## Comparison of the Ability of Sentinel-2 and Landsat 8/9 in Detecting Water Stress in Sugarcane

## ABSTRACT

Water stress is one of the most important factors affecting the evaluation of water content and the monitoring of plants. If water stress is properly recognised, yield can be improved and waste of water resources prevented in the short term. The aim of this study is to compare the capability of the infrared bands of the Sentinel 2 satellite and the thermal bands of the Landsat 8-9 satellite to determine water stress in the Amir Kabir Sugarcane Agro-Industry Unit in Khuzestan province. Actual calculated stress data based on the empirical Idso equation were used for the evaluation. The find surface temperature index (LST) based on Landsat 8-9 thermal bands and the moisture stress index (MSI) based on Sentinel 2 infrared bands were used to estimate water stress. The results show that the Landsat 8-9 satellite thermal bands with an average, R<sup>2</sup> of 0.78-0.92, RMSE of 0.08-0.11, rMBE of 14.54-14.20, and r of 0.88-0.96, showed a slightly better estimate of the actual stress data than the infrared bands of Sentinel 2 with an average R<sup>2</sup> of 0.74-0.89, RMSE of 0.14-0.15, rMBE of 28.8-38.6 and r of 0.86-0.94. However, the trend of stress changes for the two satellites is similar to the actual values. Based on the spatial distribution map, the estimated water stress was determined using thermal and infrared bands with highest stress of 0.65 and 0.69, on July 24, respectively. Therefore, both satellites performed acceptably to estimate the water stress of sugarcane, and when Landsat 8-9 imagery is unavailable, the use of Sentinel-2 imagery is recommended for crap water stress estimation.

Keywords: Precision instrumentation, remote sensing, moisture sress index, surface temperature index, crop monitoring.

١

#### **EXTENDED ABSTRACT**

#### Introduction:

Increasing the water productivity of crops to meet growing demand and global food production is one of the greatest challenges facing global agriculture (Das et al., 2024). Accurate and timely determination of water stress in agricultural systems can help optimize crop water productivity (King et al.,2020). Water stress is one of the most critical abiotic stressors limiting plant growth, crop yield and quality of food production (Gerhards et al., 2016; Hsiao et al., 1976). The Idso method was developed in the past to normalize and quantitatively assess leaf temperature. Remote sensing (RS) is a powerful and reliable tool that has facilitated the study of canopy water status (Solgi et al., 2023). The main remote sensing techniques for detecting crop stress (water stress and other types of stress) are infrared thermal imaging infrared and short-wave infrared reflectance.

Due to the climatic conditions of the study area, which faces water scarcity accurate estimation of crop water stress is essential to improve irrigation management. So, the aim of this study was to use the thermal bands from the Landsat 8-9 satellites and the infrared bands from the Sentinel 2 satellite for CWSI prediction and to compare them with the CWSI data calculated from sensor data and the Idso method.

#### Material and method:

Meteorological data were collected from the meteorological station of Amir Kabir Agro Industry, including air temperature (Ta), dew point temperature (Tdew) and relative humidity (RH) during the water critical seasons (July, August, September). Four fields were selected for daily measurements. The measurements, including Tc, Ta and RH, were taken automatically and simultaneously on the days and at the times of the satellite overflight at 10:30 am. In this study, four cloudlets Landsat 8-9 satellite images and four sentinel2 were used on four day, Simultaneously. In order to evaluate, actual stress calculated were used, (empirical Idso methed). To estimate the water stress, the land surface temperature index (LST) based on the Landsat 8-9 thernal bands and the moisture stress index (MSI) based on the Sentinel-2 infrared tands were used. Subsequently, the dimensionless moisture stress index (MSI) was determined. Also, in order to focus on agricultural lands and water stress changes at fields, outliers and areas without vegetation should be removed from the images. To assess the accuracy of the estimated CWSI from thermal bands of Landsat 8-9 and infrared bands Sentinel2 with CWSI calculated from the Idso method statistical metrics were used.

## **Result and Discussion:**

The results of predicted CWSI of Landsat 8-9 thermal bands compared to actual (calculated) CWSI values on July 7 were R<sup>2</sup> of 0.89, RMSE of 0.09, rMBE of 19.12, and r of 0.94. Also, the results of evaluating the Sentinel 2 infrared bands were R<sup>2</sup> of 0.74, RMSE of 0.15, rMBE of 1.34, and r of 0.86. Also, on July 24, the results for the thermal and infrared bands were obtained with R<sup>2</sup> equal to 0.92 and 0.89, RMSE equal to 0.08 and 0.14, rMBE equal to 14.20 and 6.38, and r equal to 0.96 and 0.94 for the thermal and infrared bands, respectively. In the middle of the studied interval, on August 18, the following results were obtained with increasing temperatures: R<sup>2</sup> of 0.82 and 0.84, RMSE of 0.11 and 0.15, rMBE of 19.5 and 28.5 for the thermal and infrared bands, respectively. Also, at the end of the interval, on September 2, results were obtained with R<sup>2</sup> equal to 0.78, RMSE equal to 0.08, rMBE equal to 0.77, RMSE equal to 0.14, rMBE equal to 30.8, and r equal to 0.88 for the infrared bands of Sentinel2. Based on the spatial distribution map, the estimated water stress was

obtained using the thermal and infrared bands with the highest stress of 0.65 and 0.69 on July 24, respectively. Therefore, both satellites performed acceptably in estimating the water stress of sugarcane, and in the unavailability of Landsat 8-9 images, the use of Sentinel 2 images is recommended for estimating crop water stress.

## **Author Contributions**

The authors contributed to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

## Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

## Acknowledgements

The authors would like to grateful the Research Council of Shakid Chamran University of Ahvaz for financial support (GN: SCU.WI1401.273). Also, thanks to the CEO and staff of Amir Kabir Sugarcane Agro-Industry who cooperated in the preparation of this research.

## **Ethical considerations**

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

## **Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

# مقایسه توانایی تشخیص تنش آبی گیاه نیشکر با استفاده از ماهواره های سنتینل۲ و سری لندست

تنش آبی گیله ز مهمترین عرض تأثیرگذار بر مدیریت آب و نظارت بر وضعیت دسترسی گیاه به آب بوده، که در صورت تشخیص دقیق در کوتاهمدت سبب بهبود عملکرد و جلوگیری از هدررفت منابع آب میدردد. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه قابلیت باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل ۲ و باندهای حرارتی ماهواره لندست ۹-۹ هر تعیین تنش آبی گراه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر، واقع در استان خوزستان بود. بهمنظور ارزیابی برآوردها از دادههای واقعی محاسبه شده ندش براساس حیطرهای دما و رطوبت نسبی نصب شده در نقاط مختلف مزارع و معادله تجربی ایدسو استفاده گردید. برای برآورد تنش آبی براساس اندهای حرارتی لندست ۹۰ از شاخص دمای سطح زمین (LST) و براساس باندهای فروسرخ سنتینل ۲ از شاخص تنش رطوبتی (MSI) استفاده گردید. طبق یافتهها، باندهای موالی لندست ۹۰ ه به طور میانگین با ۲۵ معادل ۲۰/۹۰ MSE معادل ۲۱/۱۰ رطوبتی (MSI) معادل ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ دار سبت به باندهای فروسرخ سنتینل ۲ از شاخص تنش معادل ۲۰/۰۸ معادل ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ داری ماهواره لندست ۹۰ ه به طور میانگین با ۲۵ معادل ۲۰/۱۰ RMSE معادل ۲۱/۰۰ معادل ۲۱/۱۰ معادل ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ داری ماهواره لندست ۲۰ ه به طور میانگین با ۲۵ معادل ۲۰/۱۴ معادل ۲۱/۱۰ معادل ۲۰/۱۰ ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ داری ماهواره لندست ۲۰ م به طور میانگین با ۲۵ معادل ۲۰/۱۴ دار اورد معادل ۲۰/۱۵ معادل ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ داری در ۲۰ ما دوسرخ سنتینل ۲ به طور میانگین با ۲۵ معادل ۲۱/۱۴ داد اما روند معادل ۲۰/۱۴ معادل ۲۰/۱۴ و ۲ معادل با ۲۹٬۰۰۳ داری در ۲۰ معاد ما ۲۹٬۰۰۳ داری در مانورد در اما روند تغییرات تنش در هر دو ماهواره تفاوت معنی داری در ۱۴۵۱ نمی معد. همچنین، براساس نقشه پراکنش مکانی تنش آبی برآورد شده با استفاده از باندهای معادل ۲۰۱۲ در ماهواره تفاوت معنی داری را نشان نمی معد. همچنین، براساس نقشه پراکنش مکانی تنش آبی برآورد شاه با ساندهای مراز در و ماهواره در برآورد تنش آبی نیشکر عماکرد قابل قبولی داشته و در صورت عدم دسترسی به تصاویر لندست ۹ مرداد حاصل گردید. ندا، هر دو ماهواره در برآورد تنش آبی گیاه پیشنهاد می گردد.

