

The 1<sup>th</sup> Conference on  
**Optoelectronics, Applied Optics and Microelectronics  
(OAM)**  
Department of Advanced Technologies,  
University of Mohaghegh Ardabili  
Namin, Ardabil, Iran  
Aug. 17-19, 2019

## بررسی برخی شاخص‌های گیاهی وابسته به کلروفیل برای گل‌های زینتی با استفاده از تصویربرداری فراطیفی

مجید پناهی<sup>۱</sup>، سارا الماسی<sup>\*</sup>، پیمان سلطانی<sup>۲</sup>، احمد درودی<sup>۳</sup>، رضا فتوت<sup>۲</sup>

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

۲- شرکت پرتو افزار صنعت

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

**چکیده:** امروزه بررسی سلامت محصولات کشاورزی از نظر اقتصادی و نیز بهداشتی به یک امر مهم تبدیل شده است. مطالعه رفتار طیف انعکاسی گیاه برای به دست آوردن درک درستی از فتوسنتز و فرایندهای رویشی گیاهان در چند دهه اخیر گسترش یافته است. تشخیص آفات و نظارت بر سلامت گیاه یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصویربرداری فراطیفی در حوزه کشاورزی است. در این مقاله از تصویربرداری فراطیفی به صورت اسکن خطی در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر برای بررسی شاخص‌های گیاهی وابسته به کلروفیل برای گل‌های زینتی استفاده شده است و نیز نتایج به دست آمده از این روش برای شاخص سبزی‌نگی (کلروفیل) با نتایج دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد تجزیه و تحلیل تصاویر طیفی ثبت شده توانایی اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی وابسته به کلروفیل را دارا می‌باشد.

**کلید واژه:** تصویربرداری فراطیفی، طول موج، برگ، کلروفیل، SPAD

## Investigation of some chlorophyll dependent plant indices for ornamental flowers using the hyperspectral imager

Majid Panahi<sup>1,2</sup>, Sara Almasi<sup>1\*</sup>, Peyman Soltani<sup>1,2</sup>, Ahmad Darudi<sup>1,2</sup>, Reza Fotovat<sup>3</sup>

1- Department of Physics, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan

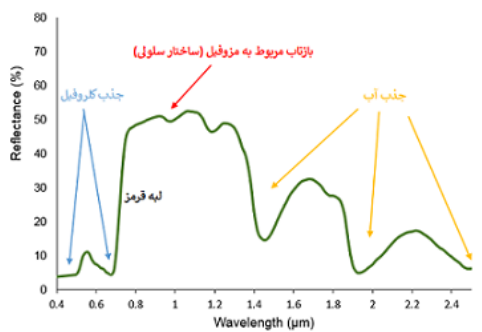
2- Parto Afzar Sanat corporation

3- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan

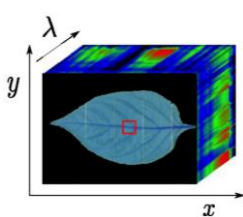
\* Almasisara152@gmail.com

**Abstract:** Nowadays, the evaluation of agricultural products' health has become an important issue both economically and healthfully. The study of the behavior of the reflecting spectrum of the plant has expanded to gain an understanding of the photosynthesis and vegetative processes of plants in recent decades. Detecting pests and monitoring plant health is one of the most important applications of hyperspectral imaging in the agricultural field. In this paper, hyperspectral imaging has been used as a linear scan in the range of 400 to 800 nm for the study of chlorophyll dependent plant indices for ornamental flowers. Also, the results obtained from this method for chlorophyll index compared with the results of the chlorophyll meter (SPAD). The results show that the analysis of recorded spectral images can measure chlorophyll-dependent plant indices.

