



دانشگاه آذربایجان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیستم، شماره چهارم، ۱۳۹۲
<http://jopp.gau.ac.ir>

تخمین عملکرد گندم آبی به وسیله تصاویر ماهواره لندست در برخی از مزارع شهرستان مشهد

حسین ثنائی نژاد^۱، مهدی نصیری محلاتی^۲، حسین زارع^۳، *نسرین صالح نیا^۴ و مرجان قائمی^۵

^۱دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی دکتری گروه

آکرواکیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی دکتری گروه هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد،

دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۳

چکیده

یکی از روش‌هایی که اخیراً در کشور به منظور پایش محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. با هدف تخمین عملکرد مزارع گندم به وسیله تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM و ETM⁺ ۱۳ مزرعه گندم در ۲ سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در شهرستان مشهد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تصاویر لندست مربوط به سه تاریخ ۸ و ۲۷ خرداد و ۴ تیرماه سال ۸۸ و ۱۸ اردیبهشت، ۳ و ۱۹ خرداد سال ۸۹ و داده‌های زمینی شامل عملکرد مزارع، مرحله رشدی و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در تاریخ‌های مشابه بود، موقعیت جغرافیایی مناطق به وسیله دستگاه GPS ثبت شد. سپس تعدادی از شاخص‌های گیاهی از روابط بین باندها استخراج و روابط همبستگی بین عملکرد با شاخص‌ها و باندها محاسبه شد. نتایج نشان داد از بین تصاویر سال ۸۸ بالاترین همبستگی در تصویر ۲۷ خرداد مشاهده شد (هم‌زمان با مرحله خمیری شدن دانه گندم) و در سال ۸۹ نیز در مرحله خمیری شدن دانه (تاریخ ۱۹ خرداد سال ۸۹) به دست آمد. بالاترین همبستگی با عملکرد در سال ۸۸ در باند قرمز با ضریب تبیین ۰/۷۶ مشاهده شد. بعد از آن بیشترین دقت مربوط به شاخص‌های PD311 و PD312 در جایگاه بعدی قرار گرفتند. در سال ۸۹ نیز باند قرمز بالاترین همبستگی را با عملکرد داشت. شاخص‌های NDVI (شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده) و SAVI (شاخص پوشش گیاهی تعدیل خاک) همبستگی قابل قبولی با عملکرد نداشتند. در نهایت بهترین همبستگی با عملکرد به وسیله روش رگرسیون خطی چند متغیر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی عملکرد، سنجش از دور، سنجنده‌های ETM⁺ و TM، شاخص‌های گیاهی، NDVI

* مسئول مکاتبه: salehnia61@gmail.com

مقدمه

بررسی عملکرد گندم به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین کالری موردنیاز روزانه در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی-اقتصادی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. این گیاه راهبردی دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت در کشور است به‌طوری‌که حدود ۶۰-۷۰ درصد اراضی زیر کشت محصولات زراعی در کشور به گندم اختصاص دارد (شه‌بازیان و همکاران، ۲۰۰۷). امروزه روش‌های متعددی به‌منظور بررسی و تخمین عملکرد گندم و سایر محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به سنجش از دور اشاره کرد.

اطلاعات باندهای مختلف سنجنده‌ها در قالب شاخص‌های گیاهی (VIs)^۱ و نسبت‌های طیفی نقش عمده‌ای را در این زمینه ایفا می‌کنند (ماتسوشیتا و همکاران، ۲۰۰۷). شاخص‌های پوشش گیاهی نوع ویژه‌ای از شاخص‌های طیفی هستند که برای تحلیل اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از این شاخص‌ها با ترکیب باندهای طیفی برای تخمین متغیرهای بیوفیزیکی گیاهی به‌کار می‌روند (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۲ مدت‌هاست که به‌عنوان یک روش غیرمستقیم برای تعیین عملکرد محصول استفاده می‌شود (پینتر و همکاران، ۱۹۸۱؛ روان و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه‌بر این شاخص‌های متعدد دیگری نیز برای این منظور به‌کار می‌رود. مانند شاخص نسبت پوشش گیاهی (RVI)^۳ که برای پیش‌بینی عملکرد گندم استفاده می‌شود (آپاریسیو و همکاران، ۲۰۰۰؛ سرانو و همکاران، ۲۰۰۰). گاه به‌دست آوردن یک شاخص نتایجی را در تعیین شاخص‌های دیگر به‌دنبال دارد. به‌عنوان مثال بررسی عملکرد شاخص NDVI نقش مهمی را در تعیین شاخص سطح برگ و وضعیت آب شناختی یک حوضه آبریز ایفا می‌کند (پرویز و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعه‌ای در دلتای کلانتان واقع در شبه‌جزیره مالزی با استفاده از خط خاک^۴ و براساس شاخص‌های PVI^۵ (شاخص عمودی گیاهی)، SAVI^۶، OSVI^۷ و TSAVI^۸ (شاخص پوشش گیاهی تعدیل خاک انتقالی) و MSAVI^۸ (شاخص پوشش گیاهی تعدیل اصلاح

- 1- Vegetation Indices
- 2- Normalized Difference Vegetation Index
- 3- Ratio Vegetation Index
- 4- Soli Line
- 5- Perpendicular Vegetation Index
- 6- Soil Adjusted Vegetation Index
- 7- Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
- 8- Modified Soil Adjusted Vegetation Index

خاک) انجام گرفت. نتایج نشان داد که SAVI بهترین شاخص برای نقشه برداری از درختان با دقت ۷۹ درصد در مقایسه با دیگر شاخص‌ها می‌باشد (کازوانی و همکاران، ۲۰۱۰). تصویر برداشت شده از سنجنده ETM⁺ به همراه داده‌های میدانی به منظور بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی از چمن، درختچه‌ها و انبوه درختان پوششی در منطقه‌ای کوهستانی در کناره شمالی البرز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج استخراج شده از این مطالعه همبستگی قابل توجهی بین باندهای مختلف سنجنده ETM⁺ و پوشش‌های گیاهی نشان داد (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۱). بالاترین همبستگی متعلق به باندهای ۴ و ۳ از ETM⁺ با سطح پوشش درختچه بود که همبستگی ۰/۳۴ و ۰/۳۷ به ترتیب برای دو باند نام برده به دست آمد. ۱۴ شاخص پوشش گیاهی ARVI^۱، DVI^۲، EVI^۳، IPVI^۴، MSAVI^۵، MSAVI2، NDVI، NDVI*، PVI، RVI، SAVI، TSAVI، WDVI و شاخص جدیدی به نام NDVI_{offset} با استفاده از ماهواره لندست TM در دره سان لوئیس ایالات متحده برای یافتن بهترین شاخص در مناطق خشک با پوشش گیاهی تنک مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از آن مقدار ضریب تبیین از رگرسیون خطی این شاخص‌ها برای تعیین عملکرد مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مطلوبی را ارائه داد (باق و گرونولد، ۲۰۰۶). آپارسیو و همکاران گزارش کردند که شاخص نسبت گیاهی در تخمین عملکرد گندم دوروم مناسب‌تر از شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده بود (آپارسیو و همکاران، ۲۰۰۰). وضعیت مشابهی برای شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده سبزیگی (GNDVI)^۶ برای برآورد عملکرد دانه ذرت به دست آمد (شاناهان و همکاران، ۲۰۰۱).

