رویشی متفاوت، توانسته‌اند تمام آشیان‌های موجود را نسبتاً اشغال کنند و به دنبال آن، نور بیشتری را به وسیله کانوپی دریافت نمودند (تسوبو و همکاران، ۲۰۰٤). این در حالی است که در کشت خالص همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتز به دلیل وجود فضای خالی در

بین ساختار رویشی گیاهان تلف می‌شود اما مقدار این تلفات در کشت مخلوط به دلیل پوشش بیشتر گیاهان در سطح خاک کاهش می‌یابد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات آرایش کشت بر نور دریافتی کانوپی، کارایی مصرف آب و نسبت برابری آب شنبلیله و سیاه دانه تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

منبع تغییرات	درجه آزادی	نور دریافتی	WUEs	WUEb	WER
تکرار	۲	۸۵/۰۱**	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}
تنش خشکی (S)	۲	۸۴۶**	۰/۰۲**	۰/۱۳**	۰/۳۳**
خطای اصلی	۴	۴/۴۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۹
آرایش کشت (P)	۴	۱۲۲۷**	۰/۰۰۷**	۰/۰۵۲**	۰/۳۰۸**
S× P	۸	۲۲/۸*	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۱**	۰/۰۶۴**
خطای فرعی	۲۴	۱۰	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳

ns** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای یک درصد.

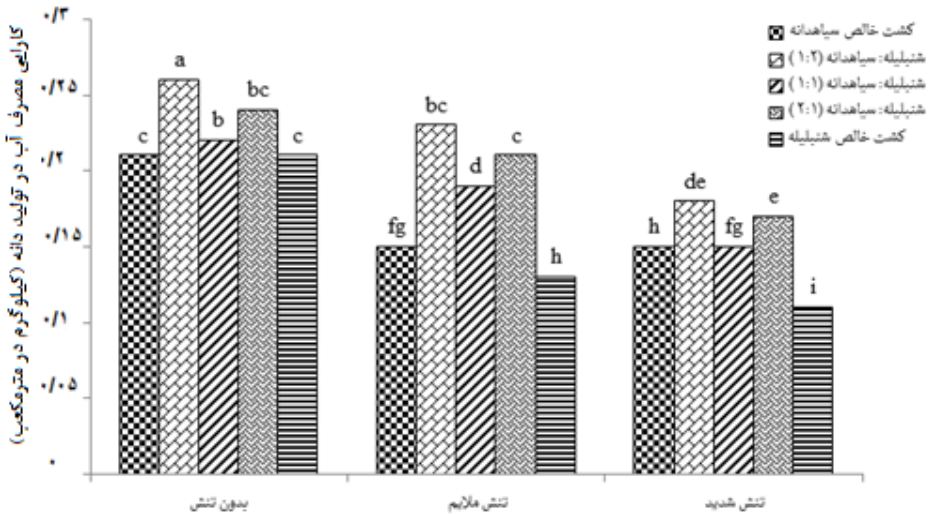


شکل ۹- اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر میزان نور دریافتی در کشت مخلوط سیاه دانه: شنبلیله میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند.

کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب در تولید دانه (WUEs) نشان داد که اثر رژیم رطوبتی و آرایش کشت و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها برای صفت مذکور در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین‌های در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار WUEs در هر سه رژیم رطوبتی در ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۱:۲) بود. در شرایط تنش ملایم همان طور مشاهده می‌شود میزان WUEs در ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۱:۲) حتی بالاتر از کشت خالص تحت شرایط بدون تنش بود. همچنین این روند در شرایط تنش شدید نیز مشاهده می‌شود. به طور کلی بر اساس مقایسه میانگین‌ها می‌توان بیان داشت در رژیم‌های مختلف رطوبتی برتری WUEs ترکیب‌های مخلوط در مقایسه با کشت خالص سیاه دانه و شنبلیله نمایان است. به موازات تنش خشکی عمق ریشه هر دو گیاه افزایش می یابد (شکل ۳) ولی در شرایط کشت مخلوط عمق ریشه شنبلیله کمتر از کشت خالص است و برای گیاه سیاه دانه این حالت صرفاً در شرایط تنش خشکی اتفاق افتاده است (شکل ٤). از آنجا که حجم ریشه دو گیاه شنبلیه و سیاهدانه در شرایط کشت مخلوط افزایش معنی‌داری داشته است (شکل ۵ و ٦)، بنابراین

