

مقایسه کارایی عکس‌های هوایی و باندهای پانکروماتیک ETM^+ و $IRS-P_6$ در تعیین مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای

عاطفه جبالی^{۱*}، رضا جعفری^۲، سید جمال‌الدین خواجه‌الدین^۳

^{۱*} دانش‌آموخته دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

At.jebali@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۳ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۰

چکیده:

در این مطالعه، قابلیت تعیین مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در ارگ تالاب بین‌المللی گاوخونی واقع در جنوب شرقی استان اصفهان، بررسی شد. بدین منظور از موزاییک عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، باند پانکروماتیک سنجنده ETM^+ و $IRS-P_6$ استفاده شد. ابتدا تصاویر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با خطای RMS کمتر از یک پیکسل زمین مرجع و سپس مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای با فرمت وکتور در محیط ArcGIS از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. برطبق نتایج اخذ شده، پنج مرفولوژی شامل تپه‌های عرضی، تپه‌های ستاره‌ای، سیلک، سیف و تپه‌های یال‌اسبی در ارگ گاوخونی موجود است. با مقایسه سطح تپه‌های مورد بررسی مشخص شد که مرفولوژی آن‌ها، در عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و تصویر باند پانکروماتیک $IRS-P_6$ مشابه است و باندهای پانکروماتیک ماهواره‌ای با قابلیت تکرارپذیری، هزینه مناسب، پوشش گسترده و قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توانند به‌عنوان جایگزین و یا مکمل عکس‌های هوایی در مطالعه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، اصفهان.

مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای از جمله پدیده‌های طبیعی در مناطق خشک و بیابانی است و اصولاً در مناطق وسیعی به نام ارگ تجمع می‌یابند. وسعت ارگ‌های بیابانی در جهان در حدود ۵۹۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع است و قاره آسیا با سطحی برابر ۴۵/۵ درصد، بیشترین سطح ارگ را در جهان به خود اختصاص داده است. این سطح در کشور ایران، حدود ۱۳ میلیون هکتار برآورد شده است (احمدی، ۱۳۷۷). دامنه تغییرات ارتفاعی تپه‌ها، تقریباً از ۳۰ سانتی‌متر تا بیش از ۳۰۰ متر است که به شکل تپه‌های بارخانی^۱، بارخانویید^۲، خطی^۳، عرضی^۴، ستاره‌ای^۵، طولی^۶ و سایر اشکال ظاهر شده است (دانیل و هوگز^۷، ۲۰۰۷؛ لیوینگستون^۸ و همکاران، ۲۰۰۷؛ پای و تی‌سوار^۹، ۱۹۹۰؛ تی‌سوار^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۴ و یائو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۷).

تپه‌های ساحلی و بیابانی تقریباً ۱۰ درصد اراضی بین عرض‌های ۳۰ درجه شمالی و ۳۰ درجه جنوبی را پوشش داده و در مطالعات صورت گرفته کمتر به پهنه‌بندی مرفولوژی آن‌ها پرداخته شده است. این امر ناشی از حرکت طبیعی، دوری و گستردگی ناحیه‌ای آن‌هاست و اغلب از نظر ارتفاعی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (لوین^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۴).

تعیین مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ابزار مهمی در درک تحول شکل اراضی و نقطه شروعی، برای توضیح فرایندهای ژئومرفولوژی بوده و به ما اجازه می‌دهد تا بخشی از مراحل و حرکات را از نظر تجربی حدس بزنیم (بورک^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای به‌صورت مرفولوژی عمومی و مرفولوژی واحد، در شناسایی جهت رسوب‌گذاری و توسعه تپه‌های ماسه‌ای مؤثر بوده و در مناطقی که فاقد جمعیت انسانی با پراکنش مناسب یا فاقد آمار هواشناسی و بادسنجی هستند، این پارامتر مطالعاتی به‌عنوان کارآمدترین عامل، قادر به

تعیین جهت رسوب‌گذاری است. با توجه به این نکته که مهم‌ترین عامل شکل‌گیری تپه‌ها رژیم بادی منطقه است، مرفولوژی تپه‌ها قادر به تعیین رژیم بادی مناطق مورد بررسی است (فرای برگر و دین^{۱۴}، ۱۹۷۹ و لن کاستر^{۱۵}، ۱۹۹۵).

از سوی دیگر، شناخت و بهره‌برداری از ماسه‌زارها، از جمله پتانسیل‌های بالقوه مناطق بیابانی بوده که برخی از آن‌ها هنوز ناشناخته مانده و امید است، در آینده این پتانسیل‌ها شناسایی و مورد بهره‌برداری‌های اصولی قرار گیرد. پتانسیل‌هایی مانند استخراج عناصر معدنی موجود در تپه‌های ماسه‌ای، اکوتوریسم و... که هر یک به‌نوعی می‌تواند در اشتغال‌زایی کشور استفاده شود (خسروشاهی، ۱۳۸۵).

در طی دهه‌های گذشته، به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای در معرفی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، چندان مورد توجه محققان نبوده است؛ درحالی‌که بررسی تپه‌های ماسه‌ای بیشتر بر پایه اندازه‌گیری‌های صحرایی و با استفاده از عکس‌های هوایی (الجمال و الجمال^{۱۶}، ۲۰۱۰ و مشهدی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۶) بوده است؛ ولیکن امروزه شناخت تپه‌های ماسه‌ای توسط تصاویر ماهواره‌ای (دل‌وال^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۸؛ الجمال و الجمال، ۲۰۱۰؛ گوسنز^{۱۹} و همکاران، ۱۹۹۳؛ هرهر^{۲۰}، ۲۰۱۰؛ پیسلی^{۲۱} و همکاران، ۱۹۹۱؛ یائو و همکاران، ۲۰۰۷ و زانگ^{۲۲}، ۲۰۰۴) تقویت شده و بشر را قادر به آنالیز نواحی وسیع‌تر ساخته است (گوسنز و همکاران، ۱۹۹۳؛ کومار^{۲۳} و همکاران، ۱۹۹۳ و لوین و همکاران، ۲۰۰۴). برای مثال کومار و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از ترکیب رنگی ۱۲۴ تصویر سنجنده MSS^{۲۴} ماهواره لندست و به‌روش تفسیر بصری مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بیابان راجستان در هند را معرفی کردند. این محققان استفاده از تصاویر رنگی ماهواره‌ای را در مطالعه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای موفقیت‌آمیز دانسته‌اند. با وجود این، قدرت تفکیک مکانی پایین تصویر سنجنده MSS مانع از تفسیر دقیق تمامی تپه‌ها به‌ویژه تپه‌های بارخانی کوچک شد.

