

برآورد عملکرد برنج در بخشی از شبکه سفیدرود گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: صومعه سرا)

مجتبی رضایی^{۱*}، محمود رائینی سرجاز^۲، علی شاهنظری^۳، مجید وظیفه دوست^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

چکیده

برآورد زود هنگام عملکرد برنج نقش مهمی در مدیریت مواد غذایی کشور دارد. پژوهش حاضر برای بررسی امکان برآورد عملکرد برنج در شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان با استفاده از چهار تصویر ماهواره لندست پنج و هفت انجام شده است. شاخص‌های NDVI، SAVI و LAI از تصاویر استخراج و رابطه آن‌ها با صفات عملکرد، زیست‌توده و کاه اندازه‌گیری شده از ۸۰ مزرعه کشاورزان محلی به دست آمد. نتایج نشان داد بالاترین ضریب تبیین برای برآورد زیست‌توده با شاخص NDVI مربوط به تصویر ماهواره لندست پنج در دوره گلدهی ($R^2 = 0.59$) با خطای اندازه‌گیری ۱۲ درصد، معادل ۱۰۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. خطای اندازه‌گیری برای عملکرد شلتوک و کاه تولیدی به ترتیب ۱۲ و ۱۵ درصد معادل ۴۳۴ و ۷۱۱ کیلوگرم در هکتار بود. بالاترین ضریب تبیین رابطه میان LAI و مقدار زیست‌توده، عملکرد و کاه تولیدی مربوط به همین تصویر به ترتیب معادل ۰/۶۰، ۰/۵۱ و ۰/۵۴ می‌باشد. خطای برآورد ۹۱۹، ۳۸۰ و ۷۰۶ کیلوگرم در هکتار بود. شاخص SAVI در مقایسه با NDVI و LAI بالاترین دقت را داشته است. مقدار ضرایب تبیین برای زیست‌توده، عملکرد و کاه به ترتیب برابر ۰/۶۹، ۰/۵۸ و ۰/۶۳ و خطا ۱۰، ۱۰ و ۱۴ درصد معادل ۸۷۰، ۳۷۵ و ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. که منجر به نتایج دقیق‌تری برای برآورد مقدار زیست‌توده عملکرد و کاه تولیدی برنج در سطح وسیع شده است. نتایج نشان داد فناوری سنجش از دور توانایی برآورد عملکرد برنج را یک ماه قبل از برداشت برنج با دقت مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شالیزار، شاخص گیاهی بهنجار شده، Etm+

مقدمه

رسید. به همین دلیل این داده‌ها بیش‌تر از این که به‌عنوان ابزار مدیریت در سال جاری استفاده گردد به‌عنوان آمار کشت در سال یا سال‌های گذشته ارائه می‌گردند. ضرورت آگاهی از مقدار تولید در سطح ملی و پیشرفت‌های اخیر سنجش از دور^۵ نگاه‌ها را به سمت این فناوری برای حل مشکل معطوف کرده است.

فناوری سنجش از دور علم و هنر به‌دست آوردن اطلاعات درباره یک شی، منطقه، یا پدیده از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله به‌وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با شی، منطقه و یا پدیده تحت بررسی نباشد (مالمیران، ۱۳۷۹). سنجش از دور توانایی استخراج و ارائه اطلاعات متنوعی از جمله سطح کشت، مقدار شاخص سطح برگ^۶ و زیست‌توده را دارد. پیش‌بینی عملکرد با استفاده از فناوری سنجش از دور با چندین روش امکان پذیر است. یکی از این روش‌ها استفاده از رابطه تجربی و رگرسیون بین پارامترهای گیاهی با عملکرد محصول می‌باشد. شاخص‌های انتخاب شده برای این روش شاخص‌هایی است که مستقیماً به عملکرد وابسته هستند مانند شاخص سطح برگ، شاخص گیاهی به‌هنجار شده^۷ و SAVI^۱ (Dadhwal, and

رشد اقتصادی و صنعتی باعث افزایش سطح زندگی و انتظار برای دریافت غذای بیش‌تر و با کیفیت بهتر شده است. در این شرایط اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر و سریع‌تر عملکرد برنج و تولید داخلی نقش مهمی در مدیریت و برآورد زود هنگام مقدار کمبود و یا مازاد تولید ملی و برنامه‌ریزی برای واردات و یا در صورت لزوم صادرات آن دارد (Lu et al, 2002). روش مرسوم اندازه‌گیری مقدار عملکرد در ایران، تجربی است که علاوه بر نیاز به اندازه‌گیری‌های زیاد صحرایی برای جمع‌آوری داده‌ها، پرهزینه، سخت و گاهی غیرممکن است. در نهایت داده‌های نهایی بسیار دیرتر از زمان مورد نیاز به‌دست مدیران خواهد

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

*- نویسنده مسئول: (Email: mrezaei@yahoo.com)

5- Remote sensing

6 -Leaf Area Index (LAI)

7 -The normalized difference vegetation index (NDVI)

