

Prediction of Canola Yield in Some of Growth Stages by Using Landsat Satellite, OLI Sensor

NAEIM LOVEIMI¹, ASADOLLAH AKRAM^{2*}, NIKROOZ BAGHERI³, ALI HAJIAHMAD⁴

1. Ph.D. Student in the Field of Agriculture Mechanization, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 2. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 3. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
 4. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- (Received: Apr. 24, 2018- Revised: Sep. 24, 2018- Accepted: Oct. 6, 2018)

ABSTRACT

Canola is a source of edible oil and its cultivation in Iran and the world is growing. Only few studies have been carried out by remote sensing for canola yield estimation. In 2017-2018, in order to predict the canola yield by Landsat satellite, OLI sensor, three farms were evaluated. The satellite images were processed in five stages: before flowering, early flowering, peak of flowering, green and dry maturing, and some of vegetation indices were extracted based on the ratio of the bands. The pixel network of each farm was determined and the Real Time Kinematic Global Positioning System (RTKGPS) was used to increase the precision of pixels location in the farms. Sampling was done inside farms pixels during harvesting time and canola yield was measured. Totally, 28 pixels from three studied farms were used to develop and validate the predictive models. Simple and multivariate linear regression models were used to assess the relationship between canola yield and vegetation indices. The results showed that, on the basis of simple linear regression models, among the growth stages, the highest coefficient of determination (R^2) in each of the vegetation indices belonged to one of the two stages: the peak of flowering and green maturing. The coefficient of determination in all vegetation indices was low in the before flowering stage (less than 10 percent) and relatively medium (24- 52 percent) in the early flowering and dry maturing stages. According to this model, the NDVI with 67 percent in the peak of flowering stage, and the RVI with 64 percent in the green maturing stage had the highest coefficient of determination compared to other vegetation indices. The stepwise multivariate linear regression models, with four visible and near infrared bands, resulted to the best yield predictive model in the peak of flowering stage, with 78 and 74 percent of coefficient of determination, for its implementation and validation, respectively.

Keywords: Yield Estimation, Remote Sensing, Vegetation Index, NDVI, RVI

پیش‌بینی عملکرد کلزا در مراحل مختلف رشد به‌وسیله تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست

نعیم لویمی^۱، اسداله اکرم^{۲*}، نیکروز باقری^۳، علی حاجی‌احمد^۴

۱. دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۲. دانشیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۳. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
 ۴. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱۴)

چکیده

کلزا منبع روغن خوراکی است و کشت آن در ایران و جهان رو به رشد می‌باشد. در زمینه تخمین عملکرد کلزا به‌وسیله سنجش از دور تحقیقات کمی صورت گرفته است. در سال زراعی ۹۶-۹۵ با هدف پیش‌بینی عملکرد کلزا به‌وسیله ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI، سه مزرعه کشت این محصول مورد ارزیابی قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای در پنج مرحله قبل از گل‌دهی، اوایل گل‌دهی، اوج گل‌دهی، رسیدگی سبز و رسیدگی خشک پردازش گردید و تعدادی از شاخص‌های گیاهی براساس نسبت بین باندها استخراج گردید. محدوده شبکه‌ای پیکسل‌های مزارع تعیین گردید و برای افزایش دقت تعیین موقعیت پیکسل‌ها در مزارع از سیستم موقعیت‌یابی جهانی سینماتیک زمان واقعی (RTKGPS) استفاده گردید. نمونه برداری از داخل پیکسل‌های مزارع در هنگام برداشت انجام گردید و عملکرد دانه کلزا اندازه‌گیری گردید. در مجموع از سه مزرعه مورد مطالعه ۲۸ پیکسل برای پیاده‌سازی مدل‌های پیش‌بینی و نیز اعتبارسنجی آنها اخذ شد. از مدل‌های رگرسیونی خطی ساده و چند متغیره برای ارزیابی ارتباط بین عملکرد کلزا و شاخص‌های گیاهی استفاده گردید. نتایج نشان داد براساس مدل رگرسیون خطی ساده، بین مراحل رشد، بالاترین ضریب تبیین (R^2) در هر یک از شاخص‌های گیاهی به یکی از دو مرحله اوج گل‌دهی و رسیدگی سبز تعلق داشت. ضریب تبیین در تمام شاخص‌های گیاهی، در مرحله قبل از گل‌دهی ضعیف (پایین‌تر از ۱۰ درصد) و در دو مرحله اوایل گل‌دهی و رسیدگی خشک نسبتاً متوسط (۵۲-۲۴ درصد) بوده است. براساس این مدل، در مرحله اوج گل‌دهی شاخص تفاضل نرمال شده زردی (NDYI) با ۶۷ درصد و در مرحله رسیدگی سبز شاخص نسبت پوشش گیاهی (RVI) با ۶۴ درصد بالاترین ضریب تبیین را نسبت به سایر شاخص‌های گیاهی کسب کرده‌اند. با به‌کارگیری مدل رگرسیونی خطی چند متغیره گام به گام با چهار باند مرئی و مادون قرمز نزدیک به‌عنوان ورودی، بهترین مدل پیش‌بینی عملکرد کلزا در مرحله گل‌دهی با ضریب تبیین ۷۸ درصد و میزان اعتبارسنجی ۷۴ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تخمین عملکرد، سنجش از دور، شاخص گیاهی، RVI، NDYI

مقدمه

است. علاوه بر آن اکنون استفاده از کلزا برای سایر فرآورده‌ها همچون صابون‌ها، پاک‌کننده‌ها و مواد آرایشی در حال افزایش است (Hogya et al., 2010). دانه کلزا ۴۵-۳۸ درصد روغن، و کنجاله آن ۳۸-۳۴ درصد پروتئین دارد (Ash, 2017). در ایران بیش از ۹۰ درصد مصرف داخلی روغن‌های خوراکی از طریق واردات تأمین می‌شود (Kazem et al., 2016). در کشور ما تعداد محدودی دانه‌های روغنی مورد توجه و استفاده قرار دارد که از جمله آنها می‌توان به پنبه‌دانه، کنجد، کلزا، سویا، آفتابگردان، گلرنگ و زیتون اشاره نمود. در حال

کشت جهانی کلزا ظرف ۴۰ سال اخیر به سرعت رشد کرده است و از رتبه شش محصولات روغن گیاهی به رتبه دوم، بعد از سویا، ارتقاء یافته و از لحاظ روغن گیاهی بعد از سویا و نخل پالم سوم است (Ash, 2017). کلزا منبع اصلی روغن خوراکی انسانی است و بقایای آن برای دام، غنی از انرژی و پروتئین

* نویسنده مسئول: aakram@ut.ac.ir

بعضی مدل‌های پیچیده ارائه شده است. انتظار می‌رود پیش‌بینی عملکرد به کمک سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بتواند به سرعت و دقت کافی و در هر سطح صورت پذیرد.

شاخص‌های پوشش گیاهی نوع ویژه‌ای از شاخص‌های طیفی هستند که برای تحلیل اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای جهت تعیین صفات و ویژگی‌های گیاه همچون تراکم، عملکرد، زمان رسیدگی، نیاز کودی و یا تفکیک محصولات از یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از این شاخص‌ها با ترکیب باندهای طیفی برای تخمین متغیرهای بیوفیزیکی گیاهی بکار می‌روند. اطلاعات باندهای مختلف سنجنده‌ها در قالب شاخص‌های طیفی و نسبت‌های طیفی نقش عمده‌ای در این زمینه ایفا می‌کنند (Matsushita et al., 2007). مطالعات زیادی به ارتباط بین داده‌های طیفی ناشی از محصول و صفات متعدد بیولوژیکی و فیزیولوژیکی دست یافته‌اند (Goel et al., 2003; Jago et al., 1999; Lee et al., 2004; Vigneau et al., 2011; Zou et al., 2011).

