

ارزیابی و مقایسه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده جهت تهیه نقشه درجات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲

محمد مهدی تقدسی^۱

مهدی حسنلو^۲

کامران افتخاری^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۲/۲۹

چکیده

شوری خاک یکی از عوامل گسترش بیابان‌زایی و تخریب منابع زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. با توجه به روند رو به گسترش شوری‌زایی در طی سالیان اخیر و اهمیت حفظ منابع طبیعی، تعیین گستره نواحی تحت تأثیر این پدیده و شدت شوری در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از پتانسیل تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا و به کارگیری تکنیک‌های سنجش از دوری یکی از راه‌های مؤثر در تشخیص این پدیده و تعیین شدت شوری در نواحی آسیب دیده است. براین اساس پژوهش حاضر با نمونه‌برداری از خاک منطقه‌ای واقع در کوه سفید استان قم که تحت تأثیر شوری است، به تهیه نقشه سطوح مختلف شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ پرداخته است. در این راستا، شاخص‌های متنوع شوری از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده و در فرآیند طبقه‌بندی تصویر به کلاس‌های شوری از قبیل خاک بدون شوری، با شوری کم، شوری متوسط، شوری بالا و خاک اشباع از شوری مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج طبقه‌بندی صورت گرفته از ۵ الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده شامل حداقل فاصله، ماهالانویس، متوازی السطوح، حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان، بیانگر بالاترین دقت به دست آمده از طبقه‌بندی کننده ماشین‌بردار پشتیبان با دقت کلی ۹۲/۲۱۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۹۴ در تهیه نقشه‌ی کلاس‌های شوری بود. ارزیابی نقشه‌های به دست آمده از کلاس‌های شوری همچنین نشان‌دهنده‌ی شدت شوری بالاتر نواحی شرقی کوه سفید نسبت به دیگر مناطق بوده که ناشی از مجاورت بیشتر این نواحی نسبت به دریاچه نمک استان قم و کشیده شدن سطوح نمک به زمین‌های اطراف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شوری‌زایی - تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی - شاخص‌های شوری - طبقه‌بندی نظارت شده - درجات شوری

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، mahdi.taghdosi@ut.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) hasanlou@ut.ac.ir

۳- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، keftekhari@swri.ir

۱- مقدمه

و به روز از خاک مناطق مختلف را نمی‌تواند، میسر سازد. بر این اساس استفاده از روش‌های مدرن و به کارگیری فن‌آوری‌های جدید و توسعه آنها می‌تواند در این بحث مؤثر واقع شود (Allbed & Kumar, 2013; Gorji et al., 2017; Iqbal & Mastorakis, 2015). استفاده از پتانسیل تصاویر ماهواره‌ای و به کارگیری فناوری‌های جدید سنجش از دوری می‌تواند به عنوان یک روش با کارایی بالا و به لحاظ اقتصادی به صرفه در تخمین شوری و تعیین شدت گسترش آن در این نواحی به کار بیاید (Allbed & Kumar, 2013; Garcia, Eldeiry, & Elhaddad, 2016; Morshed, Islam, & Jamil, 2016). بررسی ویژگی‌های طیفی خاک‌هایی با سطوح شور و تعیین گستره مناطق تحت تأثیر این پدیده، با به کارگیری تصاویر جدید با توان تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً بالا به شکل مطلوبی امکان‌پذیر بوده و می‌تواند در تهیه نقشه شوری خاک به طور گسترده‌ای مؤثر باشد.

در سال‌های اخیر شاخص‌های زیادی جهت تشخیص و استخراج ویژگی‌های سطوح شور از تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده‌اند که غالباً آنها بر مبنای بازتاب طیفی این سطوح در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یا نسبت‌های بین باندهای مورد مطالعه قرار گرفته و به کار بسته شده‌اند (Taghadosi & Hasanlou, 2017).

شاخص‌های غیر مستقیم یا اندیس‌های گیاهی با تخمین کاهش نرخ رشد پوشش و افت گیاهی در مناطقی که خاک‌ها تحت تأثیر شوری هستند، اقدام به پایش شوری و اثرات منفی آن بر پوشش گیاهی می‌نمایند (Allbed & Kumar, 2013; Meng & Wu, 2008). از دیگر سو، شاخص‌های شوری که غالباً بر مبنای بازتابش بالاتر سطوح شور در طول موج مرئی و فروسرخ در مناطق زمین بایر، رشد و توسعه یافته‌اند به شکل مستقیم خاک‌های شور را بارز و مشخص می‌نمایند. علاوه بر شاخص‌های مبتنی بر بازتاب طیفی سطوح شور، به کارگیری داده‌های کمکی و متغیرهای متنوع محیطی دیگر نظیر دمای سطح، رطوبت، سختی سطوح، جنس خاک، توپوگرافی منطقه و... که می‌تواند تحت تأثیر شوری در منطقه تغییر کند، در

شوری‌زایی یکی از معضلات جدی زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود که موجب گسترش بیابان‌زایی و افت کیفیت خاک منطقه می‌گردد. (Allbed, 2016; Asfaw, Suryabhagavan, & Argaw, 2013; Kumar, 2013). عوامل متعددی نظیر خشکسالی، کمبود بارش، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، آبیاری نادرست اراضی کشاورزی، کیفیت آب آبیاری، تبخیر و تعرق بالا و سدسازی منجر به بروز پدیده شوری و افت کیفیت خاک منطقه می‌شوند که بی‌توجهی به آنان منجر به خسارات زیست محیطی غیرقابل جبران و تخریب منابع طبیعی می‌گردد (Taghadosi, 2017). بر طبق یافته‌های آزمایشگاه شوری ایالات متحده، خاک با هدایت اشباع بالاتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، درصد سدیم تبدلی (ESP) کمتر از ۱۵ و PH کمتر از ۸/۵ در زمره خاک‌های شور قرار می‌گیرد (Allbed & Kumar, 2013). همچنین بر طبق اعلام سازمان جهانی غذا و کشاورزی (FAO) چیزی در حدود ۳۹۷ میلیون هکتار زمین در اقصی نقاط دنیا تحت تأثیر شوری‌زایی هستند که در این میان کشورهای آسیایی با ۱۹۵/۱ میلیون هکتار اراضی متأثر از شوری در معرض بیشترین آسیب این پدیده هستند (Koohafkan & Stewart, 2008). با توجه به افزایش جمعیت در طی سالیان اخیر و نیاز روزافزون به حفظ منابع طبیعی و تولید محصولات کشاورزی ارائه راهکاری برای جلوگیری از گسترش این پدیده و بهبود کیفیت خاک در زمین‌های تحت تأثیر حائز اهمیت است (Gorji, Sertel, & Tanik, 2017).

از این رو به دست آوردن اطلاعات دقیق راجع به موقعیت مکانی اراضی متأثر از شوری و تعیین شدت آن در نواحی تحت تأثیر به عنوان گام نخست در پایش این پدیده، ضروری می‌نماید. با این حال روش‌های مرسوم در این زمینه که با انجام عملیات میدانی وسیع و نمونه‌برداری از خاک مناطق مختلف انجام می‌گیرد با صرف زمان و هزینه بالایی همراه بوده و عملاً امکان دسترسی به اطلاعات دقیق

