دان مجسه بهرنقه بردار

نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲ Vol.11, No.3, Autumn 2023 ۸۹ – ۸۶ مقاله پژوهشی

شناسایی مناطق دارای فرسایش شدید خاک با استفاده از همدوسی تداخل سنجی راداری ماهواره سنتینل–۱ (منطقه مورد مطالعه: استان خوزستان)

سمیه ابراهیمزاده ^۱، مسعود سلیمانی ^۱، سارا عطارچی ^۳*، مهدی سعادتنوین ^۱، سید حسن شعبانیان ^۱

۱- دانشجوی دکتری سنجش|زدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران ۲- دانشیار گروه سنجش|زدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

چکیدہ

فرسایش خاک پدیده ای است که پیامدهای مخرب و جبران ناپذیری بر زندگی بشر دارد. از این رو انجام اقدامات مدیریتی در جهت کنترل یا کاهش این پدیده در مناطق درگیر فرسایش شدید، ضرورت دارد. تحقق این امر مستلزم شناسایی مناطقی است که درگیر فرسایش خاک شدید است؛ زیرا امکان اجرای طرحهای حفاظت خاک در همه مناطق وجود ندارد و مناطق دارای فرسایش شدید در اولویت انجام اقدامات حفاظت خاک قرار دارند. آسکارسازی مناطق دارای فرسایش مبتنی بر روشهای میدانی بسیار دشوار و هزینهبر بوده و با محدودیتهای فراوانی روبروست. بنابراین امروزه بهرهگیری از قابلیتهای دادههای سنجش(دور اهمیت یافته است. بطورکلی این پژوهش، مناطق با فرسایش شدید را با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر همدوسی حاصل از تکنیک تداخلسنجی راداری (*INSAR*) مبتنی بر سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از عوامل از دست رفت یا کاهش همدوسی در *INSAR می*واند فرسایش خاک زیاد مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از عوامل از دست رفت یا کاهش همدوسی در *INSAR می*واند فرسایش خاک شدید ناشی از جداشدگی و جابه-بایی ذرات خاک از بستر باشد. زیرا جدا شدن ذرات خاک از بستر و جا به جایی آن باعث تغییر ویژگیهای سطح و در نتیجه تغییر در برهمکنش سیگنال رادار با سطح گردیده و در نتیجه مقدار همدوسی در *INSAR می*واند فرسایش کاک شدید ناشی از جداشدگی و جابه-باین فرایق شناسایی و جداسازی سایر عوامل تاز در کاهش همدوسی در *INSAR می*واند فرسایش کاهش می یاد. بر این اساس در مطالعه حاضر برهمکنش سیگنال رادار با سطح گردیده و در نتیجه مقدار همدوسی در *INSAR می*واند فرسایش کاهش می یابد. بر این اساس در مطالعه حاضر بر طریق شناسایی و جداسازی سایر عوامل تاثیرگذار در کاهش همدوسی ماند آب، پوشش گیاهی و توپوگرافی، مناطق با فرسایش خاک شدید با استفاده از سری زمانی یکساله (۱۳۹۸–۱۳۹۷) تصاویر سنتینل-۱ استخراج شد. اعتبارسنجی نتایج بر این اساس در مطالعه حاضر مار طریق شناسایی و از آن است که بیش از ۸۶٪ از مناطق با فرسایش شدید استخراج شد. منطبق بر واقعیت است. همچنین سازگری استان خوزستان حاکی از آن است که بیش از ۸۶٪ از مناطق با فرسایش شدید استخراج شد. منطبق بر اعظم با فرسایش خاک شدید

کليد واژهها : فرسايش خاک، سنجشازدور، تداخلسنجي رادار دريچه مصنوعي، همدوسي، سنتينل-۱.

[°] نویسنده مکاتبه کننده: ایران، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از دور و GIS. تلفن: ۲۱۶۱۱۱۳۲۶۸

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]

سال یازدهم شماره سوم پاییز ۱۴۰۲

۱– مقدمه

خاک به عنوان عنصری مهم در زندگی جوامع بشری، منبع تولیدات کشاورزی و تامین منابع غذایی به شمار میرود. کاهش میزان قابلیت حاصلخیزی و کیفیت خاک و در پی آن کاهش منابع غذایی بشر، افزایش خطر جاری شدن سیلاب و تخریب سازههای دستساز بشر، بیایانزایی و تخریب سرزمین، کاهش ظرفیت سدها و مخازن آب و تخریب منظره زمین از آثار زیان-بار فرسایش خاک به حساب میآیند [او۲].

با توجه به این که تشکیل ۱ سانتیمتر خاک حدود ۲۰۰ سال طول میکشد ولی تخریب و از دست رفتن ۱ آن توسط فرسایش بسیار سریع است؛ لذا انجام اقدامات پیشگیرانه به منظور جلوگیری از فرسایش و حفظ خاک، ضرورت دارد. به همین منظور روشهای متعددی برای مدلسازی روند و نرخ تخریب و فرسایش خاک توسعه داده شده است. در این میان مدلهای فیزیکی و تجربی به عنوان دو روش عمده و متداول در زمینه مدلسازی فرسایش خاک، جهت برآورد میزان فرسایش به شمار میروند. مدل های تجربی به علت سادهتر بودن و نیاز به دادههای کمتر و در دسترستر، در قیاس با مدلهای فیزیکی کاربرد بیشتری دارند [۲]. مهمترین و معروفترین مدل تجربی تخمین فرسایش خاک معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)^۲است که بر یایه آن تحقیقات زیادی انجام شده است [۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸]. بعدها در کنار مدلهای دیگر فرسایش خاک ماننـد مـدل روش پتانسـيل فرسـايش (EPM) ^۳[۹] ، مدل یسیاک (PSIAC) ^۱[۱۰] ، ابزار ارزیابی آب و خـاک (SWAT) ◊ (EPIC) ، مـدل ايب ک (SWAT) ٥ الم

مدل پروژه پیش بینی فرسایش حوزه آبخیـز (WEPP) ۲ [۱۳] ، بـر مبنـای مـدل USLE ، سلسـله مـدلهـای دیگری مانند نسخههای مختلـف معادلـه جهـانی هـدر رفت خاک اصـلاح شـده (RUSLE) ^[۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷] و یا معادله جهانی هدر رفت خاک تعدیل یافتـه (MUSLE) و یا معادله جهانی هدر رفت خاک تعدیل یافتـه البته روشـهای دیگـری نیـز بـه کمـک سـنجش از دور توسعه داده شده است که مستقل از مدلهای یاد شـده به بررسی و تخمین فرسایش خاک میپردازد [۲۲، ۲۳،

به دلایلی از جمله دسترسپذیر بودن تصاویر ماهواره-ای، امکان مطالعه در مناطق وسیع، مدلسازی قابل تکرار با دادههای سری زمانی، به کارگیری الگوریتمهای نوین و بهبود صحت تخمین و مدلسازی فرسایش خاک نسبت به روشهای میدانی ، در سالهای اخیر تحقیقات گستردهای در مطالعه فرسایش خاک بوسیله سنجش ازدور و GIS انجام شده است [۷، ۱۷، ۱۹، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳]. با ایـن حـال، بطـورکلی و بـر اساس مرور تحقيقات پيشين پيرامون مطالعه فرسايش خاک با استفادہ از تکنیک InSAR میتوان گفت به دلیل کمبود تصاویر مناسب و رایگان رادار، تعداد الگوریتمهای محدود در مطالعه فرسایش خاک با تصاویر رادار، دشواری و مشکلات پردازش دادههای راداری و همچنین کمبود متخصصین و نرم افزارهای پ_ردازش دادهه_ای س_نجش از دور راداری، تع_داد مطالعات در این زمینه انگشتشمار بوده و با وجود کارآمدی InSAR (تـداخلسـنجی روی تصـاویر SAR) در مطالعه فرسایش خاک، محققین بسیار کمی به این

¹ Soil loss

^YUniversal Soil Loss Equation

[&]quot;Erosion Potential Method

^{*}Pacific Southwest Interagency Committee Method

^bSoil and Water Assessment Tool

^{\$}Erosion-Productivity Impact Calculator ^{\$}Watershed Erosion Prediction Project ^{\$}Revised Universal Soil Loss Equation ^{\$}Modified Universal Soil Loss Equation

^{``}Synthetic Aperture Radar

موضوع پرداختهاند. از جمله این روش ها می توان به طبقهبندى تصاوير همدوسي رادارى براى استخراج مناطق با خاک فرسایش یافته [۳۴]، طبقهبندی تصویر دامنه رادار در کنار تصاویر سنجنده ایتیک برای پهنه-بندی شدت فرسایش خاک [۳۵]، مدلسازی و تفکیک مولف مهای همدوسی راداری برای تشخیص مناطق فرسایش [۳۶] ، روشهای تصمیم گیری چند معیاره برای پهنهبندی خطر فرسایش خاک [۳۷] و تحلیل دادههای جانبی در کنار ترکیب رنگی کاذب از نسبت تصاویر همدوسی راداری برای استخراج مناطق فرسایش یافته [۳۸] اشاره کرد. لیو و همکارانش (۱۹۹۹) با استفاده از ترکیب تصاویر همدوسی تـداخل-سنجی راداری حاصل از سه تصویر ERS و ایجاد ترکیب رنگی کاذب! مناطقی که دچار ازدسترفتگی زمانی همدوسی آشده بودند را شناسایی کردند، سپس با استفاده از شاخص NDVI به صورت بصری تفسیر کردند که کدام یک از این مناطق در اثر پوشش گیاهی و کدام مناطق در اثر فرسایش خاک دچار ازدست-رفتگی همدوسی شدهاند [۳۸]. آنها این تحلیل را در بازه زمانی ۲۱۰ روزه و با استفاده از تنها سه تصویر همدوسی انجام دادند و از آنجا که به دلیل ماهیت این پدیده، مطالعات مربوط به فرسایش خاک باید در بازه حداقل یکساله انجام شود [۱]، بازه مطالعاتی می-بایست به یک سال یا بیشتر بسط داده میشد. همچنین به علت وجود سایر عواملی که ممکن است بر ازدسترفتگی همدوسی اثر بگذارد بهتر میبود علاوه بر افزایش بازہ مطالعاتی، تعداد تصاویر ہمدوسے بہ تعدادی افزایش یابد که تحلیل آنها این اطمینان را به محقق بدهد که آنچه تحت مناطق فرسایش شدید شناسایی شده است، متاثر از عوامل دیگر نمی باشد. زیرا بررسى تغييرات زمانى تعداد بيشتر تصاوير همدوسي این امکان را برای محقق فراهم میکند که به طور

False Color Composite (FCC) Temporal decorrelation

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خاک با استفاده... سمیه ابراهیمزاده و همکاران

