



## سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی

دکتر مهدی مدیری

عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری

mmodiri@ut.ac.ir

### چکیده

زمین دارای ویژگی‌های گوناگونی می‌باشد و اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیکی و ظاهری زمین، مرحله‌ای اساسی در بسیاری از کاربردها است. با پیشرفت فناوری در سنجنده‌های گوناگون، امکان اندازه‌گیری جنبه‌های مختلف ویژگی‌های پدیده‌ها فراهم شده است. با استفاده از سنجنده‌ها می‌توان مجموعه داده لازم پیرامون اجسام گوناگون را اخذ کرده و با پردازش آن به اطلاعات مفید راجع به محیط پیرامون رسید.

تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک منبع اطلاعات رقومی، در دسترس و مقرون به صرفه در کاربردهای گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دو دسته‌ی مهم تصاویر ماهواره‌ای از نظر گستره کاربرد بیشتر، تصاویر چند طیفی و تصاویر فراطیفی (ابرطیفی) می‌باشند. تصاویر چند طیفی، به وسیله‌ی سنجنده‌هایی تولید می‌شوند که انرژی بازتابی از سطح زمین را فقط در محدوده‌ی چند باند از طیفی الکترومغناطیس اندازه‌گیری می‌کنند. تصاویری که با سنجنده‌های فراطیفی تهیه می‌شوند، تشعشعات بازتابی را در یک سری باند باریک و متصل به هم اندازه‌گیری می‌کنند. سنجنده‌های فراطیفی توانمندترین نوع سنجنده‌های تصویربرداری، از نظر توان تفکیک طیفی هستند که تصاویر حاصل از آن‌ها حاوی اطلاعات در بیش از صد باند طیفی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سنجنده تصویربرداری فراطیفی، طیف‌سنج‌ها، حساسیت طیفی

### مقدمه

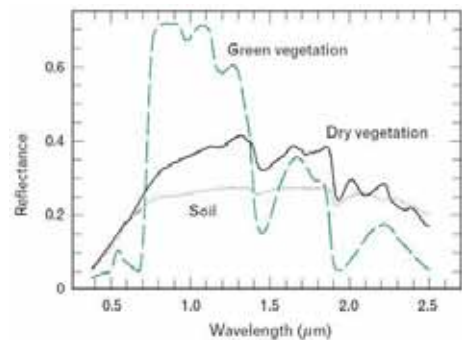
تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک منبع اطلاعات رقومی، در دسترس و مقرون به صرفه در کاربردهای گوناگونی مانند شهرسازی، مطالعات هیدرولوژی، پیش‌بینی آب و هوا، زمین‌شناسی و غیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با گسترش دامنه کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای، پیشرفت چشمگیری در فناوری ساخت این سنجنده‌ها حاصل شده است. در این راستا تصاویر چند طیفی<sup>۱</sup> با هدف اخذ تصاویر با اطلاعات طیفی بالا ارائه گردید که در آن تصویر در چند باند غیر همجوار برداشت می‌شود. تصویربرداری فراطیفی یکی از شاخه‌های در حال رشد دورکاوی می‌باشد که با اخذ تصاویر با صدها باند طیفی، به



بهبود کیفیت اطلاعات تصاویر چندطیفی کمک می‌کند (Kerekes, 2003). با توجه به اطلاعات طیفی غنی این تصاویر، امکان استفاده در بسیاری از کاربردهای گوناگون فراهم شده است.

### تصویربرداری فراطیفی

طراحی سنجنده‌های فراطیفی بر اساس بازتاب هر پدیده به بخشهای مختلف طیف الکترومغناطیس شکل گرفته است. هر پدیده، بر اساس ساختار مولکولی خود، بازتاب مشخصی در نواحی مختلف طیف الکترومغناطیس دارد. این بازتاب برای پدیده‌ها و مواد مختلف زمین در شرایط یکسان، منحصر به فرد است.



