

تلفیق الگوریتم CART و شاخص‌های پوشش گیاهی در تهیه نقشه اراضی جنگلی مانگرو با استفاده از تصویر لندست ۸

ندا بی‌همتا طوسی*^۱، علیرضا سفیانیان^۲، سیما فاخران^۳ و سعید پورمنافی^۴

۱- دانشجوی دکتری آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
(n.bihamtaitoosi@na.iut.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. (soffianian@cc.iut.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. (fakheran@cc.iut.ac.ir)

۴- استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. (spourmanafi@cc.iut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۰۵

چکیده

هدف از این پژوهش تلفیق الگوریتم CART و شاخص‌های پوشش گیاهی برای ارتقاء صحت نقشه-سازي جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ است. در این پژوهش هفت شاخص پوشش گیاهی DVI، NDVI، NDII، IPVI، MNDWI، SAVI و OSaVI محاسبه شد. سپس با استفاده از الگوریتم CART در نرم‌افزار R شاخص‌های مهم و حد آستانه آن‌ها شناسایی و سرانجام نقشه اراضی مانگرو و اراضی پیرامون آن با روش درخت تصمیم‌گیری تهیه شد. نتایج ارزیابی صحت انجام‌شده با استفاده از GPS و تصویر ماهواره‌ای SPOT 6/7 نشان داد که نقشه حاصل دارای صحت کلی ۸۰/۹۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۴ است. تهیه نقشه اراضی مانگرو با دقت بالا توسط تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط به دلیل اثر بازتاب‌های زمینه (آب‌وخاک) و وجود پیکسل‌های مخلوط با توجه به شرایط محیط قرارگیری مشکل است. نتایج این پژوهش نشان داد که رویکرد معرفی‌شده می‌تواند اطلاعات مناسبی از وضعیت جنگل‌های مانگرو را برای انجام برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی اکوسیستم‌های مانگرو در اختیار سیاست-گذاران و برنامه‌ریزان قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم CART، جنگل‌های مانگرو، درخت تصمیم‌گیری، شاخص‌های پوشش گیاهی.

بر (Sari and Rosalina, 2016; Hamidi et al., 2015). بر همین اساس پژوهشگران زیادی از این داده‌ها به‌علاوه فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه، قابلیت تکرار-پذیری و دقت بالای آن‌ها برای کمی‌سازی و نقشه‌سازی الگوی مکانی جنگل‌های مانگرو استفاده کردند (Wang et al., 2004). پوشش‌های گیاهی در محدوده امواج الکترومغناطیسی رفتار طیفی خاصی دارد که از آن برای تهیه شاخص‌های سنجش‌ازدور پوشش گیاهی استفاده می‌کنند (Rahdari et al., 2015). شاخص‌ها، ترکیبی ریاضی حداقل از دو باند تصاویر ماهواره‌ای‌اند که از اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موج-های مختلف استفاده می‌کنند. هدف از ایجاد این شاخص‌ها، پیش‌بینی و ارزیابی برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند خصوصیات تاج‌پوشش، زی‌توده، تولید، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی است (Alavi Panah, 2002). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده که استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI، SAVI، DVI و IPVI برای شناسایی مانگروها تا حدودی موفقیت‌آمیز بوده است (Fei et al., 2011). Hoa and Binh (2016) ارزیابی تغییرات مانگروه‌های ساحلی تایلند را با استفاده از تصاویر چند زمانه ماهواره‌ی لندست و شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI، SAVI، SR و DVI بررسی کردند. Shi و همکاران (2016) برای شناسایی جنگل‌های مانگرو با روش ماشین بردار پشتیبان و تصویر لندست ۸، استفاده از داده‌های اصلی باندهای طیفی را با استفاده از داده‌های کمکی (شاخص‌های بانندی) برای تهیه نقشه جنگل‌های مانگرو مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داده که نقشه حاصل از ترکیب شاخص‌های بانندی در مقایسه با نقشه-های حاصل از داده‌های اصلی باندهای طیفی دارای صحت کلی، صحت کاربر و صحت تولیدکننده بهتری است (Shi et al., 2016). Jafarnia و همکاران (2016)

جنگل‌های مانگرو با دیگر اکوسیستم‌های جنگلی بسیار متفاوت‌اند، چرا که این جنگل‌ها ارمغان مشترک آب و خشکی به‌شمار می‌روند و به‌دلیل موقعیت استقرارشان و سازگاری که این گروه از گیاهان در گذرگاه آب و خشکی (در معرض کارکرد جزر و مد، شرایط غرقاب دائمی و محیط بی‌هوایی) پیدا کرده‌اند، جزء اکوسیستم-های ویژه و منحصربه‌فرد قرار دارند (Saleh, 2007). در سال ۱۹۷۲، جنگل‌های مانگروی ایران بر اساس معیارهای برنامه انسان و زیست‌کره یونسکو (MAB) به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره برگزیده و در شبکه جهانی ذخیره‌گاه ثبت شده‌اند (Safiari, 2005). جنگل‌های مانگرو به‌دلیل ارائه کارکردهای اکوسیستمی مانند جلوگیری از فرسایش سواحل، جلوگیری از اثرهای مخرب باد، طوفان و امواج، فراهم کردن زیستگاه‌های حیاتی از نظر بوم‌شناختی اهمیت بسیاری دارند (Dehghani, 2008). برداشت بی‌رویه از سرشاخه‌ها برای تعلیف دام، توسعه راه‌های آبی، استفاده تفرجی بدون ظرفیت‌یابی و طرح‌ریزی و توسعه آبی‌پروری از مهم‌ترین عوامل کاهش سطح جنگل‌های مانگرو است (Danekar and Jalali, 2005). مساحت کل مانگروه‌های جهان در حدود ۳/۶ میلیون هکتار کاهش یافته، که بیشترین کاهش در مساحت جنگل‌های مانگرو مربوط به آسیا و ناشی از تغییر کاربری اراضی است (Giril et al., 2011). از این‌رو پژوهش و پایش سطح رویشگاه‌های مانگرو به‌منظور مدیریت پایدار در زمینه حفظ، احیاء و توسعه این جنگل‌ها امری ضروری است (Danekar and Majnonian, 2004).

