

## پهنه‌بندی و پایش خطر سیل بهار ۱۳۹۸ خوزستان با استفاده از داده های لندست-۸

کریم سلیمانی<sup>۱</sup>، شادمان درویشی<sup>۲\*</sup>

۱. استاد گروه مهندسی علوم آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مؤسسه آموزش عالی آبان هراز آمل

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۱/۰۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۳/۰۳)

## چکیده

پایش و پهنه‌بندی سیلاب کارکرد زیادی در کاهش خسارت‌های ناشی از آن دارد. هدف از مقاله حاضر، بررسی خطر سیل فروردین ۱۳۹۸ خوزستان با استفاده از داده‌های لندست-۸ است. ابتدا پیش‌پردازش تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. سپس، برای پایش سیل فروردین ۱۳۹۸ از شاخص‌های MNDWI و NDWI استفاده شد. پس از آن، نقشه پهنه خطر سیل در نرم‌افزار ArcGIS10.4 تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد بخش‌های جنوب و جنوب غربی از وضعیت خیلی شدید و بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی از وضعیت شدید خطر سیل برخوردارند که از مستعدترین نواحی سیل‌گیر در استان هستند. همچنین، پایش نقشه‌های سیل در استان خوزستان نشان می‌دهد که یک انطباق کامل بین نقشه پهنه‌بندی سیل و سیل اخیر وجود دارد. به طوری که با بررسی نقشه‌ها مشخص شد که سیل اخیر بیشتر در بخش‌های غرب، جنوب و جنوب غربی اتفاق افتاده است. بررسی مکانی نواحی سیلابی نشان می‌دهد شهرهای هویزه، دشت آزادگان، اهواز، خرمشهر، بندر ماهشهر، آبادان و به خصوص شادگان بیشتر از دیگر شهرها دچار سیل شده‌اند. در این میان، شهر شادگان بر اساس شاخص‌های MNDWI و NDWI به ترتیب ۱۹۱۳۴۹ و ۱۷۴۸۱۳ هکتار از اراضی آن تحت تأثیر سیل بوده است که بیشترین میزان نسبت به دیگر شهرهای استان را نشان می‌دهد. به طور کلی، با توجه به نتایج، استفاده از داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های MNDWI و NDWI برای پایش سیل و همچنین، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور پهنه‌بندی نواحی خطر سیلاب در مطالعات مرتبط پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژگان: سنجش از دور، MNDWI، NDWI، GIS.

## مقدمه

مخاطرات محیطی یکی از عوامل تأثیرگذار در جوامع بشری است که بروز آن سبب ایجاد بسیاری از مشکلات زیست‌محیطی برای ساکنان یک ناحیه می‌شود [۱ و ۲]. مخاطراتی مانند سیل، زلزله و خشک‌سالی هرساله در بسیاری از نقاط جهان مشکلات زیادی را به وجود می‌آورد [۳]. در این میان، وفور رخداد سیلاب در جهان (۴۰ درصد از کل بلایای طبیعی در جهان) [۴] و همچنین تأثیرات مخربی که این پدیده بر بخش‌های کشاورزی (تخریب زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها و محصولات کشاورزی و در نتیجه، تهدید امنیت غذایی انسان و...) [۵]، اقتصادی (تخریب اماکن عمومی مانند پل‌ها، جاده‌ها، زیرساخت‌های اقتصادی و...) [۶ و ۷] و اجتماعی (تخریب منازل مسکونی و به هم ریختن بافت فیزیکی نواحی شهری و...) به بار می‌آورد [۸ و ۹] از دلایل اهمیت این مطالعات در علوم محیطی محسوب می‌شود. این مسئله موجب شده است که روند این مطالعات از گذشته تا حال در جهان و ایران با توجه به توسعه علوم مختلف رو به رشد باشد [۱۰ و ۱۱]. وو<sup>۱</sup> و همکاران [۱۲] نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز رودخانه هواپهیی<sup>۲</sup> در چین را تهیه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که نقشه پهنه‌بندی ریسک سیل چندساله از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ با توزیع تاریخی سیلاب سازگار است که کاربرد این روش را در ارزیابی خطر سیلاب تأیید می‌کند. آرویند<sup>۳</sup> و همکاران [۱۳] به بررسی سیل با استفاده از تصاویر مادیس<sup>۴</sup> پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تصاویر سری زمانی مادیس اطلاعات مفیدی را برای مدیریت نواحی سیلابی ارائه می‌کند. داس<sup>۵</sup> [۱۴] در مطالعه‌ای با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP به پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز ماهاراشتر<sup>۶</sup> در هند پرداخت. نتایج نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد حدود ۲۰ درصد کل حوضه مستعد سیل است و باید این نواحی بایر مورد توجه جدی سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. میشر<sup>۷</sup> و همکاران [۱۵] به ارزیابی خطر سیل

در ناحیه کوسی<sup>۸</sup> در هند با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد این ناحیه یکی از نواحی مستعد سیل در کشور هند است و به برنامه‌ریزی صحیح نیاز دارد. تودوز<sup>۹</sup> و همکاران [۱۶] در تحقیقی به ارائه راه حل‌های زیست‌محیطی در رابطه با خطر سیل در نواحی ناتورا<sup>۱۰</sup>، کایوکاس<sup>۱۱</sup>، پوستاوارو<sup>۱۲</sup> و پایترامار<sup>۱۳</sup> را در رومانی پرداختند. نتایج مطالعه یادشده نشان داد نقشه‌های شبیه‌سازی شده هیدرولیکی می‌تواند کارکرد مؤثری در برنامه‌های حوضه آبریز داشته باشد. همچنین، روش‌های مطالعه حاضر ابزار مفیدی برای متولیان مناطق حفاظت‌شده طبیعی در تهیه برنامه‌های مدیریت سایت برای شناسایی آثار منفی ناشی از سیلاب در هر دو ساختار اجتماعی و اقتصادی است. اوگاتو<sup>۱۴</sup> و همکاران [۱۷] در تحقیقی خطر سیل حوضه آبخیز شهر اموا در کشور اتیوپی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تحلیل کردند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد خطر آب‌گرفتگی در حوضه آبخیز زیاد است. همچنین، این منطقه با احتمال ۴۱/۷۶ درصد یکی از مناطق مستعد سیلاب است. ژانگ<sup>۱۵</sup> و همکاران [۱۸] در تحقیقی با استفاده از مدل چندشاخصی مبتنی بر GIS به ارزیابی ریسک سیل در حوضه یانگ تسه در چین پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد ۲۴/۹۰ درصد از منطقه مطالعه‌شده در سال ۱۹۹۸ از نظر خطر سیل جزء مناطق پرخطر بوده است، در حالی که در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۱۵/۹۵ و ۱۷/۶۱ درصد از این منطقه جزء نواحی پرخطر بوده است. وانگ<sup>۱۶</sup> و همکاران [۱۹] در تحقیقی حساسیت به سیل را با استفاده از مدل شبکه عصبی حلقوی (CNN) نقشه‌برداری کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد کلیه روش‌های مبتنی بر CNN می‌توانند نقشه حساسیت به سیل را تولید کنند. سلیمانی و همکاران [۲۰] با بررسی عوامل مختلف در وقوع سیل ۷۸ نکارود به این نتیجه رسیدند که عوامل هیدرواقليم کارکرد زیادی در دبی اوج

8. Kosi

9. Tudose

10. Natura

11. Ciucas

12. Postavaru

13. Piatra Mare

14. Ogato

15. Zhang

16. Wang

1. Wu

2. Huaihe

3. Arvind

4. MODIS

5. Das

6. Maharashtra

7. Mishra

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های سنجش از دور است. استفاده از GIS و داده‌های بارش برای پهنه‌بندی سیلاب و همچنین، استفاده از داده‌های سنجش از دور با توجه به قدرت تفکیک مکانی و پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای دو ابزار مفید برای مدیریت سیلاب محسوب می‌شوند. از این‌رو، ترکیب علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گامی مؤثر برای نشان دادن نواحی مستعد سیل و همچنین، مناطق تحت تأثیر سیل است. با شناسایی مناطق مستعد و درگیر سیل می‌توان اقدامات مؤثری برای مدیریت سیلاب‌های آینده و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل انجام داد [۲۷ و ۲۸]. شرایط اقلیمی کشور موجب شده است که پراکندگی بارش از الگوی منظمی پیروی نکند و در برخی نواحی همانند نواحی جنوب غربی بارش‌ها بیشتر به صورت رگباری باشد. یکی از استان‌های مستعد سیل در نواحی جنوب غربی کشور، استان خوزستان است. با توجه به ماهیت رگباری بودن بارش‌ها در این نواحی و همچنین، مسطح بودن سطح استان چنانچه بارش‌ها بیش از حد باشد، موجب جمع شدن آب به‌خصوص در نواحی جنوبی استان می‌شود. موضوعی که در سیل اخیر (سیل فروردین ۱۳۹۸) به‌روشنی دیده شد این بود که سیل یادشده موجب آب‌گرفتگی وسیع شهرها، روستاها، راه‌ها، راه‌آهن و اراضی کشاورزی و خسارت زیادی به تمامی بخش‌ها شامل نفت و انرژی، حمل‌ونقل و بازرگانی و صنعت و کشاورزی شد [۲۶]. در پی این اتفاق، هدف مطالعه حاضر، پهنه‌بندی مناطق وقوع سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و پایش سیل اخیر استان خوزستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. بدیهی است یافته‌های این مطالعه کارکرد زیادی در کاهش تأثیرات نامطلوب سیل در این ناحیه خواهد داشت.