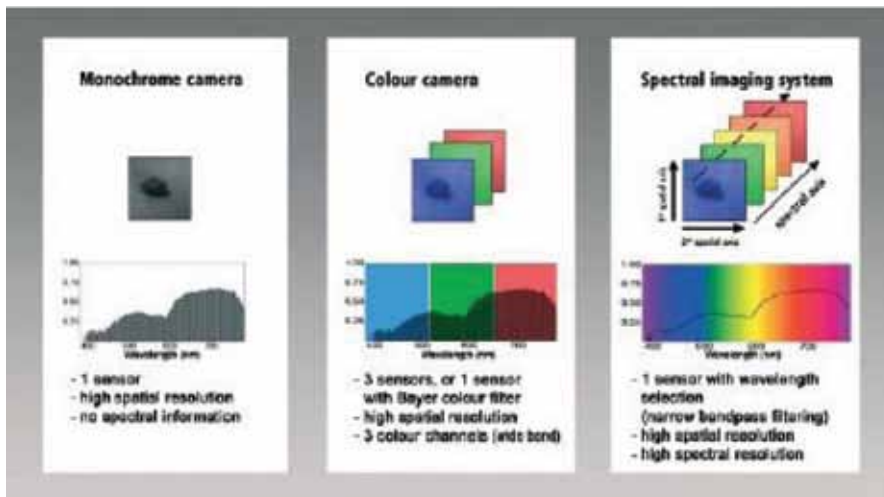
نگاره (۱): نمودار طیفی مربوط به خاک، پوشش گیاهی خشک و پوشش گیاهی سبز (Manolakis, 2003)

سنجنده‌های فراطیفی نیز کاری مشابه طیف‌سنجی در آزمایشگاه را انجام می‌دهند با این تفاوت که آن‌ها بازتاب قسمتی از سطح زمین را با توجه به فاصله نمونه‌برداری زمین<sup>۲</sup> در طول موج‌های مشخص اندازه‌گیری و در پیکسل‌های تصویر فراطیفی ذخیره می‌کنند.

تصویربرداری طیفی<sup>۳</sup> به اخذ تصاویر در طول موج‌های مختلف در محدوده‌ای از طیف الکترومغناطیس<sup>۴</sup> اطلاق می‌شود. طیف‌سنج‌ها<sup>۵</sup> یکی از مؤلفه‌های اصلی در سیستم‌های تصویربرداری طیفی می‌باشند که از مشخصه‌های آنها می‌توان به دامنه طیفی<sup>۶</sup> (محدوده طول موج‌هایی که اندازه‌گیری می‌شود)، حساسیت طیفی<sup>۷</sup> (حساسیت در طول موج‌های اندازه‌گیری شده) و میدان دید اشاره کرد.

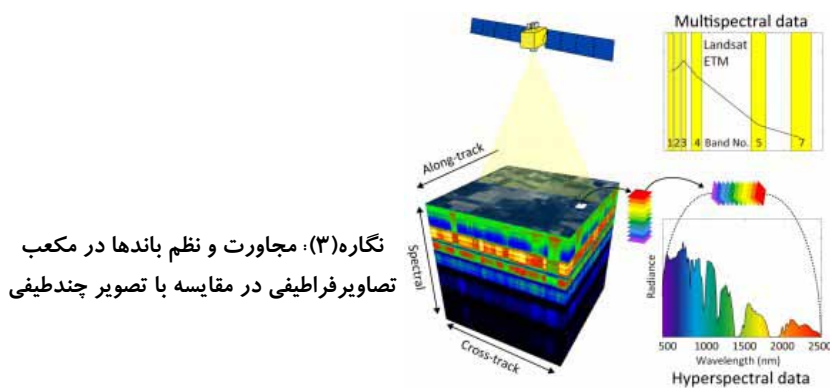
در تصاویر طیفی هر پیکسل با برداری که درایه‌های آن که بیانگر شدت بازتاب موقعیت متناظر پیکسل در طول موجی خاص می‌باشد، نمایش داده می‌شود. نمونه آن، دوربین رقومی رنگی می‌باشد که تصویر را در سه باند قرمز، آبی و سبز آماده می‌سازد (Kim, 2003).