قرار گیرد. بر این اساس استفاده از تبدیل مؤلفه اصلی^۱ که اولین بار توسط Pearson (۱۹۰۱) پیشنهاد شد و یکی از روش‌های مؤثر و مفید جهت تحلیل بهتر داده‌ها است، می‌تواند مثر ثمر واقع شود. این روش با تبدیل خطی داده‌ها به یک زیر فضای با ابعاد کمتر که در آن داده‌ها براساس بیشینه واریانس‌شان مرتب می‌شوند، انجام می‌گیرد (Abdi & Williams, 2010) و یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش ابعاد داده‌ها است که اطلاعات اصلی و سودمند داده‌ی مورد نظر را در اختیار می‌گذارد (Abdi & Williams, 2010; Balaji & Sumathi, 2014). همچنین این تبدیل برای تولید باندهای بدون همبستگی که در بردارنده اطلاعات حداکثری هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا و نیز استخراج طیف وسیعی از شاخص‌های شوری از منابع مختلف داده و تعیین باندهایی با بیشترین اطلاعات مفید، امکان تشخیص نواحی متأثر از این پدیده و تعیین شدت آن در منطقه مطالعاتی فراهم می‌گردد. استفاده از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، این امکان را فراهم می‌سازد تا با تعیین کلاس‌های مختلف شوری، شدت شوری‌زایی در منطقه مطالعاتی مشخص شده و اقدام مقتضی در جهت حفاظت از منابع خاک و مدیریت نواحی آسیب دیده به عمل آید. مطالعات صورت گرفته پیرامون این موضوع غالباً مبتنی بر به کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای شناسایی شدت شوری به وقوع پیوسته در منطقه و تخصیص پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای به کلاس‌های مختلف شوری از خاک‌های سالم و با شوری پایین تا خاک‌هایی با سطوح شوری بالا و یا اشباع از شوری می‌باشد. Elnaggar و Noller در سال ۲۰۰۹ با استفاده از تصاویر لندست TM اقدام به تهیه نقشه شوری در یکی از مناطق مرکزی شهر ملهور ایالات متحده آمریکا کردند. در این پژوهش وجود همبستگی بالای مقادیر هدایت الکتریکی خاک (EC) اندازه‌گیری شده در منطقه و بازتاب طیفی در باندهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر لندست

تشخیص و پایش این پدیده مؤثر است (Katawatin & Kotrapat, 2005; Metternicht & Zinck, 2003). Lobell در پژوهشی با استفاده از تصاویر چندزمانه مادیس به بررسی کارایی دو شاخص گیاهی NDVI و EVI در پایش خاک شور پرداختند که در طی آن کارایی شاخص EVI در مقایسه با NDVI به اثبات رسید.

Khan و همکاران (۲۰۰۵) با ارائه سه شاخص شوری BI و NDSI و SI برای سنجنده LISS-2 ماهواره IRS-1B اقدام به ارزیابی افت زمین ناشی از شوری‌زایی کردند که در این بین شاخص NDSI برای تشخیص کلاس‌های شوری مناسب تشخیص داده شد. همچنین در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۵ Katawatin و Kotrapat از داده‌های لندست-۷ و چندین نوع داده‌ی کمکی دیگر نظیر داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و کیفیت آب‌های زیرزمینی جهت تهیه نقشه شوری بهره گرفتند، که نتایج آن بیانگر امکان تهیه نقشه شوری با دقت بالای ۸۳/۶ درصد با به کارگیری باندهای ۴ و ۵ و ۷ تصویر لندست-۷ و داده‌های کمکی یاد شده بود. در مطالعه‌ی دیگر در سال ۲۰۱۴ Allbed و همکاران با استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالای ماهواره IKONOS در منطقه‌ای از عربستان که با درخت خرما پوشیده شده بود به بررسی درجات مختلف شوری در این منطقه پرداختند. در این پژوهش از سیزده شاخص شوری و گیاهی به همراه داده‌های زمینی بهره گرفتند تا کارکرد این شاخص‌ها برای پایش شوری مورد ارزیابی قرار گیرد. از بین شاخص‌های شوری و گیاهی مورد نظر شاخص‌های NDSI و SAVI و SI-T دارای بهترین عملکرد در پایش خاک شور بودند.

با توجه به تعداد بالای شاخص‌های ماهواره‌ای مورد استفاده پیرامون شوری خاک و تنوع و گستردگی کاربرد آنها در مطالعات پیشین، به کارگیری روشی که بتواند با کم کردن حجم داده‌ها بیشترین اطلاعات مفید را از تصویر ماهواره‌ای استخراج کند، حائز اهمیت بوده و می‌تواند در فراهم آوردن نقشه سطوح شور با دقت‌های بالا مورد توجه

و همچنین شاخص‌های BI و Wetness به اثبات رسید. همچنین از طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین احتمال استفاده شد تا تصویر منطقه مورد نظر به دو کلاس خاک بدون شوری با مقادیر هدایت الکتریکی زیر چهار دسی‌زیمنس بر متر و خاک شور با مقادیر هدایت الکتریکی بالای چهار دسی‌زیمنس بر متر تقسیم شود.

در مطالعه‌ای دیگر El-Haddad و Garcia (۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر ماهواره ایکونوس و بررسی بازتاب طیفی محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه آرکانزاس، اقدام به تعیین شدت شوری خاک و تأثیر آن بر ریش محصول نمودند.

در این مقاله با استفاده از روش‌های بهبود تصویر ماهواره‌ای، محصول کشاورزی با توجه به وضعیت آن به کلاس‌های مختلف تقسیم شده و طبقه‌بندی کننده‌ی بیشترین احتمال برای تشخیص سطوح مختلف شوری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده بیانگر اهمیت استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا در پایش شوری خاک و تعیین کلاس‌های شوری در منطقه مورد تحقیق بود. Hamzeh و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ پتانسیل استفاده از سنجنده فضا برد ابرطیفی هایپریون را برای تهیه نقشه تنش شوری در زمین‌های نیشکر مورد بررسی قرار دادند. روش‌های متنوع طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای نظیر حداکثر احتمال^۱، کمترین فاصله^۲، روش زاویه طیفی^۳ و ماشین بردار پشتیبان^۴ برای طبقه‌بندی خاک شور به سه کلاس: شوری کم، شوری متوسط و شوری بالا استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد، طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان با به کارگیری تمامی باندها به عنوان ورودی، پتانسیل بالایی در تهیه نقشه شوری با دقت کلی ۷۸/۷ و ضریب کاپا ۰/۶۸ دارا است.

با توجه به موارد مطرح شده، پژوهش حاضر در نظر دارد تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جدید با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا اقدام به پایش شوری خاک در منطقه‌ای متأثر از شوری واقع در کوه سفید استان قم ایران، نماید. همچنین تخمین شدت شوری اراضی در نواحی متأثر از این پدیده و تهیه نقشه سطوح شوری در منطقه مطالعاتی با به کارگیری دامنه‌ی وسیعی از شاخص‌های شوری برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای و نیز استفاده از الگوریتم‌های ممتاز طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفته است تا ضمن تعیین کلاس‌های شوری از خاک‌های سالم (بدون شوری) تا خاک‌های بسیار شور برای هریک از روش‌ها، نقشه‌های به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده و تحلیل نتایج صورت گیرد.

در مطالعه‌ای دیگر El-Haddad و Garcia (۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر ماهواره ایکونوس و بررسی بازتاب طیفی محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه آرکانزاس، اقدام به تعیین شدت شوری خاک و تأثیر آن بر ریش محصول نمودند.

در این مقاله با استفاده از روش‌های بهبود تصویر ماهواره‌ای، محصول کشاورزی با توجه به وضعیت آن به کلاس‌های مختلف تقسیم شده و طبقه‌بندی کننده‌ی بیشترین احتمال برای تشخیص سطوح مختلف شوری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده بیانگر اهمیت استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا در پایش شوری خاک و تعیین کلاس‌های شوری در منطقه مورد تحقیق بود. Hamzeh و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ پتانسیل استفاده از سنجنده فضا برد ابرطیفی هایپریون را برای تهیه نقشه تنش شوری در زمین‌های نیشکر مورد بررسی قرار دادند. روش‌های متنوع طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای نظیر حداکثر احتمال^۱، کمترین فاصله^۲، روش زاویه طیفی^۳ و ماشین بردار پشتیبان^۴ برای طبقه‌بندی خاک شور به سه کلاس: شوری کم، شوری متوسط و شوری بالا استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد، طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان با به کارگیری تمامی باندها به عنوان ورودی، پتانسیل بالایی در تهیه نقشه شوری با دقت کلی ۷۸/۷ و ضریب کاپا ۰/۶۸ دارا است.

