



Assessment of Water Status and Its Critical Stages in Dryland Barley Genotypes (*Hordeum vulgare*) Using Crop Water Stress Index (CWSI)

V. Feiziasl^{1*}

Received: 03-04-2022

Revised: 10-04-2022

Accepted: 08-05-2022

Available Online: 21-07-2022

How to cite this article:

Feiziasl V. 2022. Assessment of Water Status and Its Critical Stages in Dryland Barley Genotypes (*Hordeum vulgare*) Using Crop Water Stress Index (CWSI). Journal of Water and Soil 36(2): 197-213. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/JSW.2022.75527.1146](https://doi.org/10.22067/JSW.2022.75527.1146)

Introduction

Barley could be grown under low-input and harsh conditions because of its wide adaptability to drought, and heat stresses. Nonetheless, the water stress leads to yield reduction when drought stress occurs during stem elongation and grain filling stages. In rainfed areas, water and heat stress occur together, specifically after anthesis, amplifying the adverse effects of water stress via disrupting water uptake of crops. In this regard, measurement of canopy temperature (T_c) by infrared thermometry is a non-destructive method that can effectively characterize the water status of plants. There is a linear relation between T_c and transpiration, which increases upon stomata closure. Since stomata is very sensitive to environmental variations and moisture reduction in the plant and it is very difficult to measure, therefore, T_c is the preferred factor to determine the crop water status. The T_c was used to calculate the practical Crop Water Stress Index (CWSI) by Idso et al. (1981) and Jackson et al. (1981). Dold et al., (2017) reported a positive significant correlation between CWSI and transpiration, daily soil water content, and plant production. Negative significant correlations between CWSI and pure photosynthesis rate, transpiration, and stomatal conductance were also reported. This study was aimed to: (i) assess the water stress effects on dryland barley genotypes using T_c , (ii) identify the upper limit for T_c affecting performance and reducing barley grain yield, (iii) determine the critical point of water stress, and (iv) apply CWSI to select the most suitable barley genotypes for both rainfed and supplemental irrigation conditions.

Materials and Methods

To determine the crop water stress index (CWSI) and assess water status of dryland barley genotypes, an experiment was carried out in a split plot arrangement based on randomized complete block design with 15 genotypes in three replications at the Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh ($46^{\circ} 45' E$, and $37^{\circ} 26' N$), Iran in the 2015-2018 cropping seasons. The main plots included rainfed (as stress conditions), and supplemental irrigation (two times: 50 mm irrigation in the sowing time and 30 mm irrigation in the booting stage) as non-water stress conditions. The sub-plots included 15 barley genotypes (GaraArpa, 71411, Abidar, Ansar, ARM-ICB, ChiCm/An57//Albert, Dobrynya, Kuban-06, Makoei, Redical, Sahand, Sahand/C-25041, Sararood1, Ste/Antares//YEA762 and Valfajr). The barley genotypes were planted by Wintersteiger planter in six-row plots with 8 m long and 1.20 m wide (20 cm row spacing). The sowing rate was 380 seeds per m^2 based on the thousand kernel weight (TKW) of each genotype. Seeds were treated by Penconazole fungicide. The planting dates were October 4, 2015, and October 7, 2017. In each plot, two canopy temperatures (T_c) were measured using infrared thermometer Model A-1 in six crop reproductive stages from the half of ear emerged above flag leaf ligule stage (GS55) to the soft dough stage (GS85). Measuring time was between 1:00 to 2:00 pm.

Results and Discussion

The results indicated that the upper baseline for non-transpiring of dryland barley genotypes ($T_c - T_a =$

1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

(* - Corresponding Author Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir)

0.0008VPD + 5.89; VPD: vapor pressure deficit) was 5.9 °C (ranged from 5.5 to 6.9) which is equal to 32.4 °C green canopy and 9.0 to 11.1 mm/day evapotranspiration. Non-stressed baseline or lower baseline ($T_c - T_a = -2.4662VPD + 9.15$; $R^2 = 0.97^{**}$) showed that CWSI threshold value was 0.75 which is equal to 24.3 °C (23.7 to 26.1 °C) T_c under supplemental irrigation and 23.3 to 24.7 °C under water stress conditions. Additionally, CWSI threshold was equal to 7.3 mm/day evapotranspiration and 5.02 kPa VPD. On the other hand, results revealed that when T_c exceeded 25 °C, biological yield, thousand kernel weight (TKW) decreased significantly, followed by grain yield in different barley genotypes. The slope of the CWSI calibration equation ($T_c - T_a = -2.4662VPD + 9.15$) is often more negative in hot and dry areas, and tends to zero in cold and humid areas. Therefore, its negativity indicates the conditions of moisture stress for barley genotypes in the dryland phase. The CWSI threshold for barley genotypes growth stages happened at 248 (6th June) days from sowing time (4th - 7th October) which is equal to flowering stage (ZGS60). According to CWSI quantity, Ansar, ChiCm/An57//Albert, Sahand/C-25041 and Ste/Antares//YEA762 were grouped in the tolerance class under stress (dryland) conditions. However, Abidar, Sahand/C-25041, GaraArpa, ChiCm/An57//Albert and Makooei were placed in the tolerance class under non-stress (supplemental irrigation) conditions.

Conclusion

The CWSI could estimate the intensity of heat and water stresses in the grain filling stage for barley genotypes in cold and semi-arid areas. The average of canopy temperature threshold values were 24.8 and 24.0 °C for dryland barley genotypes in supplemental irrigation and dryland conditions, respectively. In addition, these indices could be used to estimate heat and water stress tolerance levels for barley genotypes.

Keywords: Dryland and supplemental irrigation, Canopy temperature, Water stress threshold

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱، ص ۱۹۷-۲۱۳

ارزیابی وضعیت آبی و مراحل بحرانی آن در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) دیم با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

ولی فیضی اصل*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

تنش رطوبتی حاصل از کمبود بارندگی (تنش خشکی) و گرما (تنش گرمایی) از عمده‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که بر تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک اثر منفی می‌گذارد. مطالعه به‌منظور تعیین آستانه تنش رطوبتی با استفاده از پارامترهای تنش گرمایی مرتبط با وضعیت آبی گیاه و شناسایی و معرفی لاین‌های مقاوم به این تنش‌ها انجام گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در شرایط تنش آبی (دیم) و بدون تنش آبی (۵۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی در زمان کاشت و ۳۰ میلی‌متر در مرحله آستانه) در کرت اصلی و ۱۵ ژنوتیپ جو در کرت فرعی در دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۷-۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) به اجرا درآمد. صفات گیاهی، عملکرد، اجزای عملکرد، دمای پوشش سبز (Tc) در ۶ مرحله از ظهور برگ پرچم (ZGS55) الی خمیری نرم (ZGS85) و NDVI در ۷ مرحله از ظهور اولین گره (ZGS31) الی خمیری نرم (ZGS85) اندازه‌گیری شد. با استفاده از شاخص CWSI، آستانه تنش رطوبتی برای ژنوتیپ‌های جو ۰/۷۵ و آستانه دمای بحرانی ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد معادل با ۷/۳ میلی‌متر بر روز تبخیر-تعرق پتانسیل (ET₀) و ۴/۹۹ کیلوپاسکال کمبود فشار بخار هوا (VPD) تعیین شد. حداکثر تنش رطوبتی قابل تحمل (CWSI) به عنوان مبنای توقف کامل تعرق و فتوسنتز در گیاه جو، Tc و تبخیر-تعرق پتانسیل (ET₀) به ترتیب ۱/۰۴، ۳۲/۷ درجه سانتی‌گراد و ۱۱/۰۱ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. شروع مرحله بحرانی از ۲۰ خرداد (۲۶۱ روز از اول مهر ماه) معادل با شروع گلدهی (ZGS60) بود. در نهایت ژنوتیپ‌های انصار، ChiCm/An57//Albert، Sahand/C-25041 و Ste/Antares//YEA762 مقاوم به تنش و مناسب برای شرایط دیم و ژنوتیپ‌های آبیدر، Sahand/C-25041، قره‌آرپا، ChiCm/An57//Albert و ماکویی برای شرایط آبیاری تکمیلی توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: آستانه تنش رطوبتی، دمای پوشش سبز، شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

مقدمه

داشتن بتاگلوکان (β -glucan) زیادتیر آن نسبت به سایر غلات افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است (Erkan *et al.*, 2006). این ماده در پایین آوردن کلسترول، کنترل گلوکز و انسولین خون و نیز کاهش خطر سرطان مؤثر است (Mokhtari *et al.*, 2014). مطابق آمار ۳۹ سال موجود (۹۸-۶۰)، سطح زیر کشت جو در ایران حدود ۱/۷۹ میلیون هکتار می‌باشد که ۶۲ درصد از سطح زیر کشت و ۳۵ درصد از تولید جو در کشور به‌صورت دیم می‌باشد. مطابق این آمار، میانگین

قدمت و سازگاری زیاد جو در مقابل شرایط نامساعد محیطی از جمله فقر عناصر غذایی، خشکی و شوری، این گیاه را متناسب برای شرایط سخت و متغیر دیم تبدیل کرده است. اگرچه حدود ۸۵ درصد جو دنیا صرف تغذیه دام می‌شود (Fischbeck, 2002)، اما در سال‌های اخیر، علاقه به استفاده از جو در تغذیه انسان نیز به‌دلیل

۱- استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir) * - نویسنده مسئول:

