

## The Efficiency of Vegetation Spectral Indices Using Remote Sensing Drone Images

FARID FEIZOLAHPOUR<sup>1</sup>, SINA BESHARAT<sup>1\*</sup>, BAKHTIAR FEIZIZADEH<sup>2</sup>, VAHID REZAVERDINEJAD<sup>1</sup>, BEHZAD HESARI<sup>1</sup>

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2. Department of Remote Sensing and Geographical Information System (GIS), Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran.

(Received: Jan. 2, 2021- Revised: Feb. 18, 2021- Accepted: March. 1, 2021)

### ABSTRACT

In recent years, due to the widespread use of remote sensing drones, the qualitative and quantitative monitoring of agricultural farms using this technology has also increased significantly. In this regard, many vegetation indices were introduced to study the plants specifications. It is understood that each method has different strength and capabilities which should be taken into account of consideration when pressing the drone images. In this research, the efficiency of four high frequently vegetation indices were evaluated using the drone spectral data for monitoring the corn field. Field experiments were carried out in the research farm of Urmia University in 2018. The research methodology was developed by evaluating the effect of different levels of irrigation and fertilization on the crop biomass and four spectral indices such as NDVI, GNDVI, SAVI and NDRE. The experimental design was considered in the form of complete randomized blocks with three levels of irrigation and fertilization application, including 100, 80 and 60% of irrigation water requirements and fertilizer requirements within the four evolution step. The imaging operation was designed and performed using an ebee+ fixed wing drone equipped with the Sequoia remote sensing sensor. After performing the required photogrammetric and preprocessing operations by Pix4Dmapper software, the images were used to calculate vegetation index layers. Finally, the effect of different irrigation and fertilization application levels on crop biomass and vegetation indices were evaluated using statistical analysis of variance in the SPSS software. The results indicated that the crop biomass was significantly affected by different levels of water and fertilizer usage, and no significant effect observed on NDVI and SAVI indices in response to water and fertilizer levels. In contrast, The SAVI index was significant to irrigation levels and the NDRE index was significant to irrigation and fertilizer levels.

**Keywords:** Fixed Wing Drone, Photogrammetry, Biomass, Fertigation.

## کارآیی شاخص‌های طیفی گیاهی با استفاده از تصاویر پهپاد سنجش از دور

فرید فیض‌اله پور<sup>۱</sup>، سینا بشارت<sup>۱\*</sup>، بختیار فیضی‌زاده<sup>۲</sup>، وحید رضاوردی‌نژاد<sup>۱</sup>، بهزاد حصاری<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱)

### چکیده

طی سال‌های اخیر به دلیل گسترش استفاده از پهپادهای سنجش از دور، پایش کیفی و کمی مزارع کشاورزی با استفاده از این فناوری نیز رشد چشمگیری داشته است. در این راستا شاخص‌های گیاهی زیادی برای مطالعه وضعیت گیاهی ارائه شده است که هر یک دارای ویژگی‌ها و قابلیت‌های متفاوتی می‌باشند. در این تحقیق کارآیی چهار شاخص گیاهی پرکاربرد در مطالعات پوشش گیاهی به منظور پایش وضعیت گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود دهی بر میزان زیست‌توده گیاهی و چهار شاخص طیفی NDVI، GNDVI، SAVI و NDRE انجام گرفت. طرح آزمایشات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و کودی طی چهار تکرار در نظر گرفته شد. عملیات تصویربرداری با استفاده از پهپاد بال ثابت eBee+ مجهز به دوربین سنجش از دور سکویا انجام پذیرفت. بعد از انجام عملیات فتوگرامتری و پیش‌پردازش‌های موردنیاز در نرم‌افزار Pix4Dmapper، تصاویر جهت محاسبه شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت با استفاده از آنالیز آماری تجزیه واریانس داده‌ها در نرم‌افزار SPSS تأثیر سطوح مختلف آب و کود روی شاخص‌های گیاهی و زیست‌توده گیاهی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میزان زیست‌توده گیاهی نسبت به سطوح مختلف آب و کود در سطح پنج درصد تحت تأثیر بوده و در این میان سطوح آب و کود روی شاخص‌های NDVI و SAVI تأثیر معنی‌داری نداشته‌اند. در مقابل شاخص SAVI نسبت به سطوح آبی و شاخص NDRE نسبت به سطوح آب و کود دارای تغییرات معنی‌دار بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** پهپاد بال ثابت، فتوگرامتری، زیست‌توده، کود آبیاری.

### مقدمه

امنیت غذایی همواره یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر بر روی کره زمین بوده و مدیریت محصولات کشاورزی یکی از وظایف اصلی مدیران و کشاورزان برای تولید غذا می‌باشد. در راستای مدیریت منابع کشاورزی و آبی، فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای و هوایی، روش‌های سودمندی را برای مدل‌سازی مصرف منابع آب، سنجش نیازهای گیاهی و پایش عملکرد محصول در واحد سطح فراهم می‌آورد (Afshar et al., 2019; Afshar and Jamshidi et al., 2020; Delkhordi et al., 2020; Yilmaz, 2017). در سال‌های اخیر استفاده از سکوهایی هوایی بدون سرنشین (UAV) برای اخذ تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. اخذ تصاویر چند طیفی، با توجه به داشتن باندهای مجزا، امکان استخراج انواع شاخص‌های گیاهی

برای پایش پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد (Poorazar et al., 2017). (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al. (2015). پژوهشی به مقایسه سنجش از دور و روش زمین آمار به منظور برآورد عملکرد گندم پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره لندست و IRS که از لحاظ زمانی با زمان انجام عملیات میدانی انطباق داشتند، استفاده کردند. در این مطالعه تعداد ۸ شاخص گیاهی مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت که این شاخص‌ها شامل شاخص‌های گیاهی NDVI، RVI، DVI، IPVI، TVI، MSAVI، 1G و 2G بوده است.

