

## تخمین عملکرد و زیست توده ذرت علوفه‌ای در هر بازدید ماهواره‌ای در طی فصل رشد (مطالعه موردی: دشت فراهان)

ناصر گنجی خرم‌دل<sup>۱\*</sup> و غلامرضا خالقی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۵)

### چکیده

امروزه استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و تکنولوژی سنجش از دور به‌عنوان ابزاری کارآمد در بیشتر کشورهای جهان به‌منظور بررسی، شناسایی و مدیریت منابع زمینی و در کشاورزی دقیق به صورت گسترده مطرح است. از جمله مواردی که اطلاعات ماهواره‌ای می‌تواند به‌عنوان تأمین‌کننده اطلاعات پایه و به‌هنگام برای استفاده در برنامه‌ریزی مورد توجه قرار گیرد تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی، برآورد اراضی آبیاری و تعیین برخی از شاخص‌های بیولوژیک به‌ویژه در برآورد سطح زیر کشت محصولات عمده کشاورزی است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های لندست ۸، پنج شاخص گیاهی رایج شامل (DVI, NDVI, NIR, PD321, SAVI) به‌منظور برآورد زی‌توده و میزان عملکرد ذرت بررسی شد. منطقه مورد مطالعه دشت فراهان واقع در استان مرکزی است و نمونه‌برداری‌های زمینی در پنج مزرعه در پنج بازدید متناظر با تاریخ‌های گذر لندست ۸ از منطقه انجام گرفت. نتایج بیانگر همبستگی بالای شاخص NDVI برای بازدیدهای اول، شاخص PD321 برای بازدید دوم، NIR برای بازدید سوم، DVI برای بازدید چهارم و در نهایت SAVI برای بازدید پنجم به‌ترتیب برابر با ۰/۷۳، ۰/۵۸، ۰/۶۷، ۰/۶۲ و ۰/۷۳ است. در ضمن در اوایل کشت ذرت علوفه‌ای که پوشش گیاهی کم است، شاخص NDVI با ضریب همبستگی قابل قبولی (۰/۷۵)، زی‌توده را برآورد کرد، ولی در آخرین بازدید که پوشش گیاهی به حداکثر خود رسید، این شاخص SAVI بود که با ضریب همبستگی بالایی (۰/۷۳)، زی‌توده را برآورد کرد. نتایج پژوهش بیانگر دقت قابل قبول روش استفاده شده بود. دقت این روش برای دوره‌های میانی رشد بهتر از دوره‌های ابتدایی رشد گیاهان است. پس توصیه می‌شود که به‌جای استفاده از یک شاخص گیاهی برای کل دوره رشد از شاخص مطلوب برای آن مرحله از رشد گیاه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شاخص مناسب پوشش گیاهی، عملکرد محصول، زی‌توده، ذرت علوفه‌ای

۱ و ۲. به‌ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: naser.ganjikhorrandel@gmail.com

## مقدمه

یکی از موضوعات مهم در علم اقتصاد کشاورزی برآورد مقدار تولید است. آمار و اطلاعات مربوط به میزان تولید محصولات کشاورزی، در تدوین و تنظیم سیاست‌های صادرات و واردات، قیمت‌گذاری فراورده‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی‌های توسعه کشاورزی و سایر مسایل مربوط به این بخش، به‌عنوان ابزار پایه محسوب می‌شود. با روند فعلی افزایش جمعیت، داشتن اطمینان کافی از امنیت غذایی، تبدیل به یک چالش کلیدی برای بیشتر کشورها شده است. به دلیل طبیعت دینامیکی محصولات از نظر زمانی و مکانی، با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان به یک ارزیابی قابل اطمینان برای استفاده کشاورزان و متخصصین دست یافت. این خود باعث نیل به کشاورزی پایدار خواهد شد (۲۴). امروزه تصاویر سنجش از دور به‌عنوان جدیدترین اطلاعات برای مطالعه پوشش گیاهی و تخمین پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی گیاهان شناخته شده است. یکی از جنبه‌های کاربردی استفاده از سنجش از دور اندازه‌گیری پارامترهای فنولوژی گیاه و پیش‌بینی عملکرد محصول است (۲۴). این تصاویر به‌منظور ارائه اطلاعات به هنگام، تنوع اشکال، رقمی بودن و امکان پردازش در مطالعات پوشش گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. آگاهی از میزان تولید محصولات کشاورزی یکی از ضروری‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای برنامه‌ریزی پایه‌ای در امر کشاورزی است. تخمین پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان از جمله زی‌توده به روش‌های سنتی در قالب نمونه‌برداری‌های محدود و توزین نهایی وزن محصول علاوه بر صرف وقت نیروی انسانی و هزینه زیاد، بسیار مشکل و طاقت‌فرساست. از این‌رو استفاده از تکنیک سنجش از دور به‌منظور ایجاد اطلاعات مناسب از مناطق وسیع و مشاهدات تکراری با صرف وقت و هزینه کمتر، امری ضروری است (۶، ۸ و ۲۶). تاکنون شاخص‌های گیاهی برای ارزیابی و برآورد پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی مختلف گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این شاخص‌ها به‌دلیل سهولت استفاده یکی از متداول‌ترین تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد چنین

پارامترهایی هستند. عموماً شاخص‌ها برای ارزیابی یک یا چند پارامتر خاص و بر مبنای ویژگی‌ها و رفتار طیفی پدیده‌ها توسعه داده می‌شوند. بسیاری از این شاخص‌ها بر مبنای بازتاب در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک قرار داشته و ترکیب جبری از این دو باند هستند (۳، ۴، ۵ و ۱۵). اساس کار این شاخص‌ها روی اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل است که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند و انعکاس شدید در باند مادون قرمز نزدیک وجود داشته باشد (۹، ۱۲ و ۱۴). شاخص‌هایی که در این محدوده قرار دارند، برای ارزیابی پارامترهایی چون شاخص سطح برگ (Leaf Area Index)، زی‌توده (Biomass)، درصد پوشش و میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده ایجاد شده‌اند (۶، ۱۲ و ۱۶). در طی سال‌های اخیر شاخص‌های گیاهی متعددی برای ارزیابی و برآورد متغیرهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی گیاهان استفاده شده‌اند. تاکنون بیش از ۵۰ شاخص پوشش گیاهی توسعه یافته و در کاربردهای مختلف سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است (۳، ۵ و ۱۰). شاخص‌هایی که در این محدوده قرار دارند برای ارزیابی پارامترهایی چون شاخص سطح برگ (LAI)، زی‌توده، درصد پوشش گیاهی و میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده ایجاد شده‌اند (۲، ۵ و ۱۴). پژوهشگران زیادی از داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی استفاده و ارزیابی کردند (۲۳). ساواساوا برای تخمین عملکرد گیاه برنج در ایالت آندهارا پردازش از شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) سنجنده IRS استفاده کرد نتایج بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این شاخص و عملکرد محصول در سطح مزارع برنج بود (۳۰). بائو و همکاران (۵) در کشور چین به برآورد تولید گندم زمستانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور پرداختند. آنها گزارش کردند با برآورد ماده خشک گندم زمستانه در مراحل سبز شدن، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گل‌دهی و پر شدن دانه می‌توان وضعیت رشد گیاه را بررسی کرد و برای این کار از پنج تصویر