1. Barchan
2. Barchanoide
3. Linear dunes
4. Transvers dunes
5. Star dunes (Ghourd)
6. Longitude dune (Silk)
7. Daniell and Hughes
8. Livingstone
9. Pye and Tsoar
10. Tsoar
11. Yao
12. Levin
13. Bourke

14. Fryberger and Dean

15. Lancaster

16. El Gammal and El Gammal

17. Mashhadi

18. Del Valle

19. Goossens

20. Hereher

21. Paisley

22. Zhang

23. Kumar

24. Multi-Spectral Scanner

و ۳۵۸۱۵۶۶ شمالی واقع شده است و از شمال به رودخانه زاینده‌رود، شمال غرب به شهر ورزنه از شرق به کوه‌سیاه، از جنوب شرق به تالاب بین‌المللی گاوخونی و از شرق به دشت حسن‌آباد جرقویه محدود شده است.

تپه‌های ماسه‌ای گاوخونی مجموعه‌ای از تپه‌های بارخانویید، ستاره‌ای، سیلک و سیف^۵ است و ارتفاع تپه‌ها، در این ناحیه گاه به ۶۰ متر می‌رسد. این تپه‌ها در بخش جنوبی نیمه‌فعال و در بخش شمالی مورد بررسی در این مطالعه، اکثراً غیرفعال هستند (پاکزاد^۶، ۲۰۰۳). وزش بادهای غالب غربی در ۹ ماه از سال، بارندگی در حدود ۷۶ میلی‌متر و مجموع سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل در این منطقه بالای ۳۰۰۰ میلی‌متر است که بیانگر اقلیم بیابانی حاکم بر آن است. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت منطقه مطالعاتی است.

۲. داده‌های موردنیاز

به منظور بررسی قابلیت باندهای پانکروماتیک تصاویر ماهواره‌ای، در تشخیص مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و استفاده از این تصاویر، به‌عنوان جایگزینی برای عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، از موزاییک عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، باند پانکروماتیک تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM^+ و $IRS-P_6$ استفاده و مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای گاوخونی استخراج شد. جدول ۱ مشخصات عکس و تصاویر مذکور را ارائه کرده است.

۳. پیش‌پردازش عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

مرحله آماده‌سازی در دو بخش مربوط به عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای انجام پذیرفت. در مرحله آماده‌سازی موزاییک عکس‌های هوایی، ۱۸ عکس‌های با فرمت jpg و قدرت تفکیک ۳۰۰ دی پی آی^۷ اسکن شد و به دلیل فقدان نقاط کافی در هر یک از عکس‌های هوایی، اقدام به تهیه موزاییک کلی از آن‌ها شد تا بدین وسیله از نقاط اطراف تپه‌های ماسه‌ای، جهت زمین مرجع‌سازی عکس‌های هوایی نیز استفاده شود؛ بنابراین، در محیط نرم‌افزار Erdas Imagine، یک تصحیح هندسی مجازی بین هر تصویر، با تصویر خام قبلی خود انجام گرفت و بدین ترتیب هر عکس هوایی، به عکس هوایی مجاور خود، ثبت داده شد. در هر مرحله پس از ثبت، دو تصویر موزاییک‌شده و مجدداً تصویر موزاییک‌شده، به عکس هوایی شماره بعد از خود، ثبت داده

در مطالعه‌ای دیگر، مشهدی و همکاران (۲۰۰۷) از تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM^1 لندست در مرزبندی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای استفاده کردند و تپه‌های بارخانی و سیلک را با استفاده از تفسیر بصری از یکدیگر تفکیک نمودند.

علوی‌پناه و همکاران (۱۳۸۴) در شناخت مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM^1 ، ETM^+2 و $ASTER^3$ استفاده کردند. بر طبق مشاهدات میدانی، تفسیر بصری و تصاویر رنگی مرکب، نتایج حاکی از موفقیت‌آمیز بودن تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های پردازشی در بررسی نواحی ماسه‌ای و عرصه‌های وسیع بود. این بررسی تصاویر ماهواره‌ای $ASTER$ با قدرت تفکیک مکانی بالاتر را در تفسیر بصری بسیار مناسب معرفی کرد.

استفاده از روش‌های میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی در تهیه نقشه‌های دقیق (درویش‌صفت و زارع، ۱۳۷۷) نیاز به زمانی طولانی برای عکس‌برداری، صرف زمان و هزینه برای تصحیح عکس‌ها، موزاییک و در نهایت، تفسیر آن‌ها دارد؛ درحالی‌که حضور باندهای پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا، امکان تولید نقشه عوارض طبیعی در مناطق گسترده و صعب‌العبور را در اسرع وقت فراهم آورده است (شتابی‌جویباری و همکاران، ۱۳۸۶). در این پژوهش، تلاش شده است تا با بهره‌گیری از قابلیت دورسنجی و با استفاده از باند پانکروماتیک تصاویر ماهواره‌ای اهداف ذیل بررسی شود:

۱. بررسی قابلیت باندهای پانکروماتیک دو سنجنده ETM^+ و $IRS-P_6^4$ در تشخیص مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای؛
۲. مقایسه کارایی تصاویر پانکروماتیک و عکس‌های هوایی در تشخیص مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای.