شاخص^۱ NDVI مدت‌ها است که به‌عنوان یک روش غیرمستقیم برای تعیین عملکرد محصول استفاده می‌شود (Raun et al., 2001). گزارش شده است که شاخص^۲ RVI در تخمین عملکرد گندم دوروم مناسب‌تر از شاخص NDVI بود (Aparicio et al., 2000). وضعیت مشابهی نیز برای برآورد عملکرد ذرت به‌دست آمد (Shanahan et al., 2001). بررسی صورت گرفته برای پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت که در رژیم‌های آبیاری متفاوتی قرار داشت، نشان داد که بین شاخص‌های طیفی منتج از برگشت نوری کانوبی گیاه و عملکرد محصول ارتباط قوی وجود دارد (Weber et al., 2012). مطالعه جامعی در طول سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ در مزارع آمریکا بر محصولات متنوعی انجام شد و مقادیر ضرایب همبستگی متفاوتی بین شاخص‌های طیفی گیاهی منتج از سنجده ماهواره و عملکرد این محصولات به‌دست آمد (Johnson, 2016).

مطالعات صورت گرفته در ایران برای برآورد عملکرد از طریق طیف‌های ماهواره‌ای برای محصولاتی همچون گندم (Mohammadi et al., 2016; Sanaeinejad et al., 2014)، زیست‌توده برنج (Darvishzadeh et al., 2012) و چغندر قند (Mollaei et al., 2008) بوده که رنگ غالب کانوبی این محصولات تا قبل از رسیدگی کامل، که امکان برآورد عملکرد وجود داشته، در محدوده سبز بوده است.

در مورد کاربردهای کلزا محققین زیادی برای تعیین

حاضر بیشترین سطح زیر کشت نیز مربوط به سویا، آفتابگردان، کلزا و گلرنگ می‌باشد (Kazem et al., 2016). مطالعات راهکارهای اجرایی کشورهای پیشرفته و موفق در تأمین دانه‌های روغنی نشان می‌دهد که کشور ما به دلیل برخورداری از اقلیم‌های متعدد، امکانات و نیروی انسانی مستعد، می‌تواند عقب‌ماندگی سال‌های گذشته را جبران و ضریب وابستگی به واردات روغن یا دانه‌های روغنی و کنجاله را به حداقل برساند. در همین راستا وزارت جهاد کشاورزی در دهه اخیر سیاست‌های افزایش تولید خود را اکثراً بر دانه روغنی کلزا متمرکز نموده است (Kazem et al., 2016).

هدف اصلی کشاورزی دقیق افزایش عملکرد از طریق افزایش بهره‌وری نهاده‌ها است. از روش‌های مفید و شناخته‌شده در کشاورزی دقیق، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور هستند که برای نظارت مستمر بر مناطق وسیع بسیار مقرون‌به‌صرفه می‌باشند. عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای توانایی پوشش وسیعی را دارند که خارج از دسترس سایر روش‌های معمول زمینی است. جمع‌آوری اطلاعات تولید محصولات که در سطح ملی و منطقه‌ای به‌وسیله پیمایش و سرشماری در کشورها معمول است بسیار هزینه‌بر و غیردقیق است (Gallego et al., 2010). پژوهش در حوزه‌های سنجش از دور به دلیل هزینه مناسب، سرعت بالا و دقت قابل قبول جهت تصمیم‌سازی و مدیریت منابع، دارای اهمیت زیادی است (Mcbratney, 2005). از طرفی تهیه اطلاعات مربوط به ویژگی‌های محصول از جمله میزان محصول، تراکم آن و نقشه تغییرات آن می‌تواند در مدیریت درون‌مزرعه‌ای و نیز برنامه‌ریزی خارج مزرعه کمک شایانی ایفا کند. تخمین محصول علاوه بر کمک به مدیریت زمین‌های کشاورزی و کاهش هزینه‌های داشت و برداشت محصول، می‌تواند به ارزیابی میزان کود و مواد شیمیایی مورد نیاز مزرعه هم کمک نماید، ضمن اینکه در پیش‌بینی فضای مورد نیاز برای ذخیره محصول برداشتی نیز مفید خواهد بود (Yamamoto et al., 2014).

با در اختیار داشتن نقشه تغییرات عملکرد و اطلاع از نهاده‌های ورودی، می‌توان نقشه تغییرات شاخص‌های بهره‌وری برای تمام نقاط مزرعه را سنجید و با مدیریت دقیق نهاده‌ها از جمله کود، سم و نیز عملیات ماشینی می‌توان با کمترین هزینه به عملکرد بهتری در سال‌های بعد دست یافت. از دیدگاه بیرون مزرعه‌ای نیز با پیش‌بینی عملکرد و همچنین پیش‌بینی نهاده‌های مورد نیاز، سیاست‌گذاری، پشتیبانی و مدیریت می‌تواند بطور دقیق و مؤثر انجام گیرد. بطور عملی تاکنون برآورد عملکرد مزرعه به کمک نظرات افراد خبره یا به‌وسیله

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Ratio Vegetation Index

زمان از بین مراحل رشد برای این پیش‌بینی است. همچنین ارزیابی جایگزینی مدل ترکیب باندی با استفاده از رگرسیون چند متغیره به‌جای شاخص‌های طیفی، برای پیش‌بینی عملکرد کلزا هدف دیگر این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

موقعیت محل تحقیق و شرایط زراعی

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۹۵ در زمین آزمایشی موسسه تحقیقات اصلاح بذر واقع در کرج، پشت شهرک نهال و بذر، با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی انجام گردید. در این سال در سه قطعه ۵ هکتاری این زمین، سه مزرعه با مساحت حدود ۱/۸، ۲/۶ و ۲ هکتار به کشت کلزا اختصاص یافت، که به‌عنوان محل این آزمایش انتخاب شدند (شکل ۱).

عملیات تهیه زمین و کاشت هر سه مزرعه در اوائل مهر انجام گردید و اولین آبیاری آنها ۲۲-۲۰ مهر صورت گرفت. بعد از سبز شدن و چند آبیاری دیگر، هر سه مزرعه مراحل رشد یکسانی داشتند و در مرحله ۶-۴ برگی چندین بار بطور متناوب و جمعاً نزدیک ۳۰-۲۵ روز زیر برف رفتند. در اواسط بهمن برف‌ها کم‌کم آب شدند و مراحل رشد دوباره از سر گرفته شد. در این مدت آبیاری و رسیدگی‌ها ادامه یافت که در نهایت با اتمام مراحل رشد، برداشت محصول در اول تیر ماه انجام گردید. در طول این زمان با بازدیدهای مداوم، پنج دوره زمانی نیمه دوم اسفند برای مرحله قبل از شروع گل‌دهی (قبل از ساقه رفتن)، نیمه اول فروردین برای ابتدای گل‌دهی (ابتدای ساقه رفتن)، اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت آن برای اوج گل‌دهی، دهه سوم اردیبهشت برای رسیدگی سبز (کامل شدن غلاف)، و دهه سوم خرداد برای رسیدگی خشک تشخیص داده شد. این مراحل مهمترین مراحل رشد هستند که در این تحقیق برای ارزیابی روابط تصاویر سنجنده با عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند. یادآور می‌شود که در تحقیقات دیگر در مورد تخمین عملکرد کلزا به‌وسیله طیف‌سنجی، Xiaolei & Yong, (2013) چهار مرحله جوانه‌زنی، ساقه‌دهی، اوج گل‌دهی و مرحله رسیدگی سبز را ارزیابی نمودند و Sulik & Long, (2016) در یک سال چهار مرحله قبل از گل‌دهی، اوائل ساقه‌دهی (ابتدای گل‌دهی)، اوج گل‌دهی و مرحله رسیدگی سبز و در سال دیگر شش مرحله جوانه‌زنی، پنجه‌زنی (رشد سطحی)، اوائل ساقه‌دهی (ابتدای گل‌دهی)، میانه ابتدا تا اوج گل‌دهی، اوج گل‌دهی و مرحله رسیدگی سبز را مورد بررسی قرار دادند.

