





# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۹۱  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.4, No.1, Spring 2012

۶۴-۵۳

## تعیین منابع خاک رس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود)

نظام‌الدین محمودی\*<sup>۱</sup>، محمود حبیب‌نژاد روشن<sup>۲</sup>، عطالله کاویان<sup>۳</sup>، علی‌اصغر مطلوبی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. دانشیار، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. استادیار، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. کارشناس ارشد، اداره آب منطقه‌ای استان مازندران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۵/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۲۳

### چکیده

وجود منابع قرضه در منطقه ساخت سازه‌های خاکی از جمله فاکتورهای اساسی به شمار می‌آید. اهمیت این تحقیق به خاطر تعیین نواحی دارای بافت خاک‌رسی است که می‌توانند به عنوان منابع قرضه برای ساخت سازه‌های مختلف خاکی - از جمله سدهای خاکی - مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا داده‌های پایه با استفاده از GPS و نقشه‌های موجود از پروژه ساخت سد البرز جمع‌آوری گردید. از نقشه‌های موجود خاک رس نمونه‌هایی برای اطمینان برداشته شد و بافت خاک نیز در آزمایشگاه با استفاده از روش هیدرومتری تعیین گردید. سرانجام ۱۰ نقطه با بافت رسی و با توزیع منابع در سطح حوضه آبخیز بابلرود واقع در استان مازندران انتخاب شده که از آن میان ۶ نقطه برای دادن داده‌های آموزشی به مدل و ۴ نقطه باقی‌مانده نیز برای صحت‌سنجی به کار رفت. برای Endmember پوشش گیاهی و سایه هم ۱۰ نقطه انتخاب شد و سپس به تصحیح خطای اتمسفریک با روش Dark-object subtraction پرداخته شد. تصاویر از نظر هندسی و رادیومتریکی نیازی به اصلاح نداشتند. پس از آن اقدام به یافتن پیکسل‌های خالص با استفاده از شاخص خلوص پیکسل شد. با استفاده از این پیکسل‌ها کتابخانه طیفی تهیه شد و به منظور طبقه‌بندی با استفاده از روش آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی، مورد استفاده قرار گرفت. این تکنیک مدل‌سازی موقعیت و تفکیک‌پذیری خصوصیات پوشش گیاهی و خاک رس و سایه را در فضای طیف‌های مختلط استخراج‌شده از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat انجام می‌دهد. نتایج نشان داد که خاک رس و پوشش گیاهی و سایه با صحت ۶۸ و ۷۷/۵ و ۶۷/۸۶ درصد می‌توانند از یکدیگر تفکیک شوند. صحت کلی مدل ۷۱/۹۶ درصد و دارای ضریب کاپای ۶۱ درصد است.

**کلیدواژه‌ها:** آنالیز ترکیب طیفی، روش طبقه‌بندی درختی، خاک رس.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: ساری، کیلومتر ۱۰ جاده نکا، روبه‌روی هتل پادله، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ساری، تلفن: ۰۹۳۵۷۷۸۳۸۴۸.

## ۱- مقدمه

کلید اصلی برای انجام آنالیز ترکیب طیفی موفق، انتخاب Endmembers های مناسب است (المور و همکاران ۲۰۰۰) که خود مشتمل است بر تعیین شمار آنها و نشان‌های طیفی مربوط به آنها. از این رو که داده‌های سنجش از دور چندطیفی همبستگی بالایی با یکدیگر دارند، تنها می‌توان از تعداد کمی Endmember در روش SMA استفاده می‌کرد (سونگ و همکاران ۲۰۰۵). طی آنالیز حساسیت در مورد انتخاب Endmember برای اجرای SMA بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر گرفته‌شده Track Along Scanning Radiometer 2 (ATSR-2) برای تابستان سال ۱۹۹۷ در مرکز فنلاند، تسیرا و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که اولین جزء اصلی چهارباند این ماهواره، ۹۶/۹۲ درصد از تغییرات را در داده‌های تصویر در برمی‌گیرد. بنابراین می‌توان تنها از یک مدل با دو Endmember استفاده کرد، زیرا حل معادله برای به دست آوردن نسبت‌های هر یک از Endmember ها درون پیکسل‌ها یکسان نیست. اگرچه آنالیز تجزیه طیفی صرفاً مستلزم این است که شمار باندهای طیفی تنها یکی بیشتر از شمار Endmember های تعیین‌شده باشد (آدامس و همکاران ۱۹۹۵؛ اسمیت و همکاران ۱۹۹۰). در صورتی که چندین Endmember تعیین‌شده بتوانند انعکاس‌های بازگشتی را تعیین کنند، این تکنیک می‌تواند در اصل برای ماهواره‌های چندطیفی به کار رود. پاچسو و مکنارین (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی صحت تخمین درصد زمین‌های پوشیده شده با بقایای زراعی، با استفاده از روش تحلیل طیفی و با به‌کارگیری تصاویر ماهواره Landsat و Spot پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که Spectral unmixing بقایای زراعی را با مجموع مربعات خطای ۱۷/۲۹ و ۲۰/۷۴ درصد ارزیابی می‌کند و خطاها براساس نوع بقایا متفاوت‌اند.

روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده مرسوم که هر پیکسل را به کلاس معینی متصل می‌سازند، می‌توانند انواع پوشش سطح زمین را بسیار کمتر و یا بیشتر از میزان ارزیابی کنند، زیرا پیکسل‌ها به‌ویژه در مناطق با پوشش پیچیده معمولاً مخلوطی از انواع پوشش‌ها را نیز در بر می‌گیرند (توک و همکاران ۲۰۰۹). برای مثال، در تحقیق توماس و همکاران (۲۰۰۳)، که در آن روش‌های مختلف تهیه نقشه اراضی شهری با وضوح بالا مقایسه شدند، مشخص گردید که صحت روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و بدون نظارت در مناطق شهری، حدود ۵۰ درصد است. به دلیل اینکه الگوریتم‌های مرسوم نمی‌توانند اجزای درون پیکسلی را طبقه‌بندی کنند، تکنیک‌های بهتری شکل گرفتند که تناسب بیشتری با محیط‌های ناهمگون دارند و <sup>۱</sup>SMA یا آنالیز ترکیب طیفی از جمله این روش‌هاست (توک و همکاران ۲۰۰۹). آنالیز ترکیب طیفی بر این پایه است که انعکاس‌های ثبت‌شده برای هر پیکسل درون تصویر، ترکیبی از انعکاس همه عوارض درون آن پیکسل (یعنی خاک، پوشش گیاهی، آب و جز اینها) است (آدامس و همکاران ۱۹۹۵؛ اسمیت و همکاران ۱۹۹۰). آنالیز تجزیه طیفی <sup>۲</sup> به طور معمول برای استخراج نسبت هر یک از عوارض یا Endmember های موجود، با استفاده از داده‌های مربوط به ماهواره‌ها با تعداد باندهای زیاد <sup>۳</sup> به کار می‌رفته است (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۶). فرضیات اساسی در آنالیز ترکیب طیفی اینها هستند:

- ۱- پهنه مد نظر ترکیبی از چندین جزء است - که در این روش Endmembers نامیده می‌شوند - و هر یک از آنها از لحاظ طیفی از دیگری قابل تشخیص است.
- ۲- نشان‌های طیفی برای هر جزء، در تمامی گستره مکانی مورد تحلیل ثابت است.
- ۳- مقادیر ثبت‌شده در تصویر سنجنده برای هر پیکسل دارای رابطه خطی با نسبت حضور هر یک از اجزا یا Endmember هاست (سونگ و همکاران ۲۰۰۵).

1. Spectral Mixture Analysis  
2. Spectral unmixing analysis  
3. hyperspectral

تعیین منابع خاک رس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود)

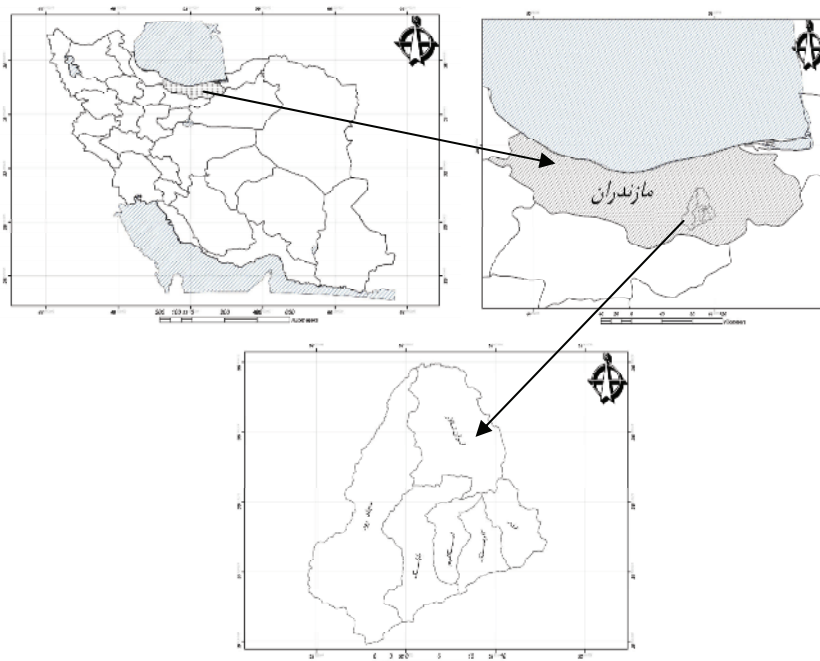
پوشش برگی برای درختان خزان‌کننده نسبت سیاسی بیشتری را به دلیل مقادیر انعکاسی خاک و شاخه‌ها موجب شده است. هدف از این مطالعه نیز استفاده از روش آنالیز ترکیب طیفی به منظور تعیین نواحی خاک رس در محیط جنگلی است که می‌تواند به عنوان منابع قرصه برای ساخت سازه‌های مختلف خاکی - همچون سد - به کار رود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بابلرود در جنوب شهرستان بابل در استان مازندران قرار دارد. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی  $52^{\circ} 44' 05''$  تا  $52^{\circ} 30' 50''$  درجه شرقی و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 09' 13''$  تا  $36^{\circ} 00' 08''$  درجه شمالی واقع است، با ۵ زیرحوضه به نام‌های: قران تالار، بابلک، سجاد رود، اسکلیم و آذر (شکل ۱). مساحت کل حوضه آبخیز ۹۲۱۳۰/۲۹ هکتار، حداکثر ارتفاع حوضه ۳۷۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۰ متر است.