دامنه تغییر این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد که در آن مقدار صفر نشانگر مواجه نبودن گیاه با تنش آبی و ایده‌آل‌ترین شرایط از لحاظ انجام تعرق و عدد یک گویای حداکثر تنش آبی وارد شده بر گیاه و توقف کامل تعرق می‌باشد (Idso et al., 1981). دولت و همکاران (Dold et al., 2017) گزارش کردند، بین شاخص CWSI و تبخیر-تعرق، محتوی آب خاک به‌صورت روزانه و تولید اقتصادی گیاهان مختلف همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار بین شاخص CWSI و سرعت فتوسنتز خالص گیاه، تعرق گیاه، هدایت روزنه‌ای و همبستگی مثبت و معنی‌دار آن با کمبود فشار بخار^۴ در دو شرایط بدون تنش آبی (آبیاری کامل) و تنش آبی به اثبات رسیده است (Lawlor and Cornic, 2002). فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2014) با استفاده از این روش، حد مبنای بالا (Tc-Ta≤6) را به مفهوم شرایط بدون تعرق برای گندم دیم، ۶ درجه سانتی‌گراد (دمای پوشش سبز ۶ درجه سانتی‌گراد بیش از دمای هوا) تعیین کردند. آنها نشان دادند که بین شاخص CWSI و ویژگی‌های عملکرد دانه، وضعیت رطوبتی برگ (RWC) و میزان بارندگی همبستگی منفی و معنی‌داری (p<0/01)، با تبخیر-تعرق پتانسیل و آب تخلیه شده از خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری همبستگی مثبت و معنی‌دار (p<0/01) وجود داشت. لیانگ (Liang, 2004) معتقد است، روش گیاه مبنای CWSI بدون نیاز به نمونه‌برداری تخریبی از خاک و گیاه و تنها از طریق تعیین Tc در مراحل زایشی گیاه به‌ویژه مرحله پر شدن دانه که گیاه با حداکثر تنش‌های رطوبتی و حرارتی مواجه می‌باشد، به آسانی می‌تواند میزان شدت تنش‌های وارد شده بر گیاه را تعیین و شرایط مناسب برای کشت ژنوتیپ‌های مورد بررسی را پیش‌بینی و همچنین راهکارهای مقابله با آن را مشخص نماید. همچنین مطابق نظر ایشان از این شاخص می‌توان در پیش‌بینی عملکرد محصول جو، برنامه‌های آبیاری و شناسایی برخی بیماری‌ها نیز استفاده نمود. با توجه به مطالب یادشده، ارزیابی مقاومت به تنش رطوبتی ارقام و لاین‌های جو دیم با Tc، تعیین حد مبنای بالا برای شناسایی زمان توقف تعرق و فتوسنتز و میزان کاهش تولید جو دیم، شناسایی زمان شروع تنش آبی گیاه و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب برای شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و همچنین کاربردی نمودن CWSI در مدیریت مزارع جو دیم در مناطق سرد و نیمه سرد از اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با ۱۵ لاین پیشرفته و رقم جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در شرایط دیم و آبیاری

عملکرد دانه این محصول در شرایط دیم ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار با دامنه ۴۲۸ تا ۱۳۱۰ کیلوگرم در هکتار و برای شرایط آبی ۲۶۶۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که در ۱۰ سال اخیر، با معرفی ارقام جدید از سوی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و ترویج یافته‌های کارآمد در بهبود عملکرد این گیاه به ۱۰۹۵ کیلوگرم در هکتار با دامنه ۹۱۹ تا ۱۳۱۰ کیلوگرم در هکتار ارتقاء یافته است. اگرچه میانگین عملکرد دانه گندم دیم در مدت مشابه تاحدودی نزدیک (۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) به عملکرد بلندمدت جو دیم می‌باشد، اما دامنه نوسانات آن (۴۲۴ تا ۱۵۱۳ کیلوگرم در هکتار) بیش از دو برابر دامنه نوسانات جو دیم است (Ahmadi et al., 2019) که این امر نشان می‌دهد، جو دیم از پایداری عملکرد نسبی بیشتری در مقایسه با گندم دیم در ایران برخوردار است.

اگرچه جو نسبت به سایر غلات به تنش خشکی متحمل‌تر است، ولی در دو مرحله ساقه رفتن و تشکیل دانه نسبت به کمبود آب به شدت حساس بوده و تنش رطوبتی در این مراحل منجر به کاهش شدید عملکرد آن می‌شود. تنش رطوبتی در شرایط دیم تنها به دلیل کمبود بارندگی و محدودیت آب رخ نمی‌دهد، بلکه عوامل دیگری مانند تنش گرمایی به‌ویژه پس از مرحله گلدهی، باعث بر هم زدن تعادل جذب و مصرف آب و تشدید پدیده تنش آبی می‌شود (Elbasher et al., 2012). پژوهشگران روش‌های مختلفی را برای مقابله با تنش آبی و گرمای آخر فصل در گیاهان زراعی ارائه می‌دهند. آگرونومیست‌ها علاوه بر شناسایی ارقام مقاوم، با مطالعه تعادل آب در سیستم گیاه- خاک از طریق روش‌های زراعی و فیزیولوژیک و شناسایی مراحل بحرانی وقوع تنش آبی، مناسب‌ترین روش زراعی را برای مقابله با آن معرفی می‌نمایند (Feiziasl et al., 2014). امروزه، استفاده از دمای پوشش سبز^۱ (Tc) با تکنیک رادیومتری (دمای رادیومتری^۲) گیاه مینا (به صورت زمینی یا سنجش از راه دور)، یکی از موثرترین روش‌های غیرتخریبی در تعیین وضعیت آبی گیاه شناخته شده است (Fitzgerald et al., 2006)، زیرا Tc با میزان تعرق از روزه‌ها رابطه خطی دارد و با بسته شدن روزه‌ها افزایش می‌یابد (Pipatsitee et al., 2018). با استفاده از این تکنیک، پارامتر کاربردی شاخص تنش آبی گیاه^۳ (CWSI) محاسبه می‌شود که اولین بار به‌طور همزمان توسط ایدسو و همکاران (Idso et al., 1981) و جکسون و همکاران (Jackson et al., 1981) معرفی شد. شاخص CWSI بر اساس تعادل انرژی به‌دست می‌آید که از یک سری شرایط آب و هوایی، دامنه‌ای از تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا بین دو حد پائین (بدون تنش رطوبتی یا تعرق کامل) و حد بالا (تنش کامل رطوبتی یا بدون تعرق) محصور می‌شود (Colaizzi et al., 2012).

3- Crop Water Stress Index (CWSI)

4- Vapor pressure deficit (VPD)

1- Canopy temperature (CT)

2- Radiometric temperature

$$CWSI = \frac{dT_m - dt_l}{dT_u - dt_l} \quad (1)$$

در این رابطه:

dT_m : تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) بر حسب سانتی‌گراد

dT_u : حد بالای تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا (حد مبنای بالا) بر حسب سانتی‌گراد و

dt_l : حد پائین تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا (حد مبنای پائین) بر حسب سانتی‌گراد می‌باشد.

به منظور تعیین حد مبنای بالا، تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) در ساعت ۱۳ الی ۱۴ به مدت ۸ روز در خشک‌ترین تیمار (از طریق مشاهده علائم ظاهری در تیمارهای دیم مانند لوله‌ای شدن برگ‌ها) برای هر ژنوتیپ اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان حد مبنای بالا ($dT_m = (T_c - T_a)_m$) برای جو معرفی شد (Ayeneh et al., 2002).

برای تعیین حد مبنای پائین که خود یک رگرسیون خطی است، از داده‌های فاز آبیاری تکمیلی استفاده شد که از لحاظ رطوبتی نزدیک به شرایط ایده‌آل برای ارقام دیم محسوب می‌شوند. برای تعیین حد مبنای پائین به مدت ۶ روز، تفاوت دمای پوشش سبز با هوای مجاور ($T_c - T_a$) در تیمار بدون تنش رطوبتی در ساعت ۱۳ الی ۱۴ اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از فشار بخار اشباع و رطوبت نسبی هوا میزان کمبود فشار بخار هوا از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (Tilling et al., 2007):

$$dT_l = (T_c - T_a)_l = a - b(VPD)_m \quad (2)$$

در این رابطه:

$(T_c - T_a)_l$: تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط مطلوب بر حسب سانتی‌گراد (حد مبنای پائین)

$(VPD)_m$: کمبود فشار بخار هوا بر حسب میلی‌بار

a و b: ضرایب رگرسیون می‌باشد.

پس از محاسبه شاخص‌های CWSI برای ۱۵ ژنوتیپ مورد بررسی در دو شرایط تنش آبی (دیم) و بدون تنش آبی (آبیاری تکمیلی)، مقادیر آستانه دمای بحرانی (T_c)، تبخیر-تعرق پتانسیل (ET_0)، کمبود فشار بخار نسبی هوا (VDP) برای تمامی ژنوتیپ‌ها از طریق این شاخص محاسبه و وضعیت مقاومت به تنش رطوبتی و گرمایی آخر فصل ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

تکمیلی به میزان ۵۰ میلی‌متر در زمان کاشت بعلاوه ۳۰ میلی‌متر در مرحله آبستنی (Tavakoli, 2013) در سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۷-۱۳۹۶ (آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ با مجموع بارندگی سالیانه ۲۶۳/۹ میلی‌متر به‌عنوان خشکسالی متوقف شد) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) به اجرا درآمد که آمار هواشناسی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش در سیستم تناوبی لگوم (ماشک)- جو اجرا شد. آماده‌سازی بستر بذر با روش‌های معمول خاک‌ورزی به‌صورت گاو آهن قلمی به علاوه دیسک در پائیز و کاشت با بذرکار آزمایشی وینترشتایگر انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۸ متر و به فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۰۰ دانه در مترمربع و با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها محاسبه و اعمال شد (Roostaei et al., 2021). کشت در دهه اول مهر ماه پس از ضدعفونی بذر علیه بیماری‌های قارچی به کمک سموم سیستمیک انجام گرفت. در فاز آبیاری بلافاصله بعد از کاشت اقدام به ۵۰ میلی‌متر آبیاری و در مرحله آبستی گیاه ۳۰ میلی‌متر دیگر به روش بارانی شد. قبل از انجام کاشت نمونه خاکی به روش مرکب از محل اجرای آزمایش تهیه و نتایج تجزیه‌ها نشان داد (جدول ۲)، عناصر قابل جذب فسفر (۹ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پتاسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، آهن (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، منگنز (۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، روی (۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و مس (۱/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک بیش از حد بحرانی توصیه شده برای غلات دیم بود (Feiziasl et al., 2009)، لذا فقط اقدام به مصرف کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار که ۶۰ کیلوگرم در هکتار آن همزمان با کاشت به صورت جایگذاری و ۴۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک در اولین فرصت در بهار همزمان با بارندگی‌های موثر بهاری (۱۰ الی ۱۵ میلی‌متر بارندگی در دو روز متوالی) مصرف شد (Feiziasl, 2017).

T_c در زمان حداکثر تنش دمایی و آبی (ساعت ۱۳ الی ۱۴) در مراحل ظهور برگ پرچم (ZGS39) تا اوایل مرحله خمیری شدن دانه (ZGS73) به مدت ۸ روز با استفاده از دماسنج فرسوخ (مدل A-1 ساخت انگلستان) در روزهای بدون وزش باد در تمامی ژنوتیپ‌ها قرائت شد. در هر کرت ۲ قرائت به‌صورت اسکن از کل کرت (با حذف نیم متر از طرفین کرت‌ها) با زاویه میل دستگاه حدود ۴۵ درجه و فاصله تقریبی ۰/۵ متر انجام گرفت (Acevedo et al., 2002). با استفاده از رابطه (۱) شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) بر مبنای سه پارامتر محیطی دمای هوا (T_a)، دمای پوشش سبز (T_c) گیاه و کمبود فشار بخار هوا (VDP) محاسبه شد (Roy and Ophori, 2014).

