

Sugarcane Yield Estimation Using LANDSAT Time-Series Imagery: (Case Study - MianAB Region in Khouzestan Province)

MOSTAFA KHOSRAVIRAD¹, MAHMOUD OMID^{2*}, FERAYDOUN SARMADIAN³, SOLEYMAN HOSSEINPOR⁴

1.Ph.D. Student of Agricultural Mechanization, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj: Iran

2.Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj: Iran

3.Professor, Department of Science and Soil Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj: Iran

4.Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj: Iran

(Received: Nov. 3, 2018- Revised: May. 30, 2018- Accepted: Apr. 16, 2019)

ABSTRACT

Prediction of sugarcane yield is very important for a wide range of applications like, sugarcane production management, preparation of sugarcane refineries and pre-sales and warehouse industrial products. In this study, a model based on time-series processing of vegetation indices, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) extracted from satellite images, were used to estimate sugarcane yield. Overall 474 Landsat 7 satellite images from January 2001 to December 2017 obtained from USGS (U.S. Geological Survey) were processed. At first the DN (Digital Number) of pixels were converted to TOA (Top of Atmosphere) reflectance and then the distorted pixels due to not clear sky such as cloud, shadow, snow and ice were eliminated. Consequently, the average of the vegetation indices values of study region for every images were computed. Then the weekly time-series of vegetation indices were calculated via interpolation. The accumulated vegetation indices values from 15th to 44th week of year and average observed yields efficiency were evaluated by regression model. The result showed the NDVI and GNDVI vegetation indices with $R^2=0.63$, $RMSE=4.71$ ton/ha and $R^2=0.60$, $RMSE$ 4.93 ton/ha, respectively, have good relations with sugarcane stem yield efficiency. The 2017 sugarcane yield of MianAB Sugarcane Agro-Industry Company efficiency was predicted as 86.35 ton/ha using the NDVI model which was 4.16 ton/ha less than observed value.

Keywords: Growth profile, Biomass, Vegetation index, Yield modelling

پیش بینی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از پردازش سری زمانی تصاویر ماهواره ای لندست (مطالعه موردی: منطقه میان آب استان خوزستان)

مصطفی خسروی راد^۱، محمود امید*^۲، فریدون سرمیدیان^۳، سلیمان حسین پور^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۲. استاد گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۳. استاد گروه مهندسی خاکشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۴. استادیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۱۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۳/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱/۲۷)

چکیده

پیش بینی مقدار محصول نیشکر، نقش کلیدی برای گستره وسیعی از کاربردها مانند مدیریت تولید نیشکر، آماده سازی کارخانه های فرآوری نیشکر و انبار و پیش فروش فرآورده های صنعتی دارد. این تحقیق مقایسه مدل سازی عملکرد نیشکر با روش پردازش سری زمانی شاخص سبزینگی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص سبزینگی تفاضلی سبز نرمال شده (GNDVI) و شاخص سبزینگی ارتقاء یافته (EVI) که از تصاویر ماهواره ای استخراج شده اند را انجام می دهد. برای اینکار از ۴۷۴ تصویر ماهواره لندست ۷ بدست آمده از آرشیو سازمان نقشه برداری آمریکا مربوط به ژانویه ۲۰۰۱ لغایت دسامبر ۲۰۱۷ استفاده شد. ابتدا داده های تصاویر به انعکاس بالای جو تبدیل و سپس پیکسل های تحت تاثیر آسمان ناصاف از جمله ابر، سایه، برف و یخ حذف گردید. در مرحله بعد میانگین شاخص های سبزینگی NDVI، GNDVI و EVI منطقه مورد مطالعه برای هر تصویر محاسبه و سری زمانی هفتگی از میانگین شاخص های سبزینگی محاسبه گردید. مقدار تجمعی شاخص سبزینگی از هفته ۱۵ لغایت ۴۴ و میانگین عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده در یک مدل رگرسیونی بررسی شد. نتایج نشان داد شاخص سبزینگی NDVI با $R^2=0.63$ و $RMSE=4.71 \text{ ton/ha}$ و شاخص سبزینگی GNDVI با $R^2=0.60$ و $RMSE=4.93 \text{ ton/ha}$ رابطه خوبی با عملکرد ساقه در هکتار نیشکر دارند. با استفاده از مدل انتخاب شده عملکرد ساقه در هکتار مزارع کشت و صنعت میان آب در سال ۱۳۹۶ به میزان $86/35 \text{ ton/ha}$ پیش بینی شد که $4/16 \text{ ton/ha}$ کمتر از مقدار مشاهده شده بود.

واژه های کلیدی: الگوی رشد، زیست توده، شاخص سبزینگی، مدل سازی عملکرد

مقدمه

نیشکر یک محصول چند ساله است که بطور وسیعی کاشته می شود و نقش اصلی در کشاورزی برای تولید شکر و دیگر محصولات (بیودیزل، ملاس، باگاس، مواد مغذی و غیره) را دارا می باشد. نیشکر از گیاه نو به چین و هند راه یافت. نیشکر از طریق هند یا خلیج بنگال به ایران وارد و در دشت خوزستان کشت گردید. از نیشکر بیش از ۱۰۰ محصول صنعتی پدید می آید. نیشکر در ایران برای تولید شکر و دیگر محصولات صنعتی مانند خوراک دام، کاغذ، نئوپان، تخته صنعتی، الکل و غیره استفاده می شود. بیش

از ۲۸ میلیون هکتار از زمین های کشاورزی در جهان به کاشت نیشکر اختصاص داده شده است که کشورهای برزیل، هند و چین به ترتیب با ۱۰،۴۱۹،۱۱۳ و ۵،۰۱۲،۰۰۰ و ۱،۷۶۸،۳۸۸ هکتار به ترتیب رتبه اول تا سوم را دارا می باشند. کشور ایران با ۹۳،۶۷۷ هکتار مساحت نیشکر برداشت شده با میانگین ۷۳/۷۸ تن در هکتار رتبه ۲۷ ام دنیا را دارا می باشد. سطح درو شده نیشکر در قاره آسیا ۱۱،۰۳۲،۲۹۸ هکتار بوده است (FAOSTAT, 2017). در سال های اخیر مطالعات زیادی همچون طبقه بندی اراضی، تعیین وارسته، تشخیص بیماریها و تخمین عملکرد محصول نیشکر

تصویر ماهواره ای مربوط به دوسال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. و معلوم شد شاخص سبزیگی^۱ NDVI و SAVI همبستگی قابل قبولی با عملکرد گندم ندارد و در نهایت از رگرسیون چند متغیره برای تخمین عملکرد استفاده شد (Sanaeinejad., 2014). در تحقیق دیگری در ایران پیشبینی عملکرد نیشکر در منطقه کشت و صنعت امیر کبیر و بررسی عوامل موثر بر آن با استفاده از درخت تصمیم برای داده های سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ انجام شد و نتایج تحقیق دقت پیش بین ۸۰ تا ۹۰ درصد بود. (Zakidizaji *et al.*, 2018). در تحقیقی برای پیش بینی عملکرد نیشکر در منطقه کشت و صنعت میرزا کوچک خان استان خوزستان از شبکه عصبی مصنوعی، مدل غیر خطی و مدل خطی و با ترکیب دادهای تصاویر ماهواره ای و داده های زمینی دوسال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ استفاده شد نتایج این تحقیق نشان داد برای مدل شبکه عصبی مصنوعی شاخص^۲ SAVI با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۸۱ و RMSE به ترتیب ۸/۲۹ و ۸/۳۰ تن در هکتار بهترین نتیجه را داشته است. همچنین مدل غیر خطی با شاخص NDVI با ضریب تبیین ۰/۵۳ و RMSE ۷/۲۱ نتیجه خوبی داشته است و همچنین مدل خطی ساده بین شاخص تجمعی NDVI برای دوره های مختلف رشد نیشکر نشان داد در دوره رشد سریع با ضریب تبیین ۰/۵۱ و RMSE ۸/۲۰ تن در هکتار بهترین نتیجه را داشته است (Essari & Mirlatifi, 1393). بدلیل آنکه سری زمانی از شاخص سبزیگی بدست آمده از تصاویر ماهواره ای مشخص کننده الگوی رشد محصول می باشد می تواند زمانی از سال که محصول یک منطقه به حداکثر رشد خود رسیده را مشخص کنند و همچنین نشان می دهد چه موقعی باید یک تصویر دریافت شود تا در پردازش های تک تصویری برای پیش بینی محصول در آینده مورد استفاده قرار گیرد. اما روش تخمین محصول با یک تصویر با نتایج دقیقی همراه نبوده است. بنابراین پردازش تصاویر ماهواره ای با سری های زمانی توصیه شده و روش بسیار مناسبی برای پیش بینی محصول با دقت بالا در صنعت نیشکر می باشد. تعدادی از محققین مدل های محصول را به منظور پیش بینی عملکرد در سنجنش از دور لحاظ نمودند. دوویلر و همکاران (Duveiller *et al.*, 2013) عملکرد نیشکر را در بخش های از برزیل با استفاده از کسر تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (fAPAR) بدست آمده از حسگر سبزیگی تصاویر ماهواره ای اسپات ۵ (SPOT5) تخمین زدند. مولیانگا و همکاران استفاده از انتگرال زمانی^۳ و تراکم مکانی^۴ از شاخص سبزیگی NDVI برای پیش بینی عملکرد نیشکر در غرب کنیا را گزارش

از طریق سنجنش از دور انجام شده است (Apan *et al.*, 2004; Galvão *et al.*, 2006; Rudorff., 2009). عملکرد محصول حاصل تعامل پیچیده عوامل زیادی از جمله خاک، جو، ژنوتیپ گیاه و فعالیت های مدیریتی می باشد. تعاملات پیچیده محصول با عوامل گوناگون از یک سو و خود عوامل با هم از سوی دیگر باعث گردیده مدل سازی محصول بسیار دشوار گردد. در سیستم سنجنش از دور پارامترهای رشد محصول از بالا و با امکان اعمال این پارامترها در هر مقیاس سنجنیده می شود. تکنیک های سنجنش از دور در سال های اخیر به عنوان روش دقیق و کم هزینه به عنوان جایگزین روش های مرسوم برای پیش بینی محصول و پایش رشد مورد ارزیابی قرار گرفته است (Robson *et al.*, 2012). سری های زمانی از تصاویر ماهواره ای یک فرصت منحصر به فرد برای سنجنش از دور پویای پوشش زمین و پایش بهره وری محصولات کشاورزی در تفکیک های مکانی و زمانی متفاوت می باشد (Morel *et al.*, 2014). در مطالعات زیادی امکان مشاهدات تصاویر ماهواره ای به صورت سری های زمانی در تفکیک های متفاوت برای پایش سبزیگی، تشخیص محصولات، تهیه نقشه های الگوهای فصلی رشد، تناوب زراعی محصولات و پیش بینی عملکرد را بررسی نموده اند. در استرالیا اولین بار لی لاویک و کرچر فواید سنجنش از دور برای پایش رشد و تخمین عملکرد نیشکر را آزمایش کردند (Lee-Lovick *et al.*, 1990). و متعاقباً مطالعات کمی استفاده از سری های زمانی مشاهدات تصاویر ماهواره ای برای پیش بینی عملکرد محصول نیشکر را گزارش نمودند. اگر چه در زمان های اخیر پیش بینی های عملکرد با روش سنجنش از دور با پردازش فقط یک تصویر ماهواره ای بین فصل (SPOT5) نتایج با دقت خوبی دربرداشته است (Robson *et al.*, 2012). اما زمانبندی دریافت تصاویر و تاثیر شرایط آب و هوایی و تنش های دیگر (نظیر بیماری یا کمبود عناصر غذایی) سبب بروز نتایج بشدت غیر دقیق شده است. تولید نیشکر وابسته به عوامل محیطی می باشد که بطور فصلی و سالیانه تغییر می کنند و روابط پیچیده ای بین آنها حاکم است. استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره ای باعث نمایش بسیار دقیق عکس العمل های محصول در طول زمان که متأثر از تغییرات محیطی مانند توزیع بارندگی، خشکسالی، کمبود عناصر غذایی و فاکتورهای مربوط دیگر یا تفاوت در مدیریت انسانی نظیر برنامه های کود دهی، آفات، علف های هرز و کنترل بیماری ها و غیره می شود (El Hajj *et al.*, 2009; Mulianga *et al.*, 2013). در ایران در تحقیقی در شهر مشهد تخمین عملکرد مزارع گندم بوسیله ۶

