تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) سویا برای مدیریت آبیاری جهت حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب

حامد احمدی[۱]، علی حیدر نصرالهی[۲]، مجید شریفی پور[۳]، حمیدرضا عیسوند[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۰۶

چکیده

مدیریت آب در مزرعه بسته به منابع آب و خاک موجود عمدتاً با هدف حداکثر تولید محصول یا حداکثر بهره‌وری آب صورت می‌گیرد. شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) بخوبی بیانگر وضعیت آب در دسترس گیاه بوده و لذا به عنوان یک ابزار مناسب جهت مدیریت آبیاری در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق تعیین مقادیر شاخص تنش آبی گیاه سویا در مراحل مختلف رشد به منظور زمانبندی آبیاری جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری می‌باشد. برای این منظور کشت سویا با چهار رژیم آبیاری در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در تابستان ۱۳۹۵ انجام شد. سطوح آبیاری شامل I_1، I_2، I_3 و I_4 به ترتیب با ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بودند. بر اساس نتایج تأثیر سطوح آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب سویا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مراحل مختلف رشد بیشترین مقادیر CWSI در تیمار I_4 و کمترین آنها در تیمار I_1 بدست آمد. همچنین همبستگی بین CWSI و میزان رطوبت خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. حداکثر عملکرد برابر ۱۷۶۵/۴ کیلوگرم در هکتار و در تیمار I_1 و حداکثر بهره‌وری برابر ۰/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب و در تیمار I_2 حاصل شد. از این رو مقادیر CWSI مربوط به تیمار I_1 و I_2 به عنوان مبنای برنامه‌ریزی آبیاری برای دستیابی به حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب در نظر گرفته شد. در نهایت مقادیر شاخص CWSI برای زمان‌بندی آبیاری سویا جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب در مراحل توسعه، میانی و نهایی رشد گیاه به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۳۷ و ۰/۲۹ برآورد شد.

واژه های کلیدی:کم‌آبیاری، رطوبت خاک، روش ایدسو، دمای برگ.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. ۰۹۳۹۳۲۶۲۲۱۷، ahmadi.hamed@ymail.com.
[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،خرم‌آباد،ایران، ۰۹۱۶۶۲۹۲۳۱۴، nasrolahi.a@lu.ac.ir (نویسنده مسئول).
[۳] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،خرم‌آباد، ایران، ۰۹۱۶۶۶۸۳۸۰۸، sharifipour.majid@gmail.com.
[۴] دانشیار گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،خرم‌آباد، ایران،۰۹۱۲۵۶۱۷۶۲۹، hrisvand@yahoo.com

مقدمه

بخش‌های وسیعی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده که در سال‌های کم بارش از جمله سال‌های اخیر با مشکلات متعددی در بخش آب مواجه هستند. از آنجایی که بیشترین مصرف کننده آب در کشور بخش کشاورزی می‌باشد لذا اولین اثرات کم آبی نیز در این بخش مشاهده می‌گردد. در این شرایط تنها راه حل موجود استفاده بهینه از منابع محدود آب بخصوص در بخش کشاورزی است. ارتقای بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی مهمترین راهکار مقابله با بحران آب در کشورهای مختلف جهان و به خصوص کشورهای کم آب نظیر ایران است(عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مهم جهت مدیریت مصرف آب در مزرعه بوده که طبق تعریف عبارت است از مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی و معمولاً بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بیان می‌شود. از جمله راهکارهای افزایش بهره-وری آب در مزرعه می‌توان به استفاده از روش‌های نوین آبیاری، مدیریت مصرف کود، مدیریت زراعی، مدیریت آبیاری و اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری اشاره کرد (رئیسی اسد آبادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۶ و مرسلی و همکاران ، ۱۳۹۶). سویا گیاهی است که منبع اصلی پروتئین و روغن خوراکی در جهان بوده و در سطح وسیعی در مناطق مختلف کشت می‌شود. سطح زیر کشت سویا در دنیا حدود ۱۰۲ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن ۲/۵ تن در هکتار است که حدود ۶۷ درصد پروتئین و ۲۸ درصد روغن مصرفی جهان از سویا تأمین می‌شود و میزان تولید آن در ایران سالانه حدود ۲۰۷۰۰۰ تن است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۲). سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۸۹) راهکارهای مختلف به منظور بهبود بهره‌وری آب در کشت سویا را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند با اعمال کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه بهره‌وری آب سویا در مزرعه از ۴۸ تا ۷۰ درصد بهبود یافت. امینی فر و همکاران(۱۳۹۲) با مطالعه تأثیر سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی خاک هنگام آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب سویا نشان دادند که بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در پتانسیل رطوبتی ۳۰-۳۵ سانتی‌بار خاک حاصل شد. شاهین رخسار و همکاران (۱۳۹۵) واکنش سویا به کم‌آبیاری را با استفاده از مدل گیاهی WOFOST شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که این مدل ابزار مناسبی جهت مدیریت آبیاری سویا برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب می‌باشد. شمس بیرانوند و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری ارقام مختلف سویا گزارش کردند که تنش آبی تأثیر معنی-داری روی عملکرد و اجزای عملکرد سویا داشته و بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی بدست آمد.Kirnak et al.,(2013) نشان دادند با کاهش آب مصرفی عملکرد دانه سویا بطور معنی‌داری کاهش یافته و با انجام کم‌آبیاری تنظیم شده بهره‌وری آب بهبود می‌یابد.همچنان که ملاحظه می‌شود محققان بر این باورند که مدیریت صحیح کم‌آبیاری یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش بهره‌وری آب سویا در مزرعه می‌باشد. اما کمبود آب در خاک که موجب تنش آبی گیاه می‌شود اثرات نامطلوبی روی تولید محصول می‌گذارد. از اینرو در این شرایط تخمین میزان تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری مناسب بر پایه واکنش گیاهان به تنش آبی در مراحل مختلف رشد بسیار مهم است(Veysi et al., 2017). شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) یکی از مهمترین شاخص‌های گیاهی است که به خوبی بیانگر میزان تنش وارده به گیاه بوده و روش مناسبی برای برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط کمبود آب می‌باشد(Dugo et al., 2014: Colak and Yazar,2017). برنامه‌ریزی آبیاری سویا با مقادیر مختلف CWSI (۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵) برای شروع