در دهه‌های اخیر دانش دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده‌ای برای بررسی‌های پوشش گیاهی و ارزیابی تغییرات آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Bagheri et al., 2018; Lohrabi et al., 2018;)

حوزه چم‌گردلان استان ایلام انجام داد. این پژوهش نشان داد که نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی درختی با دقت کل ۸۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۴ دارای بیشترین صحت است. با توجه به موقعیت قرارگیری جنگل‌های مانگرو در محیط خشکی و آبی، باید از تکنیک‌های که تأثیر بازتاب طیفی زمینه را کاهش می‌دهد برای بررسی و نقشه‌سازی دقیق‌تر این اراضی استفاده کرد. هدف از این پژوهش معرفی رویکردی تلفیقی برای ارتقاء صحت نقشه‌سازی جنگل‌های مانگرو با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و روش درختی CART از داده‌های ماهواره لندست ۸ است.

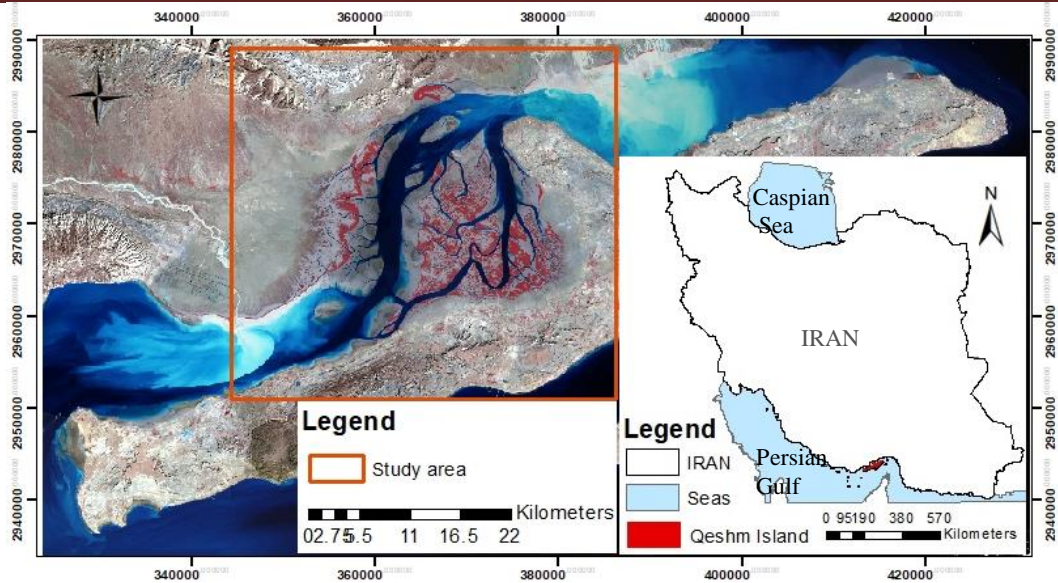
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

جنگل‌های مانگرو جزیره قشم در حدفاصل دلتای رودخانه مهران و گورزین در دماغه شمالی قشم قرار گرفته است. وسیع‌ترین جامعه یکپارچه جنگل‌های مانگرو ایران را در جزیره قشم می‌توان مشاهده کرد که خورهای اصلی، فرعی و آبراهه‌ها جوامع را از یکدیگر تفکیک کرده است. جنگل‌های مانگرو جزیره قشم از گونه اویسنیامارینا (*Avicennia Marina*) به نام محلی حرا تشکیل شده است. خاک بستر گل‌آلود، غرقابی و شور است ولی در مناطق استقراری تنک خاک به سمت خشکی بیشتری تمایل پیدا می‌کند (Safiari, 2005). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی جنگل‌های مانگرو را نشان می‌دهد. منطقه مورد بررسی دارای مساحتی نزدیک به ۱۶۰۰۵۴ هکتار است.

با استفاده از روش شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص‌های آماری، نقاط تعلیمی، روش‌های طبقه‌بندی بیشترین شدت احتمال، حداقل فاصله از میانگین نقشه کاربری اراضی منطقه قشم را با کمک داده‌های ماهواره‌ای برای سه سال ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۸ تهیه کردند. Kanniah و همکاران (2015) با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی بیشترین شدت احتمال و ماشین بردار پشتیبان تغییرات جنگل‌های مانگرو را در جنوب پنینسولار مالزی ارزیابی کردند. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی همراه با روش‌های طبقه‌بندی موجب ارتقاء صحت نقشه‌های تیپ‌های گیاهی می‌شود (Monsef and Smith, 2017). Chen و همکاران (2013) روش نسبت‌گیری بانندی و طبقه‌بندی نظارت‌شده را برای بررسی تغییرات پوشش‌های مانگرو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه‌های حاصل دارای صحت کلی ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۲ بوده است.