ماکزیمم مستخرج از مدل درجه دوم و عملکرد نیشکر با $0/69 = R^2$ رابطه معنی داری دارد (Rahman & Robson, 2016). در تحقیقی در برزیل با استفاده از پردازش سری زمانی تصاویر ماهواره ای لندست ۵ و ERS/ENVISAT SAR با استفاده از نرم افزار متلب روی تشخیص محصول نیشکر از بین تمامی محصولات کاشته شده در منطقه اوریندیوا و ویژه گیهای آن کار شد (Iannini et al., 2015). هدف از این تحقیق طراحی مدلی بر پایه پردازش سری زمانی تصاویر ماهواره ای به منظور تخمین عملکرد ساقه در هکتار محصول نیشکر در منطقه میان آب استان خوزستان بصورت خودکار می باشد همچنین این تحقیق شاخص های سبزیگی NDVI، GNDVI و EVI را در پیشبینی محصول مقایسه می کند.

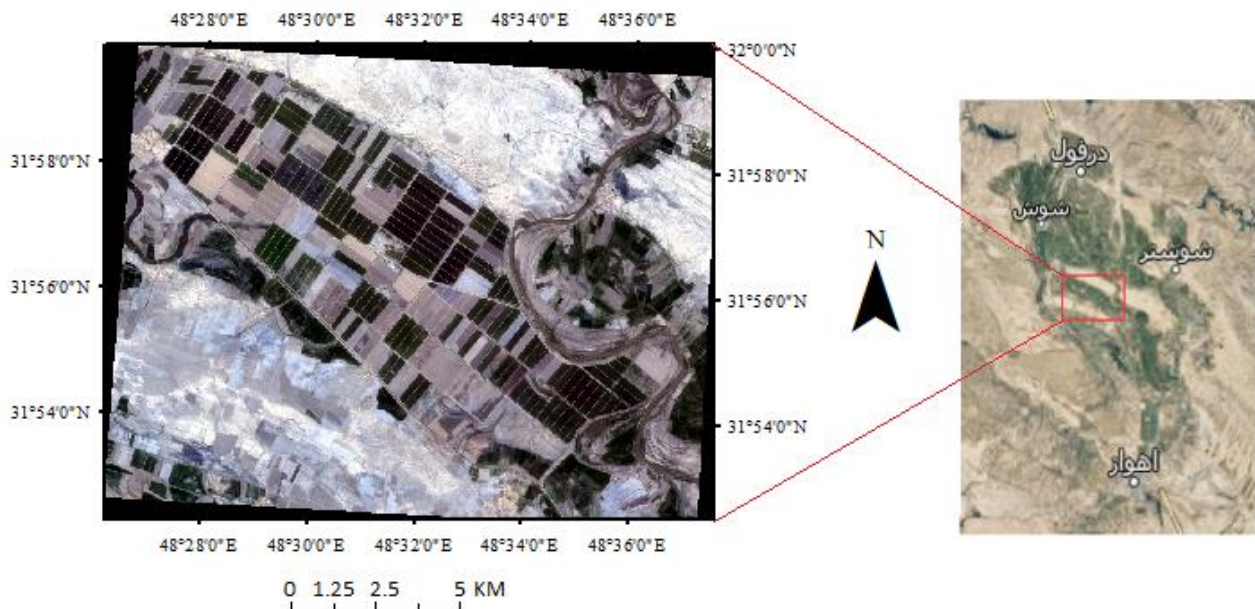
موارد و روش ها

منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی مربوط به کشت و صنعت نیشکر میان آب واقع در شمال غربی استان خوزستان به مساحت 7000 هکتار می باشد. این منطقه در بین عرض جغرافیایی $48^{\circ} 38' 0''E$ و $48^{\circ} 26' 0''E$ و طول جغرافیایی $31^{\circ} 52' 0''N$ و $32^{\circ} 0' 0''N$ واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از شمال شرق و جنوب شرق به رودخانه دز، از شمال به تپه ماهورهای منتهی به رودخانه دز، از غرب به اراضی کشت و صنعت نیشکر هفت تپه و از جنوب به راه آهن سراسری تهران-خرمشهر محدود شده است. ارتفاع متوسط از سطح دریا 40 متر و تغییرات آن در حدود 10 متر است. حداکثر دما در یک دوره 25 ساله در گرمترین ماه سال (تیر)، 53 درجه سلسیوس و حداقل آن در بهمن معادل $10-$ درجه سلسیوس با میانگین سالیانه $23/2$ درجه سلسیوس ثبت شده است. متوسط بارندگی سالیانه 255 میلی متر (حداکثر $524/3$ و حداقل آن 93 میلی متر) و توزیع آن بسیار نامناسب است. تبخیر سالیانه 2535 میلی متر (حداکثر 4153 و حداقل 2019 میلی متر) است (sadeghzade., 2012). بطور متوسط حدود نیمی از اراضی شرکت به کشت نیشکر ونیم دیگر به محصولات غیر نیشکری شامل گندم، جو، کلزا، آفتابگردان و غیره اختصاص می یابد. نیشکر یک گیاه چند ساله است که با یک بار کاشت، چندین سال پیاپی بدون عملیات کاشت از آن برداشت می شود ولی لازم است بعد از چند سال مزارعی که پیر و ضعیف شده اند حذف و مزارع جدید جایگزین آن شود. کاشت مزارع جدید نیشکر در منطقه مورد مطالعه از اوایل مرداد بصورت قلمه کاشته میشود و فصل داشت تا انتهای مهر سال بعد تداوم می یابد. زمان برداشت نیشکر از ابتدای آبان شروع شده و در 100

دادند (Mulianga et al., 2013). در جزایر ریونیون و گوآدولوپ، بیگو و همکاران مقادیر حداکثر شاخص NDVI و NDVI تجمعی را برای تخمین عملکرد نیشکر مقایسه کردند (Bégué et al., 2010). در تحقیق دیگری روش های NDVI تجمعی و مدل کارایی کومارمانتیس و مدل جفت شدن اجباری MOSICAS را برای تخمین عملکرد نیشکر مقایسه شد و گزارش شد سنجش از دور بر پایه مدل NDVI تجمعی برای تخمین عملکرد نیشکر دقیقترین مدل در منطقه جزایر ریونیون است (Morel et al., 2014). در تحقیق دیگری تکنیک جفت شدن اجباری با استفاده از کسر تابش فعال فتوسنتزی شرکت کرده (fIPAR) کسب شده از مدل MOSICAS سری زمانی تصاویر ماهواره ای SPOT برای بهبود تکنیک پیش بینی عملکرد نیشکر را باموفقیت بکاربرده شد (Morel et al., 2014). بااینکه در شرایط تجربی، داده های سنجش از دور در کنار مدل های محصول نتایج رضایت بخشی در مطالعات مختلف در برداشته است، محدودیت اصلی این مدل ها تحت شرایط پایدار، قابلیت مشارکت دقیق تاثیرات زیستی و غیر زیستی روی تولید محصول می باشد (Morel et al., 2014). شاخص سبزیگی نرمال شده NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره ای یکی از پرکاربردترین شاخص های سبزیگی برای تعیین رشد شناسی محصول (فنولوژی)، زیست توده و بهره وری در تفکیک مکانی می باشد. این شاخص در کاهش تاثیرات تضعیف اتمسفر و سایه موثر است (Bastidas et al., 2007) ولی به اشباع شاخص سطح برگ (LAI) بالاتر که بطور منظم در محصولات با زیست توده زیاد مانند نیشکر اتفاق می افتد، حساس است. که بطور منظم در محصولات با زیست توده زیاد مانند نیشکر اتفاق می افتاد. برای رفع این مشکل شاخص سبزیگی سبز نرمال شده ($GNDVI^1$) در تعدادی مطالعات برای تعیین تفاوت لحظه ای و پیش بینی عملکرد نیشکر بکاربرده شده است (Benvenuti et al., 2012; Weill, 2010). در تحقیقی جهت مطالعه پوشش گیاهی دو شاخص NDVI و EVI بدست آمده از سنجنده MODIS مقایسه شد و گزارش شد شاخص NDVI در مناطق با زیست توده بالا مانند آمزون بطور متناوب اشباع می شود در حالیکه شاخص سبزیگی EVI^2 هنوز حساس است (Huete et al., 2002). مشاهدات پی در پی شاخص های سبزیگی باعث ایجاد پروفایل فصلی محصول که نمایانگر پیشرفت کانونی محصول از سبز شدن تا رسیدگی کامل است می شود را می شود. این پروفایل ها وضعیت رشد محصول براساس عوامل محیطی را نشان می دهند و در عملکرد نهایی محصول هم نقش دارد. اخیراً در تحقیقی در منطقه باندنبرگ استرالیا نشان داد شد

رقم میان رس و CP69 به عنوان رقم دیر رس می باشد. با توجه به محدودیت های ظرفیت درو ماشینی در روز، ظرفیت حمل محصول به کارخانه و ظرفیت فرآوری نیشکر توسط کارخانه های شکر امکان برداشت همزمان مزارع وجود ندارد و مزارع به ترتیب اولویت رسیدگی برداشت می شوند. فصل برداشت در شرایط نرمال بارندگی تا پایان اسفند ماه و در شرایطی که بارندگی های پاییز و زمستان زیاد باشد به ماه های گرم سال مانند فروردین و اردیبهشت هم بطول می انجامد که در این شرایط طول دوره رشد آتی کوتاه شده و از مقدار محصول تولیدی کاسته می شود.