زود هنگام عملکرد مزارع برنج شهرستان صومعه سرای استان گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهرستان صومعه سرای استان گیلان در طول جغرافیایی ۱۵° ۴۹' تا ۳۳' ۴۹° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵° ۳۷' تا ۲۵' ۳۷° شمالی انجام شد (شکل ۱). این شهرستان شامل حدود ۲۶ هزار هکتار از اراضی شالیزاری می‌باشد که عموماً تحت کشت رقم محلی هاشمی بوده و از کانال آب بر فومن آبیاری می‌گردند. این اراضی در طول دوره ۹۰ روزه رشد از ابتدای کاشت (عموماً نیمه دوم اردیبهشت) تا انتهای دوره رشد (نیمه دوم مرداد) به صورت غرقاب می‌باشند. از داده‌های مزرعه‌ای که طی دو سال ۱۳۸۵ (۱۱۰ مزرعه) و ۱۳۸۶ (۸۰ مزرعه) از مزارع شالی‌کاران محلی برداشت شده بود استفاده گردید. از داده‌های سال اول برای استخراج معادلات و از داده‌های سال زراعی دوم برای ارزیابی بهترین معادله استخراج شده استفاده گردید. عملکرد شلتوک، کاه و زیست توده (مجموع کاه و شلتوک)، در این مزارع نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل و محل اندازه‌گیری با دستگاه موقعیت‌یاب ثبت شده است. پراکنش نقاط برداشت شده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش برای سال ۱۳۸۵ از چهار تصویر و در سال ۱۳۸۶ از یک تصویر ماهواره لندست پنچ و هفت شامل سنجنده‌های TM و ETM⁺ در تاریخ‌های مختلف که به مهم‌ترین مراحل زراعی برنج شامل مراحل گلدهی و رسیدگی مربوط می‌گردند استفاده شد (جدول ۱). ماهواره لندست با دقت مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی و مادون قرمز و دقت زمانی ۱۶ روزه یکی از پرکاربردترین ماهواره‌های محیطی می‌باشد. تصحیح رادیومتری و تصحیح هندسی بر اساس نقاط مشخص مانند ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه و نقاط کنترل زمینی انجام و مقادیر انعکاس^۲ در باندهای سه و چهار (به ترتیب قرمز معادل ۶۵۰ نانومتر و مادون قرمز نزدیک معادل ۸۶۰ نانومتر) برای تصاویر مذکور در محیط نرم‌افزار ERDAS9.1 به دست آمد (Lu et al, 2002) و در نهایت شاخص‌های NDVI، SAVI و LAI با معادلات ۱، ۲ و ۳ و بر اساس ضرایب پیشنهادی برای منطقه محاسبه گردید (مختاری، ۱۳۹۰؛ Parodi, 2002). سپس بین مقدار زیست-توده، عملکرد شلتوک برنج و مقدار کاه تولیدی در مزرعه و شاخص-های به دست آمده از تصاویر رگرسیون ساده خطی برقرار گردید.

Sharma et al, Lewis et al, 1998, Groten, 1993, Ray 2000 (Sharma et al, 2000, al, 1993).

در برخی از مطالعات نیز برآورد عملکرد گیاه از طریق محاسبه مقدار ماده خشک روی سطح زمین با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های تشعشع انجام شده است (Leon et al, 2003). این مدل برای پیش‌بینی عملکرد گندم، برنج و نیشکر مناسب بوده، ولی برای پنبه برآورد خوبی نداشت (Bastiaanssen and Ali, 2003). مطالعات برای برآورد عملکرد با استفاده از فناوری سنجش از دور محدود به این روش‌ها نشده و پاره‌ای از مطالعات به استفاده از روش‌های پیچیده‌تر مانند جعبه سیاه و استفاده از عوامل ورودی فراوان در برآورد عملکرد روی آوردند (Yang et al, 2009). اما هرچه الگوریتم-های پیشنهادی پیچیده‌تر و با عوامل ورودی زیادتری طراحی شده باشند کاربرد آن‌ها مشکل‌تر و تعمیم آن به دیگر مناطق دیگر با مشکلات اجرایی بیش‌تری همراه است (Monteith, 1972). در مجموع به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های ساده‌تر و معادلات معمولی دارای قابلیت کاربرد باشد. البته سادگی این روش به معنی دقت کم آن نمی‌باشد و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای حتی با دقت مکانی کم، بر روش اندازه‌گیری زمینی عملکرد، برتری دارد. در مجموع بررسی منابع و پژوهش‌های محققان در این زمینه مشخص می‌نماید که چشم انداز این روش‌ها در آینده بسیار خوب و روشن است (Bastiaanssen and Ali, 2003).

تحقیقات انجام یافته در خارج از کشور ارتباط بسیار بالا بین NDVI و شاخص سطح برگ با مقدار عملکرد گیاهان متعدد مانند گندم (Ren et al, 2008)، جو، کلزا (Behrens et al, 2006) چغندر، ذرت (El Nahry et al, 2011) و برنج (Shi, Shen et al, 2009) را نشان دادند. به همین دلیل این شاخص کاربرد فراوانی در تعیین خصوصیات گیاهی مانند مقدار زیست‌توده دارد. اما امکان برآورد عملکرد برنج با استفاده از این فناوری در داخل کشور به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. با وجود این که چند مطالعه برای تعیین سطح کشت برنج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفته است (خواججه‌الدین و پورمنافی، ۱۳۸۶؛ ساروئی و نصیری، ۱۳۸۱؛ ضیائی‌ان فیروز آبادی و همکاران، ۱۳۸۸). ولی گزارش مکتوبی از برآورد عملکرد شالیزارهای گیلان با استفاده از این فناوری در داخل کشور یافت نشد. بنابراین لزوم انجام یک پژوهش برای بررسی امکان کاربرد فناوری سنجش از دور در این زمینه در داخل کشور احساس می‌شد. پژوهش حاضر با هدف برآورد و یا در صورت امکان پیش‌بینی

شاخص‌های آماری

کل نقاط مزرعه‌ای برداشت شده در سال ۱۳۸۵ به صورت تصادفی به دو بخش تقسیم شد. از بخش اول شامل ۸۰ نقطه برای استخراج معادله رگرسیونی در هر صفت عملکرد، زیست توده و مقدار کاه تولیدی و از قسمت دوم شامل ۳۰ نقطه برای اعتبارسنجی معادلات استخراج شده استفاده گردیده است. دقت تصاویر و فناوری سنجنش از دور در پیش‌بینی و برآورد با استفاده از دو شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و نیز ضریب تبیین مقادیر ارزیابی شد. از داده‌های ۸۰ مزرعه برداشت شده در سال ۱۳۸۶ نیز برای ارزیابی مجدد بهترین معادله استخراج شده از داده‌های سال اول استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2} \quad (4)$$

$$NRMSE = 100 \times \frac{RMSE}{M_0} \quad (5)$$

در روابط فوق n تعداد مشاهدات، S_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار مشاهده شده و M_0 میانگین مقادیر مشاهده شده