مواد و روش

۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

تپه‌های ماسه‌ای نیمه‌فعال تا غیرفعال در غرب تالاب بین‌المللی گاوخونی، وسعت درخور ملاحظه‌ای را در بخش جنوب شرقی استان اصفهان، تشکیل داده است. تپه‌های ماسه‌ای مورد بررسی در بین طول‌های ۶۵۷۷۱۹ و ۶۶۸۵۸۲ شرقی و عرض‌های ۳۵۷۳۹۹۷

1. Thematic Mapper
2. Enhanced Thematic Mapper Plus
3. Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)
4. Indian Remote Sensing

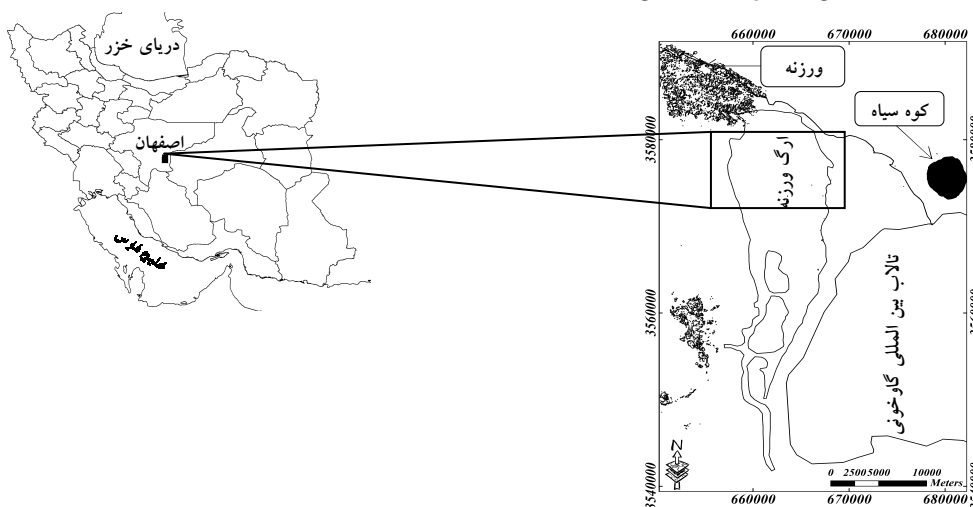
5. Seif

6. Pakzad

7. Dots per inch (dpi)

زیادی، تصحیح هندسی شد و خطای گوشه‌های عکس هوایی نیز به حداقل خود کاهش یافت.

شد. در زمان انتخاب نقاط جهت ثبت مجازی عکس‌های هوایی، نقاط از سطح مؤثر عکس هوایی، به تعداد ۱۰ تا ۱۵ نقطه انتخاب شدند. بدین ترتیب، محدوده میانی عکس‌های هوایی با دقت



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورد استفاده

سنجنده	سکو	تاریخ	گذر	ردیف	مقیاس/قدرت تفکیک مکانی (متر)
عکس هوایی	هواپیما	۱۹۶۷	--	--	۱:۲۰۰۰۰
PAN_ETM ⁺	لندست	۱۹۹۹/۸/۲۶	۱۶۳	۳۸	۱۵
PAN	IRS_P	۲۰۰۸/۶/۱	۷۲	۴۸	۵/۸

تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای از معادله چندجمله‌ای درجه یک و روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شده است.

۴. استخراج مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای

پس از اجرای عملیات پیش‌پردازش، عملیات استخراج مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای انجام شد. بدین ترتیب، پس از مرحله آماده‌سازی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، انواع مرفولوژی‌ها در محدوده مورد مطالعه، از طریق تفسیر چشمی و بازدیدهای میدانی مشخص شد. محدوده مربوط به هر مرفولوژی براساس فرمت وکتوری از تصاویر مذکور استخراج شد.

بسیاری از ماهواره‌های منابع زمینی نظیر Landsat7، SPOT و IKONOS IRS دارای باندهای پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا به همراه تصاویر رنگی چند باندهای با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر از باندهای پانکروماتیک هستند؛ بنابراین، با استفاده از روش‌های مؤثر ادغام‌سازی می‌توان تصاویری چند طیفی

در ادامه، موزاییک تولیدشده با استفاده از معادله چندجمله‌ای درجه یک و به روش نزدیک‌ترین همسایه در سیستم مختصات UTM، با ۱۰ نقطه کنترل زمینی و با $RMSE^1$ حدود ۰/۸ پیکسل، زمین مرجع شد. ماهیت دشتی بودن منطقه، فقدان نقاط ثابت و مناسب جهت تصحیح هندسی، دلیلی بر حداقل بودن تعداد نقاط کنترل زمینی، در زمان زمین مرجع‌سازی تصویر بوده است.

به منظور انجام تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای ابتدا باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای ETM⁺، با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ بلوک ۶۹ نایین، سال ۲۰۰۳ در سیستم مختصات UTM، با ۵۲ نقطه کنترل زمینی و $RMSE$ ۰/۲ پیکسل، زمین مرجع شد. سپس تصویر ماهواره IRS با روش تصویر به تصویر، از روی تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ در سیستم مختصات UTM، با $RMSE$ کمتر از یک پیکسل، زمین مرجع شد. در اجرای

1. Root Mean Square Error

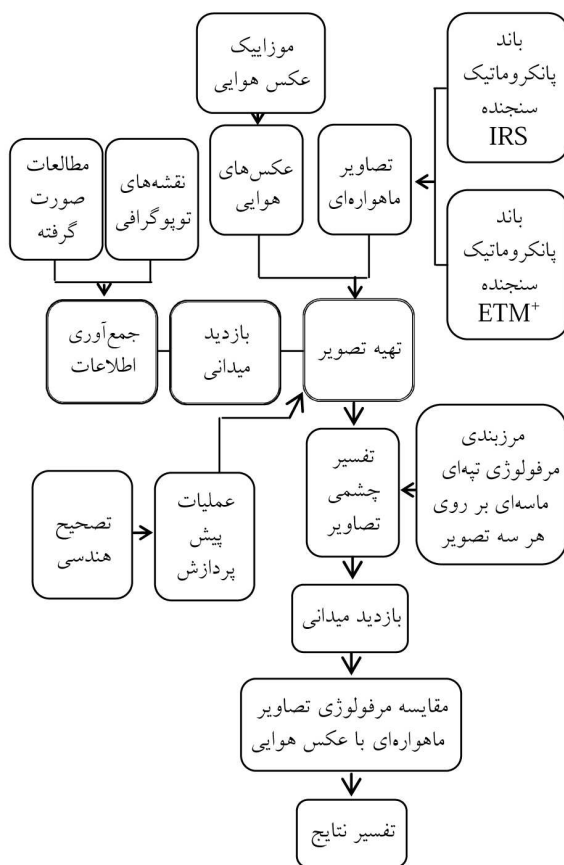
تپه‌های ماسه‌ای وابسته به پوشش گیاهی، مینرالوژی، بافت و پوسته‌های خاکی است (لوین و همکاران، ۲۰۰۴) و در تشخیص عوارض مختلف بر روی سطح زمین، نقش مؤثری دارند. بر طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده، خطوط اصلی و لبه تپه‌ها بر پایه تفاوت در روشنایی آن‌ها مشخص می‌شوند؛ برای مثال، در صورت قرارگرفتن دامنه‌های پشت به باد در مسیر نور خورشید در زمان تصویربرداری (همانند تپه‌های ماسه‌ای منطقه مطالعاتی حاضر)، در این دامنه‌ها انعکاس نور تقریباً عمودی است؛ بنابراین، سنجنده انعکاس نور شدید را به راحتی تشخیص می‌دهد و تصویر روشنی را می‌گیرد. از طرف دیگر، در دامنه رو به باد انعکاس نور تقریباً افقی است و سنجنده تصویر تاریکی را دریافت می‌کند. با استفاده از حاشیه نوارهای تیره و روشن، مرز تپه از سایر نواحی تفکیک می‌شود (یائو و همکاران، ۲۰۰۷).