Baio et al. (2018) رابطه خطی مثبتی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و عملکرد پنبه گزارش کردند. (Zhao et al. (2020). گزارش کردند که در مقیاس مزرعه یک مدل پیش‌بینی مبتنی بر شاخص‌های گیاهی NDVI، OSAVI و EVI حاصل از داده‌های ماهواره Sentinel-2، عملکرد بهتری نسبت به پیش‌بینی عملکرد

\* نویسنده مسئول: s.besharat@urmia.ac.ir

<sup>1</sup> Unmanned Aerial Vehicle

استفاده از چهار شاخص پوشش گیاهی و ارتفاع گیاهی با ضریب همبستگی ۰/۶۳ با داده‌های تصویری ۹۰ روز پس از کاشت پیش‌بینی شد.

بررسی و ارزیابی پیشینه تحقیق و منابع موجود بیانگر این مهم است که اگرچه تاکنون، تحقیقات متعددی در خصوص استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای جهت پیش‌بینی وضعیت و عملکرد گیاهی ارائه شده است، اما تاثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری و کوددهی روی شاخص‌های طیفی مورد بررسی قرار نگرفته و در اغلب موارد تنها یک یا چندین رابطه خطی بین شاخص گیاهی و عملکرد محصول ارائه شده است. بنابراین هدف این پژوهش، بررسی تاثیر سطوح مختلف کود و آبیاری روی چهار شاخص گیاهی متداول بوده تا بتوان بهترین شاخص طیفی را برای پایش وضعیت گیاهی ذرت با استفاده از تصاویر پهپاد سنجش از دور شناسایی کرد.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در زمینی به وسعت ۰/۵ هکتار با موقعیت طول جغرافیایی ۴۴/۹۷۲ درجه و عرض جغرافیایی ۳۷/۶۵۵ درجه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا، طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد (مطابق شکل ۱). اراضی دارای شیب مسطح و ملایم (کمتر از ۰/۰۱ متر بر متر) و سطح آب زیرزمینی نسبتاً عمیق می‌باشد. منطقه مورد مطالعه با حداقل و حداکثر دمای بلندمدت به ترتیب ۵/۴ و ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک بود و متوسط بارش سالیانه در آن برابر با ۳۰۸ میلی‌متر می‌باشد. قبل از انجام عملیات کاشت، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌هایی از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک تهیه‌شده و در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفت. بر این اساس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، ازت کل با روش کج‌دال، کربن آلی با روش احتراقی خشک و میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب بر اساس روش‌های اولسن و فیلم فتومتر تعیین گردید. همچنین شوری و pH خاک بعد از تهیه عصاره اشباع با استفاده از دستگاه-های EC متر و pH متر اندازه‌گیری گردید. رطوبت اشباع خاک نیز بصورت مستقیم و با استفاده از سیلندرهای نمونه‌برداری مشخص شد (جدول ۱).

گندم با استفاده از یک یا چند شاخص گیاهی دارد. Broge and Mortensen (2002) در پژوهش خود دریافتند که شاخص‌های گیاهی RVI، NDVI، DVI و MSAVI با شاخص سطح سبز محصول و تراکم کلروفیل رابطه خوبی داشتند. این ارتباط برای شاخص RVI و شاخص سطح سبز محصول بهترین حالت را داشت. Kross et al. (2015) با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از ماهواره RapidEye مجموعه‌ای از روابط انتقالی را جهت برآورد شاخص سطح برگ و بیوماس دو گیاه ذرت و سویا ارائه کردند. آن‌ها از هفت شاخص گیاهی بر اساس ترکیب باندهای green، red، red-edge و near infrared استفاده کردند. شاخص‌های NDVI، NDRE و green NDVI به نوع گیاه حساس نبودند و میزان ضریب تغییرات آن‌ها مابین ۹ تا ۲۷ درصد و ضریب تبیین مابین ۸۶ تا ۸۸ درصد داشتند. شاخص NDVI بهترین توانایی را در تخمین بیوماس خشک برگ گیاهی داشت و درعین حال شاخص‌های گیاهی تجمعی عملکرد قوی‌تری در تخمین کل بیوماس داشتند.

Carneiro et al. (2019) شاخص‌های گیاهی مختلفی را برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی گیاه سویا مورد بررسی قرار دادند. آنان از حسگرهای پوشش گیاهی برای استخراج و مقایسه سه شاخص گیاهی NDVI، NDRE و IRVI استفاده کردند. بر اساس نتایج حاصل، بهترین زمان برداشت اطلاعات ۴۵ و ۶۰ روز پس از کاشت گیاه بوده و شاخص NDRE عملکرد بهتری در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارد.

Yeom et al. (2019) از داده‌های چند زمانی پهپاد با وضوح بالا برای تجزیه و تحلیل اثرات خاک ورزی بر سلامت گیاه و عملکرد شاخص‌های گیاهی مختلف استفاده کردند. داده‌های سری زمانی به صورت هفتگی در طول فصل رشد توسط حسگرهای RGB و چند طیفی پهپاد به‌دست‌آمده و ۱۳ شاخص گیاهی مختلف تعیین گردید. به‌طور کلی در این تحقیق، شاخص‌های گیاهی مبتنی بر NIR عملکرد بهتری نسبت به شاخص‌های مبتنی بر RGB نشان دادند و شاخص‌های MSAVI و OSAVI دارای بهترین عملکرد بودند. (Li et al. (2020) از یک پهپاد سنجش از دور برای تصویربرداری RGB و چند طیفی روی پوشش گیاهی و تخمین زیست‌توده و عملکرد سیب‌زمینی طی دو مرحله از فصل رشد استفاده کردند. آزمایشات میدانی شامل شش رقم و تیمارهای مختلف از نیتروژن، پتاسیم و کودهای ترکیبی بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد محصول با

