

استخراج توده زنده گندم با استفاده از داده های ماهواره ای و رگرسیون وزنی مکانی

- داود عاشورلو، استاد دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
- علی اکبر متکان، استاد دانشگاه شهید بهشتی
- بابک میرباقری، استاد دانشگاه شهید بهشتی
- متین شهری، دانشجوی دکتری دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: شهریور ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۰
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۲۱۲۹۹۰۲۲۸۲
پست الکترونیک نویسنده مسئول: ashourloo@gmail.com

چکیده:

با توجه به اینکه کشاورزی یکی از پایه های اقتصادی کشور محسوب می شود، لذا بر آورد مقدار تولید محصولات زراعی و باغی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هدف از این تحقیق بر آورد میزان توده زنده گندم با استفاده از تصاویر ماهواره ای SPOT می باشد. به این منظور از تصاویر ماهواره SPOT در دو دوره زمانی رشد گیاه: زمان اوج سبزیگی و رسیدن مزارع برای بر آورد سطح زیر کشت گندم در شهرستانهای همدان و بهار استفاده شد. پس از پیش پردازش تصاویر، اراضی زیر کشت گندم بر اساس شاخص گندم، مبتنی بر باندهای سبز و قرمز استخراج گردید. سپس شاخص های گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص گیاهی خط عمودی خاک (PVI)، شاخص نسبتی ساده (SR) و شاخص گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI) به منظور تخمین توده زنده گندم، مورد استفاده قرار گرفتند. در تحقیق حاضر نمونه برداری در زمان اوج سبزیگی مزارع گندم با روش تصادفی سیستماتیک در پلات هائی با ابعاد ۱۰*۱۰ متر انجام شد، از طرف دیگر به منظور جداسازی گندم از سایر محصولات، نمونه های لازم از مزارع مختلف کشاورزی منطقه برداشت شد. در ابتدا به منظور تفکیک مزارع گندم از سایر محصولات منطقه، اراضی زیر کشت گندم با استفاده از نرمال کردن داده های باندهای مشابه در دو زمان استخراج شدند. روشهای رگرسیونی OLS و GWR به منظور تخمین میزان بایومس بر اساس شاخصهای رایج پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بهبود قابل توجه مدل GWR را بر اساس معیارهای AICc و R² نشان داد. محاسبات آماری مقادیر AICc برای SAVI به ترتیب ۶۱۴٫۷ و ۶۱۵٫۷ برای حالت ثابت و انطباقی و برای شاخص NDVI، برابر با ۶۱۵٫۱ و ۶۱۵٫۶ تخمین زده شد. همچنین مقادیر نیز برای هر دو شاخص SAVI و NDVI در هر دو حالت ثابت و انطباقی به ترتیب مقادیر ۰٫۷۱ و ۰٫۷۰ را نشان داد. همچنین نتایج ناپایداری در روابط مدل شده با استفاده از GWR را نیز تایید نمود.

کلمات کلیدی: توده زنده، گندم، تصاویر ماهواره ای، رگرسیون وزنی مکانی

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:104 pp: 121-128

Extracting Wheat Biomass Using Satellite Data and Geographically Weighted Regression

By:

- D. Ashourloo, (Corresponding Author; Tel: 02129902282), Professor of Shahid beheshti University
- A. Matkan, Professor of Shahid beheshti University
- B. Mir Bagheri, Professor of Shahid beheshti University
- M. Shahri, Ph.D. student of Shahid Beheshti University

Received: September 2011

Accepted: March 2012

Agriculture is regarded as one of the most fundamental economical basis in our country, hence estimating the amount of crops is highly regarded. In this study, estimating the amount of wheat stubble and its energy have been assessed using satellite images. SPOT images were employed to estimate the wheat farms in Hamedan and Bahar area (Hamedan province) during the harvesting time and peak of greenness. The wheat farms were then extracted based on the wheat index derived from green and red bands after pre-processing. Four different vegetation indices, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Simple Ratio (SR), the Perpendicular Vegetation Index (PVI) and the Soil Adjust Vegetation Index (SAVI) were evaluated after images pre-processing. The procedure followed by sampling. Wheat farms were extracted using similar bands. OLS and GWR were employed to estimate the biomass based on NDVI index and the results indicated an improvement of GWR over OLS based on AIC and criteria. The results of AICc for SAVI in fixed and adaptive kernel bandwidth were estimated 614.7 and 615.7 respectively and for NDVI equal to 615.1 and 615.6. The results also indicated the value for both SAVI and NDVI in fixed and adaptive kernel bandwidth equal to 0.71 and 0.70 respectively. The results also revealed the significant non-stationary state in relationships.

