

ارزیابی شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ALOS- AVNIR2 به منظور تخمین میزان بایومس محصول برنج

روشنک درویش‌زاده* - استادیار دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS، تهران، ایران
علی اکبر متکان - دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS، تهران، ایران
ناصر اسکندری - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش نهایی: ۱۳۹۰/۳/۲۵

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۲۰

چکیده

داده‌های ماهواره‌ای به منظور گسترش و مدیریت منابع کشاورزی همواره قادر هستند در تأمین اطلاعات لازم در جنبه‌های مختلف جوامع گیاهی من جمله بایومس نقش مهمی را ایفا نمایند. در تحقیق حاضر به بررسی توانایی شاخص‌های طیفی در تخمین بایومس محصول برنج در شهرستان آمل به عنوان یکی از قطب‌های مهم تولید برنج در کشور پرداخته شده است. محصول برنج به دلیل اهمیتی که تأمین نیازهای غذایی و کالری بخش عظیمی از جامعه برعهده دارد برای این تحقیق انتخاب شد. عملیات میدانی اندازه‌گیری بایومس در زمانی که برنج در منطقه مطالعاتی در حداکثر رشد رویشی خود قرار داشت (خرداد ۱۳۸۹)، انجام شد. دو تصویر ماهواره ALOS-AVNIR-2 که همزمان با اندازه‌گیری‌های میدانی اخذ گردیده بود جهت استخراج و تعیین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس همبستگی بین داده‌های زمینی و شاخص‌های گیاهی حاصل از ترکیب باندهای مختلف، ارزیابی و پس از آن، شاخص‌های گیاهی مناسب تشخیص داده شدند. در نهایت محاسبات و بررسی‌های آماری برای معرفی مدل مناسب ارائه گردید. پس از آزمایش مدل‌ها نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص DVI با ضریب تعیین ۷۲ درصد نسبت به دیگر شاخص‌های استفاده شده از دقت بالاتری در تخمین بایومس برخوردار است. بر اساس اطلاعات به دست آمده از این تحقیق می‌توان بیان نمود که با استفاده از تصاویر ماهواره ALOS امکان تخمین بایومس با دقت قابل قبولی وجود دارد.

واژگان کلیدی: شاخص‌های گیاهی، ALOS-AVNIR-2، برنج، تخمین بایومس

۱. مقدمه

آمار و اطلاعات مربوط به میزان تولید محصولات کشاورزی، در تدوین و تنظیم سیاست‌های صادرات - واردات، قیمت‌گذاری فرآورده‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی‌های توسعه کشاورزی و سایر مسایل مربوط به این بخش، به عنوان ابزار پایه محسوب می‌شود. محصول برنج به دلیل نقش مهمی که در تغذیه و اشتغالزایی در کشور دارد (مخصوصاً در مناطق شمالی کشور) از دیرباز به عنوان یک محصول استراتژیک مطرح بوده است. از این رو استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های جدید به منظور ارزیابی و پایش این محصول ضروری به نظر می‌رسد. سنجش از دور به کمک امواج الکترومغناطیس طبیعی و مصنوعی در بررسی‌ها و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و منابع طبیعی کاربرد دارد (خواجه الدین، ۱۳۷۶: ۸۷). امروزه در بسیاری از موارد، کاربرد آن نه تنها هزینه زیادی ندارد بلکه منافع آن به حدی است که هزینه خرید داده‌ها در مقابل سرعت انجام کار و حجم داده‌ها و نیز نتیجه خروجی آنالیزها برای برنامه‌ریزی ناچیز می‌باشد. منافع حاصل از سنجش از دور به واسطه بهنگام بودن و امکان آشکارسازی سریع تغییرات محیطی در تکنیک‌هایی که در کشاورزی به کار می‌روند، نمایان شده است (حائر، ۱۳۷۴: ۵۴). از سال ۱۹۷۲ که اولین ماهواره لندست در مدار قرار گرفت مطالعه و پایش گیاهان به عنوان یکی از مهمترین کاربردهای سنجش از دور مطرح شد (vina, 2004: 67). تولید در گیاهان به طور مستقیم به فعل و انفعال بین انرژی خورشید و سطح گیاهان بستگی دارد (Knippling, 1970: 54). پس بنابراین تکنیک‌های سنجش از دور از طریق اندازه‌گیری این انرژی می‌توانند در اندازه‌گیری تولید در گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. یکی از روشهای کارآمد جهت پایش محصولات کشاورزی استفاده از شاخصهای طیفی است. شاخصهای گیاهی برای ارزیابی و برآورد پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی مختلف گیاه، توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف از ایجاد شاخص‌های پوشش گیاهی، آن است که برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیوماس (توده زنده)، تولید، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش‌بینی و ارزیابی شود (Cho, 2007:7; LU, 2006: 8; Zheng, 1993:9). اکثر شاخص‌هایی که برای تخمین بیوماس مورد استفاده می‌گیرند در ساختار خود از باندهای قرمز و مادون قرمز استفاده می‌کنند.