## مواد و روش‌ها

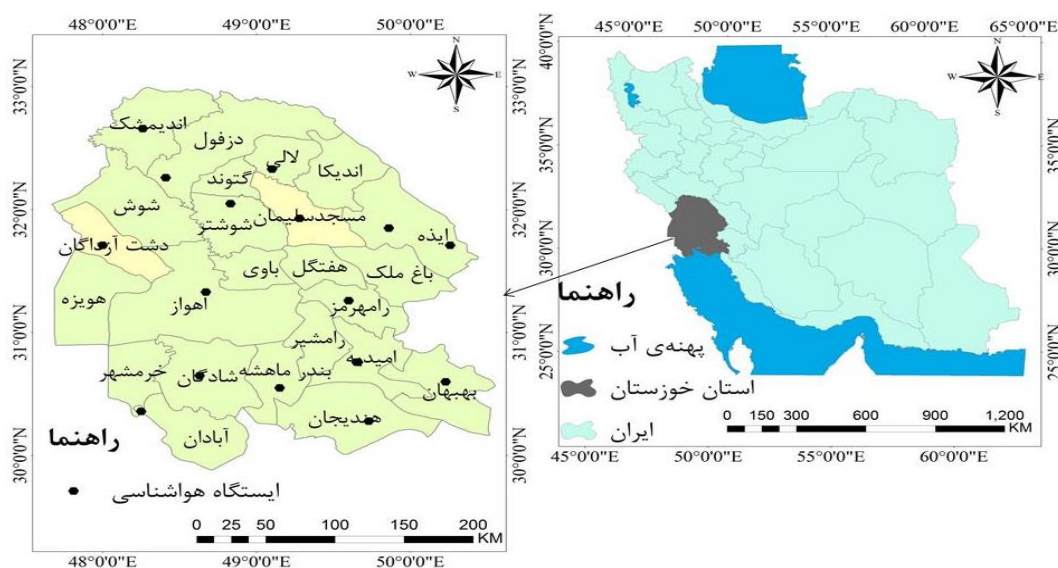
### داده‌ها

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). رژیم بارشی نامنظم در نیمه جنوب غربی کشور موجب بروز بارش‌های رگباری

سیل داشته است. سلیمانی و همکاران [۲۱] پتانسیل سیل در حوضه کسلیان را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC-RAS و مدل HEC-GeoRas در تحلیل پتانسیل تولید سیل قابلیت زیادی دارد. شیخ‌علیشاهی و همکاران [۲۲] پهنه‌بندی سیل را در حوضه آبریز منشاد استان یزد مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC-RAS در تحلیل مناطق سیل‌گیر سبب تسهیل محاسبات و کاهش عملیات میدانی می‌شود. بنابراین، کاربرد آن در آبریزها توصیه می‌شود. روستایی و همکاران [۲۳] در تحقیقی نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز نکارود را با استفاده از مدل SCS-CN تهیه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد به‌کارگیری هم‌زمان از فناوری سنجش‌از‌دور و GIS و با استفاده از مدل SCS-CN می‌تواند در تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌های آبخیز مفید باشد. محمودزاده و همکاران [۲۴] در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی سیلاب در شهر ساری با استفاده از منطق فازی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد خطر سیل در مرکز و جنوب شهر، بیشترین مقدار را داشته است. نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد ۲۴/۱۲ درصد از محدوده نقشه در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار گرفته‌اند. راد و همکاران [۲۵] در تحقیقی به پهنه‌بندی سیل در حوضه آبخیز خرم‌آباد با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد پهنه سیل مربوط به دبی با دوره بازگشت دوساله با ۱۴۵/۱۲۵ مترمکعب بر ثانیه مساحتی برابر با ۸/۶۳ کیلومترمربع و پهنه سیل مربوط به دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با ۵۵۳/۷۸۱ مترمکعب بر ثانیه مساحتی برابر با ۱۰ کیلومترمربع در منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رجبی‌زاده و همکاران [۲۶] در مطالعه‌ای سیل فروردین استان خوزستان را بررسی کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد مشکل اصلی در تشدید سیل اخیر، عدم اعتماد و اطمینان دست‌اندرکاران مدیریت سیل به پیش‌بینی‌ها و نتایج شبیه‌سازی‌های مربوط به آن در اجرای به‌موقع اقدامات کنترل سیل و نیز استفاده از کلیه قابلیت‌ها و ظرفیت‌های مخازن سدها برای کنترل و تعدیل سیل بود. امروزه یکی از روش‌های پرکاربرد در مطالعات سیلاب،

در تحقیق حاضر برای پهنه‌بندی سیلاب از نقشه‌های تراکم زهکشی، پوشش گیاهی، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب و داده‌های بارش استفاده شد (جدول ۱). همچنین، برای پایش سیل اخیر (فروردین ماه ۱۳۹۸) با توجه به قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب تصاویر لندست، از این تصاویر استفاده شد. تاریخ تصاویر مربوط به فروردین و اوایل اردیبهشت است. این تصاویر از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده دریافت شد (جدول ۲). همچنین، در خور یادآوری است لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سنجنده Aster و از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دریافت شد (جدول ۲) و در ضمن، داده‌های بارش از ۱۹ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) از سایت هواشناسی کشور و اداره هواشناسی استان خوزستان دریافت شد (جدول ۳). بعد از جمع‌آوری داده‌ها، کلیه لایه‌ها و تصاویر در نرم‌افزارهای ENVI5.3 و ARCGIS10.4 پردازش شدند.

در ایام سال به‌خصوص در فصل بهار شده است [۲۹]. این رژیم بارشی، استان‌های بخش‌های جنوب غربی را به مناطق مستعد سیل خیز و سیل‌گیر تبدیل کرده است. با توجه به اینکه سرچشمه رودهای بزرگ این ناحیه مانند رودهای کارون، کرخه و دز از نواحی بالادست استان خوزستان سرچشمه می‌گیرد و همچنین، به دلیل ارتفاع پایین و کم‌شیب بودن سطح استان خوزستان به‌خصوص در نواحی جنوبی و جنوب غربی این ناحیه، چنانچه در نواحی بالادست استان طغیان آب اتفاق بیفتد، موجب جاری شدن آب از نواحی بالادست به سمت نواحی پایین‌دست و جمع شدن آب در سطح استان خواهد شد. بنابراین، با توجه به سیل‌گیر بودن استان، پهنه‌بندی و پایش سیل گامی مؤثر برای کاهش و کنترل خسارت‌های ناشی از سیل در برنامه‌ریزی‌های آینده است. بدیهی است استفاده از نتایج این مطالعه در کاهش خسارت‌های ناشی از سیل بسیار کارآمد و مؤثر خواهد بود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

جدول ۱. مشخصات داده‌های استفاده‌شده [۲۹ و ۳۰]

منبع	داده
اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان سال ۱۳۹۸	کاربری اراضی
	تراکم زهکشی
	فاصله از آبراهه
	لیتولوژی
	توپوگرافی
	بارش

جدول ۲. مشخصات تصاویر استفاده شده [۳۱ و ۳۲]

