

آشکارسازی رسوبات بادی- ماسه‌ای با استفاده از یک شاخص جدید نسبت‌گیری ماهواره‌ای

عاطفه جبالی*^۱، رضا جعفری^۲، سید جمال‌الدین خواجه‌الدین^۳، حمیدرضا پاک‌زاد^۴

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. استادیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۲۷)

چکیده

این مطالعه پتانسیل تکنیک‌های نسبت‌گیری تصویر جهت تشخیص و پهنه‌بندی گسترده‌ی و ترکیب ذرات تپه‌های ماسه‌ای در ارگ گاوخونی استان اصفهان را ارزیابی می‌کند. شاخص نسبت ۶/۴ و نیز شاخص جدید، به نام SaDI، که از باندهای ۳ و ۶ و ۷ تصویر TM لندست ژئورفرنس شده محاسبه شد به کار رفت. جهت ارزیابی عملکرد تکنیک‌های نسبت‌گیری، بین تصاویر به دست آمده، با درصد ذرات مختلف جمع‌آوری شده در ۳۳ سایت نمونه‌گیری همبستگی برقرار شد. نتایج نشان داد هر دو تکنیک نسبت‌گیری قادر به تشخیص و پهنه‌بندی توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای است و بیش از ۷۰ درصد همخوانی بین شاخص‌های تصویر و داده‌های میدانی وجود دارد. نتایج همچنین مشخص کرد عملکرد SaDI در پهنه‌بندی ذرات کربناتی ۵۰ درصد بهتر و مؤید آن است که این شاخص جدید مناسب‌تر از شاخص ۶/۴ در پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای غنی از ذرات کربنات است.

کلیدواژگان: تپه‌های ماسه‌ای، ذرات کربنات، سنجش از دور، SaDI.

مقدمه

رسوبات بادی- ماسه‌ای تقریباً ۶ درصد سطح زمین را اشغال کرده است؛ طوری که ۹۷ درصد این رسوبات در ارگ‌های مناطق خشک جهان قرار گرفته‌اند و تقریباً ۲۰ درصد سطح مناطق خشک دنیا با ماسه‌های بادی پوشیده شده است (Pye and Tsoar, 1990) و در مناطق مختلف نسبت‌های متفاوتی دارد. در این بین قاره آسیا در رتبه اول و پس از آن قاره‌های افریقا، استرالیا، و آمریکا قرار دارند (Ahmadi, 1998; Pye and Tsoar, 1990; Rafahi, 2001).

از سالیان دور رسوبات ماسه‌ای، با ایجاد گردوغبار و توفان‌های ماسه‌ای در مناطق بیابانی، چهره‌ای ناخوشایند در ذهن ساکنان مجاور با این مناطق بر جای گذاشته و عامل افزایش بیماری‌های تنفسی و ریوی (Indoitu et al, 2012; Rashki et al, 2012) و تهدیدی برای سکونتگاه‌ها و مزارع و راه‌های ارتباطی (Yao et al, 2007) معرفی شده‌اند. با وجود این، صنعتی‌شدن جوامع و افزایش جمعیت و افزایش تقاضا در تأمین عناصر معدنی مورد نیاز در تولیدات صنعتی و نیز تقاضای

اشتغال بشر را به سوی رویکرد جدیدی سوق داده و تپه‌های ماسه‌ای را پتانسیلی بالقوه در استخراج عناصر معدنی و صنعت اکوتوریسم معرفی کرده است (Khosroshahi, 2006).

طبق مطالعات، رسوبات بادی به چهار گروه تقسیم می‌شوند؛ ماسه‌های غنی از کربنات، ماسه‌های غنی از گچ، ماسه‌های حاصل از سنگ‌های آتشفشانی، ماسه‌های حاوی کوارتز و فلدسپار (Brooke, 2001). تپه‌های ماسه‌ای از تجمع این رسوبات از دامنه ارتفاعی تقریباً ۳۰ سانتی‌متر تا بیش از ۳۰۰ متر ایجاد شده است و به دلیل حرکت طبیعی و دوری و گسترده‌ی ناحیه‌ای آن‌ها کمتر به صورت نقشه درآمده و بیشتر از نظر ارتفاعی شناخته شده‌اند (Levin et al, 2004). بنابراین داده‌های سنجش از دور، به منزله منابع مؤثر و کاربردی در شناسایی پوشش و کاربری اراضی (Bayarsaikhan et al, 2009). دریاچه‌ای از اطلاعات مفید را در مناطق بزرگ به روی بشر باز کرده و استفاده از داده‌های مرئی و مادون قرمز با طول موج‌های کوتاه ماهواره‌ای را در گسترش مطالعات نواحی ماسه‌ای (Katra et al, 2009)، تفکیک پوشش‌های زمینی، و تهیه اطلاعات در زمینه خصوصیات خاک و مطالعات زمین‌شناسی بسیار کارآمد ساخته است (Oliveira et al, 2008).

* نویسنده مسئول: a.jebali@na.iut.ac.ir

مطالعه تپه‌های ماسه‌ای در ورزشگاه اصفهان سه هدف کلی را دنبال می‌کند: ۱. ارائه و بررسی پتانسیل شاخص جدید SaDI^۱ مستخرج از باندهای انعکاسی و حرارتی سنجنده TM ماهواره لندست در شناسایی و پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای؛ ۲. مقایسه کارایی شاخص SaDI و شاخص نسبت‌گیری ۶/۴ در پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای؛ ۳. ارزیابی صحت دو شاخص مذکور با استفاده از داده‌های کانی‌های جمع‌آوری‌شده از تپه‌های منطقه مطالعاتی.