برنج پس از گندم به عنوان دومین محصول استراتژیک کشور و جهان از اهمیت ویژه‌ای در امر تغذیه و امنیت غذایی برخوردار است. گرچه سطح زیر کشت برنج در دنیا و ایران از گندم کمتر است لکن تولید آن تقریباً معادل گندم است. بر اساس گزارش‌های سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) ۶۰ تا ۷۰ درصد کالری مورد نیاز دو میلیارد نفر در آسیا با مصرف برنج تأمین می‌شود. بدین ترتیب برنج، مهمترین منبع

غذایی نیمی از جمعیت جهان محسوب می‌شود و از نگاه امنیت غذایی در سطح جهانی و نیز ملی پس از گندم، از آن به عنوان مهمترین محصول راهبردی یاد می‌شود. با توجه به موارد یاد شده توسعه سطح زیر کشت برنج و افزایش تولید آن عاملی مؤثر در امر مبارزه با فقر و گرسنگی در کشورهای جهان شمرده می‌شود. در کشور ما هم علاوه بر اهمیت برنج در بعد امنیت غذایی، کشت برنج به دلیل ایجاد فرصت‌های شغلی و در آمد زایی، از نظر اقتصادی و اجتماعی بسیار مهم و قابل توجه است. در این میان برخی از بررسی‌های صورت گرفته موید آن است که برنج حداقل یک وعده غذایی مردم ایران را تشکیل می‌دهد.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

در زمینه تخمین بایومس با استفاده از شاخص‌های طیفی تاکنون مطالعات زیادی در جهان صورت گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه BAO در سال ۲۰۰۹ اشاره کرد که به ارزیابی میزان بایومس گندم زمستانه با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور پرداخت؛ او در این پژوهش از ۵ تصویر لندست و مودیس متعلق به زمان‌های مختلف رشد محصول برای محاسبه شاخص‌های گیاه ^۱ RDVI^۲، ^۳ NDVI^۳، ^۴ NDWI^۴، ^۵ EVI^۵، ^۶ MSAVI^۶، ^۷ SIPI^۷ استفاده کرد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف آماری و غیر آماری ارتباط بایومس با این شاخص‌ها مورد محاسبه قرار داد. نتایج حاصله نشان داد که شاخص NDWI بهترین نتیجه را در میزان برآورد بایومس از تصاویر لندست و شاخص SIPI بهترین شاخص برای استخراج بایومس از تصاویر مودیس است. قدرت تفکیک مکانی تصاویری که در عملیات‌های تخمین بایومس مورد استفاده قرار می‌گیرند در دقیق‌تر بودن نتایج مطالعه بسیار اهمیت دارند. محققین در اکثر مطالعات تخمین بایومس به علت در دسترس بودن و قیمت مناسب تصاویر با قدرت تفکیک میانه (۱۰ تا ۱۰۰ متر) از این تصاویر استفاده می‌کنند.

Latifur (۲۰۱۱) قابلیت داده‌های ماهواره ALOS را به منظور تخمین بایومس یک منطقه جنگلی در چین، مورد بررسی قرار داد. او در این تحقیق از گستره وسیعی از

1. vegetation index
2. normalize difference water index
3. normalize difference vegetation index
4. renormalize different vegetation index
5. Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index
6. Modified soil Adjusted Vegetation Index
7. structure insensitive pigment index