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال‌های اجرای آزمایش و میانگین بلند مدت (۲۰ ساله)

Table 1- Meteorological data for dryland agriculture research station in 2015 – 2018 cropping season and long term (20 years), Maragheh

سال Year	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین دمای کمینه Mean Min. Temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر Mean Max. Temperature (°C)	میانگین دما Mean Temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر Days of below zero °C	رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	تبخیر Evaporation (mm)
2015-2016	437	2.9	11.9	7.4	116	59.7	1005
2016-2017	264	1.0	11.2	15.2	126	41.9	1216
2017-2018	423	3.6	13.3	8.4	102	85.0	1050
Long term	361	4.2	14.5	5.3	124	53.4	716

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰ الی ۲۵ سانتی‌متری
Table 2- Soil physical and chemical properties of experiment location (0-25 cm depth)

سال Year	pH	هدایت	درصد	کربنات کلسیم		کربن آلی	نیترژن	فسفر قابل	پتاسیم قابل جذب
		الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اشباع SP (%)	معادل CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	کل Total N	جذب P (av.)	K (av.)	
2015-2016	8.0	0.80	57.2	3.2	0.70	0.13	15.6	532	
2017-2018	7.8	0.71	52.0	7.4	0.72	0.14	10.1	661	
سال Year	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil Texture	
2015-2016	5.0	11.8	1.0	1.7	45	41	14	Loam	
2017-2018	5.4	13.2	0.9	1.8	40	43	17	Loam	

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج عملکرد دانه زوتیپ‌ها نشان داد، بیشترین این صفت در شرایط دیم با ۳۱۶۹ کیلوگرم در هکتار به رقم آبی‌در و کمترین آن با ۱۴۴۶ کیلوگرم در هکتار به رقم والفجر اختصاص یافت. میانگین عملکرد دانه در شرایط دیم ۲۶۱۱ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین عملکرد دانه با ۴۰۰۱ کیلوگرم در هکتار به رقم آبی‌در و کمترین آن با ۲۶۲۹ کیلوگرم در هکتار به رقم سرارود اختصاص یافت و میانگین این صفت برای شرایط آبیاری تکمیلی ۳۴۲۱ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شرایط دیم ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. بنابراین متوسط کارایی استفاده از آبیاری تکمیلی در این پژوهش ۱۰/۱۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر می‌باشد که حداقل آن با ۵/۸ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر به رقم سهند و حداکثر آن با ۲۱/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر مربوط به رقم والفجر بود. اختلاف عملکرد بین ارقام در شرایط دیم (۱۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱/۳ برابر بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی (۱۳۷۲ کیلوگرم در هکتار) بود و این نشان دهنده نزدیکی بیشتر عملکرد دانه زوتیپ‌ها با انجام آبیاری تکمیلی است (شکل ۱).

به‌منظور سهولت تفسیر نتایج، مقادیر شاخص CWSI و سایر پارامترها با استفاده از روش گومز (Gomes, 1985) به کلاس‌های مختلفی مانند حساس (S)، نیمه حساس (MS)، نیمه مقاوم (MT) و مقاوم (T) گروه‌بندی و در توصیه نهایی استفاده شد:

$X_i \leq \bar{X} - SD$	Low	Susceptible (S)
$\bar{X} - SD < X_i \leq \bar{X} + SD$	Medium	Moderately susceptible (MS)
$\bar{X} + SD < X_i \leq \bar{X} + 2SD$	High	Moderately Tolerant (MT)
$X_i > \bar{X} + 2SD$	Very high	Tolerant (T)

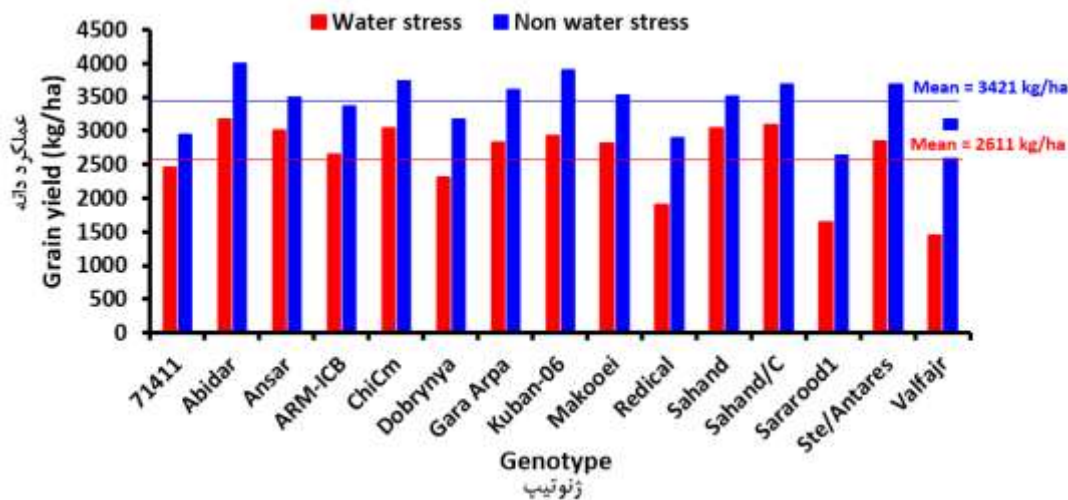
در این رابطه:

X_i : مقدار ویژگی مورد نظر مانند CWSI، T_c ، ET_0 و VPD

\bar{X} : میانگین ویژگی مورد نظر و

SD: انحراف معیار ویژگی مورد نظر می‌باشد.

پس از انجام محاسبات لازم، از طریق رابطه بین (Tc-Ta) با شاخص CWSI، آستانه تنش آبی برای جو دیم تعیین شد. همچنین با استفاده از تغییرات شاخص CWSI و ارتباط آن با تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) و بارندگی، زمان دقیق وقوع اولین تنش آبی و شدت آن در طول دوره رشد گیاه جو مشخص گردید. معادلات با استفاده از نرم افزار Curveexpert 2.6.3 تعیین و نمودارها در Excel ترسیم شدند.



شکل ۱- عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Figure 1- Grain yield of barley genotypes in dryland and supplemental irrigation conditions.

نتایج سایرین می‌باشد. معمولاً شیب منحنی با مراحل فنولوژیک گیاه تغییر می‌کند، به نحوی که در مراحل رویشی گیاه شیب منحنی منفی‌تر و عرض از مبدا آن مثبت‌تر از مراحل زایشی است (Idso, 1982). افزون بر آن، شرایط اقلیمی، نوع خاک و وارسته گیاهی از عوامل دیگری هستند که بر روی این ضرایب تأثیرگذارند (Bucks et al., 1985). بنابراین، منفی بودن شیب رگرسیون (-۲/۴۷) و مثبت بودن عرض از مبدا (+۹/۱۵) حد مبنای پائین در پژوهش حاضر به دلیل پائین بودن میزان تعرق پتانسیل برای ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط دیم در مقایسه با ارقام آبی و انجام آبیاری تکمیلی به جای آبیاری کامل در تعیین حد مبنای پائین مورد انتظار بود (Lawlor and Cornic, 2002, Tavakoli, 2012).

دامنه کمبود فشار بخار هوا (VPD) در خط مبنای پائین ۱/۸۴ الی ۴/۱۶ کیلوپاسکال و اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (Tc-Ta) برای این دامنه به ترتیب ۴/۶۱ الی -۱/۳۳- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۲). پس از محاسبه CWSI برای این دامنه (شکل ۳الف)، معادل این دامنه برای Tc به ترتیب ۲۲/۷ الی ۳۰/۶- درجه سانتی‌گراد به دست آمد (شکل ۳ب). در پژوهش توبیله و همکاران (Tubaileh et al., 1986) دامنه VPD برای جو در مرحله قبل از سنبله‌دهی ۱/۲ الی ۳/۸ کیلوپاسکال و بعد از مرحله سنبله‌دهی ۱/۹ الی ۴/۱ کیلوپاسکال تعیین شد، با توجه به اینکه تعیین دمای پوشش سبز در پژوهش حاضر بیشتر در مرحله سنبله‌دهی و پر شدن دانه انجام گرفت، در نتیجه، نتایج دامنه کمبود فشار بخار هوا (VPD) چه از لحاظ مقدار دامنه و چه از لحاظ حدود نهایی با نتایج توبیله و همکاران (Tubaileh et al., 1986) برای مرحله بعد از سنبله‌دهی مطابقت دارد.

تعیین آستانه تنش رطوبتی با شاخص CWSI

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) ابتدا حد مبنای پائین از طریق رابطه رگرسیونی بین کمبود فشار بخار هوا (VPD) با اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (Tc-Ta) در شرایط آبیاری تکمیلی (بدون تنش) تعیین گردید. این رابطه از نوع خطی کاهشی است که در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار می‌باشد و تغییرات کمبود فشار بخار هوا (VPD) توانست ۹۷ درصد از تغییرات اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (Tc-Ta) را توجیه نماید (شکل ۲):

$$T_c - T_a = -2.4662 \times VPD + 9.1529$$

$$R^2 = R = 0.97^{**}$$

$$SE = 0.2950$$
(۴)

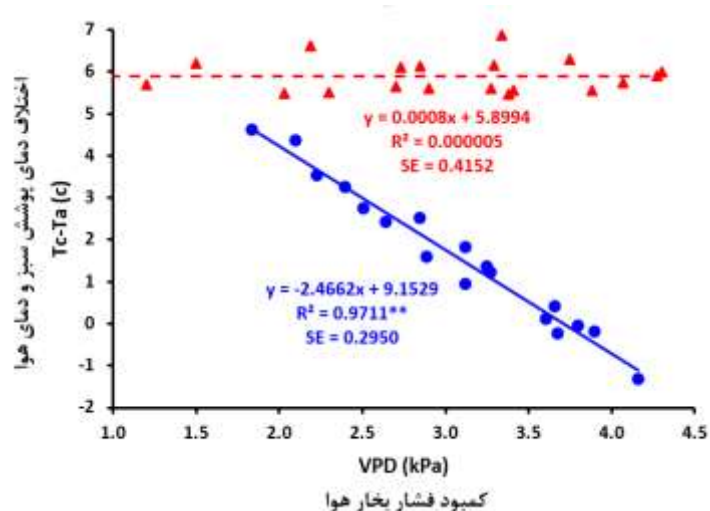
در این رابطه:

VPD: کمبود فشار بخار هوا (کیلوپاسکال) و

Tc-Ta: اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)

می‌باشد.