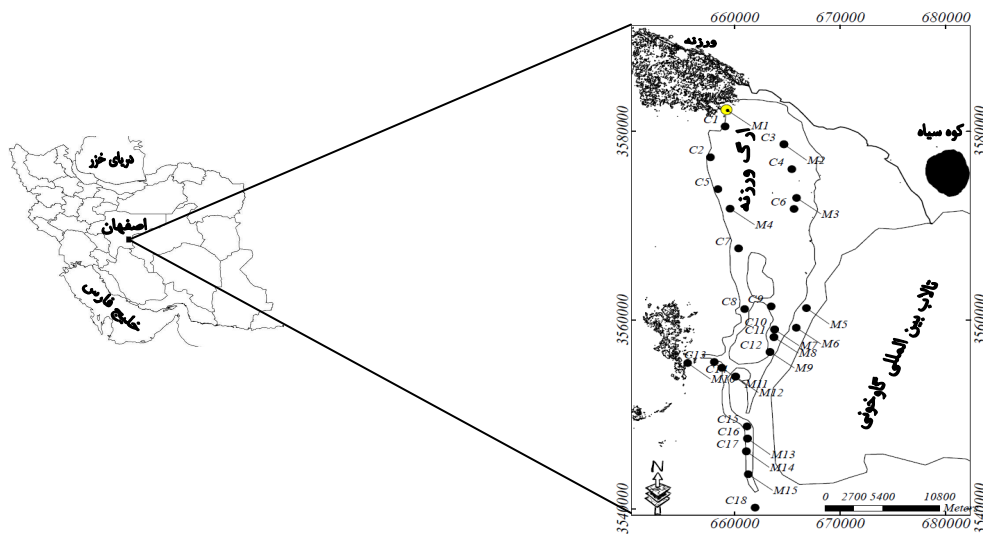
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه حسن‌آباد جرقویه بخشی از منطقه وسیع ایران مرکزی، واقع در جنوب شرقی استان اصفهان، با مساحتی در حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های ۶۵۷۷۱۹ و ۶۶۸۵۸۲ شرقی و عرض‌های ۳۵۷۳۹۹۷ و ۳۵۸۱۵۶۶ شمالی واقع است. تپه‌های ماسه‌ای مطالعه‌شده، معروف به ارگ ورزشگاه یا ارگ گاوخونی، در بخش غربی تالاب بین‌المللی گاوخونی، در امتداد شمالی-جنوبی قرار دارد و به سمت جنوب به زبانه‌ای باریک ختم می‌شوند. در قسمت مرکزی ارگ دو دشت داخلی به نام‌های میان‌بای بزرگ و میان‌بای کوچک به طور پراکنده از تپه‌های ماسه‌ای قدیمی و نسبتاً بی‌شکل پوشیده شده‌اند. ارتفاع تپه‌ها در این ارگ گاهی به ۹۰ متر می‌رسد. وسعت این ارگ در حدود ۱۸۰/۹۶ کیلومتر مربع است (Pakzad, 2003). شکل ۱ تصویری از محدوده منطقه مطالعاتی را ارائه می‌کند.

بارسازی لایه تپه‌های ماسه‌ای از روی تصاویر ماهواره‌ای در بسیاری از بررسی‌های بیابان‌زایی موفقیت‌آمیز بوده است (Yao et al, 2007). Mason et al (2008) با استفاده از تصاویر TM، MSS، ETM⁺ و ماهواره لندست تغییرات حرکتی تپه‌های ماسه‌ای شمال چین را با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی و استخراج لایه تپه‌های ماسه‌ای بررسی و تثبیت‌پذیری تپه‌ها را طی بیست و سه سال تأیید کردند. همچنین Bayarsaikhan et al (2009) در طبقه‌بندی پوشش‌های زمینی پارک ملی هوستای مغولستان، با بهره‌گیری از تصاویر MSS و TM و ETM⁺ لندست، لایه تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از روش‌های پردازشی و تکنیک‌های طبقه‌بندی آشکارسازی کردند.

با پیشرفت علوم در زمینه سنجش از دور، تکنیک‌های استخراج عوارض مختلف زمینی نیز گسترش یافت و در این بین ماهواره‌هایی نظیر لندست، با برخورداری از طول موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک و همچنین آرشیو طولانی‌مدت در تهیه نقشه تپه‌های ماسه‌ای روی زمین، استفاده چشمگیری داشته‌اند (Breed and Grow, 1979)؛ مثلاً Pease et al (1999) از نمونه ماسه‌های ارگ واهی‌بای و داده‌های لندست TM در بررسی پراکنش مکانی کانی‌ها و شناسایی منابع رسوب و مسیرهای انتقال آن استفاده کردند. به‌یقین، تکنیک‌های سنجش از دور نظیر نسبت‌های بانندی به ترکیبات معدنی و شیمیایی به‌خصوصی در تپه‌های ماسه‌ای حساس‌اند و سبب بزرگ‌نمایی و جداسازی این ترکیبات از سایر پوشش‌های زمینی می‌شوند (Howari et al, 2007) و با کاهش آثار روشنایی و شیب و سایه (Drury, 2001) در تشخیص انواع سنگ‌ها و پوشش‌های زمینی نقش زیادی دارند (Mshiu, 2011).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری ماسه‌های بادی در جنوب شرقی استان اصفهان

