

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و فن‌آوری سنجش از دور برای تخمین عملکرد برنج

حدیث یاقوتی^۱، ابراهیم بذیرا^۲، ابراهیم امیری^۳، محمدحسن مسیح آبادی^۴

۱) دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲) استاد گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳) استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: eamiri57@yahoo.com

۴) استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۶

چکیده:

برنج اصلی‌ترین محصول استان‌های شمالی ایران به‌شمار می‌رود. نظارت بر تولید سالانه و سطح زیر کشت برنج به عنوان محصولی راهبردی، نقش بسزایی در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی دارد. امروزه می‌توان با تکیه بر فن‌آوری سنجش از دور و شاخص‌های پوشش گیاهی روش‌های مدیریتی را بهبود بخشید. پژوهش حاضر با هدف برقراری رابطه رگرسیونی بین عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج در سال ۱۳۹۱ (۲۰۱۲م) و شاخص‌های NDVI، SAVI، DVI و RVI مستخرج از تصاویر ماهواره لندست ۷، در شالیزارهای شهرستان شفت، انجام گرفته است. بیشترین همبستگی بین عملکرد تولیدی و شاخص‌ها در مرحله گلدهی برنج دیده شد و از میان شاخص‌های مذکور، NDVI مناسب‌ترین شاخص برای برآورد عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج در منطقه معرفی می‌شود. معیارهای آماری نشان از توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی دارد. شاخص کارایی مدل‌سازی (EF) برای ارقام محلی و پرمحصول، در سال زراعی ۱۳۹۲ (۲۰۱۳م) به ترتیب معادل با ۰/۶۰ و ۰/۴۱ بود؛ که بیانگر کارآمدی بالای مدل در پیش‌بینی قابل قبول درصد کاهش عملکرد محصول می‌باشد. نتایج طراحی مدل حاکی از آن است که میزان عملکرد شبیه‌سازی شده، برآزش خوبی با مقادیر مشاهده شده دارد. نتایج آزمون آماری، نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود ندارد ($P > 0.05$). مقدار ضریب تبیین ۰/۷۰ و ۰/۶۶ بین عملکرد واقعی و برآورد شده می‌تواند ناشی از تغییر شرایط کاشت و مدیریت زراعی، آفات و امراض گیاهی، وضعیت آب و هوایی منطقه و بسیاری از متغیرهای محیطی باشد.

کلید واژه‌ها: سنجش از دور؛ شالیزار؛ مدل تجربی؛ NDVI

مقدمه

دریای خزر به‌ویژه استان گیلان و مازندران بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت برنج را به خود اختصاص داده‌اند (Rezaei et al., 2016).

برآورد عملکرد برنج پیش از برداشت، می‌تواند در اقدامات به موقع در امور تجاری و امنیت مواد غذایی،

آسیا موطن اصلی برنج است و از هزاران سال پیش در این قاره کشت می‌شود. برنج از محصولات مهم کشاورزی و منبع اصلی غذایی حدود نیمی از جمعیت جهان به‌شمار می‌رود (Son et al., 2014). نواحی ساحلی

ورودی مدل، فقط در مقیاس منطقه تحت بررسی، کاربردی می‌باشد (Yuping *et al.*, 2008).

در این زمینه تحقیقات مشابهی برای برآورد عملکرد گندم با استفاده از شاخص‌های طیفی انجام گرفته و نتایج مطلوبی حاصل شده‌است، به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه Bao و همکاران (۲۰۰۹) برای برآورد میزان بایومس گندم زمستانه از طریق داده‌های طیفی و مکانی سنجش از دور اشاره کرد که برای محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی از تصاویر لندست و MODIS استفاده شده‌است. محققین در اکثر مطالعات تخمین عملکرد به علت دسترسی آسان و اقتصادی با قدرت تفکیک میانه (۱۰ تا ۱۰۰ متر) از این تصاویر استفاده می‌کنند، Matinfar (۲۰۱۳) نیز برای مدل‌سازی عملکرد گندم از تصاویر سنجنده ETM+ در دشت رازان بهره‌گرفت و به نتایج قابل قبولی دست یافت. مطالعات Zhang و همکاران (۲۰۱۲)، روی ارتباط بین شاخص NDVI و عملکرد در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به کمک تصاویر MODIS، بر دقت پیش‌بینی تاکید دارد.

همچنین پژوهش‌هایی که پیرامون برنج انجام گرفته است به طور اجمالی مرور می‌گردد. تحقیقی که Aboelghar و همکاران (۲۰۱۱) در حاشیه رودخانه نیل در مصر اجرا کردند، به ارزیابی رابطه رگرسیون خطی بین چندین شاخص پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای SPOT و عملکرد برنج در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میلادی پرداخته‌است. مقایسه مدل‌های تولیدی نشان از برتری شاخص سطح برگ (LAI)^۲ دارد.

درویش‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) از تصاویر ماهواره ALOS-AVNIR-2 برای تخمین بایومس^۳ برنج در

ساماندهی حمل و نقل تولیدات در داخل کشور و اتخاذ تصمیمات مرتبط از سوی برنامه‌ریزان بخش کشاورزی موثر باشد (Mosleh *et al.*, 2015; Nourodin *et al.*, 2013). در سال‌های اخیر تصاویر ماهواره‌ای با در اختیار قرار دادن اطلاعات فضایی در سطح وسیع امکان پیش‌بینی محصول را برای کاربران فراهم کرده‌است (Johnson, 2014) و برای نیل به این هدف، کمی‌سازی روابط بین پارامترهای زراعی و خواص طیفی گیاه راهکار پیشنهادی می‌باشد (Nuarsa *et al.*, 2012).

تولید گیاهان به‌طور مستقیم به فعل و انفعالات بین انرژی خورشیدی و سطح گیاهان بستگی دارد (Wei-guo *et al.*, 2009; Bao *et al.*, 2011) و تکنیک‌های سنجش از دور می‌تواند با اندازه‌گیری این انرژی، میزان تولید گیاهان را برآورد نماید (Son *et al.*, 2014; Nuarsa *et al.*, 2012).

یکی از روش‌های کارآمد جهت پایش محصولات کشاورزی استفاده از شاخص‌های طیفی است (Lin *et al.*, 2011; Cheng and Wu, 2014). اکثر شاخص‌هایی که برای تخمین عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند، در ساختار خود از باند قرمز و مادون قرمز نزدیک (NIR) استفاده می‌کنند (Son *et al.*, 2014; Ali and

Mohammed, 2013). فرآیند مدل‌سازی بر اساس شاخص‌های پوشش گیاهی^۱ (VI)، مستخرج از داده‌های سنجش از دور انجام می‌گیرد (Nourelidin *et al.*, 2013; Matinfar, 2013). چگونگی استفاده از این فن‌آوری در مطالعات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است (Lin *et al.*, 2009; Cheng and Wu, 2011; Rahman *et al.*, 2014).

با این حال، از خصوصیات این مدل‌ها، طراحی ویژه مختص به هر منطقه می‌باشد و نتایج بدست آمده به دلیل محدودیت در اطلاعات مکانی، متغیرها و پارامترهای

^۲ Leaf Area Index

^۳ Biomass

^۱Vegetation Indices

^۸ SAVI و LAI از تصاویر لندست ۵ و ۷ تلاش کردند مقدار عملکرد، زیست توده و کاه را در شمال ایران پیش‌بینی کنند. نتایج گویای دقت مناسب مدل طراحی شده با کمک شاخص SDVI بود.

