

Estimation of Different Water Stress Indices of Forage Maize for Deficit Irrigation Management

MOHADESEH KORDI¹, ALIHEIDAR NASROLLAHI^{*1}, MEHRI SAEEDINIYA¹

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

(Received: May. 26, 2021- Revised: July. 5, 2021- Accepted: July. 17, 2021)

ABSTRACT

One of the effective ways to increase water productivity in arid and semi-arid regions is Irrigation management. Due to the fact that the plant is exposed to water stress in low irrigation, so it is necessary to study the water stress status of the plant. The purpose of this study is to investigate the water stress status of forage maize in different irrigation levels using different soil and plant indices. Hence a study in the form of a randomized complete block design with four levels of irrigation; (I_{50} , I_{75} , I_{100} and I_{125}) were performed in the Faculty of Agriculture of Lorestan University. The results indicated that different levels of irrigation on CWSI, RWC, K_s and residual soil moisture, crop yield and water productivity affect significantly at confidence level of one percent. The CWSI index increased from 0.18 in I_{125} treatment to 0.47 in I_{50} treatment. Decrease in soil moisture content from 68% in I_{125} treatment to 42% in I_{50} treatment, decreased the value of relative leaf water content index (RWC). The highest and lowest mean values of water stress coefficient (K_s) during the growth period related to I_{50} and I_{125} treatments were 0.32 and 0.94 respectively. Also, with a 50% reduction in plant water requirement, the yield compared to full irrigation conditions decreased by about 42% and treatments I_{100} and I_{50} with values of 2.75 and 2.53 kg / m³, respectively, had the highest and lowest water productivity. In this study, the relationship between crop yield and indices of CWSI, RWC, K_s and residual soil moisture (θ) was obtained with a high correlation. Finally, it can be said that in water stress in forage maize can be investigated through water stress indices.

Keywords: Soil Moisture, Water Requirement, CWSI, RWC.

*Corresponding Author's Email: nasrolahi.a@lu.ac.ir

برآورد شاخص‌های مختلف تنش آبی ذرت علوفه‌ای جهت مدیریت کم‌آبیاری

محدثه کردی^۱، علی حیدر نصرالهی^{۱*}، مهری سعیدی‌نیا^۱

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۲۶)

چکیده

مدیریت کم‌آبیاری یکی از راهکارهای مؤثر جهت افزایش بهره‌وری آب در مناطق خشک و نیمه خشک است. با توجه به اینکه در کم‌آبیاری گیاه در معرض تنش آبی است لذا بررسی وضعیت تنش آبی گیاه امری ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی وضعیت تنش آبی ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری با استفاده از نمایه‌های مختلف خاک و گیاه است. از این رو تحقیقی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار سطح آبیاری؛ (I₅₀، I₇₅، I₁₀₀ و I₁₂₅) در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا گردید. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی شاخص‌های RWC، CWSI، K_s، رطوبت باقیمانده خاک، عملکرد محصول و بهره‌وری آب در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار بود. شاخص CWSI از ۰/۱۸ در تیمار I₁₂₅ به مقدار ۰/۴۷ در تیمار I₅₀ افزایش یافت. شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC) نیز با کاهش میزان رطوبت خاک از ۶۸ درصد در تیمار I₁₂₅ به ۴۲ درصد در تیمار I₅₀ رسید. بیشترین و کمترین مقدار متوسط ضریب تنش آبی (K_s) در طول دوره رشد مربوط به تیمارهای I₅₀ و I₁₂₅ به ترتیب معادل ۰/۳۲ و ۰/۹۴ بدست آمد. همچنین با کاهش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه میزان عملکرد نسبت به شرایط آبیاری کامل حدود ۴۲ درصد کاهش داشت و تیمارهای I₁₀₀ و I₅₀ به ترتیب با مقادیر ۲/۷۵ و ۲/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب دارای بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری آب بودند. در این تحقیق رابطه بین عملکرد محصول و شاخص‌های CWSI، RWC، K_s و رطوبت باقیمانده خاک (θ) با همبستگی بالایی حاصل گردید. در نهایت می‌توان بیان کرد که شاخص‌های تنش آبی قابلیت بررسی تنش آبی در گیاه ذرت علوفه‌ای را دارند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، نیاز آبی، CWSI، RWC.

مقدمه

با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب در ایران، برای تولید محصول و امنیت غذایی در کشور ضرورت دارد که بهره‌وری آب در بخش کشاورزی افزایش پیدا کند. یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی استفاده از مدیریت کم‌آبیاری است. کم‌آبیاری یکی از راهکارهای اساسی بهینه‌سازی مصرف آب در اراضی فاریاب است که در آن آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود در طول دوره رشد خود مقداری از کم‌آبی را تحمل کند. کم‌آبیاری یک روش اضطراری در شرایط کم‌آبی نیست بلکه یک نوع مدیریت کارا و پویای بهره‌برداری از آب بوده و آثار ویژه‌ای در مدیریت استحصال، انتقال و مصرف آب و در نهایت بر مدیریت اقتصادی آب دارد (Sepasskhah et al., 2006). هدف از اعمال کم‌آبیاری، افزایش راندمان مصرف آب بوسیله کاهش کفایت آبیاری یا حذف آبیاری - های غیر مؤثر می‌باشد (Ebrahimi & Hasanpour darvishi., 2015). بطور طبیعی با اعمال کم‌آبیاری، کاهش محصول رخ خواهد داد که اگر کاهش درآمد ناشی از کاهش محصول، کمتر از کاهش هزینه‌های آبیاری باشد آنگاه کم‌آبیاری به سمت افزایش

سود هدایت می‌شود (Rezaei, 2012). تجربیات مربوط به کم-آبیاری در نقاط مختلف دنیا کارآمدی این روش مدیریتی را در افزایش بهره‌وری آب و سود خالص نشان داده است (Ebrahimi & Hasanpour darvishi., 2015; Sepasskhah et al., 2006).