ماهواره	سنجنده	باند	وضوح (m)	ماهواره	سنجنده	باند	وضوح (m)
Landsat 8	OLI/TIRS	Aster Terra	۱۵	۱	۰/۴۳ - ۰/۴۵	۱۵	۰/۵۲ - ۰/۶۰
				۲	۰/۴۵ - ۰/۵۱	۲	۰/۶۲ - ۰/۶۹
				۳	۰/۵۳ - ۰/۵۹	۳	۰/۷۶ - ۰/۸۶
				۴	۰/۶۴ - ۰/۶۷	۴	۱/۶۰ - ۱/۷۰
				۵	۰/۸۵ - ۰/۸۸	۵	۲/۱۴ - ۲/۱۸
				۶	۱/۵۷ - ۱/۶۵	۶	۲/۲۲ - ۲/۱۸
				۷	۲/۱۱ - ۲/۲۹	۷	۲/۲۸ - ۲/۲۳
				۸	۱/۳۶ - ۱/۳۸	۸	۲/۲۹ - ۲/۳۶
				۹	۰/۵۰ - ۰/۶۸	۹	۲/۳۶ - ۲/۴۳
				باندهای حرارتی			
				۱۰	۱۰/۶۰ - ۱۱/۱۹	۱۰	باندهای حرارتی
				۱۱	۱۱/۵۰ - ۱۲/۵۱	۱۱	۸/۱۲ - ۸/۴۷
				۱۲		۱۲	۸/۴۷ - ۸/۸۲
				۱۳		۱۳	۸/۹۲ - ۹/۲۷
۱۴		۱۴	۱۰/۲ - ۱۰/۹۵				
			۱۰/۹ - ۱۱/۶۵				

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان [۳۳]

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اهواز		۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۲۲/۵
امیدیه		۴۹/۶۶	۳۰/۷۶	۳۵
مسجد سلیمان		۴۹/۲۸	۳۱/۹۳	۳۲۰
بندر ماهشهر		۴۹/۵	۳۰/۵۵	۶/۲
رامهرمز		۴۹/۶	۳۱/۲۶	۱۵۰
آبادان		۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۶/۵
ایذه		۴۹/۸۷	۳۱/۵۸	۷۶۸
شوشتر		۴۸/۸	۳۲/۵۱	۶۷
آغاجاری		۴۹/۶۷	۳۰/۶۴	۲۷
بهبهان	سینوپتیک	۵۰/۲۳	۳۰/۶	۳۱۳
بستان		۴۸	۳۱/۷۱	۸
صفی آباد		۴۸/۲۵	۳۲/۱۶	۸۲/۹
حسینیه		۴۸/۱۶	۳۲/۴۰	۳۵۴
شادگان		۴۸/۳۸	۳۰/۳۹	۳
لاگی		۴۹/۶	۳۲/۲۰	۳۶۵
هندیجان		۴۹/۴۴	۳۰/۱۷	۳
دهدز		۵۰/۱۶	۳۱/۴۳	۱۴۵۷
شوش		۴۸/۱۵	۳۲/۱۲	۷۲
گتوند		۴۸/۴۹	۳۲/۱۵	۱۰۰

## روش‌ها

## پیش‌پردازش تصاویر لندست

در این مطالعه به منظور آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4 و ENVI 5.3 استفاده شد. ابتدا پیش‌پردازش تصاویر شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام گرفت. به منظور تصحیح هندسی تصاویر و رفع خطاهای احتمالی، ابتدا با استفاده از ۲۰ نقطه کنترل جمع‌آوری شده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تصاویر در نرم‌افزار ArcGIS 10.4 با خطای میانگین مربعات (RMSE<sup>۱</sup>) کمتر از ۰/۵ پیکسل زمین مرجع شدند. سپس، مختصات کلیه تصاویر به مختصات واقعی زمین (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_39N) تبدیل شدند [۳۴ و ۳۵]. در ادامه، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری تصاویر به ترتیب با تبدیل تصاویر به رادیانس<sup>۲</sup> و اعمال الگوریتم FLAASH<sup>۳</sup> انجام شد. الگوریتم FALASH برای بازیابی مقادیر بازتابی از رادیانس تصاویر چندطیفی توصیه شده است [۳۶]. بعد از عملیات پیش‌پردازش، به منظور بهبود قدرت تفکیک مکانی تصاویر عملیات فیوژن<sup>۴</sup> با استفاده از باند پانکروماتیک (باند ۸ تصاویر لندست ۸) روی تصاویر اعمال شد و قدرت تفکیک مکانی تصاویر از ۳۰ متر به ۱۵ متر بهبود پیدا کرد و در ادامه، با توجه به قرارگیری منطقه مطالعه شده در ۸ فرم (path/row) کلیه تصاویر موزاییک شدند. سپس، محدوده استان با استفاده از شیب فایل منطقه از تصاویر برش داده شد. یکی از روش‌های پرکاربرد غالب برای تهیه نقشه پهنه‌های آبی در علم سنجش از دور، استفاده از شاخص‌های طیفی است [۳۱]. این شاخص‌ها از ترکیب باندهای حساس به پهنه‌های آب (باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک) محاسبه می‌شود و یکی از روش‌های دقیق برای نقشه‌برداری از پهنه‌های آبی هستند [۳۷]. بنابراین، در مطالعه حاضر پایش سیل فروردین ۱۳۹۸ با استفاده از شاخص پرکاربرد NDWI<sup>۵</sup> و MNDWI<sup>۶</sup> انجام گرفت و نقشه سیل استان با استفاده از این شاخص‌ها تهیه و مساحت مناطق تحت

تأثیر سیل برآورد شد. همچنین، به منظور ارائه نتایج معتبر، دقت شاخص‌های طیفی (NDWI و MNDWI) با استفاده از نقاط کنترل زمینی ارزیابی شد.

## شاخص NDWI

این شاخص از ترکیب باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک استخراج می‌شود [۳۸]. پهنه‌های آب دارای بازتابش کم و جذب قوی به ترتیب در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز هستند. در نتیجه، ترکیب این باندها برای استخراج پهنه‌های آب می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه کند [۳۹ و ۴۰].

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

در رابطه ۱، NDWI شاخص نرمال‌شده تفاضل آب؛ GREEN، باند سبز (باند ۳ در تصاویر سنجنده OLI/TIRS) و NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵ در تصاویر سنجنده OLI/TIRS) است [۴۱].

## شاخص MNDWI

این شاخص که در واقع حالت بهبودیافته شاخص NDWI است، نخستین بار توسط Xu در سال ۲۰۰۶ معرفی شد [۴۲]. این شاخص از ترکیب باندهای سبز (Green) و مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه (SWIR) به دست می‌آید. در این شاخص پهنه‌های آبی ارزش‌های مثبت دارند [۴۳ و ۴۴].

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (2)$$

در رابطه ۲، MNDWI شاخص بهبودیافته تفاضل نرمال‌شده آب و SWIR نیز باند مادون قرمز با طول موج کوتاه است (باند ۶ در تصاویر سنجنده TIRS/OLI) [۴۵].

## ارزیابی دقت شاخص‌های NDWI و MNDWI

ارزیابی دقت شاخص‌ها با استفاده از روابط ۳ و ۴ و داده‌های کنترل زمینی در قالب صحت کلی و ضرایب کاپا انجام گرفت [۴۶].

$$OA = \frac{1}{N(\sum P_{ij})} \quad (3)$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ji} - \sum_{i=1}^r (X_i + X + i)}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_i + X + i)} \quad (4)$$

در رابطه ۱، OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌ها و  $\sum P_{ij}$  مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و در

1. Root Mean Square Error
2. Radiance
3. Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercube
4. Fusion
5. Normalized Difference Water Index
6. Modified Normalized Difference Water Index

نقشه‌های فاصله از آبراهه و تراکم زهکشی نقشه‌های تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه با استفاده از لایه جریان‌های رودخانه در استان استخراج شدند. لایه تراکم زهکشی با استفاده از دستور Line Density و لایه فاصله از آبراهه با استفاده از دستور Euclidean distance تهیه شدند.

#### نقشه ارتفاع و شیب

برای تهیه نقشه ارتفاعی و شیب از لایه DEM استان استفاده شد. لایه DEM منطقه مطالعه شده با دقت ۳۰ متر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دریافت شد. بعد از اخذ تصاویر، کلیه فرم‌های تصویر در نرم‌افزار ENVI5.3 موزاییک شدند. در ادامه، نقشه‌های ارتفاعی و شیب استان در محیط GIS تهیه شدند.