روز کاری در شرایط نرمال تا انتهای اسفند بطول می انجامد. مزارع تازه کاشته شده در فصل برداشت پیش رو قابل برداشت نمی باشند و رشد این مزارع حدود ۱۴ ماه به طول می انجامد و پلنت (Plant) نامیده میشوند. مزارع نیشکر پلنت بعد از برداشت راتون (Ratoon) نامیده می شود. در مزارع راتون عملیات کاشت وجود ندارد و گیاه جدید از ریشه باقی مانده سال قبل و پس از عملیات بازرویی (راتونینگ) که شامل زیرشکنی، فرم دهی مجدد جوی و پشته، سم پاشی پیش رویشی و آبیاری اول است شروع به رشد مجدد میکنند. ارقام اصلی نیشکر که در منطقه کاشته می شود شامل رقم CP57 به عنوان رقم زود رس و CP48 به عنوان



شکل ۱- تصویری از منطقه مورد مطالعه واقع در میان آب استان خوزستان

پردازش های سطح ۱ لندست قسمت های تکراری حذف و فقط ۷۸٪ تصویر اصلی باقی می ماند ولی هنوز از لحاظ ژئومتری و رادیومتری جزء دقیقترین داده های ماهواره ای در دنیا می باشد (Landsat-SLC-off, 2018). تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷، شامل ۸ باند طیفی شامل ۶ باند با تفکیک مکانی ۳۰ متر (باند های ۱-۵ و ۷) و یک باند با تفکیک مکانی ۶۰ متر (باند ۶) و یک باند پانکروماتیک با تفکیک مکانی ۱۵ متر (باند ۸) می باشد. سایز همه تصاویر 170 km شمالی جنوبی و 183 km شرقی غربی می باشد. داده های سنجنده ماهواره لندست ۷، ۸ بیتی می باشد (Landsat7-L1TP, 2018). تصاویر استفاده شده در این

داده های سنجنش از دور

ماهواره لندست ۷ با سنجنده ETM+^۱ از جولای ۱۹۹۹، با دوره دریافت تصاویر ۱۶ روزه در مدار زمین قرار داده شد. به علت خرابی SLC^۲ تصاویر دریافت شده از ۳۰ام می ۲۰۰۳ دارای نوارهای خالی (سیاه) می باشند. تصاویر دریافت شده بعد از این تاریخ با عنوان SLC OFF طبقه بندی شده اند. بعد از خراب شدن قطعه SLC در ماهواره لندست ۷، تلاش ها برای تعمیر آن بی نتیجه بود و به خطای دائمی آن تبدیل شد. این خطا باعث شد ماهواره نتواند مسیر درست را پیدا کند و بصورت زیگ زاگ تصویر برداری کند که نتیجه آن تکراری شدن بعضی از قسمت ها و جا افتادن و فاصله خالی در بعضی قسمت های دیگر است. در

1. Enhanced Thematic Mapper
2. Scan Line Corrector

درصد از آن سطح آن باقی مانده بود به عنوان نمونه، مورد استفاده قرار گرفت. به منظور کالیبراسیون سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و محاسبه انعکاس بالای جو^۴ از روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) استفاده شد. همچنین تصحیح اتمسفری^۵ DOS^۶ از طریق رابطه (۵) انجام شد.

$$L = Gain \times DN + Offset \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

L : رادیانس (انرژی بازتاب شده به سنجنده بر حسب $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

Gain: شیب رابطه خطی DN و L

Offset: عرض از مبدا رابطه خطی DN و L

$$Gain = \frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

L_{max}: حداکثر رادیانس (حداکثر انرژی بازتاب شده به سنجنده بر حسب $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

L_{min}: حداقل رادیانس (حداقل انرژی بازتاب شده به سنجنده بر حسب $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

DN_{max}: حداکثر درجه روشنایی پیکسل در تصویر

DN_{min}: حداقل درجه روشنایی پیکسل در تصویر

$$Offset = -\frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} + L_{min} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$Ref = \frac{\pi D^2 (L_{\theta} - L_{haze})}{Eo \cos(\theta_{sz})} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن Ref انعکاس بالای جو و D فاصله زمین تا خورشید بر حسب واحد نجومی AU که تابعی از زمان است و θ_{sz} زاویه زینت خورشید و Eo تابش خورشیدی رسیده به زمین و L_{haze} مقدار رادیانس معادل پخش اتمسفری (Bruc, C. M., & Hilbert, 2004).

$$L_{haze} = DN_{min} \times Gain + Offset \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن L_{haze} رادیانس پخش اضافه شونده اتمسفری و DN_{min} حداقل مقدار پیکسلی باند مرئی قرمز است (Chavez, 1988). لایه برداری مرزهای مزارع نیشکر منطقه میان آب بوسیله نرم افزار ArcGIS 10.5 برای دو زون ۳۸ و ۳۹ بصورت جداگانه تهیه شد و برای آنها ۱۵ متر مرز داخلی از مرزهای خارجی در نظر گرفته شد. برای انجام پیش پردازش های تصاویر ماهواره ای

تحقیق دارای قالب^۱ L1TP می باشد. تصاویر مربوط به این قالب ویژگیهای رادیومتری خوبی دارند و بصورت متقاطع^۲ از طریق سنجنده های متفاوت کالیبره شده اند. این تصاویر بوسیله نقاط کنترل زمینی بصورت سیستماتیک، رادیومتری، ژئومتری و توپوگرافیک با بالاترین کیفیت تصحیح شده اند و مناسب برای تحلیل های سری زمانی در حد پیکسل می باشند. یک باند کیفیت^۳ در تصاویر این قالب ضمیمه شده که یک اطلاعات بیتی منطبق بر شرایطی که ممکن است پیکسل از ابر یا برف یا اشباع متاثر شده باشد را ارایه میدهد. همچنین این تصاویر از لحاظ کیفیت در آرشیو، با عنوان تییر (Tier) متمایز شده است. تییر ۱ شامل بالاترین کیفیت داده بوده و مناسب برای تحلیل های سری زمانی و بخوبی زمین مرجع شده اند و خطای RMSE کمتر از ۱۲ متر دارند. تییر ۲ کیفیت پایینتری نسبت به تییر ۱ دارد و کاربرد می بایست پس از دیدن اطلاعات RMSE و مناسب بودن از آن استفاده نماید. RT^۴ شامل تصاویری است که جدیداً در آرشیو قرار گرفته و یک دوره کالیبراسیون و ارزیابی نیاز دارد (Landsat7- L1TP, 2018). تصاویر استفاده شده در این تحقیق علاوه بر قالب L1TP دارای کیفیت بالای تییر ۱ نیز می باشد.

پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

فرآیند پیش پردازش تصاویر یک گام مهم برای مشابه سازی یا نزدیک مشابه کردن همه تصاویر است به نحوی که به توان فرض نمود همه تصاویر در یک شرایط محیطی و توسط یک سنجنده کسب شده است (Hall et al, 1991). در مجموع ۴۷۴ تصویر مربوط به ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ مربوط به سال های ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۷ میلادی منطقه مورد مطالعه از آرشیو سازمان نقشه برداری کشور آمریکا مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت که ۱۴۶ تصویر به علت ابرهای سراسری و یا گرد و خاک حذف و ۳۲۸ تصویر در پردازش های نهایی مورد استفاده قرار گرفت به منظور حذف اثرات نامطلوب اتمسفری شامل ابر، سایه ابر، ابرهای سیروس، یخ و برف و اشباع از اطلاعات پیکسلی موجود در باند کیفیت استفاده شد. با استفاده از این اطلاعات، مناطقی در تصویر که متاثر از اثرات نامطلوب اتمسفری بودند، حذف و بنابراین از پیکسل هایی که دارای آسمان صاف بودند، استفاده شد (Landsat7-BQA, 2018). در تصاویر مربوط به لندست ۷ با توجه به وجود نوارهای سیاه در تصویر که اطلاعات قسمتی از سطح مزارع را محو نموده، فقط مزارعی که اطلاعات حداقل ۳۰

4. Real Time

5. TOA Reflectance

6. Dark Object Subtract

1. Level 1 Terrain Product

2. Cross-Calibrated

۳. یک فایل که نام آن با حروف QA پایان می یابد و قسمتی از محصولات با فرمت

L1TP می باشد

با رابطه (۵) تصحیح اتمسفری DOS اعمال شده است. برای حذف اثرات نامطلوب روی پیکسل از اطلاعات درون فایل کیفیت استفاده شد. این فایل یک اطلاعات بیتی منطبق بر شرایطی که ممکن است پیکسل از ابر، سایه، برف و یخ و یا حالت اشباع متاثر شده باشد را ارائه میدهد. به ازای هر پیکسل در باند تصویری یک پیکسل متناظر در باند کیفیت وجود دارد که مشخص کننده وضعیت کیفیت پیکسل می باشد. در جدول (۱) مقادیر رقومی پیکسل ها در باند کیفیت در تصاویر LITP ماهواره لندست ۷ آورده شده است (Landsat7-BQA, 2018).

ابتدا فایل های مورد نیاز شامل فایل های باند ۱، ۲، ۳ باند ۴، باند کیفیت (نام فایل با حروف QA^۱ به پایان می رسد) و فایل متا دیتا (نام فایل با حروف MTL به پایان می رسد) از پوشه مربوط به تصویر خوانده شد و ضرایب مورد نیاز از فایل متا دیتا استخراج گردید و با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) مقادیر رقومی کلیه پیکسل ها به رادیانس تبدیل شد. به منظور حذف اثر زاویه خورشید و همچنین حذف اثر پخش در اتمسفر که باعث افزایش مقادیر رادیانس شده است با استفاده از روابط (۴) و (۵) مقادیر رادیانس به مقادیر انعکاس بالای جو تبدیل شد. در اینجا با توجه

جدول ۱- مقادیر درجه روشنایی کیفیت پیکسل ها در تصاویر با فرمت LITP در ماهواره لندست ۷

کیفیت پیکسل	درجه روشنایی
ثابت	۱
پیکسل حذف شده	۲, ۶۷۴
آسمان صاف و غیر اشباع	۶۷۲, ۶۷۶, ۶۸۰, ۶۸۴
اشباع در باند های ۱ و ۲	۶۷۶, ۷۰۸, ۷۵۶, ۹۳۲, ۹۶۴, ۱۷۰۰, ۱۷۳۲
اشباع در باند های ۳ و ۴	۶۸۰, ۷۱۲, ۷۶۰, ۹۳۶, ۹۶۸, ۱۷۰۴, ۱۷۳۶
اشباع در باند های ۵ و بالاتر	۶۸۴, ۷۱۶, ۷۶۴, ۹۴۰, ۹۷۲, ۷۰۸, ۱۷۴۰
ابری	۷۵۲, ۷۵۶, ۷۶۰, ۷۶۴
احتمال پایین ابر	۶۷۲, ۶۷۴, ۶۷۶, ۶۸۰, ۶۸۴, ۹۲۸, ۹۳۲, ۹۳۶, ۹۴۰, ۱۶۹۶, ۱۷۰۰, ۱۷۰۴, ۱۷۰۸
احتمال متوسط ابر	۷۰۴, ۷۰۸, ۷۱۲, ۷۱۶, ۹۶۰, ۹۶۴, ۹۶۸, ۹۷۲, ۱۷۲۸, ۱۷۳۲, ۱۷۳۶, ۱۷۴۰
احتمال بالای ابر	۷۵۲, ۷۵۶, ۷۶۰, ۷۶۴
احتمال سایه ابر بالا	۹۲۸, ۹۳۲, ۹۳۶, ۹۴۰, ۹۶۰, ۹۶۴, ۹۶۸, ۹۷۲
احتمال یخ و برف بالا	۱۶۹۶, ۱۷۰۰, ۱۷۰۴, ۱۷۰۸, ۱۷۲۸, ۱۷۳۲, ۱۷۳۶, ۱۷۴۰