key Words: Biomass, Wheat, Satellite Images, Geographically Weighted Regression

مقدمه

با توجه به شرایط کشاورزی ایران از یک طرف و نیاز علوفه کشور از طرف دیگر، تخمین مقدار تولید نباتات علوفه ای، بالاخص کلش گندم از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در کشور ایران، قسمتی از کلش گندم صرف تغذیه دام ها شده و مابقی یا بر جای مانده و یا توسط باد جابجا می شود. همچنین ممکن است در اواخر تابستان کلش ها سوزانده شوند که یکی از دلایل، عدم برداشت آن بواسطه به روز نبودن تکنولوژی برداشت محصول است. استان همدان یکی از استانهای کشور است که پایه اقتصادی آن بر اساس کشاورزی است و به عنوان یکی از قطب های تولید گندم در ایران مطرح می باشد بطوریکه از لحاظ میزان تولید گندم به همراه استانهای کردستان، کرمانشاه و مرکزی ۳۰ درصد گندم کشور را تولید می کنند. در این استان از گذشته دامپروری با کشاورزی همراه بوده است و کلش گندم نیز به عنوان یک منبع تغذیه برای دام ها در فصل بهار مطرح می باشد، با این وجود امروزه آمار دقیقی از میزان تولید کلش گندم وجود ندارد. در این تحقیق استخراج میزان توده زنده گندم با استفاده از داده های سنجنش از دور مد نظر قرار گرفته است. Stenmetz (۱۹۹۰)، استخراج میزان تولید حبوبات با استفاده از داده های لندست مورد استفاده قرار داد، نتایج نشان داد که روشنایی باند ها با میزان تولید دارای رابطه می باشد که برای باند مادون قرمز نزدیک این رابطه مثبت و برای باند قرمز منفی می باشد نتایج نشان داد در مناطق تحت تنش خشکی نیاز به ارائه شاخص تنش آبی برای تخمین بایومس گیاه است.

تحقیقات زیادی نیز برای بر آورد بایومس در شرایط کم آبی و کمبود نیتروژن انجام شده است. Clevers در سال ۱۹۹۷ بیان کرد که زمان برداشت صحیح تصاویر می تواند دقت کار را تحت تاثیر قرار دهد (Clevers, J.G.P.W, 1997). در سال ۱۹۹۸ Ridao و همکاران بیان کردند که با داده های ماهواره ای می توان تولید محصولات را پیش کرد و دقت تولید برآورد شده وابسته به دقت داده های زمینی می باشد (Ridao, et al., 1998). روشهای مختلفی نیز برای اندازه گیری بایومس ارائه شده است که براساس زمان رشد می باشد. همچنین مدلهایی نیز برای نمایش تغییرات بایومس در سالهای مختلف ارائه شد (Bao, et al., 2009). Kryvobok در سال ۲۰۰۰ نتایج بایومس بدست آمده از گندم با استفاده از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا (۳۰ متر) را با داده های زمینی مقایسه و ارزیابی کردند و نشان دادند که یک رابطه تجربی بین میزان بایومس و بازتاب های بدست آمده از تصاویر ماهواره ای بر اساس یک الگوریتم رگرسیون خطی قابل برآورد است (Kryvobok, 2000). Liu و Miler در سال ۲۰۰۴ بهترین روش برای اندازه گیری بایومس را زمان اوج سبزیگی دانستند (Liu, et al., 2004). Makowski و همکاران در سال ۲۰۰۶ دقت روشهای تخمین میزان بایومس گندم را مورد ارزیابی قرار داده و روش طبقه بندی بیز (که پایه الگوریتم حداکثر احتمال است) را در مقایسه با مدل های خطی و غیر خطی معمول برای افزایش قابلیت اطمینان نتایج بدست آمده پیشنهاد دادند (Makowski, et al., 2006). Bao و همکاران در سال ۲۰۰۸ از داده های ابر طیفی برای تخمین

بایومس بررسی می شود. در نهایت با پیاده سازی این معادلات بر روی تصویر، توزیع بایومس مشخص می شود.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پروژه برای برآورد سطح زیر کشت گندم شامل شهرستانهای همدان و بهار می باشد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. این منطقه از مهمترین قطبهای تولید گندم ایران می باشد. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه ۱۸۰۰ متر و مقدار بارندگی ۳۵۰ میلی متر و دارای اقلیم سرد و خشک از لحاظ طبقه بندی دومارتن می باشد (کاویانی & علیجانی، ۱۳۸۶). کشت گندم در این شهرستانها عمدتاً پاییزه و در بعضی نقاط بهاره می باشد. علاوه بر گندم که محصول عمده منطقه مورد مطالعه است، سایر محصولات کشاورزی شامل یونجه، سیب زمینی و سیر می باشند. مقیاس پایه مورد نظر برای انجام مطالعات نیز ۱:۵۰۰۰۰ انتخاب گردید.

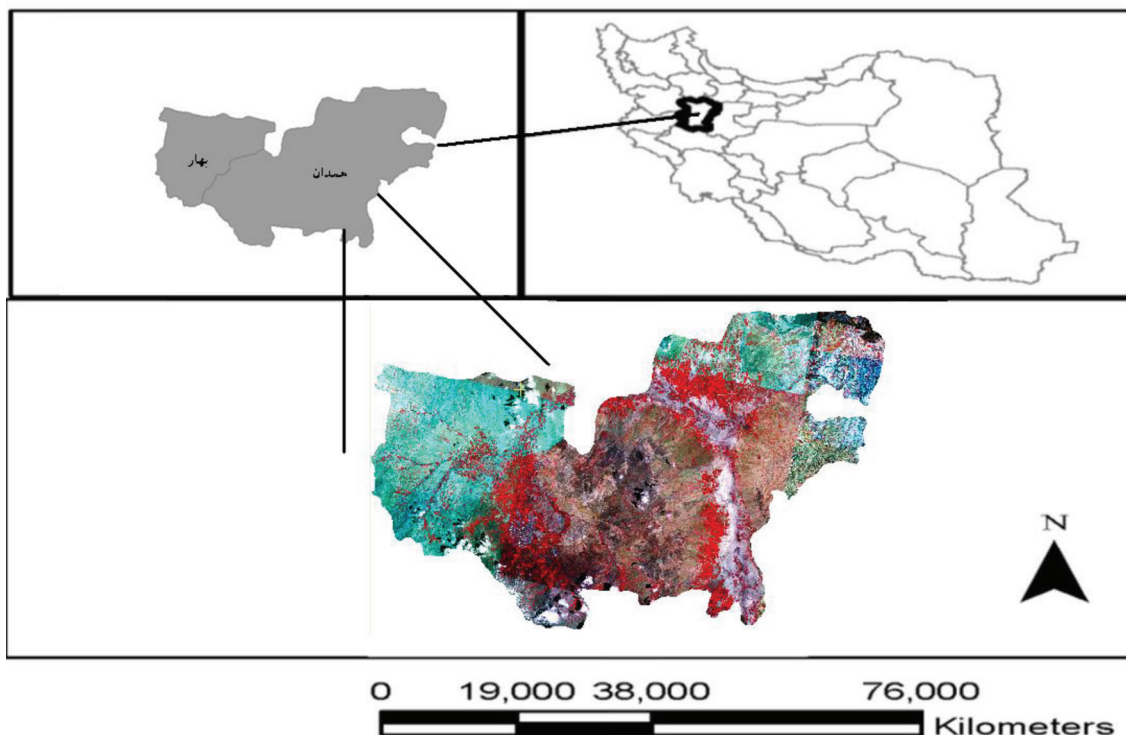
داده های ماهواره ای و شاخصهای پوشش گیاهی