#### نقشه کاربری اراضی و لیتولوژی (زمین‌شناسی)

نقشه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی از اداره منابع طبیعی استان دریافت شد. این نقشه‌ها بعد از حذف فیلدهای تکراری، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب به فرمت رستر تبدیل شدند. بعد از آماده‌سازی لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی سیل در چهار کلاس با شدت‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در محیط ARCGIS10.4 تهیه شد. درخور یادآوری است برای وزن‌دهی به لایه‌های مرتبط و تهیه نقشه نهایی از نظر کارشناسان مرتبط بهره گرفته شد.

رابطه ۲، ۲ تعداد سطرها و ستون‌ها در ماتریس ابهام،  $x_i$  و  $x_i+1$  به ترتیب مجموع کل سطر  $i$  و ستون  $j$  و  $N$  تعداد کل پیکسل‌ها است [۴۷].

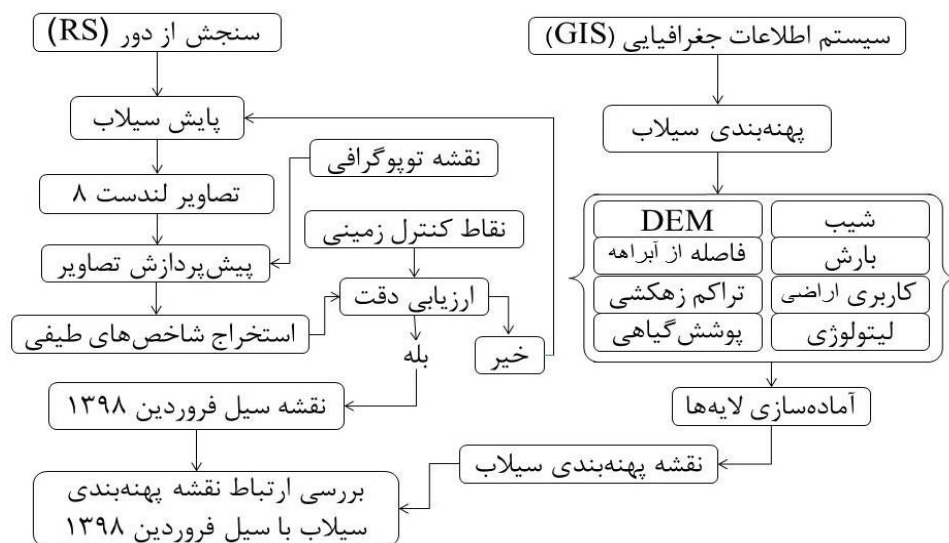
#### پهنه‌بندی سیل

##### نقشه پوشش گیاهی

نقشه پوشش گیاهی استان خوزستان با استفاده از تصاویر لندست و با اعمال شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) تهیه شد. شاخص NDVI یکی از شاخص‌های دقیق در پایش و استخراج پوشش گیاهی است [۳۱ و ۳۲]. در مطالعه حاضر پس از اعمال شاخص NDVI به منظور جداسازی پیکسل‌های پوشش گیاهی از پیکسل‌های غیر پوشش گیاهی از روش آستانه‌گذاری استفاده شد [۴۸]. به این صورت که پیکسل‌های مساوی و بزرگ‌تر از ۰/۲ به عنوان پیکسل پوشش گیاهی معرفی شد [۴۹ و ۵۰].

#### لایه بارش

به منظور آماده‌سازی لایه بارش، ابتدا داده‌های بارش از سایت سازمان هواشناسی کشور و سایت اداره هواشناسی استان خوزستان مربوط به یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) جمع‌آوری شد. سپس، با استفاده از مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان، نقشه بارش استان در محیط ARCGIS10.4 ترسیم شد.



شکل ۲. فلوچارت پژوهش

## یافته‌ها

## بررسی دقت نقشه‌های پایش سیلاب

امروزه داده‌های سنجش‌ازدور به‌طور وسیعی در مطالعات علوم محیطی و مخاطرات طبیعی استفاده می‌شود و به‌منظور ارائه نتایج دقیق و معتبر، باید نتایج استخراج‌شده از داده‌های سنجش‌ازدور با داده‌های واقعی ارزیابی شود. در مطالعه حاضر دقت نقشه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ مستخرج از تصاویر لندست با داده‌های واقعی بررسی شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده دقت نقشه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ برای شاخص‌های MNDWI و NDWI بیش از ۸۸ درصد است (جدول ۴). با توجه به اینکه حداقل صحت کلی قابل قبول ۸۵ درصد [۵۱ و ۵۲] و همچنین، توافق عالی ضرایب کاپا  $\leq 75$  درصد است [۵۳]، می‌توان گفت که نقشه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ در این مطالعه دقت قابل قبولی دارند.

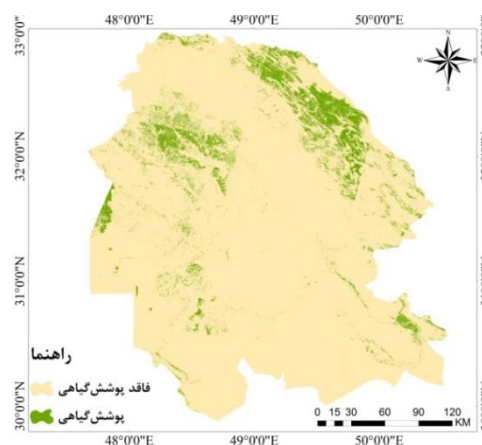
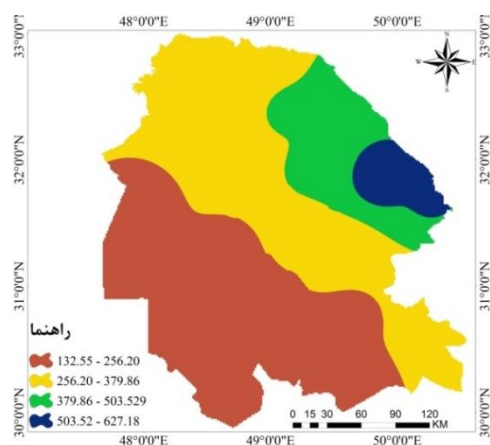
جدول ۴. گزارش ارزیابی دقت شاخص‌های MNDWI و NDWI (درصد)

شاخص	صحت کلی	ضرایب کاپا
MNDWI	۹۳	۹۰
NDWI	۹۱	۸۸

## بررسی نقشه پهنه‌بندی سیل فروردین ۱۳۹۸

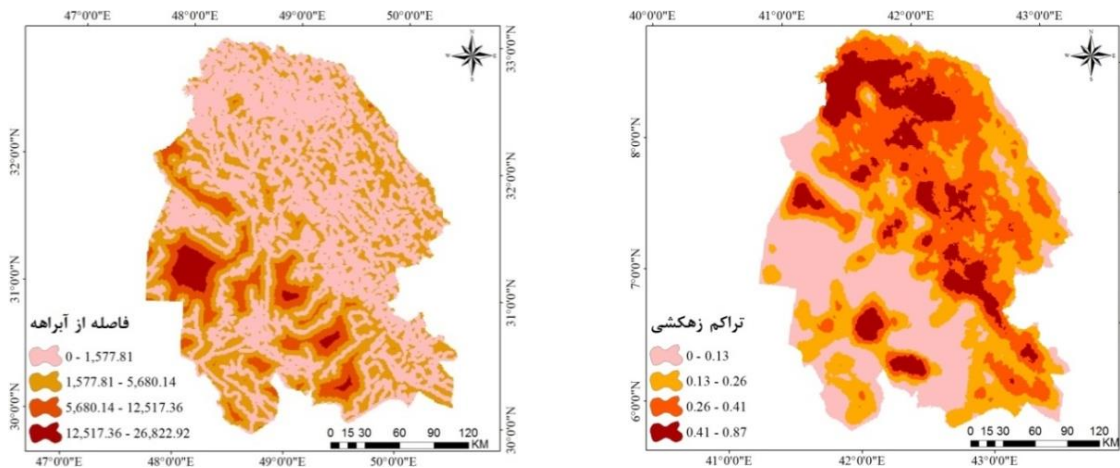
بعد از آماده‌سازی نقشه‌های پوشش گیاهی و بارش (شکل ۳)، تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه (شکل ۴)، کاربری اراضی و لیتولوژی (شکل ۵) و نقشه‌های ارتفاعی و شیب