آبیاری در اقلیم نیمه‌خشک مورد بررسی قرار گرفت و مقدار ۰/۲ برای رسیدن به بالاترین عملکرد محصول مبنای برنامه‌ریزی آبیاری گزارش شد (Nielsen., 1990). Candogan et al., (2013) مقدار CWSI=۰/۶ را مبنای برنامه‌ریزی آبیاری سویا برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب در مناطق مرطوب گزارش کردند.Akkuzu et al., (2013) در تحقیقی بر روی درخت زیتون مقدار ۰/۳۹ را برای شاخص CWSI جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب تعیین کردند. نتایج Colak and Yazar., (2017) نشان داد که برای دستیابی به حداکثر عملکرد انگور آبیاری آن باید زمانی صورت گیرد که مقدار شاخص تنش آبی گیاه حدود ۰/۲ باشد. در ایران نیز برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از CWSI توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مطلوبی نیز ارائه شده است (طاهری قناد،۱۳۸۷؛ وردی نژاد و همکاران ۱۳۹۰؛ قربانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ قربانی و برومند نسب، ۱۳۹۵ ویسی و همکاران، ۱۳۹۵).

بررسی تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که با تعیین مقدار آستانه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) می‌توان برنامه زمان‌بندی آبیاری را با توجه به اهداف مختلف مدیریتی در مزرعه از جمله دستیابی به حداکثر عملکرد و حداکثر بهره‌وری آب اعمال کرد. لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب سویا و تعیین مقادیر آستانه CWSI به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد و حداکثر بهره‌وری آب آبیاری می‌باشد.

-مواد و روش‌ها

طرح آزمایش

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در خرم‌آباد از اردیبهشت ماه لغایت شهریور ماه سال ۱۳۹۵ به مدت ۵ ماه انجام شد.

منطقه مورد نظر دارای مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا واقع است. برطبق طبقه‌بندی آمبرژه این منطقه جزو مناطق سرد نیمه خشک محسوب می‌شود. متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد سویا در جدول (۱) آورده شده که از ایستگاه هواشناسی شهرستان خرم آباد که در ۵ کیلومتری دانشکده کشاورزی می‌باشد، تهیه شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، کشت سویا در اواسط اردیبهشت ماه پس از حذف بقایای گیاهی از مزرعه، عملیات شخم و ایجاد جویچه‌ها انجام شد. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار سطح آبیاریI_1(آبیاری کامل در طول دوره رشد)، I_2(۸۰ درصد نیاز آبی)، I_3(۶۰ درصد نیاز آبی) و I_4(۴۰در صد نیاز آبی) در ۳ تکرار اجرا شد. لازم به ذکر است که تیمارهای آزمایش پس از استقرار و تثبیت کامل گیاه اعمال شد. در مجموع ۱۲ کرت آزمایشی هر کدام به مساحت ۱۵ مترمربع با ۵ جویچه انتها بسته به طول ۵ متر و عرض ۶۰ سانتی متر ایجاد شد (شکل ۱). پس از تهیه کرت‌های آزمایشی و قبل از کشت سویا، برای بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری از نقاط مختلف تا عمق ۶۰ سانتی‌متری انجام شد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. علاوه بر این با بررسی و آنالیز عناصر موجود در خاک مقادیر مورد نیاز کودهای سولفات، فسفات و اوره محاسبه و در مراحل مختلف رشد در اختیار گیاه قرار گرفت. کاشت بذر سویا رقم M7 در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ماه و به صورت دستی انجام شد. آبیاری طرح به روش آبیاری جوی و پشته‌ای و منبع آب آبیاری چاه موجود در دانشکده کشاورزی بود. آب آبیاری از طریق سیستم لوله کشی به داخل مزرعه منتقل شد که در جدول (۳) برخی از خصوصیات