مراحل انجام کار در شکل ۲ ارائه شده است.

با جزئیات هندسی یک تصویر پانکروماتیک تولید کرد و کاربرد دورسنجی و طبقه‌بندی تصاویر را ارتقا بخشید (زانگ، ۲۰۰۴).

اگرچه تصاویر ETM⁺ و IRS-P₆ قدرت تفکیک مکانی مناسب و دقیقی دارند، در مطالعه حاضر به منظور افزایش دقت استخراج محدوده تپه‌های ماسه‌ای، با توجه به اینکه تصاویر رنگی قابلیت جداسازی بهتر عوارض دارای سطوح یکنواخت طیفی را نسبت به تصاویر خاکستری‌رنگ دارند، عملیات ادغام‌سازی^۱ تصویر، تحت روش Brovey و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. با استخراج مرفولوژی‌ها، هر سه تصویر از لحاظ کیفیت تشخیص مرفولوژی، سهولت دسترسی و سایر موارد، بررسی و مقایسه شد و مناسب‌ترین تصویر جهت بررسی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در سطح وسیع و گسترده معرفی شد.

در جداسازی مرفولوژی تپه‌ها، در تصاویر ماهواره‌ای از خصوصیت طیفی تصاویر نیز استفاده شد. طیف‌های انعکاسی



شکل ۲: مراحل استخراج مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای

نتایج

بنا بر نتایج اخذ شده، مرفولوژی کلی محدوده مطالعاتی، تپه‌های درهم‌پیچیده و تشکیل یافته از اشکال متفاوت است. این موضوع در مرفولوژی تپه‌های سیلک و تپه‌های یال اسبی^۱ با وضوح بیشتری دیده می‌شود. پنج مرفولوژی شامل تپه‌های عرضی، تپه‌های ستاره‌ای، سیلک، سیف (تپه خطی) و تپه‌های یال‌اسبی بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شد. علاوه بر مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، بخش‌هایی نیز با عنوان نواحی بین تپه‌ای^۲ و سایر اشکال تفکیک شد. محدوده سایر اشکال شامل تپه‌های مارنی حاصل ته‌نشست نهشته‌های سیلابی است که دارای املاح گچی به همراه ماسه‌های بادی است. در جدول ۲ مساحت و در شکل ۳ نقشه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ارائه شده است.

تپه‌های عرضی، در حدود ۲۱ درصد از منطقه مطالعاتی را در بخش غربی منطقه، اشغال کرده‌اند و به‌عنوان ساده‌ترین و رایج‌ترین، تپه‌های ماسه‌ای، ساختارهای به‌هم چسبیده‌ای را ایجاد کرده‌اند که تفکیک جداگانه آن‌ها را با دشواری مواجه ساخته است. این مرفولوژی در عکس‌های هوایی کاملاً واضح، در تصویر ماهواره IRS واضح و تفکیک‌پذیر و در تصویر ETM⁺ نسبتاً واضح است و به‌صورت الگوهای موجی عرضی در تصاویر قابل شناسایی هستند. مقایسه سطح پوشش تپه‌های عرضی (جدول ۲) در تصاویر ماهواره‌ای نسبت به سطح موجود در عکس هوایی (۱۵۰۹ هکتار)، نزدیکی سطح استخراجی در تصویر IRS (۱۶۱۲ هکتار) را به عکس هوایی نشان داد.

جدول ۲: سطح مرفولوژی‌های استخراجی از عکس‌های هوایی و تصاویر باند پانکروماتیک ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی

تصاویر	عکس‌های هوایی		باند پانکروماتیک		باند پانکروماتیک	
	تصاویر	ETM ⁺	تصاویر	IRS-P6	تصاویر	IRS-P6
سال	۱۳۴۶	۱۳۷۸	۱۳۸۷	۱۳۸۷	سال	۱۳۴۶
مساحت	ha	%	ha	%	ha	%
تپه‌های یال‌اسبی	۷۶۴	۱۰/۷۰	۸۱۷	۱۱/۴۴	۸۴۴	۱۱/۸۲
ناحیه بین تپه‌ای	۳۵۶	۴/۹۹	۳۳۳	۴/۶۶	۳۱۰	۴/۳۴
تپه‌های عرضی	۱۵۰۹	۲۱/۱۴	۱۶۶۰	۲۳/۲۵	۱۶۱۲	۲۲/۵۸
تپه‌های ستاره‌ای	۵۳۲	۷/۴۵	۴۱۸	۵/۸۶	۴۹۸	۶/۹۷
سیف	۲۶۸	۳/۷۵	۲۸۷	۴/۰۲	۲۷۹	۳/۹۰
سیلک	۳۲۸۴	۴۶/۰۰	۳۰۹۹	۴۳/۴۱	۳۱۹۸	۴۴/۷۹
سایر اشکال	۴۲۶	۵/۹۷	۵۲۵	۷/۳۵	۴۰۰	۵/۶۰

تپه‌های خطی (سیف) واقع در حاشیه شرقی منطقه مطالعاتی، ۳/۷۵ درصد از منطقه مطالعاتی را اشغال کرده است و اکثراً دستخوش تغییر شکل به تپه‌های ستاره‌ای شده‌اند. این تپه‌ها به‌صورت خطوط موازی مستقیم بر روی تصاویر ماهواره‌ای دیده می‌شوند. هر سه تصویر محدوده این تپه‌ها را به‌طور واضح نشان می‌دهد؛ ولی مشاهده تپه‌های مجزا در عکس‌های هوایی با وضوح کامل، در تصویر IRS وضوح نسبتاً خوب و در تصویر ETM⁺ وضوح کمتری را داراست. در مقایسه بین سطوح مورد بررسی، مساحت این مرفولوژی (جدول ۲) در عکس هوایی (۲۶۸ هکتار) و تصویر IRS (۲۷۹ هکتار) به یکدیگر نزدیک‌تر است.

