

بررسی کارایی تصاویر سنجنده‌ی TM-5 در تعیین تغییرات عمق نسبی و مساحت دریاچه پَریشان

مهران مقصدی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، تهران*
سعید گودرزی‌مهر: کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
فرزام خسروی: کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
سعید رحیمی‌هرآبادی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۳/۲ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۱۰، صص ۱-۱۶

چکیده

پایش اطلاعات در خصوص وضعیت دریاچه‌ها و تالاب‌های کشور یکی از مهمترین عوامل حفاظت از محیط زیست است و اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران حوزه محیط زیست قرار می‌دهد. در این راستا استفاده از روش‌های کم هزینه‌تر و سریع‌تر می‌تواند بسیار راهگشا باشد. فناوری سنجش از دور به عنوان یکی از جدیدترین روش‌های مطرح در این زمینه همواره در بسیاری از مطالعات زیست محیطی مورد استفاده بوده است. از این رو در این پژوهش دو پارامتر کلیدی عمق نسبی و وسعت دریاچه در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹ میلادی و بر مبنای استفاده از تصاویر سنجنده TM-5 مورد بررسی قرار گرفت و با مقایسه روش SID در مقابل SAM و BEC، و همچنین استفاده از فیلتراسیون Sieve، روش بکار رفته به عنوان روشی کارآمد برای تعیین مساحت دریاچه مطرح گردید و با استفاده از ۴ باند اول این سنجنده تغییرات عمق نسبی به روش Log Ratio Transform در دو سال پایش شد. نتایج نشان دادند روش SID با ۲۰ درصد افزایش دقت در زمینه تفکیک محدوده دریاچه، عملکرد بهتری نسبت به دو روش دیگر دارد. تغییرات محاسبه شده برای وسعت دریاچه حاکی از ۴۶/۴۲٪ درصد افزایش مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۹ نسبت به سال ۱۹۸۵ است همچنین تغییرات عمق محاسبه شده نیز حاکی از افزایش ناحیه با عمق متوسط دریاچه در سال ۱۹۹۹ نسبت به قبل است و بطور کلی پستی و بلندی‌های کف دریاچه تغییر قابل توجه و معناداری در این دو سال داشته است. این پژوهش نشان داد تصاویر لندست TM-5 می‌تواند در بررسی تغییرات عمق نسبی دریاچه‌های کم عمق و همچنین تغییرات مساحت دریاچه استفاده گردند و برای مطالعات آتی به عنوان روشی کارآمد مطرح باشند.

واژه‌های کلیدی: عمق نسبی، روش SID، سنجنده‌ی TM-5، تغییرات دوره‌ای، دریاچه پَریشان.

مقدمه

اغتشاش محیطی در آن‌ها، به شدت بر روی دیگر پارامترهای زیستی تأثیرگذار است. در مطالعات انجام شده در مورد وضعیت دریاچه‌ها، علاوه بر پارامترهای مربوط به کیفیت آب، پارامترهای دیگری چون تغییرات عمق نسبی و مساحت دریاچه نیز تا حد

دریاچه‌ها و تالاب‌ها یکی از غنی‌ترین ذخیره‌گاه‌های منابع زیستی در سیستم‌های محیطی است. که در عین حال مناطقی آسیب پذیر و شکننده در برابر تغییرات محیط محسوب می‌شوند. از این رو وقوع هر نوع

ساختاری غیرخطی، نتیجه بهتری ارائه می‌کند. یک پروسه خودکار به منظور استخراج اطلاعات مربوط به عمق آب با تصاویر آیکونوس و با استفاده از یک مدل وارونگی غیرخطی^۴ در سال ۲۰۰۸ ارائه شد، که روند استخراج اطلاعات را تسریع می‌کند (Haibin SU et al, 2008: 290). مطالعات عمق یابی با استفاده از تصاویر ابرطیفی، اولین بار در سال ۲۰۰۹ و با استفاده از داده‌های ابرطیفی هوابرد CASI-2 و بر روی خلیج موریتان واقع در ساحل شرقی استرالیا، انجام شد. در این مطالعه، علاوه بر عمق سنجی، به ارزیابی و بررسی کیفیت آب نیز پرداخته شد (Brando, et al, 2009: 763). در همین سال با ارائه مدلی به نام FIM^۵ که مدلی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور، اطلاعات مربوط به آب، داده‌های هواشناسی و اتمسفری بود، ارتباط کامل تری بین سنجش از دور و سایر زمینه‌ها برقرار شد، تا دقت کار عمق‌یابی افزایش یابد (Legleiter and Roberts, 2009: 1036). در سال ۲۰۱۰، تروفایر^۶ و همکارانش در قالب پژوهشی، قابلیت داده‌های ENVISAT ASAR را در تشخیص میزان افزایش یا کاهش مساحت سطح دریاچه آب گرم واقع در شبه جزیره یامال، مورد بررسی قرار دادند. بررسی روش «شبکه عصبی مصنوعی» نیز در عمق‌یابی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، توسط کیهون و یالکیم^۷ در سال ۲۰۱۰ مطرح گردید. نقشه‌برداری و عمق‌یابی آب‌های کم‌عمق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابرطیفی HyMap در سال ۲۰۱۱ انجام شد که دقت طبقه‌بندی نسبتاً مطلوبی برای

زیادی بیانگر وضعیت دریاچه‌ها بوده است و اطلاعات با ارزشی در مورد روند تغییرات رخ داده در دریاچه ارائه می‌کند. بنابراین برآورد تغییرات و پایش دوره‌ای تغییرات توپوگرافی کف و مساحت دریاچه از عوامل مهم و کلیدی در این زمینه است. اما تعیین و اندازه‌گیری این دو عامل خود امری دشوار است چرا که استفاده از روش‌های رایج زمینی برای تهیه‌ی عمق‌نسبی و مساحت دریاچه، امری بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است (Liu et al. 2003:24). پیشینه تخمین و اندازه‌گیری عمق دریاها و اقیانوس‌ها با استفاده از فناوری سنجش از دور، به دوران جنگ جهانی دوم بر می‌گردد که تکنیک‌های فتوگرامتری با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی برای اندازه‌گیری عمق نواحی نزدیک به ساحل اقیانوس آرام مورد استفاده قرار می‌گرفت (lundahl, 1948: 454) و زمینه ساز بسیاری از مطالعات در این حوزه شد. میسر^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۴، عمق‌یابی مربوط به منطقه‌ای در اطراف جزیره‌ی روتانا در هندوراس را با استفاده از تصاویر چندطیفی و با قدرت تفکیک مکانی بالای آیکونوس انجام دادند (Mishra et al, 2004: 301). فونستاد^۲ و همکارانش (۲۰۰۵) با استفاده از سنجش از دور و داده‌های هیدرولیکی مربوط به آب، مطالعات عمق‌یابی را انجام دادند. وانگ^۳ و همکارانش (۲۰۰۷)، مدلی را برای بررسی رابطه بین اندازه‌گیری‌های حاصل از عمق‌سنجی‌های میدانی و داده‌های ETM+ در قالب روش شبکه‌های عصبی مورد آزمایش قرار دادند و نشان دادند که روش شبکه‌های عصبی، با داشتن

⁴ Non-Linear inversion model

⁵ Forward Image Model

⁶ Trofaier

⁷ Ceyhun and Yalçın

¹ Mishra

² Fonstad

³ Wang

نقش کلیدی در پیش‌بینی روند تغییرات آن در آینده داشته است لذا ارزیابی روشی مبتنی بر تصاویر چند طیفی و با هزینه بسیار کمتر، می‌تواند بسیار کارگشا باشد. در همین راستا در این پژوهش تلاش شد تا با استفاده از روش‌های مبتنی بر تحلیل بازتاب طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و بدون اندازه‌گیری‌های میدانی، وضعیت یکی از مهمترین و بزرگترین دریاچه‌های آب شیرین کشور به لحاظ تغییرات نسبی عمق و مساحت، در دو سال ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹ میلادی مورد بررسی و تحلیل قرار بگیرد. به همین منظور از باندهای غیر حرارتی سنجنده TM-5 از ماهواره‌ی لندست استفاده گردید.

