

مقاله علمی- پژوهشی

تخمین عملکرد نیشکر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل (مطالعه موردی: کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه)

مهدی کایدانی^{۱*}، عبدالرحیم هوشمند^۲، سعید حمزه^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

چکیده

تخمین مقدار محصول نیشکر، نقش کلیدی برای گستره وسیعی از کاربردها مانند مدیریت تولید نیشکر دارد. در این تحقیق تخمین عملکرد محصول نیشکر با روش‌های شاخص سبزیگی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص سبزیگی ارتقاء یافته (EVI) و شاخص طیفی پوشش گیاهی اصلاحی خاک (SAVI) که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده، مورد بررسی قرار گرفت. برای اینکار از تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت و نه و سنتینل دو مربوط به اسفندماه ۱۴۰۱ لغایت بهمن ماه ۱۴۰۲ استفاده شد. ابتدا سه مزرعه با بافت خاک متفاوت انتخاب گردید، سپس تصاویر ماهواره‌ای در سه مرحله برای هر مزرعه با توجه به گذر همزمان دو ماهواره از منطقه مورد مطالعه برداشت شد و در نقاط مشخص مقادیر شاخص‌های EVI، NDVI و SAVI پس از اصلاحات و پردازش از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید و میزان همبستگی آن‌ها با داده‌های مشاهده‌ای عملکرد به دست آمد. نتایج نشان داد که شاخص‌های SAVI ماهواره سنتینل دو در بافت خاک لومی و EVI ماهواره سنتینل دو در بافت خاک لومی-رسی-سیلیتی و رسی با ضریب تبیین ۰/۷۶ دارای ارتباط بیشتری بودند. سپس بر اساس شاخص برتر، رابطه رگرسیون خطی برازش شده بین شاخص و میزان عملکرد برای هر مزرعه با بافت خاک متفاوت به دست آمد. نتایج بررسی رابطه‌ها نشان از وجود همبستگی قوی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه شده با رابطه رگرسیون خطی عملکرد نیشکر در هر سه مزرعه بود. بیشترین ضریب تبیین و همبستگی تخمین رابطه رگرسیونی با مقادیر مشاهده‌ای ۰/۸۳ و ۰/۹۱ در مزرعه با بافت خاک لومی به دست آمد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که هر چه از بافت سنگین خاک کاسته شود به نتایج رابطه رگرسیونی برازش شده بیشتر می‌توان اعتماد نمود.

واژه‌های کلیدی: سنتینل، شاخص پوشش گیاهی عملکرد محصول، لندست، نیشکر

مقدمه

مهم‌ترین گیاهان زراعی می‌باشد و به‌عنوان یکی از عمده‌ترین محصولات کشاورزی در تجارت جهانی دارای اهمیت ویژه‌ای است. این محصول در ۶۹ کشور تا مدار ۳۲ درجه عرض شمالی کشت می‌گردد. در بین کشورهای تولیدکننده نیشکر، برزیل با حدود ۱۰ میلیون هکتار سطح زیر کشت و متوسط عملکرد ۷۴۲۹۷ کیلوگرم در هکتار مقام اول تولید نیشکر را داراست (Chendra et al., 2022). در ایران، سالانه بیش از ۸۰۰ هزار تن شکر از حدود ۹۴۰۰۰ هکتار مساحت قابل برداشت نیشکر تولید می‌شود و حدود ۳۵ درصد شکر مورد نیاز کشور را تأمین می‌کند (جیبی اصل و همکاران، ۱۴۰۲). در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی همچون طبقه‌بندی اراضی، تعیین وارپته، تشخیص بیماری‌ها و تخمین عملکرد محصول نیشکر از طریق سنجش از دور انجام شده است (Apan et al., 2004; Galvao et al., 2006; Rundorff., 2009).

نیشکر (*Saccharum officinarum*) یک محصول چندساله است که در کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد می‌کند که به دلیل استفاده از آن در تولید شکر، اتانول زیستی و بیوالکتریکی از اهمیت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برخوردار است (Hoffman et al., 2017; Pagani et al., 2018).

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*-نویسنده مسئول: (Email: Kaydanimehdi63@gmail.com)

SAVI و NDVI وجود داشت. دیمو و همکاران از داده‌های ماهواره سنتینل دو در منطقه اتیوپی^۱ جهت تخمین عملکرد نیشکر استفاده کردند و به رابطه‌ای برای تخمین عملکرد نیشکر و شکر با ضریب تبیین ۰/۸۴ و ۰/۸۲ دست یافتند (Dimo et al., 2022). در تحقیق دیگری، زکیدیژی و همکاران در ایران تخمین عملکرد نیشکر در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر و بررسی عوامل مؤثر بر آن با استفاده از درخت تصمیم را انجام دادند و بر اساس نتایج تحقیق، دقت مدل درخت‌های تصمیم CART و CHAID برای داده‌های آموزش و آزمایش به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۸۱ و ۰/۸۵ و ۷۹ درصد بود (Zakidizaji et al., 2018). همچنین ولاشجردی و همکاران (۱۳۹۷)، تحقیقی را در کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی انجام دادند. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های عملکرد محصول و رقم‌های کشت شده نشان داد که با افزایش سن مختلف نیشکر از کشت تا بازرویی چهارم، عملکرد کاهش یافته و میزان عملکرد برآورد شده، همبستگی کمتری نسبت به عملکرد واقعی نیشکر پیدا می‌کند و مقدار R^2 کاهش و میزان خطا نیز افزایش می‌یابد. سنائی‌نژاد (۲۰۱۴)، در تحقیقی در شهر مشهد به منظور تخمین عملکرد مزارع گندم بوسیله شش تصویر ماهواره‌ای مربوط به دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج نشان داد که شاخص‌های سبزیگی NDVI و SAVI، همبستگی قابل قبولی با عملکرد گندم ندارند. در تحقیق ایساری و میرلطیفی، برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان در استان خوزستان، از شبکه عصبی مصنوعی با ترکیب داده‌های تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی استفاده شد که نتایج این تحقیق نشان داد شاخص SAVI با ضریب تبیین ۰/۷۷ بهترین نتیجه و شاخص NDVI با ضریب تبیین ۰/۵۳ نتیجه قابل قبولی داشته است (Essari and Mirlatifi, 2014). رضایی و همکاران (۱۳۹۳)، با استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، SAVI و LAI از تصاویر لندست پنج و هفت، تلاش کردند مقدار عملکرد محصولات را در شمال ایران پیش‌بینی کنند. نتایج گویای دقت مناسب رابطه رگرسیونی طراحی شده با کمک شاخص SAVI بود. مولیانگا و همکاران از شاخص سبزیگی NDVI برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر از داده‌های ماهواره مودیس^۲ در غرب کنیا استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از روش وزن‌دهی نتیجه گرفتند یافته‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار است (Mulianga et al., 2013). بیگو و همکاران، در جزایر ریونیون و گوآدلوپ مقادیر NDVI را برای تخمین عملکرد نیشکر مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای تخمین عملکرد نیشکر در این منطقه مناسب است (Begue et al., 2010). با اینکه در شرایط تجربی، داده‌های سنجنش از دور در

