برآورد شاخص سطح برگ و ضریب گیاهی برنج با استفاده از داده‌های سنجنده OLI

فاطمه جعفری صیادی، محمدعلی غلامی سفیدکوهی[۱] *و میرخالق ضیاتبار احمدی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

fjsayadi1991@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

magholamis@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mzahmadi@yahoo.com

چکیده

تعیین نیاز آبی گیاهان از عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است. ضریب گیاهی به عنوان نماینده ویژگی‌های گیاهان مختلف در معادله محاسبه تبخیر- تعرق گیاهی دارای اهمیت بسیار است. محاسبه این ضریب با روابط و روش‌های موجود هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و اطلاعات حاصل از این روش‌ها به صورت نقطه‌ای گزارش می‌شود، در حالیکه امروزه یافتن روش‌های محاسبه ضریب گیاهی در سطوح گسترده مورد توجه می‌باشد. در این میان روش‌های مبتنی بر سنجش از دور مورد استقبال بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف برآورد ضریب گیاهی (Kc) و شاخص سطح برگ (LAI) برنج در مراحل مختلف زراعی با استفاده از سنجنده OLI انجام شد. بدین منظور، داده‌های شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد طی دو فصل زراعی (۱۳۹۴-۱۳۹۳) و (۱۳۹۵-۱۳۹۴) از دو قطعه شالیزار ۶۵ و ۱۵ هکتاری در شمال شهرستان ساری مورد استفاده قرار گرفت. مقدار متوسط ضریب گیاهی برآورد شده در مراحل نشا، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و رسیدن به ترتیب ۰/۹۲، ۱/۲۴، ۱/۱۹ و ۱/۱۲ به دست آمد که نشان از وجود رابطه خطی بین این ضریب و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) دارد (r > ۰/۹۷). نتایج نشان می‌دهد که شاخص NDVI برآوردگر خوبی برای ضریب گیاهی برنج است. هم‌چنین شاخص رشد برنج (RGVI) نیز در تمامی مراحل دارای ضریب همبستگی r > ۰/۹۳ بود. براساس یافته‌ها، شاخص رشد برنج (RGVI) برآوردگر خوبی برای تعیین شاخص سطح برگ (LAI) محسوب می‌شود و تقریباً در تمامی مراحل رشد گیاه، بیش از ۹۰ درصد تغییرات مقدار شاخص سطح برگ را پیش‌بینی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی، شاخص رشد برنج، لندست ۸

۱- آدرس نویسنده مسئول: مازندران، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده مهندسی زراعی، گروه مهندسی آب

* - دریافت: بهمن ۱۳۹۶ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

مقدمه

جهان تا سال ۲۰۲۵ با کاهش میزان آب در بخش کشاورزی مواجه خواهد شد (Sari et al., 2013). تداوم افزایش تقاضا برای آب، موجب افزایش شکاف میان عرضه و تقاضای این ماده حیاتی در آینده خواهد شد. افزایش این شکاف، تخصیص بهینه آب را اجتناب‌ناپذیر نموده و مدیریت تقاضا و مصرف آن را ضروری می‌نماید. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر- تعرق مصرف می‌شود از عوامل اساسی در تعیین زمان و مقدار آب آبیاری برای رسیدن به محصول بیشتر است. به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب و در نهایت افزایش بهره‌وری آب به اطلاعاتی درباره وضعیت پوشش گیاهی از قبیل سطح زیر کشت، پراکنش و خصوصیات گیاهی نیاز است (امینی بازیانی و همکاران، ۱۳۹۲).