همچنین Siyal و همکاران (۲۰۱۵) در پاکستان تلاش کردند، با استفاده از شاخص‌های NDVI و ^۹ RVI حاصل از تصاویر دوره ۸ ساله سنجنده ETM+ مقدار عملکرد برنج را در سال ۲۰۱۳ تخمین بزنند. مدل رگرسیونی پیشنهادی آنان بین مقدار محصول برداشت شده و مقدار شاخص‌های NDVI و RVI در اوج دوره سبزیگی گیاه، به ترتیب با ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۴ و ۰/۸۷۵ برای تخمین عملکرد به‌کار گرفته شد. وجود همبستگی بین مقدار برنج تولیدی و پیش‌بینی شده، گویای توانایی مدل شبیه‌سازی برای برآورد عملکرد می‌باشد.

استفاده از داده‌های تولیدی سنجش از دور می‌تواند سیستم کنونی کشاورزی را به سمت کشاورزی دقیق و علمی سوق دهد. در تحقیق حاضر از شاخص‌های NDVI، SAVI، DVI و RVI استخراج شده از سنجنده ETM+ به منظور پیش‌بینی میزان عملکرد محصول برنج در شهرستان شفت استفاده شده است. شاخص‌های مذکور از متداول‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشند که تاکنون در مطالعات زیادی به منظور نظارت بر تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو، پس از شناسایی مناسب‌ترین شاخص و طراحی مدل برای برآورد عملکرد برنج، ارزیابی و کارایی مدل ارائه شده با استفاده از روش‌های آماری مورد آزمون قرار گرفت. اهمیت این پژوهش از آن سو می‌باشد که افزون بر سهولت دسترسی به تصاویر سنجنده ETM+، سعی شد با برقراری رابطه رگرسیون خطی ساده و با خطای اندک امکان تخمین عملکرد برنج فراهم آید.

شهرستان آمل استفاده کردند، در میان شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص ^۴ DVI با ضریب تبیین ۷۲ درصد و دقت بالاتر نسبت به سایر شاخص‌ها، برای مدل‌سازی به‌کار گرفته شد. همچنین تحقیق مشابهی در چین برای برآورد عملکرد برنج به کمک تصاویر ماهواره HJ-1A انجام شد، دقت تخمینی مدل ارائه شده بیش از ۸۵ درصد بود (Wei-guo et al., 2011). مقدار ضریب تبیین (R^2) بیش از ۰/۸ بیانگر رابطه قوی بین داده‌های تخمینی و اندازه‌گیری شده می‌باشد، در همین ارتباط Nuarsa و همکاران (۲۰۱۲) با به‌کارگیری شاخص ^۱ NDVI حاصل از تصاویر لندست ETM+، مدلی نمایی برای برآورد عملکرد برنج طراحی کردند، ارزیابی مدل پیشنهادی از همخوانی مطلوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برخوردار بود ($R^2 = 0/92$).

در تحقیق Nouredin و همکاران (۲۰۱۳) برای برآورد عملکرد برنج در حوالی رودخانه‌ای در مصر، از داده‌های رقومی ماهواره SPOT (در ماه اگوست ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میلادی) استفاده شد. ارزیابی مدل‌های خروجی این پژوهش، نشان می‌دهد دقت بالایی برای پیش‌بینی عملکرد در مدل رگرسیونی ترکیبی دو شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص سطح برگ (LAI) وجود دارد که در شرایط محیطی مشابه و شیوه‌های زراعت یکسان برنج قابل استفاده می‌باشد. در مطالعه دیگری که در ویتنام انجام گرفت، Son و همکاران (۲۰۱۴) از مقادیر عملکرد برنج طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ میلادی و شاخص‌های NDVI و ^۷ EVI حاصل از ماهواره MODIS، برای استخراج مدل شبیه‌سازی عملکرد استفاده کردند. نتایج این مطالعه رابطه بین شاخص‌های مورد ارزیابی و عملکرد برنج را تایید می‌کند. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) با استخراج شاخص‌های NDVI،

^۴ Difference Vegetation Index

^۵ Coefficient of Determination

^۶ Normalized Difference Vegetation Index

^۷ Enhanced Vegetation Index

^۸ Soil Adjusted Vegetation Index
^۹ Ratio Vegetation Index

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های میدانی

شهرستان شفت در جنوب غربی استان گیلان، بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 56'$ تا $37^{\circ} 18'$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ} 10'$ تا $49^{\circ} 31'$ شرقی، واقع شده - است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۴ هزار هکتار از مجموع مساحت شهرستان می‌باشد که زیر کشت برنج قرار دارد. منطقه از لحاظ اقلیمی معتدل و مرطوب بوده، و اراضی شالیزاری در بخش جلگه‌ای و کوهپایه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱). کلاس بافت خاک منطقه به روش هیدرومتری (Day, 1965) و مقدار مواد آلی (Walky and Black, 1934) برای عمق ۳۰ سانتیمتری در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول ۱).

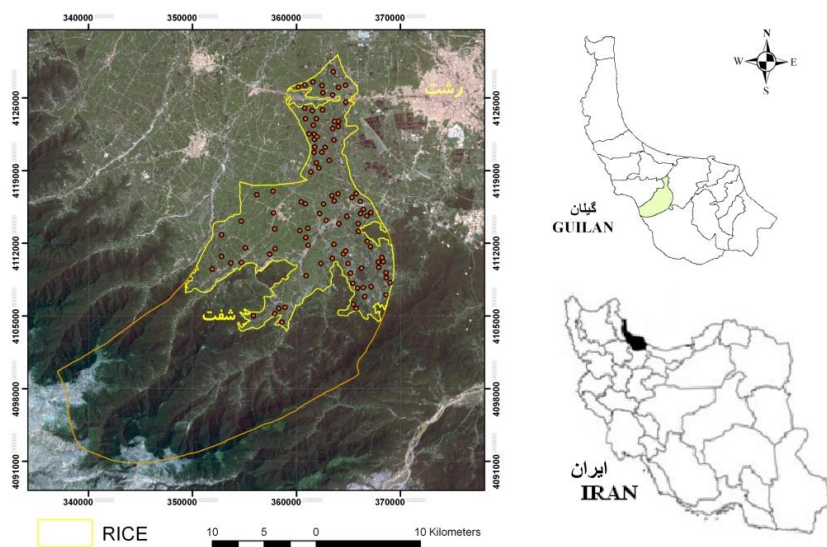
براساس اطلاعات دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، ارقام برنج در مزارع منطقه به دو گروه عمده، ارقام محلی (بومی) شامل هاشمی، علی‌کاظمی و ارقام پرمحصول (اصلاح شده) مانند خزر و گوهر تقسیم می‌شوند. البته ارقام محلی حدود دو سوم از

اراضی شالیزاری را به خود اختصاص می‌دهد. در پژوهش حاضر سعی شد تا ضمن توزیع مناسب موقعیت مزارع در سطح منطقه، نسبت ارقام در جامعه آماری حفظ گردد (جدول ۲). بنابراین داده‌های مزارع در دو سال هدف ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲، شامل نوع رقم، مقدار عملکرد، مساحت شالیزارها، تاریخ آغاز کاشت و برداشت دریافت شد و نتایج با نقشه‌های موجود از کاربری اراضی و تفکیک محصولات کشاورزی مورد مقایسه قرار گرفت.