جدول ۲. درصد کربنات موجود در مناطق نمونه برداری C

نقاط	نمونه برداری	مختصات X	مختصات Y	درصد کربنات	نقاط	نمونه برداری	مختصات X	مختصات Y	درصد کربنات	نقاط	نمونه برداری	مختصات X	مختصات Y	درصد کربنات
C1	۶۵۹۱۱۲	۳۵۱۰۵۲۶	۳۸	C7	۶۶۰۳۸۵	۳۵۶۷۶۰۱	۴۹	C13	۶۵۸۰۸۵	۳۵۵۵۵۵۲	۶۲			
C2	۶۵۷۷۲۱	۳۵۷۷۲۶۳	۳۹	C8	۶۶۰۹۵۸	۳۵۶۱۱۷۲	۶۰	C14	۶۶۰۱۰۲	۳۵۵۴۰۱۲	۵۰			
C3	۶۶۴۶۸۲	۳۵۷۸۶۳۷	۱۷	C9	۶۶۳۴۶۹	۳۵۶۱۴۵۹	۵۵	C15	۶۶۱۱۸۲	۳۵۴۸۷۳۱	۵۴			
C4	۶۶۵۴۳۲	۳۵۷۶۰۰۰	۲۳	C10	۶۶۳۷۹۵	۳۵۵۹۰۱۱	۵۵	C16	۶۶۱۲۲۸	۳۵۴۷۴۳۸	۵۶			
C5	۶۵۸۴۲۷	۳۵۷۳۸۸۵	۴۵	C11	۶۶۳۷۳۱	۳۵۵۸۱۹۸	۵۸	C17	۶۶۱۱۲۰	۳۵۴۶۰۸۶	۶۷			
C6	۶۶۵۶۳۲	۳۵۷۱۷۸۳	۳۴	C12	۶۶۳۳۶۳	۳۵۵۶۶۲۱	۵۸	C18	۶۶۱۹۴۸	۳۵۴۰۱۱۸	۵۱			

طیفی عوارض زمینی در منطقه به تعداد ۵۰ نمونه پیکسلی برای هر یک از کاربری‌های موجود استخراج و نمودار پروفیل‌های طیفی هر کاربری بر اساس متوسط مقادیر طیفی آن‌ها ترسیم شد (شکل ۳). در تولید این نمودار از خصوصیات طیفی پنج پوشش اراضی استفاده شد؛ شامل رخنمون سنگی، پوشش گیاهی (طبیعی و کشاورزی)، دشت (راضی لخت و شور)، تالاب، و تپه‌های ماسه‌ای حاصل از رسوبات ماسه-بادی.

با مقایسه پروفیل‌ها و آنالیز نشانه‌های طیفی در باندهای مختلف سنجنده، باندهای مادون قرمز میانی (باند ۷) و قرمز دو باند مخالف، از نظر انعکاس طیفی پروفیل‌ها در آشکارسازی تپه‌های ماسه‌ای، معرفی و عملیات تفریق باندی روی آن انجام گرفت. بررسی‌ها نشان داد محدوده تپه‌های ماسه‌ای به طور کامل جداسازی نشده و بخشی از آن به منزله سایر نواحی معرفی شده است. بنابراین، به منظور آشکارسازی دقیق‌تر تپه‌های ماسه‌ای، عملیات نسبت‌گیری با استفاده از باندهای سنجنده TM بررسی و باند مادون قرمز حرارتی بهترین باند در تفکیک تپه‌های ماسه‌ای از سایر نواحی معرفی شد. بعد از تفریق باند مادون قرمز میانی از باند قرمز، حاصل به دست آمده به باند مادون قرمز حرارتی تقسیم و این معادله با نام SaDI به معنای شاخص جداسازی تپه‌های ماسه‌ای معرفی شد.

$$\text{SaDI} = \left[\frac{(\text{SWIR}-\text{R})}{\text{TIR}} \right] \quad (\text{رابطه ۱})$$

SaDI شاخص رسوبات ماسه‌ای، SWIR^۱ دامنه طیفی مادون قرمز میانی (در اینجا باند ۷ سنجنده TM)، R^۲ دامنه طیفی قرمز (در اینجا باند ۳ سنجنده TM)، TIR^۳ دامنه طیفی مادون قرمز حرارتی (در اینجا باند ۶ سنجنده TM) است.

شاخص رسوبات ماسه‌ای

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست TM تفکیک خصوصیت طیفی مواد سطحی، نظیر پوشش گیاهی و سنگ بستر و مواد سنگی، را در محدوده مرئی و مادون قرمز از امواج الکترومغناطیس امکان‌پذیر می‌سازد؛ مثلاً باند قرمز (باند ۳) سنجنده مذکور در تعیین مرزهای زمین‌شناسی و خاک‌های مختلف و باند مادون قرمز میانی (باند ۷) در تعیین محدوده جذب کانی‌های رسی و مطالعات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی استفاده می‌شود (Lilles and Kiefer, 2000). در جدول ۳ مشخصات تصویر سنجنده TM بررسی شده در این مطالعه می‌آید.

جدول ۳. مشخصات تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM

سنجنده	سکو	تاریخ	گذر ردیف	تعداد باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)
TM	لندست	۱۰/۹/۱۹۹۰	۱۶۳	۷	۳۰

به منظور آشکارسازی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مطالعاتی، در مرحله پیش‌پردازش، عملیات تصحیح هندسی جهت زمین مرجع‌سازی تصویر ماهواره‌ای، با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال ۱۳۸۲ و معادله چندجمله‌ای درجه ۱ به روش نزدیک‌ترین همسایه در سیستم مختصات UTM با خطای RMS کمتر از ۱ پیکسل، انجام پذیرفت. در ادامه، باندهای تشکیل‌دهنده تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM بررسی و مطالعه شد. در این مرحله، خصوصیت بازتاب‌های طیفی متفاوت حاصل از پوشش‌های مختلف زمین در تصویر ماهواره‌ای بررسی و آنالیز شد.