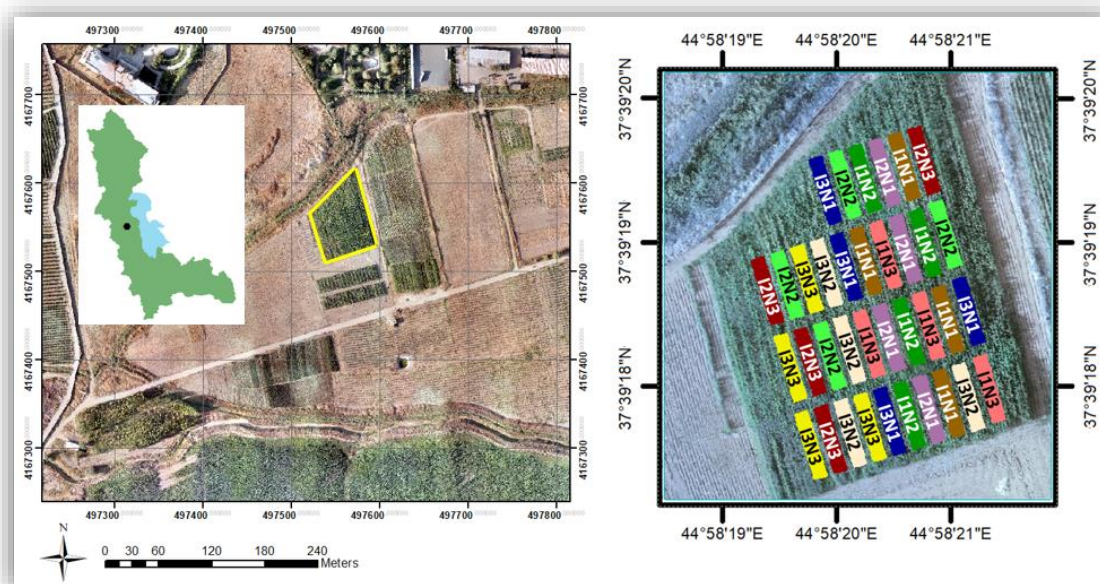
جدول ۱- نتایج آزمایش فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (cm)	بافت خاک	آهک (/)	ازت کل (/)	کربن آلی (/)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	شوری (dS/m)	اسیدیته (pH)	رطوبت اشباع (/)
۰-۳۰	رس سیلتی	۱۰/۲	۰/۱۱	۱/۲۸	۱۱/۲	۴۸۵	۰/۶۵	۸/۲	۵۲
۳۰-۶۰	رسی	۱۰/۸	۰/۰۵	۰/۶۰	۵/۲	۳۷۹	۰/۴۵	۸/۲	۵۱

### طرح آزمایشات

آزمایشات مزرعهای به روش فاکتوریل و در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با نه تیمار در چهار تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی خالص گیاه و فاکتور دوم شامل سه سطح کاربرد کود اوره به صورت ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز کودی در نظر گرفته شد. در شکل ۱، تیمار آبیاری با علامت *I* و تیمار کود با علامت *N* نشان داده شده است. مقدار کود مصرفی بر اساس آزمون تجزیه خاک و توصیه کودی

خاک برابر با ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید و سایر تیمارها به عنوان درصدی از این مقدار در نظر گرفته شدند. تزریق کود به صورت کود آبیاری و در طول فصل رشد طی مراحل ۴-۶ برگی، ۱۰ برگی و مرحله ساقه رفتن با استفاده از کود اوره انجام پذیرفت. زمان تقسیطهای کودی بر اساس دورههای حساس رشد ذرت به مواد غذایی اعمال گردید. علاوه بر این مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر نیز به صورت سوپرفسفات تریپل قبل از کشت به صورت دستی به خاک اضافه گردید.



شکل ۱- موقعیت مزرعه مطالعاتی و طرح تیمارهای آزمایش

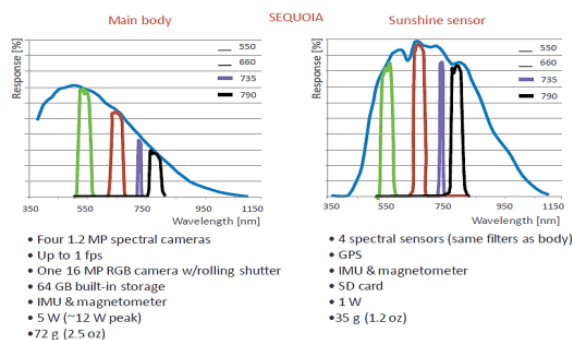
بر حسب  $KPa$ ،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار بر حسب  $KPa \text{ } ^\circ C^{-1}$  و  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار اشباع بر حسب  $KPa$  می باشند. در این مطالعه از داده های ایستگاه هواشناسی دانشگاه ارومیه جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شد. سپس با استفاده از ضریب گیاهی به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مورد نظر تبدیل شد. بر این اساس نیاز خالص آبیاری برای گیاه ذرت برابر با ۶۱۰ میلی-متر در دوره رشد برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی برآورد گردید و آب مورد نیاز سایر تیمارها بر اساس این مقدار مشخص گردید. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ انجام پذیرفت. هر کرت آزمایش شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر و به طول ۱۵ متر بود. فواصل بین کرت ها برای

برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از رابطه فائو پنمن مانیتث بر اساس رابطه (۱) استفاده شد. (رابطه ۱)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{890}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

که در آن،  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع بر حسب  $mm \text{ day}^{-1}$  شار گرمای خاک بر حسب  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب  $m \text{ s}^{-1}$   $e_s$  فشار بخار اشباع بر حسب  $KPa$ ،  $\gamma$  ضریب رطوبتی بر حسب  $KPa \text{ } ^\circ C^{-1}$   $R_n$  تابش خالص بر حسب  $MJ$  میانگین دمای هوا بر حسب  $K$ ،  $e_a$  فشار بخار واقعی

آن، مداومت پرواز ۶۰ دقیقه‌ای را دارا می‌باشد. طی پرواز انجام‌شده، پهپاد به دوربین چند طیفی سنجش از دور سکویا مجهز گردید. مشخصات این سنسور در شکل (۲) ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود این سنسور حاوی چهار باند طیفی در محدوده‌های سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و لبه قرمز می‌باشد که برای مطالعات گیاهی بسیار کاربردی است و می‌توان شاخص‌های گیاهی متنوعی را محاسبه و بررسی کرد.



شکل ۲- پهپاد و مشخصات طیفی دوربین سنجش از دور سکویا

واسنجی طیفی تصاویر قبل از انجام پرواز و با ثبت عکس از صفحه واسنجی استاندارد سنجنده پهپاد توسط نرم افزار e-Motion انجام گردید. در نهایت پس از انجام پیش‌پردازش‌های موردنیاز و تهیه نقشه‌های ارتوفتو در نرم‌افزار Pix4Dmapper، شاخص‌های گیاهی مدنظر بر اساس روابط جدول (۲) محاسبه گردید.

