

بررسی اثر تصحیح جوی تفریق شیء تیره (DOS) بر نقشه شاخص‌های آبی - گیاهی (مطالعه موردی: زمین‌های مرطوب جنوب دریاچه ارومیه)

وحید محمدنژاد آروق*

استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(دریافت: ۹۸/۵/۲۳، پذیرش نهایی: ۹۸/۱/۱)

چکیده

در مقاله حاضر به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از استخراج پهنه‌های مرطوب و آبی جنوب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر خام و تصحیح جوی شده ماهواره سنتینل ۲ پرداخته شده است. بدین منظور تصویر ماهواره سنتینل ۲ مربوط به بهار سال ۲۰۱۹ دریافت شد. با توجه به اینکه هدف مقایسه اثر تصحیحات جوی روی تصاویر است، تصویر مورد نظر با استفاده از روش تفریق شیء تیره در قالب نرم‌افزار QGIS تصحیح شد. سپس به منظور استخراج پهنه‌های مرطوب و آبی از دو تصویر خام و تصحیح‌شده، چهار شاخص NDWI، MNDWI، NDTI و شاخص SAVI با استفاده از نرم‌افزار SNAP تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت و هشت نقشه مختلف تهیه شد. این چهار شاخص به منظور استخراج پهنه‌های مرطوب، آبی و پوشش گیاهی طراحی و توسعه پیدا کرده‌اند. به منظور مقایسه دقت خروجی‌ها نیز از ضرایب کاپا و دقت تولیدکننده و دقت کاربر استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در بین این چهار شاخص، شاخص‌های MNDWI و NDTI، با ضرایب کاپای بالا بهترین عملکرد را دارند. همچنین شاخص NDWI با ضریب کاپای ۰/۷۹ برای تصویر خام و ۰/۸۳ برای تصویر تصحیح‌شده کمترین دقت را دارد. همچنین مساحت پهنه‌های مرطوب و آبی استخراج شده از چهار شاخص با مقادیر واقعی مقایسه شد. مساحت‌های مستخرج از تصاویر خام و تصحیح‌شده و مقایسه آن با مساحت واقعی پهنه‌های مرطوب نشان می‌دهد که تصاویر تصحیح‌شده از دقت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، تصحیحات جوی، تفریق شیء تیره، سنتینل ۲، دریاچه ارومیه.

۱. مقدمه

شود (باردوسی و همکاران، ۲۰۰۹). هیدرولوژی خاص مناطق مرطوب توزیع فضایی و جریان و مقدار رسوبات را تعیین کرده و بر توزیع گونه‌های گیاهی و جانوری تأثیر می‌گذارد (مارتینز و توآن، ۲۰۰۷). بنابراین نقشه‌برداری این مناطق می‌تواند در بررسی تغییرات و مدیریت جامع اکوسیستم منطقه مؤثر واقع شود. یکی از ابزارهای کارآمد در زمینه مطالعات علوم زمین و محیط‌زیست، به کارگیری فن سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. از دهه هفتاد میلادی که اولین ماهواره‌های سنجشی به فضا پرتاب شدند، سنجش از دور به عنوان یک علم توسعه زیادی پیدا کرده است. تصاویر ماهواره‌ای ما را قادر می‌سازد تا تغییرات کوتاه‌مدت و درازمدت در زمین‌های مرطوب و پوشش گیاهی آن را بررسی و پایش کنیم (کاپلان و آودان، ۲۰۱۷). این علم و تکنیک توسط افراد

زمین‌های مرطوب (Wetlands)، ۶ تا ۹ درصد از سطح زمین را پوشانده‌اند (زدلر و کرچر، ۲۰۰۵). معمولاً وجود این نوع از زمین‌ها کیفیت محیط‌زیست را بهبود می‌بخشد. همچنین اثرات اقتصادی، زیست محیطی و اکولوژیکی مناسبی ایجاد می‌کنند (کلماس، ۲۰۱۱؛ ما و همکاران، ۲۰۰۷). اثر دیگر چنین مناطقی را می‌توان در تعدیل دمای مناطق شهری و روستایی مشاهده کرد (سان و چن، ۲۰۱۲). معمولاً این مناطق به دلیل برخورداری از آب‌های زیرزمینی و سطحی تحت کشت بوده یا به طور طبیعی گونه‌های مختلف گیاهی در آن یافت می‌شود. بنابراین هر گونه تغییر در توزیع فضایی زمین‌های مرطوب (کشاورزی و باغات، جنگل‌ها و اطراف رودخانه‌ها و تالاب‌ها)، چه توسط عوامل طبیعی و خواه توسط فعالیت‌های انسانی می‌تواند موجب برهم زدن شرایط اکوسیستم یک منطقه

مختلفی به منظور مطالعه پدیده‌های طبیعی و زمین‌های مرطوب و پوشش گیاهی آنها به کار گرفته شده است. در این مطالعات از روش‌های مختلف طبقه‌بندی پیکسل پایه، شیء گرا، شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص رطوبت و سایر شاخص‌ها جهت مطالعه و آشکارسازی رطوبت استفاده شده است (بحرینی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مافی‌غلامی و وارد، ۱۳۹۷؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ پور خسروانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ولیزاده کامران و لنگ باف، ۱۳۹۷؛ لودویگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ امانی و همکاران، ۲۰۱۹؛ یثو و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ و یسو، ۲۰۱۸؛ مورو و همکاران، ۲۰۱۶؛ سازلس و همکاران، ۲۰۱۶؛ موویتا و همکاران، ۲۰۱۲؛ سان و چن، ۲۰۱۲؛ فی و همکاران، ۲۰۱۱؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ چون و ویپینگ، ۲۰۱۱؛ لیرا، ۲۰۰۶)

با توجه به اینکه امواج رسیده به ماهواره‌های سنجش از دور، از جو زمین عبور می‌کنند و همچنین تأثیر عوامل دیگری مثل سایه‌ها و توپوگرافی زمین، همواره بازتاب‌های ثبت شده توسط حسگر این ماهواره‌ها بازتاب واقعی پدیده‌های سطح زمین نیست. در چنین شرایطی مقادیر عدد رقومی (DN)، ثبت شده از پدیده‌های زمینی واقعی نخواهد بود. با اعمال برخی ضرایب بر روی تصاویر، امکان تبدیل آنها به مقادیر بازتاب بالای جو (TOA)، و بازتاب سطح زمین امکان‌پذیر است. پس به‌طور کلی می‌توان گفت تابش‌های گسیل شده از سطح زمین قبل از رسیدن به سنجنده‌ها واکنش‌های زیادی با جو زمین انجام می‌دهند. بازتاب عوارض سطح زمین به‌طور گسترده‌ای توسط بخار آب و ریزگردهای موجود در جو زمین متأثر می‌شود. علاوه بر این، اثر جذب و پراکنش جوی در عوارضی که رنگ روشنی ندارند، مانند پوشش گیاهی و مناطق مرطوب قوی‌تر است (نگوین و همکاران، ۲۰۱۵؛ هادجیمیتز و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین اعمال تصحیحات جوی مناسب و انتخاب روش مناسب در مطالعات مربوط به پهنه‌های آبی حائز اهمیت فراوانی