به‌منظور استفاده کاربردی از داده‌های سنجش از دور در علوم کشاورزی، بهره‌گیری از شاخص‌های گیاهی مختلف رو به گسترش است. شاخص‌های گیاهی معمولاً بر اساس ارزش بازتاب‌های طیفی دو یا چند باند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. قابلیت استفاده از شاخص‌های گیاهی برای پایش تغییرات پوشش گیاهی به اثبات رسیده است (مصلح و همکاران، ۲۰۱۵؛ ساری و همکاران، ۲۰۱۳). از شاخص‌های گیاهی مختلف در برآورد خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان همچون شاخص سطح برگ، مراحل زراعی، فنولوژی و غیره استفاده‌های فراوانی می‌شود. شاخص سطح برگ[۱] کمیتی است که میزان سبزینگی گیاه را به سطح سایه‌انداز آن بیان می‌کند (یوشیدا،۱۹۸۱). به علاوه از آنجایی که شاخص سطح برگ نماینده رشد گیاهی است، یک پارامتر بیوفیزیکی مهم در بررسی متقابل میان گیاه و اتمسفر محسوب می‌شود زیرا فرآیندهایی همچون فتوسنتز و تبخیر- تعرق به شاخص سطح برگ وابسته است (آلن و همکاران،۱۹۹۸). به همین دلیل امروزه تلاش می‌شود تا این شاخص با دقت قابل قبول محاسبه شده و در تعیین پارامترهای تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی مورد استفاده قرار گیرد. طی نیم قرن گذشته، ضریب گیاهی به‌منظور ساده‌سازی و استاندارد کردن محاسبات و برآوردهای نیاز آبی گیاه توسعه یافته است. مقدار این ضریب در طی فصل رویش و با رشد و نمو گیاه، با تغییر کسری از زمین که تحت پوشش گیاه قرار گرفته است، با تغییر رطوبت زیر سطحی خاک و هم‌چنین بسته به سن و بلوغ گیاه تغییر می‌کند (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۹۲). امروزه تلاش می‌شود تا با استفاده از روش‌های دورسنجی بتوان این ضریب مهم در مسائل مدیریت آبیاری را محاسبه کرد، زیرا در روش دورسنجی علاوه بر امکان پایش در سطح گسترده، می‌توان در بازه‌های زمانی مشخص این ضریب را برآورد کرد و با توجه به تغییرات زمانی آن، درباره برنامه آبیاری اطلاعات لازم را به‌دست آورد (کامبل و همکاران، ۲۰۱۳). از این رو به‌طور متداول میان شاخص‌های گیاهی حاصل از دورسنجی و ضریب گیاهی رابطه‌های تجربی برقرار می‌شود تا بتوان ضریب گیاهی و در نهایت تبخیر- تعرق گیاه را در سطح وسیع محاسبه کرد. شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی[۲] (NDVI) که معرف میزان زیست توده[۳] گیاهی، میزان کلروفیل و تنش‌های آبی است، شاخص مناسبی برای برقراری رابطه با ضریب گیاهی شناخته می‌شود (مصلح و همکاران، ۲۰۱۵). شاخص رشد برنج[۴] (RGVI) که بر اساس شرایط کشت خاص برنج تعریف شده است، در برقراری رابطه با ضریب گیاهی[۵] در شالیزارها دقت خوبی از خود نشان داده است (مصلح و همکاران، ۲۰۱۵). به علاوه دو شاخص نام برده شده قادر به برقراری رابطه با شاخص سطح برگ می‌باشند. همچنین می‌توان علاوه بر محاسبه ضریب گیاهی، شاخص سطح برگ را نیز محاسبه کرده و به دنبال رابطه‌ای مناسب میان شاخص سطح برگ و ضریب گیاهی بود.

---

۱ Leaf Area Index (LAI)

۲ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

۳ Biomass

۴ Rice Growth Vegetation Index (RGVI)

۵ Crop Coefficient (Kc)

غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS ضریب گیاهی گندم را در حوضه گرگانرود برآورد نمودند. نتایج نشان داد که روش دورسنجی قادر است به ترتیب با ریشه میانگین مربع خطا و میانگین مطلق ۱۸ و ۱۶ میلیمتر تبخیر- تعرق واقعی سالانه گندم را با دقت مناسب برآورد نماید. در تحقیق کامبل و همکاران، ۲۰۱۳ ضریب گیاهی گیاهان مختلف با کمک شاخص‌های گیاهی حاصل از سنجش از دور مورد ارزیابی قرار گرفت. با انتخاب سه مزرعه تحقیقاتی شامل سه گیاه ذرت، سویا و چمن با استفاده از روش فائو ۵۶ مقادیر ضریب گیاهی طی دوره‌های مختلف رشد اندازه-گیری شد. سپس با کمک شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) حاصل از سنجنده MODIS ضریب گیاهی طی مراحل مختلف رشد برآورد شد. در پایان با مقایسه آماری مابین شاخص NDVI و ضریب گیاهی، معادله عمومی به-منظور برآورد ضریب گیاهی گیاهان از طریق شاخص NDVI معرفی شد.

با توجه به سطح وسیع اراضی شالیزاری در استان‌های شمالی و محدودیت منابع آب، لزوم برنامه‌ریزی آبیاری امری ضروری است. هدف از پژوهش حاضر استفاده از تصاویر سنجنده OLI[1] در برآورد ضریب گیاهی و شاخص سطح برگ برنج طی مراحل مختلف رشد گیاه برنج است. بر این اساس ابتدا شاخص‌های گیاهی NDVI و RGVI محاسبه و سپس مقایسه آماری مابین این شاخص‌ها و ضریب گیاهی و شاخص سطح برگ انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

شالیزارهای انتخابی در این پژوهش در محدوده دو روستای پنبه‌چوله و قاجارخیل در شمال شهرستان ساری قرار دارند. مساحت محدوده‌های مورد بررسی به ترتیب ۶۵ و ۱۵ هکتار بود که با توجه به توان تفکیک زمینی تصاویر ماهواره لندست ۸ (۳۰ متر)، تعداد پیکسل‌های محدوده‌های مورد مطالعه کافی است. متوسط دما و بارندگی در دوره رشد (۱۳۹۵-۱۳۹۴) ۱۷/۵ درجه سلسیوس و ۶۸۸ میلیمتر می‌باشد و اقلیم منطقه به روش دمارتن، مرطوب است (بخت‌فیروز،۱۳۹۰). کشت غالب محدوده، برنج با رقم طارم هاشمی است که به صورت آبیاری غرقابی و بدون تنش آبی در مراحل مختلف رشد آبیاری می‌شود. آب مورد نیاز از طریق کانال‌های آبیاری در مزارع توزیع و آب مازاد از طریق زهکشی از منطقه خارج می‌شود.

