

پیش‌بینی مورفولوژی رودخانه‌ها و سیلاب منطقه دشتیاری برای افق ۲۰۳۰

حمیدرضا معصومی^{۱*}، علیرضا حبیبی^۲ و محمدرضا غریب‌رضا^۳

^۱ استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران، ^۲ دکتری ژئومورفولوژی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر سیلاب در رودخانه‌های مناطق ساحلی، موجب تحمیل متناوب خسارات میلیاردی شده است. عوامل مورفومتریکی رودخانه و محیط‌های پیرامون آن و پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی موثر و ضروری واقع شود. دشت ساحلی دشتیاری در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. وقوع سیلاب‌های شدید و مخرب، در سال‌های اخیر منجر به خسارات گسترده به اراضی کشاورزی و تاسیسات، ابنیه و ساکنان این منطقه شده است. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹، تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ سال ۲۰۲۰، بررسی‌های میدانی و نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4.1، Envi 5.3 و Idrisi TerrSet به‌عنوان ابزار تحقیق بهره گرفته شد. ابتدا، مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف به‌دست آمد. بر این اساس بیشترین احتمال وقوع تغییرات بین واحدهای رودخانه و دشت به میزان ۲۴/۸۷ درصد و مزارع و رودخانه به میزان ۲۳/۵ درصد حاصل شد. سپس، نقشه پیش‌بینی سلول اتومات سال ۲۰۱۹ و ضریب کاپای کلی ۹۵ درصد به‌دست آمد. باتوجه به دقت و صحت خروجی مدل سلول اتومات مارکوف، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شد. با برآزش دو نقشه سال ۲۰۱۹ و پیش‌بینی ۲۰۳۰ تغییرات محتمل در محیط رودخانه به‌دست آمد و شش نقطه بحرانی در کانال رودخانه‌های کاجو، دشتیاری و باهو مشخص شد. در نهایت، به‌منظور تطابق نتایج با رویدادهای طبیعی، رویداد سیلاب ژانویه ۲۰۲۰ منطقه دشتیاری مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: رودخانه باهو، کانال رودخانه، مدل CA مارکوف، مطالعات سنجش از دور، مناطق ساحلی

مقدمه

پدیده در سال‌های اخیر موجب تحمیل متناوب خسارات میلیاردی در مناطق ساحلی کشور شده است. اهمیت مطالعات مورفولوژیکی رودخانه‌ها زمانی بیشتر نمایان می‌شود که بهره‌برداری از رودخانه‌ها از حد مجاز بیشتر شده و در نتیجه، عکس‌العمل رودخانه به

سیلاب در رودخانه‌های مناطق ساحلی، به دلایل متعددی مانند بارش‌های شدید و جاری شدن آب از بالادست، لایروبی نشدن رودخانه‌ها، تغییر در کانال رود و کم شدن فضای آبگذری نسبت به حجم آب ورودی به هنگام بارندگی، به وقوع می‌پیوندد. این

تحقیقی نقشه‌های خطر سیل حوزه آبخیز پل دوآب را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه کرده‌اند. Javaheri Tehrani و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی مورفولوژی پیچان‌رودهای رودخانه زاینده‌رود با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که پیچان‌رودها دارای رژیم فرسایشی بوده سیلاب به‌وسیله سد زاینده رود کنترل شده است. Halalat Naserian و همکاران (۲۰۱۳) مدل جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار را به‌وسیله مدل Mike Flood برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله تبیین کرده‌اند. Masoumi و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مورفولوژی و پیچان‌رودی رودخانه زهره پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که این رودخانه در رده رودخانه‌های با پیچان‌رودی بیش از حد توسعه یافته قرار دارد. Bravard و Petit (۲۰۰۹) به بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها و کانال‌ها پرداخته، آن‌ها را طبقه‌بندی کرده‌اند. Fayazi و همکاران (۲۰۰۹) به پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل‌های MIKE11 & MIKE FLOOD پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که به منظور حصول اطمینان از صحت شبیه‌سازی و ارزش نتایج حاصله بایستی از مدل دو بعدی MIKE FLOOD استفاده شود.

نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی یکی از عوامل اساسی در مطالعه منابع طبیعی بوده، آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش‌های مختلف برای شناخت و مدیریت پایدار یک منطقه حائز اهمیت است (Alizadeh Rabiei, ۲۰۰۱). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان، برای تهیه نقشه است (Pal و Mather, ۲۰۰۵). تصاویر دوره‌ای ماهواره لندست یکی از مهمترین منابع داده‌ای برای انواع مختلف مطالعات سنجش از دور است (Verburg و همکاران, ۲۰۰۴). در این میان استخراج اطلاعات به‌صورت طبقه‌بندی شده از پرکاربردترین روش‌های موجود است (Mirzaeizadeh و همکاران, ۲۰۱۵). بدین ترتیب، با استفاده از تغییرات روی داده در گذر زمان می‌توان آینده را پیش‌بینی کرد. یکی از روش‌های شبیه‌سازی تغییرات در گذر زمان، مدل ترکیبی زنجیره مارکف و سلول‌های اتومات است. با استفاده از مدل زنجیره

