

## برآورد شاخص سطح برگ محصولات گندم و جو با استفاده از شاخص های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره ای

علی مختاری<sup>1</sup>، حمیده نوری<sup>2\*</sup>، مجید وظیفه دوست<sup>3</sup>، آرزو نازی قمشلو<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1395/4/13 تاریخ پذیرش: 1395/10/24

### چکیده

شاخص های گیاهی (VI) مختلف برای برآورد شاخص سطح برگ سبز گیاهان (gLAI) از خود ویژگی های متفاوتی نشان می دهند. هدف از انجام این مطالعه، برآورد gLAI در گیاهان گندم و جو با استفاده از شاخص های گیاهی و ارایه روابطی است که بتواند gLAI را در تمام بازه تغییرات آن، بدون کم شدن حساسیت شاخص گیاهی نسبت به gLAI، به خوبی برآورد کند. استخراج روابطی برای برآورد gLAI با استفاده از شاخص های گیاهی محاسبه شده از محصولات سنجنده مودیس و داده های میدانی gLAI، و ارزیابی دقت روابط به دست آمده با استفاده از شاخص های آماری، تحلیل حساسیت آن ها و ارایه شاخص گیاهی برتر در برآورد gLAI از مهم ترین مراحل انجام این تحقیق است. برای نیل به این اهداف، gLAI در سال زراعی 1393-94 با روش تخریبی در اراضی کشت و صنعت هزار جلفا واقع در شبکه آبیاری قزوین اندازه گیری شد. نتایج اندازه گیری های میدانی نشان داد gLAI برای گندم از 0/07 تا 5/81 و برای جو از 0/01 تا 3/76 تغییر می کند. VI های مستخرج از باندهای 1 و 2 سنجنده مودیس شامل شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص نسبت ساده (SR)، شاخص طیف گسترده پویا (WDRVI)، شاخص تفاوت وزن (WDVI) و شاخص گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI) بود که برای برآورد gLAI به کار گرفته شد. بهترین رابطه به دست آمده مربوط به شاخص گیاهی WDRVI با  $R^2$  برابر با 0/78 و RMSE برابر با 0/73 انتخاب گردید. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد روابط به دست آمده بر اساس شاخص گیاهی WDRVI به خوبی می تواند gLAI را در تمام بازه تغییرات آن برآورد کند. شاخص های گیاهی NDVI و SAVI در بازه  $gLAI < 2$  بهتر از سه شاخص گیاهی دیگر عمل می نمایند.

واژه های کلیدی: سنجش از دور، شاخص سطح برگ سبز، شاخص گیاهی، مودیس

### مقدمه

است که در بسیاری از مدل های هیدرولوژیکی (Weiss et al., 2004)، اکولوژیکی (Bulcock et al., 2010)، اقلیمی (Buermann et al., 2001) و عملکرد گیاهی (Fang et al., 2011) برای کمی کردن و اندازه گیری مقادیر تاج پوشش، تبخیر - تعرق، فتوسنتز و بسیاری از فرآیندهای اکوهیدرولوژیکی دیگر به کار می رود.

برگ سبز گیاه برای انجام فرآیند فتوسنتز بخش قرمز طیف مرئی نور خورشید را به شدت جذب می کند (از 0/4 تا 0/7 میکرومتر) و از طرفی، ساختار سلولی برگ ها به گونه ای است که میزان زیادی از نور مادون قرمز نزدیک را بازتابش می نماید (از 0/7 تا 1/1 میکرومتر). هرچه تعداد برگ های سبز در یک منطقه بیشتر باشد، یا به عبارت دیگر هر چه مقدار gLAI بیشتر باشد، میزان تاثیرگذاری آن بر طول موج های یاد شده بیشتر خواهد بود. از این رو، در سنجش از دور برای تشخیص تراکم و میزان پوشش گیاهی سبز یک منطقه یا یک مزرعه، شاخص های طیفی گیاهی (VI) بسیاری براساس این ویژگی

در چند دهه اخیر، سنجش از دور به عنوان ابزاری برای تخمین پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان (CBP) به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مهم ترین شاخص های بیوفیزیکی که همواره مورد ارزیابی قرار می گیرد شاخص سطح برگ سبز (gLAI) گیاهان زراعی است. این شاخص از نسبت سطح برگ سبز گیاه به مساحت تحت پوشش آن به دست می آید. gLAI پارامتر بسیار مهمی

- 1- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
  - 2- استادیار گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
  - 3- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان
  - 4- استادیار گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- \* - نویسنده مسئول: (Email: hnoory@ut.ac.ir)