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

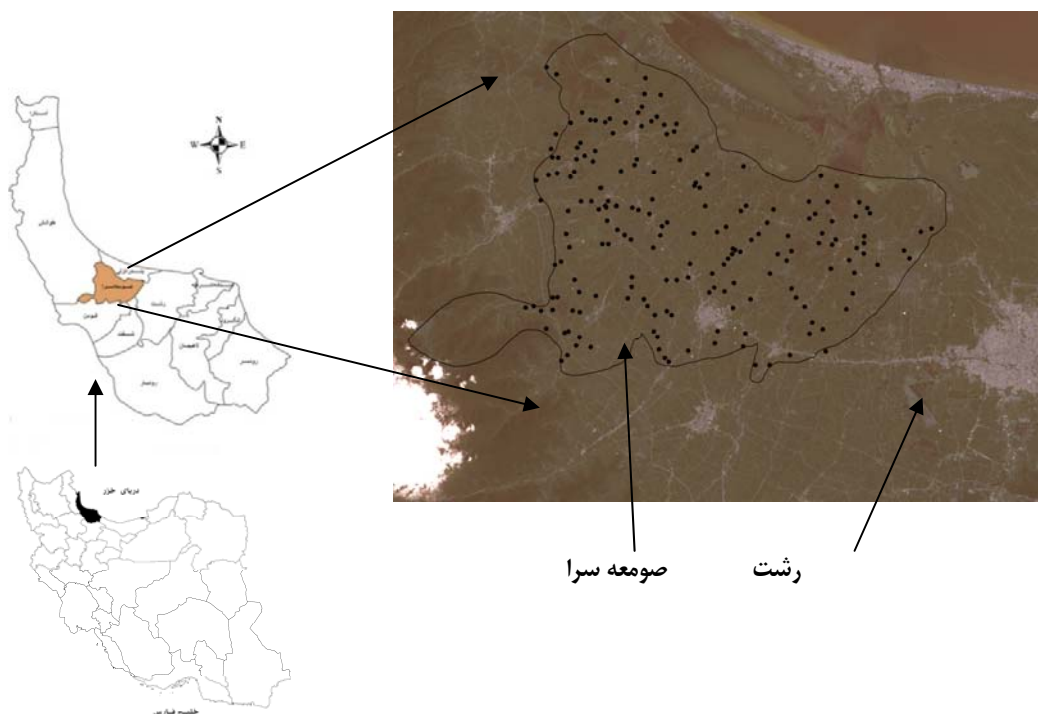
$$SAVI = (1 + L) \times \frac{P_{nir} - P_{red}}{L + P_{nir} + P_{red}} \quad (2)$$

$$LAI = -\ln\left(\frac{c_1 - SAVI}{c_2}\right) \times \frac{1}{c_3} \quad (3)$$

P_{nir} ، P_{red} به ترتیب انعکاس در باند مادون قرمز و قرمز و ضرایب C3، C2، C1، L به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۶۹، ۰/۵۹ و ۰/۹۱

جدول ۱- مشخصات تصاویر استفاده شده

نام ماهواره	نام تصویر	زمان برداشت تصویر	
		فارسی	میلادی
Landsat5	L5-190	۸۵/۴/۱۸	2006-07-09
Landsat7	L7-198	۸۵/۴/۲۶	2006-07-17
Landsat7	L7-214	۸۵/۵/۱۱	2006-08-02
Landsat5	L5-222	۸۵/۵/۱۹	2006-08-10
Landsat7	L7-2007	۸۶/۴/۲۹	2007-07-20



شکل ۱- موقعیت استان گیلان، شهرستان صومعه سرا و نقاط برداشت شده

نتایج و بحث

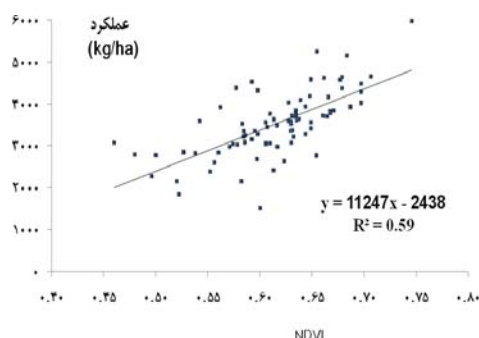
L5-222 و L5-190 در برآورد عملکرد شلتوک نیز دقت بالاتری داشتند. مقدار خطای اندازه‌گیری در هر دو این تصاویر بسیار کم معادل ۵۲۱ و ۴۳۴ کیلوگرم در هکتار است. تصویر L5-222 از ضریب تبیین بهتری در مقایسه با تصویر L5-190 برخوردار است. هم‌چنین نتایج این جدول نشان داد معادله استخراج شده از تصویر L5-190 هماهنگی بهتری با مقدار کاه تولیدی داشته است (شکل ۳). که با مقدار خطای اندازه‌گیری ۷۱۱ کیلوگرم در هکتار بهترین معادله بود (شکل ۴). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هماهنگی کامل با مطالعات ابوالقهر و همکاران دارد (Aboelghar et al, 2011) که در آن با ایجاد رابطه مستقیم بین شاخص‌های گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای اسپات با دقت مکانی ۱۵ متر و عملکرد برنج در یک مزرعه کوچک تحقیقاتی آن را یک ماه قبل از برداشت پیش‌بینی کردند ($R^2 = 0/86$). دقت کم‌تر تحقیق حاضر در مقایسه با مطالعه اشاره شده را می‌توان به سطح بسیار وسیع‌تر مطالعه حاضر، تنوع تقویم زراعی، خاک اراضی و عملیات زراعی کشاورزان و هم‌چنین تنوع در عوامل بسیار مؤثر کود نیتروژن مصرفی در اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه نسبت داد (Behrens et al., 2006; Shen et al., 2009). مسئله مهم دیگر دقت مکانی بالاتر تصاویر استفاده‌شده در مطالعه ابوالقهر و همکاران می‌باشد که در کاهش خطای اندازه‌گیری تأثیر دارد.