تصاویر مورد استفاده

ماهواره لندست ۸ دو سنجنده OLI و TIRS[2] را با خود حمل می‌کند. سنجنده OLI با داشتن نه باند در گروه مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ میانی، مناسب برای کاربردهای کشاورزی است (یو اس جی اس، ۲۰۱۵). باندهای چهار و پنج سنجنده OLI دو محدوده قرمز و فروسرخ نزدیک را شامل شده که به‌منظور محاسبه شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)، تصاویر این دو باند به‌کار گرفته شد. هم‌چنین برای محاسبه شاخص رشد برنج (RGVI) باندهای دو، شش و هفت که به ترتیب در محدوده آبی، فروسرخ میانی یک و دو قرار دارند نیز مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی تصاویر، توسط فایل متا دیتا[3]، پیش پردازش قرار شدند. جدول ۱ اطلاعات مربوط به مشخصات و تاریخ تصویربرداری را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات و تاریخ دریافت تصاویر ماهواره لندست ۸

ردیف	تاریخ		مراحل زراعی
	شمسی	میلادی	
۱	۱۳۹۴/۰۳/۰۵	۲۰۱۵-۰۵-۲۶	نشا
۲	۱۳۹۵/۰۳/۰۸	۲۰۱۶-۰۵-۲۸	
۳	۱۳۹۴/۰۳/۲۱	۲۰۱۵-۰۶-۱۱	پنجه‌زنی
۴	۱۳۹۵/۰۴/۰۹	۲۰۱۶-۰۶-۲۹	
۵	۱۳۹۴/۰۵/۰۷	۲۰۱۵-۰۷-۲۹	خوشه‌دهی
۶	۱۳۹۴/۰۵/۲۳	۲۰۱۵-۰۸-۱۴	رسیدن

[1] Operational Land Imager
[2] Thermal Infrared Sensor
[3] Metadata

شاخص‌های گیاهی

در پژوهش جعفری صیادی (۱۳۹۵)، هفت شاخص گیاهی شامل شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی، شاخص تفاوت نرمال شده آبی[۱]، شاخص بهبود یافته پوشش گیاهی[۲]، شاخص پوشش گیاهی با اصلاح خاک[۳]، شاخص رشد برنج، شاخص نسبت گیاهی[۴] و شاخص تفاوت گیاهی[۵] مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی و شاخص رشد برنج دارای دقت بیشتر می باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر از این دو شاخص استفاده شد.

شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) از جمله متداول‌ترین شاخص‌های مورد استفاده در سنجش از دور است که از اختلاف باندهای قرمز و فروسرخ نزدیک استفاده می‌کند. وجود رنگدانه در گیاه موجب جذب نور قرمز و عدم بازتاب آن شده در حالی که گیاهان در باند فروسرخ بازتاب زیادی از خود نشان می‌دهند (ژانگ و همکاران،۲۰۱۲). رنگدانه‌های موجود در برگ برنج مانند دیگر گیاهان سبز، نور قرمز را جذب می‌کنند در حالی که در محدوده فروسرخ نزدیک، نور رسیده به برگ به دلیل ساختار اسفنجی درون مزوفیل به اطراف پراکنده می‌شود (درویش‌صفت و همکاران، ۱۳۹۱). واکنش بین طیف‌های نور قرمز، فروسرخ نزدیک و برگ باعث به وجود آمدن روابط مختلف بین این دو باند شده است. از طرف دیگر به دلیل شرایط خاص مورد نیاز برای رشد برنج و وجود آب در زیر سطح سایه‌انداز گیاه، طیف‌های بازتابی از سطح شالیزار الگوی خاص خود را دارند، به‌طوری که به دلیل وجود آب، در محدوده فروسرخ میانی جذب زیادی اتفاق می‌افتد و در شالیزارها، زمانی که نشا به زمین منتقل می‌شود وجود آب اطراف گیاه در سطح وسیع قابل تشخیص است. در پژوهش حاضر از شاخص رشد برنج (RGVI) به‌منظور کاهش اثرات آب در شالیزار استفاده شد. جدول ۲ روابط شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی و رشد برنج را نشان می‌دهد.

جدول ۲- شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی و رشد برنج و معرفی پارامترهای به‌کار رفته در آن‌ها

نام شاخص	نماد	رابطه	پارامترها
تفاوت نرمال شده گیاهی	NDVI	$\frac{\rho_{NIR}-\rho_R}{\rho_{NIR}+\rho_R}$	ρ_R طیف بازتابی در طول موج قرمز طیف مرئی ρ_{NIR} طیف بازتابی در طول موج فروسرخ نزدیک
رشد برنج	RGVI	$1-\frac{\rho_B-\rho_R}{\rho_{NIR}+\rho_{SWIR1}+\rho_{SWIR2}}$	ρ_B طیف بازتابی در طول موج آبی طیف مرئی ρ_{SWIR1} طیف بازتابی در طول موج فروسرخ میانی ۱ ρ_{SWIR2} طیف بازتابی در طول موج فروسرخ میانی ۲

شاخص سطح برگ

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از رابطه ۱ استفاده شد (یوشیدا، ۱۹۸۱). بدین منظور، ابتدا تعداد و فاصله بوته‌های برنج در شالیزار تعیین شد و سپس طول و عرض تمام برگ‌های موجود در یک بوته محاسبه شد. در ادامه با میانگین‌گیری از بوته‌های اندازه‌گیری شده در هر مزرعه (بالغ بر ۵۰ بوته)، شاخص سطح برگ بوته در هر مرحله رشد برای هر مزرعه محاسبه شد. فاکتور تصحیح K به‌کار رفته در این رابطه به‌منظور وارد ساختن اثر ارقام، به‌کار گرفته شده است. مقدار این فاکتور برای ارقام طارم هاشمی، ۰/۷٤ در نظر گرفته می‌شود (آبولگار و همکاران، ۲۰۱۱).