برای تعیین دامنه زمانی مناسب برای تهیه تصاویر ماهواره ای، بر اساس تقویم زراعی دو سری تصویر ماهواره SPOT، سری اول، اوج سبزیگی مزارع گندم و سری دوم، زمان رسیدن مزارع گندم، تهیه شد، اوج سبزیگی گندم از ۲۰ اردیبهشت تا ۵ خرداد و زمان برداشت گندم از ۲۵ خرداد تا اواخر تیرماه می باشد. با توجه اینکه تصاویر در دو زمان برای استخراج گندم برداشت شدند، ۳ باند مربوط به هر زمان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مقیاس مطالعه که ۱:۵۰۰۰۰ می باشد، از باند مادون

بایومس گندم با استفاده از تصاویر ۵ زمانه حاصل از داده های همزمان MODIS و TM پرداختند و مجموعه ای از شاخص های پوشش گیاهی را استخراج نمودند. در این تحقیق از داده های زمینی به منظور محاسبه اختلاف نرمال شده شاخص های پوشش گیاهی، پارامترهای مرز قرمز و جذب طیفی نیز استفاده شد. در نهایت مدلی برای تخمین بایومس گندم بر اساس داده های MODIS و TM با مقدار RMSE حداکثر ۴/۶۶ ارائه شد (Bao, et al., 2009).

در مطالعه انجام شده توسط Koppe و همکاران در سال ۲۰۱۰ که بر روی سطح زیر کشت گندم در فصول رشد گیاه در بازه زمانی ۲ ساله (۲۰۰۵-۲۰۰۶) انجام شد، پارامترهای رشد گندم شامل میزان بایومس، میزان نیتروژن گیاه و ارتفاع بایومس در سطوح مختلف رشد اندازه گیری شد. شاخص های پوشش گیاهی متداول در باندهای پهن و باریک تهیه شده و شاخص های نسبتی نرمال شده نیز از کلیه ترکیبات دوباندی هایپریون بین ۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر محاسبه شدند. نتایج نشان داد که شاخص پوشش گیاهی تبدیل شده (TVI^۱)، در مقایسه با سایر شاخص ها هم در محدوده پهن باند و هم در محدوده باریک باند نتایج بهتری را نشان می دهد. همچنین بهترین شاخص نسبتی نرمال شده بر اساس ترکیب باندها در مقایسه با TVI بهتر عمل کرده و برابر با ۰،۸۳ و ۰،۸۱ و ۰،۷۹ به ترتیب برای بایومس، میزان نیتروژن و ارتفاع گیاه نشان داد (Koppe, et al., 2010).

در تحقیق حاضر رابطه بین داده های نمونه برداری با باند ها و مولفه ها سنجیده شده و با تحلیل وزنی مکانی، معادلات مناسب برای استخراج



شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه جهت تعیین توده زنده گندم به همراه تصویر ماهواره ای رنگی کاذب (G, B, R) به ترتیب باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز سنجنده SPOT می باشند)

شود، (واحد اندازه گیری نمونه ها گرم بر متر مربع بود که این اندازه گیری پس از جداسازی سنبله از ساقه محاسبه شده است). علاوه بر نمونه برداری از مزارع گندم از سایر محصولات کشاورزی منطقه به تعداد ۱۵۰ نمونه برداشت شد، این نمونه ها به صورت سیستماتیک تصادفی و از وسط مزارع با GPS (با دقت ۳ تا ۵ متر) برداشت گردید.

استخراج اراضی زیر کشت گندم شاخص گندم داده های دو زمانه

با توجه به جدول ۲ بازتابندگی در باند قرمز و سبز گندم دیم به ترتیب برابر با ۱۱۴ و ۹۶ می باشد، ولی در زمان دوم با خشک شدن گیاه و کاهش رطوبت خاک در تمام باند ها بازتابندگی افزایش می یابد و بازتابندگی باند سبز و قرمز مشابه است (بازتابندگی در باند قرمز و سبز به ترتیب برابر با ۱۴۴ و ۱۳۹ می باشد). همانطور که قبلا بیان شد، اثر اتمسفر با روش تصحیح اتمسفری ATCOR و اثر روشنایی زمین که ناشی تفاوت زمانی داده ها است با روش Minnaert برطرف گردید (در این تصحیح ارتفاع و آزیموت خورشید و سنجنده به همراه مدل رقومی زمین استفاده می شوند) تا بتوان داده های دو زمانه اسپات را باهم مقایسه نمود.