ضریب گیاهی و شاخص سطح برگ برنج در مراحل مختلف زراعی از سنجنده OLI استفاده شد. نتایج حاکی از رابطه خطی بین ضریب گیاهی و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) با  $r > 0.97$  داشت. نتایج نشان داد که شاخص NDVI برآوردگر خوبی برای ضریب گیاهی برنج است (۱۷). در پژوهشی مشخص شد که شاخص سطح برگ، ارتفاع تاج گیاه و زی توده روی سطح زمین از پارامترهای ساختاری مهم هستند. پیش‌بینی دقیق این سه پارامتر برای بهبود پایش رشد و پیش‌بینی عملکرد محصول لازم و ضروری است. سیستم تریبی-تشنیسی لیدار (Light Detection and Ranging System) یک روش بسیار قابل مطمئن به منظور پیش‌بینی دقیق این پارامترهای ساختاری است. روش لیدار به‌طور گسترده‌ای به‌منظور تخمین پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و ارتفاع زیست توده استفاده شده و با استفاده از آن به پیش‌بینی‌های بسیار دقیقی دست یافته شده است. این تکنیک در ترکیب با تصویر برداری طیفی (Hyperspectral Imagery) توانسته است که با دقت بسیار زیادی پارامترهای پوششی گیاه را پیش‌بینی کند (۲۱). میزان اهمیت استفاده از ماهواره لندست ۸، در این پژوهش به این دلیل است که نسل جدید سری ماهواره‌های لندست، ماهواره لندست ۸ است. این هشتمین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست و هفتمین ماهواره‌ای است که با موفقیت در مدار قرار گرفته است. مأموریت این ماهواره ادامه اخذ و ثبت اطلاعات داده‌های سری ماهواره‌های لندست بود که در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. این کار با هدف اخذ مستمر داده و در دسترس قرار دادن داده‌های لندست با استفاده از دو سنجنده، یکی سنجنده تصویر بردار عملیاتی زمین (OLI) و دیگری سنجنده مادون قرمز حرارتی (TIRS) تضمین شد. این دو سنجنده به ترتیب، اطلاعات تصویری ۹ باند موج کوتاه و ۲ باند حرارتی را جمع‌آوری می‌کنند. ناسا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا در حال کار روی پروژه لندست ۹ هستند تا ادامه‌دهنده راه لندست‌های گذشته باشند که قرار است در سال ۲۰۲۳ به فضا پرتاب شود. هدف از انجام این پژوهش این است که با

لندست TM استفاده کردند. سپس بر اساس تصاویر MODIS و Landsat TM شاخص‌های طیفی مانند NDVI، RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index)، EVI (Enhanced Vegetation Index)، MSAVI (Modified Soil Adjustment Vegetation Index) و NDWI (Normalized Difference Water Index) را محاسبه کردند. ژانگ و همکاران (۳۲) مدلی برای تخمین عملکرد محصول گندم با کمک داده‌های NDVI حاصل از تصاویر MODIS ارائه دادند. آنها ارتباط بین شاخص NDVI و میزان تولید زیست توده را محاسبه کردند. در گام بعد میزان عملکرد با توجه به شاخص برداشت که با کمک تغییرات شاخص NDVI در طول دوره سبز شدن تا رسیدگی به دست آمده بود، تعیین شد. به‌منظور مقایسه سنجنش از دور و زمین‌آمار برای برآورد عملکرد گندم پژوهشی انجام شد. از سه پارامتر شاخص سطح برگ، زیست توده و عملکرد داده در سه مرحله، نمونه گیاهی گرفته و متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شدند. تعداد هشت شاخص گیاهی از تصاویر استخراج و ارتباط بین آنها و متغیرهای گیاهی استخراج و نقشه متغیرهای گیاهی با کمک تصاویر تهیه و ارزیابی شد. ارزیابی نقشه‌های عملکرد پیش‌بینی شده برتری قاطع روش سنجنش از دور را نسبت به روش زمین‌آمار نشان داد. نتایج بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در پیش‌بینی عملکرد گندم در اواخر دوره پنجه‌زنی بود (۲۲). هدف از انجام یک پژوهش، تخمین زی توده عملکرد ذرت علوفه‌ای بر اساس داده‌های سنجنش از دور بود که از ماهواره سنتینل-۲ (Sentinel-2) که دارای قدرت تفکیک مکانی بالا بود، استفاده شد. داده‌های عملکرد محصول با اندازه‌گیری‌های زمینی در مقیاس محلی و منطقه‌ای صحت‌سنجی شد که نتیجه حاکی از قابل قبول بودن تخمین‌ها در هر دو مقیاس محلی و منطقه‌ای بود (۷). صباغ‌زاده و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در حوضه مرک (استان خراسان جنوبی) و استفاده از ۱۱ شاخص گیاهی میزان زیست توده گیاه تاغ را برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌هایی که ضرایب خاک را در نظر می‌گیرند از دقت بالاتری برخوردارند (۲۸). در پژوهشی با هدف برآورد

مطالعاتی انجام گرفت. ابتدا پنج مزرعه که در دشت فراهان زیر کشت ذرت قرار داشت، انتخاب شد، سپس در هر بازدید با توجه به اندازه پیکسل‌ها، پلاتی به ابعاد  $16 \times 16$  متر مربع از هر کدام از این مزارع برای نمونه‌برداری انتخاب شد. سپس در مرکز هر پلات مربعی به ابعاد یک متر در یک متر انتخاب شد و با توجه به اینکه امکان برداشت کل محصول در هر زیر پلات نبود تعداد بوته‌های موجود در سطح کل مربع شمارش شد که در بیشتر مزارع، ذرت علوفه‌ای با فواصل  $10 \times 75$  سانتی‌متر مربع کشت می‌شد و سپس چهار بوته ذرت از اضلاع مربع برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در شکل (۲) نحوه نمونه‌برداری به صورت بصری نمایش داده شده است. نمونه‌برداری میدانی در پنج مزرعه و در پنج تاریخ، همزمان با عبور ماهواره لندست ۸ از منطقه انجام گرفت (۱ و ۲۳).

#### مشخصات ماهواره مورد استفاده

ماهواره ۸۸۵ میلیونی دلاری LDCM (Landsat Data Continuity Mission) یا لندست ۸ هشتمین ماهواره در تاریخ برنامه لندست است که با مشارکت ناسا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا به کار گرفته شده است. این ماهواره در فاصله ۴۳۸ مایلی زمین (۷۰۵ کیلومتری) با مدار قطبی قرار گرفته و دارای دو سنجنده OLI و TIRS است. این دو سنسور باهم ۱۱ باند را تشکیل می‌دهند که هشت باند دارای رزولوشن ۳۰ متری، باند پانکروماتیک ۱۵ متری و دو باند حرارتی ۱۰۰ متری است (۲۵).

#### تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای

خطاهای هندسی مجموعه خطاهایی هستند که باعث تغییر شکل، جابه‌جایی و تغییر مختصات اشیا روی تصویر می‌شوند که در اثر عوامل مختلفی نظیر حرکت نسبی زمین و ماهواره، کرویت زمین، خطاهای دستگاه و تغییر وضعیت سنجنده و یا ماهواره، دارای اعوجاج و خطاهای هندسی هستند (۲۵). تصحیح هندسی تصاویر در این پژوهش، بر اساس سیستم مختصات UTM/WGS۸۴ و نقاط کنترل زمینی با استفاده از

استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸، متداول‌ترین شاخص‌های چندطیفی را به منظور برآورد زی‌توده و میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در دشت فراهان مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت میزان همبستگی شاخص‌های مورد بررسی در بازدیدهای انجام شده نیز بررسی شده و برای هر بازدید شاخص با همبستگی بالاتر تعیین و معرفی شود. از این اطلاعات می‌توان به اولویت‌بندی شاخص‌ها بر اساس میزان تأثیرشان در برآورد میزان پوشش گیاهی پی برد و در نهایت از نتایج آن در تخمین میزان بهره‌وری در کشاورزی استفاده کرد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که تاکنون چنین مطالعه‌ای در استان مرکزی (دشت فراهان) انجام نگرفته است.

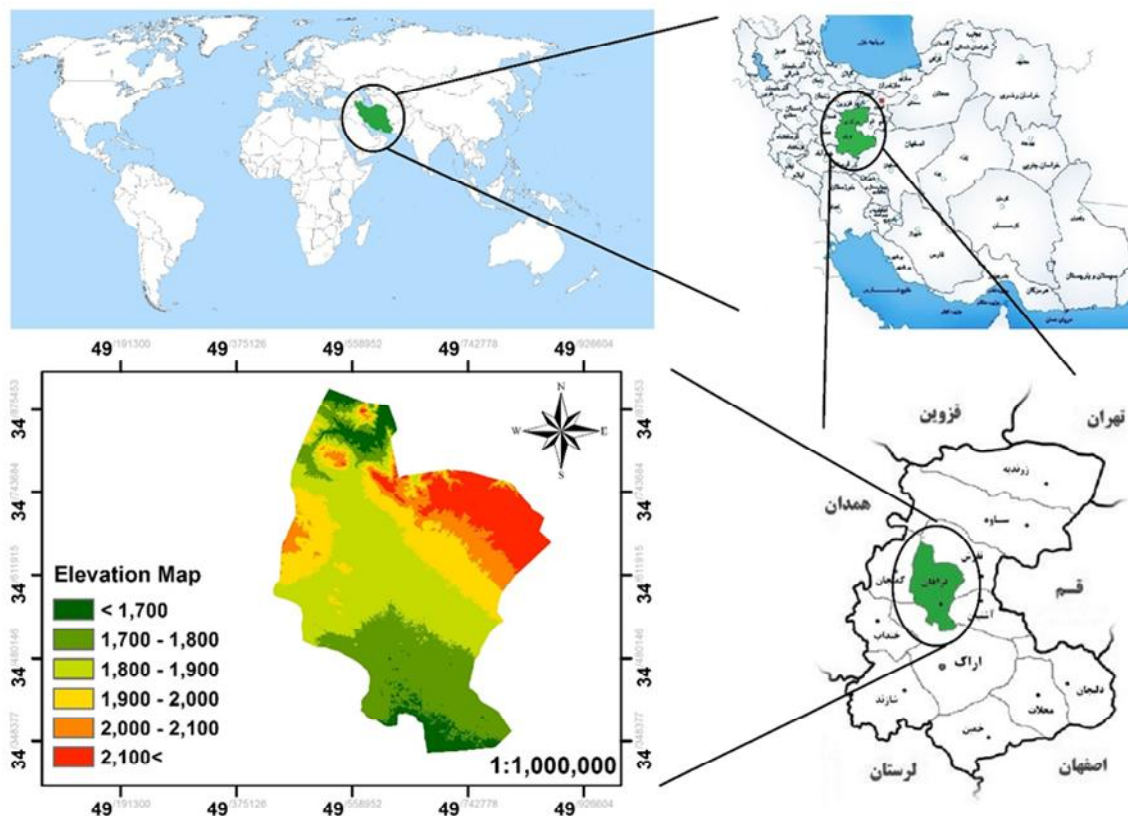
#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

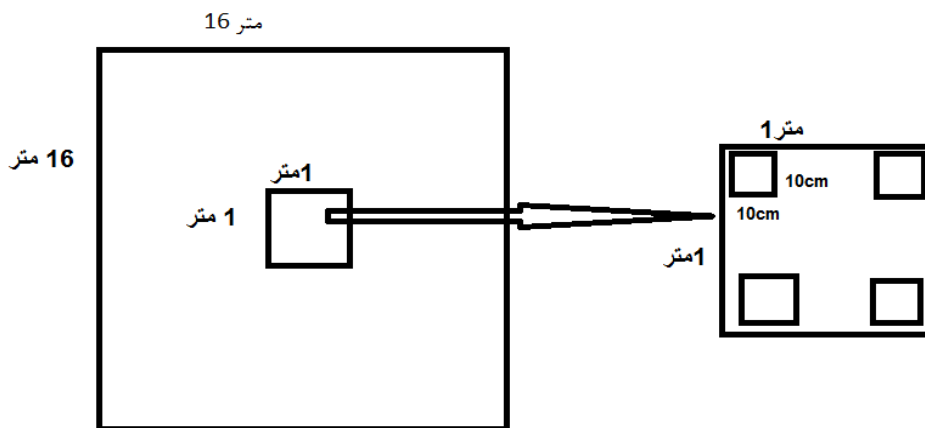
دشت فراهان واقع در استان مرکزی با جمعیتی معادل ۳۰۰۴۲ نفر (۹۴۳۵ خانوار) دارای چهار دهستان (فرمهین، فشک، خنجین و تلخاب) و ۶۸ پارچه آبادی و دارای دو شهر فرمهین و خنجین است. دشت فراهان از طرف شمال و شرق به شهرستان تفرش و آشتیان، از جنوب به شهرستان اراک و از غرب به شهرستان کمیجان محدود می‌شود. دشت فراهان بین عرض شمالی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه و طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه قرار دارد که مساحت آن ۱۴۹۹ کیلومتر مربع است که ۵۶۷۳۰ هکتار اراضی منابع طبیعی و ۹۳۱۷۰ هکتار اراضی مستثنیات (۴۱۰۰۰ هکتار اراضی دیم، ۲۷۰۰۰ هکتار آیش دیم، ۱۴۱۷۰ هکتار اراضی زیر کشت آبی، ۸۰۰۰ هکتار آیش آبی، ۲۵۰۰ هکتار باغات آبی و ۵۰۰ هکتار باغ دیم) است (شکل ۱). این شهرستان عمدتاً به صورت دشتی هموار با آب‌وهوای نیمه‌بیابانی بوده که متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۲۷۰ میلی‌متر است (۳).