منظور برقراری موازنه جدید بروز پیدا کند. بدین ترتیب، جابه‌جایی و تغییرات مسیر رودخانه ناشی از سیل، باعث خسارت بر زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌های اطراف رودخانه‌ها در بعد انسانی و زیست‌محیطی می‌شود. از این‌رو باید رودخانه را به مثابه یک موجود زنده دانست و برای کاهش اثرات، عملکرد هوشیارانه‌ای مبتنی بر قواعد علمی در برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌کار برد. از مهمترین عوامل در بحث سیلاب می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره کرد (Saghafian و همکاران, ۲۰۰۷؛ Roghani و همکاران, ۲۰۰۷). لذا، دانستن شرایط گذشته رودخانه و محیط‌های پیرامون آن و پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی موثر و ضروری واقع شود. از میان پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مورفولوژی رودخانه، سیلاب و عوامل موثر در آن می‌توان تحقیقات زیر را معرفی کرد. Banihabib و همکاران (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای به بیان چارچوبی مناسبی برای تعیین راهبرد توسعه پایدار در احیای یک رودخانه فصلی شهری پرداخته، از روش ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره AHP-M-TOPSIS استفاده کرده‌اند. Parvareh و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی سیل‌خیزی حوزه آبخیز سرخون بندرعباس استفاده از روش‌های فازی تاپسیس و الکنتره پرداخته، نتیجه گرفته‌اند که روش تحقیق به‌کار رفته، برای تعیین پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز مناسب است. Abdolahi و Baghsiahi و همکاران (۲۰۱۸) به پهنه‌بندی سیلاب آبراهه‌های منطقه مکران ساحلی با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که هیچ‌گونه خطری از جهت پهنه‌های سیلابی متوجه تاسیسات ساحلی منطقه نخواهد بود. Naderi و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوزه آبخیز گرین با استفاده از مدل SWAT پرداخته‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که اثر تغییر اقلیم نسبت به تغییر کاربری اراضی در میزان رواناب بیشتر است. Kondolf و همکاران (۲۰۱۶) در کتاب خود، طبقه‌بندی ژئومورفیکی را برای رودخانه‌ها و آبراهه‌ها ارائه داده‌اند. Darabi و همکاران (۲۰۱۶) در

شمال به ارتفاعات مکران، از غرب به شهرستان چابهار، از شرق به کشور پاکستان و از جنوب به ساحل مکران و دریای عمان ختم می‌شود. به این ترتیب، امکان دسترسی به آب‌های آزاد جایگاه ویژه‌ای را در منطقه به وجود آورده است. رودخانه‌های باهوکلات، دشتیاری و کاجو در این منطقه با رژیم سیلابی جریان دارند. رودخانه باهوکلات با دبی متوسط سالانه ۲۳/۶۱ مترمکعب در ثانیه، از کوه‌های پیرآباد در ۴۷ کیلومتری جنوب ایرانشهر سرچشمه می‌گیرد و در منطقه دشتیاری رودخانه کاجو به آن می‌ریزد. رودخانه سیلابی کاجو از کوه‌های نیلاجبدا و کیلگی در ۶۰ کیلومتری جنوب غربی ایرانشهر سرچشمه گرفته، در مسیر خود پس از عبور از تنگه جگرکوه وارد دشت پیر سهراب می‌شود و در محل روستای سنگان وارد رودخانه باهوکلات می‌شود (Koneshlou, ۱۹۹۸).

وقوع سیلاب‌های شدید و مخرب، در محدوده دشت دشتیاری در سال‌های اخیر منجر به خسارات گسترده به اراضی کشاورزی و تاسیسات، ابنیه و ساکنان منطقه شده است. لذا، پیش‌بینی و مدل‌سازی جامع مورفولوژیکی در سطح منطقه و شناخت تغییرات محیطی موثر بر رودخانه‌های منطقه دشتیاری از اهداف مهم انجام این تحقیق به شمار می‌رود.

در این پژوهش، ابتدا مبانی نظری و اطلاعات پایه مورد نیاز، بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی گزارش‌ها و کارهای انجام شده مشابه در ایران و خارج از کشور گردآوری شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹ با دقت مکانی ۳۰ متر و فصل تصویربرداری مشابه، مبنای مطالعات سنجش از دور هستند (جدول ۱). پردازش اولیه تصاویر در نرم‌افزار Envi 5.3 انجام شد. در این مرحله، تصحیحات رادیومتری و اتمسفری به روش QUick بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد.

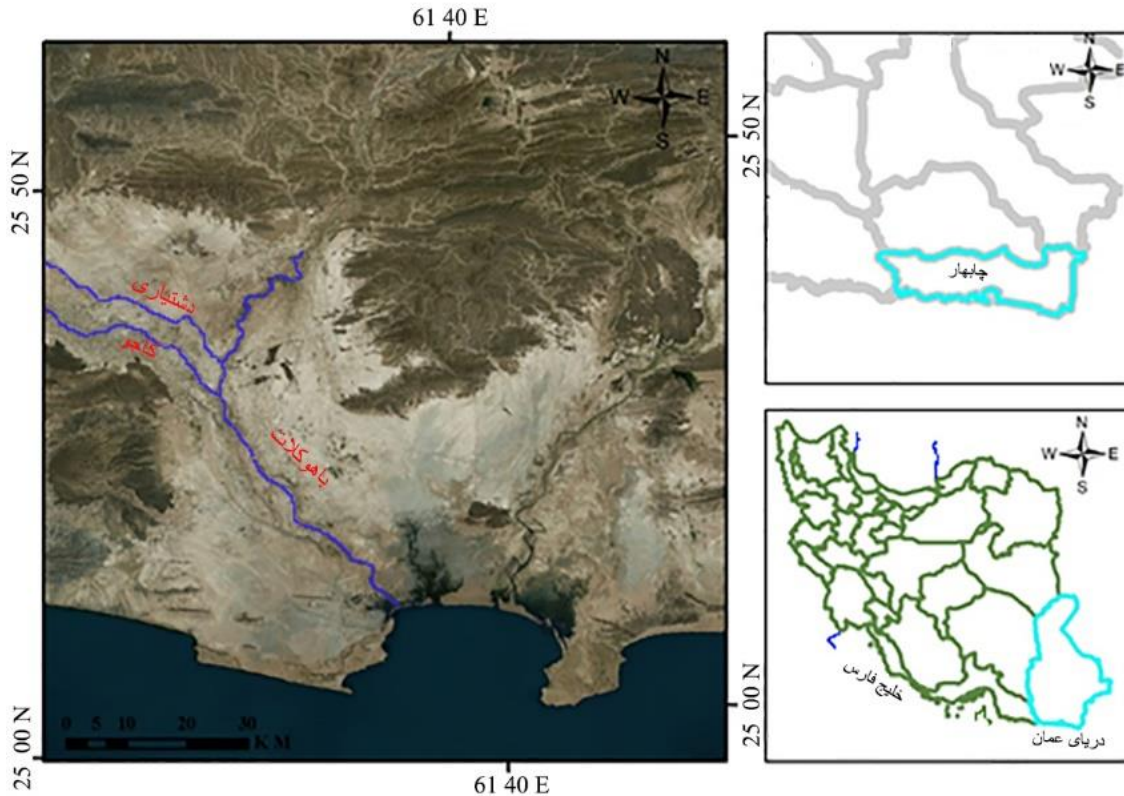
مارکف، نسبت تبدیل کاربری‌ها و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (Middleton و Muller, ۱۹۹۴). در سال‌های اخیر رهیافت‌های مفهومی مختلفی از سلول اتومات و تحلیل زنجیره مارکف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین ارائه شده است (Subedi و همکاران, ۲۰۱۳). Mondal و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی، تأثیر فیلترهای سازگار با مدل CA مارکف را بر نتایج پیش‌بینی تغییر سرزمین بررسی کرده، نتیجه گرفته‌اند که ضریب همبستگی (r) برای فیلترهای ۵x۵ بیشترین تأثیر را در توزیع جغرافیایی مکانی داشته است. Amini Parsa و Nejadi (۲۰۱۶) کاربرد مدل CA مارکف در پیش‌بینی پویایی ساختار سرزمین منطقه حفاظت شده دیزمار را بررسی کرده، نتیجه گرفته‌اند که این مدل در جهت اهداف تحقیق کاربری است. Aizi و Ghalaty و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات مکانی کاربری اراضی منطقه کوهمره سرخی را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج تحقیق نشان داده که بیشترین تغییر کاربری در ناحیه جنگل بوده، به کاربری‌های کشاورزی آبی و مرتع تبدیل شده است. Mohamadi و Heidarizadeh (۲۰۱۶) تغییرات کاربری اراضی دشت مهران را با استفاده از مدل مارکف پیش‌بینی کرده‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که تغییرات کاربری اراضی در منطقه مطالعه در جهت تخریب منابع طبیعی بوده است. Fathizad و همکاران (۲۰۱۵) و Kaveh و Ebrahimi (۲۰۱۳) تغییرات کاربری اراضی رودخانه آق‌بلاغ را با استفاده از مدل CA مارکف پیش‌بینی کرده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه دشتیاری در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. دشت ساحلی دشتیاری از طرف