(شکل ۶) نقشه پهنه‌بندی سیلاب در سطح استان استخراج و نواحی مستعد بررسی شد. بررسی این نقشه نشان داد بخش‌های غرب، جنوب و جنوب غربی از وضعیت خیلی شدید و بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی، وضعیت شدید در زمینه سیل‌گیری دارند و این نواحی از مستعدترین نواحی سیل‌گیر در استان خوزستان هستند (شکل ۷). همچنین، وسعت مناطق مستعد سیلاب در نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد مساحت نواحی با شدت کم، متوسط، شدید و خیلی شدید از لحاظ شدت سیل‌گیری به‌ترتیب ۱/۰۶، ۸۳۰۵/۱۱، ۳۸۹۲۷/۶ و ۱۴۹۲۳/۹ کیلومترمربع است که این مطلب نشان‌دهنده وسعت مناطق شدید و خیلی شدید است. به بیان دیگر، بیشتر مساحت استان از لحاظ سیل‌گیری در وضعیت شدید و خیلی شدید قرار دارد. همچنین، بررسی مکانی نقشه پهنه‌بندی سیلاب نشان می‌دهد شهرهای اهواز، دشت آزادگان، هویزه، خرمشهر، آبادان، شادگان، بندر ماهشهر، هندیجان و امیدیه در بخش‌های غربی، جنوب غربی و جنوبی استان از لحاظ شدت سیل‌گیری در وضعیت خیلی شدید و شهرهای شوش، شوشتر، گتوند، باوی، رامشیر، رامهرمز، بهبهان، اندیمشک و دزفول در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوب شرقی، در وضعیت شدید قرار دارند. همچنین، شهرهای ایذه، لالی، اندیکا و مسجدسلیمان در بخش‌های شمال شرقی و شرقی به دلیل داشتن وضعیت مناسب پوشش گیاهی نسبت به سایر نواحی از لحاظ سیل‌گیری در وضعیت متوسط قرار دارند.

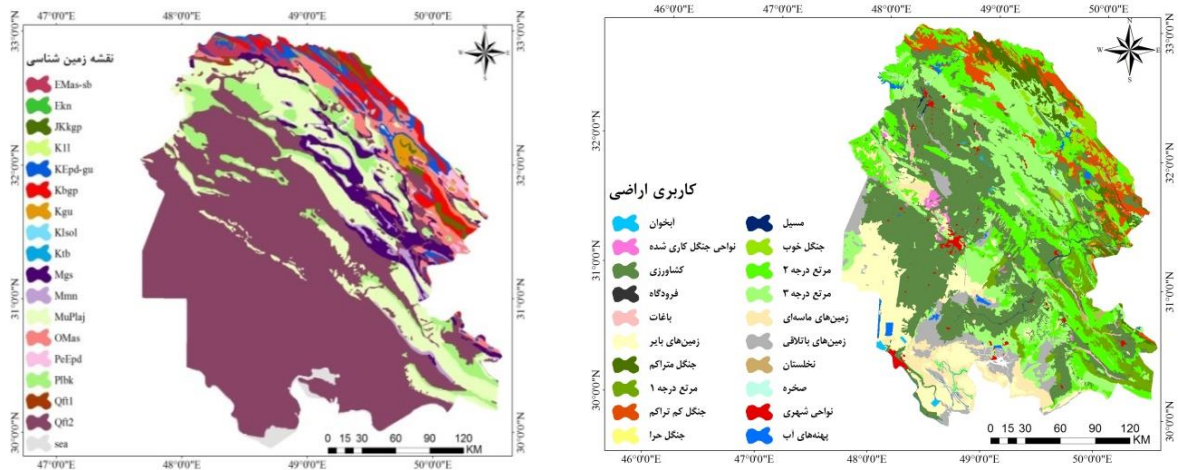


شکل ۳. نقشه پوشش گیاهی (راست) و نقشه بارش به میلی‌متر (چپ)

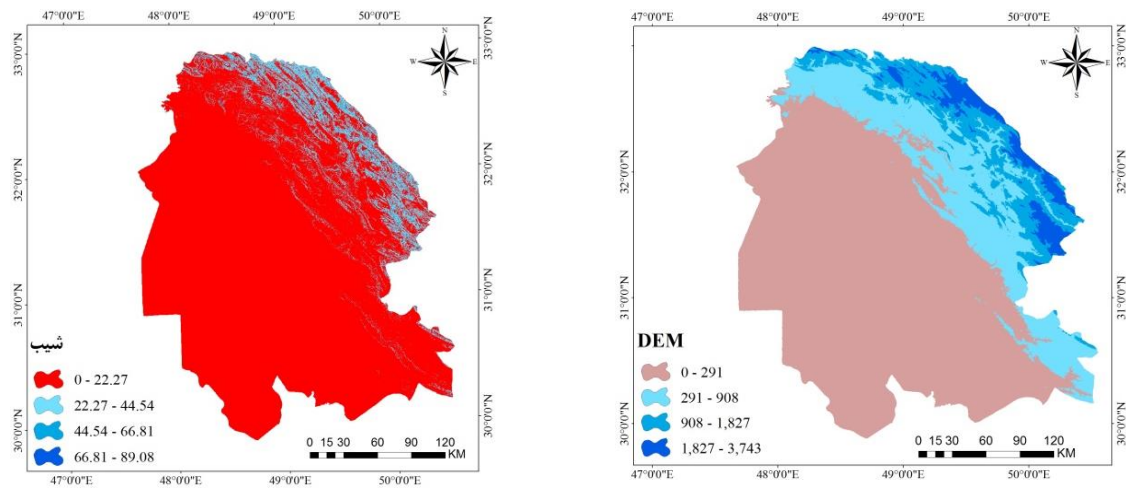




شکل ۴. نقشه تراکم زهکشی (راست) و نقشه فاصله از آبراهه به متر (چپ)



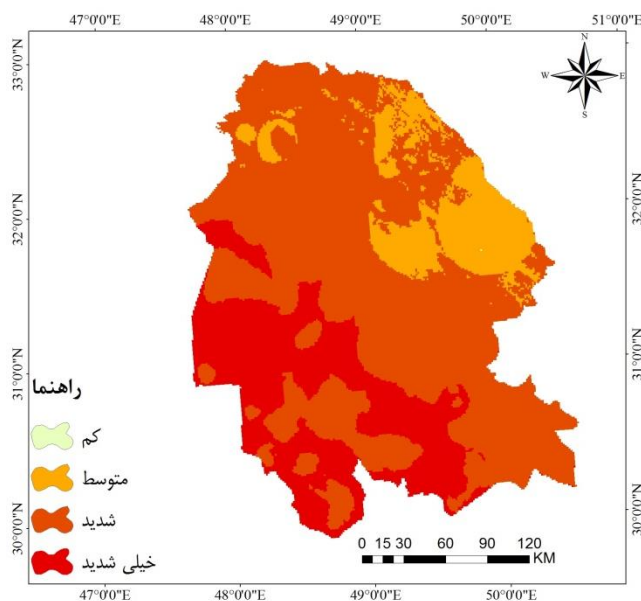
شکل ۵. نقشه کاربری اراضی (راست) و نقشه لیتولوژی (چپ)



شکل ۶. نقشه ارتفاعی به متر (راست) و نقشه شیب بر حسب درجه (چپ)

سیل قرار گرفته است (جدول‌های ۵ و ۸). سیل اخیر در استان خسارت‌های زیادی را به بسیاری از زیرساخت‌های کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی و انسانی وارد کرد و موجب تخلیه بسیاری از نواحی روستایی و همچنین، خسارت‌های بسیاری به این نواحی شد. بنابراین، توجه به نواحی سیل‌گیر استان و برنامه‌ریزی در این نواحی برای جلوگیری از خسارت‌های زیاد ناشی از این بلای طبیعی باید مورد توجه برنامه‌ریزان در برنامه‌های آینده قرار گیرد تا خسارت‌های ناشی از سیل به حداقل ممکن برسد. موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های اقلیمی و همچنین ارتفاع پایین به خصوص در نواحی غرب و جنوب غربی و جنوب، این استان را به یکی از نواحی مستعد سیل تبدیل کرده است. متأسفانه، روشی مورد اطمینان برای اینکه پیش‌بینی شود که سیلاب بعدی چه زمانی به وقوع می‌پیوندد و ابعاد آن در چه مقیاسی است، وجود ندارد. با این‌وجود، سیلاب‌های گذشته (مانند سیل اخیر) سرنخ‌ها را از آنچه محتمل است به دست می‌دهد و مهندسين با مطالعه سیلاب‌هایی با ابعاد مختلف را برآورد می‌کنند. بنابراین، نتایج مطالعه حاضر تأثیر زیادی بر آگاهی از نواحی مستعد سیل دارد و استفاده از این نتایج در برنامه‌های آینده در کاهش خسارت‌های ناشی از سیل، بسیار مفید و کارآمد خواهد بود.