مطابق این رابطه، شیب منحنی -۲/۴۷- و عرض از مبدا آن +۹/۱۵ می‌باشد که هر کدام از این اعداد دارای مفهوم خاصی از لحاظ تنش رطوبتی و شرایط محیطی می‌باشند (شکل ۲). سایرین شیب این منحنی را برای جو در مرحله قبل از سنبله‌دهی ۱/۷- تا ۲/۲۵- و بعد از سنبله‌دهی ۰/۹۷- تا ۱/۲۳- گزارش کرده‌اند (Idso, 1982; Tubaileh et al., 1986). معمولاً در مناطق گرم و خشک شیب منحنی منفی‌تر و در مناطق سرد و مرطوب میل به سمت صفر می‌کند (Feiziasl et al., 2014). مقایسه شیب منحنی با نتایج سایرین نشان می‌دهد که مقدار آن در مرحله بعد از ظهور سنبله، منفی‌تر از



شکل ۲- خطوط مبنای بالا و پائین برای تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در ژنوتیپ‌های جو دیم
Figure 2- Lower and upper base-lines to determine CWSI for dryland barley genotypes.

بررسی و به ویژه شرایط محیطی مانند سال و تیمارهای اعمال شده دیم و آبیاری تکمیلی بر روی ژنوتیپ‌های جو بوجود آمده است (Mamnouie et al., 2006). مطابق این نتایج، اگرچه دمای بحرانی برای تحت تنش قرار دادن ژنوتیپ‌های جو دیم به طور متوسط از ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد (Tc) شروع و با افزایش آن شدت این تنش نیز افزایش می‌یابد اما در متوسط دمای پوشش سبز ۳۲/۷ درجه سانتی‌گراد (معادل با ۵.۸ °C (Tc-Ta) دیگر ژنوتیپ‌های جو قادر به تحمل این دما برای ادامه فتوسنتز نیستند (جدول ۳). در نتیجه، تعرق در این دما کاملاً متوقف و به دنبال آن فتوسنتز نیز به صفر می‌رسد. همانطوریکه بیان شد، این اعداد بر روی نمودارها دارای دامنه می‌باشند. این دامنه برای دمای بحرانی پوشش سبز (Tc) یا آستانه شروع تنش رطوبتی بر روی ژنوتیپ‌های جو، ۲۲/۷ الی ۳۰/۹ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد) معادل با ۶/۲ الی ۷/۷ میلی‌متر بر روز تبخیر-تعرق پتانسیل است (جدول ۳). مطابق این نتایج، با افزایش هر ۱/۴ درجه سانتی‌گراد به دمای پوشش سبز، شاخص CWSI به میزان ۰/۰۴۸ و Tc-Ta یک درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (شکل ۳ الف و ب). ویلیامز (Williams, 1974) آستانه دمای بحرانی جو را ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد برای مرحله سنبله‌دهی تا خمیری نرم تعیین کرد که این نتایج با نتیجه به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به اثرات منفی افزایش دمای محیط در مرحله سنبله‌دهی و گلدهی، پژوهشگران دمای بهینه‌ای برای این دوره حساس گیاه معرفی کرده‌اند. کائو و موس (Cao and Moss, 1989) دمای بهینه محیط را برای حداکثر سرعت رشد و ظهور برگ در ژنوتیپ‌های مختلف جو ۲۰/۱ الی ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد در اطاقک‌های رشد تعیین کردند. گل و همکاران (Gol et al., 2017)

گسترده‌گی نسبی دامنه VPD در خط مبنای پائین نشان می‌دهد (شکل ۲) که می‌توان از خط مبنای پائین در مکان‌های دیگری برای ارزیابی تنش رطوبتی و حرارتی ژنوتیپ‌های جو دیم استفاده نمود (Gardner and Shock, 1989).

حد مبنای بالا برای جو دیم ۵/۹ درجه سانتی‌گراد (Tc-Ta=5.9 °C) تعیین شد (شکل ۲) که نشانگر وضعیت اشباع هوا از بخار آب، توقف کامل تعرق در گیاه و در نتیجه بیشترین تنش وارد شده بر گیاه می‌باشد. در این حد، مقدار شاخص تنش رطوبتی وارد شده بر گیاه بیشترین مقدار و برابر با ۱/۰۴ برآورد (CWSI=1.04) شد (شکل ۳ الف). توبیله و همکاران (Tubaileh et al., 1986) حد مبنای بالا را برای جو در مرحله قبل و بعد از سنبله‌دهی به ترتیب ۵/۵ و ۶/۳ درجه سانتی‌گراد و ریزا و همکاران (Rizza et al., 2004) آن را ۶/۱ درجه سانتی‌گراد محاسبه نمودند که این نتایج بسیار نزدیک به نتیجه حاصل از پژوهش حاضر می‌باشند.

با توجه به اینکه در محاسبه ویژگی‌های مهم و کاربردی حاصل از خط مبنای پائین و بالا (به ویژه پائین) مانند تعیین آستانه بحرانی تنش رطوبتی گیاه (CWSI)، دمای پوشش سبز (Tc)، تبخیر-تعرق پتانسیل (ET₀) و کمبود فشار بخار هوا (VPD) از کل بانک اطلاعاتی جمع‌آوری شده مربوط به ۱۵ ژنوتیپ جو در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی استفاده شد، به همین دلیل، در اغلب موارد این نمودارها در محل تلاقی مورد نظر متغیر مستقل (Tc، Tc-Ta، ET₀ و VPD) و متغیر وابسته (CWSI) بر روی معادله، دارای دامنه هستند. بر این اساس، در محاسبه این پارامترها علاوه بر محاسبه از طریق معادله مربوطه، از طریق شکل (۳ الف، ب، ج و د) دامنه داده‌ها نیز برآورد و در جدول (۳) ارائه شد. دامنه‌ها بیشتر به دلیل تنوع در ژنوتیپ‌های مورد

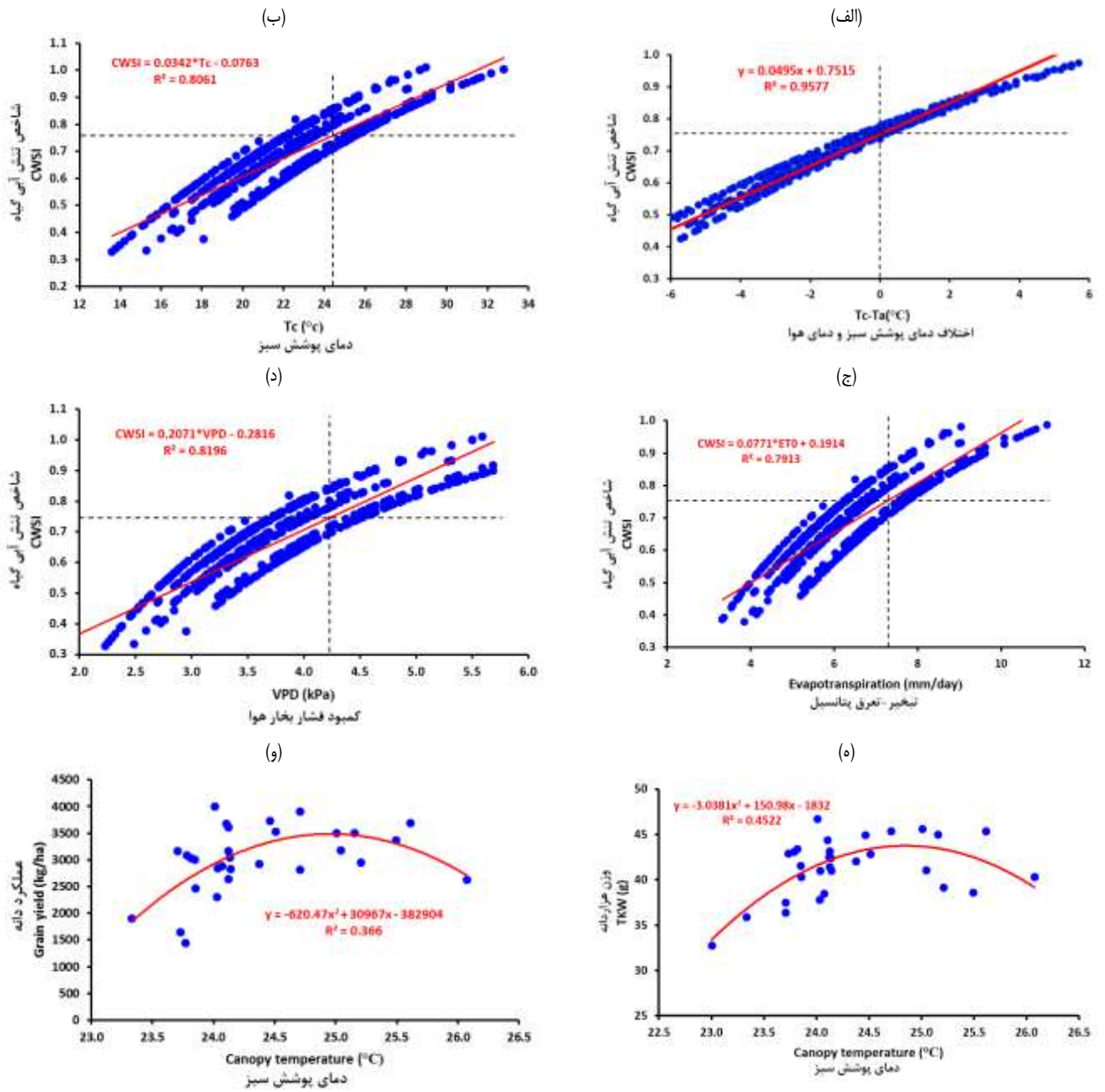
خروجی از چرخه فتوسنتز مانع انتقال الکترون در این چرخه می‌شوند. در تنش گرمایی بالا، تغییر ساختمان کلروپلاست‌ها گزارش شده است. در درجه حرارت بالای متوسط، نفوذپذیری غشای تیلاکوئیدها با مشکل مواجه شده و در اثر آن شیب پروتون، چرخه فتوفسفریلاسیون و در نهایت کمپلکس سیتوکروم b6f (از اجزای جذب نور) تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در حالی که هاگالا و همکاران (Hakala et al., 2012) دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از آن را تنش گرمایی خیلی شدید برای جو در مرحله سنبله‌دهی در شرایط کشور فنلاند معرفی کردند. پژوهشگران دیگری نیز دمای بحرانی برای توقف فتوسنتز و بسته شدن کامل روزه‌ها را برای گندم و جو ۳۰ الی ۳۲ درجه سانتی‌گراد گزارش کرده‌اند (Trnka et al., 2014; Pradhan and Prasad, 2015; Hlaváčová et al., 2017) که تا حدودی با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. خلاصه ویژگی‌های کاربردی مربوط به خط مبنای بالا و پائین برای جو دیم در شرایط آزمایش به اختصار در جدول ۳ ذکر شده است.