به منظور آزمون داده‌های سنجنش از دور با مدل‌های پیشرفته شبیه‌سازی عملکرد برای دقت و به هنگام نمودن یکی از شاخص‌های عملکرد ذرت، پژوهشی در یک مرکز تحقیقات کشاورزی نزدیک به منطقه فورت کولین آمریکا انجام شد. بررسی‌ها بین برآوردهای مبتنی بر تصاویر ماهواره لندست (۶ هفته قبل از برداشت) و برآوردهای میدانی (در برداشت) یک خطای نسبی ۲/۳ درصدی را نشان داد (پوش و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعه‌ای برای تعیین ارتباط بین شاخص‌های طیفی و عملکرد دانه گندم در منطقه نانجینگ چین انجام شد. این بررسی برای دو رقم گندم، همبستگی مثبت و قابل توجهی بین ۴ شاخص پوشش گیاهی و عملکرد را نشان داد به طوری که قوی‌ترین رابطه در هنگام استفاده از نسبت شاخص

- 1- AETMospherically Vegetation Index
- 2- Diffrence Vegetation Index
- 3- Enhanced Vegetation Index
- 4- InfraRed Percentage Vegetation Index
- 5- Green Normalized Difference Vegetation Index

پوشش گیاهی سبز (GRVI) در اواسط پر شدن دانه مشاهده شد (لی‌هانگ و همکاران، ۲۰۰۷). در یک بررسی به‌وسیله تصاویر ETM⁺ با دقت ۰/۸۰ عملکرد دانه برنج پیش‌بینی شد (نارسا و همکاران، ۲۰۱۲). به‌منظور تعیین شاخص‌های مناسب ارزیابی تولید گیاهان در مراتع بیلاقی جنوب استان مازندران از داده‌های ماهواره‌ای شاخص‌های گیاهی TV1، MIRV2، MIRV1، LAI^۳ (شاخص سطح برگ) و VI5 که همگی از مشتقات شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده هستند، رابطه معنی‌داری با تولید علوفه نشان دادند (ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی مشابه در بخشی از مراتع استان مازندران شاخص‌های VI3 و VI4 در سطح ۱ درصد و شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده در سطح ۵ درصد با درصد پوشش گیاهی همبستگی داشتند (حسینی و همکاران، ۲۰۰۷). میرآخورلو و حسینی (۲۰۰۶) نشان دادند به‌وسیله ۳ متغیر بارندگی، شیب و شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده می‌توان میزان تولید علوفه در حوضه آب‌خیز دماوند را تخمین زد، براساس نمودار همبستگی ضریب تبیین در رابطه بین شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده و تولید علوفه ۷۲ درصد به‌دست آمد.

بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی زمینی تلفیقی مناسب برای ارزیابی عملکرد است، اما این‌که تا چه اندازه می‌توان به خروجی نتایج به‌دست آمده از این تصاویر اطمینان کرد، به‌عنوان سوالی برجسته از مهم‌ترین اهداف این پژوهش است. بررسی شاخص‌های مختلف گیاهی و محاسبه آن‌ها در تاریخ‌های موردنظر این امکان را ایجاد می‌کند که شاخصی مناسب از بین شاخص‌های موجود برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شود. به‌علاوه محاسبه شاخص‌ها در زمان‌های مختلف رویش گندم، امکان بررسی پایش رشد گیاه را فراهم می‌کند و می‌توان صحت عملکرد شاخص‌ها را با توجه به مرحله رشد گیاه مورد بررسی قرار داد.

مواد و روش‌ها

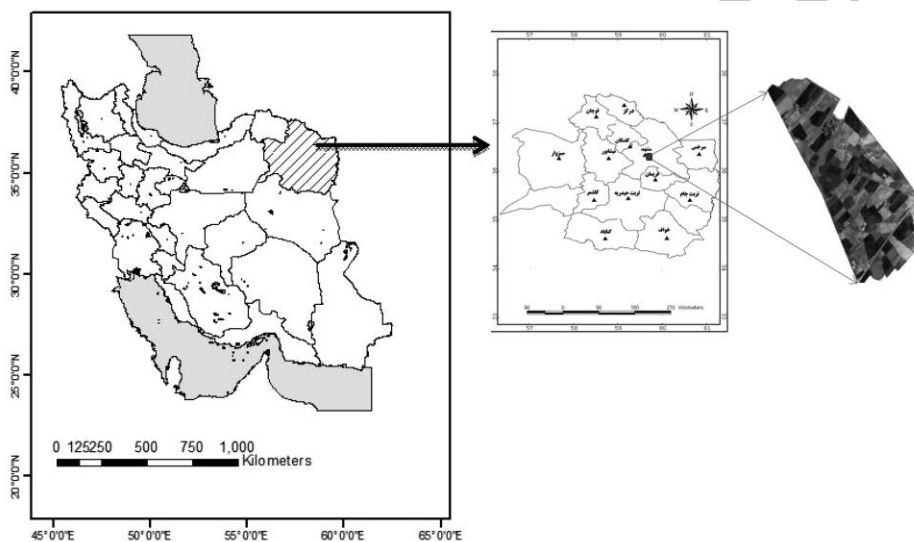
منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در ۲ سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در ۱۳ قطعه زمین زراعی متعلق به مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد و مزرعه نمونه استان قدس رضوی که در فاصله ۱۷ کیلومتری جنوب‌شرقی مشهد قرار دارد انجام شده است (شکل ۱). دشت مشهد منطقه‌ای به‌نسبت هموار است که در دره کشف رود با ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه طول و ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی با ارتفاع

1- (ETM5-RED) / (ETM5+RED)

2- (ETM7-RED) / (ETM7+RED)

3- Leaf Area Index

۹۹۹ متر از سطح دریا واقع شده است. شهر مشهد به علت واقع شدن در میان ارتفاعات بینالود و هزارمسجد دارای اقلیمی مدیترانه‌ای گرم و خشک می‌باشد و متوسط دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه در این شهرستان ۲۵۲/۲ میلی‌متر گزارش شده است. مشهد دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد می‌باشد. بر طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن مشهد در اقلیم استپ عرض میانی نیمه‌خشک و خنک واقع است. براساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم آن از نوع نیمه‌خشک و براساس طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم خشک و سرد قرار دارد (علیزاده، ۲۰۰۷).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