**واژه های کلیدی:** ابزار دقیق، سنجش از دور، شاخص تنش رطوبتی، شاخص دمای سطح ، نظارت محصو

حكيده

#### مقدمه

کمبود آب به عنوان یک نگرانی مبرم جهانی، تأثیر قابلتوجهی بر عملکرد محصولات داشته و کاهش روزافزون منابع آب در دسترس، همراه با رقابت فزاینده ، احتمال دسترسی به منابع آب آبیاری را کاهش میدهد(Kumari et al., 2024). همچنین، امنیت غذایی جهانی یکی از مهمترین چالشهای قرن اخیر با توجه به روند افزایش جمعیت میباشد (Kang et al., 2009). در این میان، تنش آبی بهعنوان مهمترین عامل غیرزیستی بوده، که رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصول را در تولید محصولات غذایی، محدود می کند (Gerhards et al., 2016; Hsiao et al., 1976). بنابراین، راهبرد پیشرفته برنامهریزی آبیاری بهویژه برای افزایش استفاده کارآمد از آب و حفظ عملکرد و کیفیت محصول مورد نیاز است ,Zhou et al., 2021; King et al.). (2020 تنش ناشی از کمبود آب که معمولاً به تنش آبی یا خشکی کوتاهمدت اطلاق میشود، یک ویژگی فنوتیپی است که بهدلیل کمبود آب در دسترس و عدم وجود رطوبت قابل قبول یا کاهش پتانسیل آب خاک، کم آبی را در گیاه نشان میدهد (Gerhards et al., 2016; Hopkins and Huner., 2009). شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) بهطور گسترده برای ارزیابی وضعيت آب كيام مورد استفاده قرار مي گيرد (Zhao et al., 2021). ارزيابي شاخص CWSI و وضعيت آب تاجيوشش از طريق دماسنج فرسرخ حرارتي داي اولي بار توسط (Jackson et al., 1977) پيشنهاد شد. رويكرد نظري جكسون، بهدليل پيچيدگي معادله و پارمترهای مورد نیاز مورد استقبال قرار درفت. بنابراین، این رویکرد به دنبال توسعه CWSI در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط ایدسو گسترش یاف) (dso et al., 1981). روش ایدسو قابلیت عمومی بیشتری دارد و در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار (Berni et al., 2009; Taghvaeian et al., 2014; Veysiet al., 2017; Katignbo et al., 2022, Das et كرفته است (al., 2024). قابل بیان است، روش ایدسو نیر با محدودیتهایی روبره بوده، بدین جهت که، تنها در مقیاس مزرعه بهخوبی عمل نموده و در وسعت کلان جوابگو نمیباشد. سنجش از دور، ابزاری قدرتمندی برای نظارت بر مسائل مربوط به تنشهای وارده بر محصولات کشاورزی و ارزیابی وضعیت آب گیاه می باشد Besten et al., 2021). سنجش از دور، امکان نظارت سریع و غیرمخرب مکانی-زمانی بسیاری از ویژگیهای فیزیولوژیکی و ساختاری محصول را فراهم میکند. از سنجش از دور بهمنظور تشخیص تنش گیاه (تنش آبی و سایر انواع تنش) از طریق تصویربرداری با مادهای حرارتی، مرئی، فروسرخ نزدیک و طول موج کوتاه استفاده می شود (Jones et al., 1963) ما دارهای سری لندست به دلیل دارا بودن باند حرارتی، قادرند تنش را برآورد کنند. با قرارگیری ماهواره لندست ۲ در مدارد در کنار ماهواره لندست ۸، دوره تصویر برداری سری لندست، ۸ روزه شده و خلاء زمانی ۱۶ روزه را کاهش میدهد. با این وجود، منور هم ملاک قابل قبولی در برآورد مش آبی در مقیاس زمانی کوتاه نمیتواند باشد. برایناساس، با کاربرد ترکیبی باندهای حرارتی ماهواره ل**ندست ۸ د**ر کنار باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل۲ می توان خلاء زمانی را تا حد زیادی کاهش داد. مطابق تحقیقات اخیر، کاربرد دادههای ماهواره اندست۸ و سنتینل۲ در مدیریت و برنامهریزی آبیاری و برقراری ارتباط میان تنش آبی گیاه و رطوبت سطحی خاک صورت گرفته است (مزیدی و همکاران۱، ۱۴۰۳؛ مزیدی و همکاران۲، ۱۴۰۳؛ Makaya et al., 2019؛ Varino et al., 2018؛ Varino et al., 2018) همچنین، سنجش از دور فروسرخ حرارتی<sup>۲</sup>(TIR) بهدلیل ارتباط مستقیم بین شاخص دمای سطح<sup>۳</sup>(LST) و تابش حرارتی سطحی بعنوان عاملی مؤثر برای کمیسازی درجه تنش آبی گیاهان در نظر گرفته شده و برآورد دمای تاجپوشش، محتوای رطوبتی گیاه و تنش آبی گیاه براساس شاخصهای طیفی نوری و حرارتی برای برنامهریزی آبیاری گیاهان صورت می گیرد (Wang et al., 2022; Veysi et ) al., 2020; Veysi et al., 2017). ماهواره سنتینل۲ با قابلیت دسترسی تصاویر ۴ روزه در هر ماه و دارا بودن باندهای مرئی و فروسرخ (فاقد باند حرارتی) در کنار تصاویر ماهواره سری لندست۸–۹، اگرچه سبب برآورد تنش روزانه نمی شود، اما تا حد زیادی به کاهش مقیاس زمانی در برآورد تنش آبی منجر میگردد. براساس مطالعات انجام شده، بهمنظور استخراج بهتر اطلاعات ویژگیهای طیفی در ارتباط با محتوای آب خاک و گیاه، محققین چندین شاخص طیفی، از جمله شاخص تنش رطوبتی<sup>۴</sup>(MSI)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Crop water stress index

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Thermal

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Land Surface Temperature

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Moisture Stress Index

را پیشنهاد کرده و معتقدند در بازیابی تغییرات رطوبتی حساس میباشند. براین اساس، شاخصهای طیفی نوری نیز در تشخیص تغییرات رطوبتی و تنش آبی وارده به گیاه در زیست و مهای مختلف استفاده می شوند ( ,Ren et al., 2022; Chai and Chen) 2016; Lees et al., 2019; Liu et al., 2016. در این زمینه پژوهشهای فراوانی انجام گرفته است، مزیدی و همکاران ۱ (۱۴۰۳)، بهمنظور ارزیابی و برآورد تنش آبی گیاه پنبه مبتنی بر تغییرات رطوبتی خاک، از دادههای ماهواره لندست۸–۹ و سنتینل۲ و ارتباط بین محتوای رطوبتی خاک و شاخصهای گیاهی در مناطق روستایی شهرستان گرگان استفاده نمودند. نتایج نشان داد، ماهواره لندست۸-۹ نسبت به ماهواره سنتینل۲ از دقت بالاتری برخوردار بود و حداکثر ضریب تعیین و خطا برای ماهواره سنتینل۲ بهترتیب برابر با ۴/۶ و ۴/۹ درصد بهدست آمد. در دیگر پژوهش مزیدی و همکاران (۱۴۰۳)، تنش آبی پنبه با استفاده از تصاویر ماهوارهای لندست۸-۹ و سنتینل۲، مبتنی بر درخت M5، (Quinlan, 1992) برآورد گردیده و رطوبت خاک را بهعنوان نماینده تنش آبی گیاه بهطور مستمر مورد پایش قرار دادند. نتایج نشان داد، ماهواره لندست با ضریب تعیین ۲/۷ و سنتينل با ضريب تعيين ۱/۶۷ رابطه بهينه را نشان دادند. در پژوهش (Karlqvist et al. (2024)، بازيابي رطوبت گونههاي خزههای اسفاگنو با استفاده از دادههای فراطیفی و چندطیفی در دو زیستگاه شمالی در فنلاند انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از دادهای چندطیف به جای دادههای فراطیفی، نتایج قابل توجهای را در تخمین رطوبت براساس شاخص تنش رطوبتی (MSI) ارائه میدهد در تحقیق دیگری، (Solgi et al. (2023، وضعیت محتوای آب تاجپوشش مزارع گندم زمستانه را با استفاده از شاخص های یوشش گیاهی طیفی در شیراز بررسی کردند. براین اساس، از شاخص های پایش رشد گیاه (شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده، NDVT)، وضعیت أب گیاهن (شاخص بازتاب گیاه طول موج کوتاه، SCRI') و تنش خشکی گیاهی (شاخص تنش رطوبتی، MSI) بامطور ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری بر آب اج پوشش استفاده نمودند. نتایج نشان داد که استفاده ترکیبی از شاخصهای گیاهیؓ (VIs) در تشخیص سطوح نیش خشکی گیاه مؤثر واقع شده و شاخص MSI در کنار دیگر شاخصها، در تشخیص وضعیت عملکرد گیاه نقش بسزایی مانشک در ادامه بیز پژوهش (Ren et al. (2022)، از شاخصهای طیفی برای بازیابی دقیق رطوبت خاک تحت تنش آبی گیاه کنده زمستانه در منطقه جیائوژو، استفاده کردند. بهمنظور تعیین قابلیت شاخصها برای تشخیص رطوبت، آزمایشهای تنش آسد مقیاس مزرعه و روی گندم زمستانه در طول فصل رشد انجام شد. یافتهها بیانگر عملکرد بسیار خوب تمامی شاخصها ب<mark>خص</mark>وص شاخص ISI در بازیابی رطوبت خاک در عمق ۴۰–۰ سانتیمتر میباشد. در مطالعه دیگری، (2020) amshidi et al. میباشد. در مطالعه دیگری، (2020) amshidi et al. میباشد. در مطالعه دیگری، استفاده از اندازه گیری های در محل و دادههای تصاویر ماهوارهای لندست و سنتینل۲ پرداخته. علاوه د این، CWSI براساس باندهای حرارتی ماهواره لندست و استفاده از پیکسلهای سرد-گرم (رویکرد ۱) و یک روش جدید همراه با استفاده از دادههای ماهواره سنتینل۲ (رویکرد ۲) برآورد شد. درنهایت رویکرد ۲ و استفاده از تصاویر سنتینل۲ با ریشه میانگین مربط فی ۲۰۰۳ و میانگین خطای بایاس -۰/۰۲ منجر به دقت بالاتری در تخمین CWSI شد. همچنین، استفاده از تصاویر با وضوح الا سنچدل ۲ برای کاهش تأثیر پس زمینه خاک بر دمای تاج پوشش نسبت داده شد. در پژوهش (Veysi et al. (2017)، ب<mark>ه برآم</mark>رد شاخص CWSI، براساس باندهای حرارتی ماهواره لندست۸، جهت پایش تنش آبی گیاه و برنامهریزی آبیاری در مزارع نیشکر پرداختد. نتایج نشان داد که، CWSI براساس رویکرد جدید نقاط گرم-سرد میتواند به طور مؤثر در برآورد تنش آبی نیشکر با استفده تصاویر ماهوارهای مورد استفاده قرار گیرد.

بنابر تحقیقات انجام شده و با توجه به نوع اقلیم منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان) که با محدودیت آب مواجه بوده، به منظور ایجاد برنامهریزی دقیق آبیاری، تعیین CWSI روزانه ضروری است. همچنین، نیشکر بهعنوان گیاهی با نیاز آبی قابل توجه و به عنوان یک محصول راهبردی برای تضمین امنیت غذایی در منطقه محسوب می شود. لیکن، وسعت و تراکم بالای مزارع کشتوصنعت نیشکر امیرکبیر واقع در استان خوزستان و اغلب عدم وجود حسگر و ابزار دقیق برای اندازه گیری پارامترهای مؤثر

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Sphagnum

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Normalized Difference Vegetation Index

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Shortwave Crop Reflectance Index

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Vegetation Indices

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Jiaozhou

بر CWSI در نقاط مختلف مزارع نیشکر، مسئلهای غیر قابل انکار است. همچنین، نظر به عدم دسترسی به تصاویر ماهوارهای روزانه برای پایش تنش آبی گیاه، میبایست تا جای امکان خلاء زمانی ایجاد شده در زمان تصویربرداری کاهش داده شود. برایناساس به مقایسه تصاویر ماهوارهای لندست۸–۹ و سنتینل۲ بهمنظور پایش تنش آبی گیاه براساس شاخص CWSI پرداخته میشود، که تاکنون در هیچ مطالعهای مورد ارزیابی قرار نگرفته و لذا بهعنوان نوآوری تحقیق حاضر معرفی می گردد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی قرار نگرفته و لذا بهعنوان نوآوری تحقیق حاضر معرفی می گردد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی قابلیت باندهای حرارتی ماهواره لندست۸–۹ و معادله ایدسو می باشد. معرفی می گردد. بنابراین، می شود، که تاکنون در هیچ مطالعه مورد ارزیابی قرار نگرفته و لذا به عنوان نوآوری تحقیق حاضر معرفی می گردد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی قابلیت باندهای حرارتی ماهواره لندست۸–۹ و معادله ایدسو می باشد.

