

پایش نمکزار پلایای دامغان با پردازش داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی

فریبا اسفندیاری: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

نادر سرمستی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران *

محمدحسن فتحی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۵/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۲۷، صص ۲۹۰-۲۷۵

چکیده

سطح وسیع مناطق خشک و هزینه بالای پایش نمکزارها با روش‌های سنتی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را ضروری می‌نماید. داده‌های ماهواره‌ای به دلیل دید وسیع و یکپارچه برای این امور مناسب هستند. هدف از این پژوهش، پایش نمکزار پلایای دامغان با پردازش داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی می‌باشد. پایش نمکزار پلایای دامغان با استفاده از تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS-P6 در سال ۲۰۱۰ صورت پذیرفت. ابتدا پس از انجام تصحیحات لازم برای تفسیر چشمی در نرم‌افزار ILWIS3.3، از تکنیک پردازشی بهبود کنتراست و ساخت تصاویر رنگی کاذب استفاده گردید تا نمکزار به خوبی مشخص گردد. سپس قابلیت تفکیک‌پذیری باندها و نسبت‌گیری طیفی برای شناسایی و تفکیک نمکزار آزمون شدند. در نسبت‌گیری طیفی با توجه به خصوصیات سنجنده LISSIII، شاخص‌های نمکزار نسبتی (RSCI) و نمکزار تفاضلی نرمال‌شده (NDSCI) تعریف شدند. برای ارزیابی قابلیت تفکیک‌پذیری باندها و شاخص‌های نمکزار RSCI و NDSCI، پراکنش پیکسل‌های نمکزار و غیرنمکزار در هیستوگرام تصاویر بررسی شد. در نهایت با آستانه‌گذاری بر روی هیستوگرام تصاویر و ماتریس خطا، مشخص شد که شاخص‌های RSCI و NDSCI با دقتی برابر با $0/83$ و $0/87$ قابلیت تفکیک‌پذیری بالایی را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که شاخص‌های RSCI و NDSCI برای پایش نمکزار پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی در مقیاس منطقه‌ای کارآیی دارند و با به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی آن سریع‌تر صورت گرفته و عملیات پایش را می‌توان با صرف هزینه کم‌تر انجام داد.

واژه‌های کلیدی: نمکزار، پلایای دامغان، داده‌های ماهواره‌ای، نسبت‌گیری طیفی، آستانه‌گذاری.

مقدمه

مناطق وسیعی در جهان به عنوان یک امر مهم در توسعه و مدیریت منابع طبیعی تلقی گردید (دی‌جانگ، ۲۰۰۵: ۱۱۸). بدین منظور و در دهه‌های اخیر استفاده از تکنولوژی‌های جدید هم‌چون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به شدت افزایش یافته است (علوی‌پناه، ۲۰۰۴: ۳۵۱)، چرا که تصاویر ماهواره‌ای

نمکزارهای پلایاها به عنوان محیط‌های اکولوژیک همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است، زیرا دسترسی به این مناطق همواره به علت شرایط خاص آن مشکل و محدود بوده است (مترنیچت و زینک، ۲۰۱۰: ۳۲۴). در این شرایط پایش و ارزیابی چنین

انجام داده‌اند که به بعضی از آن‌ها اشاره می‌گردد. رضایی مقدم (۱۳۸۷) تحولات ژئومورفولوژیک پلاپای کهک استان خراسان جنوبی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که محدودیت‌های موجود در خصوص استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به منظور تهیه نقشه از مناطق تحت تأثیر نمک به چگونگی رفتار طیفی انواع نمک‌های موجود، توزیع مکانی نمک‌ها بر روی سطح زمین، تغییرات زمانی شوری، پوشش گیاهی به عنوان مانع و اختلاط‌های طیفی با سایر سطوح زمین بستگی دارد. فتحی و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی با به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای ASTER و LISSIII، تکنیک نسبت‌گیری بانندی و آستانه‌گذاری اقدام به شناسایی و ارزیابی پهنه‌های نمکی در پهنه کویری کاشان و مهارلو نمودند و توانستند با استفاده از ویژگی‌های انعکاس طیفی مواد نمکی، اقدام به آستانه‌گذاری پهنه‌های نمکی و استخراج این مناطق با تکنیک‌های دورسنجی بنمایند. فتحی و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و چندزمانی و شاخص NDWI و بازتاب طیفی مواد نمکی در محدوده باند مادون قرمز حرارتی و انعکاسی، خطوط ساحلی آبی و نمکی دریاچه ارومیه را به صورت رقومی و با دقت بالایی آستانه‌گذاری و استخراج نمودند. فریفته^۳ و همکاران (۲۰۰۸) شش محدوده طیفی را در خاک‌هایی که در

چندطیفی دارای مزایا و امتیازهایی هستند که در دسترس بودن و تفسیر رقومی آنها از مهم‌ترین امتیاز محسوب می‌شود (فاطمی، ۱۳۸۵: ۳۲). پایش نمکزارهای مناطق خشک پارامتری مهم در توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست می‌باشد (فتحی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۱) و نیاز به استخراج و تهیه نقشه‌های موضوعی در زمان‌های مختلف دارد (طاهرزاده، ۱۳۸۳: ۱۰۵) و به نظر می‌رسد فناوری سنجش از دور روش مؤثری جهت اخذ داده‌های مورد نیاز است. این روش فاقد محدودیت‌های زمانی و مکانی معمول می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۸: ۵۶). محدودیت‌های موجود در خصوص استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه از مناطق تحت تأثیر نمک به چگونگی رفتار طیفی انواع نمک‌های موجود، توزیع مکانی نمک‌ها بر روی سطح زمین، تغییرات زمانی شوری، پوشش گیاهی به عنوان مانع و اختلاط‌های طیفی با سایر سطوح زمین بستگی دارد (رضایی مقدم، ۱۳۸۷: ۲۲۱). وجود برخی ترکیبات مختلط با سطح نمکزارهای پلایاها از معضلاتی است که تفکیک نمکزار را با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای با مشکل روبه‌رو می‌سازد (ریچاردز^۲، ۲۰۰۴: ۶۷).

با استفاده از فناوری سنجش از دور، پژوهشگران زیادی پژوهش‌هایی را بر روی مناطق خشک کشورها

¹ Fathi

² Richards

متغیر را بهتر نشان می‌دهد. خان و همکاران (۲۰۱۰) از داده‌های ماهواره IRS-IB سنجنده LISSIII برای کلاسه‌بندی خاک‌های شور استفاده نمودند. آنها شاخص شوری SI، NDSI، شاخص گیاهی NDVI و شاخص درخشندگی (BI) را به کار بردند و عنوان نمودند که این شاخص‌ها بهترین شاخص برای مطالعه شوری هستند.