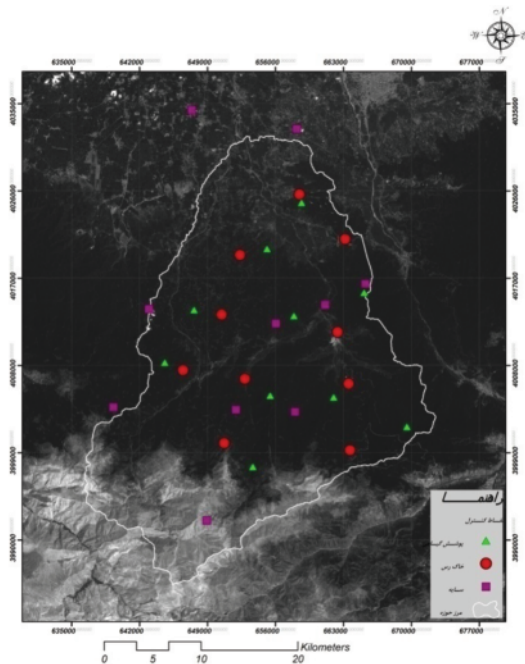
مدل مذکور در برآورد غلات و حبوبات دانه‌ریز بهترین عملکرد را داشت. خطاها برای اراضی مربوط به سویا، به واسطه تباین طیفی ناچیز با خاک، در بیشترین حد بود. توک و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های پوشش گیاهی شهری، مشتمل بر نوع گونه و موقعیت آنها با استفاده از روش Spectral unmixing و طبقه‌بندی آماری درختی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در مناطق دارای پوشش گیاهی که ترکیب طیف‌های مختلف بازگشتی از سطح، به صورت مناطق تاریک دیده می‌شوند، کلاس‌های پوشش درختی و گیاهی را می‌توان با صحت زیادی (۸۰ تا ۹۴ درصد واریانس توصیفی) تفکیک کرد و جزئیات بیشتری از پوشش گیاهی را استخراج کرد، همچون پوشش‌های چمنی منظم و یا مخلوط و درختان خزان‌کننده و همیشه سبز به عنوان دومین طبقه در سلسله‌مراتب طبقه‌بندی و با واریانس‌های توصیفی ۶۷ و ۱۰۰ درصد. نتایج به‌دست‌آمده همچنین نشان داد که مناطق بدون



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (حوضه آبخیز بابلرود در استان مازندران)

## ۲-۲- داده‌های ماهواره‌ای

تصویر چندطیفی سنجنده ETM+ ماهواره تصویربرداری Landsat مربوط به سال ۲۰۰۵، از منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. این تصویر دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای آبی (۴۵۰-۵۲۰nm)، سبز (۵۲۰-۶۰۰nm)، قرمز (۶۳۰-۶۹۰nm)، مادون قرمز نزدیک (۷۸۰-۹۰۰nm) و مادون قرمز میانی (۱۱۵۵۰-۱۷۵۰nm) است، با قدرت تفکیکی مکانی ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک (۵۲۰-۹۰۰nm) و ۶۰ متر برای باند مادون قرمز حرارتی (۱۰۴۰-۱۲۵۰nm). به منظور تصحیح خطاهای اتمسفری تصویر از تکنیک Dark-object subtraction استفاده شد (چاوز، ۱۹۹۸). چون تصاویر تهیه‌شده از نظر هندسی تصحیح شده بودند، هیچ‌گونه تصحیح هندسی روی تصاویر اعمال نشد.



شکل ۲. نقاط انتخابی برای Endmemberهای خاک رس و پوشش گیاهی و سایه

## ۲-۴- انتخاب Endmemberها

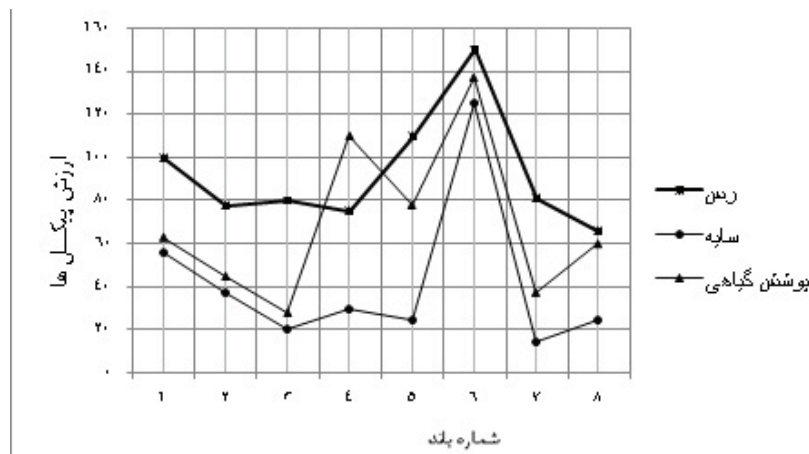
کیفیت نتایج روش SMA بستگی زیادی به Endmemberهای انتخاب‌شده دارد (تامپکین و همکاران، ۱۹۹۷). تعیین Endmemberها مشتمل است بر شناسایی تعداد و استخراج تأثیر طیفی آنها. البته آنالیز تجزیه طیفی مستلزم این است که شمار باندهای طیفی تنها یکی بیشتر از شمار Endmemberهای تعیین‌شده باشد (آدامس و همکاران ۱۹۹۵؛ اسمیت و همکاران ۱۹۹۰). به همین خاطر ابتدا با استفاده از روش حد شاخص مطلوب<sup>۱</sup> و نمودار دوبعدی<sup>۲</sup> اقدام به تعیین بهترین باندها گردید. نتایج حاکی از تناسب باندهای ۷، ۵، ۴ و ۳ برای انجام این تحقیق است و بر همین اساس سه Endmember انتخاب شد: پوشش گیاهی، خاک رس، و سایه. در مدل‌های بیش از ۲ Endmember، سایه همیشه می‌بایست به‌عنوان یکی از عضوهای طبقه‌بندی نقش داشته باشد.