خواص آن همچون روغن و پروتئین (Petisco *et al.*, 2010)، کلروفیل برگ‌ها (Fang *et al.*, 2007) و میزان پروتئین و اسید آمینه (Liu *et al.*, 2008, 2011)، از تکنیک‌های طیفی استفاده کردند. براساس طیف‌سنجی زمینی صورت گرفته و مقایسه تصاویر از مرحله اول جوانه‌زنی تا مرحله غلاف‌دهی و رسیدگی کامل محصول، بهترین زمان تصویربرداری برای برآورد عملکرد، اوج گلدهی کلزا است (Sulik & Long, 2016; Xiaolei & Yong, 2013). در مطالعه روی کلزا (Sulik & Long, 2016) و براساس طیف‌سنجی زمینی (نصب طیف‌سنج بر پلاتفرم متحرک) برای اولین بار برای برآورد عملکرد آن شاخص جدیدی بنام $NDYI^1$ تعریف گردید. در این تحقیق ضریب تبیین (R^2) بین عملکرد و شاخص جدید $NDYI$ مقدار ۷۲ درصد به‌دست آمد در حالی که این ضریب برای $NDVI$ به میزان ۶۶ درصد بود. اهمیت این شاخص جدید به این دلیل است که تمام مطالعات قبل صورت گرفته برای سنجش محصول کلزا توسط سنجنده‌های ماهواره‌ها، مقادیر رابطه پایینی بین عملکرد و شاخص‌های طیفی گیاهی معمول همچون $NDVI$ را گزارش داده بودند. این مسأله ناشی از تفاوت ظاهر محصول کلزا با محصولات دیگر می‌باشد که کانوپی کلزا از میانه رشد به بعد به رنگ زرد تغییر می‌کند در حالی که کانوپی محصولات دیگر همیشه سبز می‌باشد. به همین دلیل مطالعات قبلی علت ارتباط کم عملکرد و شاخص $NDVI$ را ناشی از رنگ کانوپی زرد گل‌های کلزا عنوان کردند (Basnyat *et al.*, 2004).

(Dominguez *et al.*, 2017) در ارزیابی ارتباط بعضی از شاخص‌های گیاهی منتج از ماهواره لندست ۷ و عملکرد کلزا در مراحل مختلف رشد به این نتیجه دست یافتند که همه شاخص‌های مورد ارزیابی رابطه نسبتاً ضعیفی با عملکرد داشتند. در این مطالعه دو شاخص $NDVI$ و $GNVI^2$ نتایج بهتری در مقایسه با شاخص‌های دیگر کسب کردند و سایر شاخص‌های مطالعه حاضر بررسی نشدند. مطالعه دیگر نشان داد که ارتباط عملکرد کلزا و شاخص $NDVI$ به موازات افزایش میزان گل‌دهی در طول رشد، کاهش می‌یابد (Piekarczyk, 2011). در واقع تخمین عملکرد کلزا در مراحل رشد به‌وسیله شاخص‌های طیفی همچون $NDVI$ با رابطه ضعیف گزارش شده است (Pratt, 2013).

اهداف اصلی این تحقیق ارزیابی شاخص‌های معمول و جدید طیفی برای پیش‌بینی عملکرد کلزا و نیز تشخیص بهترین

1. Normalized Difference Yellowness Index
2. Green Normalization Difference Vegetation Index



شکل ۱- موقعیت سه مزرعه آزمایشی کلزا: F1: مزرعه اول، F2: مزرعه دوم، F3: مزرعه سوم

نقش مهمی در افزایش دقت برآورد عملکرد دارد. لذا در این تحقیق برای رسیدن به دقت بیشتر این موارد رعایت شدند: ابتدا با استفاده از اخذ خروجی از تصاویر و مشخص شدن مراکز پیکسل‌های واقع در هر یک از مزارع، به‌وسیله نرم‌افزارهای Excel و AutoCAD مکان شطرنجی پیکسل‌ها و نقشه توزیع آنها مشخص گردید (شکل ۳- الف).

محدوده شبکه‌ای پیکسل‌های هر یک از مزارع با کمک دستگاه RTKGPS دو فرکانسه و با خطای کمتر از ۱۰ سانتیمتر و با کمک نوار ۱۰۰ متری روی زمین علامت‌گذاری شد. این کار قبل از ساقه رفتن محصول و زمانی که امکان ورود به مزرعه به‌سادگی امکان داشت، انجام گرفت. بعد از آن در طول رشد چهار گوش پیکسل‌های انتخابی برای اندازه‌گیری، با سنگ، اسپری رنگ و علمک علامت‌گذاری شدند (شکل ۳- ب).

هر پیکسل به چهار قسمت تقسیم شد و از هر قسمت پنج نمونه از چهار گوش و با فاصله مناسب از کناره‌ها، همراه با یک نمونه از مرکز اخذ شد، تا میانگین کل نمونه‌ها به‌عنوان نماینده پیکسل در نظر گرفته شود (شکل ۳- ج).

نمونه‌برداری از داخل کادر ۱ در ۱ متری میله‌ای انجام گردید (شکل ۳- د).

موقعیت دقیق مکان نمونه‌ها (مراکز کادرها) بعد از برداشت به‌وسیله دستگاه RTKGPS یادداشت گردید (شکل ۳- ه).

در مجموع از ۲۸ پیکسل نمونه‌برداری شد که سهم هر یک از مزارع ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۹، ۱۱ و ۸ بود. در این تحقیق پیکسل‌هایی که از حاشیه مزرعه فاصله مناسبی داشتند و با پدیده‌های حاشیه اختلاط نداشتند، انتخاب شدند (شکل ۴). همان‌طور که ذکر شد در این تحقیق برای نمونه‌برداری از کادر ۱ در ۱ متری استفاده شد. بدین شکل در هنگام رسیدگی

مشخصات سنجنده و تصاویر

ماهواره‌های سری لندست ابتدا با هدف مساحی منابع زمینی به فضا پرتاب شدند و به‌تدریج با به‌کارگیری سنجنده‌های مختلف تکامل یافته‌اند. اولین این سری با نام لندست ۱ در سال ۱۹۷۲، و آخرین آنها با نام لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره برای باندهای مرئی و محدوده-های متفاوت مادون قرمز ۳۰ متر است (Pirnazar & Zandkarimi, 2016). در این تحقیق از تصاویر آخرین سری این ماهواره، لندست ۸ و سنجنده OLI، استفاده گردید. تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ اخذ شد.

در این تحقیق برای پنج مرحله رشد، بهترین تصاویر که در دامنه این مراحل باشد و از نظر عدم وجود ابر و مه مناسب باشد، انتخاب شدند (شکل ۲). پردازش تصاویر به‌وسیله نرم‌افزار ENVI صورت گرفت. ابتدا تصاویر از نظر خطای هندسی براساس مشخصات فایل متادیتا^۲ آن بررسی شدند که این خطا برای همه تصاویر بین ۴-۶ متر و کمتر از نصف پیکسل بود و براساس تطابق زمینی نقاط ثبت شده با دستگاه RTKGPS^۳ نیز تصاویر رضایت‌بخش تشخیص داده شد. تصحیحات رادیومتریک^۴ و اتمسفری براساس الگوریتم فلش^۵ انجام گردید و صحت آن براساس منحنی‌های طیفی سه پدیده گیاه، آب و خاک قابل‌قبول ارزیابی شد.