پردازش تصاویر ماهواره ای

شاخص های سبزینگی

شاخص سبزینگی تفاضلی نرمال شده

$$NDVI = \frac{R_{Nir} - R_{Red}}{R_{Nir} + R_{Red}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

شاخص سبزینگی تفاضلی قرمز نرمال شده، NDVI، یکی از قدیمی ترین و پرکاربردترین شاخص های گیاهی که بطور وسیعی در شناسایی پوشش گیاهی و تخمین مقادیر محصولات تولیدی بکار می رود (Rouse et al., 1974). این شاخص بطور متناوب در

با توجه به مقادیر جدول (۱) در صورتیکه درجه روشنایی کیفیت هر پیکسل یکی از مقادیر ۶۷۲، ۶۷۶، ۶۸۰ و یا ۶۸۴ باشد آن پیکسل مربوط به آسمان صاف و غیر اشباع بوده و در هیچ یک از باندها اشباع نشده و متاثر از عوامل پایین آورنده کیفیت نبوده و قابل اطمینان است. برای اعمال اطلاعات باند کیفیت یک ماتریس کیفیت ساخته شد که تعداد سطر و ستون آن برابر تعداد سطر و ستون تصویر و مقادیر آن صفر بود. سپس مقادیر پیکسل های دارای آسمان صاف و غیر اشباع در ماتریس کیفیت برابر یک شد و در ادامه با ضرب ماتریس کیفیت در هر یک از باند های تصویری پیکسل های نامطلوب و بی کیفیت حذف گردید.

شاخص سبزیگی روز شماره ۲ از درون یابی شاخص سبزیگی روز شماره ۱ و روز شماره ۳ بدست می آید.

$$y_2 = y_1 + \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} (y_3 - y_1) \quad (\text{رابطه ۹})$$

به طوری که :

x_1 : روز سال نقطه ۱

x_2 : روز سال نقطه ۲

x_3 : روز سال نقطه ۳

y_1 : مقدار شاخص در روز ۱

y_2 : مقدار شاخص در روز ۲

y_3 : مقدار شاخص در روز ۳

داده های جدید با شروع روز اول سال میلادی و فاصله هفت روزه تنظیم شد. بر این اساس اولین داده شاخص سبزیگی مربوط به روز اول سال و دومین داده مربوط به روز هشتم و سومین داده مربوط به روز پانزدهم و آخرین داده یعنی داده پنجاه و سوم مربوط به روز ۳۶۵ ام سال محاسبه شد. کلیه پردازش ها شامل خواندن تصاویر، محاسبه انعکاس بالای جو، حذف پیکسل های نامناسب، خواندن لایه برداری، استخراج شاخص های سبزیگی مزارع، محاسبه و ترسیم الگوهای رشد و همچنین انجام رگرسیون از طریق برنامه نویسی در نرم افزار MATLAB R2017a انجام شد. در شکل (۲) فلوجارت استخراج خودکار میانگین شاخص های سبزیگی مزارع از تصاویر دریافتی لندست ۷ و ذخیره آن بصورت فایل متنی نمایش داده شده است. شروع رشد نیشکر معمولاً با گرم شدن هوا در اوایل اسفند (روز ۵۱ تا ۸۰ سال میلادی) شروع می شود و تا پایان مهرماه (روز ۲۹۶ سال میلادی) سال بعد ادامه می یابد. عملیات برداشت نیشکر در استان خوزستان از اوایل آبان شروع شده و تا اواخر فروردین (روز ۱۱۰ میلادی) سال بعد ادامه می یابد.

در اسفند ماه بعضی از مزارع که برداشت شده اند با شروع عملیات آبیاری شروع به رشد می کنند و این در حالی است که هنوز بعضی از مزارع برداشت نشده اند. به عبارت دیگر عملیات داشت برداشت در اسفند ماه تداخل و همپوشانی دارد. تداخل عملیات داشت برداشت در سال هایی که بارندگی های زمستانه زیاد می شود ممکن است تا اواخر فروردین ماه ادامه پیدا کند. آلودگی های موجود در هوا مخصوصاً در شرایطی که زیست توده زیاد وجود دارد باعث کم شدن حساسیت شاخص های سبزیگی به تغییرات می شود (Julien & Sobrino, 2010; Holben & Fraser, 1984).

محصولاتی با زیست توده زیاد اشباع می شود (Huete, 1994) و آلودگی های جوی اثر منفی روی آن دارد.

$$GNDVI = \frac{R_{Nir} - R_{Green}}{R_{Nir} + R_{Green}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

با توجه به رابطه طیفی شاخص سبزیگی تفاضلی سبز نرمال شده GNDVI می توان گفت که این شاخص در دامنه گسترده ای از تغییرات کلروفیل، بیشترین حساسیت را داشته و می تواند تغییرات کلروفیل را به خوبی نشان دهد (Gitelson & Merzlyak, 1998).

$$EVI = 2.5 \frac{R_{Nir} - R_{Red}}{R_{Nir} + 6R_{Red} - 7.5R_{Blue} + 1} \quad (\text{رابطه ۸})$$

EVI شاخص بهتری برای بهبود حساسیت در نواحی که دارای زیست توده بالایی هستند، می باشد و جزء خروجی های محصولات ماهواره مادیس می باشد. بعد از انجام پیش پردازش های لازم و محاسبه انعکاس بالای جو و حذف پیکسل های نامطلوب مقادیر شاخص های سبزیگی NDVI, GNDVI, EVI, باتوجه به روابط (۶)، (۷) و (۸) با ترکیب باند های آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز برای هر پیکسل محاسبه و لایه رستری شاخص های سبزیگی ایجاد گردید. در مرحله بعد با روی هم اندازی لایه برداری مزارع نیشکر و لایه رستری شاخص های سبزیگی، میانگین شاخص های سبزیگی هر مزرعه (به عنوان یک نمونه از منطقه مورد مطالعه) محاسبه گردید. و نتیجه در یک فایل متنی ذخیره شد به این ترتیب برای هر تصویر ماهواره ای یک فایل متنی ساخته شد که ستون اول شماره مزارع و ستون دوم و سوم و چهارم به ترتیب مقادیر میانگین شاخص سبزیگی NDVI, GNDVI, EVI بود. برای ایجاد سری زمانی کلیه فایل های مربوط به مقادیر شاخص ها خوانده شد و در سپس در یک فایل متنی دیگر جمع گردید. بدین ترتیب با جمع اطلاعات فایل ها برای هر سال و هر شاخص یک فایل متنی ایجاد شد که ستون اون حاوی شماره مزارع (نمونه) و ستون های بعدی مقادیر شاخص ها در تاریخ های تصویر برداری بود. برای یکسان سازی روز دریافت تصاویر و همچنین تعداد تصاویر یکسان در سال، داده های مربوط به شاخص های سبزیگی مستخرج از تصاویر بر اساس شماره روز در سال در دوره هفت روزه یکسان سازی و با استفاده از رابطه (۹) درون یابی شد. در تحقیقی در منطقه سرادو ایالت سائوپولو برزیل برای طبقه بندی اراضی با استفاده از سری های زمانی از رابطه مشابهی برای جایگزینی مقادیر تهی استفاده شد (Do Bendini et al., 2016). با توجه به شکل رابطه (۹) مقدار

استفاده شده است. این مسئله با سیستم کنترل رشد شرکت های نیشکری خوزستان نیز تقریباً هماهنگ است. در این شرکت ها رشد نیشکر در مدت ۲۳ هفته از هفته دوم اردیبهشت لغایت هفته چهارم مهرماه کنترل می شود.

داده های عملکرد مشاهده شده

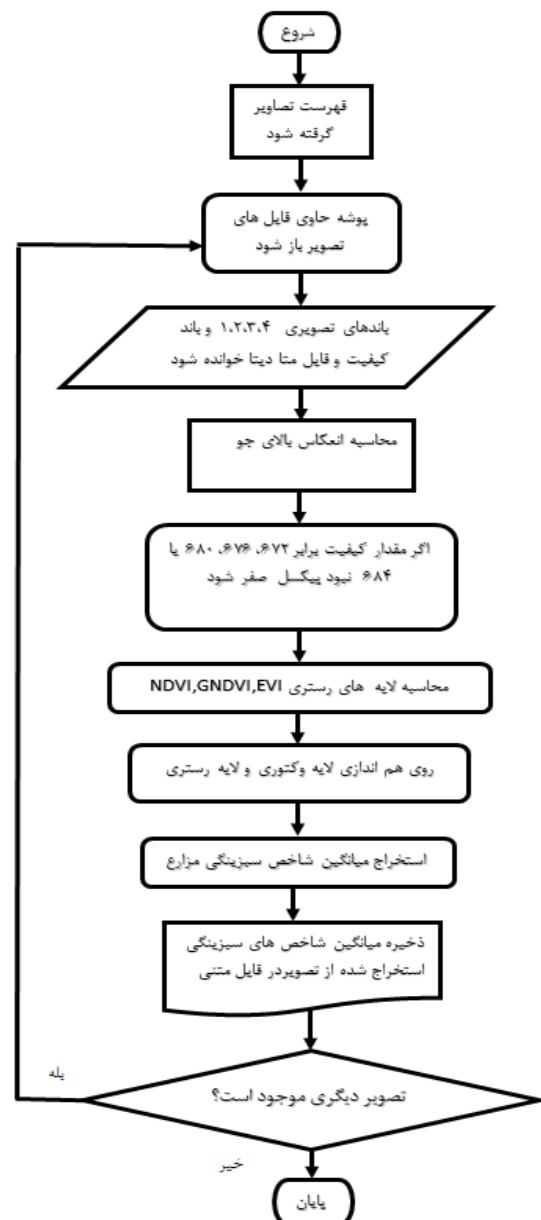
داده های مربوط به مقادیر ساقه محصول نیشکر برداشت شده هر سال مزارع بصورت قبض های باسکول در واحد آمار کشاورزی کشت و صنعت میان آب ثبت می شود. لذا داده های وابسته عملکرد مشاهده شده مزارع برای سال های ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۷ از این جداول اطلاعاتی استخراج گردید.