منطقه مورد مطالعه

ذخیره‌گاه بیوسفر ارژن و پریشان در استان فارس قرار گرفته است. در این محدوده دوتالاب ارژن و پریشان در ۱۲ کیلومتری شرق کازرون قرار دارند. دریاچه پریشان در مختصات جغرافیایی $29^{\circ}25'37''$ تا $29^{\circ}35'58''$ عرض شمالی و در $51^{\circ}41'42''$ تا $51^{\circ}56'53''$ طول شرقی انطباق دارد (شکل ۱). این دریاچه، بزرگترین دریاچه آب شیرین استان فارس و محیط زیستی مناسب برای جانداران منطقه به حساب می‌آید که در یک فرونشست تکنونیک و در بستر دره‌ای نسبتاً پهن از آهک‌های کارستی به صورت پولزه^۵ ایجاد شده است (داداشی آرانی، ۱۳۹۰: ۳۲) و حاصل عملکرد دو گسل نرمال ارژن و دوردانه به صورت تناوبی از هورست و گرابن هستند. دبی آب چشمه‌های تغذیه کننده در سال‌های خشکسالی به

عوارض کف آب بدست آورد (Fearn, et al, 2011: 1249). ایجامولانا^۱ و همکارانش، در سال ۲۰۱۱ به بررسی تغییرات دریاچه نایواشا واقع در کنیا پرداختند. در پژوهش آن‌ها از تصاویر سری زمانی سنجنده‌های ASTER و ETM+ و روش شی‌گرا استفاده شد. همچنین مطالعه‌ی مشابهی در سال ۲۰۱۲ و با استفاده از همین روش صورت پذیرفت (Ijumulana, et al, 2011). در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۲ بر روی دریاچه باندرابان در بنگلادش و به منظور شناسایی تغییرات دریاچه طی سه سال صورت گرفت، داده‌های Google Earth و نیز تجزیه و تحلیل‌های GIS، مبنای کار قرار گرفت. در راستای بررسی تغییرات وسعت دریا و دریاچه، بریگانه^۲ و همکارانش (۲۰۱۲)، از روش‌های SAM، MF، SAM/MF و شاخص‌های NDVI و NDWI بهره گرفتند و از تصاویر چندطیفی برای مقایسه‌ی آن‌ها در ساحل آبروزو^۳ استفاده کردند. طی جدیدترین تحقیقات صورت گرفته، مدلی جدید به نام BOMBER در سال ۲۰۱۲ توسط گیاردینو^۴ و همکارانش ارائه شد. که با استفاده از آن می‌توان هم ویژگی‌های سطح آب و تغییرات آن‌ها و هم خصوصیات و ویژگی‌های عوارض کف را مورد بررسی و آنالیز قرار داد. با توجه به این موضوع که در سال‌های قبل، بسیاری از مطالعات مربوط به بررسی عمق دریاچه‌ها، با استفاده از مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی صورت می‌گرفته است که بسیار پرهزینه نیز بودند و با توجه به این نکته که در بسیاری از این مطالعات دانستن وضعیت دریاچه در سال‌های قبل،

¹. Ijumulana

². Briganete

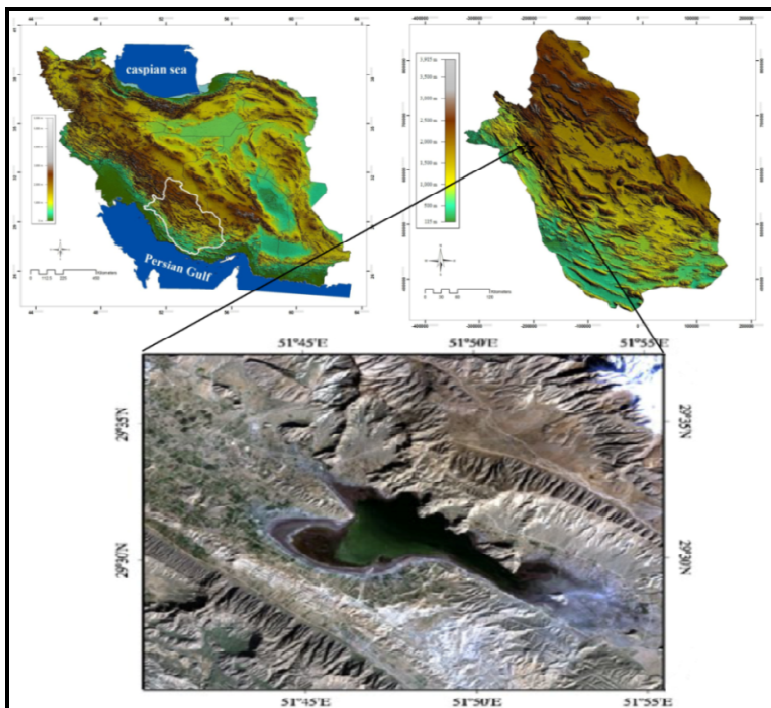
³. Abruzzo

⁴. Giardino

^۵ پولیه یا پولزه در تعریف، یک افتادگی بزرگ در درون سازندهای سازندهای کارستی است که به صورت دشت در آمده است.

کلی خشک شده‌اند و همین امر یکی از دلایل کاهش آب دریاچه بوده است. شکل شماره (۲) قسمتی از دریاچه پریشان و ارتفاعات شمال آنرا نمایش می‌دهد.

شدت کاهش یافته است. البته در خشک شدن برخی از چشمه‌ها زلزله‌های اخیر هم موثر بوده است به طوری که در اثر زلزله، تعدادی از چشمه‌ها به طور



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و تصویر TM-5 از دریاچه پریشان

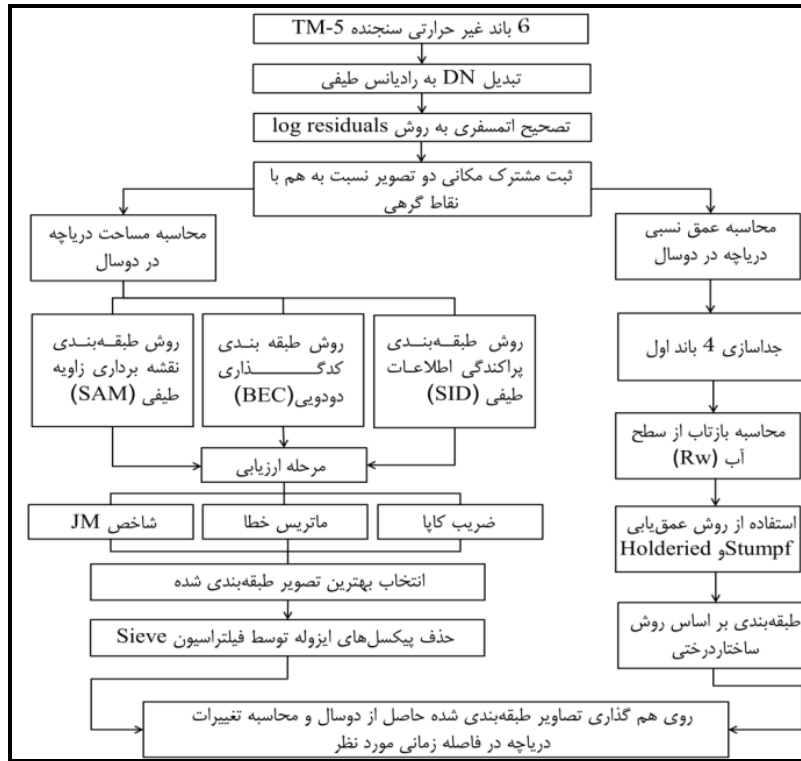
مساحت دریاچه در دو سال ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹ میلادی مورد استفاده قرار گرفت و سعی شد تا داده‌هایی استفاده شود که در هر دو سال مذکور، تقریباً در یک ماه از سال اخذ شده باشند تا تغییرات محاسبه شده، ناشی از تغییرات فصلی نباشد. از آنجائیکه در بررسی تغییرات، پیش پردازش تصاویر از نکات کلیدی و تاثیرگذار بر نتیجه محاسبات خواهد بود در ادامه به شرح هریک پرداخته می‌شود (شکل ۳).