## مواد و روشها

#### معرفي منطقه مورد مطالعه

کشتوصنعت امیرکیز یکی از مراکز مهم و تخصصی در زمینه کشت و تولید نیشکر در استان خوزستان میباشد. منطقه مطالعاتی دارای عرض جغرافیلی از ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه و طول جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه بالانفاع ۷ حز از سطح دریا است. مساحت این کشتوصنعت ۱۴۰۰۰ هکتار است و تمامی مزارع نیشکر دارای وسعته بکنواخت هستند. هر مزرعه به وست ۲۵ هکتار که طول نهر آبیاری مزارع ۲۰۰۰ متر و طول شیار ۲۵۰ متر است. براساس طبقهبندی های اقلیمی، منطقه ای میمخشک است و براساس داده های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه، میانگین سالانه دمای هوا ۲۷ درجه سانتی گراد و بارندگی انباشته ۱۹۰ میلی متر است. زهکشی زیرسطحی در عمق ۱۸ متری برای تمامی مزارع نصب شده است. بفت خاک منطقه مورد مطالعه، لوم رسی و رس سیلتی است. این منطقه مارندگی تابستانی ندارد و ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریو، بیشترین مصرف آب را دارند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی را نشان میدهد.



**شکل ۱.** موقعیت منطقه مطالعاتی

#### دادههای مورد استفاده

در پژوهش حاضر، چهار مزرعه با سنهای مختلف کشت، بازرویی اول، بازرویی دوم و بازرویی سوم برای اندازه گیری تنش آبی نیشکر انتخاب گردید. مطابق شکل ۲، در هر یک از مزارع، شبکهای از ابزار سنجش پروگزیمال<sup>۱</sup>در هریک از نقاط تحت پایش نصب شده است . دمای تاج پوشش (Tc)، دمای هوا (Ta) و رطوبت نسبی (RH) به طور مداوم با استفاده از ابزار دقیق اندازه گیری و مقادیر آنها بهطور میانگین هر ۳۰ دقیقه، از ساعت ۶ صبح تا ۶ عصر، در دادهبردار<sup>۲</sup>ثبت شدند. حسگرهای ثبت کننده دما، ثابت و بدون حرکت با زاویه اوج ۴۵ درجه به سمت سایبان و در فاصله حدود ۳۰–۱۰ سانتیمتری از محل تاج پوشش، بر روی یک پایه فلزی ۳ متری، نصب گردید. همچنین، با توجه به سرعت رشد و افزایش ارتفاع نیشکر، فاصله حسگر و سایبان به صورت هفتگی تنظیم گردید.



ازآنجایی که دماسنجهای فروسرخ استاندارد و مورد تأمید (دماسنج موسرخ Kane-may، مدل KM823)، دارای محدوده طیفی از ۸ تا ۱۴ نانومتر هستند، حسگرهای تعبیه شده در مزارع در متقارن با همین محدود طیفی بعد در این اساس با استفاده از روش رایج مخلوط آب و یخ در دمای صفر درجه واسنجی شدند(رسی ۱۳۱۰). اطلاحات ذخیره شده در دستگاه ثبت کننده داده مواظت و امنیت بیشتر از دستگاه ثبت کننده داده در برابر شرایط دمایی و حمله جانوران متگاه ها دون یک محفظه چوبی معاظت و امنیت بیشتر از دستگاه ثبت کننده داده در برابر شرایط دمایی و حمله جانوران متگاه ها دون یک محفظه چوبی معاظت و امنیت بیشتر از دستگاه ثبت کننده داده در برابر شرایط دمایی و حمله جانوران متگاه ها دون یک محفظه چوبی مکان اندازه گیری نیز با استفاده از فناوری موقعیت یاب جهانی (GPS) به دقت ثبت شد. به طور یکنواخت معاه اندازه گیریهای حسگر پروگزیمال به طور مداوم در فاصله ثابت ۶۰ متر از لبه میدان در سه نقطه از نقاط شاهد (نقاط وراپ لاک) انجام شد. سنگر پروگزیمال به طور مداوم در فاصله ثابت ۶۰ متر از لبه میدان در سه نقطه از نقاط شاهد (نقاط وراپ لاک) انجام شد. منابراین، میانگین ۳۰ دقیقهای دمای تاجپوشش، دمای هوا و رطوبت نسبی هوا، با استفاده از ابزار دقیق در محاسبات شاخص CP69 استفاده شد. همچنین، کلیه اندازه گیری ها در گرمترین ماههای سال شامل تیر، مرداد و شهریور سال ۱۴۰۲ و از بیشترین سطح زیرکشت در اراضی نیشکر را به خود اختصاص دادهاند (عباسی و شینی دشتگل، ۱۳۹۵). شکل ۳ نیز، نمایی از ابزار دقیق نصب شده در هر یک از مزارع تحت پایش را نشان می دهد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Proximal Sensing

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Data-logger

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Global Positioning System



شکل۳. نمایی از ابزار دقیق نصب شده در مزارع

# محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI

ایدسو (Idso., 1982) CWS را به عوان اختلاف دمای تاج پرشش گیاهی به دمای هوا (Tc-Ta) و کمبود فشار بخار هوا (VPD) در گیاهی با آبیاری گافی، در یک روز روشی آفتایی تحت شرایط محیطی استاندارد تخمین زد. برای تخمین CWSI، دو خط مرجع (خط مبنای پایین و خط مبنای بالا): محتص گیاه باید نشخص شوند. خط مبنای پایین نشان دهنده سطح بدون تنش آبی است که به کمبود فشار بخار (VPD) وابسته است درجالی که خط مرجع بالایی سطح تحت تنش آبی را نشان میدهد و در این حالت تعرق تاج پوشش گیاه (Tc-Ta) صفر بوده و بستگی به کمبود فشار بخار (VPD) ندارد. (Gardner et al., 1992) ندارد. (VPD) به صورت ذیل محاسبه میشود:

رابطه ۱)

 $T_c$  نشان دهنده دمای پوشش سبز گیاه (°C)،  $T_a$  نشان دهنده دمای هوای محیط  $C^{*}$  ( LL نشان دهنده خط مبنای پایینی  $T_c$ است که در این سطح، گیاهان دارای مقدار آب کافی هستند و LL نشان دهنده خط مبنای بالایی است که در آن گیاه تحت تنش آبی می باشد. خط مبنای پایین با توجه به اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا (Tc-Ta) در برابر مقدار کمبود فشار بخار (VPD) از اطلاعات جمع آوری شده در مراحل مختلف رشد بر آورد می شود. به منظور تعیین خط مبنای بالاین ، دمای ناچ پوشش گیاه تحت تنش، در طول مراحل رشد، ارزیابی می گردد. شاخص CWSI وضعیت آب گیاه را در مقیاسی از صفر تا یک تعریف می کند Edom et al., نشان دهنده تنش آبی بسیار کم و یک نشان دهنده تنش آبی زیاد است ( 2021). (2021)

## تصاوير ماهوارهاي مورد استفاده

در پژوهش حاضر، از تصاویرهای ماهوارهای لندست۸، لندست۹ و سنتینل۲ استفاده شد، بهطوری که برداشتهای میدانی از واحد کشتوصنعت امیرکبیر منطبق بر روز گذر ماهواره باشد. تصاویر لندست۸ هر ۱۶ روز در دسترس قرار گرفته و از یازده باند طیفی با تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای طولموج کوتاه (باندهای ۱ تا ۹، بجز باند ۸، پانکروماتیک<sup>۲</sup>که ۱۵ متر میباشد) و

 $CWSI = \frac{(T_{c} - T_{a}) - (T_{c} - T_{a})_{UL}}{(T_{c} - T_{a})_{UL} - (T_{c} - T_{a})_{UL}}$ 

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Vapor Pressure Deficit

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Panchromatic

باندهای حرارتی (۱۰ و ۱۱) با تفکیک مکانی ۱۰۰ متر تشکیل شدهاند. لندست۹ از نظر ویژگی و شرایط باندی مشابه لندست۸ است. اما از مزیتهای این سری ماهواره میتوان به در نظر گرفتن جزئیات بیشتر پدیدهها و توان رادیومتریکی بالاتر اشاره نمود. همچنین، با کاربرد مشترک تصاویر ماهوارهای، لندست۹ و لندست۸ خلاً زمانی جبران گردیده و تقریباً هر ۸ روز یکبار امکان تصویربرداری و جمعآوری داده وجود دارد، لذا دادههای ارزشمندتری در اختیار کاربران میگذارد. تصاویر سنتینل۲ نیز معمولاً در یک چرخه بازدید ۵–۴ روزه در دسترس قرار می گیرند که، شامل باندهای طیفی RGB (قرمز، سبز و آبی)، NIR (فروسرخ نزدیک)، و SWIR (فروسرخ طول موج کوتاه) و Vegetation Red Edge (لبه قرمز) می باشند. توان تفکیک مکانی این سنجنده ۱۰، ۲۰ و۶۰ متر بوده و دارای وضوح بالا در نقشهبرداری زمینهای زراعی بوده و در موضوعات کشاورزی پایدار نقش مهمی ایفا می کند (Virnodkar et al., 2021). تصاویرلندست۸ و۹ از پایگاه داده سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) و تصاویر سنتینل۲ از پایگاه ESA با لحاظ تصاویری بدون پوشش ابر در منطقه مورد مطالعه به صورت رایگان قابل دریافت میباشند. در ادامه، بهمنظور آمادهسازی تصاویر و تجزیه و تحلیل نتایج از نرمافزارهای ArcGIS۱۰/۳ و سامانه گوگل ارث انجین<sup>۳</sup>استفاده گردید. از آنجایه کریافت دادهها در فواصل زمانی کم حجم زیادی در برداشته و پس از دریافت لازم به انجام تصحیحات و پیش پردازش های ماهوارهای جرای افزایش وضوح تصاویر میباشد، لذا، استفاده از سامانه گوگل ارث انجین ضمن برطرف نمودن این مسائل سرعت پر رزش و آمادهسازی تصاویر بابا دقت بالایی رقم میزند. در مطالعه حاضر به دلیل ارزیابی قابلیت باندهای فروسرخ سنتیس۲ و باندهای حرارتی لندست۸۹ در برآورد تنش، روزهایی در نظر گرفته شده که به طور مشترک تصاویر از هر دو دسته ماهواره موجود وشد، لذا در کار دوره طالعه، تنها ۴ تاریخ موجود می باشد که با استفاده از هر دو نوع ماهواره لندست و سنتینل تصویربرداری صورت گرفته باشد، براین اساس تاریخ تصویر بدون ابر مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه زمان تصویربرداری ماهواره<mark>های لن</mark>دست و سنتینای با زمان تقاطع استوایی حدوداً ۱۰:۳۰ صبح در مدار قرار گرفته و متقارن میباشند (Pahlevan et al., 2019)، این امر مکان جمع آوری تقریباً همزمان اطلاعات مورد نیاز برای پایش تنش آبی را فراهم می کند. براین اساس، تنش محاسباتی دیر استفاده از حسگر و معادله تجربی ایدسو در ساعت ۱۰:۳۰ صبح ملاک ارزیابی قرار داده شد.