دقیق تر و با اطمینان بیشتر نوع پدیدهها را تعیین و تفسير كند. علاوه بر اين، آنها مىتوانستند با تحليل مقادیر میانگین و انحراف معیار کمیت همدوسی تحلیل دقیقتر برای پدیدههای مختلف منطقه ارائه دهند زیرا میانگین و انحراف معیار مقادیر همدوسی در یک موقعیت، اطلاعات مفیدی از نوع عارضه فراهم میکند. ليو و همكارانش به مقايسه بصرى NDVI و مناطق دچار ازدسترفتگی همدوسی آن هم تنها در برخی مناطق اکتفا کردند؛ درحالیکه از آنجا که گیاه نیز مانند فرسایش خاک باعث ازدسـترفتگـی زمـانی همدوسـی می شود تفکیک کامل این دو پدیده در این مطالعه امری ضروری بود. همچنین آنها در مورد مناطق پوشیده از آب تحلیلی نکردند درحالیکه آب یکی از علل عمدہ باعث ازدسترفتگی ہمدوسی تداخلسنجی راداری است و جای بحث در مورد پوشش آب در تحقيق آنها خالي است. از آنجا كه منطقه مطالعاتي آنها کوچک و بدون مناطق ساخته شده (Built up) است، یکی از خلاهای تحقیق آنها شناسایی و تفکیک مناطق ساخته شده از منطقه مطالعاتی است، زیرا مناطق مطالعاتی بزرگ معمولا دارای مناطق ساختهشده است و از آنجا که مناطق ساخته شده شامل فرسایش خاک نمی شود باید شناسایی و تفکیک شوند. از آنجا که شناسایی مناطق ساخته شده در این دست مطالعات خود مساله مهمی است، بحث در مورد آن بسیار مفید به نظر میرسد. عدم بررسی صحت نتایج یکی از شاخصترين ايراداتي است كه به تحقيق ليو و همکارانش وارد است؛ زیرا اعتبارسنجی یکی از مهم-ترین قسمتهای یک تحقیق است و بدون اعتبارسنجی نتایج، معتبر و مفید بودن روش تحقیق مورد شک است. با وجود کاستی های بیان شده، مزایای تحقیق مذکور از جمله عدم نیاز به درگیر شدن با پیچیدگی-های مدلهای فرسایش خاک، دادههای بسیار کم و در دسترس، عدم نیاز به دادههای زمینی فرسایش خاک و ارائه روشی مستقیم و ساده برای استخراج مناطق درگیر فرسایش خاک شدید قابل توجه است. بنابراین

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم شماره سوم پاییز ۱۴۰۲

ارائه رویکردی بر پایه تحقیق نام برده و با رفع کاستی-های آن منجر به ارائه رویکردی میشود که در شناسایی سریع و کمهزینه مناطق با فرسایش شدید و انجام اقدامات حفاظت خاک در این مناطق موثر و مفید خواهد بود.

بر اساس آنچه گفته شد ، هدف از تحقیق حاضر ارائه رویکردی سنجش ازدوری به منظور شناسایی و استخراج مناطق با فرسایش خاک شدید در منطقه ای از استان خوزستان با استفاده از تحلیل تصاویر همدوسی حاصل از پردازشهای InSAR مبتنی بر سری زمانی دادههای ماهواره سنتینل-۱ است. از آنجاکه مدلسازی و تخمین شدت فرسایش خاک معمولا حداقل در مقیاس زمانی یکساله انجام می شود (مانند مدل تجربی و شناخته شده ZUSLE که شدت فرسایش خاک را در واحد تن بر هکتار در سال تخمین میزند)، بهتر است پردازش دادههای راداری در مطالعات فرسایش خاک نیز در طول ۱ سال یا بیشتر صورت گیرد.

بر اساس گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان، وضعیت فرسایش خاک در این استان بحرانی و دارای رتبه اول در کشور است. در استان خوزستان حدود ۲٬۳ میلیون هکتار زمین دارای خاک حاصلخیز و مستعد کشاورزی وجود دارد. این درحالیست که فقط ۲۰ درصد آنها برای برای فعالیت-های کشاورزی مناسب هستند و باقیمانده دارای فرسایش خاک شدید هستند. در مناطق مختلف استان، سالانه بین ۴ تا ۵۰ تن در هکتار فرسایش خاک ثبت شده است. همچنین برخی از زمینهای کشاورزی حاصلخیز، امروزه به دلیل کاهش و عدم تخصیص منابع آب و وجود عواملی همچون طوفانهای گردوغبار رها شدهاند و یا ناشی از فرسایش شدید خاک به سرعت در حال تبدیل شدن به شورهزار و سپس کانونهای جدید گردوغبار هستند. در نواحی کوهستانی شمال استان به دليل وجود توپوگرافي و رخداد بارندگي و رواناب، فرسایش آبی غالب است. در نواحی جنوبی به دلیل وسعت زیاد زمینهای پست و هموار و همچنین خاک-

های فرسایش پذیر، فرسایش غالبا به صورت بادی رخ میدهد. نقشه نرخ فرسایش خاک سالیانه استان خوزستان تهیه شده توسط سازمان جنگلها و مراتع کشور در شکل (۱) ارائه شده است. آنچه از وضعیت فرسایش خاک استان گفته شد و وسعت کلاس نرخ فرسایش خاک شدید در آن، گواهی بر حساسیت موضوع مورد بحث است. نقشه مذكور در تحقيق حاضر به عنوان نقشه معيار جهت اعتبارسنجي نتايج رويكرد پیشنهادی به کار رفته است. این نقشه در سازمان جنگلها طی پروژه ای سازمانی با پیاده سازی مدل تجربی فرسایش خاک ⁽EPM و سپس بازدید میدانی و نیز اعتبارسنجی با ایستگاههای هیدرومتری موجود در چندین استان کشور (از جمله خوزستان) تولید شده است و به عنوان نقشه فرسایش خاک معیار در سازمان جنگلها و مراتع کشور مورد قبول و دارای سندیت است.

از جمله نوآوریهای این مطالعه، استخراج مناطق با نرخ فرسایش شدید بدون نیاز به مدلسازیهای پیچیده فیزیکی و تجربی رایج، استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ در تخمین شدت فرسایش خاک و ارائه الگوریتمی به نسبت سادهتر و با دادههای بسیار کمتر و دردسترستر از روشهای رایج سنجش از دور در بررسی فرسایش خاک میباشد.

۲- مواد و روشها

در این بخش ابتدا به معرفی منطقه مطالعاتی پرداخته خواهد شد؛ سپس روند کلی پژوهش پیش رو تشریح شده، آنگاه پس از معرفی دادههای بهکار رفته در تحقیق، به جزئیات روش تحقیق پرداخته خواهد شد.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

با در نظر گرفتن آمار و اطلاعات موجود در خصوص رخداد فرسایش شدید خاک در خوزستان، قسمتی از دشتهای میانی استان واقع در محدوده جغرافیایی بین

^{&#}x27;Erosion Potential Model

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده... سمیه ابراهیمزاده و همکاران

> ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۰ درجه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی با وسعت تقریبی ۱۶۸۰ کیلومتر مربع به عنوان منطقه موردمطالعه جهت پیادهسازی رویکرد پیشنهادی انتخاب گردید (شکل (۲)). با توجه به موقعیت جلگهای منطقه، وجود رود کارون و همچنین وضعیت

بارندگی (بارانهای رگباری، درشتدانه و سریع) که ظرف مدت کمی سبب آبگرفتگی و سیلاب میشوند؛ نرخ فرسایش خاک در این منطقه بالا است [۳۳ و ۳۹]. نقشه معیار شدت فرسایش خاک در استان خوزستان، تهیه شده از سازمان جنگلها و مراتع کشور، در شکل (۱) به نمایش گذاشته شده است.



شکل۱: نقشه شدت فرسایش خاک استان خوزستان – تهیه شده توسط سازمان جنگلها و مراتع کشور

بر اساس شکل (۳)، منطقه مورد مطالعه دارای شش سازند زمین شناسی مختلف است که در ادامه تشریح شدهاند. ۱- رسوبات آبرفتی جوان (زرد): رخسارههای این دوره شامل پادگانههای آبرفتی بلند و مخروطه افکنههای قدیمی که از قلوه سنگ، ماسه و ریگ تشکیل یافتهاند. این رسوبات مربوط به دوره کواترنری هستند و با توجه به ماهیت آبرفتی این سازندها در مقابل فرسایش بسیار حساس هستند [۴۰].

۲- آغاجاری (نارنجی): از سازندهای زمین شناسی زاگرس است که از ماسه سنگهای آهکدار قهوهای-خاکستری با رگههای گچ، مارن قرمز و سیلتستون میباشد. سن این سازند به میوسن فوقانی تا پلیوسن میرسد. وجود مارن-

های ژیپس دار، این سازند را به فرسایش حساس کرده است ولی به دلیل قرارگیری متناوب مارن و ماسه سنگ و سیلتستون در صورتی که طبقه فوقانی از ماسه سنگ باشد فرسایش تاثیر کمتری روی آنها دارد. تاثیر فرسایش بر ماسه سنگهای آهکی خیلی کم، بر روی سیلتستون متوسط و بر روی مارنهای قرمز ژیپس دار خیلی زیاد است [۴۰]. با توجه به اطلاعاتی که از منطقه در دسترس است، عمده ترکیب این سازند در منطقه آهک بوده و دارای پوشش ماسه سنگ میباشد. بنابراین این سازند در منطقه دارای مقاومت بسیار زیاد در برابر فرسایش خاک است.

سال یازدهم شماره سوم 🗕 پاییز ۱۴۰۲



شکل۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه (مستطیل خطچین قرمزرنگ به عنوان بخشی از محدوده تحت پوشش تصویر ماهواره سنتینل – ۱ به شماره برش (۱۱) در استان خوزستان واقع در جنوبغربی ایران بر روی تصویر ماهوارهای با قدرت تفکیک مکانی بالا در ترکیب رنگی طبیعی.



شكل۳: نقشه زمينشناسي منطقه مورد مطالعه

۳- بختیاری (سبز): این سازند ویژگی روسوبات آبرفتی و کوهپایه ای حاصل از فرسایش ارتفاعات را دارد که بیشتر شامل کنگلومرا و ماسه سنگ آهکی است. این سازند جوانترین سازند نهشته شده زاگرس است. سازند کنگلومرای این سازند دارای لیتولوژی سخت بوده و در برابر فرسایش مقاوم است و مهمترین فرسایش بر روی این سازند فرسایش آبراههای است [۴۰].

۴- گچساران (خاکستری): سن این سازند به میوسن زیرین تا میانی باز می گردد و دارای خواص تکنونیکی شکل پذیر است و به انحلال حساس می باشد، تحرک زیاد داشته و در مقابل فشارها واکنش نشان میدهد. تناوب این سازند از سنگ گچ، مارن آبی تا خاکستری و میان لایههای سنگ آهک مارنی کرم رنگ تشکیل شده است. آهکهای مارنی این سازند حساسیت کم به فرسایش دارند اما در مقابل مارن دارای حساسیت زیاد و شیلها دارای حساسیت متوسط به فرسایش هستند به علاوه ایندریت و نمک در این سازند دارای فرسایش خیلی زیادی هستند [۴۰].