شکل ۲. دریاچه پریشان و ارتفاعات شمال این دریاچه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تصاویر غیر حرارتی سنجنده TM-5 از ماهواره لندست برای بررسی عمق‌نسبی و تغییرات



شکل ۳. فلوجارت مراحل مورد استفاده برای تعیین تغییرات عمق نسبی و مساحت دریاچه پریشان

۱- پیش پردازش داده‌ها

به طور کلی پیش پردازش داده‌ها شامل دو مرحله کلی تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات هندسی است که تصحیحات رادیومتریکی نیز تا مرحله‌ی تبدیل DN^۱ به رادیانس، بر روی تصویر پیاده‌سازی شد (Markham & Helder, 2009: 895). برای تولید بازتاب از تصاویر رادیانس، از تصحیح اتمسفری به روش log residuals استفاده گردید چرا که این روش نیاز به مطالعات میدانی و طیف نگاری ندارد. از آنجائی که هدف این تحقیق بررسی تغییرات در دو سال ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹ میلادی است، یکی از مراحل حیاتی، مرحله ثبت مشترک مکانی دو تصویر نسبت به

هم است. برای این کار از ۳۴ نقطه گرهی^۲ استفاده شد و تصویر مربوط به سال ۱۹۹۹ نسبت به ۱۹۸۵ ثبت مشترک مکانی گردید.

محاسبه‌ی مساحت دریاچه در دوسال

در حقیقت فرآیند طبقه‌بندی تصویر، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است (Mountrakis, et al. 2011: 248). برای بررسی چگونگی تغییرات مساحت دریاچه، می‌بایست به نحوی پیکسل‌های دریاچه از سایر عوارض تفکیک شوند. لذا برای یافتن بهترین روش طبقه‌بندی برای سطح دریاچه، از سه روش نقشه‌بردار زاویه‌ی طیفی، پراکنده‌ی اطلاعات طیفی و روش کدگذاری دودویی استفاده گردید و بعد از

². Tie Point

¹. Digital Number

روش طبقه‌بندی کدگذاری دودویی^۲ BEC

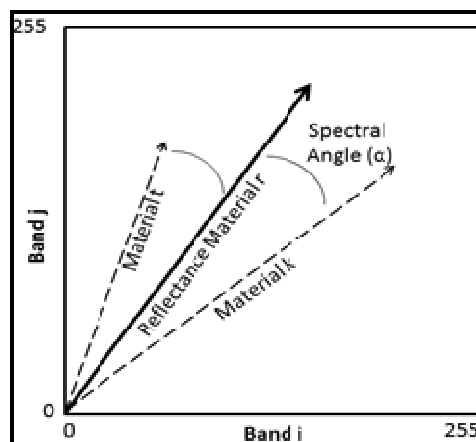
این روش، داده‌ها و طیف‌های مربوط به اعضای مرجع را به صورت صفر و یک به ترتیب بر مبنای این که یک باند، بیشتر یا کمتر از میانگین طیف باشد، کدگذاری می‌کند. یک تابع کدگذاری OR، هر طیف مبنای کدگذاری شده را با طیف داده‌های کدگذاری شده مقایسه می‌کند و نهایتاً یک تصویر طبقه‌بندی شده تولید می‌کند. تمامی پیکسل‌ها به وسیله بیشترین تعداد باند سازگار به اعضای انتهایی طبقه‌بندی می‌شوند (Mazer, 1988: 201). در حقیقت این روش برای طبقه‌بندی‌های دو کلاسه می‌تواند مناسب باشد، از این رو برای ارزیابی و مقایسه با دو روش دیگر از آن استفاده شد.

روش طبقه‌بندی پراکندگی اطلاعات طیفی^۳ SID

این روش با در نظر گرفتن یک مقیاس برای پراکندگی (واگرایی)، میزان تطبیق پیکسل‌ها با طیف مرجع را اندازه‌گیری می‌کند. در این راستا واگرایی کمتر، بیانگر شباهت بیشتر پیکسل‌ها است. تصور کنید که دو پیکسل مورد نظر را با x و y تعریف کنیم بصورتیکه $x = (x_1, x_2, \dots, x_L)^T$ که در این نمونه، x_i یک پیکسل از باند B_i است که در طول موج معین λ_i قرار دارد و دارای بردار احتمال $p = (p_1, p_2, \dots, p_L)^T$ و تابع احتمال $P(\{\lambda_j\}) = p_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^L x_i}$ است. به همین ترتیب، $y = (y_1, y_2, \dots, y_L)^T$ پیکسل دیگری با بردار احتمال $q = (q_1, q_2, \dots, q_L)^T$ و تابع احتمال $q_j = \frac{y_j}{\sum_{i=1}^L y_i}$ است. با استفاده از تئوری اطلاعات فانو (Fano, 1961) می‌توان اطلاعات انحصاری مربوط به

مقایسه‌ی آن‌ها، بهترین روش برای بررسی تغییرات وسعت دریاچه در دو سال مذکور انتخاب شد و نهایتاً فیلتراسیون Sieve برای حذف پیکسل‌های منفرد اعمال گردید (فلوچارت شکل-۳).

روش طبقه‌بندی نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) این روش، شیوه‌ای فیزیکی مبنای است. این روش زاویه α بین طیف مبنای r ، و بردار پیکسل هدف t را در فضای n بعدی مقایسه کرده و بر اساس حد آستانه مشخص شده، آن را به کلاس طیفی مبنای که حاصل زاویه‌ی کوچکتر است اختصاص می‌دهد (شکل ۴ و رابطه-۱) (Jensen, 2005). معمولاً در کلاس‌بندی به روش SAM فرض بر این است که داده‌ها دارای حالت بازتاب^۱ هستند. به هر حال اگر از رادیانس هم استفاده شود، خطاها قابل توجه نخواهند بود (Kruse et al, 1993: 148).



شکل ۴. منطق الگوریتم (SAM)

رابطه (۱)

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left[\sum_{i=1}^n t_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{i=1}^n r_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right]$$

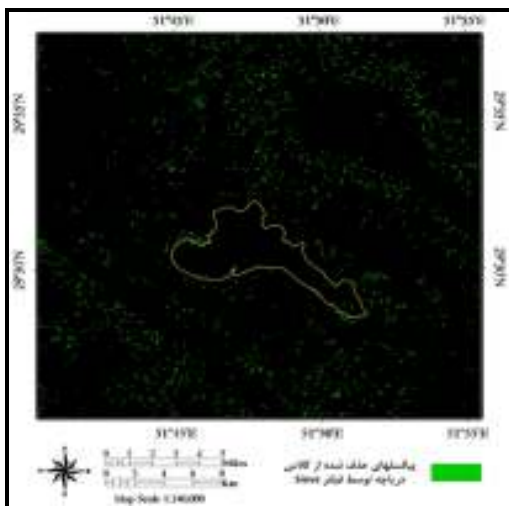
². Binary Encoding Classification
³. Spectral Information Divergence

¹. Reflectance

مشخص می‌شود و نتایج تجربی نیز، این مطلب را نشان می‌دهد (Chang, 1999, 2000).