1. Optimum Index Factor (OIF)
2. 2D Scatter

## ۲-۳- داده‌های زمینی

در این مطالعه پیمایش جامعی در منطقه بابلرود به‌منظور شناسایی نوع پوشش سطحی و یافتن مکان‌های مناسب برای تعیین کتابخانه طیفی انجام گرفت. داده‌های پایه با استفاده از GPS و نقشه‌های موجود از پروژه ساخت سد البرز جمع‌آوری گردید. از نقشه‌های موجود خاک رس نیز نمونه‌هایی برای اطمینان برداشته شد و بافت خاک در آزمایشگاه با استفاده از روش هیدرومتری تعیین گردید. در نهایت ۱۰ نقطه با توزیع مناسب در سطح حوضه که دارای Endmember رسی بودند مشخص شدند. برای پوشش گیاهی، از NDVI بدین صورت استفاده شد که ۱۰ نقطه با بیشترین میزان تراکم پوشش گیاهی انتخاب شدند. با بهره‌گیری از تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای نیز ۱۰ نقطه که معرف Endmember سایه بودند، مشخص گردید. سرانجام در هر کلاس ۶ نقطه برای دادن داده‌های تعلیمی به مدل و ۴ نقطه هم برای صحت‌سنجی مدل به کار گرفته شدند. شکل ۲ نقاط مشخص‌شده برای هر Endmember را نشان می‌دهد.

تعیین منابع خاک رس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود)



شکل ۳. کتابخانه طیفی (Spectral library) تهیه شده از پیکسل‌های خالص

می‌شوند، تجزیه گردند.

مدل تجزیه طیفی خطی در پیکسل ( $i, j$ ) را می‌توان با رابطه (۱) نشان داد:

$$\sum_{i=1}^L = 1, \text{ and } = \geq 0 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$DN_{ij} = MF_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۲)}$$

به طوری که  $DN_{ij}$  بردار شماره دیجیتالی  $K$  بعدی؛  $F_{ij}$  بردار کسری  $L$  بعدی  $M$ ،  $L * M$  ماتریس طیفی و  $\varepsilon_{ij}$  بردار خطای  $K$  بعدی است که خطای باقی‌مانده را نشان می‌دهد. هدف از این روش پیدا کردن مقادیر  $F_{ij}$  با استفاده از  $DN_{ij}$  و  $M$  شناخته شده است. زمانی که شماره Endmemberها در پیکسل ( $i, j$ ) به درستی محاسبه شوند،  $F_{ij}$  بایستی این شرایط را داشته باشد: تصاویر تهیه‌شده از این روش دارای ارزش بین ۰ تا ۱ برای هر پیکسل‌اند. ارزش‌های بالاتر رنگ روشن‌تری دارند، که خود نشان‌دهنده وجود عارضه مورد نظر با احتمال بیشتری در هر پیکسل است. بعد از بررسی‌های مکرر و انجام بازدیدهای میدانی، معلوم شد که ارزش‌های بالاتر از ۰/۷ در هر Endmember آستانه مناسبی برای شناسایی عارضه مورد نظر، در منطقه مورد مطالعه است.

Endmemberهای استفاده‌شده در این روش را، هم می‌توان از تصویر برگرفت و هم از Endmemberهای مرجع که از کتابخانه‌های طیفی و یا اسپکترومترها به دست می‌آیند (سونتاگ و همکاران، ۲۰۰۷). برای انتخاب بهترین Endmemberها از روی تصویر، چندین روش ارائه شده‌اند، که یکی از آنها شاخص خلوص پیکسل<sup>۱</sup> است (بوارد من و همکاران، ۱۹۹۵). برای روش PPI، داشتن اطلاعات کافی از خصوصیات طیفی عناصر ضروری است تا بتوان هر طیف را به یک کلاس ویژه اختصاص داد و این در آنالیز تصاویر چندطیفی برای استخراج بهترین Endmemberها کاربرد گسترده‌ای دارد. در این تحقیق نیز با استفاده از روش PPI سلول‌های خالص تصویر مشخص شدند و تأثیر طیفی هر یک از Endmemberها برای این پیکسل‌ها استخراج گردید (شکل ۳).

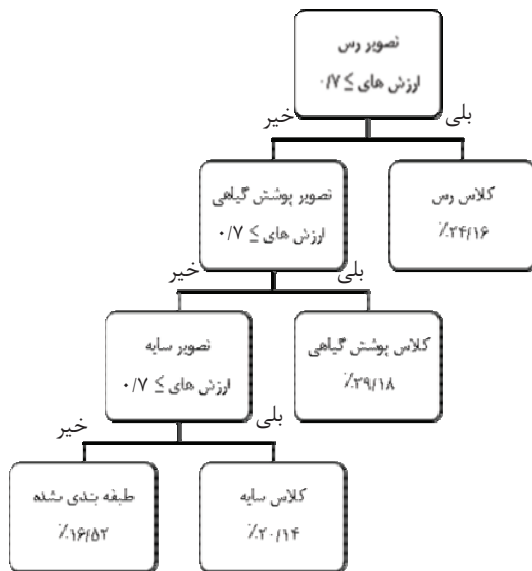
## ۲-۵- روش تجزیه طیفی

مدل آنالیز ترکیب طیفی، تصویری طیفی از ترکیب چندین Endmember است (فیلیپ دنیسون ۲۰۰۷). آنالیز ترکیب طیفی بر این فرض استوار است که تابش‌های انعکاسی رسیده به سنجنده‌های ماهواره‌ای می‌توانند به صورت ترکیبی خطی از طیف‌های اجزای زمینی که معمولاً spectral endmember نامیده