$$LAI = K \times LeafLength \times LeafWidth \quad (۱)$$

به‌منظور نمونه‌برداری، ۱۲ مزرعه شالیزار انتخاب و طی فصل زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤، شاخص سطح برگ برای هر مرحله زراعی برنج محاسبه شد. جدول ۳

۱ Normalized Difference Water Index (NDWI)
۲ Enhance Vegetation Index (EVI)
۳ Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
۴ Ratio Vegetation Index (RVI)
۵ Difference Vegetation Index (DVI)

مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین شاخص سطح برگ

مرحله زراعی	کمینه		میانگین		بیشینه	
	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵
نشا	۴/۸۷	۴/۶۷	۵/۴۶	۵/۰۹	۶/۱۵	۵/۵۵
پنجه‌زنی	۶/۹۳	۷/۹	۷/۷۷	۸/۹۱	۸/۸۹	۹/۷
خوشه‌دهی	۹/۴	۱۱/۷	۱۰/۴	۱۲/۷	۱۲/۱	۱۳/۷
رسیدن	۷/۸۱	۷/۶	۸/۵۵	۸/۳۱	۹/۴۷	۸/۸۹

جدول ۴- مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین ضریب گیاهی برنج رقم طارم هاشمی

مراحل زراعی	طول دوره (روز)	کمینه	میانگین	بیشینه
نشا	۲۰	۰/۸۷	۰/۹۲۵	۰/۹۸
پنجه‌زنی	۳۰	۱/۱۹	۱/۲۴۵	۱/۳
خوشه‌دهی	۲۰	۱/۱۴	۱/۱۹	۱/۲۴
رسیدن	۲۰	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۶

ضریب گیاهی

به‌منظور تعیین ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلف زراعی، از نتایج پژوهش‌های قبلی انجام شده در منطقه اقلیمی مشابه (استان گیلان) استفاده شد. جدول ٤ کمینه، بیشینه و میانگین ضریب گیاهی برنج رقم طارم هاشمی در مراحل مختلف رشد را نشان می‌دهد (مدبری و همکاران، ۱۳۹۳).

واسنجی و صحت‌سنجی

با توجه به ابرناک بودن تصاویر مرحله زراعی خوشه‌دهی و رسیدن در سال ۱۳۹۵ (جدول ۱)، بطور تصادفی از ۷۰ و ۳۰ درصد داده‌های هر مرحله به ترتیب به منظور واسنجی و صحت‌سنجی روابط استفاده و شاخص-های ارزیابی استخراج و مورد مقایسه قرار گرفت.

شاخص‌های ارزیابی

با هدف ارزیابی نتایج حاصل از دورسنجی با نتایج داده‌های زمینی، شاخص‌های ارزیابی آماری شامل ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربع خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای معیار (SE) و ضریب تبیین به ترتیب مطابق روابط ۲ تا ٦ مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(e_{ri}-e_{mi})^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{S} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum|e_{ri}-e_{mi}|}{n} \quad (٤)$$

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (٥)$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (٦)$$

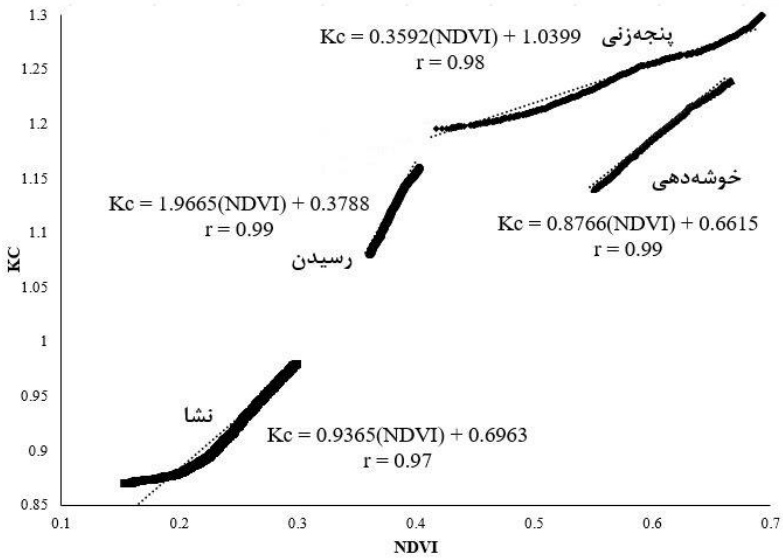
در روابط بالا:

e_{ri} داده زمینی، e_{mi} داده دورسنجی، n تعداد داده، S انحراف معیار متغیر، SSR مجموع مربعات رگرسیون و SST مجموع مربعات می باشد.