ارزیابی وضعیت تنش رطوبتی و گرمایی در ژنوتیپ‌های جو دیم

یکی از بحث‌های مهم که در تنش‌های گرمایی و رطوبتی مطرح می‌باشد، پیش‌بینی دقیق زمان و مرحله وقوع این تنش‌ها است که با اطلاع از آن می‌توان از طریق مدیریت کاشت (تاریخ کاشت)، انتخاب ارقام مناسب (زودرس) و مدیریت‌های زراعی مانند مصرف بهینه کودهای نیتروژنی و یا در صورت امکان انجام آبیاری تکمیلی (برای هسته‌های بذری) تنش‌های به وجود آمده را بدون وارد شدن صدمات جدی به تولید محصول مدیریت نمود (Feiziasl et al., 2014). شروع روز بحرانی یا تاریخ آستانه تنش آبی بر اساس دامنه پائین به دست آمده برای شاخص CWSI که در آن میزان شاخص CWSI از ۰/۷ عبور می‌کند، ۲۶۱ روز پس از ابتدای مهر ماه (حدود ۲۰ خرداد ماه) و در مرحله شروع گلدهی (ZGS60) بود که در یک هفته منتهی به آن میزان تبخیر-تعرق پتانسیل به ۹/۶ میلی‌متر بر روز رسید (شکل ۴). فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2014) این تاریخ را برای گندم دیم در این منطقه هفته آخر اردیبهشت ماه (۲۶ اردیبهشت) و یک هفته قبل از ظهور سنبله تعیین کردند. از سوی دیگر، مراحل رشدی جو دیم در این منطقه، حدود ۲۰ روز زودتر از گندم دیم می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد، فاصله ۲۵ روزه بین شروع روز بحرانی گندم و جو دیم نشان می‌دهد که جو دیم نسبت به گندم دیم از مقاومت بیشتری به تنش رطوبتی و گرمای آخر فصل برخوردار است.

دمای مطلوب بین ۱۷ الی ۲۳ درجه سانتی‌گراد را برای گیاه جو گزارش کردند که دمای بیش از این محدوده می‌تواند تنش‌های گرمایی و رطوبتی را برای گیاه به ویژه در شرایط دیم در پی داشته باشد. پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که افزایش دمای پوشش سبز به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله سنبله‌دهی باعث کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه و عملکرد دانه در جو می‌شود (Dias et al., 2009; Daničić et al., 2019). در پژوهش حاضر نیز افزایش دمای پوشش سبز به بیش از ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش وزن هزاردانه (شکل ۵) و به دنبال آن کاهش عملکرد دانه جو (شکل ۳) شد که این احتمالاً بیشتر به دلیل کاهش تعداد گل‌های بارور و افزایش عقیمی آنها و همچنین کاهش رشد ریشه و جذب آب در مرحله سنبله‌دهی می‌باشد (Umesh and Ferris, 1994; Hakala et al., 2012).

همانطوری که مطرح شد، حداکثر دمای قابل تحمل برای گیاه جو در پژوهش حاضر زمانی است که دمای پوشش سبز ۵/۹ درجه سانتی‌گراد بیش از دمای محیط ($T_c - T_a > 5.8 \text{ }^\circ\text{C}$) و یا دمای پوشش سبز بیش از ۳۲/۷ درجه سانتی‌گراد ($T_c > 32.7 \text{ }^\circ\text{C}$) باشد که این مقدار را حد مبنای بالا برای جو دیم در مناطق سرد و نیمه سرد در مرحله سنبله‌دهی و پرشدن دانه ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف جو می‌توان معرفی نمود (شکل ۲). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های دمایی متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Hlaváčová et al., 2017) در نتیجه، این حد نیز بر روی نمودار مربوطه دارای دامنه‌ای است که کمترین آن ۵/۵ درجه سانتی‌گراد ($T_c - T_a = 5.5 \text{ }^\circ\text{C}$) و بیشترین آن ۶/۹ درجه سانتی‌گراد ($T_c - T_a = 6.9 \text{ }^\circ\text{C}$) می‌باشد (شکل ۲). با تبدیل این دامنه به T_c ، حد مبنای بالا برای جو دیم دارای دامنه دمای پوشش سبز ۳۲/۱ الی ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (شکل ۳ الف و ب). این نشان می‌دهد، چنانچه اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) در ژنوتیپ‌های مختلف جو دیم به ۵/۵ الی ۶/۹ درجه سانتی‌گراد و یا دمای پوشش سبز به ۳۲/۱ الی ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد (معادل با ۹/۰ الی ۱۱/۱ میلی‌متر تبخیر-تعرق پتانسیل) برسد (شکل ۳ ج)، علاوه بر تنش گرمایی، جذب آب نیز به شدت با مشکل مواجه شده و در نتیجه تنش رطوبتی نیز در شرایط دیم گریبانگیر گیاه خواهد شد. در چنین شرایطی گیاه به منظور حفظ آب، منافذ خود را کاملاً بسته و مبادله اکسیژن و دی‌اکسید کربن و در نهایت فتوسنتز متوقف می‌شود (Klink et al., 2011). مطابق نظر دایاس و همکاران (Dias et al., 2009) تنش گرمایی متوسط (۳۵ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند فتوسنتز را بدون آسیب رساندن به چرخه فتوسنتز II متوقف نماید. با این حال، وقتی دمای هوا تا حد ۴۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، کمپلکس‌های اکسیژن



شکل ۳- رابطه بین اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (الف)، دمای پوشش سبز (ب)، تبخیر-تعرق پتانسیل (ج) و کمبود فشار بخار هوا (د) با شاخص CWSI و رابطه بین دمای پوشش سبز با وزن هزاردانه (ه) و عملکرد دانه (و) جو دیم

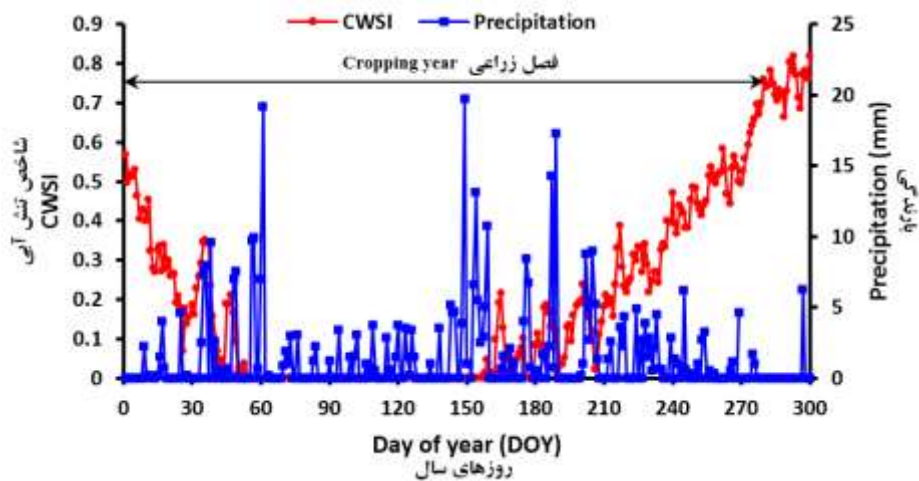
Figure 3- Relations between canopy-air temperature difference (a), canopy temperature (b), potential evapotranspiration (c) and vapor pressure deficit (d) with CWSI and relations between canopy temperature and 1000-kernel weight (e) and grain yield (and) of dryland barley genotypes

جدول ۳- ویژگی‌های عمومی خط مبنای بالا و پائین برای جو دیم
Table 3- General properties of lower and upper base-lines for dryland barley

خط مبنا Base line	Traits	ویژگی	حد پائین Lower limit	حد بالا Upper limit	دامنه Range
پائین Lower	Vapor pressure deficit (Kpa)	کمبود فشار بخار هوا	1.84	4.16	2.30
	Canopy - air temperature difference (°C)	اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا	4.61	-1.23	4.61
	Crop Water Stress Index (CWSI)	شاخص تنش آبی گیاه	0.980	0.699	0.281
	Canopy temperature (°C)	دمای پوشش سبز	30.9	22.7	8.2
	Potential evapotranspiration (mm/day)	تبخیر-تعرق پتانسیل	6.2	7.7	1.5
	Threshold canopy temperature (°C)	آستانه دمای بحرانی		24.2	
	Days of CWSI threshold	تاریخ شروع آستانه تنش آبی	248 days from sowing date		
بالا Upper	Vapor pressure deficit (kPa)	کمبود فشار بخار هوا	6.29	6.63	0.34
	Canopy - air temperature difference (°C)	اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا	5.48	6.87	1.39
	Crop Water Stress Index (CWSI)	شاخص تنش آبی گیاه	1.02	1.09	0.07
	Canopy temperature (°C)	دمای پوشش سبز	21.1	34.2	2.1
	Potential evapotranspiration (mm/day)	تبخیر-تعرق پتانسیل	9.0	11.1	2.1
	Maximum temperature stress applied (°C)*	حداکثر تنش وارد شده بر گیاه		32.4	

*: این مقدار نشان دهنده متوسط آستانه توقف کامل تعرق در جو دیم می‌باشد.

