نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم، شماره ۲، آبان ماه ۱۳۹۴

برآورد تغییرات نسبی دریاچه ارومیه با استفاده از طبقه‌بندی کننده فازی

مهرداد اسلامی[۱]، علی محمدزاده*[۲]، میلاد جانعلی‌پور[۳]

[۱] کارشناس ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
meslami2000@gmail.com

[۲] دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
almoh2@gmail.com

[۳] دانشجوی دکتری سنجش از دور-دانشکده مهندسی نقشه‌برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
m_janalipour89@yahoo.com

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۳، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۴)

چکیده

تشخیص تغییرات عوارض در سطح زمین از نیازهای اساسی مدیریت و بهره‌برداری از محیط زیست است. روش‌هایی متفاوت با هدف تشخیص تغییرات محیط زیست ارائه شده است. هدف این مطالعه بررسی میزان تغییرات نسبی پوشش آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۵ در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، از طریق طبقه‌بندی نظارت‌شده فازی است. در این مطالعه تصاویر تفاضلی چند باندی، با تفریق باندهای متناظر در دو تصویر زمین مرجع سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ پس از اعمال کالیبراسیون و تصحیحات رادیومتریکی بر روی آن‌ها تولید شدند. سپس در طی دو طبقه‌بندی کننده مجزا، ابتدا طبقه‌بندی کننده فازی بر روی تصویر تفاضلی اعمال و نتایج در دو کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده حاصل گردید. با توجه به تغییرات طیفی بالا در کلاس تغییر کرده و حساسیت روش-های سنجش از دور به این تغییرات طیفی، طبقه‌بندی کننده فازی دیگری برای استخراج کلاس‌های تغییر نکرده، تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های حاصل از ارزیابی نتایج دو طبقه‌بندی فوق در مقایسه با روش طبقه‌بندی SVM دارای دقت بالاتری می‌باشند به طوریکه برای طبقه‌بندی کننده دو کلاسه صحت کلی روش ارائه شده و SVM به ترتیب برابر ۹۶ درصد و ۷۹ درصد برآورد گردید. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از تشخیص تغییرات حاصل از طبقه‌بندی کننده چهار کلاسی از نقطه‌نظر بشر گرایانه-ی اطلاق تغییرات نسبی به یک پدیده دارای ارزش مفهومی بالاتر می‌باشد. در واقع نتایج حاصل از تغییرات نسبی برای کلاس‌های تغییرات، شامل مناطق شوره‌زار مرطوب، شوره‌زار خشک، مخلوط شوره‌زار و خاک معنای مفهومی می‌دهد.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی کننده فازی، تشخیص تغییرات، دریاچه ارومیه، سنجش‌ازدور، لندست

* نویسنده رابط

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

تشخیص تغییرات فرایند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شی یا پدیده به وسیله مشاهده آن در زمان-های متفاوت است. تشخیص به موقع و دقیق تغییرات زیست محیطی در مجموع یک نیاز اساسی برای مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی و محیط زیست است.

با گسترش فنّاوری سنجش‌ازدور، حجم وسیعی از داده‌ها در دسترس قرار گرفته‌اند. بر مبنای این داده‌ها، کاربردهای مختلفی برای استفاده از آن‌ها گسترش یافته‌اند که یکی از آن‌ها تشخیص تغییرات است. در سنجش‌ازدور دسته‌بندی‌هایی متفاوت برای روش‌های تشخیص تغییرات انجام گرفته است. روش‌های پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا از جمله آن‌ها است [۶]. در میان روش‌های پیکسل‌مبنا نیز تنوع بالایی از الگوریتم‌های پیشنهادی وجود دارد که هر یک از روش‌هایی متفاوت استفاده می‌کنند. استفاده از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا از جمله روش‌های پرکاربرد در تشخیص تغییرات است. معایب، مزایا انواع روش‌های پیکسل‌مبنا در [۶] آورده شده است. از جمله روش‌های استفاده شده می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی از طریق تعیین مقادیر وزن شبکه با استفاده از داده‌های آموزشی و سپس طبقه‌بندی جداگانه تصاویر ورودی و در انتها انطباق نتایج حاصل از خروجی نقشه طبقه‌بندی [۷]. استفاده از روش-های که در آن طبقه‌بندی بر روی هر کدام از تصاویر به‌صورت جدا انجام می‌گیرد و در نهایت انطباق نتایج حاصل از دو طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۸]. روش‌های فوق قابلیت بالایی در تعیین محتوای تغییرات اتفاق افتاده دارند. اما دقت حاصل از طبقه هر کدام از تصاویر سری زمانی در نتایج خروجی تأثیر گذار خواهد بود. در نتیجه دقت خروجی تشخیص تغییرات به دقت طبقه‌بندی روی تک‌تک تصاویر سری زمانی و نوع آن وابسته است.

در مقابل روش‌های مذکور، روش‌هایی وجود دارند که با تولید فضای ویژگی جدید از طریق اعمال ریاضی و طبقه‌بندی فضای ویژگی تولیدی به تشخیص تغییرات می‌پردازند. به عنوان نمونه الگوریتم‌هایی که با حدآستانه گذاری بر روی فضای ویژگی تولیدی کلاس تغییر نکرده‌ها را از تغییر کرده‌ها تفکیک می‌کنند. این روش‌ها با اطلاق کلاس تغییر کرده برای مقادیر بیشتر از حد آستانه و تغییر نکرده برای مقادیر کمتر از حد آستانه نقشه نهایی تشخیص تغییرات را تولید می‌کنند [۹]. در روش‌های مذکور تعیین مقدار حد آستانه و همچنین کیفیت فضای ویژگی تولیدی با بحث همراه است. همچنین در این روش‌ها اطلاعات مربوط به تغییرات کلاس‌ها نیز در اختیار گذاشته نخواهد شد.

طبق مطالعات [۶] از جمله ابزارهای نوین جهت تشخیص تغییرات استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر منطق فازی می‌باشد. [۱۰] با استفاده از تئوری فازی صریح به تشخیص تغییرات از طریق داده‌های سنجش‌از-دور پرداخت. در حالی که استفاده از اطلاعات فرد خبره از مزایای روش‌های فازی است، اما روش فازی صریح فقط در تعیین تعداد خوشه‌ها از اطلاعات فرد خبره استفاده می-کند. [۱۱] با اعمال تئوری فازی بر روی نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سری زمانی و ارزیابی انطباق تابع عضویت به تشخیص تغییرات پرداخت. همچنین [۱۲] از طبقه‌بندی‌کننده فازی جهت تولید نقشه تغییرات به صورت نسبی استفاده کرد. روش‌های مذکور بر روی تصاویر سری زمانی به صورت جداگانه طبقه‌بندی فازی انجام داده و سپس به تحلیل مناطق تغییر کرده می-پردازند. در روش‌های مذکور تعیین پارامترهای طبقه‌بندی، داده آموزشی و قوانین فازی برای هر دو تصویر به صورت جداگانه (به جهت تغییرات اتفاق افتاده در تصاویر سری زمانی) با چالش و کار زیاد همراه است. حال آنکه تولید فضای ویژگی از طریق تفاضل‌گیری تصویر و اعمال تنها یک طبقه‌بندی‌کننده فازی که از یک سری داده آموزشی و قوانین فازی استفاده می‌کند در این تحقیق مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

تغییرات به وجود آمده در محدوده دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر، اهمیت تشخیص تغییرات در میزان و مساحت تحت پوشش آب این دریاچه را دوچندان کرده است. در این راستا مطالعاتی به منظور بررسی میزان تغییرات دریاچه ارومیه انجام پذیرفته است. [۳] با استفاده از تصاویر لندست، و از طریق طبقه‌بندی دو کلاسی آب به غیر آب به رصد خط ساحلی پرداخت. در مقاله مذکور خطوط ساحلی برای تصاویر فواصل زمانی استخراج و میزان عقب رفت آن مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین تحقیق مشابهی جهت استخراج خطوط ساحلی و پایش

www.SID.ir
Archive of SID

آن‌ها توسط [۴] نیز انجام گرفت. [۵] از طریق حدآستانه گذاری و تولید فضاهای ویژگی جدید دو تصویر تغییرات اولیه تولید کرد. سپس تصاویر تولیدی در هم ضرب شده و تصویر باینری تغییرات تولید گردید.