**Keyword:** Hyperspectral imaging, wavelength, leaf, chlorophyll, SPAD



شکل (۱): طیف بازتابی برگ سالم



شکل (۲): مکعب طیفی برای سطح یک برگ

## ۱- مقدمه

ویژگی طیفی گیاهان در طول موج‌های مختلف تحت تاثیر ساختار درون و برون سلولی برگ، غلظت و ترکیب مواد بیوشیمی از جمله کلروفیل، کارتنوئید، نیتروژن و میزان آب موجود در گیاه است. هر یک از عوامل یاد شده در یک یا چند طول موج خاص دارای اثر آشکارتری است. به طور کلی مشخصه طیفی همه گیاهان در سه محدوده مشخص طول موج مورد بررسی قرار می‌گیرد. محدوده طول موج مرئی از ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر، محدوده مادون قرمز نزدیک از ۷۰۰ تا ۱۳۰۰ نانومتر و محدوده مادون قرمز از ۱۳۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر. در محدوده مرئی، منحنی طیف بازتابی برگ تحت تاثیر جذب طیفی رنگدانه‌هایی از قبیل کلروفیل، کارتنوئید می‌باشد و حداکثر انعکاس در بخش مرئی در طول موج ۵۵۰ نانومتر است. در محدوده ۶۸۰ تا ۷۴۰ نانومتر انعکاس طیفی پوششش گیاهی به یکباره افزایش پیدا می‌کند و محدوده‌ای را به وجود می‌آورد که به محدوده لبه قرمز معروف است. محدوده‌های طیفی و لبه قرمز در شکل (۱) نشان داده شده است [۱].

نظارت بر مواد مغذی گیاهی یک کاربرد بسیار مهم از تصویربرداری فراطیفی برای تولید محصولات کشاورزی است که از جمله برنامه‌های کاربردی آن می‌توان به ارزیابی رنگدانه‌های برگ مانند کلروفیل و کاروتنوئیدها اشاره کرد. با بررسی و تحلیل تصویر فراطیفی وضعیت کم آبی، تغذیه و میزان آلودگی و بیماری را در گیاهان را اندازه‌گیری کرد [۲].

## ۲- تصویربرداری فراطیفی

تصویربرداری فراطیفی از ترکیب طیف‌سنجی و تصویربرداری دیجیتال حاصل می‌شود. هدف از تصویربرداری فراطیفی در حوزه کشاورزی، دستیابی به طیف برای هر قسمت از گیاه جهت شناسایی مواد یا فرآیندها است.

چشم انسان و یک دوربین رنگی معمولی تنها سه نوار طیفی قرمز، سبز و آبی را به دست می‌آورد، در حالی که دوربین فراطیفی طیف گسترده‌ای از طول موج‌ها را به صورت پیوسته ثبت می‌کند و با ایجاد یک مکعب طیفی اطلاعات دقیق‌تری را در مورد نمونه مورد بررسی ارائه می‌دهد، از این رو، تصویربرداری فراطیفی توانایی بسیار بهبود یافته برای طبقه‌بندی اشیاء، گیاهان و ... بر اساس خواص طیفی آن‌ها دارد. شکل (۱) طیف بازتابی یک بخش از برگ سالم و شکل (۲) مکعب طیفی را برای مکان‌های مختلف بر روی سطح همان برگ نشان می‌دهد [۳].

تصویربرداری فراطیفی به دلیل قابلیت‌های ذکر شده امروزه کاربرد وسیعی در حوزه کشاورزی پیدا کرده است که از جمله آن می‌توان به بررسی شاخص‌های گیاهی اشاره نمود.

## ۳- شاخص‌های گیاهی

با اندازه‌گیری طیف بازتابی توسط تصویربرداری فراطیفی و محاسبه شاخص‌های طیفی می‌توان در کمترین زمان ممکن، پارامترهای بیوفیزیکی گیاه را تخمین زد. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، طیف بازتابی در محدوده مرئی می‌تواند در تشخیص محتوای کلروفیل مورد استفاده قرار بگیرد.