علی رغم کارایی مدیریت کم‌آبیاری در افزایش بهره‌وری آب ولی در این شرایط از آنجایی که آب کمتری نسبت به شرایط نرمال و آبیاری کامل در اختیار گیاه قرار می‌گیرد لذا گیاه در معرض تنش آبی است و از این رو برای رسیدن به هدف مطلوب در این شیوه مدیریتی بررسی و پایش وضعیت تنش آبی گیاه امری ضروری است. تنش آبی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن سلول و بافت‌های گیاهی در وضعیتی قرار گرفته‌اند که آماس آنها کامل نیست. از نظر فیزیولوژیکی، تنش منعکس کننده فشار-های محیطی است که به گیاه وارد شده و باعث تغییر در خصوصیات فیزیولوژیکی آن می‌شود. علت پیدایش تنش آبی در گیاهان تعرق زیاد، کافی نبودن جذب آب و یا ترکیبی از این دو عامل می‌باشد (Alizadeh., 2005). شاخص‌های متعددی برای ارزیابی وضعیت تنش آبی در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که بطور کلی شامل شاخص‌ها یا نمایه‌های مربوط به گیاه و

رابطه‌ی بین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC) و رطوبت خاک را برای دو رقم زیتون (کرونیکی و T₂) مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. ضریب همبستگی بین CWSI و RWC به ترتیب برای رقم کرونیکی و T₂ برابر $R^2=0/82$ و $R^2=0/80$ است. همچنین ضریب همبستگی برای رطوبت خاک به ترتیب برابر $R^2=0/66$ و $R^2=0/62$ به دست آمد. (Jalilian et al., 2020) با بررسی وضعیت تنش آبی ذرت در سطوح مختلف آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) نشان دادند که مقدار شاخص تنش آبی گیاه ذرت بین ۰/۱۷ تا ۰/۵۲ متغیر می‌باشد. بطور کلی بررسی تحقیقات متعددی نشان می‌دهد که هر چند تنش آبی باعث کاهش عملکرد ذرت شده ولی با استفاده از شاخص‌های مختلف تنش آبی می‌توان برآورد مناسبی از عملکرد محصول و میزان کاهش محصول داشت که در نتیجه برای مدیریت آبیاری بسیار ضروری است (Saeedinia et al., 2019; Lalvand et al., 2020). از این رو هدف از پژوهش حاضر بررسی وضعیت تنش آبی ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری با استفاده از نمایه‌های مختلف خاک و گیاه و نیز ارتباط بین شاخص‌های گیاهی و پارامترهای خاکی با عملکرد محصول به منظور مدیریت مناسب آبیاری ذرت علوفه‌ای در مزرعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و روش اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان از ابتدای تیر ماه تا اواخر مهر ماه به مدت چهار ماه در فصل زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. مزرعه مورد نظر، از نظر مختصات جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا و در جنوب غربی شهرستان خرم آباد واقع گردیده است. همچنین پارامترهای جوی براساس اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهرستان خرم آباد که در مجاورت دانشکده کشاورزی قرار دارد اخذ گردید، که متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد ذرت در جدول (۱) ارائه گردیده است. علاوه بر این مجموع تبخیر از تشت تبخیر در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر ۳۴۱/۸، ۲۷۲/۶ و ۲۰۴/۵ میلی‌متر می‌باشد.

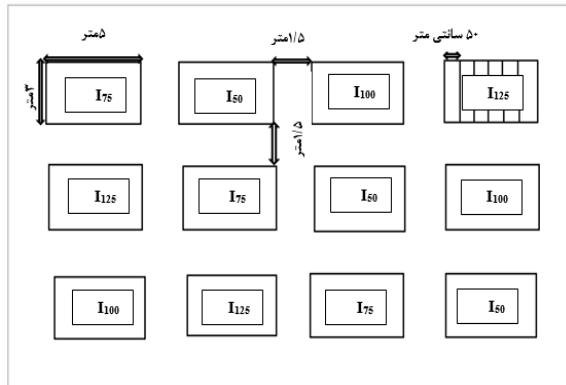
تحقیق مورد نظر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار سطح آبیاری شامل: I_{۱۲۵} (۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)، I_{۱۰۰} (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، I_{۷۵} (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) و

شاخص‌ها و پارامترهای مربوط به خاک است که هرکدام بسته به شرایط و امکانات موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مهمترین شاخص‌های مربوط به تنش آبی در گیاهان می‌توان به شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)، شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC)، ضریب تنش آبی (K_s) و میزان رطوبت موجود در خاک اشاره کرد که در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته و بخوبی وضعیت تنش آبی در گیاهان را نشان می‌دهند (Sezen et al., 2016; Merah, 2001; Saraker, 1999; Idso, 1981; RU et al., 2020; Shellie et al., 2020; Colak et al., 2020; Ahmadia et al., 2015; Heydari et al., 2014; Ahmadvand et al., 2018; Nouri et al., 2020).

ذرت علوفه‌ای معمولاً در اکثر مناطق کشور پس از برداشت گندم و جو و هم‌زمان با گرمترین ماه‌های سال یعنی زمانی که آب بحرانی‌ترین شرایط را دارد کشت می‌شود و از این رو آبیاری این گیاه زراعی اجتناب ناپذیر است. بنابراین با توجه به نیاز آبی بالای ذرت علوفه‌ای مدیریت صحیح آبیاری و بررسی وضعیت تنش آبی در این گیاه تحت شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری اهمیت بالایی دارد. میزان کاهش عملکرد ذرت در شرایط تنش آبی تنها به شدت تنش بستگی ندارد بلکه به مرحله رشد گیاه که با تنش آبی مواجه است نیز بستگی دارد (Azari, 2004; Nasrabad et al., 2016). اثر تنش خشکی بر روی عملکرد و محتوای نسبی برگ روی گیاه سورگم دانه‌ای در مزرعه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر روی عملکرد و محتوای نسبی آب داشته و هر چه میزان تنش افزایش یابد مقدار عملکرد و شاخص RWC کاهش می‌یابد. (Saeedi et al., 2018) اثر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک را بر روی ضریب K_s و عملکرد ذرت در مزرعه آموزشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد افزایش تنش سبب کاهش مقدار K_s و عملکرد می‌شود همچنین مقدار K_s برای شرایط بدون تنش برابر ۰/۹۶ برآورد گردید. (Fatahi et al., 2019) با استفاده از شاخص CWSI در ۵ سطح، ۳۷، ۷۵، ۸۷، ۱۰۰ و ۳۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک به بررسی وضعیت تنش آبی گیاه ذرت علوفه‌ای در شمال اصفهان پرداختند و مقدار شاخص تنش آبی را از حدود ۰/۱۲ تا ۰/۴۶ در سطوح مختلف آبیاری برآورد کردند. (Khorsand et al., 2019) در ارومیه به منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت، شاخص (CWSI) را در سه سطح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب معادل ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ بدست آوردند. (Asgari et al., 2020) در باغ زیتون پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی چمران،