[۱] با تولید تصاویر تفاضلی و حد آستانه گذاری بر روی نتایج حاصل از آن به استخراج داده‌های آموزشی پرداخت. سپس از طریق داده‌های تولیدی طبقه‌بندی-کننده ماشین بردار پشتیبان آموزش دیده و طبقه‌بندی دو کلاسی تغییر کرده و تغییر نکرده انجام پذیرفت. همچنین [۱۳] در یک سری زمانی ۱۴ ساله به تحلیل میزان کاهش ارتفاعی و مساحتی دریاچه ارومیه با توجه به خطوط ساحلی در کلاس تغییرات و عدم تغییرات پرداخت. تحقیقات مشابهی نیز توسط [۱۴] جهت پایش تغییرات دریاچه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از این روش‌ها حاکی از عقب رفت آب دریاچه و جایگزین شدن نمک به‌جای آب بوده است.

این روش‌ها تأکید زیادی برای استفاده از طبقه‌بندی و تحلیل‌هایی دارند که طی آن‌ها فقط دو کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده برای دو داده سری زمانی مد نظر قرار می‌گیرد. اما تغییرات معمولاً در سطح وسیعی انجام می-گیرند و گاه اطلاق عنوان تغییر کرده برای برخی از مناطق کمک شایانی را جهت مدیریت بحران به وجود آمده ارائه می‌دهد. تحقیقات [۲۸] نشان داده وجود نمک‌های خشک روان در اثر باد در محدوده دریاچه ارومیه کشورهای ایران، ترکیه و آذربایجان را تهدید می‌کند. از این رو تعیین اینکه چه مقدار از شوره‌زارهای اطراف دریاچه ارومیه خشک، مرطوب یا مخلوط با سایر مواد هستند ضروری به نظر می‌رسد. تعیین نسبی نوع تغییرات دریاچه ارومیه در این تحقیق با استفاده از روش‌های عدم قطعیت فازی به دلیل نزدیکی به زبان انسانی ([۱۵]) می‌تواند نتایج با منطق انسانی را حاصل نماید.

در این پژوهش استفاده از تصاویر اختلاف و اجرای یک طبقه‌بندی کننده برروی آن به‌جای استفاده از یک روش ساده نظیر حدآستانه‌گذاری برای طبقه‌بندی، که دقت آن پایین و تلفیق اطلاعات چندین باند در آن مشکل است، یکی از اهداف تحقیق می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، استفاده از طبقه‌بندی کننده فازی برای تعیین میزان تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد که روش ارائه شده به دنبال کاهش دو نقص اساسی روش‌های تشخیص تغییرات می‌باشد. اولاً روش‌های فازی ارائه شده در حیطه تشخیص تغییرات (این حیطه بسیار وسیع است و شامل تمامی تغییرات می‌باشد) در دسته روش‌های خوشه‌بندی قرار می‌گیرند که این روش‌ها از دانش فرد خبره برای تعیین قواعد استفاده نمی‌کنند. ثانیاً روش‌های ارائه شده فازی، که از قواعد فرد خبره استفاده می‌کنند، عمدتاً به صورت مستقل تصاویر چندزمانه را طبقه‌بندی کرده و نتایج طبقه‌بندی را برای تعیین تغییرات مقایسه می‌کنند. در این صورت این روش‌ها نیاز به داده آموزشی مستقل در دو زمان و از کلاس‌های مختلف منطقه دارند. همچنین دو سیستم فازی لزوماً مشابه نیستند و باید مستقل طراحی گردند که مستلزم صرف زمان بیشتر است. پیرو این معایب، یکی دیگر از اهداف این تحقیق استفاده از یک طبقه‌بندی کننده فازی به جای دو طبقه‌بندی کننده است که معایب ذکر شده در فوق را تاحدی کاهش دهد. روش-های طبقه‌بندی موجود دارای فرضیاتی می‌باشند که کلاس‌ها را در فضای ویژگی از یکدیگر تفکیک کنند به عنوان مثال روش SVM از یک ابرصفحه استفاده می‌کند، در این پژوهش از قواعد فازی استفاده می‌شود که این قواعد به نوعی یک مدلسازی و تفکیک غیرخطی در فضای ویژگی بر اساس نظر فرد خبره ایجاد می‌کند. بدیهی است که بررسی این مدلسازی پیچیده و غیرخطی در نتایج نهایی باید مورد بررسی قرار گیرد که یکی از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد. در تحقیقات انجام گرفته در حوزه تغییرات دریاچه ارومیه تاکنون به دنبال میزان مناطق تغییر کرده بوده‌اند درحالیکه میزان تغییرات در این منطقه از نظر طیفی و کلاسی آنچنان زیاد است که طبقه‌بندی تمامی این کلاس‌ها در یک کلاس کار دشواری است. علاوه بر این شناخت کلاس‌هایی نظیر شوره زار خشک، شوره زار مرطوب و غیره که از تغییر کلاس آب تولید می‌شوند در مطالعات زیست محیطی حائز اهمیت هستند. بنابراین تشخیص این کلاس‌ها ضروری به نظر می‌رسد و باید تحقیقات به سمت این موضوع حرکت کنند. در این راستا، در این پژوهش به بررسی و تعیین تغییرات در چندین کلاس تغییر (۴ کلاس) خواهیم پرداخت.

در ادامه مقاله یک طبقه‌بندی فازی دو کلاسی تغییر کرده و تغییر نکرده فازی نیز به‌منظور ارزیابی این روش در مقایسه با روش‌های ماشین بردار پشتیبان صورت پذیرفته

Archive of SID

www.SID.ir

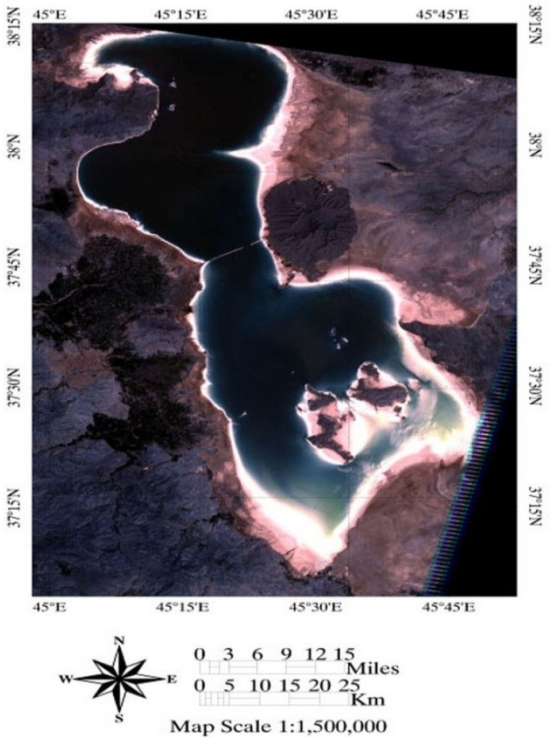
است که مقایسه نتایج از بالا بودن دقت کل روش‌های فازی حکایت دارد.