حاصل تعامل پیچیده عوامل زیادی از جمله خاک، اقلیم، ژئوتیپ گیاه و فعالیت‌های مدیریتی می‌باشد. تخمین عملکرد محصول برای اهداف مختلفی اهمیت دارد که عبارتند از: الف- به‌عنوان یک مکانیسم کنترل عمل می‌کند ب- جهت برنامه‌ریزی برداشت با توجه به شناسایی عملکرد مزارع استفاده دارد ج- تخمین وسایل حمل و نقل مورد نیاز برداشت و کاهش هزینه‌ها را میسر می‌سازد د- بهینه‌سازی قیمت کالا امکان‌پذیر می‌شود (Dimo et al., 2022).

عامل پیچیده محصول با عوامل گوناگون از یک سو و خود عوامل با هم از سوی دیگر باعث گردیده مدل‌سازی محصول بسیار دشوار گردد. تکنیک‌های سنجنش از دور در سال‌های اخیر به‌عنوان روش سریع و کم‌هزینه جایگزین روش‌های مرسوم برای پیش‌بینی عملکرد محصول و پایش رشد مورد ارزیابی قرار گرفته است (Robson et al., 2012). از آنجایی که داده‌های میدانی به‌خصوص برای مناطق بزرگ گران و وقت‌گیر هستند، روش‌های تخمین مبتنی بر سنجنش از دور می‌توانند کارایی مدل‌های بازده پیش‌بینی عملکرد محصول را افزایش دهند (Abebe et al., 2022; Luciano et al., 2021). داده‌های سنجنش از راه دور (RS)، می‌تواند جایگزین داده‌های میدانی شود. سنجنش از دور همچنین یک روش غیر مخرب است که نظارت بر پوشش گیاهی را به‌صورت زمانی و مکانی امکان‌پذیر می‌کند (Muruganatham et al., 2022; Weiss et al., 2020). دوره‌های زمانی از تصاویر ماهواره‌ای یک فرصت منحصر به فرد برای سنجنش از دور پوشش سطح زمین و پایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در تفکیک‌های مکانی و زمانی متفاوت می‌باشد (Moerel et al., 2014). در مطالعات زیادی امکان مشاهده تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت دوره‌های زمانی در تفکیک‌های متفاوت برای پایش سبزیگی، تشخیص محصولات، تهیه نقشه‌های الگوهای فصلی رشد، تناوب زراعی محصولات و پیش‌بینی عملکرد محصول بررسی شده است. سنجنش از دور برای پایش رشد و تخمین عملکرد نیشکر قابل کاربرد است. متعاقباً مطالعات زیادی استفاده از سری‌های زمانی مشاهده تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین عملکرد نیشکر را گزارش نمودند و اخیراً، تخمین عملکرد محصول با روش سنجنش از دور نتایج خوبی در برداشته است (Robson et al., 2012). ولی زمان‌بندی دریافت تصاویر و تأثیر شرایط آب و هوایی و تنش‌های دیگر (نظیر بیماری یا کمبود عناصر غذایی) سبب بروز نتایج غیردقیق شده است. تولید نیشکر به عوامل محیطی وابسته بوده و به‌طور ماهانه تغییر می‌کند که روابط پیچیده‌ای بین آن‌ها حاکم است. دهقانی و همکاران (۱۴۰۳) از هشت شاخص طیفی جهت تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای بر اساس تصاویر ماهواره لندست هشت در اراضی کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول استفاده کردند و طبق نتایج، امکان تخمین مقدار متوسط عملکرد محصول با شاخص‌های MNDWI،

1- Ethiopia

2- Modis

کشت نیشکر هستند. معدل روزانه بیشینه دما ۳۱/۷ درجه سلسیوس و معدل حداقل روزانه دما ۵/۲ درجه سلسیوس گزارش شده است. میانگین بارندگی سالانه ۲۶۵ میلی‌متر و تبخیر سالانه در این منطقه بسیار زیاد و نزدیک به ۳۰۰۰ میلی‌متر در سال است (ملایی، ۱۳۹۴). مزارع جدید نیشکر در منطقه مورد مطالعه از اوایل مردادماه به صورت قلمه کاشته می‌شود و فصل داشت تا انتهای مهرماه سال بعد تداوم می‌یابد. فصل برداشت، معمولاً از نیمه دوم مهرماه شروع شده و در شرایط بارندگی کم تا پایان اسفندماه و در شرایط نرمال بارندگی که بارندگی‌های پاییز و زمستان زیاد باشد، ادامه برداشت به ماه‌های فصل بهار مانند فروردین‌ماه، اردیبهشت‌ماه و خردادماه هم خواهد رسید.

در شکل شماره (۱) مشاهده می‌گردد که بافت‌های خاک منطقه شامل سیلت، لومی شنی، لومی، لومی سیلتی، لومی رسی سیلتی، لومی رسی شنی، لومی رسی و لومی رسی می‌باشند. برای تحقیق حاضر سه مزرعه کشت جدید A ۶۰۳ (بافت لومی)، B ۲۰۵ (بافت رسی) و H ۱۲۱ (بافت لومی رسی سیلتی) با وارسته CP69-1062 انتخاب گردید. در جدول شماره (۱)، درصد رس، شن و سیلت و در نهایت، بافت خاک برای هر کدام از مزارع ذکر شده است.

داده‌های سنجنش از دور

داده‌های ماهواره‌ای از دو ماهواره لندست هشت و نه و سنتینل دو با قدرت تفکیک مکانی متوسط می‌باشد. این ماهواره‌ها از دو سنجنده OLI^۳ در نه باند و TIS^۴ در دو باند تشکیل شده است. در جدول شماره (۲)، مشخصات نوع ماهواره، تاریخ نمونه‌برداری و مزرعه مورد نظر ذکر گردیده است.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌ها

تصاویر مربوطه از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۵ و سایت رسمی ماهواره سنتینل^۶ اخذ شد. پردازش تصاویر این سنجنده‌ها و استخراج اطلاعات به وسیله نرم‌افزار ENVI5.6 انجام گردید. در این پژوهش سه شاخص پوشش گیاهی سبزیگی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، سبزیگی ارتقاء یافته (EVI) و پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک (SAVI) مورد استفاده قرار گرفت (Arzani., 2002).