1. Pixel Purity Index (PPI)

## ۲-۶- طبقه‌بندی درختی<sup>۱</sup>

پوشش گیاهی و سایه به مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۷ محدود گشتند. در شکل ۴، طبقه‌بندی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۴. طبقه‌بندی درختی شماتیک طراحی شده برای رده‌بندی تصاویر SMA

## ۳- نتایج

شکل ۵ تا ۷ نتایج روش SMA را برای سه Endmember انتخابی نشان می‌دهند. در این تصاویر مناطق دارای خاک رس و پوشش گیاهی برای حوضه آبخیز بابلرود نشان داده شده‌اند. با توجه به تصاویر استخراج شده از روش SMA می‌توان اطلاعات دقیقی از پراکنش خاک رس در منطقه به دست آورد. چنین به نظر می‌رسد که خاک‌های دارای بافت رسی بیشتر در مناطق دشت‌های سیلابی و حاشیه آبراهه‌ها یافت می‌شوند. روشنایی زیاد پیکسل‌های تصویر پوشش گیاهی نشان می‌دهد که منطقه پوشیده از جنگل‌های انبوهی است. کلاس‌های طبقه‌بندی ایجاد شده با استفاده از روش DTs که پیش‌تر توضیح داده شد، در

طبقه‌بندی درختی به‌عنوان الگوریتمی برای کلاس‌های پوشش زمین به‌وجود آمده است و زمانی که برای تصویرهای چندطیفی به کار می‌رود صحت آن بیشتر از روش‌های حداکثر احتمال<sup>۲</sup> و شبکه عصبی<sup>۳</sup> است (ماهش و مادر، ۲۰۰۳). این روش در زمینه‌های مختلفی همچون رده‌بندی سیگنال‌های راداری، شناسایی صفات، سنجش از دور، سیستم‌های تجربی و جز اینها با موفقیت به کار رفته است. شاید بارزترین مشخصه DTs (روش طبقه‌بندی درختی) توانایی آن در تفکیک فرآیند پیچیده تصمیم‌گیری به مجموعه از تصمیم‌های ساده باشد که راه‌حل آسان‌تری را برای تفسیر به دست می‌دهند.

طبقه‌بندی درختی، روشی چندمرحله‌ای است که می‌تواند برای تصاویر منفرد یا دسته‌ای از تصاویر به کار برده شود. این روش از مجموعه‌ای تصمیم‌های دوتایی تشکیل شده است که به‌منظور تعیین رده صحیح هر پیکسل به کار می‌رود تصمیم‌ها می‌توانند بر پایه هر نوع خصوصیات موجود و دست‌یافتنی مجموعه داده‌ها گرفته شوند. هیچ تصمیمی به تنهایی توان جای دادن کل تصویر را در یک کلاس ندارد بلکه با هر تصمیم در واقع داده‌ها به دو یا چند کلاس تقسیم می‌شوند.

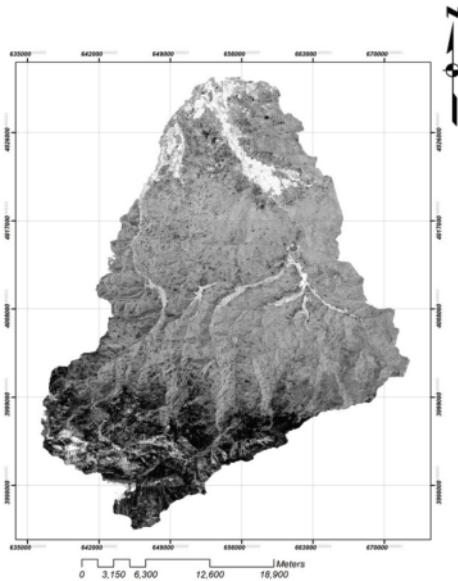
Dts به این علت برتر از دیگر روش‌های طبقه‌بندی است که اگر چه آنها می‌توانند داده‌ها را در مقیاس‌های مختلف پردازش کنند ولی توجهی به توزیع فرکانس آن ندارند، علاوه بر این Dts روش سریع‌تری است و به کمترین زمان محاسباتی در مقایسه با شبکه عصب مصنوعی نیاز دارد (ماهش و مادر، ۲۰۰۳).

در این مطالعه به‌منظور کلاس‌بندی تصاویر تهیه شده با استفاده از روش SMA، روش طبقه‌بندی درختی به کار رفت. به منظور ساده‌سازی فرایند تصمیم‌گیری، مسئله به سه تصمیم جزئی تجزیه شد. در تصمیم اول تصویر تهیه شده حاصل از Endmember خاک رس به مقادیر بیشتر از ۰/۷ محدود شدند و در تصمیم‌های بعدی تصاویر حاصل از Endmember‌های

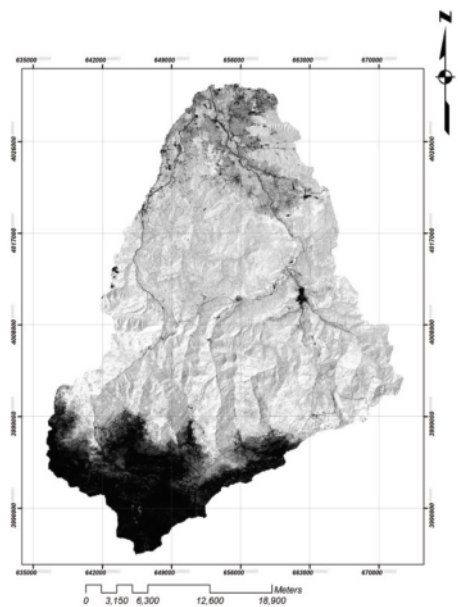
1. Decision Tree Classification (Dts)  
2. Maximum likelihood  
3. Neural network

