



## Investigating the effect of irrigation water salinity on wheat irrigation scheduling using CWSI and WDI indices (Case study of Iranshahr)

Alireza Monemizadeh<sup>1</sup>, Masoomeh Delbari<sup>2</sup>, Hossein Jafari<sup>3</sup>, Parviz Haghghatjou<sup>4</sup>

1. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran, Email:

[Amirmz01@yahoo.com](mailto:Amirmz01@yahoo.com)

2. Corresponding Authro, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran,

Email: [masoomeh.delbari@uoz.ac.ir](mailto:masoomeh.delbari@uoz.ac.ir)

3. Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO),

Karaj, Iran, Email: [jafari52\\_h@yahoo.com](mailto:jafari52_h@yahoo.com)

4. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran, Email:

[phjou40@gmail.com](mailto:phjou40@gmail.com)

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Sep. 10, 2021

**Revised:** Nov. 15, 2022

**Accepted:** Dec. 4, 2022

**Published online:** March. 21,  
2023

**Keywords:**

Crop water stress index,  
Idso,  
Irrigation frequency,  
Satellite imagery,  
Water deficit index

### ABSTRACT

The presence of salts in irrigation water and high evapotranspiration rate in Sistan and Baluchestan cause the accumulation of salt in the soil and as a result increases the osmotic force in soil. One method for crop irrigation planning is the use of Idso crop water stress index (CWSI) and Moran water deficit index (WDI). In order to investigate the effect of irrigation water salinity on CWSI and WDI and also wheat irrigation planning, an experiment was performed with three different irrigation water quality in Iranshahr, through the 1398-99 crop year. The experiment was performed as a randomized complete block design with 4 replications and 3 treatments including (1) irrigation water with salinity of 0.7, (2) irrigation water with salinity of 2.5 and (3) irrigation water with salinity of 5.2 dSm<sup>-1</sup>. The results showed that irrigation water with salinity of 0.7 and 2.5 dSm<sup>-1</sup> have no significant difference in terms of yield and water use efficiency. However, the use of irrigation water with a salinity of 5.2 dSm<sup>-1</sup> caused a significant reduction in yield and water use efficiency at a 1% level. Moreover, the salinity of irrigation water increased the upper baseline in the Idso diagram and the upper side of the proposed trapezoid of Moran, but it had no effect on the baseline (plant transpiration limit under standard conditions). As a result, according to the definition of CWSI and WDI indices, these two indices decreased by 19% and 22%, respectively compared to the control treatment. The average optimal CWSI and WDI in the first (non-saline) treatment were 0.39 and 0.38, respectively, and they were 0.33 and 0.32 in the very saline treatment, respectively. This showed a decreasing trend of irrigation frequency with increasing salinity of irrigation water.

Cite this article: Monemizadeh, A.R., Delbari, M., Jafari, H., & Haghghatjou, P. (2023). Investigating the effect of irrigation water salinity on wheat irrigation scheduling using CWSI and WDI indices (Case study of Iranshahr). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 49-65. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.329849.669072>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.329849.669072>



## بررسی تأثیر شوری در برنامه‌ریزی آبیاری گندم با استفاده از شاخص‌های WDI و CWSI (مطالعه موردی ابرانشهر)

علیرضا منعم‌زاده<sup>۱</sup> ID، معصومه دلبری<sup>۲</sup> ID، حسین جعفری<sup>۳</sup> ID، پرویز حقیقت‌جو<sup>۴</sup> ID

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: [Amirmz01@yahoo.com](mailto:Amirmz01@yahoo.com)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: [masoomeh.delbari@uoz.ac.ir](mailto:masoomeh.delbari@uoz.ac.ir)

۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: [jafari52\\_h@yahoo.com](mailto:jafari52_h@yahoo.com)

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: [phjou40@gmail.com](mailto:phjou40@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی	وجود املاح در آب آبیاری و تبخیر-تعرق زیاد در شرایط اقلیمی سیستان و بلوچستان باعث تجمع نمک در خاک و در نتیجه افزایش نیروی اسمزی خاک می‌شود. یکی از راه‌های برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی استفاده از شاخص‌های تنش آبی گیاه (CWSI) ایدسو و شاخص کمبود آب (WDI) موران می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر شوری بر شاخص‌های WDI و CWSI و در نتیجه برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم، آزمایشی با ۳ تیمار شوری آب آبیاری در منطقه ابرانشهر استان سیستان و بلوچستان در سال زراعی ۹۸-۹۹ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و تیمارهای (۱) آبیاری با شوری ۰/۷، (۲) آبیاری با شوری ۲/۵ و (۳) آبیاری با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر اجرا شد. نتایج نشان داد که آبیاری با شوری ۰/۷ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم نداشتند اما کاربرد آب با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب در سطح ۱٪ شد. از طرفی شوری آب آبیاری باعث بالا رفتن خط مینای بالایی در نمودار ایدسو و ضلع بالای دوزنقه پیشنهادی موران گردید، اما تأثیری بر خط مینای پایین (حد تعرق گیاه در شرایط استاندارد) نداشت. در نتیجه با توجه به تعریف شاخص‌های WDI و CWSI، این دو شاخص به‌ترتیب ۱۹ و ۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کردند. میانگین شاخص‌های WDI و CWSI بهینه در تیمار اول (غیرشور) به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۳۸ و در تیمار خیلی شور به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۳۲ بدست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری دور آبیاری کاهش می‌یابد.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۰/۶/۱۹	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۱/۸/۲۴	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۹/۱۳	
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۲/۱/۱	
<b>واژه‌های کلیدی:</b> ایدسو، تصاویر ماهواره‌ای، دور آبیاری، شاخص تنش آبی گیاه، شاخص کمبود آب.	

استاد: منعم زاده؛ علیرضا، دلبری؛ معصومه؛ جعفری؛ حسین، حقیقت‌جو؛ پرویز، (۱۴۰۲). بررسی تأثیر شوری در برنامه‌ریزی آبیاری گندم با استفاده از شاخص‌های CWSI و WDI (مطالعه موردی ابرانشهر). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱)، ۶۵-۴۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.329849.669072>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.329849.669072>

## مقدمه

سیستان و بلوچستان پهناورترین استان کشور است و سازگاری اقلیم آن برای کشت گندم سبب شده که این محصول استراتژیک در رده کشت غالب این منطقه از کشور قرار گیرد. این استان با ۳۲/۵ هزار هکتار سطح زیرکشت، حدود ۸۲ هزار تن با متوسط ۵ تن در هکتار گندم تولید می‌کند که معادل ۷۸ درصد غلات در این استان است (آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸، ۱۳۹۹). کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در آبیاری گندم در این استان از مناسب (هدایت الکتریکی زیر ۱ دسی‌زیمنس برمتر) تا شور (هدایت الکتریکی برابر با ۵/۲ دسی‌زیمنس برمتر) متغیر است. برنامه‌ریزی آبیاری گندم (تعیین زمان و مقدار آب آبیاری) در این استان اول بدلیل سطح زیر کشت زیاد و دوم به دلیل تنوع کیفیت آب آبیاری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با برنامه‌ریزی آبیاری گندم امکان برآورد آب مصرفی، مدیریت تخصیص آب و ارتقا بهره‌وری آن ممکن می‌شود. تعیین زمان آبیاری با سه روش استفاده از نمایه خاکی و اقلیمی، بیلان آبی (بودجه آب) و نمایه گیاهی امکان‌پذیر است (علیزاده، ۱۳۷۷). استفاده از نمایه گیاهی نسبت دو روش دیگر بدلیل استفاده مستقیم از خود گیاه از دقت و سرعت بیشتری برخوردار است (Bozkurt Çolaka et al., 2015; Sezen et al., 2014). در نمایه خاکی با بررسی ظرفیت رطوبت خاک به‌طور غیر مستقیم زمان آبیاری تعیین می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۷; O'Toole and Hotfield, 1983). آبیاری با آب شور و تجمع نمک در خاک مزرعه به مرور زمان باعث می‌شود علی‌رغم وجود رطوبت، به دلیل بالا رفتن نیروی اسمزی خاک، گیاه قادر به جذب آب نباشد. به این علت استفاده از نمایه خاکی که مبتنی بر مقدار خلل و فرج و ظرفیت زراعی مزرعه است خطای بیشتری به همراه دارد اما اگر وضعیت خود گیاه برای زمان آبیاری استفاده شود خطا کمتر خواهد بود (علیزاده، ۱۳۷۷; Wang et al., 2011).