جدول ۱- میانگین مقادیر پارامترهای هواشناسی منطقه در طول فصل کشت

| پارامترهای هواشناسی | تیر | مرداد | شهریور | مهر |
|--------------------------|-------|-------|--------|-------|
| حداکثر دما (سانتی گراد) | ۴۰/۳۹ | ۴۱/۲۱ | ۳۷/۶۲ | ۳۱/۸۶ |
| حداقل دما (سانتی گراد) | ۱۹/۶ | ۲۱/۶۳ | ۱۶/۸۵ | ۱۳/۸۷ |
| میزان بارندگی (میلی متر) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۴۲ |
| متوسط رطوبت نسبی (درصد) | ۱۸/۲۵ | ۱۶/۸۸ | ۱۴/۶۳ | ۱۵/۲۱ |
| سرعت باد (متر بر ثانیه) | ۵/۴۲ | ۵/۹۴ | ۵/۷۱ | ۸۶/۲۶ |



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایشی مزرعه

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

| عمق خاک (cm) | بافت خاک | PH | EC (dS/m) | OC (%) | P (ppm) | K (ppm) | ρ_b (gr/cm ³) | FC% (حجمی) | PWP% (حجمی) |
|--------------|-----------|------|-----------|--------|---------|---------|--------------------------------|------------|-------------|
| ۰-۳۰ | لوم سیلتی | ۷/۵۲ | ۰/۱ | ۱/۶۲ | ۶/۹ | ۳۴۵ | ۱/۳۳ | ۲۵ | ۹ |
| ۳۰-۶۰ | لوم سیلتی | ۷/۷۱ | ۰/۱۲ | ۰/۷ | ۲/۴ | ۲۱۸ | ۱/۳۷ | ۲۶ | ۱۱ |

در این رابطه نیز ET_c : تبخیر و تعرق گیاه ذرت بر حسب میلی متر بر روز و K_c : ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد می باشد. پس از محاسبه نیاز آبی گیاه، برای هر تیمار ضرایب تنش مربوطه معادل ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ به ترتیب برای تیمار-های I_{125} ، I_{100} ، I_{75} و I_{50} منظور و در نهایت حجم آب آبیاری برای هر کرت با استفاده از کنتور حجمی اندازه گیری و در اختیار گیاه قرار گرفت. در مجموع در طول دوره رشد ذرت علوفه ای تعداد ۱۳ نوبت آبیاری صورت گرفت و تیمارهای آزمایشی حدود یک ماه پس از کاشت همزمانی که بوته های ذرت ۴ تا ۶ برگی شدند، اعمال گردیدند. مقادیر عمق آبیاری برای رژیم های مختلف آبیاری در شکل ۲ آورده شده و بر این اساس مجموع عمق آبیاری برای تیمارهای I_{125} ، I_{100} ، I_{75} و I_{50} در طول دوره به ترتیب ۷۶۱، ۶۴۲، ۵۲۴ و ۴۰۶ میلی متر برآورد گردید.

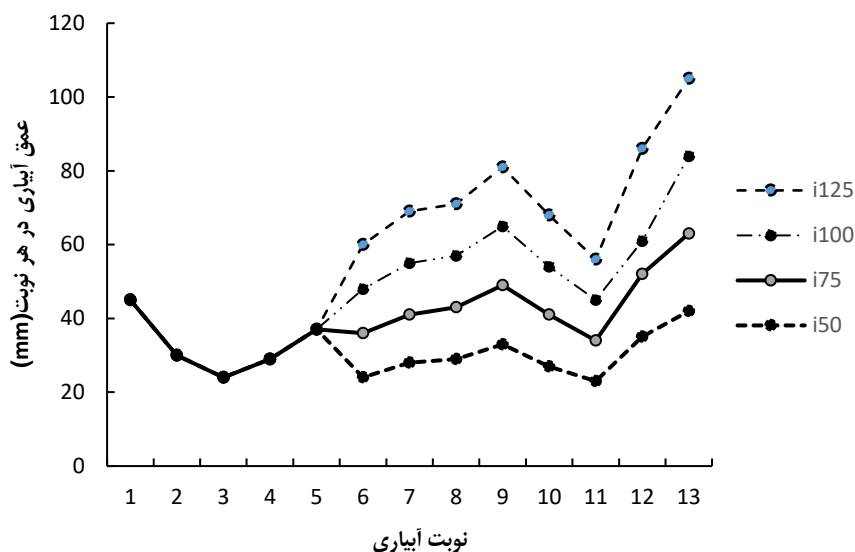
I_{50} (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و با سه تکرار اجرا گردید. کرت های آزمایشی شامل ۵ جویچه انتها بسته و با ابعاد 5×3 متر ایجاد شد بطوری که فاصله هر پشته ۵۰ سانتی متر و فاصله کرت های آزمایشی از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد همچنین رقم ذرت کشت شده سینگل کراس ۷۰۴ و به منظور جلوگیری از کاهش تراکم و احتمال سبز نشدن بعضی از بذرها، در هر نقطه تعداد دو بذر کاشته شد که پس از سبز شدن به یک بوته تنک شدند. نقشه جانمایی تیمارهای مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. برای بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در ابتدای کار و قبل از کشت ذرت، نمونه برداری از نقاط مختلف در دو عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری انجام شد. نمونه برداری به تعداد ۵ نقطه به صورت W شکل از نقاط مختلف صورت گرفت و نمونه ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ها مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۲) ارائه شد.