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

| مشخصات تصویر | تاریخ تصویربرداری | نوارهای مورد استفاده |
|-----------------------|-------------------|----------------------|
| 042-LT05_156- LANDSAT | ۱۹۸۷/۰۷/۱۵ | ۷-۵-۴-۳-۲-۱ |
| 042-LE07_156-LANDSAT | ۲۰۰۱/۰۵/۱۰ | ۷-۵-۴-۳-۲-۱ |
| 042-LANDSAT_LC08_156 | ۲۰۱۹/۰۵/۲۰ | MTL-Multispectral |
| Sentinel-2 | ۲۰۲۰/۰۵/۱۳ | - |



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مطالعه

بر اساس داده‌های خروجی مدل مارکف، نقشه نهایی پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکف سال ۲۰۱۹ استخراج شد و ضریب کاپا مربوطه محاسبه شد. ضریب کاپا یک معیار صحت‌سنجی طبقه‌بندی بوده، بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن p_o درستی مشاهده شده و p_c توافق مورد انتظار است.

$$KIA = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \quad (1)$$

خروجی مدل با نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹ برازش داده شد و بازه‌های مغایر بین آن‌ها به‌دست آمد. همچنین، به‌منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۲۰۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی به‌صورت پیش فرض در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 تعیین شد و با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. با توجه به دقت و صحت خروجی مدل، با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شده است. پس از آن، به‌منظور تعیین بازه‌های پیش‌بینی شده برای تغییر در مورفولوژی و محیط

پس از انجام تصحیحات، طبقه‌بندی تصاویر با روش طبقه‌بندی نظارت شده (Maximum Likelihood Classification) در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 صورت گرفت و نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی کانال رودخانه تهیه شده است. در این نقشه واحدهای کانال رودخانه، سازه‌های ساخت انسان، سکونتگاه‌ها و زمین‌های زراعی و آبگیرهای در حاشیه مزارع، کوهستان، دریا، خور و دشت در یک بازه ۱۰ کیلومتری از کانال رودخانه تفکیک شده‌اند. این نقشه‌ها در هر سه دوره تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است.

به‌منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی، نقشه‌های تهیه شده به محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet وارد شد. ابتدا، بر اساس نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف و مدل سلول‌های خودکار به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹ پرداخته شد. زنجیره مارکف مجموعه‌ای از وضعیت‌های احتمالی را بیان می‌کند که از یک وضعیت آغاز شده و به‌صورت پیوسته به وضعیت دیگر تغییر می‌کند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۱).

رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹ تهیه شد (شکل ۲). در این نقشه‌ها واحدهای کانال رودخانه (شامل کانال رود و آبراهه‌های قابل تفکیک بر اساس دقت تصاویر)، سازه‌های ساخت انسان (حوضچه‌های پرورش میگو)، سکونتگاه‌ها و زمین‌های زراعی و آبگیرهای در حاشیه مزارع (شامل روستاها، مزارع و هوتک‌ها)، کوهستان، دریا، خور و دشت (پهنه‌های بایر) تفکیک شده‌اند. مساحت واحدهای طبقه‌بندی شده در هر سه دوره محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است (جدول ۲).

پیش‌بینی و مدل‌سازی، در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet انجام شد. ابتدا، با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ ماتریس مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف به‌دست آمد (شکل ۳). در این ماتریس مقادیر احتمال تغییرات واحدهای رودخانه (Cl.6)، مزرعه (Cl.4) و زمین بایر (Cl.3) به یکدیگر مشخص شده است. بر این اساس، بیشترین احتمال وقوع تغییرات بین واحدهای رودخانه و دشت به میزان ۲۴/۸۷ درصد و مزارع و رودخانه به میزان ۲۳/۵ درصد حاصل شده است (جدول ۳).