در بین روش‌های استفاده از نمایه گیاهی برای تعیین زمان آبیاری، استفاده از دمای سطح پوشش گیاهی کاراترین روش برای آگاهی از تنش آبی محصول می‌باشد. وقتی که گیاه تحت تنش کمبود آب قرار می‌گیرد، هدایت روزنه‌ای و تبادل گرمای نهان کاهش یافته چون آب در بین سیالات بالاترین گرمای نهان تبخیر را دارد (مقدار انرژی لازم برای تبدیل یک گرم آب به بخار). بنابراین اثر خنگ‌گندگی تبخیر کاهش می‌یابد و در نتیجه برگ‌های گیاه نسبت به شرایطی که گیاه تحت تنش نمی‌باشد گرم‌تر می‌شود. از این خاصیت و با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه برای ارزیابی وضعیت آب گیاه می‌توان استفاده کرد. بر این مبنای شاخص‌های فراوانی در دنیا ارائه شده است اما یکی از شاخص‌های معتبر که در آن با استفاده از دمای پوشش سبز می‌توان تنش در یک گیاه را بررسی و در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار داد، شاخص تنش آبی گیاه ( $CWSI$ ) است (Idso, 1982; O'Toole and Hotfield, 1983; Alghory, and Yazar, 2019). برای تعیین این شاخص نیاز است دمای پوشش گیاهی، دمای هوا و رطوبت هوا با استفاده از دماسنج مادون قرمز و رطوبت سنج در نقطه‌ای از مزرعه اندازه‌گیری شود. سپس شاخص تعیین شده در همان نقطه، به کل منطقه تعمیم داده می‌شود که البته سبب ورود خطا در برنامه‌ریزی آبیاری می‌شود (Idso, 1982). گرچه تعیین زمان آبیاری با استفاده از دمای پوشش گیاهی روشی کاربردی و دقیق است اما نقطه‌ای بودن و نیاز به صرف هزینه و وقت زیاد در این روش ایجاب می‌کند تا به دنبال روشی بود که ضمن دارا بودن دقت کافی، اول بتوان در آن روش داده‌های سطح وسیعی از مزارع گندم را در حداقل زمان ممکن جمع‌آوری نمود، دوم برای دامنه وسیعی از پوشش گیاهی (از پوشش گیاهی کامل ( $NDVI=1$ ) تا بدون پوشش ( $NDVI=0$ )) کاربرد داشته باشد. استفاده از تکنیک سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای) به دلیل پوشش وسیع و رایگان و سریع بودن می‌تواند برای نیل به این هدف مورد استفاده قرار گیرد (Yang et al., 2017; Tanriverdi et al., 2017).

سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر شاخص  $CWSI$  در ذرت تابستانه و زمستانه در شرایط اقلیمی اهواز دریافتند که اول خط مبنای بالا و پایین نمودار ایدسو تحت تأثیر شوری آب آبیاری قرار گرفتند و با افزایش شوری، خط مبنای بالا و پایین به سمت بالا شیف‌ت پیدا نمودند و همچنین با تغییر مقدار شوری آب آبیاری از ۲/۲ تا ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار شاخص  $CWSI$  در ذرت تابستانه حدوداً سه و نیم برابر و در کشت ذرت زمستانه حدوداً سه برابر شد اما روند تغییرات  $CWSI$  در هر دو فصل یکسان بود. Moran et al. (1994) برای شرایط پوشش گیاهی غیرمترکم، شاخص کمبود آب ( $WDI$ ) را ارائه نمودند که در آن دمای سطح خاک و گیاه توأمان اندازه‌گیری می‌شود:

1- Crop Water Stress Index

2- Normalized Difference Vegetation Index

3- Water Deficit Index

$$WDI = 1 - \frac{\lambda E_r}{\lambda E_{rp}} = \frac{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_r]}{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_x]}$$

در این رابطه:  $\lambda E_{rp}$  شار گرمای نهان پتانسیل (وات بر متر مربع)،  $\lambda E_r$  شار گرمای نهان خاک (وات بر متر مربع)،  $(T_s - T_a)$  اختلاف دمای سطح کانوپی و دمای هوا و اندیس‌های  $m$ ،  $x$  و  $r$  به معنای کمینه، بیشینه و مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. شاخص کمبود آب عملاً در سطح پوشیده از گیاه برابر با شاخص تنش آبی گیاه می‌باشد و در این حالت دمای سطح زمین ( $T_s$ ) با دمای پوشش گیاهی سبز برابر خواهد بود. برای شرایط سطح کامل پوشیده از گیاه، شاخص کمبود آب برابر با صفر و برای شرایط بیشینه تنش آبی، این شاخص برابر با یک خواهد بود.

فشائی (۱۳۹۲) در تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دریافتند که مدل دوزنقه ای دما-پوشش گیاهی قادر است با در نظر گرفتن وضعیت رطوبتی گیاه و محیط و همچنین شرایط پوشش گیاهی، با دقت مناسبی شرایط تنش آبی در گیاه را برای مناطق فاقد پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی ضعیف و همچنین پوشش گیاهی متراکم برآورد نماید. در این پژوهش ضریب همبستگی ۹۳٪ بین شاخص کمبود آب آبیاری (WDI) و رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در عمق ۵ سانتیمتری بدست آمد.

Jolivot *et al.*, (2012) در تجزیه و تحلیل تنش آبی محصول گندم دوروم از طریق محاسبه نسبت تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل (AET / PET) با استفاده از شاخص کمبود آب آبیاری و استفاده از الگوریتم (S-SEBI) از طریق تکنیک سنجش از دور دریافتند که این تکنیک‌ها برای مدیریت آبیاری دقیق امیدوار کننده هستند. در این پژوهش ضریب همبستگی بین نسبت تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل اندازه‌گیری شده و به دست آمده از شاخص WDI و الگوریتم S-SEBI به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۵ بود. Banzragch *et al.*, (2018) در بررسی WDI مزرعه گندم به روش دوزنقه موران در مغولستان با استفاده از سنجش از دور و تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ و به منظور تعیین زمان آبیاری، نتیجه گرفتند که شاخص کمبود آب با استفاده از تکنیک دورسنجی، یک ابزار مفید برای ارزیابی وضعیت آب کشاورزی به ویژه گندم است و می‌تواند برای برنامه ریزی آبیاری مفید باشد. Girolimetto and Venturini (2013) شاخص کمبود آب آبیاری و تصاویر ماهواره‌ای مودیس را برای تخمین تنش آبی اراضی کالیفرنای آمریکا که قسمتی از اراضی دارای پوشش گیاهان مرتعی و گندم بوده و بخش دیگر اراضی بدون پوشش گیاهی می‌باشد ساده و قابل قبول دانستند و ضریب همبستگی بین این شاخص با اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا را برای پوشش‌های مختلف گیاهی ۰/۷۲ اعلام نمودند.

عدم کارایی شاخص پیشنهادی ایدسو (شاخص تنش آب گیاهی یا CWSI) در برنامه‌ریزی آبیاری مزارعی که پوشش گیاهی کامل ندارند و همچنین نقطه‌ای بودن، وقت گیر بودن و هزینه بالای این روش نسبت به روش پیشنهادی موران (شاخص کمبود آب آبیاری یا WDI) به دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برنامه‌ریزی آبیاری در سطح وسیع با زمان و هزینه کمتر از یک طرف و شوری آب آبیاری منطقه برای گیاه استراتژیک گندم از طرف دیگر باعث شد که در این تحقیق ضمن بررسی تغییرات خط مبنای بالا و پایین در نمودار پیشنهادی ایدسو و موران به ترتیب بر اساس داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مقدار CWSI و WDI در شرایط استفاده از آب شور نسبت به آب غیرشور نیز بررسی شود. به نظر می‌رسد بتوان با تعیین شاخص WDI و CWSI بهینه در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین (ماه‌های با پوشش گیاهی کامل)، گام موثری در تعیین زمان بهینه آبیاری گندم در منطقه ایران شهر برداشته شود.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر شوری آب آبیاری بر خطوط مبنای بالا و پایین در نمودار ایدسو و موران و همچنین میزان شاخص (CWSI) و (WDI)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار آبیاری شامل (۱) آبیاری با آب با شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار شاهد)، (۲) آبیاری با آب با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و (۳) آبیاری با آب با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر در ۴ تکرار انجام شد. شوری آب بر اساس شوری آب غالب منطقه که در آبیاری مزارع گندم استفاده می‌شدند انتخاب گردید. با توجه به اینکه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین زمان آبیاری، نیازمند استخراج داده‌های مورد نیاز مثل دما و شاخص پوشش گیاهی از روی نقشه‌هایی است که از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های مرتبط بدست می‌آیند. این پژوهش در اراضی مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایران شهر و اراضی مجاور با وسعت حداقل ۲ هکتار برای هر تیمار انجام شد.

قبل از کاشت گندم، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک و نیز از آب محل آزمایش نمونه برداری صورت گرفت و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین میزان کود مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شد (جداول ۱ و ۲).