است. در واقع با اعمال تصحیحات جوی اثرات جذبی و پراکنشی جو بر بازتاب سطح زمین، حذف شده یا به حداقل رسانده می‌شود (گائو و همکاران، ۲۰۰۷). به‌منظور اعمال تصحیحات جوی، روش‌های متعددی توسعه پیدا کرده است (روی و همکاران، ۲۰۱۴). برخی از روش‌های قطعی نیازمند اطلاعات جوی محلی هستند. اما برخی دیگر از روش‌ها بر پایه داده‌های موجود در خود تصاویر ماهواره‌ای عمل می‌کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های DOS و FLAASH و SixSV اشاره کرد که روش‌های ساده و نسبی جهت تصحیحات جوی تصاویر ماهواره‌ای است. هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر تصحیح جوی به روش DOS بر بازتاب تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در زمین‌های مرطوب و پهنه‌های آبی جنوب دریاچه ارومیه است. سعی شده است اثر تصحیحات جوی تصاویر ماهواره‌ای در قالب ۴ شاخص طیفی بررسی و با همین شاخص‌های به‌دست‌آمده از تصاویر خام مقایسه شود. سپس مساحت پهنه‌های محاسبه شده با تصاویر تصحیح جوی شده و خام با مساحت‌های واقعی زمینی مقایسه شود تا میزان دقت و خطای آنها مشخص شود.

۲. مواد و روش‌ها

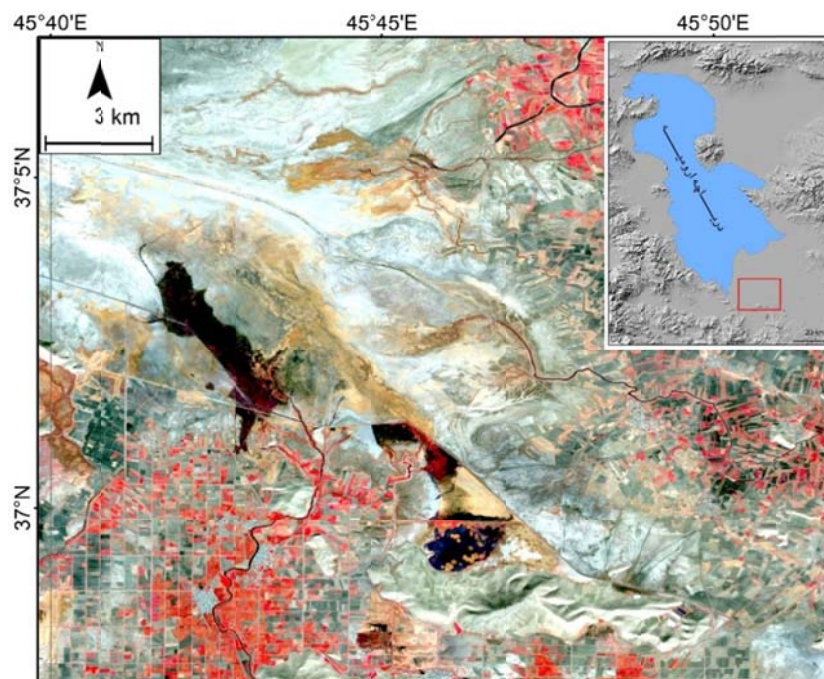
منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر شامل زمین‌های کشاورزی و مرطوب جنوب دریاچه ارومیه می‌باشد (شکل ۱). با توجه به وجود دو رودخانه بزرگ زرينه‌رود و سيمينه‌رود در منطقه و همچنین خاک بسیار حاصل‌خیز آن، کشاورزی در آن به‌شدت توسعه پیدا کرده و زمین‌های کشاورزی سراسر دشت را پوشانده است. از طرف دیگر منبع اصلی تغذیه دریاچه ارومیه، رودخانه زرينه‌رود است که از همین منطقه وارد دریاچه می‌شود. همچنین خشک شدن دریاچه ارومیه و پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی لزوم برنامه‌ریزی اصولی و علمی زمین‌های کشاورزی و منابع آبی را دوچندان کرده است. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه ۱۲۸۰ متر و متوسط بارندگی منطقه نیز ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. به

تصحیحات جوی تفریق شیء تیره (Dark Object Subtraction)، یکی از روش‌های تصحیحات جوی تصاویر ماهواره‌ای است که با کسر نسبی انعکاس شیء تیره از کل تصویر، تصویر ماهواره‌ای را تصحیح جوی می‌کند. در مقاله حاضر جهت تصحیحات جوی از این روش استفاده شده است. در واقع از تصویر ماهواره‌ای خام منطقه مورد مطالعه یک کپی تهیه شد و روی آن تصحیحات جوی اعمال شد. سپس نتایج آن با تصویر خام مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

به‌منظور مقایسه دو تصویر خام و تصحیح‌شده، اقدام به جداکردن پهنه‌های مرطوب (رودخانه‌ها، برکه‌ها، زمین‌های مرطوب)، از غیرمرطوب شد تا از این طریق بتوان تأثیر تصحیح جوی را بر روی بازتاب زمینی مشاهده کرد. شاخص‌های مختلفی برای تهیه نقشه پهنه‌های مرطوب از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که در مقاله حاضر از چهار شاخص NDWI، MNDWI، NDTI و SAVI استفاده شده است.

لحاظ سازندهای زمین‌شناسی، منطقه از سازندهای دوران کواترنری تشکیل شده است که می‌توان آن را به رسوبات رودخانه‌ای (که توسط دو رودخانه اصلی زرينه‌رود و سیمینه‌رود ته نشین شده‌اند) و رسوبات دریاچه‌ای تقسیم کرد.

داده‌های اصلی پژوهش حاضر، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ است. ماهواره سری سنتینل توسط آژانس فضایی اروپا در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب و در ارتفاع مداری ۷۸۶ کیلومتری زمین قرار گرفت. تصاویر حاصل از این ماهواره دارای ۱۳ باند طیفی بوده که در محدوده باند ۱ (ریزگردهای ساحلی) تا باند ۱۲ (امواج کوتاه مادون قرمز نزدیک)، قرار دارند. توضیح اینکه باند ۸ این ماهواره به دو باند مجزا تقسیم می‌شود (آژانس فضایی اروپا، ۲۰۱۵). تصویر مورد استفاده در این مقاله مربوط به بهار ۲۰۱۹ است که از سایت سازمان فضایی اروپا اخذ شد. تصویر اخذ شده دارای تصحیحات هندسی است ولی دقت آن با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه.

رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و با فرمول زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{MNDWI} = (G - \text{MID}) / (G + \text{MID}) \quad (۲)$$

به مانند رابطه قبل، G، باند سبز و MID نشان‌دهنده باند مادون قرمز میانی است.