تپه‌های ستاره‌ای واقع در شمال و غرب منطقه، در حدود ۷/۵ درصد از منطقه مورد بررسی را اشغال کرده‌اند و در هر سه تصویر، به‌خوبی از سایر مرفولوژی‌ها تفکیک شدند و با توجه به بارزتر بودن تپه‌های ماسه‌ای مرتفع در تصاویر ماهواره‌ای، تفکیک مرفولوژی مذکور، در این تصاویر با سهولت بیشتری صورت پذیرفت. علاوه بر تپه‌های ستاره‌ای تفکیک‌شده، تعدادی تپه ستاره‌ای نیز بر روی تپه‌های خطی مشاهده و جداسازی شد. بر طبق سطوح به‌دست‌آمده از این مرفولوژی (جدول ۲) مساحت تصویر IRS (۴۹۸ هکتار) به مساحت حاصل از عکس هوایی (۵۳۲ هکتار) نزدیک‌تر است.

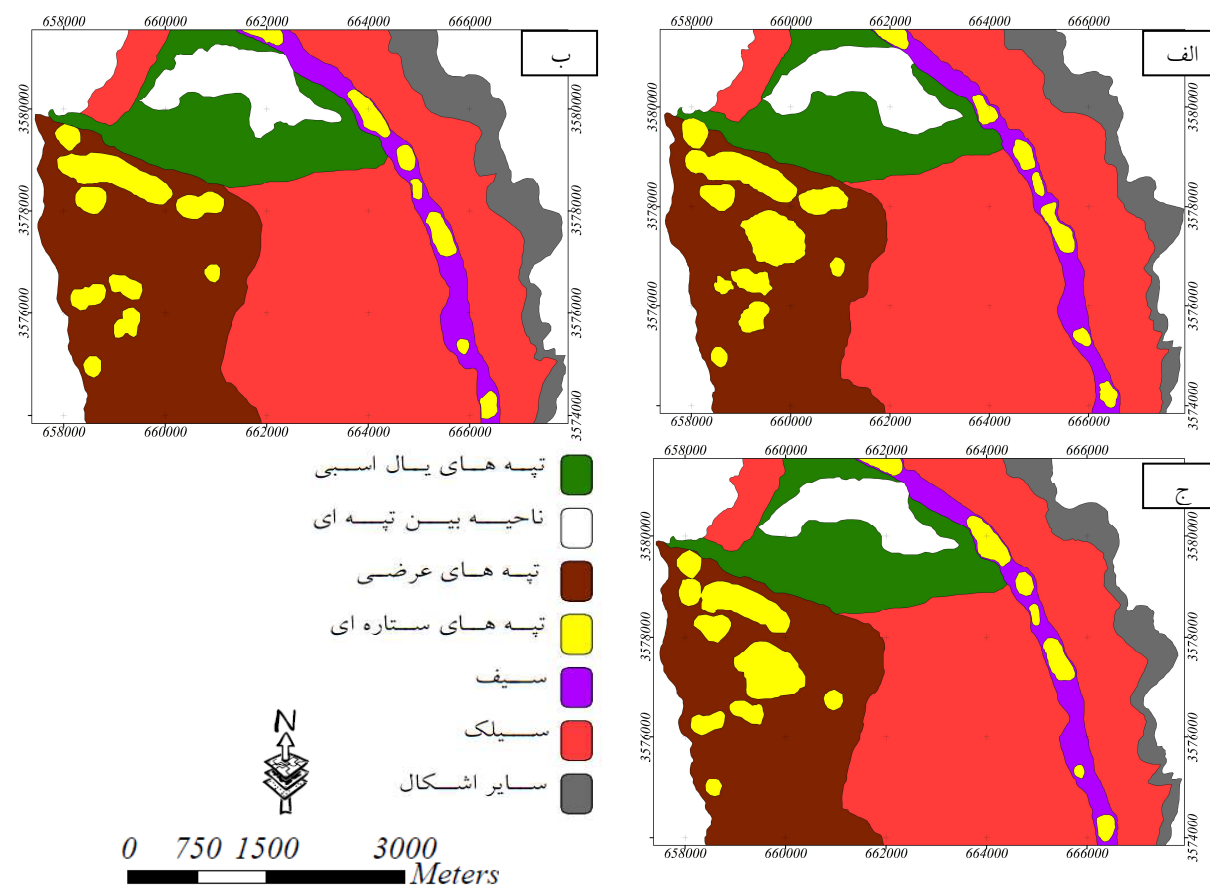
سیلک‌ها به‌صورت نامتقارن، غالباً منفرد و در جهت‌های مختلف، تقریباً در بخش میانی و متمایل به بخش شرقی ناحیه مطالعاتی بیشترین سطح بخش مطالعاتی (۴۶٪) را اشغال کرده‌اند. این مرفولوژی در عکس‌های هوایی و تصویر IRS کاملاً واضح و در تصویر ETM⁺ وضوح کمتری را نسبت به دو تصویر دیگر از خود نشان داد؛ ولی با این حال محدوده آن، از سایر مرفولوژی‌ها، تفکیک‌پذیر است. این سطوح نیز در عکس هوایی (۳۲۸۴ هکتار) و تصویر IRS (۳۱۹۸ هکتار) دارای نزدیکی بیشتری است (جدول ۲).