تعیین موقعیت پیکسل‌ها و روش نمونه‌برداری

تعیین موقعیت پیکسل‌ها و انتخاب مکان نمونه‌برداری درون آنها

1. earthexplorer.usgs.gov
2. Meta Data File
3. Real Time Kinematic Global Positioning System
4. Radiometric Correction
5. FLAASH Atmospheric Correction

جدایش صورت گرفت. دانه‌ها باز در معرض آفتاب قرار گرفت و توزین آنها در رطوبت ۱۰-۱۲ درصد انجام شد و در نهایت میانگین نمونه‌های درون هر پیکسل به‌عنوان نماینده آن پیکسل مشخص گردید.

خشک، محصول درون کادر به‌صورت دستی برداشت گردیده و همراه با کد خاص در داخل گونی قرار داده شد. گونی‌های مربوط به نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری از مزارع به آزمایشگاه منتقل گردید و در آنجا بعد از عملیات خشک کردن، عمل کوبش و



ج- اوج گل‌دهی: ۹۶/۱/۳۱



ب- ابتدای گل‌دهی: ۹۶/۱/۶



الف- قبل از شروع گل‌دهی: ۹۵/۱۲/۲۰



ه- رسیدگی خشک: ۹۶/۳/۲۴

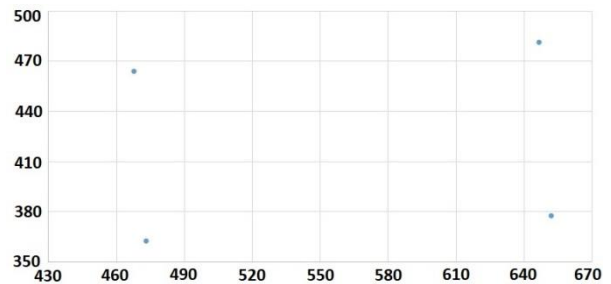


د- رسیدگی سبز: ۹۶/۲/۲۳

شکل ۲- تاریخ اخذ شده تصاویر سنجنده و تصاویر متناظر مزرعه مربوط به ۵ مرحله رشد مورد ارزیابی



ب- تعیین چهار گوش پیکسل‌ها روی زمین



الف- استخراج نقشه توزیع پیکسل‌ها در مزارع؛ مزرعه یک، محور X و Y طول و عرض جغرافیایی بر حسب UTM بعد از اعمال ضریب ثابت کاهشی



ه- تعیین موقعیت دقیق نمونه‌ها با کمک دستگاه RTKGPS

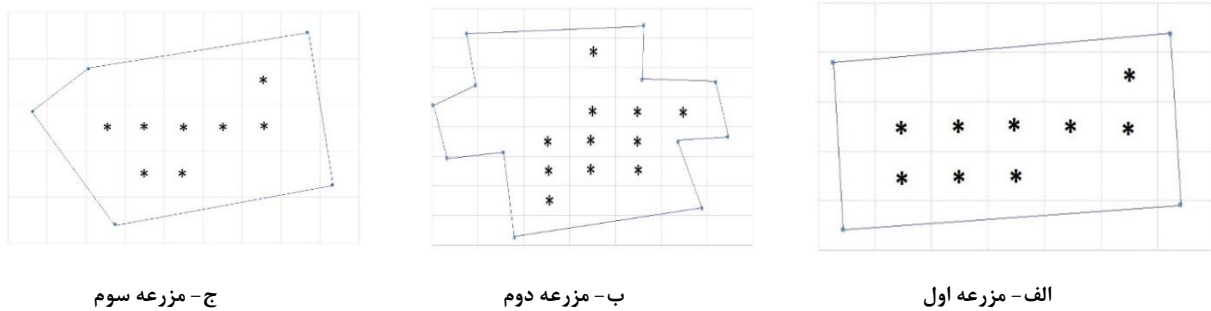


د- نمونه‌برداری مزرعه‌ای از درون کادر میله‌ای

*	*	*	*
	*		*
*	*	*	*
	*		*
*	*	*	*

ج- تقسیم پیکسل به چهار قسمت و نمونه‌برداری از ۵ نقطه از هر قسمت

شکل ۳- تعیین موقعیت پیکسل‌ها و نمونه‌برداری در مزرعه



شکل ۴- محل پیکسل‌های انتخابی برای نمونه‌برداری در مزارع آزمایشی؛ خطوط آبی رنگ محدوده مزارع است

باندها ممکن نیست، به کار می‌رود (Alavipannah, 2016). در روابط رگرسیونی از نسبت‌گیری باندها، ۶ شاخص NDVI، EVI، GNDVI، GARI، BNDVI و RVI که بیشترین کاربرد در مطالعات محصولات داشتند، همراه با شاخص جدید NDVI، منتج از مطالعات طیف‌سنجی زمینی توسط Sulik & Long (2016) برای پیش‌بینی عملکرد کلزا مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱).

داده‌های تحقیق و روش پردازش آنها

بطور کلی شاخص‌های طیفی^۱ پیکسل‌ها در محدوده باندهای سنجنده، داده‌های ورودی و عملکرد دانه متناظر پیکسل‌ها، داده‌های خروجی تحقیق را تشکیل داده‌اند. برای متمایز ساختن تفاوت‌هایی که توسط تغییرات روشنایی^۲ در تک

1. Spectral Indices
2. Brightness Variation

جدول ۱- شاخص‌های طیفی گیاهی مورد ارزیابی برای پیش‌بینی عملکرد کلزا در این تحقیق

شاخص گیاهی	اختصار	رابطه	منبع
Normalized Difference Yellowness Index شاخص تفاضل نرمال شده زردی	NDYI	$(Green - Blue) / (Green + Blue)$	Sulik & Long, (2016)
Normalization Difference Vegetation Index شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده	NDVI	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	Rouse <i>et al.</i> , (1974)
Enhanced Vegetation Index شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده	EVI	$2.5(NIR - Red) / [(NIR + 6Red - 7.5Blue + 1)]$	Huete <i>et al.</i> , (1996)
Green Normalization Difference Vegetation Index شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده سبزی‌نگی	GNDVI	$(NIR - Green) / (NIR + Green)$	Buschmann & Nagel, (1993)
Green Atmospherically Resilient Index شاخص جوی انعطافی سبزی‌نگی	GARI	$[NIR - (Green - (Blue - Red))] / [NIR + (Green - (Blue - Red))]$	Gitelson <i>et al.</i> , (2002)
Blue Normalized Difference Vegetation Index شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده آبی	BNDVI	$(NIR - Blue) / (NIR + Blue)$	Sulik & Long, (2016)
Ratio Vegetation Index شاخص نسبت پوشش گیاهی	RVI	NIR / Red	Birth & McVey, (1968)

واقعی برای هر پیکسل و \bar{A} میزان متوسط عملکردهای واقعی می‌باشد.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (P_i - A_i)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه اعداد برای ۷ شاخص مورد ارزیابی به وسیله رگرسیون ساده نشان داد که از بین ۵ مرحله رشد، بالاترین ضریب تبیین (R^2) در هر یک از شاخص‌های گیاهی به یکی از دو مرحله اوج گل‌دهی و رسیدگی سبز تعلق داشت. ضریب تبیین در تمام شاخص‌های گیاهی، در مرحله قبل از گل‌دهی ضعیف (پایین‌تر از ۱۰ درصد) و در دو مرحله اوائل گل‌دهی و رسیدگی خشک نسبتاً متوسط (۲۴-۵۲ درصد) بوده است. در بین این شاخص‌ها NDYI در مرحله اوج گل‌دهی و RVI در مرحله رسیدگی سبز از میزان همبستگی بیشتری با عملکرد برخوردار بودند (جدول ۲).