شاخص (NDTI, Normalized Difference Turbidity Index)، بیشتر برای شناسایی نواحی گل‌آلود و همچنین رطوبت موجود در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه آب‌های صاف و زلال در محدوده باندهای سبز و به‌ویژه باند قرمز بازتاب بسیار ضعیفی (کمتر از ۱۰ درصد) دارند بنابراین می‌توان از این باندها برای برآورد و بررسی پهنه‌های آبی رسوب‌دار و فاقد شفافیت استفاده کرد (لاکوآکس و همکاران، ۲۰۰۷). چرا که چنین پهنه‌های آبی دارای رسوب زیادی بوده و بازتاب طیفی آن به مانند خاک‌های بسیار مرطوب خواهد بود. فرمول این شاخص به صورت زیر است:

$$\text{NDTI} = (R - G) / (R + G) \quad (۳)$$

R و G به ترتیب نشان‌دهنده باندهای قرمز و سبز تصاویر ماهواره‌ای است.

آخرین شاخص تحت عنوان شاخص (SAVI, Soil-Adjusted Vegetation Index)، است که از باندهای قرمز و مادون قرمز به منظور استخراج پوشش گیاهی استفاده می‌کند. این شاخص از یک ضریبی به نام ضریب تعدیل‌کننده اثر خاک بهره می‌برد که موجب می‌شود این شاخص نسبت به شاخص NDVI برتری داشته باشد. در واقع این شاخص اثر خاک را کاهش می‌دهد. ضریب L رابطه معکوس با میزان تراکم پوشش گیاهی دارد و بین صفر و یک است. هر قدر پوشش گیاهی بیشتر باشد L به صفر نزدیک خواهد بود و برعکس. این شاخص با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{SAVI} = (1 + L) * [(NIR - R) / (NIR + R + L)] \quad (۴)$$

شاخص (NDWI2, Normalized Difference Water Index) برای اولین بار در سال ۱۹۹۶ توسط مک فترز به منظور استخراج پهنه‌های آبی در مناطق مرطوب به کار گرفته شد (مک فترز، ۲۰۱۳). این شاخص از نسبت نرمال شده باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک تشکیل شده است. مهم‌ترین ویژگی این شاخص طیفی در برآورد پهنه‌های آبی و محاسبه مساحت آنها و جداسازی پهنه‌های آبی از سایر پوشش‌هاست. طبق محاسبات فترز، ارزش‌های بالای صفر در این شاخص نشان‌دهنده پهنه‌های آبی و ارزش‌های مساوی و پایین‌تر از صفر نشان‌دهنده پهنه‌های غیرآبی است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{NDWI2} = (G - \text{NIR}) / (G + \text{NIR}) \quad (۱)$$

در رابطه بالا، G، باند سبز و NIR، باند مادون قرمز نزدیک است.

شاخص (MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index) توسط ژو (۲۰۰۶) مطرح شد. دلیل آن هم این بود که شاخص NDWI، قادر به حذف سیگنال‌های منتشر شده از سازه‌های انسانی مثل مناطق شهری یا روستایی نبود. در نتیجه در این شاخص به جای استفاده از باند مادون قرمز نزدیک از مادون قرمز میانی استفاده شد. پس در این شاخص از نسبت نرمال شده باند سبز و باند مادون قرمز میانی استفاده می‌شود. از این شاخص طیفی برای استخراج سطح پهنه‌های آبی استفاده می‌شود. استفاده از این شاخص سه نتیجه مهم خواهد داشت: (۱) مقادیر ارزش پیکسل پهنه‌های آبی بیشتر از مقادیر آن در شاخص NDWI خواهد بود، (۲) سازه‌های انسانی دارای مقادیر منفی خواهد بود و (۳) خاک و پوشش گیاهی دارای ارزش‌های منفی خواهد بود چراکه خاک در باند مادون قرمز میانی روشن‌تر از مادون قرمز نزدیک است. در نتیجه پدیده‌های غیرآبی با استفاده از این شاخص حذف و فقط تأکید بر پهنه‌های آبی خواهد بود. بنابراین برای مطالعه تالاب‌ها، دریاچه‌ها، آب‌های آزاد و

ارزیابی قرار بگیرد. همچنین با استفاده از ترکیب باندهای مادون قرمز کوتاه، مادون قرمز نزدیک و سبز اقدام به استخراج و طبقه‌بندی مناطق مرطوب و پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی شد. با توجه به عدم وجود نقاط کنترل زمینی در رابطه با این نوع پوشش زمین، جهت طبقه‌بندی تصاویر از نمونه برداری در نرم‌افزار ArcMap و صحت‌سنجی این نمونه‌ها با استفاده از تصاویر google earth استفاده شده است. از طرف دیگر داده‌های مربوط به شاخص‌های پوشش گیاهی منطقه که توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه شده بود نیز برای صحت‌سنجی تصاویر طبقه‌بندی شده به‌کار گرفته شد. به‌منظور بررسی و مقایسه میزان دقت داده‌های خام با داده‌های تصحیح‌شده جوی، از سه نوع ضریب دقت استفاده شد. دقت کاربر (Users' accuracy)، دقت تولیدکننده نقشه (Producers' accuracy) و ضریب کاپا که با استفاده از نرم‌افزار ArcMap، محاسبه شد. جدول ۱ مقادیر دقت کاربر، تولید کننده نقشه و ضریب کاپا را برای چهار شاخص NDWI2، MNDWI، NDTI و SAVI هم برای تصاویر خام و هم برای تصاویر ماهواره‌ای تصحیح‌شده به روش DOS، نشان می‌دهد.

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که شاخص‌های MNDWI و NDTI، بهترین شاخص هم برای تصاویر خام و هم برای تصاویر تصحیح‌شده جهت استخراج مناطق مرطوب و پهنه‌های آبی است. مقادیر کاپای این شاخص‌ها بالای ۰/۹ و همچنین دقت کاربر و تولید کننده نیز بالای ۹۶ درصد است. در بین چهار شاخص فوق، شاخص NDWI2، کمترین دقت و همچنین حداقل ضریب کاپا را در اختیار دارد. مقدار کاپای این شاخص در تصاویر خام ۰/۷۹ و در تصاویر تصحیح‌شده ۰/۸۳ است. نکته مهم در اینجا که بایستی به آن توجه داشت، مقادیر حداکثری این ضرایب برای تصاویر تصحیح‌شده جوی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر چهار شاخص، ضرایب کاپا برای تصاویر تصحیح‌شده بیشتر از تصاویر خام است. در