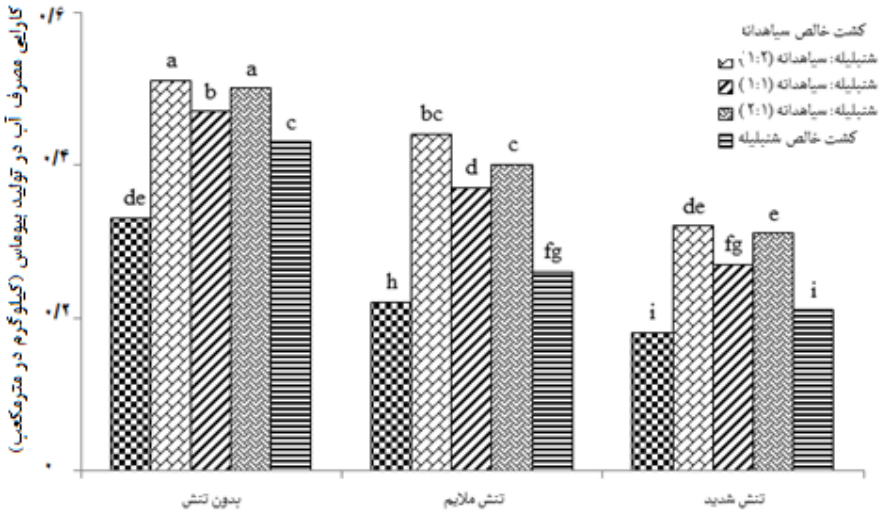
توزیع ریشه‌ها در عمق‌های مختلف می‌تواند امکان دسترسی به رطوبت موجود در پروفیل خاک را فراهم نماید و این امر موجب می‌شود که تیمارهای کشت مخلوط دیرتر از کشت خالص با کمبود رطوبت مواجه شوند؛ زیرا که محتوای نسبی آب برگ تیمارهای مخلوط بطور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کشت خالص بود و این شرایط به جذب بیشتر نور توسط کانوپی گسترده و متراکم کشت مخلوط کمک می‌نماید (شکل ۹) و همچنین با تداوم فتوسنتز در افزایش عملکرد دانه و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب مؤثر است. برخی پژوهشگران گزارش نموده‌اند که افزایش WUEs عمدتا به افزایش عملکرد مرتبط است (هوول و همکاران، ۱۹۹٦). در تیمارهای کشت مخلوط به دلیل وجود آشیان اکولوژیکی متفاوت در کانوپی امکان استفاده از نور بیشتر از کشت خالص است (شکل ۹). از سوی دیگر در تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) وجود دو ردیف گیاه سیاه دانه که گیاهی نسبتاً مقاوم به تنش خشکی است (کاکولوند و همکاران، ۱۳۹٦) باعث می‌شود که آب بیشتری در دسترس گیاه شنبلیله قرار گیرد و حساسیت کمتر رنگدانه‌های فتوسنتزی سیاه دانه در مقایسه با شنبلیله (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳) باعث تداوم فتوسنتز این ترکیب گیاهی و افزایش تولید دانه و WUEs می‌شود. نتایج مطالعه‌ای در کشت مخلوط مخلوط بادام زمینی و ارزن انگشتی نشان داد که کارایی مصرف آب در شرایط مخلوط در مقایسه با کشت خالص افزایش پیدا کرد (رانکولتلی و همکاران، ۱۹۹۸) به طور کلی، افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط علاوه بر افزایش عملکرد، به کاهش تبخیر ناشی از وجود پوشش گیاهی بیشتر در سطح خاک مرتبط می‌باشد. علاوه بر این بهبود توسعه ریشه دو گیاه امکان استفاده بیشتر از آب خاک و در نتیجه بهبود کارایی مصرف آب را فراهم می‌کند (دباروس و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۱۰- اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر WUEs سیاه دانه و شنبلیله. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند

اثر اصلی رژیم رطوبتی و آرایش کشت و اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر کارایی مصرف آب در تولید بیوماس (WUEb) در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های در شکل ۱۱ نشان داد که در شرایط بدون تنش، بیشترین مقدار WUEb در تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در کشت خالص سیاه دانه نشان داده شد. با افزایش شدت تنش خشکی از میزان WUEb کاهش یافت. در شرایط تنش ملایم، WUEb در نسبت‌های مخلوط از برتری