فیلتراسیون Sieve

از آنجائیکه بعد از کلاس‌بندی تصویر، تعداد زیادی از پیکسل‌ها به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند می‌بایست به نحوی از تعداد آن‌ها کاست. به همین منظور از روش Sieve که در تحقیقات گذشته هم در راستای افزایش دقت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته بود (Goerner, Nasarudin and Shafri, 2011:44) بهره گرفته شد. این روش از ۴ یا ۸ پیکسل همسایه پیکسل هدف استفاده کرده و پیکسل‌های منفرد را حذف می‌کند. از این‌رو پس از طبقه‌بندی، در این مرحله تصویر نهایی طبقه‌بندی شده تصحیح شد (شکل ۵).



شکل ۵. نمایش پیکسل‌های ایزوله در تصویر طبقه‌بندی شده به روش SID که توسط فیلتراسیون Sieve تشخیص داده شده‌اند و به اشتباه به کلاس دریاچه نسبت داده شده بودند که از کلاس دریاچه جدا گردیدند

I امین باند از x و y را به صورت زیر تعریف کرد (Chang, 2000: 1928):

$$I_1(x) = -\log p_1 \quad (۲) \text{ رابطه}$$

$$I_1(y) = -\log q_1 \quad (۳) \text{ رابطه}$$

با استفاده از روابط (۲) و (۳)، آنتروپی نسبی y نسبت به x، به صورت زیر تعریف می‌شود (Chang, 2000: 1928):

$$\text{رابطه (۴)}$$

$D(x||y) = \sum_{i=1}^I p_i D_i(x||y) = \sum_{i=1}^I p_i (I_1(y) - I_1(x)) = \sum_{i=1}^I p_i \log \left(\frac{p_i}{q_i} \right)$ در رابطه (۴) $D(x||y)$ به عنوان " واحد اطلاعات Kullback–Leibler "، " پراکندگی هدایت شده " یا " آنتروپی متقابل " نیز شناخته می‌شود (Kullback, 1959). با استفاده از رابطه (۳)، می‌توانیم یک اندازه‌گیری ابرطیفی متقارن، تحت عنوان " پراکندگی اطلاعات طیفی " را به صورت زیر ارائه کنیم (Chang, 2000: 1928):

$$SID(x, y) = D(x||y) + D(y||x) \quad (۵) \text{ رابطه}$$

این رابطه می‌تواند برای اندازه‌گیری شباهت طیفی بین دو پیکسل x و y، مورد استفاده قرار گیرد. اصولاً برای ارزیابی SID، روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) برای مقایسه (از طریق داده‌های ابرطیفی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف روش نقشه‌بردار زاویه طیفی که به بررسی ویژگی‌های طیفی بین دو طیف می‌پردازد، SID، طیف هر پیکسل را به عنوان متغیر تصادفی در نظر می‌گیرد و سپس اختلاف رفتارهای احتمالی بین دو طیف را اندازه‌گیری می‌کند. به همین دلیل، تفاوت‌ها و شباهت‌های طیفی در بین باندهای طیفی، در روش SID، بسیار موثرتر از روش SAM.

1. Spectral Angle Mapper

بیانگر باند مادون قرمز نزدیک است. R_T نیز از رابطه زیر بدست می‌آید (Stumpf and Holderied, 2003:550):

$$R_T(\lambda_i) = \frac{\pi L_T(\lambda_i)/E_0(\lambda_i)}{(1/r^2)T_0(\lambda_i)T_1(\lambda_i)\cos \theta_0} \quad (\text{۸})$$

در این رابطه، L_T میزان رادیانس کلی اندازه‌گیری شده توسط ماهواره است و E_0 ، ثابت خورشیدی است. r ، فاصله نجومی زمین تا خورشید، θ_0 ، زاویه اوج خورشیدی^۲ و T_0 و T_1 ضرایب انتقال برای زمین به خورشید و خورشید به زمین هستند. این روش تصحیح اتمسفری برای ماهواره Landsat نیز پیشنهاد شده است (Zhang et al., Chavez, 1986: 1127).
 Zhang et al., Chavez, 1986: 1127) فرآیند عمق‌یابی استفاده شده است. با افزایش عمق، انعکاس و بازتاب باندهای سبز و آبی کاهش می‌یابد و این کاهش روندی لگاریتمی دارد. این کاهش برای R_w باند سبز به نسبت، سریعتر از کاهش R_w باند آبی است، چرا که باند سبز جذب بالاتری دارد. از اینرو نسبت (Ratio) از آبی به سبز افزایش می‌یابد. تغییر آلبدوی کف به طور یکسان بر روی هر دو باند اثر خواهد گذاشت (Philpot, 1989: 1574). ولی تغییر در عمق بر روی باندهای با جذب بالا تاثیر می‌گذارد. بنابراین تغییر در نسبت به واسطه تغییر عمق، بسیار بزرگتر از تغییر در نسبت به واسطه تغییرات آلبدو خواهد بود. اگر این "شرط نسبت" اعمال شود انتظار می‌رود که، عمق تقریبی را ارابه کند و نیاز به مقیاس‌گذاری نسبت به عمق حقیقی خواهد بود (Stumpf and Holderied, 2003: 550):

تهیه‌ی تصویر طبقه‌بندی شده‌ی عمق نسبی

الگوریتم‌های استاندارد موجود برای تعیین عمق نسبی در آب زلال با استفاده از سنجنده‌های غیر فعال، نیازمند تعداد ۵ پارامتر هستند و هنگامی که کف آب دارای سطحی با آلبدوی پایین باشد عمق آب را مشخص نمی‌کنند. از طرفی استفاده از تصاویر سنسورهای فعال هم مشکلاتی چون آستانه نفوذ و هزینه بالای تصاویر را دربر دارد. در این پژوهش از روشی که مشکلات فوق را به حداقل برساند استفاده گردید. این روش در سال ۲۰۰۳، توسط استامپ و هولدراید^۱ ارائه شد که بر مبنای تفاوت‌های باندهای طیفی به لحاظ میزان جذبی که برای آب، از خود نشان می‌دهند شکل می‌گیرد. بازتاب آب هنگامی که آب از نظر بصری کم عمق باشد از رابطه زیر بدست می‌آید (Stumpf and Holderied, 2003: 548):

$$R_w = \frac{\pi L_w(\lambda)}{E_d(\lambda)} \quad (\text{۶})$$

در این رابطه، L_w رادیانس خروجی از آب؛ E_d معرف پرتو ورودی به آب؛ و λ نیز باند طیفی مورد استفاده است. R_w و L_w به ارزش‌های بالای سطح آب اشاره دارند. R_w به وسیله‌ی تصحیح بازتاب کل R_T (که از طریق تصحیح اتمسفری بدست آمد) حاصل می‌شود بازتاب‌های سطح که به وسیله‌ی باند مادون قرمز نزدیک برآورد می‌شوند در رابطه‌ی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Stumpf and Holderied, 2003: 548):

$$R_w = R_T(\lambda_i) - Y(\lambda_i)R_T(\lambda_{IR}) - R_i(\lambda_i) \quad (\text{۷})$$

در رابطه‌ی فوق Y مقدار ثابتی برای تصحیح تغییرات طیفی (مطابق با Gardon et al., 1983: 31) است و i هم مشخص کننده‌ی شماره‌ی باند مرئی و IR نیز