ساختار کلی مقاله در پنج بخش کلی به این صورت می‌باشد. در بخش دوم به معرفی داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد، در بخش سوم روش تحقیق و متدهای مورد استفاده بیان خواهد شد، در بخش چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج انجام خواهد شد. و در نهایت در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات خواهیم پرداخت.

۲- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه محدوده دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران است (شکل ۱). این منطقه بین عرض ۳۷ تا ۳۸ درجه شمال جغرافیایی و طول ۴۵ تا ۴۶ درجه شرق جغرافیایی واقع در میان دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی می‌باشد.

داده مورد استفاده در این تحقیق باندهای ۴، ۵ و ۷ تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵، برای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ می‌باشد. رزولوشن مکانی این تصاویر ۳۰ است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

۳- روش تحقیق و فلوچارت پیشنهادی

در این مطالعه با توجه به فقط دو کلاسی بودن مطالعات قبل و همچنین نیاز به اطلاعات بیشتر در جهت تعیین نسبی نوع تغییرات در مورد دریاچه ارومیه، روشی نظارت‌شده برای طبقه‌بندی مناطق تغییر کرده و کلاس-های تغییرات در محدوده دریاچه ارومیه بین استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۵، در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ پیشنهاد شده است. برای انجام عمل طبقه‌بندی کلاس‌ها از سیستم استنتاج فازی به‌عنوان طبقه‌بندی‌کننده با سه ورودی و چهار خروجی، کلاس‌های تغییر نکرده، تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد استفاده شده است.

در این مطالعه ابتدا پیش‌پردازش بر روی تصاویر سری زمانی انجام شد. سپس با استفاده از روش تفاضلی، تصویر تفاضلی محاسبه شده و با انجام عملیات طبقه‌بندی فازی، تصویر طبقه‌بندی شده در دو حالت، چهار کلاسی و دو کلاسی تولید شده است. در نهایت نتایج حاصل‌شده از روش پیشنهادی با روش ماشین بردار پشتیبان مقایسه شد. روند کلی تحقیق در مدل مفهومی شکل ۲ نشان داده شده است.

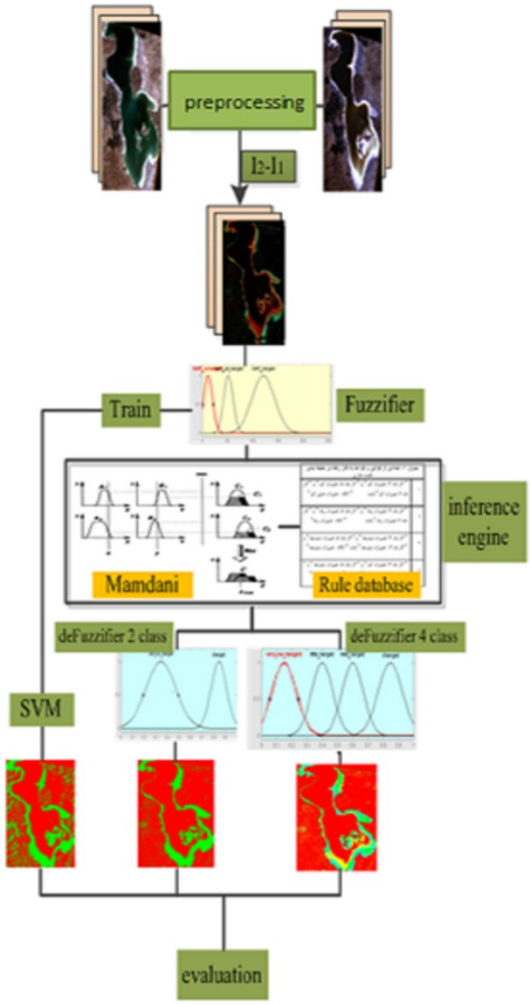
۳-۱- پیش‌پردازش

از مهم‌ترین مراحل تشخیص تغییرات پیش‌پردازش تصاویر فواصل زمانی می‌باشد که قابلیت اعتماد به نتایج را منجر می‌شود. روش‌های متفاوتی همچون استفاده از چندجمله‌ای‌ها با درجات متفاوت برای هم‌مرجع نمودن تصاویر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این تحقیق از چندجمله‌ای‌ها برای زمین مرجع کردن تصاویر استفاده شد. همچنین دو تصویر کالیبره شده سری زمانی با استفاده از همسان‌سازی هیستوگرام[۱] تصحیح رادیومتریک شده‌اند.

با توجه به اینکه تصاویر در یک روز و ماه مشابه سال-های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ اخذ شده‌اند، و نیز به علت اعمال همسان‌سازی هیستوگرام و توجه به تحقیقات پیشین، اعمال تصحیحات اتمسفری روی تک‌تک تصاویر برای مطالعه شناسایی تغییرات با شرایط مذکور لازم نیست [۱۶] ، [۲۱].

۱ Histogram maching

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- مدل مفهومی پیشنهادی

۳-۲- تولید تصویر تفاضلی

در میان روش‌های پیکسل‌مبنا جهت بدست آوردن نقشه تغییرات، استفاده از روش تفاضل بین تصاویر همواره به عنوان یکی از روش‌های ساده مورد توجه بوده است. از این رو در این تحقیق به منظور تولید اطلاعات اولیه برای مراحل بعدی از روش تفاضل‌گیری بین تصاویر سری زمانی استفاده شد. که از مزایای روش مذکور طبق تحقیقات مسرور حسین و همکاران (۲۰۱۳)، ساده بودن و سرعت بالای آن می‌باشد [۲۵]. برای تصویر I_1 (۱۳۸۵) و تصویر I_2 (۱۳۹۰)، با اعمال تفریق $I_\Delta = I_2 - I_1$ باندهای متناظر در دو تصویر از هم کم شده و تصویر تفاضلی تولید می‌شود [۷].

۳-۳- طبقه بندی

روش‌های متفاوتی به منظور تشخیص تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است. در روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، وجود داده‌های آموزشی به منظور تعلیم طبقه‌بندی کننده‌ها یک امر ضروری تلقی می‌شود. در طبقه‌بندی کننده‌های شناخته شده مانند ماشین بردار پشتیبان از داده‌های آموزشی جهت تعیین پارامترهای طبقه‌بندی استفاده می‌شود. با توجه به عدم قطعیت در نحوه ادغام کلاس‌های تغییرات، استفاده از روش‌های فازی معایب روش‌های طبقه‌بندی قطعی را نخواهد داشت.