در مجموع شاخص‌هایی که بیشترین ضریب تبیین (R^2) را با عملکرد داشتند به ترتیب NDYI در مرحله اوج گل‌دهی با ۶۷ درصد، RVI در مرحله رسیدگی سبز با ۶۴ درصد، BNDVI در مرحله اوج گل‌دهی با ۶۳ درصد و EVI در مرحله رسیدگی سبز با ۶۱ درصد بودند (شکل ۵). نتایج اعتبارسنجی روابط برای این شاخص‌ها در این مراحل به ترتیب ۶۳، ۶۰، ۵۸ و ۵۷ درصد و نیز میزان RMSE به ترتیب ۰/۹۵۴، ۱/۰۹۳، ۱/۱۲۹ و ۱/۲۱۲ بود (شکل ۶).

با توجه به کسب بیشترین ضرایب تبیین در دو مرحله اوج گل‌دهی و رسیدگی سبز، رگرسیون چند متغیره برای این دو مرحله و در دو حالت با ورودی ۷ شاخص مورد مطالعه و نیز ۴ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک پیاده‌سازی شد. همان‌طور که گفته شد از رگرسیون متغیره گام به گام برای این منظور استفاده گردید. نتایج این رگرسیون نشان داد که از بین ۷ شاخص مورد ارزیابی و در سطح ۵ درصد، در مرحله اوج گل‌دهی فقط شاخص NDYI و در مرحله رسیدگی سبز فقط شاخص RVI در برآورد عملکرد دخیل بودند. بدین ترتیب نتایج این رگرسیون و اعتبارسنجی آن در دو حالت مذکور همانند حالت رگرسیون ساده بوده است. لذا در مرحله اوج گل‌دهی و شاخص NDYI میزان ضریب تبیین و اعتبارسنجی این

یکی از روش‌هایی که می‌توان با آن رابطه بین دو متغیر را محاسبه نمود، رگرسیون ساده است. هدف در مدل رگرسیون ساده رسیدن به یک مدل پیش‌بینی براساس یک متغیر مستقل است (Rezaei & Mirmohammadi, 2011). در بسیاری از مطالعات پیش‌بینی عملکرد محصولات از مدل خطی رگرسیون ساده^۱ برای ارزیابی ارتباط عملکرد و هر یک از شاخص‌های گیاهی استفاده شده است (Sulik & Long, 2016; Shanahan *et al.*, 2000; Aparicio *et al.*, 2001). در صورتی که متغیره‌های مستقل بیش از یک عامل باشند، مدل رگرسیون چند متغیره به کار می‌رود. در این رگرسیون هدف ارزیابی ارتباط بین چند عامل مستقل با یک عامل وابسته است (Sanaeinejad *et al.*, 2014). مدل خطی رگرسیون چند متغیره^۲ در برخی مطالعات (Rischbeck *et al.*, 2016; Sanaeinejad *et al.*, 2014) برای پیش‌بینی عملکرد محصولات براساس باندهای ورودی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در این مطالعه از رگرسیون ساده برای تعیین رابطه هر یک از شاخص‌ها با عملکرد استفاده گردید. همچنین رگرسیون چند متغیره برای دو حالت با ورودی‌های متفاوت به کار رفت. در حالت اول تمام ۷ شاخص مورد مطالعه به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد. در حالت دوم همانند شاخص‌های طیفی گیاهی، ورودی، چهار باند مرئی و مادون قرمز نزدیک بود تا رابطه به-دست آمده شبیه این شاخص‌ها باشد و نتیجه آن در پیش‌بینی عملکرد مشخص گردد. برای اعمال رگرسیون چند متغیره از روش گام به گام^۳ استفاده شد. موقعی رگرسیون گام به گام بکار می‌رود که هدف نشان دادن سهم هر یک از متغیرهای مستقل در پیش‌بینی متغیر وابسته باشد و نیز تعیین اینکه در کل این متغیرها چقدر می‌توانند متغیر وابسته را پیش‌بینی نمایند (Sanaeinejad *et al.*, 2014). برای محاسبات رگرسیون از نرم‌افزار Minitab استفاده گردید. در کل این ارزیابی‌ها از مزرعه ۱ و ۲ (۲۰ پیکسل) برای پیاده‌سازی روابط استفاده گردید و برای اعتبارسنجی روابط به‌دست آمده از داده‌های مزرعه ۳ (۸ پیکسل) کمک گرفته شد.

دو آماره ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$) به‌عنوان معیارهای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. این آماره‌ها در روابط ۱ و ۲ ارائه شده است. در این روابط n تعداد نمونه‌ها، P_i و A_i به ترتیب میزان عملکرد پیش‌بینی شده و

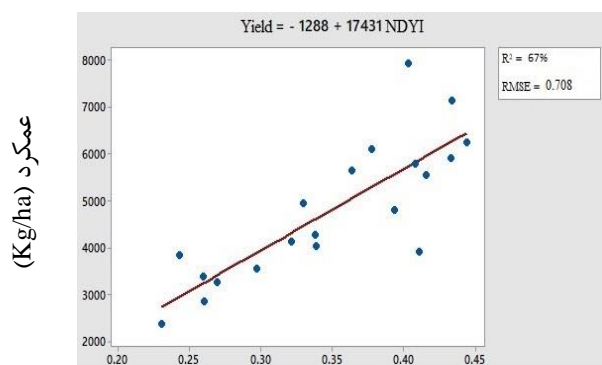
1. Simple Linear Regression Model
2. Multivariate Linear Regression model
3. Stepwise
4. Root Mean Square Error

این مدل و اعتبار آن به ترتیب ۵۷ و ۵۱ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۷ الف). در نهایت در حالت ورودی ۴ باند در مرحله اوج گل‌دهی بالاترین ضریب تبیین ۷۸ درصد به دست آمد. در این مدل که در سطح ۵ درصد ارزیابی شد دو باند Red و NIR در برآورد عملکرد دخیل بودند. میزان اعتبارسنجی این رگرسیون ۷۴ درصد و RMSE آن ۰/۸۵۱ بود (جدول ۳ و شکل ۷ ب).

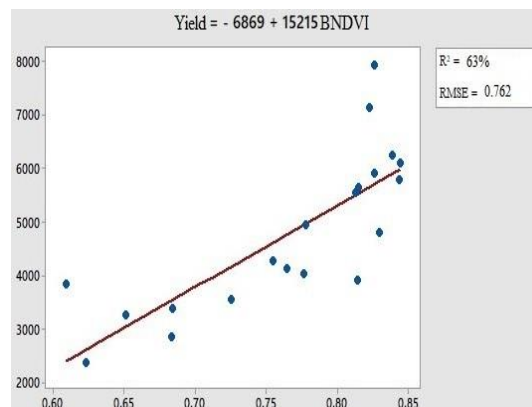
رگرسیون به ترتیب ۶۷ و ۶۳ درصد (شکل‌های ۵ ب و ۶ ب) و در مرحله رسیدگی سبز و شاخص RVI این نتایج به ترتیب ۶۴ و ۶۰ درصد (شکل‌های ۵ د و ۶ د) بوده است. همچنین نتایج این رگرسیون در حالت ورودی ۴ باند نشان داد که در حالت رسیدگی سبز و در سطح ۵ درصد فقط باند Red در پیش‌بینی عملکرد سهم داشته است. در این رگرسیون ضریب تبیین برای

جدول ۲- میزان همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا برای شاخص‌های مورد ارزیابی در مراحل مختلف رشد کلزا