<mark>در</mark> صد ابرناکی	ماهواره	تاریخ می <mark>لادی</mark>	تاریخ شمسی
	سنتینل۲ – اندست۹	۲۰۲۳/۰۷/۰۹	۱۴۰۲/۰۴/۱۸
7.1	منتينل ۲-لندست۸	7.77/.1/74	14.1/.0/.1
۳/۲۵	سنتينل٢-لندسن	۲۰۲۳/۰۸/۱۸	14+1/+0/14
· · ·	سنتينل۲–لندست۹	۲۰۲۳/۰۹/۰۲	14+1/+8/11

<b>ول ۱.</b> تاری <mark>خ</mark> گذر ماهواره همزمان با داد <mark>ب</mark> رداری زمینی	جد
---	----

www.earthexplorer.usgs.gov

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> European Space Agency (https://dataspace.copernicus.eu/)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Google Earth Engine

## شاخصهای طیفی و حرارتی

باتوجه به وجود مشکلات و عدم قطعیت در ارتقاء دادههای تجربی در گستره فضایی وسیع، قابلیت برآورد شاخص CWSI با شاخصهای طیفی و حرارتی وجود دارد. لذا، براساس روش ایدسو (Idso et al., 1981)، با بهره گیری از دادههای وضوح بالا ماهواره سنتینل و دادههای لندست به این مهم پرداخته میشود. برایناساس، به منظور سهولت در ارزیابیها و طبق پژوهشهای صورت گرفته اخیر، شاخص حرارتی LST با استفاده از تصاویر ماهوارهای لندست ۸-۹ و شاخص طیفی MSI با استفاده از تصاویر ماهوارهای سنتینل ۲، در ارتباط با پایش تنش آبی گیاه بکار برده شده است. شایان توجه است که استفاده از شاخصهای گوناگون ماهوارهای سنتینل ۲، در ارتباط با پایش تنش آبی گیاه بکار برده شده است. شایان توجه است که استفاده از شاخصهای گوناگون آبیاری گیاه نقش مهمی ایفا کرده و درنهایت در برنامه ریزی

## شاخص دمای سطح زمین(LST)



بهطوری که، Ts دمای سطح زمین (LST) ، معادله (۲) ضریب تـابش (LSE) ، (LSE تـابش طیفـی در بـالای اتمسـفر<sup>-</sup> <sup>۱</sup> Tsen ، (m2.sr.mm) ، Tsen دمای روشنایی حسگر و L طولموج مؤثر در mm است. پارامترهـای ψ<sub>1</sub> ، ψ<sub>2</sub> و ψ رابطـه مسـتقیمی بـا میزان فشار بخار آب در اتمسفر دارند.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> normalized difference moisture index

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Shortwave Infrared Water Stress Index

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> water index

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Single Channel

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Land Surface Emissivity

LST سپس، بهمنظور تخمین شاخص تنش آبی (CWSI)، با استفاده از باند حرارتی تصاویر ماهواره لندست A-A، از شاخص LST استفاده شد. براین اساس، مطابق با معادله A، CWSI با استفاده از نقاط سرد<sup>י</sup> و نقاط گرم<sup>۲</sup> (مستخرج از تصاویر ماهوارهای) محاسبه شدند. نقاط سرد بهعنوان نماینده سطحی از گیاه مرطوب و به خوبی آبیاری شده با پوشش کامل زمین توسط گیاه محاسبه شدند. نقاط سرد بهعنوان نماینده سطحی از گیاه مرطوب و به خوبی آبیاری شده با پوشش کامل زمین توسط گیاه محاسبه شدند. نقاط سرد بهعنوان نماینده سطحی از گیاه مرطوب و به خوبی آبیاری شده با پوشش کامل زمین توسط گیاه انتخاب می شود. دمای سطح و دمای هوای نزدیک به سطح در این پیکسل مشابه فرض می شود. نقاط گرم بهعنوان نماینده زمین کشاورزی خشک و بدون پوشش گیاهی بوده و در تصویر نیز از این قسمت انتخاب می شود، که در آن تبخیر-تعرق صفر در نظر گرفته می شود (2002). همچنین، نقاط سرد و گرم به ترتیب با دمای خط مبنای بدون تنش آبی و دمای در نظر گرفته می شود رعای در معادله ایدسو جایگزین شدند (2017). همچنین، نقاط سرد و گرم به ترتیب با دمای خط مبنای بدون تنش آبی و دمای گیاه بدون تعرق منو آبی و دمای دول ای در معادله ایدسو جایگزین شدند (2017). همچنین، نقاط سرد و گرم به ترتیب با دمای خط مبنای بدون تنش آبی و دمای گیاه بر و در تصویر نیز از این قسمت انتخاب می شود، که در آن تبخیر-تعرق صفر در نظر گرفته می موده و در آبی و در در نظر گرفته می شود (2002). همچنین، نقاط سرد و گرم به ترتیب با دمای خط مبنای بدون تنش آبی و دمای گیاه بدون تعرق متناظر در معادله ایدسو جایگزین شدند (2017). و CWSI et al., 2020; Veysi et al., 2017) می مرابطه ۸)

بهطوری که، Fe سادل با LST ، دمای تاج پوشش در زمینهای زراعی، T<sub>cold</sub>، دمای پیکسلی از تصویر که به خوبی آبیاری شده وتقریباً به طور کامل پوشیده از پوشش گیاهی است (نقاط سرد)، و T<sub>Hot</sub>، دمای پیکسلی از تصویر پوشش گیاهی که دارای حداکثر میزان تنش آبی است (نقاط گرم).

# شاخص تنش رطوبتی (MSI)

MSI شاخصی برای الدزه گیری میزان بازهاب بوده که به افزایش محتوای آب برگ حساس است. با افزایش محتوای آب در برگ های تاج پوشش گیاه، جذب در طول موجهای حدود ۱۶۰ نانومتر (R<sub>1600</sub>) یا باند ۱۱ ماهواره سنتینل ۲ نیز افزایش می یابد. جذب در طول موجهای ۸۲۰ نانومتر (R<sub>820</sub>) یا تائد ۸ ماهواره سنتینل ۲ نیز به عنوان یک مرجع استفاده می شود، زیرا تقریباً این طول موج تحت تأثیر تغییرات محتوای آب قرار نمی گیرد. کلابردهای MSI شامل تجزیه و تحلیل تنش تاج پوشش، پیش بینی بهرهوری و مدل سازی، تجزیه و تحلیل خطر آتش سوزی و مطالعات فیزیولوژی زیست بوم است. مقادیر بالاتر شاخص MSI نشان دهنده تنش آبی بیشتر و محتوای آب کمتر بوده و مقادیر کم آن تشان دهنده وضعیت مطلوب محتوای آب گیاه می باشد. قابل ذکر است، مقادیر این شاخص از ۰ تا بیش از ۳ منغیر بوده و محتوده رایج برای پوشش گیاهی سبز در محدوده ۴/۰ تا ۲ است (Hunt and Rock : 1989; Datt et al., 1999; Xiao et al., 2014) از باندهای فروسرخ ( NIR و NIR) سنتینل ۲ از شاخص تنش رطرتی (MSI) مطابق با معادله ۹ معاده گردید. در رابطه ۹ از باندهای فروسرخ ( NIR و NIR) معادل باند ۸ ماهواره سنتینل ۲ می باشد.

 $MSI = \frac{R1600}{R820} = \frac{B11}{B8}$ 

رابطه ۹)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Bright pixel

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Hot pixel

### بی بعد نمودن شاخص تنش رطوبتی (MSI)

رابطه ۱۰)

با توجه به اختلاف حدود تغییرات شاخص MSI (۳–۰) نسبت به شاخص CWSI (۱–۰)، بهمنظور امکان مقایسه شاخصها، لازم است فرآیند نرمالسازی<sup>۱</sup>شاخص MSI صورت گیرد. لذا بهمنظور اطمینان از مقایسه معتبر بین شاخصهای MSI و CWSI م مقایسه پیکسلهای تصاویر در نقاط سرد و نقاط گرم ضروری است. در تعیین نقاط سرد و گرم، مقدار آستانه برای تعریف عملکرد بهتر مختلف بوده و مطالعات گوناگون مقادیر صدک متفاوتی را ارائه دادهاند. لذا، این رویکرد محدوده شاخص را بین ۰ و ۱ بهتر مختلف بوده تا امکان مقایسه با شاخص CWSI فراهم گردد. فرآیند نرمال سازی (بدون بعد کردن) شاخص MSI براساس معادله ۱۰ نشان داده شده است , 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2024; Safi et al., 2024; Safi et al., 2022; Filippi et al., 2022; Alauddin et al., 2024; Safi et al., 20

$$DMSI^{2} = \frac{MSI - MSI_{Hot pixel}}{MSI_{Bright pixel} - MSI_{Hot pixel}}$$

به گونهای معایده نشان هنده شاخص تنش رطوبتی در هر پیکسل از تصویر، MSI<sub>Hot pixel</sub>، نماینده نقاط گرم و MSI<sub>Bright pixel</sub>، نماینده نقاط سرد که به ترتیب نماینده مقادیر حداقل و حداکثر شاخص MSI در هر تصویر می باشند. قابل توجه است که، نومال سازی یک رویکرد رایج است که برای استانداردسازی عوامل مختلف استفاده شده و آن ها را بی بعد و قابل مقایسه می کند (Moesinger et al., 2022; van Genuchten et al. 1980).