بدین ترتیب در پایان فصل رشد، نمونه‌های گیاهی از چهار ردیف کاشت میانی تهیه‌شده و وزن زیست‌توده به صورت وزن تر اندازه‌گیری و محاسبه گردید. نمونه‌های شاخص‌های گیاهی هم با استفاده از تصاویر هوایی اخذشده متناظر با برداشت‌های گیاهی صورت گرفته انجام پذیرفت. در نهایت برای تعیین اثربخشی تیمارها از روش تجزیه واریانس (ANOVA<sup>۲</sup>) توسط نرم افزار آماری SPSS استفاده‌شده و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۳</sup> انجام گردید.

## نتایج و بحث

نقشه‌های شاخص‌های طیفی به‌دست‌آمده توسط برداشت تصاویر هوایی با استفاده از پهپاد سنجش از دور در شکل (۳) ارائه‌شده است.

جلوگیری از اثر رطوبت سطوح مختلف آبیاری یک و نیم تا دو متر در نظر گرفته شد. برای کاشت ذرت از رقم هیبرید دابل کراس ماکزیمما ۵۸۰ با فواصل ۲۵ سانتی‌متری روی ردیف استفاده شد.

## پهپاد مورد استفاده و شاخص‌های گیاهی

در تحقیق حاضر از یک پهپاد بال ثابت senseFly eBee+ با وزن تقریبی یک کیلوگرم استفاده شد. این پهپاد دارای قابلیت پرواز تمام خودکار بوده و با توجه به مجموعه باطری تعبیه‌شده برای



طراحی پرواز یکی از مهم‌ترین بخش‌های یک پروژه فتوگرامتری است و کاملاً وابسته به نوع و مقیاس نقشه مورد درخواست و همچنین ویژگی‌های منطقه به لحاظ نوع عوارض و توپوگرافی آن، می‌باشد. تمام تنظیمات پرواز نظیر: خطوط پرواز و موقعیت ایستگاه‌های عکس‌برداری، ارتفاع پرواز، همپوشانی طولی و عرضی عکس‌ها، ابعاد GSD<sup>۱</sup> تصویر و سایر پارامترهای مربوطه در این مرحله و توسط نرم افزار eMotion3 تعیین گردید. بدین ترتیب ابعاد GSD تصاویر برابر با ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع پرواز برابر با ۱۱۰ متر و میزان همپوشانی طولی و عرضی تصاویر نیز به ترتیب برابر با ۸۰ و ۷۰ درصد مطابق با استاندارد پیشنهادی کارخانه سازنده در نظر گرفته شد.

همانطور که اشاره شد، از شاخص‌های طیفی سنجش از دور استفاده‌های زیادی برای ارزیابی وضعیت انواع پوشش گیاهی می‌شود که این امر از طریق مقایسه‌ی بازتاب طیفی گیاهان در محدوده‌ی طول موج‌های مختلف صورت می‌گیرد. در این تحقیق از نرم‌افزار Pix4Dmapper برای پردازش، تصحیح و موزاییک تصاویر اخذشده به منظور استخراج شاخص‌های گیاهی مورد نظر استفاده شد.

<sup>1</sup> Ground Sampling Distance

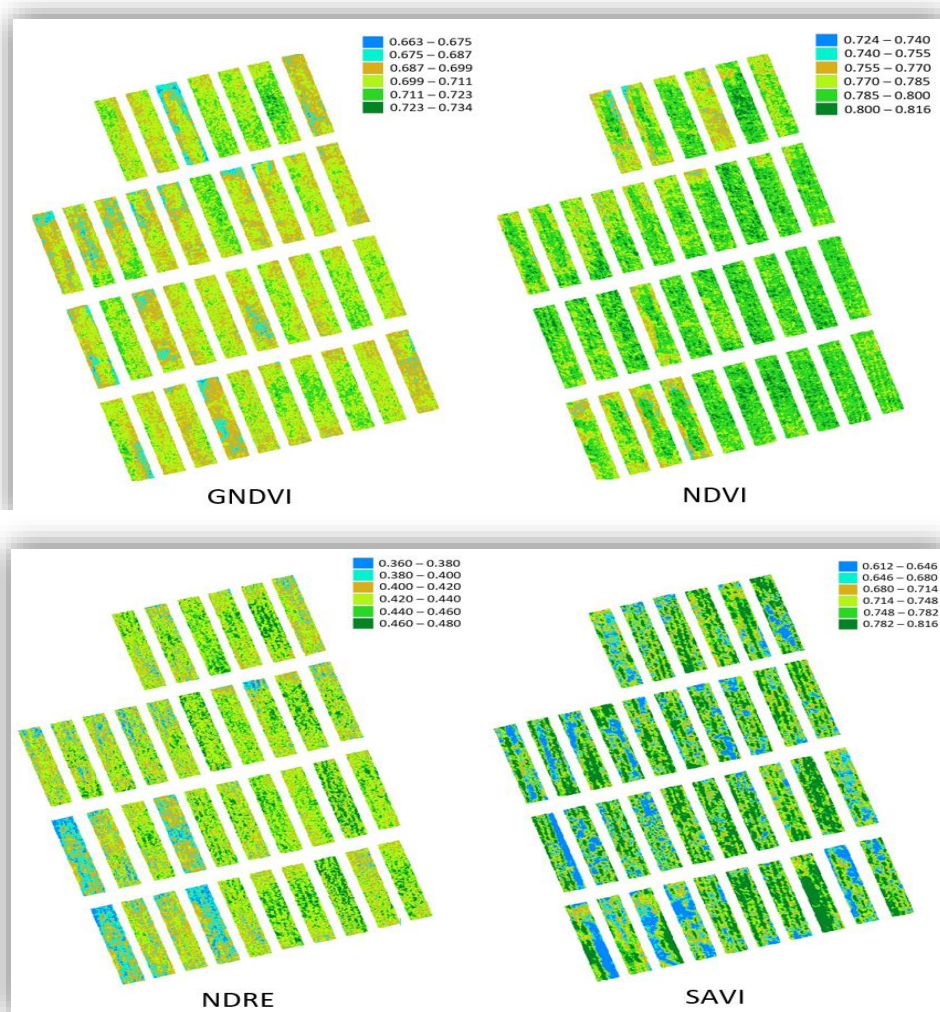
<sup>2</sup> Analysis of Variance

<sup>3</sup> Duncan Test

جدول ۲- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده برای پایش وضعیت گیاهی