انتخاب روش طبقه‌بندی مناسب نقش زیادی در کارایی تهیه نقشه‌های موضوعی دارد. روش‌های طبقه‌بندی درختی برخلاف دیگر رویکردهای طبقه‌بندی که از یکسری مشخصه‌ها به‌طور هم‌زمان برای اجرای طبقه‌بندی در تک مرحله استفاده می‌کنند، برمبنای یک طرح تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای یا سلسله‌مراتبی هستند (Alimohamadi et al., 2009). (Arekhi (2012). مقایسه سه الگوریتم طبقه‌بندی شامل بیشترین احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و طبقه‌بندی درختی را بر روی داده‌های ETM+ برای طبقه‌بندی پوشش سطح زمین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی جنگل‌های مانگرو، جزیره قشم

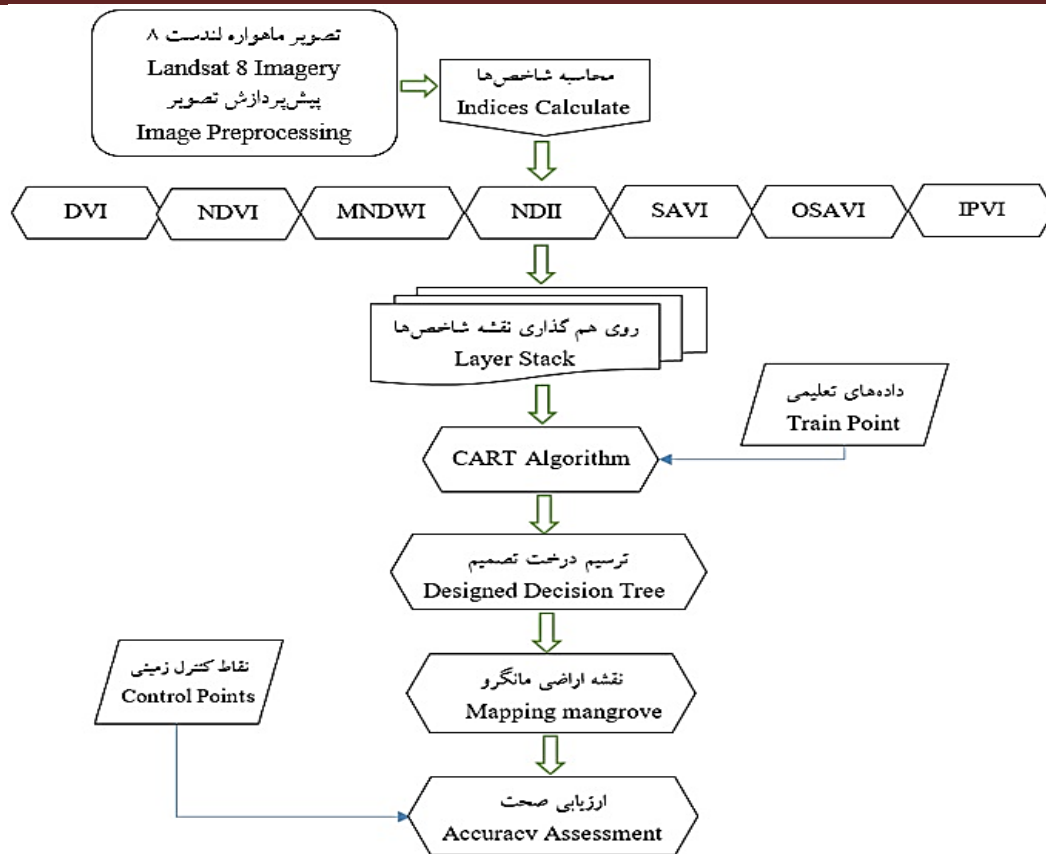
Figure 1. Geographical position of mangrove forests, Qeshm Island, Iran

پیدا می‌کند زیرا که باندهای مختلف به مقدار متفاوتی تحت تأثیر شرایط اتمسفری قرار می‌گیرند (Alavi pahan, 2011).

برای انجام تصحیحات رادیومتریک از اطلاعات موجود در فایل سربراره تصویر لندست و نرم‌افزار انوی (Envi) نسخه ۵/۱ استفاده شد. در گام بعدی تصحیح اتمسفری با روش پیکسل تاریک در نرم‌افزار انوی ۵/۱ انجام شد. پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها، از شاخص‌های پوشش گیاهی و الگوریتم CART برای نقشه‌سازی پوشش‌های مانگرو استفاده شد. در این پژوهش، هفت شاخص پوشش گیاهی با توجه به وضعیت منطقه و کنترل کاهش اثرهای بازتاب خاک زمینه، زاویه تابش خورشید، اثرهای توپوگرافی و اتمسفری برای جداسازی مانگروها انتخاب شدند که در ادامه اطلاعات زمینه و رابطه‌های آن‌ها اشاره شده است.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش تصویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI که در تاریخ ۲۰۱۷/۲/۱۹ اخذ شده بود؛ با توجه به کیفیت تصویر، عدم وجود پوشش ابر بر روی منطقه مورد بررسی و کمترین تأثیر از جزر و مد، انتخاب و از سایت USGS تهیه شد. همچنین تعداد ۱۷۰ نقطه برداشت شده توسط دستگاه GPS به صورت تصادفی با توزیع پراکنده در سال ۱۳۹۵ برای ارزیابی صحت نقشه تولیدی حاصل از پردازش تصویر استفاده شد. مراحل اصلی فرآیند انجام پژوهش به صورت شماتیک در شکل ۲ نمایش داده شده است که در ادامه این مراحل توضیح داده خواهند شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ دارای پردازش سطح یک هستند که از نظر ثبت زمینی از دقت مناسبی برخوردار بوده است و نیاز به انجام تصحیحات هندسی مجدد نیست. اعمال تصحیحات رادیومتریک زمانی که از نسبت‌های باندهای استفاده می‌شود ضرورت



شکل ۲- فلوچارت روش کار

Figure 2. Methodological steps

آب، رسوب و توده آلودگی است. از سوی دیگر باند مادون قرمز میانی تفاوت زیادی بین ویژگی‌های زمین و آب را در محدوده پژوهش نشان می‌دهد که ناشی از درجه بالایی جذب توسط آب و بازتاب قوی توسط زمین است؛ بنابراین شاخص MNDWI برای جداسازی زمین خشک، زمین مرطوب و آب با استفاده از سنجنده OLI مناسب است (Zhai *et al.*, 2015) که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MNDWI = \frac{(Green - MIR)}{(Green + MIR)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