در این بررسی، باندهای موجود در سنجنده TM از نظر عارضه‌های جذب به روش بصری مقایسه و پس از آن مقادیر

1. Short Wave Infrared
2. Red
3. Thermal Infrared

همبستگی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای

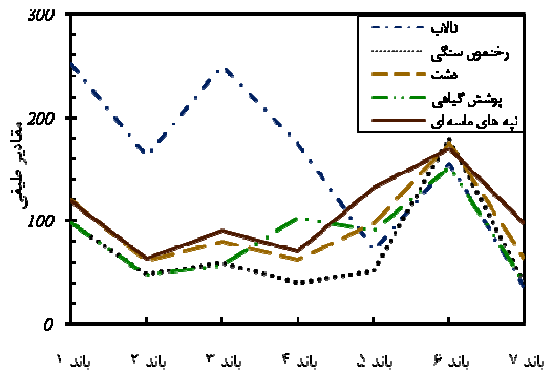
در این مطالعه، خصوصیت ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای در آشکارسازی این پوشش زمینی از سایر نواحی منطقه مطالعاتی نقش مؤثری داشت؛ اما اینکه انعکاس کدام یک از ذرات در جداسازی این پوشش نقش بیشتری داشت مشخص نیست. جهت تعیین نقش هر یک از کانی‌های موجود در جداسازی تپه‌های ماسه‌ای همبستگی بین کانی‌های نمونه‌برداری شده و شاخص SaDI ارزیابی شد. با توجه به مقادیر زیاد ذرات کربنات در تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه مطالعاتی و در پی بررسی *Howari et al* (2007) مبنی بر آشکارسازی کانی‌های معدنی و مشخص کردن نقش مؤثر نسبت باندی ۶۴ در آشکارسازی کانی‌های کوارتز و کربنات همبستگی بین تصویر حاصل از نسبت باندی ۶۴ و کانی‌های تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای نیز بررسی شد.

جهت بررسی همبستگی بین ذرات و تصاویر ابتدا از همه نقاط نمونه‌برداری بافری ۶۰ متری در محیط نرم‌افزاری ArcGIS9.3 تهیه شد و پس از آن تصویر بررسی شده همراه بافر نقاط نمونه‌برداری در بخش Zonal attribute محیط نرم‌افزاری Erdas Imagine9.1 تحت عملیات میانگین‌گیری قرار گرفت. بدین ترتیب متوسط DN تصاویر حاصل از شاخص SaDI و نسبت باندی ۶۴ در محل نمونه‌برداری استخراج شد. در ادامه، بین مقادیر DN تصاویر مذکور و درصد کانی‌های موجود در نقاط نمونه‌برداری رابطه همبستگی در محیط نرم‌افزاری EXCEL برقرار شد (شکل ۴) و در تعیین بهترین رابطه همبستگی با بیشترین ضریب تعیین روابط خطی، نمایی، لگاریتمی، توانی، و چندجمله‌ای تجزیه و تحلیل و مناسب‌ترین رابطه همبستگی معرفی شد (جدول ۵). در ادامه در محیط نرم‌افزاری SPSS مقادیر P value روابط مذکور جهت بررسی

معنادار بودن روابط محاسبه شد.

یافته‌ها و بحث

در منحنی بازتاب‌های طیفی (شکل ۲) حاصل از پوشش اراضی موجود در تصویر TM اختلافات واضحی از بازتاب طیفی عوارض ماسه‌ای نسبت به سایر عوارض در باندهای قرمز و مادون قرمز میانی (باند ۷) وجود دارد.



شکل ۲. نمودار بازتاب‌های طیفی پوشش‌های اراضی در تصویر سنجنده TM

بررسی بازتاب‌های طیفی در تصویر سنجنده TM نشان می‌دهد همه پوشش‌های معرفی شده به استثنای تپه‌های ماسه‌ای در باند مادون قرمز میانی (باند ۷) دارای مقادیر طیفی کمتر از باند قرمزند و تفریق دو باند مذکور تصویری را با مقادیر رقومی منفی در همه پوشش‌های اراضی، به استثنای پوشش تپه‌های ماسه‌ای، ایجاد کرده است. بنابراین تپه‌های ماسه‌ای با مقادیر مثبت در تصویر آشکار شده‌اند. در جدول ۴ مقادیر طیفی هر یک از پوشش‌های اراضی و نسبت‌های طیفی آن‌ها می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین نسبت طیفی تپه‌های ماسه‌ای بیشترین مقدار را میان مقادیر طیفی حاصل از نسبت‌گیری به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر نسبت‌گیری طیفی در کاربری‌های موجود

SaDI	عوارض		
	متوسط طیفی باند ۳- باند ۷	متوسط طیفی باند ۶ (band TIR)	متوسط طیفی باند ۷ (band SWIR)
-۰,۱۶	-۳۵,۵۸	۲۰۱,۳۴	۵۹,۴
-۰,۱۸	-۳۲,۴	۱۷۸,۹۷	۱۴۵,۶۱
۰,۰۳	۳,۰۸	۲۳۷,۷۸	۱۷۲,۴۴
-۰,۱۸	-۴۰,۸۲	۲۲۳,۴۴	۵۸,۵
-۱,۳۴	-۲۰۹,۰۸	۱۵۶,۱	۴۴,۸