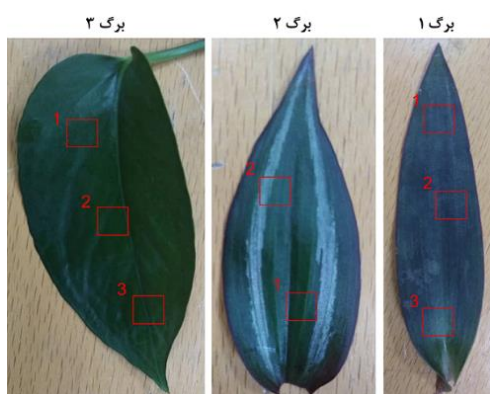
مطالعات زیادی در زمینه تعیین و تعریف شاخص‌های مناسب در مورد بررسی تغییرات غلظت رنگدانه‌های مختلف در منحنی طیف بازتابی گیاهان انجام شده است. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اکثر شاخص‌های طیفی حاصل از سطح گیاه با محتوای کلروفیل رابطه دارد. کلروفیل سنج (SPAD)، غلظت نسبی کلروفیل برگ را بر اساس مقدار نور عبوری از برگ، در دو طول موجی که جذب کلروفیل در آن‌ها تفاوت دارد، اندازه‌گیری می‌کند. البته باید توجه داشت که عدد SPAD به صورت دقیق مقدار کلروفیل را مشخص نمی‌کند و تنها تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد و این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ دارد.

از آنجایی که کلروفیل در تعیین شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) که بیانگر میزان سبزیگی و سلامت گیاه است، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، از همبستگی آن با غلظت کلروفیل به دست آمده از SPAD می‌توان وضعیت سلامت و رشد گیاه را بررسی نمود. رابطه مربوط به شاخص سبزیگی در ردیف ۱ جدول (۱) با ضریب بازتاب طیفی در طول موج‌های ۷۹۸ نانومتر و ۶۷۹ نانومتر داده شده است [۴]. از دیگر شاخص‌های طیفی مهم گیاهی، شاخص رنگدانه غیر حساس ساختاری (SIPI) است که رابطه آن در ردیف ۲ جدول (۱) داده

هم قرار دادن آن‌ها یک تصویر کامل در طول موج‌های مختلف از آن به دست می‌دهد.



شکل (۴): دوربین فراتیفی همراه با اسکنر خطی



شکل (۵): برگ‌های مورد آزمایش

برای بررسی همبستگی نتایج حاصل از دوربین فراتیفی و SPAD برای شاخص NDVI، غلظت کلروفیل نقاط مختلف برگ ابتدا توسط SPAD اندازه‌گیری شده و سپس عدد NDVI توسط رابطه داده شده در جدول (۱) در همان نقاط محاسبه شده است. در جدول (۲) نتایج حاصل نشان داده شده است.

جدول (۲): داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دوربین فراتیفی برای شاخص سبزی‌نگی و SPAD برای غلظت کلروفیل

SPAD	NDVI	منطقه داده‌گیری	شماره برگ
۴۷/۱	۰/۷۷۴۸	۱	۱
۵۲/۷	۰/۷۹۴۷	۲	
۴۳/۱	۰/۷۰۰۴	۳	
۴۷/۳	۰/۷۷۴۷	۱	۲
۳۴/۸	۰/۵۷۴۶	۲	
۵۱/۸	۰/۸۶۴۵	۱	۳
۵۰/۳	۰/۸۵۷۶	۲	
۴۵/۸	۰/۶۶۰۸	۳	

شده است. این شاخص دارای حساسیت زیادی به جذب طیفی نسبت به رنگدانه کارتنوئید به کلروفیل می‌باشد. در مواردی که این شاخص افزایش ناگهانی و بیش از حد دارد بیانگر افزایش غلظت کارتنوئید و یا کاهش چشمگیر کلروفیل می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده تنش و بیماری در گیاه باشد [۵].