۵- میشان (آبی) : این سازند رخساره دریایی دارد و بیشتر از مارنهای فرسایش پذیر خاکستری تشکیل شده است. سن آن به میوسن میانی آغازی تا میانی باز می گردد. در این سازند دو بخش قابل تشخیص است که لیتولوژی آنها با هم متفاوت است: بخش آهکی و بخش مارنی. بخش آهکی نسبت به فرسایش حساسیت کمی دارد و بخش مارنی دارای حساسیت متوسط نسبت به فرسایش است [۴۰].

۶- اسماری (بنفش): این سازند شامل سنگ آهکهای مقاوم کرم تا قهوه ای رنگ با ریخت شناسی صخره ساز و درزهای فراوان به همراه میان لایهای شیلی می-باشد. سن آن به الیگو میوسن میرسد. سطح حساسیت این سازند نسبت به فرسایش متوسط است [۴۰].

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده...

سمیه ابراهیمزاده و همکاران

۲-۲- روند کلی پژوهش

روند کلی پردازشهای انجام شده در این تحقیق به منظور تهیه نقشه مناطق دارای فرسایش شدید در استان خوزستان بر اساس رویکرد پیشنهادی مبتنی بر سری زمانی دادههای همدوسی InSAR در شکل (۴) نشان داده شده است. بدین منظور ابتدا از بین تصاویر SAR، زوجهای مناسب جهت انجام پردازشهای SAR، انتخاب شدند. در ادامه با استفاده از اطلاعات مداری ماهواره، زوج تصاویر انتخابی نسبت به یک مبنای مشترک ثبت هندسی و زمین مرجع شدند. آنگاه جهت توليد تصاوير همدوسي چندزمانه، عمليات تداخل-سنجی بر روی زوج تصاویر منتخب انجام شد. آب و پوشش گیاهی نیز مانند فرسایش خاک باعث افت مقادیر همدوسی میشوند. بنابراین، برای شناسایی مناطق فرسایش شدید باید این دو پدیده از سایر مناطق تفکیک شوند. بر همین اساس، با استفاده از تصاویر لندست ۸ و شاخصهای گیاهی مستخرج از آن شامل 'NDVI وSAVI ، مناطق دارای پوشش گیاهی و همچنین پهنههای آبی شناسایی و سپس از تصاویر همدوسی ماسک شدند. از آنجاکه مناطق ساختهشده جزء طبقات فرسایش خاک قرار نمی گیرند، بنابراین بر اساس مقادیر بالای میانگین و مقادیر پایین انحراف معیار همدوسی در سری زمانی، از تصاویر همدوسی ماسک و از مناطق فرسایش تفکیک شدند. در پایان مناطق با فرسایش شدید با استفاده از تلفیق و تجزیه و-تحلیل تصاویر همدوسی و استخراج مناطق با بیشترین از دست رفت زمانی همدوسی استخراج شدند. نقشه فرسایش خاک تولیدشده، نهایتا با نقشه معتبر و موجود فرسایش خاک استان خوزستان اعتبارسنجی شد.

¹ Normalized Difference Vegetation Index

² Soil Adjusted Vegetation Index

نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم شماره سوم پاییز ۱۴۰۲



شکل۴: مراحل کلی پیادهسازی روش پیشنهادی به منظور شناسایی مناطق دارای فرسایش خاک شدید با استفاده از تصاویر همدوسی InSAR و اپتیک.

دامنه بوده و جهت کاربردهای InSAR استفاده می شوند [۴۴]. در این پژوهش، با در نظر گرفتن عواملی همچون دسترسی رایگان، پوشش مکانی و زمانی مطلوب و کارایی در زمینه InSAR، از ۱۶ تصویر IW ماهواره Sentinel-1 A با گذر نزولی مربوط به شماره برش ۱۱، در بازه زمانی ۲۰۱۸٬۱۱٬۲۱ تا ۲۰۲۰٬۰۱٬۰۲ (معادل ۱۳۹۷٬۸٬۳۰ تا ۱۳۹۸٬۱۰٬۱۳) استفاده شده است. در این تحقیق از پلاریزه VV تصاویر SAR به منظور ارزيابی قابلیت دادههای همدوسی چندزمانه جهت پایش فرسایش خاک استفاده شده است. بدیهی است كه تصاوير پلاريزه VH نيز مي توانند حاوى اطلاعات ارزشمندی جهت شناسایی نواحی دارای فرسایش خاک باشند. اما در این مطالعه با توجه به هدف اصلی، تنها از دادههای پلاریزه ۷۷ که مرسومتر هستند و اطلاعات بیشتری به دست میدهند، جهت ارزیابی استفاده شده است.

Sentinel-1 - دادههای ماهواره

دادههای SAR ماهواره I-Isentinel به صورت تک پلاریزه (HH یا VV) و جفت پلاریزه (VV–V یا HH) در محدوده C باند قابل دسترس هستند. این دادهها در چهار حالت تصویربرداری منحصر به فرد اعم از TM^{2} ، TM^{2} و WV با قدرت تفکیک مکانی (تا Δ متر) و پوشش مکانی (حداکثر تا ۴۰۰ کیلومتر) برداشت میشوند. در حالت WI، با یک قدرت تفکیک مکانی Δ متر (در راستای برد مایل) در ۲۰ متر (در راستای آزیموت) و عرض برداشت ۲۵۰ کیلومتر داده-برداری انجام می گردد. دادههای WI دارای مقادیر فاز و

¹ Single Polarisation

² Strip Map

³ Interferometric Wide Swath

⁴ Extra Wide Swath

⁵ Wave

۲-۴- تداخلسنجی راداری

تکنیک InSAR مبتنی بر بهره گیری از امواج مایکروویو است که بطور مرسوم در علوم سنجشازدور و زمین-شناسی جهت اندازه گیری و پایش تغییرات شكل/جابجایی زمین با دقت زیرسانتیمتر استفاده می-شود [۴۱ و ۴۲]. اساساً سه مفهوم مختلف در رابطه با InSAR وجود دارد: ۱) InSAR در راستای طول برداشت تک_گذر! ۲) InSAR در راستای عرض برداشت تک-گذر؟ InSAR (۳ گذر_تکراری. در روش تک_گذر با استفاده از دو آنتن که روی یک سکو نصب شدهاند، اطلاعات بطور همزمان جمع آوری می شود. در InSAR به روش گذر_تکراری سکو فقط حامل یک آنتن است که این آنتن یک منطقه را در دو عبور مختلف با هندسه تقریبا مشابه پوشش میدهد [۴۳]. در InSAR گذر_تکراری به فاصله بین دو مسیر پرواز در دو برداشت متوالی خط مبنای مکانی [†]نامیده میشود. تغییرات ایجاد شده در سطح زمین باعث ایجاد اختلاف فاز در دو تصویر رادار در دو زمان مختلف می شود. اختلاف فاز به دست آمده از تصاویر نشان دهنده میزان تغییر شکل اتفاق افتاده در فاصله زمانی بین دوگذر ماهواره (خط مبنای زمانی) در سطح زمین است. در این تکنیک با تفاضل گیری از مقادیر فاز تصاویر اخذ شده از موقعیتهای تصویربرداری در زمانهای مختلف، تصویری جدید تحت عنوان تداخلنما^عحاصل میشود. تداخلنما علاوه بر اختلاف فاز ناشی از تغییر شکل زمین، شامل مؤلفههای مختلفی ناشی از تاثیر توپوگرافی، کرویت زمین و خطاهای موجود نظیر خطای اتمسفر، خطای ثبت تصاویر، نویز حرارتی و سایر خطاهای پردازشی هستند. به جزء سهم فاز ناشی از

[\]Single Pass Along - Track Interferometry [\]Single Pass Cross - Track Interferometry [\]Repeat - Pass Interferometry [\]Spatial Baseline ^{\arrow}Temporal Baseline ^{\arrow}Interfrogram

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک با اسـتفاده... سمیه ابراهیمزاده و همکاران

تغییر شکل زمین، تاثیر سایر مولفههای فاز با بهره گیری از فایلهای مداری، مدل ارتفاعی رقومی (DEM) فیلتر Goldstein و ترکیب فیلترهای پایین گذر مکانی و بالاگذر زمانی تصحیح میشوند [۴۵، ۴۶ و ۴۷]. پس از تصحیحات تداخلنماها، مرحله پایانی رفع ابهام فاز^ میباشد که در این فرآیند مقادیر گسسته فاز به مقادیر پیوسته تبدیل میشوند. شکل (۵) بصورت شماتیک مراحل تولید یک تداخلنما را نمایش میدهد. در این تحقیق پردازشهای مربوط به InSAR در نرم افزار GMTSAR انجام گرفت.

۲-۵- تصویر همدوسی

همانطور که در شکل (۳) آمده است، یکی از محصولات InSAR، تصویر همدوسی^۱است که میزان همبستگی فاز میان پیکسلهای متناظر در دو تصویر پایه و پيروارا نشان مىدهد. همدوسى بطور مرسوم جهت ارزيابى كيفيت تداخلنما مورد استفاده قرار مى گيرد [۳۹]. دامنه عددی مقادیر تصویر همدوسی بین صفر تا یک متغیر است. همدوسی با افزایش پراکندگی حجمی ال تغییرات زمانی کاهش می یابد. اگر یک پیکسل متناظر در دو تصویر SAR مربوط به دو زمان مختلف نسبت به هم تغییرات اندکی داشته باشند، این عدد به یک نزدیک می شود و هرچه تغییرات دو پیکسل نسبت به هم بیشتر باشد؛ این عدد به سمت صفر میل مم، كند [۴۳]. همدوسى خيلى پايين معمولاً نشان-دهنده آب، همدوسی متوسط اغلب نشاندهنده گیاهان در حال رشد و همدوسی بالا شهرها و مناطق ساخته-شده را نشان می دهد [۳۹ و ۴۴].

[•] Coherence

^{\.}Master

``Slave

VVolume Scattering

⁷ Digital Elevation Model

⁸ Phase Unwrapping

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲



شکل۵: مراحل تولید یک تداخلنما و تصویر همدوسی در تکنیک InSAR

ضریب همدوسی به عنوان مقدار مطلق ضریب همبستگی بین دو تصویر مختلط تک منظر راداری (مجموعه دادههای 'SLC) از طریق رابطه (۱) محاسبه می شود [۴۵]:

$$\gamma = \frac{E\{|Y_1Y_2^*\}}{\sqrt{E\{|Y_1^2|\}} \cdot E\{|Y_2^2|\}}$$
(1)

 y_1 در رابطه (۱)، γ میزان همدوسی بین دو تصویر، y_1 تصویر پایه، و y_2^* مزدوج مختلط تصویر پیرو است. این رابطه از ضرب مختلط بین دو تصویر و اعمال امید ریاضی $\{.\}$ بر روی آن بدست میآید.