کنار روابط تخمین محصول نتایج رضایت بخشی در مطالعات مختلف در بر داشته است، اما محدودیت اصلی این روابط تحت شرایط پایدار قابلیت مشارکت دقیق تأثیر زیستی و غیرزیستی روی تولید محصول می‌باشد (Morel et al., 2014). اکثر شاخص‌هایی که برای تخمین عملکرد به کار می‌روند، در ساختار خود از باند قرمز (Red) و مادون قرمز (NIR) استفاده می‌کنند (Son et al., 2014). استفاده از داده‌های تولیدی سنجنش از دور می‌تواند سیستم کنونی کشاورزی را به سمت کشاورزی دقیق و علمی سوق دهد. در پژوهش حاضر، از شاخص‌های NDVI، SAVI و EVI استخراج شده از دو ماهواره لندست هشت و نه و سنتینل^۴ دو به منظور تخمین عملکرد نیشکر در سه مزرعه کشت جدید با سه بافت خاک متفاوت در کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه استان خوزستان استفاده شده است. همانگونه که در مطالعات پیشین ذکر شد شاخص‌های مذکور از متداول‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی بوده و به منظور نظارت بر تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. این پژوهش، به منظور ارزیابی دقت شاخص‌های پوشش گیاهی ذکر شده در برآورد عملکرد محصول نیشکر و تحلیل نتایج آن در مزارع با بافت خاک متفاوت صورت پذیرفت. به دلیل سهولت استفاده از این شاخص‌های گیاهی، این روش یکی از متداول‌ترین تکنیک‌های سنجنش از دور برای برآورد پارامترهایی از قبیل عملکرد می‌باشند. با توجه به اینکه تاکنون چنین مطالعاتی در کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه انجام نگرفته است مطالعه کنونی به منظور برآورد تخمین عملکرد گیاه نیشکر با مقایسه تصاویر همزمان ماهواره‌های لندست هشت و نه و سنتینل دو، انجام شده است. اهمیت این پژوهش از آنجاست که با دسترسی به تصاویر سنجنده به کمک رگرسین خطی، امکان تخمین عملکرد نیشکر فراهم می‌آید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه واقع در شمال غربی استان خوزستان می‌باشد. این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ در مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه در ۲۰ کیلومتری شهر شوش و ۹۰ کیلومتری شمال شهر اهواز میان رودخانه‌های دز و کرخه اجرا گردید. آب و هوای آن متأثر از آب و هوای عمومی دشت جنوب، گرم و خشک می‌باشد (ملایی، ۱۳۹۴). اراضی این منطقه دارای ارتفاع ۴۳ تا ۸۲ متر از سطح دریا می‌باشند. کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه نخستین واحد تولید شکر از نیشکر در ایران می‌باشد. سطح کل زمین‌های آن بیش از ۲۴۵۰۰ هکتار می‌باشد که نزدیک ۱۲۳۰۰ هکتار آن زمین‌های فاریاب مساعد

3- Operational Land Imager

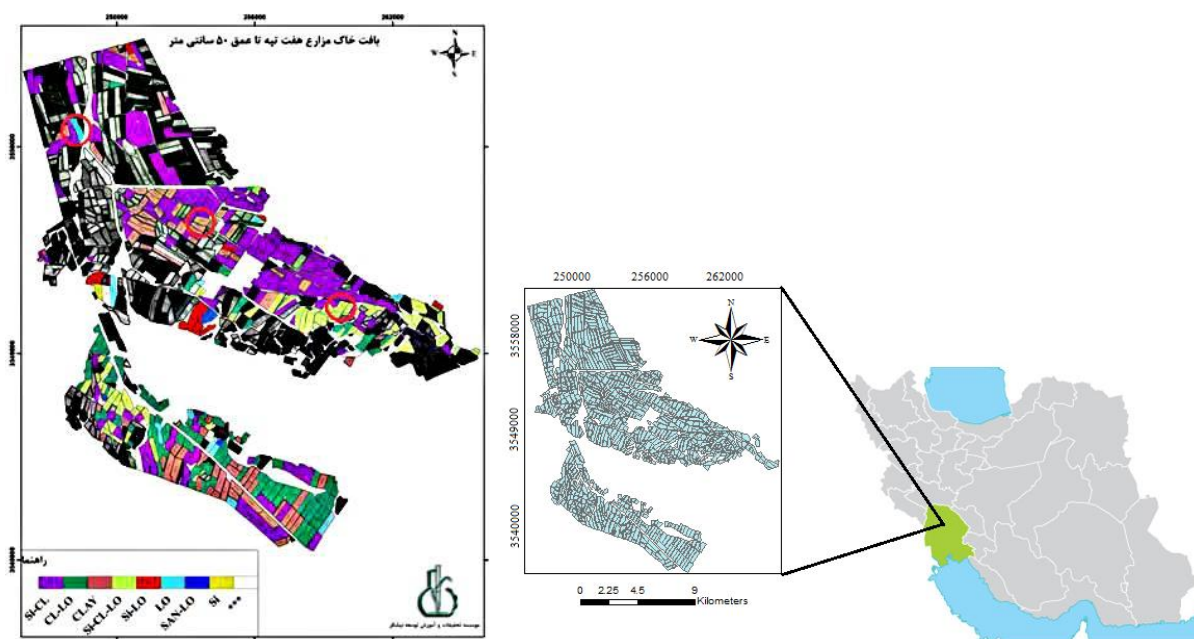
4- Thermal InfraRed Sensor

5- Earthexplorer.usgs.gov

6- SciHub.Copernicuse.eu

1- Landsat

2- Sentinel



شکل ۱- نقشه بافت خاک و موقعیت مزارع انتخاب شده

جدول ۱- درصد ذرات تشکیل دهنده و بافت خاک مزارع مورد مطالعه

بافت	clay	silt	sand	بلاک	مزرعه
لومی	۲۵/۸۰	۳۲/۰۰	۴۲/۲۰	A	۶۰۳
رسی	۵۳/۸۰	۳۷/۳۲	۸/۸۸	B	۲۰۵
لومی-رسی-سیلیتی	۳۹/۶۰	۵۰/۰۰	۱۰/۴۰	H	۱۲۱