تپه‌های یال‌اسبی حاصل از به‌هم‌پیوستن (درهم شدن) تپه‌های عرضی بارخانی، در بخش شمالی ناحیه مورد مطالعه، با مساحتی در حدود ۱۰/۷ درصد، در عکس‌های هوایی به‌وضوح مشاهده‌پذیر و در دو تصویر پانکروماتیک IRS و ETM⁺ دارای وضوح کمتری هستند. مقایسه سطوح به‌دست‌آمده (جدول ۲)، بیانگر نزدیکی بیشتر مساحت به‌دست‌آمده در تصویر ETM⁺ (۸۱۷ هکتار)، با مساحت کسب‌شده در عکس

1. Reversing dunes
2. Inter dunes

همان‌گونه که در شکل ۳ (الف) دیده می‌شود، تشخیص مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از عکس‌های هوایی به‌طور کامل انجام پذیرفته است؛ درحالی‌که تشخیص مرفولوژی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در اولویت دوم قرار دارد. مقایسه دو تصویر حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، با تصویر حاصل از عکس هوایی، نشان از شباهت و تفکیک پذیری بهتر مرفولوژی‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای IRS-P₆ (شکل ۳ ج) و عکس هوایی (شکل ۳ الف) دارد.

هوایی (۷۶۴ هکتار) است. در بین تپه‌های ماسه‌ای، نواحی مسطحی دیده می‌شود که شامل انواع رسوبات تبخیری و تخریبی است. در ارگ گاوخونی نهشته‌های ماسه‌بادی و املاح مختلف با رنگ روشن و با جورشدگی خوب، سطح بین‌تپه‌ای را در اکثر موقعیت‌ها پوشش داده است و پوشش گیاهی تنک در نواحی بین تپه‌ای به‌صورت نواحی خاکستری‌رنگ در تصاویر دیده می‌شود. این نواحی در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه، در هر سه تصویر، به‌راحتی قابل مشاهده و تفکیک است.



شکل ۳- نقشه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای. الف: موزایک عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۶، ب: باند پانکروماتیک تصویر ETM⁺ سال ۱۳۷۸، ج: باند پانکروماتیک ماهواره IRS - P₆ سال ۱۳۸۷

بحث و نتیجه‌گیری

شناخت مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای به دلایل گوناگون، از جمله مشخص شدن جهت بادهای اصلی و فرساینده در مناطق فاقد ایستگاه‌های بادنگار و آمار مناسب، حائز اهمیت است و در پی شناخت جهت بادهای غالب، توسط مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، تا حدودی مسیر مناطق برداشت رسوبات در منطقه

این شباهت در تفکیک تپه‌های ستاره‌ای، خود را بهتر نشان داده است. با وجود اینکه استفاده از باند پانکروماتیک سنجنده ETM⁺ در تشخیص مرفولوژی‌ها (شکل ۳ ب) نسبت به تصویر حاصل از ماهواره IRS از اولویت کمتری برخوردار بوده است، استفاده از این‌گونه تصاویر در جداسازی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای درخور تأیید است.

تپه‌های ساده و تپه‌های مرکب و درهم‌پیچیده وجود دارند. ارتفاع و پوشش گیاهی از جمله عوامل تعیین‌کننده تشخیص تپه‌های ماسه‌ای بر روی تصاویر ماهواره‌ای هستند. هر اندازه ارتفاع تپه بیشتر و از نظر پوشش گیاهی ضعیف‌تر باشد، تفکیک و جداسازی آن‌ها بهتر صورت می‌پذیرد. کومار و همکاران (۱۹۹۳)، در بررسی خود تفکیک و جداسازی این‌گونه از تپه‌ها را ساده‌تر از جداسازی تپه‌های با ارتفاع کم و با پوشش گیاهی زیاد دانسته‌اند.

در بررسی حاضر، تپه‌های موجود از جمله، تپه‌های ستاره‌ای و تپه‌های عرضی، دارای ارتفاع نسبتاً مناسب و با پوشش گیاهی ضعیف هستند و این خصوصیت در تفکیک مرز حاشیه تپه‌ها از سایر عوارض بسیار مفید بوده است.

از طرفی قدرت تفکیک مکانی بالا، در باند پانکروماتیک تصاویر ماهواره‌ای سبب شده تا تفکیک‌پذیری عوارض ماسه‌ای از سایر نواحی راحت‌تر صورت پذیرد؛ برای مثال، در مطالعه‌ای که از تصویر ماهواره‌ای MSS لندست با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر استفاده شده است، امکان جداسازی تپه‌های بارخانی، سیف و تپه‌های عرضی، با صحت بالا مقدور نبوده است (کومار و همکاران، ۱۹۹۳). در مطالعه حاضر، با توجه به قدرت فراوان تفکیک مکانی باندهای پانکروماتیک، تپه‌های سیف، سیلک و تپه‌های یال اسبی قابل شناسایی بوده و دشواری جداسازی در مرز برخی از تپه‌ها، مربوط به ارتفاع کم و یا درهم‌پیچیدگی آن‌ها بوده است.

تشخیص مرفولوژی تپه‌ها با در نظر گرفتن خصوصیات ارتفاعی، پوششی، درجات روشنایی و تاریکی و خصوصیت طیفی، در تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS حاکی از توانایی این دو تصویر در جداسازی مرفولوژی‌های مختلف بوده است و به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر تصویر ماهواره IRS (۵/۸ متر)، مشاهده و استخراج انواع مرفولوژی‌ها در آن، نسبت به تصویر ماهواره لندست بهتر و با صحت بالاتر صورت می‌پذیرد (جدول ۲).

موضوع قدرت تفکیک‌پذیری بالا از جمله عوامل مؤثر در شناسایی تپه‌های ماسه‌ای است؛ به‌طوری‌که یائو و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی تپه‌های ماسه‌ای فلات آکسای شمالی در چین با استفاده از سه تصویر ماهواره‌ای TM، MSS و ETM⁺ به این موضوع توجه کرده و اذعان داشته‌اند که تپه‌های بیشتری در تصویر ETM⁺ به دلیل افزایش قدرت تفکیک‌پذیری

نیز، شناسایی می‌شود که خود، بخشی از مرحله منشأیابی رسوبات بادی و مبارزه با بیابان‌زایی است (دانیل و هاگز، ۲۰۰۷؛ کومار و همکاران، ۱۹۹۳؛ مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷ و میساک و دراز، ۱۹۹۷).

خصوصیات مکانی، زمانی و طیفی تصاویر ماهواره‌ای قابلیت‌هایی هستند که در مطالعات مربوط به تپه‌های ماسه‌ای به‌راحتی نمی‌توان از آن‌ها چشم‌پوشی کرد. به‌نحوی که سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در چهار دهه گذشته، به‌عنوان منبعی در جهت شناسایی و ارزیابی تپه‌های ماسه‌ای، نقشه‌بندی و طبقه‌بندی آن‌ها به‌کار گرفته شده است (هاگنهالتز^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).