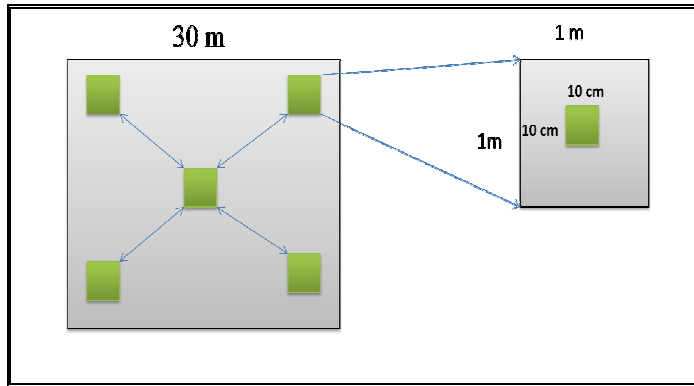
شاخص‌های طیفی و همچنین مقدار بازتاب در باندهای طیفی سنجنده استفاده کرد. نتایج نشان داد که از بین باندهای سنجنده، باند مادون قرمز ($R^2=0.48$) و از بین شاخص‌های طیفی، شاخص RVI^1 ($R^2=0.58$) بیشترین همبستگی را با بایومس نشان می‌دهند. تاکنون از شاخص‌های زیادی برای تخمین بایومس استفاده شده است. در این تحقیق از شاخص‌های پهن‌باند که تا به حال بیشتر مورد توجه بوده‌اند استفاده شده است.

۲. روش شناسی تحقیق

۲-۱. داده‌های زمینی

عملیات میدانی برداشت بایومس در زمان گذر ماهواره از منطقه مطالعاتی انجام گرفت. ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc GIS ۱۵۰ نقطه به صورت تصادفی بر روی منطقه مطالعاتی معین شد و از این تعداد ۶۳ نقطه به منظور انجام عملیات میدانی انتخاب گردید. در تحقیق حاضر علاوه بر اندازه‌گیری بایومس در هر پلات، پارامترهای مختلفی از قبیل میزان کلروفیل، ارتفاع گیاه، میزان شاخص سطح برگ، نوع محصول و چندین پارامتر دیگر برداشت شد. به منظور حذف خطای ناشی از دقت GPS و با در نظر گرفتن قدرت تفکیک تصویر مورد استفاده (۱۰ متر)، ابعاد پلات‌های برداشت میدانی با ضریب ۳ برابر اندازه پیکسل و به ابعاد ۳۰*۳۰ متر انتخاب گردید، سپس مختصات نقاط تعیین شده به منظور برداشت زمینی، به عنوان مختصات مرکز پلات برداشتی در نظر گرفته شد.

به منظور اندازه‌گیری بایومس در هر پلات، از ۵ زیر پلات ۱*۱ متر مربعی استفاده شد. بدین گونه که یک زیر پلات در مرکز پلات و ۴ زیر پلات دیگر در چهار گوشه پلات اصلی قرار گرفتند. جهت اندازه‌گیری بایومس لازم بود که کل گیاهان موجود در هر زیر پلات از روی سطح خاک بریده شوند اما چون امکان این کار وجود نداشت در هر زیر پلات یک سطح ۱۰*۱۰ cm مطابق شکل (۱) انتخاب شد و سپس بوته‌های برنج موجود در این سطح از روی خاک بریده و با استفاده از ترازوی دقیق در مزرعه توزین شد. در انتها مقدار بایومس اندازه‌گیری شده به زیرپلات و پلات مربوطه تعمیم داده شد.



شکل ۱. روش نمونه برداری و استقرار پلات

۲-۲. داده‌های سنجش از دوری

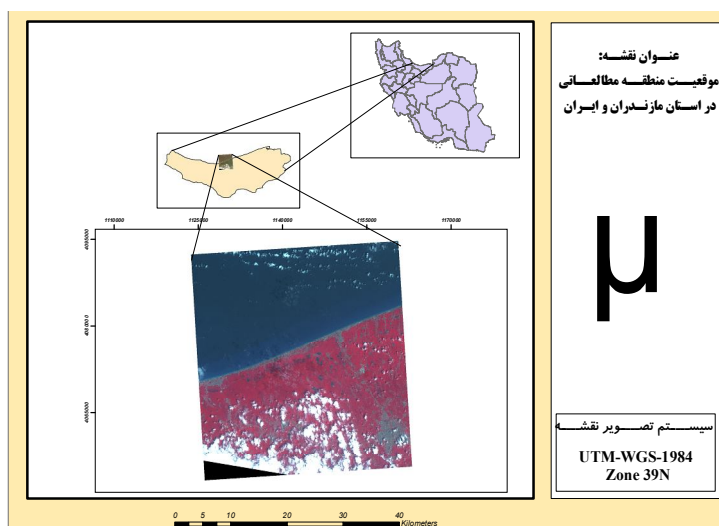
به دلیل کوچک بودن زمین‌های برنج و تنوع گونه‌های کشت شده در منطقه مطالعاتی لازم بود از تصاویری با قدرت تفکیک بالا به منظور تفکیک مزارع و بالابردن دقت انجام تحقیق استفاده شود. لذا از تصاویر سنجنده AVNIR2 ماهواره ALOS استفاده شد. این سنجنده قادر به تصویر برداری در باندهای آبی، قرمز، سبز و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس با قدرت تفکیک ۱۰ متر می‌باشد. برای تعیین زمان مناسب برای تهیه تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا به جمع‌آوری تقویم زراعی محصول برنج از سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران اقدام شد. سپس بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، زمان کاشت، زمان اوج سبزی‌نگی و زمان برداشت محصول برنج مشخص شد. در نهایت دو تصویر به تاریخ‌های ۷ و ۱۴ خرداد ماه (مرحله اوج سبزی‌نگی) تهیه شد.