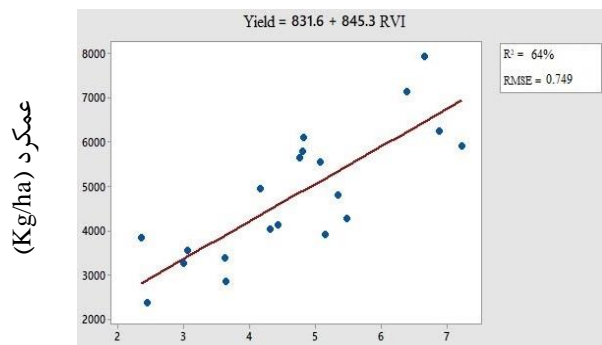
شاخص	قبل از گل‌دهی		ابتدای گل‌دهی		اوج گل‌دهی		رسیدگی سبز		رسیدگی خشک	
	R ² (%)	RMSE	R ² (%)	RMSE	R ² (%)	RMSE	R ² (%)	RMSE	R ² (%)	RMSE
NDYI	۳/۸	۱/۴۱۱	۳۵	۱/۱۵۵	۶۷	۰/۷۰۸	۲۷	۱/۱۳۷	۳۵	۱/۱۲۲
NDVI	۵/۸	۱/۳۹۶	۳۷	۱/۱۳۴	۵۳	۰/۹۹۷	۵۷	۰/۹۱۲	۳۱	۱/۱۵۷
EVI	۵/۶	۱/۳۹۸	۳۱	۱/۱۸۸	۳۴	۱/۱۶۱	۶۱	۰/۷۸۹	۲۴	۱/۲۱۵
GNDVI	۶/۱	۱/۳۹۴	۳۸	۱/۱۲۷	۵۵	۰/۹۶۴	۵۸	۰/۹۰۸	۵۲	۰/۹۶۵
GARI	۵/۹	۱/۴۱۲	۳۵	۱/۱۵۲	۴۸	۱/۴۳۸	۵۹	۰/۸۹۲	۳۴	۱/۱۳۲
BNDVI	۵/۸	۱/۴۰۹	۴۲	۱/۰۹۱	۶۳	۰/۷۶۲	۵۲	۰/۹۶۸	۵۰	۰/۹۸۶
RVI	۵/۱	۱/۴۰۲	۳۳	۱/۱۷۷	۵۳	۰/۹۸۱	۶۴	۰/۷۴۹	۳۳	۱/۱۳۹



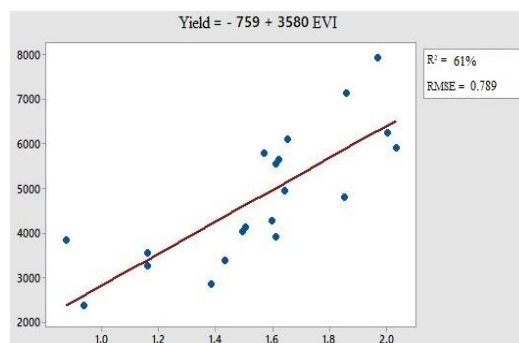
ب- NDYI در مرحله اوج گل‌دهی



الف- BNDVI در مرحله اوج گل‌دهی

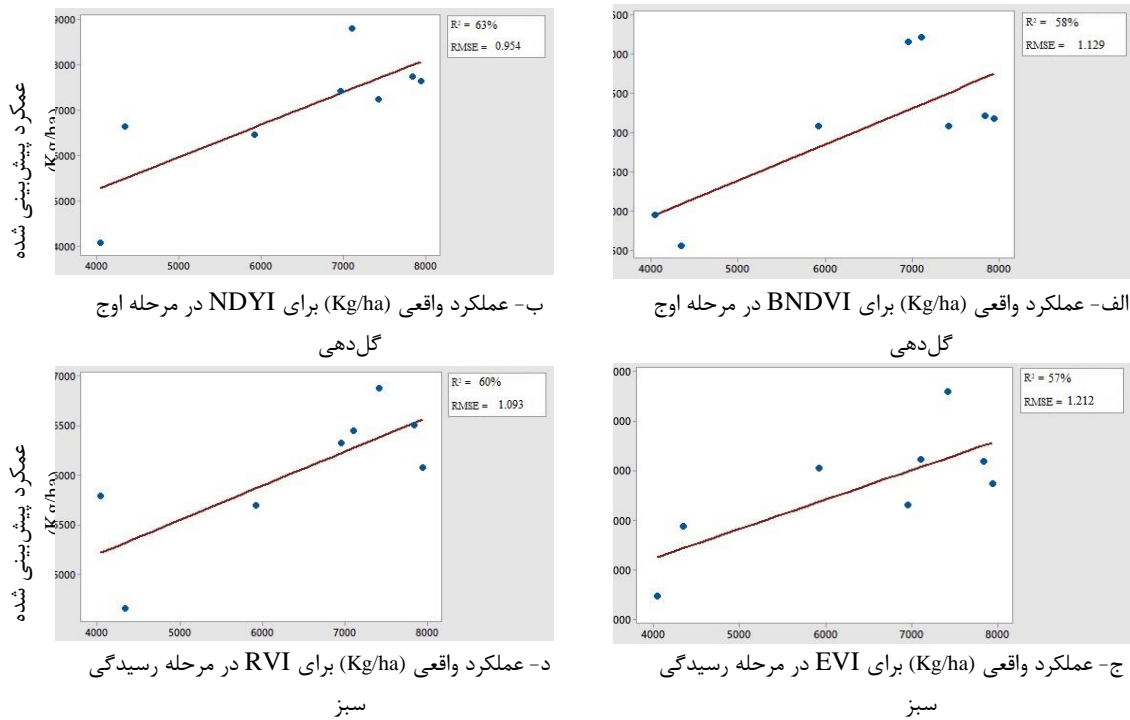


د- RVI در مرحله رسیدگی سبز



ج- EVI در مرحله رسیدگی سبز

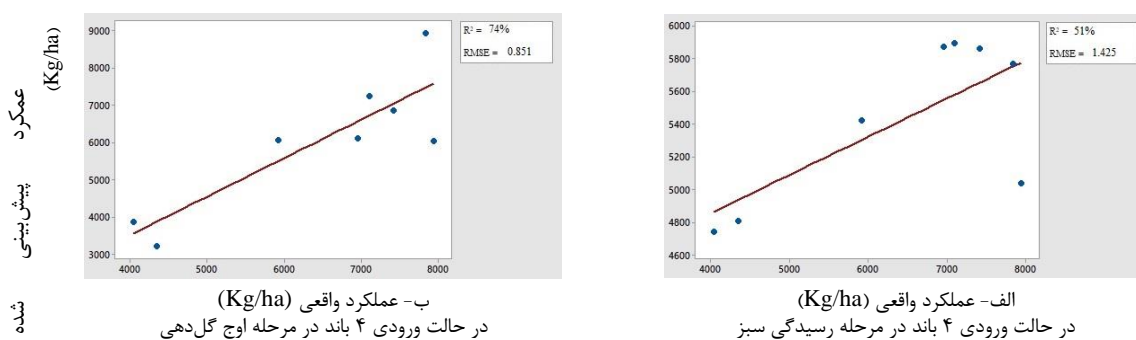
شکل ۵- رابطه عملکرد کلزا با شاخص‌هایی که بالاترین میزان همبستگی را کسب کرده‌اند



شکل ۶- رابطه عملکرد واقعی و پیش بینی شده کلزا براساس رگرسیون ساده برای شاخص های دارای بالاترین میزان همبستگی

جدول ۳- میزان همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا در رگرسیون چند متغیره برای ۷ شاخص و ۴ باند به عنوان ورودی

ورودی ها	مرحله	پیاده سازی رگرسیون		اعتبارسنجی رگرسیون	
		R^2 (%)	RMSE	R^2 (%)	RMSE
۷ شاخص مورد مطالعه	رسیدگی سبز	۶۴	۰/۷۴۹	۶۰	۰/۰۹۳
	اوج گل دهی	۶۷	۰/۷۰۸	۶۳	۰/۹۵۴
۴ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک	رسیدگی سبز	۵۷	۰/۹۵۸	۵۱	۱/۴۲۵
	اوج گل دهی	۷۸	۰/۶۲۴	۷۴	۰/۸۵۱