بالاتری در مقایسه با کشت خالص سیاه دانه برخوردار بود. تحت شرایط تنش شدید، WUEb در نسبت‌های مخلوط برتری بالاتری نسبت به کشت خالص سیاه دانه و شنبلیله نشان داد. بیشتر بودن محتوی آب نسبی برگ در تیمارهای مخلوطی که تنش متوسط و حتی شدید را تجربه نموده‌اند در مقایسه با کشت خالص شنبلیله و سیاه دانه (شکل‌های ۷ و ۸) بیانگر این نکته است که آشیان اکولوژیکی ریشه گیاهان در کشت مخلوط به طور کارآمدی توسعه یافته است و همین امر باعث افزایش جذب آب از پروفیل خاک تحت تنش خشکی شده است. نتایج مطالعه حاضر با گزارش کارایی مصرف آب در در کشت مخلوط گندم/ذرت (هو و همکاران، ۲۰۱٦) و کشت مخلوط سورگم/لوبیا چشم بلبلی ٦٥ (چیمونیو و همکاران، ۲۰۱٦) همخوانی داشت.



شکل ۱۱- اثر متقابل رژیم رطوبتی با آرایش کشت بر WUEb سیاه دانه و شنبلیله. میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشند

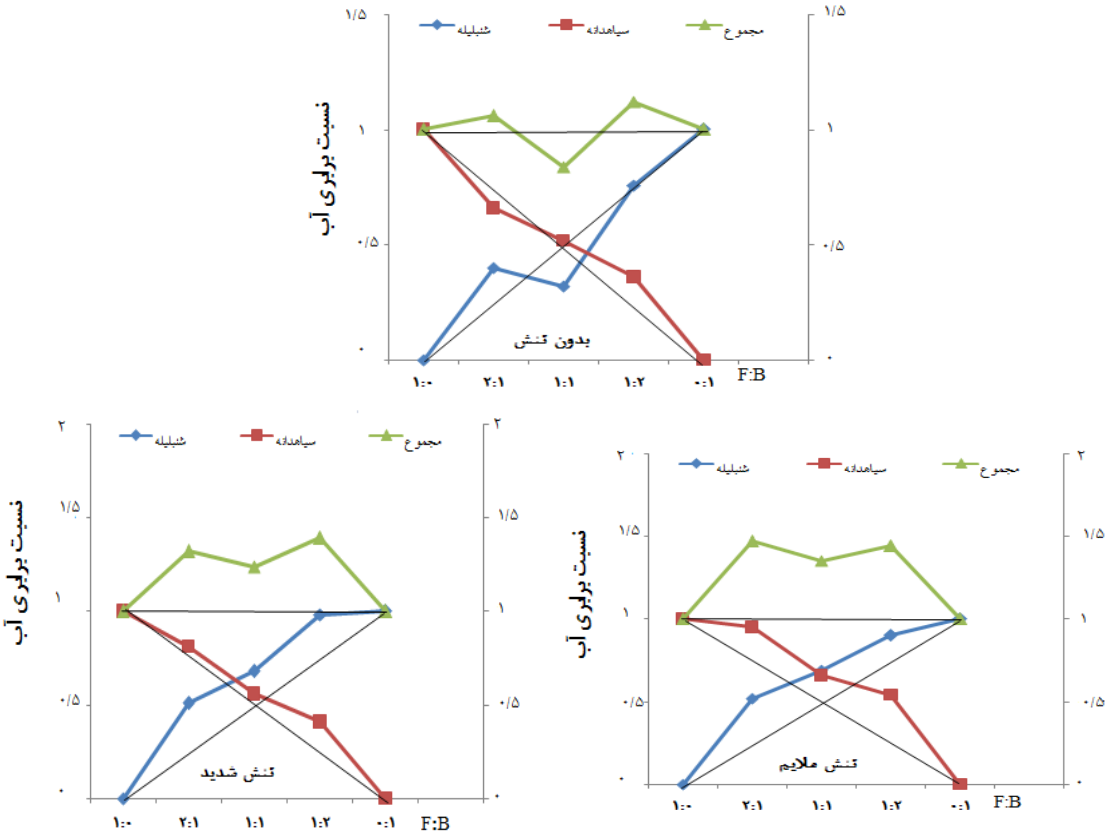
بطور کلی در شرایط تنش خشکی صدمه به سیستم فتوسنتزی افت شدیدی را در عملکرد د بیوماس و دانه ایجاد نموده که نسبت آن بیشتر از آب آبیاری کاهش یافته بوده است. این نتیجه می‌تواند به دلیل تنش خشکی مداوم گیاهان کشت شده در شرایط تنش خشکی شدید باشد که در مقایسه با تیمار آبیاری کامل مرتباً آب کمتری دریافت نمودند و این تیمارها حتی در زمان آبیاری رطوبت ظرفیت زراعی را تجربه نکردند.