فرسایش خاک در تصاویر همدوسی به عنوان ویژگی-هایی ظاهر میشود که به تدریج با افزایش خطمبنای زمانی، کاهش همدوسی را به دنبال دارد. فرایند فرسایش باعث تغییرات تصادفی در جزئیات توپوگرافی میشود. این مهم سبب تغییرات هندسی در بازپراکنش امواج راداری میشود. بدین طریق تغییرات به طور تصادفی در فاز و دامنه سیگنال در هر پیکسل ایجاد میشوند. پوشش گیاهی انبوه میتواند منجر به از دست

رفت همدوسی به صورت آنی یا در عرض چند روز شود. از طرف دیگر، طبق تحقیقات میدانی، پوشش گیاهی طبیعی بسیار تنک و خشک (بوتهها) به ازای چندین ماه تا یک سال تأثیر قابل توجهی در میزان همدوسی ندارد. فعالیتهای انسانی مانند شخم زنی، ساخت و ساز مهندسی و معدن سنگ میتواند منجر به از دست رفت ناگهانی و غیرمنطقی همدوسی در یک دوره خاص از فرایندهای طبیعی شود [۲۸].

۲-۶- شاخصهای گیاهی

شاخص NDVI یکی از معروفترین شاخصهای طیفی گیاهی در سنجشازدور به شمار میرود. مقادیر این شاخص بین ۱- الی ۱+ متغیر میباشد. عدد صفر به معنی عدم پوشش گیاهی و همچنین مقادیر منفی به عنوان سطوحی به غیر از پوشش گیاهی مانند آب و برف تفسیر میشوند [۵۱ و ۵۲]. این شاخص از طریق رابطه (۲) محاسبه میشود.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$
 (۲) رابطه(۲)

در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی طول موجهای قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) به

¹ Single Look Complex

ترتیب با جذب بالا و بازتاب بالا مشخص می شوند. شاخص SAVI بر اساس NDVI بوده و خطای اثر خاک زمینه را حذف می کند و با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است [۵۱ و ۵۲].

 $SAVI = \frac{(1+L)(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}$ (۳) رابطه

در رابطه (۳)، L معیاری برای کاهش اثرات خصوصیات طیفی خاک روی بازتابهای طیفی تاج پوشش است دامنه L از \cdot تا ۱ متغیر است. مقادیر L با توجه به [۵]. شرایط خاص محیطی تعیین می شود. مقدار L تحت شایع ترین شرایط محیطی در حدود ۰٫۵ است [۵۱ و ۵۲]. در این تحقیق به منظور محاسبه شاخصهای NDVI و NAVI از دادههای چندطیفی ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۳ آگوست ۲۰۱۹ استفاده گردید. دلیل انتخاب تصویر در ماه آگوست این است که طبق تحقیقات انجام شده، برای بررسی پوشش گیاهی اگر بخواهیم فقط از تصاویر یک ماه از سال استفاده کنیم باید از تصاویر نیمه دوم تابستان یا نیمه اول پاییز یا نیمه اول بهار استفاده کرد که معمولا نماینده خوبی از میانگین همه ماههای سال از نظر پوشش گیاهی است [۵۳ و ۴۹]. بدین ترتیب در این مطالعه با استفاده از این دو شاخص گیاهی، مناطق پوشیده از گیاه و آب استخراج شده و از نقشه نهایی فرسایش خاک ماسک می شوند.

۳- نتایج و بحث

در این بخش ارائه نتایج و بحث در مورد هر یک از نتایج تواما انجام خواهد گرفت. برای درک بهتر، نتایج تحقیق و بحث در چندین زیربخش ارائه شده است.

۳-۱- نتایج پردازش تداخلسنجی راداری

در این مطالعه از ۱۶ تصویر ماهواره سنتینل-۱ در یک بازه زمانی تقریبا ۱۴ ماهه بین نوامبر ۲۰۱۸ تا ژانویـه ۲۰۲۰ استفاده شد. با در نظر گرفتن خط مبنای مکانی

و زمانی ۲۵ تداخلنما طبق شکل (۶) بصورت زنجیرهوار بین این تصاویر ایجاد گردید. جزئیات تداخلنماهای تشکیل شده شامل طول خط مبنای مکانی (بر حسب متر) و خط مبنای زمانی (بر حسب روز) در جدول (۱) نمایش داده شده است.

شمای کلی تصاویر همدوسی مربوط به ۲۵ تداخلنما تشکیل شده در این مطالعه در شکل (۲) نمایش داده شده است. دامنه مقادیر همدوسی راداری بین صفر (عدم همدوسی) و یک (همدوسی کامل) متغیر است. در مناطق ناپایدار و متغیر سطحی مانند پوشش گیاهی، آب، مناطقی که در حال ساخت و ساز یا تخریب هستند و مناطق با نرخ فرسایش قابل توجه، به دلیل تغییر در ماهیت برخورد سیگنال رادار با سطح، مقادیر پایین همدوسی مشاهده می شوند [۲۸]. بالعکس در مناطق پایدار سطحی مانند بناهای ساخته شده، آسفالت مانطق پایدار سطحی مانند بناهای ساخته شده، آسفالت (مانند دیاباز، بازالت متراکم، دلریت، متاکوارتزیت و کوارتزیت و ...) [۴۰] مقدار همدوسی راداری بالا و

با توجه به الگوی مکانی زمانی مختلف تصاویر همدوسی در شکل(۷) پرواضح است که مقادیر همدوسی در یک پیکسل (موقعیت) ثابت در تداخلنما-های مختلف متغیر است. این مهم ناشی از دو علت عمده اعم از عدم همبستگی زمانی و مکانی فاز تداخل-سنجی راداری است؛ که این عدم همبستگی در تداخل-نماهای مختلف مقادیر متفاوتی دارد. پیکسلهایی که در همه تصاویر همدوسی مقادیر بالایی دارند، مناطق پایدار هستند که در طی زمان کمترین تغییرات سطح را داشته اند. در ادامه نشان داده شده است که این مناطق عمدتا منطبق بر مناطق ساخته شده (شهری) و نیز سازندهای زمین شناسی مقاوم در برابر فرسایش خاک هستند.



شکل۶: سری زمانی تصاویر ماهواره سنتینل-۱ و شبکه تداخلنماهای تشکیل شده از آنها

			خط	-					خط	خط
شماره زوج	تصوير پايه	تصوير پيرو	مبنای عان	خط مبنای زمانی (روز)	شماره زوج	شماره	تصوير پايه	تصوير پيرو	مبنای کا:	مبنای ۱۰
			مكانى			روج			مکانی	رمانی
			(متر)						(متر)	(روز)
+1	۲۱,۱۱,۲۰۱۸	۰۸,۰۱,۲۰۱۹	18/02	47		14	۲۵٬۰۶٬۲۰۱۹	۱۲٬۰۸٬۲۰۱۹	-1 • ۲, ۱۳	۴۸
۰۲	10,17,7.11	۰ <i>۸٫۰۱٫</i> ۲۰۱۹	– ۱ • ۹٫۳۸	74		10	۱۹ _/ •۷ _/ ۲・۱۹	۱۲٫۰۸٫۲۰۱۹	۶۶/۱۷	74
٠٣	• ۸, • ۱, ۲ • ۱ ۹	• 1/• 7/7 • 19	-79,74	74		18	19,+7,7+19	۰ ۵/ • ۹/ ۲ • ۱ ۹	- ۴ ۵,۷۹	۴۸
+۴	۰ <i>۸٫</i> ۰۱ <i>٫</i> ۲۰۱۹	۲۵,۰۲,۲۰۱۹	-7 V/• V	۴۸		۱۷	۱۲٬۰۸٬۲۰۱۹	۰ ۵/ • ۹/ ۲ • ۱ ۹	−۵۹,۹V	74
٠۵	• 1,• 7,7 • 19	۲۵,۰۲,۲۰۱۹	۴۴٬۵۵	74		۱۸	۱۲٬۰۸٬۲۰۱۹	۲۹,•۹,۲۰۱۹	-81,10	۴۸
٠۶	۲۵, • ۲, ۲ • ۱۹	• 7/• 4/7 • 19	-44/80	۳۶		۱۹	۰۵/۰۹/۲۰۱۹	۲۹,•۹,۲۰۱۹	-171/17	74
٠٧	۲۵, • ۲, ۲ • ۱۹	78,04,7019	-14/41	۶.		۲.	۰۵/۰۹/۲۰۱۹	18,11,7.19	-۹۳/۵۱	۷۲
٠٨	• 7, • 4, 7 • 19	78, • 4, 7 • 19	-77/44	74		۲۱	۲۹,•۹,۲۰۱۹	18,11,7.19	- ~ · ,))	۴۸
٠٩	79,04,7019	۲۰,۰۵,۲۰۱۹	$-\Upsilon\lambda_{/}\lambda\lambda$	74		۲۲	۲۹,•۹,۲۰۱۹	۱۰,۱۲,۲۰۱۹	–۲۷ _/ ۸۴	۷۲
۱٠	79,04,7019	۲۵, •۶, ۲ • ۱۹	-9•/•Y	۶.		۲۳	18,11,7.19	۱۰,۱۲,۲۰۱۹	۶۲، ۵۰	74
11	۲۰,۰۵,۲۰۱۹	۲۵, •۶, ۲ • ۱۹	-184,84	۳۶	1 [24	18,11,7.19	• ٣,• ١,٢ • ٢ •	- ૧ <i>۶</i> /• ٩	۴۸
١٢	۲۰,۰۵,۲۰۱۹	19,.7.19	-47' £	۶.		۲۵	۱۰,۱۲,۲۰۱۹	• ٣,• ١,٢ • ٢ •	-4Y,1•	74
۱۳	۲۵, <i>۰۶</i> ,۲۰۱۹	19/04/2019	- \ \% / \ \	74	1 [

داخلنماهای یردازششد	مشخصات شبكه ت	جدول۱:
---------------------	---------------	--------



شکل۷: شمای کلی تصاویر همدوسی مربوط به تداخلنماهای تشکیل شده در این مطالعه

همدوسی تداخلسنجی بالا و در برخی بازههای زمانی همدوسی تداخلسنجی پایینی دارند. در مورد آب
همدوسی تداخلسنجی پایینی دارند. در مورد آب
شاهد این هستیم که میانگین مقادیر همدوسی پایین و
انحراف معیار نیز پایین است، بدین معنی که مناطق آب همیشه مقادیر کم همدوسی را به خود اختصاص
میدهند و در طول زمان همدوسی آن همیشه پایین
میدهند و در طول زمان همدوسی آن همیشه میانگین
همدوسی در این مناطق پایین است و انحراف معیار
همدوسی در این مناطق پایین است و انحراف معیار
همدوسی در این مناطق پایین است و انحراف معیار
همدوسی در این مناطق پایین است و انحراف معیار
همدوسی ممدتا پایین تا متوسط و ندرتا مقادیر بالاتر را
مورد گیاهان مختلف چرخه رشد و نمو متفاوت است و
مورد گیاهان مختلف چرخه رشد و نمو متفاوت است و
مورد گیاهان مختلف چرخه رشد و نمو متفاوت است و

به منظور درک بهتر از مقادیر همدوسی تداخلسنجی در مناطق مختلف و مقدار تغییر آنها، میانگین و انحراف معیار تصاویر همدوسی در شکل (۸) نمایش داده شده است. بر این اساس مناطق با میانگین بالا و انحراف معیار پایین بیانگر مناطق همیشه پایدار مانند مناطق شهری یا سازندهای زمین شناسی مقاوم بدون پوشش گیاهی هستند. از طرف دیگر مناطق با میانگین پایین و انحراف معیار پایین مناطق همواره ناپایدار مانند آب، پوشش گیاهی ثابت (و نه موقت مانند مناطق کشت و زرع) و یا مناطق با نرخ فرسایش بسیار شدید (همواره در حال فرسایش شدید) هستند. مناطق با انحراف معیار بالا مناطقی هستند که پوشش سطحی آن به گونهای است که در برخی بازههای زمانی مقادیر

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۲ ۱۴۰

طور کلی میانگین و انحراف معیار همدوسی برای آب کمتر از گیاه است، بدین معنی که مناطق آب مقادیر

همدوسی همگنتر و پایینتری را نسبت به گیاه به خود اختصاص میدهند.