سیستم‌های آبیاری عقربه‌ای شماره 2، 4 و 5 انتخاب شد (شکل 1). فواصل نمونه برداری‌ها 7 روزه بود. نمونه‌برداری در سه کرت مربوط به هر پیکسل به صورت تصادفی انجام گردید و مختصات آن‌ها ثبت شد. میانگین پارامترهای این سه کرت معرف خصوصیات گیاهی کل پیکسل بود. مساحت هر کرت  $25 \times 50$  سانتی‌متر مربع بود که شامل 3 ردیف گندم در طول 25 سانتی‌متر بود. تعداد گیاهان در محدوده نمونه‌برداری شمرده شد و تعدادی از آن که معرف کل نمونه باشد، برای اندازه‌گیری سطح برگ انتخاب گردید و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه برگ‌های سبز از برگ‌های مرده و دیگر اندام‌های گیاهی تمیز داده و جدا شد. سطوح برگ‌ها با دستگاه سنجش سطح برگ (مدل DeltaT Device, UK) که سطح برگ را از طریق عکس‌برداری از برگ محاسبه می‌کند اندازه‌گیری گردید (Jonckheere et al., 2004). جدول 1 خلاصه آماری داده‌های gLAI برداشت شده را نشان می‌دهد.

جدول 1- خلاصه آماری داده‌های gLAI اندازه‌گیری شده محصولات جو و گندم در سال زراعی 1393-94

جو	گندم		
20	68	تعداد نمونه‌ها	
2/13	2/68	میانگین	شاخص سطح برگ سبز
1/09	1/62	انحراف معیار	$(m^2/m^2)$
0/01	0/07	حداقل	
3/76	5/82	حداکثر	

#### محاسبه شاخص‌های گیاهی و روابط برآورد gLAI

مقادیر داده‌های بازتابش طیفی از سطح پوشش گیاهی در هر پیکسل برای محاسبه پنج شاخص گیاهی مورد استفاده قرار گرفت.

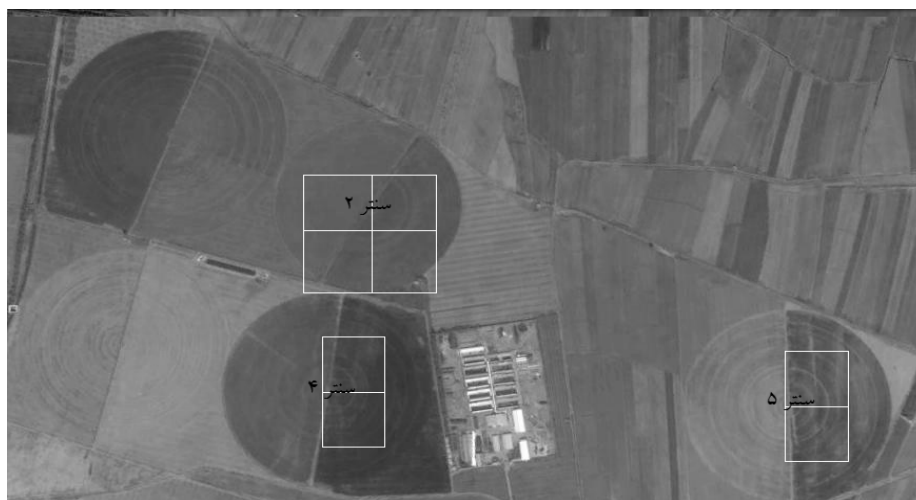
آبیک واقع است و از شرق به روستای هزارجلفا، از جنوب به روستای عبدالآباد، از غرب به کشت و صنعت و دامپروری مگسال و از شمال با فاصله 10 کیلومتری به شهر محمدیه منتهی می‌شود. کشت و صنعت هزارجلفا 850 هکتار وسعت دارد و شامل 5 سیستم آبیاری عقربه‌ای (CPI تا CP5) و چند سیستم آبیاری کلاسیک و ثقلی است. اقلیم این منطقه نیمه خشک است. بافت خاک منطقه غالباً لوم شنی است. محصولات این کشت و صنعت مشابه شبکه آبیاری قزوین است. در کشت پاییزه گندم، جو و کلزا و در کشت بهاره ذرت و چغندر کاشته می‌شود و همواره در CPI یونجه کشت شده است.

#### داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق برای استخراج شاخص‌های گیاهی از محصول MOD09GQ تصاویر سنجنده مودیس ماهواره Terra مربوط به سال 94-1393 استفاده گردید. این تصاویر به صورت روزانه و دارای پیکسل  $250 \times 250$  هستند. محصول MOD09GQ از سایت [e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/ERDAS\\_IMAGINE](http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/ERDAS_IMAGINE) دانلود شد. تصاویر سنجنده مودیس بعد از انجام پردازش توسط نرم‌افزار ArcGIS 10.1 گردید و در بازتابش در هر پیکسل و به دنبال آن محاسبه شاخص‌های گیاهی مربوط به روز داده‌برداری، وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.1 گردید و در کنار تصویر ماهواره‌ای منطقه که از نرم‌افزار Google Earth دریافت شد، ژئورفرنس گردید. بدین ترتیب محل دقیق هر یک از پیکسل‌ها به صورت Shapefile بر روی نقشه مزرعه مشخص شد (شکل 1).