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کشت

O.C %	P.(Av.) p.p.m.	N %	pH -	EC dSm <sup>-1</sup>	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کلاس بافت خاک
۰/۴۱	۱۰	۴۱	۷/۵۲	۲/۴۷	۶۰	۳۴	۶	S-L

جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب محل آزمایش

So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Co <sub>2</sub> H <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Ph	EC dSm <sup>-1</sup>
۰/۶۸	۲/۳	۴/۵	۲/۷	۷/۱۱	۰/۷
۲/۹۶	۴/۹	۱۴/۷	۱۰/۴	۷/۴۴	۲/۵
۷/۶	۱۶/۷	۳۴/۴	۱۷/۹	۷/۹۵	۵/۲

(Av.) P: فسفر قابل جذب

pH: لگاریتم منفی غلظت یون‌های هیدروژن

EC: میزان شوری

با در نظر گرفتن میزان بارش در طول فصل رشد، مقدار باران موثر به روش ضریب ثابت (علیزاده، ۱۳۷۷) محاسبه شد. عمق خالص آب آبیاری گندم در هر تیمار از رابطه (۱) برآورد گردید. حجم آب مورد نیاز توسط لوله انتقال و توسط کنتور حجمی در اختیار گیاه گندم قرار گرفت:

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times p_b \times Z \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:  $d_n$ : عمق خالص آبیاری (cm)،  $\theta_{fc}$ : رطوبت ظرفیت زراعی خاک مزرعه (درصد جرمی)،  $\theta_i$ : رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد جرمی)،  $p_b$ : جرم مخصوص ظاهری خاک ( $gr/cm^3$ ) (اندازه گیری بروش استوانه و ۱/۴۸ برای خاک محل آزمایش بدست آمد)  $Z$ : عمق ریشه گیاه (سانتی‌متر) (برای گندم با توجه به عمق خاک منطقه بطور متوسط ۵۰ سانتی‌متر) می‌باشد. زمان آبیاری تیمارها یک روز قبل از عبور ماهواره و مقدار آن هم برای یافتن تأثیر شوری بر مقادیر CWSI و WDI برای تمام تیمارها یکسان لحاظ گردید. دور آبیاری بر اساس چرخش ماهواره بود بدین ترتیب اگر یک روز قبل از عبور ماهواره آبیاری انجام شود روز عبور ماهواره رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی یا همان شرایط استاندارد که برای حد بدون تنش در رسم دو نمودار نیاز است، خواهد بود.

کاشت گندم رقم چمران ۲ با تراکم ۴۵۰ بوته در هر متر مربع با دستگاه خطی کار گندم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار در ۱۵ آبان ۱۳۹۸ انجام شد. چون یکی از شروط استفاده از نمودار ایدسو در تعیین شاخص تنش خشکی گیاهان، تراکم کامل مزرعه است محاسبات و ارزیابی‌ها برای ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین که مزرعه دارای پوشش کامل بود انجام شد. سامانه آبیاری مورد استفاده سامانه آبیاری سطحی به روش جوی‌پشته‌ای بود و آبیاری گندم از دوم بهمن سال ۱۳۹۸ هر ۸ روز یکبار و به گونه‌ای تنظیم شد که یک روز قبل از عبور ماهواره آبیاری انجام شود. ۱۰-۱۵ اردیبهشت‌ماه برداشت انجام شد.

برای رسم نمودار ایدسو و محاسبه CWSI، برداشت‌های میدانی نظیر دمای پوشش گیاهی (Tc) با استفاده از دماسنج مادون قرمز، دمای هوا (Ta) با استفاده از دماسنج معمولی و رطوبت نسبی (RH) با استفاده از دماسنج تر و خشک صورت گرفت. با این اطلاعات، اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا (محور عمودی نمودار) و کمبود فشار بخار اشباع (محور افقی) با استفاده از روابط ۷ تا ۹ محاسبه شد. برداشت این داده‌ها برای هر تیمار به صورت مجزا در روزهای قبل، بعد و روز عبور ماهواره (بین ساعت ۱۰ تا ۱۱) صورت گرفت.

برای رسم نمودار دوزنقه‌ای موران و محاسبه WDI، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) و دمای پوشش گیاهی (Tc) مطابق دستورالعمل از نقاط مختلف مزرعه (هر تیمار) از روی نقشه‌های NDVI و Tc که از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای Arcmap و ENVI، Erdas تهیه شده بود، تعیین گردید. برای محاسبه (Tc - Ta) از دماهایی که در لحظه عبور ماهواره و به صورت میدانی برداشت شد استفاده گردید.

در انتهای فصل ضمن بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر خط مبنای بالا و پایین در نمودار ایدسو و موران، مقادیر بهینه شاخص‌های CWSI و WDI در تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری) محاسبه و مبنای ارزیابی CWSI و WDI در تیمارهای (۲) و (۳) قرار گرفت. با مقایسه مقادیر CWSI و WDI در تیمارهای (۲) و (۳) با تیمار شاهد با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (Coefficient of Determination, R<sup>2</sup>)، جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE)، میانگین قدر مطلق خطای (Mean Absolute Error, MAE) و میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error, MBE)، تأثیر شوری آب آبیاری بر شاخص‌های CWSI و

WDI مورد بررسی قرار گرفت:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آنها،  $X_i$  و  $\bar{X}$  به ترتیب مقدار و میانگین مقدار شاخص تنش خشکی گندم در تیمار شاهد و  $Y_i$  و  $\bar{Y}$  به ترتیب مقدار و میانگین مقدار شاخص کمبود آب آبیاری متناظر در تیمارهای شوری که از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است می‌باشند.

#### رسم نمودار ایدسو و محاسبه CWSI

بر اساس روش ایدسو، خط مبنای پایینی تنش که متأثر از اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا و همچنین کمبود فشار بخار هوا می‌باشد به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (Idso et al., 1981):

$$(T_c - T_a)_{l,l} = a - b(VPD) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه  $(T_c - T_a)_{l,l}$ : اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای پایینی ( $^{\circ}C$ )،  $a$  و  $b$ : ضرایب تجربی هستند و VPD: کمبود فشار بخار هوا (mbr) است. شرایط مناسب برای رسم خط مبنای پایینی داده‌های برداشت شده در یک روز پس از آبیاری تیمارها است. فشار بخار اشباع ( $e_s$ )، فشار بخار واقعی ( $e_a$ ) و کمبود فشار بخار (محور افقی نمودار) به ترتیب از روابط ۷، ۸ و ۹ محاسبه شدند:

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 \times T_a}{T_a + 237.3}\right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$e_a = \frac{RH \times e_s}{100} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$VPD = e_a - e_s \quad \text{رابطه (۹)}$$

خط مبنای بالا (خط تنش کامل) معرف حداکثر اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و درجه حرارت هوای مجاور قابل انتظار می‌باشد به طوری که وقتی اختلاف دمای گیاه و هوا به این حد افزایش یابد عمل تعرق به طور کامل متوقف خواهد شد. همچنین طبق نظر ایدسو برای توقف کامل تعرق، لازم است فشار بخار محیط به اندازه شیب فشار بخار (VPG) افزایش یافته تا بتواند با گرادیان فشار بخار مقابله نماید، لذا برای محاسبه خط مبنای بالا ابتدا مقدار شیب فشار بخار با استفاده از دمای هوا و پوشش سبز محاسبه شد و سپس از ضرایب بدست آمده برای خط پایین ( $a$  و  $b$ )، موقعیت خط مبنای بالا بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

$$(T_c - T_a)_{u,l} = a - b/VPG \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

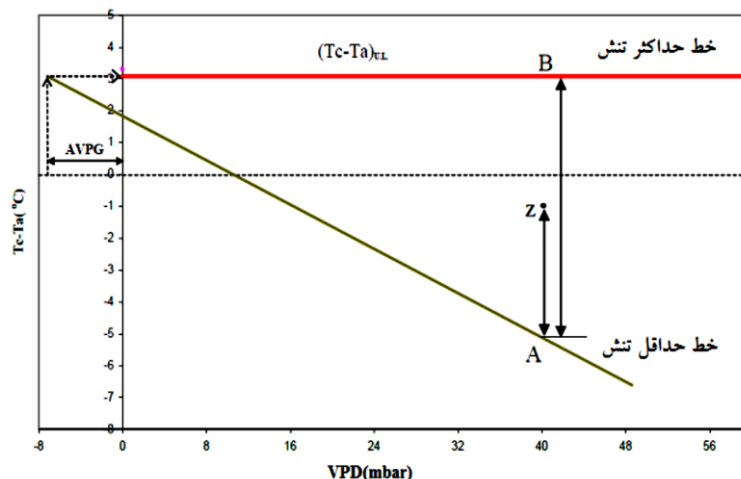
در این رابطه  $(T_c - T_a)_{u,l}$ : اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای بالا ( $^{\circ}C$ ) و VPG: شیب فشار بخار هوا است. شرایط خط مبنای بالا دقیقاً شرایط قبل از آبیاری می‌باشد. با توجه به اینکه هر سه پارامتر طرف راست معادله (۱۰) قابل محاسبه هستند لذا خط مبنای بالایی تنش را به صورت رابطه (۱۱) نیز می‌توان در نظر گرفت که در آن  $h$  مقدار ثابتی بر حسب درجه سانتی‌گراد و مستقل از کمبود فشار بخار است به همین دلیل در شکل (۱) این خط به‌طور موازی با محور کمبود فشار بخار رسم شده است:

$$(T_c - T_a)_{u,l} = h \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

به ازای مقدار معینی از کمبود فشار بخار آب، شاخص بهینه تنش آبی گیاه گندم عبارت است از نسبت بین تفاوت اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا اندازه گیری شده قبل از آبیاری تیمار شاهد از خط مبنای پایینی (AZ)، به فاصله بین خط مبنای پایین و بالا در همان کمبود فشار بخار هوا (AB) (رابطه ۱۲ و شکل ۱). می‌توان گفت شاخص تنش آبی گیاه بین صفر تا یک متغیر است. برای محاسبه CWSI دمای پوشش سبز در روزهای قبل آبیاری در فاصله ساعت‌های ۱۱ تا ۱۴ بعدازظهر هر یک ساعت یکبار اندازه گیری شد. سپس