خلاصه شاخص‌های آماری معادلات مربوط به رابطه بین صفات مقدار زیست‌توده، عملکرد و کاه تولیدی با NDVI استخراج شده از تصاویر در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این جدول برای صفت زیست‌توده ضریب تبیین (R^2) معادلات به‌دست آمده بین ۰/۵۰ تا ۰/۵۹ متغیر می‌باشد. در میان معادلات استخراج شده، بالاترین مقدار مربوط به دو تصویر ماهواره لندست پنچ در دو دوره گلدهی و رسیدگی برنج است. ضریب تبیین (R^2) تصویر L5-222 مقارن با دوره برداشت برنج نیز برابر ۰/۵۸ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) این تصویر برابر ۱۸ درصد و یا به عبارت دیگر ۱۴۴۸ کیلوگرم در هکتار خطای اندازه‌گیری در مقدار زیست‌توده بود. ولی تصویر L5-190 با ضریب تبیین بالاتر در مقایسه با این تصویر (۰/۵۹) مطابقت بهتری با مقدار زیست‌توده نشان داد. خطای اندازه‌گیری در این تصویر بسیار کم‌تر و در حد ۱۲ درصد یا ۱۰۳۰ کیلوگرم در هکتار است (شکل ۲). از آنجایی‌که NDVI شاخص بازتابش دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک بوده و بیش‌ترین مقدار جذب کلروفیل در این دو باند اتفاق می‌افتد (El Nahry; Delécolle et al, 1992; Fischer et al, 1997; et al, 2011) ارتباط این شاخص با رشد گیاهان، پوشش گیاهی و زیست‌توده قابل توجیه است (Casanova et al, 1998).

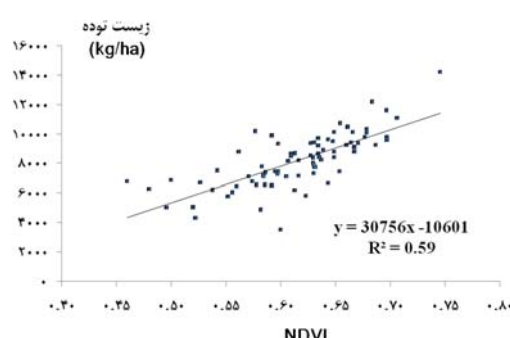
با نگاه دوباره به جدول ۲ می‌توان نتیجه‌گیری کرد دو تصویر

جدول ۲- معادلات استخراج شده از تصاویر برای پیش‌بینی زیست‌توده، عملکرد و کاه از شاخص NDVI

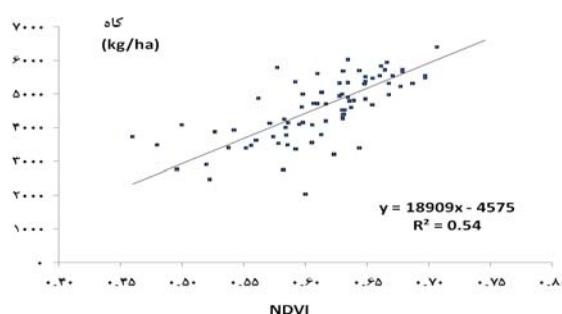
ارزیابی		واسنجی		تصویر	صفت (Kg ha ⁻¹)
NRMSE (%)	RMSE (Kg ha ⁻¹)	R ²	معادله		
۱۲	۱۰۳۰	۰/۵۹	BM=30756×NDVI-10601	L5-190	زیست توده
۱۸	۱۵۲۷	۰/۵۰	BM=28681×NDVI-10050	L7-198	
۱۸	۱۵۳۲	۰/۵۵	BM=29682×NDVI-8785.4	L7-214	
۱۸	۱۴۴۸	۰/۵۸	BM=34055×NDVI-12183	L5-222	
۱۲	۴۳۴	۰/۵۹	Yld=11247× NDVI -2438.5	L5-190	عملکرد شلتوک
۱۸	۶۵۵	۰/۴۸	Yld=10546× NDVI -3245.4	L7-198	
۱۶	۵۷۸	۰/۴۹	Yld=11163× NDVI -2917.6	L7-214	
۱۵	۵۲۱	۰/۶۰	Yld=14073× NDVI -4930.6	L5-222	
۱۵	۷۱۱	۰/۵۴	Straw=18909× NDVI -4575	L5-190	مقدار کاه
۲۱	۱۰۴۱	۰/۴۷	Straw =18135× NDVI -6805	L7-198	
۲۰	۹۵۶	۰/۵۳	Straw=18520×NDVI -5867.8	L7-214	
۲۵	۱۱۳۱	۰/۴۷	Straw=19452×NDVI -6915.6	L5-222	



شکل ۳- رابطه شاخص NDVI با مقدار عملکرد



شکل ۲- رابطه شاخص NDVI با مقدار زیست توده



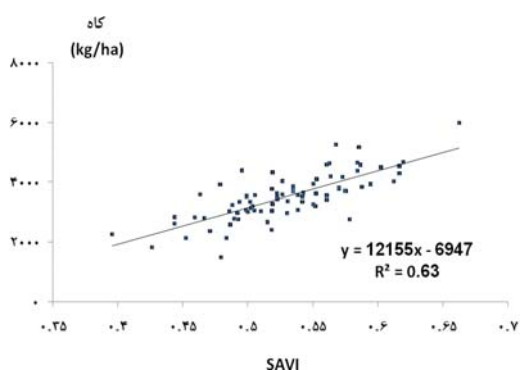
شکل ۴- رابطه شاخص NDVI با مقدار کاه

به طوری که برای صفت زیست توده تصویر L5-190 با ضریب تبیین برابر ۰/۶۹، بالاترین هماهنگی را دارد (شکل ۵).