اگرچه عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ با دارا بودن مقیاس بسیار مناسب، نقش مؤثری در تشخیص و جداسازی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دارند، استفاده از این تصاویر در سطح وسیع، نیازمند زمان و هزینه بالایی است؛ در صورتی‌که تصاویر ماهواره‌ای با گسترده‌تری مکانی و طیفی وسیع، قادر به رفع این محدودیت شده و مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناسایی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است (رامشت و همکاران، ۱۳۸۹؛ هاگنهالتز و همکاران، ۲۰۱۲؛ کومار و همکاران، ۱۹۹۳ و یائو و همکاران، ۲۰۰۷).

مشاهده و درک تصویر در تفسیر بصری، بسیار حایز اهمیت است. این مهم، نیازمند تشخیص عناصر الگویی تصویر (مانند درجه روشنایی، رنگ، اندازه، بافت، شکل، الگو، ارتفاع، سایه، موقعیت، وابستگی) و نیز نیازمند آنالیز و الحاق دانش متنی است؛ بنابراین، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و افزایش کنتراست و ایجاد ترکیب‌های رنگی مختلف، می‌توان به افزایش صحت و دقت عملیات تفسیر بصری منطقه و عوارض موجود کمک کرد و از این خصوصیت، در بخش‌های مطالعاتی نظیر خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فرسایش و غیره استفاده کرد (آبکار و همکاران، ۱۳۸۵).

در این بررسی، سه منطقه کلی شامل تپه‌های ماسه‌ای، شن‌زارها (ریپل مارک‌ها) و مناطق بین‌تپه‌ای شناسایی شد. تپه‌های ماسه‌ای معمولاً به‌صورت گروهی و نیز به‌شکل مجزا و با مرفولوژی‌های عرضی، سیف (خطی)، سیلک، ستاره‌ای و یال اسبی ظاهر شده است. در این ناحیه تپه‌های ماسه‌ای به شکل

1. Misak and Draz
2. Hugenholtz

گسترده‌بودن مکان و وجود نقاط مناسب در کل تصویر، جهت زمین مرجع‌سازی مرتفع می‌شود.

۲. زمان و هزینه: زمان و هزینه لازم برای عکس‌برداری، زمین مرجع‌سازی و تولید موزاییک عکس هوایی نسبت به میزان زمان و هزینه لازم، در به‌دست‌آوردن تصویر ماهواره‌ای و زمین مرجع‌سازی آن بیشتر بوده و این موضوع در مناطق وسیع بارزتر است (علوی‌پناه، ۱۳۸۲).

۳. یکنواختی: پوشش مکانی وسیع تصاویر ماهواره‌ای سبب شده تا این تصاویر کیفیت مناسب‌تری را از جهت یک‌پارچگی تصویر، نسبت به موزاییک عکس‌های هوایی داشته باشند. علاوه بر این، تصاویر ماهواره‌ای، مزیت رقمی‌بودن را دارا هستند.

۴. مقیاس: با توجه به این نکته که باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای $IRS-P_6$ با داشتن قدرت تفکیک مکانی $5/8$ متر، دارای مقیاسی معادل $1:25000$ است. تصاویر این ماهواره مقیاس مناسبی را در جهت نمایان‌سازی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دارد.

۵. در مقایسه بین دو باند پانکروماتیک، تصویر ماهواره‌ای $IRS-P_6$ با دارا بودن قدرت تفکیک مکانی $5/8$ متر و سنجنده ETM^+ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای $IRS-P_6$ کیفیت مطلوب‌تری را در این زمینه دارد. این به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر این باند است.

طبق نتایج حاصل از این تحقیق، در راستای مطالعات پایه‌ای، در صورت قرارگیری منطقه مطالعاتی بر روی تک‌عکس هوایی، استفاده از عکس هوایی پیشنهاد می‌شود و چنانچه منطقه مطالعاتی شامل چندین عکس هوایی باشد و تولید موزاییک عکس هوایی لازم شود، به دلایل فوق استفاده از باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای IRS پیشنهاد می‌شود.

سنجنده، به روش بصری قابل تشخیص هستند. همچنین در مطالعه لوین و همکاران (۲۰۰۴) استفاده از سنجنده ETM^+ ماهواره لندست به دلیل حضور تصویر باند پانکروماتیک در شناسایی تپه‌های ماسه‌ای مؤثر دانسته شده است. در این بررسی، باند پانکروماتیک به عنوان باندی حاوی اطلاعات مفید توپوگرافی، به ویژه در سطوح یکنواخت طیفی، معرفی و دقت تشخیص بصری تپه‌های ماسه‌ای در این باند، از تصاویر لندست TM و تصاویر ماهواره‌ای $ASTER$ مطلوب‌تر گزارش شده است.

بنابراین، نتایج مطالعات مذکور تأییدی بر نتایج کسب‌شده در این مطالعه، مبنی بر تأثیر قدرت تفکیک‌پذیری بالا در شناسایی تپه‌های ماسه‌ای است.

آنچه مسلم است، مساحت مرفولوژی‌های ارائه‌شده در جدول ۲ برای تصاویر مختلف تا حدودی متفاوت است که بخشی از این تفاوت نیز به دلیل متفاوت‌بودن مقیاس و دقت تصاویر مورد بررسی بوده است. همچنین منطقه مطالعاتی دارای تپه‌های نیمه‌فعال تا غیرفعال است و علی‌رغم فاصله زمانی بین تصاویر، تغییر قابل ملاحظه‌ای در مساحت مرفولوژی‌های مورد بررسی وجود ندارد؛ به طوری که اختلاف مساحت مرفولوژی‌های استخراجی از تصاویر مختلف، کمتر از ۳ درصد است.