تصحیح جوی روش DOS در قالب نرم‌افزار QGIS انجام شد. به‌کار بردن این روش در نرم‌افزار QGIS به‌صورت اتوماتیک انجام می‌شود. برخلاف روش FLAASH و نرم‌افزار ENVI که بایستی پارامترهای تصحیح جوی را به‌صورت دستی تنظیم کرد این روش به‌صورت اتوماتیک و با استفاده از فایل MTL موجود در تصویر ماهواره‌ای فرآیند تصحیح جوی را انجام می‌دهد. پارامترهایی مثل تاریخ تصویربرداری، زاویه آزیموت، ارتفاع تصویربرداری، اندازه پیکسل‌ها در این روش تأثیرگذار است (نورجمکی و توکولا، ۲۰۰۷). شاخص‌های چهارگانه با استفاده از نرم‌افزار (SNAP, SENTINEL APPLICATION PLATFORM) که مخصوص تحلیل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل است، محاسبه و نتایج آن به‌صورت نقشه‌ها و جداول آماری مختلف استخراج شد. با توجه به اینکه محاسبه این شاخص‌ها در این نرم‌افزار نیز به‌صورت اتوماتیک و در قالب ابزارهای موجود در نرم‌افزار انجام می‌شود، این نرم‌افزار انتخاب و به‌کار گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

جهت مقایسه اثر تصحیحات جوی بر تصاویر ماهواره‌ای سنتینل، ابتدا تصویر منطقه مورد مطالعه تهیه و وارد نرم‌افزار QGIS شد. با توجه به اینکه هدف، مقایسه تصویر خام و تصویر تصحیح‌شده است اقدام به تصحیح جوی تصویر منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش DOS شد. پس از انجام تصحیحات مورد نظر، چهار شاخص مذکور در صفحه قبل روی تصاویر خام و تصحیح‌شده اعمال شد. تهیه نقشه شاخص‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SNAP انجام شد. پس فرآیند تصحیحات جوی تصاویر به‌وسیله QGIS و محاسبه شاخص‌ها در نرم‌افزار SNAP انجام شده است. در واقع نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبت هم از تصاویر خام به‌دست آمد و هم از تصاویر تصحیح‌شده و بدین صورت این امکان فراهم شد تا تأثیر تصحیحات بر کیفیت تصاویر استخراجی از این چهار شاخص، مورد

بهتری دارد. در این شکل، مناطق قرمز رنگ دارای رطوبت بیشتری نسبت به سایر مناطق است. یکی از اشکالات عمده تصویر الف این است که مناطق روستایی را هم جزء مناطق بسیار مرطوب نشان داده است. یعنی این مناطق را جزء پهنه‌های آبی در نظر گرفته است، در حالی که چنین نیست. اما این شرایط در شکل ۲-ب که مربوط به تصحیح جوی است، تا حدودی، البته نه به طور کامل، اصلاح شده است. ضریب کاپای این شاخص برای نقشه حاصل از تصویر خام ۰/۷۹ بوده در حالی که برای تصویر تصحیح شده جوی ۰/۸۳ برآورد شده است. همین افزایش مقادیر برای ضرایب دقت تولید کننده و کاربر نیز قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان گفت که تصحیح جوی تصویر ماهواره‌ای نقش مثبتی در تفکیک پدیده‌های زمینی داشته است.

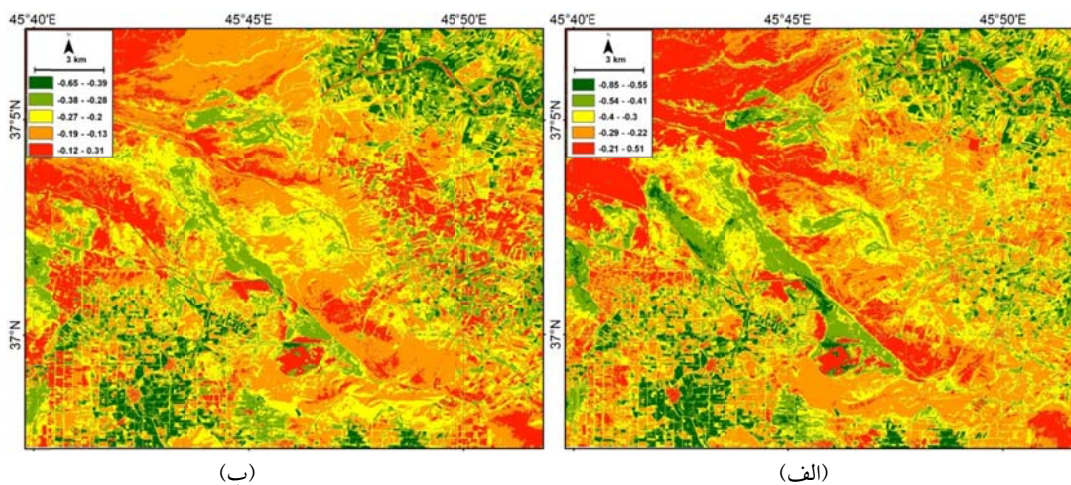
شاخص‌های چهارگانه ضریب کاپای تصاویر تصحیح شده نسبت به تصاویر خام ۲ الی ۳ صدم افزایش نشان می‌دهد. این امر بیانگر بالا بودن دقت تصاویر تصحیح شده در استخراج پهنه‌های آبی و مناطق مرطوب است.

شکل ۲ نشان‌دهنده شاخص NDWI2 تولید شده از تصاویر خام و تصاویر تصحیح شده جوی است. قبلاً نیز اشاره شد که این شاخص به وسیله نرم افزار SNAP، محاسبه و تولید شده است. در تولید آن از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده شده است و مهم‌ترین کارایی آن استخراج پهنه‌های مرطوب و تمیز این پهنه‌ها با سایر پوشش‌هاست.

با توجه به شکل ۲، مشخص است که تصویر حاصل از تصاویر تصحیح شده در نشان دادن مناطق مرطوب از سایر پدیده‌های نیمه مرطوب و اراضی کشاورزی عملکرد

جدول ۱. مقادیر و ضرایب دقت تصاویر خام و تصحیح شده برای منطقه مورد مطالعه.

نوع تصویر	شاخص	ضریب کاپا	دقت کاربر %	دقت تولید کننده %
خام	NDWI2	۰/۷۹	۹۰/۶	۹۷/۶
	MNDWI	۰/۹۳	۹۸/۳	۹۹/۲
	NDTI	۰/۹۲	۹۶/۸	۹۸/۶
	SAVI	۰/۸۸	۹۲/۵	۹۸/۲
تصحیح شده	NDWI2	۰/۸۳	۹۲	۹۷/۶
	MNDWI	۰/۹۶	۹۸/۹	۹۹/۳
	NDTI	۰/۹۶	۹۷/۳	۹۹
	SAVI	۰/۹۰	۹۴/۶	۹۸/۱