پس از اعمال فرآیند نرمالسازی تصویر هذفه نقاط پرت و اضغی، مربوط به شاخصهای DMSI و CWSI صورت می گیرد. بدین صورت که، تعدادی از نقاط گرم تصویر (حدود ۱۵ م ۱ نقطه) که نماینده قسمتهای ساختمان اداری یا زمینهای آیش و بدون پوشش گیاهی بوده، انتخاب و حذف می گردند مطابق با هستورالعمل الگوریتم بیلان انرژی سطحی برای زمین Waters) (2002 مع، بهمنظور حذف نقاط پرت تصاویر، نمایندهای از مقاط گرم تصویر انتخاب می گردند. همان گونه که در قسمت قبل نیز اشاره شد، در نقاط گرم، بهدلیل نبود پوشش گیاه به هیچ گونه تبخیر تعرقی صورت نگرفته و میزان تبخیر –تعرق صفر می باشد، بنابراین، در صورت عدم وقوع فرآیند تبخیر تعرق، میزان دما و نش آبی به بالاترین میزان خود و معادل ۱ و یا نزدیک به آن می باشد. لذا، در این نقاط مقادیر شاخصهای ISD و CWSI و CWSI به بالاترین حد خود و معادل ۱ و یا (Waters et al., 2002).

## ارزیابی مدلها با استفاده از شاخصهای آماری

بهمنظور ارزیابی دقت و قابلیت باندهای فروسرخ سنتینل۲ و باندهای حرارتی لندست۸-۹ مر برآورد مران دنش آبی نیشکر از مشخصههای آماری استفاده شد. براین اساس، شاخصهای طیفی استخراج شده، براساس تنش آبی محاسبه شده از روش ایدسو و با استفاده از آمارههای ضریب تعیین<sup>۳</sup> (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین نسبی خطا (RME) و ضریب همبستگی پیرسون (r) مورد بررسی قرار گرفتند.

رابطه ۱۱)

رابطه ۲۲)

$$R^{2} = \frac{(\sum_{i=1}^{n} (O_{i} - \bar{O})(P_{i} - \bar{P}))^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (O_{i} - \bar{O})^{2} \sum_{i=1}^{n} (P_{i} - \bar{P})^{2}}$$
  
RMSE =  $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_{i} - P_{i})^{2}}$ 

<sup>1</sup> Normalization

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Dimensionless Moisture Stress Index

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Coefficient of Determination

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Root Mean Square Error

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Relative Mean Bias Error

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Pearson's correlation

$$rMBE = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_{i}-O_{i})}{\overline{O_{i}}} \times 100$$
(۱۳ (سطه ۲))  
$$r = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(O_{i}-\bar{O})(P_{i}-\bar{P}))}{\sum_{i=1}^{n}(O_{i}-\bar{O})\sum_{i=1}^{n}(P_{i}-\bar{P})}$$
(۱۴ (سطه ۲))

در این معادلات، n تعداد نمونهها، i شاخص هر مدل، مقادیر Oi و Pi بهترتیب مقادیر اندازه گیری شده و پیشبینی شده، و آو Pī میانگین مقادیر اندازه گیری شده و پیشبینی شده است.

## نتایج و بحث

در شکل ۴ نمودار باکندگی میزان تنش برآورد شده حاصل از باندهای حرارتی براساس شاخص LST و باندهای فروسرخ براساس شاخص LST، نسبت به تنش محاسباتی در هر روز گذر مشترک ماهوارههای لندست و سنتینل نشان داده شده است. باتوجه به نتایج حاصل از شکل ۴، نقاط مربوط به هر دو شاخص از پراکندگی قابل قبولی برخوردار بوده، بهگونهای که نتایج حاصل از (رایابی باندهای حرابی لندست۸–۹ با مقادیر واقعی (محاسباتی) تنش مزارع در تاریخ ۸۸ تیر، برابر با ۲<sup>2</sup> معادل ۱۸/۹، معادل ۲۸۹۹ معادل ۲۸۹۹ معادل ۲۹/۱۲ و ۲ معادل با ۲۹/۹ و نتایج حاصل از ارزیابی باندهای فروسرخ سنتینل ۲ برابر با ۲ معادل ۲۸۹۶ معادل ۲۹/۹۲ معادل ۲۹/۱۲ و ۲ معادل با ۲۹/۹ و نتایج حاصل از ارزیابی باندهای فروسرخ سنتینل ۲ برابر با ۲ معادل ۲۰/۴۶ معادل ۲۹/۹۲ معادل ۲۹/۹۲ و ۲ معادل با ۲۹/۹ و معادل با ۲۸/۰ میباشد. همچنین، در تاریخ ۲ مرداد، نتایج برای معادل ۲۰/۴۶ و فروسرف بهترتیب براز با ۳۵ معادل ۲۹/۹۲ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ میباشد. همچنین، در تاریخ ۲ مرداد، نتایج برای باندهای حرارتی و فروسرف بهترتیب براز با ۳۵ معادل ۲۹/۹۲ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ میباشد. همچنین، در تاریخ ۲ مرداد، نتایج برای ۱۹/۶ و ۲۰/۱۴ معادل ۲۰/۱۰ معادل ۲۰/۱۴ و ۲۸/۰۰ و ۲۸/۰۰ معادل ۲۰/۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۱۴ و معادل با ۲۹/۰ و ۲۹/۰ بهدست آمد در اواسها دوره تحت وررسی، ۲۷ مرداد، که با افزایش دما و بهتیع آن نیاز آبی گیاه افزایش دارد، نتایج دریافتی برابر با ۲۶ معادل ۲۰/۰ و ۲۸/۰ و ۲۸/۰ میادل ۲۱/۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۸/۰ افزایش دارد، نتایج دریافتی برابر با ۲۶ معادل ۲۰/۰ و ۲۸/۰ معادل ۲۱/۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۸/۰ معادل ۲۰/۰ و ۲۸/۰ افزایش دارد، نتایج دریافتی برابر با ۲۶ معادل ۲۰/۰ و ۲۸/۰ میاده ندست۸–۱۰ و ۲۵ معادل ۲۰/۰۰ و ۲۸/۰۰ معادل بهترتیب برای باندهای حرارتی و فروسرخ میباشد. در انتهای دوره، ۱۱ شهریور، نتایج برابر با ۲۶ معادل ۲۰/۰۰ و ۲۸/۰۰ و ۲۰/۰۰ معادل ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ و ۲۵ مادل ۲۰/۰۰ برای بادهای درارتی ماموان لندست۸–۹ و ۲۶ معادل ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰۰ معادل ۲۰/۰۰ معادل ۲۰/۰۰ و ۲ معادل با ۲۸/۰ برای بادهای درارتی ماموان لندست۸–۹ و ۲۳ معادل ۲۰/۰۰ و ۲۰/۰

مطابق یافتهها، مقادیر کمتر در شاخص آماری RMSE، میتوند به ویژگیهای مزارع نیشکر، مانند تاج پوشش متراکم و سطح یکنواخت آنها، شامل پوشش گیاهی بیشتر نسبت داده شود. همچنین، شاخص MBE برای هر مرماهواره با بیش برآوردی میزان تنش همراه بوده و در انتهای دوره، ۱۱ شهریور، این مقدار کاسته شده است از دلایل این امر میتوان به اثر میزان بازتاب ناشی از باندهای حرارتی و فروسرخ بر پوشش گیاهی مزارع اشاره نمود. همچنین با توجه به سمتم آبیاری سطحی حاکم بر مزارع نیشکر، ممکن است، کسری از یک پیکسل آبیاری گردیده و این امر، بر بازتاب طیفی اثرگذار میباشد. هنگامی که بخش زیادی از یک پیکسل آبیاری میشود، ماهواره بازتاب طیفی قویتر را تشخیص داده، درحالی که ممکن است، پیکسلهای

همچنین ، LST مبتنی بر ماهواره تمایل به بیشبرآوردی اندازه گیریهای میدانی دارد، که ممکن است تحت تأثیر محدوده طیفی محدود (۱۲/۵–۱۰/۶ میکرومتر) تصاویر ماهوارهای در مقایسه با دماسنج فروسرخ (۸–۱۴ میکرومتر) باشد( Sobrino et ماهار، در حالی که، (۱۵/۹–۱۰/۶) میکرومتر) تصاویر ماهوارهای دریافتند، الگوریتمهای بازتابش دما در خاکهای با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش همواره با بیشبرآوردی همراه میباشند. لذا، همان گونه که از یافتهها مشخص است، هر دو سری باندهای حرارتی ماهواره لندست و باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل همبستگی خوبی با دادههای واقعی تنش آبی اندازه گیری شده در مزارع داشتند. ضمن اینکه، مطابق با یافتههای حاصل، باندهای حرارتی ماهواره لندست۸–۹، برآورد بهتری نشان دادند، این امر، گویای تأثیر قابل توجه باندهای حرارتی نسبت به باندهای فروسرخ نزدیک و طول موج کوتاه، شاخص لکه و نهایتاً میزان بخار آب جو



**شکل۴.** نمودار پراکندگی تنش برآورد شده از باندهای حرارتی لندست۸–۹ (نقاط آبی رنگ) و باندهای فروسرخ سنتینل۲ (نقاط قرمز رنگ) <del>با تن</del>ش محاسباتی