در طول فصل برای تعیین عمق آبیاری از تست تبخیر کلاس A تعبیه شده در مزرعه استفاده شد. برای این منظور در ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع با توجه به مقدار تبخیر از تست و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$ET_0 = K_p \times E_p \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه ET_0 : تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی متر بر روز، K_p : ضریب تست تبخیر که با توجه به تحقیقات پیشین در منطقه از جمله (Nouri et al., 2020) در نظر گرفته شد و E_p : میزان تبخیر از تست تبخیر بر حسب میلی متر بر روز می باشد. سپس با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده برای ذرت طبق نشریه ۵۶ فائو (مرحله اولیه، مرحله میانی و مرحله پایانی به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۱/۲۰ و ۰/۶۸) تبخیر و تعرق گیاه ذرت از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (\text{رابطه ۲})$$



شکل ۲- مقادیر عمق آبیاری برای سطوح مختلف آبیاری

$$VPG = e_s(T_c) - e_s(T_a) \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه فوق VPG: مقدار شیب فشار بخار و $e_s(T_c)$ و $e_s(T_a)$ به ترتیب فشار بخار اشباع در درجه حرارت گیاه و هوا را نشان می‌دهد.
(رابطه ۶)

$$e_s(T_a) = (0.6108 \times \exp(\frac{17.27 \times T_a}{T_a + 237.3})) \times \frac{1000}{101}$$

شاخص تنش آبی (CWSI)، بعد از تعیین روابط خط مبنای پایین و خط مبنای بالایی و همچنین در اختیار داشتن دمای پوشش سبز گیاه، با استفاده از روش ایدسو رابطه زیر محاسبه گردید.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{l,l}}{(T_c - T_a)_{u,l} - (T_c - T_a)_{l,l}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این رابطه؛ $(T_c - T_a)_m$: اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوای اندازه‌گیری شده در روزی است که می‌خواهیم شاخص تنش آبی را تعیین کنیم. لازم به ذکر است که شاخص تنش آبی و نیز سایر شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق در ۶ نوبت مختلف در طول دوره رشد محاسبه شده‌اند که در جدول (۳) تاریخ روزهای نمونه‌برداری برای محاسبه شاخص‌های تنش را نشان می‌دهد.

| جدول ۳- تاریخ‌های نمونه‌برداری | | | |
|--------------------------------|---------|----------------|---------------|
| نوبت اندازه‌گیری | تاریخ | روز بعد از کشت | وضعیت مزرعه |
| ۱ | ۹۸/۵/۳۰ | ۵۴ | قبل از آبیاری |
| ۳ | ۹۸/۶/۵ | ۶۰ | قبل از آبیاری |
| ۵ | ۹۸/۶/۱۲ | ۶۷ | قبل از آبیاری |
| ۷ | ۹۸/۶/۲۰ | ۷۵ | قبل از آبیاری |
| ۹ | ۹۸/۶/۲۷ | ۸۲ | قبل از آبیاری |
| ۱۱ | ۹۸/۷/۳ | ۸۹ | قبل از آبیاری |

برآورد شاخص CWSI

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش (Idso 1981) ابتدا به محاسبه خط مبنای پایینی و بالایی تنش اقدام و سپس بر اساس این دو خط مبنای شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برآورد گردید. برای محاسبه شاخص تنش آبی CWSI به دمای پوشش سبز گیاهی نیاز است برای این منظور از دماسنج مادون قرمز مدل ۵۲۴۰،۰۰N استفاده شد. برای کاهش مقدار خطا اندازه‌گیری، دمای برگ گیاه از ۴ جهت جغرافیایی مختلف قرائت و میانگین آن‌ها به عنوان دمای پوشش سبز گیاه در نظر گرفته شد. جهت تعیین شاخص تنش آبی (CWSI)، دمای پوشش سبز و دمای هوا و نیز رطوبت نسبی در روزهای قبل از آبیاری در بازه زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۴ و روزهای بعد از آبیاری از ساعت ۸ تا ۱۴ هر یک ساعت یک بار برای هر تیمار اندازه‌گیری شد. خط مبنای پایینی تنش که یک خصوصیت ویژه از هر گیاه بوده و معرف شرایطی است که در آن گیاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبه‌رو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده حداکثر مقدار خود می‌باشد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$(T_c - T_a)_{l,l} = a - b(VPD) \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه فوق $VPD =$ کمبود فشار بخار هوا برحسب میلی-بار. a و $b =$ ضرایب رابطه خطی می‌باشند. خط مبنای بالا در مقابل خط مبنای پایین قرار دارد، یعنی حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاهی و هوا ($T_c - T_a$) انتظار داشت. در این حالت عمل تعرق گیاه به طور کامل متوقف خواهد شد. این خط مبنای مستقل از کمبود فشار بخار اشباع هوا می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$(T_c - T_a)_{u,l} = a + b|VPG| \quad (\text{رابطه ۴})$$

تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC)

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) در روزهای قبل از آبیاری ساعت ۱۰ الی ۱۱ از تمامی کرت‌ها تعداد ۲ الی ۳ برگ (آخرین برگ‌های توسعه یافته بوته‌ها) برداشت و نمونه‌ها به‌طور جداگانه در پلاستیک قرار گرفتند. برای جلوگیری از تلفات آب، نمونه‌ها درون ظرف یخ به آزمایشگاه منتقل و وزن تر برگ‌ها به وسیله ترازو دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شدند. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای اتاق جهت محاسبه وزن اشباع غوطه‌ور شدند و پس از این مدت نمونه‌ها به سرعت با کاغذی خشک و وزن اشباع نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه وزن خشک نمونه‌ها، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفت و سپس وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری و در نهایت محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر به دست آمد.

$$RWC = \frac{m_r - m_d}{m_t - m_d} \times 100 \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این رابطه؛ m_r : وزن تازه برگ برحسب گرم، m_d : وزن خشک شده برگ برحسب گرم و m_t : وزن اشباع برگ برحسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری رطوبت خاک (θ)

به منظور برآورد میزان رطوبت خاک و نیز بررسی رابطه رطوبت موجود در خاک و شاخص‌های مختلف تنش آبی گیاه، در روزهایی که شاخص‌های مختلف تنش آبی اندازه‌گیری شد (جدول ۳) میزان رطوبت خاک نیز با استفاده از نمونه برداری و روش وزنی تعیین گردید. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در روزهای ذکر شده نمونه‌برداری، از خاک با استفاده از مته نمونه‌برداری در تمام تیمارهای آزمایشی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری صورت گرفت و پس از توزین و خشک کردن نمونه‌ها مقدار رطوبت خاک به روش مستقیم محاسبه شد.