روش پژوهش: به منظور اجرای این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده‌های TM 5 و ETM⁺ در ۲ سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ با قدرت تفکیک طیفی ۳۰ متر و با ۷ باند طیفی در ردیف ۳۵ از مسیر ۱۵۹ به طور مستقیم از پایگاه اطلاعاتی سازمان ناسا^۱ تهیه شدند. ابتدا ۵ تصویر در هر ۲ سال انتخاب و پس از بررسی‌های اولیه دو تصویر حذف و سه تصویر برای تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. تاریخ‌های منتخب عبارت بودند از ۸ و ۲۷ خرداد و ۴ تیرماه ۱۳۸۸، همچنین ۱۸ اردیبهشت،

1- www.usgs.com

۳ و ۱۹ خرداد سال ۱۳۸۹. در مرحله اول تصاویر خام برای پردازش‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور تحت تأثیر دو دسته خطای اصلی می‌باشند؛ خطای هندسی^۱ که موقعیت، ابعاد و شکل تصویر را تغییر می‌دهد و خطای رادیومتریک^۲ که مقدار سلول نوری- را مورد تأثیر قرار می‌دهد. به این منظور تصاویر از نظر وجود خطای هندسی و پرتوسنجی (رادیومتری و اتمسفری) بررسی شدند. بررسی‌ها نشان دادند تصاویر از نظر هندسی یا به عبارتی عملیات زمین مرجع کردن نیازی به اصلاح نداشتند. پیش از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل‌های رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری مانند راه‌راه‌شدگی، سلول‌های نوری تکراری، خطای حذف شدن یک سطر یا یک ستون و خطاهای اتمسفری (که نوعی از خطاهای رادیومتری می‌باشند) مانند وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار گرفت و برای اعمال تصحیح اتمسفری از روش چاوز^۳ (چاوز، ۱۹۹۸) استفاده شد. در این روش DN^۴ باند ۷ تصاویر لندست در مکان‌های آبی (بند گلستان) استخراج شد. این مقدار باید در حدود صفر باشد در غیر این صورت تصویر نیاز به تصحیح اتمسفری دارد. با توجه به برداشت DN‌های منطقه نام برده مقادیر ثبت شده در حدود صفر بودند که در نتیجه تصویر از نظر تصحیح اتمسفری نیازی به اصلاح نداشت.

با توجه به این موضوع که اطلاعات استخراج شده هر تصویر به‌صورت لحظه‌ای وضعیت مزارع را در همان زمان تصویربرداری نشان می‌دهد، بدیهی است که این تصاویر به‌صورت بالقوه دارای خطاهایی می‌باشند (برای مثال ممکن است در زمان تصویربرداری تعدادی از مزارع به‌علت مدیریت آبیاری متفاوت تحت تأثیر تنش لحظه‌ای باشند و همین مسأله باعث می‌شود پاسخ انعکاسی این مزارع نسبت به مزارع دیگر تغییر کند، در حالی که ممکن است از نظر عملکرد با سایر مزارع تفاوتی نداشته باشند). به‌منظور رفع این خطا و پایش گیاهان در طول دوره زمانی بین تصویر اول و سوم، از داده‌های رقومی سه تصویر میانگین‌گیری شد.

داده‌های زمینی شامل مختصات جغرافیایی مزارع هدف و عملکرد آن‌ها بودند که به‌وسیله دستگاه GPS دستی گارمین مختصات دقیق آن‌ها ثبت شد. از داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ ایستگاه هم‌دیدگی مشهد به‌منظور تفسیر نتایج استفاده شد. پس از تهیه تصاویر با انجام فرآیندهای

- 1- Geometric Error
- 2- Radiometric Error
- 3- Dark-Object Subtraction Technique
- 4- Digital Number

نرم‌افزاری شاخص‌های گیاهی متعددی محاسبه شدند (جدول ۱). نرم‌افزارهای ERDAS Imagine 9.2 و ENVI برای استخراج اطلاعات تصاویر و نرم‌افزار JMP4 برای محاسبه‌های آماری اجرا شدند. در این بررسی برای برقراری رگرسیون چندمتغیره از روش گام به گام^۱ استفاده شد. موقعی از رگرسیون گام به گام بهره می‌گیریم که چند متغیر مستقل داریم و می‌خواهیم اثرات آن را بر روی متغیر وابسته نشان دهیم به عبارتی دیگر می‌توان چنین بیان نمود که از متغیرهای مستقل موجود کدام متغیر به بهترین وجهی می‌تواند متغیر وابسته را پیش‌بینی کند، سهم هر متغیر چقدر است و در کل با هم‌دیگر چقدر قادر به پیش‌بینی هستند. در این جا عملکرد متغیر وابسته و باندها و شاخص‌ها متغیر مستقل هستند. پس از برقراری رابطه و اعمال روش گام به گام در نرم‌افزار JMP4 بهترین معادله‌ها به دست آمد.

برخی از شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه در زیر توضیح داده شده‌اند. معادله‌های مربوط به هر کدام از این شاخص‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

شاخص پوشش گیاهی NDVI یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعه‌ها توسط پژوهش‌گران مختلف گزارش شده است. ارزش عددی این شاخص بین اعداد +۱ و -۱ در نوسان است و ثابت شده که هرچه به عدد +۱ نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد (میرآخورلو و حسینی، ۲۰۰۶).

EVI شاخصی بهینه‌سازی شده به منظور افزایش سیگنال پوشش گیاهی با حساسیتی بهبودیافته در مناطقی با زیست‌توده بالا است و به منظور ارتقاء و بهبود شاخص NDVI بر پوشش گیاهی از طریق یک جفت سیگنال پس زمینه پوشش تاج و کاهش تأثیرات جوی به کار می‌رود. در حالی NDVI به کلروفیل حساس است، EVI بیش‌تر پاسخ‌گو به تغییرات ساختاری تاج پوشش است، که از آن جمله می‌توان به شاخص سطح برگ (LAI)، نوع تاج و ساختار تاج اشاره کرد (هیوت و همکاران، ۱۹۹۹). شاخص GNDVI مانند شاخص NDVI قادر به بارزسازی پوشش گیاهی سبز است با این تفاوت که باند طیفی سبز به جای باند طیفی قرمز قرار گرفته است (ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به همراه معادله.