طول دوره کشت برنج در منطقه برای ارقام مختلف بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ روز می‌باشد، و شالیزارها طی ۹۰ روز از ابتدای کاشت می‌باید غرقاب باشند، این زمان در شمال ایران مصادف با نیمه دوم فروردین (اوایل آوریل) تا نیمه دوم تیر (اواخر جولای) است. جدول ۳، وضعیت بارندگی و دمای هوای منطقه را در بازه زمانی کشت برنج نشان می‌دهد، لازم به ذکر است برای آبیاری اراضی از کانال آببری فومن استفاده می‌شود.

جدول ۱. برخی خصوصیات اجزای خاک

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)
۱۶	۴۳	۴۱	۲/۰۴



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و توزیع مکانی نقاط نمونه‌برداری در شهرستان شفت، گیلان، ایران

جدول ۲. معرفی شاخص‌های آماری عملکرد اراضی شالیزاری

رقم	سال زراعی ۱۳۹۱					سال زراعی ۱۳۹۲				
	میانگین (Kg/ha)	حداقل (Kg/ha)	حداکثر (Kg/ha)	انحراف معیار (Kg/ha)	ضریب تغییرات (%)	میانگین (Kg/ha)	حداقل (Kg/ha)	حداکثر (Kg/ha)	انحراف معیار (Kg/ha)	ضریب تغییرات (%)
محلی	۳۴۱۵	۲۳۹۰	۴۲۰۵	۵۱۵/۳۶	۱۵/۱	۳۵۰۲	۲۱۹۰	۴۳۸۰	۶۵۳/۳	۱۸/۶
پرمحصول	۴۵۷۴	۴۰۰۹	۵۲۴۳	۳۹۴/۳۳	۸/۶	۴۶۴۹	۴۰۲۲	۵۲۸۰	۳۶۲/۶۳	۷/۸

جدول ۳ درجه حرارت (سانتی‌گراد) و میزان بارش (میلی‌متر) ماهانه در سال‌های مورد آزمون و در بازه زمانی کشت برنج

سال	پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۹۱	دما (c)	۱۴/۷	۲۱/۲	۲۴/۴	۲۴/۷	۲۷/۶	۲۳/۲
	بارش (mm)	۹۶/۴	۵	۷۷/۴	۱۳۶/۲	۳۹/۸	۱۸۴/۴
۱۳۹۲	دما (c)	۱۴/۲	۱۸/۴	۲۳/۱	۲۵/۲	۲۴/۱	۲۴/۴
	بارش (mm)	۳۷/۹	۴۶/۴	۶/۹	۴/۲	۱۰۵/۱	۹۲/۲

دریافت و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در میان ماهواره‌های محیطی، تصاویر ماهواره لندست با در اختیار داشتن اسکنرهای چند طیفی و ارائه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۳۰ متر به طور گسترده‌ای برای تعیین پارامترهای بیوفیزیکی پوشش گیاهی استفاده شده است (Nuarsa et al., 2012; Masek et al., 2006). همچنین تصاویر این سنجنده به دلیل دوره بازدید ۱۶ روزه در بررسی وضعیت پوشش گیاهی (Siyal et al., 2015) و پایش رشد و نمو گیاهی (Cheng and Wu, 2011) مناسب هستند.

برای تعیین زمان مناسب دریافت تصاویر ماهواره‌ای، با توجه به تقویم زراعی کاشت و برداشت برنج و همچنین اطلاعات موجود در سازمان جهاد کشاورزی زمان گلدهی اواخر خرداد (نیمه دوم ژوئن) و مرحله رسیدگی اواخر تیرماه (نیمه دوم ژوئیه) مشخص گردید. داده‌های رقومی چند طیفی سنجنده ETM+ مربوط به ماهواره لندست ۷، از مسیر ۱۶۶ و ردیف ۳۴ طبق سیستم مرجع جهانی (WRS¹⁰) مربوط به ۲۶ خرداد (۱۵ ژوئن) و ۲۷ تیر (۱۷ ژوئیه) سال ۱۳۹۱ (۲۰۱۲ میلادی) و ۲۸

خرداد (۱۸ ژوئن) و ۲۹ تیر (۲۰ ژوئیه) سال ۱۳۹۲ (۲۰۱۳ میلادی) از آرشیو سایت USGS.gov اخذ گردید. در مرحله پیش‌پردازش، با یک سری عملیات بر روی داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد توجه و اصلاح قرار می‌گیرند. بنابراین شناسایی و تشخیص خطاهای احتمالی موجود در داده‌های ماهواره‌ای اهمیت زیادی دارد. لازم است پیش از دریافت داده‌ها بررسی دقیقی در مورد آن‌ها از نظر هندسی و رادیومتری به عمل آید. حتی اگر قبلاً تصحیحاتی روی این داده‌ها به عمل آمده باشد، باید به طور کامل از خطاهای چنین داده‌هایی آگاهی داشت (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۷). داده‌های سنجنده ETM+ از سال ۲۰۰۳ به بعد به دلیل از کارافتادن سیستم SLC، دارای نوارهای فاقد اطلاعات می‌باشند (Ali and Mohammed, 2013)، که بخشی از منطقه مورد مطالعه در این محدوده واقع شده است. برای پرکردن نوارها ابزار Gap-fill به نرم‌افزار ENVI 4.7 افزوده شد و تصحیح تصاویر انجام گرفت.

شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی، حاصل ترکیبات مختلف ریاضی بازتاب زمینی در باند قرمز (معادل ۶۵۰ نانومتر) و قرمز نزدیک (معادل ۸۶۰ نانومتر)

¹⁰Worldwide Reference System (WRS)

هستند، این دو باند ارتباط تنگاتنگی با کلروفیل دارند (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۹۲). مقادیر انعکاس^{۱۱} در باندهای سه و چهار، به ترتیب قرمز و مادون قرمز نزدیک (Lin et al., 2014) برای تصاویر مذکور به دست آمد و در نهایت شاخص‌های NDVI، SAVI، DVI و RVI با معادلاتی که در ادامه معرفی می‌شوند، محاسبه گردید.

$$SAVI = \frac{P_{nir} - P_{red}(1+L)}{(P_{nir} + P_{red} + L)} \quad (2)$$

۳) تفاضل شاخص پوشش گیاهی (Richardson and Everitt, 1992):

$$DVI = P_{nir} - P_{red} \quad (3)$$

۴) کسر شاخص گیاهی ساده (Jordan, 1969) مقادیر این شاخص بین صفر و بی نهایت بوده و محدوده تغییرات معمول آن برای پوشش گیاهی بین ۲ تا ۸ می‌باشد:

$$RVI = \frac{P_{red}}{P_{nir}} \quad (4)$$

برآورد عملکرد و طراحی مدل

برای ساخت مدل روش‌های مختلفی وجود دارد. مدل‌های تجربی رگرسیونی براساس روابط همبستگی بین متغیرها شکل گرفته، نسبتاً ساده بوده و نیاز به داده‌های کمتری دارد. مدل‌هایی که برای تخمین عملکرد محصول ارائه شده‌اند عموماً بر محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی استوارند که با استفاده از این شاخص‌ها و با فرض یک نوع تابع (خطی، لگاریتمی، نمایی و ...) پارامترهای تابع محاسبه و میزان عملکرد تخمین زده می‌شود (علی آبادی و انتظاری، ۱۳۹۳). برای دستیابی به رابطه همبستگی بین متغیر وابسته (عملکرد گیاهی یا محور y) و متغیرهای مستقل (شاخص‌های پوشش گیاهی یا محور x) و همچنین برازش مدل، و انجام محاسبات آماری از نرم افزار Excel و SPSS 16.0 استفاده گردید.