برآورد ضریب تنش آبی (K_s)

زمانی که رطوبت خاک از یک مقدار آستانه کمتر باشد، تنش اعمال شده بر گیاه متناسب با مقدار کمبود رطوبت موجود در منطقه ریشه خواهد بود. مقدار ضریب تنش آبی یا ضریب کاهش تعرق تابع آب قابل استفاده خاک بوده و در بازه صفر تا یک قرار دارد که از رابطه زیر محاسبه گردید (نشریه فائو ۵۶).

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad (\text{رابطه ۹})$$

در رابطه فوق؛ D_r : مقدار تخلیه آب خاک در عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)، TAW : کل آب قابل استفاده خاک در عمق

توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) و RAW : آب سهل الوصول (میلی-متر) برای گیاه است که از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$TAW = 1000(\theta_{fc} - \theta_{wp})Z_r \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$RAW = P \times TAW \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در این روابط نیز Z_r : عمق توسعه ریشه گیاه (متر)، θ_{fc} : مقدار آب خاک در ظرفیت زراعی (مترمکعب بر مترمکعب)، θ_{wp} : مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی (مترمکعب بر متر مکعب) و P : ضریب تخلیه مجاز رطوبتی که بر اساس نشریه فائو ۵۶ برای ذرت معادل ۰/۵۵ منظور گردید.

اندازه‌گیری عملکرد محصول

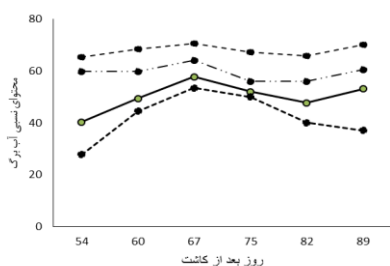
برای بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در انتهای فصل از هر کرت با حذف فاروهای کناری، بوته‌های ذرت از سطح خاک بریده و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن تر و خشک علوفه تولیدی اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری و محاسبه تمام شاخص‌های مورد بررسی و نیز عملکرد ذرت علوفه‌ای، آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

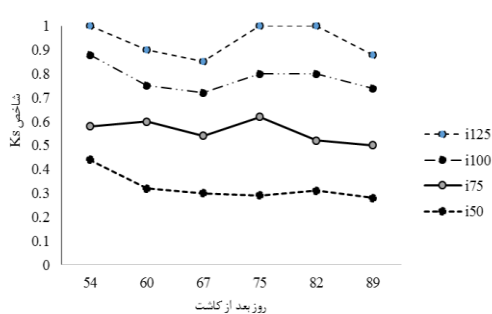
بررسی روند تغییرات شاخص‌های تنش آبی در رژیم‌های مختلف آبیاری

پس از تعیین موقعیت خطوط مبنای بالا و پایین به روش ایدسو، مقادیر شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای ذرت علوفه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری و روزهای مختلف برآورد گردید (شکل ۳). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر شاخص CWSI مربوط به رژیم آبیاری I_{50} و I_{125} است و بطور کلی با کاهش آب مصرفی، مقدار شاخص تنش روند افزایشی دارد که نشان دهنده توانایی بالای این شاخص در بررسی وضعیت تنش آبی در گیاهان است و در تحقیقات متعددی نیز اثبات شده است (Lalvand Khorsand et al., 2019; Saeediniya et al., 2019; Nouri et al., 2020; et al., 2020). شکل (۴) روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ (RWC) را در روزهای نمونه‌برداری برای رژیم‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد. در اینجا بیشترین و کمترین مقدار شاخص RWC به ترتیب مربوط به تیمارهای I_{125} و I_{50} است و با افزایش شدت تنش آبی به گیاه مقدار RWC کاهش می‌یابد. در تحقیقات مشابه نیز Heydari et al. (2014) برای گیاه آنسیون و Asgari et al. (2020) برای گیاه زیتون نشان دادند که محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است و بخوبی وضعیت تنش آبی در گیاهان را نشان می‌دهند. تغییرات وضعیت رطوبت خاک در روزهای نمونه‌برداری

در روزهای مختلف و برای رژیم‌های مختلف آبیاری در شکل (۶) نشان می‌دهد که مقدار این شاخص از حدود ۰/۳ در تیمار I₅₀ تا حدود ۱ در تیمار I₁₂₅ تغییر می‌کند. با توجه به شکل (۶) هر چه تنش وارد شده به گیاه بیشتر شود کاهش مقدار ضریب تنش آبی (K_s) محسوس‌تر می‌شود همچنین حساسیت گیاه ذرت در دوره پایانی رشد (پس از رسیدن دانه‌ها) نسبت به مراحل ابتدایی رشد تاثیر بیشتری بر کاهش ضریب تنش آبی (K_s) داشته است که با تحقیق (Saeedi et al. 2018) مطابقت دارد.



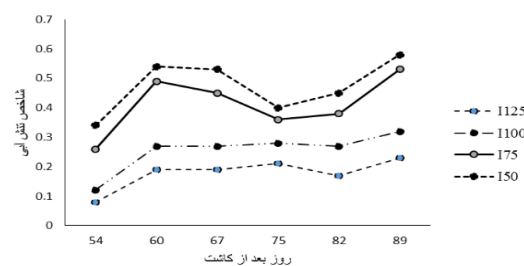
شکل ۴- تغییرات شاخص RWC در رژیم‌های مختلف آبیاری



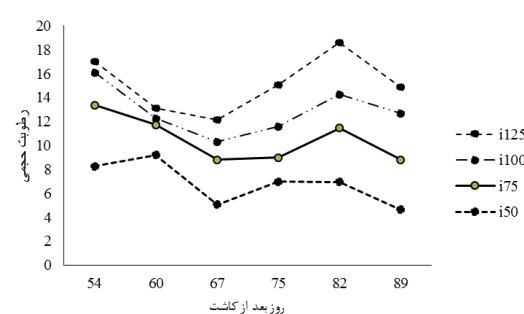
شکل ۵- روند تغییرات ضریب K_s در تیمارهای مختلف آبیاری