تعیین منابع خاک رس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود)

معرفی گردید، که صحت کلی طبقه‌بندی ۷۱/۹۶ درصد و ضریب کاپا ۶۱ درصد به دست آمد. این ضرایب حاکی از صحت مطلوب برای نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌اند. صحت هر یک از کلاس‌ها به صورت مجزا در جدول ۱ درج شده است. پوشش گیاهی با بیشترین صحت همراه است و سایه با کمترین. برای کلاس رس صحت ۶۸ درصد مقدار مناسبی است.

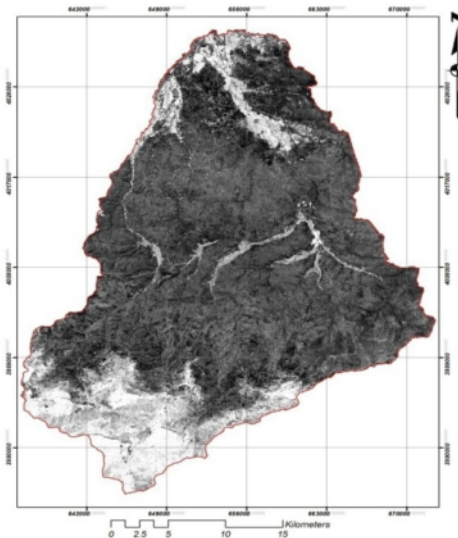


شکل ۶



شکل ۷

شکل ۸ به صورت کسری از پوشش گیاهی، خاک و سایه، با رنگ‌های کاذب نشان داده شده‌اند. در این تحقیق به منظور کلاس‌بندی تصاویر تهیه‌شده از روش‌های SMA و طبقه‌بندی درختی استفاده شد. تصویر نهایی حاصل از طبقه‌بندی درختی از چهار کلاس خاک، پوشش گیاهی، سایه و مکان‌های طبقه‌بندی نشده تشکیل یافته است. مناطقی که دارای بازتاب طیفی متفاوت با Endmemberهای انتخاب‌شده بودند، در کلاس جداگانه طبقه‌بندی شدند. این مکان‌ها دارای خصوصیتی متفاوت از عضوهای انتخاب‌شده برای طبقه‌بندی‌اند و الگوریتم توانایی جای دادن آنها در هیچ یک از ۳ تا کلاس مذکور را ندارند و بیشتر مشتمل‌اند بر منابع آبی و مناطق بسیار مرطوب.



شکل ۵. تصویر حاصل از روش SMA برای Endmember رس

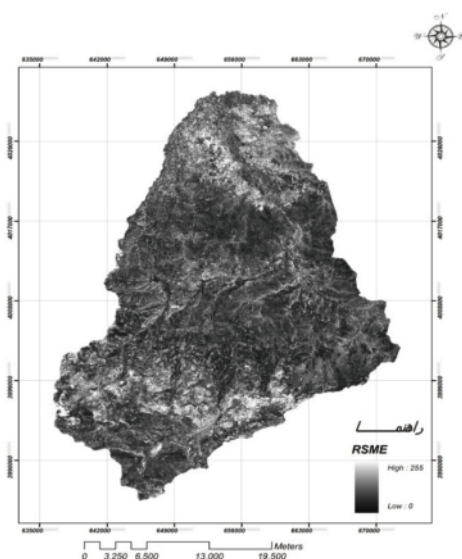
شکل ۶ و ۷ به ترتیب تصاویر حاصل از روش SMA برای Endmemberهای سایه و پوشش گیاهی را نشان می‌دهند که در هر تصویر نواحی روشن حاکی از حضور Endmember مذکور در آن ناحیه‌اند.

ماتریکس خطا با استفاده از داده‌های واقعی برای تصویر طبقه‌بندی‌شده از روش DTs محاسبه گردید. برای هر عضو ۴ نقطه از قبل تعیین شده به مدل

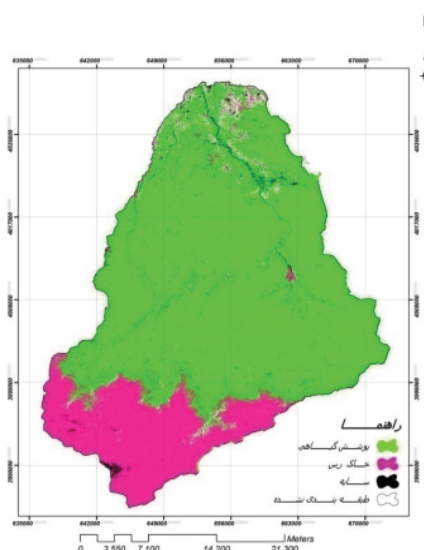


نشان‌دهنده مناطقی هستند که میزان RMSE در آنها بالاست. میانگین RMSE برابر با ۲/۰۴ به دست آمده که نشان از مناسب بودن نتایج مدل دارد. جدول ۲ میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل RMSE را نشان می‌دهد.