منبع	معادله	شاخص گیاهی	اختصار
روز و همکاران، ۱۹۷۴	$(\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_5)$	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI
گیتلسون و همکاران، ۱۹۹۶	$(\rho_4 - \rho_2) / (\rho_4 + \rho_2)$	Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI
پیرسون و میلر، ۱۹۷۲	$1.5 * ((\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_5))$	Soil Adjusted Vegetation index	SAVI
هیو و همکاران، ۱۹۹۹	$(\rho_2 * ((\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + 6 * \rho_3 + 7.5 * \rho_1 + 1)))$	Enhanced Vegetation Index	EVI
پیکاپ و همکاران، ۱۹۹۳	$(\rho_3 - \rho_1)$	PD311	PD311
پیکاپ و همکاران، ۱۹۹۳	$(\rho_3 - \rho_1) / (\rho_3 + \rho_1)$	PD312	PD312
پیکاپ و همکاران، ۱۹۹۳	$\rho_3 - \rho_2$	PD321	PD321
پیکاپ و همکاران، ۱۹۹۳	$(\rho_3 - \rho_2) / (\rho_3 + \rho_2)$	PD322	PD322
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_3 * \rho_4 / \rho_2$	Vegetation Index1	VI1
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_3 * \rho_4$	Vegetation Index2	VI2
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_2 / (\rho_4 + \rho_3)$	Vegetation Index3	VI3
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_2 - ((\rho_4 + \rho_3) / \rho_2) + (\rho_4 + \rho_3)$	Vegetation Index4	VI4
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	ρ_3 / ρ_7	Vegetation Index5	VI5
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_3 * \rho_7 / \rho_5$	Vegetation Index7	VI7
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_7 / (\rho_3 + \rho_5)$	Vegetation Index9	VI9
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_2 - ((\rho_5 + \rho_7) / \rho_2) + (\rho_5 + \rho_7)$	Vegetation Index10	VI10
ارزانی و همکاران، ۲۰۰۸	$\rho_5 - ((\rho_7 + \rho_2) / \rho_5) + \rho_7 + \rho_2$	Vegetation Index11	VI11

نتایج و بحث

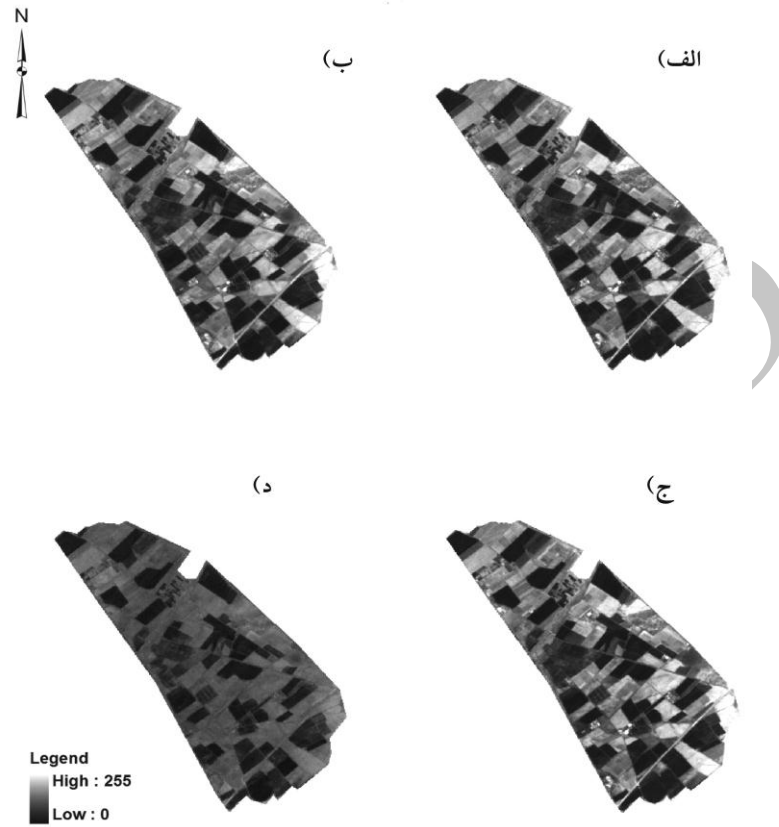
تحلیل نتایج سال ۱۳۸۸: نتایج همبستگی برای هر یک از تصاویر مورد مطالعه در سال ۱۳۸۸ نشان داد که بهترین همبستگی در تمامی باندها و شاخص‌ها با عملکرد، در تصویر گرفته شده در تاریخ ۲۷ خرداد بود (جدول ۲). لازم به ذکر است که در این تاریخ مزارع گندم تقریباً در مرحله خمیری شدن قرار داشتند. در آزمایش لی‌هانگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز همین نتایج به دست آمد. بالاترین همبستگی در باند ۳ با ضریب تبیین ۰/۷۶ به دست آمد. پس از آن باندهای ۵، ۱ و ۲ در جایگاه بعدی قرار گرفتند. از میان شاخص‌ها، PD311، PD312، VI10، VI11، VI7 بالاترین همبستگی را با عملکرد داشتند (جدول ۲). مقادیر همبستگی برای تصاویر ۸ خرداد و ۴ تیر تقریباً مشابه بودند.

نتایج نشان داد تلفیق داده‌ها باعث شد ضرایب همبستگی نسبت به تصویر اول و سوم افزایش یافت و شبیه تصویر دوم شد. اطلاعات به دست آمده بیانگر این مطلب بود که باند ۳ بالاترین ضریب همبستگی ($r^2=0/72$) را با عملکرد داشت (جدول ۲). پس از آن باندهای ۵، ۱ و ۲ به ترتیب با ضریب تبیین ۶۶ درصد، ۶۴ درصد و ۶۱ درصد در جایگاه بعدی قرار داشتند. در شکل ۳ این میزان همبستگی نمایش داده شده است و به دلیل این که شاخص‌ها همبستگی کم‌تری داشتند از رسم آن‌ها به صورت نمودار خودداری شده، اما میزان همبستگی آن‌ها در جدول ۲ ارایه شده است. در میان شاخص‌های مورد مطالعه بالاترین همبستگی با عملکرد در گروه شاخص‌های PD مشاهده شد. PD312 با ضریب تبیین ۰/۷۳ بهترین شاخص معرفی شد. در میان شاخص‌های گروه VI شاخص‌های VI10، VI11 و VI7 همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند. نمونه‌هایی از تصاویر به دست آمده از باندها و شاخص‌های گیاهی دارای همبستگی بالا با عملکرد گندم در شکل ۲ ارایه شده است. شاخص‌های NDVI، GNDVI، EVI و SAVI رابطه معنی‌داری با عملکرد نشان ندادند. مارتین‌یاک و همکاران (۲۰۰۷) نیز در نتایج پژوهش خود بر روی جو، بوش و همکاران (۲۰۰۸) بر ذرت به این نتیجه رسیدند که شاخص NDVI برای پیش‌بینی عملکرد چندان مناسب نمی‌باشد. بر خلاف نتایج به دست آمده در این پژوهش، نارسا و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای بر روی برنج نشان دادند که شاخص NDVI با ضریب تبیین بالایی قادر به پیش‌بینی عملکرد برنج است.