ناشی از شرایط اقلیمی متفاوت، اختلاف بین ارقام مورد استفاده و یا مدیریت‌های مختلف آبیاری باشند (Khorsand et al., 2019; Saeediniya et al. 2020; Fatahi et al., 2019; Lalvand et al. 2020). متوسط رطوبت حجمی باقیمانده در خاک در رژیم‌های مختلف آبیاری برای تیمارهای I₅₀، I₇₅، I₁₀₀ و I₁₂₅ به ترتیب معادل ۰/۵۳، ۰/۸۵، ۱۰/۸۷ و ۱۵/۱۴ درصد برآورد گردید و بخوبی نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش آبی، میزان رطوبت باقیمانده در خاک کاهش معنی‌دار داشته است. همان‌گونه که از جدول نیز مشخص است شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC) نیز رابطه مستقیمی با محتوای آب خاک دارد بطوری که با کاهش میزان رطوبت خاک مقدار این شاخص از ۶۸ درصد در تیمار I₁₂₅ به ۴۲ درصد در تیمار I₅₀ رسیده که حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. مقدار متوسط ضریب تنش آبی (K_s) در طول دوره رشد برای تیمارهای I₅₀، I₇₅، I₁₀₀ و I₁₂₅ به

برای سطوح مختلف آبیاری در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که بیشترین مقدار رطوبت در روزهای مختلف در تیمار آبیاری I₁₂₅ بوده و با کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش تنش آبی، میزان رطوبت خاک به شدت کاهش می‌یابد. همانطور که پیش از این نیز گفته شد مقدار ضریب تنش آبی (K_s) بین صفر تا یک قرار دارد و هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر وضعیت بهتر رطوبت و تعرق برای گیاه است. بررسی روند تغییرات ضریب تنش آبی برای ذرت علوفه‌ای



شکل ۶- تغییرات شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در رژیم‌های مختلف آبیاری



شکل ۷- تغییرات رطوبت حجمی خاک در تیمارهای مختلف

تجزیه واریانس شاخص‌های مختلف تنش آبی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در جدول (۴) آورده شده است و نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی کلیه شاخص‌های مورد بررسی در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه متوسط شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن با سطح اطمینان یک درصد انجام و نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول، مقادیر متوسط شاخص CWSI از ۰/۱۸ در تیمار I₁₂₅ به مقدار ۰/۴۷ در تیمار I₅₀ افزایش یافته که حدود ۶۰ درصد افزایش داشته است. متوسط مقدار شاخص تنش آبی گیاه ذرت در تیمار I₁₀₀ که معادل آبیاری کامل و شرایط بدون تنش است حدود ۰/۲۶ بدست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص CWSI برای گیاه ذرت در شرایط بدون تنش در تحقیقات پیشین بین ۰/۱۷ تا ۰/۳ در مناطق مختلف ایران برآورد شده است که تفاوت بین این مقادیر می‌تواند

دارد یعنی بر خلاف انتظار، بیانگر تنش آبی در این تیمار نیز است که به نظر می‌رسد دلیل اصلی این امر به نوع مدیریت آبیاری و روش برآورد نیاز آبی در مزرعه برمی‌گردد.

ترتیب معادل ۰/۳۲، ۰/۵۷، ۰/۷۸ و ۰/۹۴ بدست آمد که بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند. علاوه بر این مشاهده می‌گردد که مقدار ضریب K_s برای تیمار I_{100} یا همان رژیم آبیاری کامل ۰/۷۸ است که تا مقدار ۱ فاصله

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری بر روی شاخص تنش آبی، درصد محتوای نسبی آب برگ، درصد رطوبت حجمی خاک و ضریب تنش

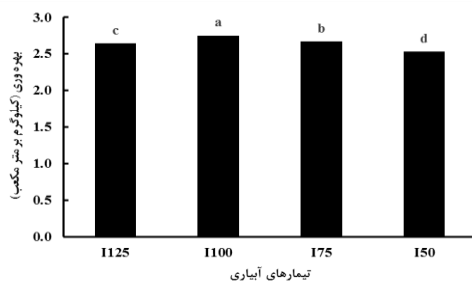
| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|------------------|------------|----------------|-----------|---------|
| | | CWSI | RWC | K_s |
| تیمار | ۳ | ۰/۱۱۲** | ۷۵۱/۸۱۹** | ۰/۴۴۸** |
| تکرار | ۵ | ۰/۰۲۲** | ۷۶/۶۵۵* | ۰/۰۰۹* |
| خطا | ۱۵ | ۰/۰۰۱ | ۱۹/۸۱۷ | ۰/۰۰۲ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۲۳/۴۷ | ۱۰/۶۲ | ۸/۳۰ |

جدول ۵- مقایسه مقادیر متوسط شاخص‌های تنش در رژیم‌های مختلف آبیاری

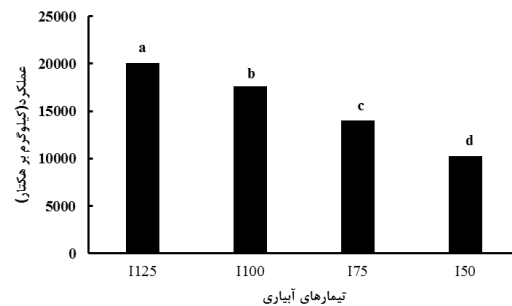
| تیمارهای آبیاری | رطوبت حجمی خاک (درصد) | K_s | RWC | CWSI |
|-----------------|-----------------------|-------|--------|-------|
| I_{125} | ۱۵/۱۴a | ۰/۹۴a | ۶۷/۹۶a | ۰/۱۸a |
| I_{100} | ۱۲/۸۷b | ۰/۷۸b | ۵۹/۴۶b | ۰/۲۶b |
| I_{75} | ۱۰/۵۳c | ۰/۵۷c | ۵۰/۱۱c | ۰/۴۲c |
| I_{50} | ۶/۸۵d | ۰/۳۲d | ۴۲/۱۹d | ۰/۴۷d |

درصد نیاز آبی گیاه میزان عملکرد علوفه خشک ذرت نسبت به شرایط آبیاری کامل حدود ۴۲ درصد کاهش داشت که با نتایج تحقیقات مختلف مطابقت دارد (Saeedinia et al., 2019; Khorsand et al., 2019; Fatahi et al., 2019). مقایسه میانگین بهره‌وری آب آبیاری نیز نشان داد که تیمار I_{100} و I_{50} به ترتیب با مقادیر ۲/۷۵ و ۲/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب دارای بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری آب بودند شکل (۸). نکته قابل توجه این است که همانطوری که مشاهده می‌شود تیمار I_{125} علی‌رغم اینکه عملکرد بیشتری دارد ولی نسبت به تیمارهای I_{100} و I_{75} بهره‌وری آب کمتری دارد که این مطلب بیانگر کارایی مدیریت کم‌آبیاری در افزایش بهره‌وری آب در مزرعه می‌باشد.