#### اندازه‌گیری‌های میدانی

عملیات میدانی برداشت زی‌توده در زمان گذر ماهواره از منطقه



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (۷)



شکل ۲. نحوه نمونه برداری از مزرعه ذرت (۱)

MODTRAN است، استفاده شد (۱۶).

تصحیح رادیومتریک و اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای  
تصحیحات رادیومتریکی برای کاهش یا حذف دو نوع خطای

دستگاه GPS به انجام رسید. تعداد ۱۷ الی ۲۰ نقطه به صورت پراکنده در تمام تصاویر، از تصاویری که مختصات آنها در دو سیستم مختصات (تصویر و نقشه) مشخص است به کمک نرم افزار ENVI 5.1 که بر اساس مدل انتقال تابش

به دست آمد که شرح آنها در جدول (۱) ارائه شده است (۲۵).

#### پردازش تصاویر ماهواره‌ای (شاخص‌ها)

بیش از ۵۰ شاخص پوشش گیاهی تاکنون توسعه یافته و در کاربردهای مختلف سنجش از دور از قبیل آشکارسازی تغییرات پوشش زمین محیط‌های مختلف استفاده شده است (۱۵ و ۱۸). شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص‌هایی ریاضی بر اساس رابطه میان باندهای طیفی مختلف هستند. آنها حساسیت بیشتری به واکنش طیفی پوشش گیاهی نسبت به تک‌باندها دارند. بیشتر از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، در نسبت‌های این شاخص‌ها استفاده می‌شود (۸). ترکیبی از باندهای طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک به مفسر تصویر اجازه می‌دهد تا پوشش گیاهی را از زمینه‌های خاک تشخیص داده و وضعیت تراکم و دیگر مشخصات زی‌توده پوشش گیاهی را تعیین کند. در این پژوهش پنج شاخص پوشش گیاهی شامل (DVI (Difference Vegetation Index)، (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)، (NIR (Near Infrared Ratio)، (PD321 (Potential Different)، (SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) انتخاب شدند که قبلاً در برآورد زی‌توده به‌طور چشمگیری مورد استفاده و کاربرد قرار گرفته بودند و صحت بالایی را برای تهیه این نقشه‌ها نشان داده بودند (۱، ۹ و ۱۸). جدول (۲) مشخصات این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

#### ارزیابی مدل

لازم به ذکر است که برای ارزیابی میزان دقت عملکرد شاخص‌ها، از ضریب همبستگی میان زی‌توده برداشت شده زمینی و مقدار متناظر در شاخص‌ها استفاده می‌شود که در این پژوهش از این ضریب استفاده شد (۲۸). ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی  $a$  با متغیر کمی دیگر است. این ضریب شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس)

عمده به‌کار می‌روند که عبارت از خطاهای اتمسفری و خطاهای دستگاهی هستند. خطاهای اتمسفری آن دسته از خطاها هستند که به‌علت تأثیر اتمسفر روی انرژی الکترومغناطیس به‌وجود می‌آیند. خطاهای دستگاهی آن دسته از خطاها هستند که به‌علت طراحی و یا عملکرد سنجنده ایجاد می‌شوند. تصحیحات رادیومتریکی بدون توجه به مکان و مشخصات هندسی اجزای تصویر فقط با مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌ها کار کرده و سعی در تصحیح آنها دارند. در کل هر کدام از عوارض زمین، یک علامت طیفی ویژه به نام امضای طیفی (Spectral Signature) دارند. این علامت‌های طیفی به فاکتورهای زیادی، مثل ویژگی‌های سنجنده، تفاوت در زوایای تابش و دریافت، شرایط اتمسفری و توپوگرافی و زمان تصویربرداری بستگی دارند. به‌خاطر عواملی که در بالا ذکر شد، اعداد رقومی (Digital Number) نمی‌توانند شرایط واقعی زمین را نمایش دهند. هدف از تصحیحات رادیومتریک حذف یا خنثی کردن همه اثرات بالا از تصویر است (۱۳). تصحیح رادیومتریک شامل دو مرحله تبدیل اعداد رقومی طیفی هر باند بدون واحد به تشعشع طیفی و تبدیل رادیانس به قابلیت بازتاب (Reflectance) است. برای سنجنده OLI در لندست ۸ می‌توان اعداد رقومی طیفی هر باند را با استفاده از روابط (۱) و (۲) مستقیم به قابلیت بازتاب تبدیل کرد.

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

که  $\rho\lambda'$  قابلیت بازتاب بدون تصحیح برای زاویه خورشیدی؛  $M_p$  فاکتور مقیاس‌گذاری افزاینده برای باند مورد نظر،  $Q_{cal}$  مقدار ارزش هر طیف و  $A_p$  فاکتور مقیاس‌گذاری جمعی برای باند مورد نظر هستند. قابلیت بازتاب همراه با تصحیح زاویه خورشیدی در ادامه با استفاده از رابطه (۲) برآورد شد.

$$\lambda\rho = \frac{\lambda\rho'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\lambda\rho'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

$\lambda\rho$  قابلیت بازتاب،  $\theta_{SE}$  زاویه ارتفاع محلی خورشیدی،  $\theta_{SZ}$  زاویه زینت محلی خورشیدی و  $\theta_{SE} - 90^\circ = \theta_{SZ}$  هستند. مقدار پارامترهای این معادلات از طریق سربرگ فایل تصاویر

جدول ۱. مقدار پارامترهای روابط (۱ و ۲) (۱۹)

sin( $\theta_{SE}$ )	Sun Elevation (km)	$A_p$	$M_p$	تصاویر
۱/۰۱۶۶	۶۶/۵۳۵۶			۲۰۱۵۱۹۲
۱/۰۱۵۶	۶۴/۵۳۶۱			۲۰۱۵۲۰۸
۱/۰۱۳۴	۶۱/۸۰۹۹	-۰/۱	$2 \times 10^{-5}$	۲۰۱۵۲۲۴
۱/۰۱۰۲	۵۸/۲۸۶۱			۲۰۱۵۲۴۰
۱/۰۰۶۳	۵۳/۹۳۰۸			۲۰۱۵۲۵۶
۱/۰۰۱۸	۴۹/۰۵۵۹			۲۰۱۵۲۷۲

جدول ۲. شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش

منبع	معادله	نام شاخص
Tucker (1979)	NIR-RED	Difference Vegetation Index (DVI)
Rouse et al. (1974)	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
Arzani (2002)	NIR / RED	Near Infrared Ratio (NIR)
Pickup et al. (1993)	RED- GREEN	Potential Different (PD321)
Huete (1988)	$(NIR-RED)(1+L) / (NIR+RED+L)$	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

باشد، پس احتمال شانس بودن نتیجه زیاد است و رابطه یا تفاوت متغیرها معنی دار نیست (۸). در این پژوهش برای ارزیابی میزان دقت عملکرد شاخص‌ها، از ضریب همبستگی و معنی‌داری میان زی توده برداشت شده زمینی و مقدار متناظر آن در شاخص‌ها استفاده شد. به این صورت که در ابتدا تنها شاخص‌های معنی دار مورد نظر قرار گرفته و سپس بر اساس میزان همبستگی، شاخص مطلوب‌تر برای تهیه نقشه تولید انتخاب شد.