همچنین، با بررسی نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه پهنه‌بندی سیل مشخص می‌شود که بیشتر بخش‌های جنوب و جنوب غرب که از مناطق مستعد وقوع سیل هستند، به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی منطقه، زمین‌های بایر، ماسه‌ای و اراضی دیم دارند. در این نواحی به دلیل ارتفاع پایین حرکت آب کند شده و موجب جمع شدن آب در این نواحی می‌شود (مسئله‌ای که در سیل فروردین‌ماه ۱۳۹۸ مشاهده شد). بررسی و ارزیابی نقشه‌های سیل در شاخص‌های MNDWI و NDWI نشان می‌دهد سیل اخیر بیشتر بخش‌های غرب، جنوب غربی و جنوب استان را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۸). ارتفاع و شیب بسیار پایین این مناطق سبب جمع شدن آب شده است. بررسی مساحت مکانی نواحی سیلابی نشان می‌دهد شهرهای هویزه، دشت آزادگان، اهواز، خرمشهر، بندر ماهشهر، آبادان و به‌خصوص شادگان بیشتر از دیگر شهرها دچار سیل شده‌اند. در این میان، شهر شادگان بر اساس شاخص‌های MNDWI و NDWI به‌ترتیب ۱۹۱۳۴۹ و ۱۷۴۸۱۳ هکتار از اراضی این ناحیه تحت تأثیر سیل اخیر قرار گرفته است که بیشترین میزان نسبت به دیگر شهرهای استان بوده است (جدول‌های ۶ و ۹). همچنین، بر اساس نتایج شاخص‌های MNDWI و NDWI به‌ترتیب ۱۰۲۶۹ و ۸۶۲۶۴/۱ هکتار از اراضی شهر اهواز و ۸۷۹۳۶/۹ و ۷۹۵۶۲/۴ از اراضی شهر آبادان تحت تأثیر



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی سیل در استان خوزستان

جدول ۵. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص MNDWI (هکتار)

شهر	آبادان	امیدیه	اندیکا	اندیمشک	اهواز	ایذه	باغ‌ملک	باوی
نواحی سیلابی	۸۷۹۳۶/۹	۱۱۵۷/۵۹	۱۴۱۴۸/۶	۱۰۷۲۵/۷	۱۰۲۰۶۹	۱۳۹۶۷/۶	۵۶۳/۵۹۱	۶۵۸۹/۰۴

جدول ۶. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص MNDWI (هکتار)

شهر	خرمشهر	دزفول	بهبهان	بندر ماهشهر	رامشیر	رامهرمز	شادگان	شوش
نواحی سیلابی	۴۸۲۹۵	۱۸۰۶۸/۹	۱۵۷۹/۶۴	۳۹۶۲۸/۸	۵۶۴/۸۳	۲۷۲/۵۰۱	۱۹۱۳۴۹	۲۱۸۸۸

جدول ۷. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص MNDWI (هکتار)

شهر	شوشتر	لالی	هفتگل	هندیجان	هویزه	گتوند	مسجد سلیمان	دشت آزادگان
نواحی سیلابی	۱۲۸۲۵/۶	۴۲۴۷/۹۹	۴۲/۸۹	۳۴۰۵۲	۹۶۰۱۴/۹	۱۲۵۴/۷۱	۳۴۴۳/۷۴	۳۶۵۷۱/۷

جدول ۸. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص NDWI (هکتار)

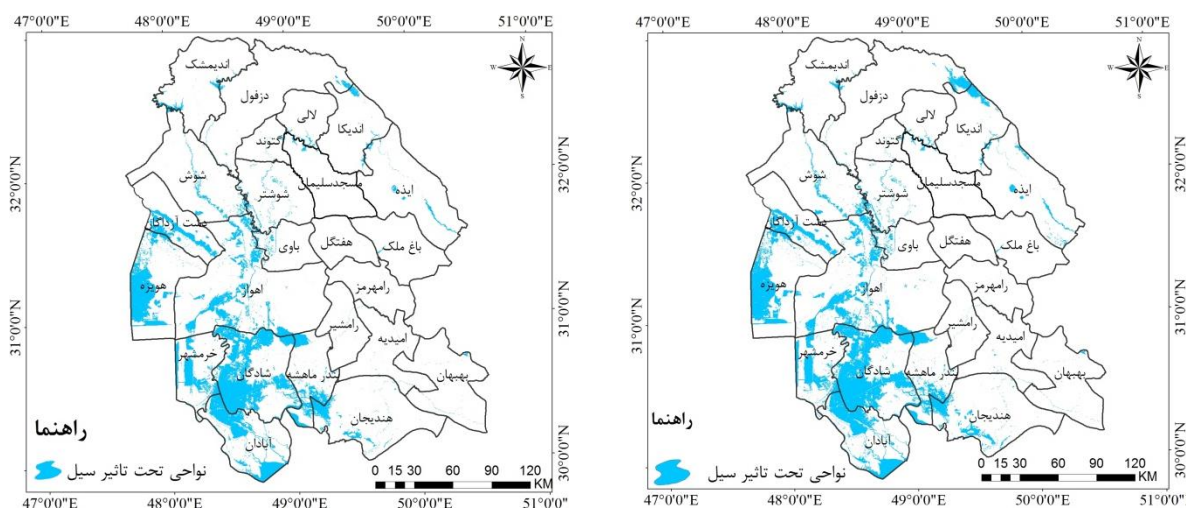
شهر	آبادان	امیدیه	اندیکا	اندیمشک	اهواز	ایذه	باغ‌ملک	باوی
نواحی سیلابی	۷۹۵۶۲/۴	۸۰۶/۴۱	۷۲۵۱/۶۶	۱۰۹۵۹/۵	۸۶۲۶۴/۱	۸۵۳۳/۵۴	۵۷۵/۴۰۱	۵۴۳۸/۷۶

جدول ۹. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص NDWI (هکتار)

شهر	خرمشهر	دزفول	بهبهان	بندر ماهشهر	رامشیر	رامهرمز	شادگان	شوش
نواحی سیلابی	۴۴۳۹۵/۷	۶۹۹۳/۹۷	۱۶۲۴/۴۳	۲۸۰۴۰/۸	۴۸۶/۷۷	۲۲۵/۶۲۸	۱۷۴۸۱۳	۱۷۹۱۲/۱

جدول ۱۰. مساحت مناطق تحت تأثیر سیل بر اساس شاخص NDWI (هکتار)

شهر	شوشتر	لالی	هفتگل	هندیجان	هویزه	گتوند	مسجد سلیمان	دشت آزادگان
نواحی سیلابی	۹۸۰۲	۴۲۳۸/۹۱	۳۵/۶۲	۲۵۶۳۰/۹	۸۷۴۳۵/۷	۱۲۳۳/۷۶	۳۴۶۹/۴۸	۳۳۹۴۶/۳



شکل ۸. نقشه سیل فروردین‌ماه ۱۳۹۸ در استان خوزستان بر اساس شاخص MNDWI (راست) و NDWI (چپ)

جریان سیلاب، چنانچه بارش در این نواحی زیاد باشد موجب جریان آب به شهرهای پایین دست جنوبی و در صورت عدم برنامه ریزی صحیح، موجب بروز سیل در این نواحی خواهد شد که این مسئله در سیل اخیر اتفاق افتاد. امروزه، با پیشرفت دانش بشر راهکارهای زیای مانند احداث سد مخزنی، سیل بند، احداث مخازن تأخیری، اصلاح و بهینه سازی مسیل ها به منظور کاهش خسارت های سیل به وجود آمده است که باید در نواحی سیل گیر این اقدامات صورت گیرد. یکی از دلایل خسارت های مهم زیاد سیل اخیر در استان، نبود سیل بند و همچنین، عدم توجه به اصلاح و بهینه سازی مسیل ها بود که باید مورد توجه برنامه ریزان قرار گیرد.