در علوم سنجش‌ازدوری برای تحلیل مسائل، اصلی-ترین ابزارها درجات جاکستری تصویر ثبت شده می‌باشند. از این رو اختلافات درجات خاکستری برای دو دوره زمانی مختلف می‌تواند حاوی اطلاعات متعددی باشد. قرار گیری محدوده وسیعی از درجات خاکستری در یک کلاس از نقطه نظرهای متفاوت می‌تواند با چالش همراه گردد. در مورد تغییرات دریاچه ارومیه تعیین نوع تغییر اتفاق افتاده بسیار اهمیت دارد. از جهات مختلف قرار گیری کلاس شوره‌زار خشک، شوره‌زار مرطوب، مخلوط نمک و خاک در یک کلاس باعث تولید اطلاعات ناقص می‌شود. از این رو در این تحقیق یک طبقه‌بندی کننده چهار کلاسی شامل کلاس‌های تغییر نکرده، تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد با استفاده از طبقه‌بندی کننده فازی انجام خواهد شد، که قرابت معنا داری با کلاس‌های عنوان شده شوره‌زار خشک، شوره‌زار مرطوب، مخلوط نمک و خاک دارند. همچنین یک طبقه‌بندی دو کلاسی تغییر کرده و تغییر نکرده نیز برای مقایسه نتایج با طبقه‌بندی کننده SVM، که دو کلاس مشابه دارد، انجام می‌گیرد.

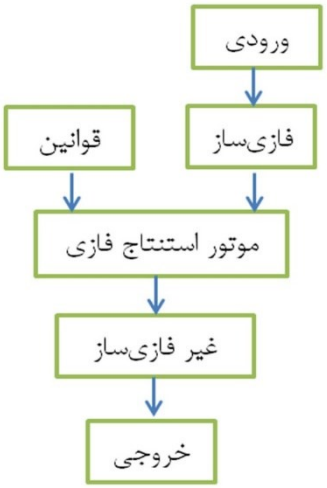
۳-۴- سیستم استنتاج فازی

سیستم منطق فازی را می‌توان یک نگاشت غیرخطی، مجموعه داده ورودی به داده عددی خروجی تعریف کرد. یک سیستم منطق فازی شامل ۴ بخش عمده، فازی‌ساز، قوانین، موتور استنتاج، غیرفازی‌ساز است. اجزاء و معماری یک سیستم منطق فازی در شکل ۳ نشان داده شده است [۲۶].

ابتدا یک مجموعه ورودی اولیه گردآوری می‌شوند و سپس به یک مجموعه فازی با استفاده از متغیرهای زبانی، ترم‌های زبانی فازی و توابع عضویت تبدیل می‌شوند، این گام

Archive
www.SID.ir

را فازی‌سازی گویند. سپس یک استنتاج بر اساس قوانین موجود انجام می‌گیرد. در نهایت نتایج خروجی فازی به یک خروجی سخت نگاشت می‌شود، این کار با استفاده از توابع عضویت در گام غیرفازی‌سازی انجام می‌گیرد [۲۶].



شکل ۳- سیستم استنتاج فازی برگرفته از [۲۶]

توابع عضویت در گام‌های فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی سیستم منطق فازی استفاده می‌شوند. این توابع مقادیر ورودی غیرفازی را با نگاشتی به ترم‌های متغیرهای زبانی و بلعکس مرتبط می‌کنند. یکی از خصوصیات منطق فازی این است که یک مقدار عددی تنها توسط یک تابع عضویت فازی‌سازی نمی‌شود، به عبارت دیگر یک مقدار می‌تواند درجه تعلق در چند تابع داشته باشد (مثلاً کلاس درختان و گیاهان). از جمله معمول‌ترین توابع عضویت، توابع گوسی، مثلثی و ذوزنقه‌ای هستند و معمولاً انتخاب تابع عضویت مناسب بر اساس تجربه کاربر انتخاب می‌شود [۲۶].

در یک سیستم منطق فازی، یک پایگاه قوانین برای آموزش متغیرهای خروجی ساخته می‌شود. یک قانون فازی، یک قاعده اگر- آنگاه ساده با یک شرط و یک نتیجه است. در جدول ۱ قوانین فازی یک سیستم طبقه‌بندی کلاس ساختمان با سقف قرمز و ساختمان با سقف آبی را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱- نمونه‌ای از قواعد فازی یک سیستم طبقه‌بندی

۱	اگر (درجه خاکستری باند قرمز بزرگ‌تر از ۲۰۰) و (درجه خاکستری باند آبی کمتر از ۵۰) باشد. آنگاه (پیکسل سقف قرمز است).
۲	اگر (درجه خاکستری باند آبی بزرگ‌تر از ۲۰۰) و (درجه خاکستری باند قرمز کمتر از ۵۰) باشد. آنگاه (پیکسل سقف آبی است).

ارزیابی قوانین فازی و ترکیب نتایج هر قانون با استفاده از موتور استنتاج فازی صورت می‌گیرد. عملگرها مورد استفاده در مجموعه‌های فازی با عملگرها مجموعه-های غیرفازی متفاوت است.

پس از ارزیابی نتایج هر قانون با استفاده از عملگرهای فازی، این نتایج باید ترکیب شوند تا نتیجه نهایی حاصل گردد، این پروسه را استنتاج گویند [۲۶]. درنهایت پس از استنتاج قواعد، نتیجه یک مقدار فازی است، این نتیجه باید غیرفازی شود.

۳-۵- ماشین بردار پشتیبان[۱]

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی آماری غیر پارامتریک است. این روش با انتقال نمونه‌ها به یک فضای بالاتر و تعریف یک فوق صفحه جدا کننده، داده‌ها را در کلاس‌های مختلف جداسازی می‌کند. در این روش در صورتی که نتوان داده‌ها را به صورت خطی جدا سازی کرد، داده‌ها را با استفاده از کرنل‌هایی به فضای بالاتر انتقال داده با تعریف مقدار جریمه به جدا سازی کلاس‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۶- ارزیابی

ارزیابی نتایج حاصل از روش ارائه شده در این تحقیق به صورت بصری، تعیین دقت با استفاده از ماتریس خطا به صورت مطلق و مقایسه دقت ماتریس خطا با روش ماشین بردار پشتیبان به صورت نسبی انجام پذیرفته است.

۴- پیاده سازی و بحث

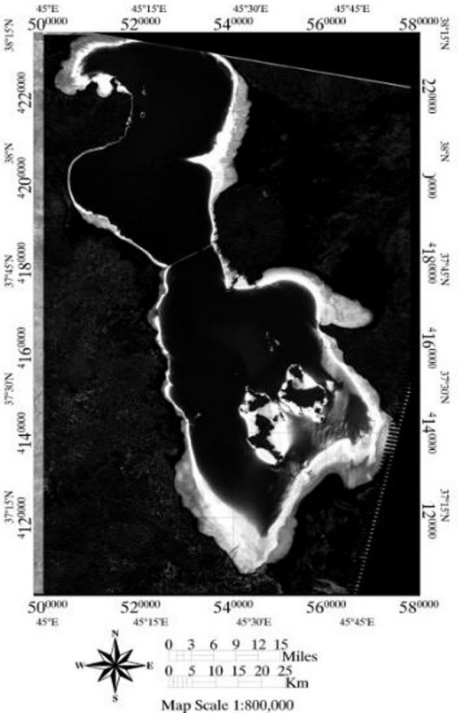
در این مقاله داده‌های آموزشی برای تعیین تغییرات در چهار کلاس تغییر نکرده، تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد می‌باشد. در انجام روش‌های مختلف تشخیص و ارزیابی تغییرات استفاده از تصاویر زمانی هنگامی با دقت همراه خواهد بود که تصاویر هم‌مرجع باشند. در این تحقیق هم‌مرجع سازی تصاویر بر اساس چند جمله‌ای‌ها و با استفاده از ۸ نقطه کنترل با دقتی برابر ۰/۵۲ در واحد پیکسل صورت پذیرفته است. قبل انجام عمل هم‌مرجع سازی دو تصویر سری زمانی با استفاده از تئوری همسان سازی هیستوگرام همسان گردید.