اطلاعات حاصل از مزارع شالیزاری شهرستان در سال ۱۳۹۱ به دو بخش تقسیم شد. از بخش اول که شامل ۷۵ موقعیت بود، برای استخراج معادلات رگرسیونی ارقام محلی و پرمحصول، استفاده شد و از ۲۵ داده دیگر برای اعتبارسنجی معادلات، استفاده گردید. بدین ترتیب شاخص‌های پوشش گیاهی برای ارقام محلی و پرمحصول

استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی از تصاویر لندست (۱) شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی، NDVI، (Rouse et al., 1973) یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات توسط محققان مختلف گزارش شده است (Lin et al., 2014; Son et al., 2014). مبنای ساختاری این شاخص وجود کلروفیل در گیاه می‌باشد. ارزش عددی این شاخص بین اعداد +۱ و -۱ در نوسان است و ثابت شده که هر چه به عدد +۱ نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد. مقادیر P_{nir} و P_{red} به ترتیب بازتابندگی (انعکاس) در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد (Siyal et al., 2015; Panda et al., 2010):

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad (1)$$

۲) شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک یا SAVI (Huete, 1988) موثر در به حداقل رساندن اثرات خاک پس زمینه روی سیگنال‌های پوشش گیاهی به وسیله ترکیب کردن فاکتور تنظیم کننده خاک (L) با مخرج معادله NDVI می‌باشد. فاکتور (1+L) تضمین می‌کند حدود (دامنه) SAVI همانند NDVI بین -۱ و +۱ باشد (Noureldin et al., 2013; Panda et al., 2010; Yuping)

¹¹ Reflectance

متغیرهای مستقل، استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره امکان‌پذیر نشد). نتیجه تحلیل رگرسیون آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (Sig<0.05) و بنابراین به تفسیر ضریب تبیین (R^2) برای مشخص کردن مناسب‌ترین شاخص پیش‌بینی-کننده عملکرد برنج پرداخته شد. در جداول ۴ و ۵ میزان ضریب تبیین هر یک از شاخص‌ها در مرحله واسنجی و میزان RMSE و NRMSE در مرحله ارزیابی به تفکیک بیان شده‌است. از بین تصاویر سال ۱۳۹۱، بالاترین همبستگی در تصویر ۲۶ خرداد (همزمان با مرحله گلدهی برنج) مشاهده شد.

وجود باندهای قرمز و مادون قرمز در شاخص‌های مورد بررسی، بیانگر متأثر شدن این باندها از پوشش گیاهی است، اکثر شاخص‌های پوشش گیاهی از تباین بین این دو باند حاصل شده‌اند (درویش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). همانگونه که از مشاهده جداول ۴ و ۵ استنباط می‌گردد، بیشترین ضریب تبیین بین عملکرد تولیدی و شاخص‌های پوشش گیاهی در تصاویر مرحله گلدهی برنج دیده می‌شود. به‌طور کلی استفاده از تصاویر دوره گلدهی نتیجه بهتری در مقایسه با تصویر دوره رسیدگی برای برآورد عملکرد داشته و با مطالعات دیگران هماهنگی دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). پیش از این Bao و همکاران (۲۰۰۹) تصاویر دریافتی در مرحله گلدهی را به دلیل همبستگی بالا بین عملکرد بیومس گندم و شاخص‌های طیفی، مناسب تشخیص داده بودند.

از میان شاخص‌های بررسی شده، شاخص NDVI، مناسب‌ترین شاخص برای برآورد عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج در منطقه می‌باشد. در ادامه نمودار مدل‌هایی که برای تخمین عملکرد ارقام مورد بررسی با استفاده از شاخص NDVI پیشنهاد می‌شود، نمایش داده شده‌است (شکل ۲) و به دلیل همبستگی کمتر سایر شاخص‌ها از رسم نمودار آن‌ها خودداری شده است.

در منطقه، در دو دوره گلدهی و رسیدگی، برحسب بازتاب زمینی تصاویر محاسبه شد. همچنین از داده‌های ۷۵ مزرعه در سال ۱۳۹۲ برای ارزیابی مجدد بهترین معادلات استخراج شده از داده‌های سال اول استفاده گردید.

شاخص‌های آماری

در ارزیابی گرافیکی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید و برای سنجش صحت مدل در پیش‌بینی عملکرد برنج از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^{۱۲}، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)^{۱۳} و کارایی مدل (EF)^{۱۴} استفاده شد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (6)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

در این روابط P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده)، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n تعداد نمونه‌ها (رقم‌های مشاهده، محاسبه و یا برآورد شده) است (Son et al., 2014). مقادیر RMSE و NRMSE در حالت مطلوب یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، برابر صفر و مقدار EF در این حالت برابر با یک است.

نتایج و بحث

تحلیل نتایج سال اول (۱۳۹۱): در ابتدا بعد از تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی، همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد برنج، سنجش شد و با هدف طراحی مدل رابطه شاخص‌ها و عملکرد به روش رگرسیون (ENTER) مورد پیش‌بینی قرار گرفت (البته به دلیل هم‌راستایی بین