با در اختیار داشتن دمای پوشش سبز و خطوط مبنای بالا و پایین محاسبه شده برای هر ماه، CWSI به روش ایدسو طبق رابطه ۱۲ محاسبه شد:

$$CWSI_i = \frac{AZ}{AB} = \frac{(Tc-Ta)_m - (Tc-Ta)_{LL}}{(Tc-Ta)_{UL} - (Tc-Ta)_{LL}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$



شکل ۱- شماتیک نمودار ایدسو

#### رسم نمودار دوزنقه‌ای موران و محاسبه WDI

برای تعیین شاخص WDI از قاعده دوزنقه‌ای استفاده شد (روش مثلثی نیز وجود دارد) به این صورت که در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین، در نقاطی از مزرعه که دارای ویژگی‌های ذکر شده (پوشش گیاهی کامل و بدون تنش - پوشش گیاهی کامل دارای تنش آبی - خاک خشک لخت - خاک لخت اشباع) برای هر یک از رئوس دوزنقه هستند (شکل ۲)، اطلاعات مورد نیاز شامل شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)،  $T_c$  و  $T_a$  و  $T_c - T_a$  از روی نقشه مربوطه قرائت و یا محاسبه شدند. مطابق تعریف مشخصات چهار راس دوزنقه به شرح ذیل می‌باشد:

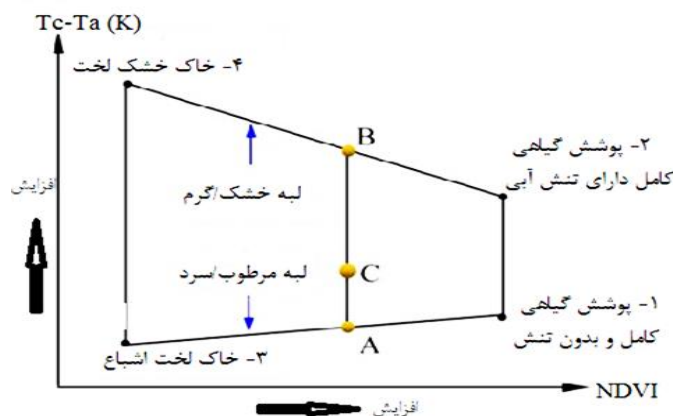
نقطه ۱: قطعه‌ای از مزرعه که دارای پوشش گیاهی کامل (۱۰۰ درصد) و رطوبت خاک در حد ظرفیت نگهداری خاک (۲۴ الی ۴۸ ساعت پس از آبیاری) است.

نقطه ۲: قطعه‌ای از مزرعه که دارای پوشش گیاهی کامل (۱۰۰ درصد) اما گیاه تحت تنش شدید قرار دارد.

نقطه ۳: نقطه‌ای از مزرعه که فاقد پوشش گیاهی است اما رطوبت آن در حد اشباع است.

نقطه ۴: قسمتی از مزرعه که پوشش گیاهی ندارد و خاک آن هم بسیار خشک است و معمولاً بسیار گرم‌تر از دمای هوای اطراف

است.



شکل ۲- شماتیک نمودار اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا

نقطه C مشخصات تیمار شاهد است.

با برازش یک خط بین نقاط حول دو راس بالایی دوزنقه ضلع بالایی دوزنقه و به طور مشابه با برازش یک خط بین نقاط حول دو راس پایینی دوزنقه فرضی، حد بدون تنش یا ضلع پایینی دوزنقه هم ترسیم گردید. اگر در روی محور افقی (محور NDVI) در دو نقطه یکی در NDVI برابر صفر و دیگری در NDVI برابر ۱ دو خطی موازی با محور عمودی رسم شود خطوط بالایی و پایینی را قطع خواهد کرد که همان شکل دوزنقه مورد نظر خواهد شد. با ترسیم اضلاع بالا و پایین دوزنقه، برای هر شاخص پوشش گیاهی و اختلاف دمای معین، شاخص WDI از رابطه ۱۳ محاسبه گردید (شکل ۲):

$$WDI = \frac{AC}{AB} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

لازم به یادآوری است که محاسبه CWSI و WDI در هر دو روش در مناطقی که پوشش گیاهی کامل بود صورت گرفت. در هر دو روش برای رسم نمودار خط مبنای بالا، هم از داخل تیمارها و هم از مزارع کمکی دیگر که خشک‌تر از تیمارها بودند داده برداشت شد اما برای خط مبنای پایینی فقط از داده‌های تیمارها استفاده شد.

## نتایج و بحث

با برداشت گندم و رعایت حاشیه، مقدار عملکرد و کارایی (فیزیکی) مصرف آب محاسبه گردید. نتایج تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب هر تیمار در جدول ۴ ارائه شده است. در جدول ۵ جزئیات مربوط به تاریخ عبور ماهواره و دریافت تصاویر، عمق آبیاری و باران موثر آمده است. همچنین در جدول ۶، توزیع بارش در طی فصل رشد ارائه شده است. با توجه به بافت خاک و توزیع بارش در طول دوره رشد گندم، بارندگی بیش از ۱۰ میلی‌متر که باعث افزایش رطوبت منطقه توسعه ریشه شده است، بعنوان بارش موثر در نظر گرفته شد که در محاسبات حجم آب مصرفی در تیمارها و کارایی مصرف آب (جدول ۳ و ۴) مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود اختلاف شوری آب آبیاری تیمار دوم (شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به شاهد آنقدر نبود که در عملکرد و کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌دار ایجاد کند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. اما تیمار سوم (شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر) اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ در عملکرد و کارایی مصرف آب ایجاد نمود. این نتایج نشان داد که مقدار جذب آب توسط ریشه در تیماری که با آب شورتر (۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری می‌گردد نسبت به تیمار شاهد کمتر می‌شود و برای دستیابی به عملکرد معادل تیمار شاهد باید آب بیشتری مصرف شود. عبارت دیگر باید دور آبیاری در این تیمار کمتر از دور آبیاری در تیمار شاهد باشد. این موضوع را می‌توان اینگونه تحلیل کرد که بعد از هر آبیاری، وقوع تبخیر-تعرق و کم شدن رطوبت خاک مزرعه و افزایش نیروی مکش خاک از یک طرف و افزایش نیروی اسمزی از طرف دیگر باعث ایجاد تنش شوری گیاه گندم در تیمار ۳ و در نتیجه باعث افزایش درجه حرارت پوشش گیاهی در آن شده است؛ بنابراین تیمار ۳ زودتر از سایر تیمارها به حد (Ta) بهینه و در نتیجه CWSI و WDI بهینه رسیده و به همین دلیل شاخص‌های CWSI و WDI بهینه در تیمار ۳ کمترین مقادیر را داشتند (شکل ۳). اما چون دور و مقدار آب آبیاری همه تیمارها یکسان بود عملکرد گندم در تیمار ۳ که تحت تنش شوری بیشتری بود کاهش ۲۴/۳ درصدی پیدا کرد. *Xin et al.* (2016) در بررسی حساسیت آفتابگردان به شوری آب آبیاری گزارش نمود که تیمار ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سایر تیمارها در میزان کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ایجاد کرد. در تیمارهای ۰.۴، ۰.۶ و ۰.۸ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد به ترتیب به مقدار ۱۸/۴، ۲۶/۶ و ۳۶/۴ درصد نسبت به تیمار ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. در تیمارهای مختلف کاهش معنی‌دار عملکرد زمانی اتفاق می‌افتاد که شوری آب آبیاری بالاتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر شود.

مقادیر شاخص‌های CWSI و WDI محاسبه شده برای تیمارهای مختلف شوری و ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین (شکل ۴) نشان می‌دهد که مقادیر CWSI و WDI در اسفندماه نسبت به ماه‌های بهمن و فروردین کمتر و در این ماه تیمار آبیاری با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین مقدار را داشت. با کاهش این دو شاخص مطابق تعریف موران (۱۹۹۴) و ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) می‌توان نتیجه گرفت تبخیر-تعرق افزایش داشته است. بنابراین می‌توان گفت که در منطقه ایران شهر، گیاه گندم در اسفندماه بیشترین تبخیر-تعرق را داشته است که با توجه به میزان تبخیر-تعرق در طی ماه‌های فروردین (۱۵۹/۸ میلی‌متر) و اسفند (۱۷۱/۶ میلی‌متر) و بهمن (۹۷ میلی‌متر) مطابقت دارد. به عبارت دیگر با استفاده از شاخص‌های CWSI و WDI می‌توان میزان تبخیر-تعرق گیاهان زراعی را ارزیابی نمود. *Jolivot et al.* (2012) به تجزیه و تحلیل تنش آبی محصول گندم دوروم با استفاده از شاخص WDI و استفاده از الگوریتم S-SEBI از طریق تکنیک سنجش از دور پرداختند. آن‌ها ضریب همبستگی بین نسبت تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل اندازه‌گیری شده و به دست آمده از شاخص WDI را به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۵ گزارش کردند.