* : This value indicates the average complete threshold of transpiration in dryland barley



شکل ۴- تغییرات روزانه بارندگی و شاخص CWSI در طول دوره رشد جو

Figure 4- Variation of daily precipitation and CWSI during cropping seasons for dryland barley genotypes

سرارود ۱ اختصاص یافت (جدول ۴). آزمون t بین دو شرایط تنش رطوبتی برای آستانه CWSI نشان داد ($t = 2.56^*$) این دو شرایط تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.05$) با یکدیگر دارند و این آستانه در شرایط آبیاری تکمیلی به طور میانگین به میزان ۰/۰۱ بیشتر از شرایط دیم است (جدول ۵). ضریب تغییرات آستانه شاخص CWSI در شرایط دیم ۰/۳۸ درصد و شرایط آبیاری تکمیلی ۲/۰۳ درصد است که این نشان می‌دهد، اگرچه در داخل هر دو گروه تغییرات در بین ژنوتیپ‌ها ناچیز می‌باشد اما تغییرات در شرایط آبیاری تکمیلی ۵ برابر بیشتر از دیم است. به بیان دیگر، در ظاهر تغییرات چندانی بین

برای ارزیابی وضعیت تنش رطوبتی و گرمایی ژنوتیپ‌های جو در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم از آستانه تنش پارامترهای CWSI، ET_0 و VPD استفاده شد (جدول ۴). تغییرات اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) به طور متوسط ۹۹ درصد از تغییرات شاخص CWSI را در هر دو شرایط رطوبتی توجیه نمود. در شرایط دیم بیشترین ضریب تبیین به میزان ۹۸ درصد به دو رقم آبی‌در و سرارود ۱ و کمترین آن به میزان ۹۵ درصد به رقم ماکویی و ژنوتیپ ARM-ICB اختصاص یافت. در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۸ به رقم آبی‌در و کمترین آن با ۰/۹۴ به رقم

زیادی به شرایط تنش رطوبتی و گرمای آخر فصل دارند. ثانیاً این شاخص در بین ژنوتیپ‌ها و هر دو شرایط دامنه بسیار پائینی دارد و در شرایط آبیاری تکمیلی این شاخص مقداری پائین‌تر از شرایط دیم است. شاید علت آن عدم تنوع ژنتیکی بین ۱۵ ژنوتیپ انتخاب شده و یا پوشش گیاهی غیرمتراکم آنها در شرایط مزرعه‌ای باشد، زیرا مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مرحله زایشی در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی توانایی پوشش کامل سطح خاک را نداشتند. معمولاً کاربرد شاخص CWSI در اندازه‌گیری دمای سطحی توسط ماهواره یا سنجنده‌های هوایی به شرایط سطح پوشیده از گیاه محدود می‌شود و در این حالت، دمای اندازه‌گیری شده سطحی برابر با دمای کانوپی خواهد بود. این محدودیت از کارایی این شاخص برای شرایط پوشش گیاهی غیرمتراکم در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی می‌کاهد (Fashae et al., 2015). به منظور رفع این معضل، موران و همکاران (Moran et al., 1994) ایده شاخص پوشش سبز/دمای گیاه^۱ (VIT) را برای توصیف رابطه بین تفاوت دمای سطح و دمای هوا (Ts - Ta) در مقابل پوشش گیاهی^۲ (VC) جهت معرفی شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص کمبود آب^۳ (WDI) ارائه دادند. این شاخص توانایی ارزیابی تبخیر-تعرق را در هر دو زمین با پوشش متراکم و غیرمتراکم دارد. فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2022) با استفاده از شاخص WDI آستانه دمای بحرانی پوشش گیاهی (۲۴/۳) درجه سانتی‌گراد، حد مبنای بالا (۳۴/۶) درجه سانتی‌گراد) و زمان شروع آستانه دمای بحرانی (۲۵۴) روز پس از کاشت) را برای جو دیم محاسبه و ارقام مناسب را برای هر دو شرایط با دقت بیشتری معرفی نمودند. نتایج آنها نشان داد، این ویژگی‌ها به ترتیب ۰/۱ سانتی‌گراد، ۱/۹ درجه سانتی‌گراد و ۹ روز بیشتر و ارقام مناسب برای هر دو شرایط متفاوت از شاخص CWSI بود.

نتیجه‌گیری

مطابق نتایج این پژوهش زمانی که دمای پوشش گیاهی ۵/۹ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای هوا (Tc-Ta=5.9 °C) باشد، اشباع هوا از بخار آب، توقف کامل تعرق گیاه و فتوسنتز و در نتیجه بیشترین تنش وارد شده بر گیاه جو اتفاق می‌افتد که به عنوان حد مبنای بالا برای جو دیم در مناطق سرد و نیمه سرد محسوب می‌شود که این حد معادل با ۳۲/۷ درجه سانتی‌گراد Tc می‌باشد. در این حد ژنوتیپ‌های جو قادر به تحمل تنش گرمایی و به دنبال آن تنش رطوبتی نیستند و به منظور حفظ آب خود، منافذ خود را کاملاً بسته و تعرق و مبادله اکسیژن و دی‌اکسید کربن متوقف و در نهایت فتوسنتز به صفر تنزل می‌یابد.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ آستانه تنش رطوبتی (CWSI) مشاهده نمی‌شود، شاید دلیل این امر انتخاب ژنوتیپ‌ها از آزمایش‌های پیشرفته و تشابه ژنتیکی آنها در مقاومت به تنش رطوبتی و سازگاری با شرایط سخت است اما تفاوت این دو گروه از لحاظ آماری معنی‌دار است. با این حال، در شرایط دیم بیشترین آستانه تنش رطوبتی به میزان ۰/۷۵۷ مشترکاً به رقم ماکویی و Kuban-06 (هر دو در کلاس مقاوم) و کمترین آن به میزان ۰/۷۴۸ به رقم انصار و ژنوتیپ Sahand/C-25041 (هر دو در کلاس حساس) اختصاص یافت. انحراف معیار (SD=0.003) آستانه تنش رطوبتی در شرایط دیم نشان می‌دهد که به نظر بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این شرایط تفاوت چندانی وجود ندارد اما از لحاظ مقاومت به تنش گرمایی و رطوبتی آخر فصل، ژنوتیپ‌ها در کلاس‌های مختلفی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین آستانه CWSI به ترتیب به ژنوتیپ ARM-ICB (۰/۷۸۸)، سهند (۰/۷۸۱) و انصار (۰/۷۷۸) (هر سه در کلاس مقاوم) و کمترین آن به ترتیب به رقم والفجر (۰/۷۴۱)، آیدر (۰/۷۴۳)، قره‌آرپا (۰/۷۴۳) و Sahand/C-25041 (۰/۷۴۳) (همه در کلاس حساس) اختصاص یافت. انحراف معیار (SD=0.015) آستانه تنش رطوبتی در شرایط آبیاری تکمیلی نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این شرایط تفاوت جزئی وجود دارد اما این تفاوت جزئی آنها را در کلاس‌های مختلف قرار داد (جدول ۵). به بیان دیگر، اولاً آستانه تنش رطوبتی برای ژنوتیپ‌های مختلف جو دیم ۰/۷۵ الی ۰/۷۶ می‌باشد که می‌توان عبور از مقدار ۰/۷۵ را مبنای شروع تنش رطوبتی و گرمایی برای جو در نظر گرفت. ثانیاً از لحاظ مقاومت به تنش رطوبتی و گرمای آخر فصل، اگرچه بین دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم اختلاف از طریق آزمون t معنی‌دار ($P \leq 0.05$) می‌باشد اما از لحاظ اعداد شاخص CWSI تفاوت زیادی (حداقل ۰/۰۰۲ و حداکثر ۰/۰۴ و به‌طور میانگین ۰/۰۱) بین این دو شرایط و همچنین بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده نمی‌شود. ثالثاً آستانه تنش رطوبتی برای جو در پژوهش حاضر (۰/۷۵ الی ۰/۷۶) عدد نسبتاً بالایی به نظر می‌رسد (جدول ۵). توبیله و همکاران (Tubaileh et al., 1986) دامنه این شاخص را در دو شرایط رطوبت متوسط خاک ۰/۲۴ الی ۰/۷۸ و در رطوبت کم ۰/۵۷ الی ۱/۰ در یک خاک لوم رسی تعیین کردند. آنها حد آستانه این شاخص را برای جو ۰/۴۶ گزارش کردند. تحقیقات ریزا و همکاران (Rizza et al., 2004) بر روی ۸۹ ژنوتیپ جو، دامنه CWSI را ۰/۴۴ تا ۰/۹۷ نشان داد. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایرین نشان می‌دهد اولاً به نظر آستانه تنش رطوبتی گیاه برای جو در پژوهش حاضر بالا است و یا اینکه ژنوتیپ‌های گزینش شده در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم برای شرایط دیم مقاومت نسبتاً

3- Water deficit index (WDI)

1- Vegetation index/temperature (VIT)

2- Vegetation cover (VC)

جدول ۴- روابط شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای ژنوتیپ‌های جو نیمه در شرایط تنش آبی (S) و بدون تنش آبی (N) (n = 24)
 Table 4- Relation of crop water stress index (CWSI) for dryland barley genotypes under water stress (S) and non-water stress (N) (N=24)