۱ Support Vector Machine

www.SID.ir

با توجه به مطالعات بروزونه و همکاران استفاده از باندهای ۴، ۵ و ۷ ماهواره لندست ۵ به منظور تشخیص تغییرات آب، به کلاس‌های غیر آب به اثبات رسیده است [۱و۱۱]. به همین دلیل از این سه باند برای تهیه تصاویر تفاضل استفاده شد که در شکل ۴ نمونه‌ای از تصویر تفاضلی منطقه دریاچه ارومیه مربوط به باند ۴ آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود مناطق تیره مربوط به کلاس تغییر نکرده و مناطق سفید (روشن‌تر) کلاس تغییر کرده می‌باشد. همچنین سطح کلاس تغییر کرده دارای شدت‌های مختلف است که به نوعی نشان دهنده تنوع کلاسی در این کلاس می‌باشد.

روش طبقه‌بندی فازی از جمله روش‌های نظارت‌شده کلاسه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که نیاز به داده‌های آموزشی به منظور تعریف توابع عضویت فازی دارد. دراین مقاله از تابع عضویت گوسی به منظور فازی‌سازی ورودی‌ها استفاده شده است. جهت تعریف تابع عضویت گوسی از داده‌های آموزشی برای محاسبه پارامترهای واریانس و میانگین برای هر کلاس استفاده شده است. با انجام فازی سازی، هر پیکسل ورودی از هر کدام از تصاویر تفاضلی یک مقدار فازی را به خود اختصاص خواهد داد.



شکل ۴- تصویر تفاضلی باند ۴

یکی از مهم‌ترین مواردی در یک سیستم فازی تعریف و مدیریت قوانینی است که با استفاده از آن طبقه‌بندی کننده‌ای ساخته شود که، دیگر طبقه‌بندی کننده‌های شناخته شده قادر به تولید اطلاعات مشابه آن نباشند. با توجه به اطلاعات سیستم خبره قواعد فازی می‌تواند نتایج مناسب و یا حتی نتایج غیر مناسب را داشته باشد. آنچه اهمیت دارد این است که در صورتی که قواعد مناسب به منظور تفکیک کلاس‌های مختلف تعریف شود نتایج قابل انعطاف و مناسبی را به عنوان یک خروجی از سیستم فازی دریافت خواهیم کرد . در جدول ۲ تعدادی از قوانین تعریف شده توسط نویسندگان جهت تفکیک کلاس‌های مورد نظر، که در پایگاه قوانین این سیستم طبقه‌بندی کننده فازی تعریف شده‌اند، آورده شده است. تعداد کل قوانین ۲۲ مورد می‌باشد.

جدول ۲- تعدادی از قوانین و قواعد به کار رفته در طبقه بندی کننده فازی

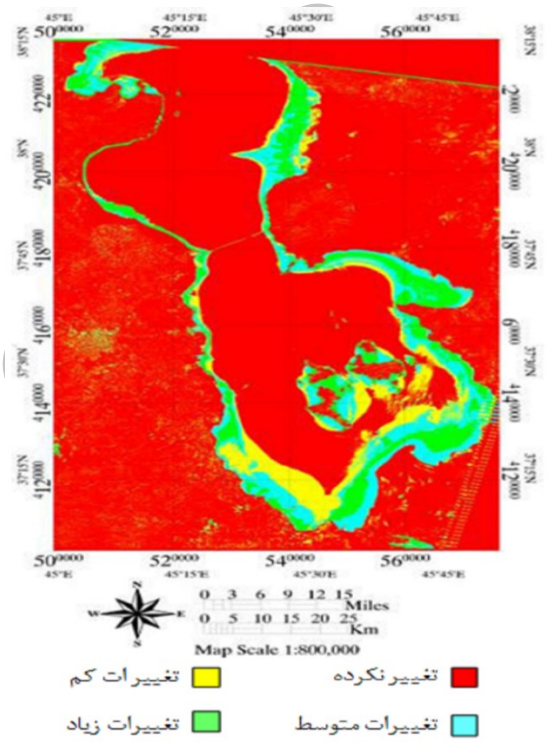
۱	« اگر باند ۴، تغییرات کم» و « اگر باند ۵، تغییرات کم» و « اگر باند ۷، تغییرات کم» باشد. « آنگاه ، تغییرات نکرده»
۲	« اگر باند ۴، تغییرات زیاد» و « اگر باند ۵، تغییرات زیاد» و « اگر باند ۷، تغییرات زیاد» باشد. « آنگاه ، تغییرات زیاد»
۳	« اگر باند ۴، تغییرات متوسط» و « اگر باند ۵، تغییرات متوسط» و « اگر باند ۷، تغییرات متوسط» باشد « آنگاه ، تغییرات متوسط»
۴	« اگر باند ۴، تغییرات کم» و « اگر باند ۵، تغییرات متوسط» و « اگر باند ۷، تغییرات متوسط» باشد « آنگاه ، تغییرات کم»

باید توجه داشت که هدف پایگاه قوانین فازی این است که با استفاده از آن بتوان کلاس‌های فوق الذکر را استخراج کرد. به همین جهت قوانین به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا نتایج مطلوب را در پی داشته باشند. روش استنتاج و ترکیب قواعد به کار رفته در این موتور استنتاج فازی از نوع ممدانی می‌باشد. با انجام عمل استنتاج نتایج به غیر فازی ساز برای تولید خروجی ارسال شده است. نکته قابل اهمیت این می‌باشد که انتخاب نادرست پارامترهای تابع غیر فازی ساز بین کلاس‌های مثلاً A و B باعث به وجود آمدن اغتشاش در نتایج طبقه‌بندی شده و دقت کاری مناسب را از بین می‌برد به گونه‌ای که ممکن است پیکسل متعلق به کلاس A در کلاس B طبقه‌بندی شود [۲]. در شکل ۵ نتیجه طبقه‌بندی صورت گرفته با استفاده از طبقه‌بندی کننده فازی چهار کلاسی آورده شده است.