در این مقاله با استفاده از روش‌های بهبود تصویر ماهواره‌ای، محصول کشاورزی با توجه به وضعیت آن به کلاس‌های مختلف تقسیم شده و طبقه‌بندی کننده‌ی بیشترین احتمال برای تشخیص سطوح مختلف شوری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده بیانگر اهمیت استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا در پایش شوری خاک و تعیین کلاس‌های شوری در منطقه مورد تحقیق بود. Hamzeh و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ پتانسیل استفاده از سنجنده فضا برد ابرطیفی هایپریون را برای تهیه نقشه تنش شوری در زمین‌های نیشکر مورد بررسی قرار دادند. روش‌های متنوع طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای نظیر حداکثر احتمال^۱، کمترین فاصله^۲، روش زاویه طیفی^۳ و ماشین بردار پشتیبان^۴ برای طبقه‌بندی خاک شور به سه کلاس: شوری کم، شوری متوسط و شوری بالا استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد، طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان با به کارگیری تمامی باندها به عنوان ورودی، پتانسیل بالایی در تهیه نقشه شوری با دقت کلی ۷۸/۷ و ضریب کاپا ۰/۶۸ دارا است.

George و Kumar (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای دیگر در منطقه متورا هند به تهیه نقشه شوری و تعیین کلاس‌های مختلف آن

1- Maximum Likelihood

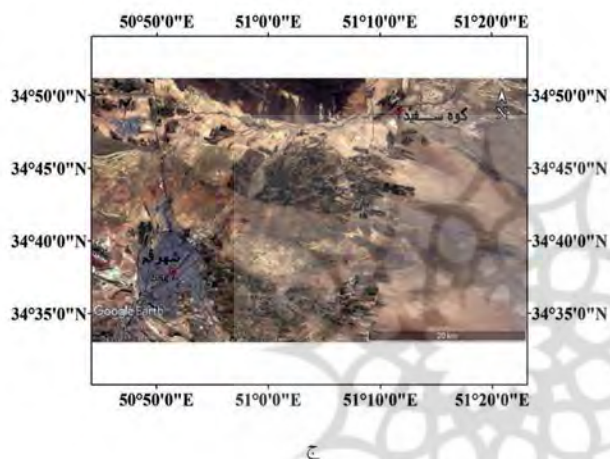
2- Minimum Distance

3- Spectral Angle Mapper

4- Support Vector Machine (SVM)



نگاره ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی.
 الف) موقعیت استان قم در کشور ایران
 ب) موقعیت شهر قم و شهرستان کوه سفید در استان قم
 ج) تصویر برگرفته از گوگل ارث از شهر قم و شهرستان کوه سفید



۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و برداشت نقاط نمونه

کوه سفید، روستایی از توابع بخش مرکزی شهرستان قم در استان قم ایران است. این روستا که از اراضی مجاور دریاچه نمک استان قم به شمار می‌آید در دهستان قمرود واقع گردیده و آب و هوایی گرم و خشک، با میانگین بارش سالانه ۱۱۵/۵ میلیمتر و حداقل و حداکثر دمای ۳۹/۷ و ۰/۴ درجه سانتیگراد را دارا است. کمبود جریانات آب سطحی مناسب و برداشت غیر اصولی و بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی، خاک این منطقه را خاکی عمیق با شوری و قلیائیت نسبتاً زیاد قرار داده است. بافت خاک سطحی از لوم-سیلت تا رس-لوم-سیلت متغیر بوده و رنگ خاک زیرین از قهوه‌ای مایل به زرد تا قهوه‌ای تیره متفاوت است. این خاک بدون پستی و بلندی و فرسایش با شیب ملایم صفر تا دو درصد است. زهکشی طبیعی اراضی مناسب و

قابلیت نفوذ آن متوسط است. خاک این منطقه غالباً زمین بایر است و امکان کاشت گندم و جو در آن وجود دارد. موقعیت منطقه کوه سفید در استان قم در نگاره ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌برداری از خاک این منطقه با برداشت ۵۸ نمونه به صورت تصادفی از بخش‌های مختلف منطقه پیرامون کوه سفید به تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۱ صورت پذیرفت. سپس این نمونه خاک‌ها با حفظ مختصات نقاط برداشتی به آزمایشگاه انتقال داده شد و میزان هدایت الکتریکی هر یک از نمونه‌ها، اندازه‌گیری شد. برای انجام این کار دستگاه استاندارد هدایت الکتریکی سنج^۱ WTW Cond 330i/340i مورد استفاده قرار گرفت و با تهیه محلول عصاره اشباع خاک با روش (Richards, 1954) به نسبت یک به یک برای هریک از نمونه‌ها اقدام به اندازه‌گیری هدایت الکتریکی^۲

1- Conductivity meter

2- Electrical Conductivity (EC)



نگاره ۲: نمونه خاک‌های برداشتی از منطقه مطالعاتی و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه WTW Cond330i

هدایت الکتریکی سنج مورد استفاده در نگاره ۲ به نمایش در آمده است. همچنین بخشی از مختصات نقاط برداشتی و مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده برای آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

نمونه‌های برداشتی شد. در این راستا ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم خاک از هریک از نمونه‌های برداشتی انتخاب شده و با عبور از الک دو میلیمتری در ظرف‌های جداگانه‌ای قرار گرفت. سپس به میزان ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر به داخل ظروف اضافه شده و مخلوط به طور کامل به هم زده شد. در گام بعد ظروف به مدت ۲۴ ساعت در کناری قرار داده شده و محلول صافی که حاوی عصاره خاک است مهیا گردید. با توجه به این که میزان هدایت الکتریکی خاک تابع دمای محلول می‌باشد قرائت میزان هدایت الکتریکی تمامی نمونه‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت در شرایط یکسان و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با دستگاه یاد شده انجام پذیرفت. کالیبراسیون دستگاه نیز قبل از قرائت اعداد برای هریک از محلول‌ها با استفاده از محلول کالیبراسیون موجود در دستگاه انجام گرفت تا اعداد به دست آمده از صحت اعتبار کافی برخوردار باشند. نمونه خاک‌های برداشتی و دستگاه

جدول ۱: مختصات نقاط برداشتی و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده برای آنها

مختصات Y UTM	مختصات X UTM	هدایت الکتریکی (EC)
۳۸۵۳۷۷۰/۹۰۸	۵۱۹۲۱۷/۵۸۳	۷/۴۱
۳۸۵۱۳۳۱/۸۹۸	۵۱۸۶۴۲/۸۶۵	۱۳/۱۳
۳۸۵۲۳۶۶/۶۸۱	۵۱۸۶۴۶/۰۴۰	۱۲/۱۵
۳۸۴۸۱۶۶/۸۷۳	۵۱۶۴۱۵/۵۳۰	۶/۰۹
۳۸۵۱۶۷۱/۹۶۴	۵۱۴۰۴۷/۵۵۸	۱/۰۳۳
۳۸۵۰۶۴۱/۲۵۱	۵۱۷۵۰۵/۵۱۴	۲/۸۷
۳۸۵۱۸۰۶/۸۱۵	۵۱۹۴۱۷/۴۱۶	۱۹/۹
۳۸۵۲۲۸۰/۹۹۴	۵۲۰۸۶/۱۵۴	۳۱/۲
۳۸۴۹۷۱۷/۸۴۹	۵۱۹۱۲۴/۵۴۳	۴/۰