### نتایج و بحث

پس از تصحیح هندسی و رادیومتریکی تصاویر در تاریخ‌های مورد نظر، شاخص‌های پوشش گیاهی روی هریک از تصاویر اعمال شد. سپس میزان معنی‌داری و همبستگی هر یک از شاخص‌ها با مقادیر زی توده برداشت شده زمینی به صورت مجزا برای هر یک از بازدیدها محاسبه شد (جدول ۳). برای سهولت

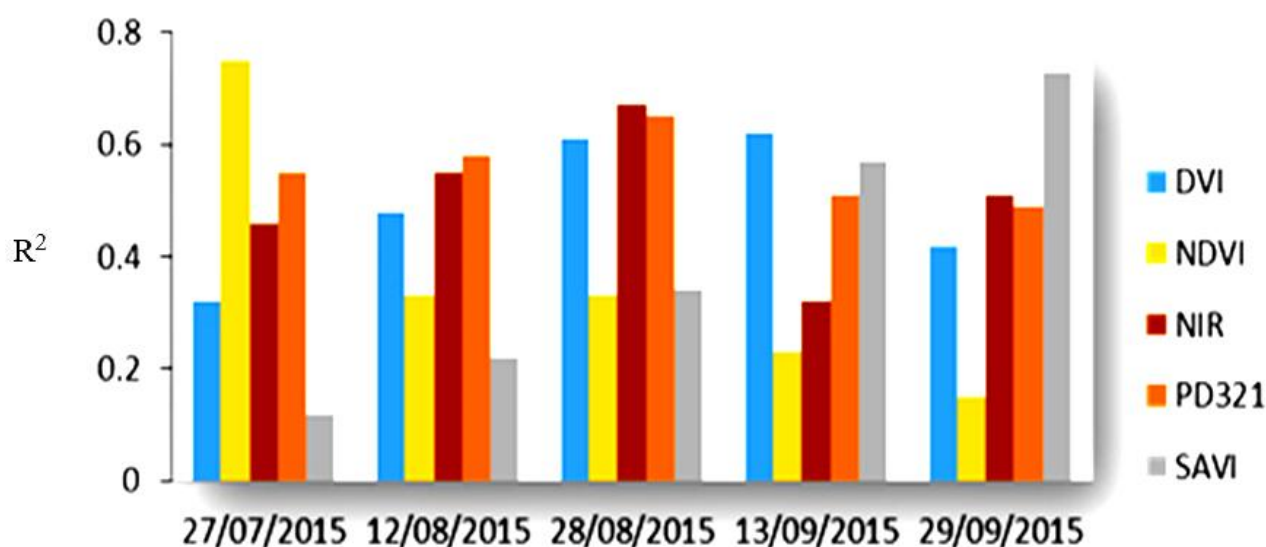
را نشان می‌دهد و بین (۱ تا -۱) است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. همبستگی بین دو متغیر تصادفی X و Y به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$\text{Corr}(X,Y) = \frac{\text{Cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x) \cdot (Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

که در آن E عملگر امید ریاضی، cov نشانگر کوواریانس و corr نیز بیانگر همبستگی پیرسون و همچنین سیگما، نماد انحراف معیار است. از دیگر آماره‌هایی که در این زمینه مورد توجه قرار می‌گیرد، سطح معنی‌داری است که میزان یا معیاری است که به عنوان مبنای معنی‌داری شناخته می‌شود و همچنین به عنوان خطای نوع اول نیز معروف است. این میزان در پژوهش‌های علوم انسانی ۰/۰۵ و در علوم پزشکی ۰/۰۱ در نظر گرفته می‌شود (۱۲). اگر نتایج بررسی تفاوت یا رابطه متغیرها کمتر از ۰/۰۵ باشد، احتمال شانس بودن این تفاوت یا رابطه خیلی کم است و می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت یا رابطه مورد نظر معنی دار است و در صورتی که بیشتر از ۰/۰۵

جدول ۳. مقادیر ضریب تعیین شاخص‌های استفاده شده در هر یک از پنج بازدید

شاخص	تاریخ‌های بازدید				
	۲۰۱۵/۹/۲۹	۲۰۱۵/۹/۱۳	۲۰۱۵/۸/۲۸	۲۰۱۵/۸/۱۲	۲۰۱۵/۷/۲۷
DVI	۰/۴۲	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۴۸	۰/۳۲
NDVI	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۷۵
NIR	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۵۶
PD321	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۵۵
SAVI	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۱۲



تاریخ‌های بازدید

شکل ۳. مقدار همبستگی شاخص‌ها در هر یک از پنج بازدید

مقایسه، مقدار همبستگی شاخص‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است. در نهایت از شاخصی که بالاترین میزان همبستگی را در هر بازدید داشت، به منظور تهیه نقشه تولید نهایی آن تاریخ برحسب کیلوگرم بر مترمربع استفاده شد. از این رو به ترتیب، شاخص NDVI برای بازدید اول با ضریب همبستگی ۰/۷۵، شاخص PD321 برای بازدیدهای دوم با ضریب همبستگی ۰/۵۸، شاخص NIR برای بازدید سوم با ضریب همبستگی ۰/۶۷، شاخص DVI برای بازدید چهارم با ضریب همبستگی ۰/۶۲ و در نهایت شاخص SAVI برای بازدید پنجم با ضریب همبستگی ۰/۷۳ به عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شدند و نقشه‌های تولید براساس معادلات رگرسیون آنها (جدول ۴) تهیه شد.

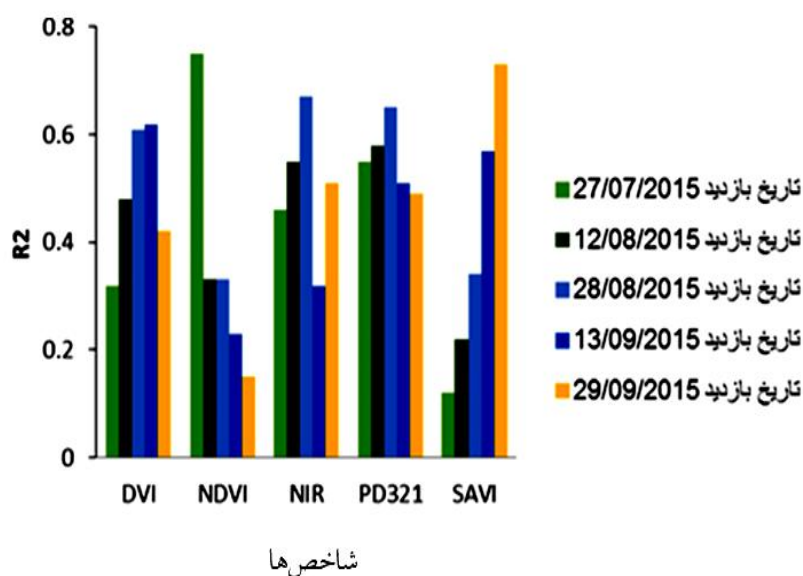
مقایسه، مقدار همبستگی شاخص‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است. در نهایت از شاخصی که بالاترین میزان همبستگی را در هر بازدید داشت، به منظور تهیه نقشه تولید نهایی آن تاریخ برحسب کیلوگرم بر مترمربع استفاده شد. از این رو به ترتیب، شاخص NDVI برای بازدید اول با ضریب همبستگی ۰/۷۵، شاخص PD321 برای بازدیدهای دوم با ضریب همبستگی ۰/۵۸، شاخص NIR برای بازدید سوم با ضریب همبستگی ۰/۶۷، شاخص DVI برای بازدید چهارم با ضریب همبستگی ۰/۶۲ و در نهایت شاخص SAVI برای بازدید پنجم با ضریب همبستگی ۰/۷۳ به عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شدند و نقشه‌های تولید براساس معادلات رگرسیون آنها (جدول ۴) تهیه شد.