در شکل ۵ مناطق مربوط به رنگ قرمز متعلق به کلاس با تغییر نکرده، مناطق مربوط به رنگ زرد متعلق به کلاس با تغییرات کم، رنگ آبی کلاس با تغییرات

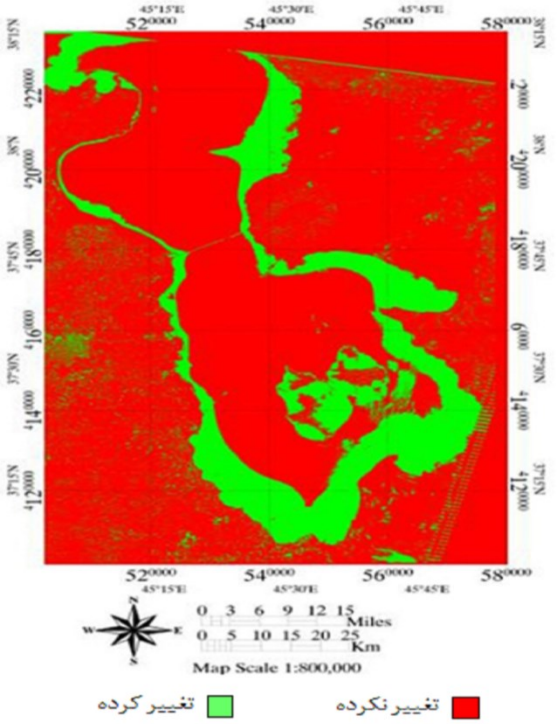
Archive of SID
www.SID.ir

متوسط و همچنین مناطق با رنگ سبز به منظور کلاس با تغییرات زیاد مشخص شده است. در این مقاله همچنین با انتخاب یک حد آستانه در مرحله غیر فازی ساز سعی شده است تا طبقه‌بندی دیگری نیز با دو کلاس خروجی صورت گیرد، نتیجه آن در شکل ۶ قابل مشاهده است. با این کار به نوعی سعی شده است تا علاوه بر نشان دادن قابلیت انعطاف بالای سیستم طبقه‌بندی کننده فازی در تفکیک کلاس‌ها با شرایط مختلف، نتایج با روش‌های طبقه‌بندی دیگر، که معمولاً در دو کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده عمل می‌کنند، مقایسه شوند.



شکل ۵- نتیجه طبقه بندی کننده فازی در ۴ کلاس

در طبقه‌بندی فازی با دو کلاس، کلاس تغییر کرده‌ها و کلاس تغییر نکرده‌ها با دو رنگ قرمز برای مناطق با عدم تغییرات و رنگ سبز برای مناطق با تغییرات به کار گرفته شده است.



شکل ۶- نتیجه طبقه بندی کننده فازی در ۲ کلاس

۴-۱- ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی نتایج با توجه به قدرت تفکیک مکانی نسبتاً پایین تصاویر مورد استفاده از دو روش بصری و آماری استفاده شده است. روش بصری بیان کننده میزان قابلیت انطباق طبقه بندی کننده فازی چهار کلاسه با واقعیتی است که ذهن انسان قادر به درک آن است. این در حالی است که روش‌های آماری از پارامترهای کمی در ارزیابی روش‌های مختلف استفاده می‌کنند.

۴-۱-۱- ارزیابی بصری

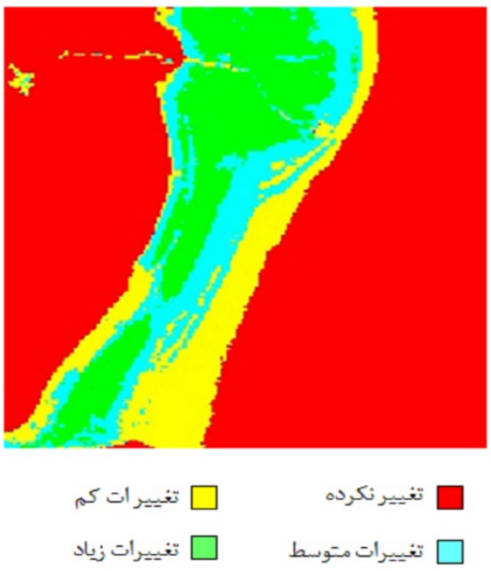
بارزترین تفاوت طبقه‌بندی چهار کلاس با سایر روش‌ها در وجود یک نکته مهم در نحوه گذر از مناطق با تغییرات کم به مناطق با تغییرات زیاد می‌باشد، به گونه‌ای که در شکل ۷ مشهود است، در اکثر مناطق که تغییرات وسعت عرضی بالای دارد. اگر از مناطق داخل دریاچه به سمت لبه‌ها حرکت کنیم ابتدا مناطق قرمز (تغییر نکرده)، سپس وارد مناطق زرد (تغییرات کم) بعد از آن مناطق با رنگ آبی ظاهر می‌شوند، که بیان کننده مناطق با تغییرات متوسط می‌باشند و بعد از آن مناطق با تغییرات زیاد (رنگ سبز) قرار دارد. نتایج حاصل از این مطالعه این واقعیت را بیان می‌کند که در عمل تغییرات با وسعت زیاد به صورت

Archive

www.SID.ir

پله‌ای از مناطق با تغییر نکرده وارد مناطق با تغییرات زیاد نمی‌شود و معمولا یک نظم مرحله‌ای در تغییرات اتفاق افتاده در مسائل محیط زیستی وجود دارد. یعنی از تغییرات نکرده شروع شده و به صورت مرحله به مرحله تغییرات بیشتر می‌شود. در اکثر مناطق با وسعت تغییرات زیاد، روند کلی تغییرات بدین صورت ادامه پیدا می‌کند که اگر از مناطق با تغییرات زیاد به سمت بیرون دریاچه حرکت کنیم نیز مجدداً ابتدا مناطق سبز سپس مناطق آبی و بعد از آن مناطق زرد و در نهایت به مناطق با عنوان تغییر نکرده یعنی مناطق قرمز رنگ می‌رسیم. لازم به ذکر است که این موضوع در تمامی لبه‌های دریاچه به یک اندازه نیست به طوریکه در لبه‌های غربی این تغییرات پله-ای به ندرت دیده می‌شود.

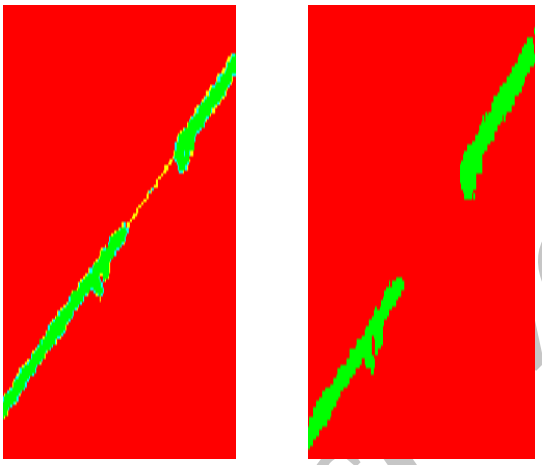
همچنین با مقایسه برخی مناطق از روی تصاویر اصلی در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، قوه درک انسان به عنوان یکی از بهترین تشخیص دهندگان تغییرات در تغییر کرده یا تغییر نکرده بودن برخی از مناطق تردید می‌کند؛ و اطلاق مناطق دارای تغییرات کم برای این موارد منطقی‌تر به نظر می‌رسد که با استفاده از طبقه‌بندی کننده فازی طراحی شده در این مقاله نتایج واقع گرایانه‌تری را به دست می‌آوریم.



شکل ۷- نحوه بروز تغییرات در تصویر طبقه بندی شده چهار کلاسی

از مهم‌ترین ویژگی روش‌های فازی، نگاه غیر باینری (غیر مطلق) به تغییرات است. در واقع در روش‌های فازی ممکن است یک پیکسل به چندین کلاس با درجات فازی متفاوت تعلق داشته باشد. این در حالی است که در روش-های مانند SVM چنین تفکری وجود ندارد. بنابراین تولید نقشه‌های متنوع با کاربری‌های متفاوت ناشی از طبقه‌بندی فازی و با توجه به درجه تعلق هر پیکسل ممکن خواهد بود.