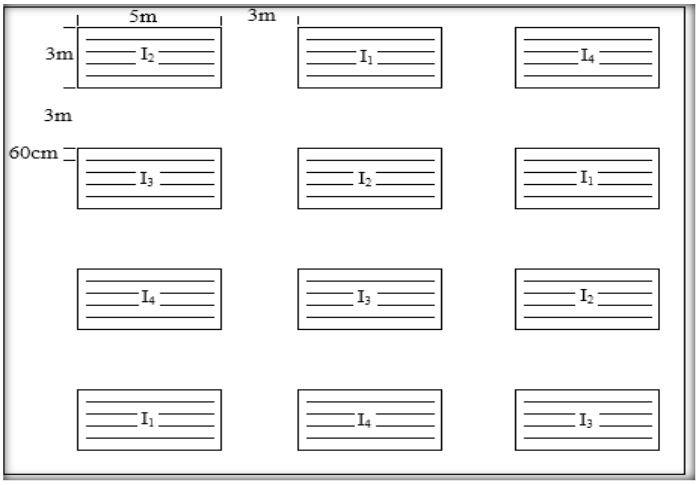
کیفی آن آمده است. در این تحقیق دور آبیاری ثابت و به طور متوسط ۷ روز در نظر گرفته شد. عمق خالص آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی برای تیمار بدون تنش (تیار شاهد) از رابطه زیر تعیین شد.

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (۱)$$

در این رابطه dn؛ عمق خالص آبیاری (mm)، θ_i؛ رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، θ_{fc}: رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، ρ_b؛ جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r؛ عمق ریشه (mm) است. عمق ناخالص آبیاری نیز با توجه به راندمان آبیاری ۹۵ درصد محاسبه و در نهایت حجم آب مورد نیاز برای هر کرت از حاصل ضرب عمق ناخالص در مساحت کرت بدست آمد و پس از اندازه‌گیری توسط کنتور حجمی برای هر تیمار در اختیار گیاه قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای تیمارهای تنش آبی I_2، I_3 و I_4حجم آب محاسبه شده برای تیمار I_1به ترتیب در ضرایب ۰/۸، ۰/۶ و ۰/۴ ضرب شد.

جدول(۱): میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد

پارامتر اقلیمی	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۲۸/۳۹	۳۳/۷۲	۳۹/۹۸	۴۰/۲۴	۳۶/۹۸
کمینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۱۱/۰۳	۱۳/۰۶	۱۸/۹۶	۲۰/۲۱	۱۵/۶۷
رطوبت نسبی (درصد)	۵۲/۰۸	۲۷/۷۰	۲۰/۸۸	۱۹/۳۰	۲۲/۶۰
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۶/۵۴	۶/۱۹	۵/۵۸	۵/۳۵	۵/۷۴
بارندگی (میلی‌متر)	۰	۰	۰	۰	۰



شکل (۱): نقشه طرح آزمایشی

جدول(۲): برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک	FC (٪حجمی)	PWP (٪حجمی)	ρb (gr/cm3)	EC (ds/m)	P (ppm)	K (ppm)	کربن آلی (%)
۳۰-۰	رسی	۳۳	۱۴	۱/۲	۰/۵۵	۶/۸	۳۴۵	۱/۱۱
۶۰-۳۰	رسی	۳۸	۱۸	۱/۲۳	۰/۳	۲/۶	۲۱۸	۰/۷

جدول(۳): خصوصیات کیفی آب آبیاری

SAR	Na(meq/l)	Mg(meq/l)	Ca(meq/l)	TDS(meq/l)	EC(ds/m)	PH
۰/۷۳	۱/۲۸	۱/۶	۴/۶	۳۹۷	۰/۶	۷

محاسبه شاخص CWSI به روش ایدسو

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه، نیاز به اندازه گیری دمای پوشش سبز می باشد. اندازه گیری دمای پوشش سبز به وسیله دماسنج مادون قرمز انجام شد. برای این منظور از هر کرت آزمایشی قرائت در چهار جهت جغرافیایی و از دو ارتفاع گیاه صورت گرفت و متوسط آنها به عنوان دمای پوشش گیاهی در هر بار قرائت منظور گردید. جهت تعیین شاخص تنش آبی (CWSI) دمای پوشش سبز در روزهای قبل از آبیاری به همراه قرائت دماسنج‌های تر و خشک که در مزرعه کار گذاشته شده بود در فاصله زمانی ۱۱ الی ۱۴ بعدازظهر برای هر تیمار اندازه‌گیری و شاخص تنش آبی به روش ایدسو طبق رابطه زیر محاسبه شد (Idso et al,. 1981).