شکل ۷- رابطه عملکرد واقعی و پیش بینی شده کلزا براساس نتیجه رگرسیون چند متغیره

ذکر کرده اند، نتیجه به دست آمده دال بر اینکه دو مرحله اوج گل دهی و نیز رسیدگی سبز کلزا بالاترین میزان همبستگی برای تخمین عملکرد را احراز کرده اند، دارای قوت بالایی به نظر می رسد. اما از بین این دو حالت کدام یک همبستگی بیشتری با میزان عملکرد دارد، در این زمینه احتمالاً نوع شاخص و مدلی که به کار می رود، نقش مهمی ایفاء می کند. به نظر می رسد

کلزا برعکس اکثر محصولات، دو کانوپی متفاوت سبز و زرد رنگ دارد. این دو کانوپی علاوه بر ظهور در مراحل مختلف رشد، هر دو در شرایط اوج تراکم محصول از نظر بیوماس و حجم بوته نیز رخ می دهند (شکل ۲ ج و د). لذا با توجه به مطالعات صورت گرفته که همگی بهترین زمان پیش بینی عملکرد برای محصولات مختلف را در مرحله ای در فاصله اوج تراکم محصول

شاخص‌هایی که در بسیاری از محصولات سبز، نقش پررنگ‌تری در تخمین عملکرد داشته‌اند، در مرحله اوج گل‌دهی و رنگ زرد کانوپی کلزا نمی‌توانند همان توانایی را داشته باشند. نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد که در مرحله اوج گل‌دهی شاخص‌هایی مثل NDVI، GNDVI و RVI ضرایب تبیین کمتری نسبت به دو شاخص NDVI و BNDVI کسب کرده‌اند. مطالعات صورت گرفته براساس طیف‌سنجی زمینی توسط Sulik & Long (2016) نیز نشان داد در مرحله اوج گل‌دهی این دو شاخص اخیر بیشترین همبستگی با عملکرد کلزا داشتند. در مطالعه مذکور در مورد اهمیت باند آبی در کانوپی زرد کلزا شرح کاملی آمده است. بدین شکل که رنگ زرد حاصل جمع بازتاب سبز و قرمز است. گلبرگ‌های کلزا رنگ آبی را جذب کرده و از رنگ‌های مرئی فقط سبز و قرمز بازتاب می‌شود که به شکل زرد مشاهده می‌شود. در واقع تفاوت دو شاخص NDVI و BNDVI با سایر شاخص‌ها در رابطه آنها و کم شدن باند Blue در روابط هر دوی آنها است (جدول ۱). براساس این دو رابطه بازتاب آبی محصول ناشی سایر اجزا از جمله ساقه‌ها و برگ‌ها کم می‌شود و لذا این دو شاخص تا جایی که امکان هست، در جهت نمایندگی گلبرگ‌ها پیش می‌روند. اما در این زمینه سایر اجزا محصول در بازتاب باند دیگر این دو رابطه (در Green در رابطه NDVI و در NIR در رابطه BNDVI) با گلبرگ‌ها همپوشانی دارند و لذا دقت پیش‌بینی کمتر می‌شود. البته تمام گلبرگ‌ها به غلاف و دانه تبدیل نمی‌شوند و این باز در کاهش دقت تأثیر خود را دارد.

علاوه بر (Sulik & Long, 2016)، مطالعه Xiaolei & Yong, (2013) نشان داد که با توجه به طیف‌سنجی صورت گرفته، در بین مراحل رشد، بالاترین میزان همبستگی برای تخمین عملکرد کلزا در مرحله اوج گل‌دهی به‌دست آمده است. در مطالعه حاضر نیز بالاترین ضریب تبیین برای تخمین عملکرد کلزا متعلق به شاخص NDVI در مرحله اوج گل‌دهی می‌باشد (جدول ۲).

نتایج مطالعاتی که عملکرد کلزا را در مراحل مختلف رشد بررسی کرده‌اند (Dominguez et al., 2017; Piekarczyk, 2011)، نشان داده است که همبستگی شاخص NDVI با عملکرد در مرحله اوج گل‌دهی نسبت به زمان رسیدگی سبز کمتر است. این مسأله در نتیجه تحقیق حاضر نیز مشاهده می‌شود به طوری که ضریب تبیین برای این شاخص ۵۳ درصد در مرحله اوج گل‌دهی در مقابل ۵۷ درصد در مرحله رسیدگی سبز می‌باشد (جدول ۲).

در مقایسه تخمین عملکرد گندم و کلزا به‌وسیله شاخص‌های گیاهی (Basnyat et al., 2004)، نتایج همبستگی شاخص

در نهایت این که دقت پیش‌بینی عملکرد محصولات به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای هنوز بطور متوسط گزارش می‌شود (Pratt, 2013). علاوه بر مسأله دقت اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، موضوع مهم‌تر میزان تفکیک پایین مکانی سنجنده‌ها و همچنین وجود ابر، مه، گاز و ذرات معلق، در کنار عامل پیچیدگی‌های مربوط به روند رشد و باردهی گیاهان و فاکتورهای محیطی متغیر دخیل در آن است. همه این موارد در کاهش دقت پیش‌بینی عملکرد و اعتبار مدل‌های ارائه شده تأثیر دارند. به‌رحال مدل‌ها و روابط با دقت و اعتبار متوسط در نمایش کلی از شرایط مزارع مناطق و نیز نمایش نسبی از وضعیت متغیر نقطه-ای هر مزرعه می‌توانند کارآمد باشند اگر چه انتظار می‌رود این روابط در طول روند پژوهش‌های جدید بهبود یابند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به برآورد عملکرد کلزا با استفاده از سنجنده OLI، ماهواره لندست ۸، در پنج مرحله قبل از گل‌دهی، اوائل گل‌دهی، اوج گل‌دهی، رسیدگی سبز و رسیدگی خشک پرداخته شد و نتایج این تحقیق عبارت است از:

از بین پنج مرحله رشد، بالاترین ضریب تبیین (R^2) در هر یک از شاخص‌های گیاهی به یکی از دو مرحله اوج گل‌دهی و رسیدگی سبز تعلق داشت. ضریب تبیین در تمام شاخص‌های گیاهی، در مرحله قبل از گل‌دهی ضعیف (پایین‌تر از ۱۰ درصد) و در دو مرحله اوائل گل‌دهی و رسیدگی خشک نسبتاً متوسط (۲۴-۵۲ درصد) بوده است.

بیشترین همبستگی با عملکرد کلزا را احراز نمود. با استفاده از رگرسیون چند متغیره و به کارگیری ۴ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک بهترین مدل تخمین عملکرد کلزا در مرحله اوج گل‌دهی به دست آمد. ضریب تبیین این مدل ۷۸ درصد، و اعتبارسنجی آن ۷۴ درصد با RMSE به میزان ۰/۸۵۱ می‌باشد.