در مجموع هدف اصلی این پژوهش بررسی امکان پایش نمکزارها با تصاویر ماهواره‌ای در گستره فضایی مناطق خشک می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت نمکزارهای مناطق خشک، در این پژوهش پایش نمکزار پلاپای دامغان با استفاده از تصاویر سنجنده LISSIII مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

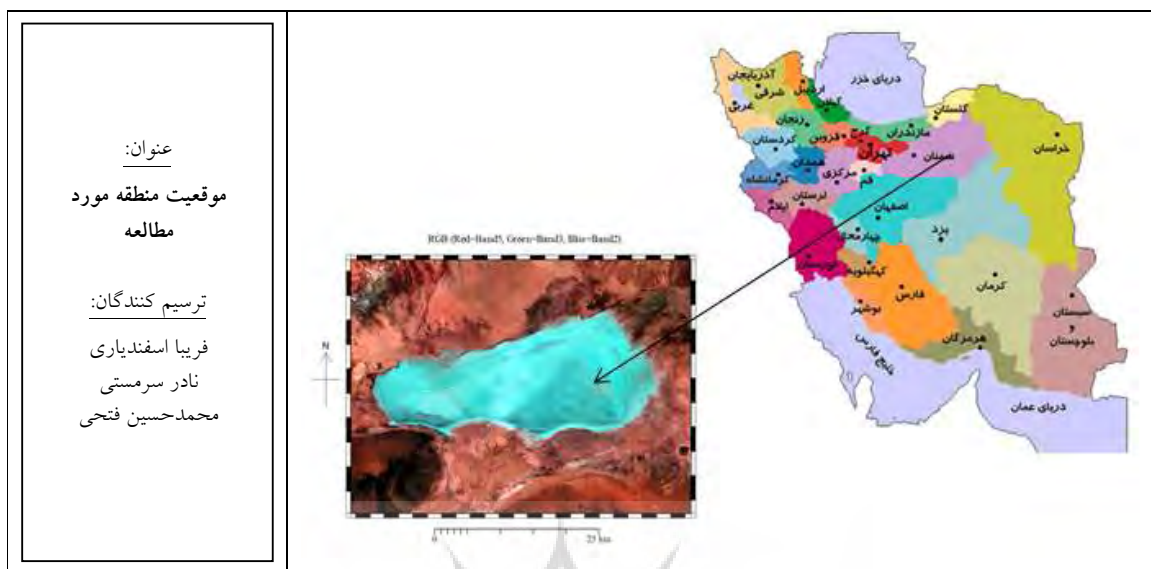
محدوده مورد مطالعه در این تحقیق نمکزار پلاپای دامغان می‌باشد که در ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی در جنوب شرقی شهرستان دامغان و شرق استان سمنان واقع شده است که دارای کشیدگی شرقی- غربی با وسعت ۲۴۷۴۷۰۰ هکتار می‌باشد (داداشی، ۱۳۸۲: ۱۰۲). مساحت پلاپای دامغان ۲۳۹۱۰۰ هکتار است که در آن کویر حاج علی‌قلی (چجرام) با مساحت ۴۶۶۰۰ هکتار واقع شده است (احسانی، ۱۳۸۰: ۵۸).

معرض شورشدن و قلیائیت متفاوت قرار گرفته‌اند؛ معرفی می‌کنند که شامل باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی هستند. نتایج نشان داده است که در شرایط رطوبتی پایین، نمک‌ها مقدار بازتاب بیشتری را در محدوده طیف مرئی مخصوصاً آبی نشان می‌دهند. بازتاب پایین در شرایط حضور آب هیگروسکوپیک در نمک‌های معدنی یا رطوبت زیاد در نمک‌های تازه، در باندهای مادون قرمز میانی اتفاق می‌افتد. نوع و آرایش کریستال‌های نمک و ساختمان آن نیز در میزان بازتاب مؤثر است. سیلاگ^۱ (۲۰۰۴) در زمینه محدوده‌های طیفی و باندهای مناسب برای طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر نمک مطالعه نمودند. نتایج نشان داده است که وقتی نوع نمک غالب کربنات سدیم باشد، محدوده طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک برای استفاده در طبقه‌بندی مفید می‌باشد. دیویدی^۲ و همکاران (۲۰۱۰) خاک‌های متأثر از شوری منطقه (ایندوگانگنیگ‌اوتارپرادش) هند را با استفاده از داده‌های لندست MSS طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از انواع تکنیک‌های پردازش تصویر نظیر آنالیز مؤلفه‌های اصلی، نسبت‌های طیفی و تفریق تصاویر استفاده شده و نتیجه‌گیری شده است که سومین مؤلفه اصلی و نسبت بین باندهای اول به دوم برای دو زمان فوق، اطلاعات مربوط به خاک‌های متأثر از نمک با رفتار

1. Csillag

2. Dwivedi

شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر LISSIII را در کشور نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS-P6 سال ۲۰۱۰ می‌باشد. این سنجنده دارای باندهای معادل TM2، TM3، TM4 و TM5 و قدرت تفکیک زمینی ۲۳/۵ متر برای باندهای نور مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی و عرض تصویربرداری آنها ۱۴۰ کیلومتر است (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۵۳). به منظور کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده و آگاهی از این که خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک تا چه حد در تصحیح سیستمی برطرف شده یا باقی مانده است، داده‌ها مورد بررسی و مشاهده قرار گرفتند. پس از نمایش باندها به صورت تک‌باندی و ترکیبات رنگی مختلف با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.7 که قابلیت نمایش و بزرگ‌نمایی بالایی دارد، به کمک بزرگ‌نمایی آنها در بخش‌های مختلف، تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتریکی نظیر راه‌راه‌شدگی، خطای زیر هم قرارگرفتن خطوط اسکن،

پیکسل‌های دوبله و همچنین اثرات اتمسفری نظیر ابر مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای تصحیحات استاندارد بودند.

روش‌ها

با توجه به هدف مطالعه که تفکیک نم‌گزار پلاپای دامغان و تهیه نقشه موضوعی آن با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد، لذا تکنیک‌های تفسیری چشمی تصویر رنگی کاذب، استفاده از تک‌باند، ترکیب نسبت بین باندها و آستانه‌گذاری به کار گرفته شد. در آغاز مبادرت به برش محدوده مورد مطالعه از کل تصویر گردید که این محدوده در بخش کوچکی از فریم کامل تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین‌گونه عملیات بعدی بر روی محدوده برش‌خورده انجام شد. در مرحله بعد به منظور تفکیک نم‌گزار از روی تصاویر موجود، تصاویر به نرم‌افزار ILWIS3.3 وارد شدند. پردازش داده‌ها به شرح مراحل زیر انجام گردید:

(سیگال^۷ و جیلپی^۸، ۲۰۱۱: ۱۵۳). با ترکیب باندهای باندهای مختلف سنجنده مورد استفاده، تعداد زیادی تصویر رنگی کاذب حاصل می‌شود که بهترین ترکیب رنگی مرز میان نمکزار و سایر پدیده‌ها را بهتر ظاهر می‌نماید. بعد از تولید بهترین ترکیب رنگی، ابتدا به وسیله تکنیک‌های بارزسازی مختلف شامل بسط خطی هیستوگرام^۹ و فیلتر بارزسازی لبه^{۱۰}، میزان کنتراست بین محدوده نمکزار و سایر پدیده‌ها افزایش داده شده و تصاویر برای تفسیر چشمی مناسب‌تر شدند و سپس با استفاده از عناصر اصلی تفسیر چشمی (شامل بافت^{۱۱}، تن^{۱۲}، شکل، رنگ، نقش^{۱۳}، سایه، موقعیت و غیره) خطوط مرزی نمکزار از روی تصویر به روش چشمی بررسی شد. جدول (۱) ترکیب‌های باندهای با مقادیر بالای شاخص OIF و شکل (۲) بهترین ترکیب رنگی حاصل از باندهای مختلف سنجنده مورد استفاده برای تفسیر چشمی نمکزار منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): ترکیب‌های باندهای با مقادیر OIF

نام منطقه	ترکیب باندهای	مقادیر OIF
دامغان	۲۳۴	۳۵/۰۱
	۲۳۵	۳۲/۱۱
	۲۴۵	۲۸/۲۴
	۳۴۵	۲۶/۳۵

مرحله نخست بارزسازی طیفی تصاویر می‌باشد. در این مرحله به منظور بررسی بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها از هیستوگرام تصاویر استفاده شد. بسط دادن دامنه تصویر به دامنه وسیع‌تری از مقادیر درجه روشنایی را بارزسازی طیفی یا بهبود کنتراست گویند که در اثر این بسط به دلیل وضوح بیشتر تصویر امکان متمایز شدن پدیده‌های بیشتری فراهم می‌گردد (لیلیسند و کی‌فر، ۱۳۸۰: ۱۳۲). به منظور بارزسازی و بهبود کنتراست تصاویر از روش تعدیل خطی هیستوگرام^۱ استفاده گردید که موجب متمایز شدن پدیده‌ها شده و شناخت آنها راحت‌تر صورت می‌گیرد.