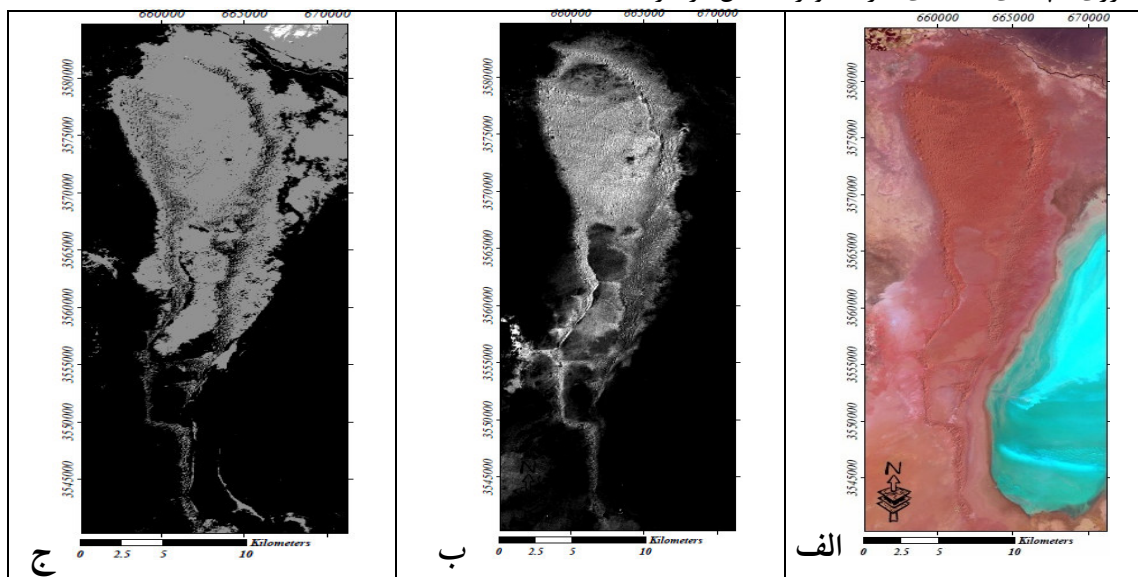
تفریق باندی را از دامنه عددی ۱۷ تا ۲۵۵- به دامنه عددی ۱,۵- تا ۰,۱ تبدیل کرده و با حذف پیکسل‌های با ارزش عددی

تقسیم به دست آمده از تفریق باند مادون قرمز میانی و باند قرمز به باند مادون قرمز حرارتی محدوده اعداد رقومی حاصل از

باندی ۵۳۱ (شکل ۳ الف) قادر به تفکیک واضح مرز بین تپه‌های ماسه‌ای و اراضی دشتی نیست و در تصویر حاصل از نسبت باندی ۶/۴ (شکل ۳ ج) مناطقی از اراضی دشت در محدوده تپه‌های ماسه‌ای کربناتی قرار گرفته‌اند و در بخش جنوبی نیز سراسر محدوده تپه‌های ماسه‌ای معرفی نشده است. در حالی که تصویر حاصل از شاخص نسبت‌گیری SaDI تفکیک بسیار کاملی از محدوده تپه‌های ماسه‌ای را نسبت به دو تصویر حاصل از ترکیب باندی ۵۳۱ و تصویر حاصل از نسبت باندی ۶/۴ از خود نشان می‌دهد. تفریق دو باند مخالف از نظر انعکاسات طیفی در شاخص نسبت‌گیری مذکور سایر عوارض موجود در منطقه مطالعاتی را در رقابت با نواحی ماسه‌ای حذف کرده است.

کمتر از ۰ آشکارسازی دقیق‌تری را در تفکیک پوشش‌های اراضی و بارزسازی تپه‌های ماسه‌ای سبب شده است (شکل ۳ ب). این در حالی است که استفاده از نسبت‌های باندی، به‌ویژه در تصاویر ماهواره‌ای لندست، علاوه بر ایفای نقش مؤثر در تفسیر و شناسایی لیتولوژی‌های مختلف (Mshiu, 2011) در تقویت تفاوت‌های طیفی بین مواد سطحی، که تشخیص آن‌ها در تصاویر خام دشوار است، مفید و حذف اثر روشنایی‌های گوناگون ناشی از تغییرات توپوگرافی و حذف نویزهای رادیومتریک از مزایای استفاده از این تکنیک است (Mather, 1987).

بر اساس تصاویر شکل ۳ انعکاسات مشابه اراضی دشت و محدوده مرزی تپه‌های ماسه‌ای در تصویر حاصل از ترکیب



شکل ۳. نقشه تپه‌های ماسه‌ای (الف) حاصل از ترکیب باندی کاذب ۱، ۳، ۵ (ب) حاصل از شاخص نسبت‌گیری SaDI (ج) حاصل از نسبت باندی ۶/۴

می‌کند. از سوی دیگر، آنالیز انعکاسات طیفی تصویر حاصل از نسبت باندی ۶/۴ محدوده ارزشی ۳-۱٫۵ (معادل ارزش عددی ۶۰-۳۰ در بسط عددی) را نشان داد و در مقایسه با شاخص نسبت‌گیری ارزش‌های عددی در سراسر مناطق پراکنده شده‌اند و محدوده ارزشی کمتری دارند که بیانگر برتری شاخص نسبت‌گیری SaDI در منطقه مطالعاتی است.

آنالیز رسوبات جمع‌آوری شده از مناطق نمونه‌برداری، ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی را، که درصد عمده ذرات کربنات‌هاست، غالب‌ترین ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای معرفی کرد (جدول ۱). مطابق آنالیز رسوبات، در بخش‌های مختلف منطقه مطالعاتی، تپه‌های ماسه‌ای به سه بخش شمالی و مرکزی و جنوبی تقسیم می‌شود. ذرات حاصل از سنگ‌های آذرین بیشترین درصد ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌ها در بخش

مطالعه تکنیک نسبت‌گیری باندی نشان می‌دهد ارزش‌های طیفی مشابه موجود در عوارض مختلف با تقسیم بر باندی دیگر دارای مقادیر طیفی متفاوت و بدین نحو مرز بین دو عارضه از یک‌دیگر تفکیک می‌شود (Lillesand and Kiefer, 2000). در مطالعه حاضر نیز تقسیم باندی حتی نواحی بین تپه‌های ماسه‌ای را، که ادامه اراضی دشتی منطقه‌اند، از نواحی ماسه‌ای تفکیک کرده و قادر به جداسازی کامل نواحی ماسه‌ای شده است.