۲-۳. پردازش داده‌های ماهواره‌ای

چون در زمان دریافت تصویر، هیچ‌گونه پردازشی روی آن‌ها صورت نگرفته بود، لازم بود که تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر اعمال شود. به منظور تصحیح هندسی تصاویر، تعداد ۱۷ نقطه به صورت پراکنده در تمام تصاویر از روی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه انتخاب گردید و سپس با استفاده از معادلات چند جمله‌ای درجه دو با دقت ۰/۴۵ و روش نمونه‌برداری نزدیکترین همسایه، این نقاط باز نویسی (Resample) شدند. در ضمن برای افزایش دقت تصحیح هندسی، از نقاط کنترل زمینی که در زمان انجام عملیات از منطقه ثبت گردیده بود کمک گرفته شد. به علت وجود بخار آب در منطقه مطالعاتی، استفاده از یک مدل تصحیح اتمسفری برای به حداقل رساندن اثرات اتمسفری لازم است. در این تحقیق از ماژول FLAASH نرم افزار ENVI 4.7 که بر اساس مدل انتقال تابش MODTRAN4 می‌باشد، استفاده شد.

۳-۱. ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در تحقیق حاضر شهرستان آمل می‌باشد که یکی از قطب‌های مهم تولید برنج در ایران است. مساحت تقریبی منطقه مورد مطالعه ۳۸۵ کیلومتر مربع و بین عرض‌های جغرافیایی ۱۳° ۲۵' ۳۶" و ۵۱° ۳۸' ۳۶" شمالی و طول‌های ۱۷° ۱۱' ۵۲" و ۵۰° ۲۰' ۵۲" شرقی واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت ناحیه مورد مطالعه نمایش داده شده است. منطقه مورد مطالعه از لحاظ توپوگرافی در جلگه رسوبی واقع شده است که ارتفاع کلی آن از سطح دریا کم بوده و در نزدیکی ساحل پایین‌تر از سطح آبهای آزاد جهان قرار دارد. آب و هوای منطقه بر اساس تقسیم بندی دومارتن مرطوب می‌باشد (علی‌جانی، ۱۳۸۱: ۱۶۸).



شکل ۲. ناحیه مورد مطالعه

۴. یافته‌ها

۴-۱. برآورد میزان بایومس با استفاده از شاخص‌های طیفی

شاخص‌های گیاهی در ابتدا در دهه ۱۹۷۰ برای پایش چشم‌اندازهای زمینی توسعه داده شده و به صورت موفقیت آمیزی جهت برآورد شرایط پوشش گیاهی، تولید اولیه و فرآیندهایی مانند: تبخیر و تعرق گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند (Anser, 1998: 7). شاخص‌های گیاهی روی همه پیکسل‌های تصویر در یک زمان و مکان بدون توجه به شرایط سطح زمین اعمال می‌شوند. به طور کلی به منظور برآورد پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان (بایومس، شاخص سطح برگ) با استفاده از داده‌های سنجنش از دوری از دو