۲-۲- تصاویر مورد استفاده

دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و توان تفکیک طیفی و مکانی نسبتاً مطلوب سنجنده‌های چندطیفی امکان پایش شوری خاک و طبقه‌بندی اراضی شور را در ابعاد گسترده و با دقت‌های مطلوبی فراهم آورده است. در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ اخذ شده در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ با سیزده باند طیفی متمایز و توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰، و ۶۰ متر جهت تعیین شدت شوری در منطقه مورد مطالعه و طبقه‌بندی این اراضی بهره گرفته شد. با توجه به عدم وجود باند حرارتی در تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و اهمیت بررسی کاربرد ویژگی‌های دمایی در پایش شوری، استفاده از پتانسیل تصاویر متناظر لندست-۸ نیز مد نظر قرار گرفت. تصاویر ماهواره لندست-۸ از دو سنجنده OLI با ۹ باند طیفی و سنجنده TIRS با دو باند حرارتی مجموعاً در ۱۱ باند مجزا برای تمامی نقاط دنیا با دسترسی رایگان هر ۱۶ روز یکبار قرار دارند. در تحقیق حاضر تصاویر باند حرارتی این ماهواره اخذ شده در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۳ در گذر ۱۶۴ و شماره ردیف ۳۶ از منطقه کوه سفید مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به توان تفکیک پایین‌تر تصاویر باند حرارتی لندست-۸ نسبت به تصاویر سنتینل-۲، ریسمپلینگ این تصاویر در حد توان تفکیک تصاویر سنتینل-۲ مد نظر قرار گرفت. ضمن آنکه مدل رقومی ارتفاعی با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر از داده ارتفاعی SRTM^۱ برای بررسی ویژگی‌های ارتفاعی در تشخیص شوری، استخراج شد. داده‌های ارتفاعی SRTM که با رویه راداری تهیه می‌شود، مدل رقومی ارتفاعی را برای تمامی نقاط دنیا در دسترس قرار می‌دهد و به صورت رایگان در دسترس می‌باشد. برای این داده‌های ارتفاعی نیز ریسمپلینگ در حد توان تفکیک تصاویر سنتینل-۲ انجام گرفت. تصویر ترکیب رنگی واقعی ماهواره‌ای سنتینل-۲ و توزیع نقاط نمونه برداری شده در منطقه مطالعاتی در نگاره ۳ نشان داده شده است.

۲-۳- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ جهت دستیابی به محصولی با درجه پردازشی L2A که تصویر قائمی است که تصحیح اتمسفری بر روی آن انجام شده و نمایانگر بازتابش پایین اتمسفر^۲ است، انجام شده است. با توجه به در دسترس بودن رایگان تصاویر سنتینل-۲ در سطح پردازشی L1C، از محصولات این تصاویر برای پایش و طبقه‌بندی شدت شوری بهره گرفته شد. تبدیل داده‌ی L1C به L2A نیز با استفاده از ابزار کمکی Sen2cor در نرم‌افزار SNAP صورت پذیرفت که به این منظور و توسط مولر (۲۰۱۶) تهیه شده است. همچنین پیش‌پردازش تصویر ماهواره لندست-۸ نیز برای باند حرارتی آن با اعمال تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری انجام گرفت. به این منظور با تبدیل عدد رقومی تصویر به تابندگی سطح و سپس تبدیل تابندگی سطح به دمای ظاهری، مطابق با رویه Young (۲۰۱۷)، تصحیحات اولیه لازم برای استخراج دمای سطح خاک منطقه صورت پذیرفت. برای تصحیح اتمسفری این تصاویر نیز از نرم‌افزار FLAASH توسعه داده شده توسط Cooley و همکاران در سال ۲۰۰۲، بهره گرفته شد.

۲-۴- استخراج ویژگی از تصاویر ماهواره‌ای جهت تشخیص سطوح شوری

در تحقیق حاضر جهت بررسی بازتاب طیفی سطوح خاک شور در گستره طول موج الکترومغناطیس، باندهای تصویر سنتینل-۲، به طور مجزا به عنوان ویژگی استخراجی از تصویر انتخاب شدند و کارکرد آنها در پایش شوری مورد آزمایش قرار گرفت. از میان سیزده باند این تصویر باندهای Coastal Aerosol , Water vapor , SWIR Cirrus که در بردارنده اطلاعات ویژه‌ای نیستند، حذف شده و از فرآیند پردازشی کنار گذاشته شدند. همچنین شاخص‌های شوری و گیاهی متنوعی که بر اساس نتایج مطالعات پیشین عملکرد مطلوبی در پایش

جدول ۲: شاخص‌های شوری ماهواره‌ای به کار گرفته شده در پژوهش

شماره	عنوان	فرمول	مرجع / منبع	شماره	عنوان	فرمول	مرجع / منبع
۱	شاخص شوری ۱	$SI1 = \frac{Red \times NIR}{Green}$	Allbed & Kumar, (2013)	۹	شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Allbed & Kumar, (2013)
۲	شاخص شوری ۲	$SI2 = \frac{Blue - Red}{Blue + Red}$	Allbed & Kumar, (2013)	۱۰	شاخص گیاهی بهبود یافته	$EVI = \frac{2.5(NIR - Red)}{(NIR + 6 \times Red - 7.5 \times Blue + 1)}$	Allbed & Kumar, (2013)
۳	شاخص شوری ۳	$SI3 = \sqrt{(Green^2 + Red^2 + NIR^2)}$	(Allbed & Kumar, (2013)	۱۱	شاخص گیاهی تنظیم خاک	$SAVI = (1 + L) \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)}, L = 0.5$	Allbed & Kumar, (2013)
۴	شاخص شوری ۳	$SI3 = \sqrt{(Green^2 + Red^2)}$	(Allbed & Kumar, (2013)	۱۲	شاخص تفاضلی تعمیم داده شده گیاهی	$GDDVI = \frac{NIR^n - Red^n}{NIR^n + Red^n}, n = 2,3$	Wu et al., (2014)
۵	شاخص شوری ۴	$SI4 = \sqrt{Blue \times Red}$	Allbed & Kumar, (2013)	۱۳	شاخص نسبت پوشش گیاهی	$RVI = \frac{NIR}{Red}$	Allbed & Kumar, (2013)
۶	شاخص شوری ۵	$SI5 = \frac{Blue}{Red}$	Allbed & Kumar, (2013)	۱۴	بازتاب طیفی تصویر سنتینل-۲ محدوده ۰٫۴۹ تا ۲٫۱۹۰	Blue - Green - Red - Red Edge1 - Red Edge2 - Red Edge3 - NIR - Red Edge 4 - SWIR1 - SWIR2	Sentinel Bands
۷	شاخص شوری بازتاب تاج پوشش	$CRSI = \frac{(Red \times NIR) - (Blue \times Green)}{(Red \times NIR) + (Blue \times Green)}$	Scudiero, Skaggs, & Corwin, (2015)	۱۵	دمای سطح زمین	LST	Landsat8
۸	شاخص تفاضلی نرمال شده شوری	$NDSI = \frac{Red - NIR}{NIR + Red}$	Allbed & Kumar, (2013)	۱۶	مدل رقمی ارتفاعی زمین (توان تفکیک مکانی ۳۰ متر)	(DEM (1Arc Second	SRTM

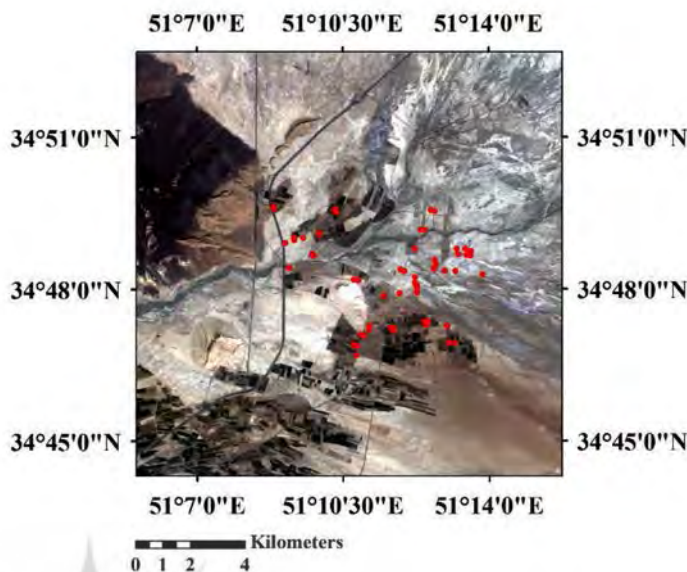
شوری داشتند، انتخاب شده و به تصویر سنتینل-۲ اعمال شدند. علاوه بر شاخص‌های مورد اشاره، کارکرد ویژگی‌های محیطی دیگر نظیر دمای سطح خاک و یا ارزیابی ویژگی‌های ارتفاعی جهت تشخیص شوری در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس دمای سطح مطابق با رویه (Chander, Markham, & Helder, 2009) و (Avdan & Jovanovska, 2016) از تصاویر باند حرارتی سنجنده‌ی لندست-۸ تخمین زده شد. چگونگی محاسبه‌ی دمای سطح خاک از باند حرارتی لندست-۸ در روابط ۱-۳ نمایش داده شده است.