(۲)

$$CWSI = \frac{AZ}{AB} = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}}$$

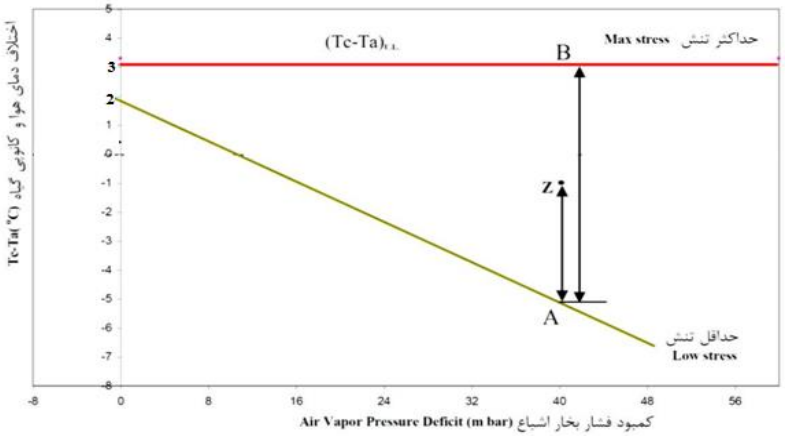
در رابطه فوق؛ AZ: فاصله نقطه اندازه‌گیری شده تا خط مبنای پایین، AB: فاصله خط مبنای بالا تا خط مبنای پایین، $(T_c - T_a)_m$: اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه (T_c) و هوا (T_a) برای روزی است که می‌خواهیم شاخص تنش آب را حساب کنیم. $(T_c - T_a)_{ll}$: خط مبنای پایین که بیانگر اختلاف دمای هوا با پوشش سبز گیاه در شرایط بدون تنش است که در آن میزان تعرق بیشینه بوده و گیاه دچار هیچ تنش آبی نمی‌شود. $(T_c - T_a)_{ul}$: خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل است که معرف اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور در شرایط تنش کامل (تعرق صفر) است. شکل (۲) موقعیت خط مبنای بالا و پایین را نشان می‌دهد.

جهت تعیین موقعیت خط مبنای پایین یا شرایط بدون تنش، دمای پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری از ساعت ۸ صبح الی ۱۴ بعدازظهر و به فاصله زمانی یک ساعت از هر سه تکرار تیمار شاهد اندازه-گیری شد. برای تعیین موقعیت خطوط مبنای بالا و پایین از روش ارائه شده توسط Idso et al., (1981) استفاده شد. در طی دوره رشد که ۱۲۵ روز طول کشید برای ۱۳ آبیاری اندازه‌گیری دمای برگ در روزهای قبل و بعد از آبیاری به منظور تعیین شاخص تنش آبی گیاه سویا در مراحل مختلف رشد صورت گرفت.

اندازه‌گیری بهره‌وری آب، عملکرد دانه ورطوبت خاک

به منظور بررسی رابطه بین شاخص تنش آبی (CWSI) و رطوبت خاک در طول فصل و در روزهایی که این شاخص محاسبه شد میزان رطوبت خاک نیز در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. برای این کار نمونه خاک از عمق ریشه در کلیه تیمارها تهیه شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، میزان رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری به روش وزنی تعیین گردید. برای محاسبه عملکرد سویا در پایان فصل نیز با حذف حاشیه کرتها محصول سویا از سطح هر کرت به مساحت ۳ متر مربع برداشت شده و پس از خشک کردن در آزمایشگاه میزان عملکرد دانه سویا در واحد سطح تعیین گردید. در نهایت بهره‌وری آب(WP) بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب از تقسیم عملکرد (Y) بر حجم آب مصرفی (VI) برای هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد.

$$WP = \frac{Y}{V_I} \quad (۳)$$



شکل(۲): موقعیت خط مبنای بالا و پایین برای محاسبه شاخص تنش آبی

نتایج و بحث

بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب سویا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب سویا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. از این رو مقایسه میانگین‌های عملکرد محصول و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن انجام شد (جدول۴). با توجه به مقادیر جدول مشاهده می-شود حداکثر عملکرد در تیمار I_1(آبیاری کامل) و برابر ۱۷۶۵/۴ کیلوگرم در هکتار و حداقل عملکرد در تیمار I_4(تنش شدید) و برابر با ۴۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با اعمال کم آبیاری و وارد شدن تنش، عملکرد کاهش یافته به طوری که با کاهش ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی عملکرد به ترتیب ۱۲، ۴۶ و ۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیقات پیشین مطابقت دارد (سرائی تبریزی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Kirnak et al, 2013). مقایسه میانگین مقادیر بهره‌وری آب نیز نشان داد که با اعمال تنش آبی، بهره‌وری آب آبیاری ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. از این رو حداکثر بهره‌وری آب برای تیمار I_2و معادل ۰/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد که در سطح احتمال پنج درصد با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار دارد. شمس بیرانوند و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیشترین بهره-وری آب سویا را برای همین منطقه در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گزارش کردند. در واقع با کاهش ۲۰ درصد در مصرف آب، هر چند عملکرد محصول حدود ۱۲ درصد کاهش می‌یابد ولی سبب افزایش ۱۳ درصدی در بهره-وری آب می‌گردد. در این آزمایش حداقل مقدار بهره-وری آب نیز برابر ۰/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب و در تیمار I_4رخ داد.