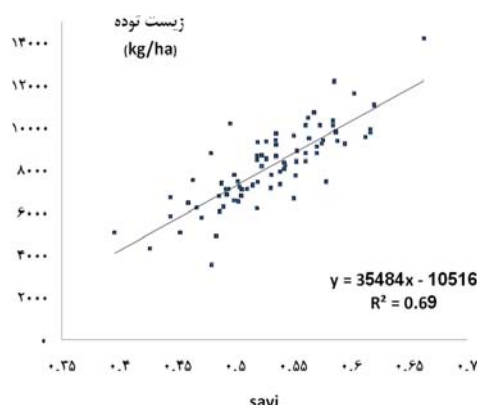
بررسی روابط رگرسیونی میان صفات اندازه گیری شده و شاخص SAVI (جدول ۳) نشان می دهد استفاده از این شاخص باعث بهبود ضریب تبیین معادلات استخراجی در مقایسه با NDVI شده است.

جدول ۳- معادلات استخراج شده از تصاویر برای پیش بینی زیست توده، عملکرد و کاه از شاخص SAVI

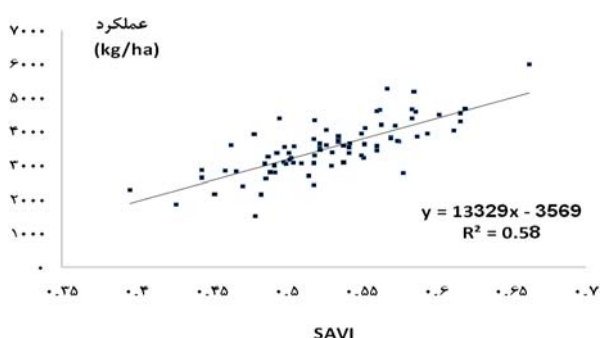
ارزیابی		وانسنجی		تصویر	صفت (Kg.ha ⁻¹)
NRMSE (%)	RMSE (Kg ha ⁻¹)	R ²	معادله		
۱۰	۸۷۰	۰/۶۹	BM=35484× SAVI -10516	L5-190	زیست توده
۱۷	۱۴۶۶	۰/۵۵	BM=33147× SAVI-9800	L7-198	
۱۶	۱۳۶۰	۰/۵۵	BM=29682× SAVI-8785	L7-214	
۱۰	۸۷۰	۰/۶۸	BM=35484×SAVI-10516	L5-222	
۱۰	۳۷۵	۰/۵۸	Yld=13329×SAVI -3569	L5-190	عملکرد شلتوک
۱۷	۵۹۶	۰/۴۴	Yld=12109×SAVI-3110	L7-198	
۱۵	۵۴۴	۰/۴۹	Yld=13520×SAVI-3208	L7-214	
۱۴	۴۹۹	۰/۶۲	Yld=16233×SAVI-4910	L5-222	
۱۴	۶۸۰	۰/۶۳	Straw=12155× SAVI -6947	L5-190	مقدار کاه
۲۱	۱۰۱۰	۰/۵۳	Straw=21038× SAVI-6690	L7-198	
۱۹	۹۲۸	۰/۵۶	Straw=21711× SAVI-6016	L7-214	
۲۴	۱۱۳۶	۰/۶۱	Straw=23335× SAVI-7272	L5-222	



شکل ۶ - رابطه شاخص SAVI با مقدار کاه



شکل ۵ - رابطه شاخص SAVI با مقدار زیست توده



شکل ۷ - رابطه شاخص SAVI با مقدار عملکرد

مربوط به تصویر ماهواره لندست ۵ در دوره گلدهی برنج می باشد. ضریب تبیین این تصویر برای زیست توده، عملکرد و کاه به ترتیب برابر ۰/۶۰، ۰/۵۱ و ۰/۵۴ است که معادل NRMSE ۱۱، ۱۱ و ۱۴ درصد می باشد. استفاده از این تصویر خطایی برابر ۹۱۹، ۳۸۰ و ۷۰۶ کیلوگرم در هکتار را برای برآورد و پیش بینی صفات یاد شده داشته است (شکل های ۸، ۹ و ۱۰). به طور کلی استفاده از تصویر دوره گلدهی نتیجه بهتری را در مقایسه با تصویر دوره رسیدگی برای برآورد عملکرد داشت که با مطالعات دیگران هماهنگی دارد (Chen et al, 2005). در پژوهش حاضر معادلات مستخرج از LAI در مقایسه با معادلات به دست آمده از SAVI دقت کمتری داشته اند که به نظر می رسد به دلیل به کارگیری معادله خطی در این مقاله باشد. تلاش - هایی برای افزایش ضریب تبیین رابطه بین LAI و عملکرد برنج از طریق ارائه معادلات مناسب و غیرخطی انجام (Xiao et al, 2002) و نتایج قابل قبولی گرفته شده است (Chen et al, 2005). نکته مهم دیگر استفاده از ضرایب ارائه شده در منابع خارجی برای محاسبه LAI در این پژوهش است که می تواند باعث افزایش خطا گردد. به نظر می - رسد انجام پژوهشی جامع برای تصحیح این ضرایب برای شرایط ایران ضروری است.