بررسی رابطه عملکرد محصول با شاخص‌های مختلف تنش آبی به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی عملکرد ذرت علوفه‌ای (وزن علوفه خشک) و بهره‌وری آب آبیاری (نسبت عملکرد به میزان آب مصرفی) تجزیه واریانس آنها صورت گرفت و نتایج نشان داد که تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری روی صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطوح مختلف آبیاری با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان یک درصد انجام شد (شکل ۷). با توجه به شکل مشاهده می‌شود که عملکرد ذرت علوفه‌ای در تیمارهای I_{125} ، I_{100} ، I_{75} ، I_{50} به ترتیب ۱۰۲۸۰، ۱۳۹۸۰، ۱۷۶۵۰ و ۲۰۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با افزایش میزان تنش آبی، کاهش می‌یابد به گونه‌ای که با کاهش ۵۰



شکل ۸- تغییرات بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبیاری



شکل ۷- تغییرات عملکرد در تیمارهای مختلف آبیاری

شاخص‌های مختلف تنش آبی با استفاده از روش رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون همبستگی در جدول (۷) ارائه گردید. بر این اساس ضریب همبستگی (r) بین شاخص CWSI با RWC، KS و رطوبت خاک بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ برآورد شد که در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول و مقدار ضریب همبستگی نتایج نشان داد که افزایش مقدار شاخص CWSI سبب کاهش شاخص‌های KS، RWC و رطوبت خاک می‌شود و با آن‌ها دارای رابطه عکس می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین شاخص KS، RWC و رطوبت خاک ۰/۹۹ به دست آمد که در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود و نشان دارد بین این شاخص‌ها رابطه مستقیم وجود دارد. همبستگی بالا بین شاخص‌ها با یکدیگر بیانگر این است که شاخص‌های CWSI، RWC، KS و رطوبت باقیمانده خاک (θ) شرایط تنش را برای گیاه ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم آباد به خوبی نشان داده است.

به منظور بررسی رابطه بین عملکرد ذرت و تنش آبی وارد شده به گیاه، روابط رگرسیونی بین عملکرد محصول و شاخص‌های مختلف تنش آبی برآورد و در جدول (۶) ارائه گردید. همانطور که در جدول نشان داده شده است رابطه بین عملکرد محصول (Y) و شاخص‌های CWSI، RWC، KS و رطوبت باقیمانده خاک (θ) به صورت خطی بوده که دارای دقت بالایی هستند بطوری‌که مقدار ضریب تبیین (R^2) برای این روابط به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بدست آمده است. با ارائه روابط بین عملکرد محصول و شاخص‌های مختلف تنش آبی می‌توان از شاخص‌های تنش برای پیش‌بینی میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش‌های مختلف در منطقه خرم آباد استفاده کرد. لازم به ذکر است که پیش از این وجود رابطه خطی بین عملکرد و شاخص‌های مختلف تنش آبی در تحقیقات متعددی گزارش شده است (Sezen *et al.* 2016; Colack *et al.* 2020; Saeedinia Ahmadi *et al.* 2018; Nouri *et al.* 2020). علاوه بر این رابطه بین

جدول ۶- رابطه رگرسیونی بین عملکرد و شاخص‌های (CWSI، RWC، KS و رطوبت خاک)

| شاخص‌های تنش آبی | رابطه شاخص‌های تنش آبی با عملکرد | R^2 |
|------------------|----------------------------------|-------|
| CWSI | $Y = -31702CWSI + 25964$ | ۰/۹۷ |
| RWC | $Y = 381.71RWC - 5463.7$ | ۰/۹۹ |
| K_s | $Y = 16826K_s + 4355$ | ۰/۹۹ |
| رطوبت حجمی خاک | $Y = 1208.20 + 1789.9$ | ۰/۹۹ |

جدول ۷- روابط بین شاخص‌های مختلف تنش همراه با ضریب همبستگی و تبیین

| شاخص‌های تنش آبی | رابطه بین شاخص‌ها | ضریب تبیین (R^2) | ضریب همبستگی (r) |
|------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| CWSI - RWC | $RWC = -83.187CWSI + 82.83$ | ۰/۹۸ | -۰/۹۷** |
| CWSI - K_s | $K_s = -1.88CWSI + 1.28$ | ۰/۹۶ | -۰/۹۸** |
| CWSI - θ | $\theta = -25.68CWSI + 19.82$ | ۰/۹۴ | -۰/۹۹** |
| K_s - RWC | $K_s = 43.68RWC + 25.29$ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹* |
| K_s - θ | $K_s = 13.85\theta + 2.17$ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹** |
| θ - RWC | $\theta = 3.13RWC + 19.44$ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹** |

نتیجه‌گیری

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده شاخص‌های CWSI، RWC، K_s و رطوبت باقیمانده خاک می‌توانند شاخصی مناسب برای بررسی وضعیت تنش آبی گیاه ذرت علوفه‌ای باشند. همچنین روابطی برای برآورد و پیش‌بینی میزان عملکرد محصول با استفاده از شاخص‌های RWC، K_s و رطوبت خاک با دقت ۰/۹۹ و با شاخص CWSI با دقت ۰/۹۷ در منطقه خرم آباد استخراج گردید. در پایان با توجه به همبستگی بالای شاخص‌های به دست آمده با عملکرد گیاه لذا جهت افزایش بهره‌وری آب آبیاری و مدیریت صحیح آب در مزرعه استفاده از این شاخص‌ها پیشنهاد می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