¹² Root Mean Square Error

¹³ Normalized RMSE

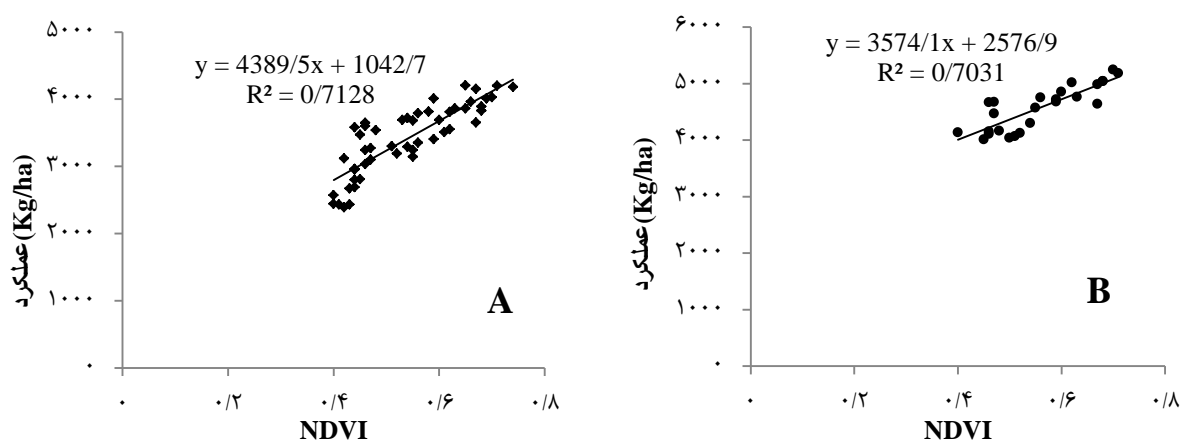
¹⁴ Modeling Efficiency

جدول ۴. روابط بین شاخص‌ها و عملکرد ارقام محلی در سال ۱۳۹۱

ارزیابی		واسنجی			
NRMSE (%)	RMSE (Kg/ha)	R ²	مدل	مرحله زراعی	شاخص
۱۰	۳۱۰	۰/۷۱	Y= 4389.5x+1042.7	گلدهی	NDVI
۱۵	۴۹۵	۰/۶۱	Y= 4594.2x+792.5	رسیدگی	
۱۴	۴۴۰	۰/۶۵	Y= 6640.3x+27.003	گلدهی	SAVI
۱۴	۴۳۱	۰/۴۴	Y= 6023.7x+372.91	رسیدگی	
۱۳	۴۲۸	۰/۶۵	Y= 22.397x+2172.7	گلدهی	DVI
۱۴	۴۴۸	۰/۵۲	Y= 26.96x+2005.4	رسیدگی	
۱۳	۴۰۸	۰/۶۵	Y= 420.5x+2001.3	گلدهی	RVI
۱۳	۴۲۳	۰/۵۷	Y= 472.44x+1694.8	رسیدگی	

جدول ۵. روابط بین شاخص‌ها و عملکرد ارقام پرمحصول در سال ۱۳۹۱

ارزیابی		واسنجی			
NRMSE (%)	RMSE (Kg/ha)	R ²	مدل	مرحله زراعی	شاخص
۷	۳۲۱	۰/۷۰	Y= 3574.1x+2576.9	گلدهی	NDVI
۱۰	۴۵۹	۰/۵۷	Y= 4103.6x+2361.5	رسیدگی	
۱۱	۵۰۶	۰/۶۱	Y= 5234.8x+1820.7	گلدهی	SAVI
۱۲	۵۴۷	۰/۵۶	Y= 5256.9x+1754.4	رسیدگی	
۸	۳۷۵	۰/۶۵	Y= 14.908x+3618.2	گلدهی	DVI
۱۰	۴۵۵	۰/۵۸	Y= 15.953x+3514.9	رسیدگی	
۹	۴۲۲	۰/۶۵	Y= 278.39x+ 3459.3	گلدهی	RVI
۹	۴۴۲	۰/۴۸	Y= 334.33x+3258.8	رسیدگی	



شکل ۲. رابطه شاخص NDVI و عملکرد تولیدی در سال ۱۳۹۱ برای ارقام محلی (A) و ارقام پرمحصول (B)

شده از تصاویر ماهواره‌ای با متغیرهای گیاهی کم می‌شود، به نحوی که می‌توان گفت شاخص‌های حاصل از تصاویر

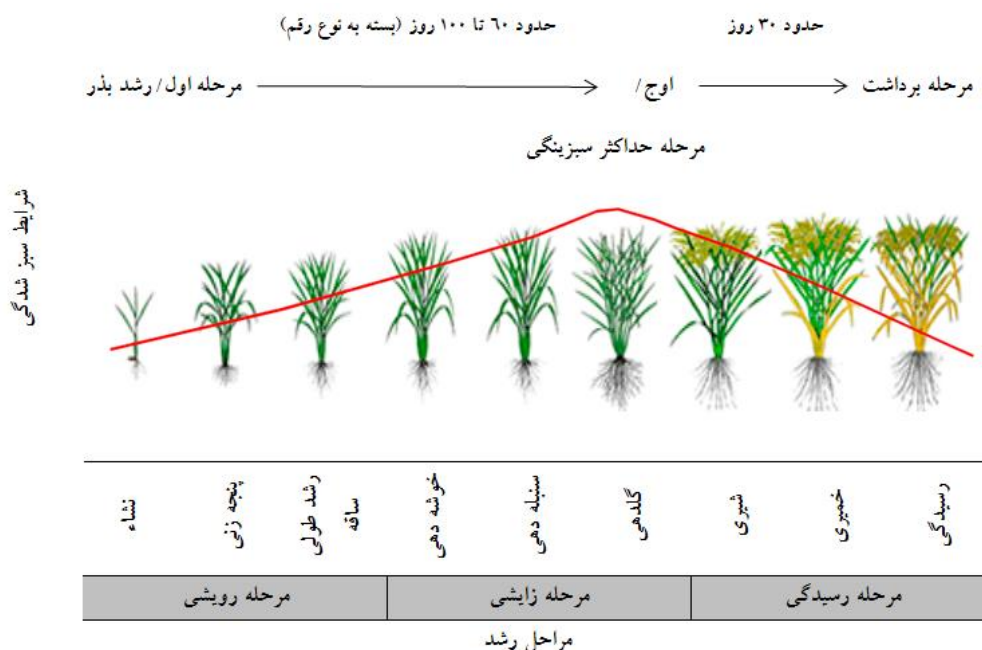
از نتایج بدست آمده می‌توان دریافت با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد میزان ارتباط شاخص‌های استخراج

خود برسد، سپس در مرحله رسیدگی، با زرد شدن برگ‌های برنج، مقدار NDVI کاهش می‌یابد. برای افزایش دقت برآورد عملکرد تلاش‌هایی انجام گرفته است، از جمله Nuarsa و همکاران (۲۰۱۲) از تابع نمایی برای برآورد عملکرد استفاده کردند و یا Noureldin و همکاران (۲۰۱۳) با طراحی مدل رگرسیونی دو متغیره (شاخص‌های NDVI و LAI) سعی در افزایش دقت مدل پیشنهادی خطی داشته‌اند و به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند.

در این پژوهش برداشت تصاویر در زمان اوج رشد گیاه انجام شد، و به جهت پوشیده بودن سطح خاک در زمان برداشت تصاویر، شاخص SAVI که به منظور کاهش بازتاب خاک پس زمینه از بازتاب گیاهان، توسعه داده شده است نتوانست دقتی بهتر از شاخص NDVI ارائه کند. در خصوص شاخص‌های DVI و RVI که به ترتیب در مطالعات درویش‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و Siyal و همکاران (۲۰۱۵) جهت کمک به برآورد عملکرد به کار گرفته شد و نتایج خوبی ارائه داد، در تحقیق موجود از نظر دقت بعد از شاخص NDVI قرار دارند.