آنالیز انعکاسات طیفی تصویر حاصل از شاخص نسبت‌گیری SaDI محدوده ارزشی ۰٫۱۲-۰٫۰۳ (معادل ارزش عددی ۲۴۰-۶۰ در بسط عددی) را نشان داد که بالاترین ارزش‌های عددی در بخش شمالی تپه‌های ماسه‌ای و کمترین ارزش‌های عددی مرز تپه‌های ماسه‌ای را از اراضی دشت تفکیک

همبستگی ایجاد شده بین تصویر حاصل از شاخص SaDI و ذرات کربنات با ضریب همبستگی ۰/۷ و ذرات حاصل از سنگ‌های آذرین با ضریب همبستگی ۰/۵ و ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی با ضریب همبستگی ۰/۴ مناسب و در سطح ۵ درصد معنادار است (جدول ۵) و در تصویر حاصل از نسبت بانندی ۶/۴ سنجنده TM (جدول ۵) همبستگی بین تصویر مذکور با ذرات حاصل از کانی‌های کوارتز (با ضریب همبستگی ۰/۵) و سنگ‌های آذرین و ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی (با ضریب همبستگی ۰/۶) مناسب و در سطح ۵ درصد معنادار است و با نتایج مطالعات محققان (Howari et al, 2007, Pease et al, 1999) مطابقت دارد.

شمالی است و ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی، به‌ویژه کربنات‌ها، در رده بعدی قرار دارند. در بخش مرکزی و جنوبی تپه‌های ماسه‌ای ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی با محوریت کربنات‌ها بیشترین درصد ذرات تشکیل‌دهنده حاصل از سنگ‌های رسوبی‌اند. ذرات کوارتز و فلدسپار و ذرات حاصل از سنگ‌های دگرگونی درصد کمتری از رسوبات بادی را شامل شده‌اند. بنابراین، با توجه با نتایج آزمایشگاهی، رسوبات شاخص سنجش از دوری که بتواند ذرات تشکیل‌دهنده غالب تپه‌های ماسه‌ای منطقه مطالعه شده را با صحت بالا پهنه‌بندی کند کاربرد و اهمیت بیشتری دارد. بررسی رابطه همبستگی بین شاخص SaDI و نسبت بانندی ۶/۴ سنجنده TM با داده‌های زمینی نشان می‌دهد

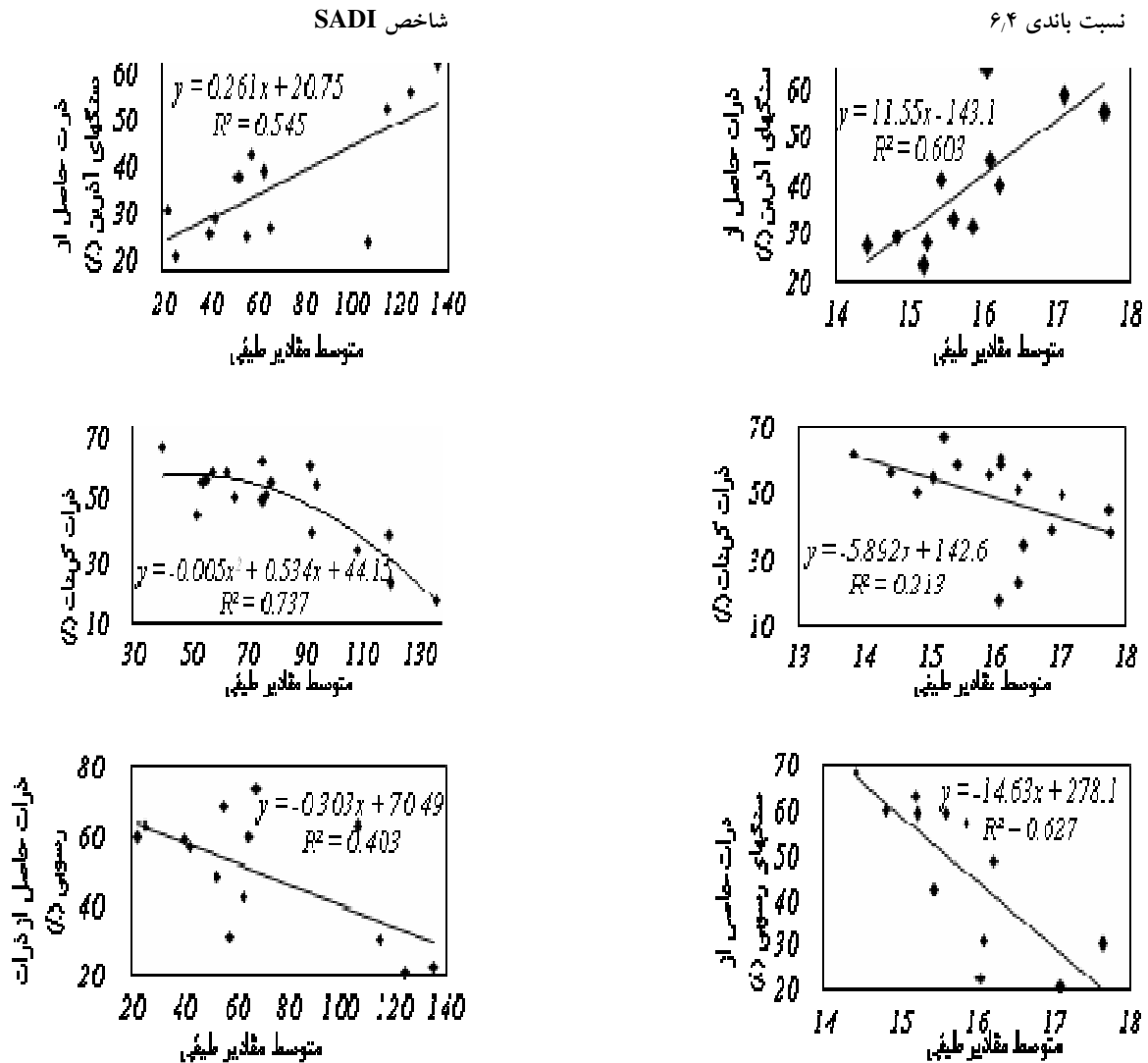
جدول ۵. رابطه همبستگی بین ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای، شاخص SaDI، و نسبت بانندی ۶/۴

ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای	شاخص SaDI	P value	نسبت بانندی ۶/۴	P value
ذرات کربنات	$y = -0.05x^2 + 0.534x + 44.15$ $R^2 = 0.7$	۰/۰۰۱	$y = -5.1892x + 142.6$ $R^2 = 0.21$	۰/۰۵۳
ذرات کوارتز	$y = -0.047x + 6.592$ $R^2 = 0.27$	۰/۰۸۲	$y = -0.658x^2 + 3.018x^2 - 4.56/9x + 229.0$ $R^2 = 0.53$	۰/۰۳۹
ذرات فلدسپار	$y = -6E - 0.6x^2 + 0.01x^2 - 0.11x + 1.095$ $R^2 = 0.2$	۰/۶۴۴	$y = -0.558x^2 + 27/16x^2 - 439/18x + 237.0$ $R^2 = 0.4$	۰/۳۶۳
ذرات حاصل از سنگ‌های آذرین	$y = 0.261x + 2.075$ $R^2 = 0.55$	۰/۰۰۳	$y = 11.55x - 142.1$ $R^2 = 0.60$	۰/۰۰۳
ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی	$y = -0.303x + 7.049$ $R^2 = 0.40$	۰/۰۱۱	$y = -14.63x + 278.1$ $R^2 = 0.63$	۰/۰۰۲
ذرات حاصل از سنگ‌های دگرگونی	$y = -2E - 0.5x^2 + 0.03x^2 - 0.1178x + 3.482$ $R^2 = 0.42$	۰/۲۰۱	$y = 0.711x - 9.492$ $R^2 = 0.3$	۰/۰۵۹
مجموع ذرات (آذرین، رسوبی، دگرگونی)	$y = -0.013x + 3.017$ $R^2 = 0.12$	۰/۲۷۳	$y = -0.813x + 42.14$ $R^2 = 0.2$	۰/۰۹۱

می‌کند (Howari et al, 2007; Moore et al, 2007) و محدوده بانندی مادون قرمز را حاوی بیشترین اطلاعات در معرفی مواد معدنی تپه‌های ماسه‌ای می‌داند (Pease et al, 1999).

در ادامه، آنالیز همبستگی تصاویر حاصل از شاخص نسبت‌گیری SaDI و نسبت بانندی ۶/۴ با مجموع ذرات آذرین و رسوبی و دگرگونی نشان داد که مجموع ذرات مذکور به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۱ و ۰/۲ کمترین همبستگی را با تصاویر بررسی شده نسبت به هر یک از ذرات به صورت مجزا دارند که این موضوع نشان‌دهنده اختلافات طیفی بین این ذرات است و باعث پراکندگی نقاط و عدم استقرار در وضعیتی مناسب می‌شود. پس، بهتر است از شاخص‌های مناسب و مجزا در تفکیک و پهنه‌بندی هر یک از رسوبات استفاده شود.

بر اساس روابط و ضرایب همبستگی موجود در جدول ۵ شاخص SaDI در جداسازی مناطق ماسه‌ای حاوی ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی، به‌ویژه کربنات‌ها، و ذرات حاصل از سنگ‌های آذرین در مناطق بیابانی، شاخص مؤثری است. همچنین باندهای مادون قرمز میانی و حرارتی موجود در شاخص SaDI در تشخیص رسوبات ماسه‌ای بسیار مناسب و مؤثر است؛ همان‌گونه که مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه استفاده از طیف‌های الکترومغناطیسی موجود در باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی را در آنالیز زمین‌شناسی و تشخیص کانی‌های موجود در سطح زمین مفید و مؤثر می‌داند و باندهای ۵ و ۷ لندست TM را در تفکیک انواع سنگ‌های مختلف و باندهای ۶ و ۴ سنجنده ETM⁺ لندست را در استخراج کانی‌هایی نظیر کربنات و کوارتز معرفی



شکل ۴. نمودار پراکنش داده‌های بررسی‌شده روی تصاویر حاصل از شاخص SADI و نسبت بانندی ۶/۴

مختلف از این تکنیک در جهت مشخص کردن کاربری‌های خاص استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر نیز از تکنیک نسبت‌گیری استفاده و شاخص SaDI به منظور تفکیک تپه‌های ماسه‌ای از سایر پوشش‌ها ایجاد و معرفی شد. همبستگی تصویر حاصل از شاخص SaDI و ذرات تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای در نقاط نمونه‌برداری نشان داد شاخص به‌دست‌آمده تفکیک‌کننده ذرات حاصل از سنگ‌های رسوبی، به‌ویژه کربنات و ذرات حاصل از سنگ‌های آذرین، است؛ طوری که قابلیت آن نسبت به شاخص‌های موجود در مطالعات کربنات‌ها حدود ۵۰ درصد بالاتر است. با عنایت به نتایج به‌دست‌آمده استفاده از شاخص جدید SaDI در جهت آشکارسازی محدوده‌های ماسه‌ای از سایر کاربری‌ها روشی مناسب و سریع و کم‌هزینه است و مطالعه و بررسی کارایی این شاخص برای شناسایی و تفکیک نواحی ماسه‌ای در سایر مناطق کشور پیشنهاد می‌شود.