به منظور مقایسه بیشتر باندهای حرارتی و فروسرخ با دادههای محاسباتی تنش، روند تغییرات تنش برآورد شده از باندهای حرارتی (براساس (LST) (Actual) و باندهای فروسرخ (براساس (MSI) نسبت به تنش محاسبه شده ((WSI) (Actual)) در هریک از روزهای گذر مشترک ماهواره و براساس سنهای مختلف مزارع (سه نقطه آزمایشی از هریک از سنهای کشت، بازرویی اول، بازرویی دوم و بازرویی سوم)، در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، روند تغییرات تنش آبی حاصل از هر دو باندهای حرارتی و فروسرخ (براساس است. با توجه به شکل ۵، روند تغییرات تنش آبی حاصل از هر دو باندهای حرارتی و فروسرخ در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، روند تغییرات تنش آبی حاصل از هر دو باندهای حرارتی و فروسرخ در هر روز گذر مشترک، مشابه با مقادیر تنش محاسبه شده در مزارع نیشکر بوده و هر دو سری ماهواره، میزان تنش را نسبت به مقادیر واقعی اندکی کمتر برآورده نمودهاند. بیشترین میزان تنش محاسباتی در تاریخ ۱۸ تیر، باندهای حرارتی و فروسرخ در هر روز گذر مشترک، مشابه با مقادیر تنش محاسبه شده در مزارع نیشکر بوده و هر دو سری ماهواره، میزان تنش را نسبت به مقادیر واقعی اندکی کمتر برآورده نمودهاند. بیشترین میزان تنش محاسباتی در تاریخ ۱۸ تیر، برابر با ۱۵/۰ و بیشترین تنش برآورد شده از باندهای حرارتی و فروسرخ بهترتیب برابر با ۵/۰ و بیشترین محاسباتی در تاریخ ۱۸ تیر، برابر با ۱۵/۰ و بیشترین تنش محاسباتی در تاریخ به ترتیب برابر با ۱۵/۰ و بیشترین تنش محاسباتی در تاری و فروسرخ به ترتیب برابر با ۱۹/۰ و میشترین در سایر روزهای تحت مطالعه، در ۲ مرداد، ۲۷ مرداد و ۱۱ شهریور مقادیر محاسباتی بهترتیب برابر با ۱۹/۰ و مروسرخ به ترتیب در سایر روزهای تحت مطالعه، در ۲ مرداد، ۲۷ مرداد و ۱۱ شهریور مقادیر محاسباتی بهترتیب برابر با ۱۹/۰ و مروسرخ به ترتیب، برابر با ۱۹۶۰ در ۲۱ مهویور مای محاسباتی بهترتیب برابر با ۱۹/۰ و فروسرخ در مزارع مربوط به س کشت حاصل گشت. همچنین، در سایر روزهای تحت مطالعه، در ۲ مرداد، ۲۷ مرداد و ۱۱ شهریور مقادیر محاسباتی بهترتیب برابر و ۱۹/۰ در ۲۰ مرداد و ۱۹/۰ در ۲۷ مرداد و ۱۹/۰ در ۲۱ شهویور حاصل گردید. همان گونه که از یافتها، قابل مشاهده است، در اوج تابستان و در سه تاریخ ۱۸ تیر، ۲ مرداد و ۲۷ مرداد، بیشترین میزان تنش محاسباتی و برأورد شده حاصل از هر دو ماهواره لندست و سنتینل مربوط به مزرعه با سن کشت بوده و تنها در تاریخ ۱۱ شهریور، بیشترین میزان تنش محاسباتی در مزرعه با سن بازروییسوم و تنش برآورد شده نیز با اختلاف کم ازسایر سنها، مربوط به همین سن بوده است، از دلایل افزایش میزان تنش در سن پلنت و بازرویی سوم، میتوان به عدم تعادل سیستم ریشهای در ابتدای دوره رشد مزارع نیشکر در سن کشت، همچنین، ایجاد اختلال و کاهش هدایت روزنهای مزارع در سن بازرویی سوم، اشاره نمود all (Gabriel et al., میتران تنش آبی نشان میدهد. (2021. ضمن اینکه، قابلیت دو ماهواره لندست و سنتینل را در برآورد میزان تنش آبی نشان میدهد.

قابل بیان است، از دلایل احتمالی نوسانات در تنش آبی برآورد شده حاصل از تصاویر ماهوارهای سنتینل۲، نسبت به تنش برآورد شده از ماهواره لندست۸–۹ و تنش آبی محاسباتی، اختلاف محدوده طیفی باندهای فروسرخ طول موج کوتاه ماهواره سنتینل۲ ،(۲/۱–1/۱ میکرومتر)، در مقایسه با محدوده طیفی باندهای فروسرخ حرارتی ماهواره لندست۸–۹ و دماسنج نصب شده در محل می باشد. دلیل قابل توجه دیگر نیز، عدم برابری و توازن، از نظر مقیاس پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۲۰×۲۰ مترمربع)، نسبت به اندامای فروسرخ حرارتی ماهواره لندست۸–۹ و دماسنج نصب شده در محل می باشد. دلیل قابل توجه دیگر نیز، عدم برابری و توازن، از نظر مقیاس پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۲۰×۱۰ مترمربع) و پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۲۰×۱۰ مترمربع) و پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۲۰×۱۰ مترمربع) در محل می باشد. دلیل قابل توجه دیگر نیز، عدم برابری و توازن، از نظر مقیاس پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۲۰×۱۰ مترمربع) و پیکسلهای ماهواره لندست (۲۰×۲۰ مترمربع) در محل می باشد. دلیل قابل توجه دیگر نیز، عدم برابری و توازن، از نظر مقیاس پیکسلهای ماهواره سنتینل۲ (۱۰×۱۰ مترمربع) و پیکسلهای ماهواره لندست (۲۰×۲۰ مترمربع)، نسبت به اندازه گیری میدانی معادل با، کمتر از یک متر مربع می باشد. همچنین زاویه تابش دماسنج مستقر در مزاری ۲۰ مترمربع)، نسبت به اندازه گیری میدانی معادل با، کمتر از یک متر مربع می باشد. همچنین زاویه تابش دماسنج مستقر در مقایص در محل بوده، در حالی که بازتابهای برگشتی به سطح ماهواره لندست و سطینل با زاویای معاوتی ثبت شده که بین عوامل همگی باعث اختلاف تنش برآورد شده می گردد.

درنتیجه، میزان تنشر آبی برآورده شده از باندهای فروسرخ سنتینل ۲ اندکی کمتر از مقادیر تنش برآورده شده از باندهای حرارتی لندست۸–۹ می باشد، اما مقادیر تنثل برآورده شده حاصل از باندهای حرارتی و فروسرخ با دادههای واقعی تنش مطابقت داشت. قابل بیان است، از بین شاخص های طبغی مرتبط با آب و تلخ پوشش گیاه ، شاخص تنش رطوبتی (MSI) بهعنوان شاخصی اساسی در تشخیص وضعیت رطوبتی با تنثل ابی گیاهای استفاده شده است ... ( 2022; Xiao et al., 2014).







**شکل۵.** روند تغییرات تنش برآورد شده از بالدهای خراخی لندست۸–۹ و باندها<mark>ی فر</mark>وسرخ سنتینل۲ نسبت به تنش محاسباتی در هریک از روزهای گذر مشترک ((Actual) CWSI: Actual: تنش محاسباتی براساس دادههای میدانی (CWSI (LST): تنش دورد شده براساس ماهواره لندست۸–۹، MSI: تنش برآورد شده براساس ماهواره سنتینل۲، Plant: سن کشت، Ratoon1 سن بازرویی اول Ratoon2: سن بازرویی دوم،Ratoon3 : سن بازرویی سوم)

بهمنظور افزایش درک بصری تغییرات تنش در کل مراجع کشتوصنعت نیشکر امیرکبیر، نقشه پراکنش مکانی شاخص تنش آبی برآورد شده با استفاده از باندهای حرارتی لندست۲۹۰۹ در هر روز گذر مسترک ماهواره در شکل ۶ نشان داده شده است. ه است، بهطوریکه بیشینه تنش آبی مزارع نیشکر، در باتوجه به شکل ۶، میزان تنش در اوایل و اواسط ماه<mark>های</mark> تابستان بتر ب ۱۸ تیر (۹ جولای)، برابر با ۰/۵۸، در ۲ مرداد (۲۴ جولای)، برای با ۰/۶۵، در ۲۷ مرداد (۱۸ آگوست)، مابر با ۱۶/۰ و در ۱۱ بتان در شهریور (۲ سپتامبر)، برابر با ۰/۴۹ بوده است. در اواسط فصل تابه وره تحت مطالعه، ۲ مرداد، با توجه به افزایش دما و بهتبع آن افزایش نیاز آبی گیاه، میزان بیشینه تنش آبی به بیشترین حد خود بر یده و سیس در ۲۷ مرداد(۱۸ مانطور که در شکل آگوست)، با نزدیک شدن به انتهای فصل تابستان میزان بیشینه تنش کاهش چشمگی<mark>ری ک</mark>اشته م بوده است. بنظر میرسد با مشخص است، بیشتر مزارع کشتوصنعت با اُب کافی مواجه بوده و در این روز میزان تنش شروع فرأیند أبیاری و توجه به فواصل أبیاری از میزان تنش أبی کاسته میشود. همچنین، در انت<mark>های</mark> فش نسبی دما، میزان بیشینه تنش آبی نیز کاهش یافته است. به نظر میرسد که نوسانات توزیع مکانی تنش در زم<mark>ان</mark> ی مختلف می تواند بهدلیل سنین مختلف مزارع، مراحل رشد گیاه، برنامهریزی آبیاری، تنوع در ارقام گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و محتوای آب خاک، بافت خاک، تغییرات اقلیمی و تراکم زهکشی منطقه باشد.

همان گونه، که از شکل ۶ قابل مشاهده است، در پیکسلهای مرزهای مزارع، میزان تنش آبی بیشتر بوده و قسمتهای مرکزی دارای تنش آبی کمتری میباشند. این امر میتواند به دلیل اثرگذاری پیکسلهای همسایه بر پیکسلهای مجاور مزرعه رخ دهد(Jalilvand et al., 2019). همچنین با توجه به نوع آبیاری سطحی حاکم بر مزارع، میزان آب در اختیار گیاه، در ابتدای مزارع بیشتر از انتهای آن بوده، لذا درانتهای مزارع میزان تنش آبی احتمالی بیشتر میباشد. ضمن اینکه، قسمتهای سفید رنگ موجود در شکل، مربوط به ساختمان اداری، زمینهای آیش و کاملاً عاری از پوشش گیاهی بوده، لذا حذف گردیده، تا صرفا وضعیت محتوای آبی پوشش گیاهی پایش شود. همچنین، قسمتهایی از نقشه، با پوشش گیاهی اندک یا بدون پوشش گیاهی، نشاندهنده میزان تنش بالاتری بوده است. لذا تغییر در نوع سیستم آبیاری و کاربرد روشهای نوین، حذف زمینهای آیش و کشت گیاه در همه قطعات زراعی و استفاده از ارقام نیشکر مقاوم به تنش آبی میتواند سبب کمک به بهبود نتایج شود. در این باره، (2024) ،Pei et al، معتقدند که ارائه نقشه مکانی تنش در مدیریت آبیاری مزارع و توجه به دلایل ناهمگونی مزارع مهم است. در مطالعه (2012) ،Vieira et al. از تصاویر سری زمانی لندست ۸ بهمنظور نقشهبرداری خودکار نیشکر در مناطق بزرگ براساس تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شیء استفاده شد.