#### اندازه‌گیری مزرعه‌ای شاخص سطح برگ

برای نمونه‌برداری از تاریخ 5 اسفند 1393 تا 30 خرداد 1394، مجموعاً 6 پیکسل مربوط به گندم و 2 پیکسل مربوط به جو در



شکل 1- مکان پیکسل‌ها بر روی نقشه سیستم‌های آبیاری عقربه‌ای 2، 4 و 5 در اراضی کشت و صنعت هزارجلفا

مودیس به دلیل قدرت تفکیک مکانی 250 متر که در سطح مزارع نسبتاً بزرگ قابلیت استفاده دارد و نیز وجود تصاویر روزانه بازتابش سطح زمین جهت مطالعه بهتر بر روی تغییرات در پدیده‌های سطح زمین و پوشش‌های گیاهی در طی زمان، در این مطالعه به کار گرفته شد.

بسیاری از این شاخص‌ها در مطالعات پیشین برای برآورد gLAI در بسیاری از گیاهان استفاده شده‌اند. شاخص‌های به کار گرفته شده شامل SR، WDRVI، WDWI، NDVI و SAVI هستند که فرمول‌های محاسبه آن‌ها در جدول 2 آورده شده است. تمامی این شاخص‌ها از مقادیر بازتابش به دست آمده از باندهای 1 و 2 سنجنده مودیس، سوار بر ماهواره ترا (Terra) ناسا، استخراج گردید. سنجنده

جدول 2- شاخص‌های گیاهی ارزیابی شده در این تحقیق

مرجع	فرمول‌ها	حروف اختصاری	شاخص
(Rouse et al., 1974)	$\frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red}$	NDVI	شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده
(Jordan., 1969)	$\frac{\rho NIR}{\rho Red}$	SR	شاخص نسبت ساده
(Gitelson et al., 2003)	$\frac{\alpha \rho NIR - \rho Red}{\alpha \rho NIR + \rho Red}$	WDRVI	شاخص طیف گسترده پویا
(Clevers., 1988)	$\rho NIR - Slope * \rho Red$	WDVI	شاخص تفاوت وزن
(Huete., 1988)	$\frac{(1 + L)(\rho NIR - \rho Red)}{L + (\rho NIR + \rho Red)}$	SAVI	شاخص گیاهی تعدیل شده خاک

را امتیازبندی می‌کند. هدف این مطالعه در استفاده از این نرم‌افزار حداقل سازی خطای مجذور میانگین مربعات (RMSE) است. کاربر با وارد نمودن داده‌ها و تعیین متغیرهای وابسته و غیروابسته (برای مثال:  $VI = f(gLAI)$ )، سپس مشخص کردن عامل‌های محاسباتی (ضرب، جمع، تفریق، تقسیم، توان و غیره) و در آخر تعیین پارامتر خطا (خطای مطلق،  $R^2$  و غیره) اقدام به استخراج بهترین روابط می‌نماید. در این مطالعه روابطی انتخاب گردید که در طول بازه تغییرات gLAI، تا حد امکان VI حساسیت خود را نسبت به تغییرات gLAI از دست ندهند، یا به عبارت دیگر خطی‌ترین رابطه ممکن استخراج گردد.

در ابتدای محاسبات میزان همبستگی میان VI‌ها و gLAI با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 19 تعیین گردید (جدول 3). با توجه به جدول 3، همبستگی gLAI در سطح یک درصد با تمام VI‌ها معنی‌دار گردید. سپس بهترین روابط خطی و غیر خطی میان VI‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و gLAI اندازه‌گیری شده در مزرعه با استفاده از نرم‌افزار Eureka (Schmidt et al., 2009) (<http://creativemachines.cornell.edu>) تعیین گردید. این نرم‌افزار یک موتور جستجوی الگوریتم است که روابط میان داده‌های ورودی را به دست آورده و بر اساس میزان همبستگی این روابط آن‌ها

جدول 3- میزان همبستگی gLAI نسبت به شاخص‌های گیاهی مورد بررسی در این تحقیق

جو					گندم					همبستگی پیرسون	gLAI
NDVI	SR	WDRVI	SAVI	WDVI	NDVI	SR	WDRVI	SAVI	WDVI		
0/83**	0/83**	0/84**	0/67**	0/84**	0/8**	0/86**	0/89**	0/84**	0/87**		

\*\* همبستگی در سطح 0,01 معنی‌دار است.