Genotype	ژنوتیپ	شرایط Condition	Equation (Tc-Ta) with CWSI	R ²	Equation Ic with CWSI	R ²	Equation ET ₀ with CWSI	R ²	Equation VPD with CWSI	R ²
71411		S	CWSI = 0.0476 (Tc-Ta) + 0.7514	0.96**	CWSI = 0.0300Tc + 0.0358	0.82**	CWSI = 0.0686 ET ₀ + 0.2636	0.81**	Tc-Ta = -3.1288 VPD + 15.503	0.68**
		N	CWSI = 0.0539 (Tc-Ta) + 0.7667	0.95**	CWSI = 0.034Tc - 0.0904	0.86**	CWSI = 0.0811 ET ₀ + 0.1456	0.85**	Tc-Ta = -3.3452 VPD + 17.5	0.74**
Abidar	آبیدر	S	CWSI = 0.0464 (Tc-Ta) + 0.7513	0.98**	CWSI = 0.0335Tc - 0.0567	0.71**	CWSI = 0.0764 ET ₀ + 0.2005	0.70**	Tc-Ta = -3.5895 VPD + 17.994	0.58**
		N	CWSI = 0.0475 (Tc-Ta) + 0.7431	0.98**	CWSI = 0.0352Tc - 0.102	0.89**	CWSI = 0.0801 ET ₀ + 0.164	0.88**	Tc-Ta = -3.8848 VPD + 19.459	0.83**
Ansar	انصار	S	CWSI = 0.0432 (Tc-Ta) + 0.7483	0.96**	CWSI = 0.0303Tc + 0.0257	0.79**	CWSI = 0.0685 ET ₀ + 0.262	0.79**	Tc-Ta = -3.4286 VPD + 16.988	0.68**
		N	CWSI = 0.0586 (Tc-Ta) + 0.7782	0.97**	CWSI = 0.0382Tc - 0.1827	0.89**	CWSI = 0.0942 ET ₀ + 0.064	0.87**	Tc-Ta = -3.6988 VPD + 19.136	0.79**
ARM-ICB		S	CWSI = 0.0458 (Tc-Ta) + 0.7517	0.95**	CWSI = 0.0305Tc + 0.016	0.76**	CWSI = 0.0708 ET ₀ + 0.2426	0.76**	Tc-Ta = -3.2317 VPD + 16.193	0.60**
		N	CWSI = 0.0592 (Tc-Ta) + 0.7875	0.95**	CWSI = 0.0378Tc - 0.1761	0.84**	CWSI = 0.096 ET ₀ + 0.0552	0.82**	Tc-Ta = -3.4622 VPD + 18.236	0.64**
ChiCm/An57/Albert		S	CWSI = 0.0442 (Tc-Ta) + 0.7499	0.96**	CWSI = 0.0304Tc + 0.0259	0.79**	CWSI = 0.0696 ET ₀ + 0.2573	0.79**	Tc-Ta = -2.7338 VPD + 13.79	0.60**
		N	CWSI = 0.0517 (Tc-Ta) + 0.7505	0.96**	CWSI = 0.0405Tc - 0.2274	0.91**	CWSI = 0.0978 ET ₀ + 0.0431	0.90**	Tc-Ta = -4.3384 VPD + 21.766	0.83**
Dobrynya		S	CWSI = 0.0468 (Tc-Ta) + 0.7505	0.96**	CWSI = 0.0308Tc + 0.0104	0.81**	CWSI = 0.07 ET ₀ + 0.2484	0.79**	Tc-Ta = -3.2804 VPD + 16.355	0.69**
		N	CWSI = 0.0531 (Tc-Ta) + 0.7634	0.95**	CWSI = 0.0353Tc - 0.1206	0.86**	CWSI = 0.084 ET ₀ + 0.1271	0.83**	Tc-Ta = -3.5377 VPD + 18.369	0.75**
Gara Arpa	قره آریا	S	CWSI = 0.0453 (Tc-Ta) + 0.7522	0.96**	CWSI = 0.0322Tc - 0.0251	0.63**	CWSI = 0.0754 ET ₀ + 0.2097	0.63**	Tc-Ta = -3.342 VPD + 16.856	0.45**
		N	CWSI = 0.0485 (Tc-Ta) + 0.7427	0.95**	CWSI = 0.0383Tc - 0.1812	0.90**	CWSI = 0.089 ET ₀ + 0.0957	0.88**	Tc-Ta = -4.1896 VPD + 21.106	0.84**
Kuban-06		S	CWSI = 0.0472 (Tc-Ta) + 0.7539	0.96**	CWSI = 0.0303Tc + 0.0186	0.68**	CWSI = 0.0713 ET ₀ + 0.2366	0.68**	Tc-Ta = -3.0351 VPD + 15.40	0.49**
		N	CWSI = 0.0519 (Tc-Ta) + 0.7555	0.95**	CWSI = 0.0358Tc - 0.1291	0.90**	CWSI = 0.0838 ET ₀ + 0.1283	0.87**	Tc-Ta = -3.7059 VPD + 19.014	0.83**
Makcoei	ماکوئی	S	CWSI = 0.0486 (Tc-Ta) + 0.7571	0.95**	CWSI = 0.0286Tc + 0.0505	0.70**	CWSI = 0.0667 ET ₀ + 0.2606	0.70**	Tc-Ta = -2.7630 VPD + 14.290	0.50**
		N	CWSI = 0.0557 (Tc-Ta) + 0.7668	0.97**	CWSI = 0.041Tc - 0.2381	0.87**	CWSI = 0.1009 ET ₀ + 0.0269	0.85**	Tc-Ta = -4.1195 VPD + 20.879	0.70**
Redical		S	CWSI = 0.0426 (Tc-Ta) + 0.7485	0.97**	CWSI = 0.0301Tc + 0.0462	0.79**	CWSI = 0.0666 ET ₀ + 0.2904	0.78**	Tc-Ta = -3.4538 VPD + 16.679	0.70**
		N	CWSI = 0.052 (Tc-Ta) + 0.7474	0.96**	CWSI = 0.041Tc - 0.2395	0.91**	CWSI = 0.0976 ET ₀ + 0.0417	0.88**	Tc-Ta = -4.3636 VPD + 21.856	0.84**
Sahand	سهند	S	CWSI = 0.0473 (Tc-Ta) + 0.7524	0.96**	CWSI = 0.0342Tc - 0.073	0.78**	CWSI = 0.0810 ET ₀ + 0.1695	0.77**	Tc-Ta = -3.6219 VPD + 18.186	0.61**
		N	CWSI = 0.0594 (Tc-Ta) + 0.7813	0.97**	CWSI = 0.0417Tc - 0.2614	0.89**	CWSI = 0.1044 ET ₀ - 0.0011	0.86**	Tc-Ta = -4.0665 VPD + 20.879	0.79**
Sahand/C-25041		S	CWSI = 0.0441 (Tc-Ta) + 0.7475	0.97**	CWSI = 0.0356Tc - 0.0992	0.78**	CWSI = 0.0821 ET ₀ + 0.1671	0.79**	Tc-Ta = -4.0709 VPD + 20.106	0.66**
		N	CWSI = 0.0507 (Tc-Ta) + 0.7425	0.97**	CWSI = 0.0394Tc - 0.2071	0.91**	CWSI = 0.0919 ET ₀ + 0.075	0.88**	Tc-Ta = -4.2402 VPD + 21.294	0.86**
Sararood1	سارارود ۱	S	CWSI = 0.045 (Tc-Ta) + 0.7485	0.98**	CWSI = 0.0354Tc - 0.0916	0.77**	CWSI = 0.0811 ET ₀ + 0.1773	0.77**	Tc-Ta = -3.9660 VPD + 19.516	0.66**
		N	CWSI = 0.0546 (Tc-Ta) + 0.7721	0.94**	CWSI = 0.0279Tc + 0.0446	0.79**	CWSI = 0.0668 ET ₀ + 0.2395	0.78**	Tc-Ta = -2.4691 VPD + 13.495	0.57**
Ste/Antares/YEA762		S	CWSI = 0.0472 (Tc-Ta) + 0.7537	0.96**	CWSI = 0.0307Tc + 0.0159	0.72**	CWSI = 0.0713 ET ₀ + 0.2421	0.72**	Tc-Ta = -3.135 VPD + 15.678	0.55**
		N	CWSI = 0.0551 (Tc-Ta) + 0.7725	0.95**	CWSI = 0.0332Tc - 0.0778	0.86**	CWSI = 0.0806 ET ₀ + 0.1449	0.86**	Tc-Ta = -3.1863 VPD + 16.935	0.71**
Valfajr	والفجر	S	CWSI = 0.0457 (Tc-Ta) + 0.7514	0.97**	CWSI = 0.0342Tc - 0.0615	0.72**	CWSI = 0.0796 ET ₀ + 0.1894	0.72**	Tc-Ta = -3.6891 VPD + 18.216	0.57**
		N	CWSI = 0.0456 (Tc-Ta) + 0.7412	0.97**	CWSI = 0.0384Tc - 0.1691	0.88**	CWSI = 0.0885 ET ₀ + 0.1158	0.87**	Tc-Ta = -4.3923 VPD + 21.679	0.80**
Mean	میانگن	S	CWSI = 0.0436 (Tc-Ta) + 0.7487	0.99**	CWSI = 0.0429Tc - 0.2641	0.99**	CWSI = 0.0958 ET ₀ + 0.0793	0.99**	Tc-Ta = -5.2259 VPD + 25.547	0.99**
		N	CWSI = 0.0447 (Tc-Ta) + 0.7376	0.99**	CWSI = 0.0447Tc - 0.316	0.99**	CWSI = 0.1007 ET ₀ + 0.0284	0.97**	Tc-Ta = -5.4007 VPD + 26.556	0.99**

S: Stress, N: Non stress, * and **: Significant at the 5% and 1% level of probability, respectively.

جدول ۵- تعیین آستانه دمای بحرانی (T_c)، تبخیر-تعرق پتانسیل (ET_p) و کمبود فشار بخار نسبی هوا (VPD) با استفاده از شاخص تنش رطوبتی گیاه (CWSI) در ژنوتیپ‌های جو دیم در دو شرایط تنش و بدون تنش آبی

Table 5- Determination of critical canopy temperature (T_c), potential evapotranspiration (ET_p) and vapor pressure deficit (VPD) thresholds using crop water stress index (CWSI) for dryland barley genotypes under stress and non-stress conditions.

Genotype	آستانه شاخص تنش آبی		آستانه دمای پوشش سبز		آستانه تبخیر-تعرق پتانسیل		آستانه کمبود فشار بخار آستانه	
	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress
71411	0.767 M	0.751 M	25.2 M	23.9 M	7.7 MT	7.1 M	5.23 M	4.95 M
Abidar	0.743 S	0.751 M	24.0 S	24.1 M	7.2 MS	7.2 M	5.01 MS	5.01 M
Ansar	0.778 T	0.748 S	25.2 M	23.8 M	7.6 M	7.1 M	5.17 M	4.95 M
ARM-ICB	0.788 T	0.752 M	25.5 T	24.1 M	7.6 M	7.2 M	5.27 M	5.01 M
ChiCm/An57//Albert	0.763 M	0.750 M	24.5 M	23.8 M	7.4 M	7.1 M	5.02 MS	5.04 M
Dobrynya	0.763 M	0.751 M	25.0 M	24.0 M	7.6 M	7.2 M	5.19 M	4.99 M
گنجره آریا	0.743 S	0.752 M	24.1 MS	24.1 M	7.3 M	7.2 M	5.04 MS	5.04 M
Kuban-06	0.756 M	0.757 T	24.7 M	24.4 T	7.5 M	7.3 MT	5.13 M	5.07 MT
Makooei	0.767 M	0.757 T	24.5 M	24.7 T	7.3 M	7.4 T	5.07 M	5.17 T
Redical	0.747 M	0.749 MS	24.1 MS	23.3 S	7.2 MS	6.9 S	5.01 MS	4.83 S
Sahand	0.781 T	0.752 M	25.0 M	24.1 M	7.5 M	7.2 M	5.13 M	5.02 M
Sahand/C-25041	0.743 S	0.748 S	24.1 MS	23.8 M	7.3 M	7.1 M	5.02 MS	4.94 MS
Sararood	0.772 M	0.749 MS	26.1 T	23.7 MS	8.0 T	7.0 MS	5.47 T	4.92 MS
Ste/Antares/YEA762	0.773 M	0.754 MT	25.6 T	24.0 M	7.8 T	7.2 M	5.31 MT	5.00 M
Valfajr	0.741 S	0.751 M	23.7 S	23.8 M	7.1 S	7.1 M	4.94 S	4.94 M
Mean	0.762 M	0.751 M	24.8 M	24.0 M	7.5 M	7.1 M	5.13 M	4.99 M
Min	0.741	0.748	23.7	23.3	7.1	6.9	4.94	4.83
Max	0.788	0.757	26.1	24.7	8.0	7.4	5.47	5.17
SD	0.015	0.003	0.69	0.32	0.2	0.1	0.14	0.08
CV	2.03	0.38	2.8	1.3	3.3	1.8	2.78	1.57
t test (Stress vs Non stress)	2.56*		4.02**		4.50**		3.22**	

M: Medium, S: susceptible, T: Tolerant, MS: Moderately susceptible, MT: Moderately Tolerant

سپاسگزاری

با توجه به اینکه مقاله حاضر از پروژه تحقیقی شماره ۹۴۱۰۵-۱۵-۲ موسسه تحقیقات کشاورزی دیم استخراج شده است، لذا از موسسه و بخش تحقیقات مدیریت منابع که امکانات لازم را در اختیار مجری پروژه قرار داده‌اند، تشکر می‌نمایم.