دوره رسیدگی در برآورد عملکرد کارائی مناسبی ندارند. تفاوت در میزان بازتابش سبب تمایز اجسام نسبت به یکدیگر می‌گردد و وجود آب و رطوبت در میزان بازتاب طیف الکترومغناطیس اثر دارد، لذا در مرحله پایانی رشد برنج (حدود روز صدم)، پس از کامل شدن مراحل خوشه‌دهی و در نهایت شکل‌گیری دانه‌ها که به سنگین شدن خوشه‌ها منجر می‌شود، گیاه حالت خوابیده به خود می‌گیرد، و دانه‌ها آب از دست می‌دهند (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۹۲). به این دلیل که بیشترین مقدار جذب کلروفیل در دو باند قرمز و مادون قرمز اتفاق می‌افتد (Noureldin et al., 2013; El Nahry et al., 2011)، ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی با رشد گیاهان و پوشش گیاهی قابل توجیه است. در مطالعات Siyal و همکاران (۲۰۱۵)، Son و همکاران (۲۰۱۴) و Nuarsa و همکاران (۲۰۱۲) نیز دقت بالای شاخص پوشش گیاهی NDVI جهت برآورد عملکرد گزارش شد.

تغییرات NDVI نسبت به زمان کاشت در شکل ۳ نمایش داده شده است. با رشد گیاه برنج، مقدار NDVI افزایش می‌یابد تا برنج به بیشینه رشد (اوج سبزی‌نگی)



شکل ۳. مراحل رشد گیاه برنج، زمان سبزی‌نگی، گلدهی و رسیدگی. منحنی قرمز تغییرات شاخص NDVI را نسبت به زمان کاشت برنج نشان می‌دهد (Mosleh et al., 2015).

تحلیل نتایج سال دوم (۱۳۹۲): برای ارزیابی کارکرد مدل قبل از استفاده از آن، بایستی نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهده شده (واقعی) که از آزمایش‌ها به دست آمده‌اند، مقایسه شوند تا میزان صحت و اعتبار مدل سنجیده شود (اندرزیان و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد برنج در جدول ۶ (برای ۷۵ داده برداشت شده از مزارع منطقه) ارائه شده است. مدل طراحی شده با توجه به نتایج آزمون Paired t-test دو دامنه‌ای، بیانگر برآورد قابل قبول عملکرد بوده، و تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود ندارد ($P > 0.05$). همچنین شیب خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای عملکرد برنج با شیب خط ۱:۱ تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بر اساس شکل ۴، ضریب تبیین نیز بر همبستگی بالای بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی تاکید دارد.

همانگونه که در تحقیقات Nuarsa و همکاران (۲۰۱۲) بیان شد، همبستگی بالا ($R > 0.80$) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده عملکرد، حاکی از قدرت سنجش از دور در امکان پیش‌بینی محصول است. مقدار ضریب تبیین ۰/۷۰ و ۰/۶۶ (شکل ۴) بین عملکرد واقعی و برآورد شده می‌تواند ناشی از تغییر شرایط کاشت و مدیریت زراعی، آفات و امراض گیاهی، وضعیت آب و هوایی منطقه و بسیاری از متغیرهای محیطی باشد.

در برآورد عملکرد ارقام محلی توسط مدل، اختلاف اندکی بین میانگین عملکرد مدل با مقدار مشاهده شده دیده می‌شود و می‌توان گفت دقت برآورد مدل در محدوده عملکردی متوسط بالا بوده و خروجی آن مشابه واقعیت است. در خصوص ارقام پرمحصول، نیز مدل برای برآورد عملکرد میانگین، مقادیری بیشتر از واقعیت ارائه می‌کند. به عبارت دیگر، دامنه عملکرد داده‌های تخمینی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی کمتر می‌باشد.

در بررسی دقت برآورد عملکرد تصاویر دوره گلدهی برای مدل پیشنهادی ارقام بومی، مقدار RMSE و NRMSE به ترتیب، ۴۰۶ کیلوگرم در هکتار و ۱۲ درصد دیده می‌شود، که میزان دقت در قیاس با دوره اعتبارسنجی اندکی کاهش یافته است. در خصوص مدل پیشنهادی برای ارقام پرمحصول منطقه نیز میزان خطای اندازه‌گیری، ۶ درصد، معادل ۲۷۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، که با وجود مقدار ضریب تبیین کمی پایین‌تر ($R^2 = 0.66$)، RMSE و NRMSE نشان از دقت مطلوب برآورد عملکرد دارد. شاخص کارایی مدل‌سازی (EF) برای گیاه برنج ارقام محلی و پرمحصول در سال ۱۳۹۲ به ترتیب معادل با ۰/۶۰ و ۰/۴۱ بود؛ که بیانگر کارآمدی بالای مدل در پیش‌بینی قابل قبول درصد کاهش عملکرد محصول می‌باشد.

جدول ۶. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شبیه‌سازی عملکرد برنج برای دو رقم بومی و پرمحصول شالیزارهای

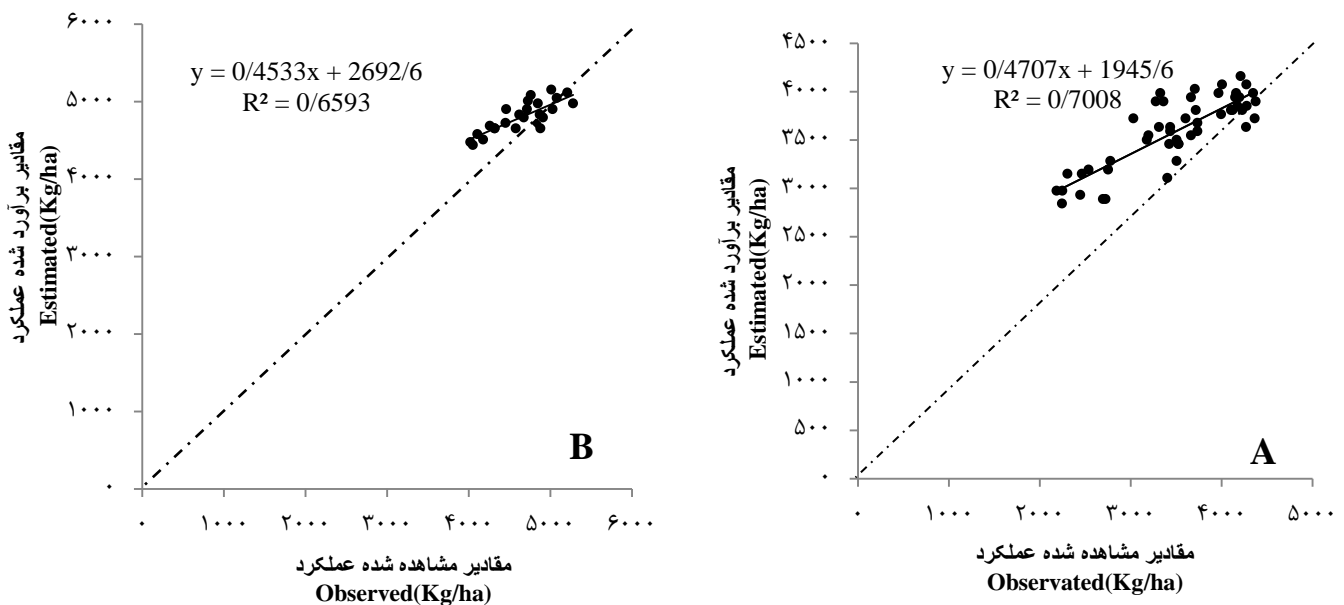
شفت (۱۳۹۲)