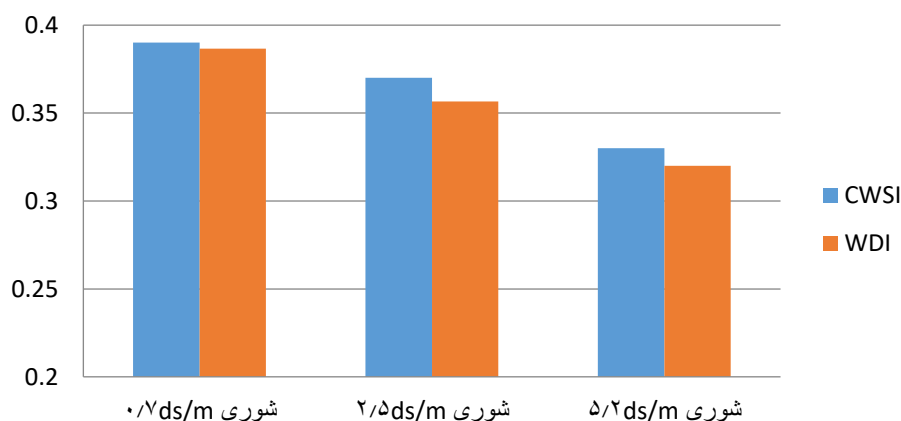
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب

صفت	درجه آزادی	عملکرد	کارایی مصرف آب	منابع تغییرات
				تکرار
تکرار	۳	۹۰۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	
تیمار	۲	۱۵۱۵۲۰۸ <sup>**</sup>	۰/۳۷ <sup>**</sup>	
خطا	۶	۶۰۷۶۳	۰/۰۰۱	
CV	-	۵/۶	۴/۴	

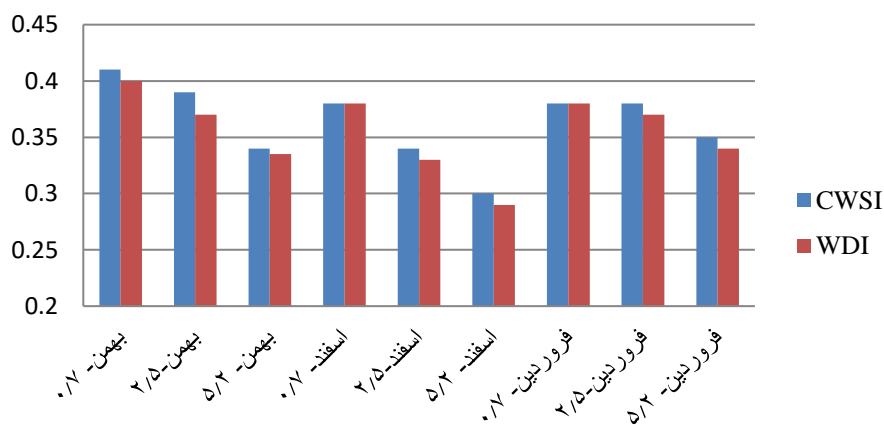
ns: غیر معنی‌دار، \* معنی‌دار در سطح ۵٪ و \*\* معنی‌دار در سطح ۱٪

جدول ۴- میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب و حجم آب مصرفی در تیمارها

صفت	عملکرد	کارایی مصرف آب	حجم آب مصرفی	تیمار
	کیلوگرم در هکتار	کیلوگرم بر مترمکعب	متر مکعب در هکتار	
شوری ۰/۷ dSm <sup>-1</sup>	۴۹۵۰	۰/۷۸	۶۳۸۵	
شوری ۲/۵ dSm <sup>-1</sup>	۴۵۸۸	۰/۷۲	۶۳۸۵	
شوری ۵/۲ dSm <sup>-1</sup>	۳۷۵۰	۰/۵۹	۶۳۸۵	
میانگین	۴۴۲۹	۰/۶۹	۶۳۸۵	



شکل ۳- میانگین مقادیر CWSI و WDI در شوری‌های مختلف آب آبیاری



شکل ۴- مقادیر CWSI و WDI در ماه‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

جدول ۵- تاریخ عبور ماهواره و دریافت تصاویر و جزئیات مربوط به آبیاری و باران موثر

ردیف	تاریخ تصویر و عبور ماهواره	تاریخ آبیاری	عمق آبیاری (mm)	باران موثر (mm)
۱	-	۱۵ آبان	خاک آب	-
۲	-	۳۰ آبان	۳۴	-
۳	۱۳۹۸ 2019 5 DES ۱۵ آذر	۱۴ آذر	۳۳	-
۴	۱۳۹۸ 2019 21 DES ۱ دی ماه	۳۰ آذر	۳۴/۲	-
۵	۱۳۹۸ 2020 6 JAN ۱۷ دی ماه	۱۶ دی	۳۳/۴	-
۶	۱۳۹۸ 2020 22 JAN ۳ بهمن	۲ بهمن	۲۱/۸	۱۵ میلی متر
۷	-	۱۰ بهمن	۳۷/۴	-
۸	۱۳۹۸ 2020 7 FEB ۱۹ بهمن	۱۸ بهمن	۳۹/۳	-
۹	-	۲۶ بهمن	۴۱/۲	-
۱۰	۱۳۹۸ 2020 23 FEB ۵ اسفند	۴ اسفند	۴۶	-
۱۱	-	۱۲ اسفند	۴۸/۷	-
۱۲	۱۳۹۸ 2020 10 MAR ۲۱ اسفند	۲۰ اسفند	۵۱	-
۱۳	-	۲۸ اسفند	۵۲/۷	-
۱۴	۱۳۹۸ 2020 26 AR ۸ فروردین	۷ فروردین	۴۹/۴	-
۱۵	-	۱۵ فروردین	۴۰/۹	۱۰
۱۶	۱۳۹۹ 2020 11 PR ۲۴ فروردین	۲۳ فروردین	۵۰/۵	-
-	۱۳۹۹ 2020 27 PR ۹ اردیبهشت	-	-	-
مجموع			۶۱۳/۵	۲۵

جدول ۶- توزیع بارش در طول دوره رشد

ردیف	تاریخ بارندگی	مقدار بارندگی میلی متر
۱	۱۳۹۸/۸/۳۰	۹
۲	۱۳۹۸/۹/۱	۰/۵
۳	۱۳۹۸/۹/۱۷	۱۱/۹
۴	۱۳۹۸/۹/۱۸	۱
۵	۱۳۹۸/۹/۲۰	۵/۵
۶	۱۳۹۸/۱۰/۱۶	۷/۵
۷	۱۳۹۸/۱۰/۲۰	۳/۲
۸	۱۳۹۸/۱۰/۲۱	۴۵/۳
۹	۱۳۹۸/۱۰/۲۲	۱۱/۴
۱۰	۱۳۹۸/۱۱/۴	۷
۱۱	۱۳۹۸/۱۱/۵	۱۰/۶
۱۲	۱۳۹۸/۱۱/۲۳	۲
۱۳	۱۳۹۸/۱۲/۱۹	۱/۵
۱۴	۱۳۹۸/۱۲/۲۰	۰/۷
۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۰۱	۰/۲
۱۶	۱۳۹۹/۰۱/۰۳	۴
۱۷	۱۳۹۹/۰۱/۰۴	۲/۲
۱۸	۱۳۹۹/۰۱/۱۰	۰/۵
۱۹	۱۳۹۹/۰۱/۱۱	۲/۵
۲۰	۱۳۹۹/۰۱/۱۲	۱/۲
۲۱	۱۳۹۹/۰۱/۲۵	۲/۵
۲۲	۱۳۹۹/۰۱/۲۶	۱/۴
۲۳	۱۳۹۹/۰۱/۲۸	۲/۸
۲۴	۱۳۹۹/۰۱/۲۹	۴/۵

ماهورهای همراه با ضریب تبیین در هر یک از تیمارها، به ترتیب در جداول ۷ و ۸ درج گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد خطوط مبنای بالایی در منحنی ایدسو برای هر سه ماه مستقل از VPD است لذا دارای ضریب تبیین نزدیک به صفر است. اما خطوط مبنای پایین با ضریب تبیین بالا نشان داد که همبستگی بالایی بین اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا (Tc-Ta) با VPD و NDVI به ترتیب در نمودار ایدسو و نمودار موران وجود دارد.