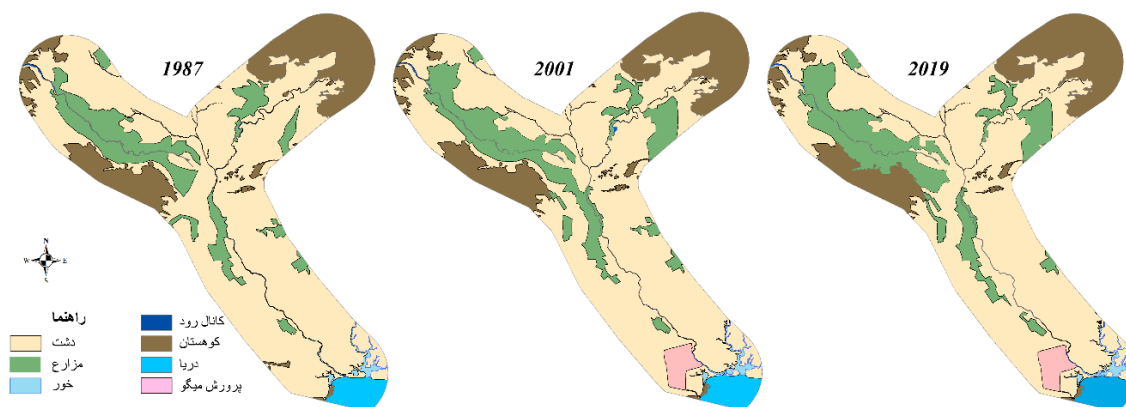
رودخانه، نقشه مبنای سال ۲۰۱۹ با خروجی مدل برازش داده شد. در این برازش علاوه بر واحد کانال رودخانه، سه واحد خور، زمین بایر و مزارع نیز در عملیات برازش به‌وسیله نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 قرار داده شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این برازش، نقاط خاص در مسیر کانال رودهای کاجو، دشتیاری و باهو با توجه به رژیم سیلابی آن‌ها تعیین شد. در نهایت، نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه و نقاط خاص در پدیده سیلاب منطقه، با رویداد سیلاب ژانویه ۲۰۲۰ منطقه دشتیاری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور پهنه سیل‌گیر منطقه مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر به تاریخ ۱۳ ژانویه ۲۰۲۰ (زمان وقوع سیلاب) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 ترسیم و نحوه عملکرد جریان سیلاب در منطقه با کمک شواهد میدانی و نقاط خاص معرفی شده بررسی شد.

نتایج و بحث

با پردازش و طبقه‌بندی تصاویر در نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4.1 نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی

جدول ۲- مساحت واحدهای تفکیک شده در نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه (هکتار)

| ۱۹۸۷ | ۲۰۰۱ | ۲۰۱۹ | |
|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| ۱۵۳۴/۴۸ | ۱۴۵۵/۱۹ | ۱۳۱۹/۹۷ | کانال رودخانه |
| ۳۴۲۲۸/۳۸ | ۳۹۶۵۹/۲ | ۴۳۶۳۴/۵۴ | روستاها، مزارع و هوتک‌ها |
| ۱۷۶۴۹۸/۶۷ | ۱۶۶۸۸۶/۲۷ | ۱۶۳۰۳۸/۹۷ | پهنه‌های بایر |
| ۱۸۵۷/۹۸ | ۱۹۵۴/۵۱ | ۱۹۷۵/۲ | خورها |
| ۰ | ۴۵۲۱/۸۴ | ۴۵۲۱/۸۴ | حوضچه‌های پرورش میگو |



شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹

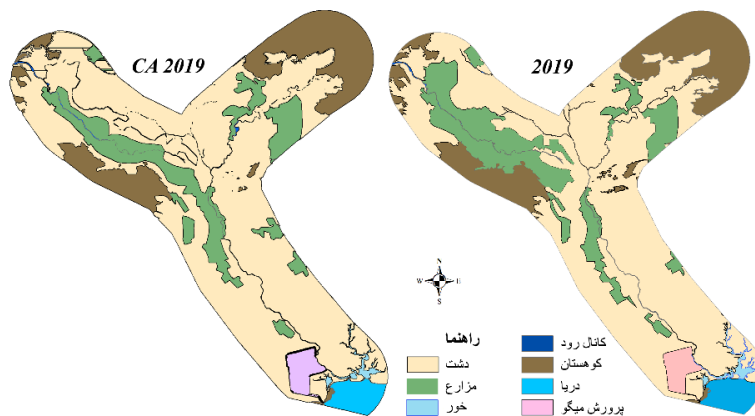
Given : Probability of changing to :

| | Cl. 1 | Cl. 2 | Cl. 3 | Cl. 4 | Cl. 5 | Cl. 6 | Cl. 7 | Cl. 8 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Class 1 : | 0.8967 | 0.0004 | 0.0655 | 0.0001 | 0.0369 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 |
| Class 2 : | 0.0369 | 0.8372 | 0.1156 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0102 | 0.0000 |
| Class 3 → : | 0.0011 | 0.0027 | 0.8154 | 0.1318 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0480 | 0.0000 |
| Class 4 → : | 0.0000 | 0.0000 | 0.2350 | 0.7567 | 0.0000 | 0.0070 | 0.0014 | 0.0000 |
| Class 5 : | 0.0026 | 0.0000 | 0.1020 | 0.0059 | 0.8890 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 |
| Class 6 → : | 0.0000 | 0.0000 | 0.2487 | 0.0501 | 0.0000 | 0.6996 | 0.0015 | 0.0000 |
| Class 7 : | 0.0001 | 0.0003 | 0.9586 | 0.0157 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0252 | 0.0000 |
| Class 8 : | 0.0000 | 0.0000 | 0.0992 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.9000 |

شکل ۳ - ماتریس خروجی مدل مارکف برای تغییرات سال ۲۰۱۹

سال ۲۰۱۹ مشاهده شد. همچنین، ضریب کاپای حاصل شده برای واحدهای رودخانه، مزارع و زمین بایر به ترتیب ۸۱/۵، ۸۶ و ۸۹/۷ درصد به دست آمده است. ضریب صحت کلی نیز ۹۵ درصد به دست آمده است (جدول ۴).