مدلسازی

برای مدلسازی عملکرد و برقراری رابطه بین سری های زمانی از شاخص های سبزیگی NDVI, GNDVI, EVI و عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده نیشکر، مقادیر تجمعی شاخص های سبزیگی مستخرج از سری های زمانی سال های ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۶ و میانگین عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده هر سال محاسبه شد. سپس داده های مستقل شاخص های تجمعی سبزیگی و عملکرد مشاهده شده هر یک از مدل ها بصورت مجزا در یک مدل رگرسیونی خطی بررسی شد و شاخص های آماری R^2 و RMSE هر مدل بصورت جداگانه محاسبه گردید و با توجه به نتایج شاخص های آماری مدل ها برتر انتخاب شد. برای ارزیابی مدل برتر، پیش بینی عملکرد ساقه در هکتار نیشکر در سال ۲۰۱۷ با استفاده از ضرایب مدل خطی انجام شد.

نتایج و بحث

بعد از انجام مراحل پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره ای و تشکیل سری های زمانی و یکسان شده از مقادیر شاخص های سبزیگی NDVI, GNDVI, EVI مزارع، سری زمانی میانگین شاخص های سبزیگی هر سال محاسبه شد در جدول (۲)، (۳) و (۴) سری های زمانی شاخص های سبزیگی از هفته ۱۵ لغایت هفته ۴۴ منطقه مورد مطالعه آورده شده است در این جداول برای سهولت نمایش اعداد شاخص های سبزیگی در ۱۰۰ ضرب و به دو رقم صحیح گرد شده است. همچنین هفته هایی که رشد شاخص به حداکثر خود رسیده (با یک درصد تلورانس) با رنگ قرمز مشخص شده اند. هر یک از اعداد این جداول حاصل میانگین شاخص های سبزیگی کلیه مزارع نیشکر در منطقه مورد مطالعه می باشد. داده های هر ردیف این جداول پس از جمع شدن به عنوان متغیر ورودی مستقل جهت مدل سازی عملکرد نیشکر استفاده شده است.



شکل ۲- فلوجارت استخراج شاخص های سبزیگی از تصاویر ماهواره ای
لندست ۷

در تحقیقی در مورد پیش بینی عملکرد گندم فقط با یک تصویر گزارش شد دقت نتایج به شدت به تاریخ اکتساب تصویر وابسته است (Lobell et al., 2003). علت وقوع پدیده گرد و غبار که در سال های اخیر استان خوزستان را تحت تاثیر قرار داده است، استخراج شاخص های سبزیگی از تصاویر ماهواره با خطا همراه می باشد لذا برای کم نمودن اثر کیفیت نامناسب اتمسفر در یک روز مشخص، در این تحقیق از تمامی تصاویر موجود و با کیفیت ماهواره لندست ۷ در طول دوره رشد استفاده شده است. همچنین جهت اجتناب از تداخل داده های سال های پشت سر هم داده های سری زمانی هفته ۱۵ (۱۹ فروردین) لغایت هفته ۴۴ (ششم آبان) یعنی روزهای بین ۹۹ تا ۳۰۲ سال میلادی

جدول ۲- سری های زمانی فصلی میانگین شاخص سبزیگی NDVI

سال	شماره هفته																													
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
۲۰۰۱	۱۸	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۷	۴۹	۵۰	۵۲	۵۴	۵۶	۵۷	۵۷	۵۶	۵۶	۵۵	۵۵	۵۴	۵۴
۲۰۰۲	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹	۱۹	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۸	۳۲	۳۵	۳۸	۴۱	۴۴	۴۷	۵۱	۵۳	۵۵	۵۶	۵۸	۵۹	۶۰	۶۰	۵۸	۵۷	۵۷	۵۶	۵۵	۵۴
۲۰۰۳	۱۷	۱۸	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۸	۳۰	۳۳	۳۶	۳۸	۴۱	۴۳	۴۶	۴۸	۴۹	۵۱	۵۳	۵۴	۵۶	۵۷	۵۷	۵۸	۵۹	۵۸	۵۷	۵۵	۵۳	۵۰
۲۰۰۴	۲۳	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۴	۲۵	۲۸	۳۱	۳۵	۳۹	۴۲	۴۴	۴۶	۴۸	۵۱	۵۳	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۶	۵۵	۵۳	۵۳
۲۰۰۵	۱۸	۱۸	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۴۰	۴۲	۴۵	۴۷	۴۹	۵۰	۵۲	۵۳	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۸	۵۷	۵۶	۵۵	۵۲	۵۰	۴۸
۲۰۰۶	۲۰	۲۲	۲۳	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۵	۳۷	۴۰	۴۲	۴۵	۴۷	۴۹	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۶	۵۶	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۶	۵۵	۵۴	۵۳	۵۳
۲۰۰۷	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۲۱	۲۴	۲۶	۲۸	۲۹	۳۱	۳۳	۳۴	۳۶	۳۷	۳۹	۴۰	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱	۴۰	۴۰	۳۹	۳۹
۲۰۰۸	۱۷	۱۷	۱۸	۱۹	۲۱	۲۴	۲۶	۲۹	۳۱	۳۳	۳۶	۳۷	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۲	۴۳	۴۳	۴۴	۴۴	۴۴	۴۵	۴۵	۴۶	۴۶	۴۵	۴۵	۴۴	۴۳
۲۰۰۹	۱۴	۱۶	۱۷	۱۹	۲۰	۲۲	۲۴	۲۵	۲۷	۲۹	۳۰	۳۴	۳۷	۳۹	۴۱	۴۲	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۴۹	۵۰	۵۱	۵۱	۵۱	۵۰	
۲۰۱۰	۲۰	۲۱	۲۲	۲۴	۲۵	۲۶	۲۸	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۲	۴۴	۴۵	۴۷	۴۸	۵۰	۵۱	۵۳	۵۳	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۳	۴۹	۴۴
۲۰۱۱	۱۵	۱۵	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۵	۳۸	۴۰	۴۲	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۳	۵۳	۵۲	۵۲	۵۱	۵۰	۴۸	۴۵
۲۰۱۲	۱۴	۱۵	۱۷	۱۸	۲۰	۲۱	۲۳	۲۵	۲۷	۲۹	۳۱	۳۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۴۰	۴۱	۴۱	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶
۲۰۱۳	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۱	۲۴	۲۷	۲۹	۳۱	۳۴	۳۸	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۱	۴۳	۴۴	۴۶	۴۸	۴۹	۵۱	۵۱	۵۲	۵۲	۵۱	۵۰	۴۹
۲۰۱۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۲۰	۲۳	۲۴	۲۶	۲۹	۳۲	۳۵	۳۹	۴۱	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۴	۵۵
۲۰۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۱	۳۲	۳۴	۳۶	۳۹	۴۲	۴۴	۴۴	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵
۲۰۱۶	۱۳	۱۲	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۹	۲۲	۲۵	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶	۳۸	۴۲	۴۶	۵۰	۵۲	۵۲	۵۲	۵۱	۵۱	۵۰	۴۷	۴۴

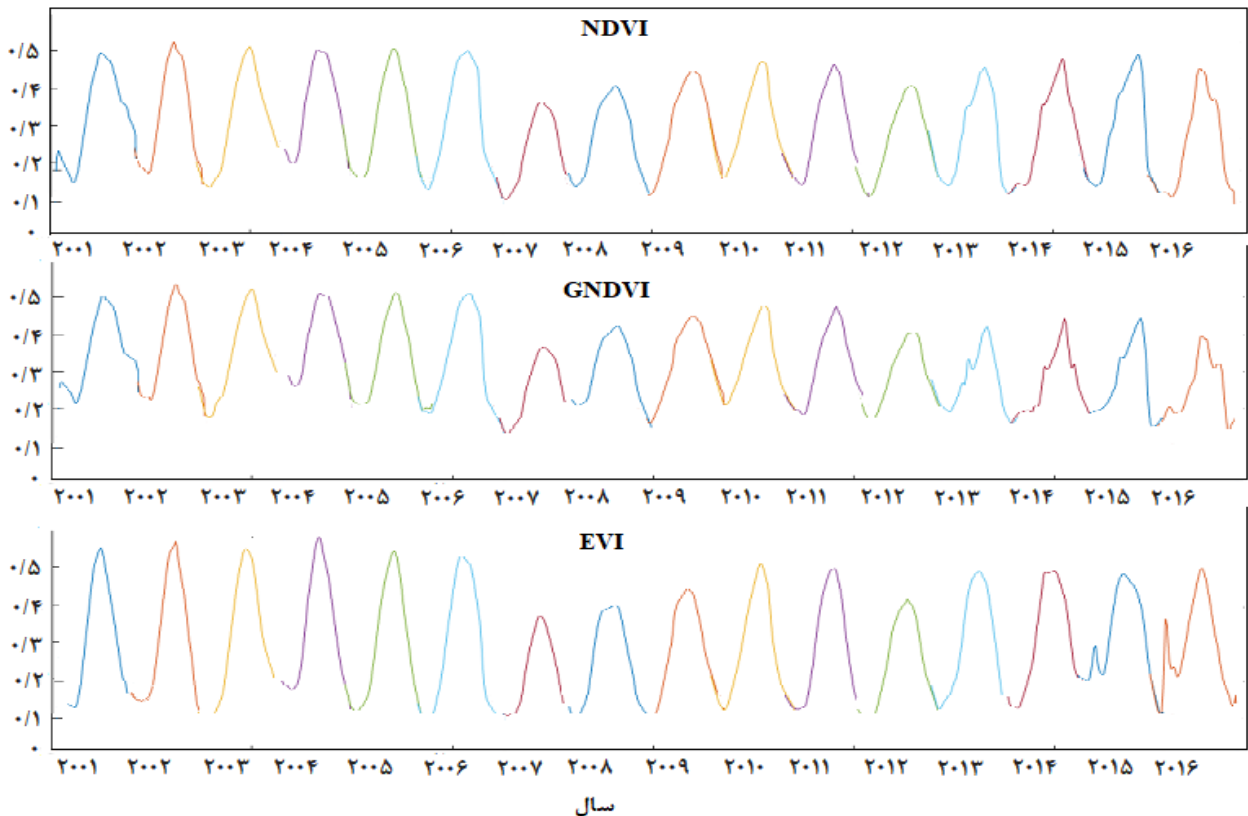
جدول ۳- سری های زمانی فصلی میانگین شاخص سبزیگی GNDVI