جدول ۲- تاریخ و مشخصات سیستم تصاویر مورد استفاده در پژوهش

utm	مزرعه	تاریخ شمسی	نوع ماهواره	ردیف
WGS84-38N	205 B	۱۴۰۱/۱۲/۲۰	لندست ۸ - سنتینل ۲	۱
WGS84-38N	603 A	۱۴۰۲/۰۱/۳۱	لندست ۸ - سنتینل ۲	۲
WGS84-38N	121 H	۱۴۰۲/۰۳/۲۴	لندست ۹ - سنتینل ۲	۳
WGS84-38N	205 B	۱۴۰۲/۰۴/۱۸	لندست ۸ - سنتینل ۲	۴
WGS84-38N	603 A	۱۴۰۲/۰۵/۰۲	لندست ۸ - سنتینل ۲	۵
WGS84-38N	121 H	۱۴۰۲/۰۶/۱۱	لندست ۹ - سنتینل ۲	۶
WGS84-38N	205 B	۱۴۰۲/۰۷/۲۰	لندست ۸ - سنتینل ۲	۷
WGS84-38N	603 A	۱۴۰۲/۰۹/۲۵	لندست ۹ - سنتینل ۲	۸
WGS84-38N	121 H	۱۴۰۲/۱۱/۲۰	لندست ۹ - سنتینل ۲	۹

وسیع در شناسایی پوشش گیاهی و تخمین مقادیر عملکرد گیاهی به کار می‌رود. این شاخص، به طور متناوب در محصولات با زیست توده زیاد اشباع می‌شود و آلودگی‌های جوی اثر منفی روی آن دارد. شاخص سبزی‌نگی نرمال شده NDVI برای تعیین رشدشناسی محصول (فنولوژی)، زیست توده و بهره‌وری در تفکیک مکانی می‌باشد. این شاخص در کاهش تأثیرات تضعیف اتمسفر و سایه مؤثر

شاخص پوشش گیاهی سبزی‌نگی تفاضلی نرمال شده (NDVI¹)

شاخص پوشش گیاهی سبزی‌نگی تفاضلی نرمال شده یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی است که به طور

1- Normalized difference vegetation index

برآورد عملکرد محصول

برای ساخت مدل، روش‌های مختلفی وجود دارد. مدل‌های تجربی و روابط رگرسیونی، که نسبتاً ساده بوده و نیاز به داده‌های کمتری دارد. روابطی که برای تخمین عملکرد محصول ارائه شده است، عموماً بر محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی استوار بوده و با استفاده از این شاخص‌ها و با فرض یک نوع تابع (خطی، لگاریتمی، نمایی و ...)، پارامترهای تابع محاسبه و میزان عملکرد محصول تخمین زده می‌شود. برای دستیابی به رابطه همبستگی بین متغیر وابسته (عملکرد گیاهی یا محور y) و متغیر مستقل (شاخص گیاهی یا محور x) و همچنین انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

داده‌های زمینی

بعد از رسیدگی کامل محصول و قبل از برداشت مزرعه، داده‌های مربوط به تراکم و میانگین وزن تک‌ساقه در نقاط مختلف هر سه مزرعه در ایستگاه‌های اندازه‌گیری مشخص و مقدار عملکرد ساقه در هکتار در نقاط اندازه‌گیری شده محاسبه گردید.

رابطه رگرسیونی خطی

مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی در نقاط اندازه‌گیری برای دو ماهواره لندست و سنتینل که به‌طور همزمان از منطقه مورد مطالعه در حال گذر بود در سه نوبت (ابتداء، وسط و انتهای دوره) با استفاده از تصاویر، استخراج و نتایج با مقادیر عملکرد شاهد مقایسه گردید. شاخص آماری R^2 هر رابطه رگرسیونی به‌طور جداگانه محاسبه گردید، سپس با توجه به نتایج شاخص آماری، روابط برتر انتخاب شد. جهت دستیابی به رابطه همبستگی بین متغیر وابسته (عملکرد گیاهی) و متغیر مستقل (شاخص گیاهی) و همچنین برازش رابطه رگرسیون خطی و انجام محاسبات آماری، از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

ارزیابی

جهت مقایسه میزان دقت عملکرد شاخص‌ها، ضریب تبیین (R^2) میان داده‌های برداشت شده زمینی و مقدار متناظر در شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه گردید (رابطه ۴).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)^2} \quad (4)$$

که در آنها P_i : مقادیر تخمین زده شده، O_i : مقادیر مشاهده شده، n : تعداد نمونه‌های به‌کار رفته، \bar{O}_i : مقدار متوسط پارامتر مشاهده‌شده است. مزارع در بافت‌های متفاوت خاک برای ارزیابی کارکرد روابط استفاده گردید، بدین‌منظور، داده‌های عملکرد هر مزرعه با نتایج به‌دست آمده از رابطه رگرسیونی خطی بعد از به‌دست آوردن شاخص پوشش گیاهی در همان نقاط، مورد مقایسه قرار گرفته تا

است (Bastidas et al., 2007). شاخص پوشش گیاهی NDVI در برابر رنگ خاک، رطوبت خاک و اثرات اشباع از پوشش گیاهی با چگالی بالا، ناپایدار و متفاوت است. به‌ویژه در مناطقی که سطح پوشش گیاهی کم است و سطح خاک در معرض نور قرار گرفته است، بازتابی از نور در طیف الکترومغناطیسی قرمز و مادون قرمز می‌تواند مقادیر شاخص‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (1)$$

که در آن R_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک (باند پنج در ماهواره لندست و باند هشت در ماهواره سنتینل) و R_{Red} باند قرمز (باند چهار در ماهواره لندست و سنتینل) می‌باشد.

شاخص پوشش گیاهی سبزیگی ارتقاء یافته (EVI')

شاخص پوشش گیاهی EVI در واقع همان شاخص NDVI بهینه شده است. می‌توان اظهار داشت که در این شاخص اثرات پخش اتمسفر حذف یا تعدیل می‌شود. شاخص پوشش گیاهی سبزیگی ارتقاء یافته (EVI) شاخص بهتری برای بهبود حساسیت در نواحی دارای زیست‌توده زیاد بوده و از داده‌های ماهواره‌های لندست و سنتینل می‌باشد. این شاخص پوشش گیاهی به شاخص نرمال پوشش گیاهی یا NDVI نزدیک است. با توجه به نقص‌هایی که در شاخص پوشش گیاهی NDVI وجود دارد این شاخص مد نظر قرار می‌گیرد. با توجه به ضعف شاخص NDVI و شرایط جوی در شاخص EVI، ضرایبی برای تصحیح بهتر اتمسفری استفاده می‌شود. این شاخص موجب به حداقل رساندن تأثیر روشنایی خاک بر طیف باندهای قرمز و مادون قرمز می‌شود.

$$EVI = 2.5 \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + 6 R_{Red} - 7.5 R_{Blue} + 1} \quad (2)$$

R_{Blue} باند آبی (باند دو در ماهواره لندست و سنتینل) می‌باشد.

شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک (SAVI')

شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک (SAVI) مؤثر در به حداقل رساندن اثرات خاک پس‌زمینه روی سیگنال‌های پوشش گیاهی با استفاده از فاکتور تنظیم کننده خاک (L) با مخرج NDVI می‌باشد (Huete, 2002). فاکتور $(1+L)$ تضمین می‌کند حدود دامنه SAVI همانند NDVI بین -1 و $+1$ باشد (Noureddin et al., 2013, Panda et al., 2010). ضریب L با توجه به پوشش منطقه $0/5$ لحاظ گردید.

$$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red} (1 + L)}{(R_{NIR} + R_{Red} + L)} \quad (3)$$

آبیاری آخر مزرعه تا قندسازی محصول (۲۰ تا ۴۰ روز بعد از اتمام آبیاری آخر) و قبل از تأثیر عوامل محیطی مثل سرما و خشکی بر شکل ظاهری محصول در برآورد عملکرد کارائی مناسبی دارند (جدول ۳).

با بررسی جدول شماره (۳)، برای مزرعه ۱۲۱ شاخص EVI ماهواره سنتینل دو، در مزرعه ۲۰۵ شاخص EVI ماهواره سنتینل دو و برای مزرعه ۶۰۳ شاخص SAVI ماهواره سنتینل دو، بیشترین مقدار همبستگی را بین شاخص طیفی و عملکرد محصول داشته‌اند. ضریب همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و SAVI و همچنین NDVI در اوایل دوره رشد اندک بود. به‌طور کلی، این شاخص‌ها در مرحله ابتدایی و انتهایی بعد از پایان قندسازی محصول نتوانست با دقت خوبی با مقدار عملکرد محصول در ارتباط باشد. برای هر سه مزرعه در مرحله پایانی رشد دقت شاخص‌ها در برآورد عملکرد محصول به یکدیگر نزدیک می‌باشد.

میزان صحت و اعتبار رابطه به‌دست آید. در این پژوهش، برای ارزیابی و مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهداتی از ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، اختلاف نسبی بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (رابطه ۵) و جهت ارزیابی نرمال بودن داده‌ها و همچنین میزان همبستگی از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (5)$$

نتایج و بحث

پیش‌بینی عملکرد ساقه در هکتار نیشکر با استفاده از رابطه رگرسیون خطی انجام گرفت. با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد میزان ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با متغیر گیاهی بیشتر شد، به‌نحوی که می‌توان گفت شاخص‌های حاصل از تصاویر دوره پایانی رشد، در فاصله زمانی شروع

جدول ۳- میزان بیشترین ضریب تبیین بین شاخص‌های طیفی و عملکرد محصول

ماهواره	شاخص	۱۴۰۲/۰۶/۱۱	۱۴۰۲/۰۷/۲۰	۱۴۰۲/۰۹/۲۵
		121 H	205 B	603 A
Landsat	NDVI	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۶۹
	EVI	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۵۰
	SAVI	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۴۸
Sentinel	NDVI	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۶۱
	EVI	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۶۷
	SAVI	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۷۶

دارد. این نتیجه‌گیری با نتایج پژوهش‌های یاقوتی و همکاران (۱۳۹۷) که در مزارع برنج استان‌های شمالی کشور انجام شده بود و از میان شاخص‌های مذکور، NDVI را مناسب‌ترین شاخص برای برآورد عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج معرفی کرده بودند متفاوت است. در ادامه رابطه‌هایی که برای تخمین عملکرد محصول نیشکر با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی برتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند در جدول شماره (۴)، آمده است.

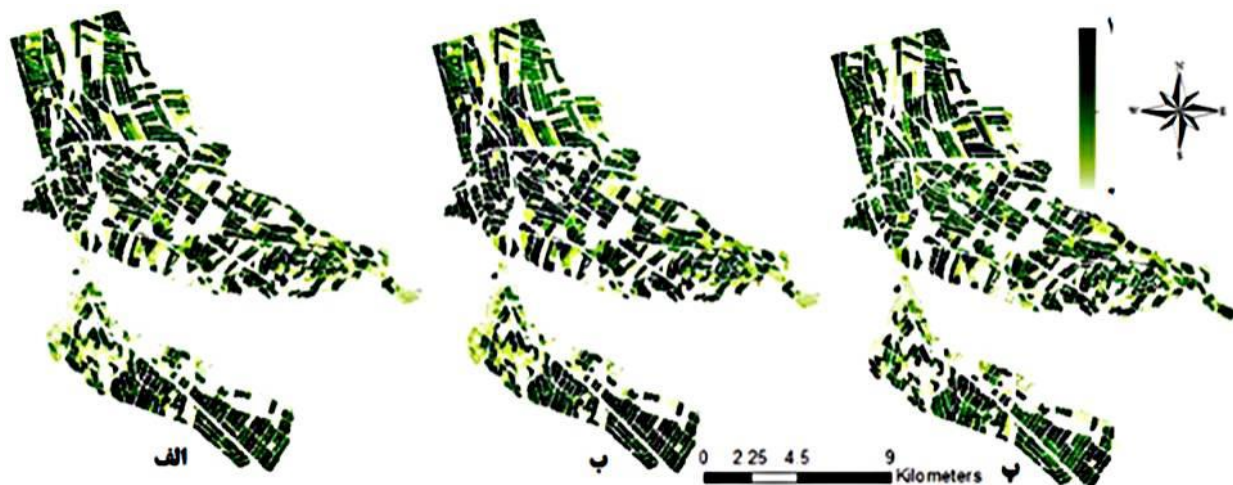
در شکل شماره (۲) نقشه‌های مربوط به شاخص پوشش گیاهی برتر در هر بافت خاک (جدول ۴) با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.6 بدست آمد.

در این پژوهش، تمام اجزای این رابطه رگرسیونی برای همه تصاویر موجود در بازه زمانی دوره اصلی رشد محصول نیشکر محاسبه شد. با استفاده از رابطه نهایی و شاخص برتر مربوط به هر بافت خاک (جدول ۴)، اقدام به تهیه نقشه تخمین عملکرد محصول (شکل ۳)، برای این منطقه گردید.