مقدار خطای استفاده از این شاخص با استفاده از تصویر یاد شده نیز کاهش قابل توجهی یافته و به ۸۷۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است. بدین معنی که NRMSE برابر ۱۰ درصد می باشد. این روند برای برآورد عملکرد و کاه نیز مشاهده شده است. تصویر L5-190 در برآورد عملکرد و کاه با R^2 ، RMSE و NRMSE به ترتیب برابر ۰/۵۸، ۳۷۵، ۱۰ و ۰/۶۳، ۶۸۰، ۱۴ در مقایسه با معادلات قبلی دقت بهتری دارد (شکل های ۷ و ۸). ژائو و همکاران عقیده دارند شاخص SAVI باعث تصحیح شاخص NDVI و خطی کردن رابطه آن با صفات مرتبط با عملکرد می گردد (Xiao et al, 2002; Huete, 1988). با توجه به این که در پژوهش حاضر از معادله ساده خطی استفاده گردیده است می توان دقت بالاتر کاربرد شاخص SAVI را به این مسئله نسبت داد.

همان طور که در بخش قبلی اشاره شد رابطه میان شاخص سطح برگ و مقدار زیست توده، عملکرد و کاه تولیدی نیز به دست آمد. بر اساس جدول ۴ ضریب تبیین معادلات به دست آمده بین ۰/۴۰ تا ۰/۶۳ متغیر می باشد، که در مقایسه با استفاده از NDVI رابطه بهتری را نشان می دهد و با مطالعه سایر محققان هماهنگی دارد (Aboelghar et al, 2011). در میان معادلات بالاترین ضریب تبیین

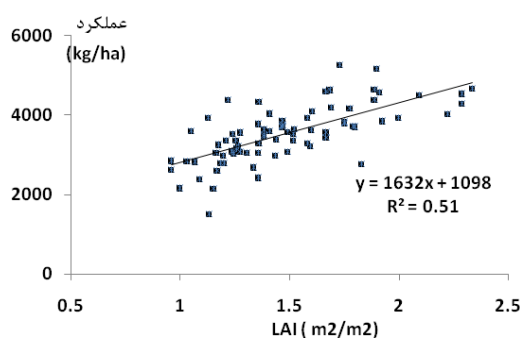
ارزیابی معادله پیشنهادی این پژوهش

می‌دهد. دقت برآورد عملکرد در این تصویر در مقایسه با برآوردهای انجام یافته در سال ۱۳۸۵ کم‌تر می‌باشد. یکی از عمده‌ترین دلایل آن، تغییر شرایط کاشت و مدیریت زراعی می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد معادلات ارائه شده در این پژوهش نیازمند به واسنجی کلی با استفاده از سری بسیار بزرگ از داده‌ها در چند سال است.

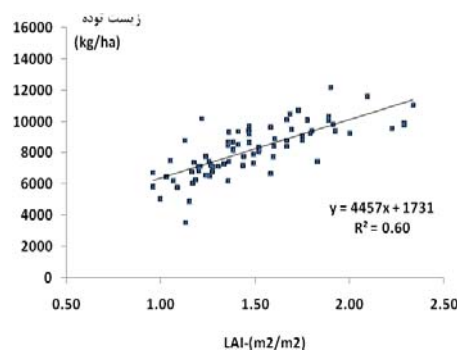
به‌منظور ارزیابی معادله پیشنهادی این پژوهش برای برآورد عملکرد (Yld=13329×SAVI -3569) از داده‌های عملکرد برداشت شده در ۸۰ مزرعه در این منطقه در سال ۱۳۸۶ استفاده شده است. جدول ۵ نتایج کارایی این مدل در تخمین عملکرد را نشان

جدول ۴- معادلات استخراج شده از تصاویر برای پیش‌بینی زیست توده، عملکرد و کاه از شاخص LAI

ارزیابی		واسنجی		تصویر	صفت (Kg.ha ⁻¹)
NRMSE (%)	RMSE (Kg ha ⁻¹)	R ²	معادله		
۱۱	۹۱۹	+۰/۶۰	BM=4457.3×LAI-1731	L5-190	زیست توده
۱۷	۱۴۶۸	-۰/۵۲	BM=4165.4×LAI -1607	L7-198	
۲۵	۲۰۳۴	-۰/۵۲	BM=5727.8×LAI -1142	L7-214	
۱۸	۱۵۰۳	-۰/۵۸	BM=5488.6×LAI -9.9	L5-222	
۱۱	۳۸۰	+۰/۵۱	Yld=1687.1×LAI -1098	L5-190	عملکرد شلتوک
۱۷	۶۲۳	-۰/۴۰	Yld=1498×LAI -1092	L7-198	
۱۳	۴۷۷	-۰/۵۰	Yld=2352.5×LAI -548	L7-214	
۱۵	۵۶۹	-۰/۵۰	Yld=2284.9×LAI -35.3	L5-222	
۱۴	۷۰۶	+۰/۵۴	Straw=2825.5×LAI + 633	L5-190	مقدار کاه
۲۰	۹۶۷	-۰/۵۰	Straw =2667.4×LAI -514	L7-198	
۱۸	۸۶۳	-۰/۵۶	Straw=3787.2×LAI -5	L7-214	
۲۰	۹۰۰	-۰/۶۳	Straw=2284.9×LAI -35.3	L5-222	



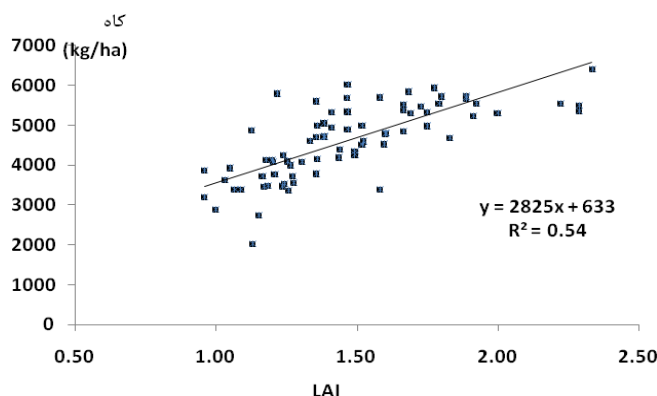
شکل ۹- رابطه شاخص LAI با مقدار عملکرد



شکل ۸- رابطه شاخص LAI با مقدار زیست توده

جدول ۵- نتایج ارزیابی رابطه پیشنهادی در این پژوهش در تخمین عملکرد با استفاده از داده‌های سال ۱۳۸۶