نتایج اختلاف باند های مشابه در اراضی کشاورزی، در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود داده های باند سبز و قرمز دارای اختلاف بالا در مناطق زیر کشت گندم می باشند. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، در گندم دیم اختلاف بازتابندگی در باند سبز نسبت به اختلاف باند قرمز در دو زمان بیشتر است که دلیل آن این است که در اوج سبزیگی گندم، مزارع دیم دارای تغییرات رطوبتی کمتری هستند. همچنین این مزارع دارای تراکم بالای خاک نسبت به پوشش گیاهی می باشند.

مشکل عمده در استخراج مناطق زیر کشت گندم در کشت سنتی همانند ایران، تفاوت در بازتابندگی مزارع گندم آبی و دیم در زمان برداشت گندم (داده های مرحله دوم) می باشد. این مشکل در شرایطی که حتی شرایط رشد در یک گونه برابر می باشد نیز حاصل می شود و کار طبقه بندی و شناسایی محصول با سنجش از دور را با مشکل مواجه می کند که این شرایط عبارتند از:

- ✓ برداشت نکردن همزمان مزارع گندم توسط کشاورزان که دلیل آن عدم دسترسی به وسایل برداشت محصول می باشد.
- ✓ چرای دام
- ✓ عامل باد که عمدتاً در فصل تابستان در این منطقه می وزد بیشتر می شود.

قرمز میانی با قدرت تفکیک ۲۰ متر چشم پوشی شد^۲. روند پیش برداش متداول داده های سنجش از دوری نظیر تصحیحات هندسی و اتمسفری (با روش ATCOR) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور انجام تصحیح هندسی، ۲۵ نقطه کنترل زمینی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت (با میانگین مربع خطاها معادل با ۶ متر) و تفاوت روشنایی زمین با استفاده از روش نرمال سازی توپوگرافی تصحیح شد که دلیل این تصحیح حذف اثر تفاوت روشنایی زمین می باشد که وابسته به توپوگرافی است (Minnaert, 1941).

شاخص های تفاضلی نرمال شده گیاهی^۴ (NDVI)، نسبتی ساده^۵ (SR)، شاخص عمودی خط خاک^۶ (PVI) و شاخص گیاهی تعدیل شده خاک^۷ (SAVI)، شاخص هایی هستند که برای داده های ماهواره ای چند طیفی در تحلیل مورد ارزیابی قرار گرفته اند. کلیه این شاخص ها از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می کنند که با روابط ذکر شده در جدول ۱ تعریف می شوند.

نمونه برداری

در مرحله نمونه برداری تعداد ۱۱۵ نمونه از مزارع مختلف برداشت شد. اطلاعات این نمونه ها شامل دقت GPS، وزن محصول و تراکم محصول می باشد. ابتدا یک پلات بزرگ با ابعاد ۱۰ * ۱۰ متر متناسب با ابعاد پیکسل داده های SPOT انتخاب شد. در مرحله بعد ۵ پلات کوچک با ابعاد ۱۲۰ * ۱۲۰ سانتی متر انتخاب شد که موقعیت چهار پلات در چهار گوشه و یک پلات در مرکز قرار داشتند. با توجه به کوهستانی بودن منطقه امکان تصحیح هندسی کمتر از ۶ متر امکان پذیر نبود (با افزایش درجه معادله از آن جهت که منطقه مورد مطالعه کوهستانی بود، دقت نقاط کنترل به شدت کاهش می یافت). این خطا از قبل نیز قابل پیش بینی بود، به همین دلیل مزارع انتخاب شده برای نمونه برداری و مدل سازی تخمین توده زنده دارای کشت یکنواخت و ابعاد بزرگتر از ۱۰۰۰ متر بودند و عمدتاً در دشتهای انتخاب شدند که در این نواحی دقت نقاط کنترل کمتر است. همچنین هر یک از پلات ها نیز از وسط هر مزرعه برداشت شدند تا خطای ناشی از تصحیح هندسی به حداقل ممکن برسد. از طرف دیگر برای ۱۱۵ نقطه مورد نظر دقت نقاط کنترل کمتر از ۳ متر بوده است تا خطای ناشی از انطباق مختصات نمونه ها با تصویر به کمتر از یک پیکسل برسد. نمونه های برداشت شده در همان محل برداشت و با ترازو توزین شده و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه ها سپس در آن برای مدت ۲۴ ساعت قرار داد شدند. سپس نمونه ها توزین شدند تا وزن تر و خشک هر نمونه (که از ترکیب ۵ زیر پلات ۱۲۰ * ۱۲۰ سانتی متری بود) مشخص

جدول ۲- میانگین درجه روشنایی مزارع مختلف

نباتات صنعتی	همیشه سبز	اراضی بایر	شخم	گندم دیم	گندم آبی	باند
۶۷	۵۳	۱۰۲	۱۴۲	۱۴۴	۱۵۰	Red (t2*)
۱۸۳	۲۱۸	۹۹	۱۲۱	۱۳۵	۱۵۳	Nir (t2)
۹۱	۸۵	۱۱۹	۱۴۳	۱۳۹	۱۵۲	Green (t2)
۱۵۱	۷۹	۱۰۱	۱۵۴	۱۱۴	۶۵	Red (t1**)
۱۱۶	۱۲۸	۸۰	۱۰۵	۱۲۸	۱۲۶	Nir (t1)
۱۱۵	۷۸	۹۴	۱۱۷	۹۶	۶۹	Green (t1)