همچنین، به منظور بررسی داده های بارش ایستگاه های هواشناسی روند بارشی استان با استفاده از متوسط بارندگی ایستگاه های هواشناسی با توجه به مقیاس زمانی داده های بارش در هر ایستگاه ارزیابی شد. بررسی داده های بارش نشان می دهد ایستگاه های دهدز، لالی، ایذه، مسجد سلیمان بیشترین مقدار بارش را طی این دوره ثبت کرده اند (جدول های ۱۱ و ۱۲). همچنین، ارتباط داده های بارش ایستگاه های هواشناسی با ارتفاع شهرهای استان خوزستان نشان می دهد شهرهای ایذه، لالی، مسجد سلیمان که در واقع طی دوره بیشترین بارش را داشته اند، نسبت به شهرهای جنوب، جنوب غرب دارای ارتفاع بیشتری بوده و با توجه به تأثیر ارتفاعات و شیب بر

جدول ۱۱. متوسط بارش ایستگاه های هواشناسی استان خوزستان (میلی متر) [۲۱]

دوره آماری / ایستگاه	۱۳۶۵-۱۳۹۵	۱۳۶۶-۱۳۹۵	۱۳۷۲-۱۳۹۵	۱۳۷۳-۱۳۹۵	۱۳۷۹-۱۳۹۵	۱۳۸۴-۱۳۹۵
اهواز	۲۲۶/۹۲	-	-	-	-	-
امیدیه	۲۶۸/۲۵	-	-	-	-	-
مسجد سلیمان	۴۳۶/۰۱	-	-	-	-	-
بندر ماهشهر	-	۱۹۶/۶۰	-	-	-	-
رامهرمز	-	۲۹۹/۱۵	-	-	-	-
آبادان	۱۶۳/۶۶	-	-	-	-	-
ایذه	-	-	۶۵۴/۵۷	-	-	-
صفی آباد	-	۳۲۳/۶۴	-	-	-	-
شوشتر	-	-	-	۳۱۰/۴۹	-	-
بهبهان	-	-	۳۳۱/۰۱	-	-	-
بستان	۲۰۲/۸۹	-	-	-	-	-
هندیجان	-	-	-	-	۲۱۷	-
حسینیه	-	-	-	-	-	۳۷۱/۰۷
دهدز	-	-	-	-	-	۵۸۹/۶۴

جدول ۱۲. متوسط بارش ایستگاه های هواشناسی استان خوزستان (میلی متر) [۲۱]

دوره آماری / ایستگاه	۱۳۸۶-۱۳۹۵	۱۳۸۷-۱۳۹۵	۱۳۸۸-۱۳۹۵	۱۳۹۰-۱۳۹۵
لالی	۴۴۰/۸۶	-	-	-
شادگان	-	۱۴۹/۱۲	-	-
شوش	-	-	۲۱۸/۳۸	-
گتوند	-	-	۳۱۱/۳۷	-
آغا جاری	-	-	-	۲۵۵/۶۱

### بحث و نتیجه‌گیری

آزادگان، هویزه، خرمشهر، آبادان، شادگان، بندر ماهشهر، هنديجان، امیدیه، شوش، شوشتر، گتوند، باوی، رامشیر، رامهرمز، بهبهان، اندیمشک و دزفول از لحاظ وضعیت سیل‌گیری در وضعیت نامطلوب قرار دارند و در صورت بارندگی شدید، وقوع سیلاب در این نواحی امری حتمی است. بنابراین، باید برنامه‌ریزی به منظور مدیریت سیلاب در این مناطق در اولویت باشد. همچنین، بررسی نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مطرح‌شده در ادبیات تحقیق نشان می‌دهد نتایج حاضر با نتایج پژوهش‌های داخلی مانند سلیمانی و همکاران [۲۱]، شیخ‌علیشاهی و همکاران [۲۲]، محمودزاده و همکاران [۲۴]، راد و همکاران [۲۵] و همچنین، با تحقیقات خارجی مرتبط مانند وو و همکاران [۱۲]، آرویند و همکاران [۱۳]، اکتاو و همکاران [۱۷] و ژانگ و همکاران [۱۸] همسو بوده است و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در پهنه‌بندی سیلاب در این مطالعات همانند مطالعه حاضر نتایج قابل قبولی ارائه کرده است. همچنین، نتایج مطالعه حاضر گویای آن است که به‌کارگیری علم سنجش‌ازدور (RS) و شاخص‌های MNDWI و NDWI یکی از ابزارهای مفید و دقیق برای پایش سیلاب به‌ویژه در سطح وسیع هستند.

### منابع

- [1]. Abedini M, Fathi M. Flood hazard zoning using network analysis process. *Journal of Hydrogeomorphology*. 2015; 1(3): 99-120. [Persian]
- [2]. Akgun A, Türk N. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*. 2010; 61(3): 595- 611.
- [3]. Chormanski j, Okruszko T, Ignar S, Batelaan O, Rebel KT, Wassen MJ. Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry a new method to distinguish the origin of flood water during floods. *Ecological Engineering*. 2011; 37(9): 1334-1349.
- [4]. Ashouri M, Rezaeimoghaddam MH, Piry Z. Morphologic Change Assessment of Riverbed Before and after Dam Construction Using HEC RAS Model and GIS in Downstream of Satarkhan Dam. *Physical Geography Research Quarterly*. 2013; 45(1): 87-100. [Persian]
- [5]. Van der Sande CJ, De Jong S M, De Roo A P J A. segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*. 2003; 4(3):217-229.

مطالعه نواحی مستعد سیلاب و ارائه راهکارهای مؤثر به منظور مدیریت سیلاب یکی از اقدامات اساسی در کاهش خسارت ناشی از سیلاب است. امروزه با توسعه علوم به‌خصوص علومی مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، امر بررسی و پایش مخاطرات طبیعی مانند سیلاب را به‌طور دقیق میسر شده است. تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه می‌شود، یکی از اقدامات مؤثر برای آگاهی از وضعیت مناطق مستعد سیلاب است و با شناخت مناطق مستعد می‌توان روند سیلاب‌های آینده، مناطق تحت تأثیر و حتی میزان خسارت ناشی از سیلاب را برآورد کرد. از طرف دیگر، تصاویر ماهواره‌ای امکان پایش مناطق تحت تأثیر سیلاب و همچنین، آگاهی از روند پیشروی سیلاب را امکان‌پذیر می‌سازد. نتایج مطالعه حاضر که با هدف پهنه‌بندی نواحی مستعد سیلاب در استان خوزستان و ارتباط نقشه پهنه‌بندی با سیل فروردین ۱۳۹۸ انجام گرفت، گویای انطباق کامل نقشه پهنه‌بندی با سیل فروردین ۱۳۹۸ است، چراکه بررسی نقشه پهنه‌بندی سیلاب نشان می‌دهد بخش‌های جنوب و جنوب غربی از وضعیت خیلی شدید و بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی وضعیت شدید در زمینه سیل‌گیری دارند و این نواحی از مستعدترین نواحی سیل‌گیر در استان خوزستان هستند. همچنین، پایش نقشه‌های سیل در استان خوزستان نشان می‌دهد که سیل اخیر بیشتر در بخش‌های غرب، جنوب و جنوب غربی اتفاق افتاده است که با نواحی مستعد سیلاب (در نقشه پهنه‌بندی سیلاب) مطابقت دارد. بیشترین مساحت مناطق تحت تأثیر در بخش‌های غرب، جنوب و جنوب غربی مربوط به شهرهای هویزه، دشت آزادگان، اهواز، خرمشهر، بندر ماهشهر، آبادان و بخصوص شادگان است. در این میان، شهر شادگان بر اساس شاخص‌های MNDWI و NDWI به‌ترتیب ۱۹۱۳۴۹ و ۱۷۴۸۱۳ هکتار از اراضی این ناحیه تحت تأثیر سیل اخیر قرار گرفته است که بیشترین میزان نسبت به دیگر شهرهای استان بوده است. همچنین، بر اساس نتایج شاخص‌های MNDWI و NDWI به‌ترتیب ۱۰۲۶۹ و ۸۶۲۶۴/۱ هکتار از اراضی شهر اهواز و ۸۷۹۳۶/۹ و ۷۹۵۶۲/۴ از اراضی شهر آبادان تحت تأثیر سیل قرار گرفته است. به‌طور کلی، نتایج گویای لزوم برنامه‌ریزی مناسب در زمینه مدیریت سیلاب در استان خوزستان است، چراکه مطابق یافته‌ها بیشتر نواحی استان از جمله شهرهای اهواز، دشت