تأثیر تیمارهای مختلف روی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

مقادیر متوسط شاخص تنش آبی گیاه سویا برای مراحل مختلف رشد در جدول (۵) آمده است. بررسی مقادیر جدول نشان می‌دهد که در هر سه مرحله بیشترین مقدار شاخص تنش آبی در تیمار I_4 و کمترین مقدار آن در تیمار I_1 بدست آمد. لازم به ذکر است که در مرحله ابتدایی رشد از آنجایی که پوشش گیاهی کم بوده لذا به دلیل احتمال رخ دادن خطا در قرائت‌های دمای برگ بنا به نظر سایر محققین اندازه-گیری صورت نگرفت (طاهری قناد، ۱۳۸۷ و قربانی و برومند نسب، ۱۳۹۵). در مرحله رشد و توسعه مقدار شاخص از ۰/۲۷ در تیمار بدون تنش به مقدار ۰/۷۴ در تیمار تنش شدید (I_4) رسید که حدود سه برابر شده است. در مرحله میانی و نهایی نیز مقدار CWSI برای

شرایط بدون تنش آبی به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۰۶ محاسبه شد و با افزایش شدت تنش به مقدار ۰/۸۶ و ۰/۹۱ در تیمار I_4 افزایش یافت. میانگین مقادیر شاخص تنش آبی در کل دوره برای تیمارهای مختلف در شکل (۳) نشان داده‌شده است. با توجه به شکل به وضوح مشخص است که با افزایش شدت تنش آبی مقدار شاخص CWSI افزایش می‌یابد. مقدار متوسط شاخص تنش آبی گیاه در تیمارهای I_1، I_2، I_3 و I_4 به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ برآورد شد و مقایسه این مقادیر با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بین آنها در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

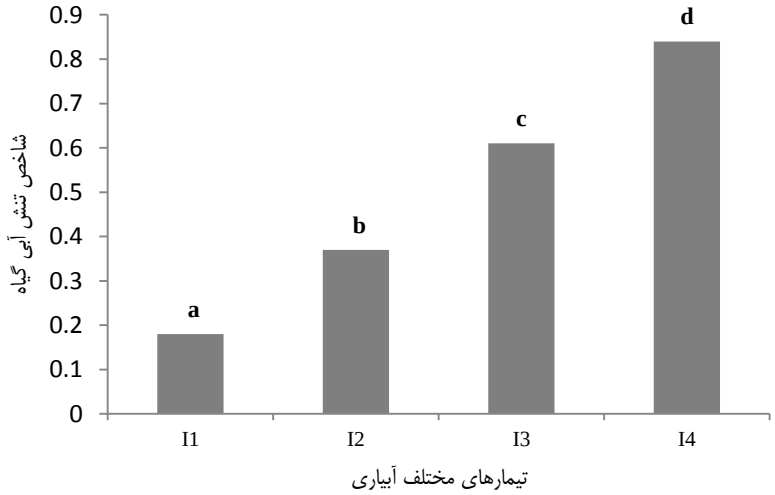
جدول(۴): مقایسه میانگین‌های عملکرد و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
I_1	۱۷۶۵/۴a*	۰/۲۳b
I_2	۱۵۴۸/۸b	۰/۲۶a
I_3	۹۵۳/۹c	۰/۲۱b
I_4	۴۶۶/۰d	۰/۱۵c

*مقادیر غیر هم نام طبق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری دارند.

جدول(۵): مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در مراحل مختلف رشد برای تیمارهای مختلف

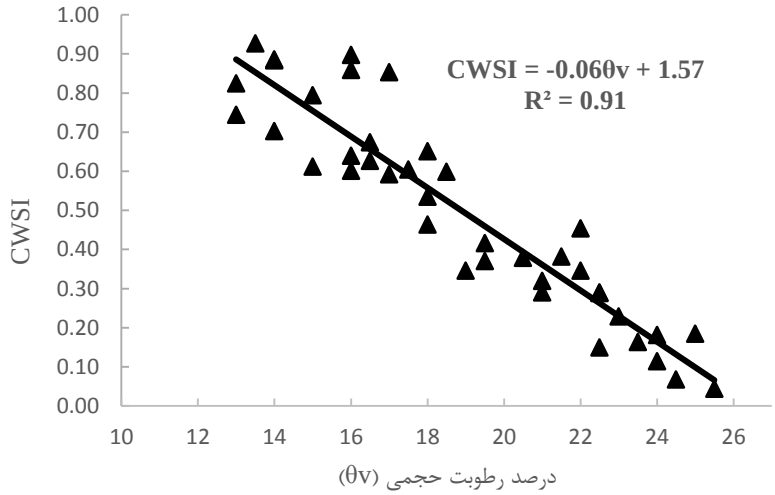
مرحله	تیمار I_1	تیمار I_2	تیمار I_3	تیمار I_4
رشد و توسعه	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۴
میانی	۰/۱۷	۰/۳۷	۰/۶۱	۰/۸۶
نهایی	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۶۵	۰/۹۱