با توجه به امکان توصیف مکانی در قالب نقشه، از مدل مدل CA مارکف استفاده شد و نقشه پیش‌بینی سلول اتومات سال ۲۰۱۹ و ضریب کاپای مربوطه استخراج شد. بر این اساس، تشابه مشهودی بین خروجی مدل و نقشه طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای



شکل ۴ - نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۱۹

مطابقت داشته، مطابقت مطلوبی با ضریب کاپای مدل دارد. جزئیات ضرایب صحت‌سنجی و عدم تطابق مشاهدات میدانی در جداول ۳ و ۴ آمده است. بر اساس نتایج مشخص شد، اصلی‌ترین عدم تطابق بین دو واحد مزارع و زمین‌های بار به تعداد مجموع ۱۲ نطقه است (جدول ۳).

به‌منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۲۰۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی، با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. بر اساس مشاهدات میدانی، واحد خروجی مدل ۱۸۵ نقطه صحیح و در ۱۵ نقطه نادرست بوده است. نتیجه صحت‌سنجی نشان می‌دهد که در ۹۲/۵ درصد نقاط کنترل زمینی، خروجی حاصل از مدل با واقعیت

جدول ۳ - جزئیات عدم تطابق مشاهدات در نقاط کنترل زمینی با خروجی مدل سال ۲۰۱۹

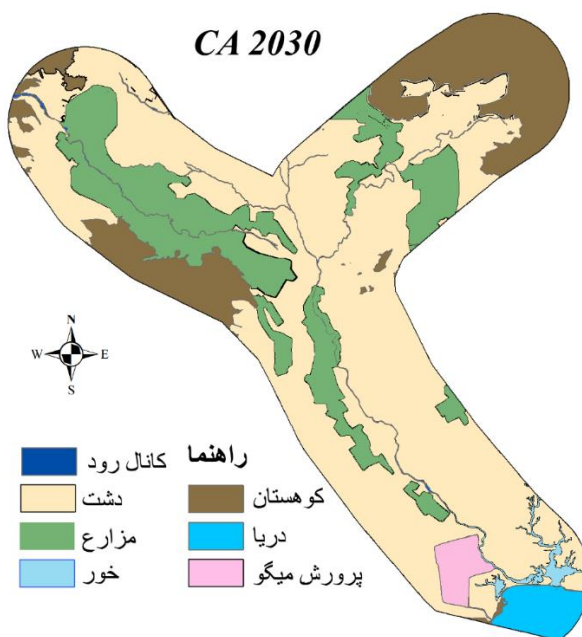
| تعداد نقاط | کاربری مدل‌سازی | کاربری مشاهداتی |
|------------|-----------------|-----------------|
| ۷ | مزارع | زمین بایر |
| ۵ | زمین بایر | مزارع |
| ۱ | زمین بایر | خور |
| ۱ | کوهستان | رودخانه |
| ۱ | کوهستان | زمین بایر |

جدول ۴- ضرایب صحت‌سنجی طبقه بندی در سه بازه زمانی مورد مطالعه

| واحد طبقه‌بندی | ضریب کاپا در سه دوره (درصد) | | | دقت تولید کننده (درصد) | خطای گمناشته (درصد) | دقت کاربر (درصد) | خطای حذف شده (درصد) |
|--------------------------|-----------------------------|------|------|------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | ۲۰۱۹ | ۲۰۰۱ | ۱۹۸۷ | | | | |
| کانال رودخانه | ۹۹/۱ | ۹۸/۲ | ۹۹/۷ | ۹۷/۵ | ۲/۵ | ۹۸/۷۶ | ۱/۲۴ |
| روستاها، مزارع و هوتک‌ها | ۹۰/۸ | ۸۹/۵ | ۹۴/۲ | ۸۵ | ۱۵ | ۹۱/۸۷ | ۸/۱۳ |
| پهنه‌های بایر | ۹۷/۷ | ۹۶/۱ | ۸۹/۷ | ۸۲/۵ | ۱۷/۵ | ۹۴/۹۷ | ۵/۰۳ |
| خورها | ۹۹/۹ | ۹۹/۹ | ۹۸/۹ | ۹۷/۵ | ۲/۵ | ۹۹/۷۱ | ۰/۲۹ |
| حوضچه‌های پرورش میگو | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۰ | ۱۰۰ | ۰ | ۱۰۰ | ۰ |
| ضریب صحت کلی | ۹۵/۱ | ۹۷/۶ | ۹۱/۵ | | | | |

به‌دست آمد. این تغییرات به تفکیک برای رودخانه‌های کاجو، دشتیاری و باهو در شکل‌های ۶ تا ۹ آمده و نقاط بحرانی که در زمان وقوع سیل، پتانسیل مخاطره بالایی دارند، در کانال رودخانه با توجه رژیم جریان سیلابی مشخص شده است. در این شکل‌ها شش نقطه خاص و خطر آفرین به هنگام وقوع سیلاب مشخص شده است.

با توجه به دقت و صحت خروجی مدل CA مارکف، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۹ تهیه شده است (شکل ۵). سپس، چهار واحد رودخانه، مزارع، خور و زمین بایر در دو نقشه سال ۲۰۱۹ و پیش‌بینی ۲۰۳۰ برآزش داده شد و تغییرات محتمل در محیط رودخانه



شکل ۵- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۳۰ خروجی مدل CA مارکف

نقطه شماره ۱ در رودخانه کاجو، محدوده روستای پیرسهراب تا کلات قرار دارد. در این محدوده، پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه بر متوسط کاهش ۵۰ متری عرض کانال است. با توجه به قرار گرفتن این بخش در منتهی‌الیه قسمت کوهستانی، در صورت وقوع سیلاب، به‌علت تشدید

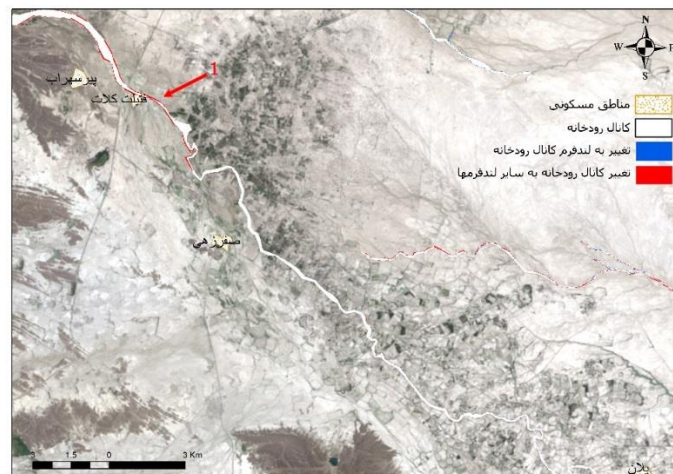
سرعت و شدت جریان در اثر کاهش پهنه آبرو و ورود به دشت، بخش‌های وسیعی از اراضی پایین‌دست دچار سیل‌گرفتگی شده، قابلیت پخش سیلاب در منطقه دشتیاری و ادغام سیلاب با آب رود دشتیاری وجود دارد (شکل ۶). بر اساس شواهد رویداد سیل ژانویه ۲۰۲۰ مشخص شد که نقطه آغاز گسترش سیلاب