نسبت برابری آب

نتایج تجزیه واریانس برای نسبت برابری آب (WER) نشان داد که اثر رژیم رطوبتی و آرایش کشت و اثر متقابل آن‌ها برای صفت مذکور در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین‌های در شکل ۱۲ می‌توان اظهار نمود که در شرایط بدون تنش، تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) بیشترین مقدار نسبت برابری آب را دارا بودند ولی تیمار مخلوط (۱:۱) کمترین مقدار نسبت برابری آب را نشان داد. در شرایط تنش خشکی ملایم و تنش شدید نشان داده شد که ترکیب‌های شنبلیله-سیاه دانه نسبت به کشت خالص گیاه شنبلیله و سیاه دانه از برتری بیشتری برخوردار بودند به‌گونه‌ای که در شرایط تنش ملایم بیشترین مقدار نسبت برابری آب در تیمارهای شبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) به ترتیب ۱/٤۷ و ۱/٤٤ بود. در شرایط تنش شدید تمام تیمارهای مخلوط بزرگتر از یک بودند و این در حالی بود که ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۲:۱) با میانگین ۱/۳۹ نسبت به دیگر تیمارهای مخلوط برتری داشت. مائو و همکاران (۲۰۱۲) در کشت مخلوط ذرت و نخود فرنگی بیان داشتند که نسبت برابری آب در

کشت مخلوط ذرت/نخود فرنگی محدوده ۰/۸۷- تا ۱/۱٦ بود (مائو و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه دیگری نسبت برابری آب برای کشت مخلوط زردآلو با بادام زمینی، ارزن و سیب زمینی شیرین به ترتیب ۱/۳۹، ۱/۵۱ و ۱/۳٤ بود (بای و همکاران، ۲۰۱٦). نسبت برابری آب بین در آزمایش نسبت کاشت و تراکم بوته کشت مخلوط ذرت/سویا بین ۰/۸٤ تا ۱/٦۸ گزارش گردید (رن و همکاران، ۲۰۱٦). محدوده متفاوت نسبت برابری آب نشان‌دهنده تغییرات در اثر کشت مخلوط بر کارایی مصرف آب است (بای و همکاران، ۲۰۱٦؛ رن و همکاران، ۲۰۱٦). در آزمایش حاضر بیشتر بودن نسبت برابری آب تیمارهای مخلوط در شرایط تنش خشکی حاکی از آن است که دو گیاه شنبلیله و سیاه دانه با تکمیل بهره‌وری از آشیان اکولوژیکی برای توزیع مطلوب ریشه (شکل‌های ۳ و ٤) و همچنین جذب نور بیشتر (شکل ۹) استفاده بهتری از آب نموده‌اند.

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود تحت شرایط بدون تنش در تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۱:۱) مقدار WER واقعی برای گیاه سیاه دانه از مقدار پیش بینی شده بیشتر شد اما ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۲:۱) حالت عکس دو تیمار قبل را نشان داد. برای گیاه شنبلیله در ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۱:۲) میزان WER واقعی و پیش بینی شده برابر بود و این در حالی بود که در ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۱:۱) WER واقعی کمتر از پیش بینی شده بود و در ترکیب شنبلیله با سیاه دانه (۲:۱) WER واقعی بیشتر از پیش بینی شده بود. مقدار WER مجموع در کشت مخلوط نشان داد که برای تیمارهای شنبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) از روابط مکمل مثبت بین دو گونه گیاهی پیروی می‌کنند اما در تیمار شنبلیله: سیاه دانه (۱:۱) از رابطه بازدارندگی دو جانبه پیروی کرد؛ بنابراین در شرایط بدون تنش ظاهرا نسبت نامتعادل دو گیاه شنبلیله و سیاه دانه امکان استفاده از شرایط را بهتر از نسبت های متعادل فراهم می‌نماید.