در مرحله دوم با شاخص ترکیب بهینه باندهای (OIF)^۲ ترکیب رنگی کاذب (FCC)^۳ تولید شد. شاخص OIF از جمله روش‌های انتخاب ترکیب باندهای مبتنی بر معیارهای آماری تصاویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی است (مترینیچت، ۲۰۱۰: ۲۵۱). از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود (فرناندز^۴ و همکاران، ۲۰۰۶: ۵۳). در تصویر رنگی کاذب (FCC)^۵، رنگ قرمز به باند مادون قرمز، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود (جولدشلیجر^۶ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۰). اگر تصاویر رنگی کاذب به طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله خوش‌ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت

⁷ Siegal

⁸ Gillespie

⁹ Linear stretching

¹⁰ Edg enhancement filter

¹¹ Texture

¹² Tone

¹³ Pattern

¹ Linear Histogram

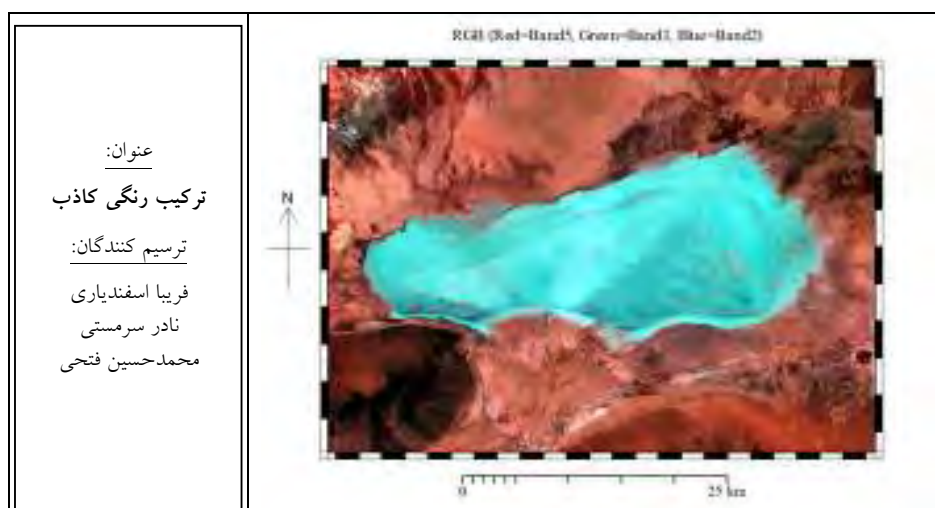
² Optimum Index Factor (OIF)

³ False Color Composite

⁴ Fernandez

⁵ False Color Composite Image

⁶ Goldshleger



شکل (۲): تصویر رنگی کاذب نمکزار پلایای دامغان با ترکیب باندهای ۲۳۴

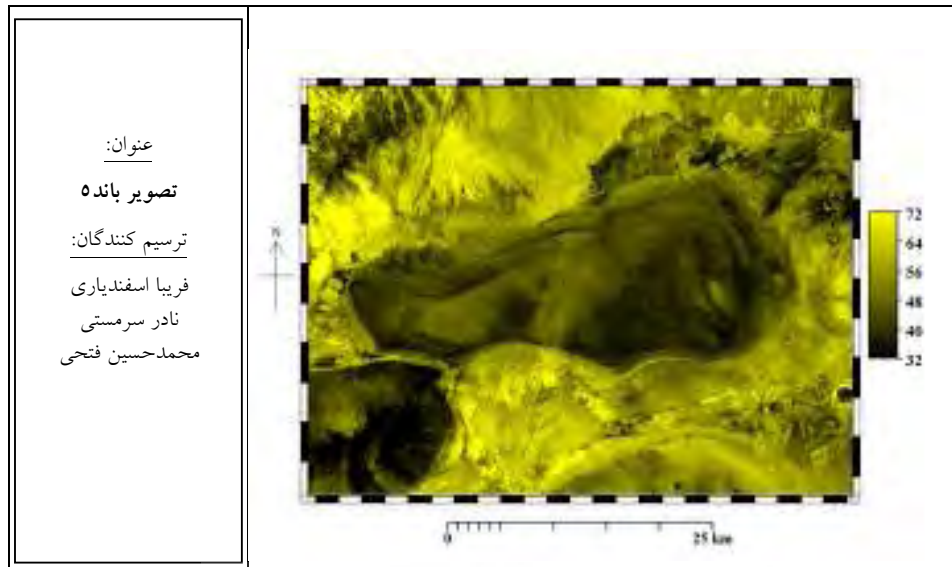
آن‌جایی که باندهای مربوط به محدوده مادون قرمز میانی نسبت به رطوبت نمک حساسیت بیشتری داشته و به سرعت توسط مولکول‌های آب موجود در نمک جذب می‌شوند، کم‌تر از باندهای مرئی تحت تأثیر ویژگی‌های سطحی نمک در نواحی خشک قرار می‌گیرند (کاراوانو^۳ و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵۳). بنابراین بنابراین در تفکیک پیکسل‌های خالص نمک از سایر پیکسل‌ها، برای این‌که نواحی غیرنمکی پلایا به عنوان محدوده نمک تلقی نشوند، لذا باندهای سنجنده LISSIII به عنوان باند مناسب برای استخراج نمکزار انتخاب گردید. در این تحقیق ابتدا مقادیر پیکسل‌های تصویر باندهای ۵ با استفاده از هیستوگرام آن بررسی شد که تصویر این باند همراه با هیستوگرام آن در شکل (۳) نشان داده شده است.

مرحله سوم از آستانه‌گذاری بر روی باندهای ۵ (باند مادون قرمز میانی) جهت تمایز نمکزار از سایر پدیده‌ها بهره می‌برد. از آن‌جایی که در پایش نمکزار با تصاویر ماهواره‌ای باید پیکسل‌های خالص نمک از سایر پیکسل‌ها تفکیک شوند لذا قابلیت باندهای مختلف تصاویر مورد استفاده برای این تفکیک‌پذیری بررسی شدند. در شرایط رطوبتی پایین، اراضی متأثر از نمک مقدار بازتاب بیشتری را در محدوده طیف مرئی مخصوصاً آبی نشان می‌دهند و بازتاب پایین در باندهای مادون قرمز میانی اتفاق می‌افتد (فریفته^۱ و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۵۷). با توجه به این‌که باندهای مرئی به علت این‌که بیشتر از سایر باندها در نمکزار متأثر از ویژگی‌های سطح نمک هستند، جهت تفکیک پیکسل‌های خالص نمک چندان مناسب به نظر نمی‌رسند (جوشی^۲ و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۶). ولی از