هدف از این تحقیق استفاده از روش آنالیز ترکیب طیفی به منظور تعیین نواحی خاک رس در محیط جنگلی است که می‌تواند به عنوان منابع قرضه برای ساخت سازه‌های مختلف خاکی - از جمله سدهای خاکی - به کار رود. در شکل ۹ تصویر RMSE استخراج شده از مدل به نمایش درآمده است. پیکسل‌های روشن



شکل ۹. تصویر حاصل از روش SMA برای میزان RMSE



شکل ۸. تصویر نهایی حاصل از طبقه‌بندی نتایج روش SMA با استفاده از TDs

جدول ۱. خلاصه نتایج صحت‌سنجی مدل با استفاده از روش Confusion matrix

کلاس	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	صحت تولیدکننده (پیکسل)	صحت کاربر (پیکسل)
رس	۶۸	۷۰/۸۳	۱۷ از ۲۵	۱۷ از ۲۴
پوشش گیاهی	۷۰/۵۰	۶۸/۸۹	۳۱ از ۴۰	۳۱ از ۴۵
سایه	۶۷/۸۶	۸۲/۶۱	۱۹ از ۲۸	۱۹ از ۲۳
طبقه‌بندی نشده	۷۱/۷۹	۷۰	۲۸ از ۳۹	۲۸ از ۴۰

صحت کلی = ۷۱/۹۶٪  
ضریب کاپا = ۰/۶۱۹

جدول ۲. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار تصویر RMSE

مشخصه آماری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
RMSE	۰	۱۱/۶۳	۲/۰۴۷	۱/۵۲

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

برای این تحقیق که در حوضه آبخیز بابلرود انجام گرفت، آنالیز ترکیب طیفی بر روی تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat و با استفاده از کتابخانه‌های طیفی انجام شد که به صورت دستی و براساس تصاویر به دست آمد. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد این روش به خوبی توانسته است مناطق پوشیده از رس را که هدف اصلی این تحقیق بود، استخراج کند. همچنین استفاده از طبقه‌بندی درختی برای تصاویر حاصل از این روش ایزاری مناسب برای بیان بهتر SMA است و این امکان صحت‌سنجی تصاویر SMA را با استفاده از داده‌های واقعی فراهم می‌آورد. نتایج این تحقیق در حوضه مورد مطالعه صحت کلی ۷۱/۹۶ درصد را برای تصویر طبقه‌بندی درختی به دست داده است. با توجه به اینکه حوضه آبخیز بابلرود پوشیده از جنگل‌های متراکم است، نتایج نشان می‌دهند که این روش می‌تواند به عنوان ایزاری مناسب برای استخراج منابع قرصه‌ای همچون رس، با دقت زیاد به کار رود. به دلیل شباهت طیفی خاک رس با سنگ‌های گرانیتی -گرانودیوریتی ارتفاعات حوضه مورد مطالعه که پوشیده از همین سنگ‌هاست در کلاس رس طبقه‌بندی گردید. همان‌طور که در تصویر ۱۰ پیداست خاک رس با سازندهای گرانیتی - گرانودیوریتی در باندهای ۴ و ۵ انعکاس طیفی مشابهی دارند، و به همین خاطر تشخیص خاک رس از سنگ گرانیت - گرانودیوریت با استفاده از روش SMA مناسب نیست.

توک و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های پوشش گیاهی شهری، مشتمل بر نوع گونه و موقعیت آنها با استفاده از روش spectral unmixing و طبقه‌بندی آماری درختی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان دادند که در مناطق دارای پوشش گیاهی که ترکیب طیف‌های مختلف بازگشتی از سطح، به صورت مناطق تاریک دیده می‌شوند، کلاس‌های پوشش درختی و گیاهی را می‌توان با صحت زیادی

(۸۰ تا ۹۴ درصد واریانس توصیفی به ترتیب) تفکیک کرد و جزئیات بیشتری از پوشش گیاهی را همچون پوشش‌های چمنی منظم و یا مخلوط و درختان خزان‌کننده و همیشه سبز، به عنوان دومین طبقه در سلسله‌مراتب طبقه‌بندی و با واریانس‌های توصیفی ۶۷ و ۱۰۰ درصد استخراج کرد.

در این مطالعه تنها پوشش گیاهی درختی در نظر گرفته شد. بسته به هدف مطالعه، Endmember‌های انتخابی متفاوت خواهند بود. هدف از این تحقیق جدایش خاک رس از دیگر عوارض بارز موجود در منطقه مورد مطالعه بود و به دلیل جنگلی بودن منطقه، پوشش گیاهی علفی در نظر گرفته نشد. پوشش گیاهی درختی با صحت کلی ۷۰/۵ درصد استخراج گردید. علت کمتر بودن صحت استخراج کلاس پوشش گیاهی در مقایسه با مطالعه توک و همکاران (۲۰۰۹)، در نظر نگرفتن پوشش گیاهی علفی است. هر چه پوشش گیاهی با Endmember‌های بیشتری بررسی شود، صحت طبقه‌بندی بیشتر می‌شود.