تصاویر فراطیفی توسط سیستم‌های تصویربرداری طیفی اخذ می‌شود و برخلاف تصاویر رنگی و چندطیفی که تنها به تصویربرداری در چند باند محدود می‌پردازند، در سیستم تصویربرداری فراطیفی، صدها تصویر هم‌مرجع شده در هر لحظه عکسبرداری تولید و ذخیره می‌شود. ویژگی بارز تصاویر فراطیفی قدرت تفکیک طیفی<sup>۸</sup> بالای این تصاویر می‌باشد. به عبارت دیگر در مقایسه با تصاویر چندطیفی پهنای طول موج اخذ شده در هر باند بسیار کوچک می‌باشد.



نگاره (۲): مقایسه تصویر تک باند، رنگی و فراطیفی

طول موج باندهای تصاویر چندطیفی عموماً در محدوده طیفی خود به صورت نامنظم قرار گرفته‌اند، در حالیکه در سیستم‌های تصویربرداری فراطیفی کاملاً منظم و با مجاورت هستند. تصاویر فراطیفی در صدها باند باریک و مجاور اخذ می‌شود، نمایش تصویر فراطیفی به صورت مکعب انجام می‌یابد که دو ضلع آن موقعیت مکانی و ضلع سوم اطلاعات طیفی را دربرمی‌گیرد. با توجه به اطلاعات کامل این تصاویر، امکان رسم منحنی طیفی برای هر پیکسل وجود دارد که در آن محور افقی و عمودی به ترتیب بیانگر طول موج و شدت بازتاب می‌باشند (خزایی، ۱۳۸۹).



نگاره (۳): مجاورت و نظم باندها در مکعب تصاویر فراطیفی در مقایسه با تصویر چندطیفی

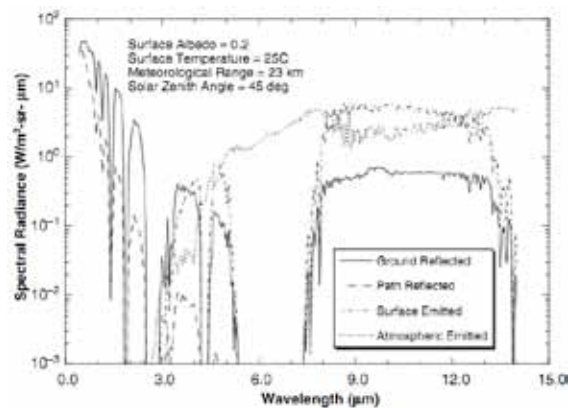
تصویربرداری فراطیفی به صورت گسترده‌ای در سامانه‌های تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی ۱ تا ۳۰ متر در کاربردهای شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به پهنای باند تصاویر فراطیفی، قدرت تفکیک طیفی بالا می‌تواند در تمایز یا حتی تشخیص مواد بر مبنای بازتاب طیفی آنها بسیار مؤثر باشد (Shippert, 2003).



از لحاظ مکانی، عوارض طبیعی و مصنوعی با ابعاد گوناگون بر روی سطح زمین وجود دارند که تنها با داشتن قدرت تفکیک مکانی لازم، شناسایی آنها میسر خواهد بود. قدرت تفکیک مکانی پائین برخی از سنجنده‌های تصویربرداری فراطیفی، الگوریتم‌های گوناگونی ارائه کرده‌اند که در صورت وجود چندین جسم در یک پیکسل به بازیابی اجزای اصلی آن پردازند.