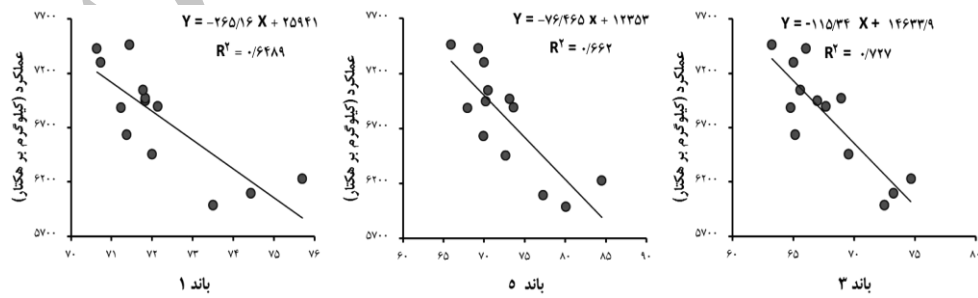
نتایج به دست آمده از استفاده از روش رگرسیون خطی دومتغیره بین باندهای تلفیق شده سه تصویر و عملکرد نشان داد که این روش در نهایت بهترین روش به منظور پیش‌بینی عملکرد گندم در سال ۱۳۸۸ بود. از بین باندهای موجود، باند ۲ و ۳ انتخاب شد و مدل با ضریب تبیین ۸۳ درصد برازش داده شد (شکل ۵).

جدول ۲- ضرایب همبستگی و خطای باندها و شاخص‌های مورد مطالعه در تصاویر با عملکرد مزارع گندم در سال ۱۳۸۸.

	خرداد-۸		خرداد-۲۷		تیر-۴		تجمعی	
	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE
band1	۰/۳۵	۵/۵	۰/۶۵	۴/۰۵	۰/۴۹	۴/۸	۰/۶۴	۴/۰
band2	۰/۴۲	۵/۲	۰/۶۴	۴/۰۶	۰/۲۶	۶/۰	۰/۶۱	۴/۲
band3	۰/۴۰	۵/۳	۰/۷۶	۳/۳	۰/۲۸	۵/۹	۰/۷۲	۳/۵
band4	۰/۰۷	۶/۶	۰/۱۳	۶/۳	۰/۱۱	۶/۲	۰/۱	۶/۴
band5	۰/۵۰	۴/۸	۰/۶۹	۳/۷	۰/۵۷	۴/۱	۰/۶۶	۴/۰
band7	۰/۴۳	۵/۱	۰/۵۷	۴/۱	۰/۵۲	۴/۳	۰/۵۳	۴/۶
NDVI	۰/۰۴	۶/۷	۰/۰۳	۶/۷	۰/۰۱	۶/۷	۰/۰۳	۶/۷
GNDVI	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۱	۶/۹	۰/۰۶	۶/۹	۰/۰۱	۶/۸
SAVI	۰/۰۴	۶/۷	۰/۰۳	۶/۷	۰/۰۱	۶/۷	۰/۰۳	۶/۷
EVI	۰/۰۲	۶/۸	۰/۰۱	۷/۰	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۱	۶/۸
PD311	۰/۴۱	۵/۲	۰/۷۱	۳/۵	۰/۲۲	۶/۰	۰/۶۴	۴/۱
PD312	۰/۴۳	۵/۱	۰/۷۶	۳/۳	۰/۲	۶/۱	۰/۷۳	۳/۱
PD321	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۴	۶/۶	۰/۰۶	۶/۹	۰/۰۲	۶/۷
PD322	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۶	۶/۹	۰/۰۱	۶/۸
VI1	۰/۳۸	۵/۳	۰/۳۴	۵/۴	۰/۱۴	۶/۳	۰/۲۷	۵/۸
VI2	۰/۴۹	۴/۸	۰/۴۵	۴/۹	۰/۱۶	۶/۳	۰/۳۵	۵/۵
VI3	۰/۰۳	۶/۷	۰/۱۱	۶/۱	۰/۱۱	۶/۳	۰/۰۸	۶/۶
VI4	۰/۴۴	۵/۱	۰/۴۳	۵/۲	۰/۱۸	۶/۲	۰/۳۷	۵/۴
VI5	۰/۲۸	۸/۲	۰/۰۴	۶/۵	۰/۰۱	۶/۸	۰/۰۷	۶/۷
VI7	۰/۳۰	۵/۷	۰/۶۳	۳/۸	۰/۴	۵/۱	۰/۵۸	۴/۵
VI9	۰/۲۲	۶/۱	۰/۰۲	۶/۸	۰/۰۱	۶/۹	۰/۰۵	۶/۵
VI10	۰/۴۷	۴/۹	۰/۶۹	۳/۸	۰/۵۴	۴/۱	۰/۶۵	۳/۹
VI11	۰/۴۷	۴/۹	۰/۶۹	۳/۸	۰/۵۵	۴/۱	۰/۶۵	۳/۹



شکل ۲- تصاویر استخراج شده ماهواره لندست از مزارع گندم. الف) باند ۱، ب) باند ۳، ج) شاخص PD312، د) VI10.



شکل ۳- همبستگی عملکرد با سه باند ۱، ۵ و ۳.

تحلیل نتایج سال ۱۳۸۹: نتایج آزمایش در سال ۱۳۸۹ نشان داد که از بین سه تصویر مورد بررسی تصویر سوم (۱۹ خرداد) بالاترین همبستگی را با عملکرد داشت (جدول ۳). طبق گزارش‌های ثبت شده در مزارع، گندم در این تاریخ نیز تقریباً در مرحله خمیری شدن دانه بود. باند ۳ این تصویر با ضریب تبیین ۷۵ درصد بهترین همبستگی را نشان داد. لی‌هانگ و همکاران (۲۰۰۷)، نیز در بررسی‌های خود بیان نمودند که بالاترین همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های تصاویر برداشت شده، در زمان پر شدن دانه به دست آمد.

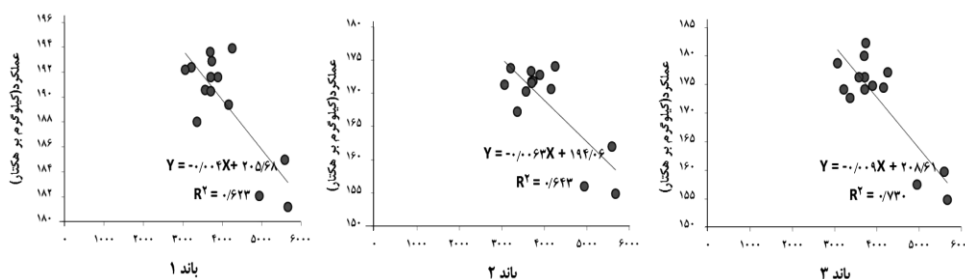
از میان شاخص‌ها در همین تاریخ، بالاترین همبستگی در شاخص‌های گروه PD مشاهده شد، به طوری که PD311 و PD312 به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۷۶ و ۰/۷۶ را ارائه کردند. هم‌چنین در گروه VI، VII10 و VII11 به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۷۰ و ۰/۷۰ به دست آمدند. در این تاریخ NDVI، SAVI و EVI نسبت به دو تاریخ دیگر همبستگی قابل توجهی را نشان داد (جدول ۳).