بر اساس مقادیر VPD و Tc-Ta، خط مبنای پایینی در نمودار ایدسو در تیمارهای شوری (۲/۵ و ۵/۲) تقریباً یکسان و نزدیک به هم بودند و این نشان داد در مواقعی که رطوبت خاک مزرعه در حد ظرفیت زراعی است نمک موجود در آب آبیاری باعث تغییر در مقدار جذب آب توسط گندم و در نتیجه مقدار تبخیر-تعرق نمی‌شود چون علی‌رغم وجود نمک به دلیل رطوبت بالای خاک، پتانسیل اسمزی و ماتریک خاک برابر صفر است و هیچ انرژی برای جذب آب و املاح برای ریشه گیاه گندم مصرف نمی‌شود اما خط مبنای بالا در همین نمودار در تیماری که با آب شورتر آبیاری می‌شد بالاتر از تیمار شاهد قرار گرفت (جداول ۷ و ۸) که این دلیلی بر تأثیر فزاینده شوری و نیروی اسمزی خاک در بالا رفتن دمای پوشش گیاهی در تیماری که با آب شور آبیاری می‌شود می‌باشد.

جدول ۷- روابط خط مبنای پایین و بالای تنش برای گندم در نمودار ایدسو برای منطقه ابرانشهر

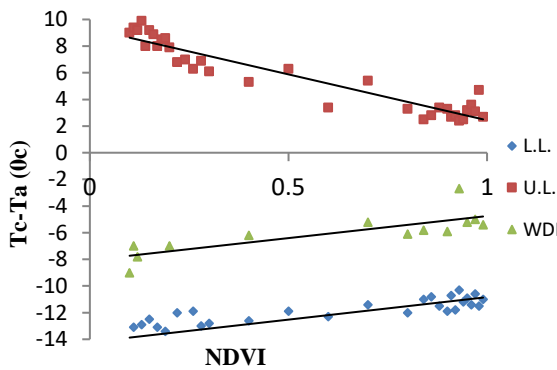
دوره رشد	تیمار	خط مبنا	رابطه	ضریب تبیین
	شوری ۰/۷ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = 0.0032 (VPD) + 3.7 \approx 3.7$	۰/۰۱
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.196 (VPD) + 0.49$	۰/۸۴
بهمن	شوری ۲/۵ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.0081 (VPD) + 4.3965 \approx 4.3965$	۰/۰۳
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.3167 (VPD) - 2.1338$	۰/۹۲
	شوری ۵/۲ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.0136 (VPD) + 5.7957 \approx 5.7957$	۰/۰۶
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.3154 (VPD) - 2.2859$	۰/۹۱
	شوری ۱۰/۷ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.0169 (VPD) + 4.8728 \approx 4.8728$	۰/۰۲
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.7191 (VPD) + 2.7957$	۰/۸۵
	شوری ۱۲/۵ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.0189 (VPD) + 5.0063 \approx 5.0063$	۰/۰۵
اسفند	شوری ۵/۲ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.6383 (VPD) + 1.581$	۰/۸۴
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.0169 (VPD) + 6.491 \approx 6.491$	۰/۰۴
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.7285 (VPD) + 2.7867$	۰/۹۰
	شوری ۱۰/۷ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = 0.0031 (VPD) + 4.3777 \approx 4.3777$	۰/۰۰
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.4523 (VPD) - 0.9843$	۰/۹۰
	شوری ۱۲/۵ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = 0.0008 (VPD) + 4.7462 \approx 4.7462$	۰/۰۰
فروردین	شوری ۲/۵ dSm <sup>-1</sup>	بالا	$(Tc-Ta)_{u,l} = -0.451 (VPD) - 1.0372$	۰/۹۲
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.0275 (VPD) + 6.3213 \approx 6.3213$	۰/۰۵
		پایین	$(Tc-Ta)_{l,l} = -0.4289 (VPD) - 1.38$	۰/۸۴

سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر شوری بر شاخص CWSI در ذرت تابستانه و زمستانه در منطقه اهواز به نتیجه مشابهی دست یافتند. بالا رفتن خط مبنای بالا در نمودار ایدسو مطابق رابطه (۱۲) باعث کاهش شاخص CWSI بهینه شد. با کاهش شاخص تنش خشکی گیاه گندم، اختلاف دمایی که در آن باید نسبت به آبیاری اقدام نمود کمتر شده و لذا باید زودتر از مزارعی که با آب بدون شوری، آبیاری می‌شوند آبیاری نمود. به عبارت دیگر دور آبیاری در مزارعی که با آب شور آبیاری می‌شوند کمتر از مزارعی است که با آب بدون شوری آبیاری می‌شوند. مشابه این نتایج در نمودار موران برای تیمارهای آبیاری با آب شور نسبت به تیمار شاهد هم بدست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش ضلع بالایی دوزنقه موران در شرایط خشکی کامل خاک لخت و بدون پوشش گیاهی، که مکش خاک در این حالت بسیار زیاد است. وقتی مزرعه گندم با آب آبیاری با شوری ۵/۲ آبیاری شد افزایش نیروی اسمزی باعث تشدید تنش و بالا رفتن درجه حرارت پوشش گیاهی و خاک مزرعه و باعث بالا رفتن ضلع بالایی دوزنقه موران گردید. از طرفی ضلع پایینی دوزنقه موران به دلیل داشتن رطوبت در حد ظرفیت زراعی هیچ محدودیتی حتی در تیمار آبیاری با آب شور از لحاظ جذب آب نداشت و همه تیمارها دارای آب کافی در اندام‌های هوایی پوشش گیاهی و در نتیجه دارای دمایی یکسانی می‌باشند و با توجه به یکسان بودن دمای هوا، ضلع پایینی دوزنقه در هر سه تیمار تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا نکرد. با توجه به بیشتر شدن فاصله ضلع بالایی از پایینی در تیمار آبیاری با آب شور و بر اساس رابطه ۱۳ مقدار شاخص WDI بهینه در این تیمارها کاهش پیدا نمود. کاهش این شاخص در تیمار آبیاری با آب شور، به معنای کاهش دور آبیاری است

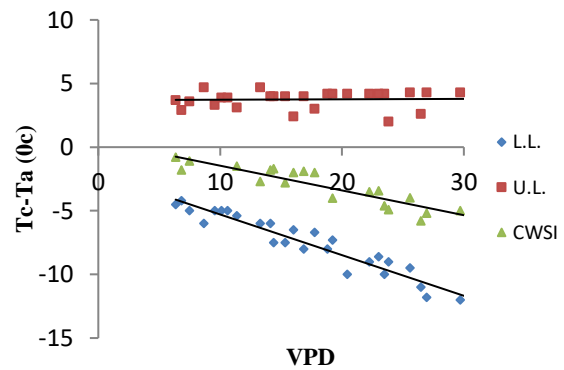
اما چون دور و مقدار آب آبیاری هر سه تیمار یکسان است بنابراین تیمار سوم مدت زمان بیشتری در تنش شوری قرار گرفته و کاهش عملکرد بیشتری داشته است (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۱۰).

جدول ۸- روابط خط مبنای پایین و بالای تنش برای گندم در نمودار موران برای منطقه ابرانشهر

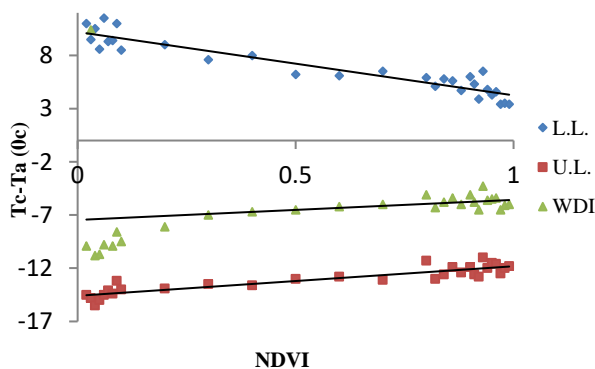
ضریب تبیین	رابطه	خط مبنا	تیمار	دوره رشد
۰/۹۰	$(Tc-Ta)_{u,1} = -6.7919 (VPD) + 9.3005$	بالا	شوری ۰/۷	بهمن
۰/۷۶	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.8003 (VPD) - 7.9522$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۸۶	$(Tc-Ta)_{u,1} = -6.1723 (VPD) + 9.0582$	بالا	شوری ۲/۵	
۰/۶۷	$(Tc-Ta)_{l,1} = 1.8163 (VPD) - 12.849$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۹۰	$(Tc-Ta)_{u,1} = -6.7408 (VPD) + 10.174$	بالا	شوری ۵/۲	اسفند
۰/۷۶	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.5328 (VPD) - 13.186$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۹۲	$(Tc-Ta)_{u,1} = -4.6672 (VPD) + 8.8943$	بالا	شوری ۰/۷	
۰/۷۹	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.5386 (VPD) - 13.753$	پایین	$sm^{-1}$	
۰/۹۳	$(Tc-Ta)_{u,1} = -5.7457 (VPD) + 10.132$	بالا	شوری ۲/۵	فروردین
۰/۸۱	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.5924 (VPD) - 13.759$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۹۲	$(Tc-Ta)_{u,1} = -6.9333 (VPD) + 11.847$	بالا	شوری ۵/۲	
۰/۸۳	$(Tc-Ta)_{l,1} = 3.5537 (VPD) - 14.581$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۹۴	$(Tc-Ta)_{u,1} = -4.9838 (VPD) + 9.2959$	بالا	شوری ۰/۷	فروردین
۰/۸۰	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.7064 (VPD) - 14.574$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۸۸	$(Tc-Ta)_{u,1} = -5.9523 (VPD) + 10.201$	بالا	شوری ۲/۵	
۰/۸۱	$(Tc-Ta)_{l,1} = 2.7745 (VPD) - 14.589$	پایین	$dSm^{-1}$	
۰/۸۴	$(Tc-Ta)_{u,1} = -6.7116 (VPD) + 11.675$	بالا	شوری ۵/۲	فروردین
۰/۸۲	$(Tc-Ta)_{l,1} = 3.137 (VPD) - 14.666$	پایین	$dSm^{-1}$	