شاخص دیگر شاخص تفاوت نرمال شده (NDI) است، که در این شاخص از طول موج‌های محدوده لبه قرمز، حساس به کلروفیل استفاده می‌شود. رابطه آن در ردیف ۳ جدول (۱) داده شده است. این شاخص به علت جذب کلروفیل در طول موج‌های ۷۰۵ و ۷۵۰ نانومتر نسبت به دامنه وسیعی از تغییرات غلظت کلروفیل در برگ حساس می‌باشد. شاخص NDI، در کشاورزی دقیق و تعیین تنش گیاهی کاربرد دارد و محدوده این شاخص از -۱ تا +۱ می‌باشد اما به طور معمول میزان آن برای گیاهان سبز سالم از ۰/۲ تا ۰/۹ است [۶].

یکی دیگر از شاخص‌های طیفی مهم شاخص بازتابی پیری گیاه (PSRI) است که بیان‌کننده نسبت تجمع کارتنوئید به کلروفیل موجود در برگ است. رابطه آن در ردیف ۴ جدول (۱) داده شده است. افزایش آن نشان‌دهنده افزایش تنش، شروع پیری و رسیدگی میوه است. از جمله کاربرد این شاخص تعیین تنش زیستی گیاه و بررسی محصول گیاه مورد نظر می‌باشد. محدوده این شاخص از -۱ تا +۱ است اما به طور معمول برای گیاهان سبز سالم از ۰/۱ تا ۰/۲ است [۷].

جدول (۱): معادله شاخص‌های طیفی مورد استفاده

مرجع	معادله	شاخص
[۴]	$NDVI = \frac{R_{798} - R_{679}}{R_{798} + R_{679}}$	NDVI
[۵]	$SIPI = \frac{R_{800} - R_{445}}{R_{800} + R_{445}}$	SIPI
[۶]	$NDI = \frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}}$	NDI
[۷]	$PSRI = \frac{R_{680} - R_{500}}{R_{750}}$	PSRI

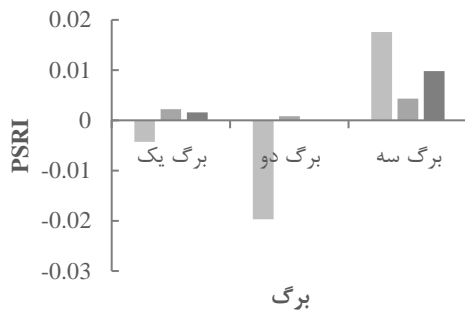
R:انعکاس طیفی در یک طول موج

#### ۴- شرح آزمایش و نتایج تجربی

دوربین فراتیفی مورد استفاده، دوربین فراتیفی ساخت شرکت پرتو افزار صنعت (مدل HSI-Vis-12bit) با رزولوشن دو نانومتر است و از لامپ هالوژنی به عنوان منبع نور استفاده می‌کند. شکل (۴) دوربین فراتیفی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

برای انجام این آزمایش از سه نوع برگ گل زینتی مختلف برای به دست آوردن شاخص‌های گیاهی استفاده شده است. در شکل (۵) برگ‌ها و مناطق نمونه‌گیری نشان داده شده است. ابتدا برگ بر روی اسکنر و دوربین قرار گرفته و به طور کامل اسکن می‌شود. فرایند کاری دستگاه به نحوی است که در هر لحظه از یک خط برگ طیف گرفته و با کنار

شاخص PSRI نیز در شکل (۹) رسم شده است. نتایج برای این شاخص نشان می‌دهد که برگ (۲) سالم‌ترین و شاداب‌ترین برگ و برگ (۳) پیرترین می‌باشد.