مرجع	رابطه	شاخص
Rouse et al. (1974)	$NDVI = \frac{nir-red}{nir+red}$	شاخص تفاضل نرمال شده‌ی گیاهی (NDVI) <sup>۱</sup>
Gitelson et al. (1996)	$GNDVI = \frac{nir-green}{nir+green}$	شاخص تفاضل نرمال شده‌ی سبز گیاهی (GNDVI) <sup>۲</sup>
Huete (1988)	$SAVI = \frac{nir-red}{nir+red+Lc} (1 + Lc)$	شاخص تعدیل‌شده‌ی گیاهی برای خاک (SAVI) <sup>۳</sup>
Gitelson and Merzlyak (1994)	$NDRE = \frac{nir-rededge}{nir+rededge}$	شاخص تفاضل نرمال شده‌ی لبه قرمز گیاهی (NDRE) <sup>۴</sup>

که در روابط بالا، nir بازتابندگی در باند مادون قرمز نزدیک، red بازتابندگی در باند قرمز، green بازتابندگی در باند سبز و rededge بازتابندگی در باند لبه قرمز می‌باشد. همچنین Lc فاکتور تصحیح اثرات زمینه‌ای خاک می‌باشد. مقدار این پارامتر برای پوشش‌های گیاهی متراکم، متوسط و ضعیف به ترتیب ۰ و ۰/۵ و ۱ می‌باشد.



شکل ۳- شاخص‌های طیفی استخراج شده

برخی از شاخص‌های طیفی ذرت ارائه شده است. علاوه بر این در جدول (۴) نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف که بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفته، ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصله، مشاهده شد که زیست توده و برخی از شاخص‌های طیفی گیاه ذرت، تحت تاثیر سطوح آبیاری و کود دهی می‌باشند. در جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس زیست توده و

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index

<sup>2</sup> Green Normalized Difference Vegetation Index

<sup>3</sup> Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>4</sup> Normalized Difference Red Edge

جدول ۳- تجزیه واریانس زیست‌توده و برخی شاخص‌های طیفی ذرت

میانگین مربعات (M.S)				زیست‌توده (تن در هکتار)	درجه آزادی	منبع تغییرات
NDRE	SAVI	GNDVI	NDVI			
۰/۰۱۷**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۲۷۱۳/۶۲**	۲	سطح آبیاری
۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۱۹۷۲/۳۱**	۲	سطح کود دهی
۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۴۲۲/۶۴**	۴	اثر آبیاری × اثر کود
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۷/۳۹	۳	تکرار
۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۴۸/۱۱	۲۴	خطای آزمایشی

<sup>ns</sup> غیر معنی‌دار، \*\* معنی‌دار در سطح ۱٪، \* معنی‌دار در سطح ۵٪

## زیست‌توده

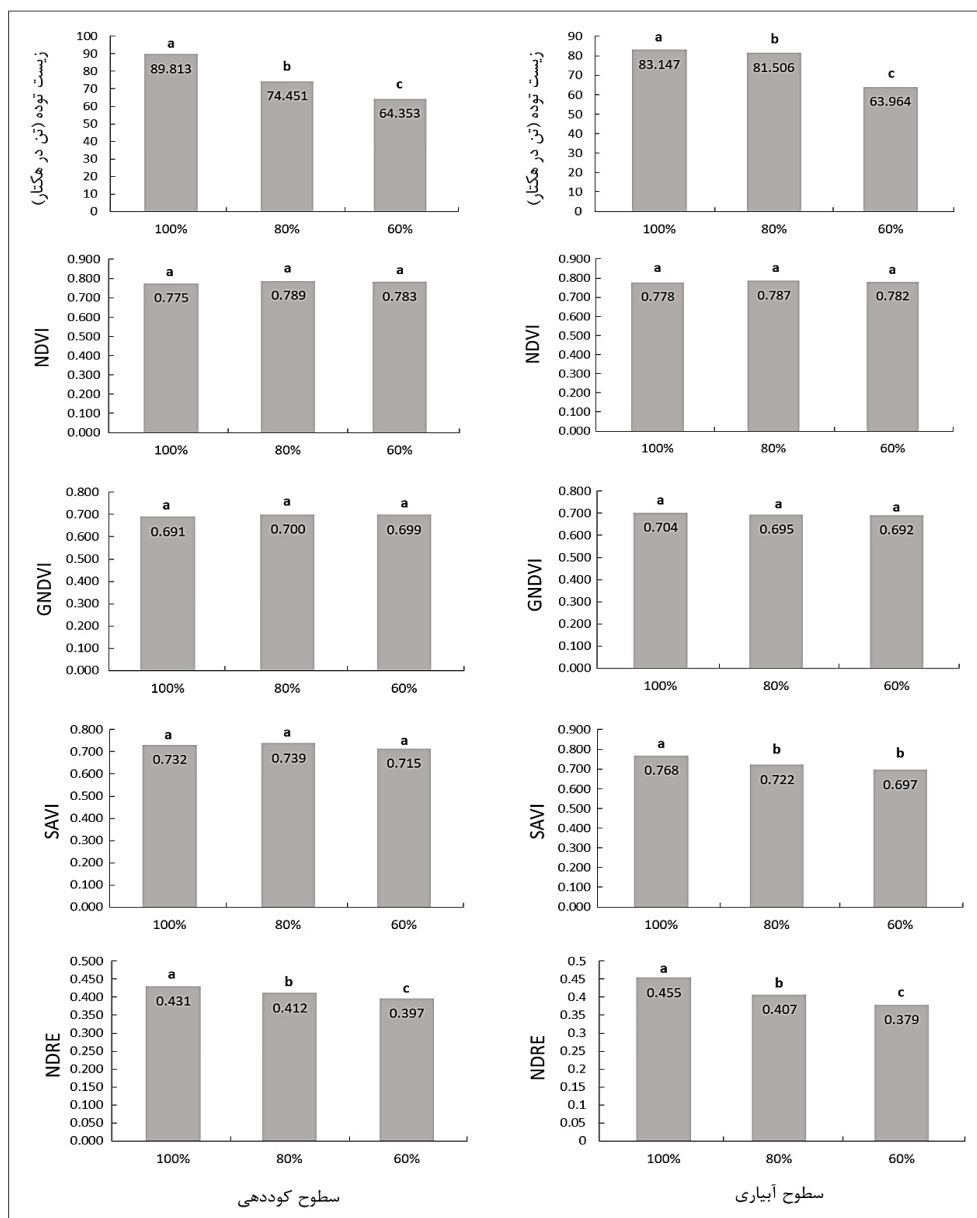
دهی، میزان زیست‌توده ذرت نیز کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (شکل ۴). بدین ترتیب میزان زیست‌توده گیاهی در تیمارهای با سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد به ترتیب برابر با ۸۳/۱۴۷، ۸۱/۵۰۶ و ۶۳/۹۶۴ تن در هکتار بوده است.