نتایج جدول شماره (۳) با پژوهش خسروی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) که میانگین ضریب تبیین را در بررسی یک مدل رگرسیونی بین عملکرد نیشکر و شاخص NDVI، ۰/۶۳ گزارش نموده‌اند، بسیار نزدیک می‌باشد. در مجموع عدم تطابق بین شاخص‌های طیفی و مقدار عملکرد محصول در مرحله ابتدایی تصویربرداری را می‌توان به دلیل وجود عوامل مؤثر که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند مثل بروز و شیوع علف هرز، آفات و بیماری‌ها، آب‌ماندگی و در مرحله پایان تصویربرداری (بعد از پایان فصل رشد) را به دلیل تغییر عوامل ظاهری محصول مثل تغییر رنگ و غیره دانست، قابل ذکر است این گروه از شاخص‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌علت اثر سایه ایجاد شده توسط اندام‌های هوایی گیاه و جذب نور قرمز توسط برگ-ها و ساقه‌ها توانایی خوبی در برآورد پوشش گیاهی و به‌طور کلی بیوماس ندارند که نتایج این بخش با نتایج بارت و همکاران و صباغ‌زاده همخوانی دارد (Baret et al., 1991, Sabaghzadeh., 2017). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول شماره (۱) شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و SAVI نسبت به شاخص NDVI ارجحیت

جدول ۴- مشخصات رابطه‌های رگرسیونی پیش‌بینی شده محصول نیشکر

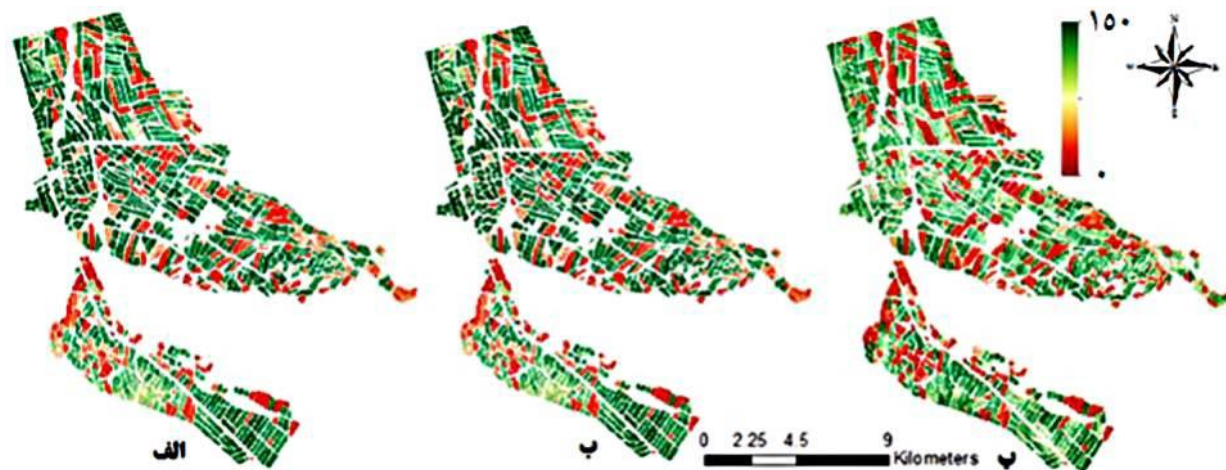
مزرعه	بافت خاک	شاخص پوشش گیاهی	ماهواره	رگرسیون خطی
205 B	رسی	EVI	سنتینل ۲	Performance=137.127 EVI+12.240
603 A	لومی	SAVI	سنتینل ۲	Performance =391.868 SAVI-68.836
121 H	لومی، رسی، سیلتی	EVI	سنتینل ۲	Performance =250.606 EVI-75.312



شکل ۲- نقشه (الف) شاخص EVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۷/۲۰ ماهواره سنتینل ۲

(ب) شاخص SAVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ ماهواره سنتینل ۲

(پ) شاخص EVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۶/۱۱ ماهواره سنتینل ۲



شکل ۳- نقشه تخمین محصول نیشکر با استفاده از رابطه رگرسیونی (الف) شاخص EVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۷/۲۰ ماهواره سنتینل ۲

(ب) شاخص SAVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ ماهواره سنتینل ۲

(پ) شاخص EVI مزارع در تاریخ ۱۴۰۲/۰۶/۱۱ ماهواره سنتینل ۲

از رابطه رگرسیونی در مزارع با بافت رسی، ۹۹ تن در هکتار، در مزارع با بافت لومی، ۱۰۷ تن در هکتار و در مزارع با بافت لومی، رسی، سیلتی ۱۱۶ تن در هکتار محاسبه شد که با مقادیر واقعی عملکرد که

با توجه به رابطه‌های رگرسیونی انتخاب شده عملکرد نیشکر در طول دوره مورد پژوهش بین ۶۰ تا ۱۵۰ تن محصول بر هکتار قرار می‌گیرد. متوسط عملکرد محصول نیشکر در طول این دوره با استفاده

مشاهده شده از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنف و شاپیرو-ویلک استفاده شد (جدول ۵).

همان‌گونه که در جدول شماره (۵) مشاهده می‌شود، نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنف و شاپیرو ویلک نشان‌دهنده نرمال بودن داده-هاست. در مرحله بعد، برای بررسی ارتباط بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌شده با رابطه رگرسیون، آزمون همبستگی پیرسون انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره (۶)، ارائه شده است.

۱۰۱، ۱۰۶ و ۱۱۹ تن بر هکتار بودند اختلاف ناچیز (۳-۱) تن در هکتار) را نشان داد. این اعداد تأییدکننده دقت بالاتر عملکرد تخمین و مشاهده‌ای در مزارع با بافت لومی می‌باشد. در مطالعه خسروی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) در کشت و صنعت نیشکر میان‌آب برآورد میانگین عملکرد نیشکر با استفاده از شاخص‌های طیفی، ۸۶ تن در هکتار تخمین گردید که چهار تن در هکتار کمتر از مقدار مشاهده‌شده بود. در ادامه جهت بررسی نرمال بودن داده‌های رابطه رگرسیونی با مقادیر

جدول ۵- نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها

داده	N	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		603 A	205 B	121 H	603 A	205 B	121 H
برآورد رابطه رگرسیونی	۱۵	۰/۵۸۰	۰/۲۲۰	۰/۸۲۷	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰
برداشت شده	۱۵	۰/۰۸۶	۰/۶۲۶	۰/۲۲۱	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰

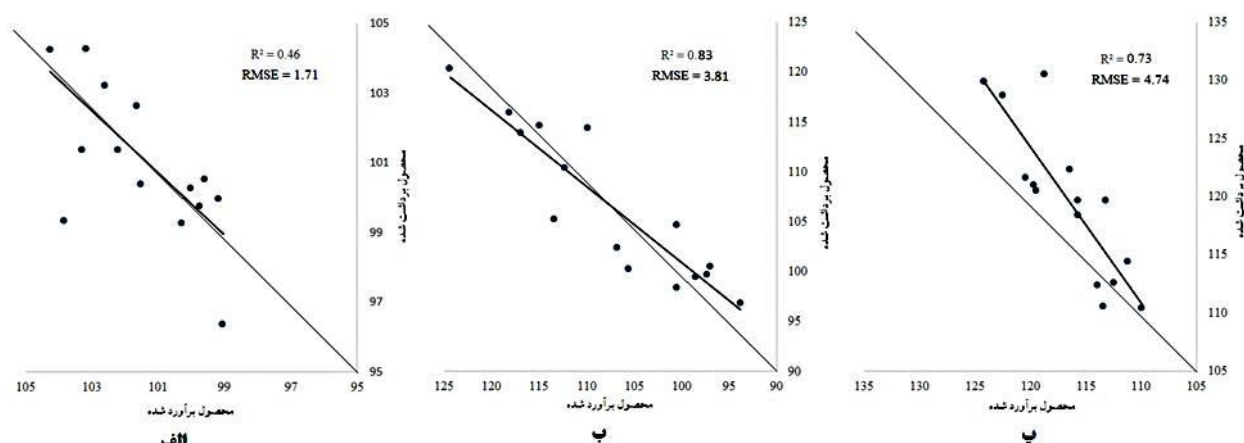
جدول ۶- همبستگی بین مقادیر برداشت‌شده و محاسبه‌شده