ارزیابی		R ²	معادله
NRMSE (%)	RMSE (Kg ha ⁻¹)		
۱۶	۵۷۰	+۰/۵۱	Yld=7353×SAVI -695



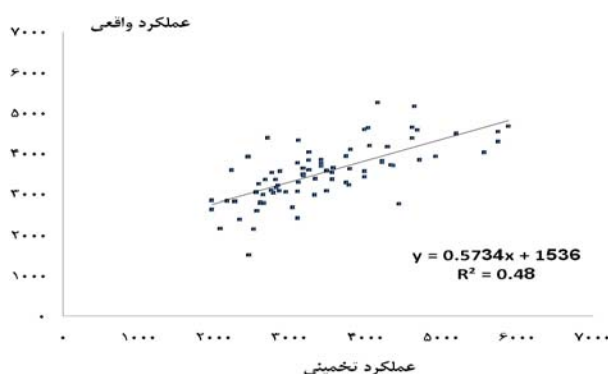
شکل ۱۰- رابطه شاخص LAI با مقدار کاه

عملکرد و کاه تولیدی در شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد استفاده از شاخص LAI در مقایسه با NDVI نتایج بهتری دارد ولی شاخص SAVI در مقایسه با این دو شاخص برتری دارد و منجر به نتایج دقیق‌تری شده است. فناوری سنجش از دور توانایی برآورد عملکرد برنج در سطح وسیع را دارد. بدین معنی که با در اختیار داشتن یک تصویر از ماهواره لندست در هریک از مراحل گلدهی و برداشت برنج که شامل یک دوره یک ماهه می‌باشد عملکرد برنج با دقت مناسب برآورد خواهد شد. استفاده از تصاویر در دوره گلدهی دقت بیشتری را در پی دارد. معادله پیشنهادی در این مقاله به صورت $(Yld=13329 \times SAVI - 3569)$ است که در آن Yld عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد. آنجایی که مرحله گلدهی حداقل یک ماه قبل از برداشت برنج می‌باشد می‌توان نتیجه‌گیری کرد با استفاده از فناوری سنجش از دور و تنها با در اختیار داشتن یک تصویر در زمان گلدهی مقدار زیست توده برنج، عملکرد شلتوک و کاه تولیدی در سطح وسیع با دقت مناسب قابل پیش‌بینی است. بررسی‌های بیشتر در این زمینه توصیه می‌گردد.

تاکنون چند معادله توسط محققان برای تخمین ارائه شده است. در یک مطالعه با بررسی ارتباط شاخص‌های رشد برنج معادله $Yield = 0.2846 \times LAI - 0.0764$ به‌عنوان بهترین معادله برای برآورد عملکرد برنج برحسب کیلوگرم در مترمربع ارائه شده است (Aboelghar et al, 2011). برای مقایسه دقت معادلات ارائه شده در این مقاله با معادله فوق، مقدار عملکرد ۳۰ نقطه به‌کار رفته در بخش ارزیابی (داده‌های سال ۱۳۸۵) توسط این معادله نیز برآورد و مقادیر شاخص‌های ارزیابی آن محاسبه شد. شکل ۱۱ مقدار عملکرد برآورد شده با این معادله را در مقابل عملکرد واقعی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد ضرایب RMSE و NRMSE به ترتیب معادل ۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۸ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در مقایسه با معادله ارائه شده در دیگر مطالعات (Aboelghar et al, 2011)، معادله این مطالعه از دقت بهتری برخوردار هست.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ارتباط شاخص‌های گیاهی LAI، SAVI و NDVI مستخرج از چهار تصویر ماهواره لندست با صفات زیست‌توده،



شکل ۱۱- مقادیر عملکرد برآوردی با روش ابولقهر و همکاران به ازای عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)