شکل۸: میانگین و انحراف معیار ۲۵ تصویر همدوسی تداخلسنجی راداری تولیدشده

۲-۳- استخراج مناطق پوشش گیاهی و آب پوشش گیاهی و فعالیتهای انسانی (به عنوان مثال کشاورزی) دو عامل مهم کاهش همبستگی زمانی سیگنالهای رادار در InSAR و کاهش مقدار همدوسی هستند. پوشش گیاهی متراکم میتواند باعث از بین رفتن همدوسی به صورت سریع یا در عرض چند روز شود [۲۸]. همچنین فعالیتهای انسانی مانند شخم-زنی، ساخت و ساز بنا و حفاری معدن سنگ میتواند منجر به از بین رفتن ناگهانی همدوسی در یک دوره زمانی خاص و به صورت غیر منطقی از روند طبیعی شـود [۲۸]. پوشـش گیـاهی نقـش مهمـی در مقـدار فرسایش خاک دارد؛ بدین صورت که هرچه پوشش گیاهی متراکمتر باشد، مقدار فرسایش خاک کاهش می یابد [۵۰]، از طرفی وجود پوشش گیاهی یکی از عوامل كاهش همدوسي تداخلسنجي راداري است، پس در این تحقیق مناطق با پوشش گیاهی استخراج و از سایر مناطق تفکیک شد تا به اشتباه جزو مناطق

فرسایش شدید قرار نگیرد.

مانند مناطق پوشش گیاهی، مناطق آب نیز مانند مناطق با فرسایش شدید به دلیل پویایی زیاد، دارای مقادیر همدوسی پایین در تداخلسنجی راداری هستند. بنابراین اگر این مناطق از مناطق فرسایش ماسک نشوند، ممكن است به اشتباه به عنوان مناطق با فرسایش شدید شناسایی شوند. برای آشکارسازی و سپس ماسک کردن مناطق آب و پوشش گیاهی از شاخصهای NDVI و SAVI استفاده شد. بدین صورت که چون آب در تصاویر ماهوارهای مقادیر منفی NDVI را به خود اختصاص می دهد، با جداسازی و ماسک كردن پيكسلهايي با NDVI منفى، مناطق با پوشش زمینی آب از نقشه متمایز میشود. سپس برای جداسازی مناطق با پوشش گیاهی از هر دو شاخص-گیاهی NDVI و SAVI استفاده شد. بدین ترتیب که با اطلاعاتی که از منطقه در دسترس بود و نیز با بررسی تصویر گوگل ارث که نقشههای پوشش گیاهی NDVI و

SAVI بر آن همیوشان شده بود، مناطق گیاه شناسایی SAVI شده و با تعیین حدآستانه حداقلی برای پوشش گیاهی در نقشههای NDVI و SAVI و سپس اعمال حد آستانه بر این دو نقشه، مناطق با پوشش گیاهی استخراج و ماسک گردید. استفاده از دو شاخص گیاهی باعث افزايش صحت مناطق استخراج شده گياه مىشود زيرا مقایسه تصاویر Google Earth با مناطق گیاه حاصل از حدآستانه گذاری هر یک از شاخصها نشان داد که استفاده از دو شاخص به جای یک شاخص صحت استخراج مناطق با پوشش گیاهی را افزایش میدهد، زیرا این دو شاخص مستقلا محاسبه و بررسی شده است. مناطق با NDVI بالاتر از ۲٫۲ یا SAVI بالاتر از ۰٬۳۲ به عنوان گیاه درنظر گرفته شد. این حد آستانهها از طریق همپوشانی شاخصها بر تصویر هم تاريخ Google Earth و سپس بررسی مقادير اين شاخصها در مناطق گیاه و غیرگیاه تعیین گردید. طی چندین مرحله و در هر مرحله پس از انتخاب اولیه حد آستانه برای هر یک از دو شاخص، مناطق گیاه با حد آستانه گذاری استخراج و با تصویر هم تاریخ Google Earth در مناطق گیاه و غیر گیاه صحت سنجی شد؛

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده... سمیه ابراهیمزاده و همکاران

در نهایت حد آستانه با بالاترین صحت بصری برای هر یک از شاخصها انتخاب گردید.

در شکلهای (۹) و (۱۰) نقشه دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و SAVI و نیز مناطق گیاه استخراج شده از این دو شاخص نمایش داده شده است. برای درک بهتر ارتباط مناطق گیاه و کاهش همدوسی تداخل-سنجی، نقشه مقادیر همدوسی کمتر از ۰٫۲ در میانگین تصاویر همدوسی در کنار نقشه مناطق گیاه نمایش داده شده است. به عبارت دیگر مناطق گیاه عمدتا منجر به همدوسی پایین (کمتر از ۰٫۲) شده است که نباید با همدوسی پایین به علت فرسایش خـاک اشـتباه گرفته شود. همانطور که در شکل (۱۰)، از مقایسه مناطق استخراج شده گیاه و مناطق با همدوسی کمتر از ۲٫۲ پیداست، مناطق با همدوسی کمتر از ۲٫۲ شامل مناطق گیاه و گستردهتر از آن است؛ بررسی تصاویر چند زمانه گوگل ارث در بازه تصاویر تداخل سنجی نشان مىدهد كه اين مناطق مازاد عمدتا متعلق به آب، پوشش گیاهی غرقابی (زمینهای زراعی آبیاری شده با پوشش گیاهی کم) و قسمتی نیز متعلق به زمین لخت با فرسایش بسیار شدید است.



شکل۹: نقشه دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و SAVI در منطقه

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲



شکل۱۰: مناطق استخراج شده به عنوان گیاه و همبستگی بالای آن با مقادیر کوچک (کمتر از ۲٫۰) در تصویر میانگین همدوسی (مناطق با همدوسی کمتر از ۲٫۰ شامل مناطق گیاه و اندکی گستردهتر از آن میباشد).

برای استخراج آب از مقادیر NDVl استفاده شد؛ بدین صورت که چون در تصویر منطقه برف، یخ و ابر نداریم و بنابراین مقادیر منفی NDVI متعلق به آب است [۵۱]. مقادیر منفی NDVI استخراج شده و به عنوان مناطق با پوشش آب از تصویر خروجی ماسک گردیـد. در شکل (۱۱) مناطق استخراج شده آب را میبنیم. این مناطق مانند مناطق پوشش گیاهی با وجود شباهت به مناطق فرسایش شدید از جهت همدوسی پایین تداخل-سنجی، نباید جزء مناطق فرسایش شدید قرار گیرد زیرا از دست رفتن همدوسی در این مناطق به علت ناپایداری سطح گیاه و آب است. در قسمت جنوبی شکل (۱۱) چینش منظمی از قطعات زمین که در کنار هم قرار گرفته (شبیه قطعات زمین زراعی) را میبینیم که به عنوان آب شناسایی شده است؛ با اطلاعات میدانی که از منطقه مورد مطالعه داریم و نیز از آنچه در تصاویر گوگل ارث پیداست، این پدیده مناطق آبی مربوط به یک استخر پرورش ماهی فعال میباشد. با رجوع به شکل (۸) در مییابیم محدوده آبی استخر پرورش ماهی دارای میانگین همدوسی پایین و نيز انحراف معيار پايين ميباشد.



شکل۱۱: مناطق استخراج شده به عنوان پوشش آب

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده... م

سمیه ابر اهیمز اده و همکار ان

اثر همبستگی مکانی کمینه می شود [۲۸]. برای انتخاب ساده تر این دو تصویر همدوسی، می توان برای هر تصویر همدوسی اندازه خطمبنای زمانی را بر اندازه خطمبنای مکانی تقسیم کرد. تصویر همدوسی با بزرگ ترین مقدار حاصل در صورت رابطه *RCI و* تصویر همدوسی با کوچک ترین مقدار حاصل در مخرج رابطه *RCI قرار می گیرد. در* این مطالعه با بررسی اندازه خط-مبناهای زمانی و مکانی مشخص شد که میناهای زمانی و مکانی مشخص شد که (*TB*_{max}, *SB*_{min}) برابر با تصویر همدوسی با تصویر همدوسی 201801212 است. در شکل (۱۲) تصویر نسبی همدوسی حاصل را ملاحظه می کنید.



شکل ۱۲: تصویر نسبی همدوسی (RCI)

در تصویر همدوسی نسبی (RCI) ، تنهای روشن (مقادیر بالا) عمدتا مربوط به عدم همبستگی مکانی بوده و تنهای تیره (مقادیر پایین) مربوط به عدم همبستگی زمانی مانند پدیده فرسایش شدید است؛ همچنین تنهای خاکستری (مقادیر متوسط) به مناطق پایدار (مانند مناطق ساخته شده ، آسفالت جادهها و رخسارههای مقاوم زمینشناسی) مربوط است.