- [6]. Ahamed A, Bolten JD. A MODIS-based automated flood monitoring system for southeast asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2017; 61: 104-117.
- [7]. Ashcroft L, Karoly DJ, Dowdy AJ. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. *Weather and Climate Extremes*. 2019; 25: 1-12.
- [8]. Feng LH, Lu J. The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*. 2010; 37(4):2974-2977.
- [9]. Samanta S, Kumarpal D, Palsamanta B. Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*. 2018; 8(66): 1-14.
- [10]. Motevalli A, Vafakhah M. Flood hazard mapping using synthesis hydraulic and geomorphic properties at watershed scale. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2016; 30:1889-1900.
- [11]. Yang Y C E, Ray PA, Brown C M, Khalil A F, Yu W H. Estimation of Flood Damage Functions for River Basin Planning: a Case Study in Bangladesh. *Natural Hazards*. 2015; 75(3): 2773-279.
- [12]. Wu Y, Zhong P, Zhang Y, Xu B, Ma B, Yan K., Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China, *Natural Hazards*. 2015; 78(1): 635-651.
- [13]. Arvind CS, Vanjare A, Omkar SN, Senthilnath J, Mani V. Flood Assessment using Multi-temporal Modis Satellite Images. *Procedia Computer Science*. 2016; 89: 575-586.
- [14]. Das S. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin in Maharashtra India. *Arabian Journal of Geosciences*. 2018; 11(576): 1-13.
- [15]. Mishra K, Sinha R. Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach, *Geomorphology*. 2020; 350:1-13.
- [16]. Tudose NC, Ungurean C, Davidescu CI, Marin M, Nita M D, Adorjani A, et al. Torrential flood risk assessment and environmentally friendly solutions for small catchments located in the Romania Natura 2000 sites Ciucas, Postavaru and Piatra Mare, *Science of The Total Environment*. 2020; 698: 1-16.
- [17]. Ogato GS, Bantider A, Abebe K, Geneletti D. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020; 27: 1-18.
- [18]. Zhang D, Shi X, Xu H, Jing Q, Pan X, Liu T, et al. A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*. 2020; 83:1-13.
- [19]. Wang Y, Fang Z, Hong H, Peng L. Flood susceptibility mapping using convolutional neural network frameworks, *Journal of Hydrology*. 2020; 582: 1-48.
- [20]. Solaimani K, Habibnejad M. The role of hydro-climatic factors in flood occurrence of Nika watershed. *Journal of Natural Resources*. 2002; 55(1): 23-35. [Persian]
- [21]. Solaimani K, Bashirgonbad M, Mousavi R, Khalighi Sh. Investigating the potential of flood production in watershed using HEC\_HMS in Kasilian basin. *Physical Geography Research*. 2008; 65:51-60. [Persian]
- [22]. Shaikhalishahi N, Jamali A, Hasanzadehfofi M. Flood zoning using hydraulic model of river analysis (Case study: Manshad watershed - Yazd province). *Geographical Space*. 2016; 16(53): 77-96. [Persian]
- [23]. Rostaimosavi R, Alizadehgorji R. Prepare a flood Nika watershed zoning map using the SCS-CN and GIS / RS models. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*. 2017; 6(1): 108-118. [Persian]
- [24]. Mahmudzadeh H, Bakoi M. Flood zoning using fuzzy logic (Case study: Sari city). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2018; 7(18): 51-68. [Persian]
- [25]. Rad M, Vafakhah M, Qolamailfard M. Flood zoning using HEC-RAS hydrological model at the bottom of Khorramabad watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2018; 7(6): 211-226 [Persian].
- [26]. Rajabizadeh E, Aubzadeh A, Qamshi M. Investigation of floods in Khuzestan province during the water year 1397-1398 and providing strategies for controlling and managing it in the future. *Journal of Eco hydrology*. 2019; 6(4): 1069-1084. [Persian]
- [27]. Jahangir M H, Mousavi Reineh M, Abolghasemi M. Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*. 2019; 25: 1-11.
- [28]. Smith C, Scyphers S. Past hurricane damage and flood zone outweigh shoreline hardening for

- predicting residential-scale impacts of Hurricane Matthew. *Environmental Science & Policy*. 2019; 101: 46-53.
- [29]. Iranian meteorological organization. The climate of Khuzestan province and precipitation data. Access date (2019/09/01). <http://www.irimo.ir>. [Persian]
- [30]. Meteorological Organization of Khuzestan Province. Access date (2019/09/01). [khuzestanmet.ir](http://khuzestanmet.ir). [Persian]
- [31]. Campbell J, Wynne RH. Introduction to Remote Sensing, 5<sup>th</sup> ed. New York: The Guilford; 2011.
- [32]. Richards JA, Xiuping J. Remote sensing Digital Image Analysis, An Introduction, 4<sup>th</sup> ed. Berlin: Springer; 2006.
- [33]. Moahedi S, Hedarinaserabad B, Hashimiana K, Ranjbar F. Climate zoning of Khuzestan province. *Journal of geographic space*. 2012; 12(4): 64-73. [Persian]
- [34]. Aminiparsa V, Yavari A, Nejadi A. Spatio-temporal analysis of land use/land cover pattern changes in Arasbaran Biosphere Reserve of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2016; 2(4): 1-13.
- [35]. Pal S, Ziaul S. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2017; 20(1): 125-145.
- [36]. Dube T, Gumindoga W, Chawira M. Detection of land cover changes around LakeMutirikwi, Zimbabwe, based on traditional remote sensing image classification techniques. *African Journal of Aquatic Science*. 2014; 39(1): 89-95.
- [37]. Mather P, Brandt T. Classification methods for remotely sensed Data. 2<sup>nd</sup> ed. London: Taylor& Francis; 2009.
- [38]. Deng Y, Fan F, Chen R. Extraction and Analysis of Impervious Surfaces Based on a Spectral Un-Mixing Method Using Pearl River Delta of China Landsat TM/ETM+ Imagery from 1998 to 2008. *journal of Sensors*. 2012; 12: 1846-1862.
- [39]. Sarp G, Ozcelik M. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*. 2017; 11(3): 381-391.
- [40]. Gautam VK, Gaurav KP, Murugan P, Annadurai M. Assessment of Surface Water Dynamicsin Bangalore using WRI NDWI MNDWI Supervised Classification and K-T Transformation. *Aquatic Procedia*. 2014; 4:739-746
- [41]. Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, Jacquemond S, Gregoire JM. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*. 2001; 77: 22-33.
- [42]. Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006; 27:3025-3033.
- [43]. Zhang FF, Li J, Shen Q, Zhang B, Ye H, Wang SH, et al. Dynamic Threshold Selection for the Classification of Large Water Bodies within Landsat-8 OLI Water Index Images, earth sciences. *Environmental sciences*. 2016; 1:1- 18.
- [44]. Zhai K, Wu X, Yuanwei Q, Du P. Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations. *journal of Geo-spatial Information Science*. 2015; 18: 32-42
- [45]. Yang J, Du X. An enhanced water index in extracting water bodies from Landsat TM imagery. *Annals of GIS*. 2017; 23(3):141-148
- [46]. Darvishi SH, Solaimani K, Rashidpour M. The effect of vegetation index and urban characteristics on land temperature changes in Sanandaj city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 2019; 10(1): 17-35. [Persian]
- [47]. Smits PC, Dellepiane SG, Schowengerdt RA. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*. 1999; 20(8): 1461-1486.
- [48]. Alavipanah K, Matenfar H, Rafieiemam A. Application of Information Technology in Earth Sciences (Digital Soil Science). 1<sup>th</sup> ed. Tehran: University of Tehran publications; 2008. [Persian]
- [49]. Fatemi B, Rizaeei E. Fundamentals of remote sensing. 2<sup>en</sup> ed. Tehran: Azadeh publications; 2010. [Persian]
- [50]. Solaimani K, Darvishi Sh, Shokriani F. Analysis of agriculture drought using remote sensing index in Marivan city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 2019; 10(2): 15-33. [Persian]

- [51]. Allam M, Bakr N, Elbably W. Multi-temporal assessment of land use/land cover change in arid region based on landsat satellite imagery in Fayoum Region of Egypt. Remote Sensing Applications Society and Environment. 2019;14: 8-19.
- [52]. Manandhar R, Odeh IOA, Ancev T. Improving the accuracy of land use and land cover classification of Landsat data using post-classification enhancement. Remote sensing. 2009;1(3): 330-344.
- [53]. Hishe S, Bewket W, Nysen J, Lyimo J. Analyzing past land use land cover change and CA-Markov based future modeling in the Middle Suluh Valley in Northern Ethiopia. Geocarto International. 2020; 35(3): 225-255