بحث بعدی در قابلیت بالای کشف پل بر روی دریاچه در تصویر طبقه بندی شده چهار کلاسی (با توجه به زمان تکمیل شدن آن که بعد از سال ۱۳۸۵ است) در مقایسه با عدم استخراج آن در تصویر دو کلاسی با توجه به قدرت تفکیک مکانی کم داده مورد استفاده می‌باشد. به گونه‌ای که در شکل ۸ نیز قابل مشاهده است در تصویر حاصل از طبقه‌بندی چهار کلاسی، پل به عنوان تغییرات کم طبقه‌بندی شده است این در حالی است که در تصویر دو کلاسی، محل مربوط به پل شهید کلانتری در کلاس تغییر نکرده مورد طبقه‌بندی قرار گرفته است، و این نشان از انعطاف بالای روش مذکور در مقایسه با طبقه‌بندی کننده‌های دو کلاسی می‌باشد.

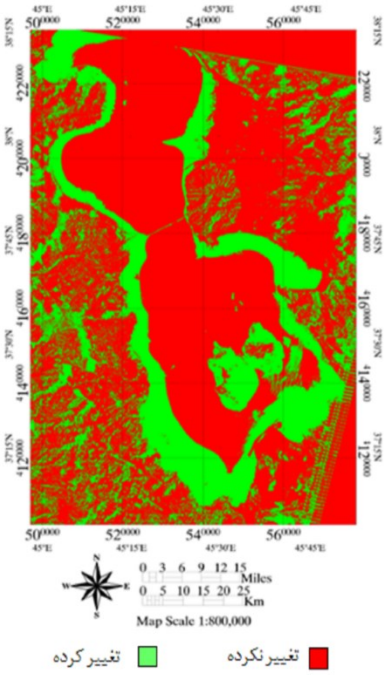


شکل ۸ – کشف پل در تصویر ۴ کلاسی (شکل چپ)و عدم کشف آن در تصویر ۲ کلاسی (شکل راست)

۴-۱-۲- ارزیابی آماری

به منظور ارزیابی دقیق‌تر نتایج، روش پیشنهادی در این تحقیق، تشخیص تغییرات در منطقه مورد نظر با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان مورد طبقه‌بندی دو کلاسی تغییر کرده و تغییر نکرده قرار گرفت. کرنل مورد استفاده برای طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان از نوع تابع Radial base است. پارامترهای کرنل همان مقادیری می‌باشد که نویسندگان در مقاله مشابه دیگری جهت ارزیابی نتایج (یعنی منبع [۱]) به صورت سعی و خطا بهینه کرده‌اند. مقدار گاما و پارامتر پنالتی به ترتیب ۰/۳۳۳ و ۱۰۰ می‌باشند. نتیجه ناشی از این طبقه-بندی کننده در شکل ۹ آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۹- تغییرات کشف شده با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

به منظور ارزیابی دقت روش‌های مذکور در ذیل جدول مربوط به ماتریس ابهام برای روش ماشین بردار پشتیبان در جدول ۳ شده است.

جدول ۳- ماتریس ابهام روش ماشین بردار پشتیبان

	تغییر کرده (predicted)	تغییر نکرده (predicted)	accuracy
تغییر کرده	۶۵۲	۲۰۳	۷۶/۲۱
تغییر نکرده	۷	۱۵۲	۹۵/۵۹
Average accuracy ۸۵/۹۰		Overall ۷۹/۲۱	

همچنین ماتریس ابهام برای طبقه‌بندی کننده فازی دو کلاسی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- ماتریس ابهام روش طبقه بندی کننده فازی ۲ کلاسی

	تغییر کرده (predicted)	تغییر نکرده (predicted)	accuracy
تغییر کرده	۸۲۳	۳۳	۹۶/۱۴
تغییر نکرده	۵	۱۵۴	۹۶/۸۵
Average accuracy ۹۶/۵۰		Overall ۹۶/۲۵	

با توجه به میزان دقت‌های بدست آمده روش طبقه‌بندی فازی دو کلاسی دارای دقت بالاتری نسبت به روش طبقه-بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. که از دلایل اصلی آن می‌تواند مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها در روش فازی و نیز تعامل با کاربر جهت تعریف توابع عضویت و قوانین سیستم فازی بصورت نظارت شده باشد. به عبارت صحیح‌تر، مزیت اصلی روش فازی در قواعدی است که توسط عامل خبره تعیین می‌گردد. در واقع این قواعد فضای ویژگی را به صورت غیرخطی برای کلاس‌های مختلف تفکیک می‌کند، کاری که در روش طبقه‌بندی SVM با یک ابرصفحه انجام می‌گیرد. در نتیجه مدلسازی غیرخطی پیچیده‌ای، متناظر با ذهن عامل خبره، در روش فازی به کار گرفته شده است که این قواعد به نسبت در روشی مانند SVM ساده‌تر است.

بنابر نتایج حاصل از مطالب پاراگراف‌های فوق‌الذکر خروجی سه کلاس تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد در یک کلاس تغییر کرده اجماع شده است. با برآورد دقت برای خروجی طبقه‌بندی فازی چهار کلاسی و با توجه به برتری قواعد استنتاج فازی ناشی از فرد خبره نسبت به روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان به نظر می‌زسد چنین برتری مشابهی نیز برای حالت ۴ کلاسی نیز رخ دهد. در جدول ۵ نتایج ناشی از طبقه‌بندی کننده فازی چهار کلاسی آورده شده است.

با دقت در جدول ۳ و ۴، بین برخی از کلاس‌ها از جمله تغییر نکرده با کلاس تغییرات کم و تغییرات متوسط با کلاس تغییرات زیاد اغتشاش و همبستگی مشاهده می-شود که این موضوع به علت اغتشاش طیفی کلاس‌ها از تغییر نکرده به سمت تغییرات زیاد است.

جدول ۵- ماتریس ابهام روش طبقه بندی کننده فازی ۴ کلاسی

	تغییر نکرده	تغییرات کم	تغییرات متوسط	تغییرات زیاد	accuracy
تغییر نکرده	۱۵۴	۵	۰	۰	۹۶/۱۴
تغییرات کم	۱۶	۱۱۰	۲	۱	۸۵/۲۷
تغییرات متوسط	۱۱	۱	۴۶۵	۱۴	۹۴/۷۰
تغییرات زیاد	۶	۸	۲۰	۲۰۲	۸۵/۸۸
Average accuracy ۹۰/۴۹			Overall ۹۱/۷۲		

با توجه به لزوم در دسترس بودن اطلاعات دقیق از میزان مساحت آبی خشک شده در محدوده دریاچه ارومیه در جهت استفاده توسط سایر محققان در علوم دیگر به ارزیابی و محاسبه سطح خشک شده این منطقه پرداخته شده است. در جدول ۶ مقدار مساحت مناطق تغییر کرده آورده شده است.

www.SID.ir

در برآورد میزان مساحت کلاس تغییرات فقط محدوده دریاچه در نظر گرفته شده است، ضمن آنکه اندازه پیکسل سایز زمینی مربوط به سنجنده ۳۰ متر در محاسبات وارد شده است. در مجموع میزان تغییرات اتفاق افتاده در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰، ۲۷۰۳ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

جدول ۶- مساحت تغییرات

میزان تغییر(کیلومتر مربع)	نوع تغییر
۱۲۰۲	تغییرات زیاد
۸۶۷	تغییرات متوسط
۶۳۴	تغییرات کم