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، اثر سطوح آبیاری، کود و اثر متقابل آن‌ها بر میزان زیست‌توده گیاهی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بر این اساس مقایسه میانگین سطوح آبیاری و کودی نشان داد که با کاهش میزان آبیاری و کود

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و کود دهی بر زیست‌توده و شاخص‌های طیفی ذرت

میانگین				زیست‌توده (تن در هکتار)	تیمار
NDRE	SAVI	GNDVI	NDVI		
۰/۴۶۹a	۰/۷۸۵a	۰/۷۰۱ab	۰/۷۵۹ a	۹۴/۳۷۵a	T1 (I1F1)
۰/۴۶۱ a	۰/۷۸۰ab	۰/۷۱۶a	۰/۷۹۵ b	۷۹/۹۱۷ b	T2 (I1F2)
۰/۴۳۶b	۰/۷۳۷bc	۰/۶۹۳ab	۰/۷۷۶ ab	۷۵/۱۴۸ d	T3 (I1F3)
۰/۴۳۳ b	۰/۷۲۴cd	۰/۶۸۸b	۰/۷۸۸ b	۹۶/۵۴۳ a	T4 (I2F1)
۰/۴۰۱c	۰/۷۱۴cd	۰/۶۹۱ab	۰/۷۸۶ b	۷۶/۱۴۳cd	T5 (I2F2)
۰/۳۸۵cd	۰/۷۲۶cd	۰/۷۰۴ ab	۰/۷۸۵ab	۷۱/۸۳۳ e	T6 (I2F3)
۰/۳۹۱cd	۰/۶۸۶cd	۰/۶۸۳ b	۰/۷۷۷ab	۷۸/۵۱۹bc	T7 (I3F1)
۰/۳۷۷ d	۰/۷۲۳cd	۰/۶۹۴ ab	۰/۷۸۳ab	۶۷/۲۹۴ f	T8 (I3F2)
۰/۳۷۲ d	۰/۶۸۱ d	۰/۶۹۹ab	۰/۷۸۵ ab	۴۶/۰۷۸ g	T9 (I3F3)

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

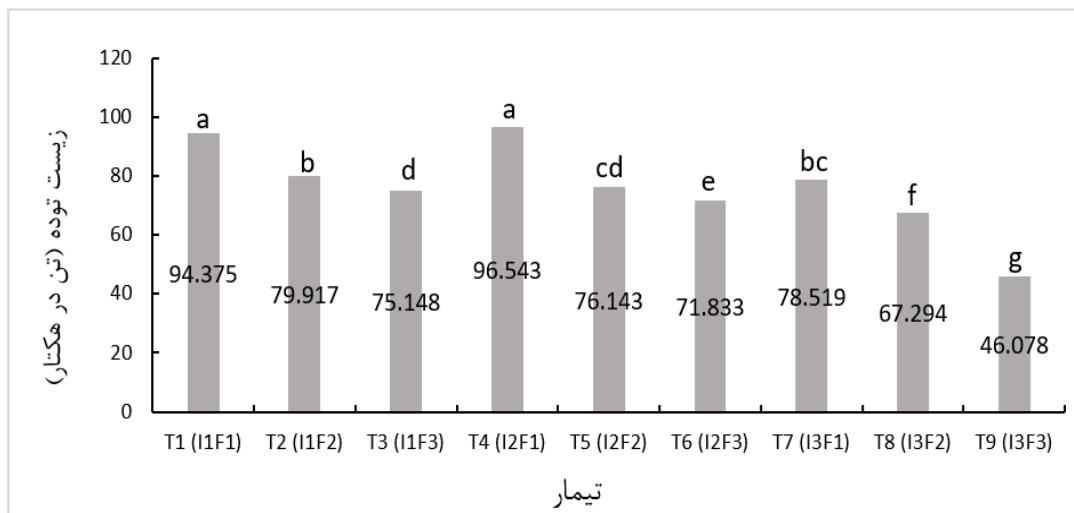


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری و کود دهی بر میزان زیست توده گیاهی و شاخص‌های طیفی

زیست توده گیاهی مربوط به تیمارهای T1 با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کودی و T2 با ۸۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی به ترتیب برابر با ۹۴/۳۷۵ و ۹۶/۵۴۳ تن در هکتار می‌باشد. تیمارهای T2، T7، T5 و T3 به ترتیب با میانگین زیست توده برابر با ۷۹/۹۱۷، ۷۸/۵۱۹، ۷۶/۱۴۳ و ۷۵/۱۴۸ تن در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار دارند که البته تفاوت عملکرد تیمارهای T2 و T7 نسبت به تیمارهای T5 و T3 معنی‌دار می‌باشد. همچنین تیمار T9 با ۶۰ درصد نیاز آبی و کودی نسبت به سایر تیمارها دارای پایین‌ترین عملکرد بوده و میانگین زیست توده در این تیمار برابر با ۴۶/۰۷۸ تن در هکتار است.