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L - O_i \quad (۱)$$

$$BT = \frac{K_2}{\ln[(K_1/L_{\lambda}) + 1]} - 273.15 \quad (۲)$$

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [(BT/\rho) \ln \epsilon_{\lambda}]\}} \quad (۳)$$

که در آن L_{λ} رادیانس طیفی بالای اتمسفر، M_L ضریب کسب باند مربوطه، Q_{cal} عدد رقمی باند ۱۰ تصویر لندست، A_L ضریب بایاس باند ۱۰ و O_i ضریب تصحیح برای باند ۱۰ تصویر می‌باشد. این اطلاعات در فایل هدر تصویر موجود



نگاره ۳: تصویر ترکیب رنگی واقعی باند ۴ (قرمز) و ۳ (سبز) و ۲ (آبی) ماهواره سنتینل-۲ از منطقه کوه سفید اخذ شده در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ و توزیع نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مطالعاتی

جدول ۳: نمایش کلاس‌های شوری خاک بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی (Soil Salinity Class Ranges, 2018)

توضیحات	دامنه مقادیر هدایت الکتریکی خاک	کلاس‌های شوری
خاک طبیعی / پوشش گیاهی سالم و بدون تنش ناشی از شوری زایی	۰-۲ دسی زیمنس بر متر	خاک سالم و بدون شوری
کاهش رشد پوشش گیاهان حساس به شوری / امکان رشد گیاهان مقاوم به شوری در منطقه / عدم وجود پوسته‌های نمکین در سطح خاک به طوری که مبین وجود نمک در مناطق زمین بایر باشد.	۲-۴ دسی زیمنس بر متر	خاک با شوری کم
تأثیر مستقیم درجات شوری بر پوشش گیاهی و تنش ناشی از شوری زایی برای گیاهان حساس به شوری / پوشش غالب گیاهی در منطقه مختص گیاهان شورزی / در بعضی مناطق زمین بایر پوسته‌های نمک در سطح ممکن است مشاهده شود.	۴-۸ دسی زیمنس بر متر	خاک با شوری متوسط
اثر گسترده شوری خاک بر تمامی گیاهان منطقه به طوری که تنها گیاهان مقاوم به شوری در منطقه حضور دارند / امکان قرمز شدن برگ برخی گونه‌های گیاهی ناشی از شوری زایی / مشاهده سطوح وسیع کریستال نمک و پوسته‌های نمکین در مناطق زمین بایر	۸-۱۶ دسی زیمنس بر متر	خاک با شوری بالا
تنها دو یا سه گونه گیاه بسیار مقاوم به شوری ممکن است در منطقه حضور داشته باشد / در نواحی بسیاری نمک بر سطح خاک قابل مشاهده است / فراوانی پوسته‌های نمک با ظاهر قابل تشخیص در مناطق مختلف زمین بایر	بالاتر از ۱۶ دسی زیمنس بر متر	خاک بسیار شور (اشباع از شوری)

NIR یاند مادون قرمز نزدیک، Red Edge_{1,2,3,4} باندهای لبه قرمز و SWIR_{1,2} باندهای مادون قرمز کوتاه تصویر سنتینل-۲ هستند.

با توجه به پراکندگی پیرامون شاخص‌های تولید شده برای پایش شوری که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردیده است، تمامی این ویژگی‌ها در قالب یک مکعب داده منظم شد تا در مراحل بعدی پردازش مورد استفاده قرار گیرد.

است. همچنین دمای ظاهری به درجه سلسیوس، K_1 و K_2 ضرایب ثابت، $\rho \approx 1.438 \times 10^{-2} mK$ و $\epsilon\lambda$ ضریب گسیل است. علاوه بر این مدل رقومی ارتفاعی منطقه از داده ارتفاعی SRTM استخراج شد تا در فرآیند پردازشی مورد استفاده قرار گیرد. مجموعه ویژگی‌های استخراجی به کار رفته در تحقیق حاضر در جدول ۲ نشان داده شده است. که در آن Red باند قرمز، Green باند سبز، Blue باند آبی،

۲-۵- تبدیل مؤلفه اصلی

در پنج کلاس: بدون شوری، خاک با شوری پایین، خاک با شوری متوسط، خاک با شوری بالا، و خاک اشباع از شوری انجام گرفت. نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌های انجام گرفته در پنج کلاس شوری با تعیین ضریب کاپا^۲ و دقت کلی^۳ هر یک از الگوریتم‌ها، با یکدیگر مقایسه شده و بهترین روش برای طبقه‌بندی این اراضی تعیین شد. فلوچارت روش انجام گرفته در پژوهش حاضر در نگاره ۴ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اعمال تبدیل مؤلفه اصلی و انتخاب باندهای

حاوی بیشترین اطلاعات

با استخراج ویژگی‌های مورد اشاره از تصاویر ماهواره‌ای مطابق با جدول ۲، مجموع ۲۵ ویژگی مجزا شامل باندهای تصویر سنتینل-۲، شاخص‌های شوری و گیاهی، دمای سطح خاک برگرفته از تصویر حرارتی متناظر لندست-۸ و مدل رقومی ارتفاعی منطقه از سنجنده SRTM در قالب یک مکعب داده تهیه شد. سپس تبدیل پی‌سی‌ای بر روی مکعب داده اعمال شد و باندهایی با حداکثر اطلاعات سودمند و کمترین وابستگی به دست آمد. نتایج اعمال تبدیل پی‌سی‌ای بر روی مکعب داده در نگاره ۵ نمایش داده شده است. در نتیجه اعمال تبدیل پی‌سی‌ای باندهای اولیه دارای حداکثر اطلاعات مستخرج از مکعب داده بوده و با افزایش شماره باندها نویز تصویر افزایش یافته و از ارزش اطلاعاتی باندها کاسته شده است. با توجه به این نکته که نویز تصویر از PC6 به بعد رشد قابل ملاحظه‌ای داشته مجموع شش باند نخست (PC1-PC6) خروجی تبدیل پی‌سی‌ای از مکعب داده انتخاب شد و در فرایند طبقه‌بندی نظارت شده مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۲- تهیه نقشه سطوح شوری با استفاده از الگوریتم-

های طبقه‌بندی نظارت شده

با تعیین باندهای مناسب جهت انجام طبقه‌بندی و تهیه نقشه سطوح شوری، پیکسل‌های متناظر نقاط نمونه

با توجه به تعداد بالای ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از روشی که بتواند با کم کردن حجم مکعب داده بیشترین اطلاعات مفید را جهت تشخیص سطوح شوری در اختیار بگذارد مد نظر قرار گرفت. بر این اساس تبدیل مؤلفه اصلی بر روی مکعب داده متشکل از تمامی ویژگی‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای اعم از باندهای تصویر سنتینل-۲، شاخص‌های شوری و گیاهی، دمای سطح و مدل رقومی ارتفاعی منطقه اعمال شد و باندهایی با حداکثر اطلاعات سودمند و حداقل وابستگی جهت تشخیص و تهیه نقشه درجات شوری در منطقه مورد مطالعه، به دست آمد.