شکل ۱۲- اثر رژیم رطوبتی و آرایش کشت بر نسبت برابری آب شنبلیله و سیاه دانه. F و B به ترتیب بیانگرشنبلیله و سیاهدانه است

در شرایط تنش ملایم و شدید میزان WER واقعی همه ترکیب‌های مخلوط از مقدار پیش بینی شده بیشتر بود و WER کل در کشت مخلوط نیز از میزان پیش بینی شده بیشتر بود. وقوع تنش خشکی شدید در مقایسه با تنش ملایم نسبت برابری آب را به میزان اندکی کاهش داد. این نتیجه بیانگر رابطه بین دو گیاه از نوع همیاری دو جانبه بوده است (نعمت‌الهی و همکاران،۲۰۱۳) و انتخاب مناسب اجزای مخلوط و همچنین دامنه تنش خشکی مورد مطالعه می‌باشد. اختلاف در شکل و توسعه ریشه شنبلیله و سیاه دانه (شکل‌های ۳ و ٤)، وجود گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در شنبلیله (قاسمی مهام و همکاران، ۱۳۹۵)، اختلاف مرفولوژیکی برگها و ساختار کانوپی دو گیاه موجب تشکیل کانوپی گسترده و آشیان اکولوژیکی متفاوتی می‌شود که نهایتا با حفظ محتوای نسبی آب برگ (شکل‌های ۷ و ۸) میزان اثرات منفی تنش خشکی بر این هر یک گیاهان را کاهش می‌دهد. علاوه بر این اختلاف پارامترهای فیزیولوژیکی آنها برای تعدیل اثر تنش خشکی (کاکولوند و همکاران، ۱۳۹٦) می‌تواند فرصت اکولوژیکی بهتری را برای بهره‌برداری از آب موجود محیط تنش‌زا فراهم نماید.

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کارایی مصرف آب در تولید دانه و بیوماس تیمارهای مخلوط تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی در مقایسه با کشت خالص همان سطح رطوبتی بالاتر بود و میزان این برتری در شرایط تنش ملایم بیشتر از سایر شرایط بود. در گیاهان شنبلیله و سیاه دانه تحت شرایط تنش ملایم، بیشترین میزان نسبت برابری آب در تیمارهای شبلیله: سیاه دانه (۱:۲) و (۲:۱) به ترتیب با میانگین ۱/٤۷ و ۱/٤٤ بود. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که ایجاد رقابت بین گونه‌ای در گیاهان راهکاری مؤثر برای افزایش راندمان مصرف آب در گیاهان تحت تنش خشکی است و می‌تواند برای مناطق در معرض کمبود آب مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. اصغری‌پور، م.ر.، م. رفیعی. ۱۳۸۹. اثر خشکی بر خصوصیات مختلف مورفولوژیک ریشه و نسبت ریشه به اندامهای هوایی در ژنوتیپ های ماش. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. تهران، ایران

۲. بی‌نام. ۱۳۹٤. اداره کل هواشناسی استان چهار محال بختیاری. شهرکرد

۳. خرمی‌وفا، م.، ن. افتخاری نسب، ک. صیادیان، ع. نجفی. ۱۳۹۱. کارایی مصرف آب در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی (*Cucurbita pepo* L. var. *styriac*) با نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس *Lens esculenta* Moench.) در سطوح مختلف مصرف نیتروژن. نشریه بوم شناسی کشاورزی. جلد ۳ (۲): ۲٤٥-۲٥۳.

٤. روستایی، م.، س. فلاح ، ع. عباسی سورکی. ۱۳۹۳. تأثیر منابع کودی بر خصوصیات رشد و عملکرد شنبلیله در کشت مخلوط با سیاه دانه. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد ۷ (٤): ۱۹۷-۲۲۲.

٥. فلاح، س.، م. قبادی نیا، م. شکرگزار دارابی، ش. قربانی دشتکی. ۱۳۹۱. بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس. مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲٦ (۲): ۱٦۱-۱۷۲.

٦. قاسمی، ک.، س. فلاح. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی و کودهای مختلف بر زیست توده و کارایی مصرف آب و بیوماس اسفرزه. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد ۲۸ (۳): ٥۰۱-٥۱۰.

۷. قاسمی مهام، س.، س. فلاح، م.ر. تدین. ۱۳۹۵. تغییرات رشد ریشه، اندام هوایی و گره ریزوبیومی گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*) تحت تأثیر تیمار کودی و کشت مخلوط با اسفرزه (*Plantago ovata*) . تولیدات گیاهی. جلد ۳۹ (۱): ۳۵-۴۶.