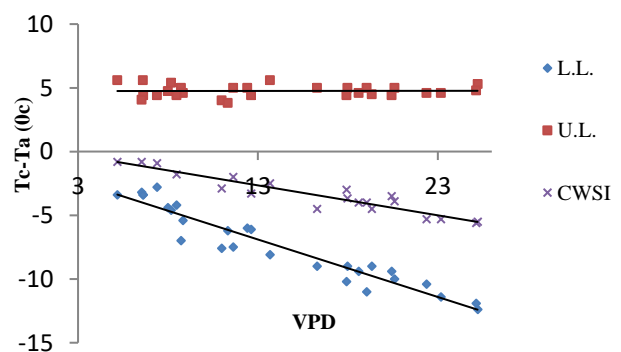
شکل ۶- نمودار خط مبنای بالا و پایین و WDI تیمار ۱



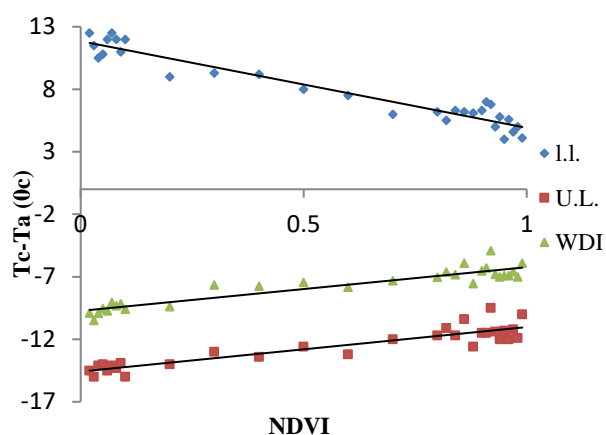
شکل ۵- نمودار خط مبنای بالا و پایین و CWSI تیمار ۱



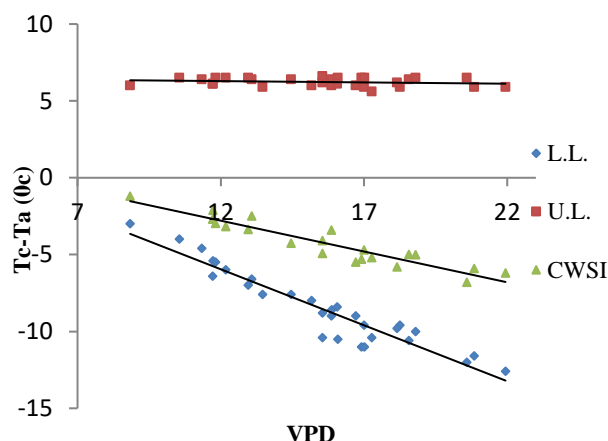
شکل ۸: نمودار خط مبنای بالا و پایین و WDI تیمار ۲



شکل ۷: نمودار خط مبنای بالا و پایین و CWSI تیمار ۲



شکل ۱۰- نمودار خط مبنای بالا و پایین WDI تیمار ۳



شکل ۹- نمودار خط مبنای بالا و پایین CWSI تیمار ۳

مقایسه CWSI و WDI در دو تیمار شوری با تیمار شاهد با استفاده از ضریب تبیین، جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین انحراف خطا در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد ارتباط نزدیکی بین شوری و شاخص‌های WDI و CWSI در هر دو نمودار وجود دارد. همچنین ضریب تبیین بین WDI و CWSI نشان از همبستگی بالای این شاخص‌ها دارد و گویای این مطلب است که می‌توان از تکنیک سنجش از دور برای مقاصد برنامه‌ریزی آبیاری گندم در منطقه ایرانشهر در شرایط شور بودن آب آبیاری هم استفاده کرد. با کمک تصاویر ماهواره‌ای ضمن جلوگیری از اتلاف وقت و ورود خطای زیاد، می‌توان به برنامه‌ریزی آبیاری گندم در سطح وسیع نه تنها برای پوشش گیاهی کامل بلکه برای پوشش‌های غیرمترکم نیز پرداخت.

آماره‌های جدول ۹ و نمودارهای شکل ۴ نشان می‌دهد که کمترین مقدار CWSI و WDI نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۲۹ در ماه اسفند و برای شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس برمتر حاصل شده است. این یعنی در مقایسه با تیمار شاهد دور آبیاری در این تیمار کمتر است. بعبارت دیگر تنش آبی گندم در این شرایط چند روز زودتر از تیمار شاهد به حدی می‌رسد که اگر آبیاری در آن روز صورت نگیرد کاهش عملکرد به میزان ۲۵ درصد اتفاق می‌افتد. با عنایت به اینکه کلیه عوامل اقلیمی موثر بر تبخیر-تعرق برای همه تیمارها یکسان است، پس کاهش دور آبیاری در این تیمار باید دلیلی غیر از بالا بودن تبخیر-تعرق در این تیمار و رسیدن رطوبت خاک به حدی که گندم دچار تنش می‌شود داشته باشد. وجود نمک در خاک، مهمترین عاملی است که علی‌رغم وجود رطوبت، گیاه قادر به جذب آن نیست و به دلیل همین نیروی نگهدارنده، تبخیر-تعرق در آنها کاهش می‌یابد و افت عملکرد اتفاق می‌افتد. نتایج تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش در انتهای فصل رشد برای تیمارهای ۰/۷، ۲/۵ و ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۱۰ ارائه شده است. میزان شوری خاک در منطقه توسعه ریشه گندم در ابتدای دوره رشد ۲/۴۷ دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۱) بود. در انتهای دوره رشد، میزان شوری در منطقه توسعه ریشه برای تیمارهای آب آبیاری با شوری ۰/۷، ۲/۵ و ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برابر با ۱/۲، ۲/۹ و ۶/۱ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد (جدول ۱۰). با توجه به اینکه اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی در نمودار ایدسو برای تیمارهای شوری ۲/۵ و ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر نزدیک به هم بودند می‌توان نتیجه گرفت وقتی که رطوبت خاک مزرعه در حد ظرفیت زراعی است، نمک موجود در منطقه توسعه ریشه باعث تغییر در مقدار جذب آب توسط گندم و در نتیجه مقدار تبخیر-تعرق نمی‌شود. چون علی‌رغم وجود نمک بدلیل رطوبت بالای خاک، پتانسیل اسمزی و ماتریک خاک برابر صفر است. در تیمار آب آبیاری ۵/۲ دسی‌زیمنس که باعث افزایش شوری در منطقه توسعه ریشه به میزان ۶/۱ دسی‌زیمنس بر متر شده است به دلیل تأثیر شوری و نیروی اسمزی خاک، دمای پوشش گیاهی بالا رفته و در نتیجه خط مبنای بالا در نمودار ایدسو بالاتر از تیمار شاهد قرار گرفت. (Xin et al. (2016) در مورد آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که شوری به میزان قابل توجهی باعث کاهش شدت تبخیر-تعرق می‌شود که مشابه یافته‌های این تحقیق می‌باشد. هنگامی که میزان شوری آب آبیاری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس برمتر می‌شود اثر کمبود آب بارزتر می‌شود. همچنین در پژوهش آنها تیمار ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر در سطح ۵٪ با سایر تیمارها در کارایی مصرف آب تفاوت ایجاد کرد.

جدول ۹- مقایسه CWSI و WDI تیمار شاهد (آب آبیاری با شوری ۰/۷ دسی زیمنس بر متر) با تیمارهای آب شور

آماره	آبیاری با آب شور ۲/۵ دسی زیمنس بر متر				آبیاری با آب شور ۵/۲ دسی زیمنس بر متر			
	R <sup>2</sup>	MBE	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MBE	MAE	RMSE
CWSI	۰/۰۶۶	۰/۰۴۴	۰/۰۲۰	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸
WDI	۰/۰۲۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸	۰/۰۸۴	۰/۰۸۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶۵

جدول ۱۰- تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش در انتهای فصل رشد برای تیمارهای مختلف

تیمار آبیاری	EC dSm <sup>-1</sup>	pH	N %	P.(Av.) p.p.m.	O.C %
شوری ۰/۷ دسی زیمنس بر متر	۱/۲	۷/۳۲	۳۷	۸/۳	۰/۳۷
شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر	۲/۹	۷/۵۶	۴۵	۹/۱	۰/۴۵
شوری ۵/۲ دسی زیمنس بر متر	۶/۱	۷/۹۲	۲۸	۷/۵	۰/۲۸

## نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اول بین CWSI و WDI همبستگی بالایی وجود دارد که قابلیت استفاده از تکنیک سنجش از دور در برنامه ریزی آبیاری گیاهان زراعی را نشان می دهد. دوم در شرایط استفاده از آب شور هم می توان با استفاده از شاخص های CWSI و WDI نسبت به تعیین زمان آبیاری گندم اقدام نمود. نتیجه مهم دیگری که بدست آمد این بود که هر نوع تنش اعم از تنش آبی و تنش شوری خط مبنای بالای نمودار ایدسو و موران را تحت تأثیر قرار می دهد ولی بر خط مبنای پایین اثرگذار نیست. پیشنهاد می گردد در مطالعات آتی از ماهواره هایی برای دریافت داده استفاده شود که زمان تصویربرداری متوالی آن کمتر از ماهواره لندست ۸ که هر ۱۶ روز یکبار است باشد.