۲-۶- طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای بر مبنای شدت

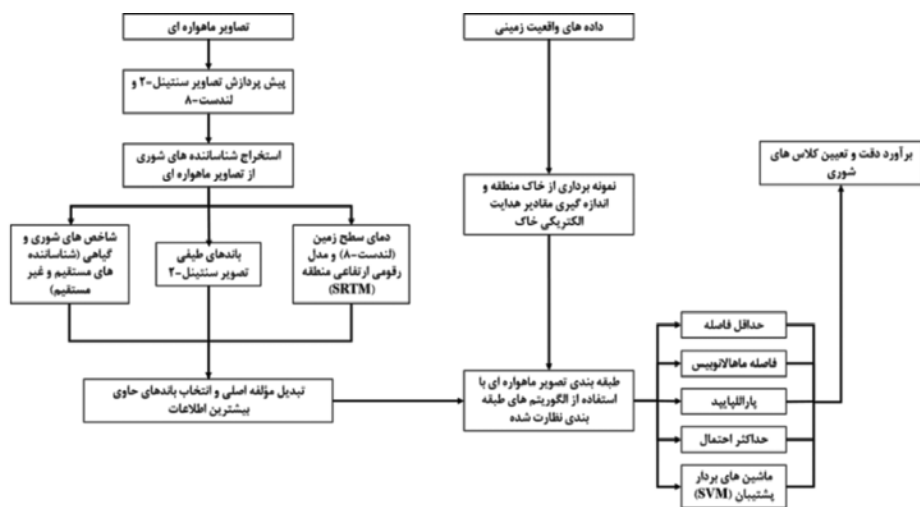
شوری در منطقه

جهت تعیین شدت شوری در منطقه مطالعاتی و تهیه نقشه سطوح شوری، از الگوریتم‌های متنوع طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. به این منظور کلاس‌های مختلف سطوح شوری از خاک‌هایی با شوری بسیار کم تا خاک‌های اشباع از شوری مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شده است. با توجه به دامنه‌ی مقادیر هدایت الکتریکی هریک از کلاس‌ها، نمونه‌های برداشتی از منطقه براساس مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده آن به کلاس‌های متناظر اختصاص یافت و به عنوان داده‌های واقعیت زمینی در فرایند طبقه‌بندی با داده‌ی آموزشی مورد استفاده قرار گرفت. براین اساس با استفاده از موقعیت مکانی نمونه‌های برداشتی از منطقه، مقادیر متناظر آن بر روی باندهای خروجی تبدیل PCA اعمال شده بر مکعب داده‌ی تصویر ماهواره‌ای تعیین شده و پیکسل‌های متناظر به عنوان داده‌ی آموزشی به کلاس مربوطه اختصاص یافت. سپس با به کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده شامل حداقل فاصله، ماهالانویس، متوازی السطوح^۱، حداکثر احتمال و ماشین‌های بردار پشتیبان، طبقه‌بندی خاک منطقه

2- Kappa coefficient

3- Overall Accuracy

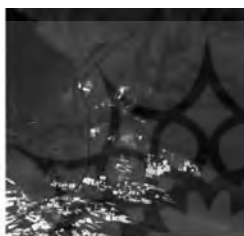
1- Parallelepiped



نگاره ۴: فلوجارت روش تحقیق



PC1



PC2



PC3



PC4



PC5



PC6



PC7



PC8



PC9

نگاره ۵: اعمال تبدیل مؤلفه اصلی به مکعب داده و نمایش نتایج حاصل شده از آن

کاپا و دقت کلی تعیین شده و الگوریتم‌های طبقه‌بندی بر حسب دقت به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. دقت‌های به دست آمده از طبقه‌بندی‌های انجام گرفته و درصد پیکسل‌های اختصاص یافته به کلاس‌های شوری برای هر یک از روش‌ها در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

برای هر یک از کلاس‌ها، به عنوان داده‌های آموزشی به الگوریتم‌های طبقه‌بندی معرفی شدند و طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای با تعیین پنج کلاس شوری انجام پذیرفت. نتایج طبقه‌بندی انجام گرفته برای الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده در نگاره ۶ نمایش داده شده است. در هر یک از روش‌ها با ساخت ماتریس ابهام^۱ مقدار ضریب

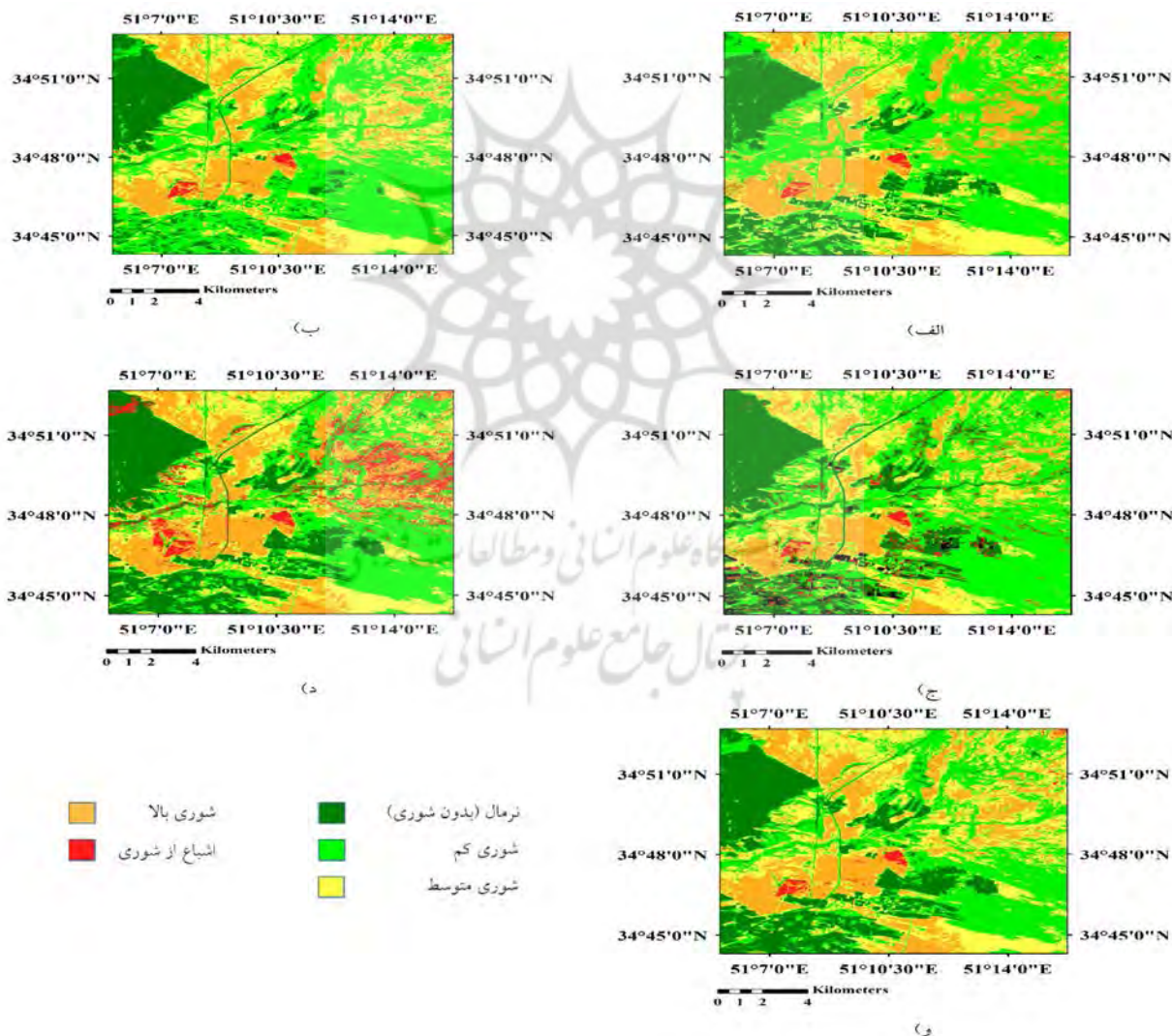
1- Confusion Matrix

ارزیابی نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی‌های انجام گرفته مشتمل بر موارد زیر است:

الف) از میان الگوریتم‌های مختلف مورد بررسی برای طبقه‌بندی تصویر سنتینل-۲ در پنج کلاس شوری متمایز، طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبان (SVM) با بالاترین دقت کلی ۹۲/۲۱ و ضریب کاپا ۰/۸۹ بهترین دقت در تهیه نقشه طبقه‌بندی شده شوری را دارا بوده است. پس از آن طبقه‌بندی کننده‌های حداکثر احتمال و کمترین فاصله با دقت‌های کلی ۹۰/۷۱ و ۸۹/۸۷ و ضرایب کاپای ۰/۸۷ و