۳-۳- تشکیل تصویر ترکیب رنگی کاذب به منظور آشکارسازی مناطق با فرسایش شدید باید عدم همبستگی مکانی و زمانی را در تصاویر همدوسی تفکیک کرد؛ زیرا عدم همبستگی مکانی ناشی از توپوگرافی و خطمبنای مکانی (اختلاف منظر سنجنده در دو برداشت متوالی) است. در واقع پدیدههایی مانند فرسایش خاک که در طول زمان باعث تغییر برهم کنش سطح و سیگنال رادار میشوند، تاثیری بر عدم همبستگی مکانی ندارند [۲۸]. فرسایش خاک باعث عدم همبستگی زمانی میشود و پدیدههای فرسایش در تصاویر همدوسی به عنوان ویژگیهایی که با افزایش جدایی زمانی به تدریج همدوسی را از دست میدهند، ظاهر می شوند [۲۸]. بنابراین باید به طریقی مناطق با عدم همبستگی زمانی را از مناطق با عـدم همبسـتگی مکانی جدا کرد. برای این کار (بیشینه کردن اثر عدم همبستگی زمانی و کمینه کردن اثر همبستگی مکانی) می توان یک تصویر نسبی همدوسی⁽(RCI) تشکیل داد، بدین صورت که تصویر همدوسی با بزر گترین خطمبنای زمانی و کمترین خطمبنای مکانی تقسیم بر تصویر همدوسی با بزرگترین خطمبنای مکانی و کوچکترین خطمبنای زمانی میشود. روش تشکیل تصویر نسبی همدوسی (RCI) در رابطه (۵) آورده شده است [۲۸].

$$RCI = \frac{coh(TB_{\max}, SB_{\min})}{coh(SB_{\max}, TB_{\min})}$$
 (۵)

در رابطه (۵) منظور از $(TB_{\max}, SB_{\min}, SB_{\min})$ تصویر همدوسی با بزرگترین خطمبنای زمانی و کوچک-ترین خطمبنای مکانی و منظور از ترم مخرج ($SB_{\max}, TB_{\min})$ تصویر همدوسی با بزرگترین خطمبنای مکانی و کوچکترین خطمبنای زمانی است. در تصویر حاصل از RCI اثر همبستگی زمانی بیشینه و

¹ Relative Coherence Image

² Temporal Baseline

³ Spatial Baseline

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

ییداست، مناطق با آب عمیق (حوضچههای پرورش ماهی) به عنوان پوشـش آب شناسایی و ماسـک شـده است (به رنگ صورتی پررنگ در قسمت ب) ؛ همچنین زمینهای کشاورزی اطراف که پوشش گیاهی پرتراکم داشتهاند به عنوان پوشش گیاهی شناسایی و ماسک شدهاند (به رنگ سبز در قسمت ب)؛ اما مناطق کشاورزی با پوشش گیاهی کمتر که غرقاب بودهاند جزء هیچ یک از پوشش آب و گیاه قرار نگرفته و ماسک نشدهاند، این مناطق به رنگ آبی کمرنگ و پررنگ در تصویر FCC ماسک شدہ باقی ماندہ است. هرچـه گیاہ در این مناطق غالبتر باشد رنگ آبی تیرهتر و هرچه آب غالب تر باشد رنگ آبی این مناطق روشن تر میباشد. به عبارتی دیگر مناطق پوشش گیاهی، آب و ترکیب آنها در تصویر FCC به رنگ آبی (روشن و تیره) نمایان می شود که بوسیله حدآستانه گذاری روی تصویر NDVI و SAVI می توان مناطق گیاه و آب را استخراج و ماسک کرد؛ مناطق غرقابی زراعی نیز که مقادیر آنها در NDVI و SAVI بین مقادیر آب و گیاه است، به صورت ماسک نشده و به رنگ آبی در تصویر FCC ماسک نشده باقی می ماند.

۳-۴- تحلیل زمینشناسی

برای بررسی ارتباط سایر مناطق پایدار طبیعی (یعنی مناطق پایدار بجز آسفالت جادهها و منطقه شهری) با سازندها و رخسارههای زمین شناسی، در شکل (۱۵) نقشه زمینشناسی در کنار نقشه ترکیب رنگی کاذب (۲CC) قرار گرفته است. همانطور که در شکل (۱۵) نیز مشخص است، همبستگی بالایی بین الگوی موجود در تصویر FCC و طبقات زمینشناسی (سازندهای زمین شناسی) وجود دارد؛ مخصوصا در مناطق مقاوم (به رنگ زرد در تصویر FCC) این همبستگی بسیار بالا و واضح است. از آنجا که جنس خاک و زمین بستر عامل بسیار مهمی در نرخ فرسایش خاک است [۲]، این همبستگی بالا بین طبقات زمینشناسی و مناطق با این همبستگی بالا بین طبقات زمینشناسی و مناطق با نرخهای متفاوت فرسایش امری کاملا توجیه پذیر می-باشد. برای تفکیک بهتر مناطق فرسایش شدید از سایر پدیدہ ها، تصویر رنگ کاذبی را تشکیل میدهیم کے ب جای رنگ قرمز (coh(SB_{max}, TB_{min})، به جای رنگ سبز ($coh(TB_{max}, SB_{min})$ و به جای رنگ آبی تصویر RCI قرار میدهیم. نام تصویر رنگے حاصل را ترکیب رنگی کاذب(FCC) می گذاریم. خروجی حاصل از این ترکیب رنگی کاذب (FCC) و همان تصویر که مناطق آب و گیاه و شهری(ساخته شده) در آن ماسک شده است، در شکل (۱۳) نمایش داده شده است. در شکل(۱۳)، مناطق با فرسایش شدید به رنگ قرمز آشکار می شود؛ مناطق پایدار به رنگ زرد، مناطق با عدم همبستگی مکانی (همدوسی مکانی پایین) به رنگ فیروزهای، مناطق گیاه_آب (تواما در مناطق زراعی غرقابی) به رنگ آبی روشن و تیره نمایان می شود. در ترکیب گیاه_آب هرچه درصد آب بیشتر باشد رنگ آبی روشن تر و هرچه درصد گیاه بیشتر باشد، رنگ آبی تیرهتر میباشد. علت اینکه برخی مناطق گیاه که در آب است جزء مناطق گیاه یا آب قرار نگرفت این است که مقدار NDVI در این مناطق بین صفر تا ۰٫۲ (بـین مقادیر NDVI آب و گیاه) و نیز شاخص SAVI در این مناطق بین صفر و ۲۲، (بین مقادیر SAVI آب و گیاه) بوده است. روی تصویر ترکیب رنگ کاذب، مناطق پوشش گیاهی با رنگ سبز، پوشش آب به رنگ صورتی پررنے و منطقہ شہری به رنے صورتی کمرنے مشخص و ماسک شده است.

برای بررسی دقیق تر نقشه خروجی به منطقه پوشیده از آب استخر پرورش ماهی در جنوب منطقه مطالعاتی می پردازیم. در شکل (۱۴) محدوده استخر پرورش ماهی را در الف) تصویر *FCC* ب) تصویر *FCC* ماسک شده با آب و گیاه و ج) تصویر حدآستانه گذاری شده *NDVI* (مقادیر بیشتر از ۰ به عنوان خشکی به رنگ سیاه و مقادیر کمتر از ۰ به عنوان پوشش آب به رنگ آبی) قابل مشاهده است. همانطور که در شکل (۱۴)

¹ False Color Composite



شکل ۱۳: ترکیب رنگی کاذب (FCC) برای آشکارسازی منطق با فرسایش شدید (الف) بدون ماسک گیاه و آب و منطقه شهری (ب) با ماسک گیاه و آب و منطقه شهری (ج) نقشه معیار شدت فرسایش خاک در استان خوزستان



شکل۱۴: محدوده استخر پرورش ماهی در جنوب منطقه مطالعاتی در(الف) تصویر FCC ماسک نشده ، (ب) FCC ماسک شده (آب به رنگ صورتی پررنگ و گیاه به رنگ سبز) و (ج) تصویر حدآستانه گذاری شده NDVI برای استخراج پوشش آب

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲



شکل ۱۵: (الف) تصویر FCC ماسک نشده و (ب) طبقات زمین شناسی در منطقه مطالعاتی

از آنجا که همبستگی بسیار بالایی بین الگوهای موجود در تصویر FCC و طبقات زمینشناسی مشاهده می شود در ادامه ارتباط نوع و جنس خاک در سازندهای مختلف زمینشناسی و مقاوت مختلف آنها در برابر فرسایش که باعث این همبستگی می شود را بررسی می کنیم. در شکل (۱۵) طبقات مربوط به سازندهای زمینشناسی با نام علمی آنها و در رنگهای متفاوت متمایز شده است. با توجه به شکل (۱۵) اطلاعات مربوط به جنس سازندها در منطقه مطالعاتی و مقاومت آنها در برابر فرسایش به صورت زیر می باشد. در نقشه زمین شناسی:

۱- مناطق زرد رنگ (رسوبات آبرفتی جوان) در مقابل فرسایش بسیار حساس هستند. مناطق قرمز آشکار شده در تصویر FCC به عنوان مناطق با فرسایش شدید عمدتا در این سازند قرار دارند که حساسیت بسیار بالا به فرسایش خاک دارد.

۲- مناطق نارنجی رنگ (آغاجاری) در منطقه دارای

مقاومت بسیار زیاد در برابر فرسایش خاک است؛ به همین دلیل همانطور که در شکل (۱۵) پیداست مناطق پایدار (زرد رنگ در تصویر FCC) طبیعی (و نه منطقه شهری) عمدتا منطبق بر این سازند است.

۳- مناطق سبز (بختیاری) در برابر فرسایش مقاوم است. همانطور که در شکل (۱۵) پیداست، این سازند نه به اندازه سازند آغاجاری ، ولی در تصویر FCC جزء مناطق تقریبا پایدار (عمدتا زرد رنگ تا نارنجی) قرار گرفته است.

۴- مناطق خاکستری (گچساران) حساسیت نسبتا زیادی به فرسایش دارند. مطابق با تصویر FCC در شکل (۱۵) کاملا مشهود است که با وجود اینکه این سازند در میان سازندهای مقاوم آغاجاری و بختیاری واقع شده است، دارای رنگ نارنجی و گاهی قرمز و ندرتا زرد میباشد و این به معنی غالب بودن فرسایش شدید در این سازند است که با جنس سازند کاملا سازگاری دارد.

۵- در مناطق آبی (میشان) بخش آهکی نسبت به فرسایش حساسیت کمی دارد و بخش مارنی دارای حساسیت متوسط نسبت به فرسایش است. در شکل(۱۵) این سازند در تصویر FCC عمدتا نارنجی مایل به زرد دارد که نشان میدهد فرسایش در این سازند متوسط مایل به کم میباشد. آنچه در این سازند مورد توجه است قرارگیری رگههای فیروزهای رنگ روی این سازند در تصویر FCC است که در ادامه بحث خواهیم دید که ظهور این رگههای فیروزه ای در تصویر FCC به دلیل عدم همبستگی مکانی و توپوگرافی (شیب) میباشد.

۶- حساسیت مناطق بنفش (اسماری) در نقشه زمین-شناسی نسبت به فرسایش متوسط است. با توجه به شکل (۱۵)، این سازند در تصویر FCC دارای رنگ نارنجی (نرخ متوسط فرسایش) است که کاملا سازگار با فرسایش متوسط در این سازند میباشد. رنگ نارنجی فرسایش متوسط در این سازند میباشد. رنگ سایش بسیار کم) و قرمز (فرسایش شدید) است، نشانگر فرسایش با شدت متوسط میباشد.

بنابرآنچه در این قسمت بحث شد و آنچه در شکل(۱۵) قابل برداشت و مقایسه است، مناطق استخراج شده به عنوان فرسایش شدید، مناطق مقاوم در برابر فرسایش و

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده... سمیه ابراهیمزاده و همکار ان

مناطق با فرسایش متوسط (در تصویر FCC به رنگ نارنجی که حاصل تلفیق دو رنگ قرمز و زرد است) کاملا با جنس سازندهای زمینشناسی واقع در آن موقعیتها سازگاری دارد که این نیز خود تاییدی بر نتایج این تحقیق است.