زمان دوم = t2* زمان اول = t1**

جدول ۳- اختلاف نرمال شده باند های مشابه در دوزمان

باند	گندم آبی		گندم دیم		شخم		اراضی سبز		همیشه سبز		گیاهان صنعتی	
	Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal	
Greent2-Greent1	۸۳	۰٫۳۷	۴۳	۰٫۱۸	۲۶-	۰٫۱-	۲۵-	۰٫۱۶-	۷-	۰٫۰۸-	۲۴	۰٫۰۴
Redt2-Redt1	۸۵	۰٫۳۹	۳۰	۰٫۱۱	۱۲	۰٫۰۸	۱۹-	۰٫۱-	۲۶	۰٫۱	۶۷-	۰٫۱-
NIRt2-NIRt1	۲۷	۰٫۱	۷	۰٫۰۲	۱۶-	۰٫۱۲-	۰	۰	۳۷	۰٫۱	۸۴	۰٫۲
Index		۰٫۷۶		۰٫۲۹		۰٫۰۲-		۰٫۲۶-		۰		۰٫۱۴-

جدول ۳- اختلاف نرمال شده باند های مشابه در دوزمان

باند	گندم آبی		گندم دیم		شخم		اراضی سبز		همیشه سبز		گیاهان صنعتی	
	Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal		Difference Normal	
Greent2-Greent1	۸۳	۰٫۳۷	۴۳	۰٫۱۸	۲۶-	۰٫۱-	۲۵-	۰٫۱۶-	۷-	۰٫۰۸-	۲۴	۰٫۰۴
Redt2-Redt1	۸۵	۰٫۳۹	۳۰	۰٫۱۱	۱۲	۰٫۰۸	۱۹-	۰٫۱-	۲۶	۰٫۱	۶۷-	۰٫۱-
NIRt2-NIRt1	۲۷	۰٫۱	۷	۰٫۰۲	۱۶-	۰٫۱۲-	۰	۰	۳۷	۰٫۱	۸۴	۰٫۲
Index		۰٫۷۶		۰٫۲۹		۰٫۰۲-		۰٫۲۶-		۰		۰٫۱۴-

در اراضی زیر کشت گندم، باند مادون قرمز نزدیک دارای اختلاف کمی در دو زمان می باشد که میانگین آن برابر با ۷ است و کارایی آن در استخراج اراضی زیر کشت گندم از باند های قرمز و سبز کمتر می باشد. در گندم آبی در زمان اول (اوج سبزیگی گیاه)، بازتابندگی بالا است و در زمان دوم (خشک شدن گیاه)، نیز بازتاب باند مادون قرمز دارای افزایش یافته و مقدار آن با باند های سبز و قرمز برابر می باشد (بر اساس جدول ۲ ستون دوم و شکل ۳). بنابراین به دلیل اختلاف کم بازتابندگی، کارایی کمتری در استخراج گندم آبی و دیم دارد. بررسی ها نشان داد که در اوج سبزیگی، بازتابندگی گندم عمدتاً تحت تاثیر برگها می باشد ولی پس از خشک شدن تحت تاثیر ساقه قرار می گیرد. ساقه ها در ابتدا به صورت عمودی بوده و تاثیر کمی بر بازتابندگی گندم دارند ولی پس از برداشت به دلیل چیدن خوشه گندم، ساقه ها به دلیل تماس با کمباین و شکسته و به حالت افقی بر روی زمین قرار می گیرند و حتی سطح بیشتری را نسبت به اوج سبزیگی می پوشانند. ساقه گندم به دلیل صاف و صیقلی بودن دارای بازتابندگی بالا در باند های مختلف است که علت آن همراه بودن سیلیکا silica و عدم وجود بافت چوب پنبه ای (suberose) و کرک در ساقه است (Ghahreman & Atter, 1999). وجود کرک در برگ، باعث ناصافی آن شده و بازتابندگی آنرا نسبت به ساقه کاهش می دهد. همچنین، صاف و صیقلی بودن، سطح بازتاب را به آینه ای نزدیک می نماید. در اراضی آبی که دارای تراکم بالا در واحد سطح می باشند بازتابندگی در باند های سبز، قرمز و مادون قرمز باهم برابر است. نتایج دقت پیاده سازی شاخص گندم (برای استخراج مزارع گندم با استفاده از تصاویر دو زمانه) برای کاپا ۸۱ و دقت کلی ۸۶ درصد بود. علت کاهش دقت شاخص نیز در بیشتر موارد، محصول جو آبی بود که دارای طیف و تقویم زراعی مشابه گندم در منطقه است. که مساحت اراضی زیر کشت گندم ۱۴۶۳۷۲ هکتار بر آورد گردید.