^۲ . Sun zenith angle

^۳ . Stumpf and Holderied

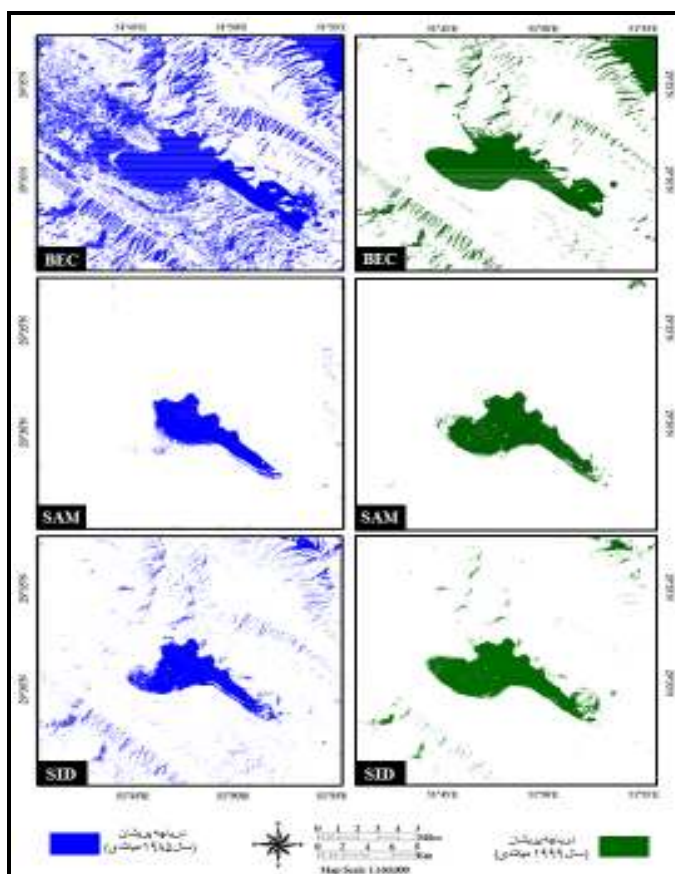
^۱ . Stumpf and Holderied

بعد از اعمال سه روش طبقه‌بندی، برای هر دو سال، نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند تا بهترین روش، مبنای محاسبه تغییرات وسعت دریاچه در دو سال مورد نظر قرار گیرد (شکل ۶). همانطور که شکل ۶ نمایش می‌دهد روش‌های SAM و SID نسبت به روش BEC، طبقه‌بندی بهتری انجام داده‌اند چرا که روش BEC، بسیاری از ارتفاعات اطراف و بویژه نواحی سایه حاصل از ارتفاعات را به اشتباه در کلاس دریاچه، طبقه‌بندی کرده است و همچنین بسیاری از نواحی مرزی خشکی را نیز جزئی از دریاچه در نظر گرفته و به اشتباه، پیکسل‌های منفرد زیادی تولید کرده است و نمی‌تواند روش مناسبی برای ادامه محاسبات باشد.

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه شماره ۹، m_1 پارامتر تنظیم مقیاس، m_0 مقدار انحراف از عمق صفر و n نیز ثابتی است که برای نامنفی شدن لگاریتم، و هم اینکه، این نسبت یک ارتباط خطی با عمق داشته باشد استفاده می‌شود. در حقیقت با داشتن تعدادی نقطه عمق سنجی زمینی می‌توان ضرایب m_0 و m_1 را تعیین و عمق مطلق را نیز تخمین زد. اما رابطه (۹) بدون استفاده از این ضرایب، عمق نسبی را مشخص می‌سازد بعبارت دیگر بیان می‌کند بخش‌های مختلف کف دریاچه نسبت به هم عمیق‌تر، یا کم عمق‌تر هستند.

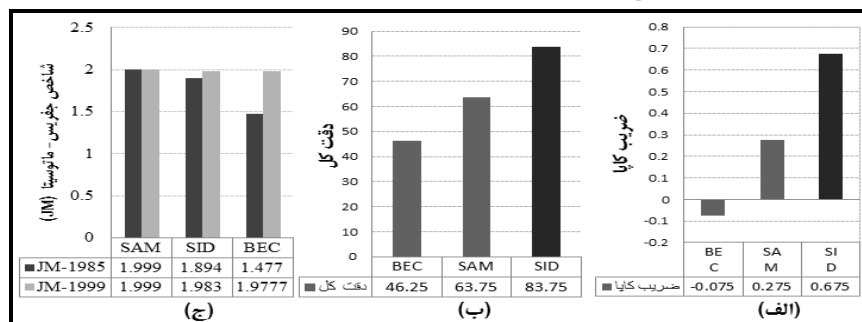
بحث و یافته‌ها



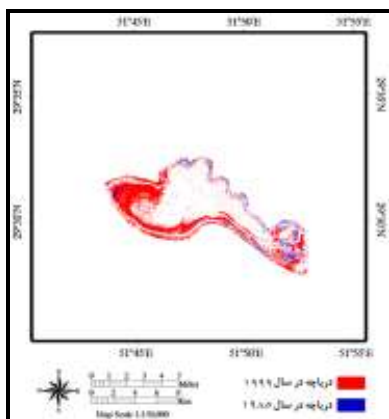
شکل ۶. تصویر طبقه‌بندی شده برای دو سال با روش‌های SAM، SID و BEC

روش‌های SID و SAM قابلیت بالاتری در این زمینه دارند. در این میان روش SID با دقت کل ۸۳/۷۵٪ و ضرب کاپای ۰/۶۷۵ بهترین عملکرد را نشان داد (شکل ۷).

به منظور بررسی دقیق‌تر سه روش استفاده شده در طبقه‌بندی مساحت دریاچه، از سه روش ماتریس خطا، ضریب کاپا و محاسبه شاخص JM (Jeffries-Matusita) استفاده گردید. که نتایج آن نشان داد



شکل ۷. الف) مقادیر ضریب کاپای محاسبه شده برای سه روش طبقه‌بندی، ب) مقادیر دقت کل بدست آمده از ماتریس خطا به هر سه روش طبقه بندی و ج) مقادیر تفکیک‌پذیری کلاس‌ها برای تصویر تولیدی در دو سال در هر سه روش



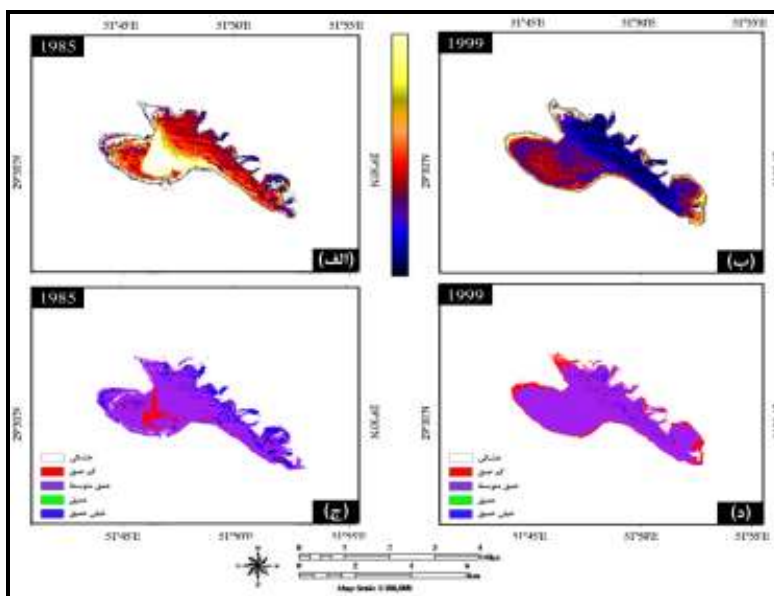
شکل ۸. نمایش چگونگی تغییرات وسعت دریاچه در فاصله زمانی دو سال

نتایج حاصل برای عمق نسبی حاکی از وجود تغییراتی در میزان عمق نسبی، در زمان‌های مورد بررسی است (شکل ۹).

به طور بصری نیز می‌توان تشخیص داد که در سال ۱۹۹۹ وسعت دریاچه افزایش یافته است (شکل ۶). اما برای بررسی دقیق‌تر می‌توان با استفاده از روی هم گذاری لایه‌ها، تغییرات را محاسبه کرد که جدول ۱ و شکل (۶ و ۸) حاکی از افزایش قابل توجه وسعت دریاچه است.