روش فیزیکی و آماری استفاده می‌شود. از بین روش‌های آماری، استفاده از شاخص‌های طیفی به دلیل سهولت استفاده از آنها و داشتن رابطه با متغیرهای فیزیکی، همیشه مورد توجه قرار داشته‌اند (Baret, 1992:7; Baret, and Guyot, 1991:5). البته تمام شاخص‌های طیفی با بایومس رابطه ندارند. در این تحقیق سعی شده است از شاخص‌هایی استفاده شود که تاکنون بیشتر برای تخمین بایومس مورد استفاده قرار گرفته‌اند و همچنین با استفاده از باندهای طیفی تصاویر ALOS قابل محاسبه هستند. بنابراین ۲۰ شاخص انتخاب شدند که لیست آنها در جدول (۱) بیان شده است. در این جدول α نمایانگر شیب خط خاک، β عرض از مبدأ، NIR باند مادون قرمز، RED باند قرمز، BLUE باند آبی می‌باشد. در تحقیق حاضر علاوه بر شاخص‌های گیاهی از مقدار بازتاب چهار باند سنجنده در نقاط نمونه برداری نیز استفاده شده است. پس از مقایسه نتایج حاصل، مناسبترین شاخص به منظور تخمین بایومس انتخاب گردید.

جدول ۱. شاخص‌های گیاهی مورد استفاده شده در تحقیق حاضر

شاخص	رابطه	منبع
ARVI		Kaufman & Tare, 1992
DVI		Tucker, 1979
GEMI		Pinty & Verstraete, 1992
IPVI		Crippen, 1990
TVI		Borge, 2001
MSAVI2		Qi et al., 1994
MSAVI1		Qi et al., 1994
NDVI		Rouse et al., 1974
GNDVI		Gitelson 1998
RDVI		Reujean 1995

ادامه جدول ۱

شاخص	رابطه	منبع
MSR		Chen et 1996
WDVI		Clevers, 1989
SAVI2		Major et al., 1990
OSAVI		Rondeaux et al., 1996
NRVI	$NRVI = \frac{RVI-1}{RVI+1}$	Baret 1991
WDRVI	$WDRVI = \frac{0.2(NIR-RED)}{0.2(NIR+RED)}$	Bannaria et al 1996
RVI	$RVI = \frac{RED}{NIR}$	Richardson and Wiegand 1997
SAVI		Huete, 1988
SARVI		Kaufman&Tanre, 1992
SR(RVI)		Jordan, 1969

۲-۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای معرفی مدل‌های رگرسیونی مناسب، بین مقادیر بایومس با داده‌های ماهواره‌ای، جدولی تهیه شد که ستون‌های آن شامل: مقادیر تولید گیاهی و شاخص‌های گیاهی محاسبه شده و ردیف‌های آن شامل شماره واحدهای نمونه‌برداری است. سپس این جدول که بر اساس آمار میانگین داده‌های زمینی متعلق به واحدهای نمونه‌برداری بایومس به عنوان متغیر وابسته (Y) و مقادیر شاخص‌های گیاهی به عنوان متغیر مستقل (X) بود، وارد پایگاه اطلاعاتی در نرم افزارهای SPSS و Excel گردیدند. به منظور یافتن رابطه همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و همچنین برآزش مدل، از رگرسیون ساده خطی استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲. معادلات رگرسیون و ضریب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و بایومس اندازه‌گیری شده