- شاخص تفاضلی نرمال شده مادون قرمز (NDII)

این شاخص بر مبنای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانه محاسبه می‌شود و به تغییرات زی توده گیاه و مقدار آب در بافت گیاه حساس تر و نسبت به شاخص NDVI برای پوشش‌های تالابی مثل مانگرو مناسب است

- شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)

این شاخص تفاضل بین بیشترین جذب در ناحیه قرمز ناشی از رنگدانه‌های کلروفیل و بیشترین بازتاب در ناحیه مادون قرمز ناشی از ساختار سلولی برگ است که با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شود. بازه تغییرات این شاخص از +۱ تا -۱ است که برای مناطقی که تراکم پوشش گیاهی متوسط و بالاتر و مناسب است زیرا نسبت به خاک زمینه روشن و اثرهای اتمسفر حساسیت کمتری دارد اما برای مناطق پوشش گیاهی کم مناسب نیست (Alavi pahan, 2011).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

- شاخص آبی تفاضلی نرمال اصلاح شده (MNDWI)
این شاخص از ترکیب باندهای سبز و مادون قرمز میانی حاصل شده است. باند سبز حساس به تغییرات شفافیت

این شاخص بر اساس رابطه شاخص NDVI است با این تفاوت که بازه ارزش‌ها بین صفر تا یک است (Alavi pahan, 2011). بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$IPVI = \frac{NIR}{NIR + RED} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در گام بعد برای اجرای این مدل پس از روی هم‌گذاری لایه‌های تولیدشده و معرفی نقاط تعلیمی برای هر کلاس، با استفاده از الگوریتم CART شاخص‌های تأثیرگذار و حدود آستانه هر یک از شاخص‌ها به صورت خودکار شناسایی شد. مراحل الگوریتم CART به این نحوه است که در ابتدا کار با تمامی داده‌ها در ریشه درخت (گره‌ای که در رأس درخت تصمیم قرار دارد) شروع می‌شود. این روش در ابتدا با استفاده از معیارهای تعیین‌شده تمامی داده‌ها را به صورتی بازگشت‌پذیر تقسیم می‌کند. سپس تمامی متغیرهای پیشگور مورد بررسی قرار می‌دهد تا مشخص کند کدام یک بهترین تقسیم را داشته‌اند. پس از آن داده‌های ورودی بر اساس متغیرهای مستقلی که اهمیت بیشتری دارند تقسیم می‌شوند (Breiman, 1984). این کار ادامه می‌یابد تا زمانی که برگ‌ها (گره‌هایی که دیگر تقسیم نمی‌شوند و در انتهای درخت قرار گرفته‌اند) شامل داده‌هایی شوند که همگونی زیادی با یکدیگر دارند (Lawrence and Wright, 2001). در نرم‌افزار R این عمل زمانی انجام می‌شود که گره، فقط مشاهدات یک کلاس را در برگیرد (Temkin et al., 1995). پس از این برای جلوگیری از overfitting، الگوریتم CART درختان به‌وجود آمده را هرس می‌کند تا زمانی که به پایین‌ترین خطا در اعتبارسنجی متقابل برسند. زمانی که متغیر پاسخ کیفی است به آن درخت طبقه‌بندی گفته می‌شود و زمانی که کمی، به آن درخت رگرسیون اطلاق می‌شود. در مورد طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای متغیرهای مستقل شامل داده‌های طیفی و کمکی (مانند

(Hardisky, 1983). برای محاسبه این شاخص از تصویر لندست ۸ استفاده شده است:

$$NDII = \frac{(NIRB5 - MidIRB6)}{(NIRB5 + MidIRB6)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

- شاخص گیاهی تفاضلی (DVI)

ساده‌ترین شاخص گیاهی است که به مقدار پوشش گیاهی حساس بوده و بنابراین مناسب برای تشخیص خاک و گیاه است (Alavi pahan, 2011).

$$DVI = NIR - RED \quad \text{رابطه (۴)}$$

- شاخص گیاهی تعدیل‌شده خاک چندطیفی (SAVI) به دلیل تغییرات در خصوصیات طیفی خاک، شاخص‌های متعدد با حداقل حساسیت به زمینه تاج‌پوشش پیشنهاد شدند. شاخص اصلاحی خاک شامل عامل اصلاحی (L) است که بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

عامل L، تابعی از تراکم پوشش گیاهی با مقداری از صفر تا یک است که تعیین آن به دانش قبلی از مقدار پوشش گیاهی بستگی دارد و این عامل معیاری برای کاهش اثرهای خصوصیات طیفی خاک روی بازتاب‌های طیفی تاج‌پوشش است (Huete, 1988). در این پژوهش با توجه به مقدار پوشش گیاهی منطقه مورد بررسی مقدار ۰/۵ برای حذف اثرها زمینه‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است.

- شاخص گیاهی تعدیل‌شده خاک بهبودیافته (OSAVI)

این شاخص، بهبودیافته شاخص SAVI است که به تفاوت‌های طیفی خاک زمینه توجه دارد. با استفاده از باندهای سنجنده‌های چند طیفی به صورت زیر بیان می‌شود (Alavi pahan, 2011).

$$OSAVI = \frac{(1.5) * (NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.16)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

- شاخص گیاهی درصد مادون قرمز (IPVI)

تصویر ماهواره‌ای اسپات سال ۲۰۱۶، تصاویر گوگل ارث و همچنین از نقاط واقعیت زمینی در منطقه که با استفاده از GPS برداشت شده‌اند، استفاده شد. ماتریس خطا به صورت جدول بندی متقاطع از کلاس‌های تولید شده در مقابل داده‌های مرجع برای ارزیابی صحت نقشه حاصل شده مورد استفاده قرار گرفت (Alimohamadi *et al.*, 2009). صحت کلی، صحت‌های کاربر و تولید کننده و آماره کاپا از ماتریس خطا استخراج شدند.