رقم	مدل	متغیر گیاهی	میانگین (Kg/ha)	دامنه (Kg/ha)	R^2	P(t)	RMSE (Kg/ha)	NRMS E (%)	EF
محلی	-	Observed	۳۵۰۲	۲۱۹۰	-	-	-	-	-
	$Y = 4389.5NDVI + 1042.7$	Estimated	۳۵۹۴	۱۳۱۷	۰/۷۰	۱/۶۳	۴۰۶	۱۲	۰/۶۰
پرمحصول	-	Observed	۴۶۴۹	۱۲۵۸	-	-	-	-	-
	$Y = 3574.1NDVI + 2576.9$	Estimated	۴۸۰۰	۷۱۵	۰/۶۶	۳/۲۷	۲۷۲	۶	۰/۴۱

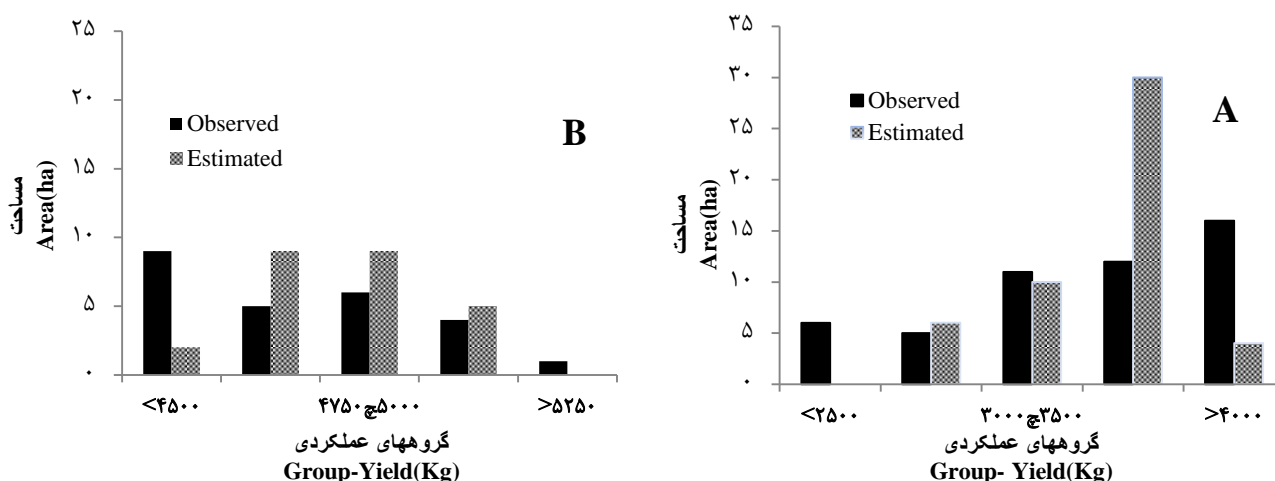
تحقیقات خود استفاده از این تصاویر را مفید دانسته‌اند. با تفکیک ارقام برنج شالیزارهای منطقه به دو گروه محلی و پرمحصول، تلاش شده است اختلاف بین داده‌های واقعی و مدل به حداقل برسد. نکته مهم دیگر این است که واسنجی مدل با استفاده از داده‌های نقطه‌ای انجام گرفته است، در طرح‌های پژوهشی عملکرد گیاه به عملکرد پتانسیل نزدیک‌تر است. ولی در مقیاس بزرگ (شالیزارهای شهرستان) تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد محصول، ناشی از خطاهای اندازه‌گیری، ناهمگنی مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده و اختلاف در مدیریت زراعی، احتمالاً عدم دقت مدل در شرایط شوری و خشکی و نوع خاک است. علاوه بر این، برخی عوامل موثر بر عملکرد تولید از جمله بیماری‌ها، آفات و کمبود مواد مغذی در مدل در نظر گرفته نشده است.

بررسی توزیع عملکرد مشاهداتی (شکل ۵) نشان داد ۳۲ درصد از اراضی زیر کشت ارقام بومی، عملکردی بیش از ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دارند و مابقی اراضی از عملکرد کمتری برخوردارند، به طوری که متوسط عملکرد ارقام بومی ۳۵۰۲ کیلوگرم در هکتار است. در ارتباط با ارقام پرمحصول نیز، ۳۶ درصد از اراضی عملکرد کمتر از ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۴ درصد عملکردی بیش از ۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار دارند. متوسط عملکرد برای این نوع ارقام ۴۶۴۹ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است.

در نهایت پس از تحلیل نتایج پژوهش باید ذکر کرد، بنابر اهمیت تخمین منطقه‌ای عملکرد، سنجنده ETM+ قادر به تولید داده‌های مطلوب با کارایی مناسب می‌باشد و تصاویر برداشت شده با این سنجنده نمایشی واقعی از وضعیت محصول را ارائه می‌کند، همچنانکه Nuarsa و همکاران (۲۰۱۲)، Matinfar (۲۰۱۳)، Mosleh و همکاران (۲۰۱۴) و Siyal و همکاران (۲۰۱۵) نیز در



شکل ۴. مقایسه مقادیر عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده ارقام بومی (A) و ارقام پرمحصول (B)



شکل ۵. سطح زیر کشت واقعی و شبیه‌سازی شده ارقام محلی (A) و پرمحصول (B)

پرمحصول، در سال زراعی ۱۳۹۲ به ترتیب با RMSE، ۴۰۶ و ۲۷۲ کیلوگرم در هکتار و NRMSE، ۱۲ و ۶ درصد، بر دقت مدل‌های ارائه شده برای برآورد عملکرد تأکید دارد. نتایج آزمون آماری، نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود ندارد ($P>0.05$). این مدل‌ها قابلیت تخمین عملکرد را حدود ۳۰ تا ۵۰ روز قبل از برداشت برنج با دقت قابل قبول دارا می‌باشند. لازم به ذکر است مدل محدود به شرایط محیطی و قابل اجرا در شرایط مشابه است، بنابراین نباید تنها به نتایج موجود بسنده نمود. انجام تحقیقات مشابه و دقیق برای ارقام مختلف، در وسعت زیادی از اراضی و با به‌کارگیری مدل‌های زراعی به منظور کاهش خطای موجود و افزایش صحت داده‌های شبیه‌سازی شده می‌تواند محور مطالعاتی آینده باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان شفت و استان گیلان جهت همکاری در این مطالعه تشکر می‌گردد.

مدل‌های طراحی شده نرم‌افزاری قادر به پیش‌بینی کامل و دقیق نبوده و برای دستیابی به نتایج مورد انتظار، نیازمند روش‌های بهبود ارزیابی و دقت می‌باشد. بنابراین لازم است معادلات ارائه شده در این پژوهش با استفاده از سری بزرگی از داده‌های چندین سال مورد واسنجی قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

عوامل کمی متعددی در عملکرد محصول مؤثر است، اما مدل‌سازی با ساده‌سازی روابط علی و معلولی حاکم بر یک پدیده، روابط متقابل بین متغیرهای مستقل و وابسته را با صرف کمترین زمان و هزینه توجیه می‌کند. در تحقیق حاضر نتایج سنجش روابط همبستگی بین شاخص‌های NDVI، SAVI، DVI و RVI مستخرج از سنجنده ETM+ و مقدار عملکرد محصول در سال ۱۳۹۱ نشان داد می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد عملکرد برنج پیش از برداشت بهره گرفت. بر اساس مدل‌های پیشنهادی و نمودارهای گرافیکی، شاخص NDVI در مرحله گلدهی برنج مناسب‌ترین شاخص در منطقه معرفی می‌شود. ارزیابی مدل‌ها برای ارقام محلی و

منابع مورد استفاده

اندرزیان، ب.، بخشنده، ع.، فتحی، ق.، عالمی سعید، خ.، بنایان، م. و امام، ی. ۱۳۸۶. CDSS-Model. مدلی برای شبیه‌سازی مراحل نمو گیاهان زراعی. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۶: ۷۹-۷۱.