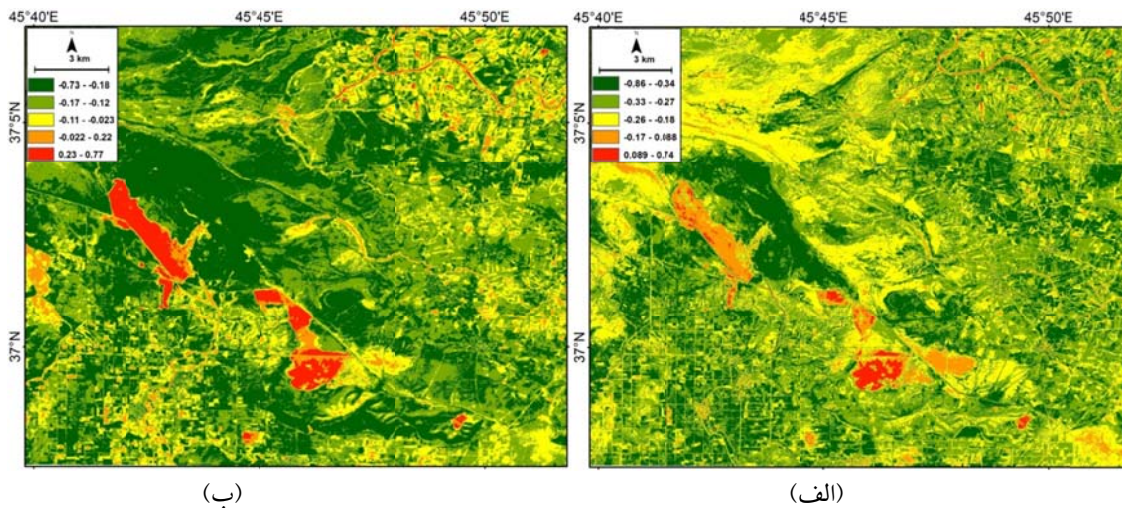


شکل ۲. برآورد شاخص NDWI2 برای منطقه مورد مطالعه. الف) حاصل از تصویر خام؛ ب) حاصل از تصویر تصحیح شده جوی.

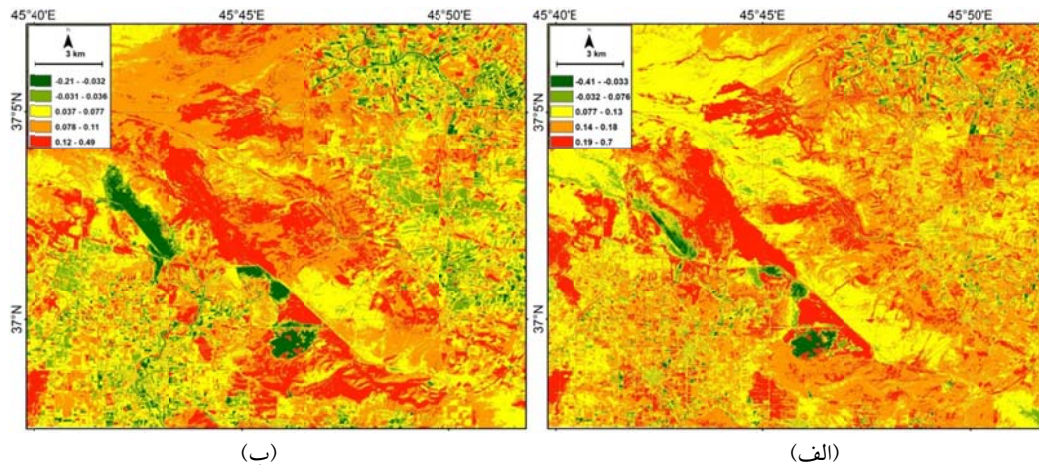
ضرایب دقت این شاخص برای تصاویر خام و تصحیح‌شده، نشان‌دهنده دقت بالای تصاویر تصحیح‌شده در استخراج پهنه‌های آبی و به‌ویژه پهنه‌های آبی خالص است.

شاخص سومی که روی تصاویر خام و تصحیح‌شده جوی اعمال شد، شاخص NDTI است (شکل ۴). این شاخص می‌تواند رطوبت موجود در خاک و پهنه‌های آبی و همچنین رطوبت موجود در پوشش گیاهی را ثبت کند. ضریب کاپای این شاخص برای تصاویر خام و تصحیح‌شده به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۶ است. همچنین مقادیر دقت دوگانه این شاخص ۹۸/۵ درصد را نشان می‌دهد. در ضرایب دقت این شاخص برای تصاویر تصحیح‌شده نسبت تصاویر خام افزایش قابل توجهی وجود دارد که این امر نشان‌دهنده بالا بودن دقت تصاویر تصحیح‌شده است. باید اشاره کرد که با وجود اینکه این شاخص از دقت بالایی برخوردار است ولی نسبت به شاخص قبلی یعنی MNDWI، ضعیف‌تر عمل کرده است. این ضعف را می‌توان از مقایسه شکل ۴ با ۳ متوجه شد. همچنین بررسی مساحت مربوط به پهنه‌های آبی دو شکل مذکور نیز این امر را ثابت می‌کند.

در شکل ۳ شاخص MNDWI، مقایسه شده است. در واقع این شاخص نیز از تصاویر خام و تصحیح‌شده جوی به‌دست آمده است. ضریب کاپای این شاخص برای تصویر خام ۰/۹۳ و برای تصویر تصحیح‌شده ۰/۹۶ است. همچنین سایر ضرایب مربوط به دقت تصاویر نیز در این شاخص بالاست. می‌توان گفت در کل این شاخص به لحاظ دقت تولید و کاربرد و ضریب کاپا در درجه بالایی قرار دارد. اشاره شد که کاربرد اصلی این شاخص استخراج پهنه‌های آبی و حذف سایر پدیده‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که این شاخص در نشان دادن پهنه‌هایی با آب خالص (نه آب موجود در خاک)، عملکرد بهتری خواهد داشت. در شکل ۳ پهنه‌های آبی خالص، مثل مسیر رودخانه زربینه‌رود و همچنین تالاب‌های واقع در غرب و جنوب منطقه با رنگ قرمز نشان داده شده است. پهنه‌های بسیار مرطوب نیز با تن رنگ‌های کمتر مشخص شده است. مقایسه شکل الف و ب به‌خوبی نشان‌دهنده تأثیر مثبت تصحیحات جوی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در برآورد شاخص MNDWI، و پهنه‌های آبی خالص است. بررسی و مقایسه این تصویر و همچنین مقادیر کاپا و



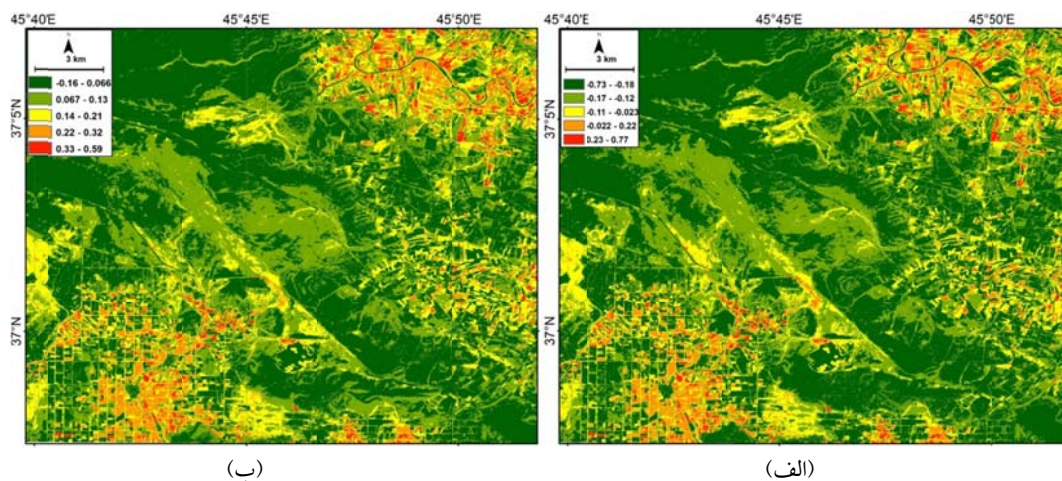
شکل ۳. برآورد شاخص MNDWI برای منطقه مورد مطالعه. الف) حاصل از تصویر خام؛ ب) حاصل از تصویر تصحیح‌شده جوی.