تفاوت بازتابندگی اراضی دیم با نرمال کردن داده های باند سبز بر اساس جدول ۳ کاهش می یابد که با نرمال نمودن اختلاف بین مزارع برداشت شده و برداشت نشده به کمتر از ۰٫۰۱ می رسد. با توجه به نتایج جدول ۳ با کم کردن باند های سبز دو زمان و سپس نرمال سازی آن، اراضی زیر کشت گندم دیم بر اساس رابطه ۱ قابل استخراج است.

$$\text{index}(\text{rain fed wheat}) = \frac{\text{green t2} - \text{green t1}}{\text{green t2} + \text{green t1}} \quad (1)$$

همانطور که در جدول ۲ مشخص است اختلاف بازتابندگی باند قرمز دارای اختلاف بالا در گندم آبی است که به دلیل کارایی زیاد باند قرمز (باند جذبی (absorbing band) گیاه) شاخص گندم به صورت معادله ۲ در مناطق کشت آبی این محصول قابل محاسبه است.

$$\text{Wheat index (irrigated wheat)} = \frac{\text{Red t1} - \text{Red t2}}{\text{Red t1} + \text{Red t2}} \quad (2)$$

و با ترکیب رابطه ۱ (که گندم های مناطق دیم را با توجه به استفاده از باند سبز بهتر شناسائی می کند) و رابطه ۲ (که با استفاده از باند قرمز مناطق کشت آبی گندم را بهتر شناسائی می کند)، معادله ۳ به عنوان شاخص گندم داده های دو زمانه استفاده شد. که بر اساس نتایج جدول ۳ دارای اراضی مقادیر بالای صفر در اراضی زیر کشت گندم و مقادیر کمتر از صفر در سایر اراضی است.

(3)

$$\text{Wheat index} = a \left(\frac{\text{green t2} - \text{green t1}}{\text{green t2} + \text{green t1}} \right) + b \left(\frac{\text{Red t2} - \text{Red t1}}{\text{Red t2} + \text{Red t1}} \right)$$

با توجه به توانایی باند سبز در جدا سازی اراضی دیم و باند قرمز در تفکیک اراضی کشت آبی، به همین منظور در معادله a و b به ترتیب درصد مناطق کشت آبی و دیم بصورت تقریبی می باشند که از روش سرشکنی خطا این ضرائب محاسبه شدند. که در این منطقه ۰٫۸ برای a و ۰٫۲ برای b استخراج شد.

که در آن ، فاصله نمونه مشاهده شده i ام تا نمونه j بوده و b مقدار پهنای باند^{۱۱} می باشد .

$$W_{ij} = \exp \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2 \right] \quad (8)$$

b فاصله نمونه i تا N امین نزدیکترین همسایه اش می باشد، در غیر اینصورت:

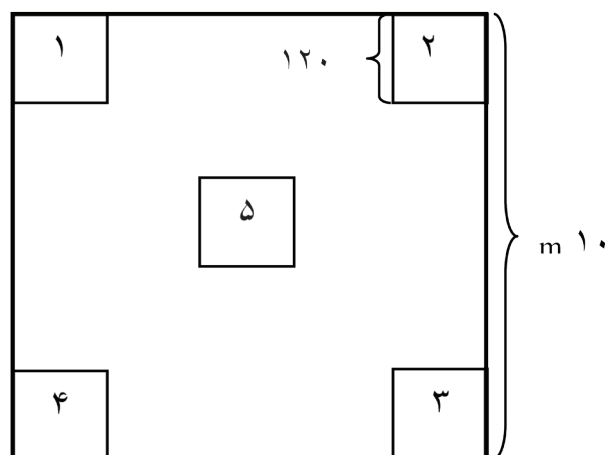
تعیین N با روش مینیمم سازی شاخص AIC_c تصحیح شده (AIC_c) صورت میگیرد. هر چه مقدار شاخص AIC_c کمتر باشد نشان دهنده برازش بهتر مدل می باشد (Fotheringham, et al., 2002). مقدار AIC_c مطابق رابطه (۹) محاسبه می گردد.

$$AIC_c = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + tr(H)}{n - 2 - tr(H)} \right\} \quad (9)$$

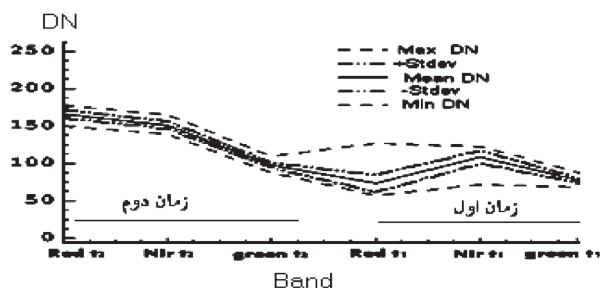
که در آن انحراف معیار تخمین زده شده ($tr(H)$ و مجموع درایه های قطر اصلی ماتریس تبدیل مقادیر مشاهداتی به پیش بینی^{۱۲} می باشد. از روش ANOVA برای ارزیابی دقت مدل GWR نسبت به مدل OLS استفاده گردید. در این روش، آزمون نسبت F بر اساس رابطه ۱۰ بدست می آید.

$$F\text{-Ratio} = \frac{RSS_{Improved} / DF_{Improved}}{RSS_{GWR} / DF_{GWR}} F(DF_{Improved}, DF_{GWR}) \quad (10)$$

در این تحقیق مدل OLS و GWR در دو حالت ثابت و انطباقی برای شاخصهای مختلف اجرا گردید که نتایج آن در جدول ۴ خلاصه شده است. همچنین مقایسه دو مدل OLS و GWR با استفاده از آزمون آنالیز واریانس و بررسی نتایج آزمون ناپایداری شاخص گیاهی NDVI دیز به ترتیب در جداول ۵ و ۶ خلاصه شده است. با توجه به نتایج مدل GWR و اراضی زیر کشت گندم میزان حجم توده زنده گندم برابر با ۸۳۶۵۹ تن برآورد گردید.