همچنین ترتیب میزان زیست توده گیاهی در تیمارهای با سطح کود دهی ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد به ترتیب برابر با ۸۹/۸۱۳، ۷۴/۴۵۱ و ۶۴/۳۵۳ تن در هکتار بوده است. در تحقیقی مشابه Bibe et al., (2018) اثر سه سطح کودی ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد توصیه کودی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش مصرف کود، عملکرد ذرت نیز بصورت معنی‌دار کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این نتایج مشابهی نیز توسط Alizadeh et al. (2009) و Taghizadeh and Seyed Sharifi (2011) گزارش شده است. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، بیشترین میزان





شکل ۵- مقایسه میانگین زیست‌توده میان تیمارهای مختلف

### شاخص تعدیل‌شده‌ی گیاهی برای خاک (SAVI)

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها (جدول ۳)، اثر سطوح آبیاری بر شاخص طیفی SAVI اثر معنی‌داری داشته است. بر این اساس با افزایش سطوح آبیاری میزان شاخص SAVI افزایش یافته و بیشترین مقدار آن در تیمارهای با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است. این شاخص برای تیمارهای ۸۰ درصد نیاز آبی نیز از تیمارهای ۶۰ درصد بیشتر بوده ولی بر اساس آزمون مقایسه میانگین صورت گرفته این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل این تحقیق، اثر سطوح کود دهی و نیز اثر متقابل آب و کود بر روی شاخص SAVI معنی‌دار نمی‌باشد.

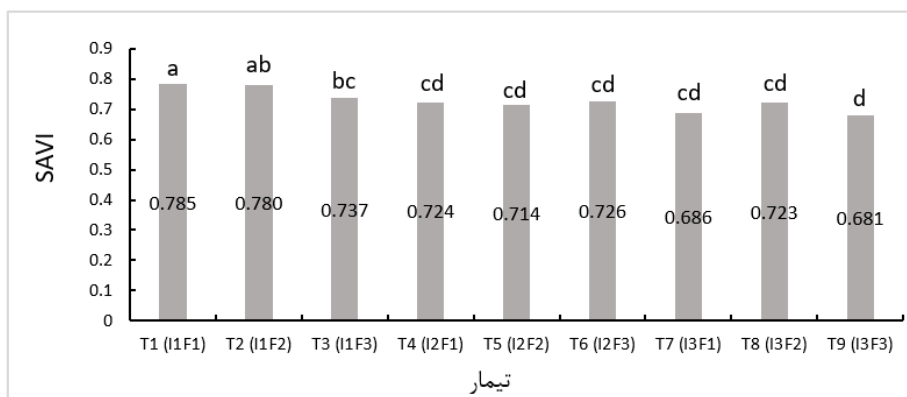
مطابق شکل (۶) تیمار T1 بر اساس مقایسه میانگین تیمارها دارای بیشترین مقدار شاخص SAVI برابر با ۰/۷۸۵ بوده و پس از آن تیمار T2 در رتبه بعدی قرار دارد. کمترین میزان شاخص SAVI در تیمار T9 با ۶۰ درصد نیاز کودی و آبی برابر با ۰/۶۸۱ ثبت شده است.

### شاخص تفاضل نرمال شده‌ی گیاهی (NDVI) و شاخص

### تفاضل نرمال شده‌ی سبز گیاهی (GNDVI)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که، اثر سطوح آبیاری، کود دهی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های NDVI و GNDVI در سطوح یک و پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند. مقادیر شاخص‌های NDVI و GNDVI برای تیمارهای آبی و کودی مطابق شکل (۴) به‌دست‌آمده است.

علیرغم اینکه این شاخص‌ها در اغلب تحقیقات جهت تخمین میزان عملکرد گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی مطابق نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات کارآیی ضعیف‌تری نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارند. کارنیرو و همکاران با مقایسه شاخص‌های گیاهی مختلف به این نتیجه رسیدند که شاخص NDVI عملکرد ضعیف‌تری نسبت به شاخص‌های NDRE و IRVI در برآورد زیست‌توده و عملکرد لوبیا داشته است (Carneiro et al., 2019).



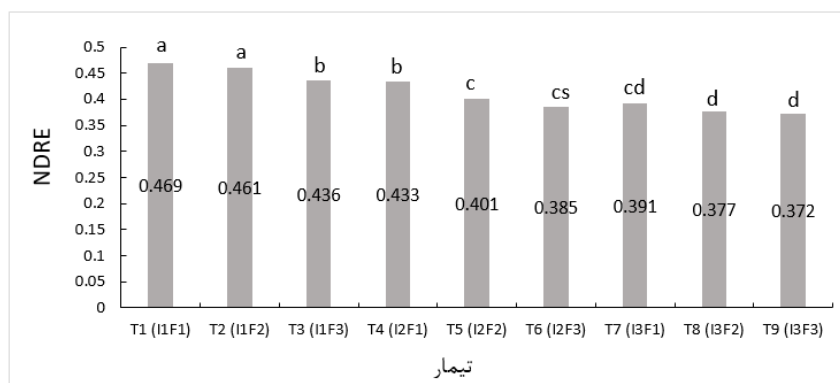
شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص طیفی SAVI میان تیمارهای مختلف

بر این اساس با توجه به اینکه شاخص NDRE از باند طیفی مربوط به لبه قرمز در محدوده طیفی ۷۳۰ تا ۷۴۰ نانومتر استفاده می‌کند و این محدوده طیفی به میزان نیتروژن برگ گیاهی حساس می‌باشد (Jorge et al., 2019)، با افزایش مصرف آب و کود، میزان نیتروژن گیاهی و رشد گیاه افزایش پیدا کرده و بدین صورت شاخص NDRE نیز به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند.

لازم به ذکر است همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، بیشترین میزان NDRE مربوط به تیمارهای T1 و T2 بوده و پس از آن تیمارهای T3 و T4 دارای NDRE بیشتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشند. تیمارهای T8 و T9 هم کمترین میزان شاخص NDRE را داشته‌اند و میزان زیست‌توده این تیمارها نیز بر اساس جدول (۴) کمترین میزان را داشته‌است.

### شاخص تفاضل نرمال شده لبه قرمز گیاهی (NDRE)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، مقادیر سطوح مختلف آبیاری و کود دهی تاثیر معنی‌داری بر شاخص طیفی NDRE در سطح یک درصد دارند (جدول ۳). در تیمارهای با سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد، بیشترین متوسط شاخص NDRE برابر با ۰/۴۳۱ به دست آمد. همچنین مقدار شاخص NDRE برای تیمارهای ۸۰ درصد نیاز آبی برابر با ۰/۴۱۲ بوده و تفاوت معنی‌داری با NDRE تیمارهای ۶۰ درصد نیاز آبی دارد. علاوه بر این افزایش مقدار کود از سطح ۶۰ درصد تا سطح ۸۰ درصد و از ۸۰ درصد تا ۱۰۰ درصد توصیه کودی، باعث افزایش معنی‌دار شاخص NDRE می‌گردد (شکل ۴). بدین ترتیب مقدار میانگین شاخص NDRE برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد کودی به ترتیب برابر با ۰/۴۵۵، ۰/۴۰۷ و ۰/۳۷۹ به دست آمد.



شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص طیفی NDRE میان تیمارهای مختلف

تغییرات آبیاری و کود دهی نشان ندادند. لذا استفاده از شاخص‌هایی که بر مبنای باند لبه قرمز می‌باشند، نسبت به سایر شاخص‌ها عملکرد بهتری می‌توانند داشته باشند، که این امر به دلیل حساس بودن این محدوده طیفی نسبت به میزان نیتروژن و کلروفیل برگ گیاه می‌باشد. بطور کلی بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از شاخص‌های گیاهی می‌تواند در پایش و ارزیابی میزان تولیدات کشاورزی و بررسی علل تنش‌های گیاهی مفید و موثر باشد. با لحاظ جدید بودن تصاویر پهپاد و افزایش دسترسی به آنها در بین متخصصین کشاورزی و منابع طبیعی و سایر رشته‌های مرتبط، نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای محققین آبی در استفاده اصولی از داده‌های پهپادی بوده و با معرفی روش‌های کارآمد، نقش مهمی در توسعه علمی سنجش از دور کشاورزی داشته باشد. نتایج این تحقیق همچنین برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران دارای اهمیت زیادی بوده و می‌تواند با ارائه اطلاعات

### نتیجه‌گیری

طی سال‌های اخیر به دلیل گسترش استفاده از پهپادهای سنجش از دور، استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از این تصاویر هوایی نیز به منظور پایش وضعیت عملکرد گیاهان افزایش یافته‌است. در این تحقیق، عملکرد چهار شاخص گیاهی پرکاربرد NDVI، SAVI، GNDVI و NDRE مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایشات مزرعه‌ای با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب سه سطح آبیاری و کود دهی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد برای بررسی عملکرد ذرت انجام گردید. بر اساس نتایج حاصل شاخص‌های NDRE و SAVI عملکرد بهتری در بررسی شرایط محصول‌دهی داشتند. بطوریکه شاخص NDRE نسبت به هر دو فاکتور سطوح آبیاری و کود دهی و شاخص SAVI نسبت به سطوح مختلف کود دهی، تغییرات معنی‌داری را از خود نشان دادند. شاخص‌های NDVI و GNDVI نیز هیچ تاثیرپذیری معنی‌داری از میزان

آورد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

مستند از اراضی تحت ارزیابی و معرفی تکنیک‌های کارآمد زمینه مناسبی برای کاربرد داده‌های پهنپای در کشاورزی دقیق را فراهم

## REFERENCES

- Afshar, M. H. and Yilmaz, M. T. (2017). The added utility of nonlinear methods compared to linear methods in rescaling soil moisture products. *Remote Sensing of Environment*, 196, 224-237
- Afshar, M. H., Yilmaz, M. T. and Crow, W. T. (2019). Impact of rescaling approaches in simple fusion of soil moisture products. *Water Resources Research*, 55(9), 7804-7825
- Alizadeh, H. A., Liaghat, A. and Abbasi, F. (2009). Effect of furrow fertigation on fertilizer and water use efficiency, productivity and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Water and Soil*, 23(2009), 137-147. (In Farsi)
- Baio, F. H. R., Neves, D. C., Campos, C. N. S. and Teodoro, P. E. (2018). Relationship between cotton productivity and variability of NDVI obtained by landsat images. *Bioscience Journal*, (34), 197-205.
- Bibe, S. M., Jadhav, K. T. and Kalasare, R. S. (2018). Studies on Fertigation Management in Post Kharif Maize. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Special Issue (6), 1343-1347.
- Broge, N. H. and Mortensen, J. V. (2002). Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote sensing of environment*, (81), 45-57.
- Carneiro, F. M., Furlani, C. E. A., Zerbato, C., de Menezes, P. C., da Silva Gírio, L. A. and de Oliveira, M. F. (2019). Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. *Precision Agriculture*, 1-29.
- Dehkordi, P. A., Nehbandani, A., Hassanpourbourkheili, S. and Kamkar, B. (2020). Yield gap analysis using remote sensing and modelling approaches: Wheat in the northwest of Iran. *International Journal of Plant Production*, 14(3), 443-452.
- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N. (1994). Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 22(3), 247-252.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J. and Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
- Huete, A. (1988). Huete, AR A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. *Remote sensing of environment*, (25), 295-309.
- Jamshidi, S., Zand-Parsa, S., and 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.
- Jorge, J., Vallbé, M. and Soler, J.A. (2019). Detection of irrigation in-homogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 169-177.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M. and Champagne, C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (34), 235-248.
- Li, B., Xu, X., Zhang, L., Han, J., Bian, C., Li, G., Liu, J. and Jin, L. (2020). Above-ground biomass estimation and yield prediction in potato by using UAV-based RGB and hyper-spectral imaging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (162), 161-172
- Mohammadi Ahmad Mahmoudi, E., kamkar, B. and Abdi, O. (2015). Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield prediction in some of growing stages (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). *Journal of Crop Production*, 8(2), 51-76. (In Farsi)
- Poorazar, H., Samadzadegan, F., Dadras Javan, F. and asadi, A. (2017). Multi spectral aerial imagery for peach health assessment. *International Conference on agricultural, Natural resources and sustainable resource*, 8-8 Oct., Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, (351), 309.
- Taghizadeh, R. and Seyed Sharifi, R. (2011). Effect of nitrogen on yield attributes and nitrogen use efficiency in corn cultivars. *Journal of Water and Soil Science*, 15(57), 209-217. (In Farsi)
- Yeom, J., Jung, J., Chang, A., Ashapure, A., Maeda, M., Maeda, A. and Landivar, J. (2019). Comparison of vegetation indices derived from UAV data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*, 11(13), 1548.
- Zhao, Y., Potgieter, A. B., Zhang, M., Wu, B., Hammer, G. L. (2020). Predicting wheat yield at the field scale by combining high-resolution sentinel-2 satellite imagery and crop modeling. *Remote Sensing*, 12(6), 1024.