روستاهای گرگیج، سنگان، هزاری و اراضی اطراف آن خواهد شد. در رویداد سیل ژانویه ۲۰۲۰ در این محدوده پهنه‌ای در حدود ۱۰ کیلومتر از دشت ساحلی تحت تاثیر سیلاب قرار گرفته است. بر اساس مشاهدات میدانی، اگر متوسط ارتفاع سیلاب در این رویداد ۱/۵ متر در نظر گرفته شود، دبی پیک سیلاب در این بخش، بالغ بر ۱۱ هزار متر مکعب بر ثانیه بوده است (شکل ۱۰). نقاط شماره ۴ و ۵ در رود باهو، محدوده روستاهای دمیک تا شاه‌بیک‌زهی قرار دارند. در این منطقه، رودخانه باهو با مورفولوژی پیچان‌رود جریان داشته، اراضی کشاورزی در حاشیه آن قرار دارند. الگوی پیش‌بینی مورفولوژی کانال رودخانه باهو در این بخش نشان‌دهنده تشدید پیچان‌رودی است. این امر موجب خواهد شد تا در صورت وقوع سیلاب، خاکریز طبیعی حاشیه پیچان‌رودها تخریب شده و سیلاب به اراضی سمت اراضی کشاورزی روستاهای سیرجا و سولدان در پایین‌دست جریان یابد (شکل ۸). شایان توجه است که در سیل ژانویه ۲۰۲۰ سیلاب جاری در کانال رودخانه باهو در سد پیشین کنترل‌شده و حجم کمی از جریان، از طریق آبراهه‌های پایین‌دست سد به کانال رودخانه باهو وارد شده است. لذا، در این رویداد عکس‌العمل متقابل مورفولوژی پیچان‌رود در محدوده نقاط ۴ و ۵ با سیلاب مشاهده نشده است (شکل ۱۰).

رودخانه کاجو در منطقه دشتیاری، از این محدوده بوده است (شکل ۱۰).

نقطه شماره ۲ در رودخانه دشتیاری، محدوده شمال روستای پلان قرار دارد. در این منطقه آب‌های زهکش از اراضی کشاورزی و هوتک‌های دشتیاری که از طریق رودخانه‌های کاجو و دشتیاری آبرگیری می‌شوند، مجدداً به کانال رود دشتیاری برمی‌گردند. بدین سبب، در صورت وقوع سیلاب، حجم قابل توجهی از سیلاب منطقه از طریق این بخش وارد کانال دشتیاری شده، بر شدت رواناب خواهد افزود. همچنین، این تشدید جریان، تاثیر مستقیم خطر سیل‌گیری در روستای باهو و اراضی پیرامون آن خواهد داشت (شکل ۷). به‌طوری‌که در رویداد سیل ژانویه ۲۰۲۰ سیلاب جاری شده در دشت شمالی کانال رودخانه کاجو، از طریق زهکش‌ها به سمت این بخش جریان یافته و سبب تشدید سیلاب در اراضی پیرامون روستای باهو در پهنه‌ای به عرض حدود هشت کیلومتر شده است (شکل ۱۰).

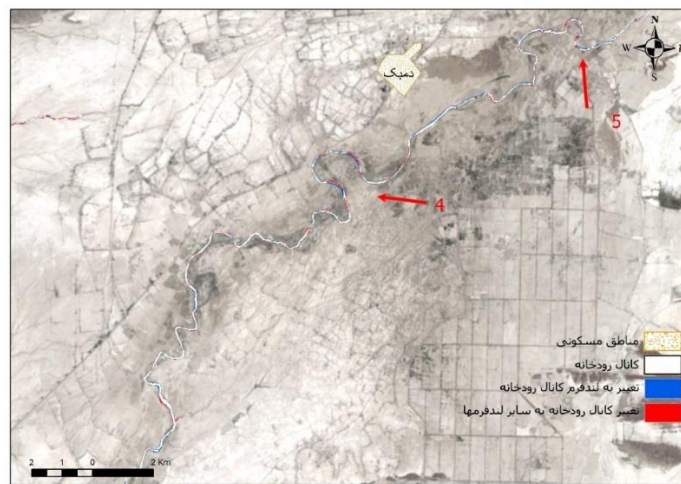
نقطه شماره ۳، در محل تلاقی رود دشتیاری با جاده نوبندان-راسک، در محدوده روستای چادورزهی قرار دارد. عبور سیلاب از این بخش همواره موجب قطع راه ارتباطی اصلی منطقه شده است (شکل ۷). همچنین، پخش سیلاب در امتداد جاده و ادغام آن با زهکش‌های خروجی رود کاجو در دو تا سه کیلومتری جنوب، موجب آبرفتگی و تشدید سیل‌گیری در



شکل ۶- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه کاجو و نقطه بحرانی آن



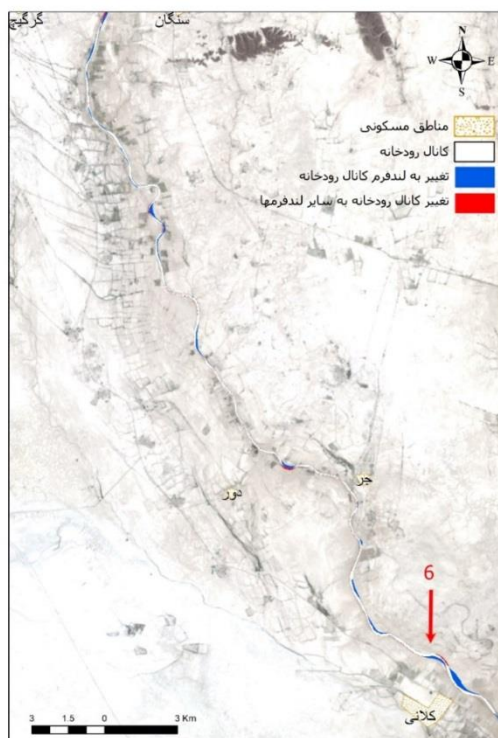
شکل ۷- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه دشتیاری و نقاط بحرانی آن