شکل ۲- روش برداشت نمونه از مزارع گندم در پلات هائی با ابعاد ۱۲۰*۱۲۰ سانتی متر



شکل ۳- نمودار بازتاب گندم در باند های مختلف

مدلهای رگرسیون

در رویکرد کلی^۸ در فضایی با n نمونه ، صورت کلی رابطه رگرسیونی به ازای هر یک از نمونه ها (از ۱ تا n) مطابق رابطه (۴) می باشد.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_j x_{ji} + \varepsilon_i \quad (4)$$

که در آن مقدار متغیر پاسخ (y) توسط متغیر های پیشگو (x_i) و ضرایب مربوط به هر یک (β) پیش بینی می گردد و نیز خطای رگرسیون برای نمونه i ام است. GWR از مدل های رگرسیونی که در آنها ضرایب به صورت مکانی تغییر می کنند، برای نخستین بار توسط Fotheringham و همکاران معرفی گردید (Fotheringham, et al., 2002). بر این اساس شکل کلی رابطه GWR به ازای هر نمونه به صورت ذیل خواهد بود:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)x_{1i} + \beta_2(u_i, v_i)x_{2i} + \dots + \beta_j(u_i, v_i)x_{ji} + \varepsilon_i \quad (5)$$

که در آن u و v به ترتیب طول و عرض نمونه i ام می باشند. بر اساس مدل GWR ماتریس ضرایب برآورد شده برای داده مشاهده شده i ام در مکان به صورت رابطه ۶ می گردد:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (XW(u_i, v_i)X^T)^{-1}X^T W(u_i, v_i)y \quad (6)$$

که در آن ماتریس قطری وزنهای برای نمونه i ام است. این وزن می تواند به کمک توابع مختلفی بدست آید. برای تعیین وزنهای می توان از دو استراتژی ثابت^۹ (رابطه ۷) و یا (رابطه ۸) انطباقی^{۱۱} استفاده نمود.

$$W_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2 \right] \quad (7)$$

جدول ۴- مقایسه OLS و GWR با استفاده از پهنای باند ثابت و انطباقی برای شاخص NDVI

شاخص	RSS	R ²	AIC _c	شاخص	RSS	R ²	AIC _c
NDVI (OLS)	۱۸۶۸۹۲	۰,۵۱۲	۶۳۹,۵	SAVI (OLS)	۱۸۵۶۱۵	۰,۵۱۶	۶۳۹,۱
NDVI (GWR/Fixed)	۱۰۸۵۹۶	۰,۷۱۶	۶۱۵,۱	SAVI (GWR/Fixed)	۱۰۸۳۲۶	۰,۷۱۷	۶۱۴,۷
NDVI (GWR/Adaptive)	۱۱۲۴۸۷	۰,۷۰۶	۶۱۵,۶	SAVI (GWR/Adaptive)	۱۱۲۷۲۸	۰,۷۰۶	۶۱۵,۷

جدول ۵- نتایج ANOVA برای مقایسه دو مدل OLS و GWR

شاخص	RSS (Improved)	DF (Improved)	SS (GWR)	DF (GWR)	F-Ratio
NDVI (GWR/Fixed)	۷۸۲۹۵	۲,۹۵	۱۰۸۵۹۶	۵۳,۰۵	(۳,۵۳)F~*۱۲,۹۴
SAVI (GWR/Fixed)	۷۷۲۸۸	۲,۸۳	۱۰۸۳۲۶	۵۳,۱۷	(۳,۵۳)F~*۱۳,۳۸

Significant at 1% level *

جدول ۶- نتایج آزمون ناپایداری شاخص های گیاهی با استفاده از GWR

شاخص	$\hat{\beta} - 1\sigma$	$\hat{\beta} + 1\sigma$	Range	Lower Quartile	Upper Quartile	Range
NDVI (OLS)	۵,۹۶	۷,۷۴	۱,۷۸	۸,۰۲	۱۱,۷۵	۳,۷۳
SAVI (OLS)	۶,۰۵	۷,۸۵	۱,۸	۸,۸۵	۱۱,۴۱	۲,۵۶
NDVI (GWR/Fixed)						
SAVI (GWR/Fixed)						

هستند که نشان دهنده معنی دار بودن بهبود دقت مدل GWR در مقایسه با OLS است. همچنین آزمون ناپایداری شاخص گیاهی NDVI و SAVI نیز ناپایداری شاخص های مورد نظر در منطقه مطالعاتی را نشان داد. می توان گفت مدل GWR به میزان قابل توجهی باعث افزایش دقت تخمین توده زنده گردیده و دید مناسبتری از چگونگی تخمین بیومس توسط شاخصهای استخراج شده از تصاویر ماهواره ای ارائه می دهد. این بهبود با مقادیر بالاتر برای مدل GWR (۰,۷۱) در حالت پهنای باند انطباقی و (۰,۷۰ در حالت پهنای باند ثابت) و مقادیر پایین تر AIC_c (برابر با ۶۱۴,۷ و ۶۱۵,۷ برای شاخص SAVI و ۶۱۵,۶ و ۶۱۵,۶ برای شاخص NDVI) نشان داده شده است. با توجه به حجم بالای توده زنده گندم در منطقه می توان با یک برنامه ریزی اصولی از این منبع طبیعی عظیم، بهره جست

پاورقی ها

1. Transformed Vegetation Index
۲. این رابطه بر اساس اندازه آشکار ساز ، فاصله کانونی دوربین ، ارتفاع ماهواره و خط دید سنسور می باشد
www.scanex.ru/en/monitoring/default.asp?submenu=cartography&id=det
3. Illumination difference
4. Normalized Difference Vegetation Index
5. Simple Ratio
6. Perpendicular Vegetation Index
7. Soil Adjusted Vegetation Index
8. Global
9. Fixed
10. Adaptive
11. Bandwidth
12. Hat Matrix

بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تفسیر تصاویر دو زمانه ماهواره SPOT برای تهیه نقشه سطح زیر کشت گندم نشان داد که با استخراج تقویم زراعی محصولات مختلف کشاورزی، نمونه برداری ، انتخاب ماهواره و برنامه ریزی منظم برای تصویربرداری، امکان تعیین سطح زیر کشت گندم با دقت مناسب فراهم می گردد.