داده	603 A	205 B	121 H
	برداشت‌شده	برداشت‌شده	برداشت‌شده
برآورد رابطه رگرسیونی	۰/۹۱۲**	۰/۶۷۹**	۰/۸۵۴**

نتایج جدول نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد است.

رگرسیونی خطی و داده‌های برداشت شده از اندازه‌گیری مزرعه‌ای در مزرعه ۶۰۳ بلاک A با بافت خاک لومی که نسبت به دو مزرعه دیگر بافت خاک سبک‌تر دارد و کمترین میزان همبستگی در مزرعه ۲۰۵ بلاک B با بافت خاک رسی و سنگین‌تر بدست آمد. نتایج تعیین اعتبار رابطه رگرسیونی برای عملکرد محصول نیشکر در شکل شماره (۴)، نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای در هر سه مزرعه با بافت خاک متفاوت، همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده رابطه بسیار قوی بین این داده‌ها می‌باشد. همانگونه که داده‌های جدول شماره (۶)، نشان می‌دهد براساس آزمون پیرسون بیش‌ترین همبستگی بین داده‌های برآوردشده با استفاده از رابطه



شکل ۴- مقادیر ضریب تبیین و RMSE مقادیر مشاهداتی و برآوردشده رابطه رگرسیونی (تن در هکتار) در مزارع با (الف) بافت رسی (ب) بافت لومی (پ) بافت لومی - رسی - سیلتی

منابع

- حیبی اصل، ج.، عساکره، ع. و بهبهانی نژاد، ن. ۱۴۰۲. ارزیابی تولید نیشکر بر اساس تحلیل اکسرژی تجمعی و اثرات زیست‌محیطی (مطالعه موردی: کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان). دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۳ (۴): ۳۱۰-۲۹۴.
- خسروی‌راد، م.، امید، م.، سرمیدان، ف. و حسین‌پور، س. ۱۳۹۸. پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از پردازش سری زمانی تصاویر ماهواره ای لندست (مطالعه موردی: منطقه میان‌آب استان خوزستان). مهندسی بیوسیستم ایران. ۵۰ (۲): ۴۱۴-۳۹۹.
- دهقانی، ت.، لیاقت، ع.، رضایی‌راد، ه. و احمدپری، ه. ۱۴۰۳. تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای بر اساس تصاویر ماهواره لندست هشت (مطالعه موردی: اراضی کشت و صنعت شهیدبهشتی دزفول). آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۱۸): ۴۴۷-۴۳۳.
- رضایی، م.، رائینی سرجاز، م.، شاه‌نظری، ع. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۳. برآورد عملکرد برنج در بخشی از شبکه سفیدرود گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: صومعه‌سرا). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۸): ۵۹۱-۶۰۱.
- علی‌آبادی، ک. و انتصاری، ع. ۱۳۹۳. تخمین پارامتر فیزیکی (زیست‌توده) پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۴ (۱۵): ۳۳-۲۳.
- ملایی، ن. ۱۳۹۴. تأثیر مدیریت‌های گوناگون کشت نیشکر بر برخی از شناسه‌های کیفیت خاک در منطقه هفت‌تپه خوزستان. رساله کارشناسی ارشد.
- ولاشجردی، م.م.، حمزه، س. مقدسی، م. و شینی‌دشتگل، ع. ۱۳۹۷. مدل‌سازی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از مدلی ترکیبی مبتنی بر داده‌های سنجنش از دور. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵ (۶): ۲۵-۳۳.
- یاقوتی، ح.، پذیرا، ا.، امیری، ا. و مسیح‌آبادی، م.ح. ۱۳۹۷. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و فن‌آوری سنجنش از دور برای تخمین عملکرد برنج. حفاظت منابع آب و خاک، ۷ (۳): ۶۹-۵۵.
- Abebe, G., Tadesse, T. and Gessesse, B. 2022. Combined Use of Landsat 8 and Sentinel 2A Imagery for Improved Sugarcane Yield Estimation in Wonji-Shoa, Ethiopia. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 50: 143-157.
- Ali, S.M. and Mohammed, M.J. 2013. Gap-filling restoration methods for ETM+ sensor image. Iraqi Journal of Science. 54(1): 206-214.
- Apan, A., Held, A., Phinn, S., and Markley, J. 2004. Detecting sugarcane "orange rust" disease using EO-1 satellite imagery. International Journal of Remote Sensing. 25(12): 2605-2615.
- رابطه رگرسیون طراحی شده بیانگر برآورد قابل‌قبول تخمین عملکرد محصول بوده و تفاوت چندانی بین داده میدانی و مقدار عملکرد برآوردشده از طریق رگرسیون وجود ندارد. رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده‌شده برای عملکرد نیشکر با شیب خط 1:1 تفاوت اندکی نشان داد. بر اساس شکل شماره (۴)، ضریب تبیین به‌دست‌آمده نیز بر همبستگی قابل‌قبول بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی تأکید دارد. ارتباط بالای بین مقادیر برآورد شده و مشاهداتی و نیز پایین بودن مقادیر خطا بین این دو مقدار در این نمونه آماری، می‌تواند تأکید دیگری بر برآورد درست عملکرد محصول باشد. بر اساس این نتایج، مزارع با بافت لومی همبستگی و پراکنش بهتری با رابطه رگرسیونی نشان داد. به‌طور کلی، می‌توان گفت دقت برآورد رابطه رگرسیونی در محدوده عملکردی بالا بوده و خروجی آن مشابه مشاهدات است. در تحقیقات نارسا و همکاران نیز نتایج مشابه این مطالعه به‌دست آمد (Nuarsa et al., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهنده دقت این روش برای دوره‌های پایانی رشد بهتر از دوره‌های ابتدایی رشد گیاهان می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه این تخمین نشان داد که استفاده از پردازش شاخص‌های پوشش گیاهی SAVI و EVI ماهواره سنتینل دو، برای منطقه مورد مطالعه رضایت‌بخش بوده و رابطه خوبی با عملکرد ساقه در هکتار نیشکر دارند و نیز جهت تخمین عملکرد محصول، کارایی دارند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای کشت و صنعت‌های نیشکری استان خوزستان، در راستای ارزیابی و بهینه‌سازی فرآیند تولید نیشکر و تخمین عملکرد محصول نیشکر راه‌گشا باشد. همچنین به برنامه‌ریزان مزرعه این امکان را می‌دهد که با تهیه تصویر برگزیده در سال زراعی و استخراج شاخص برتر، عملکرد مزرعه را با دقت خوب تخمین بزنند که این قبیل اطلاعات کمک شایانی در پیش‌بینی تولید و تخمین بیلان اقتصادی مزرعه دارد. از سوی دیگر با تهیه و فراهم کردن این قبیل اطلاعات می‌توان، میزان عملکرد واقعی موجود در سطح مزارع را پوشش داده و با ارائه این نقشه‌ها به مدیران زراعی در نزدیک کردن عملکرد واقعی به سطح عملکرد مطلوب گام مؤثری برداشته شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی شرکت کشت و صنعت هفت‌تپه خوزستان و واحد پژوهشی دانشگاه شهیدچمران اهواز از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره SCU.WI.1402.144 تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از حامیان مالی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