جدول ۴: ارزیابی دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی به کار رفته برای تعیین سطوح شوری

ضریب کاپا (Kappa Coefficient)	دقت کلی Overall (Accuracy)	الگوریتم طبقه‌بندی
۰/۸۱۹۴	۸۶/۶۵۷۶	ماهالانویس
۰/۸۶۲۶	۸۹/۸۷۰۹	کمترین فاصله
۰/۷۱۴۹	۷۸/۹۳۷۰	متوازی السطوح
۰/۸۷۴۶	۹۰/۷۱۸۳	بیشترین احتمال
۰/۸۹۴۵	۹۲/۲۱۸۷	ماشین بردار پشتیبان (SVM)



نگاره ۶: نتایج طبقه‌بندی تصویر سنتینل-۲ بر اساس شدت شوری در منطقه مطالعاتی با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی (الف) ماهالانویس (ب) حداقل فاصله (ج) متوازی السطوح (د) حداکثر احتمال (و) ماشین بردار پشتیبان

جدول ۵: درصد پیکسل‌های اختصاص یافته به کلاس‌های شوری برای الگوریتم‌های طبقه‌بندی

طبقه‌بندی / کلاس (%)	نرمال (بدون شوری)	شوری کم	شوری متوسط	شوری بالا	اشباع از شوری	بدون کلاس
ماهالانویس	۸/۵۶	۲۷/۸۹	۲۷/۰۱	۳۳/۶۱	۲/۹۳	---
حداقل فاصله	۸/۲۱	۲۸/۶۱	۲۶/۶۴	۳۳/۸۹	۲/۶۵	---
حداکثر احتمال	۸/۶۰	۲۸/۴۴	۲۴/۹۰	۳۴/۰۶	۴/۰	---
متوازی السطوح	۸/۱۸	۳۷/۰۶	۲۱/۶۶	۲۹/۹۵	۲/۸۴	۰/۳۱
ماشین بردار پشتیبان	۸/۶۲	۲۷/۹۵	۲۵/۱۴	۳۵/۴۳	۲/۸۷	---

۰/۸۶ به ترتیب بهترین دقت را داشته‌اند.

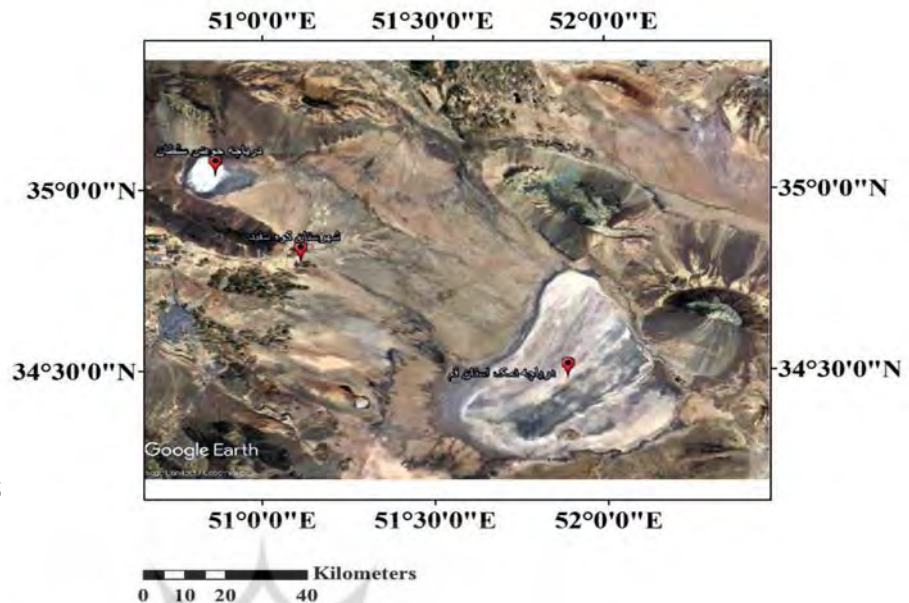
ذهن نیست.

این مسئله در نقشه‌های به دست آمده از نتایج طبقه‌بندی نیز تا حدودی خود را نشان داده است به طوری که در غالب نواحی با پوشش گیاهی نواحی جنوب غربی کوه سفید خاک‌ها بدون شوری و یا با شوری کم طبقه‌بندی شده‌اند که لزوماً صحیح نیست. یکی از راه‌حل‌های غلبه بر این مشکل نمونه‌برداری مجدد و مستقل از خاک در نواحی با پوشش گیاهی است تا با انتخاب داده‌ی آموزشی جدید برای این نواحی، تعیین سطح شوری برای این مناطق نیز فراهم گردد. علاوه بر این با توجه به اثرات منفی شوری خاک بر رشد پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی، استفاده از تصاویر سری زمانی که در طی دوره‌ای مشخص افت پوشش گیاهی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد در تشخیص شوری در این نواحی می‌تواند مؤثر باشد.

ج) مقایسه نقشه‌های به دست آمده از کلاس‌های شوری با الگوریتم‌های مختلف به کار گرفته شده، نمایانگر الگوی نسبتاً یکنواختی از پراکندگی شدت شوری در منطقه مطالعاتی است. این الگو که ناظر بر بالاتر بودن نسبی شدت شوری در نواحی شرقی کوه سفید نسبت به نواحی غربی آن و نزدیک به شهر قم است، می‌تواند ناشی از مجاورت بیشتر این مناطق نسبت به دریاچه نمک استان قم باشد. اگرچه میزان هدایت الکتریکی خاک تابع عوامل مختلفی از جمله بافت خاک و سازندهای زمین‌شناسی در منطقه مطالعاتی است، با این حال یکی از عوامل مؤثر در بالا رفتن مقادیر هدایت الکتریکی، انباشت نمک‌های محلول در خاک منطقه است. با توجه به این نکته که سطح آب دریاچه نمک استان

ب) طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال نسبت به دیگر الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده درصد پیکسل‌های بالاتری را به کلاس‌های با خاک‌های شور اختصاص داده است به طوری که کلاس شوری بالا ۳۴/۰۶٪ و کلاس اشباع از شوری ۴/۰٪ پیکسل‌های تصویر را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین طبقه‌بندی کننده‌ی متوازی‌السطوح، علی‌رغم دقت قابل قبول به دست آمده در طبقه‌بندی، نسبت به دیگر روش‌ها دقت کلی و ضریب کاپای کمتری را نشان داده است که بیانگر ضعف این روش نسبت به دیگر روش‌های طبقه‌بندی است. علاوه بر این در برخی از مناطق علی‌الخصوص نواحی جنوب غربی منطقه کوه سفید این الگوریتم نتوانسته پیکسل‌ها را به درستی شناسایی کند و ۰/۳۱٪ از پیکسل‌ها بدون کلاس شناسایی شده باقی مانده‌اند. این مسئله می‌تواند ناشی از وجود پوشش گیاهی در خاک این مناطق باشد. با توجه به این که برداشت نقاط نمونه در تحقیق حاضر غالباً در مناطق زمین بایر انجام گرفته است، تعیین سطوح مختلف شوری توسط الگوریتم‌های طبقه‌بندی در این نواحی از استحکام بالاتری برخوردار است.