تلفیق داده‌های موجود در سه تصویر نیز نشان داد که از میان باندهای مورد بررسی در این حالت، باند ۳ بالاترین ضریب همبستگی ($r^2=0.73$) را با عملکرد نشان داد (جدول ۳). پس از آن باندهای ۲، ۱ و ۷ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۶۴، ۰/۶۲ و ۰/۵۸ در جایگاه بعدی قرار گرفتند که در شکل ۴ مقادیر همبستگی باندهای ۳، ۲ و ۱ با عملکرد نمایش داده شده است. در میان شاخص‌های مورد مطالعه بالاترین همبستگی‌ها در بین شاخص‌های گروه PD شاخص‌های PD311 و PD312 با مقادیر ۰/۷۳ و ۰/۶۸ همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند. همبستگی با عملکرد در گروه شاخص‌های VI مشاهده شد که VII10 و VII11 به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۵۸ و ۰/۵۷ بهترین شاخص‌ها به دست آمدند. ارزانی و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که شاخص VII10 همبستگی بالایی با پوشش گندمیان یک‌ساله دارد. شاخص‌های NDVI، GNDVI، EVI و SAVI رابطه معنی‌داری با عملکرد نشان ندادند. ماتسوشیتا و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای نشان دادند که به لحاظ نظری تجزیه و تحلیل تفاوت‌ها در تأثیر توپوگرافی بر EVI و NDVI مورد توجه است و باید بیان نمود که در زمین‌های ناهموار اثر توپوگرافی باید در داده‌های انعکاسی قبل از محاسبه EVI حذف شود و در دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی که شامل یک رابطه بدون ساختار نسبت بانندی هستند (به‌عنوان مثال، PVI و SAVI) نیز باید استفاده شود. هنگامی که این شاخص‌ها در نواحی با زمین‌های ناهموار به کار برده می‌شوند، از آن‌جا که اثر توپوگرافی بر شاخص‌های پوشش گیاهی تنها دارای یک ساختار نسبت بانندی

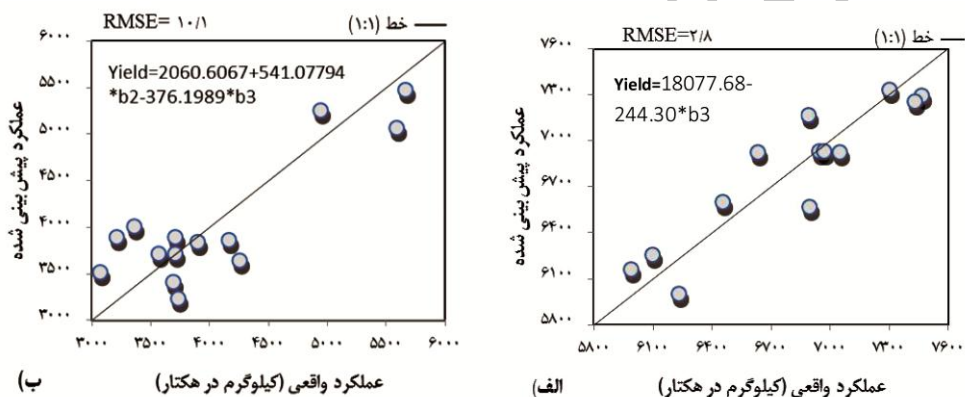
است (به عنوان مثال، NDVI) معمولاً می توان آن را نادیده گرفت (ماتسوشیتا و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج به دست آمده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد که در سال ۱۳۸۹ از بین شاخص های مورد بررسی باندهای ۳ با ضریب تبیین ۰/۷۳ بالاترین همبستگی را به خود اختصاص داد (شکل ۵).

جدول ۳- ضرایب همبستگی و خطای باندها و شاخص های مورد مطالعه در تصاویر با عملکرد مزارع گندم در سال ۱۳۸۹.

	اردیبهشت-۱۸		خرداد-۳		خرداد-۱۹		تجمعی	
	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE	R ^۲	RMSE
band1	۰/۱۵	۱۸	۰/۴۹	۱۳/۹۷	۰/۶۵	۱۱/۳۰	۰/۶۲	۱۱/۹۱
band2	۰/۱۲	۱۷/۳۵	۰/۵۴	۱۳/۲۴	۰/۷۴	۹/۹۸	۰/۶۴	۱۱/۶۵
band3	۰/۱۱	۱۸/۲۵	۰/۶۰	۱۲/۲۷	۰/۷۵	۹/۶۹	۰/۷۳	۱۰/۰۷
band4	۰/۰	۱۹/۴۰	۰/۰۷	۱۸/۸۵	۰/۰۶	۱۸/۸۹	۰/۰۳	۱۹/۱۶
band5	۰/۰۸	۱۸/۶۰	۰/۰۲	۱۹/۲۳	۰/۶۶	۱۱/۱۹	۰/۱۵	۱۷/۸۸
band7	۰/۰۹	۱۸/۴۹	۰/۴۵	۱۴/۲۴	۰/۶۵	۱۱/۲۸	۰/۵۸	۱۲/۳۵
NDVI	۰/۰۴	۱۸/۹۲	۰/۱۷	۱۷/۳۳	۰/۴۰	۱۴/۶۷	۰/۲۹	۱۵/۸۱
GNDVI	۰/۰۷	۲۱/۳۳	۰/۱۸	۱۷/۲۶	۰/۲۵	۱۶/۴۷	۰/۲۲	۱۶/۷۰
SAVI	۰/۰۴	۱۸/۹۲	۰/۱۷	۱۷/۳۳	۰/۴۰	۱۴/۶۷	۰/۲۹	۱۵/۸۱
EVI	۰/۰	۱۹/۴۱	۰/۰	۱۹/۳۶	۰/۴۰	۱۴/۶۵	۰/۰۵	۱۸/۷۱
PD311	۰/۰	۱۹/۴۰	۰/۵۶	۱۲/۶۹	۰/۷۶	۹/۶۰	۰/۷۳	۱۰/۰۹
PD312	۰/۰۶	۱۸/۷۴	۰/۵۹	۱۲/۲۸	۰/۷۶	۹/۶۶	۰/۶۸	۱۰/۹۷
PD321	۰/۰۹	۱۸/۶۱	۰/۰۵	۱۸/۸۳	۰/۶۶	۱۱/۲۸	۰/۴۳	۱۴/۳۹
PD322	۰/۰۱	۱۹/۳۵	۰/۱۱	۱۸/۱۰	۰/۵۹	۱۲/۴۱	۰/۳۴	۱۵/۴۰
VI1	۰/۰۰	۱۹/۴۱	۰/۱۵	۱۸/۰۳	۰/۴۶	۱۴/۲۷	۰/۱۵	۱۸/۰۱
VI2	۰/۰۳	۱۹/۱۳	۰/۳۱	۱۶/۲۲	۰/۶۲	۱۱/۹۳	۰/۳۹	۱۵/۲۷
VI3	۰/۰۹	۱۸/۴۰	۰/۱۷	۱۷/۳۶	۰/۰	۱۹/۳۸	۰/۱۱	۱۸/۰۲
VI4	۰/۰۳	۱۹/۱۷	۰/۳۱	۱۶/۲۴	۰/۶۶	۱۱/۴۳	۰/۳۷	۱۵/۵۰
VI5	۰/۰	۱۹/۳۹	۰/۰۱	۱۹/۲۸	۰/۰	۱۹/۴۱	۰/۰	۱۹/۴۱
VI7	۰/۰۶	۱۸/۶۹	۰/۳۱	۱۶/۱۲	۰/۶۸	۱۰/۸۰	۰/۵۵	۱۲/۹۷
VI9	۰/۰۲	۱۹/۳۲	۰/۱۲	۱۸/۱۴	۰/۰	۱۹/۳۶	۰/۱۰	۱۸/۳۳
VI10	۰/۱۳	۱۸/۱۴	۰/۰۸	۱۸/۶۲	۰/۷۰	۱۰/۶۲	۰/۵۸	۱۲/۵۳
VI11	۰/۱۲	۱۸/۱۷	۰/۰۷	۱۸/۷۵	۰/۷۰	۱۰/۶۴	۰/۵۷	۱۲/۶۸