سال	شماره هفته																													
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
۲۰۰۱	۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	۴۸	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۹	۴۹	۴۹	۴۸	۴۸
۲۰۰۲	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۲	۲۳	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۴	۴۶	۴۸	۴۹	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۳	۵۲	۵۱	۵۰	۴۹	۴۷	
۲۰۰۳	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۱	۵۲	۵۲	۵۲	۵۱	۴۹	۴۷	۴۵
۲۰۰۴	۲۷	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۲	۳۵	۳۷	۴۰	۴۱	۴۲	۴۴	۴۶	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۱	۵۱	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۹	۴۷		
۲۰۰۵	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۴	۲۵	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۱	۵۱	۵۱	۵۰	۴۸	۴۶	۴۴	۴۲
۲۰۰۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۸	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۵	۴۶	۴۸	۴۹	۴۹	۵۰	۵۰	۵۰	۵۱	۵۱	۵۱	۵۱	۵۰	۴۹	۴۸	۴۷	۴۶
۲۰۰۷	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۶	۳۶	۳۷	۳۷	۳۶	۳۶	۳۵	۳۵	۳۵
۲۰۰۸	۲۲	۲۲	۲۲	۲۳	۲۵	۲۷	۲۸	۳۰	۳۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۳۹	۴۰	۴۰	۴۰	۴۱	۴۱	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۱	۴۰	۳۹	
۲۰۰۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۳	۳۶	۳۸	۳۹	۴۰	۴۰	۴۱	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۴	۴۴	۴۵	۴۵	۴۵	۴۴	۴۴	
۲۰۱۰	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۲	۳۳	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۷	۴۷	۴۷	۴۶	۴۶	۴۳	۳۹	
۲۰۱۱	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۳	۲۵	۲۷	۲۹	۳۱	۳۲	۳۴	۳۶	۳۷	۳۹	۴۰	۴۱	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۷	۴۷	۴۶	۴۵	۴۴	۴۲	۴۰
۲۰۱۲	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۷	۲۷	۲۹	۳۳	۳۳	۳۲	۳۱	۳۰	۳۱	۳۲	۳۴	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۱	۴۲	۴۲	۴۱	۴۰	۳۸
۲۰۱۳	۱۹	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹	۱۹	۲۰	۲۱	۲۰	۲۰	۲۲	۲۴	۲۷	۳۰	۳۲	۳۱	۳۱	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۴۰	۴۱	۴۳	۴۴
۲۰۱۴	۱۹	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۸	۳۱	۳۳	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۳
۲۰۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۸	۳۱	۳۳	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۳
۲۰۱۶	۲۰	۲۰	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۵	۲۶	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۲	۳۵	۳۸	۴۰	۴۰	۳۹	۳۹	۳۹	۳۸	۳۵	۳۳	

جدول ۴- سری های زمانی فصلی میانگین شاخص سبزینگی EVI

سال	شماره هفته																													
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰														
۲۰۰۱	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۴	۱۶	۱۸	۲۱	۲۴	۲۸	۳۱	۳۵	۳۸	۴۲	۴۵	۴۸	۵۱	۵۲	۵۳	۵۵	۵۶	۵۶	۵۵	۵۳	۵۱	۴۹	۴۶	۴۴	۴۲	۴۰
۲۰۰۲	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۸	۳۱	۳۵	۳۸	۴۱	۴۵	۴۸	۵۱	۵۳	۵۵	۵۶	۵۶	۵۷	۵۸	۵۶	۵۳	۵۰	۴۸	۴۶	۴۴	۴۱
۲۰۰۳	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۷	۵۰	۵۱	۵۳	۵۵	۵۶	۵۶	۵۵	۵۵	۵۴	۵۳	۵۲	۴۹	۴۶	۴۳	۴۰
۲۰۰۴	۱۸	۱۸	۱۸	۱۹	۱۹	۲۰	۲۱	۲۳	۲۶	۳۰	۳۳	۳۸	۴۱	۴۴	۴۷	۴۹	۵۲	۵۵	۵۷	۵۸	۵۹	۵۸	۵۷	۵۵	۵۳	۵۱	۵۰	۴۸	۴۵	۴۲
۲۰۰۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۴	۴۶	۴۸	۴۹	۵۱	۵۲	۵۴	۵۵	۵۵	۵۵	۵۳	۵۲	۴۹	۴۷	۴۳	۴۰	۳۶
۲۰۰۶	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۸	۳۱	۳۴	۳۷	۳۹	۴۲	۴۴	۴۷	۴۹	۵۱	۵۳	۵۴	۵۴	۵۴	۵۳	۵۳	۵۲	۵۲	۵۲	۵۰	۴۸	۴۶	۴۴	۴۱	۳۹
۲۰۰۷	۹	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۷	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۱	۳۳	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۳۷	۳۷	۳۶	۳۵	۳۴	۳۲	۳۱	۳۰	
۲۰۰۸	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۲	۲۵	۲۸	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷	۳۸	۳۹	۳۹	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۱	۴۰	۴۰	۳۸	۳۷	۳۵	۳۳
۲۰۰۹	۱۳	۱۴	۱۵	۱۷	۱۹	۲۱	۲۳	۲۵	۲۷	۲۹	۳۰	۳۴	۳۸	۴۰	۴۱	۴۲	۴۲	۴۳	۴۳	۴۴	۴۴	۴۵	۴۵	۴۵	۴۴	۴۴	۴۳	۴۱	۴۰	۳۸
۲۰۱۰	۱۷	۱۸	۲۰	۲۱	۲۳	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۸	۴۰	۴۲	۴۳	۴۵	۴۷	۴۸	۵۰	۵۱	۵۲	۵۲	۵۱	۵۰	۴۸	۴۶	۴۵	۴۰	۳۵
۲۰۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۹	۲۱	۲۴	۲۶	۳۰	۳۳	۳۶	۳۸	۴۱	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۸	۴۶	۴۵	۴۲	۳۹	۳۵
۲۰۱۲	۱۳	۱۴	۱۶	۱۷	۱۹	۲۱	۲۲	۲۴	۲۶	۲۹	۳۱	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۰	۴۰	۴۱	۴۲	۴۲	۴۲	۴۱	۴۱	۴۰	۳۹	۳۷	۳۵
۲۰۱۳	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۳	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۷	۴۰	۴۲	۴۴	۴۶	۴۷	۴۸	۴۸	۴۹	۴۹	۵۰	۵۰	۴۹	۴۸	۴۷	۴۷	۴۶	۴۴	۴۱	۳۹
۲۰۱۴	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۲	۲۳	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۰	۵۰	۴۹	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۹	۴۸	۴۶	۴۵	۴۴	۴۳
۲۰۱۵	۲۷	۲۴	۲۳	۲۲	۲۲	۲۴	۲۶	۲۹	۳۲	۳۵	۳۸	۴۰	۴۳	۴۵	۴۶	۴۸	۴۸	۴۹	۴۹	۴۹	۴۸	۴۸	۴۸	۴۷	۴۷	۴۶	۴۶	۴۵	۴۵	۴۳
۲۰۱۶	۲۵	۲۳	۲۴	۲۴	۲۳	۲۱	۲۱	۲۲	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲	۳۴	۳۷	۳۹	۴۰	۴۲	۴۴	۴۶	۴۸	۴۹	۵۰	۵۰	۵۰	۴۹	۴۷	۴۵	۴۳	۴۱

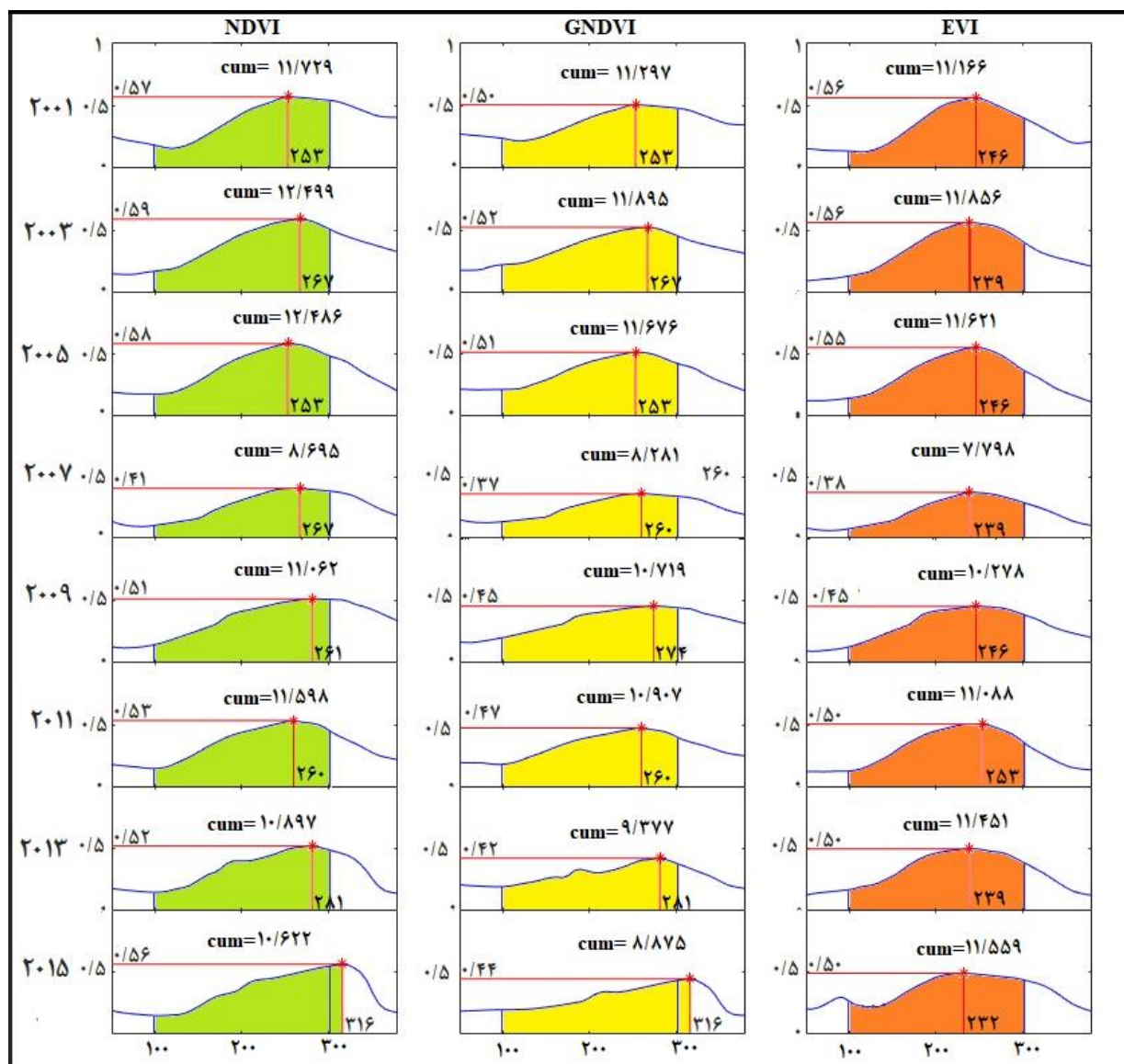
در شکل شماره (۳) سری زمانی ۱۶ ساله مقادیر میانگین شاخص های سبزینگی NDVI, GNDVI, EVI منطقه مورد مطالعه نسبت به زمان ترسیم شده است.



شکل ۳- سری های زمانی شاخص های سبزینگی

داده شده است. با توجه به شکل معلوم می شود الگوهای فصلی رشد شاخص های سبزیگی یکسان نمی باشد همچنین با توجه به این شکل و داده هایی که در جداول (۲)، (۳) و (۴) بصورت رنگی مشخص شده است معلوم می شود این الگوهای فصلی در یک روز مشخص از سال به حداکثر خود نمی رسند و این به علت تغییرات دما و شرایط زیستی و غیر زیستی است که در سال های مختلف با هم متفاوت می باشد. سری های زمانی از شاخص های سبزیگی با تاثیر از شرایط زیستی و غیر زیستی شکل های متفاوتی دارند و از طرف دیگر مشخص کننده الگو های فصلی رشد می باشند.