نتایج

با توجه به هدف اصلی پژوهش، ابتدا نقشه شاخص‌های مورد نظر تهیه شد. جدول ۱ اطلاعات مربوط به بازه اعداد محاسبه شده برای شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات آماری شاخص‌های پوشش گیاهی

Table1. Information Statistical of Vegetation Indices

MNDWI	NDII	OSAVI	SAVI	IPVI	NDVI	DVI	شاخص‌های پوشش گیاهی Vegetation indices
1.00	1.00	0.86	0.53	1.00	1.00	0.65	بیشینه Maximum
-1.00	-1.00	-0.7	-0.38	0.00	-1.00	-0.18	کمینه Minimum
-0.035	0.169	0.064	0.049	0.447	-0.045	0.033	میانگین Average
0.483	0.391	0.231	0.12	0.206	0.42	0.06	انحراف معیار Standard divisions

خاک از یکدیگر جدا شدند. در شاخه صحیح گره تصمیم‌گیری دوم اطلاعات پوشش گیاهی وجود دارد که با به‌کارگیری اشتراک دو حد آستانه مشخص شده برای شاخص NDII و SAVI اراضی جنگلی مانگرو از دیگر پوشش گیاهی در منطقه متمایز شد. در شاخه نادرست این سطح تصمیم‌گیری اطلاعات مربوط به خاک وجود دارد که در سطح سوم و چهارم تصمیم‌گیری با استفاده از تعیین دو سطح آستانه برای شاخص MNDWI ابتدا اراضی جزرومدی (بسیار مرطوب)

NDVI) می‌شوند و متغیرهای پاسخ طبقه‌های تعیین شده (شش طبقه آب، اراضی جنگل‌های مانگرو، اراضی جزر و مدی، اراضی باتلاقی، اراضی خشک و دیگر پوشش گیاهی) را تشکیل می‌دهند. در میان متغیرها آن‌هایی برای قرارگیری در یک گره انتخاب می‌شوند که مقدار همگونی داده‌ها را افزایش دهند (Ahmadlou *et al.*, 2016).

ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده

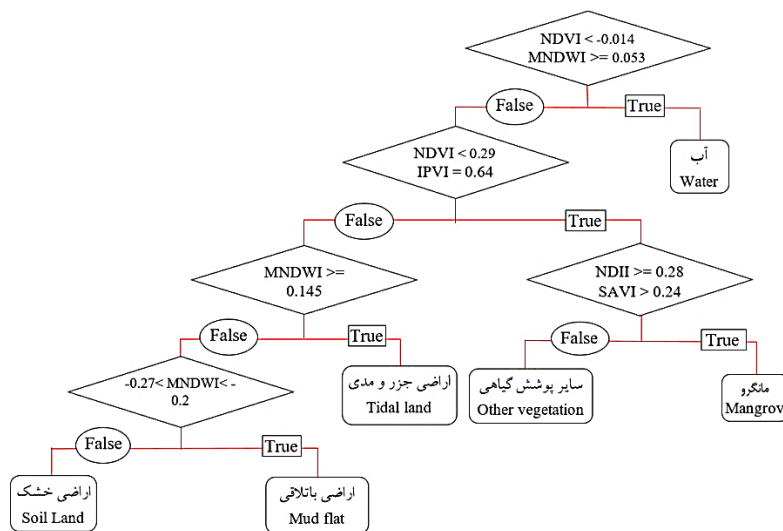
ارزیابی نقشه تولید شده یکی از مراحل لازم است که ارائه نتایج بدون انجام صحت‌سنجی از ارزش آن می‌کاهد. برای ارزیابی صحت نقشه حاصل شده مبتنی بر الگوریتم استفاده شده، از نقاط کنترلی برداشت شده از

شیوه رویکرد مدل به صورت شاخه‌ای است که از چهار سطح تصمیم‌گیری تشکیل شده است. ابتدا با استفاده از شاخص‌های NDVI (تعیین حدود آستانه کمتر از ۰/۱۴-) و MNDWI (تعیین حدود آستانه بیشتر مساوی از ۰/۰۵۳) کلاس آب از دیگر اراضی جدا شد. در شاخه نادرست گره تصمیم‌گیری اول اطلاعات طیفی مرتبط با دیگر عوارض وجود دارد که با استفاده از سطح دوم تصمیم‌گیری و اشتراک آستانه‌های مشخص شده برای شاخص‌های NDVI و IPVI پوشش‌های گیاهی و

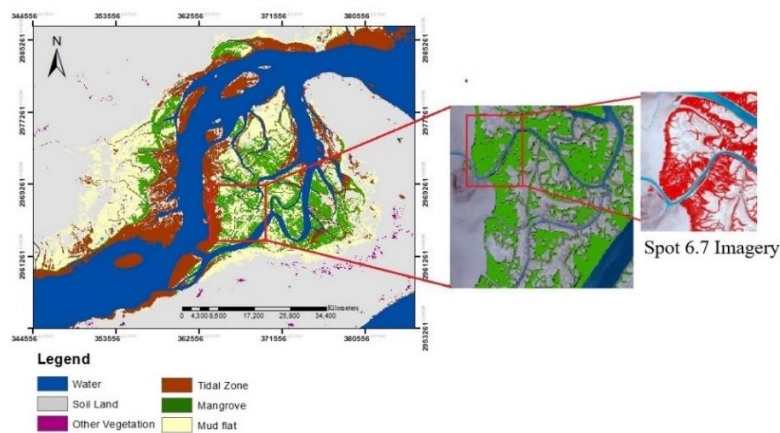
نقشه طبقه‌بندی شده، صحت کلی ۸۰/۹۷ درصد و مقدار آماره کاپا ۰/۷۴ حاصل شد. نتایج پژوهش Alimohamadi و همکاران (2009) نیز نشان داد که برای طبقه‌بندی تیپ‌های متفاوت جنگلی با استفاده از داده‌های طیفی روش درخت تصمیم نسبت به دو روش پیکسل پایه و شیء پایه با صحت کلی ۷۶/۵ درصد و مقدار آماره کاپا ۰/۷ دقت بالاتری داشته است. با استفاده از این روش مساحت مانگروها در حدود ۸۴۹۲ هکتار برآورد شد.