- series of fIPAR to optimise the yield estimation. *European Journal of Agronomy*.
- <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.08.004>
- Muruganatham, P., Wibowo, S., Grandhi, S., Samrat, N.H. and Islam, N.A. 2022. Systematic Literature Review on Crop Yield Prediction with Deep Learning and Remote Sensing. *Remote Sensing*. 14(1990).
- Nuarsa, I.W., Nishio, F., and Hongo, Ch. 2012. Rice yield estimation using Landsat ETM+ data and field observation. *Journal of Agricultural Science*. 4(3): 45-56.
- Pagani, V., Stella, T., Guarneri, T., Finotto, G., Van Den Berg, M., Marin, F.R., Acutis, M. and Confalonieri, R. 2017. Forecasting Sugarcane Yields Using Agro-Climatic Indicators and Canegro Model: A Case Study in the Main Production Region in Brazil. *Agricultural Systems*. 154: 45-52.
- Robson, A., Abbott, C., Lamb, D. and 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*. 48-62.
- <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022592>.
- Sabaghzadeh, S., Zare, M. and Mokhtari, M.H. 2017. Estimation biomass using Landsat satellite images (case study: Merck basin, Birjand). *Journal of Range and Watershed Managment*. 69(4): 907-920.
- Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N. and Ghaemi, M. 2014. Wheat yield estimation using landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Plant Production*. 20(4): 45-63.
- Son, N.T., Chen, C.F., Chen, C.R., Minh, V.Q. and Trung, N.H. 2014. A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 197: 52-64.
- Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. 2020. Remote Sensing for Agricultural Applications: A Meta-Review. *Remote Sensing of Environment*. 236.
- Zaki Dizaji, H., Monjezi, N. and 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.
- 1 Hyperion hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*.
- <https://doi.org/10.1080/01431160310001618031>
- Arzani, H. 2002. Examination of vegetation indices for vegetation parameters measurements in semi-arid and arid area. *The 3rd international Iran and Russia conference (agriculture and natural resources)*. 2: 596-603.
- Baret, F. and Guyot, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 35(2-3): 161-173.
- Chendra, A., Yernaidu, Y. and Patel, S. 2022. Recent Technological Advancement to Enhance Quality Aspects of Sugarcane. *Akinik Publication*. 145-163.
- Crippen, R.E. 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*. 34(1): 71-73.
- Dimo, D. Johannes, H. Fabian, L. and Gezahagn, N.S. 2022. Sugarcane yield estimation through remote sensing time series and phenology metrics. *Smart Agricultural Technology*. 2(10046): 1-13.
- Essari, M. and Mirlatifi, S. 2014. 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*.
- Hoffman, N., Singels, A., Patton, A. and Ramburan, S. 2018. Predicting Genotypic Differences in Irrigated Sugarcane Yield Using the Canegro Model and Independent Trait Parameter Estimates. *European Journal of Agronomy*. 96: 13-21.
- https://doi.org/https://ijbse.ut.ac.ir/article_68269.html.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and 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. and 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)
- Luciano, A.C.D.S., Picoli, M.C.A., Duft, D.G., Rocha, J.V., Leal, M.R.L.V. and Le Maire, G. 2021. Empirical Model for Forecasting Sugarcane Yield on a Local Scale in Brazil Using Landsat Imagery and Random Forest Algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 184(106063).
- Morel, J., Bégué, A., Todoroff, P., Martiné, J.F., Lebourgeois, V. and Petit, M. 2014. Coupling a sugarcane crop model with the remotely sensed time

Estimation of Sugarcane Yield Using Landsat and Sentinel Satellite Images (Case Study: Haft-Tappeh Sugarcane Cultivation and Industry)

M. Kaydani^{1*}, A. Hooshmand², S. Hamzeh³

Recived: Dec.04, 2024

Accepted: Dec.30, 2024

Abstract

Estimating the amount of sugarcane crop has a key role for a wide range of applications such as sugarcane production management. In this research, the prediction of sugarcane crop yield with the methods of Normalized Differential Greenness Index (NDVI), Enhanced Greenness Index (EVI) and Soil Amended Vegetation Spectral Index (SAVI) extracted from satellite images is examined. was placed for this, Landsat 8 and 9 and Sentinel 2 satellite images from March 1401 to February 1402 were used. First, three fields with different soil texture were selected, then satellite images were taken in three stages for each field according to the simultaneous passage of two satellites from the study area, and at specific points the values of NDVI, EVI and SAVI indices after correction and processing It was extracted from satellite images and their correlation with observed yield data was obtained. The results showed that SAVI of Sentinel 2 satellite in loamy soil texture and EVI of Sentinel 2 satellite in loamy-clay-silty and clayey soil texture were more related with explanation coefficient of 0.76. Then, based on the superior index, the fitted linear regression relationship between the index and yield was obtained for each farm with different soil texture. The results of the relationship analysis showed a strong correlation between the observed and calculated values with the linear regression relationship of sugarcane yield in all three fields. The highest explanatory coefficient and predictive correlation of the regression relationship with observed values of 0.83 and 0.91 were obtained in the field with loamy soil texture. In general, the results of this research showed that the more the heavy texture of the soil is reduced, the more reliable the results of the fitted regression relationship can be.

Keywords: Crop Yield, Landsat, Sentinel, Sugarcane, Vegetation Index

1- Doctoral student of water science and engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: Kaydanimehdi63@gmail.com)