شکل ۴- همبستگی عملکرد با سه باند ۱، ۲ و ۳.



شکل ۵- رابطه عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده گندم براساس روش رگرسیون خطی چندمتغیره.

(الف) سال ۱۳۸۸ و (ب) سال ۱۳۸۹.

نتایج نشان داد همبستگی‌ها در سال اول بهتر از سال دوم بود و هم‌چنین بهترین زمان برای پیش‌بینی عملکرد در سال اول در زمان دیرتری نسبت به سال دوم حادث شد. دلیل این تفاوت مربوط به یکسان نبودن شرایط جوی در ۲ سال می‌باشد. طبق آمار سازمان هواشناسی میانگین دمای ۳ ماه اول سال ۸۹ بیش‌تر از سال ۸۸ بود و هم‌چنین خسارت مربوط به تگرگ شدید اردیبهشت‌ماه ۸۹ باعث شد که گیاهان با کاهش عملکرد مواجه شوند و در زمان زودتری به مرحله رسیدگی برسند.

شاخص GNDVI و NDVI در این بررسی طبق نتایج جدول‌های ۲ و ۳ همبستگی قابل‌قبولی با عملکرد نداشتند. شاخص SAVI که معمولاً برای تعدیل اثر خاک زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد در

این پژوهش نتایج خوبی نداشت. طبق گزارش‌های برخی پژوهش‌گران این شاخص بیش‌تر برای برآورد پوشش‌های گیاهی در تراکم پایین مفید است (ایکدا و همکاران، ۱۹۹۹؛ رندیوکس و همکاران، ۱۹۹۶) و از آن‌جایی که مزارع گندم معمولاً با تراکم بالا کشت می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که SAVI برای پایش مزارع گندم چندان مناسب نباشد. شاخص EVI که ارتقا یافته شاخص NDVI می‌باشد با ضریب تبیین ۰/۰۲ و ۰/۰۰ در دو تاریخ نام برده نتایج خوبی را ارائه نکرد.

با توجه به طیف کنش^۱ کلروپلاست که اولین بار توسط انگلن^۲ در اواخر دهه ۱۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفت، بیش‌ترین جذب نور در کلروفیل در ناحیه ۴۰۰-۵۰۰ و ۶۵۰-۷۰۰ نانومتر (طول موج‌های آبی و قرمز) و کم‌ترین جذب در ناحیه ۶۰۰-۵۰۰ نانومتر می‌باشد (کافی و همکاران، ۲۰۰۹). از همین‌رو است که برگ‌های گیاهان سبز رنگ دیده می‌شود. بنابراین گیاهانی که نور بیش‌تری در طول موج‌های آبی و قرمز جذب می‌کنند در حال انجام فتوسنتز بیش‌تری می‌باشند. در تصاویر مورد بررسی نیز نشان داده شد که بین عملکرد (که نمود شدت فتوسنتز برگ‌های گیاه است) و باندهای آبی و قرمز بیش‌ترین همبستگی وجود داشت. هم‌چنین بین باند سبز و عملکرد همبستگی بالایی برقرار شد (جدول‌های ۱ و ۲). بوش و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش خود همبستگی بالایی را بین میزان کلروفیل ذرت و باند سبز تصویر کوییک برد^۳ گزارش کردند. لی‌هانگ و همکاران (۲۰۰۷)، نیز بیان داشتند که شاخص‌هایی که در آن‌ها از باند سبز استفاده شده است، همبستگی بهتری با عملکرد گندم نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با بررسی و تحلیل نتایج به‌دست آمده از پژوهش، در نهایت باید ذکر کرد که سنجنده‌های Landsat TM⁺ و ETM⁺، قادر به تولید داده‌های مطلوب با کارایی مناسب با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشند. برآورد منطقه‌ای عملکرد محصول از جنبه‌های متفاوتی دارای اهمیت است. از آن جمله می‌توان به مدیریت زمین‌های کشاورزی، تعیین قیمت‌گذاری مواد غذایی، سیاست‌های تجاری و تولید نقشه‌های عملکرد اشاره کرد. علاوه‌بر این، آگاهی از میزان محصول و میزان بهره‌وری می‌تواند ورودی‌های بحرانی مدل‌های هواشناسی و بیوشیمی را تولید کند. برتری استفاده از سیستم سنجنش از

1- Active Spectra
2- T.W. Engelmann
3- Quickbird

دور و شاخص‌های منتج شده از این علم، توانایی آن را در تأمین دیدگاه‌های متفاوت کشاورزی، هم‌دیدگی و اقتصادی نشان می‌دهد. با این حال، بسیاری از عوامل محیطی مانند شرایط جوی و میزان ابرناکی، اثر توپوگرافی و زمان تهیه تصویر ممکن است باعث ایجاد خطا در تخمین عملکرد به وسیله شاخص‌ها شوند. از این رو باید در پژوهش‌ها، منابع به وجود آورنده خطا در محاسبه عملکرد محصولات در نظر گرفته شوند.

باید خاطر نشان کرد که شاخص NDVI که یکی از اساسی‌ترین شاخص‌ها در مبحث پوشش‌های گیاهی است (لی‌هانگ و همکاران، ۲۰۰۷) و نیز شاخص‌های ارتقا یافته پس از آن یعنی GNDVI، SAVI و EVI در منطقه مورد مطالعه که منطقه‌ای نیمه‌خشک است با عملکرد همبستگی قابل قبولی نداشتند. بنابراین توصیه می‌شود این شاخص‌ها برای سایر مناطق اقلیمی که گندم در آن‌جا کشت می‌شود مورد بررسی قرار گیرد و میزان همبستگی هر یک از این شاخص‌ها با عملکرد گندم بررسی شود تا میزان وابستگی اقلیم در روند تغییر این شاخص‌ها نسبت به عملکرد مشخص شود. به علاوه تنها شاخص تعدیل اثر خاک زمینه مورد استفاده در این پژوهش شاخص SAVI می‌باشد که پیشنهاد می‌شود سایر شاخص‌های تعدیل اثر خاک مانند PVI، OSAVI، TSAVI و MSAVI نیز مورد محاسبه قرار گیرند تا بتوان بهتر در مورد این دسته از شاخص‌ها نتیجه‌گیری کرد.