شکل ۴. شاخص NDTI برای منطقه مورد مطالعه. الف) حاصل از تصویر خام؛ ب) حاصل از تصویر تصحیح شده جوی.

می تواند نشان دهنده این واقعیت باشد. در ضمن بررسی شکل ۵ نیز نشان می دهد که مناطقی یا پهنه های آبی توسط این شاخص به خوبی استخراج نشده است و فقط پهنه های گیاهی همراه با نوع تراکم آنها نشان داده شده است. برای مثال در بخش غرب و مرکز- جنوب منطقه مورد مطالعه تالاب هایی وجود دارد که در این شاخص استخراج نشده اند یا مقادیر بازتاب رودخانه زرينه رود (به عنوان یک پهنه آبی)، در این شکل بسیار پایین بوده و عملاً جزء مناطق مرطوب در نظر گرفته نشده است. نتیجه کلی اینکه این شاخص به همراه شاخص NDWI2 در برآورد مناطق مرطوب و پهنه های آبی در مقایسه با سایر شاخص ها عملکرد ضعیف تری از خود نشان داده اند.

در نهایت شاخص SAVI، به عنوان آخرین شاخص مورد بررسی در تحقیق حاضر روی تصاویر سنتینل ۲ (تصاویر خام و تصحیح شده جوی) اعمال و نقشه آن تهیه شد (شکل ۵). این شاخص به طور تخصصی برای نشان دادن تراکم پوشش گیاهی به کار می رود. با توجه به اینکه وجود پوشش گیاهی در یک منطقه باعث افزایش رطوبت خاک و گیاهان می شود در این مقاله از آن استفاده شده است. توجه به مقادیر ضرایب کاپا و دقت این شاخص بیانگر این واقعیت است که شاخص حاضر در مقایسه با شاخص های MDTI و MNDWI از دقت کمتری در نشان دادن پهنه های مرطوب و آبی برخوردار است. ضریب کاپای ۰/۸۸ و ۰/۹۰ به ترتیب برای تصاویر خام و تصحیح شده



شکل ۵. استخراج شاخص SAVI برای منطقه مورد مطالعه. الف) حاصل از تصویر خام؛ ب) حاصل از تصویر تصحیح شده جوی.

۴. مقایسه مساحت پهنه‌ها

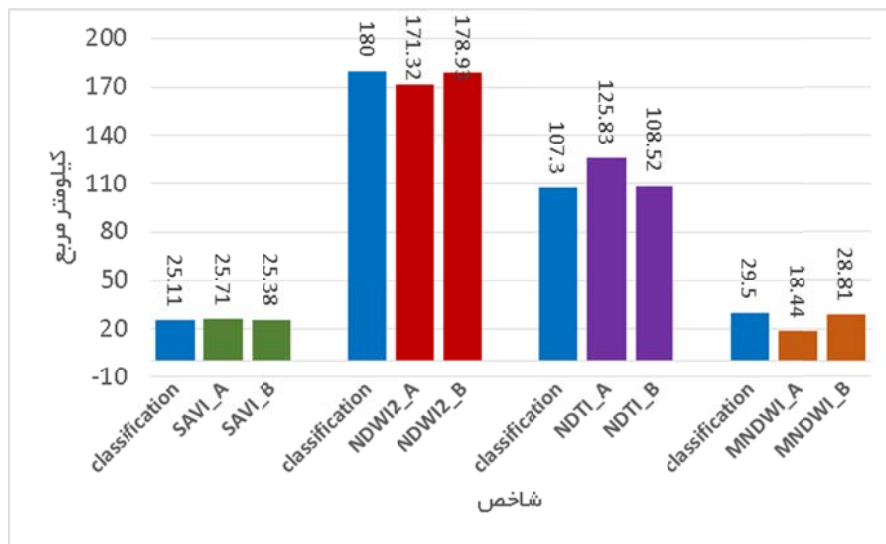
به منظور بررسی و مقایسه مساحت پهنه‌های مرطوب و آبی استخراج شده از تصاویر خام و تصحیح جوی شده با استفاده از شاخص‌های چهارگانه با نتایج حاصل از مساحت‌های واقعی زمینی (استخراج شده از طریق طبقه‌بندی نظارت شده)، اقدام به ترسیم نمودار مربوط به مساحت پهنه‌ها شد (شکل ۶). در این نمودار ستون اول در هر شاخص (ستون آبی رنگ)، مساحت زمینی آن پهنه به کیلومتر مربع را نشان می‌دهد. ستون‌هایی A، مساحت به دست آمده از تصاویر خام و ستون‌های B هر شاخص، مساحت به دست آمده از تصاویر تصحیح شده جوی را نشان می‌دهد.

با توجه به این نمودار مشخص است که مساحت پهنه‌های مستخرج از تصاویر تصحیح شده، به مساحت‌های واقعی نزدیک تر می‌باشد. مساحت واقعی در شاخص SAVI، ۲۵/۱۱ کیلومتر مربع است. مساحت محاسبه شده از تصاویر خام و تصحیح شده به ترتیب برابر است با ۲۵/۷۱ و ۲۵/۳۸ کیلومتر مربع. همچنین مساحت واقعی در شاخص NDWI2 ۱۸۰ کیلومتر مربع بوده که به مساحت تصویر تصحیح شده یعنی ۱۷۸/۹۳ کیلومتر مربع نزدیک است. برای شاخص‌های دیگر یعنی NDTI و MNDWI مساحت واقعی به ترتیب ۱۰۷/۳ و ۲۹/۵ کیلومتر مربع است.

مساحت حاصل از تصاویر تصحیح شده این دو شاخص نیز به ترتیب ۱۰۸/۵۲ و ۲۸/۸۱ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد. در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که تصاویر تصحیح شده جوی با استفاده از روش DOS، در نشان دادن پهنه‌های مرطوب و آبی و مساحت آنها، نتایج بهتری را ارائه می‌دهند.