**شبکل ۶.** نقشه پراکنش مکانی شاخص تنش آبی برآورد شده درمزارع نیشکر با استفاده از باندهای حرارتی لندست۸–۹

شکل ۷ نیز نقشه پراکنش مکانی شاخص تنش آبی برآورد شده در کل مزارع کشتوصنعت نیشکر امیرکبیر را با استفاده از باندهای فروسرخ سنتینل۲ در هر روز گذر مشترک نشان میدهد. براساس تنش برآورد شده حاصل از ماهواره سنتینل۲ نیز، میزان تنش در اواسط ماههای تابستان، ۲مرداد و ۲۷ مرداد (۲۴ جولای و ۱۸ آگوست) بیشتر میباشد. بیشینه تنش آبی مزارع نیشکر، در ۱۸ تیر (۹ جولای)، برابر با ۶۶/۰، در ۲ مرداد (۲۴ جولای)، برابر با ۶۹/۰، در ۲۷ مرداد (۱۸ آگوست)، برابر با ۲۶/۰ و در ۱۱ شهریور (۲ سپتامبر)، برابر با ۶۶/۰ بوده است. لذا، روند نوسانات تنش توسط باندهای فروسرخ سنتینل۲ مشابه روند تغییرات نشان داده شده تنش توسط باندهای حرارتی لندست۸–۹ میباشد، این امر نشان از قابلیت شاخص تنش رطوبتی و کاربرد ماهواره سنتینل۲ در پر کردن خلاء زمانی تصاویر لندست۸–۹ میباشد، این امر نشان از قابلیت شاخص تنش رادراع نیشکر میباشد. شاخصهای طیفی میتوانند به طور مؤثر نویزهای پس زمینه و سیگنالهای مختلط را حذف کنند و همچنین، اهمیت قابل توجه بیشتری نسبت به یک باند خاص دارند. این شاخصها برای بازیابی رطوبت و تشخیص تنش آبی گیاهان مورد استفاده قرار می گیرند (2013) Ren et al. 2022; Oltra-Carrio et al. 2013). در این زمینه، (2022) Ren et al. 2014، شاخص MSI به طور قابل توجهای با رطوبت در تمام اعماق خاک همبستگی منفی داشته و از بهترین شاخصها در کاهش اثر پس زمینه خاک می باشد. پژوهش های (2024) Karlqvist et al. (2014) و (2014) از Reingast et al. به عنوان شاخصی قابل اعتماد در تشخیص وضعیت رطوبتی گیاه نام بردند. قابل ذکر است، شاخصهای طیفی مرتبط با گیاه و آب از جمله شاخص MSI، در تشخیص وضعیت رطوبتی گیاه نام بردند. قابل ذکر است، شاخصهای طیفی مرتبط با گیاه و آب از جمله شاخص MSI، در تشخیص تغییرات رطوبت حساس بوده و اغلب برای بازیابی تغییرات رطوبتی خاک و گیاه در زیست بومهای مختلف، استفاده می شوند (2013). Ren et al. 2022; Yi et al. 2014; Peng et al. 2013). پژوهش های (2021) دقیق و (2017) می می می می می می می از ایرابی تنش آبی گیاه با استفاده از تصاویر حرارتی فروسرخ و کاربرد آن را برای کشاورزی دقیق تأیید نمودند.

بنابراین، استفادهار باندهای حرارتی و باندهای فروسرخ، در تشخیص میزان رطوبت و تنش آبی گیاه مؤثر میباشند. همچنین، گرچه نتایج باندهای حرارتی ماهواره لندست همخوانی بیشتری با دادههای واقعی داشتند، اما در صورت عدم دسترسی به تصاویر ماهوارهای اندست۸–۹، باندهای فروسرخ ماهواره سنتخل۲ و استفاده از شاخص تنش رطوبتی نیز قادر به برآورد میزان تنش آبی وارده بر گیاه میباشد.





شکل ۲. نقشه پراکنش مکانی شاخص تنش حوبتی برآورد شده در مزارع نیشکر با استفاده از باندهای فروسرخ سنتینل۲

## **نتیجهگیری و پیشنهادات**

تشخیص تنش آبی گیاه در فواصل زمانی کوتاه، در ارتقاء کیف مدیریت آبیاری و نظارت بر عملکرد محصول نقش بسزایی دارد. در مطالعه حاضر، با توجه به اهمیت کاربرد سنجش از دور به ارزیابی محتوای رطوبتی گیاه، به تخمین شاخص تنش آبی گیاه نیشکر (CWSI) با استفاده از باندهای حرارتی ماهواره لنیست۸–۹ و باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل۲ در کشتوصنعت نیشکر امیرکبیر، واقع در استان خوزستان پرداخته شد. کاربرد تصاویر ماهواره سنتینی ۲ در ارزیابی میزان تنش آبی گیاه، بهدلیل کاهش خلاء زمانی تصاویر ماهواره لندست۸-۹ وجه تمایز مطالعه حاضر نسبت با سایر مطالعات اخیر میباشد. به منظور ارزیابی قابلیت هر دو ماهواره، نتایج با مقادیر محاسبه شده شاخص تنش آبی نیسکر در سامت گذر ماهواره مورد مقایده قرار گرفت. نتایج ارزیابی در روزهای گذر مشترک ماهواره لندست و سنتینل نزدیک به هم بوده اما باندهای حرارتی اندکی برآورد بهتر و همبستگی بالاتری با دادههای واقعی تنش آبی اندازه گیری شده در مزارع نسبت به بادهای فروسرخ نشان دادند. همچنین، میزان تنش آبی برآورده شده از باندهای فروسرخ سنتینل۲ اندکی کمتر از مقادیر تنش برآورده شده از پلندهای حرارتی لندست۸– ۹ و هر دو ماهواره کمتر از تنش آبی محاسبه شده بودند، اگرچه روند تغییرات تنش برآورده شده حاصل از باندهای حرارتی و فروسرخ با دادههای واقعی تنش مطابقت داشت. قابل بیان است، با توجه به نقشههای پراکنش مکانی براساس باندهای حرارتی (CWSI (LST)) و باندهای فروسرخ (MSI)، بیشینه تنش آبی مزارع نیشکر، در اواسط تابستان بهدست امد. لذا، روند نوسانات تنش توسط ماهواره لندست و سنتینل مشابه میباشد. بنابراین، اگرچه ماهواره لندست۸-۹ میزان تنش آبی نیشکر را نسبت به ماهواره سنتینل۲ بادقت بالاتری برآورد نمود، اما بهمنظور کاهش خلاء زمانی تصویربرداری ماهواره لندست۸–۹، استفاده از تصاویر ماهوارهای سنتینل۲، براساس شاخص MSI تا حد زیادی خلاء زمانی بین تصاویر را برطرف نموده و کاربرد این شاخص و باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل۲ نیز بهمنظور پایش تنش آبی گیاهان جایگزین مناسبی در صورت عدم دسترسی به تصاویر ماهوارهای لندست میباشند. در انتها نیز پیشنهاد می گردد، به منظور پایش بهتر تنش آبی گیاهان براساس باندهای فروسرخ ماهواره سنتینل۲، دو شاخص MSI و NDMI در برآورد تنش مورد مقایسه قرار گیرند.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### تقدير و تشكر

نویسندگان از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (GN: SCU.WI1401.273) قدردانی می کنند. همچنین، با تشکر از مدیر عامل و کارکنان کشتوصنعت نیشکر امیرکبیر که در تهیه یژوهش حاضر مستخرج از رساله دکتری همکاری کردند.

#### مناتع

- عباسی، فریبرز و شینیدشتگل، علی (۱۳۹۵). *توصیه هایی برای مصرف بهینه کود در مزارع نیشکر*. چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- مزیدی، مریم.، حسام، موسی،، قربانی، خلیل. و بایرام کمکی، چوقی. (۱-۱۴۰۳). امکان سنجی تخمین تنش آبی پنبه بر اساس شاخصهای طیفی تصریب ماهواره لندست و سنتینل۲. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۳۱ (۲)، ۹۹–۱۱۷.

مزیدی، مریم، مسلم موسی، قربانی، خلیل. و کمکی, و بایرامکمکی، چوقی. (۲–۱۴۰۳). ارزیابی تخمین تـنش آبـی پنبـه بـا استفاده از تصویر چند طیف ماهوارهای، مبتنی بر مدل درختM5 . *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۷(۴)، ۳۸۵-۴۰۰.

ویسی، شاهمان (۱۳۹۶). تشخیص دش آبی گیاه نیشکر با استفاده از اطلاعات میدانی و تصاویر ماهوارهای بمنظور برنامه ریزی آبیاری. پایان نامند کتری بهراهنمایی عبدعلی اصری. اهواز: دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکدهٔ مهندسی علوم آب.

#### REFERENCES

- Abbasi, F., & Shinidashtgol, A. (2016). Recommendations for optimal fertilizer unlize in sugarcane fields. First edition. Agricultural Education Publishing. Agricultural Engineering and Technical Research Institute. (In Persian)
- Alauddin, M., Amarasinghe, U. A., & Sharma, B. R. (2010). Are there any 'bright'spots and 'hot'spots of rice water productivity in Bangladesh? A spatio-temporal analysis of district-level data.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., González-Dugo, V., & Fereres, E. (2009). Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *Int. Arch. Photogramm.* Remote Sens. Spatial Inform. Sci, 38(6), 6.
- Besten, N., Steele-Dunne, S., de Jeu, R., & van der Zaag, R. (2021). Towards monitoring waterlogging with remote sensing for sustainable irrigated agriculture. Remote Sensing, 13(15), 2929.
- Chai, L., & Chen, Z. (2011, April). A Sensitivity Analysis of NDWI and SRWI to Different types of Vegetation Moisture. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 12217).
   Das, S., Kaur, S., & Sharma, V. (2024). Determination of threshold crop water stress index for sub-surface drip irrigated main and provide a stress of Durisch. Activation Management. 201, 109057.
- Das, S., Kaui, S., & Sharma, V. (2024): Determination of the shold crop water stress index for sub-surface drip irrigated maize-wheat cropping sequence in semi-arid region of Punjab. *Agricultural Water Management*, 301, 108957.
  Datt, B. (1999). Remote sensing of water content in Eucalyptus leaves. *Australian Journal of botany*, 47(6), 909-923.
  Alordzinu, K. E., Li, J., Lan, Y. Appian, S. A., Al Aasmi, A., & Wang, H. (2021). Rapid estimation of crop water stress index on tomato growth. *Sensors*, 21(15), 5142.
  Filippi, P., Whelan, B. M. Vervoort, R. W., & Bishop, T. F. (2022). Identifying crop yield gaps with site-and season-arraying data data startist. *Provint and Appian Appin Leave*. 1 24.