شناسایی شد و سپس اراضی باتلاقی و اراضی خشک از هم جدا شدند. شکل ۳، درخت تصمیم حاصل از الگوریتم CART را نشان می‌دهد.

ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی شده شکل ۴ نقشه حاصل از درخت طبقه‌بندی را نمایش می‌دهد. یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی تصاویر، ارزیابی طبقه‌های حاصل است. صحت کلی، صحت‌های کاربر و تولیدکننده و آماره کاپا با کمک ماتریس خطا محاسبه شد. جدول ۲ نتایج ماتریس خطا و مقدار اختلاط نمونه‌ها را در یکدیگر نشان می‌دهد که برای



شکل ۳- مدل طراحی شده درخت تصمیم مبتنی بر الگوریتم CART
Figure 3. Designed Decision Tree Based on CART Algorithm



شکل ۴- نقشه اراضی جنگل‌های مانگرو با استفاده از الگوریتم CART و شاخص‌های پوشش گیاهی (۱۳۹۵)
Figure 4. Mapping mangrove extent by CART algorithm and vegetation indices (2017)

جدول ۲- ماتریس خطا نقشه طبقه‌بندی‌شده (ردیف) در مقایسه با داده‌های مرجع (ستون)

Table 2. The error matrix of classification map compare with ground reference data

صحت کاربر (درصد) User's accuracy (%)	جمع کل Total	اراضی باتلاقی Mud flat	مانگرو Mangrove	اراضی جزر و مدی Tidal land	دیگر پوشش گیاهی Other Vegetation	خاک Soil land	آب Water	داده‌های مرجع Reference points
97.3	38	0	1	0	0	0	37	آب Water
86.4	48	0	3	1	4	38	2	خاک Soil land
88.2	17	0	2	0	15	0	0	دیگر پوشش گیاهی Other Vegetation
59.3	31	4	1	16	0	5	5	اراضی جزر و مدی Tidal land
95.6	24	1	22	1	0	0	0	مانگرو Mangrove
80.7	26	21	2	3	0	0	0	اراضی باتلاقی Mud flat
-	184	26	31	21	19	43	44	کل Total
-	-	80.7	70.9	76.1	78.9	88.4	84.1	صحت تولیدکننده (درصد) Producer accuracy (%)

بحث

بر اساس یک طرح تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای یا سلسله‌مراتبی است. این روش می‌تواند به صورت خودکار یا غیرخودکار طراحی شود و کارایی و صحت طبقه‌بندی بسیار به انتخاب حد آستانه شاخص‌ها بستگی دارد. از آنجایی که هدف این پژوهش ارتقاء نقشه‌سازی اراضی جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ است، با استفاده از الگوریتم CART و داده‌های تعلیمی (اطلاعات شاخص‌های پوشش گیاهی) یک مدل درخت طبقه‌بندی مؤثر برای استخراج کلاس‌ها توسعه داده شد. نتایج پژوهش‌ها (Arakhi, 2012) نشان داد که روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری CART به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه چم‌گردلان

پژوهش‌ها در مورد بهبود و ارتقاء روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای همیشه یکی از موضوعات به‌روز و مورد توجه است به خصوص برای مناطقی که اطلاعات طیفی پدیده‌ها به یکدیگر مشابه است. درخت تصمیم‌گیری CART یکی از روش‌های بسیار قوی و پرکاربرد در مباحث طبقه‌بندی داده‌های آماری است که در پژوهش‌ها سنجش‌ازدور و طبقه‌بندی پوشش اراضی عملکرد موفقیت‌آمیزی داشته است. (Lawrence and Wright, 2001). درخت تصمیم‌گیری CART برخلاف دیگر رویکردهای طبقه‌بندی (بیشترین احتمال) که از یکسری مشخصات (باندها) به‌طور هم‌زمان برای اجرای طبقه‌بندی در تک‌مرحله استفاده می‌کند، این طبقه‌بندی

ویتنام و تصاویر ALOS PALSAR استفاده کردند که مدل درخت طبقه‌بندی توسعه داده شده مشابه درخت طبقه‌بندی این پژوهش است و جنگل‌های مانگرو با صحت کاربر ۷۹ درصد و صحت تولیدکننده ۷۵ درصد طبقه‌بندی شده است. با استفاده از تعیین حد آستانه متفاوت برای شاخص MNDWI، سطوح مختلف رطوبت خاک سطحی که شامل اراضی جزر و مدی، اراضی باتلاقی و اراضی خشک است، از یکدیگر تفکیک شدند. Dadrasisabzevar و همکاران (2015) برای مدل‌سازی سطوح مختلف رطوبت خاک سطحی از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و چندین شاخص طیفی مانند شاخص MNDWI استفاده کردند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از ارزیابی صحت نقشه تولیدی بر اساس صحت کلی و آماره کاپا نشان می‌دهد، رویکرد تلفیقی معرفی شده برای طبقه‌بندی و استخراج اراضی جنگلی مانگرو مناسب است و از این رو می‌توان از آن برای ارزیابی و پایش تغییرات اراضی جنگلی مانگرو در پاسخ به فعالیت‌های مدیریتی و حفاظتی که در منطقه انجام می‌شود و یا ارزیابی اثرهای تغییرات شاخص‌های اقلیمی استفاده کرد. از مزایای این رویکرد می‌توان به کاهش زمان پردازش، ارتقاء صحت نقشه تولیدی، قابلیت شناسایی متغیرهای مهم توسط خود الگوریتم CART و استفاده از آن‌ها در درخت تصمیم اشاره کرد. نتایج بررسی‌های مختلف هم نشان داده است که فناوری دورسنجی و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای ابزاری مناسب در زمینه بررسی علوم پوشش گیاهی و جنگلی است.