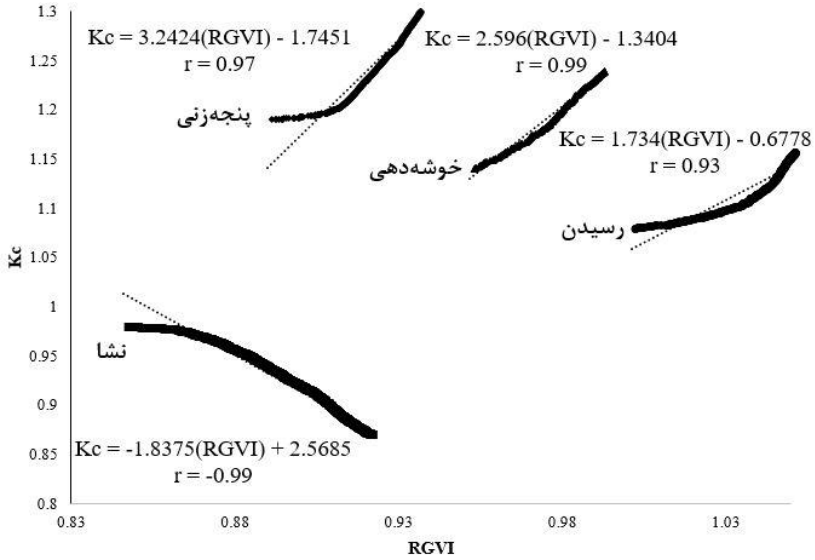
نتایج و بحث

شکل ۱ رابطه بین ضریب گیاهی (Kc) و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) در مراحل مختلف رشد (نشا، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و رسیدن) طی فرآیند واسنجی

را نشان می‌دهد. مقایسه این روابط نشان می‌دهد که با افزایش میزان سبزینگی، همبستگی بین ضریب گیاهی و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی افزایش می‌یابد. به‌طوری که در مرحله نشا، به دلیل بازتاب آب موجود در سطح شالیزار، همبستگی حدود ۹۷ درصد و با کامل شدن سطح سایه‌انداز در مرحله پنجه‌زنی و خوشه‌دهی همبستگی به ۹۹ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۲ رابطه بین ضریب گیاهی (Kc) و شاخص رشد برنج (RGVI) در مراحل مختلف رشد طی فرآیند واسنجی را نشان می‌دهد. با توجه به باندهای مورد استفاده در تعیین شاخص رشد برنج، رابطه خطی معکوس با همبستگی ۰/۹۹ در مرحله نشا بین این دو پارامتر وجود دارد. در سایر مراحل زراعی این شاخص نیز مشابه شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی با ضریب گیاهی رابطه مستقیم و با همبستگی بالا دارد. به‌طور کلی، هر دو شاخص در مرحله خوشه‌دهی، بیشترین ضریب همبستگی را با ضریب گیاهی دارند این مهم نشان می‌دهد که به دلیل قرارگیری گیاه در اوج سبزینگی، با استفاده از هر دو شاخص می‌توان با دقت قابل ملاحظه‌ای ضریب گیاهی برنج را برآورد نمود. در پژوهش انجام شده توسط مصلح و همکاران (۲۰۱۵) نیز شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی و رشد برنج به عنوان عمومی‌ترین شاخص‌های گیاهی مناسب برای برنج در برقراری رابطه با خصوصیات زراعی و فنولوژیکی گیاهان معرفی شدند. ضریب گیاهی برای شش محصول (ذرت، سورگوم، یونجه، سویا، گندم و پنبه) در پژوهش کامبل و همکاران (۲۰۱۳) نیز با شاخص NDVI در مرحله تکامل سطح سایه‌انداز بیشترین ضریب تعیین (R^2 =۰/۹۱) را داشت. روسو و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی سری زمانی شاخص NDVI سنجنده MODIS تاکید کردند با توسعه و گسترش پوشش گیاهی می‌توان میان ضریب گیاهی و شاخص NDVI با همبستگی بیش از ۹۰ درصد رابطه برقرار کرد. جدول ۵، مقادیر شاخص‌های ارزیابی استفاده از NDVI و RGVI به‌منظور برآورد Kc در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌های ارزیابی در مرحله صحت‌سنجی نشان می‌دهد دقت برآورد مقدار Kc نسبت به مرحله واسنجی کاهش یافته است. دلیل این اتفاق کاهش تعداد داده‌ها (از ۷۰ درصد به ۳۰ درصد داده‌ها) می‌باشد زیرا روابط بکار گرفته به منظور ارزیابی، تابع تعداد داده‌ها است. به‌طور کلی طی مراحل چهارگانه نشا، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و رسیدن می‌توان با دقت قابل قبول مقدار Kc را تخمین زد. مقایسه مقدار متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده (مدبری و همکاران، ۱۳۹۳) و برآورد شده نشان می‌دهد که روش بکار گرفته در این پژوهش توانسته است مقدار Kc را با دقت قابل قبول برآورد نماید.



شکل ۱- رابطه بین ضریب گیاهی (Kc) و شاخص تفاوت نرمال شده (NDVI) در مراحل مختلف رشد (واسنجی)