همانطور که در شکل (۳) دیده می شود رشد نیشکر در سال های متفاوت وضعیت مشابهی نداشته و شکل منحنی و نقطه حداکثر آن جابجا شده است. این شکل با اینکه روند رشد ۱۶ ساله را بخوبی نشان می دهد و مشخص کننده این است که چه سال هایی از نظر رشد وضعیت خوبی نداشته است اما شرایط رشد درون یک فصل (سال) را بخوبی نمایش نمی دهد. در شکل (۴) سری های زمانی درون فصلی شاخص های سبزیگی برای سال های فرد از ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۵ ترسیم شده است. برای مقایسه بین شاخص های سبزیگی مقادیر حداکثر، تجمعی و روز به حداکثر رسیدن در سال نمایش



شکل ۴- سری های زمانی فصلی میانگین شاخص سبزیگی

از سری های زمانی جداول (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شده است و متغیر وابسته عملکرد مشاهده شده از میانگین گیری عملکرد مشاهده شده کلیه مزارع نیشکر در یک سال بدست آمده است.

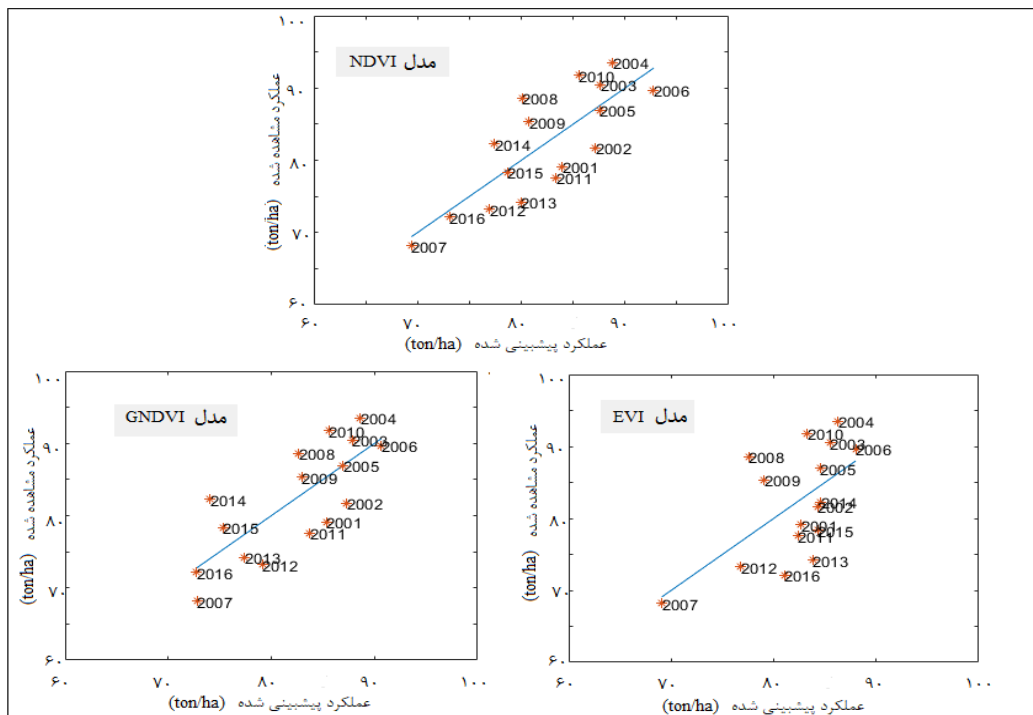
در جدول (۵) مقادیر تجمعی شاخص های سبزیگی NDVI, GNDVI, EVI و میانگین عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده هر سال آورده شده است. مقادیر تجمعی شاخص های سبزیگی

برای مدلسازی عملکرد نیشکر، در مدل اول مقدار تجمعی شاخص سبزی‌نگی NDVI از هفته ۱۵ تا هفته ۴۴ مزارع مربوط به سال های ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۶ به عنوان متغیر مستقل و میانگین عملکرد مشاهده شده ساقه در هکتار هر سال به عنوان متغیر وابسته وارد مدل شد و ضریب تبیین و شاخص RMSE مدل به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۴/۷۱ تن در هکتار شد. در مدل دوم از شاخص سبزی‌نگی GNDVI استفاده شد و ضریب تبیین و شاخص RMSE مدل به ترتیب برابر ۰/۶۰ و ۴/۹۳ تن در هکتار شد. در مدل سوم از شاخص سبزی‌نگی EVI استفاده شد و ضریب تبیین و شاخص RMSE مدل به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۶/۲۶ تن در هکتار بدست آمد. مشخصات بدست آمده مربوط به این سه مدل در جدول (۶) آورده شده است.

با توجه به نتایج ارایه شده در جدول (۶)، مدل تجمعی شاخص NDVI به دو مدل دیگر ارجحیت داده شد و مدل تجمعی شاخص GNDVI با اختلاف کمی نسبت به مدل اول در رتبه دوم قرار گرفت. در شکل (۵) عملکرد ساقه در هکتار پیش‌بینی شده مدل در مقابل عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده محصول نیشکر برای هر سه مدل به نمایش در آمده است. با اینکه مدل تجمعی شاخص NDVI از لحاظ آماری از دو مدل دیگر بهتر بوده است اما شکل (۵) نشان می دهد مدل GNDVI در پیش بینی محصول با عملکرد های پایینتر شرایط متقارن تری نسبت به خط واحد دارد.

جدول ۵- مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته مربوط به مدل ها

سال	متغیر مستقل			متغیر وابسته
	عملکرد مشاهده شده			
	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	
سال	NDVI	GNDVI	EVI	عملکرد مشاهده شده
۲۰۰۱	۱۱/۷۲۹	۱۱/۲۹۷	۱۱/۱۶۶	۷۹/۰۹
۲۰۰۲	۱۲/۳۹۱	۱۱/۷۶۴	۱۱/۵۶۵	۸۱/۶۹
۲۰۰۳	۱۲/۴۹۹	۱۱/۸۹۵	۱۱/۸۵۶	۹۰/۴۸
۲۰۰۴	۱۲/۷۴۸	۱۲/۰۸۴	۱۲/۰۵۳	۹۳/۵۱
۲۰۰۵	۱۲/۴۸۶	۱۱/۶۷۶	۱۱/۶۲۱	۸۶/۹۶
۲۰۰۶	۱۲/۵۶۶	۱۲/۵۷۴	۱۲/۴۸۳	۸۹/۶۹
۲۰۰۷	۸/۶۹۵	۸/۲۸۱	۷/۷۹۸	۶۸/۱۷
۲۰۰۸	۱۰/۹۲	۱۰/۶۴	۹/۹۰۲	۸۸/۶۱
۲۰۰۹	۱۱/۰۶۲	۱۰/۷۱۹	۱۰/۲۷۸	۸۵/۳۵
۲۰۱۰	۱۲/۰۶۲	۱۱/۳۴۲	۱۱/۳۰۹	۹۱/۷۹
۲۰۱۱	۱۱/۵۹۸	۱۰/۹۰۷	۱۱/۰۸۸	۷۷/۵۷
۲۰۱۲	۱۰/۲۷۲	۹/۷۹۱	۹/۷۰۸	۷۳/۲۳
۲۰۱۳	۱۰/۸۹۷	۹/۳۷۷	۱۱/۴۵۱	۷۴/۲۳
۲۰۱۴	۱۰/۳۶۶	۸/۵۷۵	۱۱/۶۴	۸۲/۳
۲۰۱۵	۱۰/۶۲۲	۸/۸۷۵	۱۱/۵۵۹	۷۸/۳۴
۲۰۱۶	۹/۴۶۸	۸/۲۶۲	۱۱/۷۵۹	۷۲/۱۳



شکل ۵- مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده و مشاهده شده

جدول ۶- مشخصات مدل های پیشبینی محصول نیشکر

مدل تجمعی	رابطه	R ²	RMSE (ton/ha)
NDVI	$Y=4/7925X+27/7417$	۰/۶۳	۴/۷۱
GNDVI	$Y=4/1556X+38/4212$	۰/۶۰	۴/۹۳
EVI	$Y=4/0385X+38/5875$	۰/۳۵	۶/۲۶

الگوی رشد نیشکر

الگوی رشد نیشکر با تعیین رابطه شاخص سبزینگی NDVI و روز سال مشخص شد. برای مشخص نمودن این الگو از سری های زمانی شاخص NDVI مربوط به سال های ۲۰۰۱ لغایت ۲۰۱۶، میانگین گیری شد و سری زمانی میانگین رشد شاخص سبزینگی بدست آمد (شکل ۶). سپس با برازش یک منحنی چند جمله ای درجه چهارم، مدل الگوی رشد میانگین ۱۶ ساله بدست آمد رابطه (۱۰).

$$Y = p_1x^4 + p_2x^3 + p_3x^2 + p_4x + p_5 \quad (\text{رابطه } 10)$$

که در آن:

$$p_1 \text{ برابر } 10-7/291e-$$

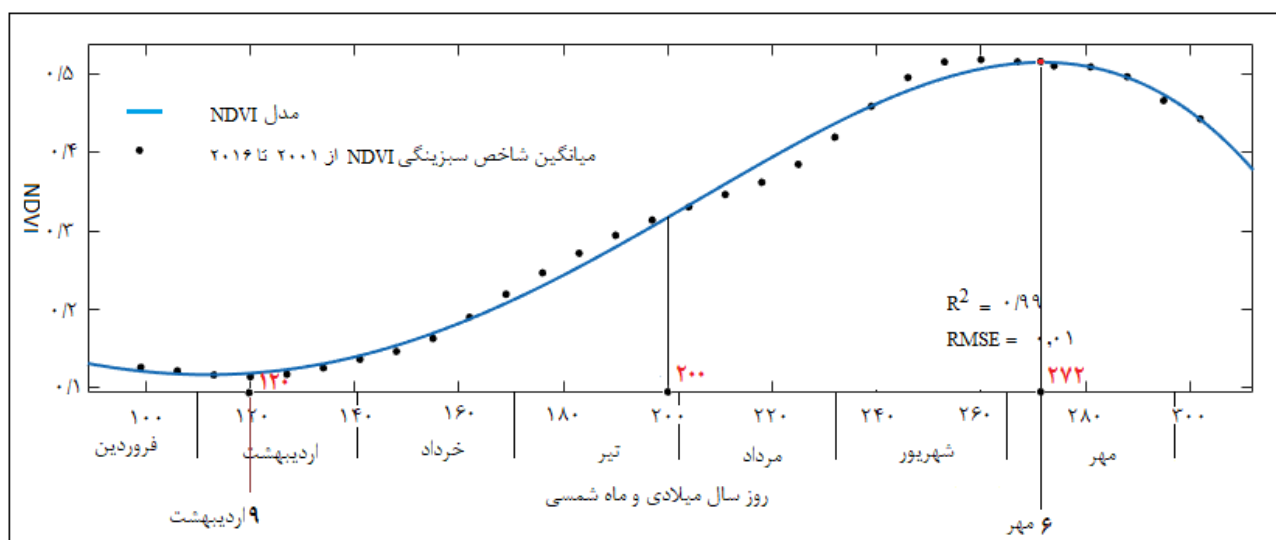
$$p_2 \text{ برابر } 3/641e-07$$

$$p_3 \text{ برابر } -3/924e-05$$

$$p_4 \text{ برابر } -0/0008077$$

$$p_5 \text{ برابر } 0/3023$$

این مدل نمایشگر الگوی رشد نیشکر در منطقه مورد مطالعه می باشد. با بدست آمدن این الگوی رشد که متاثر از شرایط زیستی و غیر زیستی ۱۶ سال گذشته می باشد می توان در سال های بعد برای پایش رشد محصول از آن استفاده نمود. با توجه با الگوی رشد نیشکر بدست آمده میانگین رشد نیشکر در منطقه مورد مطالعه از نهم اردیبهشت رشد صعودی پیدا می کند و در ششم مهرماه به حداکثر خود می رسد.