جدول ۱. تغییرات محاسبه شده برای وسعت دریاچه در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹ میلادی

درصد	مساحت (km ²)	تعداد پیکسل	مقادیر اضافه شده (+) و یا کم شده (-) از دریاچه در فاصله زمانی دو سال
۴۲.۴۶٪	۱۱۵۲/۰۹	۱۲۸۰۱	



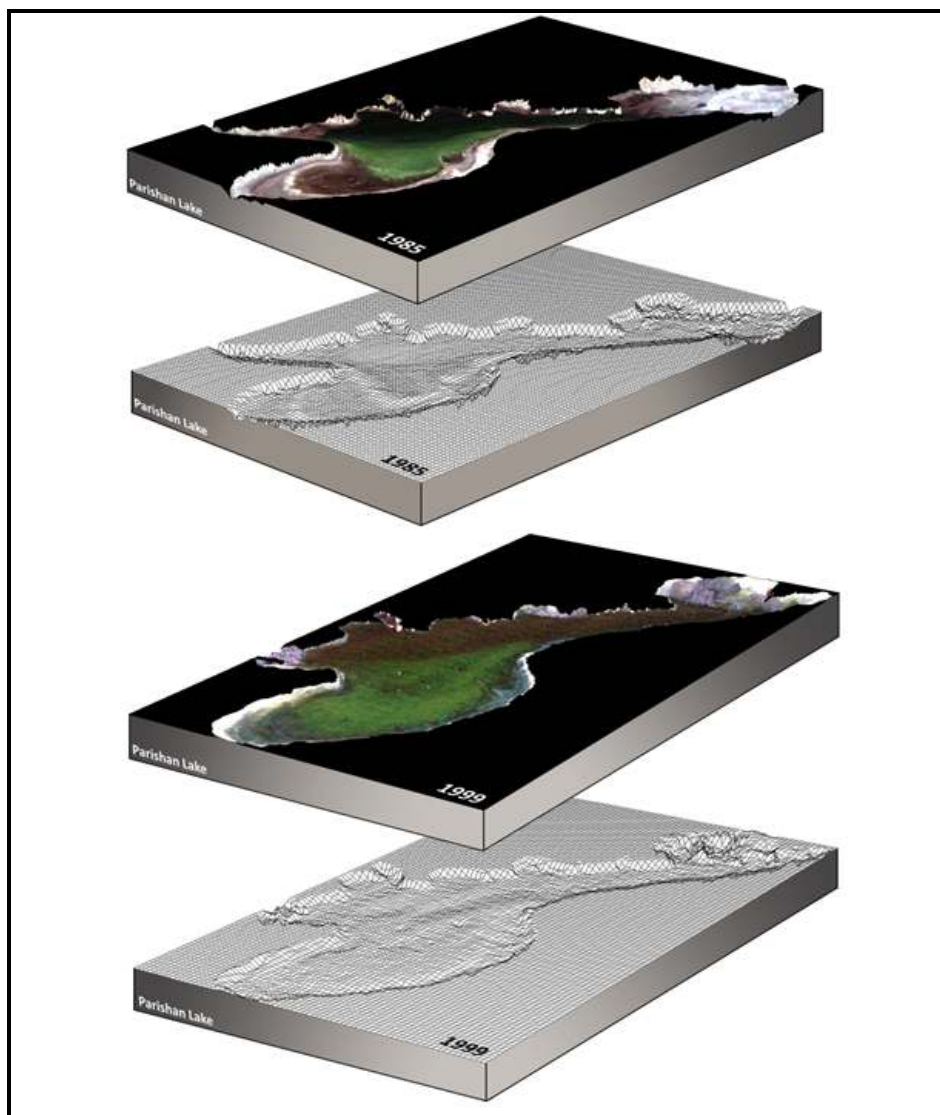
شکل ۹. الف) تصویر کاذب رنگی حاصل از بکارگیری الگوریتم تعیین عمق نسبی برای سال ۱۹۸۵، ب) تصویر کاذب رنگی حاصل از الگوریتم تعیین عمق نسبی برای سال ۱۹۹۹، ج) تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از الگوریتم تعیین عمق نسبی برای سال ۱۹۸۵ بر مبنای روش ساختار درختی و د) تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از الگوریتم تعیین عمق نسبی برای سال ۱۹۹۹ بر مبنای روش ساختار درختی

طبقه‌بندی کننده ساختار درختی، تصویر طبقه‌بندی شده (شکل ۹ د و ج) برای کلاس‌های خشکی، ناحیه کم‌عمق، عمق متوسط، عمیق و خیلی عمیق بدست می‌آید (شکل ۹). همانطور که تصویر هم‌نشان می‌دهد، ناحیه کم عمق (رنگ قرمز) در سال ۱۹۸۵ در ناحیه میانی دریاچه دارای یک انباشتگی بوده است که در سال ۱۹۹۹ این کلاس، به نواحی ساحلی تغییر یافته است، از طرفی ناحیه خیلی عمیق آبی رنگ در سال ۱۹۹۹ کاهش یافته و به ناحیه با عمق متوسط تبدیل شده است. در حقیقت می‌توان پیش‌بینی نمود که یکی از دلایل این افزایش مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۹، یکنواخت‌تر شدن عمق و از بین رفتن نواحی عمیق‌تر بوده است چرا که در سال ۱۹۸۵ و در

در شکل (۹ الف) مقادیر روشن‌تر معرف نواحی کم عمق‌تر و نواحی آبی معرف قسمت‌های عمیق‌تر دریاچه در سال ۱۹۹۹ است. در شکل (۹ ب) نواحی عمیق‌تر و کم عمق‌تر برای سال ۱۹۸۵ قرار داده شده است در حقیقت این نمایش، تغییرات عمق نسبی در هر یک از دو سال را بصورت نسبی نشان می‌دهد و معرف عمق مطلق نیست بلکه چگونگی تغییرات مورفولوژیکی کف دریاچه را در هر سال بصورت جداگانه نمایان می‌سازد. همانطور که مشاهده می‌شود یک تغییر عمده در عمق نسبی دریاچه رخ داده است، که می‌توان آنرا ناشی از افزایش عمق در سال ۱۹۹۹ و همچنین تغییر وضعیت رسوبگذاری دریاچه در برخی از نواحی دانست. برای بررسی دقیق‌تر با ایجاد یک

عمق دریاچه می‌توان با ترکیب تصویر تولیدی برای عمق در هر سال و تصویر RGB همان سال، دیدی سه بعدی از بستر دریاچه داشت (شکل ۱۰).

ناحیه‌ی شرقی دریاچه شاهد قسمت‌های عمیق‌تر بیشتری هستیم. این تغییرات در جدول ۲ به تفصیل بررسی شده است. برای درک بهتر چگونگی تغییرات