خیرخواه زرکش، م.م.، درویشی، م.م.، آبکار، ع.ا. و احمدی، غ.ر. ۱۳۹۲. برآورد شاخص‌های پوشش گیاهی برنج با تصاویر چند زمانه راداری و اپتیک. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵ (۴): ۸۵-۹۶.

درویش‌زاده، ر.، متکان، ع.ا. و اسکندری، ن. ۱۳۹۰. ارزیابی شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ALOS-AVNIR2 به منظور تخمین میزان بایومس محصول برنج. چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، ۱۴: ۷۳-۶۱.

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: صومعه سرا). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳ (۸): ۶۰۱-۵۹۱.

علوی‌پناه، س.ک.، احسانی، ا.ه.، متین‌فر، ح.ر.، رفیعی امام، ع. و امیری، ر. ۱۳۸۷. مقایسه محتوای اطلاعاتی سنجنده‌های TM و ETM+ در محیط‌های بیابانی و شهری ایران. پژوهش‌های جغرافیا، ۴۷: ۶۴-۵۶.

علی‌آبادی، ک. و انتصاری، ع.ر. ۱۳۹۳. تخمین پارامتر فیزیکی (زی توده) پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۴ (۱۵): ۳۳-۲۳.

- Ali, S.M. and Mohammed, M.J. 2013. Gap-filling restoration methods for ETM+ sensor image. *Iraqi Journal of Science*, 54(1): 206-214.
- Aboelghar, M., Arafat, S., Abo Yousef, M., El-Shirbeny, M., Naeem, S., Massoud, A. and Saleh, N. 2011. Using SPOT data and leaf area index for rice yield estimation in Egyptian Nile delta. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 14: 81-89.
- Bao, Y., Gao, W. and Gao, Zh. 2009. Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolution. *Front Earth Scientist*, 3(1): 118-128.
- Cheng, Q. and Wu, X. 2011. Mapping paddy rice yield in Zhejiang Province using MODIS spectral index. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35: 579-589.
- Day, R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In: C. A. Black et al (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. P: 545-566. Ser. No. 9. ASA. Madison, WI.
- El Nahry, A.H., Ali, R.R. and El Baroudy, A.A. 2012. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Agricultural Water Management*, 98: 517-531.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.
- Johnson, D.M. 2014. An assessment of pre-and within-season remotely sensed variable for forecasting corn and soybean yields in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 141(0):116-128.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663-666.
- Lin, W., Fu-cun, Z., Yuan-shu, J., Xiao-dong, J., Shen-bin, Y., and Xiao-mei, H. 2014. Multi-temporal detection of rice phenological stages using canopy spectrum. *Rice Science*, 21(2): 108-115.
- Matinfar, H.R. 2013. Modeling wheat yield estimation base upon spectral data and field measurement, case study: Razan plain, Iran. 2013. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(17): 2123-2130.
- Masek, J.G., Huang, C. Q., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., and Kutler, J. 2008. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2914-2926.
- Mosleh, M.K., Hassan, Q.K., and Chowdhury, E.H. 2015. Application of remote sensor in mapping rice area and forecasting its production: A Review. *Sensors*, 15: 769-791.
- Noureldin, N.A., Aboelghar, M.A., Saady, H.S., and Ali, A.M. 2013. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16: 125-131.
- 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.
- Panda, S.S., Ames, D.P., and Panigrahi, S. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using Neural network techniques. *Remote Sensing*, 2(3): 673-696.
- Rahman, A., Roytman, L., Krakauer, N.Y., Nizamuddin, M., and Goldberg, M. 2009. Use of vegetation health data for estimation of Aus rice yield in Bangladesh. *Sensors*, 9: 2968-2975.
- Rezaei, M., Shahnazari, A., Raeini sarjaz, M., and Vazifedoust, M. 2016. Improving agricultural management in a large-scale paddy field by using remotely sensing data in the CERES-Rice model. *Irrigation and drainage*, 65: 224-228.
- Richardson, A.J. and Everitt, J.H. 1992. Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International*, 7(1): 63-69.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, 1: 309-317.

- Siyal, A.A., Dempewolf, J. and Becker-Reshef, I. 2015. Rice yield estimation using Landsat ETM+ Data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9: 1-16.
- 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.
- Walkly, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Wei-guo, L., Hua, L., and Li-hua. Z. 2011. Estimating Rice Yield by HJ-1A Satellite Images. *Rice Science*, 18: 142-147.
- Yuping, M., Shili, W., Li, Zh., Yingyu, H., Liwei, Zh., Yanbo, H., and Futang, W. 2008. Monitoring winter wheat growth in North China by combining a crop model and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation*, 10: 426-437.
- Zhang, H., Chen, H., and Zhou, G. 2012. The model of wheat yield forecast based MODIS-NDVI-A case study of Xinxiang. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Conference*, Melbourne, Australia, 25 August–01 September 2012: 25-28.
- li, S.M. and Mohammed, M.J. 2013. Gap-filling restoration methods for ETM+ sensor image. *Iraqi Journal of Science*, 54(1): 206-214.



ISSN 2251-7480

Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield

HadisYaghouti¹, Ebrahim Pazira², Ebrahim Amiri^{3*} and Mohammad hasan Masihabadi⁴

1) PhD. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2) Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3*) Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

*Corresponding author email: eamiri57@yahoo.com

4) Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran

Received: 04-04-2017

Accepted : 07-11-2017

Abstract

Rice is the main product of northern provinces of IRAN. Rice, as a strategic product that plays an important role in agricultural planning, needs to monitor annual production and crop area. Today, management practices can be improved using remote sensing technology and vegetation indices. The present study was conducted in order to determine the regression correlation between local and high-yielding varieties of rice in 2012, with NDVI, SAVI, DVI and RVI indices extracted from landsat7 ETM+ images, and to identify the most appropriate index in paddies Shaft. The highest coefficient of determination between yield and indices belonged to the flowering period, among these indices, NDVI is the most suitable indices for estimating the yield of local and high yielding rice varieties in the region. The statistical criteria show a good ability to simulate the model. Modeling efficiency (EF) were for local and high yielding varieties in crop year 2013 to the equivalent of 0.60 and 0.41 respectively, which represents a high efficient model in predicting product yield is acceptable percent. Modeling results indicate that the simulated yield level is well fitted with observed values. The results of the statistical test show that there is no significant difference between the observed and simulated values ($P>0.05$). The correlation coefficient of determination 0.70 and 0.66 between the observed and estimated yields in the evaluation of the models might be related to the changes in planting conditions and agricultural management, plant pests and diseases, climatic condition of the area and multiple local variables.

Keywords: empirical models, NDVI, paddy rice, remote sensing