- estimating biomass and LAI, *Journal of Field Crops Research*. 55: 83–92.
- Chen, R.K and Yang, C.M. 2005. Determining the optimal timing for using LAI and NDVI to predict rice yield, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 10:3. 239-254.
- Dadhwal, V.K and Ray, S.S. 2000. Crop Assessment using remote sensing – Part II: Crop condition and yield assessment, *Indian Journal of Agricultural Economics*, 55 :2 . 55-67.
- Delécolle, R., Maas, S.J., Guérif, M. 1992. Remote sensing and crop production models: Present trends. *The ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 47: 145-161.
- El Nahry, A.H., Ali, R.R and El Baroudy, A.A. 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Agricultural Water Management*. 98: 517-531.
- Fischer, A., Kergoat, L and Dedieu, G. 1997. Coupling satellite data with vegetation functional models: Review of different approaches and perspectives suggested by the assimilation strategy. *Journal of Remote Sensing Reviews*. 15: 283-303.
- Groten, S.M.E. 1993. NDVI- crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International journal of remote sensing*, 14:8. 1495-1515.
- Huete, A.R. 1988. Soil adjusted vegetation index (SAVI). *Journal of Remote Sensing of Environment*. 25: 295-309.
- Lewis, J.E., Rowland, J and Nadeau, A. 1998. Estimating maize production in Kenya using NDVI: some statistical considerations. *International journal of remote sensing*, 19 :13. 2609– 2617.
- Leon, C.T., Shaw, D.R., Cox, M.S., Abshire, M.J., Ward, B and Wardlaw, M.C. 2003. Utility of remote sensing in predicting crop and soil characteristics. *Journal of Precision Agriculture*, Kluwer Academic Publishers, vol. 4, pp. 359-384
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E and Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data application to Amazon basin, LBA research, *International journal of remote sensing*, 23:13. 2651-2671.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in
- خواجه‌الدین، س.ج و پورمنافی، س.۱۳۸۶. تعیین سطح شالیزارهای حاشیه زاینده رود در منطقه اصفهان با داده‌های رقومی سنجنده های ماهوار IRS11، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* (۱): ۵۱۳-۵۲۸.
- ضیائیان فیروزآبادی، پ.، صیاد بیده‌ندی، ل و اسکندری نوده، م. ۱۳۸۸. تهیه نقشه و تخمین سطح زیرکشت برنج در شهرستان ساری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رادارسات (RADARSAT). *پژوهش های جغرافیای طبیعی، تابستان ۱۳۸۸*. (۶۸): ۵۸-۴۵.
- ساروئی، س و نصیری، ع. ۱۳۸۱. بهره‌گیری از فن آوری سنجنش از دور در تهیه آمار و نقشه اراضی زیر کشت برنج در شمال کشور (شهرستان‌های آمل و بابل)، همایش ژئوماتیک ۸۱، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
- المیریان، ح. ۱۳۷۹. اصول و مبانی سنجنش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره ای (ترجمه)، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۳۵۰ صفحه.
- مختاری، ش. ۱۳۹۰. توسعه و کاربرد یک مدل ساده (VSM) جهت تخمین منطقه‌ای عملکرد برنج با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای. *گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان*.
- 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*. 14:2 .81-89.
- Bastiaanssen Wim, G.M and Ali, S. 2003. new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Journal of Ecosystems and Environment*. 94: 321–340.
- Behrens, T., Muller, J and Diepenbrock, W. 2006. Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis. *Europ. Journal of Agronomy*. 25:345-355.
- Casanova, D., Epema, G.F., Goudrian, J. 1998. Monitoring rice reflectance at field level for

- Shen,S.H., Yang,S.B and Li,B.B. 2009. A scheme for regional rice yield estimation using ENVISAT ASAR data. *journal of Science in China series D: Earth Sciences*. 52:8. 1183-1194,
- Shi,H and Mo,X. 2011. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Journal of Ecological Modelling*. 2:22. 2530- 2541.
- Xiao,X., He,L., Salas,W., Li,C., Moore,B., Zhao,R., Frolking,S and Boles,S. 2002. Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields. *International journal of remote sensing*, 23:18. 3595-3604.
- Yang,X.H., Wang,F.M., Huang,J.F., Wang,J.W., Wang,R.C., Shen,Z.Q and Wang,X.Z. 2009. Comparison between radial basis function neural network and regression model for estimation of rice biophysical parameters using. *Journal of remote sensing, Pedosphere*. 19:2. 176-188.
- tropical ecosystems, *Journal of Applied Ecology* . 9 :747-766.
- Parodi Gabriel,N. 2002. AHVRR Hydrological Analysis System: Algorithms and theory, Version 1.3, WRES – ITC.
- Ren,J., Chen,Z., Zhou,Q and Tang,H. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 10: 403-413.
- Sharma,T., Sudha,K.S., Ravi,N., Navalgund,R.R., Tomar,K.P., Chakravarty,N.V.K and Das,D.K. 1993. Procedures for wheat yield prediction using Landsat MSS and IRS-1A data, *International journal of remote sensing*. 14:13. 2509– 2518.
- Sharma,N., Piscioneri,I., Baviello,G and Orlandini,S. 2000. Promising industrial energy crop, *Cynara cardunculus*: a potential source for biomass production and alternative energy. *Journal of Energy Conversion and Management*. 41:10.1091-1105.

Estimation of paddy field rice yield in the Sefidrud system using Landsat images (case study: Some Sara)

M. Rezaei^{1*}, M. Raeini Sarjaz², A. Shahnazari³, M. Vazifedoust⁴

Recived: Dec. 18, 2013 Accepted: Sep. 17, 2014

Abstract

Early and precise estimation of rice production is a nationwide need in order to early import forecasting. The present study was carried out in the Sefidrud irrigation network of Iran to assess feasibility and accuracy of using remote sensing imagery in predicting regional rice yield. Four Landsat 5 and 7 images were acquired and processed, then NDVI, SAVI and LAI indices were calculated. For the second step a simple linear equation was fitted between these indices and rice biomass (BM), yield (Yld) and straw (St) measured in 110 paddy fields of common farmers. The results showed the best correlation between NDVI and BM achieved from Landsat5 in flowering stage of rice ($R^2=0.59$, RMSE= 1030 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, NRMSE= 12%), For yield and St RMSE and NRMSE were : 12%, 434 and 15%, 711 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. In term of using LAI the best correlation coefficient for BM, Yld and St were 0.6, 0.51 and 0.54. The observed inaccuracy were 919, 380 and 706 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. A better correlation was observed between measured traits and SAVI comparing with NDVI and LAI. The correlation coefficient for Bm, Yld and St were 0.69, 0.58 and 0.53 with inaccuracy of 10%, 10% and 14%. RMSE for SAVI were 870, 375 and 680 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ for Bm, Yld and St, respectively. The result showed that remote sensing could estimate rice yield at flowering stage, at least 30 days before harvesting.

Key words: NDVI, Paddy, Remote sensing, Yield, Etm+

1 - PhD student, Irrigation Science Dept., Sari university of Agricultural Science and Natural Resources.

2 - Associated Professor, Irrigation Science Dept., Sari university of Agricultural Science and Natural Resources.

3-. Assistant Professor, Irrigation Science Dept., Sari university of Agricultural Science and Natural Resources.

4 - Assistant Professor Irrigation Science Dept., university of Guilan.

(* - Corresponding Author Email: mrezaei@yahoo.com)