شکل ۶- الگوی رشد نیشکر

RMSE= (Morel et al., 2014). در تحقیق دیگری در منطقه باندنبرگ استرالیا براساس مدل حداکثر شاخص سبزینگی GNDVI مستخرج از مدل چند جمله ای درجه دوم نتایج (Rahman & آمد $RMSE=4/2 \text{ ton/ha}$ و $R^2=0/69$) (Robson, 2016). همچنین نتایج تحقیقی در برزیل نشان داد شاخص سبزینگی NDVI نمایش دهنده بسیار خوبی برای رشد نیشکر می باشد (Lisboa et al., 2018). همچنین بررسی الگوی

نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر تجمعی شاخص های سبزینگی NDVI بالاتر با عملکرد های بالاتر همراه بوده است که این نتیجه با نتایج تحقیقی در زیمبابوه بر روی پیشبینی عملکرد نیشکر مشابهت داشته است (Mutanga et al., 2013). در تحقیق دیگری در جزیره ریونیون پیشبینی عملکرد با برقراری یک رابطه تجربی بین شاخص تجمعی NDVI و عملکرد ساقه در هکتار مشاهده شده نیشکر بهترین نتیجه را داشت با $10/4 \text{ ton/ha}$

های زمانی فصلی شاخص های سبزینگی NDVI, GNDVI برای منطقه مورد مطالعه رضایت بخش می باشد و رابطه خوبی با عملکرد ساقه در هکتار نیشکر دارند. با استفاده از مدل انتخاب شده عملکرد ساقه در هکتار مزارع کشت و صنعت میان آب در سال ۱۳۹۶ به میزان ۸۶/۳۵ ton/ha پیش بینی شد که ۴/۱۶ ton/ha کمتر از مقدار مشاهده شده بود. همچنین الگوریتم ارایه شده در خواندن و استخراج شاخص های سبزینگی از تصاویر ماهواره ای LITP بصورت خودکار قابل قبول بوده و از آن می توان در پیش پردازش و پردازش های وقت گیر و پرهزینه تصاویر ماهواره ای (که تعداد تصاویر بسیار زیاد است) در سطح کشور استفاده نمود.

سیاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مدیریت عامل شرکت کشت و صنعت میان آب و مدیریت مطالعات کاربردی این شرکت جهت در اختیار دادن اطلاعات لازم و فراهم آوردن امکانات این تحقیق تشکر می شود.

REFERENCES

- Apan, A., Held, A., Phinn, S., & Markley, J. (2004). Detecting sugarcane "orange rust" disease using EO-1 Hyperion. Apan, A., Held, A., Phinn, S., & Markley, J. (2004). Detecting sugarcane "orange rust" disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618031>
- Bastidas Obando, E. and Carbonell Gonzalez, J. (2007). Evaluating the Applicability of MODIS Data for Forecasting Sugarcane Yields in Colombia. In *International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT)*. Durban.
- Bégué, A., Lebourgeois, V., Bappel, E., Todoroff, P., Pellegrino, A., Baillarin, F., & Siegmund, B. (2010). Spatio-temporal variability of sugarcane fields and recommendations for yield forecast using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160903349057>
- Benvenuti, F. and Weill, M. (2010). Relationship between Multi-Spectral Data and Sugarcane Crop Yield. In *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science and Soil Solutions for a Changing World* (pp. 33–36). Brisbane, 1-6 August 2010.
- Bruc, C. M., & Hilbert, D. W. (2004). PRE-PROCESSING METHODOLOGY FOR APPLICATION TO LANDSAT TM/ETM+ IMAGERY OF THE WET TROPICS. Cairns, QLD, Australia 4870.
- Chavez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)

رشد نیشکر نشان داد شتاب رشد نیشکر از نهم اردیبهشت صعودی می شود و در روز ۲۸ تیرماه به اوج خود رسیده و در روز ۶ مهرماه شاخص سبزینگی به حداکثر مقدار خود رسیده و پس از آن روند نزولی به خود می گیرد. برای ارزیابی مدل منتخب، پیش بینی عملکرد نیشکر در سال ۲۰۱۷ با استفاده از مدل تجمعی شاخص NDVI انجام شد. بدین منظور سری زمانی هفت روزه شاخص سبزینگی محاسبه و سپس مقدار تجمعی شاخص سبزینگی از هفته ۱۵ لغایت ۴۴ برابر ۱۲/۲۲۹۵ بدست آمد که براساس مدل پیشبینی منتخب NDVI عملکرد ساقه در هکتار نیشکر در سال ۲۰۱۷ برابر ۸۶/۳۵ ton/ha پیشبینی گردید که از مقدار مشاهده شده ۴/۱۵ ton/ha کمتر بود.

نتیجه گیری کلی

هدف از این تحقیق ارائه مدلی بر پایه پردازش سری زمانی تصاویر ماهواره ای به منظور پیش بینی عملکرد ساقه در هکتار محصول نیشکر در منطقه میان آب استان خوزستان بصورت خودکار بود. نتایج نشان داد که این پیش بینی با استفاده از پردازش سری

- Do Bendini, H. N., Sanches, I. D., Körting, T. S., Fonseca, L. M. G., Luiz, A. J. B., & Formaggio, A. R. (2016). Using Landsat 8 image time series for crop mapping in a region of Cerrado, Brazil. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 41, pp. 845–850). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-845-2016>
- Duveiller, G., López-Lozano, R., & Baruth, B. (2013). Enhanced processing of 1-km spatial resolution fAPAR time series for sugarcane yield forecasting and monitoring. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs5031091>
- El Hajj, M., Bégué, A., Guillaume, S., & Martiné, J. F. (2009). Integrating SPOT-5 time series, crop growth modeling and expert knowledge for monitoring agricultural practices - The case of sugarcane harvest on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.009>
- Essari, M., & Mirlatifi, S. (1393). Exploring the use of .TERRA satellite, MODIS sensor, CSWB model imagery To estimate the production of cane sugar. Case study of sugarcane cultivation and production of Mirzakocheh Khan. Tarbiat Modares University. (In Farsi)
- FAOSTAT. (2017). Sugarcane stat Of United Nation. Retrieved December 15, 1BC, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*.

- [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)01133-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)01133-2)
- Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E., & Goetz, S. J. (1991). Radiometric rectification: Toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90062-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90062-B)
- Holben, B., & Fraser, R. S. (1984). Red and near-infrared sensor response to off-nadir viewing. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431168408948795>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90018-3)
- Iannini, L., Molijn, R., Tabak, A., Mousivand, A., & Hanssen, R. (2015). Sugarcane Identification Through Time-Series of Landsat and ERS/ENVISAT Data. *Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil*.
- Julien, Y., & Sobrino, J. A. (2010). Comparison of cloud-reconstruction methods for time series of composite NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.001>
- Landsat-SLC-off. (2018). Landsat7 SLC off. Retrieved November 18, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/landsat-7>
- Landsat7-BQA. (2018). Landsat Collection 1 Level-1 Quality Assessment Band. Retrieved November 18, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/collectionqualityband>
- Landsat7-L1TP. (2018). Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) Level-1 Data Products. Retrieved November 18, 2018, from <https://lta.cr.usgs.gov/LETMP>
- Lee-Lovick, G. and Kirchner, L. (1990). The Application of Remotely Sensed (Landsat TM) Data to Monitor the Growth and Predict Yields in Sugarcane. *Australian Society of Sugar Cane Technology*, 65–72.
- Lisboa, I. P., Damian, J. M., Cherubin, M. R., Barros, P. P. da S., Fiorio, P. R., Cerri, C. C., & Cerri, C. E. P. (2018). Prediction of Sugarcane Yield Based on NDVI and Concentration of Leaf-Tissue Nutrients in Fields Managed with Straw Removal. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090196>
- Lobell, D. B., Asner, G. P., Ortiz-Monasterio, J. I., & Benning, T. L. (2003). Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: Estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00021-X)
- Morel, J., Bégué, A., Todoroff, P., Martiné, J. F., Lebourgeois, V., & Petit, M. (2014). Coupling a sugarcane crop model with the remotely sensed time series of fIPAR to optimise the yield estimation. *European Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.08.004>
- Mulianga, B., Bégué, A., Simoes, M., & Todoroff, P. (2013). Forecasting regional sugarcane yield based on time integral and spatial aggregation of MODIS NDVI. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs5052184>
- Mutanga, S., Schoor, C. Van, Olorunju, P. L., Gonah, T., & Ramoelo, A. (2013). Determining the Best Optimum Time for Predicting Sugarcane Yield Using Hyper-Temporal Satellite Imagery. *Advances in Remote Sensing*. <https://doi.org/10.4236/ars.2013.23029>
- Rahman, M. M., & J. Robson, A. (2016). A Novel Approach for Sugarcane Yield Prediction Using Landsat Time Series Imagery: A Case Study on Bundaberg Region. *Advances in Remote Sensing*. <https://doi.org/10.4236/ars.2016.52008>
- Robson, A., Abbott, C., Lamb, D., & Bramley, R. O. B. (2012). Developing sugar cane yield prediction algorithms from satellite imagery. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*.
- Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D. W. (1974). 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium* (pp. 48–62). Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022592.pdf>
- sadeghzade hemayati, S., Hamdi, H., fathollahzade taleghani, D., & Amili, H. (2012). National documentary on sugarcane strategic research. *Agricultural Research and Education Institute of Sugar Crushing Company*. (In Farsi)
- Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N., & Ghaemi, M. (2014). Wheat yield estimation using landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Plant Production*, 20(4), 45–63. (In Farsi)
- Zakidizaji, H., Monjezi, N., & Sheikhdavoodi, M. J. (2018). Investigating Effective Factors on Sugarcane Production Performance to Increase the Production of Sugarcane Using Data Mining. *Iranian Journal Of Biosystem Engineering*, 49(3), 501–511. https://doi.org/https://ijbse.ut.ac.ir/article_68269.html. (In Farsi)