در حالی که دمای بحرانی برای تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های جو دیم از ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد ($T_c \geq 24.2 \text{ }^\circ\text{C}$) در مرحله شروع گلدهی (ZGS60) شروع و با افزایش آن شدت این تنش افزایش می‌یابد و منجر به کاهش شدید جذب آب و در نتیجه همراه با تنش گرمایی، تنش رطوبتی نیز گریبانگیر گیاه می‌شود. اگر چه اختلاف زیادی در آستانه تنش رطوبتی بین شرایط دیم ($CWSI=0.751$) و آبیاری تکمیلی ($CWSI=0.762$) وجود نداشت اما این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار ($t = 2.56^*$) بود و شاخص $CWSI$ توانایی لازم را در تفکیک ژنوتیپ‌های مناسب برای شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت.

منابع

1. Acevedo E., Silva P., and Silva H. 2002. Wheat growth and physiology. p 53-89. In: B.C. Curtis, S. Rajaram, H. Gómez Macpherson (eds). Bread wheat Improvement and Production. Cereals Officer, Crop and Grassland Service, FAO.
2. Ahmadi K., Ebadzadeh H., Ebdeshah H., Kazemian A., and Rafiee M. 2019. Agricultural statistics of Iran cropping year 2016-2017. Agronomy Production; Ministry of Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information Technology Center: Tehran, Iran. (In Persian)
3. Ayeneh A., Van Ginkel M., Reynolds M.P., and Ammar K. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle, and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research* 79: 173-184. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00138-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00138-7).
4. Bucks D., Nakavamma F., French O., Regard W., and Alexander W. 1985. Irrigated guayule evapotranspiration and plant water stress. *Agricultural Water Management* 10: 61-79. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(85\)90035-6](https://doi.org/10.1016/0378-3774(85)90035-6).
5. Cao W., and Moss DN. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science* 29: 1018-1021. <https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900040038x>.
6. Colaizzi PD., Oshaughnessy SA., Evett SR., and Howell TA. 2012. Using plant canopy temperature to improve irrigated crop management. Proceedings of the Central Plains Irrigation Conference. February 21-22, 2012, Colby, Kansas. p. 203-223.
7. Daničić M., Zekić V., Mirosavljević M., Lalić B., Putnik-Delić M., Maksimović I., and Dalla Marta A. 2019. The response of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) to climate change in Northern Serbia. *Atmosphere* 10: 14. <https://doi.org/10.3390/atmos10010014>.
8. Dias AS., Lidon FC., and Ramalho JC. 2009. Heat stress in Triticum: Kinetics of Fe and Mn accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 21(2): 153-164. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202009000200008>.
9. Dold C., Hatfield, JL., Prueger J., Sauer T., Büyükcangaz H., and Rondinelli, W., 2017. Long-term application of the crop water stress index in midwest agro-ecosystems. *Agronomy Journal* 109: 2172-2181. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0494>.
10. Elbashier EME., Tahir ISA., Saad AI., and Ibrahim MAS. 2012. Wheat genotypic variability in utilizing nitrogen fertilizer for a cooler canopy under a heat-stressed irrigated environment. *African Journal of Agricultural Research* 7(3): 385-392. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.525>.
11. Erkan H., Celik S., Bilgi B., and Koksel H. 2006. A new approach for the utilization of barley in food products: Barley tarhana. *Food Chemistry* 97: 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.018>.
12. Fashae M., Sanaee Nejad S., and Davary, K. 2015. Soil moisture estimation using MODIS images (Case Study: Mashhad plain area). *Water and Soil* 29(6): 1735-1748. <http://doi.org/10.22067/JSW.V29I6.34978>.
13. Feiziasl V., Fotovat A., Astaræ A., Lakzian A., Mousavi SB. 2014. Effect of optimized nitrogen application in reducing drought stress effect on grain yield of some rainfed bread wheat genotypes. *Seed and Plant Production Journal* 30(2): 169-198. <http://doi.org/10.22092/sppj.2017.110544>.
14. Feiziasl V., Jafarzadeh J., Pala M., and Mosavi SB. 2009. Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum* L.) in Northwest of Iran. *International Journal of Soil Science* 4(1): 14-19. <http://doi.org/10.3923/ijss.2009.14.26>.
15. Feiziasl V. 2017. Evaluation of dryland barley (*Hordum vulgare*) genotypes response to the nitrogen rates and application times. *Water and Soil* 31(2): 490-508. <http://doi.org/10.22067/jsw.v31i2.53350>.
16. Feiziasl V., Fotovat A., Astaræi A., Lakzian A., and Mousavi Shalmani MA. 2014. Determination of soil and

- plant water balance and its critical stages for rainfed wheat using Crop Water Stress Index (CWSI). *Water and Soil* 28(4): 804-817. <http://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.29119>.
17. Feiziasl V., Jafarzadeh J., Sadeghzadeh B., and Mousavi Shalmani MA. 2022. Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management* 262: 107395. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107395>.
 18. Fischbeck G. 2002. Contribution of barley to agriculture: a brief overview, In: G. A. Slafer, et al. (Eds.), *Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality*, Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc., pp. 1-14. pp. 1-14.
 19. Fitzgerald GJ., Rodriguez D., Christensen K., Belford R., Sadras VO., and Clarke TR. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. *Precis. Agric* 7: 233-248. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9011-z>.
 20. Gardner BR., and Shock CC. 1989. Interpreting the crop water stress index. ASAE Paper No: 89-2642.
 21. Gol L., Tomé F., and Korff MV. 2017. Floral transitions in wheat and barley: interactions between photoperiod, abiotic stresses, and nutrient status. *Journal of experimental botany* 68(7): 1399-1410. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx055>.
 22. Gomes FP. 1985. *Curso de estatística experimental*. São Paulo: Nobel, 467p.
 23. Hakala K., Jauhiainen L., Himanen SJ., Rötter R., Salo T., and Kahiluoto, H., 2012. Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *Journal of Agricultural Science* 150: 145-160. <https://doi.org/10.1017/S0021859611000694>.
 24. Hlaváčová M., Klem K., Smutná P., Škarpa P., Hlavinka P., Novotná K., Rapantová B., and Trnka M. 2017. Effect of heat stress at anthesis on yield formation in winter wheat. *Plant, Soil and Environment* 63: 139-144. <https://doi.org/10.17221/73/2017-PSE>.
 25. Idso SB. 1982. Nonwater stress baselines: A key to measuring and interpreting water stress. *Agricultural Meteorology* 27: 59-70. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(82\)90020-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(82)90020-6).
 26. Idso SB., Jackson RD., Pinter PJ., Reginato RJ., and Hatfield JL. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol* 24: 45-55. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7).
 27. Irmak S., Istanbuloglu E., and Irmak A. 2008. An Evaluation of Evapotranspiration model complexity against performance in comparison with Bowen Ratio Energy Balance measurements. *Transactions of the ASABE* 51(4):1295-1310. <http://doi.org/10.13031/2013.25246>.
 28. Jackson RD., Idso SB., Reginato RJ., and Pinter PJ., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17: 1133-1138. <https://doi.org/10.1029/WR017i004p01133>.
 29. Klink K., Crawford CJ., Wiersma JJ., and Stuthman D.D. 2011. Climate variability and the productivity of barley and oats in Minnesota. *CURA Report* 41: 12-18.
 30. Lawlor DW., and Cornic C. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment* 25: 275-294. <http://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>.
 31. Liang S. 2004. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. John Wilcy and Sons, Inc. <http://doi.org/10.1002/047172372X>.
 32. Mamnoui E., Ghazvini RF., Esfahany M., and Nakhoda B. 2006. The effects of water deficit on crop yield and the physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8: 211-219.
 33. Mokhtari F., Esfarjani F., and Kargar Fard M. 2014. The effect of combined aerobic exercise and barley β -glucan on lipid profile and glucose blood of women with diabetes type two. *Iranian Journal of Diabetes and Lipid Disorders (ijddl)* 13(4) :340-351
 34. Moran MS., Clarke TR., Inoue Y., and Vidal A., 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environment* 49: 246-263. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90020-5).
 35. Pipatsitee P., Eiumnroh A., Praseartkul P., Taota K., Kongpugdee S., Sakulleerungroj K., and Cha-um S. 2018. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. *Plant Production Science* 21(4): 398-406. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1530943>.
 36. Pradhan GP., Prasad PVV. 2015. Evaluation of wheat chromosome translocation lines for high temperature stress tolerance at grain filling stage. *PLoS One* 10: 1-20. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0116620>.
 37. Rizza F., Badeck FW., Cattivelli L., Lidestri O., Di Fonzo N., and Stanca AM. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science* 44: 2127-2137. <http://doi.org/10.2135/cropsci2004.2127>.
 38. Roostaei M., Feiziasl V., Eskandari I., and Jafarzadeh J. 2021. Technical guidelines for dryland wheat cultivation for Eastern Azarbaijan cold areas. *Agricultural Jihad Organization of Eastern Azarbaijan*. 25 p.
 39. Roy S., and Ophori D. 2014. Estimation of crop water stress index in almond orchards using thermal aerial imagery. *Journal of Spatial Hydrology* 12.
 40. Tavakoli AR. 2013. Effects of sowing date and limited irrigation on yield and yield components of five rainfed

- wheat varieties in Maragheh region. *Journal of Crop Production and Processing (JCPP)* 2(6): 87-97.
41. Tavakoli AR. 2012. Single irrigation and sowing date for rainfed barley in Maragheh region and estimation of production functions. *Journal of Agricultural Engineering Research* 13(2): 39-56. <http://doi.org/10.22092/JAER.2012.100271>.
 42. Tilling K., Leary GJO., Ferwerda JG., Jones SD., Fitzgerald GJ., Rodriguez D., and Belford R. 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Reserch* 104: 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.023>.
 43. Trnka M., Rötter RP., Ruiz-Ramos M., Kersebaum KCh, Olesen JE., Žalud Z., and Semenov MA. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change* 4: 637–643. <https://doi.org/10.1038/nclimate2242>.
 44. Tubaileh AS., Sammis TW., and Lugg D.G. 1986. Utilization of thermal infrared thermometry for detection of water stress in spring barley. *Agric. Water Manage* 42: 75–85. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(86\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0378-3774(86)90007-7).
 45. Umesh K., and Ferris H. 1994. Influence of temperature and host plant on the interaction between *pratylenchus neglectus* and *meloidogyne chitwoodi*. *Journal of Nematology* 26(1): 65-71. <http://doi.org/10.1007/s10661-011-2206-4>.
 46. Williams GDV. 1974. A critical evaluation of a biophothermal time scale for barley. *International Journal of Biometeorology* 18: 259–271. <https://doi.org/10.1007/BF01463714>.