(Nguy-Robertson et al., 2012)، خصوصاً هنگامی که شاخص گیاهی حساسیت خود را نسبت به تغییر gLAI از دست می‌دهد. برای تعیین دقت تخمین gLAI از شاخص NE (Govaerts et al., 1999, 2005) (Via et al., 2005) استفاده گردید که به طریق رابطه 1 محاسبه می‌گردد:

### تحلیل حساسیت

در این مطالعه معیار مقایسه روابط با یکدیگر و تعیین بهترین رابطه،  $R^2$  و RMSE است که این دو معیار نشان دهنده پراکندگی داده‌ها از خط رگرسیونی است. اما هنگامی که رابطه رگرسیونی به دست آمده غیرخطی است این دو معیار می‌توانند گمراه کننده باشند

شدند. روند تغییرات شاخص‌های گیاهی مستخرج از تصاویر سنجنده مودیس در مقابل داده‌های gLAI اندازه‌گیری شده و بهترین رابطه برآورد gLAI به دست آمده در شکل 3 نشان داده شده است. gLAI با شاخص‌های WDRVI، WDVI و SR رابطه خطی و یا بسیار نزدیک به خطی دارد ولی در مقابل، شاخص‌های NDVI و SAVI روند غیرخطی از خود نشان دادند. دو شاخص NDVI و SAVI به ترتیب در  $gLAI > 2/5$  و  $gLAI > 3/5$  به حالت اشباع رسیدند و تغییرات آن‌ها نشان دهنده تغییرات gLAI نبوده است (شکل 3a و شکل 3b)

نتایج به دست آمده مقادیر  $R^2$  و RMSE مربوط به بهترین روابط برآورد کننده gLAI استخراج شده از شاخص‌های مستخرج از تصاویر سنجنده مودیس در جدول 4 ارائه شده است. مقادیر  $R^2$  در بازه 0/58 تا 0/78 حاصل شده است و به ترتیب مربوط به شاخص‌های NDVI و WDRVI است. بالاترین RMSE مربوط به شاخص NDVI، برابر با 1/01 و کم‌ترین آن مربوط به شاخص WDRVI با مقدار 0/73 است (جدول 4). نتایج به دست آمده از جدول 4 نشان داد که دو شاخص NDVI و SAVI شاخص‌های مناسبی برای تخمین gLAI در تمام بازه تغییرات آن نیستند و شاخص‌های WDRVI، WDVI و SR که دارای تغییرات خطی و یا نزدیک به خطی در برابر gLAI هستند، شاخص‌های مناسبی برای برآورد gLAI می‌باشند.

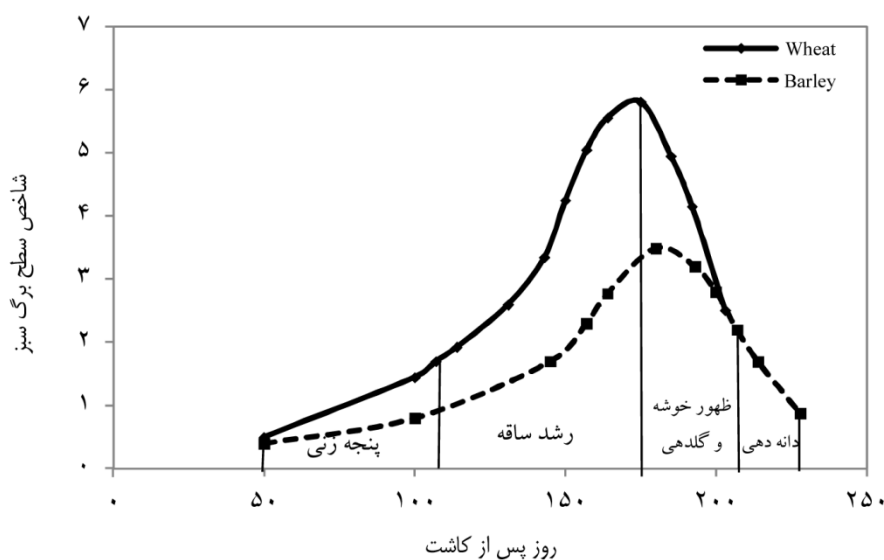
$$NE \Delta gLAI = \frac{RMSE(gLAI)}{d(VI)/d(gLAI)} \quad (1)$$

در رابطه 1،  $d(VI)/d(gLAI)$  مشتق اول VI نسبت به gLAI است و  $RMSE(gLAI)$  عبارت است از رادیکال میانگین تفاضل gLAI مزرعه با gLAI برآورد شده به توان دو. شاخص NE علاوه بر در نظر گرفتن شیب خط، RMSE را نیز به کار می‌گیرد که با توجه به فرمول آن، می‌تواند حساسیت تغییرات VI را نسبت به gLAI در بازه تغییرات آن تعیین نماید.