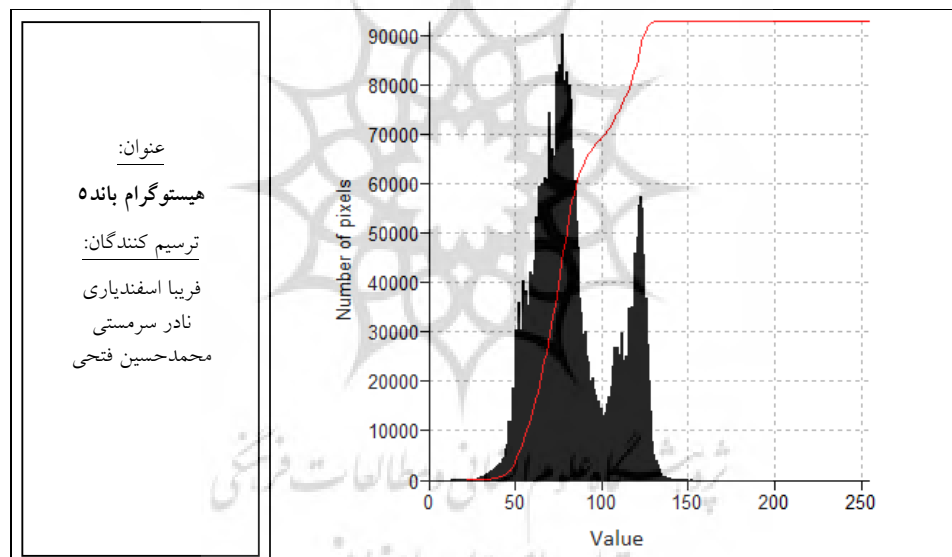
¹ Farifteh

² Joshi

³ Karavanova



(الف)



(ب)

شکل (۳): (الف) تصویر بانده سنجنده LISSIII، (ب) هیستوگرام آن

ساده‌ترین راه برای تفسیر نتایج محاسبات تصویری استفاده از حدآستانه^۱ است (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۶۲). حدآستانه مرزی برای فضای طیفی است که پایین‌تر از آن احتمال کمی برای پیکسل جهت ورود به یک کلاس فرضی وجود دارد و پیکسل مذکور به کلاس

بر اساس تحلیل شکل (۳)، هیستوگرام تصویر دارای دو بیشینه متمایز می‌باشد که مقادیر کم‌تر از ۱۰۰ جزء پیکسل‌های نمک می‌باشد، زیرا بانده مربوط به محدوده مادون قرمز میانی نسبت به رطوبت نمک حساسیت بیشتری داشته و به سرعت توسط مولکول‌های آب موجود در نمک جذب می‌شوند.

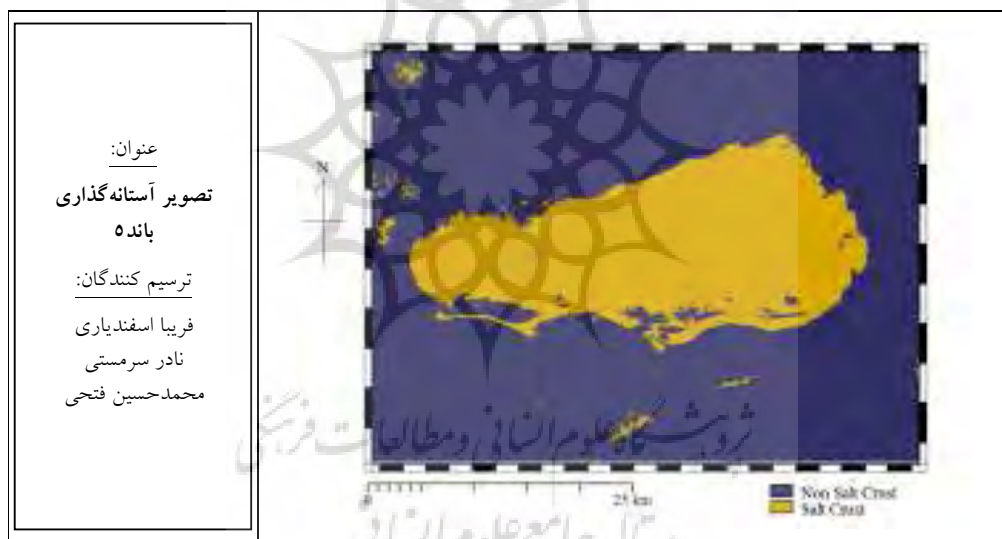
¹Threshold

پیکسل‌های مختلط یا پیکسل‌هایی که به نمک بودن آنها اعتماد بود به عنوان پیکسل‌های نمک طبق الگوریتم زیر به نرم‌افزار ILWIS معرفی گردیدند:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{IFF} [G_i(x) < 100, 0, 1]$$

که در رابطه (۱)، $G_i(x)$ مقادیر پیکسل‌های \bar{a}_m از تصویر است. در رابطه فوق مقادیر کم‌تر از ۱۰۰ شامل پیکسل‌های نمک و مقادیر بیش‌تر از آن پیکسل‌های غیرنمک هستند که به ترتیب عدد صفر و یک به آن نسبت داده شده است. با اجرای این الگوریتم توسط نرم‌افزار نقشه موضوعی نمکزار به دست آمد که در شکل (۴) نشان داده شده است.

ناشناخته یا غیر طبقه‌بندی شده اختصاص می‌یابد. اگر فاصله طیفی برای پیکسل X بزرگ‌تر یا مساوی آستانه معرفی شده باشد، پیکسل X در کلاس معرفی شده طبقه‌بندی می‌شود در غیر این صورت ناشناخته باقی می‌ماند (لیلیسند و کی‌فر، ۲۰۰۶: ۲۲۸). حد آستانه در این روش به گونه‌ای انتخاب می‌گردد تا کلیه پیکسل‌های نمک از سایر پیکسل‌ها متمایز گردند. در این حالت، تنها برخی از پیکسل‌های غیرنمک به اشتباه طبقه‌بندی می‌گردند اما این واقعیت برای پیکسل‌های نمک اتفاق نمی‌افتد. به پیکسل‌های نمک عدد صفر و به پیکسل‌های غیرنمک عدد یک نسبت داده می‌شود تا یک نقشه موضوعی تولید شود. لیکن



شکل (۴): نقشه موضوعی حاصل از آستانه‌گذاری تصویر بانده سنجنده LISSIII

مقادیر پیکسل‌های تصویر استفاده نمود (ویسمیلر^۱ و کامینسکای^۲، ۲۰۱۲: ۳۲۵). با ترسیم مقادیر میانگین درجه روشنایی^۳ پیکسل‌های تصویر، منحنی بازتاب‌های طیفی نمکزار به دست می‌آید که فرمول‌ها

در مرحله چهارم از عملیات نسبت‌گیری باندهای طیفی سنجنده LISSIII جهت استخراج نمکزار استفاده شد. در بررسی رفتارهای طیفی نمکزارها که منحنی طیفی دقیقی از آن‌ها به علت عدم دسترسی به راديو مترها در دست نیست، می‌توان از هیستوگرام یا