## سپاس گذاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-6621 انجام شد که بدین وسیله از آن مجموعه تشکر و قدردانی می شود.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸ : محصولات باغبانی (جلد سوم). ۱۳۹۹. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران.

سعیدی نیا، م.، هوشمند، ع.، برومندنسب، س.، سلطانی محمدی، ا. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر کارایی شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹ (۴): ۱۲-۱.

علیزاده، ا. ۱۳۷۷. اصول طراحی سیستم های آبیاری. چاپ سوم. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد. ۵۴۴ ص.

فشائی، م. ۱۳۹۲. برآورد شاخص کمبود رطوبت و تخمین رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت مشهد). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

## REFERENCES

Agricultural statistics of 2018: horticultural products (third volume). 2019. Publications of the Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, Tehran. (In Persian)

Alghory, A. and Yazar, A. (2019). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit

- irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. *Irrigation Science*, 37, 61–77  
<https://doi.org/10.1007/s00271-018-0603-y>.
- Alizadeh, A. (1998). Principles of designing irrigation systems. (3rd Ed). Publishing of Astan Quds Razavi, Mashhad. pp: 544. (In Persian)
- Banzragch, B. M., Damdinpurev, N. M. and Batzorig. E. M. (2018). Monitoring Drought Stress Index in Wheat Field of Mongolia Using Remote Sensing. 14th international conference on precision agriculture June 24th-27th.
- Bozkurt Çolaka, Y. Yazarb, A., Çolakc, I., Akçaa, H. and Duraktekina, G. (2015). Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems. *Agriculture and Agricultural Science*, Pp: 372 – 382. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- Fashaei, M. (2012) Estimation of Moisture Deficiency Index and Estimation of Soil Moisture Using Remote Sensing (Case Study: Mashhad Plain). Master of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Girolimetto, D. and Venturini, V. (2013). Water Stress Estimation from NDVI-Ts Plot and the Wet Environment Evapotranspiration. *Advances in Remote Sensing*, 2, 283-291.
- Idso, S. B. (1982). Non-water-stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27(1-2), 59-70.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter Jr, P. J., Reginato, R. J., & Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural meteorology*, 24, 45-55.
- Jolivot A., Labbé S. and Lebou rgeois, V. (2012). Con tribution of remote sensing i n analysis of crop water stress. Casestudy on durum wheat. *Options Méditerranéennes*, 67, 209- 216.
- Khorsand, K. H., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni-Heris, A., Rahimi, A., Besharat, S. and Sadraddini, A. (2021). Linking plant and soil indices for water stress management in black gram. *Scientific report*, 11 (869), <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79516-3>
- Moran M. S., Clarke T. R., Inoue Y., and Vidal, A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49, 246–263.
- O’Toole, J. C. and Hatfield, J. L. (1983). Effect of wind on the crop water stress index derived infrared thermometry. *Agronomy Journal*, 75(5), 811–817. <https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500050019x> (1983).
- Saeedinia, M., Hooshmand, A., Boroomand Nasab, S., Soltani Mohamadi, A. and Andarzian, B. (2014). Investigation of the Effect of Water Irrigation Salinity on The Performance of CWSI Index Under Climatic Conditions of Ahvaz. *Irrigation and Engeneering Science*, 39(4),1-12. (In Persian)
- Sezen, S. M., Yazar, A. and Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., and Akhoundnejad, Y. (2014). 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.
- Tanriverdi, C., Atilgan, A., Degirmenci, H. and Akyuz, A. (2017). Comparasion of crop water stress index (CWSI) and water deficit index (WDI) by using remote sensing (RS). Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, pp. 879–894.
- Wang, W., Huang, D., Wang, X. G., Liu, Y. R. and Zhou, F. (2011). “Estimation of Soil Moisture Using Trapezoidal Relationship between Remotely Sensed Land Surface Temperature and Vegetation Index,” *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1699-1712. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-1699-2011>.
- Yang, Z., Wen-bin, W.U., Di, L., and Ustundag, B. (2017). Remote sensing for agricultural applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 239-241.
- Xin, H., Peiling, Y., Shumei, R., Yunkai, L., Guangyu, J., & Lianhao, L. (2016). Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(2), 63-73.



## Investigating the effect of irrigation water salinity on wheat irrigation scheduling using CWSI and WDI indices (Case study of Iranshahr)

### Extended Abstract

#### Introduction

Wheat irrigation planning in Sistan and Baluchistan province is of particular importance, firstly because of its large cultivated area and secondly because of the variety of irrigation water quality. With wheat irrigation planning, it becomes possible to estimate water consumption, manage water allocation and improve its productivity. It is possible to determine the irrigation time using three methods: soil and climate Indices, water balance and plant indices. Using the plant index is more accurate and faster than the other two methods due to the direct use of the plant itself. Using the surface temperature of the vegetation is the most efficient method to know the water stress of the crop. One of the reliable indicators based on the plant stress is the idso's Crop Water Stress Index (CWSI). Moran et al. also presented the Water Deficit Index (WDI) for non-dense vegetation conditions, in which the surface temperature of the soil and plant are measured simultaneously. The ineffectiveness of CWSI in irrigation planning of crops with no full vegetation cover, as well as being time-consuming and expensive compared to WDI on one hand and the salinity of the irrigation water in the region on the other hand caused that in this research, while examining the changes of the upper and lower baselines in the idso and Moran diagrams, the CWSI and WDI indices are investigated under saline irrigation water. It seems that by determining the optimal CWSI and WDI indices in the months of February, March and April, (months with full vegetation), an effective step can be taken in determining the optimal irrigation time for wheat in Iranshahr region.

#### Materials and Methods

In order to investigate the effect of irrigation water salinity on the upper and lower baselines in the Idso and Moran diagram as well as the index (CWSI) and (WDI), an experiment in a randomized complete block design was carried out with three irrigation treatments including (1) irrigation with water of  $EC= 0.7$  dS/m (control treatment), (2) irrigation with water of  $EC= 2.5$  dS/m and (3) irrigation with water of  $EC= 5.2$  dS/m in 4 replications in the fields of Iranshahr Agricultural and Natural Resources Research Center and nearby lands with an area of at least 2 ha for each treatment. To draw the idso diagram and calculate the CWSI, field observations such as vegetation temperature ( $T_c$ ) was measured using an infrared thermometer, air temperature ( $T_a$ ) using a conventional thermometer, and relative humidity (RH) using a facial wet and dry thermometer. To draw Moran's trapezoid diagram and calculate WDI, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Vegetation Temperature ( $T_c$ ) according to the instructions from different parts of the field (each treatment) were obtained from the NDVI and  $T_c$  maps through Landsat 8 satellite images. At the end of the experiment, while examining the effect of irrigation water salinity on the upper and lower baselines in the Idso and Moran diagrams, the optimal values of CWSI and WDI indices in the control treatment were calculated and the basis for evaluating CWSI and WDI for treatments (2) and (3) was placed.

#### Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the difference in the salinity of the irrigation water of the second treatment ( $EC= 2.5$  dS/m) compared to the control was not enough to create a significant difference in the performance and efficiency of water consumption. However, the third treatment ( $EC= 5.2$  dS/m) created a significant difference at the level of 1% in the performance and efficiency of water consumption. These results showed that the amount of water absorption by the roots in treatment irrigated with more salty water (5.2 dS/m) is lower than the control treatment and more water must be consumed to achieve the equivalent performance of the control treatment. In other words, the frequency of irrigation in this treatment should be less than the frequency of irrigation in control. The results showed that the values of CWSI and WDI in March were lower than in February and April, and in this month the irrigation treatment with salinity of 2.5 dS/m had the lowest value. With the decrease of these two indicators, it can be concluded that evapotranspiration has increased. Therefore, it can be said that in Iranshahr region, wheat had the most evapotranspiration in March. Comparison of CWSI and WDI in two salinity treatments with control using the coefficient of determination, root mean square error, mean absolute error and mean bias error showed that there is a close relationship between salinity and CWSI and WDI indices.



**Conclusion**

The results of this research showed that firstly, there is a high correlation between CWSI and WDI, which shows the possibility of using remote sensing technique in crop irrigation planning. Second, in the conditions of using saline water, it is possible to determine the irrigation time of wheat by using CWSI and WDI indices. On the other hand, any type of stress, including water and salinity stresses, has an effect on the upper baseline of the Idso and Moran diagrams, but not on the lower baselines.

**Keywords:** *Crop water stress index, Idso, Irrigation frequency, Satellite imagery, Water deficit index*