در تحقیق حاضر شاخص‌های CWSI، RWC، K_s و رطوبت باقیمانده خاک برای گیاه ذرت علوفه‌ای تحت چهار رژیم مختلف آبیاری (I_{125} و I_{100} ، I_{75} ، I_{50}) با روش آبیاری سطحی محاسبه گردید. نتایج نشان داد مقدار آب مصرفی گیاه با شاخص CWSI دارای رابطه عکس اما با شاخص‌های RWC و K_s و رطوبت خاک دارای رابطه مستقیم می‌باشد که مقدار آستانه برای شاخص‌های CWSI، RWC، K_s و رطوبت باقیمانده خاک به ترتیب برابر ۰/۲۶، ۵۹/۴۶ و ۰/۷۸ و ۱۲/۸۸ به دست آمد. همچنین تفاوت به وجود آمده بین مقادیر شاخص‌های مذکور در تیمارهای مختلف بیانگر حساسیت بالای این شاخص‌ها به کمبود آب است زیرا نتایج نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی شاخص‌های مذکور در

REFERENCES

- Ahmadi, H., Nasrallah, A., Sharifipour, M., & Eisund, H. (2018). Determination of plant water stress index (CWSI) of soybean for irrigation management for maximum yield and water productivity. *Journal of Irrigation and Water Engineering*.8 (32) .131-120.(In Farsi)
- Ahmadvand, M., Sharifipour, M., & Nasrollahi, A. (2018) Investigation of the effect of different levels of irrigation on forage corn yield in Khorramabad region. *9th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources*, Tehran. (In Farsi)
- Alizadeh, A.(2005). The relationship between water, soil and plants. Astan Quds Razavi Publications. 407 pages.(In Farsi)
- Asgari, A., Hooshmand, A., Bromandansab, S., & Ziodar, Sh. (2020). Investigation of water stress status of olive trees using water stress index of the plant. *Iranian Soil and Water Research*.5 (51).(In Farsi)
- Azari Nasrabad, A., Mousavi Nik, M., Golavi, M., Sirus Mehr, A., & Beheshti, A. (2016). Effect of Drought Stress at Different Growth Stages on Yield and Yield Components, Cell Membrane Stability and Relative Leaf Water Content of Grain Sorghum Genotypes (Sorghum bicolor L.Moench). *Environmental stresses in agricultural sciences* .9 (3) .228-217. (In Farsi)
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89:1-16.
- Çolak, Y. B., Yazar, A., Alghory, A., & Tekin, S. (2020). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for differentially irrigated quinoa with surface and subsurface drip systems. *Irrigation Science*, 1-20.
- Ebrahimi, H., Hassanpour Darvishi, H. (2015). The relationship between corn yield and water consumption (*computational water requirement and soil moisture deficiency*). 4 (9) .613-605.(In Farsi)
- Fatahi, kh., Babazadeh, H., Najafi, P., & Sedghi., H. (2019). Irrigation maize planning (SC-701) using plant water stress index in the north of Isfahan. *Irrigation Science and Engineering* .42 (1) .118-105. (In Farsi)
- Heydari, N., Pursif, M., & Tavakoli, A. (2014). The effect of drought stress on photosynthesis, its related parameters and relative water content of Anise plant. *Journal of Plant Research*.27 (5).(In Farsi)
- Idso. S. B., R. D. Jackson, P. J. Pinter, R. J. Reginato & J. L. Hatfield. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Journal of Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
- Jalilian, S., Soltani Mohammadi, A., & Boroumand Nasab, S. (2020). Irrigation planning of corn using CWSI index in climatic conditions of Ahvaz. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 5 (14).(In Farsi)
- Khorsand, A., Rezavarinejad, V., Asgarizadeh, H. Madness Harris, A., Rahimi, A., Besharat, s., & Ashraf Sadeghi, A. (2019). Determination of water stress index (CWSI) to determine the water stress time of corn crop in Urmia region. *Iranian Soil and Water Research*.50 (4). (In Farsi)
- Lalvand, P., Nasrallah, A., Khormian, M., & Saeedinia, M. (2020). Evaluation of CWSI index for three maize cultivars under drip irrigation regimes (lands of northern Khuzestan). *Protection of water and soil resources*. (4) 9. (In Farsi)
- Merah, O.(2001). Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *J. Agric. Sci.Cambridge*. 137: 139-145.
- Nouri, S., Nasrallah, A., Maleki, A., & Sharifipour, M. (2020). Estimation of soil moisture using plant water stress index for irrigation management of pinto beans. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 14 (1) .145-136. (In Farsi)
- Rezaei Estakhrouyeh, Abbas. (2012). Investigation of the effect of under-irrigation (DI) and localized root drought (PRD) on yield components and water use efficiency (WUE) of corn. PhD Thesis. *Chamran martyr of Ahwaz University*.(In Farsi)
- Ru, C., Hu, X., Wang, W., Ran, H., Song, T., & Guo, Y. (2020). Evaluation of the Crop Water Stress Index as an Indicator for the Diagnosis of Grapevine Water Deficiency in Greenhouses. *Horticulturae*, 6(4), 86.
- Saeedi, R., Sotoudehnia, A., Ramezani Etedali, H., Kaviani, A., & Theoretical, B. (2018). Study of the effect of water salinity stresses and soil fertility on evapotranspiration of forage maize. *Iranian Soil and Water Research*, 49 (4) .954-945. (In Farsi)
- Saeedinia.M., Nasrallah, A., & Sharifipour, M. (2019). Evaluation of plant water stress index ability in irrigation planning and estimation of forage maize yield. *Water and soil research*. 50 (3).(In Farsi)
- Saraker, A. M., Rahman, M .S. & Paul, N. K. (1999). Effect of soil moisture on.
- sepasskhah, A.R. Tavakoli and S.F. Mousavi,(2006). Principles and application of low irrigation. *Committee Publications* .(In Farsi)
- Sezen, M. S., Yazar, A., Dasgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S. and Akhoundnejad, Y., 2016. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 143, 59–70.
- Shahrokh Nia.M. (2015). Irrigation planning of fields and gardens by measuring plant leaf temperature. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Research Centers and Natural Resources of Fars Province. *Technical Journal*, No. 7. (In Farsi)
- Shellie, K. C., & King, B. A. (2020). Application of a Daily Crop Water Stress Index to Deficit Irrigate Malbec Grapevine under Semi-Arid Conditions. *Agriculture*, 10(11), 49