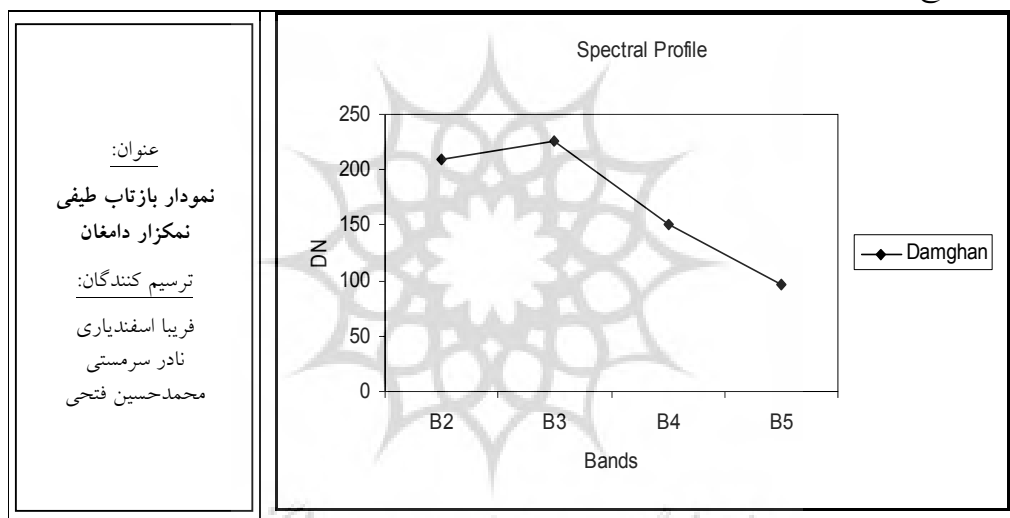
¹ Weismiller

² Kaminsky

⁹.Digital number

پژوهش تلاش شده تا شاخص‌هایی ارائه شوند که قادرند اطلاعات مربوط به نمکزارها را افزایش دهند. اهمیت این شاخص‌ها به نوع داده‌های مورد استفاده و درصد سطح پوششی نمک بستگی دارد. شکل (۵) منحنی میانگین بازتاب طیفی نمکزار دامغان در محدوده‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی سنجنده LISSIII را نشان می‌دهد که از مقادیر میانگین درجه روشنایی پیکسل‌های تصویر استخراج شده است.

و شاخص‌های مورد نظر از آن قابل استخراج هستند (کانون و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۱۶). به منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته روی اطلاعات نمک و همچنین افزایش اطلاعات مربوط به آن‌ها، می‌توان حداقل دو باند از سنجنده‌ها را ترکیب نموده و فرمول مرکبی ایجاد نمود (فتحی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۲۳). این فرمول‌ها تبدیلات ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای آشکارسازی پدیده‌ها در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی می‌شوند (بوروج، ۲۰۰۶: ۲۵۳). بنابراین در این



شکل (۵): نمودار میانگین بازتاب‌های طیفی نمکزار سنجنده LISSIII پلایای دامغان

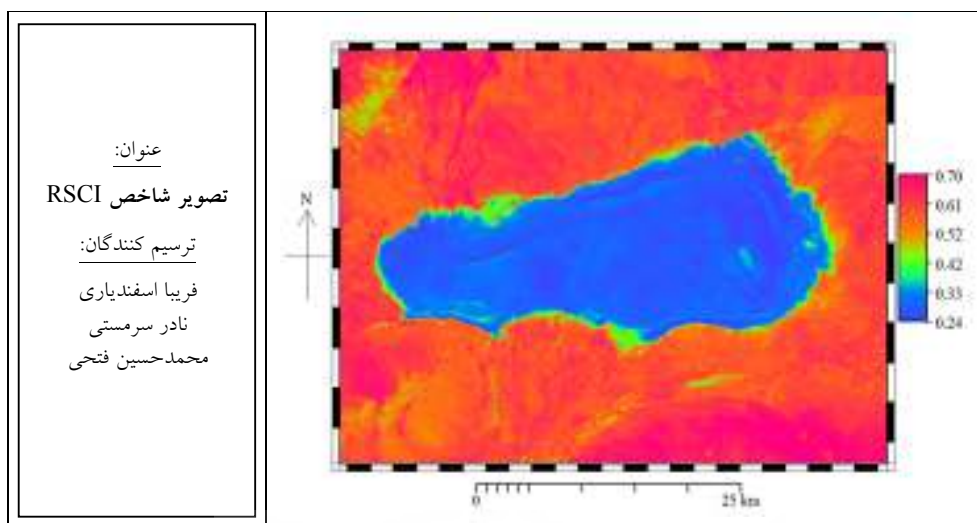
(الف) شاخص نمکزار نسبتی (RSCI): این شاخص به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\text{RSCI} = \text{LISSIII5} / \text{LISSIII3} \quad (۲) \text{ رابطه}$$

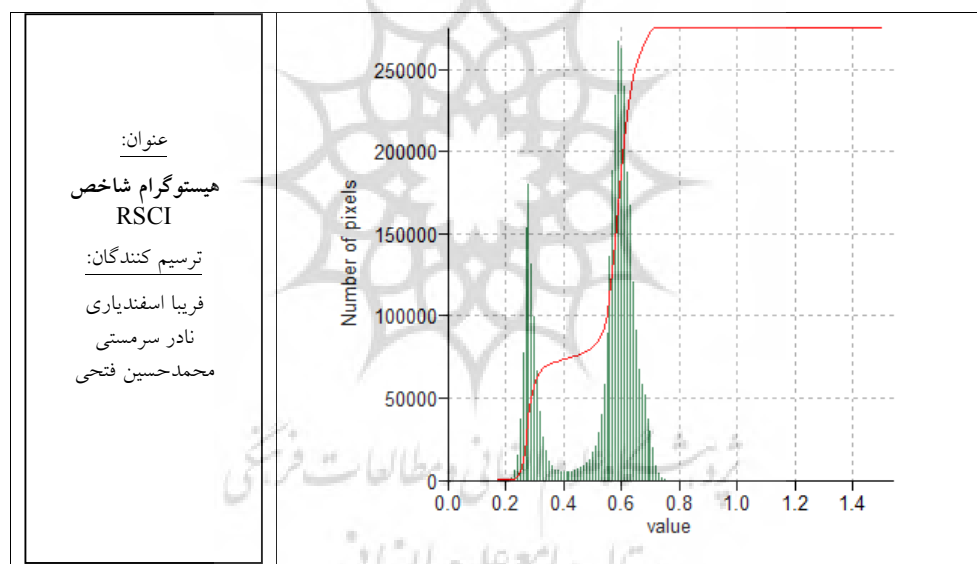
این شاخص از نظر محاسباتی دارای فرمولی ساده می‌باشد. بر طبق تعریف شاخص نمکزار RSCI با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده LISSIII، مقادیر این شاخص شدیداً به درصد سطح پوششی نمک در هر پیکسل بستگی دارد. شکل (۶) تصویر

بر اساس تحلیل شکل (۵) می‌توان دریافت که بیشترین بازتاب طیفی نمکزار در محدوده مرئی و کمترین بازتاب آن در محدوده مادون قرمز میانی می‌باشد. پس مقدار اختلاف بازتاب‌های طیفی نمکزار در بخش‌های مرئی و مادون قرمز میانی بسیار زیاد است و نسبت این باندها می‌تواند شاخص خوبی برای تشخیص آن باشد. در این پژوهش دو مورد از شاخص‌ها با توجه به خصوصیات سنجنده LISSIII ارائه و آزمون شده‌اند:

حاصل از شاخص نمکزار RSCI سنجنده LISSIII را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۶): (الف) تصویر شاخص RSCI سنجنده LISSIII، (ب) هیستوگرام آن