۳–۵– تحلیل عدم همبستگی مکانی

آخرین الگویی که در تصویر FCC وجود دارد و در اینجا مورد بحث قرار میگیرد، رگههای فیروزهای رنگ در قسـمت شـمال شـرقی منطقـه مطالعـاتی است. بطورکلی همبستگی مکـانی در InSAR تـابعی از شـیب محلی زمین و طول خط مبنای مکـانی است [۲۸]. بر همین اساس، رگههای فیروزهای مشـهود در تصویر همین اساس، رگههای فیروزهای مشـهود در تصویر FCC ناشـی از ناهمبسـتگی مکـانی است و علـت همدوسی بسیار پایین نیـز بـه خصوصیات توپوگرافی (شیب و جهت شیب) برمیگردد. بـرای بررسی رابطـه این الگوهای فیروزهای با توپوگرافی در شکل (۱۶) نقشه شیب و جهت شیب نمایش داده شده است. لایـه-این میب و جهت شیب در نـرمافـزار Arcmap و بر های شیب و محمت شـیب در نـرمافـزار محاسبه اساس DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر محاسبه گردید.



شکل۱۶: نقشه درجه شیب و جهت شیب در منطقه مطالعاتی

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

با مقایسه شکل (۱۶) با شکل (۱۳) و بررسی شیب و جهت شیب در محل رگههای فیروزهای، کاملا مشهود است که مناطق با رگههای فیروزه ای در تصویر FCC، منطبق بر مناطق پرشیب (بالای ۲۰ درجه) و در جهت-های خاصی از شیب (عمدتا شرقی و شمال شرقی و ندرتا جنوب شرقی) میباشد؛ بنابراین الگوهای فیروزه-ای در شیبهای تند و در جهت شیب عمدتا شرقی رخ دادهاست. این کاهش همدوسی به علت عدم همبستگی مانی در شیبهای تند و عمدتا شرقی به علت تاثیر توام هندسه خاص تصویر برداری سنجنده رادار و توپوگرافی بر همبستگی سیگنال رادار در تصاویر مختلف (همدوسی مکانی) میباشد [۲۸، ۴۸، ۵۴، ۵۵ و م.]

در نهایت با مقایسه رقومی مناطق استخراج شده به عنوان فرسایش شدید از تصویر FCC با نقشه فرسایش استان خوزستان (نقشه معيار)، این نتیجه حاصل شد که ۸۶٬۱۲ درصد از مناطق فرسایش شدید بر کلاس-های فرسایش شدید (مناطقی با نرخ فرسایش بیش از ۹ تن بر هکتار در سال) از نقشه معیار منطبق است که مبين صحت قابل قبول نتايج اين تحقيق ميباشد. بر خلاف مدلهای تخمین فرسایش خاک که فرسایش را به صورت پیشبینی و از روی پارامترهای مرتبط با آن مدل می کنند، روش پیشنهادی در این مطالعه مبتنی بر فرسایش واقعی صورت گرفته در منطقه (آشکارسازی مستقيم مناطق فرسايشيافته از واقعيت زمين) است. بنابراین عدم قطعیت نتایج این روش نسبت به مدلهای تجربی بسیار کمتر است، زیرا در مدل های پیشبینی فرسایش خاک عدم قطعیت در محاسبه هر یک از عوامل مدلسازی باعث عدم قطعیت در نتایج مدل می-شود [۲]. علاوه بر آن، تعداد و تنوع دادههای به کار رفته در این روش بسیار کمتر از مدل های فیزیکی و تجربی فرسایش خاک است بنابراین در همه مناطق که با کمبود دادههای لازم برای مدلهای فیزیکی و تجربی مواجه هستند، روش پیشنهادی به سادگی میتواند پیاده سازی شود. از سوی دیگر صحت بالای نتایج این

مطالعـه حـاکی از قابلیـت بـالای روش پیشـنهادی در آشکارسازی مناطق با فرسایش شدید خاک است. **۴- نتیجهگیری**

در این تحقیق از یک رویکرد سنجش ازدوری مبتنی بر تجزیه و تحلیل تصاویر همدوسی حاصل از پیادهسازی تداخلسنجی راداری بر روی ۱۶ تصویر ماهواره سنتینل-۱ در یک بازه زمانی ۱۴ ماهه برای استخراج مناطق با فرسایش شدید در قسمتی از استان خوزستان استفاده شد. همچنین با استفاده از شاخصهای گیاهی مستخرج از دادههای اپتیکی ماهواره لندست ۸ شامل NDVI و NAVI، مناطق گیاه و آب جهت ماسک شدن زنگی کاذب (FCC) از تصاویر همدوسی دارای شرایطی خاص، نقشه خروجی تولید شد؛ که در آن مناطق فرسایش شدید، مناطق پایدار، مناطق آب یا پوشش شهری از نقشه حاصل ماسک و مناطق باقیمانده به عنوان کلاس فرسایش شدید درنظر گرفته شدند.

با بررسی همبسـتگی مکانی نقشـه سـازندهای زمـین-شناسی و نقشه خروجی، صحت مکانی نتایج تایید گردید زیرا مناطق استخراج شده فرسایش شدید و مناطق پایدار با سازندهای موجود در این مناطق سازگاری کامل داشتند. از طرفی بررسی نتایج در موقعیتهای مختلف منطقه مطالعاتی نشان میدهد که مناطق استخراج شده به عنوان پدیدههای مختلف (شامل آب، گیاه، ساخته شده، مناطق پایدار، مناطق با فرسایش شدید) با واقعیت زمینی سازگاری دارند. در نهایت برای اعتبار سنجی نهایی نتایج تحقیق، مناطق با فرسایش شدید (مناطق با طیف قرمز در تصویر FCC) استخراج و انطباق آن بر کلاس فرسایش شدید نقشه معیار فرسایش خاک استان (نقشه شکل (۲)) بررسی گردید. انطباق ۸۶٬۱۲ ٪ مناطق استخراج شده فرسایش شدید با کلاسهای فرسایش شدید (بیش از ۹ تن بر هکتار) در نقشه معیار فرسایش استان، حاکی از صحت قابل قبول نتايج اين تحقيق است.

با درنظر گرفتن عدم اجرای تحقیقات مشابهی با الگوریتم پیشنهادی و داده های به کار رفته در این مطالعه، صحت بالای نتایج در مقایسه با نقشههای موجود فرسایش خاک (بیش از ۸۶٪ مطابقت در مناطق فرسایش شدید) و همچنین به علت تعداد و تنوع کمتر داده های به کار رفته در این روش نسبت به مدل های رایج فیزیکی و تجربی پیشبینی فرسایش خاک و نیز حصول نقشه مناطق فرسایش شدید از واقعیت زمین (و نه پیشبینی و مدلسازی به وسیله عوامل موثر)، الگوریتم پیشنهادی قابلیت لازم را در مطالعه فرسایش خاک داشته و بهبود آن میتواند به **مراجع**

> variability of global potential water erosion based on an improved USLE model", International Soil and Water Conservation Research. 2023.

- [7] H. Lamane, L. Mouhir, R. Moussadek, B. Baghdad, H. Briak, A. Zouahri, A. El Bilali, "Statistical analysis of a systematic review on soil water erosion assessment in Morocco", EGU23. Volume 31, Issue 2, Pages 155-165, ISSN 0380-1330. 2023.
- [8] J. Li, M. Xiong, R. Sun, L. Che, "Temporal variability of global potential water erosion based on an improved USLE model", International Soil and Water Conservation Research. Volume 71, Pages 544-550, ISSN 1470-160X. 2023.
- [9] M.A. Nearing, J.R. Simanton, L.D. Norton, S.J. Bulygin, J. Stone, "Soil erosion by surface water flow on a stony, semiarid hillslope. Earth Surface Processes and Landforms", The Journal of the British Geomorphological Research Group, Volume 24, Issue 8, Pages 677-686. 1999.
- [10] M. Hajigholizadeh, A.M. Melesse, H.R. Fuentes, "Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on approaches, models and applications ", International journal of environmental research and public health, Volume 15, Issue 3, Pages 518. 2018.

نتایج با صحت بسیار بالا در مطالعه فرسایش خاک بیانجامد.

بهطور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که فرسایش سریع با استفاده از تصاویر چند زمانه همدوسی تداخل-سنجی راداری میتواند به طور موثری تشخیص داده شود. بنابراین با استفاده از نتایج این تحقیق میتوان علل فرسایش سریع خاک را با کارایی بیشتری بررسی نمود. بر این اساس سازمانهای ذیربط میتوانند نسبت به اتخاذ تدابیر مدیریتی حفاظت خاک به منظور جلوگیری از تشدید فرسایش شدید در مناطق آسیب-پذیر اقدام به عمل آورند.

- [1] M. Mojarad Ashnabad, A. Rouhani. "Soil erosion; Challenges, costs and benefits of protecting it". people and Environment, Volume 8, Number 3, pp. 47-57. 2010.
- [2] S. Ebrahimzadeh, M. Motagh, V. Mahboub, F.M. Harijani, "An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion". Environmental Earth Sciences, 77(12), 1-17, 2018.
- [3] P.I.A. Kinnell, B. Yu," CLIGEN as a weather generator for predicting rainfall erosion using USLE based modelling systems", CATENA, Volume 194, 104745, ISSN 0341-8162. 2020.
- [4] T. Yue, Y. Xie, Sh. Yin, B. Yu, Ch. Miao, W. Wang, "Effect of time resolution of rainfall measurements on the erosivity factor in the USLE in China", International Soil and Water Conservation Research, Volume 8, Issue 4, Pages 373-382, ISSN 2095-6339. 2020.
- [5] T.G Pham, J. Degener, M. Kappas," Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam", International Soil and Water Conservation Research, Volume 6, Issue 2, Pages 99-110, ISSN 2095-6339. 2018.
- [6] J. Li, M. Xiong, R. Sun, L. Che, "Temporal

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

- [11] J. Arnold, "SWAT (Soil and Water Assessment Tool)", Grassland. Soil and Water Research Laboratory, USDA, Agricultural Research Service. 1994.
- [12] J.R. Williams, C.A. Jones, P.T. Dyke, "The EPIC model and its application. In Proc", Int. Symp. on minimum data sets for agrotechnology transfer, Pages 111-121, India: Patancheru. 1984.
- [13] J.M. Laflen, L.J. Lane, G.R. Foster, "WEPP: A new generation of erosion prediction technology", Journal of soil and water conservation, Volume 46, Issue 1, Pages.34-38. 1991.
- [14] Y.S. Kebede, N.T. Endalamaw, B.G. Sinshaw, H.B. Atinkut, "Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia", Environmental Challenges, Volume 2, 100009, ISSN 2667-0100. 2021.
- [15] S. Mohammed, K. Alsafadi, S. Talukdar, S. Kiwan, S. Hennawi, O. Alshihabi, M. Sharaf, E. Harsanyie, "Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach", Remote Sensing Applications: Society and Environment, Volume 20, 100375, ISSN 2352-9385. 2020.
- [16] Z .Taheri Babadi, B. Moteshaffeh, SH. Roshaan "Assessment The Impact of Land use Changes on Soil Erosion using GIS and Remote Sensing Based on The RUSLE Model (Case Study: Behbahan County) ", Journal of Arid Biome. 2023.
- [17] Md. Zafor, K. Moumita, and M. Ramakrishna "Evaluating the soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS: A case study of Dwarakeshwar-Rupnarayan basin, West Bengal, India ", In AIP Conference Proceedings, vol. 2713, no. 1. AIP Publishing. 2023.
- [18] D. Gwapedza, N. Nyamela, D.A. Hughes, A.R. Slaughter, S.K. Mantel, B.V.D Waal, "Prediction of sediment yield of the Inxu River catchment (South Africa) using the MUSLE", International Soil and Water Conservation Research, ISSN 2095-6339.