در این بررسی، با توجه به هدف مطالعه و استناد به نتایج به‌دست‌آمده، در سطوح گسترده مطالعاتی، استفاده از باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای $IRS-P_6$ پیشنهاد می‌شود. این انتخاب به دلایل ذیل صورت پذیرفته است:

۱. زمین مرجع‌سازی: در بسیاری از مناطق مشابه با منطقه مورد مطالعه، برای انجام تصحیح هندسی عکس‌های هوایی و تولید موزاییک با معضل نقطه‌یابی، جهت تصحیح هندسی مواجه هستیم. این مورد در تصویر ماهواره‌ای به دلیل

منابع

۳. خسروشاهی، محمد، ۱۳۸۵. معرفی برخی پتانسیل‌های موجود در بیابان برای مهار بیابان‌زایی. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۷۲، ۷۳-۱۰۴.
۴. درویش‌صفت، علی‌اصغر، زارع، علیرضا، ۱۳۷۷. بررسی پتانسیل اطلاعات ماهواره‌ای در پهنه‌بندی پوشش گیاهی نواحی خشک و نیمه‌خشک. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۱ (۲۰): ۴۷-۵۲.
۵. رامشت، محمدحسین، سیف، عبدالله، محمودی، شبنم، ۱۳۸۹.

۱. آبکار، علی‌اکبر، مسگر، محمدسعیدی، میرقاسمی، سید ابوالفضل، ۱۳۸۵. ضوابط و دستورالعمل پردازش رقمی تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ در استخراج نقشه کاربری و پوشش اراضی مطالعات سامان‌دهی دشت. نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۳۵۶، ۵۲ ص.
۲. احمدی، حسن، ۱۳۷۷. ژئومرفولوژی کاربردی بیابان-فرسایش بادی (جلد ۲). تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۰ ص.

17. Kumar, M., Goossens, E., Goossens, R., 1993. Assessment of sand dune change detection in Rajestan (Thar) desert, India, *International Journal of Remote Sensing*, 14(9). p. 1689-1703.
18. Lancaster, N., 1995. Origin of Granddeserto sand sea, in *Desert Aeolian Processes*, Tchakerian, W. *Journal of Desert* 12(4):p:60-72: Capman&Hal.
19. Levin, N., Ben-Dor, E., Karnieli, A., 2004. Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images, *Remote Sensing of Environment*, 90(2). p. 190-209.
20. Livingstone, I., Wiggs, G. F. S., Weaver, C. M., 2007. Geomorphology of desert sand dunes: A review of recent progress, *Earth-Science Reviews*, 80(3-4). p. 239-257.
21. Mashhadi, N., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M. R., Feiznia, S., Fegghi, G., 2007. Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran), *BIABAN (Desert Journal)*, 12. p. 69-75.
22. Mashhadi, N., Amiraslani, F., Karimpour Reihan, M., 2006. A study on morphology of sand dunes in Khartouran erg, Semnan province, Iran, *Biaban*, 11(1). p. 233-225.
23. Misak, R. F. and Draz, M. Y., 1997. Sand drift control of selected coastal and desert dunes in Egypt: Case studies, *Journal of Arid Environments*, 35(1). p. 17-28.
24. Paisley, E. C. I., Lancaster, N., Gaddis, L. R., Greeley, R., 1991. Discrimination of active and inactive sand from remote-sensing Kelso dunes, Mojave Desert, California, *Remote Sensing of Environment*, 37(3). p. 153-166.
25. Pakzad, H. R., 2003. Sedimentary facies associations of the lower reaches of the Zayandeh River and the Gavkhouni playa lake basin (Esfahan province, Iran), Ph. D., Unpublished Ph.D. thesis, university of clauthal, Germany.
26. Pye, K. and Tsoar, H., 1990. Aeolian sand and sand dunes, Unwin Hyman Ltd.
27. Tsoar, H., Blumberg, D. G., Stoler, Y., 2004. Elongation and migration of sand dunes, *Geomorphology*, 57(3-4). p. 293-302.
28. Yao, Z. Y., Wang, T., Han, Z. W., Zhang, W. M., Zhao, A. G., 2007. Migration of sand dunes on the northern Alxa Plateau, Inner Mongolia, China, *Journal of Arid Environments*, 70(1). p. 80-93.
29. Zhang, Y., 2004. Understanding Image Fusion, *Photogrammetric engineering & remote sensing*. p. 657-661.
- بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از RS و GIS، فصلنامه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، شماره ۲، ۱۷-۲۵.
۶. شنایی‌جویباری، شعبان، نجارلو، سحر، جباری‌ارفعی، شعبان، معیری، هادی، ۱۳۸۶. ارزیابی قابلیت تصاویر چند طیفی و ادغام‌شده ماهواره‌های لندست ۷ و IRS-1D در تهیه نقشه گستره جنگل. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۴ (۵): ۱-۱۰.
۷. علوی‌پناه، سید کاظم، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. تهران، دانشگاه تهران، ۳۳۸ ص.
۸. علوی‌پناه، سید کاظم، متین‌فر، حمیدرضا، طاهری، محمدرضا، ۱۳۸۴. شناسایی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از دورسنجی. چکیده مقالات اولین همایش ملی فرسایش بادی، دانشگاه یزد، ۷۶-۷۵.
9. Bourke, M. C., Balme, M., Beyer, R. A., Williams, K. K., Zimelman, J., 2006. A comparison of methods used to estimate the height of sand dunes on Mars, *Geomorphology*, 81(3-4). p. 440-452.
10. Daniell, J. J. and Hughes, M., 2007. The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait, northern Australia, *Sedimentary Geology*, 202(4). p. 638-652.
11. Del Valle, H. F., Rostagno, C. M., Coronato, F. R., Bouza, P. J., Blanco, P. D., 2008. Sand dune activity in north-eastern Patagonia, *Journal of Arid Environments*, 72(4). p. 411-422.
12. El Gammal, E. S. A. and El Gammal, A. E. D. A., 2010. Hazard impact and genetic development of sand dunes west of Samalut, Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, In Press, Corrected Proof.
13. Fryberger, S. G. and Dean, G., 1979. Dune forms and wind regime, *Professional Paper: United states Geological survey*.
14. Goossens, E. M. C., de Roover, B. P., Goossens, R. E. A., 1993. A digital approach to the separation of parabolic sand dune areas from interdunal areas using Landsat MSS data, *Journal of Arid Environments*, 25(1). p. 131-140.
15. Hereher, M. E., 2010. Sand movement patterns in the Western Desert of Egypt: an environmental concern, *Environ Earth Sci*, 59. p. 1119-1127.
16. Hugenholtz, C. H., Levin, N., Barchyn, T. E., Baddock, M. C., 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook, *Earth-Science Reviews*, 111(3-4). p. 319-334.