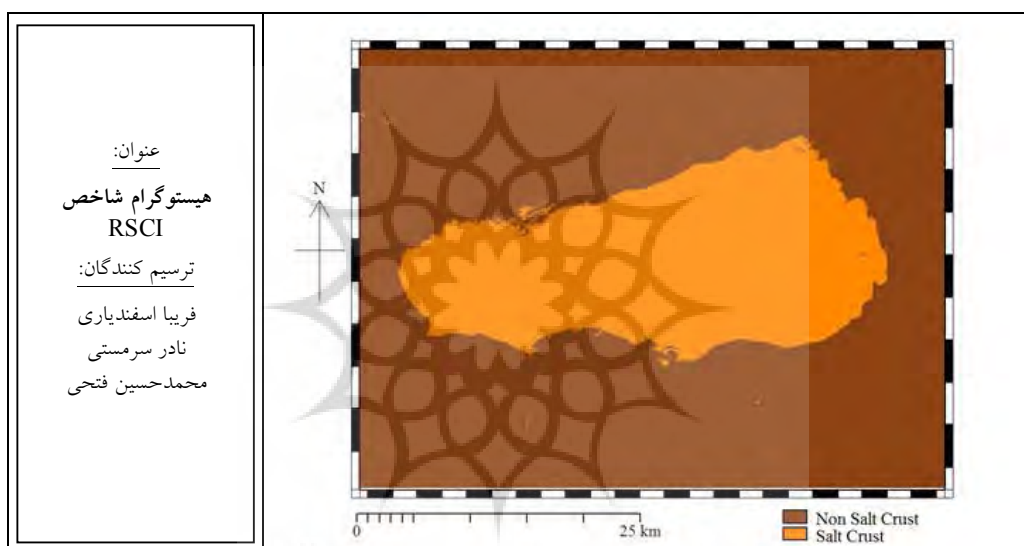
نشان‌دهنده مرز میان پیکسل‌های نمک و غیرنمک است. حدآستانه در این روش به‌گونه‌ای انتخاب می‌گردد تا کلیه پیکسل‌های نمک متمایز گردند. به پیکسل‌های نمک عدد صفر و به پیکسل‌های غیرنمک

بر اساس تحلیل شکل (۶)، هیستوگرام تصویر دارای دو بیشینه متمایز می‌باشد که مقادیر کم‌تر از $0/4$ جزء پیکسل‌های نمک می‌باشد. بنابراین یک مقدار حد آستانه بین این دو بیشینه به دست می‌آوریم که

که در رابطه (۳)، $G_i(x)$ مقادیر پیکسل‌های λ_m از تصویر است. در رابطه فوق مقادیر کم‌تر از 0.4 شامل پیکسل‌های نمک و مقادیر بیش‌تر از آن پیکسل‌های غیرنمک هستند که به ترتیب عدد صفر و یک به آن نسبت داده شده است. با اجرای این الگوریتم توسط نرم‌افزار نقشه موضوعی به‌دست آمد که در شکل (۷) نشان داده شده است.

عدد یک نسبت داده می‌شود تا یک نقشه موضوعی تولید شود. آستانه‌گذاری به نحوی صورت پذیرفت تا پیکسل‌های غیرنمک به جای نمک انتخاب نگردد. لیکن پیکسل‌های مختلط یا پیکسل‌هایی که به نمک‌بودن آنها اعتماد بود به عنوان پیکسل‌های نمک طبق الگوریتم زیر به نرم‌افزار ILWIS معرفی گردیدند:

$$\text{IFF } [G_i(x) < 0.4, 0, 1] \quad \text{رابطه (۳)}$$



شکل (۷): نقشه موضوعی حاصل از آستانه‌گذاری تصویر شاخص RSCI سنجنده LISSIII

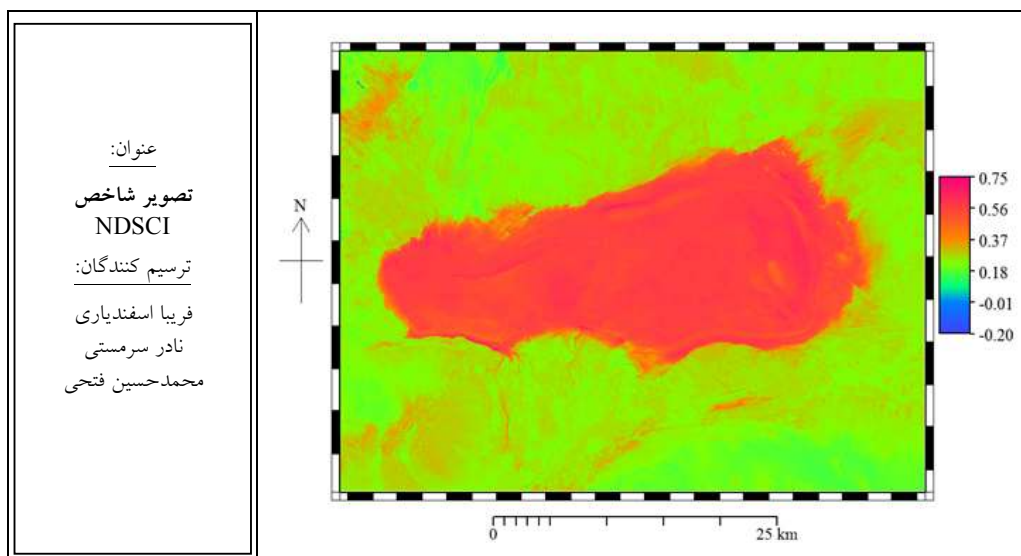
NDSCI با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده LISSIII، مقادیر این شاخص شدیداً به درصد سطح پوششی نمک در هر پیکسل بستگی دارد. شکل (۸) تصویر حاصل از شاخص نمکزار NDSCI سنجنده LISSIII را نشان می‌دهد.

(ب). شاخص نمکزار تفاضلی نرمال‌شده (NDSCI): این شاخص به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

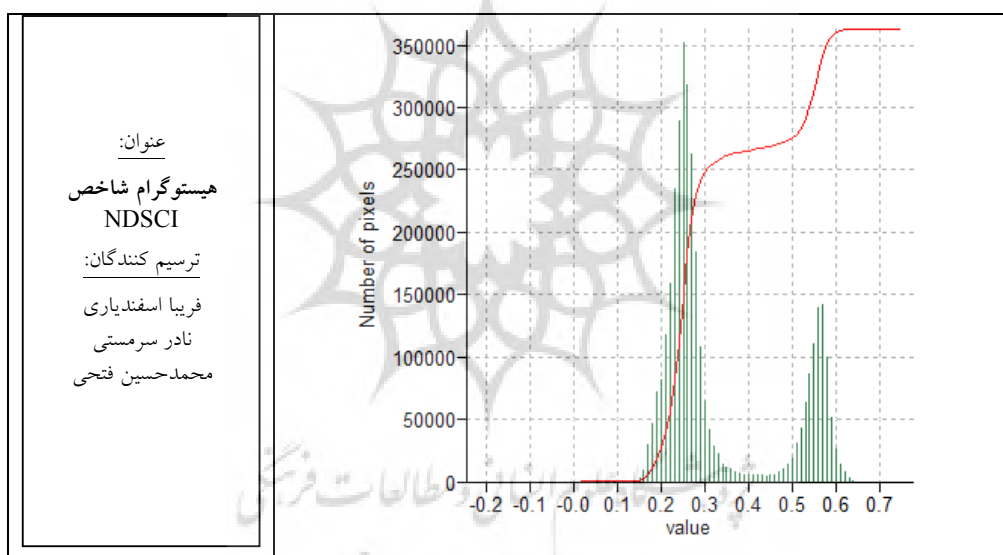
$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{NDSCI} = \text{LISSIII}3 -$$

$$\frac{\text{LISSIII}5}{\text{LISSIII}3 + \text{LISSIII}5}$$

این شاخص از لحاظ عملکرد، رفتاری مشابه شاخص نمکزار RSCI را دارد. بر طبق تعریف شاخص نمکزار



(الف)



(ب)

شکل (۸): (الف) تصویر شاخص NDSCI سنجنده LISSIII، (ب) هیستوگرام آن

می‌گردد تا کلیه پیکسل‌های نمک متمایز گردند. به پیکسل‌های نمک عدد صفر و به پیکسل‌های غیرنمک عدد یک نسبت داده می‌شود تا یک نقشه موضوعی تولید شود. آستانه‌گذاری به نحوی صورت پذیرفت تا پیکسل‌های غیرنمک به جای نمک انتخاب نگردد. لیکن پیکسل‌های مختلط یا پیکسل‌هایی که به