مهمترین مشکل در استخراج اراضی زیر کشت گندم تفاوت زیاد در بازتابندگی مزارع گندم در داده های زمان دوم می باشد. اختلاف بازتابندگی باند قرمز همراه با افزایش تراکم محصول، بیشتر می شود بنابراین در گندم آبی دارای کارایی بالا می باشد. در گندم دیم که تراکم محصول پایین است، باند سبز دارای اختلاف بازتابندگی بیشتری است. باند مادون قرمز نزدیک دارای بازتابهای مشابه در اوج سبزیگی و زمان برداشت است . این شباهت ها با افزایش تراکم پوشش گیاهی بیشتر می شوند. علت این شباهت بازتابندگی آن است که در زمان اول به دلیل سبزیگی برگ گیاه گندم بازتابندگی باند مادون قرمز بالا است. در زمان برداشت محصول بازتابندگی گندم تحت تاثیر ساقه است که به دلیل صاف و صیقلی بودن دارای بازتابندگی بالا و مشابه زمان اوج سبزیگی است .

همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، در تمامی موارد دقت مدل GWR نسبت به OLS افزایش قابل توجهی دارد. این افزایش در تمامی شاخصها مشاهده می شود. ضمن اینکه دو روش ثابت و انطباقی نتایج بسیار نزدیک به یکدیگر دارند و تقریباً در تمامی موارد دقت مدل ثابت به میزان بسیار کمی بالاتر از انطباقی برآورد شده است. در مورد NDVI مقدار AIC_c ، ۲۴ واحد کاهش و ، بیش از ۰,۲ افزایش یافته است. همچنین مطابق با جدول ۵ و جدول ۶ نتایج آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) و آزمون ناپایداری به روش مقایسه بازه مقادیر تخمین زده شده برای مدل های OLS و مدل های بهینه GWR در جداول مربوطه ارائه شده است. با توجه به مقادیر بدست آمده برای F-Ratio و مقایسه آنها با مقادیر بحرانی تابع توزیع F، تمامی آنها در سطح بیش از ۹۹٪ معنی دار

منابع مورد استفاده

1. Bao, Y., Wei, G., & Gao, Z. (2009). Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing. *Front Earth Science*, 3 (1), 118-128.
 2. Clevers, J.G.P.W. (1997). A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 61(2), 221-228.
 3. Crippen, R. E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34 (1), 71-73.
 4. Fotheringham, S., Charlton, M., & Brundson, C. (2002). *Geographically Weighted Regression*. John Wiley & Sons.
 5. Ghahreman, A., & Atter, F. (1999). *Biodiversity of plant species in Iran*. Tehran University.
 6. Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663-666.
 7. Koppe, W., Fei, L., Gnyp, M. L., Yuxin, M., Li, a. n. g. l. i. a. n. g. J., Chen, X., et al. (2010). Evaluating Multispectral and Hyperspectral Satellite Remote Sensing Data for Estimating Winter Wheat Growth Parameters at Regional Scale in the North China Plain. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2010 (3), 167-178.
 8. Kryvobok, O. (2000). Estimation of the productivity parameters of wheat crops using high resolution satellite data. *ISPRS*. Amsterdam.
 9. Liu, J., Miller, J., Patty, E., Haboundane, D., Strachan, I. B., & Hinthner, M. (2004). *Monitoring crop biomass accumulation using multi-temporal hyperspectral remote sensing data*. Paper presented at the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '04), Fairbanks, Alaska, USA.
 10. Makowski, D., Jeuffroy, M., & Guérif, M. (2006). Bayesian methods for updating crop-model predictions, applications for predicting biomass and grain protein content. *Frontis*, 3.
 11. Minnaert, M. (1941). The reciprocity principle in lunar photometry. *Astrophysical Journal*, 93, 403-410. (Fotheringham, Charlton, & Brundson, 2002)
 12. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). *Remote Sensing of Environment*, 48, 119-126
 13. Ridao, E., Conde, J. R., & Minguéz, M. I. (1998). Estimating fAPAR from Nine Vegetation Indices for Irrigated and Nonirrigated Faba Bean and Semileafless Pea Canopies. *Remote Sensing of Environment*, 66(1), 87-100.
 14. Rouse, J. W., Hass, J. R., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Texas A&M University Remote Sensing Center.
 15. Steinmetz, S., Guerif, R., Delecolle, R., & Baret, F. (1990). Spectral estimates of the absorbed photosynthetically active radiation and light-use efficiency of a winter wheat crop subjected to nitrogen and water deficiencies. *International Journal of Remote Sensing*, 11(1).
۱۶. کاویانی، م.، & علیجانی، ب. (۱۳۸۶). مبانی آب و هواشناسی: سمت.