۸. کاکولوند، ر.، س. فلاح، ع. عباسی سورکی. ۱۳۹۶. اثر رقابت گونه‌ای بر رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین، محتوای آب نسبی، و میزان اسانس گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graceum*) و سیاهدانهسیاه دانه (*Nigella sativa*) در شرایط تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۶ (۱۹): ۲۵۵- ۲۶۹.

9. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smi. 1998. Crop Evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and Drainage Paper 56. https://www.researchgate.net/publication/235704197.
10. Asch, F., M. Dingkuhn, A. Sow, and A. Audebert. 2005. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. Field Crops Research. 93: 223-236.
11. Bai, W., Z. Sun, J. Zheng, G. Du, L. Feng, Q. Cai, N. Yang, C.Feng, Z. Zhang, J. B. Evers, W. van der Werf, and L.Zhang. 2016. Mixing trees and crops increases land and water use efficiencies in a semi-arid area. Agricultural Water Management. 178: 281-290.
12. Chimonyo, V.G.P., A.T. Modi, and T. Mabhaudhi. 2016. Water use and productivity of a sorghum–cowpea–bottle gourd intercrop system. Agricultural Water Management. 165: 82-96.
13. Davis, J.H.C., J.N. Woolley, and R.A. Moreno. 1986. Multiple Cropping with Legumes and Starchy Roots MacMillan Publishing. Company New York. pp. 82-110.
14. De Barros, I., T. Gaiser, F.-M. Lange, and V.Römheld. 2007. Mineral nutrition and water use patterns of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic soil of the tropic semiarid. Field Crops Research. 101: 26-36.
15. Francis, C.A. 1989. Biological efficiencies in multiple cropping systems. Advances in Agronomy 42: 1-36.
16. Howell, T.A., S.R. Evett, J.A. Tolk, A.D. Schneider, and J.L. Steiner. 1996. Evapo-transpiration of corn southern high plains. In: Proceeding of the Conference on International Evapo-transpiration and Irrigation Schedule. ASAE, San Antonio, TX, PP. 381-387.
17. Hu, F., Y. Gan, H. Cui, C. Zhao, F. Feng, W. Yin, and Qiang Chai. 2016. Intercropping maize and wheat with conservation agriculture principles improves water harvesting and reduces carbon emissions in dry areas. European Journal of Agronomy. 74: 9-17.
18. Khan H. U. Link W. Hocking T. and Stoddard F. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababean (*Vicia faba* L.) Plant and Soil. 292:205-217.
19. Mao, L., L. Zhang, W. Li, W.V. Werf, J. Sun, H. Spiertz, L. Li. 2012. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. Field Crops Research. 138: 11–20
20. Merrill, S.D., D.L. Tanaka, and J.D. Hanson. 2002. Root length growth of eight crop species in Haplustoll soils. Soil Science Society of America Journal 66: 913-923.
21. Michele, A., T. Douglas, and A. Frank. 2009**.** The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology.200: 205-215.
22. Morris R.A. and D.P. Garrity. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: water. Field Crops Research. 34: 303-317.
23. Neamatollahi, E., M. R. Jahansuz, D. Mazaheri, and M. Bannayan. 2013. Intercropping. Sustainable Agriculture Reviews. Volume 12 of the series Sustainable Agriculture Reviews. pp. 119-142.
24. Rankulatile, H., K. Homma, T. Horie, T. Kurusa, and T. Inamura. 1998. Land equivalent ratio of groundnut finger millet intercrops as affected by plant combination ratio, and nitrogen and water availability. Plant Production Science. 1(1): 39-46.

25. Ren, Y., J. Liu, Z. Wang, and S. Zhang. 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy. 72: 70-79.
26. Ritchie, S.W., H.T. Nguyen, and Holaday A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters. Of tow wheat genotypes differing in drought resistance crop sciences. 30: 105-111.
27. Tesfaye, K., S. Walker, and M. Tsubo. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. European Journal of Agronomy. 25: 60-70.
28. Tsubo, M., S. Walker, and H.O. Ogindo. 2004. A simulation model of cereal- legume intercropping systems for semiarid regions I. model development. Field Crops Research. 90: 48-61.
29. Wang, Z., X. Zhao, P. Wu, and X. Chen. 2015. Effects of water limitation on yield advantage and water use in wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. European Journal of Agronomy. 71: 149-159.
30. Zhang, F. and L. Li. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305–312.