شکل(۳): تغییرات شاخص تنش آبی گیاه در سطوح مختلف آبیاری

بررسی رابطه شاخص تنش آبی گیاه با رطوبت خاک

رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک در طول فصل، مطابق شکل (۴) می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با افزایش میزان رطوبت ناحیه ریشه، شاخص تنش آبی گیاه کاهش می‌یابد که بر اساس آزمون آماری همبستگی بین این دو متغیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. وجود همبستگی معنی‌دار بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک بیانگر این واقعیت است که شاخص تنش آبی به خوبی می‌تواند وضعیت تنش گیاه را مشخص کرده و لذا معیار مطمئنی از میزان در دسترس بودن آب برای گیاه است. از این رو شاخص تنش آبی گیاه ابزار مناسبی جهت برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آب در مزرعه می‌باشد. البته ویسی و همکاران(۱۳۹۵) گزارش کردند که همبستگی بین شاخص تنش آبی با رطوبت ناحیه ریشه نیشکر معنی‌دار نبوده که بنظر می‌رسد در تحقیق آنها علاوه بر تنش آبی، به دلیل شوری بالای آب آبیاری گیاه تحت تأثیر تنش شوری نیز قرار می‌گیرد. علاوه بر این برای بررسی روند تغییرات شاخص تنش آبی با رطوبت خاک رابطه بین این دو متغیر برآورد شده که با توجه به ضریب R^2=0.91 از دقت بالایی برخوردار است.



شکل(۴): رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک

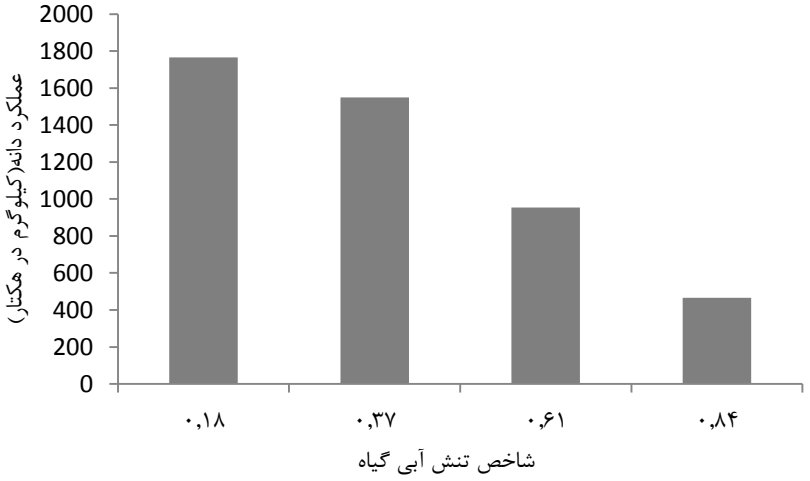
تعیین مقادیر آستانه CWSI برای اهداف مختلف مدیریت آبیاری

از آنجایی که مدیریت آبیاری در مزرعه با توجه به شرایط موجود از جمله میزان آب و زمین در دسترس می‌تواند به اشکال مختلفی اعمال شود لذا در اینجا مقادیر آستانه CWSI برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول و حداکثر بهره‌وری آب تعیین شد. در شکل‌های (۵) و (۶) رابطه بین عملکرد و بهره‌وری با مقادیر متوسط CWSI نمایش داده شده است. همانطور که از شکل‌ها ملاحظه می‌شود بیشترین عملکرد دانه سویا و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب به ازای شاخص تنش آبی برابر با ۰/۱۸ و ۰/۳۷ حاصل گردید. با مراجعه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که مقادیر ۰/۱۸ و ۰/۳۷ شاخص تنش آبی گیاه به ترتیب مربوط به تیمار I_1 و I_2 یعنی آبیاری کامل و تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه است. به عبارت دیگر حداکثر عملکرد در تیمار I_1 با مقدار متوسط شاخص تنش آبی ۰/۱۸ و حداکثر بهره‌وری آب در تیمار I_2 با متوسط شاخص تنش آبی ۰/۳۷ بدست آمد. از این رو مقادیر آستانه شاخص تنش آبی گیاه در مراحل مختلف رشد