به عبارتی دیگر از آنجا که رفتار طیفی در طول موج الکترومغناطیس برای نواحی با پوشش گیاهی متمایز از دیگر مناطق بوده و در این نواحی مقادیر حقیقی هدایت الکتریکی خاک با نمونه‌برداری مشخص نگردیده است، الگوریتم‌های طبقه‌بندی به سختی امکان تعیین درجات شوری را با استفاده از طیف تصویر یافته‌اند. بنابراین امکان حصول نتایج غیر واقعی در نواحی پوشش گیاهی دور از



نگاره ۷: موقعیت منطقه کوه سفید نسبت به دریاچه نمک استان قم

به دیگر سنجنده‌های چند طیفی و همچنین امکان استفاده از باندهای حرارتی تصاویر لندست-۸ گامی مؤثر و رو به جلو در پایش شوری خاک به شیوه سنجنش از دور می‌باشد. در پژوهش حاضر با گردآوری مجموعه‌ای از شاخص‌های ماهواره‌ای که تشخیص شوری خاک را از تصاویر امکان‌پذیر می‌کند، تعیین هرچه دقیق‌تر سطوح شوری در منطقه مطالعاتی انجام پذیرفت. علاوه بر آن به کارگیری پارامترهای محیطی دیگر که تغییرات آن منجر به تغییرات در هدایت الکتریکی خاک می‌گردد، نقش به سزایی در تعیین شدت شوری و تهیه نقشه سطوح شوری در منطقه دارد. تأثیر عواملی چون رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، سرعت باد و سطح آب‌های زیرزمینی می‌تواند در مطالعات آینده در این حوزه مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به گستره متغیرهایی که برای تشخیص سطوح شوری در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت، به کارگیری تکنیکی که بتواند به بهترین شکل ممکن حداکثر اطلاعات باندها را در اختیار بگذارد دارای اهمیت فراوان بوده است. استفاده از تبدیل مؤلفه اصلی در مطالعه انجام گرفته این امکان را فراهم نمود تا با استخراج بیشترین اطلاعات از مکعب داده دقت‌های بالایی در تهیه نقشه‌ی سطوح شوری به دست آید.

قم به مرور ایام و در طی چندین دوره خشکسالی مداوم تا حد فعلی پایین آمده است و غلظت نمک در نواحی مجاور دریاچه به حدی بالاست که پوسته‌های نمکین به وضوح در این مناطق مشاهده می‌گردد، احتمال بسیار زیادی وجود دارد که املاح محلول دریاچه به خاک نواحی دیگر سرایت کرده باشد و شوری خاک کوه سفید ناشی از این عامل باشد. با این حال بررسی علل قطعی شوری خاک در این ناحیه نیازمند مطالعات عمیق‌تر زمین شناسی و ژئومورفولوژی و دسترسی به نقشه‌های اقلیمی و تاریخی-ای منطقه است که در حیطه مربوطه پژوهش حاضر نیست. موقعیت دریاچه نمک استان قم نسبت به منطقه کوه سفید در نگاره ۷ نمایش داده شده است. به طور کلی با توجه به کشیده شدن سطوح نمک از دریاچه به زمین‌های اطراف، ادامه این روند در سالیان آینده می‌تواند به یک معضل جدی در منطقه تبدیل شده و سلامت شهروندان ساکن این مناطق را نیز به خطراندازد.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از پتانسیل تصاویر ماهواره سنتینل-۲ با توجه به توان تفکیک طیفی و مکانی بالای این سنجنده نسبت

Geoderma, 230-231, 1-8.

5- Asfaw, E., Suryabagavan, K. V., & Argaw, M. (2016). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: the case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.

6- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016, 1-8.

7- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903.

8- Cooley, T., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. L., Ratkowski, A. J., Chetwynd, J. H., Berk, A. (2002). FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International*, Vol. 3, pp. 1414-1418.

9- Elhaddad, A., & Garcia, L. (2006). Detecting soil salinity levels in agricultural lands using satellite imagery. In *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference*.

10- Elnaggar, A. A., & Noller, J. S. (2009). Application of Remote-sensing Data and Decision-Tree Analysis to Mapping Salt-Affected Soils over Large Areas. *Remote Sensing*, 2(1), 151-165.

11- Garcia, L., Eldeiry, A., & Elhaddad, A. (2005). Estimating soil salinity using remote sensing data. In *Proceedings of the 2005 Central Plains Irrigation Conference (Vol. 110)*.

12- George, J., & Kumar, S. (2015). Hyperspectral Remote Sensing in Characterizing Soil Salinity Severity using SVM Technique -A Case Study of Alluvial Plains. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2015, 1344-1360461.

13- Gorji, T., Sertel, E., & Tanik, A. (2017). Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74, 384-391.

14- Hamzeh, S., Naseri, A. A., Panah, S. A., Mojaradi, B., Bartholomeus, H. M., & Herold, M. (2012, October).

در مطالعات آینده می‌توان کاربرد تکنیک‌های سنجش از دوری دیگر نظیر روش‌های انتخاب ویژگی^۱ جهت انتخاب باندهایی با حداکثر اطلاعات و رسیدن به دقت‌های بالا در تهیه نقشه شوری را مورد آزمون قرار داد. نقشه‌های به دست آمده سطوح شوری در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به عنوان نقطه شروعی برای سیاست‌گذاری در جهت بهبود کیفیت خاک در نواحی آسیب دیده و حفظ منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به رزولوشن زمانی بسیار مطلوب سنجنده سنتینل-۲ که امکان دسترسی به تصویر با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا را برای تمامی نقاط کشور در هر ۵ الی ۱۰ روز به صورت رایگان فراهم می‌کند، تهیه نقشه سطوح شوری در مقیاس‌های بالا و در ابعاد گسترده بسیار سهل بوده و می‌توان از این پتانسیل گامی مؤثر در جهت حفظ اراضی طبیعی و منابع خاکی کشور برداشت. اجرای این طرح در سطح کلان توسط سازمان‌ها و نهادهای مربوطه علاوه بر کاهش هزینه‌های مربوط به پیمایش زمینی دارای توجیه اقتصادی نیز خواهد بود.

منابع و مآخذ

۱- فلاحی، ش.، م. ح. بنائی، ی. اسکندرزاده. ۱۳۶۲. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی منطقه قم مسیله. سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت کشاورزی و عمران روستایی. نشریه فنی شماره ۶۲۸.

2- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433-459.

3- Allbed, A., & Kumar, L. (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in remote sensing*, 2(04), 373.

4- Allbed, A., Kumar, L., & Aldakheel, Y. Y. (2014). Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region.

1- Feature Selection

- Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 2(11), 559-572.
- 25- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*, 78(2), 154.
- 26- Shirazi, M., Zehtabian, G. R., Matinfar, H. R., & Alavipanah, S. K. (2012). Evaluation of LISS-III Sensor Data of IRS-P6 Satellite for Detection Saline Soils (Case Study: Najmabad Region). *Desert*, 17(3), 277-289.
- 27- Soil Salinity Class Ranges (2018). Retrieved February 24, 2018, from http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/water_spotting_soil_salting_class_ranges.
- 28- Taghadosi, M. M., & Hasanlou, M. (2017). Trend Analysis of Soil Salinity in different land cover types using LANDSAT Time Series data (case Study Bakhtegan Salt Lake). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- 29- Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4), 920-932.
- Mapping salinity stress in sugarcane fields with hyperspectral satellite imagery. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIV* (Vol. 8531, p. 85312B). International Society for Optics and Photonics.
- 15- Iqbal, S., & Mastorakis, N. (2015). Soil salinity detection using RS data. In *Advances in environmental science and energy planning*.
- 16- Katawatin, R., & Kotrapat, W. (2005, April). Use of LANDSAT-7 ETM+ with ancillary data for soil salinity mapping in Northeast Thailand. In *Third International Conference on Experimental Mechanics and Third Conference of the Asian Committee on Experimental Mechanics* (Vol. 5852, pp. 708-717). International Society for Optics and Photonics.
- 17- Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., & Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1), 96-109.
- 18- Koochafkan, P., & Stewart, B. A. (2008). *Water and cereals in drylands*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 19- Lobell, D. B., Lesch, S. M., Corwin, D. L., Ulmer, M. G., Anderson, K. A., Potts, D. J., Baltus, M. J. (2010). Regional-scale assessment of soil salinity in the Red River Valley using multi-year MODIS EVI and NDVI. *Journal of Environmental Quality*, 39(1), 35-41.
- 20- Meng, J., & Wu, B.-F. (2008). Study on the crop condition monitoring methods with remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37.
- 21- Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20.
- 22- Morshed, M. M., Islam, M. T., & Jamil, R. (2016). Soil salinity detection from satellite image analysis: an integrated approach of salinity indices and field data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 119.
- 23- Mueller-Wilm, U., Devignot, O., & Pessiot, L. (2016). MPC Sen2Cor Configuration and User Manual. S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.3 Issue: 01
- 24- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. The London,