۵. نتیجه‌گیری

هدف این مقاله استخراج پهنه‌های مرطوب و آبی جنوب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر خام و تصحیح جوی شده سنجنده سنتینل ۲ و مقایسه دقت آنهاست. بدین منظور از چهار شاخص NDWI2، MNDWI، NDTI و شاخص SAVI استفاده شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که اعمال تصحیحات جوی بر روی تصاویر سنتینل ۲ می‌تواند موجب بالا رفتن دقت در استخراج پهنه‌های مرطوب و آبی و حتی سایر کاربری‌ها شود. با در نظر گرفتن شاخص‌های چهارگانه و استخراج پهنه‌های مورد نظر از تصاویر خام و تصحیح جوی شده مشخص شد که اولاً شاخص‌های MNDWI و NDTI بهترین شاخص جهت استخراج پهنه‌های مرطوب و آبی در جنوب دریاچه ارومیه هستند. علت این امر را می‌توان در مقادیر کاپای بالا و همچنین دقت کاربر و تولیدکننده دانست (جدول ۱).



شکل ۶. مقایسه مساحت پهنه‌های مرطوب مستخرج از شاخص‌های چهارگانه با مساحت واقعی.

سنتینل ۲ می‌بایست این تصاویر با استفاده از روش‌های مختلف، تصحیح جوی شوند تا میزان خطای آنها به حداقل ممکن برسد.

مراجع

بحرینی، ف.، پناهی، ف.، جعفری، م. و ملکیان، آ.، ۱۳۹۷، شناسایی مناطق آسیب پذیر پوشش گیاهی به خشکسالی با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: استان بوشهری، مرتع و آبخیزداری، ۲، ۳۴۱-۳۵۴

پورخسروانی، م.، مهرابی، ع. و موسوی، س.ح.، ۱۳۹۷، تحلیل فضایی خشکسالی حوضه سیرجان با استفاده از سنجش از دور، م. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۲۰، ۱۳-۲۲

مافی غلامی، د. و وارد، ر.، ۱۳۹۷، ارزیابی احتمال وقوع مخاطرات چندگانه محیطی در زیستگاه‌های مانگرو با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، محیط شناسی، ۳، ۴۲۵-۴۴۳

میرزایی، ف.، کشاورز، م. ر. و وظیفه دوست، م.، ۱۳۹۷، توسعه الگوریتم SM-SEBAL، به منظور محاسبه تبخیر و تعرق واقعی به کمک سنجش از دور، م. مهندسی منابع آب، ۳۸، ۱۰۷-۱۲۷

ولیزاده کامران، خ. و لنگک باف، مریم، ۱۳۹۷، برآورد تبخیر-تعرق واقعی ذرت با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای و مدل سبال در منطقه خوزستان، ۶۵، ۱-۱۳

همچنین مقایسه تصاویر به دست آمده از این دو شاخص با تصاویر Google Earth و تفسیر بصری آنها نشان‌دهنده شباهت بصری این تصاویر با یکدیگر است. دوم اینکه در بین این دو شاخص نیز، داده‌های حاصل از تصاویر تصحیح شده جوی نسبت به تصاویر خام از ضرایب دقتی بالایی برخوردار هستند.

به طوری که ضریب کاپا برای شاخص MNDWI ناشی از تصاویر خام و تصحیح شده به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۶ است. چنین افزایشی در ضرایب کاپا و سایر ضرایب مربوط به تعیین دقت داده‌ها در سایر شاخص‌ها نیز به وضوح قابل مشاهده است. یعنی اینکه علاوه بر وجود اختلاف بین خود شاخص‌ها در برآورد مناطق مرطوب و آبی، بین تک تک شاخص‌های مستخرج از تصاویر خام و تصحیح شده نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد که این امر نشان‌دهنده بالا بودن دقت تصاویر تصحیح شده جوی است. در نهایت به منظور بررسی مساحت پهنه‌های مورد نظر با مساحت واقعی و مقایسه بیت تصاویر خام و تصحیح شده، اقدام به برآورد و مقایسه مساحت پهنه‌های آبی در قالب شاخص‌های مختلف شد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که در هر چهار شاخص به کار رفته در این مقاله، مساحت پهنه‌های آبی و مرطوب مستخرج از تصاویر تصحیح شده، بسیار نزدیک به مساحت‌های واقعی این پهنه‌ها در روی زمین است. بنابراین می‌توان چنین گفت که در برآورد پهنه‌های مرطوب و آبی یک منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره

Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., White, L., Banks, S., Montgomery, J. and Hopkinson, C., 2019, Canadian wetland inventory using google earth engine: The first map and preliminary results. Remote Sensing, 11(7), p.842.

Barducci, A. and Guzzi, D., Marcoionni, P. and Pippi, I., 2009, Aerospace wetland monitoring by hyperspectral imaging sensors: a case study in the coastal zone of San Rossore Natural Park. Journal of Environmental Management 90(7), 2278-2286.

Cazals, C., Rapinel, S., Frison, P.L., Bonis, A., Mercier, G., Mallet, C., Corgne, S. and

Rudant, J.P., 2016, Mapping and characterization of hydrological dynamics in a coastal marsh using high temporal resolution Sentinel-1A images. Remote Sensing, 8(7), p.570.

Chun-ye, W. and Wei-ping, Z., 2011, Analysis of the impact of urban wetland on urban temperature based on remote sensing technology. Procedia Environmental Sciences, 10, 1546-1552.

Fei, S. X., Shan, C. H. and Hua, G. Z., 2011, Remote sensing of mangrove wetlands identification. Procedia Environmental Sciences, 10, 2287-2293.

Gao, B. C., Montes, M. J., Li, R. R., Dierssen, H.