2020.

- [19] R. Hao, X. Huang, , Z. Cai, H. B. Xiao, J. Wang, Z. H. Shi, "Incorporating sediment connectivity index into MUSLE model to explore soil erosion and sediment yield relationships at event scale", Journal of Hydrology, 614, 128579. 2022.
- [20] O. Aygün, C. Kinnard, S. Campeau, "Responses of soil erosion to warming and wetting in a cold Canadian agricultural catchment", Catena, Volume 201, Article 105184. 2021.
- [21] S. Lee, G. Lee, D. Yang, Y. Choi, K. J. Lim, W. S. Jang, "Occurrence and behavior analysis of soil erosion by applying coefficient and exponent of MUSLE runoff factor depending on land use", Journal of Wetlands Research, Volume 21(spc), Pages 98-106. 2019.
- [22] L.A. James, D.G. Watson, W.F. Hansen, " Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA", Catena, Volume 71, Issue 1, Pages 132-144. 2007.
- [23] M. El Haj Tahir, A. Kääb, C.Y. Xu, "Identification and mapping of soil erosion areas in the Blue Nile, Eastern Sudan using multispectral ASTER and MODIS satellite data and the SRTM elevation model", Hydrology and earth system sciences, Volume 14, Issue 7, Pages 1167-1178. 2010.
- [24] S. Kumar, S. Gupta, "Geospatial approach in mapping soil erodibility using CartoDEM-A case study in hilly watershed of Lower Himalayan Range", Journal of Earth System Science, Volume 125, Pages 1463-1472. 2016.
- [25] M. Tayebi, M.H.Tayebi, A. Sameni, "Soil erosion risk assessment using GIS and CORINE model: a case study from western Shiraz, Iran", Archives of Agronomy and Soil Science, Volume 63, Issue 8, Pages 1163-1175. 2017.
- [26] M.K. Hazarika, K. Honda, "Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS:

شناسایی مناطق دار ای فرسایش شدید خـاک بـا اسـتفاده...

سمیه ابر اهیمز اده و همکار ان

Its valuation and economic implications on agricultural production", Sustaining the global farm, Volume 1, Pages 1090-1093. 2001.

- [27] D.D. Alexakis, D.G. Hadjimitsis, A. Agapiou, "Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus", Atmospheric Research, Volume 131, Pages 108-124. 2013.
- [28] J.G. Liu, H. Lee, T. Pearson, "Detection of rapid erosion in SE Spain using ERS SAR interferometric coherence imagery", Proc. SPIE 3868, Remote Sensing for Earth Science, Ocean, and Sea Ice Applications, 1999.
- [29] M.J Marques, A. Alvarez, P. Carral, B. Sastre, R. Bienes, "The use of remote sensing to detect the consequences of erosion in gypsiferous soils", International Soil and Water Conservation Research, Volume 8, Issue 4, Pages 383-392, ISSN 2095-6339, 2020.
- [30] A. El Jazouli, A. Barakat, R. Khellouk, J. Rais, M. El Baghdadi, "Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco)", Remote Sensing Applications: Society and Environment, Volume 13, Pages 361-374, ISSN 2352-9385. 2019.
- [31] D. Bargiel, S. Herrmann, J. Jadczyszyn, "Using high-resolution radar images to determine vegetation cover for soil erosion assessments", Journal of Environmental Management, Volume 124, 82-90, ISSN 0301-4797, 2013.
- [32] M. Sharifikia, F. Rabbani. "Source routing and detection of dust storm in the Salt Lake basin of Qom in Iran". Arabian Journal of Geosciences, 13(14), 1-17. 2020.
- [33]A. Khademalrasoul and H. Amerikhah, "Investigation of Geomorphometric Parameters to Simplify Water Erosion Modelling (a Case Study: Emamzadeh

Watershed, Iran)," Polish Journal of Soil Science, 55(1), 1–18, 2022.

- [34] M. FITRZYK. "Determining soil erosion by water using high resolution remotelysensed data". IAHS-AISH publication, 319-326. 2012.
- [35] G. I. Tternicht, J. A. Zinck. "Evaluating the information content of JERS-1 SAR and Landsat TM data for discrimination of soil erosion features". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 53(3), 143-153. 1998.
- [36] J. R. Kim, C. W. Lin, S. Y. Lin. "The use of InSAR phase coherence analyses for the monitoring of eolian erosion. Remote Sensing", 13(12), 2240. 2021.
- [37] N. Sar, A. Khan, S. Chatterjee, A. Das, B. S. Mipun. "RETRACTION: Coupling of analytical hierarchy process and frequency ratio based spatial prediction of soil erosion susceptibility in Keleghai river basin, India". 2016.
- [38] J. G. Liu, H. Lee, T. Pearson. "Detection of rapid erosion in SE Spain using ERS SAR interferometric coherence imagery". In Remote Sensing for Earth Science, Ocean, and Sea Ice Applications, 3868, 525-535. 1999.
- [39] M. Soleimani, S. Attarchi, N. Mahmoodi-Vanolia, F. Bakhshizadeh, H. Ahmadi, "Evaluation of the capability of Sentinel-1 radar interference coherence data to prepare a land cover map". Spatial Information Technology Engineering. 9 (3), 107-85. 2021.
- [40] H. Ahmadi, Applied Geomorphology (Water Erosion), University of Tehran Press. 2008.
- [41] R.F. Hanssen. "Radar interferometry: data interpretation and error analysis (Vol. 2)". Springer Science & Business Media. 2001.
- [42] M. Simons, P.A. Rosen. "Interferometric synthetic aperture radar geodesy". California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA. 2007.

سال یازدهم ● شماره سوم ● پاییز ۱۴۰۲

- [43] Z. Hajeb, Z. Mousavi, Z. Masoumi, A. Rezaei, "Study of subsidence in Qom plain using radar interferometry and hydrogeological characteristics of the aquifer". Journal of Earth Sciences (114) 29. 1398.
- [44] R. Papi, S. Attarchi, M. Soleimani. "Time series analysis of land subsidence in the west of Tehran province (Shahriyar plain) and its relationship with groundwater abstraction by radar interference technique". Geography and Environmental Stability, 10 (1), 128-109. 2016.
- [45] H. Mehrabi, S. Zaferanieh. "Estimation of Earthquake Damage Through Radar Interferometry (Case study: Bam 2003 Earthquake)". jgit; 7 (4):157-173. 2020.
- [46] S. Babaei, Z. Mousavi, M. Roustaei, N. Ahmadi, "The effect of spatial and temporal base length on the coherence of Sentinel-1A images", Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 10: 3. 2015.
- [47] A. Mestre-Quereda, J.M. Lopez-Sanchez, F. Vicente-Guijalba, A.W. Jacob, M.E. Engdahl, "Time-Series of Sentinel-1 Interferometric Coherence and Backscatter for Crop-Type Mapping". IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13, 4070-4084, 2020.
- [48] K. Alavi Panah, "Principles of modern remote sensing and interpretation of satellite images and aerial photographs" University of Tehran Press. 2009.
- [49] F. Firoozi, T. Tavosi; P. Mahmoudi. "Sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to droughts and wetlands in arid and semi-arid regions; a case study: Sistan plain of Iran". Geographical Information Quarterly. Volume 28. No. 110. 2019.

- [50] Alexandridis, k. Thomas K., et al. "The Effects of Seasonality in Estimating the C -Factor of Soil Erosion Studies." Land Degradation & Development. 26.6. 596-603. 2015.
- [51] M. Shariat Jafari, J. Ghayomian, H.R. Peyrovan." Intrinsic Sensitivity of Geological Formations to Weathering and Erosion in Basins Located in the Sedimentary-Structural Zone of Central Iran". 709-722. 2006.
- [52] S. Ebrahimzadeh, S.K Alavipanah,V. Mahboub. "Improving the C factor estimation in the RUSLE soil erosion model using gray wolf algorithm". Scientific Quarterly Journal of Geospatial Information Research(geosir). 1(1). 59-82. 2022.
- [53] J.R. Jensen, "Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (No. Ed. 4)", Prentice-Hall Inc, 2015.
- [54] A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca. "Permanent scatterers in SAR interferometry". IEEE Transactions on geoscience and remote sensing 39, no. 1: 8-20, 2001.
- [55] H. Lee, J.G. Liu, "Analysis of topographic decorrelation in SAR interferometry using ratio coherence imagery". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(2), 223-232, 2001.
- [56] Y. Shi, G. Liu, W. Wang, Q. Liu, R. Zhang, H. Jia, "Assessing the Glacier Boundaries in the Qinghai-Tibetan Plateau of China by Multi-Temporal Coherence Estimation with Sentinel-1A InSAR". Remote Sensing, 11(4), 392, 2019.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.11, No.3, Autumn 2023

Research Paper

Detection of areas with severely eroded soils using Sentinel-1 interferometric SAR coherence (Study area: Khuzestan province)

Somayeh Ebrahimzadeh¹, Masoud Soleimani¹, Sara Atarchi²*, Mehdi Saadat Novin¹, Seyed Hassan Shabanian¹

1- PhD student in remote sensing and Geographic Information System, faculty of geography, University of Tehran.

2- Associate professor, Department of remote rensing and geographic information system, faculty of geography, University of Tehran

Abstract

Soil erosion has devastating and irreversible consequences for human life. Hence, supportive measures are necessary to reduce and control soil erosion in the most affected areas. Achieving this goal requires detecting severely soil-eroded areas (SSEA), because it is not possible to implement the supportive measures throughout the area. The detection of SSEA using field-based methods is very difficult, costly, and faces various limitations. To deal with it, taking advantage of the remote sensing data capabilities has widely received attention today. The interaction of the radar signal with the surface roughness changes can be evaluated through Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) coherence changes. In fact, soil erosion causes the movement of soil particles and decreases the InSAR coherence. Accordingly, the aim of this study is to detect SSEA in Khuzestan province as one of the areas with high soil erosion rates using a processed time series of Sentinel-1 InSAR coherence from 2018 to 2020. The map of SSEA was obtained by detecting and excluding the other effective factors causing InSAR coherence reduction, such as water, vegetation, and topography. The validation of the results based on comparison with the valid soil erosion map of the study area revealed that more than 86% of SSEA detected by the proposed method is consistent with the ground reality. Moreover, the compatibility of SSEA with the genus and resistance of the different geological formations in the region, approves the validity of the results.

Key words: Soil Erosion, Remote Sensing, InSAR, Coherence, Sentinel-1.

Correspondence Address: Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geograph, University of Tehran, Tehran, Iran. Tel: +982161113268 Email: satarchi@ut.ac.ir