### فیزیک بازتاب طیفی

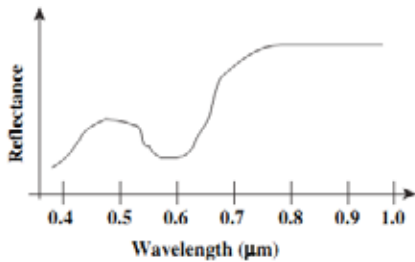
به منظور درک ویژگی‌های داده اخذ شده توسط سیستم تصویربرداری فراطیفی لازم است تا اثرات مهم بر روی موج الکترومغناطیس از زمان تابش از خورشید تا دریافت توسط سنجنده و ثبت آن، بررسی شود که شامل جذب و پراکنش اتمسفر، اثر همسایگی اشیاء، چندمسیره شدن<sup>۹</sup> موج و غیره می‌باشد. رادیانس طیفی در واقع به انتقال انرژی اپتیکی در یک جهت خاص اطلاق می‌شود. در عمل مفهوم رادیانس طیفی بیانگر میزان توان اپتیکی در واحد زاویه در واحد طول موج می‌باشد. این کمیت توسط سنجنده ذخیره شده و بیانگر ویژگی‌های رادیومتریکی و طیفی جریان اپتیکی می‌باشد. منبع رادیانس طیفی می‌تواند از خورشید یا خود جسم باشد که این کمیت از منبع ساطع شده، در محیط حرکت می‌کند و به جسم برخورد می‌کند؛ در برخورد با جسم درصدی از انرژی جذب شده، بخشی عبور می‌کند و بخش دیگر بازتاب می‌شود. درصدی از سیگنال که بازتاب شده است، مجدداً در محیط حرکت می‌کند تا به سنجنده برسد (Chein, 2007).



نگاره (۴): بررسی عوامل مؤثر بر بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده (همان)

### اثر بازتاب زمینی

یکی از عوامل مهم در تغییر جهت و انرژی موج الکترومغناطیسی، وجود اشیاء در مسیر موج می‌باشد که می‌تواند به شناخت و تمایز بین اشیاء کمک کند. با توجه به تفاوت فیزیکی و شیمیایی مواد مختلف، بازتاب طیفی آنها متفاوت خواهد بود. همانطور که در نگاره ۵ بازتاب طیفی گیاهان نمایش داده شده است، در محدوده ۰/۴ تا ۰/۶ نانومتر به علت جذب کلروفیل در این محدوده از طیف الکترومغناطیس، مقدار بازتاب بسیار کوچک می‌باشد و از طرف دیگر وجود ساختارهای سلولی کوچک منجر به بازتاب زیاد در ۰/۷ تا ۱ نانومتر می‌گردد.



نگاره (۵): بازتاب طیفی گیاهان

### اثرات اتمسفری

انرژی بازتاب شده از سطح زمین باید از اتمسفر عبور کند و توسط سنجنده فراطیفی ثبت شود. با توجه به اثر پراکنش، نشر، جذب و بازتاب، توسط ذرات و گازهای موجود در اتمسفر، شکل و مقدار بازتاب طیفی منعکس شده دستخوش تغییر قرار می‌گیرد. از اینرو لازم است تا اثر تغییرات به وجود آمده در این مرحله حذف شود تا بازتاب سطح زمین با آنچه به سنجنده می‌رسد، یکسان باشد. هرچند در برخی از محدوده‌های طیفی به علت جذب اتمسفری، انرژی طیف رسیده به سنجنده بسیار کم شده و به صفر نزدیک می‌شود (جعفری، ۱۳۸۹).

### اثر مجاورت

یکی دیگر از پارامترهای اثرگذار بر بازتاب دریافتی سنجنده، اثر همسایگی و اثرگذاری مناطق همسایه بر روی پیکسل مورد نظر می‌باشد. در زمان اندازه‌گیری یک پیکسل زمینی که در میدان دید لحظه‌ای<sup>۱۱</sup> سنجنده قرار دارد، انرژی بازتابی از سطح زمین، نه تنها از پیکسل زمینی مورد نظر می‌باشد بلکه به علت وجود پراکنش در اتمسفر، درصدی از بازتاب طیفی پیکسل‌های همسایه در اندازه‌گیری پیکسل اصلی تأثیر می‌گذارند.