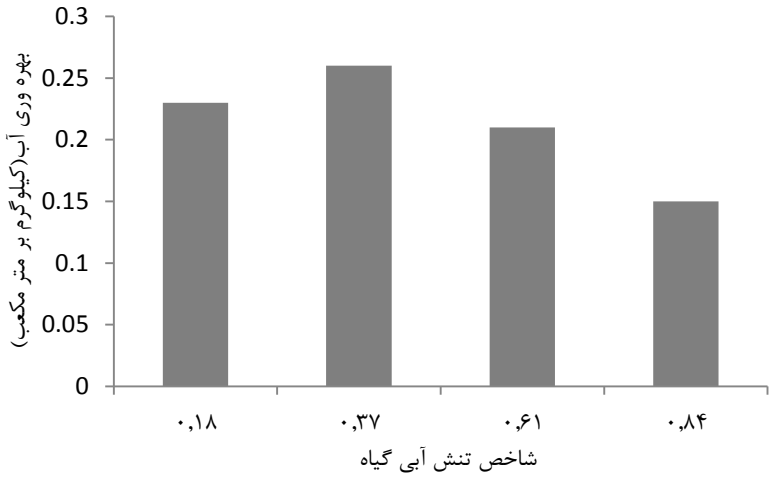
برای تیمارهای I_1 و I_2 محاسبه و بر اساس این مقادیر روابط مورد نیاز جهت تعیین زمان آبیاری در هر مرحله و با توجه به هدف آبیاری در جدول (۶) ارائه شد. بر اساس مقادیر جدول برای تعیین زمان آبیاری در شرایطی که محدودیتی از لحاظ منابع آب وجود نداشته باشد سه رابطه اول و در شرایط محدودیت منابع آب جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب آبیاری در مزرعه سه رابطه دوم بسته به مرحله رشد گیاه استفاده می‌شود. برای استفاده از این روابط جهت تعیین زمان آبیاری ابتدا باید کمبود فشار بخار اشباع (VPD) را در ساعات ۱۱ الی ۱۴ اندازه‌گیری کرده و با جایگذاری در این روابط حداکثر مجاز اختلاف دمای بین هوا و پوشش گیاهی محاسبه گردد. سپس اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی با استفاده از دماسنج نیز در همین ساعات اندازه‌گیری شود. از مقایسه مقدار اندازه-گیری شده و حداکثر مقدار مجاز محاسبه شده می‌توان زمان آبیاری را تعیین کرد بطوری که اگر مقدار اندازه-گیری شده از مقدار مجاز محاسبه شده کوچکتر باشد هنوز زمان آبیاری فرا نرسیده است و در غیر اینصورت زمان انجام آبیاری مزرعه است.

جدول(۶): روابط زمانبندی آبیاری برای دستیابی به حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب سویا

هدف آبیاری	مرحله رشد	مقدار آستانه (CWSI)	روابط زمانبندی آبیاری
دستیابی به حداکثر عملکرد	رشد و توسعه	۰/۲۷	$(T_C - T_a)_a = 1.67 - 0.14VPD$
	میانی	۰/۱۷	$(T_C - T_a)_a = 1.65 - 0.15VPD$
	نهایی	۰/۰۶	$(T_C - T_a)_a = 1.26 - 0.12VPD$
دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب	رشد و توسعه	۰/۴۲	$(T_C - T_a)_a = 1.78 - 0.11VPD$
	میانی	۰/۳۷	$(T_C - T_a)_a = 1.80 - 0.11VPD$
	نهایی	۰/۲۹	$(T_C - T_a)_a = 1.33 - 0.10VPD$



شکل(۵): رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و عملکرد دانه سویا



شکل(۶): رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و بهره‌وری آب آبیاری

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بررسی رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه با عملکرد سویا و میزان رطوبت ناحیه ریشه نشان داد که شاخص CWSI بخوبی بیانگر وضعیت آب در دسترس گیاه بوده و از این رو میزان تنش آبی را به خوبی نشان می‌دهد. حداکثر عملکرد دانه سویا در تیمار I_1 به میزان ۱۷۶۵/۴ کیلوگرم در هکتار و حداکثر بهره‌وری آب نیز در تیمار I_2 و برابر با ۰/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. بر این اساس مقادیر شاخص تنش آبی گیاه برای تیمار I_1 در مراحل رشد و توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۱۷ و ۰/۰۶ تعیین و مبنای زمانبندی آبیاری برای دستیابی به حداکثر عملکرد سویا قرار گرفت. علاوه بر این در شرایط محدودیت آب تیمار I_2با حداکثر بهره‌وری آب جهت تعیین شاخص تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری انتخاب شد. از این رو در این حالت نیز روابط مورد نیاز برای حداکثر بهره‌وری محاسبه و ارائه گردید. بر اساس نتایج این تحقیق شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) به عنوان یک ابزار مناسب می‌تواند جهت برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه با توجه به اهداف مختلف مدیریتی سیستم مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

امینی‌فر، ج.، محسن آبادی، غ.، بیگلویی، م. و سمیع‌زاده، ح. ۱۳۹۲.تأثیر کم آبیاری برعملکرد، اجزای عملکرد و بهره-وری آب رقم T.215 سویا. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۳ (۱۱): ۲۴-۳۴.

رئیسی اسد آبادی، م.، نوری امام‌زاده‌ای، م. و فتاحی، ر. ۱۳۹۶. اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سیب زمینی به منظور ارتقاء شاخص بهره‌وری آب. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۲): ۱۹۹-۲۰۷.

سرائی تبریزی، م.، بابازاده، ح.، پارسی‌نژاد، م. و مدرس ثانوی، س. ۱۳۸۹.بهبود کارایی مصرف آب سویا با استفاده از آبیاری بخشی منطقه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۴ (۵۲): ۱۳- ۱.

شاهین رخسار، پ.، امیری، ا.، رئیسی، س. و اسدی، م. ۱۳۹۵. شبیه سازی واکنش دو رقم سویا به کم آبیاری با کاربرد مدل WOFOST. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۱): ۲۴- ۱۳.

شمس بیرانوند، م.، برومند نسب، س.، ملکی، ع.، دانشور، م. ۱۳۹۲. تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و برخی صفات دانه سه رقم سویا در منطقه خرم آباد. مجله علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی). ۳۸ (۳): ۲۱- ۱۳.