جدول ۴. معادلات رگرسیون شاخص‌های مطلوب برای تهیه نقشه تولید

بازدید	شاخص	معادله رگرسیون
اول	NDVI	$y = 1019x - 0/06$
دوم	PD321	$y = 63/88x + 1/47$
سوم	NIR	$y = 0/37x - 0/41$
چهارم	DVI	$y = 26/33x - 5/76$
پنجم	NIR	$y = 35/96x - 11/79$

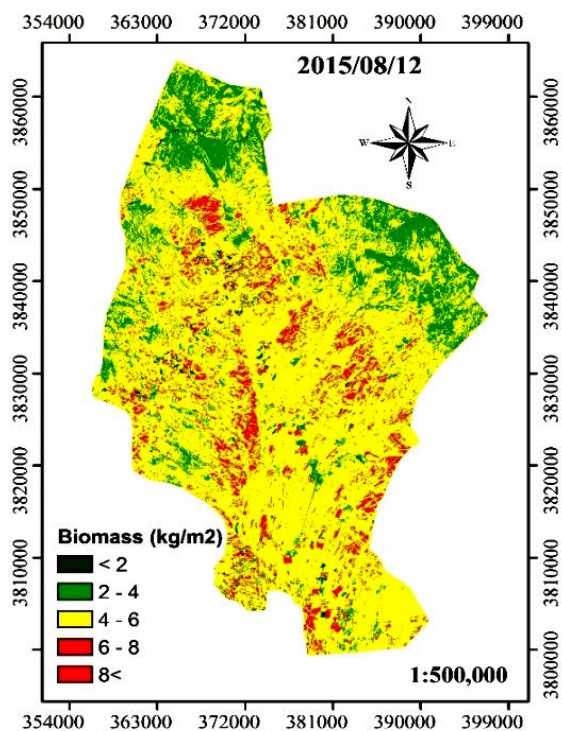
y: مقدار زی توده ذرت برحسب  $kg/m^2$  و x: مقدار پیکسل تصویر



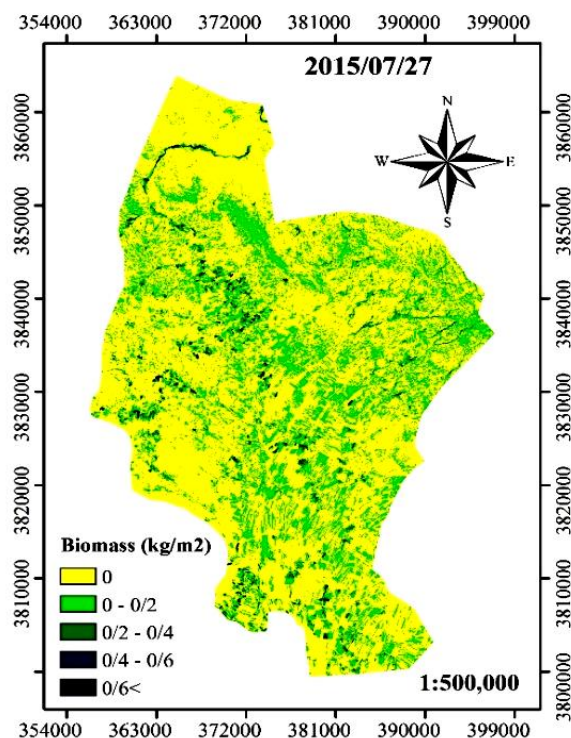
شکل ۵. مقدار همبستگی شاخص‌ها در هر یک از پنج بازدید

به‌خوبی بیانگر درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک باشد (۵). شاخص‌هایی که بازتاب خاک را در نظر می‌گیرند، مانند SAVI با دقت بیشتری می‌توانند درصد پوشش گیاهی را تخمین بزنند (۱). در این پژوهش نیز در تاریخ ۲۰۱۵/۷/۲۷ که اوایل کشت ذرت علوفه‌ای در منطقه است و پوشش گیاهی کم است، شاخص NDVI با ضریب همبستگی قابل قبولی زی توده را برآورد کرد ولی در تاریخ ۲۰۱۵/۹/۲۹ که پوشش گیاهی به حداکثر خود رسید این شاخص SAVI بود که با ضریب همبستگی بالایی زی توده را برآورد کرد (شکل ۵). نقشه‌های میزان عملکرد (تولید) در شکل‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده‌اند.

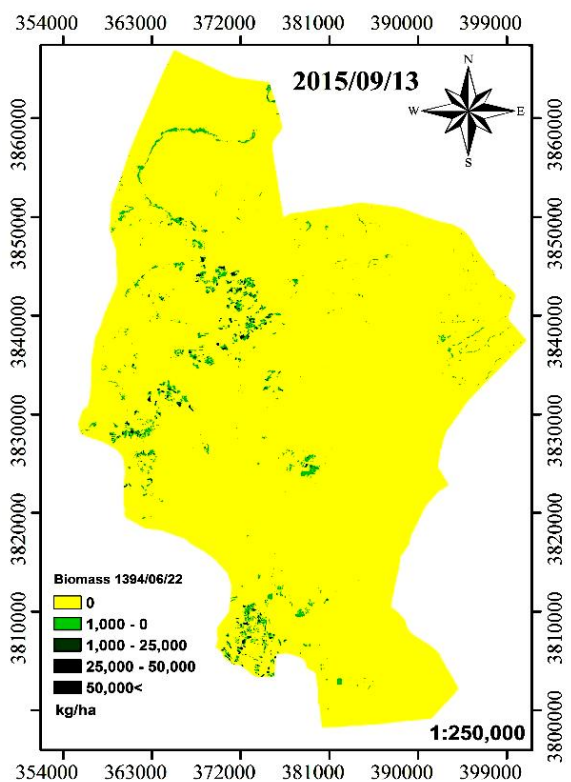
همان‌طور که در پژوهش (۹) نیز اشاره شده است، مقادیر پایین ضریب شاخص NDVI بیانگر این واقعیت است که مقدار این شاخص در مقادیر بالای بیوماس به حد اشباع (رشد کامل گیاه) نزدیک می‌شود و افزایش در مقدار زی توده تغییری در مقدار شاخص NDVI به وجود نمی‌آورد. در این پژوهش نیز این شاخص به جز یک مورد، قادر نبود نسبت به دیگر شاخص‌های مورد استفاده، نتیجه مطلوب فراهم آورد. شاخص DVI به مراحل رشد حساس بود. شاخص NIR علاوه بر حساسیت به مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای، از نظر ضریب همبستگی قابل قبول بود. با توجه به مطالعات صورت گرفته به وسیله برخی از پژوهشگران شاخص NDVI نمی‌تواند