شکل (۹): مقادیر شاخص PSRI در برگ‌ها

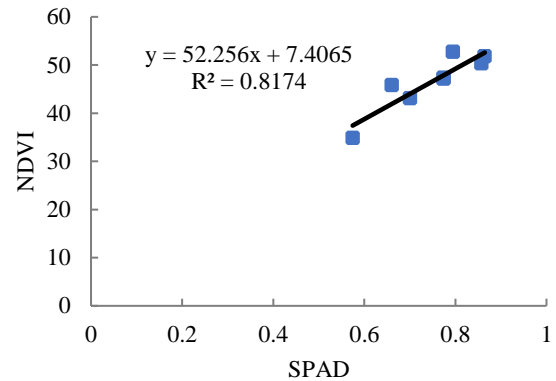
## ۵- نتیجه

در این مقاله، کاربرد تصویربرداری فراطیفی در اندازه‌گیری برخی از شاخص‌های مهم گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل شده در بخش قبل با نتایج ارائه شده در مراجع مورد بررسی نشان می‌دهد که تصویربرداری شرکت پرتو افزار صنعت توانایی اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی وابسته به کلروفیل را برای گل‌های زینتی دارد.

## مراجع

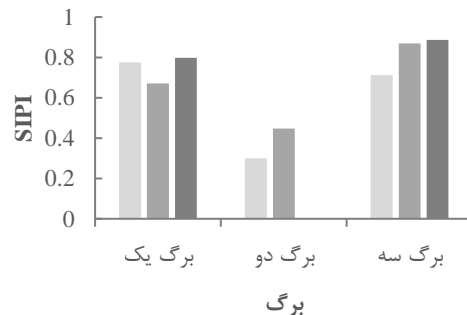
- [1] Seager, Sara, et al. "Vegetation's red edge: a possible spectroscopic biosignature of extraterrestrial plants." *Astrobiology* 5.3 (2005): 372-390.
- [2] Park, Bosoon, and Renfu Lu, eds. *Hyperspectral imaging technology in food and agriculture*. New York: Springer, 2015.
- [3] Grahn, Hans, and Paul Geladi, eds. *Techniques and applications of hyperspectral image analysis*. John Wiley & Sons, 2007.
- [4] Le Maire, G., C. Francois, and E. Dufrene. "Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements." *Remote sensing of environment* 89.1 (2004): 1-28.
- [5] Penuelas, J., F. Baret, and I. Filella. "Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance." *Photosynthetica* 31.2 (1995): 221-230.
- [6] Gitelson, Anatoly, and Mark N. Merzlyak. "Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation." *Journal of Plant Physiology* 143.3 (1994): 286-292.
- [7] Merzlyak, Mark N., et al. "Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening." *Physiologia plantarum* 106.1 (1999): 135-141.

منحنی همبستگی NDVI و SPAD در شکل (۶) رسم شده است. این منحنی نشان می‌دهد که بین اعداد حاصل از دوربین فراطیفی برای شاخص سبزی‌نگی و اعداد شاخص کلروفیل حاصل از کلروفیل‌سنج همبستگی خوبی در حد ۸۱/۶۱ درصد وجود دارد و می‌توان از دوربین فراطیفی جهت ارزیابی و وضعیت شادابی و رشد گیاه استفاده نمود.

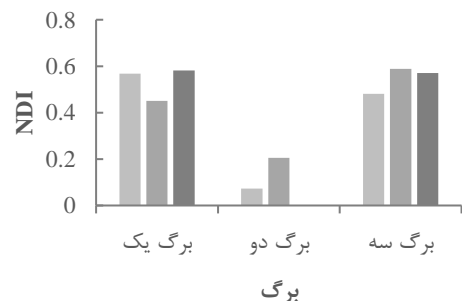


شکل (۶): منحنی همبستگی NDVI و SPAD

نمودار شاخص SIPI در شکل (۷) رسم شده است. با توجه به اینکه کم بودن این شاخص طیفی در برگ (۲) نشان می‌دهد این برگ سالم‌ترین برگ است.



شکل (۷): مقادیر شاخص SIPI در برگ‌ها



شکل (۸): مقادیر شاخص NDI در برگ‌ها

نمودار شاخص NDI در شکل (۸) رسم شده است. نتیجه نشان می‌دهد که جذب کلروفیل در برگ (۲) از دیگر برگ‌ها کمتر است.