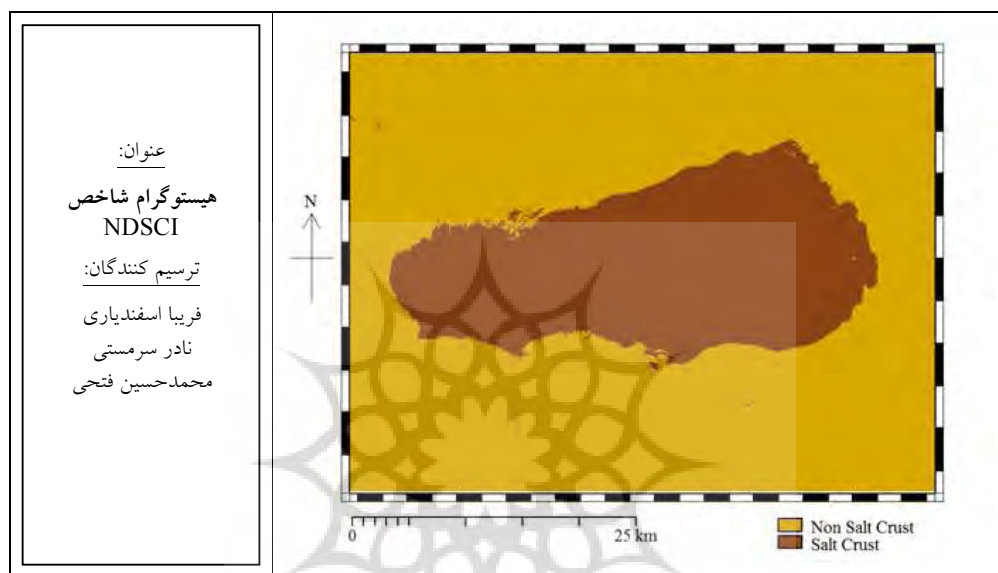
بر اساس تحلیل شکل (۸)، هیستوگرام تصویر دارای دو بیشینه متمایز می‌باشد که مقادیر بیش‌تر از $0/4$ جزء پیکسل‌های نمک می‌باشد. بنابراین یک مقدار حد آستانه بین این دو بیشینه به دست می‌آوریم که نشان‌دهنده مرز میان پیکسل‌های نمک و غیرنمک است. حد آستانه در این روش به‌گونه‌ای انتخاب

شامل پیکسل‌های نمک و مقادیر کم‌تر از آن پیکسل‌های غیرنمک هستند که به ترتیب عدد صفر و یک به آن نسبت داده شده است. با اجرای این الگوریتم توسط نرم‌افزار نقشه موضوعی نمکزار به دست آمد که در شکل (۹) نشان داده شده است.

نمک‌بودن آنها اعتماد بود به عنوان پیکسل‌های نمک طبق الگوریتم زیر به نرم‌افزار ILWIS معرفی گردیدند:

$$\text{رابطه (۵)} \quad \text{IFF} [G_i(x) > 0.4, 0, 1]$$

که در رابطه (۵)، $G_i(x)$ مقادیر پیکسل‌های λ_m از تصویر است. در رابطه فوق مقادیر بیش‌تر از $0/4$



شکل (۹): نقشه موضوعی حاصل از آستانه‌گذاری تصویر شاخص NDSCI سنجنده LISSIII

جدول (۱): ماتریس خطا مربوط به نقشه حاصل از بانده

کلاس	نمک	فاقد نمک	کل
نمک	۵۹	۲۴	۸۰
فاقد نمک	۳	۱۴	۱۴
کل	۶۲	۳۸	۱۰۰

جدول (۲): ماتریس خطا مربوط به نقشه حاصل از

شاخص RSCI

کلاس	نمک	فاقد نمک	کل
نمک	۵۸	۱۴	۷۴
فاقد نمک	۲	۲۶	۲۹
کل	۶۰	۴۰	۱۰۰

جهت ارزیابی نقشه‌های حاصل، چون نقشه واقعیت زمینی مناسبی برای اندازه‌گیری دقت نقشه تولید شده به روش نیمه اتوماتیک فوق وجود نداشت، لذا با تولید یک تصویر واقعیت زمینی، دقت کلی نقشه تولید شده برآورد گردید. به منظور تولید تصویر واقعیت زمینی، با استفاده از روش تفسیر چشمی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) تعدادی نمونه از کلاس‌های نمک و غیرنمک انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت و براساس آن ماتریس خطا تشکیل گردیده و میزان دقت کلی نقشه برآورد گردید که نتایج آن در جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول (۳): ماتریس خطا مربوط به نقشه حاصل

از شاخص NDSCI

کلاس	نمک	فاقد نمک	کل
نمک	۶۰	۷	۶۷
فاقد نمک	۱	۳۲	۳۳
کل	۶۱	۳۹	۱۰۰

براساس جداول فوق، میزان دقت نقشه حاصل از آستانه‌گذاری بانده ۵ حدود ۷۳ درصد، شاخص RSCI حدود ۸۳ درصد و شاخص NDSCI حدود ۸۷ درصد می‌باشد. به این ترتیب میزان دقت شاخص‌های RSCI و NDSCI حدود ۱۰ درصد و ۱۴ درصد بیشتر از دقت نقشه حاصل از آستانه‌گذاری بانده ۵ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

وجود برخی ترکیبات مختلط با سطح نمکزارها از معضلاتی است که تفکیک آنها را با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای با مشکل روبه‌رو می‌سازد. در این پژوهش تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تفسیر چشمی بهترین ترکیب رنگی کاذب، استفاده از تک‌باند، نسبت‌گیری طیفی و آستانه‌گذاری در پایش نمکزار دامغان با داده‌های ماهواره‌ای سنجنده LISSIII آزمون شدند. پس از به دست آوردن نقشه‌های موضوعی، در نهایت دقت تکنیک‌های مختلف به صورت کیفی و کمی ارزیابی گردید. در تفسیر چشمی، ترسیم دقیق مرز نمکزار دشوار بوده و شناسایی موقعیت دقیق خط مرزی نمکزار از روی تصویر رنگی کاذب معمولاً با خطاهایی همراه می‌شود. نتایج حاصل از تفسیر چشمی تصاویر رنگی استفاده شده در تفکیک نمکزار نشان داد که یکی از مشکلات اساسی، تشخیص ضعیف خط مرزی توسط مفسر به دلیل عواملی چون

وجود پیکسل‌های مخلوط^۱ و عدم وجود کنتراست مناسب در تمایز نمکزار از سایر پدیده‌های مشابه با آن از نظر ویژگی‌های طیفی می‌باشد. با توجه به متغیر بودن خطوط مرزی نمکزار که جزء ویژگی‌های طبیعی آن می‌باشد، ارزیابی آن با تفسیر چشمی چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. لذا در این پژوهش از تکنیک آستانه‌گذاری بر روی تصاویر حاصل از بانده ۵ و نسبت‌گیری طیفی برای تفکیک نمکزار استفاده شد. لازم به ذکر است که انتخاب مقدار آستانه در این پژوهش با روش آزمون و خطا صورت گرفت. بررسی بازتاب‌های طیفی نمکزار در باندهای مختلف سنجنده LISSIII می‌تواند به مطالعه و شناسایی آن کمک شایانی بنماید. فاکتور مهم شناسایی نمکزار در نسبت‌گیری طیفی انتخاب بهینه باندها می‌باشد. دقت نتایج بستگی زیادی به ترکیب باندهایی دارد که برای نسبت‌گیری طیفی استفاده می‌شوند. محدوده مرئی و مادون قرمز میانی باندهای طیفی سنجنده LISSIII برای شناسایی و تفکیک نمکزار مناسب هستند. دلیل این امر بازتاب شدید نمکزار در باند مرئی و جذب شدید آن در باند مادون قرمز میانی می‌باشد. با ایجاد نسبت میان باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز میانی سنجنده مذکور می‌توان مناطقی که دارای درصد نمک بالایی هستند را بارز و تشخیص داد. پس با انتخاب دقیق باندهای طیفی مرئی و مادون قرمز میانی و ایجاد نسبت بین آنها، نمکزار بهتر تشخیص داده می‌شود. در این پژوهش، بر اساس تحلیل بازتاب طیفی نمکزار دامغان در تصاویر باندهای مختلف سنجنده LISSIII و نسبت‌گیری طیفی، شاخص‌های RSCI (شاخص

¹⁷.Mixed pixel

رضایی مقدم، محمدحسین (۱۳۸۷)، بررسی تحولات ژئومورفولوژیک پلايای کهک، استان خراسان جنوبی براساس روش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی، مجله جغرافیا و توسعه، ص. ۶۰-۴۳.