۵- نتیجه گیری

شناسایی به موقع و دقیق تغییرات ایجاد شده در پدیده‌ها باعث اخذ تصمیمات صحیح در مدیریت آن‌ها خواهد شد. در روش‌های معمول تشخیص تغییرات، داده‌ها در دو کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده طبقه‌بندی می‌شوند. این در حالی است که از نقطه نظر درک انسانی و نیز نیاز به اطلاعات دقیق‌تر جهت تصمیمات مدیریتی می‌توان دریافت که تغییرات روند نسبی را از تغییر نکرده به سوی تغییرات زیاد دنبال می‌کند. از این رو در این مطالعه روشی پیشنهاد شده است که در آن از طبقه‌بندی کننده فازی به منظور کلاسه-بندی تغییرات دریاچه ارومیه در چهار کلاس تغییر نکرده، تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییر زیاد که قرابت بالایی با درک انسان دارد استفاده شده است. موارد حاصل از این روش با توجه به عدم قطعیت در کلاس تغییرکرده‌ها دارای نتایج مطلوب است. نتایج حاصل برای چند کلاسه بودن روند تغییرات ناشی از وسعت طیفی بالای تغییرات در تصاویر سنجش‌ازدوری می‌باشد. همچنین یک طبقه‌بندی دو کلاسی فازی نیز برای مقایسه روش پیشنهادی با روش شناخته شده ماشین بردار پشتیبان ارائه گردید. نتایج روش‌های ارائه شده در این مطالعه دارای دقت بالاتری در مقایسه با روش ماشین بردار پشتیبان می‌باشند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که وسعت تغییرات برای دریاچه ارومیه فقط کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده نیست و با توجه به اهداف مدیریتی و وجود داده‌های لازم می‌توان اطلاعات دقیق‌تری را نیز استخراج کرد. روش‌های شی‌گرای نسبت به روش‌های پیکسل‌مبنا دارای نتایج مطلوب‌تری است. از این رو پیشنهاد استفاده از روش‌های شی‌گرای فازی در تشخیص تغییرات چند کلاسه ارائه می‌گردد. همچنین در صورت اخذ زمینی داده‌های آموزشی می‌تواند شناسایی ماهیت کلاس تغییرات نیز به صورت دقیق انجام گیرد. با توجه به اینکه تغییرات کشف شده در این تحقیق، که در ۴ دسته دسته‌بندی شد، ارتباط معناداری با کلاس‌های آب، شوره‌زار مرطوب، شوره‌زار خشک و مخلوط نمک و خاک دارند، و از طرفی ساختار حل مسئله در این تحقیق به ما اجازه برقراری ارتباط مشخصی میان این دو دسته کلاس نمی‌داد، توصیه می‌شود در تحقیقات آینده ارتباط دقیق میان این کلاس‌های زیست محیطی و انواع تغییرات برقرار گردد.

مراجع

[1] M.Eslami, Y. Maghsoudi, (2014),” change detection using unsupervised Support Vector Machine (Urmia Lake: case study)” Geomatics exposition and symposium, Tehran,Iran.

[2] M. Gholubi, (2011), "Land Cover Mapping based on object based classification of Remote Sensing images" master of science thesis in the KN Toosi university of technology.

[3] A. Asghari Zamani, (2013), " Evaluation of the Urmia Lake changes as a broad biological challenge in the north west of Iran" Journal of Geographic Space, vol. 41, pp. 77-91.

[4] GH. Roshan, V. Mohammadnejad Arogh, (2012), " Urmia Lake water level hydrological changes forecasting with assumed global warming theoretical approaches in the coming decades " Journal of quantitative geomorphological researches, vol. 3, pp. 69-88.

[5] A. Aleshekh, A. Alimohammadi, A, Ghorbani (2004), "Urmia Lake shoreline monitoring by Remote Sensing" Journal of Geographical sciences, vol. 5, pp. 9-24.

[6] Masroor Hussain, Dongmei Chen, Angela Cheng, Hui Wei, David Stanley,2013“Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80,91–106

Archive of SID
www.SID.ir

[7] Dai, X. and S. Khorram, 1998. “The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection” IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 61, pp. 313-320.

[8] S.-h. Lee, 2010 "automated change detection in land-cover pattern using region growing segmentation and fuzzy vector." a special joint symposium of isprs technical commission iv.

[9] Singh, A., 1989. “Digital change detection techniques using remotely-sensed data” Int J. Remote Sens., 10, pp. 989-1003

[10] A. Ghosh, N. S. Mishra, and S. Ghosh, 2011 "Fuzzy clustering algorithms for unsupervised change detection in remote sensing images," Information Sciences, vol. 181, pp. 699-715.

[11] G. Metternicht, 1999, "Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 54, pp. 221-233.

[12] P. Fisher, C. Arnot, R. Wadsworth, and J. Wellens, 2006 "Detecting change in vague interpretations of landscapes," Ecological Informatics, vol. 1, pp. 163-178, 2006.

[13] M. Tourian, O. Elmi, Q. Chen, B. Devaraju, S. Roohi, and N. Sneeuw, , 2015. "A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran," Remote Sensing of Environment, vol. 156, pp. 349-360

[14] A. AghaKouchak, H. Norouzi, K. Madani, A. Mirchi, M. Azarderakhsh, A. Nazemi, et al., , 2015. "Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action," Journal of Great Lakes Research, vol. 41, pp. 307-311

[15] Zadeh, L.A., 1965. “Fuzzy sets.” Journal of Information and Control 8 (3), 338–353

[16] X. Yang and C. Lo, 2000, "Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 66, pp. 967-980.

[17] Yan, G., Mas, J.-F., Maathuis, B.H.P., Xiangmin, Z., Van Dijk, P.M., 2006. “Comparison ofpixelbased and object-oriented imageclassification approaches_A case studyin a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China.” International Journal of RemoteSensing 27 (18), 4039_4055.

[18] F. Bovolo, G. Camps-Valls, L. Bruzzone , 2007,”An Unsupervised Support Vector Method for Change Detection” Image and Signal Processing for Remote Sensing XIII, Povo, Italy

[19] Benz. U. C., Hofmann. P., Willhauck. G., Lingenfelder. I., Heynen. M., 2004. “Multi-resolution, objectorientedfuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information,” ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, 239– 258.

[20] A. D’Addabbo, G. Satalino,G. Pasquariello, P. Blonda , 2004" Three different unsupervised methods for change detection:an application",j Ieee,2004

[21] L. Bruzzone, D. Fernández Prieto, 2000 “Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection”, IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 38, 1171-1182 (2000).

[22] Xingping Wen, Xiaofeng Yang, 2009" Change detection from remote sensing imageries using spectral change vector analysis" , j Ieee

[23] A. Ben-Hur, D. Horn, H.T. Siegelmann, and V. Vapnik,2001 “Support Vector Clustering,” J. Machine Learning Research,2, 125-137

[24] A. Singh, 1989“Digital change detection techniques using remotely-sensed data.” Int. J. Remote sensing, 10, 989-1003

[25] Masroor Hussain, Dongmei Chen, Angela Cheng, Hui Wei, David Stanley,2013“Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80,91–106

[26] L.-X. Wang, 1999 “A course in fuzzy systems” , Prentice-Hall press, USA

[27] Bruzzone, L. and D. F. Prieto, 2000. “Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection”, IEEETrans. Geosci. Remote Sensing, 38, pp. 1171-1182

[28] B. Pengra, 2012 "The drying of Iran’s Lake Urmia and its environmental consequences," UNEP-GRID, Sioux Falls, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS).

Archive of SID
www.SID.ir