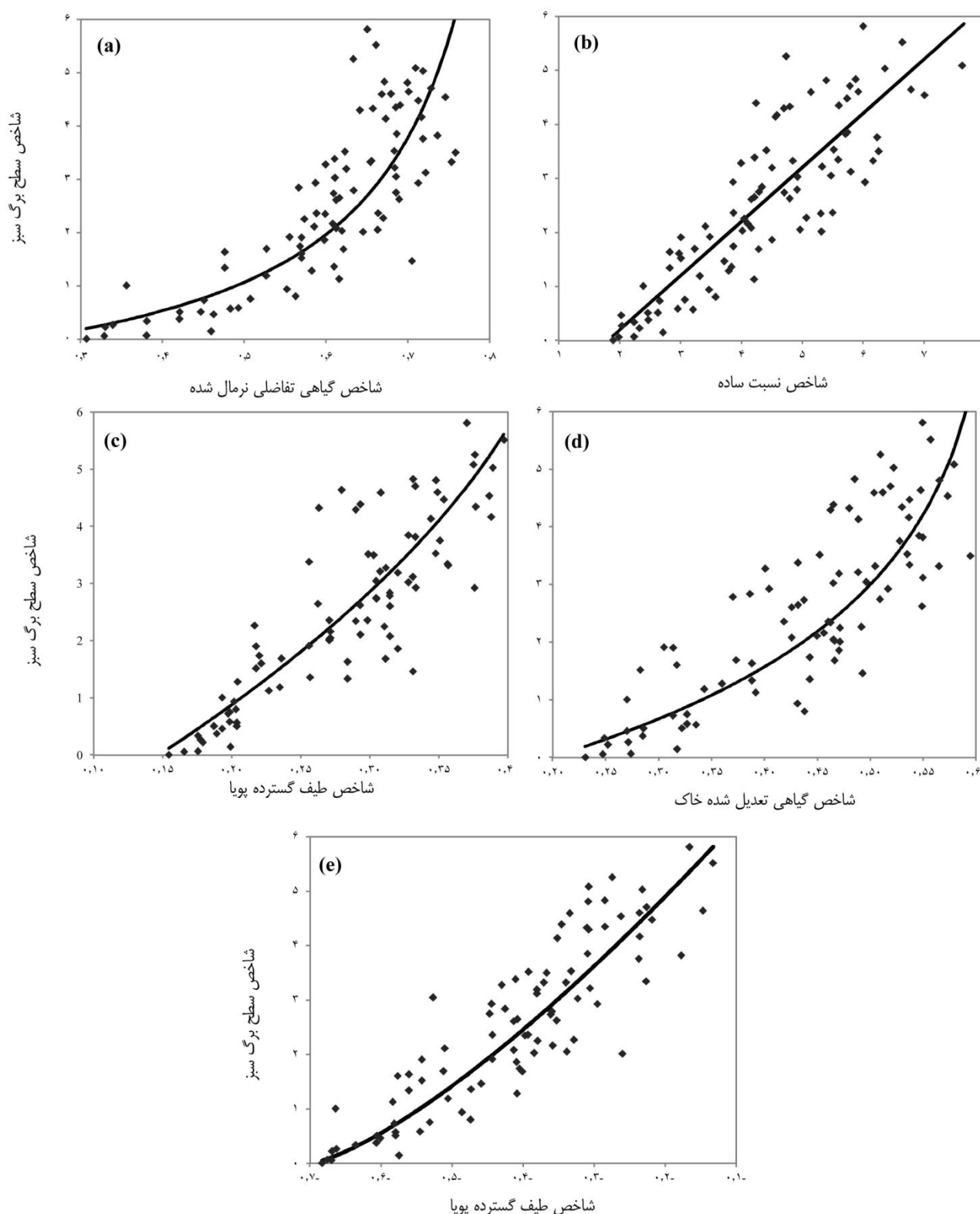
## نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیری شده gLAI دو گیاه گندم و جو در روزهای پس از کاشت (DAP) در شکل 2 ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که تغییرات زمانی شاخص سطح برگ جو و گندم از مرحله ابتدای رشد تا مرحله انتهای آن مشابه یکدیگر است (شکل 1). مشابهت ساختار سلولی و گیاهی جو و گندم مهم‌ترین دلیل تشابه تغییرات زمانی gLAI دو گیاه مورد مطالعه است و به همین دلیل سنسورهای سنجنده مودیس قادر نیستند میان این دو تفاوت قائل شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات VI‌ها در مقابل gLAI‌های هر دو گیاه نیز یکسان است.

از این رو داده‌های شاخص گیاهی مربوط به جو و گندم با یکدیگر ترکیب شدند و در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده gLAI قرار گرفتند و با استفاده از نرم‌افزار Eureka الگوریتم‌های  $f(gLAI)$  به دست آمدند. سپس جهت ارائه روابط برآورد gLAI این الگوریتم‌ها معکوس



شکل 2- تغییرات شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف رشد دو گیاه گندم و جو