استان ایلام نسبت به روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی فازی و طبقه‌بندی بیشترین احتمال به ترتیب از نظر صحت کلی (حدود ۳ درصد، ۶ درصد) و ضریب کاپا (حدود ۳ درصد، ۶ درصد) بهتر بوده است. در این پژوهش اشاره شده است که آنالیز تفصیلی ماتریس‌های مجاور نشان می‌دهد که کلاس زراعت با کلاس مرتع در روش درخت تصمیم‌گیری CART با صحت کاربر بالای ۷۸ درصد طبقه‌بندی شده است، در صورتی که در روش بیشترین احتمال این دو کلاس درهم آمیخته شده است. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که این الگوریتم در طبقه‌بندی پدیده‌هایی که دارای بازتاب‌های طیفی مشابه‌اند، توانایی بالایی دارد. اجرا الگوریتم با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی کمک کرد که طبقه مانگرو با صحت کاربر ۹۵ درصد و صحت تولیدکننده ۷۰/۹ درصد تفکیک شود. Shi و همکاران (2016) از سه شاخص طیفی به جای داده‌های اصلی باندهای طیفی برای شناسایی مانگرو استفاده کردند که با این روش صحت کلی طبقه‌بندی جنگل‌های مانگرو را از ۵۸ درصد به ۷۵ درصد در پژوهش خود ارتقاء دادند. نتایج الگوریتم CART نشان داد که پنج شاخص NDVI، SAVI، NDII، JPVI و MNDWI اهمیت بیشتری نسبت به دو شاخص OSAVI و DVI داشتند. شاخص NDVI به شدت تحت تأثیر خصوصیات زمینه و خاک قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه موقعیت قرارگیری این گیاهان در مصب رودخانه‌ها، خورها و اراضی باتلاقی است، شاخص تعدیل‌شده خاک (SAVI) و شاخص NDII توانستن اراضی جنگلی مانگرو را با دقت و صحت زیادی از دیگر پوشش‌های گیاهی متمایز کنند. Pham و همکاران (2018) از روش درخت تصمیم-گیری CART برای نقشه‌سازی مانگروهای سواحل

References

- Ahmadlou, M., M. R. Delavar & A. Tayyebi, 2016. Comparing ANN and CART to model

multiple land use changes: A case study of Sari and Ghaem-Shahr cities in Iran, *Journal*

- of Geomatics Science and Technology*, 6(1): 292-303.
- Alavi pahan, S. K., 2002. Application of Remote Sensing in Earth Sciences, Tehran University Press, Tehran, 240 p. (In Persian)
 - Alavi pahan, S. K., 2011. Principles of Remote Sensing and Interpretation of Satellite Images and Aerial Photographs, Second Edition, Tehran University Press, Iran Tehran, 780 p. (In Persian)
 - Alimohamadi, A., A. Motekan, P. Zeiaiean & H. Tabatabaei, 2009. Comparison of Basic Classification Pixel Classification, Base Object and Osim tree in Forest Types Maps Using Remote Sensing Data (Case Study: Astar Forest), *Journal of Applied Research of Geographic Sciences*, 13(10): 26-7. (In Persian)
 - Arekhi, S. 2012. Assessment of the Effectiveness of Decision Tree Classification Method for Extracting Landuses Map by Using Sattellite Data in Cham Gardalan Catchment Area, *Journal management system*, 2(4): 17-26. (In Persian)
 - Bagheri, R., Sh. Shataee & S. Y. Erfanifard, 2018. Efficiency of template matching algorithm on GeoEye-1 image for detecting wild pistachio trees and determining their spatial pattern (Case study: The Tag-03291-304). (In Persian)
 - Breiman, L., J. Friedman, C. J. Stone & R. A. Olshen, 1984. Classification and regression trees, CRC press.
 - Chen, C. F., N. T. Son, N. B. Chang, C. R. Chen, L. Y. Chang, M. Valdez & J. Aceituno, 2013. Multi-Decadal Mangrove Forest Change Detection and Prediction in Honduras, Central America, with Landsat Imagery and a Markov Chain Model, *Remote Sensing*, 5(12): 6408-6426.
 - Dadrasisabzevar, A., A. M. Akhondali, F. Radmanesh & A. A. Noruzi, 2015. Modeling of Different Levels of Surface Soil Moisture in the Sphere of Thermal and Reflective Data, *Quantitative geomorphological researches*, 3(4): 31-49. (In Persian)
 - Danehkar, A. & H. Majnonian, 2004. Proposed criteria for assessing coastal and maritime areas to determine areas under coastal protection Marine Iran (Case Study: Assessment of Protected Areas of the Caspian Sea), *Journal of Environmental Studies*, 35(3): 9-24. (In Persian)
 - Danehkar, A. & S. GH. A. Jalali, 2005. *Avicennia marina* forest structure using line plot method, *Pajouhesh va sazandegi*, 18(2): 18-24. (In Persian)
 - Dehghani, M., 2008. Potential of Mangrove forests of Qeshm Island Using GIS, Master Thesis, Forestry, Kurdistan University, Yasuj, 150 p. (In Persian)
 - Fei, S. X., C. H. Shan & G. Z. Hua, 2011. Remote sensing of mangrove wetlands identification, *Procedia Environmental Sciences*, 10(1): 2287-2293.
 - Giril, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek & N. Duke, 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite, *Global Ecology Biogeography*, 20(1): 154-159.
 - Hamidi, S. K., M. Namiranian, J. Fegghi & M. Shabani. 2015. Comparison of land inventory and using of Ikonos image in Google Earth database to estimate quantity characteristics of urban forest (Case study: Iran; Sari city), *Journal of Forest Research and Development*, 1(1): 85-94. (In Persian)
 - Hardisky, M., V. Klemas & R. Smart, 1983. The influence of soil salinity, growth form and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies, *Spartina alterniflora*, 49: 77-84.
 - Hoa, N. H. & T. D. Binh, 2016. Using Landsat Imagery and Vegetation Indices Differencing To Detect Mangrove Change: a Case in Thai Thuy District, Thai Binh Province, *Management of Forest Resource and Environment*, 5: 59-66.
 - Huete, A. R., 1988. A soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309.
 - Jafarnia, S., J. Oladi, S. Hoojati & K. Mir Akhor Loo, 2016. Status and change detection of Mangrove forest in Qeshm Island using satellite imagery from 1988 to 2008, *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(1): 180-191. (In Persian)
 - Kanniah, K. D., A. Sheikhi, A. Cracknell, H.C. Goh, K.P. Tan, C.S. Ho, & F.N. Rasli, 2015. Satellite images for monitoring mangrove cover changes in a fast growing economic region in southern Peninsular Malaysia. *Remote Sensing*, 7(11), 14360-14385.
 - Lawrence, R. L. & A. Wright, 2001. Rule-based classification systems using classification and regression tree (CART)