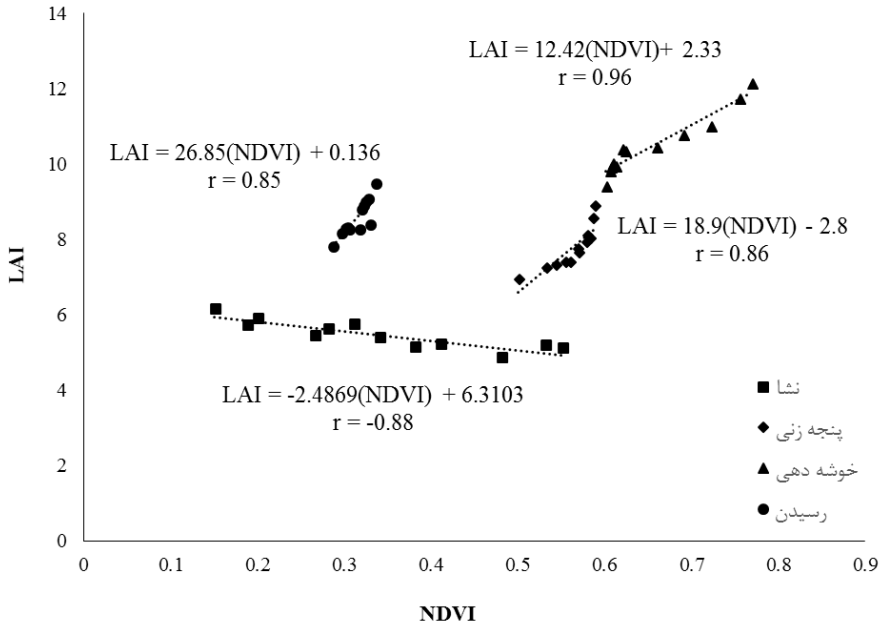
شکل ۲- رابطه بین ضریب گیاهی (Kc) و شاخص رشد برنج (RGVI) در مراحل مختلف رشد (واسنجی)

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی شاخص‌های گیاهی دورسنجی و ضریب گیاهی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

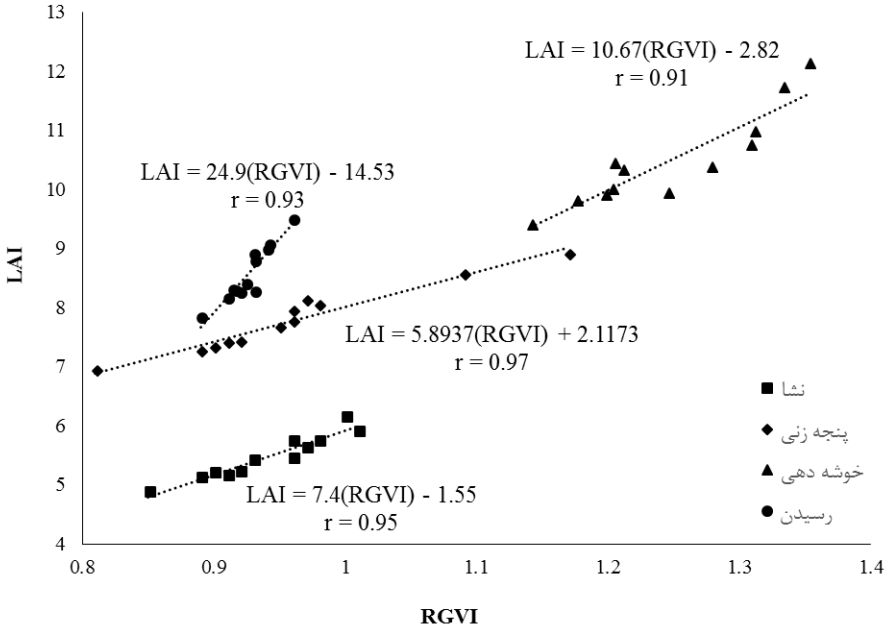
مرحله زراعی	شاخص گیاهی	متوسط ضریب گیاهی	شاخص ارزیابی							
			واسنجی				صحت‌سنجی			
		اندازه‌گیری شده	برآورد شده	SE	MAE	RMSE	NRMSE	SE	MAE	RMSE	NRMSE
نشا	NDVI	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۲۳	۰/۰۵۴	۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	۰/۶۳
	RGVI		۰/۹۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۱۶	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۶۸
پنجه‌زنی	NDVI	۱/۲۴	۱/۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۲/۷
	RGVI		۱/۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۴۸	۱/۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۱/۷۳
خوشه دهی	NDVI	۱/۱۹	۱/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۲۵	۰/۸۸	۰/۰۹	۰/۰۶۶	۰/۰۷	۴/۰۱
	RGVI		۱/۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۳	۰/۰۹۶	۰/۰۴	۰/۰۴۱	۲/۱۴
رسیدن	NDVI	۱/۱۲	۱/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۴۸	۰/۰۷۳	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۲/۵۶
	RGVI		۱/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۴	۰/۰۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۴/۴۶

شکل ۳، رابطه شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) و شاخص سطح برگ (LAI) اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی را نشان می‌دهد. همانند برآورد ضریب گیاهی، با افزایش مقدار سبزینه گیاه، استفاده از شاخص NDVI در برآورد LAI مناسب‌تر است. به طوری که همبستگی بین NDVI و LAI در مرحله خوشه‌دهی به بیشترین (۰/۹۶) خواهد رسید. همچنین در مرحله نشا به دلیل عدم پوشش کامل زمین توسط گیاه، بازتاب طیفی از سطح آب موجود در زمین، دقت تخمینی LAI با استفاده از NDVI کاهش می‌یابد. شکل ٤، رابطه شاخص رشد برنج (RGVI) و شاخص سطح برگ (LAI) را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، با استفاده از این شاخص می‌توان مقدار شاخص سطح برگ در مراحل نشا، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و رسیدن را به ترتیب با همبستگی ۹۵، ۹۷، ۹۱ و ۹۳ درصد برآورد نمود. آبولگار و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند شاخص NDVI در تمام مراحل زراعی برنج برای برآورد شاخص سطح برگ نسبت به دیگر شاخص‌های دورسنجی (RVI، DVI و SAVI) مناسب‌تر است. دوکمین و همکاران (۲۰۰٦) در تعیین شاخص سطح برگ گندم نشان دادند با بهبود پوشش گیاهی و افزایش شاخص سطح برگ، شاخص دورسنجی NDVI با دقت مناسب (R^2 =۰/۹۲) توانست شاخص سطح برگ را در سطح گسترده برآورد کند. جدول ٦، مقادیر شاخص‌های ارزیابی استفاده از شاخص‌های گیاهی دورسنجی در برآورد LAI را در مرحله

واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود، مقدار شاخص‌های ارزیابی در مرحله صحت‌سنجی نیز در محدود قابل پذیرش قرار دارد، در نتیجه می‌توان با دقت قابل قبولی مقادیر شاخص سطح برگ برنج را با استفاده از شاخص‌های گیاهی (NDVI و RGVI) طی مراحل چهارگانه رشد برآورد نمود.



شکل ۳- رابطه شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) و شاخص سطح برگ (LAI) اندازه‌گیری شده (واسنجی)



شکل ۴- رابطه شاخص رشد برنج (RGVI) و شاخص سطح برگ (LAI) اندازه‌گیری شده (واسنجی)

جدول ۶- شاخص‌های آماری شاخص سطح برگ با شاخص‌های گیاهی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

مرحله زراعی	شاخص گیاهی	متوسط شاخص سطح برگ		شاخص‌های ارزیابی							
		اندازه‌گیری شده	برآورد شده	واسنجی				صحت‌سنجی			
				SE	MAE	RMSE	NRMSE	SE	MAE	RMSE	NRMSE
نشا	NDVI	۵/۲۷	۵/۵۶	۰/۰۵۱	۰/۴۶	۰/۵۸	۲/۱۱	۱/۴۴	۰/۴۳	۰/۵۱	۱/۳۸
	RGVI		۵/۰۱	۰/۰۵۴	۰/۲۶	۰/۳۲	۱/۱۷	۱/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۷۵
پنجه‌زنی	NDVI	۸/۳۴	۸/۰۲	۰/۰۷۲	۰/۹	۰/۹۹	۱/۹۴	۲/۰۳	۰/۸۳	۰/۹۶	۱/۹۷
	RGVI		۷/۸۷	۰/۰۸	۱/۰۳	۱/۱۷	۲/۳۱	۱/۹۳	۰/۹۷	۱/۱	۲/۱
خوشه دهی	NDVI	۱۱/۵۵	۱۰/۶	۰/۱۷۸	۲/۰۸	۲/۱۹	۳/۹۸	۲/۴۴	۲/۳۱	۲/۰۲	۲/۷۹
	RGVI		۱۰/۷	۰/۱۵۹	۱/۹۷	۲/۰۵	۳/۷۲	۲/۵۱	۱/۴۳	۱/۹۹	۲/۷۶
رسیدن	NDVI	۸/۴۳	۸/۷۲	۰/۰۴۹	۰/۴	۰/۴۵	۱/۲۴	۲/۳۸	۰/۴۷۸	۰/۴	۱/۰۹۵
	RGVI		۸/۹۸	۰/۰۵۹	۰/۶۶	۰/۷۱	۱/۹۶	۲/۳۸	۰/۵۷	۰/۷۷۳	۱/۵۷

به طور کلی اگر در هر مرحله زراعی شاخص‌های ارزیابی برای هر دو شاخص سنجش از دور مورد بررسی قرار گیرد مشخص می‌شود که روابط حاصل از هر دو شاخص دورسنجی با شاخص سطح برگ توانستند با دقت مناسب و خطای اندکی شاخص سطح برگ را برآورد کنند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) از روش‌های شبکه‌ای استفاده کردند تا شاخص سطح برگ را با کمک تصاویر ماهواره‌ای برآورد کنند که در پایان شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) دارای همبستگی بیش از ۹۰ درصد با شاخص سطح برگ بود. همچنین کامبل و همکاران (۲۰۱۳) از سری زمانی شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی استفاده کردند تا ضریب گیاهی را برای ذرت، سورگم، یونجه، سویا، گندم و پنبه با ضریب تبیین در حدود ۸۵ تا ۹۵ درصد برآورد کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) و رشد برنج (RGVI) می‌توانند با ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلف زراعی رابطه‌ای با همبستگی مناسب برقرار کنند. به طوری کلی، دقت برآورد شاخص‌های گفته شده در تعیین ضریب گیاهی در مراحل نشا، پنجه‌زنی و خوشه‌دهی بیشتر از مرحله رسیدن است. یافته‌ها نشان داد رابطه خطی معکوس قوی ($r = ۰/۹۹$) میان RGVI و Kc در مرحله نشا بر قرار است. این مهم به دلیل وجود آب در اراضی شالیزاری می‌باشد. نتایج نشان داد با استفاده از شاخص‌های دورسنجی NDVI و RGVI نیز می‌توان LAI را با دقت خوب ($r > ۰/۸۵$) برآورد نمود. به طور کلی، هر اندازه سطح سایه‌انداز گیاه برنج تکامل بیشتری می‌یابد شاخص دورسنجی NDVI با دقت بیشتری برای برآورد ضریب گیاهی و شاخص سطح برگ برنج می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. امینی بازیانی، س.، اکبری، م. و زارع ابیانه، ح. (۱۳۹۲). برآورد سطح و تراکم کشت با استفاده از سنجش از دور در دشت همدان- بهار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۷ (۱). ۴۸-۳۶.