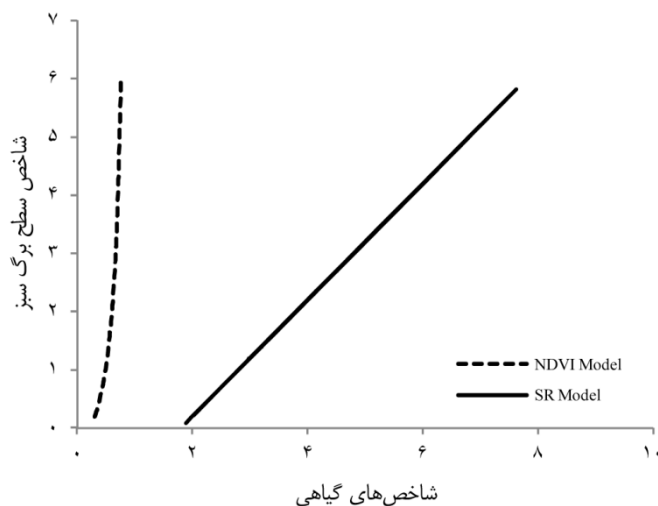
شکل 3- رابطه برتر استخراج شده میان شاخص های گیاهی (a) NDVI، (b) SR، (c) WdVI، (d) SAVI و (e) WDRVI و مقادیر gLAI اندازه گیری شده

جدول 4- روابط برتر مربوط به هر یک از شاخص‌های گیاهی و معیارهای دقت آنها

شاخص گیاهی	فرمول	ضریب همبستگی	مجدور میانگین مربعات	میانگین NE	حداقل و حداکثر NE
NDVI	$y = \frac{15x - 3.5}{8.5 - 9.5x}$	0/58	1/01	1/21	4/04-0/218
SR	$y = x - 1.8$	0/73	0/78	0/69	0/67-0/67
WDRVI	$y = \frac{(x + 0.7)^{1.35}}{0.08}$	0/78	0/73	0/70	0/92-0/30
SAVI	$y = \frac{-\ln\left(\frac{0.63 - x}{0.43}\right)}{0.4}$	0/65	0/94	1/02	3/89-0/38
WDVI	$y = \frac{0.55 - \sqrt{0.45 - x}}{0.057}$	0/73	0/79	0/77	1/25-0/55

محاسبه، روابط برآورد کننده gLAI نیز دارای تفاوت‌هایی در اندازه مشتق‌هایشان بودند (شکل 4). این مساله در مقایسه NE‌های مختلف با یکدیگر و در نتیجه تشخیص حساسیت VI نسبت به gLAI در روابط به دست آمده ایجاد مشکل و اشتباه می‌کند.

دامنه تغییرات هر یک از شاخص‌های گیاهی در طول بازه تغییرات gLAI متفاوت است و این شاخص‌ها هر یک دارای مقیاس متفاوتی هستند. دامنه شاخص SR بین 2/019 تا 7/62 تغییر می‌کند و این درحالی است که دامنه تغییرات شاخص NDVI بین 0/329 تا 0/758 است و به دلیل تفاوت مقیاس شاخص‌های گیاهی مورد



شکل 4- مقایسه دو رابطه برآورد کننده gLAI به دست آمده از شاخص‌های SR و NDVI از لحاظ تفاوت مقیاس

پراکندگی انتقال داده می‌شوند. با این روش شاخص‌های NE مربوط به هر VI هم‌مقیاس شدند.

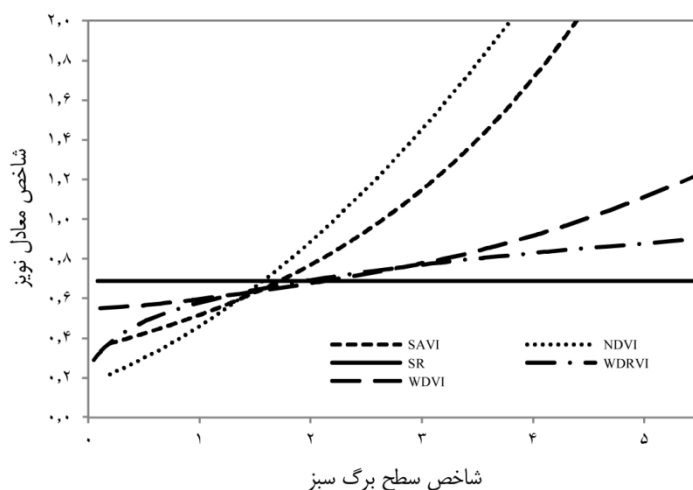
تغییرات NE در مقابل تغییرات gLAI برای شاخص‌های گیاهی مختلف در شکل 5 نشان داده شده است. نمودارهای تغییرات NE در

برای از بین بردن اثر اختلاف مقیاس موجود بین شاخص‌های گیاهی، داده‌های به دست آمده با استفاده از رابطه t-student (Buermann et al., 2001) نرمال گردید. در واقع با نرمال سازی، داده‌ها با هر مقیاسی که باشند، به بازه -3 تا 3 بدون تغییر نوع

شاخص های خوبی برای تخمین gLAI هستند ( $NE < 0/8$ ). شاخص WDVl تا  $gLAI < 3/5$  شاخص مناسبی برای تخمین gLAI است ( $NE < 0/8$ ).