سپاسگزاری

هزینه‌های اعتبار این پژوهش از محل طرح شماره ۱۸۵۱۵ مصوب ۹۱/۰۳/۰۱ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Alizadeh, A. 2007. Principles of applied hydrology. Emam Reza University. Press, Mashhad, Pp: 265-290. (In Persian)
2. Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L. and Royo, C. 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. Agron. J. 92: 1. 83-91.
3. Arzani, H., Noori, S., Kaboli, S., Moradi, H. and Ghelichnia, H. 2008. Determination of suitable indices for vegetation cover assessment in summer rangelands in south of Mazandaran. J. Natur. Resour. 61: 4. 997-1016. (In Persian)

4. Baugh, W.M. and Groeneveld, D.P. 2006. Broadband vegetation index performance evaluated for a low-cover environment *Int. J. Rem Sens.* 27: 21. 4715-4730.
5. Bausch, W.C., Halvorson, A.D. and Cipra, J. 2008. Quickbird satellite and ground-based multispectral data correlations with agronomic parameters of irrigated maize grown in small plots. *Biosys. Eng. IOI*. Pp: 306-315.
6. Chavez, P. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Rem. Sens. Environ.* 24: 1. 459-479.
7. Hossaini, Z., Khajodin, G., Azarnivand, H., Farahpoor, M. and Khalilpoor, A. 2007. Estimated percentage of vegetation cover and rangeland mapping using ETM⁺ images processing. *J. Range.* 1: 79-90. (In Persian)
8. Huete, A.R., Liu, H., Batchily, K. and Leeuwen, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *J. Rem Sens. Environ.* 59: 3. 440-451.
9. Ikeda, H., Okamoto, K. and Fukuhara, M. 1999. Estimation of above ground grassland phytomass with a growth model using landsat TM and climate data. *Int. J. Rem. Sens.* 11: 2283-2294.
10. Kafi, M., Zand, A., Kamkar, B., Mahdavi, A., Abassi, F. and Sharifi, H. 2009. *Plant physiology*. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press. 732p. (In Persian)
11. Kaswani, I., Norsaliza, U. and Hasmadi, I. 2010. Analysis of spectral vegetation indices related to soil-line for mapping mangrove forests using satellite imagery. *J. Rem. Sens.* 1: 1. 25-31.
12. Li-Hong, X., Wei-Xing, C. and Lin-Zhang, L. 2007. Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different supply levels using canopy reflectance spectra. Published by Elsevier Limited *Sci. Press.* 17: 5. 646-653.
13. Martyniak, L., Dabrowska-Zielinsk, K., Szymczyk, R. and Gruszczynska, M. 2007. Validation of satellite-derived soil-vegetation indices for prognosis of spring cereals yield reduction under drought conditions: Case study from central-western Poland. *Adv. Space Res.* 39: 67-72.
14. Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. and Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density cypress forest. *Sensors.* 7: 11. 2636-2651.
15. Mirakhorlo, Kh. and Hosseini, S.Z. 2006. Estimating rangelands yield using remote sensing data (Case study: Damavand region of Iran), *J. Ran. Des. Res.* 13: 2. 127-138. (In Persian)
16. Nuarsa, W., Nishio, F. and Hongo, C. 2012. Rice yield estimation using Landsat ETM⁺ data and field observation. *J. Agron. Sci.* 4: 3. 45-56.
17. Parviz, L., Kholghi, M., Valizade, Kh., Araghinezhad, Sh. and Irannejad, P. 2010. Evaluation performance of normalized difference vegetation index by monitoring vegetation condition. *Int. Geo-matic Symposium.*

18. Pinter, P., Jackson, R., Idso, S. and Reginato, R. 1981. Multidate spectral reflectance as predictors of yield in water stressed wheat and barley. *Int. J. Rem. Sens.* 2: 1. 43-48.
19. Raun, W.R., Solie, J.B., Stone, M.L., Lukina, E.V., Thomason, W.E. and Schepers, J.S. 2001. In season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agron. J.* 93: 131-138.
20. Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F. 1996. Optimization of soil adjusted vegetation indices. *J. Rem. Sens. Environ.* 55: 48-107.
21. Serrano, L., Filella, I. and Penuelas, J. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Sci. J.* 40: 3. 723-731.
22. Shahbaziyan, N., Dadi, A. and Irannejad, H. 2007. Response of winter wheat yield to rotation with wheat, fallow, soybean and alfalfa and application of manure in Quazwin province in Iran. *J. Agric. Sci.* 13: 1. 125-135.
23. Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Francis, D.D., Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Tringe, J.M., Schlemmer, M.R. and Major, D.J. 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agron. J.* 93: 583-589.
24. Solaimani, K., Shokrian, F., Tamartash, R. and Banihashemi, M. 2011. Landsat ETM+ based assessment of vegetation indices in highland environment. *J. Adv. Dev. Res.* 2: 1. 5-13.



Wheat yield estimation using landsat images and field observation: A case study in Mashhad

H. Sanaeinejad¹, M. Nassiri Mahallati², H. Zare³,
*N. Salehnia⁴ and M. Ghaemi⁵

¹Associate Prof., Dept. of Irrigation, Ferdowsi University of Mashhad, ²Prof., Dept. of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, ³Ph.D. Student, Dept. of Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, ⁴Ph.D. Student, Dept. of Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, ⁵Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 10/02/2012 ; Accepted: 10/15/2013

Abstract

Remote sensing is one of the techniques recently used for the purpose of monitoring and predicting crop yield. The objective of this study was predicting wheat yield in Mashhad during 2009 and 2010 by Landsat (TM) and (ETM⁺) images with ground based data. For this purpose, three images dated 6, 14 and 22 Jun 2009 and 8 and 24 May and 9 Jun 2010 were analysed and vegetation indices were computed. Field data included wheat growth stage, yield and geographical position. Results showed that the best relation between yield and indices were obtained in 14 Jun 2009 and 14 May 2010. These dates coincided with milky and maturity stages of wheat. Cumulative indices estimated yield prediction more precisely than others indices. Red band had the highest correlation ($r^2=0.76$) with yield among the other band. Through the other indices, PD311 and PD312 had the best correlation with the yield. Correlation between NDVI and yield was not significant. The best correlation with the yield was obtained by applying the multi linear regression method ($r^2=0.83$).

Keywords: Yield prediction, Remote sensing, TM and ETM⁺ sensors, Vegetation indices, NDVI

* Corresponding Author, Email: salehnia61@gmail.com