- M. and Davis, C. O., 2007, An atmospheric correction algorithm for remote sensing of bright coastal waters using MODIS land and ocean channels in the solar spectral region. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1835-1843.
- Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M. G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L. and Clayton, C. R. I., 2010, Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(1), 89-95.
- Jiang, D., Huang, Y., Zhuang, D., Zhu, Y., Xu, X. and Ren, H., 2012, A simple semi-automatic approach for land cover classification from multispectral remote sensing imagery. *PloS one*, 7, e45889.
- Kaplan, G., Avdan, U., 2017, Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite imagery, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-4/W4, 2017 4th International GeoAdvances Workshop, 14-15 October 2017, Safranbolu, Karabuk, Turkey.
- Kelmas, V., 2011, Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques, *Journal of Coastal Research* 273, 418-427.
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A. and Lafaye, M., 2007, Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 66-74.
- Lira, J., 2006, Segmentation and morphology of open water bodies from multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 4015-4038.
- Ludwig, C., Walli, A., Schleicher, C., Weichselbaum, J. and Riffler, M., 2019, A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 333-351.
- Ma, M., Wang, X., Veroustraete, F. and Dong, L., 2007, Change in area of Ebinur lake during the 1998-2005 period. *International Journal of Remote Sensing* 2824, 5523-5533.
- Martinez, J. M. and le Toan, T., 2007, Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote Sens. Environ.* 108, 209-223.
- McFeeters, S., 2013, Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
- Muro, J., Canty, M., Conradsen, K., Hüttich, C., Nielsen, A., Skriver, H., Remy, F., Strauch, A., Thonfeld, F. and Menz, G., 2016, Short-Term Change Detection in Wetlands Using Sentinel-1 Time Series. *Remote Sens.* 8, 795.
- Mwita, E., Menz, G., Misana, S. and Nienkemper, P., 2012, Detection of small wetlands with multi sensor data in East Africa. *Advances in Remote Sensing*, 1, 64-73
- Nguyen, H. C., Jung, J., Lee, J., Choi, S., Hong, S. and Heo, J., 2015, Optimal Atmospheric Correction for Above-Ground Forest Biomass Estimation with the ETM+ Remote Sensor, *Sensors*, 15, 18865-18886.
- Norjamäki, I. and Tokola, T., 2007, Comparison of atmospheric correction methods in mapping timber volume with multitemporal Landsat images in Kainuu, Finland. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73(2), 155-163.
- Roy, D. P., Qin, Y., Kovalskyy, V., Vermote, E. F., Ju, J., Egorov, A., Hansen, M. C., Kommareddy, I. and Yan, L., 2014, Continuous United States Demonstration and Characterization of MODIS-based Landsat ETM+ Atmospheric Correction Remote Sensing of Environment, 140, 433-449.
- Sun, R. and Chen, L., 2012, How can urban water bodies be designed for climatic adaptation? *Landscape and Urban Planning* 105, 27-33.
- Wang, X., Zhang, F. and Johnson, V.C., 2018, New methods for improving the remote sensing estimation of soil organic matter content (SOMC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR) in northwest China. *Remote sensing of environment*, 218, 104-118.
- Wang, Y. and Yésou, H., 2018, Remote sensing of flood path Lakes and Wetlands: A challenging frontier in the monitoring of changing environments. 12, 1-12
- Xu, H., 2006, Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Xue, K., Ma, R., Wang, D. and Shen, M., 2019, Optical Classification of the Remote Sensing Reflectance and Its Application in Deriving the Specific Phytoplankton Absorption in Optically Complex Lakes. *Remote Sensing*, 11, 184-198.
- Yeo, I.Y., Lang, M.W., Lee, S., McCarty, G.W., Sadeghi, A.M., Yetemen, O. and Huang, C., 2019, Mapping landscape-level hydrological

- connectivity of headwater wetlands to downstream waters: A geospatial modeling approach-Part 1. *Science of The Total Environment*, 653, pp.1546-1556.
- Zedler, J. B. and Kercher, S., 2005, Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources* 30, 39-74.
- Zhang, Y., Lu, D., Yang, B., Sun, C. and Sun, M., 2011, Coastal wetland vegetation classification with a Landsat Thematic Mapper image. *International Journal of Remote Sensing*, 32, 545-561.

Investigation of the Effect of Atmospheric Correction (DOS) On Water-Vegetations Indexes Mapping (Case Study: South Wetlands of Lake Urmia)

Mohammadnejad Arooq, V.*

Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Human and Literature, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: 14 Aug 2019, Accepted: 21 Jan 2020)

Summary

Wetlands comprise roughly 6–9 percent of the Earth's surface. The role of wetlands in maintaining environmental quality includes the storage of global terrestrial carbon. In addition, they influence many aspects of ecology, economy and human welfare. Furthermore, wetlands act as an oasis in an urban area which is important in the reduction of surrounding surface air temperature. Changes in the spatial distribution of wetlands (croplands, forests, water bodies and rivers), either by natural factors or anthropogenic activities could significantly affect the ecosystem. Satellite imagery enables us to monitor short-and long-term changes in wetlands and its vegetation density. Due to the fact that the electromagnetic waves reaching the satellites pass through the Earth's atmosphere, the reflections recorded by the sensor of these satellites do not really reflect the phenomena of the Earth's surface. By applying some corrections on the images, it is possible to convert them to Top Of Atmosphere reflectance values (TOA) and the Earth's surface reflections (BOA) ones. In this paper, we have reviewed and compared the results of extraction of wetlands and water body using raw and atmospheric corrected images of Sentinel 2 in south of Lake Urmia.

The study area includes wetland and agricultural lands of southern Urmia Lake. Due to the existence of two large Zarrineh and Simineh rivers in the region as well as its very fertile soil, agriculture has expanded rapidly. The main data of this study is satellite images of Sentinel 2 (spring 2019). The dark object subtraction (DOS) is one of the methods of atmospheric correction of satellite images, which with a partial fraction of the dark object's reflection of the whole image, it makes an atmospheric correction of the satellite image. In this paper, this method has been used for atmospheric correction. In fact, a copy of the raw satellite image of the study area was made and the atmospheric corrections were applied. Then the results were compared with the raw images. In order to compare two raw and corrected images, it was attempted to separate the wetlands (rivers, ponds, wetlands) from non-moisturizing lands, so that the effect of atmospheric correction on the ground reflection could be observed. For this purpose, NDWI2 MNDWI, NDTI and SAVI indexes have been used in this paper.

To compare the effect of atmospheric correction on Sentinel satellite images, the image of the study area was first provided and entered into the QGIS software for atmospheric correction. Then, using a combination of short infrared, near-infrared and green bands, the extraction and classification of wetlands, water bodies and vegetation cover density was made by SNAP software. Due to the lack of ground control points, the images were sampled by the ArcMap software and verified by using google earth images. Three precision coefficients were used to check and compare the accuracy of raw data with the atmospheric corrected data. In order to compare the accuracy of the outputs, Kappa coefficients, users' accuracy and producers' accuracy were calculated using the ArcMap software. The MNDWI and NDTI indices are the best indicators for raw images and for corrected images, to extract wetlands and water bodies. Kappa values of these indicators are above 0.9 and also users' accuracy and producers' accuracy are above 96%. Among the four above-mentioned indicators, the NDWI2 index has the lowest accuracy as well as the minimum Kappa coefficient. The results show that corrected images have high accuracy in extracting and displaying wetlands and water bodies. The area of the wetlands and water bodies to be redirected from corrected images is closer to actual areas. The actual area in the SAVI index is 25.15 square kilometers and the redistributed area of raw and corrected images are 25.71 and 25.38 km², respectively. The actual area in the NDWI2 index is 180 km², with a corrected area of 178.93 square kilometers. For other indicators, NDTI and MNDWI, the actual areas are 10.37 and 29.5 km², respectively. In general, it can be concluded that atmospheric corrected images using the DOS method show better results in showing wetlands and water bodies areas.

The results of this paper show that the application of atmospheric corrections to the Sentinel 2 images can increase the accuracy of the extraction of wetlands and water bodies areas and even other landcovers. Considering the four indicators and extracting the zones from raw and atmospheric corrected images, it was determined that, firstly, MNDWI and NDTI indices are the best indicators for extracting wetlands and water bodies in the south of Lake Urmia. Secondly, among these two indicators, the data from the corrected atmospheric images have high precision coefficients than raw images. Therefore, it can be said that in estimating the wetlands and water bodies using Sentinel images 2, these images must be corrected using different methods to minimize their error of representations.

Keywords: Satellite Image, Atmospheric correction, Dark object subtraction, Sentinel 2, Lake Urmia.

* Corresponding author:

v.mohammadnejad@urmia.ac.ir