### اثر مخلوط‌شدگی<sup>۱۱</sup>

به علت قدرت تفکیک مکانی پائین برخی از سنجنده‌های فراطیفی، امکان ترکیب چندین پدیده زمینی و اخذ آنها به عنوان یک پیکسل در تصویر وجود دارد. در این شرایط پیکسل اندازه‌گیری شده دارای ترکیبی از چندین بازتاب طیفی می‌باشد.

### سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی

در زمینه فناوری سنجنده‌های فراطیفی، انواع مختلف سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی هوایی و فضایی وجود دارد که می‌توان از جنبه‌های کاربرد، آنها را تقسیم‌بندی نمود. به عنوان نمونه به سامانه‌های اسکن کننده، تکنیک ایجاد اطلاعات طیفی و انواع آشکارسازهای مورد استفاده در سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی اشاره می‌شود.

### (۱) اسکن کننده

سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی را بر اساس نوع اسکن کننده تقسیم‌بندی نمود. به طور کلی سه دسته سنجنده به منظور تشکیل تصویر وجود دارند که هر یک از آنها دارای شرایط خاصی می‌باشند.



اسکتر Whiskbroom، این سیستم دارای یک تلسکوپ یا اپتیک یک محوره می‌باشد و در هر لحظه تنها یک موقعیت بر روی زمین را اندازه‌گیری می‌کند. دارای چندین آشکارساز در صفحه کانونی می‌باشند که عموماً به صورت خطی و در جهت پرواز سکو قرار گرفته‌اند.

اسکتر Pushbroom، در این نوع از سامانه‌های تصویربرداری از اسکتر الکترونیکی و آرایه‌ای خطی از آشکارسازها استفاده می‌شود. از اینرو پهنای منطقه برداشت شده از زمین، وابسته به تعداد آشکارسازها خواهد بود. با توجه به ساختار این اسکتر نیازی به آینه دوران کننده به منظور جاروب محدوده عمود بر پرواز نمی‌باشد. با حرکت سکو به سمت جلو، منطقه جاوب شده و تصویر کامل می‌گردد.

اسکتر فریم مینا، این سامانه تصویربرداری دارای اسکتر الکترونیکی با محدوده دید دوبعدی می‌باشد. به منظور تشکیل فریم در این نوع از اسکترها، نیازی به آینه دوران کننده یا حرکت سکو نمی‌باشد. (Nicholas, 2010).

## ۲) طیف‌سنجی

طیف‌سنجی<sup>۱۲</sup> یکی از مسائل اصلی در سامانه تصویربرداری فراطیفی می‌باشد که در آن امواج بازتابی از سطح زمین وارد سنجنده شده و با استفاده از منشور<sup>۱۳</sup> یا grating، تداخل سنج، چرخ فیلتر و سایر تکنیک‌های آشکارساز به طول موج‌های باریک و مجاور تجزیه شده و انرژی در هر طول موج اندازه‌گیری می‌شود (Chein, 2007).

## ۳) پردازش داده‌های فراطیفی

جهت استخراج اطلاعات از تصاویر فراطیفی و به کارگیری در کاربردهای گوناگون، لازم است تا پردازش‌هایی بر روی این تصاویر صورت گیرد. با توجه به حجم بالای اطلاعات این نوع تصاویر، پردازش مناسب برای استخراج اطلاعات لازم می‌باشد (Liu et al., 2009).

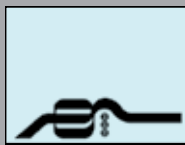
## الگوریتم‌های استخراج اطلاعات از تصاویر فراطیفی

پیش از ورود به طبقه‌بندی اطلاعات تصویر فراطیفی، بایستی کاهش ابعاد تصاویر انجام گیرد. چون حجم بالای اطلاعات طیفی تصاویر فراطیفی همواره باعث بهبود دقت طبقه‌بندی نمی‌شود و در برخی موارد نیز به کاهش دقت طبقه‌بندی می‌انجامد. لذا ابتدا با استفاده از تکنیک‌های کاهش ابعاد<sup>۱۴</sup>، زیر مجموعه‌ای از کل باندهای ورودی انتخاب شده و از اطلاعات طیفی باندهای منتخب برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود. الگوریتم‌های استخراج داده از تصاویر فراطیفی را همانند سایر تصاویر، می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی نظارت شده یا بدون نظارت تقسیم کرد.