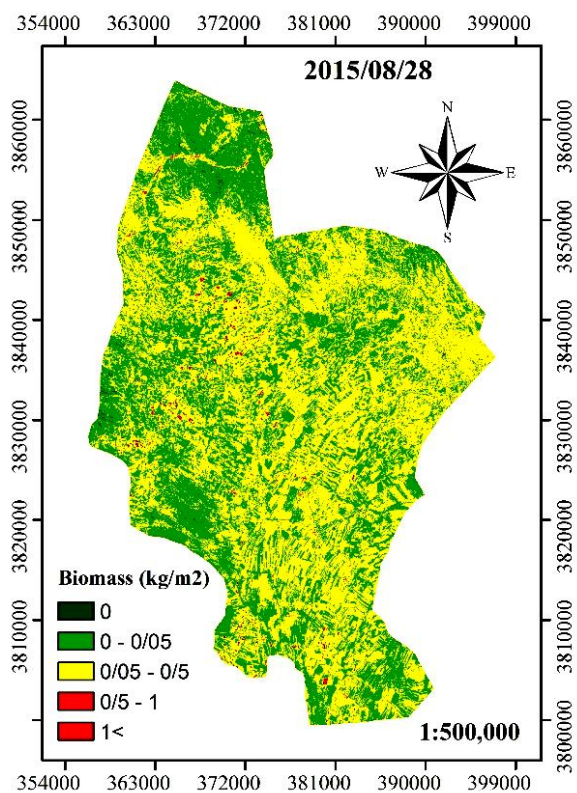
شکل ۷. تصویر بازدید دوم



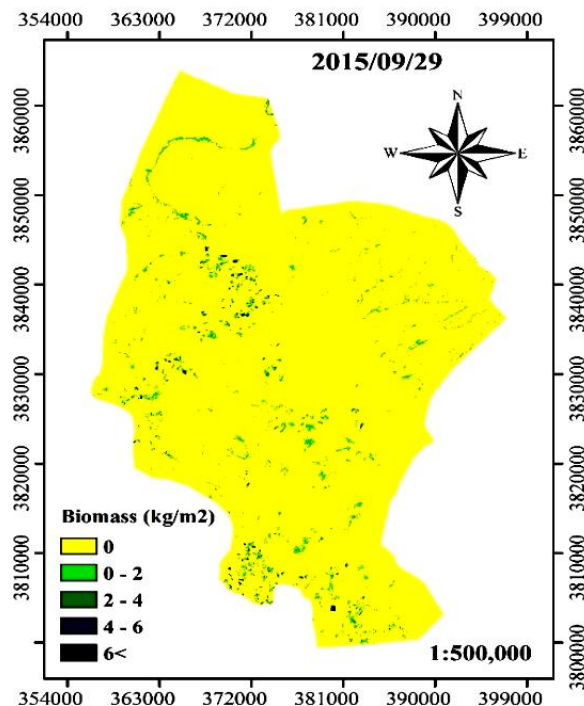
شکل ۶. تصویر بازدید اول



شکل ۹. تصویر بازدید چهارم



شکل ۸. تصویر بازدید سوم



شکل ۱۰. تصویر بازدید پنجم

### نتیجه گیری

در این پژوهش سعی شد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ شاخص مناسب در هر بازدید ماهواره به منظور تخمین زی توده و عملکرد ذرت در دشت فراهان واقع در استان مرکزی تعیین شود. اندازه‌گیری‌های میدانی زی توده برداشت شده از منطقه در زمان‌های گذر ماهواره در پنج مزرعه ذرت علوفه‌ای انجام شد. با توجه به زمان عبور ماهواره هر ۱۶ روز در طول فصل رشد، هشت تصویر ماهواره‌ای از سایت زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد. نتایج بیانگر همبستگی بالای شاخص NDVI برای بازدیدهای اول، شاخص PD۳۲۱ برای بازدید دوم، NIR برای بازدید سوم، DVI برای بازدید چهارم و در نهایت SAVI برای بازدید پنجم به ترتیب برابر با ۰/۷۳، ۰/۵۸، ۰/۶۷، ۰/۶۲ و ۰/۷۳ است. در ضمن در اوایل کشت ذرت علوفه‌ای که پوشش گیاهی کم است، شاخص NDVI با ضریب همبستگی قابل قبولی زی توده را برآورد کرد، ولی در

آخرین بازدید که پوشش گیاهی به حداکثر خود رسید، این شاخص SAVI بود که با ضریب همبستگی بالایی زی توده را برآورد کرد. نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران بخش کشاورزی این امکان را بدهد که به راحتی با تهیه تصویر برگزیده در سال‌های بعد و استخراج شاخص برتر از هریک از مراحل تولید ذرت علوفه‌ای، عملکرد مزرعه را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کنند. به دست آوردن این قبیل اطلاعات می‌تواند کمک شایانی در پیش‌بینی میزان عملکرد و تخمین بیلان اقتصادی مزرعه داشته باشد. بدون شک نهادینه کردن این روش‌ها در مقیاس‌های کلان کمک شایانی به برنامه‌ریزان برای تنظیم بازار و واردات احتمالی محصولات می‌کند. از سوی دیگر با تهیه این قبیل نقشه‌ها می‌توان میزان خلأ عملکرد احتمالی موجود در سطح مزارع را پوشش داده و با ارائه این نقشه‌ها به مدیران زراعی در نزدیک کردن عملکرد واقعی به سطح عملکرد مطلوب گام مؤثری برداشت.