- analysis, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 67(10): 1137-1142.
- Lohrabi, Y., M. Abbasi, A. Soltani & H. R. Riyahi Bakhtyari, 2018. Determination of the most suitable method for forest type mapping in central Zagros using landsat-8 satellite Images, *Journal of Forest Research and Development*, 4(2): 191-205. (In Persian)
 - Monsef, H. A. E. & S. E. Smith, 2017. A new approach for estimating mangrove canopy cover using Landsat 8 imagery, *Computers and Electronics in Agriculture*, 135(1): 183-194.
 - Pham, T.D., K. Yoshino, N.N. Le & D.T. Bui, 2018. Estimating aboveground biomass of a mangrove plantation on the Northern coast of Vietnam using machine learning techniques with an integration of ALOS-2 PALSAR-2 and Sentinel-2A data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(22), 7761–7788.
 - Rahdari, V., A. Soffianian, S. J. Khajedin & S. Maleki, 2015. Investigating the Capability of Satellite Data in Mapping the Canopy Coverage of Arid and Semi-arid Regions (Case Study: Muteh Wildlife Refuge), *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(4): 42-54. (In Persian)
 - Safiari, S., 2005. Mangrove forests in Iran, Forestry and Rangeland Research Institute, Tehran, 540 p. (In Persian)
 - Saleh, M. A., 2007. Assessment of mangrove vegetation on Abu Minqar Island of the RedSea, *Journal of Arid Environments*, 68(2): 331-336. (In Persian)
 - Sari, S. P. & D. Rosalina, 2016. Mapping and Monitoring of Mangrove Density Changes on tin Mining Area, *Procedia Environmental Sciences*, 33: 436-442.
 - Shi, T., J. Liu, Z. Hu, H. Liu, J. Wang & G. Wu, 2016. New spectral metrics for mangrove forest identification, *Remote Sensing Letters*, 7(9): 885-894.
 - Temkin, N. R., R. Holubkov, J. E. Machamer, H. R. Winn & S. S. Dikmen, 1995. Classification and regression trees (CART) for prediction of the function at 1 year following head trauma, *Journal of neurosurgery*, 82(5): 764-771.
 - Wang, L., W. P. Sousa, P. Gong & G. S. Biging, 2004. Comparison of IKONOS and Quick Bird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama, *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4): 432-440.
 - Zhai, K., X. Wu, Y. Qin & P. Du, 2015. Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations, *Geo-spatial Information Science*, 18(1): 32-42.

Incorporating CART algorithm and i for mapping Mangrove using Landsat 8 imagery

N. Bihamta Toosi^{*1}, A. R. Soffianian², S. Fakheran³ and S. Pourmanafi⁴

1- Ph.D. candidate of environmental science, Isfahan University of Technology Department of Natural Resources, Isfahan, I. R. Iran. (n.bihamtaitoosi@na.iut.ac.ir)

2- Associate Professor, Isfahan University of Technology Department of Natural Resources, Isfahan, I. R. Iran. (soffianian@cc.iut.ac.ir)

3- Associate Professor, Isfahan University of Technology Department of Natural Resources, Isfahan, I. R. Iran. (fakheran@cc.iut.ac.ir)

4- Assistant, Professor Isfahan University of Technology Department of Natural Resources, I. R. Iran. (spourmanafi@cc.iut.ac.ir)

Received: 25.03.2018

Accepted: 09.10.2018

Abstract

The purpose of this study is to introduce a method for improving the accuracy of mapping mangrove covers by integrating CART algorithm and vegetation indices using Landsat 8 imagery. In this study, 7 vegetation indices were calculated including DVI, NDVI, NDII, IPVI, MNDWI, SAVI, and OSAVI. The important indicators and thresholds were identified by the CART algorithm in R-software and then the Mangrove cover besides surrounding areas was mapped using the decision tree technique. The results of accuracy assessment based on comparing control points which recorded by GPS with SPOT 6/7 images showed that the resulted map had a general accuracy of 80.97% and a kappa of 0.74. Using moderate resolution satellite imageries for mapping mangrove is difficult due to background reflectance effect (e.g. water and soil) and mixed pixels considering environmental conditions. Results demonstrated that this approach could produce information about mangroves for decision makers in order to conservation and management planning.

Keywords: CART Algorithm, Mangrove forest, Decision tree, Remote sensing, Vegetation indices.

* Corresponding author

Tel: +989352225107