شکل ۱۰. تصاویر سه بعدی برای عمق دریاچه در دو سال مورد مطالعه

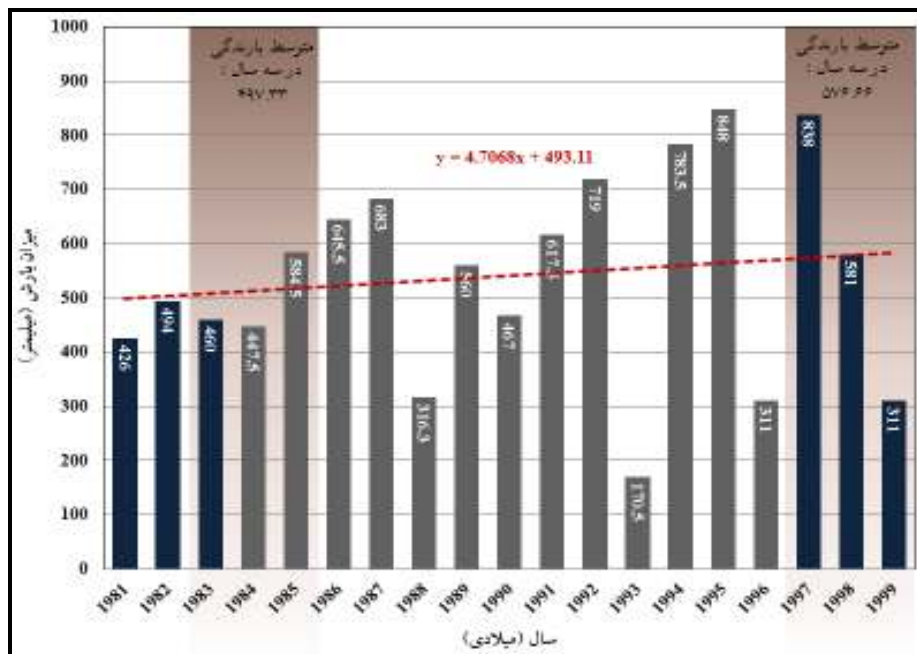
جدول ۲. تغییرات عمق نسبی دریاچه پریشان در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹

درصد	مساحت (m ²)	کلاس ۲- ناحیه کم عمق
۰/۵۴۱	۱۸۰۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۱ به کلاس ۲
۰/۴۶	۱۵۳۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۴ به کلاس ۲
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۳ به کلاس ۲
۹۶/۷۵۴	۳۲۱۹۳۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۵ به کلاس ۲

۹۷/۷۵۵	۳۲۵۲۶۰۰	کل تغییرات ایجاد شده در کلاس ۲
۱۴۲/۹۸۱	۴۷۵۷۴۰۰	کل پیکسل‌های اضافه (+) و یا کم شده (-) از کلاس ۲
درصد	مساحت (m ²)	کلاس ۳- ناحیه عمیق
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۱ به کلاس ۳
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۲ به کلاس ۳
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۴ به کلاس ۳
۱۰۰	۶۳۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۵ به کلاس ۳
۱۰۰	۶۳۰۰	کل تغییرات ایجاد شده در کلاس ۳
-۱۰۰	-۶۳۰۰	کل پیکسل‌های اضافه (+) و یا کم شده (-) از کلاس ۳
درصد	مساحت (m ²)	کلاس ۵- ناحیه با عمق متوسط
۲/۱۶۶	۷۶۴۱۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۱ به کلاس ۵
۶/۰۲	۲۱۲۴۰۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۲ به کلاس ۵
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۳ به کلاس ۵
۲/۹۳۳	۱۰۳۵۰۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۴ به کلاس ۵
۱۱/۱۱۸	۳۹۲۳۱۰۰	کل تغییرات ایجاد شده در کلاس ۵
۲۳/۴۷۴	۸۲۸۲۷۰۰	کل پیکسل‌های اضافه (+) و یا کم شده (-) از کلاس ۵
درصد	مساحت (m ²)	کلاس ۴- ناحیه خیلی عمیق
۲/۱۰۱	۱۴۳۱۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۱ به کلاس ۴
۴/۹۴۳	۳۳۶۶۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۲ به کلاس ۴
۰	۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۳ به کلاس ۴
۸۸/۷۴۱	۶۰۴۳۵۰۰	پیکسل‌های اضافه شده و یا کم شده از کلاس ۵ به کلاس ۴
۹۵/۷۸۴	۶۵۲۳۲۰۰	کل تغییرات ایجاد شده در کلاس ۴
-۸۰/۳۲۲	-۵۴۷۰۲۰۰	کل پیکسل‌های اضافه (+) و یا کم شده (-) از کلاس ۴

نواحی با عمق متوسط در سال ۱۹۹۹ تبدیل شده است این تغییر با تبدیل نواحی خیلی عمیق (کلاس ۴) دریاچه در سال ۱۹۸۵ به نواحی با عمق متوسط (کلاس ۵) در سال ۱۹۹۹ همراه بوده است و این به معنای افزایش پیکسل‌های کلاس ۵ (ناحیه با عمق متوسط) خواهد بود (جدول ۲، شکل ۱۰).

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد تمامی کلاس‌ها بیشترین از دست دادگی پیکسل‌هایشان را در رابطه با کلاس ۵ یعنی ناحیه با عمق متوسط داشته‌اند که نتیجه بدست آمده از شکل ۸ را تایید می‌کند و می‌تواند یکی از دلایل مهم تغییر مساحت دریاچه در زمان‌های مورد بررسی باشد. همان‌طور که جدول ۲ و شکل ۹ نشان می‌دهند نواحی کم عمق (کلاس ۲) در سال ۱۹۸۵ به



شکل ۱۱. آمار میزان بارندگی سالانه در ایستگاه کازرون برحسب میلی‌متر (منبع: سازمان هواشناسی کشور)

دریاچه در این سال باشد که در تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده و نتایج تغییرات محاسبه شده نیز مشاهده شد. این مقاله نشان داد که تصاویر TM-5 قابلیت بررسی تغییرات سطحی و عمقی دریاچه‌های کم عمق و شفاف را داراست و نتایج نشان دادند که دریاچه پریشان در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹ هم به لحاظ شرایط رسوبگذاری و هم مساحت تغییرات قابل توجهی داشته است.

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی تغییرات عمق نسبی و مساحت دریاچه‌ها نقش مهمی در مدیریت زیست محیطی دریاچه‌ها و شناخت ظرفیت اکوسیستمی آن‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی آبی در عرصه‌های مختلف دارد. در این زمینه تکنیک‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه‌ی مکرر تغییرات دوره‌ای و عمقی آن‌ها همواره مورد توجه بوده است. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روش مورد استفاده بر مبنای

با توجه به اینکه ایستگاه کازرون، یکی از نزدیکترین ایستگاه‌های ثبت داده‌های بارندگی به دریاچه پریشان است بررسی داده‌های بارندگی سالانه آن می‌تواند بیانگر وضعیت دریافت آب منطقه باشد. همانطور که شکل ۱۱ نشان می‌دهد از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۹ افزایش محسوس در میزان بارندگی به ویژه در زمان‌های قبل از دو سال مورد بررسی (۱۹۸۵ و ۱۹۹۹) رخ داده است و در بازه زمانی میان دو سال مذکور، متوسط میزان بارندگی سالانه با شیبی مثبت افزایش یافته است (خط چین رسم شده در شکل ۱۱) بطوریکه میانگین بارش سه سال منتهی به سال ۱۹۸۵ معادل ۴۹۷/۳۳ میلی‌متر بوده است این درحالی است که این مقدار برای سه سال منتهی به ۱۹۹۹ به مقدار متوسط بارش ۵۷۶/۶۶ میلی‌متر رسیده که افزایشی معادل ۱۵/۹۵ درصد را نشان می‌دهد این افزایش دریافت بارش بویژه در سال‌های قبل از ۱۹۹۹ می‌تواند یکی از دلایل اصلی افزایش مساحت آبی

استفاده از روش‌های نوین، گام‌های موثری را در جهت مطالعه در این زمینه برداشت.

منابع

جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۷۸. جغرافیای آب‌ها، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

داداشی آرانی، حسن، ۱۳۹۰. دریاچه پریشان، رشد آموزش زمین‌شناسی، دوره هفدهم، شماره ۱، پائیز ۱۳۹۰، صص ۳۲-۳۶.

متین‌فر، حمیدرضا، گودرزی‌مهر، سعید، ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی SVM، MLC، SAM، BEC و شبکه‌های عصبی برای تفکیک مزارع با استفاده از تصویر سنجنده ETM+ مجموعه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو، اصفهان.