نتایج جدول ۵ و شکل ۳ ج نشان می‌دهد نسبت بانندی ۶/۴ قادر به آشکارسازی کامل ذرات کربنات موجود در منطقه مطالعاتی نیست و این موضوع بیانگر این واقعیت است که تفکیک ذرات موجود در رسوبات بادی کارآیی منطقه‌ای دارد. به این معنی که ممکن است در منطقه‌ای دارای صحت بالای پهنه‌بندی باشد و در منطقه‌ای دیگر با شرایط متفاوت سطح زمین و فیزیوگرافی و همچنین اختلاف فیزیکی و شیمیایی ذرات از صحت بالایی برخوردار نباشد. این موضوع به‌وضوح در مطالعه حاضر مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

عملیات مختلف ریاضی بر تصاویر ماهواره‌ای، به منظور دستیابی به شاخص‌های مختلف، همچون شاخص پوشش گیاهی، و بارز کردن بخشی از کاربری از سایر قسمت‌های تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های معمول در مطالعات دورسنجی است. در مطالعات

REFERENCES

- Ahmadi, H. (1998). *Applied Geomorphology, Desert Wind Erosion*, Vol. 2: Tehran University Publications (In Farsi).
- Ajalloeian, R., Pakzad, H. R., and Mackizadeh, M. A. (1998). Processing of Landsat TM Digital Data for Sand Dunes Source Studies in Central Iran, From *GIS development.net*
- Bayarsaikhan, U., Boldgiv, B., Kim, K. R., Park, K. A., and Lee, D. (2009). Change detection and classification of land cover at Hustai National Park in Mongolia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11 (4). 273-280.
- Breed, C. S. and Grow, T. (1979). Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing, in *A Study of Global Sand Seas*. McKee, Ed. ed:USGS Prof.
- Brooke, B. (2001). The distribution of carbonate eolianite. *Earth-Science Reviews*, 55. 135-164.
- Drury, S. A. (2001). *Image Interpretation In Geology*: Nelson Thornes Limited.
- Howari, F. M., Baghdady, A., and Goodell, P. C. (2007). Mineralogical and geomorphological characterization of sand dunes in the eastern part of United Arab Emirates using orbital remote sensing integrated with field investigations. *Geomorphology*, 83 (1-2). 67-81.
- Indoitu, R., Orlovsky, L., and Orlovsky, N. (2012). Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variatins. *Journal of Arid Environments*, 85 (0). 62-70.
- Katra, I., Scheidt, S., and Lancaster, N. (2009). Changes in active eolian sand at northern Coachella Valley, California. *Geomorphology*, 105 (3-4). 277-290.
- Khosroshahi, M. (2006). Introduced some of potentials in desert for stay of desertification. *Forest and Range*, 72. 73-104 (In Farsi).
- Levin, N., Ben-Dor, E., and Karnieli, A. (2004). Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 90 (2). 190-209.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (2000). *remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley and Sons.
- Mason, J. A., Swinehart, J. B., Lu, H. Y., Miao, X. D., Cha, P. E., and Zhou, Y. L. (2008). Limited change in dune mobility in response to a large decrease in wind power in semi-arid northern China since the 1970s. *Geomorphology*, 102 (3-4). 351-363.
- Mather, P. M. (1987). *Computer Processing of Remotely Sensed Images*. England: John Wiley & Sons, Chechester.
- Moore, C., Hoffmann, G., and Glenn, N. (2007). Quantifying basaltic rock outcrops in NRCS Soil Map Units Using Landsat-5 Data. *Soil Surv. Horiz*, 48. 59-63.
- Mshiu, E. (2011). Landsat remote sensing data as an alternative approach for geological mapping in Tanzania: Acase study in the Rungwe volcanic province, south - western Tanzania *Tanz. J. Sci.*, 37. 26-36.
- Oliveira, F. S. C., Kampel, M., and Amaral, S. (2008). Multitemporal assessment of the geomorphologic evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (19). 5585-5594.
- Pakzad, H. R. (2003). Sedimentary facies associations of the lower reaches of the zayandeh river and the gavkhoni playa lake basin (Esfahan province, iran). Unpublished Ph. D. thesis, university of clausthal, Germany.
- Pease, P. P., Bierly, G. D., Tchakerian, V. P., and Tindale, N. W. (1999). Mineralogical characterization and transport pathways of dune sand using Landsat TM data, Wahiba Sand Sea, Sultanate of Oman. *Geomorphology*, 29 (3-4). 235-249.
- Pye, K. and Tsoar, H. (1990). *Aeolian sand and sand dunes*: Unwin Hyman Ltd.
- Rafahi, H. G. (2001). *Wind erosion and Conservation*, ed. edition, S.: Tehran University Publication (In Farsi).
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. J. d., Eriksson, P. G., Qiang, M., and Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5 (0). 51-62.
- Yao, Z. Y., Wang, T., Han, Z. W., Zhang, W. M., and Zhao, A. G. (2007). Migration of sand dunes on the northern Alxa Plateau, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 70 (1) 80-93.