طاهری قناد، س. ۱۳۸۷. برنامه‌ریزی آبیاری مزارع با استفاده از یک روش مستقیم. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی.

عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

قربانی، م. و برومند نسب، س. ۱۳۹۵. بررسی اثر شوری آب در آبیاری سطحی بر میزان شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۷ (۲۵): ۶۷- ۵۴.

قربانی، م؛ برومند نسب، س؛ سلطانی محمدی، ا؛ مینایی، س. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه تحت دو نوع آبیاری سطحی و بارانی با استفاده از شاخص CWSIدر شرایط اقلیمی اهواز. مجله علمی – پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری.۳۸ (۴): ۶۴-۷۳.

کیانی، ع. و رئیسی، س. ۱۳۹۲. بررسی کارایی مصرف آب چند رقم سویا تحت مقادیر مختلف آب آبیاری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰ (۵): ۱۹۲- ۱۷۹.

مرسلی، ا.، حیدری، ن.، زارع، ع. و حاتمی، ح. ۱۳۹۶. بررسی نقش فرایندها در ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی ایران. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱ (۲): ۱۸۰- ۱۶۳.

نخجوانی مقدم، م.، قهرمان، ب. و زارعی، ق. ۱۳۹۶. تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی از مناطق ایران. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱ (۱): ۵۷- ۴۳.

وردی نژاد، و. بشارت، س. و ح. احمدی. ۱۳۹۰. برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد با استفاده از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲۶): ۱۳۵۲-۱۳۴۴.

ویسی، ش.، ناصری، ع. و حمزه، س. ۱۳۹۵. تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از دماسنج مادون قرمز حرارتی و رطوبت خاک ناحیه ریشه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۶): ۲۵۱- ۲۳۵

Akkuzu, E., Kaya, U., Camoglu, G., Mengu, G.P., and Asik, S. 2013. Determination of crop water stress index and irrigation timing on Olive trees using a handheld infrared thermometer. ASCE. J. Irrig. Drain Eng. 139: 728-737.

Dugo, V. G., Tejada, P.J., and Fereres, E. 2014. Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. Agricultural and Forest Meteorology 198–199 (2014) 94–104

Candogan, B. K., Shncik, M., Buyukcangaz, H. and C. Demirtas, 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [Glycine max (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. Agricultural Water Management. 118 (2013) 113– 121.

Çolak, Y. B., and Yazar, A.2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in theMediterranean Region. Scientia Horticulturae 224 (2017) 384–394.

Idso. S.B., R.D. Jackson., P.J. Pinter., R.J. Reginato and J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteoral. 24: 45-55

Kirnak, H., Dogan, E. and H. Turkoglu. 2010. Effect of drip irrigation intensity on soybean seed yield and quality in the semi-arid Harran plain, Turkey. Spanish Journal of Agricultural Research, 8(4):1208-1217

Nielsen, D.C., 1990. Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). Field Crops Research 23, 103–116.

Veysi, S., Naseri, A., Hamzeh, S., and Bartholomeus, H. 2017. A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. Agricultural Water Management 189 (2017) 70–86.

Determination of soybean water stress index (CWSI) for irrigation management for maximum yield and water productivity

H.Ahmadi[1], A.H.Nasrolahi[2], M.Sharifipour[3], H.R.Isvand[4]

Abstract

Depending on land and water resourses avilibility, on-farm water management is usually aimed to maximize yeild or water productivity. The crop water stress index (CWSI) shows the plant's available water status well and therefore used as an appropriate tool for irrigation management in the field. The purpose of this study was determination of crop water stress index to soybean at different stages of growth in order to irrigation planing to achieve maximum yield and irrigation water productivity. For this purpose, soybean was cultivated with four irrigation regimes at the research farm of Lorestan University Agriculture faculty in the summer of 2016. The Irrigation levels were I1, I2, I3 and I4 with 100, 80, 60 and 40 percentof full water requirement, respectively. According to the results, the effect of irrigation levels on yield and soybean water productivity was significant at 1% probability level. The highest and the lowest values of CWSI were observed in I4 and I1, respectively in different growth stages. Also, the correlation of between CWSI and soil moisture content was significant at 1% probability level. The maximum yield was observed in I1 (1765.4 kg/ha) and The maximumwater productivity was 0.26 kg/m3 in I2. The values of CWSI for treatments ofI1 and I2were considered as the basis for irrigation scheduling to achieve maximum yield and water productivity. Finally, the CWSI values were obtained equal to 0.42, 0.37 and 0.29 for the maximum water productivity for the growth and development, middle and final stages of plant growth.

Keywords: Deficit Irrigation, Soil moisture, Idso Method, Leaf Temperature.

[1]Master Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Lorestan University, ahmadi.hamed@ymail.com
[2]Assistant Professor, Department of Water Engineering ,Faculty of Agriculture, Lorestan University,(Corresponding Author) nasrolahi.a@lu.ac.ir)
[3]Assistant Professor, Department of Water Engineering ,Faculty of Agriculture, Lorestan University sharifipour.majid@gmail.com
[4]Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University,hrisvand@yahoo.com