یکی دیگر از پردازش‌های تصاویر فراطیفی تفکیک اجزای پیکسل می‌باشد که برای شناسایی پدیده‌های موجود در تحت پیکسل به کار می‌روند. الگوریتم‌های موجود در این دسته به منظور حذف اثر مخلوط‌شدگی به کار می‌روند.

## نتیجه‌گیری

با پیشرفت فناوری در ساخت سنجنده‌های گوناگون، امکان اندازه‌گیری جنبه‌های مختلف ویژگی‌های پدیده‌های بالا، روی و زیرزمین فراهم شده است. با توجه به اطلاعات طیفی غنی تصاویر فراطیفی،



امکان استفاده در بسیاری از کاربردها فراهم شده است. به منظور استخراج اطلاعات از تصاویر فرایضی، لازم است تا پردازش‌هایی بر روی این تصاویر صورت گیرد. با توجه به حجم بالای اطلاعات این نوع تصاویر، پردازش‌های خاصی برای استخراج اطلاعات مناسب در راستای تصمیم‌گیری بهتر لازم می‌باشد.

### منابع و مأخذ

- ۱- جعفری، ر، ۱۳۸۹. سنجش از دور فرایضی (اصول و کاربردها). سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۲- خزایی، صفا؛ همایونی، سعید و صفری، عبدالرضا (۱۳۸۹)، «تصویربرداری فرایضی و ملاحظات «آفا» در برابر تهدیدات آن»، علوم و فناوری‌های پدافند غیر عامل، سال اول، شماره ۲، صفحات ۷۴-۶۳.
- 1- Chein, C.I., (2007). *Hyperspectral Data Exploitation, theory and Application*. A John Wiley & Sons, Inc... Publication.
- 2- EXtension, "What is the difference between multispectral and hyperspectral imagery?," 2008. [Online]. Available: <http://www.extension.org/pages/40073/what-is-the-difference-between-multispectral-and-hyperspectral-imagery> [Accessed: 03-Oct-2011].
- 3- Kerekes, P, and Baum, E.,(2003). *Hyper spectral Imaging System Modeling*. Lincoln Laboratory Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 117-130.
- 4- Kim, D. H. and Finkel, L. H.(2003). "Hyperspectral image processing using locally linear embedding," in *Proceedings of the 1st International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, Capri Island, Italy, pp. 316-319.
- 5- Liu, Q., Ji, Y., Wu, J., Chen, X., Li, C., and Shen, W.,(2009). *Study on convex Grating in Hyperspectral Imaging Spectrometer*. Proc. Of SPIE, vol. 7494.
- 6- Manolakis, D. Marden, D. and Shaw, G. A.(2003). "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications," *Lincoln Laboratory Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 79-116.
- 7- Nicholas, M. (2010). "Remote Sensing Tutorial, AVIRIS and other Imaging Spectrometers," [Online]. Available: [http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect13/Sect13\\_9.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect13/Sect13_9.html) [Accessed: 06-Oct-2011].
- 8- Shippert, P.(2003) "Introduction to hyperspectral image analysis," *Online Journal of Space Communication*, vol. 3.

### پی نوشت

- 1- Multispectral Images
- 2- Ground Sampling Distance (GSD)
- 3- Spectral Imaging
- 4- Electromagnetic Spectrum
- 5- Spectrometer
- 6- Spectral Range
- 7- Spectral Sensitivity
- 8- Spectral Resolution
- 9- Multi-Path Effect
- 10- Instantaneous Field of View (IFOV)
- 11- Mixing
- 12- Spectroscopy
- 13- Prism
- 14- Dimension Reduction