طاهرزاده، محمدحسن (۱۳۸۳)، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی اراضی شور منطقه جنوب و جنوب‌غربی اهواز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

علوی پناه، سیدکاظم (۱۳۸۵)، ارزیابی باند حرارتی TM ماهواره لندست در مطالعات خاک در مناطق بیابانی، مجله بیابان، ج. ۳، ش. ۲۱، ص. ۶۴-۵۱.

علوی پناه، سیدکاظم (۱۳۸۸)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۴۷۸.

لیلیسند و کی‌فر، ترجمه مهندس حمید المامیریان (۱۳۸۰)، پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات سازمان جغرافیایی، ص ۲۱۰.

Alavi Panah, S.K., Goosens, R., Dedapper, M., (2004). Study of soil salinity in the Ardakan area, Iran based upon field observation and remot sensing., Oprational remote sensing for sustainable development., Bolkema, Rotterdam, PP. 419-426.

Burrough, P., (2006). Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. Journal Soil Science. Vol.40, PP.477-492.

Cannon, M., McKenzie, R., & Lachapelle, G., (2008) Soil salinity mapping with electromagnetic induction and satellite-based navigation methods. Canadian Journal of Soil Science., Vol.74, PP.335-343.

Csillage, F., Pasztor, L., Beihl, L., (2004). Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils., Remote Sensing of environment., Vol. 43, PP. 231-242.

نمکزار نسبتی) و NDSCI (شاخص نمکزار تفاضلی نرمال‌شده) برای پایش نمکزار پیشنهاد شد که این شاخص‌ها آثار ناخواسته را کاهش داده و اطلاعات مربوط به نمکزارها را افزایش می‌دهند. با اعمال آستانه‌گذاری بر روی تصاویر بانده ۵ و شاخص‌های RSCI و NDSCI، نقشه نمکزارهای مناطق مورد مطالعه تهیه شد. دقت نقشه‌های حاصل از آستانه‌گذاری بر روی تصاویر بانده ۵ و شاخص‌های RSCI و NDSCI به ترتیب ۷۳، ۸۳ و ۸۷٪ نشان داد که شاخص‌های RSCI و NDSCI در تفکیک نمکزار دامغان از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده LISSIII کارایی دارند. با توجه به این‌که نتایج حاصل از پردازش و تفسیر داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به واقعیت زمینی نزدیک است و از صحت قابل قبولی برخوردار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که تهیه نقشه نمکزار دامغان با به کارگیری داده‌های سنجش از دور سریع‌تر صورت گرفته و عملیات پایش را با صرف هزینه کم‌تر انجام داد.

منابع

احسانی، هوشنگ (۱۳۸۰)، بررسی و تفکیک خاک های حاشیه پلايای با استفاده از داده های رقومی سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست در منطقه دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص ۱۹۹.

فاطمی، سیدباقر (۱۳۸۵)، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، چاپ اول.

داداشی، اکبر (۱۳۸۲)، زمین شناسی شرق دریاچه نمک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.

- Gold Shleger, N., Bende, E., Benyamini, Y., Agassi, M., & Blumber, D., (2008). Characterization of soils strutral crust by spectral reflectance in the SWIR region (1.2-2.5 AM). *Terra Nova.*, Vol. 13., PP. 12-17.
- Joshi, M.D, B. Sahai, (2009). Mapping of salt affected land in Saurashtra coast using Landsat Satellite data., *International Journal of Remote Sensing.* Vol. 14, PP. 1919-1929.
- Karavanova, E. I. et al., (2009). Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semi-arid Uzbekistan.
- Khan, M. n, & Y .Sato., (2010). Land degredation duo to hydro-salinity in semi-arid regions using GIS and remote sensing. *Agricultural water management.*, Vol. 77., PP. 96-109.
- Lililand, T. M. & R. W. Keifer, (2006). *Remote sensing and image interpretation*”, University of Wisconsin Madison, PP. 735.
- Metternicht, G., Zink, J., (2010). Spatial discrimination of salt and sodium affected soil surface. *INT. J. Remote Sensing.*, Vol. 18., NO. 12., PP. 2571-2586.
- Metternicht, G., (2010). Assesing temporal and spatial changes of salinity using Fuzzy logic, remote sensing and GIS Foundations of an expert system., *Ecological Modeling.*, Vol. 144., PP. 163-179.
- Metternicht, G., Zinck, J. A., (2011). Remote sensing of soil salinity: Potentials and Consraints. *Remote sensing of environment.*, Vol. 85., PP. 1-20.
- Richards, J. A., (2004). *Remote sensing digital image analysis: An Introduction.*
- Siegal, B., & Gillespie, (2011). *Remote sensing in geology.* New York: Willey.
- Weismiller, R. A, & S. A. Kaminsky, (2012). Application of remote sensing technology soil survey research. *J. Soil water conservation.* 33:288.
- Dejong, S. M., & Van Der Meer, F. D., (2005). *Remote Sensing Image Analysis, Including the spatial domain.*, Vol. 5., Springer Press., 359 PP.
- Dwivedi, R. S., & K. Sreenivs, (2010). Image transformation as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics”, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 19, PP. 605_619.
- Dwivedi, R. S., & Rao, B. R. M., (2008). The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils, *International Journal of remote sensing.*, Vol.13, PP.2051-2058.
- Fathi,M.H., Sarmasti,N., Pashapour. H., Gabcheluo.G., Hatami.I., Ayase.F.,(2013). Identification Salt Crusts by using ASTER and LISSIII Data’s, Case Study: Regions of Iran.,*Seceond International Conference On Environmental Hazards,Tehran-Iran.*
- Fathi,M.H., Sarmasti,N., Pashapour. Ayase.F., Ashrafi feini.z.,(2014)., Evaluating coastlines changes with Multi-spectral satellite imagery processing and NDWI index Case Study: Uremia tectonic Lake., the 32nd National & the 1st International Geosciences Congress., Uremia.,Iran.
- Farifteh, J. A. & R. J. Farshad, (2006). Assessing salt affected soils using remote sensing, *Solute modeling and geo.*, Vol. 130, PP. 191_206.
- Farifteh, J., F.Van Der Meer, M. Van Der Meijdi & C. Atzberger, (2008). Spectral characterization of salt affected soils, A laboratory experiment. *J. geo.*, Vol. 145, PP. 196_206.
- Fernandez-Buces, N., C. Siebe, S. Cram & J. L .Palacio, (2006). Mapping soil salinity using combined spectral responses index for bar soil and vegetation: A case study in the Hormer Lake Taxaco, Mexico. *Journal of Arid Environment.*, Vol. 65., PP. 644-667.