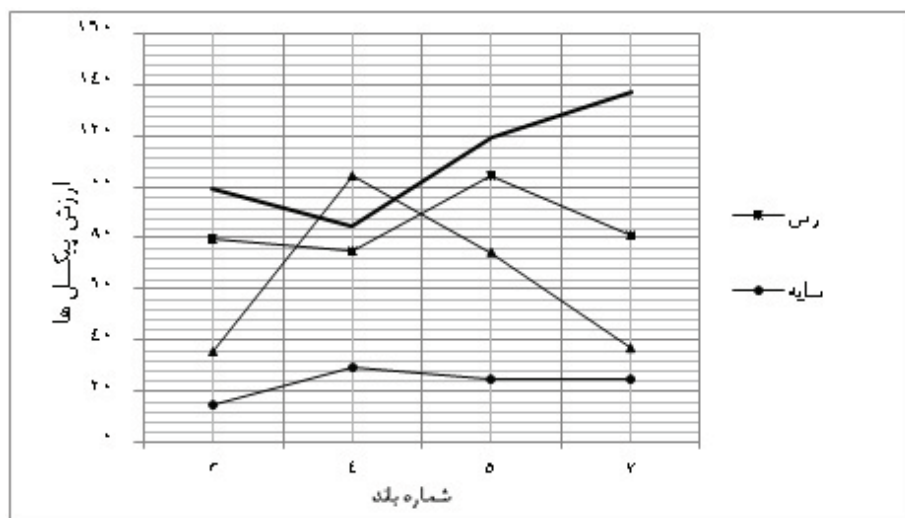
دینگ شینگ لو و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای به طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش زمین داده‌های سنجنده TM به روش آنالیز ترکیب طیفی پرداختند. آنها در تحقیق مذکور به این نتایج دست یافتند:

۱- صحت طبقه‌بندی روش SMA ۸۶ درصد است، و بیشتر از روش‌های سنتی.

۲- استفاده از چهار Endmember پوشش گیاهی، سایه، خاک تیره و خاک روشن صحت طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد.

۳- باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ برای جدایش چهار Endmember پوشش گیاهی، سایه، خاک تیره و خاک روشن مناسب‌اند.

در این مطالعه نیز نتایج مشابهی به دست آمده که با نتایج کاردینگ شینگ لو و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد.



شکل ۱۰. اثر طیفی Endmember های انتخابی و سنگ گرانیت - گرانودیوریت

**Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index,** Remote Sensing of Environment, 73, 87–102.

Mahesh, P., & Mather, P.M., 2003, **An Assessment of the Effectiveness of Decision Tree Methods for Land Cover Classification,** Remote Sensing of Environment, 86, 554–565.

Martinez, P.J., Perez, R.M., Plaza, A., Aguilar, P.L., Cantero, M. C., & Plaza, J., 2006, **Endmember Extraction Algorithms from Hyperspectral Images,** Annals of Geophysics, 49(1), 93–101.

Pacheco, A., McNairn, H., 2010, **Evaluating Multispectral Remote Sensing and Spectral Unmixing Analysis for Crop Residue Mapping,** Remote Sensing of Environment 114, 2219–2228.

#### ۵- منابع

Adams, J.B., Sabol, D.E., Kapos, V., Filho, R.A., Roberts, D.A., Smith, M.O. et al., 1995, **Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-cover Change in the Brazilian Amazon,** Remote Sensing of Environment, 52, 137–154.

Boardman, J.W., Kruse, F.A., & Green, R.O., 1995, **Mapping Target Signatures Via Partial Unmixing of AVIRIS data Summaries of the 5th JPL Airborne Earth Science Workshop,** Vol. 95(1), PP. 23-26, Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory.

Chavez, P.S., Jr., 1988, **An Improved Dark-object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data,** Remote Sensing of Environment, 24, 459–479.

Elmore, A.J., Mustard, J.F., Manning, S.J. & Lobell, D. B., 2000, **Quantifying**

تعیین منابع خاک رس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی و طبقه‌بندی درختی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود)

- Philip Dennison, 2007, **Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis: New Algorithms and Applications: Center for Imaging Science**, seminar series.
- Rashed, T., Weeks, J.R., Roberts, D.A., Rogan, J. & Powell, R.L., 2003, **Measuring the Physical Composition of Urban Morphology Using Multiple Endmember Spectra Mixture Models**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(9), 1011–1020.
- Smith, M.O., Ustin, S.L., Adams, J.B. & Gillespie, A.R., 1990, **Vegetation in Deserts: I. A Regional Measure of Abundance from Multispectral Images**, Remote Sensing of Environment, 31, 1–26.
- Song, C., 2005, **Spectral Mixture Analysis for Subpixel Vegetation Fractions in the Urban Environment: How to Incorporate Endmember Variability?**, Remote Sensing of Environment 95, 248–263.
- Sonnentag, O., Chen, J.M., Roberts, D.A., Talbot, J., Halligan, K.Q., & Govind, A., 2007, **Mapping Tree and Shrub Leaf Area Indices in an Ombrotrophic Peatland Through Multiple Endmember Spectral Unmixing**, Remote Sensing of Environment, 109, 342–360.
- Theseira, M.A., Thomas, G., Taylor, J.C., Gemmell, F., & Varjo, J., 2003, **Sensitivity of Mixture Modeling to Endmember Selection**, International Journal of Remote Sensing, 24(7), 1559–1575.
- Thomas, N., Hendrix, C. & Congalton, R.G., 2003, **A Comparison of Urban Mapping Methods Using High-resolution Digital Imagery**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(9), 963–972.
- Tompkins, S., Mustard, J.F., Pieters, C.M. & Forsyth, D.W., 1997, **Optimization of Endmembers for Spectral Mixture Analysis**, Remote Sensing of Environment, 59, 472–489.
- Tooke, T.R., Coops, N.C., Goodwin, N.R., Voogt, J.A., 2009, **Extracting Urban Vegetation Characteristics Using Spectral Mixture Analysis and Decision Tree Classifications**, Remote Sensing of Environment 113, 398–407.