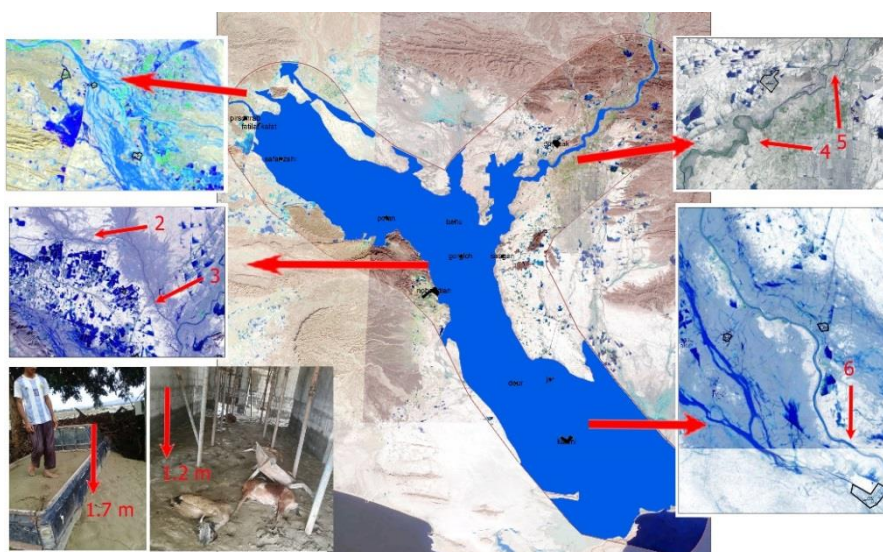
شکل ۸- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه باهو تا محل تلاقی دشتیاری و نقاط بحرانی آن

زیر آب رفته است (شکل ۱۰). با توجه به نتایج حاصل شده از طبقه‌بندی و مدل، همچنین، برآوردهای به‌دست آمده از نقاط دارای سطح بالای مخاطره سیل در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. لیکن، در تحقیق Abdolahi Baghsiahi و همکاران (۲۰۱۸) با توجه به عدم توجه به مورفولوژی پهنه دشت ساحلی، نتیجه گرفته شده که هیچ‌گونه خطری از جهت پهنه‌های سیلابی متوجه تاسیسات ساحلی نخواهد بود. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که سطح مخاطره سیل در پهنه‌های سیلابی منطقه ساحلی دشتیاری بالا بوده، نیازمند عملیات تخصصی کنترل سیلاب از خروجی واحد کوهستان تا خط ساحل است.

ششمین نقطه در منطقه ساحلی رودخانه باهو در محدوده تلاقی با خور باهوکلالت قرار دارد. در این بخش آب‌های جاری رودخانه تحت تاثیر هیدرودینامیک آب‌های ساحلی قرار می‌گیرند. در زمان وقوع سیلاب، جریان آب از خشکی در کانال خورها تحت اثر دو عامل جزر و مد و امواج طوفانی قرار خواهند گرفت. این امر موجب کاهش سرعت تخلیه جریان سیلاب به دریا شده، منجر به تشدید سیل‌گیری روستاهای دور، جر، کلانی و اراضی منتهی به منطقه ساحلی خلیج گواتر را در پی خواهد داشت (شکل ۹). در سیل ژانویه ۲۰۲۰ این پدیده موجب تجمع سیلاب در پهنه‌ای بالغ بر ۱۴۰ هزار هکتار از منطقه ساحلی شده به‌طوری‌که کل دشت ساحلی به



شکل ۹- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه باهو از محل تلاقی دشتیاری تا منطقه ساحلی و نقطه بحرانی آن



شکل ۱۰- پهنه تحت تاثیر سیلاب ژانویه ۲۰۲۰ و عملکرد سیل در نقاط خاص منطقه دشتیاری

از نتایج طرح تحقیقاتی پیش‌بینی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه‌های مناطق ساحلی جنوب کشور با کد ۰۳۵-۹۷۱۰۳۹-۲۹-۲۹-۰۳۹-۲۹-۰۳۵ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاران گروه مهندسی رودخانه و سواحل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای پژوهش قدردانی می‌شود. این پژوهش برگرفته

منابع مورد استفاده

1. Abdolahi Baghsiahi, A., R. Heshmatian and S. Mahdavi. 2018. The main aphorism of the Makran coast with the integration of the HEC-RAS and GIS model (Bahu Kalat River). 11th International River Engineering Seminar, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran (in Persian).