۲. بخت فیروز، ع. (۱۳۹۰). بررسی اثر سامانه‌های زهکشی بر گسیل گاز متان و دی اکسید کربن از شالیزارها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ص ۵۰.

۳. پیرمرادیان، ن.، ذکری، ف.، رضایی، م. و عبدالهی، و. (۱۳۹۲). استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه روش برآورد تبخیر- تعرق مرجع در منطقه رشت. تحقیقات غلات. ۳(۲). ۹۵-۱۰۶.

٤. جعفری صیادی، ف. ۱۳۹۵. کاربرد سنجش از دور در براورد سطح زیر کشت و مقدار آب مصرفی برنج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده مهندسی زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۵. درویش‌صفت ع ا.، پیرباوقار م. و رجب‌پور رحمتی م. (۱۳۹۱). سنجش از دور برای مدیران GIS. چاپ دوم. دانشگاه تهران.

٦. غلامی سفیدکوهی، م ع.، میرلطیفی، س م.، محمدی، ک. و علیمحمدی، ع. (۱۳۸۹). برآورد ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور، مطالعه موردی حوضه گرگانرود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲(٤). ۲۲۲-۲۳۱.

۷. مدبری، ه.، میرلطیفی، س م. و غلامی، م ع. (۱۳۹۳). تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی ارقام هاشمی و خزر برنج در دشت مرداب- گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۸(٦۹). ۹۷- ۱۰۷.

8. 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 estimating in Egyptian Nile Delta. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space. 14. 81-89.
9. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage paper 56. United Nations FAO, Rome. Italy, 300p.
10. Department of the Interior U.S. Geological Survey (USGS). (2015). LANDSAT 8 (L8) DATA USER HANDBOOK. Version 1.
11. Duchemin, B., Hadria, R., Erraki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., Escadafal, R., Ezzahar, J., Hoedjes, J.C.B., Kharrou, M.H., Khabba, S., Mougenot, B., Olioso, A., Rodriguez, J.C. and Simonneaux, V. (2006). Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: on the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely sensed vegetation index. Agricultural Water Management. 79. 1-27.
12. Kamble, B., Kilic, A. and Hubbaed, K. (2013). Estimating Crop Coefficient Using Remote Sensing-Based Vegetation Index. Sensor. 5: 1588-1602.
13. Mosleh, M.K., Hassan, Q.K. and Chowdhury, E.H. (2015). Application of Remote Sensing in Mapping Rice Rea and Forecasting Its Production. Sensor. 15: 769-791.
14. Russo, A.L., Simoniello, T., Greco, M., Squicciarrino, G., Lanfredi, M. and Macchiato, M. (2010). Correlation between satellite vegetation indeces and crop coefficients. Geophysical Research Abstracts. 12.
15. Sari, DK., Isullah, I.H., Sulasdi, W.N. and Harto, A.B. (2013). Estimation of water consumption of lowland rice in tropical area based on heterogeneous cropping calendar using remote sensing technology. Procedia Environmental Sciences. 17. 298-307.
16. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. The International Rice Research Institute. Philippines.
17. Zhang, Y., Qu, Y., Wang, J., Liang, S. and Liu, Y. (2012) Estimating Leaf Area Index from MODIS and surface meteorological data using dynamic Bayesian network. Remote Sensing of Environment. (127). 30-43.

Leaf Area Index and Crop Coefficient Estimation from Operational Land Imager (OLI) Sensor Data

F. Jafari Sayadi, M. A. Gholami Sefidkouhi[1] *, and M. Ziatabar Ahmadi

PhD Student of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
Fjsayadi1991@gmail.com
Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
magholamis@yahoo.com
Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
mzahmadi@yahoo.com

Abstract

Water demand is one of the most effective factors in irrigation scheduling. In evapotranspiration formulas, crop coefficient (Kc), as a representative of different plants characteristics, is of great importance. Calculating this coefficient using the existing methods and formulas is costly and time-consuming, and results are point-specific. However, nowadays, calculation methods that provide large- scale Kc values are of interest. The methods based on remote sensing have been welcomed by many researchers. The objective of the present study was calculating crop coefficient (Kc) and leaf area index (LAI) of rice in different growing stages, using OLI sensor. In this regard, data LAI of two rice fields (areas of 15 and 65 hectares) located in north part of Sari, Iran, were used in two growing seasons (2014-2015 and 2015-2016). The average Kc at transplantation, tillering, heading, and maturity stages was, respectively, 0.92, 1.24, 1.19, and 1.12, showing that Kc had a good correlation with NDVI at different stages ($r>0.97$). According to the results, NDVI is a good estimator for rice Kc. In addition, Rice Growth Vegetation Index (RGVI) in all growing stages had a correlation coefficient $r>0.93$. RGVI is considered as a good estimator of LAI. Approximately at all growing stages, except heading, more than 93% of LAI changes were predicted by RGVI. Generally, it can be concluded that the most suitable indices for estimating Kc and LAI of rice are NDVI and RGVI, respectively.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Rice Growth Vegetation Index (RGVI)**,** LANDSAT 8

1 -Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Agricultural Engineering, Department of Water Engineering,.Mazandaran, Iran .
*- Received: January 2017and Accepted: May 2018