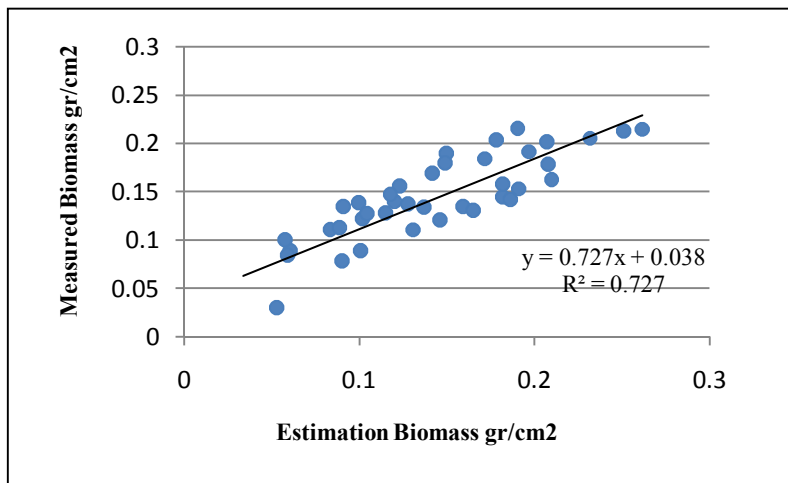
شاخص	R ²	RMSE	معادله	شاخص	R ²	RMSE	معادله
ARVI	0.50	0.039	$Y = 0.534 + 0.977 VI$	WDVI	0.71	0.029	$Y = 1551 + 8731 VI$
DVI	0.72	0.029	$Y = 1566 + 8719 VI$	SAVI	0.50	0.036	$Y = 0.589 + 1.075 VI$
GEMI	0.68	0.039	$Y = 1686 + 7923 VI$	SARVI	0.51	0.036	$Y = 0.589 + 1.075 VI$
IPVI	0.50	0.039	$Y = 0.767 + 0.488 VI$	SR	0.58	0.036	$Y = 3.098 + 16.19 VI$
TVI	0.48	0.041	$Y = 1.23 + 0.626 VI$	MSR	0.57	0.037	$Y = 1.82 + 4.461 VI$
MSAVI2	0.45	0.041	$Y = 0.699 + 0.752 VI$	OSAVI	0.50	0.039	$Y = 0.621 + 1.133 VI$
MSAVI1	0.71	0.030	$Y = 529.9 + 5816 VI$	NRVI	0.50	0.039	$Y = -0.535 - 0.977 VI$
NDVI	0.50	0.039	$Y = 0.535 + 0.977 VI$	WDRV	0.50	0.036	$Y = 0.533 + 0.977 VI$
GNDVI	0.57	0.037	$Y = 0.445 + 1.059 VI$	RVI	0.47	0.036	$Y = 0.304 + 0.725 VI$
RDVI	0.67	0.032	$Y = 29.32 + 99.2 VI$	SAVI2	0.59	0.036	$Y = 0.621 + 1.133 VI$
BLUE	0.22	0.098	$Y = 680.4 + 993.1 VI$	RED	0.13	0.103	$Y = 748.1 + 637.2 VI$
GREEN	0.10	0.105	$Y = 950.2 - 639/2 VI$	NIR	0.71	0.059	$Y = 2314 + 8081 VI$

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که از میان شاخص‌های بررسی شده، شاخص‌های $WDVI^1$ و DVI^2 مناسب‌ترین شاخص برای برآورد بایومس برنج در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. حداکثر همبستگی به دست آمده مربوط به این شاخص‌ها $R^2 = 0.72$ می‌باشد. همچنین در ادامه بررسی‌ها مشخص شد که شاخص‌های $GEMI^3$ ، $RDVI$ ، $MSAVI1^4$ نسبت به سایر شاخص‌ها از دقت قابل قبول تری برخوردار هستند. وجود باندهای قرمز و مادون قرمز در اکثر شاخص‌های فوق بیانگر متأثر شدن این باندها از بایومس است. در ناحیه قرمز طیف الکترو مغناطیس به دلیل جذب نور توسط رنگدانه کلروفیل میزان بازتاب برگ کاهش می‌یابد ولی در ناحیه مادون قرمز به دلیل ساختار داخلی برگ‌ها میزان بازتاب افزایش پیدا می‌کند. اکثر شاخص‌های گیاهی از تباین به وجود آمده بین این دو باند به منظور بیان مقدار پوشش گیاهی و پارامترهای فیزیکی دیگر گیاه استفاده می‌کنند.

1. Difference vegetation Index
2. The weighted Difference Vegetation Index
3. Global Environmental Monitoring Index
4. Modified soil Adjusted Vegetation Index

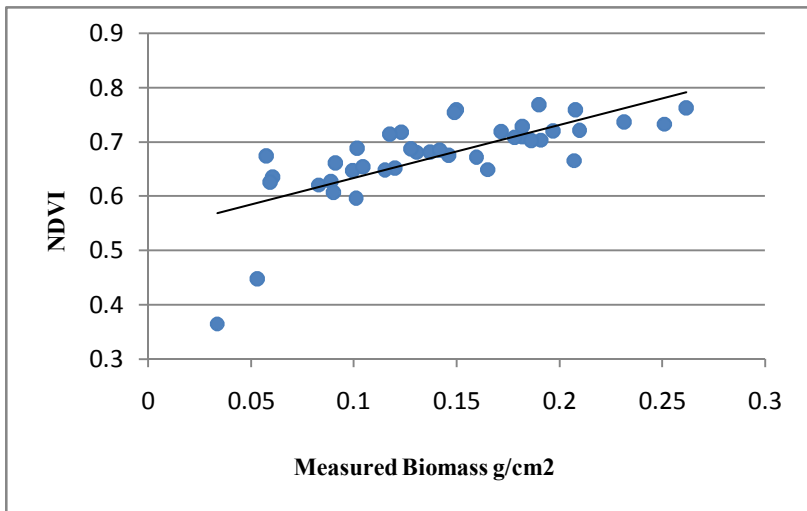
Roujean and Breon 1995:7 نشان دادند که شاخص DVI نسبت به شاخص NDVI از خاک پس‌زمینه کمتر تأثیر می‌پذیرد. شاخص DVI برای محاسبات خود از تفاضل باند مادون قرمز و قرمز طیف استفاده می‌کند. با توجه به اثری که افزایش بایومس در افزایش بازتاب در باند مادون قرمز و کاهش بازتاب در باند قرمز دارد می‌توان انتظار داشت که این شاخص دقت بالایی را در تخمین بایومس داشته باشد. در مورد شاخص WdVI هم به همین صورت است اگر مقدار α برابر ۱ باشد بین این شاخص و DVI تفاوتی وجود ندارد. با توجه به این که در تحقیق حاضر مقدار α با توجه به ویژگی‌های منطقه مطالعاتی ۱/۰۲ در نظر گرفته شده است در مقایسه با شاخص DVI کمی از دقت کاسته شده است که این نتایج در جدول (۲) قابل مشاهده است.