- specific data-driven models of yield potential. Precision Agriculture, 1-24.
- Gabriel, J.L., García-Gonzalez, I., Quemada, M., Martin-Lammerding, D., Alonso-Ayuso, M., Hontoria, C. (2021). Cover crops reduce soil resistance to penetration by preserving soil surface water content. Geoderma, 386, 114911.
- Gardner, B. R., Nielsen, D. C., & Shock, C. C. (1992). Infrared thermometry and the crop water stress index. II. Sampling procedures and interpretation. Journal of production agriculture, 5(4), 466-475.
- Gerhards, M., Rock, G., Schlerf, M., & Udelhoven, T. (2016). Water stress detection in potato plants using leaf temperature, emissivity, and reflectance. International journal of applied Earth observation and geoinformation, 53.27-39.
- Hopkins, W. G., & Hüner, N. P. (1995). Introduction to plant physiology.
- Hsiao, T. C., Fereres, E., Acevedo, E., & Henderson, D. W. (1976). Water stress and dynamics of growth and yield of crop plants. In Water and Plant life: Problems and modern approaches (pp. 281-305). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hunt Jr, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. Remote sensing of environment, 30(1), 43-54.
- 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.
- Jackson, R. D., Reginato, R. J., & Idso, S. (1977). Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water resources research, 13(3), 651-656.
- Jalilvand, E., Tajrishy, M., Hashemi, S. A. G. Z., & Brocca, L. (2019). Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region. Remote Sensing of Environment, 231, 111226.
- Jamshidi, S., Zand-Parsa, S., & Niyogi, D. (2021). Assessing crop water stress index of citrus using in-situ measurements, Landsat, and Sentinel-2 data. International Journal of Remote Sensing, 42(5), 1893-1916.
- Jones, H. G. (1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomata conductance as a possible aid to irrigation scheduling. Agricultural and forest meteorology, 95(3), 139-149.
- Jimenez-Munoz, J., C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11(10), 1840–1843.
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security-A review. Progress in natural Science, 19(12), 1665-1674.
- Karlqvist, S., Burdun, I., Salko, S. S., Juola, J., & Rautiainen, M. (2024). Retrieval of moisture content of common Sphagnum peat moss species from hyperspectral and multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 315, 114415.
- Katimbo, A., Rudnick, D. R., DeJonge, K. C., Lo, T. H., Qiao, X., Franz, T. E., ... & Duan, J. (2022). Crop water stress index computation approaches and their sensitivity to soil water dynamics. Agricultural Water Management, 266, 107575.
- King, B. A., & Shellie, K. C. (2023). A crop water stress index based internet of things decision support system for precision irrigation of wine grape. Smart Agricultural Technology, 4, 10020
- King, B. A., Shellie, K. C., Tarkalson, D. D., Levin, A. D., Sharma, V., & Bjorneberg, D. L. (2020). Data-driven models for canopy temperature-based irrigation scheduling. *Transactions of the MSABE*, 63(5), 1579-1592.
  Kumari, A., Singh, D. K., Sarangi, A., Hasan, M., & Sengal, V. K. (2024). Optimizing wheat supplementary irrigation: Integrating soil stress and crop water stress index for smart scheduling. *Agricultural Water Management*, 305, 100104 109104.
- Lees, K. J., Quaife, T., Artz, R. R. E., Khomik, M., Sottocornola, N., Kiely, G., ... & Clark, J. M. (2019). A model of gross primary productivity based on satellite data suggests formerly afforested peatlands undergoing restoration regain full photosynthesis capacity after five to ten years. Journal of environmental management, 246, 594-604.
- Liu, L., Zhang, S., & Zhang, B. (2016). Evaluation of hyperspectral indices for retrieval of canopy equivalent water thickness and gravimetric water content. *International Journal of Remote Sensing*, *37*(14), 3384-3399.
  Makaya, N. P., Mutanga, O., Kiala, Z., Dube, T., & Surfloati, K. E. (2019). Assessing the potential of Sentinel-2 MSI sensor in detecting and mapping the spatial distribution of gulfies in a communal grazing landscape. *Physics and* Chemistry of the Earth, Parts AXB/C, 112, 66-74.
- Mazidi, M., Hesam, M., Ghorbani, K., & Kamaki, B. (2024). Feasibility of estimating cotton water stress based on spectral indices of Landsat and Sentinel 2 satellite images. Journal of Water and Soil Conservation, 31(2), 99-117. (In Persian)
- Mazidi, M., Hesam, M., Chorban, K., & Komaki, C. B. (2024). Evaluation of Cotton Water Stress Estimation Using Multispectral Satellite Images Based on M5 Tree Model. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(4), 385-400. (In Persian)
- Meingast, K. M., Falkowski, M. J., Kane, E. S., Potvin, L. R., Benscoter, B. W., Smith, A. M., ... & Miller, M. E. (2014). Spectral detection of near-surface moisture content and water-table position in northern peatland ecosystems. Remote Sensing of Environment, 152, 536-546.
- Moesinger, L., Zotta, R. M., van Der Schalie, R., Scanlon, T., de Jeu, R., & Dorigo, W. (2022). Monitoring vegetation condition using microwave remote sensing: the standardized vegetation optical depth index (SVODI). Biogeosciences, 19(21), 5107-5123.
- Nielsen, D. C. (1990). Scheduling irrigations for soybeans with the Crop Water Stress Index (CWSI). Field Crops Research, 23(2), 103-116.
- Oltra-Carrió, R., Baup, F., Fabre, S., Fieuzal, R., & Briottet, X. (2015). Improvement of soil moisture retrieval from hyperspectral VNIR-SWIR data using clay content information: From laboratory to field experiments. Remote Sensing, 7(3), 3184-3205.
- Pahlevan, N., Chittimalli, S. K., Balasubramanian, S. V., & Vellucci, V. (2019). Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring aquatic systems. Remote sensing of Environment, 220, 19-29.
- Pei, S., Dai, Y., Bai, Z., Li, Z., Zhang, F., Yin, F., & Fan, J. (2024). Improved estimation of canopy water status in cotton using vegetation indices along with textural information from UAV-based multispectral images. Computers and Electronics in Agriculture, 224, 109176.
- Peng, J., Shen, H., He, S. W., & Wu, J. S. (2013). Soil moisture retrieving using hyperspectral data with the application of wavelet analysis. Environmental Earth Sciences, 69, 279-288.

- Quinlan, J.R., 1992. Learning with continuous classes. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence. 343-348
- Ren, S., Guo, B., Wang, Z., Wang, J., Fang, Q., & Wang, J. (2022). Optimized spectral index models for accurately retrieving soil moisture (SM) of winter wheat under water stress. *Agricultural Water Management*, 261, 107333.
- Safi, A. R., Karimi, P., Mul, M., Chukalla, A., & de Fraiture, C. (2022). Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions. *Agricultural Water Management*, 261, 107373.
- Sayago, S., Ovando, G., Bocco, M., 2017. Landsat images and crop model for evaluating water stress of rainfed soybean. Remote Sensing of Environment, 198, 30-39.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., El-Kharraz, J., Gómez, M., Romaguera, M., & Soria, G. (2004). Single-channel and two-channel methods for land surface temperature retrieval from DAIS data and its application to the Barrax site. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 215-230.
- Solgi, S., Ahmadi, S. H., & Seidel, S. J. (2023). Remote sensing of canopy water status of the irrigated winter wheat fields and the paired anomaly analyses on the spectral vegetation indices and grain yields. *Agricultural Water Management*, 280, 108226.
- Taghvaeian, S., Comas, L., DeJonge, K. C., & Trout, T. J. (2014). Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agricultural water management*, 144, 69-80.
- Tanner, C. B. (1963). Plant temperatures.
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892-898.
- Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Bolognesi, S. F., D'Urso, G., Di Bene, C., ... & Napoli, R. (2018). Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and migation requirements for tomato crop in Central Italy. *Remote Sensing of Environment*, 215, 452-470.
- Veysi, S., Naseri, A. A., & Hamzeh, S. (2020). Relationship between field measurement of soil monstane in the effective depth of sugarcane root zone and extracted indices from spectral reflectance of optical/thermal bands of multispectral satellite images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(7), 1035-1044.
  Veysi, S., Naseri, A. A., Hamzeh, S., & Bartholomeus, H. (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation
- Veysi, S., Naseri, A. A., Hamzeh, S., & Bartholomeus, H. (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural water management*, 189, 70–86.
   Veysi, S., Galehban, E., Nouri, M., Mallah, S., & Nouri, H. (2024). Comprehensive framework for interpretation of
- Veysi, S., Galehban, E., Nouri, M., Mallah, S., & Nouri, H. (2024). Comprehensive framework for interpretation of WaPOR water productivity. *Heliyon*, 10(16).
- Veysi, S. (2017). Detection Sugarcane Water Stress Using Field Data and Satellite Images For Irrigation Scheduling. PhD thesis. Supervised by Abdali Naseri, Ahvaz: Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering.
- Virnodkar, S., Pachghare, V. K., Patil, V. C., & Jha, S. K. (2021). Performance evaluation of RF and SVM for sugarcane classification using sentinel-2 NDVI time-teries. In *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering: Proceedings of ICACIE 2019, Volume 2* pp. 166–174). Springer Singapore.
- Vieira, M. A., Formaggio, M. R. Rennó, C. D., Atzherger, C. Aguiar, D. A., & Mello, M. P. (2012). Object based image analysis and data mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 123, 553-562.
  Wang, M., Li, M., Zhang, Z., Hu, T., He, G., Zhang, Z., ... & Liu, X. (2022). Land surface temperature retrieval from
- Wang, M., Li, M., Zhang, Z., Hu, T., He, G., Zhang, Z., ... & Liu, X. (2022). Land surface temperature retrieval from Landsat 9 TIRS 2 data using radiance-based split-window algorithm. *IEEE Journal of Selected Topics in* Applied Earth Observations and Remote Sensing, 16, 1100-1112.
- Waters, R., Allen, R., Bastiaanssen, W., Tasumi, M., & Trezza, R. (2002). Sebal. Surface energy balance algorithms for land. Idaho implementation. Advanced Training and Users Manual, Idaho, USA.
- Xiao, Y., Zhao, W., Zhou, D., & Gong, H. (2013). Sensitivity analysis of vegetation reflectance to biochemical and biophysical variables at leaf, canopy, and regional scales. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(7), 4014-4024.
- Yi, Q., Wang, F., Bao, A., & Jiapaer, G. (2014). Leaf and canopy water content estimation in cotton using hyperspectral indices and radiative transfer models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 67-75.
- Zhao, B., Adama, T., Ata-Ul-Karim, S. T., Guo, Y., Liu, Z., Xiao, J., ... & Duan, A. (2021). Recalibrating plant water status of winter wheat based on nitrogen nutrition index using thermal images. *Precision Agriculture*, 1-20.
- Zhou, Z., Majeed, Y., Naranjo, G. D., & Gambacorta, E. M. (2021). Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106019.