Anna M, Trofaier. William G, R. Bartsch, D, S. Stefan S. ,2010, Feasibility Study of Using Active Microwave Data for Examination of Thaw Lake Drainage Patterns over the Yamal Peninsula, Tenth International Conference on Permafrost, PP: 413-418.

Brigante Baiocchi, V, R., Dominici, D and Radicioni, F. ,2012. Coastline Detection Using High Resolution Multispectral Satellite Images.FIG Working Week 2012.

Brando Vittorio E, Janet M. Anstee , Magnus Wettle , Arnold G. Dekker , Stuart R. Phinn , Chris Roelfsema ,2009, A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyper spectral data, Elsevier, Remote Sensing of Environment 113:pp,755-770.

Chang Chein-I, 1999. Spectral information divergence for hyper spectral image analysis, Geo Science and Remote Sensing Symposium. IGARSS '99 Proceedings .IEEE Inter-national.

Chang Chein-I, ,2000. An Information-Theoretic Approach to Spectral Variability, Similarity, and Discrimination for Hyper Spectral Image Analysis, IEEE Transactions On Information Theory, VOL. 46.PP:1927-1932.

Ceyhun Ö. Yalçın A. , 2010. Remote Sensing of Water Depths in Shallow Waters via Artificial

استفاده از باندهای انعکاسی می‌تواند برای بررسی تغییرات عمق در دریاچه‌های کم عمقی مانند دریاچه‌ی پریشان استفاده گردد و به‌عنوان روشی کم هزینه‌تر اطلاعات با ارزشی ارائه کند. در زمینه‌ی طبقه‌بندی سطح دریاچه از دیگر عوارض نیز روش SID با ۲۰٪ افزایش دقت نسبت به روش رایج SAM و ۳۷/۵٪ بهبود نسبت به روش BEC توانایی بالاتری در استخراج این پدیده در تصویر لندست ارائه داد. ارزیابی تغییرات مساحت دریاچه حاکی از رشدی در حدود ۴۶/۴۲ درصدی در مساحت دریاچه از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹ بوده که عمده‌ی این افزایش مساحت، در نواحی غربی دریاچه رخ داده است. این درحالی است که تغییرات عمق نسبی نیز نشان می‌دهد بخش‌های زیادی از نواحی کم عمق در سال ۱۹۸۵ به نواحی عمیق‌تر در سال ۱۹۹۹، تبدیل شده است. بنابراین می‌توان بخش‌های غربی دریاچه را متغیرترین نواحی، در این بازه‌ی زمانی دانست در سطحی پایین‌تر به لحاظ تغییرات عمق، کناره‌های شرقی دریاچه وجود دارند که در سال دوم بسیاری از نواحی عمیق خود را به بخش‌های با عمق متوسط تقلیل داده‌اند و در حقیقت بخش با عمق متوسط کمترین تغییرات را در سال‌های مورد بررسی داشته است که عمدتاً نواحی مرکزی دریاچه را شامل می‌شود. بنابراین به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت همه‌ی این موارد به نوعی نشان‌دهنده‌ی تغییرات محسوس توپوگرافی کف دریاچه، بیشتر شدن وسعت دریاچه پریشان و تغییر نحوه رسوبگذاری کف دریاچه در راستای یکنواخت‌تر شدن پستی و بلندی‌های بستر دریاچه بوده است. در مجموع می‌توان گفت با استناد به نتایج بدست آمده و در ارتباط با مدیریت محیط زیست و نیز شناخت ظرفیت تحمل اکوسیستم‌های دریاچه‌ای، می‌توان با

- Liu, Y., Anisul, I. M., and Jay Gao, J., 2003. Quantification of Shallow water Quality Parameters. *Progress in Physical Geography* 27(1), pp. 24-43.
- Lundahl, A.C., 1948. Underwater Depth Determination by Aerial Photography. *Photogrammetric Engineering*, No.14 (4), pp. 454-462.
- Markham, B.L., Helder, D.L., 2009, Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp, 893 – 903.
- Mazer, A. S. Martin, M., Lee, M., Solomon, J. E., 1988, *Image Processing Software for Imaging Spectrometry Analysis, Remote Sensing of the Environment*, v. 24, No. 1, pp. 201-210.
- Mishra, D. Lawson, M. rundquist, D , 2004 , Bathymetric Mapping Using Multi spectral Data, *Geo Science and Remote Sensing* , 41, No.4, p.301-321.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole C., 2011, Support Vector Machines in Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photo Grammetry and Remote Sensing*, 13, 247-259.
- Nasarudin, N.E.M., Shafri, H.Z.M., 2011. Development and Utilization of Urban Spectral library for Remote Sensing of urban Environment. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.5, n.1, pp. 44-56.
- Philpot, W.D. 1989, Bathymetry Mapping With Passive Multi Spectral imagery, *Applied Optics*, No.28, pp1569-1578.
- Stumpf, R.P., K. Holderied, 2003, Determination of Water Depth With High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types, *Limnology and Oceanography*, No, 48(1):pp. 547-556.
- Stumpf, R.P., Pennock J. R., 1989, Calibration of a General Optical Equation for Remote Sensing of Suspended Sediments in a moderately turbid estuary, *J. Geophys. Res. Oceans* 94, PP: 14,363-14,371.
- Wang, Y., Zhang, P., Dong, W., and Zhang, Y., 2007. Study on Remote Sensing of Water Depths on Based on BP Artificial Neural Network. *Marine Science Bulletin*, No, 9(1), pp. 26-35.
- Zhang, M., K. Carder, F. E. Muller-karger, Z. Lee, and D. B. Goldf. ,1999. Noise reduction and atmospheric correction for coastal applications of landsat thematic mapper imagery. *Remote Sens. Environ.* 70, PP: 167-180.
- Neural Networks, Elsevier, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89, PP: 89-96.
- Fano, R. M. ,1961. *Transmission of Information: A Statistical Theory of Communication*. New York: Wiley.
- Fearn, P.R.C. Klonowski, W...Babcock, R.C . England, P...Phillips, J . 2011, Shallow water Substrate Mapping using Hyper Spectral Remote Sensing, Elsevier, *Continental Shelf Research* , No,31, pp1249-1259.
- Fonstad Mark A., Marcus, W. Andrew, 2005. Remote Sensing of Stream Depths With hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) models , Elsevier, *Geomorphology*, 72, PP: 320- 339.
- Goerner, A., Gloaguen, R., Makeshin, F., 2007. Monitoring of the Ecuadorian mountain rainforest with remote sensing. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 1, 013527.
- Giardino, C. Candiani. G. Bresciani, M. Zhongping, L. Gagliano, S. Pepe, M. 2012. Bomber Atoll forest imating water quality and bottom Properties from Remote Sensing Images, Elsevier, *Computers & Geosciences* No, 45, PP: 313-318.
- Haibin, S. Hongxing, L. Williamd, H. 2008, Automated Derivation of Bathymetric Information from Multi-Spectral Satellite Imagery Using a Non-Linear Inversion Model, Department of Geography, Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Taylor & Francis group, *Marine Geodesy*, 31: pp281-298.
- ITTVIS ., 2009. *ENVI Tutorial: Colorado, USA*.
- Ijumulana Julian, Wietske B, Nicolas H, Preksedis M, N, 2011, Spatial-Temporal Uncertainty in Lake Extent Trends”, *Nile Basin Water Science & Engineering Journal*, Vol.4, Issue 2.
- Jensen, j. R., 2005. *Introductory Digital Image Processing*. Carolina.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., et al, 1993, The Spectral Image-Processing System (Sips)-interactive visualization and Analysis of Imaging Spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, No 44, pp, 145- 163.
- Kullback, S., 1959, *Information Theory and Statistics*. New York: Wiley.
- Legleiter C, J. Dar A. Roberts, 2009, A Forward Image Model for Passive Optical Remote Sensing of River Bathymetry, Elsevier, *Remote Sensing of Environment*, No, 113, pp, 1025-1045.