شکل ۳. میزان بایومس اندازه‌گیری شده و بایومس تخمین زده شده با استفاده از شاخص DVI

در این جا باید متذکر شد که ضرب کردن، کسر کردن، تقسیم کردن یا جمع کردن یک عدد ثابت (به جزء صفر) در هر شاخصی در RMSE و R^2 آن شاخص تغییری به وجود نمی‌آورد و فقط مقدار آن شاخص را به طور خطی با توجه به عملیاتی که روی آن صورت گرفته است تغییر می‌دهد. یکی از پر کاربردترین شاخص‌های گیاهی که به طور فراوان در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص NDVI است. اما استفاده از این شاخص در تحقیق حاضر با دقت کمی همراه بود. همان طور که محققینی مانند: (Tucker, 1977: 7, Sellers, 1985: 4, Todd et al. 1998: 8, Gao et al, 2000: 6, Thenkabail et al. 2000:5) نشان داده‌اند شاخص NDVI در سطوح پوششی فراوان، اشباع می‌شود و نمی‌تواند به عنوان یک شاخص کارآمد در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم است مورد استفاده قرار

گیرد. با توجه به اینکه در زمان انجام تحقیق، برنج در منطقه مطالعاتی در حداکثر رشد رویشی خود قرار داشت شاخص NDVI نتوانست دقت قابل قبولی در تخمین بایومس از خود نشان بدهد. اِشباع شاخص NDVI در مقادیر بالای بایومس در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. اشباع شاخص NDVI در مقادیر بالای بایومس

همان طور که در بالا توضیح داده شد عملیات میدانی برداشت بایومس در زمان اوج رشد گیاه انجام شد در نتیجه با توجه به پوشیده بودن سطح خاک، شاخص‌هایی مثل: SAVI^۱, OSAVI^۲ که به منظور کاهش اثرات بازتاب خاک پس‌زمینه از بازتاب گیاهان، توسعه داده شده اند نتوانستند دقتی بهتر از شاخص NDVI ارائه کنند که این امر با رجوع به جدول (۲) قابل مشاهده است.

در تحقیق حاضر از دو شاخص کاهش دهنده اثرات اتمسفری SARVI^۴, ARVI^۳ نیز استفاده شد. نتایج نشان داد که این شاخص‌ها که پس از اعمال تصحیحات اتمسفری از کارایی لازم برخوردار نیستند و استفاده از آنها پس از انجام تصحیحات اتمسفری سبب تولید خطا می‌شود. لذا توصیه می‌شود حتی الامکان از این شاخص‌ها برای مطالعه پارامترهای گیاهی حتی قبل از انجام تصحیحات اتمسفری استفاده نگردد.

1. Soil Adjusted Vegetation Index
2. Optimized Soil Adjusted Vegetation Index
3. Atmospherically Resistant Vegetation Index
4. Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index

در این تحقیق علاوه بر شاخص‌های طیفی از مقادیر بازتاب در چهار باند سنجنده ALOS نیز استفاده شد. از میان باندهای مورد مطالعه، باند مادون قرمز توانست با ضریب همبستگی $R=0.71$ بهترین نتیجه را نشان دهد. در این محدوده جذب توسط کلروفیل رخ نمی‌دهد اما در گیاهان با افزایش حجم برگ و افزایش دسترسی به مواد معدنی بیشترین بازتاب را در این طول موج دارند. این نتیجه با نتایجی که (Thenkabail et al, 2004:7; Latifur, 2011:6) بدست آورده بودند مطابقت داشت. همان طور که در مورد شاخص‌های DVI و WVDI بیان شد انجام عملیات ریاضی بر روی شاخص‌ها، در R^2 آنها تغییری به وجود نمی‌آورد. به عنوان مثال در مورد شاخص‌های TVI^1 , WDRVI نیز مشاهده می‌شود که در ساختار این دو شاخص NDVI در یک عدد ثابت ضرب می‌شود. پس باید انتظار داشت که مقدار R^2 این سه شاخص یکسان باشد که با مراجعه به جدول (۲) این امر مشاهده می‌شود.