## منابع مورد استفاده

1. Arzani, H. 2002. Examination of vegetation indices for vegetation parameters measurements in semi-arid and arid area. *In: Proceeding of the 3<sup>th</sup> International Iran and Russia Conference Agriculture and Natural Resources, Iran.* 2: 596-603. (In Farsi).
2. Asrar, G., L. E. Hipps and E. T. Kanemasu. 1984. Assessing solar energy and water use efficiencies in winter wheat (A case study). *Journal of Agriculture and Forest Meteorology* 31(1): 47-58.
3. Bannari, A., D. Haboudane and K. S. Khurshid. 2006. Sensitivity analysis of chlorophyll indices to soil optical proprieties using eld, airborne and satellite hyperspectral data. *Journal of Remote Sensing Environment* 25: 35-44.
4. Bannari, A., D. Morin, F. Bonn and A. R. Huete. 1995. A review of vegetation indices. *Journal of Remote Sensing Reviews* 13: 95-120.
5. Bao, Y., W. Gao and Z. Gao. 2009. Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolutions. *Journal of Earth Science* 3(1): 118-128.
6. Baret, F. and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Journal of Remote Sensing Environment* 35(2-3): 161-173.
7. Bettude, M., A. A. Bitar, D. Morin, J. Cross, M. Huc, C. M. Sicre, V. Dantec and V. Demarez. 2016. Estimating Maize Biomass and yield over Large Area High Spatial and Temporal Resolution Sentinel-2 Like remote Sensing Data. *Journal of Remote Sensing of Environment* 78: 412-426.
8. Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts and B. Muys. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring. A review. *International Journal of Remote Sensing* 25(9): 1565-1596.
9. Darvishzadeh, R. and A. Metkan. 2011. Estimation of vegetation cover percentage of central Iranian dry area using satellite imagery. *Two Quarterly Journal of Research and Development of Boom* 2(1): 38-25. (In Farsi).
10. Dengshen, L. 2006. The potential and challenge of remote sensing based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27 (7): 1297-1328.
11. Elvidge, C. D. and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Journal of Remote Sensing Environment* 54 (1): 38-48.
12. Fensholt, R., K. Rasmussen, T. Nilson and C. Mbow. 2009. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends-intercomparing ndvi time series trend analysis consistency of sahel from AVHRR GIMMS, terra MODIS and SPOT VGT data. *Journal of Remote Sensing Environment* 113(9): 1886-1898.
13. Ghasemi, S., N. Ganji Khorramdel and M. Mardian. 2015. Study of spatial variations of electrical conductivity in Arak-Farahah Plain. *In: Proceeding of the 2<sup>th</sup> National Conference on Water, Human and Earth. Tourism Development Company, Esfahan.* (In Farsi).
14. Gilabert, M. A., S. Gandia and J. Melia. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. *Journal of Remote Sensing Environment* 55(1): 11-20.
15. Gu, Y., J. Brown, J. Verdin and A. Wardlow. 2007. A five year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central great plains of the united states. *Journal of Geophysical Research Letters* 34: 1-6.
16. Huete, H. 1988. A Soil-Adjusted vegetation index (SAVI). *Journal of Remote Sensing Environment* 25: 295-309.
17. Jafari Sayadi, F., M. A. Gholami Sefidkouhi and M. Ziatabar Ahmadi. 2018. Leaf area inn dex and crop coefficient estimation from operational land imager (OLI) sensor data. *Journal of Water Research Agriculture* 32(3): 395-405.
18. Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Journal of Ecology* 50: 663-666.
19. Kaviani, A., T. Sohrabi and P. Daneshkar Arasteh. 2011. Application of sebal algorithm in estimating actual evapotranspiration and agricultural productivity in Ghazvin plain and comparing its results with lysimetric data. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(5): 175-165. (In Farsi).
20. Lu, D. 2006. The potential and challenge of remote sensing based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27: 1297-1328.
21. Luo, S., C. Wang., X. Xi., S. Nie., X. Fan., H. Chen., X. Yang., X. Peng., D. Lin and G. Zhou. 2019. Combining hyperspectral imagery and LiDAR pseudo-waveform for predicting crop LAI, Canopy height and abowground biomass. *Journal of Ecological Indicator* 102: 801-812.
22. Mohammadi Ahmad Mahmoudi, E., B. Kamkar and O. Abdi. 2015. Comparison of geostatistical and remote sensing data based methods in wheat yield prediction in some of growing stages (A case study: Nemooneh field, Golestan Province). *Journal of Crop Production* 8 (2): 51-76. (In Farsi).
23. Mosleh, M., K. Q. Hassan and E. H. Chowdhury. 2015. Application of Remote Sensors in Mapping Rice Area and Forecasting Its Production. A Review. *Journal of Sensores* 15: 769-791.
24. Onojeghuo, A., G. A. Blackburn., J. Huang., D. Kindred and W. Huang. 2018. Applications of satellite hyper-sensing in chineses agriculture: challenges and opportunities. *International Journal of Application Earth Observation Geoinformation* 64: 62-86.

25. Pickup, G., V. H. Chewings and D. J. Nelson. 1993. Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangelands using landsat MSS data. *Journal of Remote Sensing Environment* 43: 243-263.
26. Rondeaux, G., M. Steven and F. Baret. 1996. Optimization of soil adjusted vegetation indices. *Journal of Remote Sensing Environment* 55: 98-107.
27. Rouse, J. W., R. H. Haas., D. W. Deering., J. A. Schell and J. C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III. Final Report, Greenbelt.
28. Sabaghzadeh, S., M. Zare and M. H. Mokhtari. 2017. Estimation biomass using Landsat satellite images (Case Study: Merck basin, Birjand). *Journal of Range and Watershed Management* 69(4): 907-920. (In Farsi).
29. Savage, M. J. 1993. Statistical aspects of model validation. *In: Proceeding of the Workshop on the Field Water Balance in the Modelling of Cropping Systems*. University of Pretoria, South Africa. pp 227-235.
30. Sawasawa, H. L. 2003. Crop yield estimation. integration RS, GIS and management factors. International Institute for Geo-information science and earth observation. MSc. Thesis, ITC. Netherlands.
31. Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring Vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment* 8: 127-150.
32. Zhang, H., H. Chen and G. Zhou. 2012. The model of wheat yield forecast based on MODIS-NDVI: A Case Study of Xinxiang. *In: Proceeding of the ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences Congress*, 12 pp.
33. Zobeiri., M and A. Majd. 2009. Introduction to Remote Sensing and Application in Natural Resources. Seventh Print, Tehran University Press, Tehran. (In Farsi).

## Estimating the Yield and Biomass of Maize during the Growing Season Using Satellite (Data) (A Case Study: Dasht-e-Farahan)

N. Ganji Khorramdel<sup>1\*</sup> and Gh. R. Khaleghi<sup>2</sup>

(Received: March 14-2018; Accepted: July 6-2019)

### Abstract

Nowadays, the satellite data and remote sensing technologies are widely known as efficient tools for the inspection, identification and management of land resources and precision agriculture in most countries. Satellite information could be used in supplying basic and updated information in the estimation of vegetation cover map, irrigated land area and some biological indices of the major agricultural crops. In this study, the biomass and production of maize were estimated through the application of five common vegetation indices of NDVI, DVI, NIR, PD321, and SAVI, using the Landsat 8 satellite data. The study area was located in Dasht-e-Farahan, Markazi province, Iran, and field sampling was carried out in five farms and five dates corresponded to times of satellite passes over the area. The highest correlation coefficient of the first to fifth observed dates was obtained for NDVI (0.73), PD321 (0.58), NIR (0.67), DVI (0.62), and SAVI (0.73) indices, respectively. In the early season, when vegetation cover was low, the biomass was well estimated by the NDVI index with the correlation coefficient of 0.75. However, in the late season, when the vegetation was high, the SAVI with the high correlation coefficient of 0.73 could estimate biomass better than other indices estimations. The results, therefore, indicated the satisfactory accuracy of the applied method; in fact, the accuracy of the data in this method was higher in the middle growth period, as compared to the initial stage ones. Therefore, it is recommended to use a suitable vegetation index for each growing period, rather than using a single vegetation index in obtaining satellite data for the total of the growing season.

**Keywords:** Remote sensing, Suitable vegetation index, Crop yield, Biomass, Maize

---

1, 2. Assistant Professor and Graduated MSc. Student, Respectively, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: naser.ganjikhorraddel@gmail.com