شاخص جدید NDYI در مرحله اوج گل‌دهی بیشترین همبستگی با عملکرد کلزا را کسب کرد. ضریب تبیین این شاخص ۶۷ درصد، و اعتبارسنجی آن ۶۳ درصد با RMSE به میزان ۰/۹۵۴ به دست آمد. در مرحله رسیدگی سبز شاخص RVI با ضریب تبیین ۶۴ درصد، و اعتبارسنجی ۶۰ درصد با RMSE به میزان ۱/۰۹۳

REFERENCE

- Alavipanah, S.K. (2016). Fundamentals of modern remote sensing and interpretation of Satellite images and aerial photos. University of Tehran Press. (In Farsi)
- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J. L. & Royo, C. (2000). Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92 (1), 83-91.
- Ash, M. (2017). *Canola Production and Processing*. Retrieved March 27, 2018, from <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola.aspx>.
- Basnyat, P., McConkey, B., Lafond, G. P., Moulin, A. & Pelcat, Y. (2004). Optimal time for remote sensing to relate to crop grain yield on the Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 84 (1), 97-103.
- Birth, G.S. & McVey, G.R. (1968). Measuring color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*, 60, 640-649.
- Buschmann, C., & Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 711-722.
- Darvishzadeh, R., Matkan, A. & Eskandari, N. (2012). Evaluation of the spectral indices from ALOS-AVNIR2 images for estimation of rice biomass. *Journal of Human Settlement Planning Studies*, 14, 61-73. (In Farsi)
- Dominguez, J.A., Kumhalova, J. & Novak, P. (2017). Assessment of the relationship between spectral indices from satellite remote sensing and winter oilseed rape yield. *Agronomy Research*, 15(1), 055-068.
- Fang, H., Song, H.Y., Cao, F., He, Y. & Qiu, Z.J. (2007). Study on the relationship between spectral properties of oilseed rape leaves and their chlorophyll content. *Journal of Spectroscopy and Spectral Analysis*, 27, 1731-1734.
- Gallego, J., Carfagna, E. & Baruth, B. (2010). Accuracy, objectivity and efficiency of remote sensing for agricultural statistics. In: *Agricultural Survey Methods*. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 193-211.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R. & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetative fraction. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87.
- Goel, P.K., Prasher, S.O., Landry, J.A., Patel, R.M., Viau, A.A. & Miller, J.R. (2003). Estimation of crop biophysical parameters through airborne and field hyperspectral remote sensing. *Transactions of the ASAE*, 46 (4), 1235-1246.
- Hogya, P., Franzaring, J., Schwadorf, K., Breuer, J., Schütze, W. & Fangmeier, A. (2010). Effects of free-air CO2 enrichment on energy traits and seed quality of oilseed rape. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139, 239-244.
- Huete, A. R., Justice, C. & Van Leeuwen, W. (1996). MODIS vegetation index (mod13). Algorithm theoretical basis document. Version 2. NASA Goddard Space Flight Center. Greenbelt, Maryland 20771, USA.
- Jago, R.A., Cutler, M.E.J. & Curran, P.J. (1999). Estimating canopy chlorophyll concentration from field and airborne spectra. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 68 (3), 217-224.
- Johnson, D.M. (2016). A comprehensive assessment of the correlations between field crop yields and commonly used MODIS products. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 52, 65-81.
- Kazem, M., Mirzaei, S. & Maadi, B. (2016). *Canola cultivation*. Tak Press. (In Farsi)
- Lee, K.S., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Maier-sperger, T.K., Gower, S.T., (2004). Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 91, 508-520.
- Liu, F., Jin, Z.L., Naeem, M.S., Tian, T., Zhang, F., He, Y., Fang, H., Ye, Q.F. & Zhou, W.J. (2011). Applying near-infrared spectroscopy and chemometrics to determine total amino acids in herbicide-stressed oilseed rape leaves. *Journal of Food Bioprocess Technol*, 4, 1314-1321.
- Liu, F., Zhang, F., Jin, Z.L., He, Y., Fang, H., Ye, Q.F. & Zhou, W.J. (2008). Determination of acetolactate synthase activity and protein content of oilseed rape (*Brassicanapus L.*) leaves using visible/near-infrared spectroscopy. *Journal of Analytica Chimica Acta*, 629, 56-65.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. & 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. *Journal of Sensors*, 7(11), 2636-2651.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T. & Bouma, J. (2005). Future Directions of Precision

- Agriculture. *Journal of Precision Agriculture*, 6(1), 7–23.
- Mohammadi, E., Kamkar, B., & Abdi, O. (2016). Comparison of the geostatistical method and using data of remote sensing for yield prediction on some of stages plant growth. *Journal of Production of Agronomy Plants*, 8 (2), 51-76. (In Farsi)
- Mollaie, K., Ahmadi, A., Alavipanah, S.K., Rajabipor, A. & Noormohammadi, J. (2008). Evaluation of sugar beet yield by satellite images. In: *Proceeding of 5th National Congress on Engineering of Farming Machinery and Mechanization*, 27-28 Aug., Ferdosi University, Mashhad, Iran (In Farsi)
- Petisco, C., García-Criado, B., Vázquez-de-Aldana, B.R., Haro, A. & García-Ciudad, A. (2010). Measurement of quality parameters in intact seeds of Brassica species using visible and near-infrared spectroscopy. *Journal of Industrial Crops and Products*, 32, 139–146.
- Piekarczyk, J. (2011). Winter oilseed-rape yield estimates from hyperspectral radiometer measurements. *Journal of Quaestiones Geographicae*, 30 (1), 77–84.
- Pirnazar, M. & Zandkarimi, A. (2016). *Guide of ENVI application and satellite processing images*. Naghoos Press. (In Farsi)
- Pratt, S. (2013). *Satellite crop estimate too low: Analysts. The Western Producer*. Retrieved March 28, 2018, from <https://www.producer.com/2013/10/satellite-crop-estimate-too-low-analysts>.
- Raun, W.R., Solie, J.B., Stone, M.L., Lukina, E.V., Thomason, W.E. & Schepers, J.S. (2001). In season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*, 93, 131-138.
- Rezaei, A. & Mirmohammadi, S.A. (2011). *Statistics and probability, application in agriculture*. Jahad Daneshgahi Sanati Esfahan Press. (In Farsi)
- Rischbeck, R., Elsayed, S., Mistele, B., Barmeier, G., Heil, K. & Schmidhalter, U. (2016). Data fusion of spectral, thermal and canopy height parameters for improved yield prediction of drought stressed spring barley. *Europ. J. Agronomy*, 78, 44–59.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium, NASA SP-351 I: 309-317.
- Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N. & Ghaemi, M. (2014). Wheat yield estimation using Landsat images and observation. *Journal of Plant Production*, 20 (4), 45-63. (In Farsi)
- Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Francis, D.D., Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Tringe, J.M., Schlemmer, M.R. & Major, D.J. (2001). Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93, 583-589.
- Sulik, J.J. & Long, D.S. (2016). Spectral considerations for modeling yield of canola. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 184, 161–174.
- Vigneau, N., Ecartot, M., Rabatel, G. & Roumet, P. (2011). Potential of field hyperspectral imaging as a nondestructive method to assess leaf nitrogen content in wheat. *Journal of Field Crops Res*, 122, 25–31.
- Weber, V.S., Araus, J.L., Cairns, J.E., Sanchez, C., Melchinger, A.E. & Orsini, E. (2012). Prediction of grain yield using reflectance spectra of canopy and leaves in maize plants grown under different water regimes. *Journal of Field Crops Res*, 128, 82–90.
- Xiaolei, Z. & Yong, H. (2013). Rapid estimation of seed yield using hyperspectral images of oilseed rape leaves. *Journal of Industrial Crops and Products*, 42, 416– 420.
- Yamamoto, K., Guo, W., Yoshioka, Y. & Ninomiya, S. (2014). On plant detection of intact tomato fruits using image analysis and machine learning methods. *Journal of Sensors (Basel)*, 14 (7), 12191–12206.
- Zou, X.B., Shi, J.Y., Hao, L.M., Zhao, J.W., Mao, H.P., Chen, Z.W., Li, Y.X. & Holmes, M. (2011). In vivo noninvasive detection of chlorophyll distribution in cucumber (*Cucumis sativus*) leaves by indices based on hyperspectral imaging. *Anal. Journal of Analytica Chimica Acta*, 706, 105–112.