بادیه نشین و همکاران (1392) در همین منطقه اقدام به استخراج روابط میان gLAI و شاخص های گیاهی SAVI، SR و NDVI بر روی سه گیاه ذرت علوفه ای، ذرت دانه ای و چغندر قند نمودند که بهترین شاخص طیفی گیاهی را SAVI استفاده شده در معادله چادهوری و همکاران با  $R^2$  برابر با 0/72 و RMSE برابر با 1/57 برای ترکیب هر سه گیاه بیان نمودند (Choudhury et al., 1994). ضرایب استفاده شده در تحقیق ایشان برای a، b و c در معادله چادهوری به ترتیب برابر با 3/8، 3/66 و 0/018 می باشد که همین معادله در این تحقیق با ضرایب 0/63، 0/43 و 0/4 در دو گیاه گندم و جو  $R^2$  کم تر (0/65) و RMSE بهتر (0/94) حاصل شد.

برابر gLAI به این مهم اشاره دارد که با وجود مقادیر کم  $R^2$  در شاخص های گیاهی NDVI و SAVI (جدول 4)، این دو شاخص در بازه gLAI کم (مراحل اولیه رشد و نیز مراحل انتهایی رشد) بسیار کارآمد و مناسب بوده و برای بازه  $gLAI < 1/5$ ، از دو شاخص SR و WDVl بهتر عمل می نمایند. زیرا مقادیر NE مربوط به دو شاخص گیاهی NDVI و SAVI در این بازه کم تر از مقادیر NE شاخص های گیاهی دیگر است. در کل دو شاخص گیاهی NDVI و SAVI در بازه تغییرات  $gLAI < 2$  می توانند شاخص های خوبی برای برآورد gLAI باشند، زیرا مقدار NE در این بازه کم تر از 0/8 است و این مسئله نشان دهنده دقت بالای برآورد gLAI برای این دو شاخص است. لیکن کارایی خود را در  $gLAI > 2$  از دست می دهند و حساسیت آن ها نسبت به تغییرات gLAI کاهش می یابد، یا به عبارت دیگر، اشباع می گردند. با توجه به نمودارهای NE نیز می توان دریافت که شاخص های WDRVI و SR در تمام بازه تغییرات gLAI



شکل 5- تغییرات NE برای شاخص های گیاهی مختلف در مقابل تغییرات gLAI

همچنین انجام نمونه برداری در نقاط مختلف دشت جهت تعمیم نتایج به کل دشت از مهم ترین پیشنهادات جهت ادامه تحقیق است. استفاده از سنسورهایی با رزولوشن مکانی بهتر مانند لندست باعث می شود که در مزارع مورد مطالعه و نمونه برداری، تمامی پیکسل ها در محدوده مزرعه قرار بگیرند و یا به اصطلاح پیکسل میکس شده (mixed pixels) ایجاد نگردد.

## منابع

فرید حسینی، ع، آستارایی، ع، ثنائی نژاد، ح، میرحسینی موسوی، پ. 1391. تخمین شاخص سطح برگ با استفاده از داده های ماهواره ای IRS در منطقه نیشابور. پژوهش های زراعی ایران، 3: 577-582.

## نتیجه گیری

با در نظر گرفتن تمامی معیارهای تشخیص دقت روابط برآورد کننده gLAI به دست آمده در این تحقیق، رابطه مربوط به شاخص گیاهی WDRVI، با  $R^2$  برابر با 0/78 و RMSE برابر با 0/73 و با در نظر گرفتن میانگین تغییرات NE برابر با 0/7 به عنوان بهترین رابطه برآورد کننده gLAI برای محصولات گندم و جو در منطقه مورد مطالعه توصیه می گردد. با وجود اینکه روابط مربوط به شاخص های گیاهی SAVI و NDVI قادر نیستند که gLAI را با دقت خوبی در تمامی بازه تغییراتش برآورد کنند، اما برای برآورد  $gLAI < 2$  (مراحل اولیه و انتهایی رشد) بهتر از شاخص های گیاهی دیگر ارایه شده در این تحقیق عمل می نمایند. استفاده از سنسورهایی با رزولوشن مکانی بهتر مانند لندست، استفاده از شاخص های گیاهی مستخرج از باندهای دیگر مانند باند سبز (علاوه بر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک)، و



- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*. 25.3: 295-309.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*. 50.4: 663-666.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and forest meteorology*. 121.1: 19-35.
- Nguy-Robertson, A., Gitelson, A., Peng, Y., Via, A., Arkebauer, T., Rundquist, D. 2012. Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy Journal*. 104.5: 1336-1347.
- Nguy-Robertson, A.L., Gitelson, A.A. 2015. Algorithms for estimating green leaf area index in C3 and C4 crops for MODIS, Landsat TM/ETM+, MERIS, Sentinel MSI/OLCI, and Venus sensors. *Remote Sensing Letters*. 6.5: 360-369.
- Qi, J., Kerr, Y.H., Moran, M.S., Weltz, M., Huete, A.R., Sorooshian, S., Bryant, R. 2000. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF models in a semiarid region. *Remote sensing of environment*. 73.1: 18-30.
- Rouse Jr, J., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication. 351. 309.
- Schmidt, M., Lipson, H. 2009. Distilling free-form natural laws from experimental data. *science*, 324.5923: 81-85.
- Vina, A., Gitelson, A.A. 2005. New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops. *Geophysical Research Letters*. 32. 17. 1-4. [L17403]. Vina, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., Peng, Y. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment*, 115.12: 3468-3478.
- Weiss, M., Baret, F., Smith, G.J., Jonckheere, I., Coppin, P. 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121.1: 37-53.
- Xie, Q., Huang, W., Liang, D., Chen, P., Wu, C., Yang, G., Zhang, D. 2014. Leaf area index estimation using vegetation indices derived from airborne hyperspectral images in winter wheat. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 7.8: 3586-3594.
- بادیه نشین، ع، نوری، ح، وظیفه دوست، م. 1393. واسنجی معادلات برآورد شاخص سطح برگ محصولات ذرت و چغندر قند با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس (شبکه آبیاری قزوین). تحقیقات آب و خاک ایران. 2. 45. 165-155.
- یمانی، م، مزیدی، ا. 1387. بررسی تغییرات سطح و پوشش گیاهی کویر سیاه‌کوه با استفاده از داده‌های سنجنش از دور. پژوهش‌های جغرافیایی. 40. 64. 1-12.
- رحمانی، ن، شاهدهی، ک، میریعقوب‌زاده، م. 1390. ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در سنجنش از دور (مطالعه موردی: حوضه هریسک). همایش ژئوماتیک 90.
- Aparicio, N., Villegas, D., Araus, J.L., Casadesus, J., Royo, C. 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop science*. 42.5: 1547-1555.
- Buermann, W., Dong, J., Zeng, X., Myneni, R.B., Dickinson, R.E. 2001. Evaluation of the utility of satellite-based vegetation leaf area index data for climate simulations. *Journal of Climate*. 14.17: 3536-3550.
- Bulcock, H.H., Jewitt, G.P.W. 2010. Spatial mapping of leaf area index using hyperspectral remote sensing for hydrological applications with a particular focus on canopy interception. *Hydrology and Earth System Sciences*. 14.2: 383-392.
- Choudhury, B.J., Ahmed, N.U., Idso, S.B., Reginato, R.J., Daughtry, C.S. 1994. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote sensing of environment*. 50.1: 1-17.
- Clevers, J.G. 1988. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. *Remote Sensing of Environment*. 25.1: 53-69.
- Fang, H., Liang, S., Hoogenboom, G. 2011. Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM-CERES-Maize model for corn yield estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 32.4: 1039-1065.
- Gitelson, A.A., Via, A., Arkebauer, T.J., Rundquist, D.C., Keydan, G., Leavitt, B. 2003. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*. 30. 5. 1248: 52-51
- Gitelson, A.A. 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of plant physiology*. 161.2: 165-173.
- Govaerts, Y.M., Verstraete, M.M., Pinty, B., Gobron, N. 1999. Designing optimal spectral indices: A feasibility and proof of concept study. *International journal of remote sensing*. 20.9: 1853-1873.

## Estimation of Green Leaf Area Index of Winter Wheat and Barley Using Spectral Vegetation Indices Derived from MODIS data

A. Mokhtari<sup>1</sup>, H. Noory<sup>\*2</sup>, M. Vazifedoust<sup>3</sup>, A. Nazi Ghameshlou<sup>4</sup>

Received: Jul.03, 2016

Accepted: Jan.13, 2017

### Abstract

Vegetation Indices (VI) show different results in green leaf area index (gLAI) estimation. The objective of this study is to estimate the gLAI of winter wheat and barley using spectral vegetation indices and presenting equations that are able to properly estimate gLAI on its entire range without any reduction in VIs' sensitivity to gLAI. Taking field data into account for developing gLAI estimation equations using different VIs derived from MODIS imagery, accuracy assessment of these functions using statistical indices, sensitivity analysis, and presenting the best-fit function for gLAI estimation are the main steps of this study. gLAI was destructively sampled in the fields of Hezarjolfā agro-industry located in Qazvin irrigation network in 2015. Results showed that gLAI changes from 0.07 to 5.81 for wheat and from 0.01 to 3.76 for barley. VIs used in this study derived from band 1 and 2 of MODIS imagery were Normalized different vegetation index (NDVI), simple ratio (SR), wide dynamic range vegetation index (WDRVI), weighted difference vegetation index (WDVI), and soil adjusted vegetation index (SAVI). The best-fit function was concluded from WDRVI with  $R^2$  of 0.78 and RMSE of 0.73. Even though the sensitivity analysis showed that WDRVI can properly estimate gLAI in its entire range, NDVI and SAVI had better results in estimating  $gLAI < 2$  than other VIs.

**Keywords:** Green leaf are index, MODIS, Remote sensing, Vegetation index

1- MCS Student of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

2- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Guilan

4- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

(\*-Corresponding Author Email: hnoory@ut.ac.ir)