2. Alizadeh Rabiei, H. 2001. Remote sensing (principles and applications). Publication of Study and Compilation of Humanities Books, Tehran, 292 pages (in Persian).
3. Amini Parsa, V. and A. Nejadi. 2016. Application of CA-Markov model in predicting the dynamics structure of protected areas. *Natural Geography Research*, 48(4): 661-674 (in Persian).
4. Aizi Ghalaty, S., K. Rangzan, J. Sadidy, P. Heydarian and A. Taghizadeh. 2016. Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model, case study: Kohmare Sorkhi, Fars Province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(1): 59-71 (in Persian).
5. Banihabib, M.E., M. Ezati Aminib and M.H. Shabestari. 2019. Framework for determining a sustainable development strategy to rehabilitate a seasonal urban river. *Watershed Engineering and Management*. 11(2): 316-327 (in Persian).
6. Bravard, J.P. and F. Petit. 2009. Geomorphology of streams and rivers. *Encyclopedia of Inland Waters*, Elsevier, 2009: 387-95. DOI: 10.1016/B978-012370626-3.00043-0.
7. Darabi, H., K. Shahedi and M. Mardian. 2016. Preparation of flood hazard and susceptibility maps using frequency ratio method in Pol-e Doab Shazand Watershed. *Watershed Engineering and Management*. 8(1): 68-79 (in Persian).
8. Fathizad, H., N. Rostami and M. Faramarzi. 2015. Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 187(10): 62-79.
9. Fayazi, M., A. Bagheri, H. Sedghi, K. Keyhan and F. Kaveh. 2009. Study of flood zoning using one and two-dimensional mathematical models (MIKE11 and MIKE FLOOD). 8th International River Engineering Seminar, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran (in Persian).
10. Halalat Naserian, H., M. Sadeghi, H.A. Vaezipour and S. Seif. 2013. Comprehensive modeling of floods in Chabahr Dashtiari region by Mike flood model and presentation of flood cure plan. 12th Hydraulic Conference, University of Tehran (in Persian).
11. Heidarizadeh, Z. and A. Mohamadi. 2016. Predicting the land use change using Markov-Cellular automata model in Mehran Plain. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 5(10): 57-68 (in Persian).
12. Javaheri Tehrani, M., F. Mousavi and Kh. Hosseini. 2016. Morphologic study of meandering rivers under controlled flow using RS and GIS techniques, case study: Zayandehrud River at the downstream of Zayandehrud Dam. *Journal of Water and Soil Science*, 20(77): 25-44 (in Persian).
13. Kaveh, N. and A. Ebrahimi. 2013. A Markov chain model for simulating land use/cover change, case study: Aghbolagh River. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science*, 4(2): 41-51 (in Persian).
14. Kondolf, G.M., H. Piégay, R.M. David, L. Schmitt and R.M. David. 2016. Geomorphic classification of rivers and streams. Chapter 7: tools in fluvial geomorphology. 169-202. DOI: 10.1002/9781118648551.ch7.
15. Koneshlou, H. 1998. A look at the natural resources of the southern coast of Iran. Publications of Forests and Rangelands Research Institute, 188 pages (in Persian).
16. Masoumi, H.R., M.R. Gharibreza and A. Motamed. 2011. Investigation of meandering and morphology pattern of Hendijan River in delta plain area. *Watershed Engineering and Management*, 3(2): 102-112 (in Persian).
17. Mirzaeizadeh, V., M. Niknwzhad and J. Ouladi. 2015. Evaluating non-parametric supervised classification algorithms in land cover map using Landsat-8 images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 6(3): 29-44.
18. Mondal, S., N. Sharma, M. Kappas and P.K. Garg. 2020. Cellular Automata (CA) contiguity filters impacts on CA Markov modelling of land use land cover change predictions results. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII, B3, 1585-1591.
19. Muller, M.R. and J. Middleton. 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara region, Ontario and Canada. *Landscape Ecology*, 9: 151-157.
20. Naderi, M., A. Ilderomi, H. Nouri, S. Aghabeigi Amin and H. Zeinivand. 2018. Investigating the impact of land use and climate change on watershed runoff by SWAT model, case study: Grin Basin. *Hydrogeomorphology*, 16: 61-79 (in Persian).
21. Pal, M. and P.M. Mather. 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 26(5): 1007-1011.
22. Parvaresh, E., R. Mahdavi, A. Malekian, Y. Esmailpour and A. Holisaz. 2019. Investigation of effective factors and prioritization of flood potential in watersheds using fuzzy methods of TOPSIS and Electre III, case study: Sarkhoun Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 11(2): 493-507 (in Persian).

23. Roghani, M., M. Ghafouri and M. Tabatabaei. 2007. An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 79-87.
24. Saghafian, B., H. Farazjoo, H. Sepehri and E. Najafzade. 2007. Assessment of land use changes on flooding condition in Golestan Dam Watershed. *Iran Water Resources Research*, 2: 18-28 (in Persian).
25. Subedi, P., K. Subedi and B. Thapa. 2013. Application of a hybrid cellular automaton Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: a case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 16: 126-132.
26. Verburg, P., H. Schot, P.P. Dijst and M.J. Veldkamp. 2004. Land use change modeling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4): 309- 324.
27. Zhang, F., T. Tiyip, Z.D. Feng, H.T. Kung, V.C. Johnson, J.L. Ding, N. Tashpolat, M. Sawut and D.W. Gui. 2015. Spatio-temporal patterns of land use/cover changes over the past 20 years in the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. *Land Degradation and Development*, 26: 284-299.

Prediction of rivers and floods in Dashtyari region for 2030 horizon

Hamidreza Masoumi^{*1}, Alireza Habibi² and Mohammadreza Gharibreza³

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran, ² PhD, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran and ³ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran

Received: 05 October 2020

Accepted: 03 February 2021

Abstract

In recent years, flooding of rivers has resulted in destructive implications, especially in the coastal areas. Dashtyari coastal plain is located in the southeastern of Iran. The occurrence of destructive floods has led to extensive damage to agricultural facilities, buildings, and residents of the region in recent years. Morphometric factors of the river and its surroundings land-uses and their changes in the future are effective and necessary factors in the planning of coastal plains. Remote sensing is an applicable tool to investigate the past, present, and postcondition of rivers. The GIS-Ready layers included satellite images (Landsat 5, 1987; 7, 2001; 8, 2019; Sentinel-2, 2020), and specific software (Envi 5.3, ArcGIS 10.4.1, and Idrisi TerrSet), as well as the existence and fieldwork documents, have been used to achieve the research aims. Probability values of land-use changes in 2019 were obtained based on Markov chains. Accordingly, the highest probability of changes 24.87% and 23.5% were obtained between the river and plain units, and between farms and river, respectively. Then, an automatic cell prediction map of 2019 is accomplished with the overall kappa coefficient of 95%. According to the accuracy of the output of the cellular Automata Markov model, forecasted Land use and river morphology maps for 2030 were developed. Further, possible changes in the river environment were obtained by fitting the two maps of 2019 and forecasting 2030. Moreover, bank erosion was identified in the 6 critical points along the Kajo, Dashtyari, and Bahu rivers. Finally, the destructive flood event in January 2020 in the Dashtyari region was investigated to match the results with natural events.

Keywords: Bahu River, CA Markov model, Dashtyari region, Forecast, Remote sensing studies, River channel

* Corresponding author: h.masoumi@iauba.ac.ir