نتایج نشان داد شاخص‌هایی که تفاضل بازتاب بین باندهای قرمز و مادون قرمز را بهتر نمایش می‌دهند در مقایسه با دیگر شاخص‌ها که با دادن ضریب به باندها از مقدار اختلاف بازتاب بین این دو باند می‌کاهند از دقت بالاتری برخوردار هستند. همچنین به دلیل ساختار متراکم پوشش گیاهی در منطقه شاخص‌هایی که در ساختار خود از فاکتور تعدیل کننده خط خاک (L) استفاده می‌کنند نتوانستند دقت پیش بینی را افزایش دهند.

۶. سپاسگزاری

این تحقیق با امکانات و تجهیزات مرکز سنجش از دور دانشگاه شهید بهشتی و مرکز تحقیقات برنج شهرستان آمل انجام گرفته است، لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا تشکر و قدردانی صمیمانه خود را ابراز نمایند.

۷. منابع

۱. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۱، آب و هواشناسی ایران، انتشارات پیام نور
۲. خواجه‌الدین، سید جواد، ۱۳۷۶، نقش سنجش از دور در توسعه کشاورزی و منابع طبیعی پایدار و استفاده از این داده در برنامه‌ریزی کشاورزی صنعت، مجموعه مقالات سمینار نقش صنعت در توسعه کشاورزی، انتشارات شهرک علمی و تحقیقاتی با همکاری انتشارات مانی، اصفهان
۳. کوران، پ، ۱۳۷۴، اصول سنجش از دور، ترجمه رضا حائر، مرکز سنجش از دور ایران، انتشارات امید.
4. Anser, G., 1998, **Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance**. Remote Sensing of Environment, 64(3), 234 – 253.
5. 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.
6. Barrett, E.C. and L.F. Curtis., 1992, **Introduction to Environmental Remote Sensing**. Chapman & Hall, New York.
7. BAO, yansong., Gao.wie., and Gao Zhiqiang., 2009, **Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolutions**. Front. Earth Scientist, 3(1):118-128.
8. Cho, M., 2007, **Hyperspectral remote sensing of biochemical and biophysical parameters**, thesis, Wageningen university.
9. D. Lu., 2006, **the potential and challenge of remote sensing based biomass estimation**. International of Remote Sensing, review vol 27, 1297-1328.
10. D. Zheng, J. Rademacher, J. Chen, T. Crow, and M. Bresee., 1993, **Estimation aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA**, Remote Sensing of Environment, vol 93, 402-411.
11. GAO, X., HUETE, A. R., NI, W., and MIURA, T., 2000, **Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination**. Remote Sensing of Environment, 74, 609–620.
12. Knipling, E., 1970, **Physical and physiological bases for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation**. Remote Sensing of Environment 1:155- 159.
13. Latifur, R. S. and Janet E. Nichol, 2011, **Improved Forest estimates using ALOS-AVNIR-2 Texture indices**, Remote Sensing of Environment, 115, 968-977.
14. Roujean, J., L. Breon, F.M., 1995, **Estimating PAR ABSORBED BY Vegetation from Bidirectional Reflectance Measurement**. Remote Sens Environ, 51:375-384.
15. Sellers, P. J., 1985, **Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration**. International Journal of Remote Sensing, 6, 1335–1372
16. Thenkabail, P. S., SMITH, R. B., and DE PAUW, E., 2004, **Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics**. Remote Sensing of Environment, 71, 158–182.
17. Todd, S. W., HOFFER, R. M., and MILCHUNAS, D. G., 1998, **Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices**. International Journal of Remote sensing, 19, 427-438.
18. Tucker, C.J., 1979, **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote Sensing of Environment, 8, 127–150.
19. Vina, A., 2004, **Remote Estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean**, thesis, The Graduate College at the University of Nebraska, 144.